



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Π.Μ.Σ. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Σχεδιασμός Πρόβλεψης Συμπεριφοράς και
Αξιολόγηση των Επιπτώσεων Δασικών Πυρκαγιών
με Χρήση Γεωπληροφορικής

Παλαιολόγος Α. Παλαιολόγου

Επιβλέπων Καθηγητής: Κώστας Δ. Καλαμποκίδης



ΜΥΤΙΛΗΝΗ 2015

Η έγκριση διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παράγραφος 2).

«Σχεδιασμός Πρόβλεψης Συμπεριφοράς και Αξιολόγηση των Επιπτώσεων Δασικών Πυρκαγιών με χρήση Γεωπληροφορικής»

«Spatial Wildland Fire Analysis Scheme and Evaluation of Wildfire Effects for Greece with Geoinformatics»

Παλαιολόγος Α. Παλαιολόγου

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κώστας Καλαμποκίδης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου (επιβλέπων)

Φαίδων Κυριακίδης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου (μέλος)

Νικόλαος Σουλακέλλης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου (μέλος)

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Κώστας Καλαμποκίδης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Νικόλαος Κούτσιας, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Πατρών

Φαίδων Κυριακίδης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Παύλος Κωνσταντινίδης, Τακτικός Ερευνητής του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός ΔΗΜΗΤΡΑ

Γαβριήλ Ξανθόπουλος, Αναπληρωτής Ερευνητής του Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων Αθηνών, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός ΔΗΜΗΤΡΑ

Νικόλαος Σουλακέλλης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Ανδρέας Τρούμπης, Καθηγητής του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση και ολοκλήρωση συγγραφής της παρούσας διδακτορικής διατριβής απαιτήθηκαν περίπου επτά έτη βιβλιογραφικής έρευνας, δειγματοληψιών, αναλύσεων και συγγραφής κειμένου. Συγκεκριμένα, οι πρώτοι 18 μήνες αξιοποιήθηκαν για τη μελέτη της βιβλιογραφίας, την εξοικείωση με την επιστήμη των δασικών πυρκαγιών και με την κατανόηση των διαθέσιμων μεθόδων και εργαλείων. Άλλοι 6 μήνες απαιτήθηκαν για τις δειγματοληψίες που διενεργήθηκαν στη νήσο Λέσβο καθώς και στην περιοχή της Λευκίμμης Έβρου, αμέσως μετά την καταστροφική πυρκαγιά του 2011. Απαιτήθηκαν 12 μήνες για την ανάλυση των δεδομένων από τις δειγματοληψίες της Λέσβου, τη δημιουργία δασολογικών και άλλων δεδομένων που προήλθαν από την επεξεργασία των πληροφοριών πεδίου για κάθε δειγματοληπτική θέση, και, εν τέλει, τη δημιουργία χωρικών δεδομένων και χαρτών που απεικονίζουν την κατάσταση της βλάστησης. Επιπλέον 12 μήνες απαιτήθηκαν για τη διεξαγωγή των προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιάς στη Λέσβο, και την εκτίμηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων τους. Χρειάστηκαν 12 μήνες για την εφαρμογή της μεθοδολογίας εκτίμησης των επιπτώσεων της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου, καθώς και για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών. Τέλος, για τη δημιουργία και τεκμηρίωση της μεθοδολογίας υπολογισμού του δείκτη επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών Ελλάδος απαιτήθηκαν 24 μήνες.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κώστα Καλαμποκίδη, τόσο για τη εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος της διδακτορικής διατριβής, όσο και για τη συνεχή ενασχόληση και συμπαράσταση του όλα αυτά τα χρόνια. Η πολύτιμη και καίρια επιστημονική καθοδήγηση σε συνδυασμό με τις ανεκτίμητες συμβουλές, υποδείξεις και ιδέες του σε θέματα δασικών πυρκαγιών αποτέλεσαν θεμέλιο λίθο της διατριβής. Εξάλλου, η πατρότητα της ιδέας αυτής της διατριβής ανήκει σε αυτόν. Επιπλέον, τον ευχαριστώ θερμά για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετέχω ενεργά σε ερευνητικά προγράμματα και να συνεισφέρω στην περάτωση τους. Επιπλέον, να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών, καθώς και το Τμήμα Γεωγραφίας, για τη φιλοξενία και την παροχή των απαραίτητων για την ολοκλήρωση αυτής της έρευνας υποδομών και εργαλείων όλα αυτά τα χρόνια. Τιμή για μένα αποτέλεσε η αποδοχή της πρότασης να συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή της διδακτορικής μου διατριβής οι εξαιρετικοί επιστήμονες που την απαρτίζουν, ενώ τους ευχαριστώ θερμά για τις πολύτιμες υποδείξεις και διορθώσεις τους. Τέλος, είμαι ευγνώμων στην γυναίκα μου Ταξιαρχούλα για την πολλή υπομονή, την αμέριστη κατανόηση και την αγάπη της καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής και της κοινής ζωής μας γενικότερα.

*Σε όσους με ενέπνευσαν και με στήριζαν στην περάτωση αυτού του πονήματος όλα αυτά τα
υπέροχα χρόνια...*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ	xv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xx
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	xxi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xxii
EXECUTIVE SUMMARY	xxiii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	1
1.2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	3
1.3. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ	4
1.4. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	5
1.5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	8
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	10
2.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	10
2.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	13
2.2.1. Ζώνες και Χαρακτηριστικά Βλάστησης της Ελλάδας	13
2.2.2. Διαχειριστικές μορφές.....	16
2.2.3. Δασικοί βιότοποι	17
2.3. ΤΑ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΤΡΑΧΕΙΑΣ ΠΕΥΚΗΣ ΚΑΙ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ.....	17
2.4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ	20
2.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	22
2.6. ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	27
2.7. ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ.....	29
2.8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ	31
2.9. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ.....	32
2.9.1. Το λογισμικό Fire Area Simulator (FARSITE).....	32
2.9.2. Το λογισμικό FlamMap και ο Αλγόριθμος Minimum Travel Time (MTT)	36
2.9.3. Το λογισμικό First Order Fire Effects Model Mapping Tool (FOFEMMT).....	39
2.9.3.1. Περιγραφή των εισροών.....	39

2.9.3.2. Μοντέλα Φορτίων Καύσιμης Ύλης - Fuel Loading Models	41
2.9.3.3. Περιγραφή των εκροών	41
2.10. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	43
2.10.1. Γενικά Χαρακτηριστικά της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης	43
2.10.2. Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία	45
2.10.3. Μεθοδολογία της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.....	47
2.11. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΩΝ ΑΝΩΤΑΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ: THE TIMES HIGHER EDUCATION WORLD UNIVERSITY RANKINGS	49
2.12. ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΦΟΔΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΗΣ - COMPOSITE BURN INDEX.....	51
3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	53
3.1. ΝΗΣΟΣ ΛΕΣΒΟΣ	53
3.1.1. Δάση Κωνοφόρων Λέσβου	55
3.2. ΛΕΥΚΙΜΜΗ ΕΒΡΟΥ	70
4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΤΗΣ ΛΕΣΒΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΠΕΔΙΟΥ.....	73
4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	74
4.1.1. Δειγματοληψίες και Συλλογή Δεδομένων	74
4.1.2. Ανάλυση και Επεξεργασία των Δεδομένων Δειγματοληψίας.....	76
4.1.3. Εξαρτημένες Μεταβλητές και Εισροές Μοντέλων Προσομοίωσης Συμπεριφοράς Πυρκαγιών.....	76
4.1.4. Ανεξάρτητες Μεταβλητές	77
4.1.5. Στατιστική Ανάλυση	80
4.1.6. Χαρτογράφηση των Μοντέλων Καύσιμης Ύλης.....	83
4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	84
4.2.1. Στατιστικά Αποτελέσματα.....	84
4.2.2. Επικύρωση Αποτελεσμάτων	87
4.2.3. Χαρτογράφηση των Χαρακτηριστικών της Βλάστησης	88
4.3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΎΛΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	93
5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	93
5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	98
5.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	106

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ FARSITE ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ MINIMUM TRAVEL TIME	108
6.1. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ FARSITE.....	109
6.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	111
6.3. ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ.....	111
6.3.1. Πυρκαγιά περιοχής Κρατήγου 19 Ιουλίου 2006	111
6.3.2. Πυρκαγιά Πετσοφά 7 Ιουλίου 2009	112
6.3.3. Πυρκαγιά περιοχής Αγία Σωτήρα 31 Ιουλίου 2009	113
6.3.4. Πυρκαγιά περιοχής Αγία Λεμονή Μήθυμνας 4 Ιουλίου 2011	114
6.3.5. Πυρκαγιά περιοχής Νυφίδας 4 Αυγούστου 2011	115
6.4. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΑΦΛΕΞΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ MTT.....	116
6.4.1. Πλέγμα πιθανοτήτων έναρξης πυρκαγιών	117
6.4.2. Δεδομένα βλάστησης και καύσιμης ύλης.....	117
6.4.3. Μετεωρολογικές εισροές.....	118
6.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ.....	120
6.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ MTT.....	125
6.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	129
7. ΜΕΤΑΠΥΡΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΥΚΙΜΜΗ ΕΒΡΟΥ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2011 .	131
7.1. ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	131
7.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	133
7.2.1. Μετεωρολογικά Δεδομένα	133
7.2.2. Δειγματοληψίες	136
7.2.3. Εκτίμηση σφοδρότητας καύσης με τη μέθοδο dNBR.....	137
7.2.4. Μεταπυρική κατάσταση βλάστησης	138
7.2.5. Προσομοίωση συμπεριφοράς της φωτιάς με τα λογισμικά FARSITE και FlamMap.....	139
7.2.6. Υπολογισμός και χαρτογράφηση του δείκτη διάβρωσης.....	140
7.2.7. Εκτίμηση επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος με το λογισμικό FOFEFMMT.....	142
7.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	143
7.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	153
8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ	157
8.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	161

8.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	162
8.2.1. Επιπτώσεις στο Τοπίο και στην Εδαφοκάλυψη (Α).....	164
8.2.1.1. Τύπος Δασικού Οικοσυστήματος - Α.1.....	164
8.2.1.2. Σύσταση Καμένης Έκτασης - Α.2.....	166
8.2.1.3. Προστατευόμενη Περιοχή - Α.3.....	171
8.2.1.4. Επιρροή Εκπεμπόμενων Αερίων Ρύπων - Α.4.....	173
8.2.1.5. Πιθανότητες Διάβρωσης/ Απώλειας Εδαφών - Α.5.....	175
8.2.1.6. Καμένη Έκταση - Γενικός Πολλαπλασιαστής.....	176
8.2.1.7. Αξιολόγηση Επιπτώσεων Τοπίου και Εδαφοκάλυψης για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011.....	178
8.2.2. Επιπτώσεις στο Ευρύτερο Περιβάλλον (Β).....	179
8.2.2.1. Απώλειες Εντόμων και Σπονδυλωτών - Β.1.....	184
8.2.2.2. Απώλειες Μικρόσωμων Θηλαστικών/ Ερπετών - Β.2.....	185
8.2.2.3. Απώλειες Ψαριών - Β.3.....	187
8.2.2.4. Απώλειες Πτηνών - Β.4.....	188
8.2.2.5. Απώλειες Μεγάλων Θηλαστικών - Β.5.....	189
8.2.2.6. Απώλειες Σημαντικών/ Σπάνιων Πληθυσμών Χλωρίδας - Β.6.....	190
8.2.2.7. Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης της Χλωρίδας - Β.7.....	193
8.2.2.8. Απειλή για Εισαγωγή Ξενικών Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης της Πανίδας - Β.8.....	195
8.2.2.9. Τύπος Προστατευόμενης Περιοχής - Γενικός Πολλαπλασιαστής.....	197
8.2.2.10. Αξιολόγηση Επιπτώσεων στο Ευρύτερο Περιβάλλον για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011.....	198
8.2.3. Δυνατότητες Αναγέννησης (Γ).....	200
8.2.3.1. Ηλικία Δάσους Κωνοφόρων – Γ.1.....	201
8.2.3.2. Ηλικία Δάσους Αειφύλλων – Σκληρόφυλλων θάμνων και Πλατύφυλλων – Γ.2.....	201
8.2.3.3. Κλίσεις – Γ.3.....	202
8.2.3.4. Πρόσφατη Πυρική Δραστηριότητα – Γ.4.....	203
8.2.3.5. Άκαυτοι Θύλακες – Γ.5.....	203
8.2.3.6. Απειλή από Βόσκηση – Γ.6.....	204
8.2.3.7. Ιστορικό Καταπατήσεων/ Παράνομων Δραστηριοτήτων – Γ.7.....	205
8.2.3.8. Αστική/ Τουριστική Πίεση – Γ.8.....	205
8.2.3.9. Φαινόμενο Μετάκαυσης (Smoldering) – Γ.9.....	206
8.2.3.10. Απειλή από Έντομα/ Παθογένειες – Γ.10.....	206
8.2.3.11. Τύπος Εδάφους – Γ.11.....	207
8.2.3.12. Ποσοστά και Ποιότητα Καύσης του Ανώροφου – Γενικός Πολλαπλασιαστής.....	208

8.2.3.13.Αξιολόγηση των Δυνατοτήτων Αναγέννησης για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011	209
8.2.4. Καταστολή Πυρκαγιάς – Επιχειρησιακά Κόστη (Δ)	210
8.2.4.1. Τύπος Πυρκαγιάς – Δ.1.	212
8.2.4.2. Αναζωπυρώσεις/ Κηλιδώσεις – Δ.2.	213
8.2.4.3. Αριθμός Ατόμων/ Προσωπικού – Δ.3.	213
8.2.4.4. Αριθμός Επίγειων Πυροσβεστικών Μέσων – Δ.4.	214
8.2.4.5. Αριθμός Εναέριων Πυροσβεστικών Μέσων– Δ.5.	214
8.2.4.6. Συνδρομή Ενισχύσεων από άλλες Χώρες – Δ.6.	215
8.2.4.7. Κήρυξη Περιοχής σε Κατάσταση Εκτάκτου Ανάγκης – Δ.7.	215
8.2.4.8. Εκκένωση Οικισμών – Δ.8.	216
8.2.4.9. Διάρκεια Πυρκαγιάς – Γενικός Πολλαπλασιαστής	217
8.2.4.10.Αξιολόγηση των Επιπτώσεων Καταστολής για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011	217
8.2.5. Απώλειες και Τραυματισμοί (Ε)	218
8.2.5.1. Θάνατοι Πολιτών – Ε.1.	219
8.2.5.2. Απώλειες Μαχίμων και Στελεχών της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας – Ε.2.	220
8.2.5.3. Αριθμός Τραυματιών – Ε.3.	220
8.2.5.4. Κατεστραμμένα Χερσαία Μέσα Πυρόσβεσης – Ε.4.	221
8.2.5.5. Κατεστραμμένα Εναέρια Μέσα Πυρόσβεσης – Ε.5.	221
8.2.5.6. Αξιολόγηση των Απωλειών και Τραυματισμών για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011	222
8.2.6. Καταστροφές (ΣΤ).....	222
8.2.6.1. Καμένες Οικίες – ΣΤ.1.	223
8.2.6.2. Αριθμός Καμένων Στάβλων, Αποθηκών, Βοηθητικών Χώρων – ΣΤ.2.	223
8.2.6.3. Καταστροφές σε Σημαντικά Μνημεία– ΣΤ.3.	224
8.2.6.4. Καταστροφές σε Κινητή Περιουσία (Οχήματα/ Μηχανήματα) – ΣΤ.4.	224
8.2.6.5. Καταστροφές στο Ηλεκτρικό Δίκτυο – ΣΤ.5.	225
8.2.6.6. Καταστροφές στο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο – ΣΤ.6.	225
8.2.6.7. Καταστροφές στο Δίκτυο Υδροδότησης– ΣΤ.7.	225
8.2.6.8. Καταστροφές ή Ζημιές στο Δημόσιο Δίκτυο Μεταφορών – ΣΤ.8.	226
8.2.6.9. Καταστροφές στρατιωτικού υλικού/ πυρομαχικών και εγκαταστάσεων – ΣΤ.9.	226
8.2.6.10.Καταστροφές σε Εργοστάσια, Υποδομές ΑΠΕ και Αποθήκες Βιομηχανικών Προϊόντων – ΣΤ.10.	227
8.2.6.11.Επίδραση της Πυρκαγιάς σε Γεωργικές – Κτηνοτροφικές Εγκαταστάσεις – ΣΤ.11.	227
8.2.6.12.Αξιολόγηση των Καταστροφών από την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011 ...	228

8.2.7. Οικονομικές Επιπτώσεις (Ζ)	229
8.2.7.1. Οικονομικές Απώλειες από Δραστηριότητες Ξύλευσης – Ζ.1	231
8.2.7.2. Οικονομικές Απώλειες μη Ξυλωδών Προϊόντων του Δάσους/ Φύσης – Ζ.2	232
8.2.7.3. Καταστροφές και Αποζημιώσεις Αγροτικής Παραγωγής – Ζ.3	233
8.2.7.4. Καταστροφές και Αποζημιώσεις Κτηνοτροφικής Παραγωγής – Ζ.4	233
8.2.7.5. Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής - Ηλεκτρικής Παραγωγής, των Υποδομών και της Δημόσιας Περιουσίας – Ζ.5	234
8.2.7.6. Αποζημιώσεις σε Κτήρια ή Κατοικίες – Ζ.6	235
8.2.7.7. Απώλειες Εσόδων από τον Τουρισμό – Ζ.7	236
8.2.7.8. Λήψη Μεταπτυρικών Μέτρων Αποκατάστασης του Πεδίου – Ζ.8	237
8.2.7.9. Μέγεθος Πυρκαγιάς – Γενικός Πολλαπλασιαστής.....	237
8.2.7.10. Αξιολόγηση των Οικονομικών επιπτώσεων από την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011	238
8.2.8. Συνολική βαθμολογία του Δείκτη επιπτώσεων για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011	239
8.3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	239
8.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	241
9. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	244
9.1. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	245
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	246
Α. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	246
Β. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ	264
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	266
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	266
Πίνακας Π.1: Περιστατικά πυρκαγιάς από 5.000 έως και 19.999 στρέμματα	266
Πίνακας Π.2: Περιστατικά πυρκαγιάς από 20.000 έως και 69.999 στρέμματα	270
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ.....	272
Πίνακας Π.3: Τα αισθητικά δάση της Ελλάδος (Νέζης, 1992)	272
Πίνακας Π.4: Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης.....	272
Πίνακας Π.5: Εθνικοί Δρυμοί της Ελλάδος.....	273
Πίνακας Π.6: Ελεγχόμενες Κυνηγετικές Περιοχές.....	274
Πίνακας Π.7: Περιοχές Προστασίας της Φύσης.....	274
Πίνακας Π.8: Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης	275
Πίνακας Π.9: Βιογενετικά Αποθέματα	275
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	276
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	276

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ.....	276
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ.....	276
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.....	277
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	277
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.....	277
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ.....	278
ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ.....	278
ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΙΟΝΙΟΥ.....	278
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	279
Π.10: Επιπτώσεις στο Τοπίο και την Εδαφοκάλυψη.....	279
Π.11: Απώλειες και Τραυματισμοί.....	280
Π.12: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	281
Π.13: Δυνατότητες Αναγέννησης - Επανάκαμψη της βλάστησης.....	282
Π.14: Καταστολή πυρκαγιάς – Επιχειρησιακά Κόστη.....	283
Π.15: Καταστροφές.....	284
Π.16: Οικονομικές Επιπτώσεις (έξοδα αποκατάστασης και τις απώλειες του οικονομικού κύκλου).....	285
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΗΡ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	286
Π.17: Επιπτώσεις σε Δάση και Δασικές Εκτάσεις.....	286
Π.18: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	287
Π.19: Δυνατότητες Αναγέννησης - Επανάκαμψη της βλάστησης.....	289
Π.20: Επιπτώσεις Καταστολής/ Πυρόσβεσης.....	291
Π.21: Απώλειες.....	292
Π.22: Καταστροφές.....	293
Π.23: Οικονομικές Επιπτώσεις.....	295
Π.24: Συνολική Βαθμολογία.....	297
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ Π. Α. ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΥ.....	299

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Θερμοκρασιακά όρια των χαρακτηριστικών του εδάφους	24
Πίνακας 2.2: Θερμοκρασιακά όρια για βασικούς βιολογικούς οργανισμούς	24
Πίνακας 2.3: Θερμοκρασιακά όρια για ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους	24
Πίνακας 2.4: Αριθμός και ποσοστά περιστατικών ανά έκταση πυρκαγιάς από το 2000 έως και το 2012	28
Πίνακας 2.5: Περιστατικά πυρκαγιών που έκαψαν άνω των 70.000 στρεμμάτων (1974-2012)	29
Πίνακας 2.6: Χωρικές εισροές των FARSITE και FlamMap	34
Πίνακας 2.7: Βαθμολογίες που αποδίδονται κατά τη ζευγωτή σύγκριση κριτηρίων και επιλογών κριτηρίων	48
Πίνακας 2.8: Οι τιμές του δείκτη τυχαιότητας (Random Index) για προβλήματα μέχρι και 15 κριτηρίων	49
Πίνακας 3.1: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που είτε μετρήθηκαν στο πεδίο, είτε υπολογίστηκαν με μετεπεξεργασία τους	56
Πίνακας 3.2: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Κρατήγου	58
Πίνακας 3.3: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Γεράνιο-Παλαμάς	60
Πίνακας 3.4: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Πετσοφά-Κλαπάδου	61
Πίνακας 3.5: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Παρακοίλων-Προφήτη Ηλία	62
Πίνακας 3.6: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα μαύρης πεύκης του Προφήτη Ηλία	63
Πίνακας 3.7: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Καλαθού-Σανατόριο και στο δασικό θύλακα Τρυγώνας	64
Πίνακας 3.8: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Βρουλερή-Κούκκος	66
Πίνακας 3.9: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Πασπαλά-Μεγάλης Λίμνης	66
Πίνακας 3.10: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Αχλαδεράς	67
Πίνακας 3.11: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Ολύμπου-Αμπελικού	68
Πίνακας 3.12: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Ρογκάδας	69
Πίνακας 3.13: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Βρίσας-Βατερών	70
Πίνακας 4.1: Τιμές κάθε καναλιού για κάθε ανεξάρτητη κύρια συνιστώσα	79
Πίνακας 4.2: Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που προέκυψαν από το δορυφόρο Landsat	82
Πίνακας 4.3: Τα τελικά μοντέλα GAM για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή και τα αποτελέσματα της προσαρμογής του	84
Πίνακας 4.4: Ακρίβεια προσαρμογής των GAM και αξιολόγηση των ανεξάρτητων σετ δεδομένων για τα 10 σετ προσαρμογής και ελέγχου κάθε μεταβλητής	87
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά των νέων μοντέλων καύσιμης ύλης	97
Πίνακας 5.2: Τιμές υγρασίας για τα τρία σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις με το BehavePlus.	97

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα τέσσερα νέα MKY δασών κωνοφόρων.....	98
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM01, SH5, SH7 και 4.	100
Πίνακας 5.5: Χαρακτηριστικά των MKY FM01, SH5, SH7 και 4.	101
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM02, TU4, TU5 και 6.	102
Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά των MKY FM02, TU4, TU5 και 6.	102
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM03, TU4, TL8 και 5.	103
Πίνακας 5.9: Χαρακτηριστικά των MKY FM03, TU4, TL8 και 5.	104
Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM04, TU1, TU4 και 8.	105
Πίνακας 5.11: Χαρακτηριστικά των MKY FM04, TU1, TU4 και 8.	106
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των προσαρμοσμένων MKY.	109
Πίνακας 6.2: Περιστατικά πυρκαγιών που προσομοιώθηκαν με το FARSITE και το FlamMap.	110
Πίνακας 6.3: Παράμετροι προσομοίωσης πυρκαγιών με τον αλγόριθμο MTT.	110
Πίνακας 6.4: Παράμετροι προσομοίωσης που καθορίστηκαν στο λογισμικό FARSITE.	110
Πίνακας 6.5: Αρχείο καιρικών σεναρίων για τις προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο MTT.	116
Πίνακας 6.6: Παράμετροι και μετεωρολογικά σενάρια για τις προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο MTT.	118
Πίνακας 6.7: Τύποι βλάστησης, MKY και υγρασίες καύσιμης ύλης.	119
Πίνακας 6.8: Στατιστικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων με το FARSITE και τον αλγόριθμο MTT σε σχέση με την πραγματική περίμετρο της κάθε υπό εξέταση πυρκαγιάς.	125
Πίνακας 7.1: Μετεωρολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς.	134
Πίνακας 7.2: Χρονική διαφορά μεταξύ πραγματικής και προσομοιωμένης περιμέτρου για την 26/8/2011 και ώρα 15:00.	147
Πίνακας 7.3: Εκπομπές αέριων ρύπων της πυρκαγιάς της Λευκίμμης 2011 όπως υπολογίστηκαν από το FOFEMMT, σε σύγκριση με άλλες πέντε περιπτώσεις της Βόρειας Αμερικής.	153
Πίνακας 8.1: Κλίμακα αξιολόγησης κριτηρίων από 0 (καθόλου επίδραση) έως 100 (πλήρη επιρροή).	161
Πίνακας 8.2: Κλίμακα αξιολόγησης γενικών πολλαπλασιαστών από 0 (καθόλου) έως 3 (πλήρη επιρροή).	162
Πίνακας 8.3: Καθορισμένα όρια ποιότητας του αέρα στις ΗΠΑ.	174
Πίνακας 8.4: Σχέσεις τύπου βλάστησης και πυκνότητας κόμης με τη σφοδρότητα καύσης του εδάφους.	176
Πίνακας 8.5: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων τοπίου και εδαφοκάλυψης της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011.	178
Πίνακας 8.6: Συνοπτική παρουσίαση των κριτηρίων της IUCN.	183
Πίνακας 8.7: Απειλούμενα είδη φυτών στον Ελλαδικό χώρο.	191
Πίνακας 8.8: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων στο ευρύτερο περιβάλλον της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011.	199
Πίνακας 8.9: Διαθέσιμες επιλογές του γενικού πολλαπλασιαστή της κατηγορίας επιπτώσεων Δυνατοτήτων Αναγέννησης.	208
Πίνακας 8.10: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων στις δυνατότητες αναγέννησης της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011.	209
Πίνακας 8.11: Τύπος δαπάνης και κόστος σε ευρώ από την Πυροσβεστική Υπηρεσία.	211

Πίνακας 8.12: Αριθμός ατόμων που επιχείρησαν στα περιστατικά των πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012.....	214
Πίνακας 8.13: Αριθμός επίγειων μέσων που επιχείρησαν στα περιστατικά των πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012.....	214
Πίνακας 8.14: Αριθμός εναέριων μέσων που επιχείρησαν στα περιστατικά των πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012.....	215
Πίνακας 8.15: Αριθμός εκκενωμένων οικισμών κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών.....	216
Πίνακας 8.16: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων καταστολής της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011.....	218
Πίνακας 8.17: Ανθρώπινες απώλειες κατά τη διάρκεια περιστατικών δασικών πυρκαγιών των τελευταίων 30 ετών.....	219
Πίνακας 8.18: Απώλειες μαχίμων πυροσβεστών κατά τη διάρκεια πυροσβεστικής αποστολής γνωστών περιστατικών πυρκαγιάς.....	220
Πίνακας 8.19: Ανθρώπινες απώλειες σε αεροπορικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια πυροσβεστικής αποστολής γνωστών περιστατικών πυρκαγιάς.....	222
Πίνακας 8.20: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων καταστροφών της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011.....	228
Πίνακας 8.21: Οικονομική αποτίμηση μεγάλων πυρκαγιών των ΗΠΑ και της Ελλάδας.....	230
Πίνακας 8.22: Πίνακας αξιολόγησης οικονομικών επιπτώσεων της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011.....	238

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ

Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση της εκροής ενέργειας από μια πυρκαγιά (ένταση πυρκαγιάς), την επίδραση της σε όρους απώλειας οργανικής ύλης (σφοδρότητα καύσης ή πυρκαγιάς), την απόκριση του οικοσυστήματος και τις κοινωνικές επιπτώσεις.....	11
Εικόνα 2.2: Χάρτης Βλάστησης και Διαπλάσεων Ελλάδος.....	15
Εικόνα 2.3: Δασικές διαπλάσεις σύμφωνα με τη χαρτογράφηση του WWF Ελλάς.....	15
Εικόνα 2.4: Κύριες δασικές εκτάσεις και δασικοί τύποι της Ελλάδος.....	16
Εικόνα 2.5: Κύριες εκτάσεις εξάπλωσης και θύλακες της μαύρης πεύκης στην Ελλάδα.....	19
Εικόνα 2.6: Περιοχές χαμηλής σφοδρότητας καύσης. Διακρίνονται υπολείμματα από μερικώς καμένα κλαδιά μικρής διαμέτρου και φυλλοτάπητα.....	26
Εικόνα 2.7: Περιοχές μέτριας σφοδρότητας καύσης. Διακρίνονται λίγα υπολείμματα από πλήρως καταναλωμένα κλαδιά μικρής διαμέτρου, στάχτη από το φυλλοτάπητα, ενώ οι ρίζες και το έδαφος έχουν επηρεαστεί μερικώς.....	26
Εικόνα 2.8: Περιοχές υψηλής σφοδρότητας καύσης. Δεν διακρίνονται υπολείμματα από κλαδιά μικρής διαμέτρου ή φυλλοτάπητα, ενώ το έδαφος έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι επηρεασμένο σε βάθος.....	27
Εικόνα 2.9: Σχηματική αναπαράσταση της σύνθεσης των χωρικών δεδομένων στα λογισμικά FARSITE και FlamMap.....	33
Εικόνα 2.10: Σχηματική αναπαράσταση των μεθόδων ελέγχου της προσομοίωσης (χρόνος, απόσταση και περίμετρος) στο λογισμικό FARSITE.....	35
Εικόνα 2.11: Τρόπος υπολογισμού της εμφάνισης και των τύπων πυρκαγιάς κόμης με το λογισμικό FlamMap.....	37
Εικόνα 2.12: Τρόπος υπολογισμού της εξάπλωσης πυρκαγιών με τον αλγόριθμο MTT.....	38
Εικόνα 2.13: Κριτήρια, δείκτες και συντελεστές βαρύτητας της μεθοδολογίας The Times Higher Education World University Rankings 2012-2013.....	50
Εικόνα 2.14: Φόρμα δειγματοληψιών για αξιολόγηση των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών με τη μέθοδο Composite Burn Index.....	52

Εικόνα 3.1: Δορυφορική εικόνα Landsat της νήσου Λέσβου.....	54
Εικόνα 3.2: Χάρτης ιστορικού πυρκαγιάς της Λέσβου για τα έτη 1970-2014.....	55
Εικόνα 3.3: Εδαφοκάλυψη, δασικά συμπλέγματα και δειγματοληπτικές θέσεις της νήσου Λέσβου	56
Εικόνα 3.4: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό τμήμα Κρατήγου	57
Εικόνα 3.5: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Γεράνιο-Παλαμάς.....	59
Εικόνα 3.6: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Πετσοφά-Κλαπάδου	60
Εικόνα 3.7: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Παρακοίλων-Προφήτη Ηλία	62
Εικόνα 3.8: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Καστανιώνα-Δάσους Μεγαλοχωρίου	63
Εικόνα 3.9: Εδαφοκάλυψη και δειγματοληπτικές θέσεις στο κεντρικό πευκοδάσος της νότιας Λέσβου	65
Εικόνα 3.10: Η περιοχή μελέτης με την καμένη περίμετρο όπως απεικονίζεται στη δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης WorldView-2.....	71
Εικόνα 3.11: Τύποι εδαφοκάλυψης-χρήσεις γης της περιοχής μελέτης και οι θέσεις των 27 σημείων δειγματοληψίας (πράσινες κουκκίδες)	72
Εικόνα 4.1: Τύποι βλάστησης και εδαφοκάλυψης της νήσου Λέσβου, χαρτογραφημένες σε υπόβαθρο δορυφορικών εικόνων Quickbird, καθώς και οι θέσεις των 43 προϋπαρχόντων και 97 νέων δειγματοληπτικών επιφανειών	75
Εικόνα 4.2: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή του Ύψους Συστάδας: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (k) δείχνουν την επιρροή των επτά ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.....	85
Εικόνα 4.3: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή της Κάλυψης Κόμης: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (g) δείχνουν την επιρροή των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.....	86
Εικόνα 4.4: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή του Ύψους Έναρξης Κόμης: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (g) δείχνουν την επιρροή των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.....	86
Εικόνα 4.5: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή της Πυκνότητας Κόμης: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (f) δείχνουν την επιρροή των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.....	86
Εικόνα 4.6: Χάρτες της νήσου Λέσβου για: (a) Ύψος Κόμης, (b) Κάλυψη Κόμης, (c) Ύψος Έναρξης Κόμης και (d) Πυκνότητα Κόμης.	89
Εικόνα 4.7: Χάρτης τυπικών μοντέλων καύσιμης ύλης, χαρτογραφημένα βάσει των μετρήσεων πεδίου πάνω στους τύπους βλάστησης/ εδαφοκάλυψης της νήσου Λέσβου	90

Εικόνα 5.1: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο τα αείφυλλα-σκληρόφυλλα κυριαρχούν στον υπόροφο (> 1,5 m ύψος και ποσοστό κάλυψης>20%) σε μίξη με ξηροφυλλοτάπητα.	94
Εικόνα 5.2: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο οι χαμηλοί θάμνοι (φρύγανα και αείφυλλα-σκληρόφυλλα ύψους <1,5 m σε ποσοστό >20%) σε μίξη με ξηροφυλλοτάπητα.	94
Εικόνα 5.3: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο ο ξηροφυλλοτάπητας και η νεκρή ξυλώδης καύσιμη ύλη όλων των διαμέτρων κυριαρχεί (>70%), σε μίξη με χαμηλούς θάμνους και φρύγανα (<30%).	95
Εικόνα 5.4: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο έχει προηγηθεί βόσκηση, καύση ή άλλη μορφής διαχείριση και εμφανίζονται σημάδια αναγέννησης (ξηροφυλλοτάπητας χαμηλού φορτίου σε μίξη με ετήσια ποώδη φυτά, χαμηλούς θάμνους ή νεαρά δενδρύλλια).	95
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των τεσσάρων νέων MKY	99
Εικόνα 5.6: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM01, SH5, SH7 και 4.	101
Εικόνα 5.7: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM02, TU4, TU5 και 6.	103
Εικόνα 5.8: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM03, TU4, TL8 και 5	104
Εικόνα 5.9: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM04, TU1, TU4 και 8.	105
Εικόνα 6.1: Δορυφορική άποψη της καμένης περιοχής (Quickbird) αμέσως μετά το περιστατικό πυρκαγιάς	112
Εικόνα 6.2: Βορειοανατολική άποψη της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς του Πετσοφά... ..	112
Εικόνα 6.3: Το νοτιοδυτικό τμήμα της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς του Πετσοφά	113
Εικόνα 6.4: Νοτιοανατολική άποψη της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς στην Αγία Σωτήρα	114
Εικόνα 6.5: Βορειοανατολική άποψη της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς στην Αγία Σωτήρα	114
Εικόνα 6.6: Βορειοδυτική άποψη της καμένης έκτασης από την πυρκαγιά της Αγίας Λεμονής	115
Εικόνα 6.7: Βόρεια άποψη της καμένης έκτασης από την πυρκαγιά της Νυφίδας	115
Εικόνα 6.8: Ροδογράμματα για τους τέσσερις ΑΤΜΟΣ της Λέσβου	118
Εικόνα 6.9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Κρατήγου	120
Εικόνα 6.10: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά του Πετσοφά	121
Εικόνα 6.11: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Αγίας Σωτήρας	122
Εικόνα 6.12: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Αγίας Λεμονής	123
Εικόνα 6.13: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Νυφίδας	124
Εικόνα 6.14: Πιθανότητες καύσης για (Α) ιστορικά σημεία έναρξης πυρκαγιών και (Β) τυχαίες αναφλέξεις στη νήσο Λέσβο	126
Εικόνα 6.15: Εξαρτώμενο μήκος φλόγας (Α), πυκνότητα και μέγεθος πυρκαγιών (Β) και χάρτες αναλογίας πηγής-απορρόφησης (Γ) για τη νήσο Λέσβο	127
Εικόνα 6.16: Επικινδυνότητα πυρκαγιάς για κάθε τύπο εδαφοκάλυψης της νήσου Λέσβου	128
Εικόνα 6.17: Επικινδυνότητα πυρκαγιάς για μνημεία (Α), σπίτια εντός περιοχών WUI (Β), τουριστικές περιοχές και σημεία (Γ) και σημαντικές θέσεις φωλιάσματος πτηνών (Δ) της νήσου Λέσβου	128
Εικόνα 7.1: Οι πρώτες ώρες της πυρκαγιάς όπου καίγονταν κυρίως χορτολιβαδική βλάστηση και αείφυλλα-σκληρόφυλλα	131

Εικόνα 7.2: Εξέλιξη της πυρκαγιάς εντός των περιοχών των αναδασώσεων όπου μετεξελίχθηκε από έρπουσα σε ενεργή πυρκαγιά κόμης.....	132
Εικόνα 7.3: Εναέρια κατάσβεση ενεργών εστιών εντός του οριοθετημένου μετώπου την 27 ^η Αυγούστου	133
Εικόνα 7.4: Μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου για τα έτη 2009, 2010 και 2011 καταγεγραμμένη από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης.....	134
Εικόνα 7.5: Ροδόγραμμα διευθύνσεων του ανέμου για τα έτη 2009, 2010 και 2011 καταγεγραμμένες από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης	135
Εικόνα 7.6: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τα έτη 2009, 2010 και 2011 με δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης	135
Εικόνα 7.7: Η καμένη έκταση (περιοχή χρώματος μωβ) όπως φαίνεται από το δορυφόρο LANDSAT 5 TM	137
Εικόνα 7.8: Οι έξι τάξεις μεταπυρικής κατάστασης της βλάστησης.....	138
Εικόνα 7.9: Οι τέσσερις εισροές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του χωρικού δείκτη διαβρωσιμότητας	142
Εικόνα 7.10: Χάρτης σφοδρότητας καύσης εντός της περιμέτρου καύσης με τις θέσεις των 27 σημείων δειγματοληψίας.....	144
Εικόνα 7.11: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες των τεσσάρων κατηγοριών σφοδρότητας όπως μετρήθηκαν στο πεδίο	144
Εικόνα 7.12: Μεταπυρική κατάσταση της βλάστησης εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς	145
Εικόνα 7.13: Ωριαία εξάπλωση των μετώπων της πυρκαγιάς για κάθε μια από τις 4 ημέρες της διάρκειάς της.....	145
Εικόνα 7.14: Ανάλυση της προσομοιωμένης με την πραγματική έκταση της πυρκαγιάς.....	146
Εικόνα 7.15: Οι κύριες ροές διάδοσης της πυρκαγιάς.....	148
Εικόνα 7.16: Προσομοιωμένη ταχύτητα διάδοσης για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής	148
Εικόνα 7.17: Προσομοιωμένος τύπος πυρκαγιάς για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής	149
Εικόνα 7.18: Προσομοιωμένη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής	149
Εικόνα 7.19: Προσομοιωμένο μήκος φλόγας για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής	150
Εικόνα 7.20: Προσομοιωμένη θερμική ένταση του μετώπου για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής.....	150
Εικόνα 7.21: Επιπτώσεις της πυρκαγιάς στο έδαφος	151
Εικόνα 7.22: Έκλυση αερίων και σωματιδίων	151
Εικόνα 7.23: Έκλυση αερίων και κατανάλωση φορτίου καύσιμης ύλης	152
Εικόνα 7.24: Χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων του δείκτη διαβρωσιμότητας	153
Εικόνα 7.25: Διασωσμένες συστάδες (πράσινο) σε μίξη με καψαλισμένες (καφέ) και ολοκληρωτικά καμένες (μαύρο)	154
Εικόνα 7.26: Καμένη έκταση με ζωντανά και καψαλισμένα μεμονωμένα άτομα τραχείας πεύκης και δρυός.....	155
Εικόνα 7.27: Χαρακτηριστική περιοχή τεχνητών αναβαθμίδων όπου η φωτιά κατέκαψε βλάστηση αποτελούμενη από δρυ και τραχεία πεύκη	156
Εικόνα 8.1: Συνδυασμός κριτηρίων και κατηγοριών για τον υπολογισμό των Επιπτώσεων Φυσικού Περιβάλλοντος	159
Εικόνα 8.2: Συνδυασμός κριτηρίων και κατηγοριών για τον υπολογισμό των Κοινωνικοοικονομικών Επιπτώσεων	160
Εικόνα 8.3: Προστατευόμενες Δασικές Περιοχές στην Ελλάδα	173
Εικόνα 8.4: Οι βλαστητικές περιοχές της Ελλάδας	184

Εικόνα 8.5: Α) Νεαρή σαύρα μέσα σε καμένη έκταση Β) Καμένη χελώνα μετά από την πυρκαγιά της Πάρνηθας Γ) Νεκρός βάτραχος σε καμένη έκταση Δ) Καμένο φίδι μετά από την πυρκαγιά του Αγίου Όρους του 2012	186
Εικόνα 8.6: Σημαντικές περιοχές για τα πουλιά της Ελλάδος.....	188
Εικόνα 8.7: Χάρτης απειλούμενων φυτών στην Ελλάδα	193
Εικόνα 8.8: Χάρτης των κύριων προστατευόμενων περιοχών της Ελλάδας.....	198
Εικόνα 8.9: Αρχική εικόνα του λογισμικού εκτίμησης επιπτώσεων και επιλογή μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών.....	240
Εικόνα 8.10: Τρόπος καθορισμού των επιλογών του κάθε κριτηρίου για την κατηγορία Καταστολή πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη	240

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

AAC	Areal Association Coefficient
BP	Burn Probability
CBD	Canopy Bulk Density
CBH	Canopy Base Height
CBI	Composite Burn Index
CC	Canopy Cover
CFA	Crown Fire Activity
CFL	Conditional Flame Length
CR	Consistency Ratio
CWD	Coarse Wood Debris
DBH	Diameter at Breast Height
DEM	Digital Elevation Model
dNBR	delta Normalized Burn Ratio
ETM+	Enhanced Thematic Mapper
FCCS	Fuel Characteristics Classification System
FEFM	Fire Effects Fuel Models
FIREMON	Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol
FL	Flame Length
FLM	Fuel Loading Models
FOFEM	First Order Fire Effects Model
FOFEMMT	First Order Fire Effects Model Mapping Tool
FWD	Fine Woody Debris
GAM	Generalized Additive Models
GCV	Generalized Cross Validation
GLM	Generalized Linear Models
GPS	Global Positioning System
ha	Εκτάρια
IDW	Inverse Distance Weighting
JC	Jacard Coefficient
KDS	Kernel Density Smoothing
LCP	Landscape File
LULC	Land Use / Land Cover
MCA	Multi-criteria Analysis
MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
MKY	Μοντέλο Καύσιμης Ύλης
MPRI	Modified Photochemical Reflectance Index
MTT	Minimum Travel Time
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NFMAS	National Fire Management Analysis System
PC	Principal Component
PCA	Principal Component Analysis
PM ₁₀ ή PM _{2,5}	Particulate Matter
QMD	Quadratic Mean Diameter
RGRI	Red Green Ratio Index
RI	Random Index
SC	Sørensen Coefficient
SH	Stand Height
SSR	Source-Sink Ratio
TC	Tasseled Cap
TM	Thematic Mapper
TPH	Trees Per Hectare
TPI	Topographic Position Index
TPRS	Thin Plate Regression Spline
TRASP	Transformed Radiation Index Of Circular Aspect
VAR	Values At Risk

WUI	Wildland Urban Interface
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΤΜΟΣ	Αυτόματος Τηλεμετρικός Μετεωρολογικός Σταθμός
ΓΓΠΠ	Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας
ΓΔ	Γεωγραφικό Διαμέρισμα
ΓΣΠ ή GIS	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΔΔ	Διεύθυνση Δασών
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΔΚΖ	Δασικές Κλιματικές Ζώνες
ΔΠΧ	Διάγραμμα Πυρικών Χαρακτηριστικών
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
ΕΛΓΑ	Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΕΣΥΕ	Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος
ΙΔΕ-Α	Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Αθηνών
ΚΥ	Καύσιμη Ύλη
ΠΥ	Πυροσβεστική Υπηρεσία
ΣΠΠ	Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά
ΣΥ	Σενάριο Υγρασίας

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΩΣΕΩΝ

2.1	Περιεχόμενη Υγρασία
2.2	Πιθανότητες Καύσης
2.3	Μήκος Φλόγας
2.4	Εξαρτώμενο Μήκος Φλόγας
2.5	Συνολικές Εκπομπές Αέριων Ρύπων
2.6	Αθροιστικό Μοντέλο Πολυκριτηριακής Ανάλυσης
2.7	Καθορισμός Συντελεστών Βαρύτητας
2.8	Εξίσωση Γραμμικής Κλιμάκωσης
2.9	Αναλογικό Πλέγμα
2.10	Κανονικοποιημένος Πίνακας Ζευγωτών Συγκρίσεων
2.11	Διάνυσμα του Σταθμισμένου Κριτηρίου W
2.12	Αναλογία Συνοχής - Consistency Ratio
2.13	Δείκτης Συνοχής - Consistency Index
4.1	Αλλομετρική Εξίσωση Υπολογισμού της Λεπτής Καύσιμης Ύλης Κόμης
4.2	Εκτίμηση Ύψους Δέντρων Τραχείας Πεύκης
4.3	Ελάχιστη Φασματική Ακτινοβολία
4.4	Ακτινοβολία Σκοτεινού Αντικειμένου
4.5	Διόρθωση της Θολούρας (Haze)
4.6	Μετατροπή των Τιμών DN σε Ακτινοβολία
4.7	Πλανητικές Τιμές Αντανάκλαστικότητας
4.8	Φόρτια του Κάθε Καναλιού για κάθε Κύρια Συνιστώσα
4.9	Generalized Linear Models
4.10	Generalized Additive Models
4.11	Generalized Cross Validation
5.1	Ποσοστό Ζωντανής Βλάστησης
5.2	Ζωντανή Βιομάζα Θάμνων
6.1	Jacard's Coefficient
6.2	Areal Association Coefficient
6.3	Sørensen Coefficient
6.4	Source-Sink Ratio
7.1	Normalized Burn Ratio
7.2	Δείκτης Διάβρωσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ο σχεδιασμός πρόβλεψης συμπεριφοράς και η αξιολόγηση των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών με χρήση της γεωπληροφορικής. Για το πρώτο τμήμα της έρευνας έγιναν εκτεταμένες δειγματοληψίες στα δάση της Λέσβου ώστε να καταγραφούν/ απογραφούν δασικοί-οικολογικοί παράγοντες που σχετίζονται έμμεσα ή άμεσα με το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών. Έπειτα, ακολούθησε στατιστική ανάλυση και χαρτογράφηση ορισμένων βασικών παραμέτρων που μετρήθηκαν στο πεδίο και αφορούν την κόμη των δασικών συστάδων, κυρίως για τα δάση κωνοφόρων, ώστε να επιτευχθεί η χαρτογράφηση τους με απώτερο σκοπό την ένταξη τους σε λογισμικά προσομοίωσης συμπεριφοράς πυρκαγιών. Στη συνέχεια, διεξήχθησαν αναλύσεις γνωστών ιστορικών περιστατικών πυρκαγιάς που εκδηλώθηκαν στη νήσο Λέσβο για την εκτίμηση της ακρίβειας προσομοίωσης. Ακολούθησαν οι προσομοιώσεις χιλιάδων πιθανών πυρκαγιών οι οποίες μπορούν να κάψουν σε διαφορετικές τοπογραφικές και βλαστητικές συνθήκες για το σύνολο της νήσου Λέσβου, υπό την επιρροή διαφορετικών μετεωρολογικών σεναρίων. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε η χωρική εκτίμηση των εξαρτώμενων πιθανοτήτων καύσης και έντασης πυρκαγιών για τις διαφορετικές περιοχές του νησιού, ενώ εκτιμήθηκαν και οι άμεσες πιθανές συνέπειες τους σε υψηλής τρωτότητας αξίες και υποδομές.

Έπειτα, διεξήχθη ενδεδειγμένη εκτίμηση των επιπτώσεων πυρκαγιών πρώτης τάξης καθώς και της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς που εκδηλώθηκε στην Λευκίμμη Έβρου τον Αύγουστο του 2011, η οποία αποτελεί μια από τις δύο περιοχές μελέτης αυτής της διατριβής. Κατά τον Σεπτέμβριο του 2011, διενεργήθηκαν δειγματοληψίες εντός της καμένης περιοχής για τη μέτρηση και εκτίμηση των αμέσων συνεπειών που προέκυψαν από την δράση της πυρκαγιάς. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν με εφαρμογή των πρωτοκόλλων δειγματοληψιών του FIREMON, αξιοποιώντας την τεχνική Composite Burn Index (CBI) για την εκτίμηση της σφοδρότητας καύσης σε κάθε δειγματοληπτικό τόπο, καθώς και της μεταπυρικής κατάστασης της βλάστησης στα διαφορετικά κάθετα στρώματα της. Οι μετρήσεις συσχετίστηκαν με αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση δορυφορικών εικόνων Landsat με μεθόδους δορυφορικής τηλεπισκόπησης, με κύριο αποτέλεσμα την εκτίμηση και χαρτογράφηση της σφοδρότητας καύσης και της περιμέτρου της πυρκαγιάς. Ακολούθησε η χαρτογράφηση της μεταπυρικής κατάστασης της βλάστησης (καμένο, καυαλισμένο και άκαυτο) με δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (WorldView-2). Έπειτα, διενεργήθηκαν χωρικές προσομοιώσεις της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς με σύγχρονα λογισμικά (FARSITE και FlamMap), ώστε να εκτιμηθεί η ένταση της πυρκαγιάς καθώς και το πώς ενδέχεται να εξελίσσονταν δίχως την διενέργεια κατασταλτικών πυροσβεστικών επιχειρήσεων. Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε και εκτίμηση της ακρίβειας των προσομοιώσεων, λαμβάνοντας υπόψη παρατηρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Τέλος, διενεργήθηκε χωρική εκτίμηση των επιπτώσεων πρώτης τάξης της πυρκαγιάς (εκπομπές αέριων ρύπων, θέρμανση του εδάφους και κατανάλωση της καύσιμης ύλης).

Στο τελευταίο κεφάλαιο διεξήχθη έρευνα για τον σχεδιασμό ενός δείκτη εκτίμησης επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών (Fire Ranking and Effects Index-FIRE Index). Συγκεκριμένα, καθορίστηκαν κατηγορίες επιπτώσεων, κάθε μια με τα δικά της κριτήρια, ενώ το κάθε κριτήριο είχε τις δικές του προκαθορισμένες επιλογές σε μια κλίμακα από 0 (καμία επίπτωση) έως και 100 (υψηλή επίπτωση). Οι βαθμολογίες των κριτηρίων σταθμίζονται με συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Analytic Hierarchy Process, ενώ στη συνέχεια συνδυάζονται για να αποδοθεί η συνολική βαθμολογία της κατηγορίας. Τέλος, οι επιμέρους βαθμολογίες των κατηγοριών συνδυάζονται για να προκύψει η τελική βαθμολογία του δείκτη. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε για την πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου, ενώ σχεδιάστηκε και διαδικτυακό λογισμικό που επιτρέπει την αυτοματοποίηση της όλης διαδικασίας.

EXECUTIVE SUMMARY

In the last decades, an increase in wildfire occurrences has been observed in areas where fires were considered as events with low frequency and intensity (e.g. in Russia, North and Central Europe). Under adverse climatic conditions, the old “fire boundaries” have been rearranged by expansion into forested areas with no whatsoever fire adaptation defenses (i.e. ecological and anthropogenic); while the typical fire regimes have been significantly modified. Fire-adapted ecosystems have faced catastrophic wildfire events in the previous years due to increased fire severities. Within this scheme, the additional influence of human activities (e.g. rural abandonment, reforestation, urban expansion, tourist development etc.) resulted in high fire risks and hazards, including intense pressures in protected areas with fragile/ endangered ecological balances. Over the last 15 years, several protected ecosystems of Greece experienced large fire conflagrations, from northern to southern Greece and into the Aegean islands.

The primary research goal of this PhD dissertation is the design and application of a methodology that will enable the conduction of fire behavior simulations and estimation of forest fire effects by using tools and methods of geoinformatics in Greece. There is a large number of tools and methods of the geoinformatics science which are the outcome of 30 years research efforts in the United States of America (USA) and Europe, currently been used by state and federal agencies and researchers across the world. For the first time, all these tools were combined for two case study areas in Greece (Lesvos and Evros) in order to conduct an overall assessment of the wildfire aftermath. Results will aid on gaining knowledge on which are the best practices for the implementation of similar analysis for other wildfire events of Greece.

A secondary goal aims at creating a context for the evaluation of each wildfire of Greece, based on the effects it has caused on society, economy and the environment. Greece is faced with increased wildfire activity on an annual basis. Large-scale wildfires, along with limited economic resources, do not allow the application of rehabilitation measures for the vast majority of burned areas, and when restoration takes place it is not based on sound scientific evidence. A scientific approach is missing based on wildfire classification and overall assessment of wildfire effects. Wildfire severity is perceived by the civil protection agencies as the total area burned. These facts prompted our research thoughts about the need for introducing a new ranking method that will be based on expert judgment, with scientific evaluation of what has happened and what it is expected to occur based on several fire related aspects and parameters. Towards this goal, this research is to contribute with a methodology that it is relatively easy to use; based on thorough study and knowledge of local conditions; with small variations, if it is applied by different users; and using widely implemented tools and processes.

A prerequisite to achieve the primary research goal is to retrieve or create the necessary inputs for all the required tasks, either spatial and/or descriptive. These inputs include topographic and vegetation data, weather inputs from Remote Automatic Weather Stations (RAWS), satellite images, information regarding the actual fire behavior, maps, photographs etc. There is data availability gap in Greece, so the initial phase of this research aimed at creating and finding these data with contemporary research methods and applications, scientifically documented and with accepted accuracy.

The first part of this study aimed at quantifying and mapping fire-related characteristics of forest structure through field inventories, statistics, remote sensing, and geographical information systems in the island of Lesvos, northeast Aegean Sea, Greece. Simulation of fire behavior requires forest biomass inputs that describe surface fuel types/models along with canopy fuel properties, such as canopy cover, stand height, crown base height and crown bulk

density, to accurately predict surface and crown fire spread and spotting potential. A canopy fuel and fuel model mapping effort was conducted for Lesvos island based on extensive field samplings that measured-inventoried key forest and ecological characteristics that are related to forest fires (i.e. forest structure, composition, type and distribution). In particular, over 100 field plots were sampled with methods derived from FIREMON field sampling protocols, the majority of which were randomly located in coastal pine forest stands. These data were statistically analyzed and then used in non-parametric regression models (generalized additive models), involving four dependent forest stand variables (stand height, canopy cover, crown base height and crown bulk density). The values of adjusted R^2 were 0.72 for stand height, 0.68 for canopy cover, 0.51 for crown base height and 0.33 for crown bulk density. These regression models were used to create forest fuel characteristics layers, which can be used as inputs to fire management applications and state-of-the-art landscape-scale fire behavior models. This part of the research was published in the peer-reviewed Science Citation Index journal “International Journal of Remote Sensing”, entitled «Forest mapping by geoinformatics for landscape fire behavior modeling in coastal forests, Greece» (Palaiologou *et al.* 2013).

The post-processing methods of field inventory data and their usage on the creation of custom fuel models (FM) depicting the local conditions of Mediterranean conifer forests are explained on Chapter 5. By applying published methods and equations, results from data analysis lead to the creation of four new custom FM. Comparisons were made with those FM currently used in the USA under different fire weather scenarios, in order to gain a better understanding of the simulated fire behavior of the four new FM. Part of these results was presented and published in the 6th Hellenic Ecology Conference “Ecologic Research in Greece: Trends, Challenges, Applications”, entitled “Creation of custom fuel models of Pinus Brutia forests for fire behavior simulations” (Καλαμποκίδης *κ.α.* 2012c).

On Chapter 6, the fire behavior modeling procedure was applied on Lesvos Island by simulating wildfires with state-of-the art software, such as FARSITE (Finney 2004), FlamMap (Finney 2006a) and Minimum Travel Time (MTT) (Finney 2002). Data and outputs from previous chapters were used as inputs in the simulation procedure, while an analytic description is provided on how data from RAWS were retrieved and transformed into simulation inputs. FARSITE was utilized to simulate past wildfire events that emerged on different ecosystems and vegetation types. Initially, results revealed the simulation accuracy and the required modifications on simulation parameters needed to improve the whole procedure. The main simulation outputs are the estimation of wildfire characteristics in terms of intensity, i.e. flame length, fireline intensity and heat per unit area, in conjunction with the spatiotemporal evolution of fire spread. These information can help and aid in the firefighting operations and improve effectiveness, if they are considered properly. Results revealed that there is a high acceptable accuracy of FARSITE results, making it feasible to conduct wildfire simulations prior or during an event in order to timely predict the basic wildfire characteristics.

Simulations with FlamMap and MTT were conducted with the same inputs used in FARSITE, but the weather conditions must be kept constant in time, though variable in space. FlamMap results depict and map the general intensity conditions that can be created by wildfires on a landscape level, but without any interaction between and among the different landscape cells. Furthermore, by using the MTT algorithm it is possible to simulate either a single or thousands of wildfires (stochastic) and retrieve outputs for major flow paths and other wildfire characteristics or a probabilistic spatial wildfire risk respectively. Results are useful for the identification of areas that require further attention and probably fuel treatments, as well as highlighting sites and places where it is possible to fight and stop an on-going wildfire event. In addition, wildfire risk mapping was achieved with spatial data

depicting burn and flame length probabilities, enabling to conduct a vulnerability assessment for certain values-at-risk (i.e. houses outside urban fabric, monuments, important bird habitats and tourist sites). Part of this chapter's results were presented on the 4th Fire Behavior and Fuels Conference "At the Crossroads: Looking Toward the Future in a Changing Environment", entitled "Fire Behavior Simulation in Mediterranean Forests Using the Minimum Travel Time Algorithm" (Kalabokidis *et al.* 2014a).

On Chapter 7, the research was focused on analyzing the effects and impacts of the large 2011 Lefkimi Evrou wildfire, by using geoinformatics, aided by field measurements conducted immediately after the fire. Based on previous well documented wildfires in other protected areas, common practices and rehabilitation measures are questioned and evaluated. The forest fire of Lefkimi Evrou started on 24th August 2011 and was extinguished by 27th of August 2011, after burning an area of almost 5900 ha with variable intensities and severities. The most common cover types inside the fire perimeter included oak forests (1300 ha), mixed pine-oak forests (1250 ha), pine forests (1200 ha), grasslands mixed with agricultural areas (820 ha), chaparral woodlands (695 ha) and pine reforestations (575 ha). Several geoinformatics methods were utilized to analyze remote sensing products (WorldView-2 and Landsat satellite images) to assess fire severity. The Normalized Burn Ratio (NBR) is a Landsat-based index that was used to map fire severity in different classes across the affected area (i.e. unburned, low, moderate-low, moderate-high and high severity). Results were evaluated by using field measurements, based on the FIREMON sampling protocol, from 27 plots (900 m² each) with a positive correlation coefficient $r=0.80$ ($p<0.01$). A WorldView-2 image was also used to classify the burned area into four categories of vegetation condition (alive, scorched, consumed and unburnable). It was found that a large part inside the fire perimeter was not burned, while another large part has a high potential of survival (e.g. scorched trees or trees with substantial green/alive crown). Within the total fire perimeter, 58% (3389 ha) was totally burned (76% forest, 14% chaparral and 10% other), 20% (1186 ha) was scorched (66% forest, 13% chaparral and 21% other), 17% (1002 ha) was alive (87% forest, 8% chaparral and 5% other), and 5% (301 ha) was non-burnable or bare soils. FARSITE and FlamMap fire behavior models were utilized to run the necessary spatiotemporal fire simulations to achieve a better understanding of the fire growth and intensity parameters. Furthermore, an erosion risk mapping was conducted based on multiplication of coefficients (soil erosion factors) with a simple soil erosion model (i.e. slope, pre-fire vegetation density, fire severity and soil erodibility). Then, a spatial estimation of some of the first order fire effects (i.e. pre- and post-fire fuel loadings per fuel class, smoke emissions for flaming and smoldering, maximum temperatures on the surface and soil and heat intrusion rates, and post fire percentage of exposed mineral soil). Finally, common issues that usually arise after such large-scale events in protected areas are presented (e.g. regarding green belts, fuel breaks, suppression efforts, regeneration areas, post-fire salvage, grazing, prescribed burning, and erosion and flood control measures). Results of this chapter were published on a Greek scientific journal and presented on a Greek conference (Καλαμποκίδης κ.α 2012a, b).

The backbone of the proposed Fire Ranking and Effects Index (FIRE Index) is the Analytical Hierarchical Process (AHP) that is used to combine the scores of seven categories and 56 wildfire effects criteria that comprise them. These categories form two groups of wildfire effects: Environmental Fire Effects with three categories (Landscape and Vegetation; General Environment Impacts; Regeneration Potential/Vegetation Recovery); and Socioeconomic Fire Effects with four categories (Casualties and Fatalities; Destructions/Damages on Infrastructure; Economic Losses; Firefighting/Wildfire Confrontation). Each of the 56 criteria, along with four general multipliers, describes a different anticipated fire effect. The magnitude of the effects is estimated by one or more

persons/ assessors in a multi-level evaluation procedure. The first level regards the criteria that must be rated in a 0-100 scale (no effect to total impact), based on predefined choices that resulted from literature study, historical data analysis and common knowledge gained from wildfire events of Greece for the past four decades. Several criteria have a second evaluation level, using additive terms that must also be rated in a 0-100 scale, increasing each criterion influence in the category. The third level of evaluation introduces the concept of general multipliers, based also on predefined choices that are rated in a 0.5-3 scale. These multipliers are applied on the category level and derived by rating the importance of significant fire effects (i.e. fire size, ecological and protection status of the burned area), providing the ability of either increasing (for values>1), keeping the same (for values=1) or decreasing (for values=0.5-0.9) the influence of each category on the FIRE Index. AHP pairwise comparisons are applied in two levels, i.e. within the criteria of each category and among the seven categories. Weighted scores of criteria are summed and normalized in a 0-100 scale; and the same procedure is applied on categories to calculate the final FIRE Index value. End-users are able to estimate the FIRE Index in a user-friendly, web-based platform that runs all the necessary calculations in the background. Part of the results of this chapter was presented on the 7th International Conference on Forest Fire “Research Advances in Forest Fire Research”, entitled “A fire effects index for overall assessment of wildfire events in Greece” (Kalabokidis *et al.* 2014b).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης δασικών πυρκαγιών, όχι μόνο στα μεσογειακά και τροπικά οικοσυστήματα αλλά και σε περιοχές όπου μέχρι πρότινος το φαινόμενο ήταν σπάνιο ή χαμηλής έντασης (π.χ. Ρωσία, Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη, δάση μεγάλου υψομέτρου). Είναι εμφανές ότι υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη, τα παλαιά «πυρρικά σύνορα» έχουν επαναπροσδιοριστεί επεκτεινόμενα σε περιοχές χωρίς ανεπτυγμένες άμυνες (οικολογικές και ανθρωπογενείς), και όπου τα καθιερωμένα πυρικά καθεστώτα (fire regimes) έχουν μεταβληθεί έντονα. Οικοσυστήματα τα οποία ήταν προσαρμοσμένα και ανθεκτικά στη φωτιά έχουν πληγεί σφοδρά τα τελευταία χρόνια λόγω της αύξησης της έντασης και συχνότητας του φαινομένου. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα (εγκατάλειψη αγροτικών εκτάσεων, αναδάσώσεις, οικιστική πίεση, αύξηση του τουρισμού κ.α.), έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του κινδύνου και της πίεσης σε περιοχές με εύθραυστες/επαπειλούμενες οικολογικές ισορροπίες.

Η συνεχώς αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας στην Ελλάδα αποτελεί ένα ανησυχητικό θέμα για τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας και προστασίας της φύσης. Το μέγεθος της Ελλάδος και η διαμόρφωση της τοπογραφίας και των διοικητικών διαιρέσεων της δημιουργεί «νησιά», είτε φυσικά στη θάλασσα ή «φυσικούς οικολογικούς θύλακες», περικυκλωμένα από περιοχές οικιστικής ανάπτυξης και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Η ένταση και συχνότητα αυτών των δραστηριοτήτων κοντά σε φυσικές περιοχές έχει ως αποτέλεσμα ακόμα και μικρές πυρκαγιές να μπορούν να έχουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις.

Πρόσφατα παραδείγματα δασικών πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας στην Ελλάδα είναι οι πυρκαγιές στη Χίο και στο Άγιο Όρος το 2012, της Λευκίμμης Έβρου το καλοκαίρι του 2011 (στα όρια του προστατευόμενου δάσους της Δαδιάς), της Πρέβελης στην Κρήτη το 2010, της Πεντέλης το 2009, της Ρόδου το 2008, των μέγα-πυρκαγιών του 2007 σε Πελοπόννησο, Εύβοια, Γράμμο και Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, της Σάμου το 2000, του Ολύμπου το 1997 καθώς και πλήθους άλλων. Η πυρκαγιά της Χίου το 2012 έκαψε πάνω από 150.000 στρέμματα (σχεδόν το 1/6 του συνολικού μεγέθους της), κατέστρεψε ένα μέρος της τοπικής αγροτικής οικονομίας και τα περισσότερα από τα δασώδη οικοσυστήματα της περιοχής. Ακόμα, απέδειξε ότι η κατάσταση επιδεινώνεται σε όρους διαθεσιμότητας καύσιμης ύλης, ετοιμότητας των τοπικών και εθνικών πυροσβεστικών υπηρεσιών και διαθεσιμότητας πόρων. Όλες αυτές οι καταστροφικές πυρκαγιές που συνέβησαν στην Ελλάδα, ιδιαίτερα εκείνες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2007, αύξησαν την ανησυχία και κινητικότητα εντός της Ελληνικής κοινωνίας, της επιστημονικής κοινότητας και των αρχών πολιτικής προστασίας σχετικά με το ποιες είναι οι καλύτερες προσεγγίσεις ώστε να μπορεί να προβλεφθεί και να αντιμετωπιστεί αυτό το καταστροφικό φαινόμενο (Morehouse *et al.* 2011).

1.1. ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Οι αιτίες έναρξης και εκδήλωσης των προαναφερθέντων πυρκαγιών είναι ποικίλες, την κυριότερη ευθύνη όμως για τη γεωμετρική αύξηση που παρουσιάζουν στον αριθμό τους φέρει ο άνθρωπος. Είτε από εμπρησμούς, είτε από αμέλεια, είτε λόγω ανάγκης, οι ανθρωπογενείς πυρκαγιές καταστρέφουν συνεχώς τις δασικές εκτάσεις, επιταχύνοντας φαινόμενα όπως αυτά της ερημοποίησης, της αλλαγής της σύστασης της βλάστησης και της υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος. Ως συνέπεια, πλημμύρες, αύξηση της θερμοκρασίας, μείωση της βιοποικιλότητας, πτώση των αντικειμενικών αξιών της γης κ.α είναι μερικές μόνο από τις επιπτώσεις των πυρκαγιών. Το γεγονός που ξεχωρίζει τα φαινόμενα των πυρκαγιών που εκδηλώνονται σήμερα σε σχέση με αυτά του παρελθόντος

είναι η ένταση και πολυπλοκότητα τους. Δεν είναι μόνο το πλήθος, αλλά και η συχνότητα εμφάνισης των πυρκαγιών που αναγκάζουν τις κοινωνίες να δαπανούν τεράστια χρηματικά ποσά για την αντιμετώπισή τους και την αποκατάσταση των καμένων περιοχών. Η αδυναμία αξιολόγησης του κάθε περιστατικού βάσει της σημαντικότητας των επιπτώσεων που προκλήθηκαν από αυτό οδηγεί συχνά σε υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της κατάστασης με αποτέλεσμα την αδυναμία λήψης ορθολογικών μέτρων μεταπυρικής διαχείρισης και μετρίασης των αρνητικών συνεπειών τους. Το βασικό αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων που προκαλούνται από τις δασικές πυρκαγιές στους διάφορους τομείς και επίπεδα του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, τα οποία θα αναλυθούν λεπτομερώς στα επόμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα, σε πρώτο επίπεδο παρουσιάζονται μέθοδοι και προσεγγίσεις στη δημιουργία των απαραίτητων δεδομένων για την διεξαγωγή χωρικών προσομοιώσεων δασικών πυρκαγιών. Στην συνέχεια, μελετάται τόσο ο τρόπος πρόβλεψης και προσομοίωσης της συμπεριφοράς των πυρκαγιών, όσο και οι άμεσα μετρήσιμες φυσικές ιδιότητες και επιπτώσεις της. Στο επόμενο επίπεδο, το αντικείμενο της διατριβής μετατοπίζεται στην εκτίμηση των επιπτώσεων που θα προκύψουν μετά την εκδήλωση του περιστατικού. Τέλος, η έρευνα επικεντρώνεται στο πώς μπορεί να διεξαχθεί μια συνολική αποτίμηση των αποτελεσμάτων και επιπτώσεων της κάθε πυρκαγιάς ώστε το αποτέλεσμα να μπορεί να αποδοθεί σε μια κλίμακα κατάταξης και να ταξινομηθεί σε σχέση με άλλα περιστατικά πυρκαγιών.

Σε αντίθεση με άλλα φαινόμενα φυσικών καταστροφών, όπως οι τυφώνες, οι πλημμύρες, οι σεισμοί και τα τσουνάμι, οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο το οποίο ο άνθρωπος έχει τη δυναμική να το ελέγξει και να το περιορίσει μέχρι κάποιο βαθμό, τόσο πριν, όσο και κατά την διάρκεια εκδήλωσής του. Η επιστημονική έρευνα έχει αναπτύξει εργαλεία τα οποία βελτιώνουν τη μεθοδολογία καταστολής των δασικών πυρκαγιών, προσφέρουν τη δυνατότητα περιορισμού των αρνητικών επιπτώσεων που προκαλούν και συμβάλουν στην πρόγνωση της εκδήλωσής τους. Λόγω όμως του ολοένα και αυξανόμενου πλήθους τους, ο άνθρωπος αδυνατεί να καταστείλει και να προβλέψει εγκαίρως το πλήθος των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώνονται σε κάθε περιοχή. Επομένως, αναγκαστικά πρέπει να γίνει μια επιλογή σχετικά με το ποιες περιοχές πρέπει να προστατευθούν με οποιοδήποτε κόστος, σε βάρος κάποιων άλλων περιοχών οι οποίες μπορεί να εμφανίσουν εξίσου καταστροφικά φαινόμενα πυρκαγιών, αλλά είτε δεν υπάρχει η βούληση ή η δυνατότητα να προστατευτούν. Στην επιλογή αυτή εισέρχονται ποικίλοι παράγοντες, σημαντικότεροι των οποίων είναι η κοινωνική πίεση και η πολιτική βούληση.

Ως συνέπεια, πολλές φορές θυσιάζονται περιοχές και οικοσυστήματα σπουδαίας οικολογικής και περιβαλλοντικής σημασίας, τα οποία τυγχάνουν να μην έχουν την πέπουσα κοινωνική σημασία και αναγνώριση με αποτέλεσμα να δέχονται πολλές φορές ανεπανόρθωτα πλήγματα, καταστροφές και υποβάθμιση. Είναι σημαντικό να εξευρεθεί ένας τρόπος μέτρησης και αξιολόγησης των περιοχών που πλήττονται από το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών, ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες και παραμέτρους που μπορούν να συνυπολογιστούν ώστε να επιτευχθεί η ολική αποτίμηση του φαινομένου. Σύμφωνα με τον Καλαμποκίδη (1997), «...οι μεγάλες πυρκαγιές έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της δυναμικής των θρεπτικών συστατικών και της δομής του εδάφους, όχι μόνο στην υδρολεκάνη απορροής που εκδηλώνεται η φωτιά, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή που επικοινωνεί με αυτή. Η απώλεια της βλάστησης στις πλαγιές που κήκαν μπορεί να οδηγήσει σε κατολισθήσεις εδαφών, καθώς αυτό διαβρώνεται ευκολότερα στις γυμνές πλαγιές. Η υδατική απορροή τέτοιων πλαγιών στα βουνά γύρω από τα αστικά κέντρα αυξάνεται έως και 10 φορές, δεδομένου ότι η υγρασία δεν απορροφάται πλέον από τη βλάστηση. Έτσι, το οικοσύστημα οδηγείται σε ολέθριες πλημμύρες, που επιφέρουν εκτός από θανάτους και γενικότερη κοινωνικοοικονομική και οικολογική διαταραχή (π.χ. ξερίζωμα δέντρων και

καλλιεργειών, ρύπανση από καταστροφές βιομηχανικών και βιοτεχνικών επιχειρήσεων, οικονομικές και κτιριακές ζημίες)».

Για να επιτευχθεί μια ολοκληρωμένη εκτίμηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών απαιτείται ο υπολογισμός του κινδύνου (risk). Ως κίνδυνος ορίζεται η γενική ποσοτική προεκτίμηση της αναμενόμενης καταστροφής σε ορισμένη περιοχή εξαιτίας ενός φυσικού ή τεχνολογικού γεγονότος (Παπαδόπουλος, 2000). Ο κίνδυνος μπορεί να υπολογισθεί βάσει της εξίσωσης $R=HxV$, η οποία υπολογίζει τον κίνδυνο ($R=risk$) βάσει του γινομένου της τρωτότητας ($V=vulnerability$) επί της επικινδυνότητας ($H=hazard$) μιας περιοχής (Chen *et al.* 2003). Ως τρωτότητα ορίζεται ο βαθμός στον οποίο είναι ευάλωτη μια ορισμένη περιοχή σε ορισμένο τύπο φυσικής ή τεχνολογικής καταστροφής (Παπαδόπουλος, 2000). Ως φυσική επικινδυνότητα (Hazard) ορίζεται κάθε φυσικό φαινόμενο ή διαδικασία που έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει μικρή ή μεγάλη καταστροφή (Παπαδόπουλος, 2000). Ως καταστροφή ορίζεται το συνολικό αρνητικό αποτέλεσμα που καταγράφεται σε ορισμένη περιοχή εξαιτίας συγκεκριμένου φυσικού ή τεχνολογικού συμβάντος (Παπαδόπουλος, 2000).

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναλυθεί και να κατανοηθεί λεπτομερώς η σχέση μεταξύ αυτών των εννοιών, στις οποίες εμπεριέχεται μια σημαντική θεμελιώδης σχέση μεταξύ του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, προσφέροντας μια ολιστική αντίληψη της εκτίμησης του κινδύνου από τις δασικές πυρκαγιές. Η εξίσωση εκτιμά το επίπεδο στο οποίο ο πληθυσμός, το δομημένο περιβάλλον και οι κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες (τρωτότητα) είναι πιθανό να υποστούν ζημιά από ένα φαινόμενο με εγγενή καταστροφική δυναμική (επικινδυνότητα), η οποία εκπορεύεται από τις φυσικές ιδιότητες του περιστατικού όπως το μέγεθος, η συχνότητα, η διάρκεια, η θέση και η σφοδρότητα του. Εφόσον η επικινδυνότητα και η τρωτότητα των δασικών πυρκαγιών έχουν χωρική κατανομή και διάσταση, συνεπάγεται ότι στην εκτίμηση του κινδύνου θα πρέπει να εμπεριέχονται και οι χωρικές προεκτάσεις και μεταβολές του (Emmi and Horton 1995).

Έχει διαπιστωθεί ότι για τα φαινόμενα των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώνονται στην Ελλάδα δεν υπάρχει κάποιος συνολικός δείκτης εκτίμησης των επιπτώσεων που προκαλούν καθώς και υπολογισμού των φυσικών ιδιοτήτων τους. Θα ήταν πολύ σημαντικό να υπήρχε ένας παρόμοιος δείκτης ο οποίος θα αξιολογούσε συνολικά το κάθε περιστατικό πυρκαγιάς, συνυπολογίζοντας με μια διάφανη και τεκμηριωμένη μεθοδολογία όλες τις πιθανές επιπτώσεις που θα προκύψουν σε σχέση με την ένταση και σφοδρότητά τους, την απόκριση των οικοσυστημάτων και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η χρήση των νέων τεχνολογιών στην Ελλάδα, και ιδιαίτερα της γεωπληροφορικής η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε όλα τα στάδια της επιστήμης των δασικών πυρκαγιών στην Αμερική και την Ευρώπη είναι πολύ περιορισμένη και αποσπασματική, στερώντας έτσι από τους φορείς πολιτικής προστασίας χρήσιμες πληροφορίες. Αξιοποιώντας δεδομένα και μεθόδους της δασολογικής επιστήμης και γεωπληροφορικής μπορεί να επιτευχθεί η ορθή αποτίμηση της συμπεριφοράς και των επιπτώσεων κάθε πυρκαγιάς, καθώς και της σφοδρότητας της, ενώ μπορούν να συμβάλουν τόσο στην πρόβλεψη του τι θα συμβεί κατά τη διάρκεια όσο και στο τι ενδέχεται να συμβεί σε μελλοντικά περιστατικά πυρκαγιών σε όρους έντασης και επιπτώσεων.

1.2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Τα τέσσερα βασικά ερευνητικά ερωτήματα (Ε.Ε.) που τέθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή είναι τα εξής:

- I. Ποιες είναι οι βέλτιστες μέθοδοι και πρακτικές των επιστημών της δασολογίας και της γεωπληροφορικής στην χρήση και δημιουργία εισροών και δεδομένων που

- επιτρέπουν τη διενέργεια χωρικών προσομοιώσεων πρόβλεψης συμπεριφοράς πυρκαγιών με σύγχρονα λογισμικά γεωπληροφορικής;
- II. Ποια είναι τα απαραίτητα στάδια στον σχεδιασμό και στη διενέργεια προσομοιώσεων πρόβλεψης συμπεριφοράς πυρκαγιών ώστε τα αποτελέσματα να είναι αυξημένης ακρίβειας, και πώς μπορούν να εφαρμοστούν στην Ελλάδα;
- III. Ποιες είναι οι βέλτιστες μέθοδοι και πρακτικές των επιστημών της δασολογίας και της γεωπληροφορικής που συμβάλουν στην αξιολόγηση και χαρτογράφηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών και πώς μπορούν να εφαρμοστούν στην Ελλάδα;
- IV. Υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιαστεί μια μεθοδολογία η οποία θα μπορεί να διεξάγει μια ολική αποτίμηση και συνεκτίμηση του μεγαλύτερου εύρους των επιπτώσεων που προκαλούνται από τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα, ιεραρχώντας το κάθε περιστατικό βάσει της σημαντικότητας των επιπτώσεων που προκάλεσε;

1.3. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ

Οι στόχοι που τέθηκαν κατά την υλοποίηση της έρευνας, όπως προκύπτουν από τα ερευνητικά ερωτήματα, περιλαμβάνουν:

- Την εφαρμογή δασολογικών μεθόδων δειγματοληψιών και απογραφής της κατάστασης των συστάδων και της καύσιμης ύλης στα δασικά οικοσυστήματα της πιλοτικής περιοχής της νήσου Λέσβου (E.E.- I).
- Τον διαχωρισμό σε δασικά τμήματα και συμπλέγματα της νήσου Λέσβου και την περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης τους στα πρότυπα διεξαγωγής διαχειριστικών μελετών για την καλύτερη κατανόηση του κινδύνου που διατρέχουν από μελλοντικά περιστατικά πυρκαγιών (E.E.- I).
- Την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων χωρικής στατιστικής (μη γραμμική παλινδρόμηση) και την εκτίμηση των δυνατοτήτων των δορυφορικών εικόνων στη χαρτογράφηση βασικών μεγεθών της δασικής σύστασης και κατηγοριοποίησης της σε επίπεδο τοπίου, τα οποία είναι απαραίτητα για την προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιών κόμης (E.E.- I).
- Τη δημιουργία νέων προσαρμοσμένων μοντέλων καύσιμης ύλης για Μεσογειακά δάση κωνοφόρων και τη σύγκριση των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς πυρκαγιών που προκαλούν με αντίστοιχα τυπικά μοντέλα άλλων περιοχών (E.E.- I).
- Την προσομοίωση της συμπεριφοράς πέντε ιστορικών πυρκαγιών που συνέβησαν στη νήσο Λέσβο με το λογισμικό FARSITE και τον αλγόριθμο Minimum Travel Time και την εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων τους (E.E.- II).
- Την εκτίμηση της τρωτότητας βασικών υποδομών και υψηλής αξίας περιοχών της νήσου Λέσβου μέσω στοχαστικών προσομοιώσεων με τον αλγόριθμο Minimum Travel Time (E.E.- II).
- Τη μεταπυρική ανάλυση και εκτίμηση των επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου του Αυγούστου 2011, η οποία περιελάμβανε τους εξής επιμέρους στόχους (E.E.- III):

- Την εκτίμηση της σφοδρότητας καύσης και της μεταπυρικής κατάστασης της βλάστησης με μεθόδους δορυφορικής τηλεπισκόπησης.
 - Τη διενέργεια δειγματοληψιών στην περιοχή για την επί τόπου κατανόηση της σφοδρότητας καύσης και έντασης πυρκαγιάς.
 - Τη χωρική μοντελοποίηση της αναμενόμενης διάβρωσης της περιοχής.
 - Την προσομοίωση της συμπεριφοράς της με το λογισμικό FARSITE και τον αλγόριθμο Minimum Travel Time.
 - Τη χαρτογράφηση των επιπτώσεων πυρκαγιάς πρώτης τάξεως, με το λογισμικό γεωπληροφορικής First Order Fire Effects Model Mapping Tool (FOFEMMT).
- Την εννοιολογική και μεθοδολογική υλοποίηση ενός δείκτη υπολογισμού επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών με περιοχή εφαρμογής την Ελλάδα (E.E.- IV).
 - Την επικύρωση της ορθής λειτουργίας του δείκτη μέσω ανάλυσης των επιπτώσεων της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου (E.E.- IV).

Η πρωτοτυπία και συμβολή της παρούσας διατριβής στην επιστήμη αναδεικνύεται με μια δημοσίευση σε έγκριτο επιστημονικό περιοδικό (Palaiologou *et al.* 2013), ενώ σημαντικά τμήματα της αποτέλεσαν μέρος διεθνών και ελληνικών ερευνητικών προγραμμάτων με αποτέλεσμα την συγγραφή μιας επιστημονικής μελέτης που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Πυροσβεστική Επιθεώρηση (Καλαμποκίδης *κ.α.* 2012a), καθώς και από ανακοινώσεις σε διεθνή και ελληνικά συνέδρια (Kalabokidis *et al.* 2010, Καλαμποκίδης *κ.α.* 2012b, Καλαμποκίδης *κ.α.* 2012c, Kalabokidis *et al.* 2014a, Kalabokidis *et al.* 2014b). Το σημαντικότερο στοιχείο πρωτοτυπίας είναι η εννοιολογική και μεθοδολογική υλοποίηση του δείκτη υπολογισμού των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών, που αποδεδειγμένα δεν έχει μελετηθεί στην Ελλάδα, αλλά ούτε βρέθηκαν ανάλογες προσεγγίσεις σε δημοσιευμένες έρευνες του εξωτερικού. Ακόμα, για τη χαρτογράφηση της σύστασης της καύσιμης ύλης κόμης δεν έχει διενεργηθεί αντίστοιχη μελέτη στην Ελλάδα. Περαιτέρω, ο διαχωρισμός των μεσογειακών δασών κωνοφόρων σε τέσσερα διαφορετικά μοντέλα καύσιμης ύλης ενισχύει την πρωτοτυπία της διατριβής. Επιπλέον, για την πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου εφαρμόστηκε μια ολιστική προσέγγιση στην αποτίμηση τόσο της συμπεριφοράς, όσο και των επιπτώσεων που αυτή προκάλεσε στην κοινωνία και στο περιβάλλον. Τέλος, για πρώτη φορά στην Ελλάδα διενεργούνται προσομοιώσεις και εφαρμογές του αλγορίθμου Minimum Travel Time.

1.4. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Σημαντικό τμήμα της έρευνας διενεργήθηκε πάνω στην εκτίμηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών με μεθόδους και εργαλεία γεωπληροφορικής. Υπάρχει ένα σημαντικό πλήθος εργαλείων και μεθόδων γεωπληροφορικής που έχουν προκύψει από ερευνητικές προσπάθειες τα τελευταία 30 έτη στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) και την Ευρώπη (τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στο θεωρητικό πλαίσιο) και χρησιμοποιήθηκαν στην διατριβή. Τα αποτελέσματα έδειξαν τον ορθό τρόπο που πρέπει να γίνεται η χρήση αυτών των εργαλείων και μεθόδων αν θέλουμε να εκμεταλλευτούμε τις δυνατότητες τους στην Ελλάδα, από τη δημιουργία των απαιτούμενων εισροών μέχρι και τη διαχείριση των εκροών και την κατανόηση των αποτελεσμάτων τους.

Βασικό προαπαιτούμενο της ορθής εφαρμογής και χρήσης αυτών των εργαλείων και μεθόδων είναι οι εισροές, τόσο οι χωρικές όσο και οι περιγραφικές. Αυτές περιλαμβάνουν την περιγραφή ενός τοπίου με χωρικά δεδομένα (π.χ. τοπογραφία και βλάστηση), μετεωρολογικά δεδομένα από Αυτόματους Τηλεμετρικούς Μετεωρολογικούς Σταθμούς (ΑΤΜΟΣ), δορυφορικές εικόνες, στοιχεία για τη συμπεριφορά των πυρκαγιών, φωτογραφίες κ.α. Στην Ελλάδα υπάρχει ένα σημαντικό κενό στη διαθεσιμότητα και πρόσβαση σε τέτοια δεδομένα. Στα πλαίσια αυτής της διατριβής δημιουργήθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα με εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων έρευνας και ανάλυσης, τεκμηριωμένων βιβλιογραφικά και με ελεγχόμενη ακρίβεια. Συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η μεθοδολογία και παρατίθενται τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της καύσιμης ύλης κόμης (δομή, σύσταση, τύπος, κατανομή) της νήσου Λέσβου με χρήση μεθόδων γεωπληροφορικής και χωρικής στατιστικής. Για τη δημιουργία τους απαιτήθηκε η χρήση δεδομένων τα οποία προήλθαν από έρευνα πεδίου και συλλέχτηκαν εφαρμόζοντας δασολογικές μεθόδους έρευνας, καταγραφής και δειγματοληψίας σε πάνω από 100 δειγματοληπτικές περιοχές της νήσου Λέσβου. Τα χωρικά δεδομένα που πρόεκυψαν είναι ψηφιδωτής μορφής (raster) και έπειτα από μετεπεξεργασία, αξιοποιήθηκαν στη δημιουργία των απαιτούμενων εισροών για τα λογισμικά προσομοίωσης και πρόβλεψης συμπεριφοράς πυρκαγιών. Το κεφάλαιο αυτό δημοσιεύτηκε στο περιοδικό «International Journal of Remote Sensing» με τίτλο «Forest mapping by geoinformatics for landscape fire behaviour modelling in coastal forests, Greece» (Palaiologou *et al.* 2013).

Στο Κεφάλαιο 5 αναλύονται οι μέθοδοι μετεπεξεργασίας των δεδομένων πεδίου και η αξιοποίηση τους για τη δημιουργία τοπικά προσαρμοσμένων Μοντέλων Καύσιμης Ύλης (MKY). Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων βάσει βιβλιογραφικά τεκμηριωμένων μεθόδων και εξισώσεων, σε συνδυασμό με πληροφορίες και στοιχεία που πρόεκυψαν από άλλες έρευνες, δημιουργήθηκαν τέσσερα νέα MKY τα οποία περιγράφουν διαφορετικές καταστάσεις βλάστησης και καύσιμης ύλης εντός μεσογειακών δασών κωνοφόρων. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με γνωστά MKY τα οποία περιγράφουν καταστάσεις βλάστησης και καύσιμης ύλης σε περιοχές των ΗΠΑ, κάτω από διαφορετικά σενάρια συνθηκών πυρκαγιάς, ώστε να προκύψει καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς πυρκαγιάς που μπορούν να προσομοιώσουν. Τμήμα των αποτελεσμάτων αυτού του κεφαλαίου παρουσιάστηκε στο 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οικολογίας «Οικολογική Έρευνα στην Ελλάδα: Τάσεις, Προκλήσεις, Εφαρμογές» με τίτλο «Δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης δασικών περιοχών τραχείας πεύκης για προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιών» (Καλαμποκίδης κ.α. 2012c).

Το Κεφάλαιο 6 περιγράφει την εφαρμογή πυρκαγιολογικών αναλύσεων στη νήσο Λέσβο με τα λογισμικά FARSITE (Finney 2004), FlamMap (Finney 2006a) και Minimum Travel Time (MTT) (Finney 2002). Για τη διεξαγωγή αυτών των αναλύσεων αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα που προήλθαν από τα προηγούμενα δύο κεφάλαια, ενώ γίνεται αναλυτική περιγραφή στον τρόπο ανάκτησης δεδομένων από καταγραφές ΑΤΜΟΣ. Το λογισμικό FARSITE αξιοποιήθηκε στην προσομοίωση περιστατικών πυρκαγιών που συνέβησαν στη Λέσβο από το 2009 και μετά σε διάφορα οικοσυστήματα και τύπους βλάστησης. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν την αρχική ακρίβεια των προσομοιώσεων και βάσει αυτής, καθορίστηκαν οι προσαρμογές που πρέπει να γίνουν στις παραμέτρους μοντελοποίησης για την επίτευξη της βέλτιστης ακρίβειας. Βασικό αποτέλεσμα των προσομοιώσεων είναι η εκτίμηση των χαρακτηριστικών της πυρκαγιάς σε όρους έντασης, όπως το μήκος φλόγας, η θερμική ένταση του μετώπου και η θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας, ενώ η χωροχρονική εξέλιξη της εξάπλωσης της (βασισμένη στην ταχύτητα διάδοσης) αποτελεί παράμετρο που μπορεί να συμβάλει στις προσπάθειες καταστολής του φαινομένου. Ο βασικός στόχος των προσομοιώσεων με το λογισμικό FARSITE είναι να αποδειχθεί ότι μπορεί να

χρησιμοποιηθεί πριν και κατά τη διάρκεια ενός περιστατικού πυρκαγιάς και να προβλέψει τα βασικά μεγέθη της έγκαιρα και με ακρίβεια.

Οι προσομοιώσεις με το FlamMap και τον αλγόριθμο MTT διεξήχθησαν με τα ίδια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και στο FARSITE, με τη διαφορά όμως ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες παραμένουν αμετάβλητες στον χρόνο (με δυνατότητα όμως μεταβολής στον χώρο). Τα αποτελέσματα του FlamMap αφορούν τις συνθήκες που μπορεί να δημιουργηθούν σε μια περιοχή σε όρους έντασης πυρκαγιάς, με τη συνθήκη όμως ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των κελιών της περιοχής προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα χρησιμεύουν στην εκτίμηση του κίνδυνου που μπορεί να προκύψει από πυρκαγιές σε μια περιοχή, καθώς και στη χαρτογράφηση του. Επιπλέον, η ενεργοποίηση και εφαρμογή του αλγορίθμου MTT επιτρέπει την προσομοίωση μιας ή περισσοτέρων πυρκαγιών από κάποια πηγή ανάφλεξης (μέτωπο ή σημείο) και χαρτογραφεί τη χωροχρονική εξέλιξη της καθώς και τις κυρίαρχες ροές διάδοσης που η φωτιά θα ακολουθήσει στο πεδίο. Τα αποτελέσματα βοήθησαν στην εύρεση των περιοχών όπου κρίνεται αναγκαίο να εκπονηθούν διεργασίες διαχείρισης της καύσιμης ύλης, καθώς και στον αντιπυρικό σχεδιασμό υποδεικνύοντας τις θέσεις που πρέπει να στηθούν οι γραμμές άμυνας. Με τον MTT διενεργήθηκαν χιλιάδες προσομοιώσεις πιθανών πυρκαγιών με αποτέλεσμα να χαρτογραφηθούν οι χωρικές εξαρτώμενες πιθανότητες καύσης κάθε κελιού με τα αντίστοιχα μήκη φλόγας. Αυτά τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις θέσεις υποδομών και άλλων αξιών που βρίσκονται σε κίνδυνο στην Λέσβο (π.χ. οικίες εκτός οικισμών, αρχαιολογικοί χώροι, θέσεις φωλιάσματος πτηνών κ.α.) για να εντοπιστεί το ποιες από αυτές έχουν τις περισσότερες πιθανότητες να καούν, καθώς και σε πού η ένταση πυρκαγιάς θα είναι μεγαλύτερη. Τμήμα των αποτελεσμάτων αυτού του κεφαλαίου παρουσιάστηκαν στο 4th Fire Behavior and Fuels Conference «At the Crossroads: Looking Toward the Future in a Changing Environment» με τίτλο «Fire Behavior Simulation in Mediterranean Forests Using the Minimum Travel Time Algorithm» (Kalabokidis *et al.* 2014a).

Το Κεφάλαιο 7 αναφέρεται στα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη στην περιοχή της Λευκίμμης Έβρου, όπου την 24^η Αυγούστου 2011 ξεκίνησε μεγάλη πυρκαγιά με διάρκεια τέσσερις ημέρες και συνολικά καμένη έκταση περίπου 59.000 στρέμματα. Αρχικά, εκτιμήθηκε η σφοδρότητα καύσης εντός της καταγεγραμμένης περιμέτρου με μεθόδους δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Ακολούθησε η επίσκεψη στην περιοχή της πυρκαγιάς για δειγματοληψίες βάσει αξιόπιστων διεθνών πρωτοκόλλων και προτύπων για τη μεταπυρική εκτίμηση της σφοδρότητας πυρκαγιάς και καταγράφηκε η μεταβολή που επήλθε από την επίδραση της φωτιάς σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση. Επιπλέον, εκτιμήθηκε στο πεδίο η εδαφική σφοδρότητα καύσης και η συνολική ένταση καύσης. Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα WorldView-2 (τεσσάρων καναλιών με 2,5 m pixel size) ταξινομήθηκε σε τάξεις μεταπυρικής κατάστασης βλάστησης (ζωντανή, καψαλισμένη, καμένη και άφλεκτα ή άγονα εδάφη). Αποδείχτηκε ότι ένα μεγάλο τμήμα εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς σώθηκε, ενώ ένα αντίστοιχα μεγάλο τμήμα έχει δυνατότητες ανάκαμψης (καψαλισμένη και ζωντανή βλάστηση). Επιπλέον, έγινε δυνατή η χαρτογράφηση και η αναγνώριση των περιοχών όπου επλήγησαν ολοσχερώς από την πυρκαγιά, στις οποίες θα έπρεπε να δοθεί έμφαση στις προσπάθειες αποκατάστασης. Με τη χρήση του FARSITE και του FlamMap έγιναν προσομοιώσεις της συμπεριφοράς και εκτιμήθηκε η ένταση της (χάρτες ταχύτητας διάδοσης, θερμικής έντασης του μετώπου, μήκους φλόγας και εμφάνισης πυρκαγιάς κόμης), ενώ αποτυπώθηκαν και οι κύριες ροές διάδοσης της πυρκαγιάς.

Ακολούθησε η εκτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς με χρήση ειδικών λογισμικών και μεθόδων. Αρχικά, έγινε μια πρώτη προσεγγιστική αποτίμηση του αναμενόμενου δείκτη διάβρωσης που προέκυψε ως αποτέλεσμα της δράσης της πυρκαγιάς, αξιοποιώντας υπάρχοντα δεδομένα και μια τεκμηριωμένη επιστημονικά μεθοδολογία. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στο προσεγγιστικό μοντέλο υπολογισμού του δείκτη διάβρωσης είναι η

κλίση του εδάφους, η σφοδρότητα καύσης, η βλάβιση πριν τη φωτιά και η διαβρωσιμότητα του εδάφους. Ακόμα, διενεργήθηκε χωρικός υπολογισμός κάποιων από τις επιπτώσεις πρώτης τάξης, οι οποίες περιλαμβάνουν το φορτίο καύσιμης ύλης προ πυρκαγιάς και το καταναλωμένο φορτίο καύσιμης ύλης ανά τάξη μεγέθους και τύπο, τις εκπομπές αερίων ρύπων και μικροσωματιδίων κατά τη φλόγωση και μετάκαυση, τις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν στην επιφάνεια, το μέγιστο βάθος εισχώρησης χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών στο έδαφος και το ποσοστό του εκτεθειμένου ανόργανου εδάφους. Τμήμα των αποτελεσμάτων αυτού του κεφαλαίου δημοσιεύτηκε στο περιοδικό «Πυροσβεστική Επιθεώρηση» με τίτλο «Μελέτη και εκτίμηση επιπτώσεων και συμπεριφοράς της πυρκαγιάς Λευκίμμης Έβρου 2011» (Καλαμποκίδης κ.α. 2012a), ενώ ένα ακόμα τμήμα παρουσιάστηκε στο 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Πολιτικής και Διαχείρισης «Διαχείριση Προστατευόμενων Περιοχών» με τίτλο «Μεταπυρική ανάλυση δασικών πυρκαγιών σε προστατευόμενες περιοχές» (Καλαμποκίδης κ.α. 2012b).

1.5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Για τον προσδιορισμό του δείκτη είναι πολύ βασικό να μελετηθεί ο τρόπος ο οποίος καταρτίζονται άλλοι παρόμοιοι δείκτες ή μεθοδολογίες που αφορούν στην εκτίμηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών στην εγχώρια και διεθνή βιβλιογραφία. Θα πρέπει να κατανοηθεί το ποιοι παράγοντες εμπλέκονται στον προσδιορισμό των κριτηρίων επιπτώσεων αλλά και να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο συνυπολογίζονται όλοι οι διαφορετικοί παράμετροι που τους απαρτίζουν.

Για να αποφασιστεί η μεθοδολογία υπολογισμού του δείκτη έπρεπε να πληρούνται μια σειρά από προϋποθέσεις. Πρώτον, είναι βασικό η μέθοδος να μπορεί να διαβαθμίζει ανάλογα με τη σημαντικότητα τους όλες τις εισερχόμενες παραμέτρους. Σε μια δασική πυρκαγιά προκαλούνται πολλαπλές επιπτώσεις με πολύπλοκες μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις, αλλά λίγες είναι οι κρίσιμες οι οποίοι μπορούν να τροποποιήσουν άρδην τη μεταπυρική διαμορφωθείσα κατάσταση. Επιθυμητό είναι οι παράμετροι επιπτώσεων να μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ομοειδείς κατηγορίες και στη συνέχεια να ιεραρχούνται βάσει της κρισιμότητας και σημαντικότητάς τους. Οι παράγοντες αυτοί θα πρέπει να αφορούν τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Οι τύποι βλάβισης και καύσιμης ύλης, η τοπογραφία, η κατάσταση των δυνάμεων καταστολής, η σύνδεση της πυρκαγιάς με άλλα φαινόμενα φυσικών καταστροφών όπως π.χ. οι πλημμύρες, οι ζημιές σε υποδομές και το οικονομικό υπόβαθρο είναι κάποιες από τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό του δείκτη. Επιπλέον, το κοινωνικό περιβάλλον και η στάση της κοινωνίας πρέπει να ληφθεί υπόψη στη διαμόρφωση της σημαντικότητας κάθε παραμέτρου. Κατά την εξέλιξη της έρευνας, και με ενδελεχή μελέτη του θεωρητικού πλαισίου και της βιβλιογραφίας, προέκυψε ένας αριθμός σημαντικών παραμέτρων οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Επειδή οι δασικές πυρκαγιές δεν εκδηλώνονται με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας, είναι βασικό να μπορεί να προσαρμόζεται στο σύνολο της επικράτειας. Αυτό σημαίνει ότι έπρεπε να μελετηθούν όλες οι περιπτώσεις πυρκαγιών που μπορούν να εξελιχθούν στα διαφορετικά οικοσυστήματα της χώρας. Ως συνέπεια, η προσαρμοστικότητα του δείκτη είναι αυξημένη, αλλά αυτό δεν συνεπάγεται σε αυξημένη πολυπλοκότητα στην εκτίμηση του για τις διαφορετικές περιπτώσεις. Με τη μελέτη της βιβλιογραφίας και του θεωρητικού πλαισίου αναλύθηκαν αρκετές περιπτώσεις πυρκαγιών οι οποίες συνέβησαν έως σήμερα στη χώρα. Μετά τη μελέτη ενός κρίσιμου δείγματος πυρκαγιών, ακολούθησε ανάλυση με στόχο τον προσδιορισμό των κατηγοριών, κριτηρίων και παραμέτρων που τα αποτελούν. Ακόμα, αναλύθηκαν οι διαφορετικοί τρόποι χωρικής και χρονικής εξάπλωσης

τους, ενώ μελετήθηκαν και οι συνθήκες που επικρατούσαν σε κάθε περιστατικό. Έπειτα, μελετήθηκαν οι συνθήκες οι οποίες επικρατούσαν μέσα στο εκάστοτε δασικό οικοσύστημα, μελετώντας το ποιος τύπος καύσιμης ύλης υπήρχε και σε τι τοπογραφικές συνθήκες. Το επόμενο σημαντικό ιστορικό στοιχείο που αξιολογήθηκε είναι οι κοινωνικές και ανθρωπογενείς συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα και πως μπορούν να επηρεαστούν από την πυρκαγιά. Μια πυρκαγιά ενδέχεται να ώθησε σε μετανάστευση μια κοινωνία, να εξαφάνισε κάποιο είδος χλωρίδας ή πανίδας, να προκάλεσε ερημοποίηση, διάβρωση και διαχρονικές πλημμύρες.

Οι δασικές πυρκαγιές προκαλούν όχι μόνο απώλειες αλλά και οφέλη. Αυτές οι αρνητικές και θετικές επιπτώσεις είναι άμεσες και έμμεσες, με κάποιες από αυτές να επιδέχονται οικονομικής αξιολόγησης. Οι άμεσες απώλειες είναι συνήθως οι πιο ευδιάκριτες και μετρήσιμες. Αυτές προκύπτουν από την άμεση βλάβη που προκαλείται στους ανθρώπους, στα αγαθά/ υποδομές και στο περιβάλλον. Οι έμμεσες απώλειες προκύπτουν συνήθως ως αποτέλεσμα των άμεσων απωλειών, είναι κατά κανόνα μακροχρόνιες και δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν οικονομικά. Εδώ κατατάσσονται η ύφεση της οικονομικής δραστηριότητας, η διάλυση του κοινωνικού ιστού και οι ψυχολογικές συνέπειες λόγω της άμεσης καταστροφής. Τα άμεσα οφέλη αντιπροσωπεύουν τις άμεσες θετικές συνέπειες που προκύπτουν από την καταστροφή. Εδώ περιλαμβάνονται διάφορες μορφές βοήθειας που καταλήγουν στην πληγείσα περιοχή. Τα έμμεσα οφέλη είναι συνήθως δυσδιάκριτα, πολύ μακροπρόθεσμα, όχι καλά κατανοήσιμα και λίγο μελετημένα. Για παράδειγμα δεν συνειδητοποιούνται εύκολα τα έμμεσα οφέλη που έχει μια πυρκαγιά σε ένα δασικό οικοσύστημα π.χ. αναγέννηση και ανανέωση των δασών, αύξηση της κτηνοτροφικής δραστηριότητας (για περιπτώσεις πυρκαγιών σε χορτολιβαδικές και θαμνώδεις εκτάσεις), μείωση του μεσοπρόθεσμου κινδύνου πυρκαγιών, εξάλειψη ασθενειών και παθογενειών κ.α.

Για τον υπολογισμό του δείκτη, μετά από κάθε πυρκαγιά προβλέπεται η συλλογή στοιχείων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως εισροές στον δείκτη σχετικά με την εξέλιξη της, την κατάσταση της περιοχής δράσης της πυρκαγιάς πριν από την εκδήλωση της και τις προσπάθειες καταστολής της. Στη συνέχεια, πρέπει να εισαχθούν στοιχεία σχετικά με τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, όπως το αν η φωτιά έκαψε κατοικίες, υποδομές, ή οικισμούς, την ατμοσφαιρική επιβάρυνση που προκλήθηκε (με συνέπεια την επιβάρυνση της υγείας και ευζωίας των πολιτών), τη μείωση της αισθητικής αξίας ευρύτερων περιοχών κ.α. Όταν εισαχθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία, τότε γίνεται σύνδεση τους μέσω της επιλεγμένης μεθοδολογίας υπολογισμού του δείκτη και αξιολογείται το μέγεθος της πυρκαγιάς. Τμήμα των αποτελεσμάτων αυτού του κεφαλαίου παρουσιάστηκαν στο 7th International Conference on Forest Fire «Research Advances in Forest Fire Research» με τίτλο «A fire effects index for overall assessment of wildfire events in Greece» (Kalabokidis *et al.* 2014b).

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η βασική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αξιοποιήθηκε στα διάφορα τμήματα αυτής της διατριβής, ενώ παρατίθενται και εξηγούνται ορισμοί, θεωρίες και μέθοδοι. Συγκεκριμένα, στο υποκεφάλαιο 2.1 εξηγούνται ορισμοί οι οποίοι αναφέρονται πλείστες φορές στην παρούσα διατριβή και είναι σημαντικό να γίνει η μεταξύ τους διάκριση ώστε να μην υπάρχουν παρερμηνείες στην κατανόηση των αποτελεσμάτων. Στο υποκεφάλαιο 2.2 παρατίθενται δεδομένα, χαρακτηριστικά και χάρτες σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση των δασών και δασικών περιοχών της Ελλάδος. Οι πληροφορίες που μπορούν να αντληθούν από εκεί είναι χρήσιμες για την καλύτερη κατανόηση της φυσιογραφίας της χώρας, συμβάλλοντας στην ορθότερη αξιολόγηση του δείκτη επιπτώσεων πυρκαγιών Ελλάδας. Στο υποκεφάλαιο 2.3 περιγράφονται αναλυτικά τα είδη μαύρης και τραχείας πεύκης, κυρίαρχα δασικά είδη στις δύο περιοχές μελέτης (νήσος Λέσβος και Έβρος) στα οποία διενεργήθηκαν και δειγματοληψίες. Στο υποκεφάλαιο 2.4 εξηγούνται οι βασικές αρχές που διέπουν τις διεργασίες αναγέννησης της βλάστησης, πληροφορία που χρησιμοποιείται στην κατανόηση της αξιολόγησης του δείκτη επιπτώσεων πυρκαγιών Ελλάδας. Στο υποκεφάλαιο 2.5 εξηγούνται αναλυτικά οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στο έδαφος, πληροφορίες που χρησιμεύουν στην κατανόηση των μεθόδων και αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση που διεξήχθη στην πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου το 2011. Στο υποκεφάλαιο 2.6 παρουσιάζεται συνοπτικά το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών στον Ελλαδικό χώρο, παρέχοντας στοιχεία για τη συχνότητα, τα μεγέθη, την κατανομή και τις αιτίες εκδήλωσής τους.

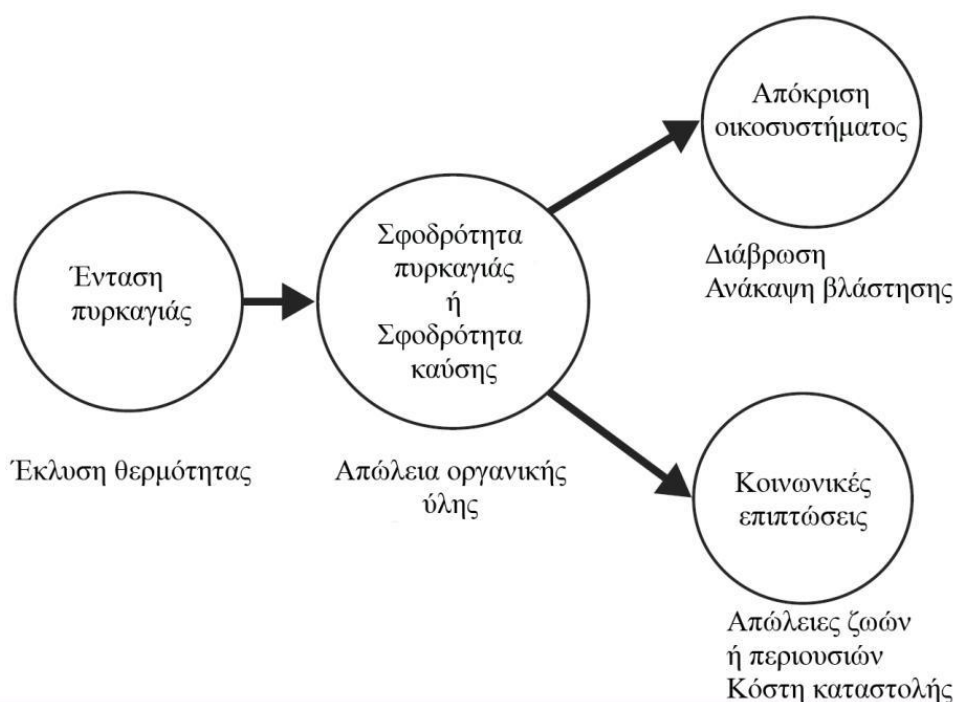
Στο υποκεφάλαιο 2.7 αναλύονται οι ορισμοί και υποθέσεις εργασίας των ΜΚΥ τα οποία δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε αυτή την έρευνα. Στο υποκεφάλαιο 2.8 παρουσιάζονται τα ευρήματα από την πρόσφατη βιβλιογραφία σχετικά με τις εφαρμογές στην εκτίμηση και χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης. Στο υποκεφάλαιο 2.9, περιγράφονται οι αρχές που διέπουν τη λειτουργία των βασικών λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ εξηγούνται οι απαιτήσεις τους σε εισροές, καθώς και οι εκροές που παράγουν. Τέλος, στο υποκεφάλαιο 2.10 παρουσιάζεται και εξηγείται αναλυτικά η θεωρία και μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας που εφαρμόστηκαν στο Κεφάλαιο 8. Επιπλέον βιβλιογραφική ανασκόπηση γίνεται τμηματικά στα επιμέρους κεφάλαια της διατριβής, με τρόπο που συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Τα περισσότερα από τα κεφάλαια αποτελούν δημοσιεύσεις σε περιοδικά ή παρουσιάσεις σε συνέδρια, και ως εκ τούτου διατηρήθηκε η βασική δομή τους με μικρές προσαρμογές.

2.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Ο όρος *ένταση πυρκαγιάς* (fire intensity) περιγράφει τη διαδικασία φυσικής ανάφλεξης και έκλυσης ενέργειας από καταναλισκόμενη οργανική ύλη κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων της πυρκαγιάς, ενώ δεν υπάρχει ένα μοναδικό μετρήσιμο μέγεθος που να περιγράφει όλες οι πτυχές αυτής της έκλυσης ενέργειας (Keeley 2009). Μια μέθοδος εκτίμησης της είναι η θερμική ένταση του μετώπου (fireline intensity), που είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα επιφανείας στο μέτωπο της φωτιάς (kWm^{-1}) (Byram 1959). Η θερμική ένταση του μετώπου συχνά χρησιμοποιείται για τα δασώδη οικοσυστήματα, καθώς υπάρχει καλώς τεκμηριωμένη βιβλιογραφία που δείχνει τη σχέση μεταξύ της θερμικής έντασης του μετώπου ή/και του μήκους φλόγας με το ύψος καψαλίσματος κόμης των δέντρων καθώς και με άλλες βιοφυσικές επιπτώσεις της πυρκαγιάς. Η ένταση πυρκαγιάς μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα παραγωγής θερμότητας: την κάθετη εισχώρηση στο έδαφος και την άνω μεταφορά στην υπερκείμενη βλάστηση και στην ατμόσφαιρα. Ανάλογη

με την ένταση πυρκαγιάς είναι η ένταση καταιγίδας, που χρησιμοποιεί παραμέτρους όπως η ταχύτητα του ανέμου και ο ρυθμός βροχόπτωσης για να περιγράψει την έντασή της. Η σχέση της έντασης πυρκαγιάς με τη σφοδρότητα της και τις επιπτώσεις που προκαλούνται από αυτή παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 2.1.

Η ένταση πυρκαγιάς μπορεί να υπολογιστεί και να μετρηθεί, ενώ υπάρχει συσχέτιση της με κάποιες επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών, όχι όμως κάθετη και απόλυτη σχέση. Ένας τρόπος υπολογισμού της είναι με μετρήσεις τάσης (thermocouple) σε χρονοσειρές κατά τη διάρκεια πειραματικών συνθηκών ή, κάτι που εφαρμόζεται συχνά, σε αναλογία με το παρατηρούμενο μήκος φλόγας και την ταχύτητα διάδοσης. Εμπειρικές μελέτες δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ του μήκους φλόγας και της θερμικής έντασης του μετώπου σε δασικά οικοσυστήματα και θαμνώνες (Andrews and Rothermel 1982, Johnson 1992, Wade 1993, Burrows 1995, Fernandes *et al.* 2000). Τα λογισμικά πρόβλεψης συμπεριφοράς πυρκαγιάς BehavePlus (Andrews 2009) και FARSITE (Finney 2004) μπορούν να εκτιμήσουν την ένταση της πυρκαγιάς, εφόσον εισαχθούν σε αυτά οι κατάλληλες εισροές. Η χρήση τέτοιων λογισμικών επιτρέπει την εκτίμηση (ή/και πρόβλεψη) κάποιων από τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς π.χ. θνησιμότητα δέντρων ή όγκος καψαλισμένης κόμης.



Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση της εκροής ενέργειας από μια πυρκαγιά (ένταση πυρκαγιάς), την επίδραση της σε όρους απώλειας οργανικής ύλης (σφοδρότητα καύσης ή πυρκαγιάς), την απόκριση του οικοσυστήματος και τις κοινωνικές επιπτώσεις (ΠΗΓΗ: Keeley 2009)

Ως σφοδρότητα καύσης μπορούν να οριστούν οι βραχυπρόθεσμες συνέπειες της πυρκαγιάς στη βλάστηση και στο έδαφος. Σε αυτόν τον ορισμό εμπεριέχεται η κατανόηση για το πώς η ένταση πυρκαγιάς επηρέασε τα οικοσύστημα που επλήγησαν, ενώ περιγράφει και την απώλεια της οργανικής ύλης του εδάφους και τη μετατροπή της υπέργειας βλάστησης σε στάχτη. Αφορά κυρίως τις άμεσες επιπτώσεις τόσο στο έδαφος, όσο και στη βλάστηση. Πολλές φορές γίνεται σύγχυση με τον όρο σφοδρότητα πυρκαγιάς, που ορίζει την απώλεια μόνο της οργανικής ύλης, ενώ στον όρο σφοδρότητα καύσης υπεισέρχεται και ένα τμήμα της απόκρισης του οικοσυστήματος που υπέστη τη φωτιά. Η σφοδρότητα καύσης εμπεριέχει τον ορισμό της έντασης πυρκαγιάς αλλά δεν ισχύει το αντίθετο. Όμοια ένταση

πυρκαγιάς μπορεί να παράγει διαφορετικές βαθμίδες σφοδρότητας καύσης, εξαρτώμενη από τη σύνθεση και δομή του οικοσυστήματος πριν την πυρκαγιά.

Στην προσπάθεια καθορισμού της συνολικής επίδρασης μιας πυρκαγιάς πρέπει να ερευνηθεί τόσο η απόκριση του οικοσυστήματος, όσο και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Με τον όρο απόκριση του οικοσυστήματος μπορεί να οριστούν οι μακροπρόθεσμες συνέπειες στη βλάστηση, στο έδαφος, στον υδροφόρο ορίζοντα και στην πανίδα. Η απόκριση οικοσυστήματος περιλαμβάνει διεργασίες που μεταβάλλονται ή προκαλούνται από την πυρκαγιά όπως η διάβρωση των εδαφών, η αναγέννηση της βλάστησης, η αποκατάσταση της φυτοκοινοτικής δομής, ο επαναποικισμός της πανίδας και χλωρίδας, υδρολογικές διεργασίες των λεκανών απορροής και μια πληθώρα από άλλες μεταβλητές απόκρισης. Η ένταση πυρκαγιάς και η σφοδρότητα πυρκαγιάς/ καύσης είναι μεγέθη τα οποία μπορούν να μετρηθούν και να εκτιμηθούν, αλλά η αξία τους έγκειται στην δυνατότητά τους να προβλέπουν τις αποκρίσεις του οικοσυστήματος, όπως η διάβρωση του εδάφους και η φυσική αναγέννηση. Συσχετίσεις μεταξύ της σφοδρότητας καύσης και της απόκρισης των οικοσυστημάτων που παρουσιάζονται σε ένα μέρος δεν πρέπει να θεωρούνται καθολικά αποδεκτές και εφαρμόσιμες για όλα τα άλλα οικοσυστήματα. Η απόκριση οικοσυστήματος συμπεριλαμβάνει και την απόκριση της πανίδας στις νέες συνθήκες που διαμορφώθηκαν μετά την πυρκαγιά.

Η εκτίμηση και πρόβλεψη της απόκρισης του οικοσυστήματος μπορεί να επιτευχθεί με στατιστικές μεθόδους ή μέσω άλλων εκτιμήσεων από έρευνες σε παρόμοια οικοσυστήματα, ή μέσω δειγματοληψιών σε περιοχές όπου έχουν καεί κατά το παρελθόν (άρα απαιτείται να έχει περάσει πολύς χρόνος πριν την επίσκεψη σε αυτές της περιοχές). Μεγάλο μέρος της δυσκολίας πρόβλεψης αυτών των επιπτώσεων είναι η εισροή πολλών παραγόντων στο καμένο οικοσύστημα που δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε εκ των προτέρων π.χ. εμφάνιση νέων περιστατικών πυρκαγιάς που δεν οφείλονται σε φυσικά αίτια και δεν συνάδουν με τα καθιερωμένα καθεστώτα πυρκαγιάς και οι ανθρωπογενείς πιέσεις (οικιστική ανάπτυξη, βόσκηση, γεωργία, ξύλευση, αναδάσωση, αναψυχή-συλλογή δασικών ειδών, δημόσια έργα). Οι επιπτώσεις για το οικοσύστημα δεν είναι μόνο αρνητικές αλλά υπάρχει μια πληθώρα θετικών επιπτώσεων όπως η ανανέωση του πληθυσμού, ο εμπλουτισμός του εδάφους με ανόργανη ύλη, η αύξηση του πληθυσμού ορισμένων ειδών, η εξάλειψη ασθενειών και παθογόνων παραγόντων κ.α.

Στις μεταπυρικές επιπτώσεις περιλαμβάνεται και ο κοινωνικός αντίκτυπος της πυρκαγιάς καθώς και το ευρύτερο κόστος (οικονομικό, ψυχολογικό, οικολογικό) που προκλήθηκε στην περιοχή. Συνδέεται και σχετίζεται με την *τροπότητα* μιας περιοχής και η αποτίμηση τους συμβάλει στην ευρύτερη εκτίμηση του κινδύνου. Περιλαμβάνονται οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές (πολίτες και προσωπικό ασφαλείας) και το κόστος καταστολής της πυρκαγιάς. Η αισθητική της πληγείσας περιοχής και ο αντίκτυπος στην αναψυχή του πληθυσμού αλλά και στον τουρισμό αποτελούν επίσης σημαντικές κοινωνικές επιπτώσεις. Τέλος, το οικονομικό πλήγμα που δέχτηκε η περιοχή μπορεί να υπολογιστεί και με οικονομικούς δείκτες και εκτιμήσεις εμπειρογνομόνων και περιλαμβάνει τις γεωργικές απώλειες, τις απώλειες από τη μείωση του τουρισμού, το κόστος αποκατάστασης οικιών και υποδομών, αποζημιώσεις κ.α. Οι κοινωνικές επιπτώσεις μπορούν σε μεγάλο ποσοστό να εκτιμηθούν και να μετρηθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την πυρκαγιά (1 έως 3 χρόνια). Εφόσον υπάρχει σχετική εμπειρία από παρόμοια περιστατικά στην ευρύτερη περιοχή, μπορεί να γίνει άμεση πρόβλεψη έπειτα από την πρώτη καταγραφή.

2.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

2.2.1. Ζώνες και Χαρακτηριστικά Βλάστησης της Ελλάδας

Ο Ντάφης (1973) στην "Ταξινόμηση της Δασικής Βλαστήσεως της Ελλάδος", βασιζόμενος κυρίως στο σύστημα του Braun-Blanquet και ακολουθώντας τη διάρθρωση της βλάστησης της ΝΑ Ευρώπης του Horvat (1962) με μικρές μόνο αποκλίσεις, διακρίνει τις ακόλουθες ζώνες βλάστησης (Εικόνα 2.2):

1. Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia ilicis*) (0 έως 600 m, παραλιακή, λοφώδης και υποορεινή).
2. Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia pubescentis*) (600 έως 1200 m, λοφώδης, υποορεινή).
3. Ζώνη δασών οξιάς-ελάτης και ορεινών παραμεσογειακών κωνοφόρων (*Fagetalia*) (800 έως 1600 m, ορεινή, υπαλπική).
4. Ζώνη ψυχρόβιων κωνοφόρων (*Vaccinio-Piceetalia*) (1600 έως 1700 m, ορεινή, υπαλπική).
5. Εξωδασική ζώνη υψηλών ορέων ή αλπική ζώνη (*Astragalo-Acantholimonetalia*), (1700 έως 2900 m).

Οι Γκουβάς και Σακελλαρίος (2011), λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τα συγγράμματα των Κοντός (1909), Ντάφης (1973), Horvat *et al.* (1974), Barbero and Quezel (1976), Barbero and Quezel (1980), Brofas *et al.* (2006), θεώρησαν ότι οι διάφορες κατηγορίες δασών και θαμνώνων της Ελλάδας που διακρίνονται στους δασικούς χάρτες των προαναφερθέντων μελετών αναπτύσσονται σε οκτώ διαφορετικές Δασικές Κλιματικές Ζώνες (ΔΚΖ) (όρος δανειζόμενος από τον Κοντό 1921). Οι οκτώ ΔΚΖ που προέκυψαν διαφοροποιούνται ελαφρώς σε σχέση με εκείνες του Κοντού (1921), ώστε να υπάρχει αντιστοιχία με τη γνωστή ταξινόμηση της δασικής βλάστησης της Ελλάδας κατά Ντάφη (1973), η δε σειρά τους από την ξηροθερμότερη μέχρι την υγροψυχροβιότερη ΔΚΖ δίνεται στον πίνακα 1 της εργασίας των Γκουβά και Σακελλαρίου (2011) και παρατίθεται αναλυτικά παρακάτω:

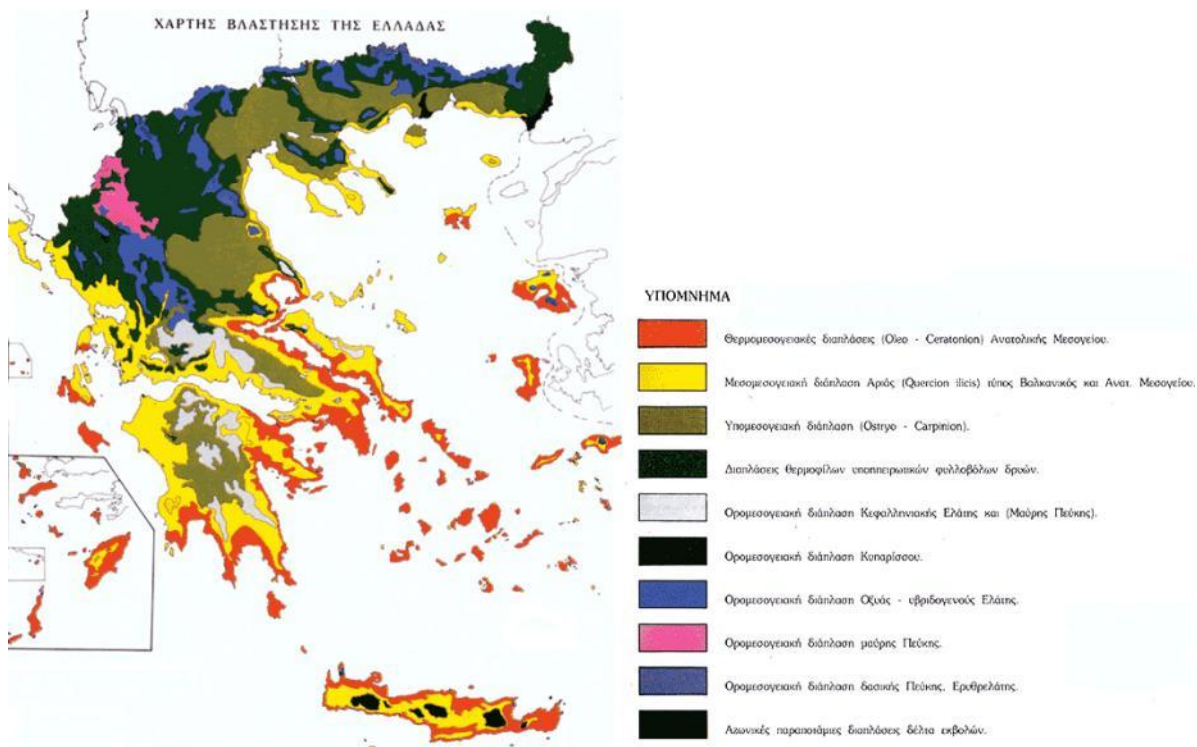
- ΔΚΖ1 - Θερμότερη και ξηρότερη ζώνη αειφύλλων πλατυφύλλων (*Oleo-Ceratonion*): Θαμνώνες αειφύλλων πλατυφύλλων με σχίνο (*Pistacia lentiscus*), αγριελιά (*Olea europaea* var. *silvestris*) ή χαρουπιά (*Ceratonia siliqua*), χωρίς όμως την παρουσία φυτικών ειδών της ΔΚΖ2, καθώς και δάση χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*), τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*) ή κυπαρισσιού (*Cupressus sempervirens*) με υπόροφο ίδιας σύνθεσης.
- ΔΚΖ2 - Υγρότερη ζώνη αειφύλλων πλατυφύλλων (*Quercion ilicis*): Θαμνώνες αειφύλλων πλατυφύλλων με αριά (*Quercus ilex*), κουμαριά (*Arbutus unedo*), γλιστροκουμαριά (*Arbutus andrachne*), δενδρόδες ρείκι (*Erica arborea*), καθώς και δάση χαλεπίου πεύκης, τραχείας πεύκης, κυπαρισσιού, αριάς, βαλανιδιάς (*Quercus macrolepis*) ή χνοώδους δρυός (*Quercus pubescens*) με υπόροφο ίδιας σύνθεσης. Στα προαναφερόμενα είδη συμπεριλαμβάνονται το σπάρτο (*Spartium junceum*) και η κουτσουπιά (*Cercis siliquastrum*).

- ΔΚΖ3 - Ψυχρότερη ζώνη αειφύλλων πλατυφύλλων (Ostryo-Carpinion): Θαμνώνες αειφύλλων πλατυφύλλων με κυρίαρχο είδος το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), συνήθως μαζί με φιλλύκι (*Phillyrea latifolia*), αειθαλές σφενδάμι (*Acer sempervirens*) ή ανατολικό γαύρο (*Carpinus orientalis*), χωρίς όμως την παρουσία φυτικών ειδών που χαρακτηρίζουν τις προηγούμενες ΔΚΖ, καθώς και δάση χαλεπίου πεύκης, τραχείας πεύκης ή κυπαρισσιού με υπόροφο ίδιας σύνθεσης.
- ΔΚΖ4 - Θερμότερη ζώνη φυλλοβόλων πλατυφύλλων (Quercion confertae): Δάση πλατυφύλλου δρυός (*Quercus conferta*), απόδισκου δρυός (*Quercus petraea*), ποδισκοφόρου δρυός (*Quercus pedunculata*), τσέρου (*Quercus cerris*) ή καστανιάς (*Castanea sativa*).
- ΔΚΖ5 - Ζώνη ορεινών παραμεσογείων κωνοφόρων (Abietion cephalonicae, Pinion nigrae): Δάση ελάτης (*Abies cephalonica* ή *Abies borissii regis*) ή δάση μαύρης πεύκης.
- ΔΚΖ6 - Ψυχρότερη ζώνη φυλλοβόλων πλατυφύλλων (Fagion moesiaca): Δάση οξιάς (*Fagus sylvatica*, *Fagus moesiaca* ή *Fagus orientalis*) και μικτά δάση αυτής με είδη των προηγούμενων ΔΚΖ.
- ΔΚΖ7 - Ζώνη ψυχρόβιων κωνοφόρων (Vaccinio- Picetalia): Δάση δασικής πεύκης (*Pinus silvestris*), ερυθρελάτης (*Picea excelsa*), σημύδας (*Betula pendula*) ή λευκόδερμης πεύκης (*Pinus leucodermis*) και μικτά δάση αυτών με είδη των προηγούμενων ΔΚΖ.
- ΔΚΖ8 - Αλπική και ψευδαλπική ζώνη (Astragalo- Acantholimonetalia).

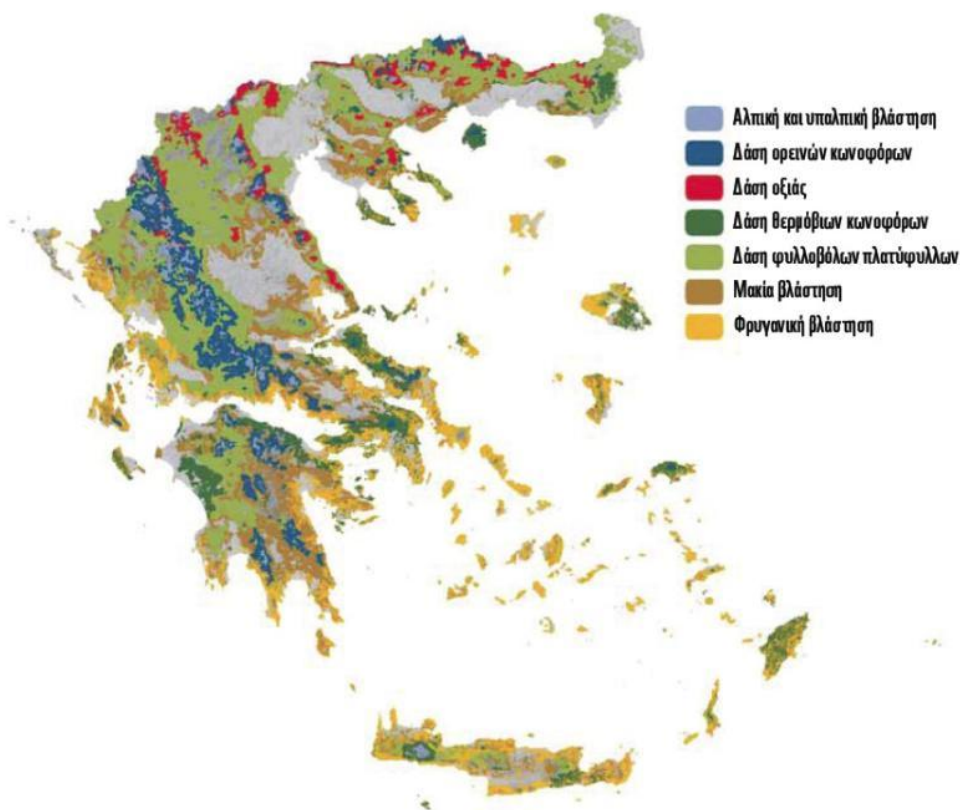
Επιπλέον, κατά θέσεις στη χώρα εμφανίζονται υποτροπικά συστήματα τα οποία συναντώνται κυρίως στην Κρήτη (το φοινικόδασος του Βάι και το φοινικόδασος στο Κουρταλιώτικο φαράγγι). Η πιο διαδιδόμενη χαρτογράφηση διεξήχθη από το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Αθηνών (ΙΔΕ-Α), έκδοση 1978 (Εικόνα 2.1), ενώ είναι διαδεδομένη και η χρήση του χάρτη του WWF Ελλάς (πρόγραμμα «Το Μέλλον των Δασών») (Εικόνα 2.3).

Από μελέτες σχετικά με την ιδιοκτησία των ελληνικών δασών (Παπασταύρου και Καρτέρης 1989), τα δημόσια δάση αποτελούν το 65,4% του συνόλου και καταλαμβάνουν το 12,9% της χώρας, ενώ τα μη δημόσια (ιδιωτικά, κοινοτικά, ιδρύματα, κλπ.) ανέρχονται στο 34,6% του συνόλου και καταλαμβάνουν το 6,5% της χώρας. Οι αμιγώς δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα αποτελούν το 25,5% της επικράτειας (Εικόνα 2.4), ενώ το 23,9% καλύπτεται από υποβαθμισμένες δασικές εκτάσεις, συνήθως αραιά δάση κωνοφόρων σε μίξη με αείφυλλα/ σκληρόφυλλα και φρύγανα (WWF Ελλάς¹).

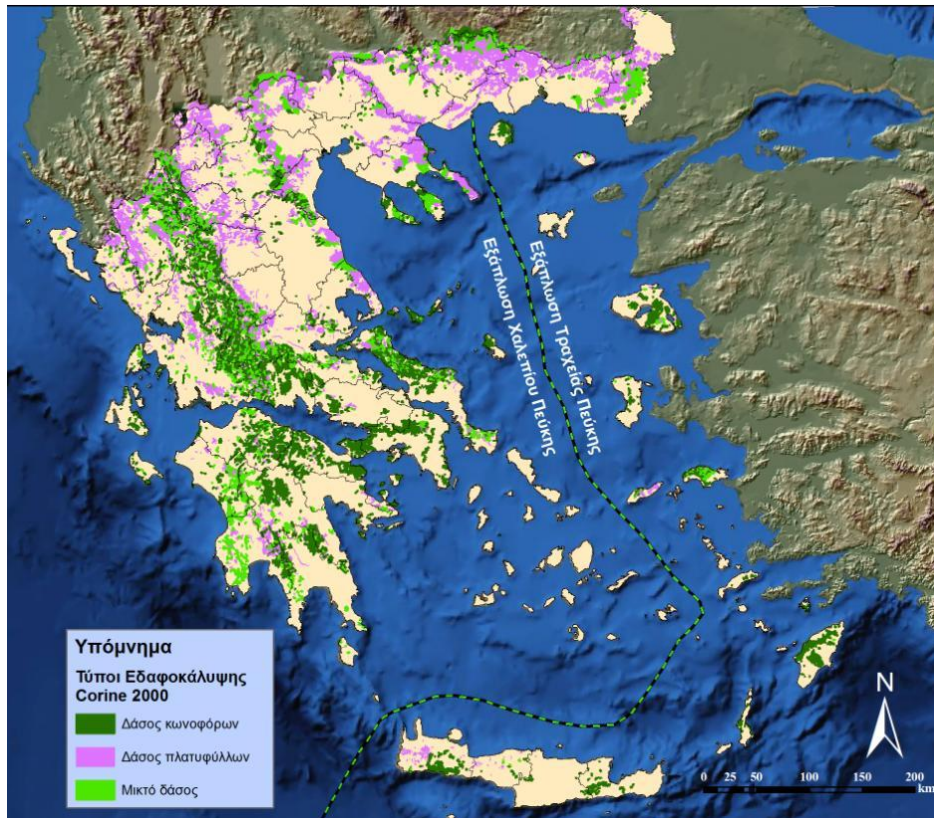
¹ <http://www.oikoskopio.gr/> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)



Εικόνα 2.2: Χάρτης Βλάστησης και Διαπλάσεων Ελλάδος (ΠΗΓΗ: ΙΔΕ-Α, Έκδοση 1978, συντάκτης Μαυρομάτης Γ.)



Εικόνα 2.3: Δασικές διαπλάσεις σύμφωνα με τη χαρτογράφηση του WWF Ελλάς (ΠΗΓΗ: πρόγραμμα «Το Μέλλον των Δασών»)



Εικόνα 2.4: Κύριες δασικές εκτάσεις και δασικοί τύποι της Ελλάδος

2.2.2. Διαχειριστικές μορφές

Οι διαχειριστικές μορφές των Ελληνικών δασών διαχωρίζονται σε τρεις κύριες μορφές: το σπέρμοφυές (υψηλό) δάσος, το πρεμνοφυές ή παραβλαστογενές και το διφυές². Στο σπέρμοφυές δάσος, η αναγέννηση (φυσική ή τεχνητή) γίνεται με σπόρους ή φυτάρια που προέρχονται από σπόρους. Βασικά γνωρίσματα των σπέρμοφυών δασών είναι οι μεγάλοι χρόνοι παραγωγής (περίτροποι χρόνοι), η συσσώρευση υψηλών αποθεμάτων ξύλου και βιομάζας και η παραγωγή τεχνικού ξύλου (δηλ. ξύλου για κατασκευές) σε μεγάλη αναλογία (Ντάφης 1989). Ο χρόνος παραγωγής κυμαίνεται για τα κυριότερα δασοπονικά είδη όπως η πεύκη, η ελάτη, η δρυς και η οξυά μεταξύ 60 και 100 ετών. Στην Ελλάδα, τα αποθέματα ξύλου και βιομάζας στα σπέρμοφυή δάση είναι αρκετά υψηλά και κυμαίνονται από 150-200 m³/ha (φτωχά), μέχρι 1000-1200 m³/ha για πλούσια σε ξυλοαπόθεμα δάση (Ντάφης 1989). Η παραγωγή τεχνικού ξύλου είναι σχετικά υψηλή στα πλατύφυλλα είδη (όπως η δρυς και η οξυά) και κυμαίνεται μεταξύ 40-60%, ενώ στα κωνοφόρα (όπως η πεύκη και η ελάτη) μπορεί να ξεπεράσει το 85%. Τα σπέρμοφυή δάση αποτελούν μόνον το 35% περίπου του συνόλου των δασών της Ελλάδος, ποσοστό πολύ μικρό, και ένα από τα χαμηλότερα μεταξύ των χωρών της παραμεσογειακής ζώνης (Ντάφης 1989).

Στην πρεμνοφυή ή παραβλαστογενή μορφή δάσους η αναγέννηση γίνεται με παραβλαστήματα και είναι δυνατή σε είδη όπως τα πλατύφυλλα των θερμότερων περιοχών (δρυς, οξυά, καστανιά κλπ.). Ο χρόνος παραγωγής κυμαίνεται από ένα έτος (π.χ. ιτιές) μέχρι 40 έτη για παραγωγή ξύλου μεγαλύτερων διαστάσεων, συνήθως όμως κυμαίνεται μεταξύ 25-35 ετών ανάλογα με το δασοπονικό είδος και την ποιότητα τόπου. Το ξυλοαπόθεμα των πρεμνοφυών δασών είναι χαμηλό (50-150 m³/ha), η δε παραγωγή τους συνίσταται κυρίως για χρήση ως καυσόξυλα (Ντάφης 1989). Στην Ελλάδα τα πρεμνοφυή δάση καταλαμβάνουν

² ΠΗΓΗ: <http://old.biol.uoa.gr/zoolumuseum/forestr.htm> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

έκταση που ξεπερνά τα 1.200.000 ha (48%). Τέλος, στη διφυή μορφή η αναγέννηση γίνεται τόσο με παραβλαστήματα όσο και με σπερμοβλαστήματα. Βρίσκονται σε μια ενδιάμεση θέση μεταξύ της σπερμοφυούς και πρεμνοφυούς μορφής και στην Ελλάδα καταλαμβάνουν έκταση περίπου 17% (Ντάφης 1989).

2.2.3. Δασικοί βιότοποι

Στη δασική βλάστηση διακρίνονται καταζωνικοί και αζωνικοί βιότοποι. Στους καταζωνικούς τύπους βλάστησης αναφέρονται οι μεσογειακοί βιότοποι, οι βιότοποι φυλλοβόλων δρυών και οι ορεινοί βιότοποι (Debazac and Mavrommatis 1971). Στους μεσογειακούς βιότοπους υπάγεται η βλάστηση των αιφυλλών σκληροφύλλων που κατέχουν επιφάνεια 315.000 ha, δηλ. 13,5% της συνολικής δασικής επιφάνειας της χώρας. Οι βιότοποι των φυλλοβόλων δρυών έχουν μεγάλη εξάπλωση στην ηπειρωτική Ελλάδα, καθώς η έκτασή τους εκτιμάται σε 750.000 ha περίπου (30% επί της συνολικής δασικής επιφάνειας).

Στους ορεινούς βιότοπους διακρίνονται δύο τύποι: της Ν. Ελλάδας (Πελοποννήσου και Κεντρικής Ελλάδας), που θεωρείται ως μεσογειακός ή ξηρός ορεινός βιότοπος και χαρακτηρίζεται από τις τυπικές μορφές της *Abies cephalonica* και την απουσία οξιάς, ενώ της Β. Ελλάδας που εκτείνεται βόρεια της προηγούμενης περιοχής χαρακτηρίζεται από την παρουσία της οξιάς (η συχνότητα της οποίας αυξάνει από νότο προς βορρά), καθώς και από μορφές της υβριδογενούς ελάτης. Στους ειδικούς τύπους βλάστησης (δηλ. αζωνικούς) αναφέρονται οι παρόχθιοι βιότοποι της πικροδάφνης (*Nerium oleander*), της λυγαριάς (*Vitex agnus-castus*), του πλάτανου (*Platanus orientalis*), του οξύφυλου φράξου (*Fraxinus oxyphylla*), του σκλήθρου (*Alnus glutinosa*), της λευκής λεύκης (*Populus alba*) και της μαύρης λεύκης (*Populus nigra*) (Debazac and Mavrommatis 1971).

2.3. ΤΑ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΤΡΑΧΕΙΑΣ ΠΕΥΚΗΣ ΚΑΙ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ

Η τραχεία πεύκη είναι ένα χαρακτηριστικό είδος πεύκης το οποίο φύτευται στην ανατολική Μεσόγειο, ιδιαίτερα στην περιοχή της Τουρκίας στην οποία κυριαρχεί σε ποσοστό άνω του 20% επί του συνόλου των δασικών περιοχών της χώρας. Σύμφωνα με τους Skordilis and Thanos (1995), στον Ελλαδικό χώρο υπάρχει σαφής γεωγραφική διαφοροποίηση μεταξύ της ηπειρωτικής Ελλάδος (Στρυμονικός Κόλπος) και των νησιών του Δ. Αιγαίου όπου κυριαρχεί η χαλέπιος πεύκη, και της ανατολικής Ελλάδος (Θράκη, Α. Μακεδονία), τα νησιά του Α. Αιγαίου και την Κρήτη όπου κυριαρχεί η τραχεία πεύκη (Εικόνα 2.4). Στην Ελλάδα, τα δύο είδη πεύκης καταλαμβάνουν μια έκταση περίπου 567.700 ha, δηλαδή το 8.71% των ελληνικών δασών και το 50% της συνολικής έκτασης που καλύπτουν όλα τα κωνοφόρα της χώρας (Κωνσταντινίδης 2003). Οι πληροφορίες που ακολουθούν αντλήθηκαν από την εργασία του Boydak (2004) σχετικά με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες της τραχείας πεύκης.

Μορφολογικές και βιοχημικές αναλύσεις απέδειξαν ότι η τραχεία και η χαλέπιος πεύκη είναι δύο ξεχωριστά είδη, παρόλο που σε πολλές περιοχές εντοπίζονται υβρίδια από τη διασταύρωσή τους (Miron 1967, Nahal 1986, Schiller 2000). Οι απαιτήσεις της τραχείας πεύκης σε νερό είναι μέτριες, παρόλο που μπορεί να αναπτυχθεί και σε σχετικά ξηρές περιοχές, αλλά η εξάπλωση της δυσχεραίνεται σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση κάτω των 400 mm, ενώ παρουσιάζει βέλτιστη ανάπτυξη σε υγρές περιοχές με τιμές άνω των 900 mm (Dirik 2000). Το είδος έχει υψηλές απαιτήσεις σε φως και αναπτύσσεται πολύ γρήγορα φτάνοντας σε ηλικίες που ξεπερνούν τα 250 έτη και σε ύψος ακόμα και 45 m με στηθαία διάμετρο 133 cm. Το μέσο ύψος της σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Skordilis and Thanos (1997) στον Ελλαδικό χώρο είναι συνήθως 15-20 m, με μέγιστο τα 30

m. Η θνησιμότητα αυξάνει μεταξύ των αρτίφυτων και δενδρυλλίων όταν η ποσότητα του φωτός μειωθεί κάτω του 60% (Pamay 1966, Özdemir 1977).

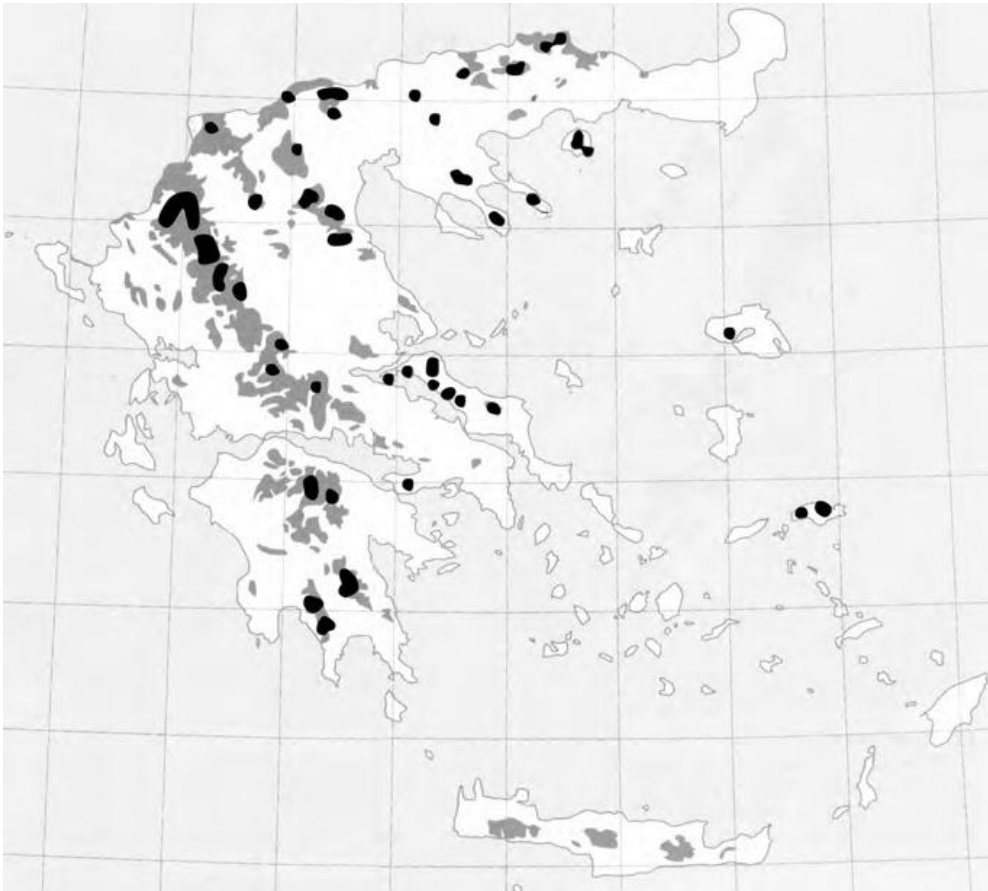
Ο μηχανισμός αναγέννησης της τίθεται συχνότερα σε ισχύ έπειτα από διαταραχές που προκαλούνται από περιστατικά πυρκαγιών, αλλά μπορεί να ενεργοποιηθεί και χωρίς την επίδρασή τους. Η τραχεία πεύκη είναι ένα πυρικός προσαρμοσμένο είδος και η αναγέννηση της εξαρτάται αποκλειστικά από την τράπεζα σπόρων στους κλειστούς κώνους των δέντρων. Αν επικρατούν οι κατάλληλες θερμοκρασίες, οι σπόροι της τραχείας πεύκης φυτρώνουν κατά τη διάρκεια της πρώτης μεταπυρικής περιόδου των βροχοπτώσεων, κυρίως στα χαμηλότερα υψόμετρα (Ayhan 1983, Odabaşı 1983, Thanos *et al.* 1989, Boydak 1993, Keskin *et al.* 2001), ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα η φυτρωτικότητα κατά το φθινόπωρο είναι σπάνια και πολλές φορές εκδηλώνεται στις αρχές της άνοιξης. Η φυσική αναγέννηση σε δάση τραχείας πεύκης στην Ελλάδα έχει μελετηθεί εκτεταμένα από τους Spanos *et al.* (2000) στην περιοχή της Θάσου. Συγκεκριμένα, η εμφάνιση τους συμβαίνει συνήθως με τη μορφή ενός μαζικού κύματος φύτρωσης είτε νωρίς το Φθινόπωρο (Thanos *et al.* 1996), ή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και νωρίς την άνοιξη (Skordilis and Thanos 1995). Οι Skordilis and Thanos (1995) διαπίστωσαν ότι στα δάση της Δαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου, η νάρκη των σπόρων απαγορεύει τη φυτρωτικότητα τους κατά το φθινόπωρο και αυτό γιατί πρέπει να προστατευτούν τα νεαρά άτομα από τις ψυχρές θερμοκρασίες του χειμώνα.

Τα αρτίφυτα αναπτύσσουν τάχιστα μια κεντρική ρίζα η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 65 cm μέσα σε έξι μήνες, ενώ αναπτύσσουν το κεντρικό τους στέλεχος με αργότερους ρυθμούς. Και για τα δύο είδη (χαλέπιος και τραχεία πεύκη) έχει καταγραφεί σε πλήθος περιπτώσεων ετήσια αύξηση ύψους μεταξύ 5 και 20 cm κατ' έτος για τα πρώτα 10 έτη της ηλικίας τους (Trabaud *et al.* 1985, Thanos and Marcou 1991, Thanos *et al.* 1996), ενώ προέκυψε ότι η αύξηση τους εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα τόπου και όχι τη γεωγραφική περιοχή. Μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα (4 με 7 έτη) αναπτύσσει κανονικούς κώνους, ενώ η διασπορά των σπόρων αρχίζει κυρίως τον Ιούνιο ή Ιούλιο και φτάνει έως και τον Δεκέμβριο αναλόγως του υψομέτρου. Κατά την ίδια περίοδο καταγράφεται και η μεγαλύτερη πτώση πευκοβελόνων.

Το είδος έχει αναπτύξει παχύ φλοιό ώστε να επιτρέπεται η επιβίωση του έπειτα από έρπουσες πυρκαγιές χαμηλής έντασης. Η εφαρμογή δασοκομικών μέτρων ολοκληρωτικής αποψίλωσης ή απόληψης των νεκρών υφιστάμενων κορμών έπειτα από μια διαταραχή έχει αποδειχτεί ότι επιδρά θετικά στην ισορροπία του νερού στα εδάφη κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, επιτρέποντας στα αρτίφυτα να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν (Eler *et al.* 1992). Επιπλέον, ο ρηχός βελονοτάπητας (2 έως 4 cm) μειώνει την εξατμησοδιαπνοή και καθυστερεί την ανάπτυξη ανταγωνιστικής βλάστησης, επιτρέποντας τη μεγαλύτερη επιβιωσιμότητα των αρτίφυτων (Ayhan 1983, Boydak 1993, Yaka 1993). Αν δεν επιτευχτεί αναγέννηση μετά το πέρας της πρώτης βλαστητικής περιόδου, η ανταγωνιστική βλάστηση καταλαμβάνει το χώρο ανάπτυξης και η αναγέννηση θα αποτύχει. Για τη διαμόρφωση της μελλοντικής μορφής του δάσους, οποιαδήποτε προσπάθεια αφαίρεσης των πυκνών δενδρυλλίων πρέπει να εφαρμοστεί έπειτα από την τρίτη ή τέταρτη βλαστητική περίοδο (Boydak 1993).

Η μαύρη πεύκη έχει συχνή παρουσία στη Ν. Ευρώπη, από την Καταλονία, την Κόρδοβα και τη Γρανάδα της Ισπανίας έως και τα Δ. Βαλκάνια, τη Μικρά Ασία, την Κύπρο και τον Πόντο. Στην Ελλάδα υπάρχουν τρεις σαφώς διαχωριζόμενοι οικότοποι τους είδους (Εικόνα 2.5): ο πληθυσμός της Πελοποννήσου, Στερεάς Ελλάδας και Εύβοιας, ο πληθυσμός της Πίνδου και ο πληθυσμός του Ολύμπου, Όσσας, Κάτω Ολύμπου, Περίων και Βερμίου, ενώ υπάρχουν και μεμονωμένοι πληθυσμοί στη Θάσο, Λέσβο, Σάμο, Ροδόπη, Σιθωνία και Άγιο Όρος (Κακούρος και Χρυσοπολίτου 2010). Οι οικότοποι της συναντώνται σε υψόμετρα από 600 έως και 2.150 m, ενώ το ύψος των ώριμων δέντρων κυμαίνεται μεταξύ 20 και 50 m. Η ηλικία πέρα από την οποία το δέντρο αρχίζει να έχει αναπαραγωγική ωριμότητα και

επάρκεια σπόρων για αναγέννηση είναι τα 15 με 40 έτη, ενώ οι κύκλοι μεγάλης παραγωγής σπόρων είναι από 2 έως 5 έτη. Η ανάπτυξη του δέντρου χαρακτηρίζεται ως μέτρια-γρήγορη με ρυθμούς 30-70 cm ανά έτος. Έχει μετρηθεί ότι η απόκριση των δέντρων στην πυρκαγιά διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία, καθώς τα λιγότερο επηρεασμένα δέντρα εμφανίζουν υψηλότερη επιβιωσιμότητα σε νησίδες, ενώ τα περισσότερο επηρεασμένα καλύτερη απόκριση στην περίμετρο των καμένων εκτάσεων (Ordóñez *et al.* 2005). Από την ίδια έρευνα προέκυψε ότι η παρουσία ώριμων δέντρων είναι σημαντική παράμετρος στην διαδικασία αναγέννησης γιατί έχουν υψηλότερη επιβιωσιμότητα και υψηλούς ρυθμούς παραγωγής σπόρων. Επιπλέον, αποδείχτηκε ότι τα μικρά δέντρα παράγουν συχνότερα κώνους αν έχουν διασωθεί σε νησίδες παρά μεμονωμένα, δείχνοντας τη σημασία της ενεργής τους προστασίας σε αυτές τις μικρές συστοιχίες δέντρων.



Εικόνα 2.5: Κύριες εκτάσεις εξάπλωσης και θύλακες της μαύρης πεύκης στην Ελλάδα (ΠΗΓΗ: Γκανάτσας 2010, στο Κακούρος και Χρυσοπολίτου 2010)

Οι σπόροι διασπείρονται στο τέλος του χειμώνα και στις αρχές της άνοιξης (Skordilis and Thanos, 1997). Όσοι φυτρώσουν και εξελιχθούν σε αρτίφυτα πριν από το τέλος της άνοιξης συχνά καίγονται από έρπουσες πυρκαγιές ή νεκρώνονται φυσικά και ως αποτέλεσμα, η εγκαθίδρυση της αναγέννησης είναι δύσκολη. Η παραγωγή σπόρων και φύτευση τους περιορίζεται σε περιοχές διασποράς κοντά σε άκαυτες δασικές άκρες ή από διασωζόμενες νησίδες εντός της καμένης έκτασης (Ordóñez *et al.* 2006). Μια επιπλέον δυσκολία στην επιβίωση των νεαρών αρτίφυτων είναι οι εγγενείς περιορισμοί σε διαθεσιμότητα νερού στις περιοχές Μεσογειακού κλίματος, κάτι που επηρεάζει σημαντικά τα πρότυπα εγκαθίδρυσης τους στο πεδίο (Callaway *et al.* 1991, Callaway and Davis 1998). Ως αποτέλεσμα, η αναγέννηση είναι επιτυχής κυρίως σε περιοχές και σημεία υψηλής ποιότητας τόπου και διαθεσιμότητας νερού.

2.4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες αναγέννησης των φυτών. Η πρώτη είναι η αναγέννηση με σπόρους και η δεύτερη η βλαστητική αναγέννηση. Στην πρώτη κατηγορία υπάρχουν δύο τρόποι: εμφάνιση αρτίφυτων και δενδρυλλίων μέσω κοιμώμενων σπόρων αποθηκευμένων σε τράπεζες σπόρων ή μέσω αποικισμού από προσφάτως διασπαρμένους σπόρους. Η φυσική αναγέννηση με σπορά εξαρτάται από πάρα πολλές προϋποθέσεις (Nyland 1996): άνθιση, επικονίαση, ωριμότητα και αφθονία σπόρων, επαρκής διασπορά, κατάλληλες συνθήκες στο έδαφος, ποσοστό καταστροφής σπόρων (παθογενείς παράγοντες, έντομα, πτηνά και θηλαστικά πριν και μετά τη διασπορά), επαρκής φωτισμός, υγρασία, θερμοκρασία και θρεπτικά συστατικά για την εγκαθίδρυση και επιβίωση των σπόρων κ.α. Η παραγωγή σπόρων υπόκεινται σε διαβαθμίσεις από έτος σε έτος και είναι δύσκολα προβλέψιμη, καθώς δεν διαφέρει μόνο κατά είδος και χρονικά, αλλά ακόμα και στο ίδιο είδος η παραγωγικότητα μπορεί να διαφέρει στα άτομα ή κατά θέσεις. Επιπλέον, η ποσότητα της πτώσης σπόρων εξαρτάται και αυτή από πολλούς παράγοντες όπως τη διαθεσιμότητα, το ύψος και την απόσταση από την πηγή σποράς, καθώς και από τους μηχανισμούς διασποράς (άνεμος, νερό, ζώα, βαρύτητα). Για παράδειγμα οι καρυοθραύστες Clark's (*Nucifraga columbiana*) έχουν παρατηρηθεί ότι μπορούν να μεταφέρουν σπόρους του είδους *Pinyon pine* μέχρι και 9 μίλια μακριά (Chambers *et al.* 1999).

Για τους αεροδιασπειρόμενους σπόρους, τα τοπογραφικά στοιχεία (π.χ. κλίση, έκθεση και θέση), η κυρίαρχη διεύθυνση και ένταση των ανέμων, το ύψος των μητρικών δέντρων στις παρυφές των ανοιγμάτων της βλάστησης (για περιπτώσεις σπόρων από δέντρα), καθώς και η αεροδυναμική και το βάρος τους καθορίζουν τόσο τα πρότυπα διασποράς όσο και τις αποστάσεις που μπορούν να μετακινηθούν. Οι περισσότεροι σπόροι δέντρων πέφτουν πολύ κοντά στα μητρικά δέντρα και η πυκνότητα τους μειώνεται απότομα σε απόσταση πέρα από μια ή δύο φορές του ύψους του δέντρου-σπορέα. Ισχυρότεροι άνεμοι και λιγότερες παρεμβολές έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες αποστάσεις διασποράς. Τα πιο διαδεδομένα σε εξάπλωση και έκταση δασικά είδη που αναγεννώνται-πολλαπλασιάζονται μέσω σποράς είναι η πεύκη, η ελάτη, η λαδανιά (*Cistus* spp.) κ.α.

Η βλαστητική αναγέννηση είναι μια πολύ σημαντική μέθοδος αναγέννησης η οποία εμφανίζεται σε πάρα πολλά είδη, κυρίως αειφύλλων-σκληρόφυλλων θάμνων, φρύγανων και πλατύφυλλων δέντρων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι βλαστητικής αναγέννησης: η πρεμνοβλάστηση και η ριζοβλάστηση. Η πρεμνοβλάστηση συμβαίνει κυρίως με παραβλαστήματα τα οποία βγαίνουν από οφθαλμούς σε λήθαργο (ριζώματα), οι οποίοι μεγαλώνουν ακριβώς κάτω από το φλοιώμα. Αρκετά είδη θάμνων (π.χ. πουρνάρι) μπορούν να αναβλαστήσουν από κοιμώμενους οφθαλμούς που παράγονται στις ρίζες (ριζοβλάστηση) και βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Όταν καεί ένα δάσος, οι οφθαλμοί ενεργοποιούνται και δίνουν νέα παραβλαστήματα και κατά την πρώτη βλαστητική περίοδο, η ταχύτητα ανάπτυξης τους είναι πολύ μεγάλη (διότι εκμεταλλεύονται τις αποθησαυριστικές ουσίες που συγκεντρώσαν στις ρίζες τους) (Κωνσταντινίδης και Γκατζογιάννης 2001).

Για την επιτυχία της αναγέννησης κάθε φυτικού είδους σημαντικό ρόλο παίζει και η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία. Υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες φυτών που μπορούν να αναπτυχθούν υπό διαφορετικές συνθήκες ηλιοφάνειας: τα σκιάφυτα (οξιά, ελάτη, αρκουδοπούρναρο κ.α.), τα ημισκιάφυτα (μαύρη πεύκη, ερυθρελάτη, καστανιά, πλατύφυλλος δρυς, κρανιά κ.α.), και τα φωτόφυτα (χαλέπιος πεύκη, τραχεία πεύκη, κυπαρίσσι, χνοώδης δρυς, σημύδα, η κουκουναριά, το φυλλίκι, το σπάρτο κ.α.). Τα σκιάφυτα είδη είναι τα φυτά που αντέχουν στη σκίαση για μεγάλο χρονικό διάστημα και έχουν μικρές ανάγκες σε ηλιακό φως, ενώ εξελίσσονται κανονικά όταν απελευθερωθούν από τη μακρόχρονη σκίαση. Αναπτύσσονται αργά, έχουν μεγάλο κύκλο ζωής και χαμηλή θνησιμότητα. Τα φωτόφυτα

είδη είναι τα φυτά που αντέχουν σε ελαφριά μόνο σκίαση για να αναπτυχθούν και έχουν ανάγκη το ηλιακό φως. Έχουν υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, υψηλή θνησιμότητα και μικρό κύκλο ζωής. Τα ημισκιάφυτα είδη είναι τα φυτά που ανάλογα με το χώρο που βρίσκονται συμπεριφέρονται άλλες φορές ως φωτόφυτα και άλλες ως σκιάφυτα. Έχουν μέτριους ρυθμούς ανάπτυξης, μέτρια θνησιμότητα και μέτριο κύκλο ζωής.

Μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει την αναγέννηση είναι το αν το φυτικό είδος είναι προσαρμοσμένο στη φωτιά. Τα μεσογειακά είδη επιθυμούν τη φωτιά και μπορούν να επιβιώσουν μιας δασικής πυρκαγιάς χάρη στους μηχανισμούς αντοχής που διαθέτουν, αλλά και της ταχύτατης φυσικής αναγέννησής τους. Αποκαλούνται πυρόφυτα ή πυρόφιλα (Le Houeou 1974), ενώ η νεότερη ορολογία τα όρισε ως πυράντοχα, και είναι σε θέση να αντέξουν ως ένα βαθμό καύσης συνεχίζοντας να αναπτύσσονται παρά τη ζημιά που υπέστησαν. Διακρίνονται σε παθητικά και ενεργητικά πυράντοχα. Τα παθητικά πυράντοχα εμφανίζουν υψηλό βαθμό αντοχής στις φλόγες και τις υψηλές θερμοκρασίες της φωτιάς, ως αποτέλεσμα ποικίλων μηχανισμών (μηχανικών, φυσικοχημικών κ.ά.), όπως είναι για παράδειγμα η φελλοφόρος δρυς με τον παχύ φλοιό που δύσκολα καίγεται και προστατεύει το κάμβιο (το ζωντανό τμήμα του φυτού) από την υπερθέρμανση. Άλλα τέτοια είδη είναι το αρμυρίκι, ο ίταμος και διάφορες δρύες που παρουσιάζουν χαμηλή ευπάθεια στη φωτιά λόγω υψηλής περιεκτικότητας μεταλλικών στοιχείων στο ξύλο τους. Περαιτέρω, η κουκουναριά με τη φυσική αποκλάδωση απορρίπτει τα κλαδιά της στην επιφάνεια τα οποία αποτεφρώνονται κατά την διάρκεια έρπουσων πυρκαγιών, αλλά και διάφορα γεώφυτα και φτέρες που φυλάσσουν τα αναπαραγωγικά τους όργανα κάτω από το έδαφος όπου δεν κινδυνεύουν από τις φλόγες (Κωνσταντινίδης 2003).

Τα ενεργητικά πυράντοχα είναι αυτά που ο μηχανισμός αναπαραγωγής τους ενεργοποιείται αμέσως μετά τη φωτιά. Ο μηχανισμός αυτός οδηγεί στη φυσική αναγέννηση της βλάστησης, είτε μέσω της βλαστητικής οδού (ριζοβλάστηση και πρεμνοβλάστηση) όπως συμβαίνει στο πουνάρι, στην κουμαριά, στο ρέικι, στην άρκευθο και στους υπόλοιπους μεσογειακούς θάμνους, είτε μέσω των σπόρων που προστατεύονται (συνήθως μέσα στους κώνους ή στο έδαφος) κατά τη διάρκεια της φωτιάς. Οι σπόροι στην συνέχεια θα ελευθερωθούν αμέσως μετά και οδηγούν στην αναγέννηση της καμένης έκτασης, όπως συμβαίνει με τα κωνοφόρα είδη της μεσογειακής βλάστησης (Κωνσταντινίδης 2003). Έρευνες έχουν δείξει ότι όλα τα είδη που πρεμνοφυούν αποθηκεύουν τις αποθησαυριστικές τους ουσίες στις ρίζες ώστε να συνεισφέρουν στην επανάκαμψη και αναγέννηση του φυτού έπειτα από τη φωτιά (Kraamp *et al.* 1986, Knox and Clarke 2005, Konstantinidis *et al.* 2005, 2006). Άλλα είδη δέχονται πολύ μικρή επίδραση από τη φωτιά γιατί προσάρμοσαν την ανάπτυξή τους σε αυτή, έχοντας π.χ. αναπτύξει τα εύφλεκτα μέρη τους πολύ ψηλά ώστε να μην είναι σε θέση να καούν από έρπουσες φωτιές.

Μια από τις βασικότερες οικολογικές προσαρμογές των φυτών είναι η απελευθέρωση σπόρων έπειτα από κάποια διαταραχή, όπως π.χ. η φωτιά, ο καπνός, αλλά και μετεωρολογικές συνθήκες. Η ικανότητα αυτή ονομάζεται βραδυχωρία (serotiny) ή κλειστοί κώνοι, και συναντάται κυρίως στα κωνοφόρα όπου οι κώνοι προφυλάσσουν τους σπόρους από τη φωτιά. Δύο ακόμα παράγοντες που επιδρούν στην αναγέννηση των δασών είναι η παρουσία εντόμων και η εκδήλωση ασθενειών στις πρόσφατα καμένες συστάδες. Υπάρχουν πολλά είδη φλοιοφάγων εντόμων τα οποία είτε νεκρώνουν τα επιζήσαντα δέντρα, μειώνοντας έτσι και τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα σποράς από αυτά, είτε επιτίθενται στα νεαρά δέντρα που εμφανίστηκαν. Σπανιότερα, μπορεί να εμφανιστούν ασθένειες στα επιζήσαντα δέντρα ή στα νεαρά δενδρύλλια, κυρίως από μύκητες και παράσιτα.

Τέλος, σημαντική παράμετρος της μεταπυρικής αναγέννησης είναι και το μικρόκλιμα της περιοχής. Περιοχές όπου υπάρχει επάρκεια βροχοπτώσεων και υγρασίας κατά την περίοδο μετά την πυρκαγιά μπορούν ευκολότερα να ανακάμψουν σε σχέση με άνυδρες και ξηρές. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, ο άνεμος καθορίζει σημαντικά τη διασπορά των σπόρων

από τα καμένα δέντρα. Αν όμως η περιοχή είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους από σταθερές διευθύνσεις, τότε είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα στη δυνατότητα αναγέννησης. Αυτό συμβαίνει γιατί πλέον έχει αφαιρεθεί η προστασία έναντι του ανέμου που προσέφερε η πυκνότητα των συστάδων, εκτρέποντας τον άνεμο πάνω από τις κόμες τους. Έτσι, μπορεί να μην επιτύχει καθόλου η φύτευση σπόρων ενώ ακόμα και τα νεαρά δέντρα μπορεί μετά από κάποια χρόνια να παρουσιάσουν το φαινόμενο του νανισμού ή και να νεκρωθούν. Άλλες φορές, η έντονη ηλιοφάνεια και η θέρμανση που προκαλεί δημιουργούν ανασταλτικούς παράγοντες για την εγκαθίδρυση ορισμένων ειδών τα οποία προϋπήρχαν στην περιοχή πριν τη φωτιά, όπως π.χ. η Ελάτη.

2.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η εδαφική σφοδρότητα καύσης μιας πυρκαγιάς μεταβάλλεται σημαντικά στο χώρο και εξαρτάται από το προϋπάρχον φορτίο της καύσιμης ύλης, τις συνθήκες υγρασίας, τον καιρό κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς και την τοπογραφία, δημιουργώντας ένα μωσαϊκό από χαμηλή, μέση και υψηλή σφοδρότητα καύσης που επηρεάζει τις φυσικές και χημικές συνθήκες του εδάφους (Robichaud and Miller 1999). Η θερμότητα που παράγεται από την ανάφλεξη της επιφανειακής καύσιμης ύλης (KY) μεταφέρεται σε ένα μεγάλο ποσοστό προς τα κάτω, είτε στο ανόργανο έδαφος, είτε στο χούμο (αν υπάρχει). Συγκεκριμένες ιδιότητες της KY όπως το φορτίο, το μέγεθος και η κατανομή, η σύσταση και η περιεχόμενη υγρασία επηρεάζουν τη συνολική ποσότητα της θερμότητας που παράγεται. Επιπλέον, περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος και η σχετική υγρασία θα επηρεάσουν την ανάφλεξη και την εκλυόμενη θερμότητα της πυρκαγιάς. Όλα τα παραπάνω επηρεάζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες της πυρκαγιάς όπως την ταχύτητα διάδοσης, την ένταση, το μήκος φλόγας, το χρόνο παραμονής σε κάθε σημείο και το ρυθμό παραγωγής θερμότητας.

Το στρώμα χούμου, καθώς και το αν θα αναφλεγεί και σε ποιο βαθμό, επηρεάζει σημαντικά τις επιπτώσεις που προκαλούνται στο έδαφος. Αν δεν υπάρχει, ένα μεγάλο τμήμα από τη θερμότητα της ανάφλεξης της επιφανειακής καύσιμης ύλης θα κατευθυνθεί απευθείας στο έδαφος. Αν υπάρχει, τότε πρέπει να εκτιμηθεί η πιθανότητα ανάφλεξης του καθώς και η ποσότητα της θερμότητας που θα εκλυθεί. Η ανάφλεξη του χούμου συμβαίνει είτε σε ένα μοναδικό σημείο, είτε σε αρκετές θέσεις. Επιπλέον, πέρα από τη λειτουργία του ως πηγή θερμότητας, η όλη διαδικασία δημιουργεί στάχτη η οποία μπορεί να εμποδίσει ή περιορίσει τη θερμότητα στο να διαφύγει προς τα πάνω, οδηγώντας την προς το έδαφος. Οι θερμοκρασίες εντός του ανόργανου εδάφους σε βάθος έως 5 cm σπάνια υπερβαίνουν τους 150°C και συνήθως δεν υφίστανται θέρμανση σε βάθη κάτω των 20-30 cm (DeBano 2000b).

Με το που εισχωρεί η θερμότητα εντός του ανόργανου εδάφους, η μεταφορά της εξαρτάται από την περιεχόμενη εδαφική υγρασία και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Συγκεκριμένα, η θερμοανοχή, η πυκνότητα και η αγωγιμότητα του εδάφους θα επηρεάσουν το ρυθμό έκλυσης και απορρόφησης της θερμότητας. Άλλοι παράγοντες όπως το μητρικό πέτρωμα, το πορώδες, η θερμοβαθμίδα και η υδραυλική αγωγιμότητα επηρεάζουν και αυτοί έμμεσα το ρυθμό έκλυσής της. Η απλούστερη περίπτωση μεταφοράς θερμότητας διαμέσου του ανόργανου εδάφους συμβαίνει όταν υπάρχουν τελείως ξηρά εδάφη. Ωστόσο, όταν προστίθεται υγρασία στο σύστημα του εδάφους η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας περιπλέκεται. Αυτό συμβαίνει γιατί η παρουσία του νερού αυξάνει τις τιμές τόσο της θερμοχωρητικότητας, όσο και της αγωγιμότητας του εδάφους. Η αύξηση της θερμοχωρητικότητας επιτρέπει στο έδαφος να απορροφά περισσότερη θερμότητα χωρίς αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ η αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας επιτρέπει την πιο γρήγορη μεταφορά της θερμότητας.

Ο συνδυασμός της ανάφλεξης και της μεταφοράς θερμότητας οδηγούν στη δημιουργία μιας μεγάλης θερμοβαθμίδας εντός του προφίλ του εδάφους. Η ανάφλεξη της οργανικής ύλης στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργεί εξατμιζόμενες οργανικές ουσίες οι οποίες μετακινούνται κάτω μέσα στο έδαφος παράλληλα με τη θερμοβαθμίδα μέχρι να φτάσουν σε ψυχρότερες περιοχές εντός του εδάφους και να συμπυκνωθούν. Αυτά τα σωματίδια έπειτα δημιουργούν μια επίστρωση με τα μέταλλα του εδάφους, σχηματίζοντας ένα υδροφοβικό στρώμα. Αυτό το φαινόμενο δεν σχηματίζεται όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 176 °C (DeBano 1981), ενώ καταστρέφεται σε θερμοκρασίες άνω των 288 °C (Savage 1974, DeBano 1976). Η αυξημένη σφοδρότητα καύσης συχνά θεωρείται λανθασμένα ότι συσχετίζεται θετικά με αυξημένη υδαταπωθητικότητα των εδαφών (Lewis *et al.* 2006). Ωστόσο, η υφή και ο τύπος τους εδάφους πριν την πυρκαγιά, η ποσότητα και το βάθος της κάλυψης από φυλλοτάπητα, η υγρασία του εδάφους και η οργανική ύλη του εδάφους, μαζί με τη θερμοκρασία και χρόνο καύσης της πυρκαγιάς, επηρεάζουν το βαθμό της τροποποίησης των εδαφών και της προκαλούμενης υδαταπωθητικότητας τους (DeBano 2000a, Doerr *et al.* 2000). Έντονη υδαταπωθητικότητα σχηματίζεται όταν η θεοκρασία του εδάφους είναι μεταξύ 176 και 204 °C (DeBano 1981). Αρκετές μελέτες περιγράφουν αναλυτικά το σχηματισμό υδροφοβικών εδαφών, φαινόμενο που είναι συχνό στα μεσογειακού τύπου δάση (Wallis and Horne 1992, DeBano 2000a,b, Doerr *et al.* 2000, Huffman *et al.* 2001). Υπάρχει ένας αριθμός από μηχανιστικά μοντέλα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της θέρμανσης του εδάφους (Campbell *et al.* 1995, Albini *et al.* 1996).

Μια πυρκαγιά μπορεί να επηρεάσει σημαντικά διάφορες συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου όπως την εξατμισοδιαπνοή, την κατείδυση, την αποθήκευση και την απορροή του νερού στην επιφάνεια και το έδαφος. Η καύση της κόμης της βλάστησης και των συσσωρευμένων οργανικών υπολειμμάτων της επιφάνειας του εδάφους προκαλεί μείωση της **παρεμπόδισης** (interception), διεργασία που προστατεύει το έδαφος μειώνοντας την κινητική ενέργεια της κάθε προσπίπτουσας σταγόνας από βροχή. Η κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής εκτιμάται ότι είναι περίπου 200 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της επιφανειακής απορροής (Μιμίκου 1994), ενώ χωρίς την παρεμπόδιση παρουσιάζεται αυξημένη συμπίεση της επιφάνειας του εδάφους και αποκόλληση τεμαχίων του λόγω της υψηλής ενέργειας πρόσκρουσης της κάθε σταγόνας.

Πολλοί φυσικοί παράγοντες καθορίζουν την επιρροή μιας φωτιάς στη μεταπυρική απορροή και τους ρυθμούς διάβρωσης, όπως η βλάστηση, η τοπογραφία, η κλίση και η έκθεση, η σφοδρότητα της φωτιάς, οι αλλαγές στις ιδιότητες του εδάφους και το μεταπυρικό ποσοστό βροχοπτώσεων (Walsh *et al.* 1992, Rubio *et al.* 1997, Inbar *et al.* 1998, Soto and Díaz-Fierros 1998, Thomas *et al.* 2000, De Luis *et al.* 2003). Ο σχηματισμός υδροφοβικού στρώματος και η μείωση της ευστάθειας και συνεκτικότητας των εδαφών έχουν άμεση επίπτωση στη διάβρωση του εδάφους. Όταν το έδαφος είναι υγρό μετά από το λιώσιμο των ετήσιων χιονοπτώσεων, η υδρολογική συμπεριφορά είναι κανονική, ωστόσο, όταν το έδαφος ξηραθεί τότε οι συνθήκες υδαταπωθητικότητας επανεμφανίζονται (Dekker and Ritsema 2000). Από έρευνες έχει αποδειχθεί ότι ο χρόνος που απαιτεί το έδαφος ώστε να ξεπεράσει το φαινόμενο της υδαταπωθητικότητας κυμαίνεται από 1 έως και 6 χρόνια, ανάλογα με τη σφοδρότητα της πυρκαγιάς (Dyrness 1976, Huffman *et al.* 2001).

Οι πιο σημαντικές χημικές ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζονται είναι η οργανική ύλη και η περιεκτικότητα άζωτου, θείου και φωσφόρου. Πολλά χημικά στοιχεία, όπως το μαγνήσιο και το ασβέστιο, απαιτούν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες για να επηρεαστούν, ενώ άλλα στοιχεία όπως το άζωτο απαιτούν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (Πίνακας 2.1). Με τη χρήση ενός προφίλ θερμοκρασίας του εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί το βάθος στο οποίο επηρεάζονται συγκεκριμένες ιδιότητες του.

Πίνακας 2.1: Θερμοκρασιακά όρια των χαρακτηριστικών του εδάφους

Χαρακτηριστικά του Εδάφους	Θερμοκρασιακό Όριο (°C)	Πηγή
Οργανική ύλη	100	Hosking 1938
Αζωτο	200	White <i>et al.</i> 1973
Θειάφι	375	Tiedemann 1987
Φώσφορος και Κάλιο	774	Raison <i>et al.</i> 1985a,b
Μαγνήσιο	1.107	DeBano 1991
Ασβέστιο	1.484	Raison <i>et al.</i> 1985a,b
Μαγγάνιο	1.962	Raison <i>et al.</i> 1985a,b

(ΠΗΓΗ: Πίνακας 3.1 από Knoerr *et al.* 2005)

Οι επιδράσεις της φωτιάς στην βιολογία του εδάφους (ζωντανοί οργανισμοί) συμβαίνουν σε πολύ χαμηλότερα κατώφλια θερμοκρασίας. Από τον Πίνακα 2.2 διαπιστώνεται ότι για όλες τις αναφερόμενες κατηγορίες το κατώφλι είναι κάτω των 95 °C. Η ανταπόκριση των μικροβίων του εδάφους μετά τη φωτιά κυμαίνεται μεταξύ του να μην υπάρχει κάποια εμφανή επίπτωση (σε χαμηλής εντάσεως πυρκαγιές), μέχρι την ολοκληρωτική αποστείρωση των επιφανειακών στρωμάτων (σε πολύ έντονες πυρκαγιές) (Joergensen and Hodges 1970, Renbuss *et al.* 1973). Παρόλο που μπορεί να υπάρχει μείωση στην αφθονία των μικροβίων μετά τη φωτιά, τα εναπομείναντα μικρόβια μπορούν να έχουν επίπεδα δραστηριότητας μεγαλύτερα από τη μικροβιακή κοινότητα που υπήρχε πριν τη φωτιά (Poeth *et al.* 1995), με αυξημένες δυνατότητες αποαζωτοποίησης και παραγωγής μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα.

Πίνακας 2.2: Θερμοκρασιακά όρια για βασικούς βιολογικούς οργανισμούς

Βιολογικό χαρακτηριστικό	Θερμοκρασιακό Όριο (°C)	Πηγή
Ρίζες Δέντρων	48	Hare 1961
Μικρά θηλαστικά	49	Lyon <i>et al.</i> 1978
Πήξη πρωτεϊνών	60	Precht <i>et al.</i> 1973
Μύκητες-υγρό έδαφος	60	Dunn <i>et al.</i> 1985
Χόρτα-υγρό έδαφος	70	Martin <i>et al.</i> 1975
Μύκητες-ξηρό έδαφος	80	Dunn <i>et al.</i> 1985
Βακτήριο <i>Nitrosomonas</i> spp.-υγρό έδαφος	80	Dunn and DeBano 1977
Βακτήριο <i>Nitrosomonas</i> spp.-ξηρό έδαφος	90	Dunn and DeBano 1977
Χόρτα-ξηρό έδαφος	90	Martin <i>et al.</i> 1975
VA μυκόρριζα	94	Klopatek <i>et al.</i> 1988

(ΠΗΓΗ: Πίνακας 4.1 από Busse and DeBano 2005, προσαρμοσμένος από τις εργασίες των DeBano 1991 και Neary *et al.* 1999)

Σημαντικά φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η υφή, η δομή, η περιεκτικότητα σε μέταλλα και το πορώδες μπορούν να επηρεαστούν από τη φωτιά. Τα θερμοκρασιακά κατώφλια για την υγρασία και δομή επηρεάζονται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ η περιεκτικότητα σε άμμο και άργιλο που διαμορφώνουν την υφή του επηρεάζονται σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3: Θερμοκρασιακά όρια για ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους

Χαρακτηριστικά του εδάφους	Θερμοκρασιακό Όριο (°C)	Πηγή
Διαβρωτικότητα του εδάφους	250	DeBano and Krammes 1966
Δομή του εδάφους	300	DeBano 1990

Σχηματισμός ασβεστίτη	300-500	Iglesias <i>et al.</i> 1997
Πηλός	460-980	DeBano 1990
Άμμος (quartz)	1.414	Lide 2001

(ΠΗΓΗ: Πίνακας 2.1 από DeBano *et al.* 2005)

Έπειτα από μια πυρκαγιά η κατάσταση των εδαφών της κάθε περιοχής μπορεί να είναι είτε ομοιογενής, είτε διαφοροποιημένη ανάλογα με τη σφοδρότητα της φωτιάς, το χρόνο που έκαψε και το βάθος καύσης. Ένας τρόπος υπολογισμού των επιπτώσεων στο πεδίο είναι με την εκτίμηση του βάθους καύσης (Ryan and Noste 1985). Το βάθος αυτό θεωρείται χαμηλό όταν ο βελονοτάπητας έχει καψαλιστεί ή καρβουνιάσει δίχως να καταναλωθεί, ενώ ο χούμος έχει παραμείνει ανεπηρέαστος. Σε μια χαμηλής σφοδρότητας καύση, η επιφάνεια του εδάφους είναι μαύρη αμέσως μετά τη φωτιά, η ξυλώδης καύσιμη ύλη έχει καψαλιστεί και ελαφρώς καρβουνιάσει, το ανόργανο έδαφος έχει παραμείνει ανεπηρέαστο, ενώ μικρά κλαδάκια και κάποια φύλλα παραμένουν πάνω στα φυτά (Εικόνα 2.6). Η όψη της στάχτης είναι μαύρη ενώ συνήθως οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι μεταξύ 100-200 °C στην επιφάνεια, ενώ η θερμοκρασία σε βάθος 1-2 cm είναι μικρότερη από 100 °C.

Το βάθος καψίματος θεωρείται μέτριο όταν ο βελονοτάπητας έχει καταναλωθεί μαζί με την μικρής διαμέτρου καύσιμη ύλη, ενώ ο χούμος έχει καρβουνιάσει σε μεγάλο βάθος ή έχει μερικώς καταναλωθεί. Μετά την πυρκαγιά υπάρχει ανοιχτόχρωμη στάχτη, ενώ είναι ευδιάκριτα τα κεντρικά τμήματα των θάμνων, δίχως όμως κλαδιά ή φύλλα (Εικόνα 2.7). Το ανόργανο έδαφος δεν παρουσιάζει εμφανείς αλλαγές, ενώ οι κορμοί έχουν καρβουνιάσει σε βάθος. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι μεταξύ 300-400 °C στην επιφάνεια, μεταξύ 200-300 °C σε βάθος 1-2 cm, και μεταξύ 40-50 °C σε βάθος 5 cm.

Το βάθος του καψίματος θεωρείται μεγάλο όταν ο βελονοτάπητας και ο χούμος έχουν καταναλωθεί πλήρως, ενώ το ανώτερο επίπεδο του εδάφους έχει αλλοιωθεί οπτικά εμφανίζοντας μια κοκκινωπή απόχρωση (Εικόνα 2.8). Επιπλέον, επηρεάζεται η δομή και υφή του εδάφους. Ένα μαυρισμένο στρώμα μπορεί να εκτείνεται αρκετά εκατοστά μέσα στο ανόργανο έδαφος ενώ δεν παρατηρούνται καθόλου υπολείμματα από κλαδάκια μικρής διαμέτρου. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι μεταξύ 500-750 °C στην επιφάνεια, μεταξύ 350-450 °C σε βάθος 1-2 cm, και πάνω από 100 °C σε βάθος 5 cm.



Εικόνα 2.6: Περιοχές χαμηλής σφοδρότητας καύσης. Διακρίνονται υπολείμματα από μερικώς καμένα κλαδιά μικρής διαμέτρου και φυλλοτάπητα.



Εικόνα 2.7: Περιοχές μέτριας σφοδρότητας καύσης. Διακρίνονται λίγα υπολείμματα από πλήρως καταναλωμένα κλαδιά μικρής διαμέτρου, στάχτη από το φυλλοτάπητα, ενώ οι ρίζες και το έδαφος έχουν επηρεαστεί μερικώς.



Εικόνα 2.8: Περιοχές υψηλής σφοδρότητας καύσης. Δεν διακρίνονται υπολείμματα από κλαδιά μικρής διαμέτρου ή φυλλοτάπητα, ενώ το έδαφος έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι επηρεασμένο σε βάθος.

2.6. ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Βάσει των δεδομένων που προκύπτουν από την έρευνα του WWF για τις πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο 1983-2008 (Τσαγκάρη κ.α. 2011) το σύνολο των καμένων εκτάσεων στην Ελλάδα ανέρχεται σε περίπου 1.400.000 ha, ενώ ο συνολικά καταγεγραμμένος αριθμός των πυρκαγιών είναι περίπου 38.000. Η περιφέρεια με τις περισσότερες καμένες εκτάσεις για όλη την υπό μελέτη περίοδο είναι η Πελοπόννησος με 27% επί του συνόλου των καμένων εκτάσεων, ενώ ακολουθεί η Στερεά Ελλάδα (20%), η Δυτική και Κεντρική Μακεδονία (11%) και τα Νησιά του Αιγαίου (11%), η Θεσσαλία (10%), η Κρήτη (6%) και η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (6%), η Ήπειρος (5%) και οι Ιόνιοι Νήσοι (4%). Είναι εμφανές ότι οι πάρα πολλές βροχοπτώσεις το φθινόπωρο και το χειμώνα στις περιοχές της ΒΔ Ελλάδος (Ιόνιο και Ήπειρος) επιδρούν θετικά στο να υπάρχει μικρός αριθμός περιστατικών πυρκαγιάς. Σε επίπεδο Νομών, τη μεγαλύτερη επίδραση από τις πυρκαγιές έχουν υποστεί οι Νομοί Ηλείας, Χίου και Σάμου οι οποίοι αντιμετώπισαν περιστατικά που κατέκαψαν το 48,6%, 36,4% και 33,8% των πραγματικών εκτάσεων τους αντίστοιχα (Τσαγκάρη κ.α. 2011). Από τα ίδια στοιχεία πρόέκυψε ότι επί του συνόλου των καμένων εκτάσεων το 78,8% ήταν δασικές και το 21,2% αγροτικές, εκ των οποίων το 7,1% ήταν λοιπές καλλιέργειες, το 6,7% σιτηρά, το 5,8% ήταν ελαιώνες και το 1,7% αμπέλια.

Όσον αφορά τα αίτια των δασικών πυρκαγιών, τα στοιχεία που αναλύθηκαν στην έρευνα του WWF και έχουν προέλθει από τη Δασική και Πυροσβεστική Υπηρεσία δείχνουν ότι το 11,2% επί των συνολικών περιστατικών είναι κακόβουλος εμπρησμός, ενώ ακολουθεί το κάψιμο αγρών (8,5%) και βοσκοτόπων (8%), οι κερανοί (4,1%), κάψιμο απορριμμάτων (2,8%), εργασίες υπαίθρου (2,6%), τα πεταμένα τσιγάρα (2,5%), βραχυκύκλωμα (1,1%) και

βολές στρατού (0,6%). Ένα τεράστιο όμως ποσοστό των πραγματικών αιτιών εκδήλωσης πυρκαγιάς μένει ανεξιχνίαστο (51,6%). Οι λόγοι και τα αίτια εκδήλωσης πυρκαγιάς δεν είναι τα ίδια για όλες τις περιοχές της Ελλάδος, μιας και υπάρχουν ενδείξεις ότι σε κάθε περιοχή συμβαίνουν για συγκεκριμένους λόγους και σκοπούς.

Η χρονική κατανομή των πυρκαγιών βάσει της ίδιας έρευνας δείχνει ότι το 62% των πυρκαγιών εκδηλώνεται το τρίμηνο Ιουλίου-Σεπτεμβρίου, καίγοντας το 85% των συνολικά ετήσιων καμένων εκτάσεων. Ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τα περισσότερα περιστατικά (24%), τα οποία καίνε ετησίως κατά μέσο όρο το 36% των καμένων εκτάσεων της χώρας. Αναλύοντας τις πρωτογενείς πληροφορίες σχετικά με τα περιστατικά πυρκαγιών των ετών 2000 έως και 2012 που παρέχει η Πυροσβεστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΠΥ), προέκυψαν τα στοιχεία του Πίνακα 2.4 σχετικά με τον αριθμό των περιστατικών και τα αντίστοιχα μεγέθη των καμένων εκτάσεων που προκαλούν:

Πίνακας 2.4: Αριθμός και ποσοστά περιστατικών ανά έκταση πυρκαγιάς από το 2000 έως και το 2012

	Από 1 έως 99 στρ.	Ποσοστό (%)	Από 100 έως 1000 στρ.	Ποσοστό (%)	Από 1001 έως 5000 στρ.	Ποσοστό (%)	Ετήσιος Συνολικός Αριθμός Περιστατικών
2000	7.929	90,2	769	8,8	90	1,0	8.788
2001	9.581	93,1	657	6,4	49	0,5	10.287
2002	5.107	97,2	144	2,7	5	0,1	5.256
2003	4.783	96,3	181	3,6	4	0,1	4.968
2004	5.582	95,1	282	4,8	8	0,1	5.872
2005	4.760	97,4	118	2,4	7	0,1	4.885
2006	5.328	96,9	167	3,0	4	0,1	5.499
2007	6.915	95,0	322	4,4	42	0,6	7.279
2008	7.287	95,2	347	4,5	22	0,3	7.656
2009	4.405	94,9	212	4,6	24	0,5	4.641
2010	4.663	95,7	198	4,1	13	0,3	4.874
2011	7.767	95,6	323	4,0	38	0,5	8.128
2012	6.025	94,6	301	4,7	41	0,6	6.367
Μ.Ο.	6.281	95,17	309	4,5	27	0,37	6.500

Από τα στοιχεία του Πίνακα 2.4 διαπιστώνεται ότι ένα μέσο ετήσιο ποσοστό άνω του 95% των περιστατικών που συμβαίνουν στην Ελλάδα καίνε εκτάσεις κάτω των 100 στρεμμάτων, ενώ εκτάσεις μεταξύ 100 και 1.000 στρεμμάτων εκδηλώνονται σε μέσο ετήσιο ποσοστό 4,5%. Οι πυρκαγιές πάνω από 1.000 έως και 5.000 στρέμματα αντιστοιχούν στο 0,4% των συνολικών ποσοστών, ενώ το υπόλοιπο 0,1% του συνολικού αριθμού των περιστατικών καίει εκτάσεις μεγαλύτερες των 5.000 στρεμμάτων. Από έρευνα στα στοιχεία της Δασικής και Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, και βιβλιογραφικές αναφορές (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004, Τσαγκάρη κ.α. 2011) προέκυψε ότι από την περίοδο της μεταπολίτευσης (1974) έως και το έτος 2012 εκδηλώθηκαν 180 περιστατικά πυρκαγιών που έκαψαν από 5.000 έως και 19.999 στρέμματα (Παράρτημα Ι: Πίνακας Π.1) και 99 περιστατικά που έκαψαν από 20.000 έως και 69.999 στρέμματα (Παράρτημα ΙΙ: Πίνακας Π.2). Στην ίδια περίοδο εκδηλώθηκαν 35 περιστατικά πυρκαγιών τα οποία έλαβαν πολύ μεγάλες διαστάσεις (άνω των 70.000 στρεμμάτων) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.5:

Πίνακας 2.5: Περιστατικά πυρκαγιών που έκαψαν άνω των 70.000 στρεμμάτων (1974-2012)

	Νομός	Ημερομηνία Έναρξης	Ωρα Έναρξης	Στρέμματα
1	ΗΛΕΙΑΣ	24/8/2007	14:38	400.000
2	ΗΛΕΙΑΣ	24/8/2007	15:08	320.000
3	ΗΛΕΙΑΣ	25/8/2007	1:15	300.000
4	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	9/7/2000	22:48	230.000
5	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	23/8/2007	10:30	220.000
6	ΕΥΒΟΙΑΣ	25/8/2007	8:10	180.000
7	ΑΤΤΙΚΗΣ	21/8/2009	20:46	175.000
8	ΑΧΑΪΑΣ	24/7/2007	11:10	150.000
9	ΕΥΒΟΙΑΣ	22/8/1977	5:00	150.000
10	ΧΙΟΥ	18/8/2012	2:25	150.000
11	ΛΙΜΝΗ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ	22/8/1977	5:00	149.740
12	ΣΑΜΟΥ	6/7/2000	19:10	145.000
13	ΡΟΔΟΣ	9/8/1987	12:00	130.000
14	ΜΑΝΔΡΑΣ-ΠΑΤΕΡΑ	11/8/1985	21:30	127.000
15	ΗΛΕΙΑΣ	24/8/2007	17:30	120.000
16	ΘΑΣΟΣ	15/8/1985	13:30	119.000
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	23/8/2007	14:00	113.000
18	ΡΟΔΟΣ	22/7/2008	11:40	110.000
19	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	24/8/2007	23:00	100.000
20	ΗΛΕΙΑΣ	4/8/1998	17:40	100.000
21	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	4/8/1981	11:45	100.000
22	ΜΕΣΣΗΝΙΑ (ΑΓΙΟΣ ΦΛΩΡΟΣ)	4/8/1981	n/a	100.000
23	ΚΑΛΑΜΑΤΑ (ΑΓΙΟΣ ΦΛΩΡΟΣ)	8/8/1981	12:00	94.600
24	ΕΥΒΟΙΑΣ	4/7/1998	14:50	88.000
25	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	5/8/1981	13:30	88.000
26	ΘΑΣΟΣ	16/8/1989	22:30	84.000
27	ΑΤΤΙΚΗΣ	11/8/1995	21:15	78.000
28	ΡΟΔΟΣ	4/9/1974	15:45	78.000
29	ΡΟΔΟΣ	4/9/1974	n/a	78.000
30	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	9/8/1987	12:00	73.500
31	ΡΟΔΟΣ	24/9/1992	22:00	72.000
32	ΧΙΟΣ (ΜΑΝΑΛΑ)	3/9/1981	12:00	71.250
33	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	17/8/1994	12:45	70.000
34	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	21/9/2000	12:50	70.000
35	ΚΑΠΑΝΔΡΙΤΗ-ΜΑΛΑΚΑΣΑ	5/9/1992	13:30	70.000

2.7. ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Για τη διεξαγωγή προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιάς είναι αναγκαία η χρήση δεδομένων και πληροφοριών που περιγράφουν την τοπογραφία, τις καιρικές συνθήκες, την περιεχόμενη υγρασία καύσιμης ύλης και την κατάσταση της βλάστησης. Οι παράμετροι που είναι δυσκολότερο να μοντελοποιηθούν και να χαρτογραφηθούν αφορούν στη βλάστηση και

ιδιαίτερα στις ιδιότητες της καύσιμης ύλης. Η μοντελοποίηση της είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί λεπτομερή ταξινόμηση της ΚΥ μέσω μετρήσεων των διαφόρων φυσικοχημικών ιδιοτήτων που την χαρακτηρίζουν στο πεδίο, ενώ ακολουθεί η ποσοτικοποίηση της μέσω της εφαρμογής μεθόδων και υποθέσεων εργασίας (Keane *et al.* 2001). Τα πρότυπα MKY δημιουργήθηκαν αρχικά από τους Rothermel (1972) και Albini (1976), ενώ περιγράφηκαν από τον Anderson (1982) και είναι 13 στο σύνολο. Στη συνέχεια, άλλα 40 MKY δημιουργήθηκαν από τους Scott and Burgan (2005) για να αναπαραστήσουν το ευρύ φάσμα συμπλεγμάτων ΚΥ των ΗΠΑ, όπου και χρησιμοποιούνται με επιτυχία. Επειδή όμως δεν δίνουν πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα αναφορικά με τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς σε ένα μεσογειακού τύπου οικοσύστημα, δημιουργήθηκε η ανάγκη τροποποίησης ορισμένων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών σε υπάρχοντα μοντέλα ή και εξ' ολοκλήρου δημιουργία νέων τοπικών MKY ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στα χαρακτηριστικά της ΚΥ (Ρούσσου 2008).

Τα MKY παρέχουν κυρίως πληροφορίες σχετικά με το φορτίο της καύσιμης ύλης σε κάθε κλάση, αλλά συνδέονται και άμεσα με το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας της κάθε κλάσης. Οι κατηγορίες χρονικής υστέρησης που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς και την ταξινόμηση του κινδύνου πυρκαγιάς είναι: 1-h, 10-h, 100-h και 1000-h και αντιστοιχούν σε στρογγυλά ξυλώδη καύσιμα στο εύρος μεγέθους: 0-¼", ¼"-1", 1"-3" και 3"-8" (0-0,635 cm, 0,635-2,54 cm, 2,54-7,62 cm και 7,62-20,32 cm) αντίστοιχα. Ο ρυθμός αλλαγής του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας είναι εξαρτημένος από τη διάμετρο του ξυλώδους αντικειμένου και του ρυθμού αλλαγής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι διάμετροι των αντικειμένων έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με τη χρονική τους υστέρηση στις μεταβολές της υγρασίας (time lag). Η χρονική υστέρηση είναι το μήκος χρόνου όπου ένα αντικείμενο αποκρίνεται στο 63,2% του νέου ισοδύναμου περιεχόμενου υγρασίας (υγρότερη ή ξηρότερη) (Εξίσωση 2.1). Οι μεγαλύτερες διαμέτροι ΚΥ έχουν μεγαλύτερη χρονική υστέρηση, που σημαίνει ότι αποκρίνονται πιο αργά στις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών.

$$\text{Περιεχόμενη υγρασία} = (\text{Χλωρό βάρος} - \text{Ξηρό βάρος} / \text{Ξηρό Βάρος}) * 100 \quad (2.1)$$

Τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός MKY το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για διενέργεια προσομοιώσεων στα λογισμικά BehavePlus, FARSITE και FlamMap (Andrews *et al.* 2008, Finney 2004 και 2006) είναι τα εξής (Αγγλικό σύστημα μονάδων):

- Το φορτίο της καύσιμης ύλης σε κάθε κλάση (1-h, 10-h, 100-h, live herbaceous και live woody) σε ton/acre
- Το ολικό βάθος του στρώματος της καύσιμης ύλης (ft)
- Η αντιπροσωπευτική τιμή του κλάσματος συνολικής επιφάνειας καύσιμης ύλης προς τον όγκο αυτής ανά τάξη (1-h, live herbaceous και live woody) σε ft²/ft³
- Η αντιπροσωπευτική τιμή της θερμογόνου ικανότητας της ΚΥ- ζωντανής και νεκρής (Btu/lb)
- Η αντιπροσωπευτική τιμή της υγρασίας σβησίματος της καύσιμης ύλης (%).

Τα MKY αφορούν πυρκαγιές οι οποίες συμβαίνουν στην επιφάνεια (έρπουσες) και όχι στις επικόρυφες. Για παράδειγμα, σε ένα πευκοδάσος το οποίο έχει υποστεί έντονη διαχείριση από τον άνθρωπο (προδιαγεγραμμένο κάψιμο, αποψιλώσεις, απομάκρυνση νεκρής καύσιμης ύλης), είναι πολύ πιθανό να αποδοθεί ένα MKY το οποίο ταιριάζει και σε χορτολιβαδικές εκτάσεις. Ακόμα δεν έχει ίδιες ιδιότητες ο υπόροφος ενός δάσους τραχείας πεύκης στη Μυτιλήνη σε σχέση με ένα αντίστοιχο στην Αγιάσο και ίσως χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά MKY.

2.8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Ευρήματα από την πρόσφατη βιβλιογραφία (π.χ. Keane *et al.* 2000, Cawsey *et al.* 2002, Xu *et al.* 2003, Falkowski *et al.* 2005, Silleos *et al.* 2006, Alexandridis *et al.* 2008, Karydas and Gitas 2011) αποδεικνύουν ότι χωρικές πληροφορίες οι οποίες είναι απαραίτητες για τη διενέργεια προσομοιώσεων δασικών πυρκαγιών με ειδικά λογισμικά μπορούν να δημιουργηθούν με ακρίβεια μέσω σύγχρονων εφαρμογών και μεθόδων δορυφορικής τηλεπισκόπησης, χωρικής στατιστικής και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), σε συνδυασμό με δεδομένα που προέρχονται από μετρήσεις πεδίου και άλλα χωρικά περιβαλλοντικά δεδομένα. Τα προϊόντα δορυφορικής τηλεπισκόπησης παρέχουν μια εναλλακτική πηγή πληροφοριών σχετικές με την ΚΥ επειδή μπορούν να προσφέρουν ευρεία χωρική και χρονική κάλυψη στο πολυφασματικό επίπεδο. Έτσι, καθιστούν εφικτή την αναβάθμιση των υφιστάμενων χαρτών, με ευκολότερη επιχειρησιακή εφαρμογή σε σχέση με τις παραδοσιακές αεροφωτογραφίες ή μετρήσεις πεδίου. Η αδυναμία ωστόσο να διαχωρίσουν το δασικό υπόροφο αποτελεί ένα σημαντικό περιορισμό που σχετίζεται γενικότερα με την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων και των αεροφωτογραφιών (Riano *et al.* 2003).

Οι παρακάτω μελέτες περιγράφουν υπάρχουσες μεθοδολογίες στη διεθνή βιβλιογραφία που εφαρμόστηκαν στη χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών της βλάστησης, με χρήση μεθόδων δορυφορικής τηλεπισκόπησης, μη γραμμικών στατιστικών μοντέλων και GIS. Στην περιοχή Gila National Forest στο Νέο Μεξικό, ΗΠΑ, οι Keane *et al.* (2000) χαρτογράφησαν όλες τις απαραίτητες χωρικές εισροές ΚΥ για τη μοντελοποίηση συμπεριφοράς πυρκαγιών μέσω συνδυασμού δορυφορικής τηλεπισκόπησης, μοντελοποίησης του εδάφους, της τοπογραφίας και των βιοφυσικών δεδομένων, επιτυγχάνοντας ακρίβεια περίπου 30-40%. Οι έρευνες των Xu *et al.* (2003), Falkowski *et al.* (2005), και Alrababah *et al.* (2011) απέδειξαν ότι η μοντελοποίηση της Κάλυψης Κόμης (Canopy Cover-CC) μπορεί να είναι πολύ ακριβής. Συγκεκριμένα, οι Xu *et al.* (2003) χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες Landsat και αεροφωτογραφίες, σε συνδυασμό με μεθόδους γραμμικής και πολλαπλής παλινδρόμησης και ανάλυσης κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA), για την εκτίμηση της CC σε περιοχές τύπου σαβάνας δρυών κατά την ξηρή περίοδο στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, επιτυγχάνοντας ακρίβεια της τάξης του $R^2=0,80$. Οι Falkowski *et al.* (2005) χρησιμοποίησαν μια δορυφορική εικόνα ASTER, μετρήσεις πεδίου και τη στατιστική μέθοδο των δέντρων ταξινόμησης (classification trees) για τη χαρτογράφηση της CC στο Idaho των ΗΠΑ, επιτυγχάνοντας ακρίβεια της τάξης του $R^2=0,76$. Οι Alrababah *et al.* (2011) χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες του Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+), αεροφωτογραφίες και μετρήσεις πεδίου για τη μοντελοποίηση της CC στην Τζάρα της Ιορδανίας με τη μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης, επιτυγχάνοντας ακρίβεια της τάξης του $R^2=0,8$. Οι Falkowski *et al.* (2005) και Alrababah *et al.* (2011) εκτίμησαν τη βιομάζα κόμης με ακρίβεια $R^2=0,46$ και $0,56$ αντίστοιχα. Οι έρευνες των Heiskanen (2006) και St-Onge *et al.* (2008) στόχευαν στην εκτίμηση του ύψους των δέντρων από δορυφορικές εικόνες. Συγκεκριμένα, ο Heiskanen (2006) υπολόγισε το ύψος των δέντρων και το χαρτογράφησε με δορυφορικές εικόνες τύπου Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR), νευρωνικά δίκτυα και δεδομένα από μετρήσεις πεδίου σε βιοτόπους της Φενοσκανδίας. Οι St-Onge *et al.* (2008) υπολόγισαν το ύψος των δέντρων από ένα ζεύγος στερεογραφικών δορυφορικών εικόνων IKONOS και ένα Ψηφιακό Ύψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model-DEM) προερχόμενο από το σύστημα LIDAR στο Κεμπέκ του Καναδά, επιτυγχάνοντας ακρίβεια της τάξης του $R^2=0,91$.

Οι έρευνες των Cawsey *et al.* (2002), Koutsias and Karteris (2003) και Van Wagendonk and Root (2003) στόχευαν στην αναγνώριση των ειδών βλάστησης και των τύπων

εδαφοκάλυψης. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιστοίχιση με MKY. Συγκεκριμένα, οι Cawsey *et al.* (2002) χρησιμοποίησαν ένα εύρος στατιστικών μεθόδων συμπεριλαμβανομένων των Γενικών Γραμμικών Μοντέλων (Generalized Linear Models-GLM) και Γενικών Αθροιστικών Μοντέλων (Generalized Additive Models-GAM) για κάθε είδος δέντρου και θάμνου της Νέας Νότιας Ουαλίας της Αυστραλίας. Οι Koutsias and Karteris (2003) καθόρισαν τα όρια των τύπων βλάστησης και των MKY με χρήση δορυφορικών δεδομένων που προέκυψαν από εικόνες τύπου Landsat Thematic Mapper (TM) (ξεχωριστά κανάλια, δείκτες βλάστησης και κύριες συνιστώσες), για τη δημιουργία ενός σχήματος ταξινόμησης στη χερσόνησο της Χαλκιδικής στην Ελλάδα. Οι Van Wagtendonk and Root (2003) χρησιμοποίησαν τις τιμές του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) που προέκυψαν από μια χρονοσειρά έξι δορυφορικών εικόνων Landsat TM για τη χαρτογράφηση των MKY στο Yosemite National Park των ΗΠΑ. Οι μελέτες των Lehmann *et al.* (2002) και Zenger *et al.* (2009) αποκάλυψαν τις δυνατότητες των GAM να μοντελοποιούν τα χαρακτηριστικά της βλάστησης όπως η κατάσταση, η χωρική κατανομή και η πυκνότητα. Οι Lehmann *et al.* (2002) χρησιμοποίησαν περιβαλλοντικές μεταβλητές πρόβλεψης για τη μοντελοποίηση της χωρικής κατανομής και πυκνότητας της ασημένιας φτέρης (*Cyathea dealbata*) στη Νέα Ζηλανδία. Τέλος, οι Zenger *et al.* (2009) χρησιμοποίησαν δεδομένα δορυφορικής τηλεπισκόπησης, GAM, GIS και δεδομένα πεδίου για την εκτίμηση της κατάστασης της αυτόχθονης βλάστησης της Νέας Νότιας Ουαλίας της Αυστραλίας. Βάσει της εμπειρίας που αποκομίστηκε από τη μελέτη των παραπάνω ερευνών, παρόμοιες τεχνικές και μεθοδολογίες εφαρμόστηκαν στην παρούσα διατριβή με στόχο την ακριβή εκτίμηση των χαρακτηριστικών των Μεσογειακών κωνοφόρων και άλλων δασικών οικοσυστημάτων (Κεφάλαιο 4).

2.9. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

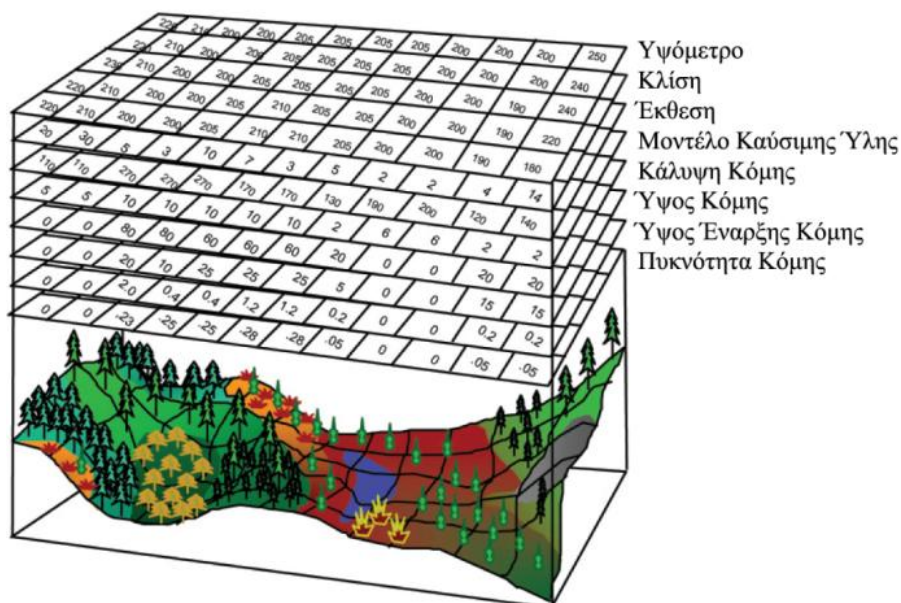
2.9.1. Το λογισμικό Fire Area Simulator (FARSITE)

Το λογισμικό FARSITE είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης της εξέλιξης των πυρκαγιών (Finney 2004), χρησιμοποιώντας χωρικές πληροφορίες για την τοπογραφία και την καύσιμη ύλη και αρχεία περιγραφής των μετεωρολογικών συνθηκών (Εικόνα 2.9). Υπολογίζει την εξάπλωση και συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια μιας περιόδου υπό ετερογενείς συνθήκες τοπογραφίας, καύσιμης ύλης και καιρού. Είναι ένα μοντέλο ντετερμινιστικό, που σημαίνει ότι μπορούν να σχετιστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα δεδομένα εισροών. Επιπλέον, προσομοιώνει ενέργειες για επίγεια και εναέρια καταστολή, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτη πολλαπλών σεναρίων «τι-θα-γίνει-αν» και στη συνέχεια να συγκρίνει τα αποτελέσματα.

Υπολογιστικά και χειροκίνητα συστήματα για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της φωτιάς στη φύση είναι διαθέσιμα εδώ και καιρό (Rothermel 1983, Andrews 1986). Τα μοντέλα που εμπεριέχονται σε αυτά τα συστήματα αναπτύχθηκαν για να υπολογίζουν το ρυθμό εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς (Rothermel 1972, Albini 1976), το σχήμα της (Anderson 1983, Alexander 1985), κ.α. Στο παρασκήνιο του λογισμικού FARSITE εκτελούνται, αναλόγως των επιλογών, μια σειρά από τέτοιες εξισώσεις και μοντέλα που αφορούν έρπουσες και επικόρυφες πυρκαγιές, πέταγμα καυτρών, μεταπυρική ανάφλεξη και επιτάχυνση της πυρκαγιάς, σε ένα δισδιάστατο μοντέλο εξέλιξης πυρκαγιών. Όλες οι εξισώσεις και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι μονοδιάστατα (π.χ. υπολογίζουν το ρυθμό εξάπλωσης ή την απόσταση πετάγματος καυτρών για ένα ορισμένο σετ συνθηκών σε ένα σημείο του χώρου). Το FARSITE επεκτείνει τα μοντέλα συμπεριφοράς πυρκαγιάς σε δύο

διαστάσεις χρησιμοποιώντας ορισμένες υποθέσεις εργασίας σχετικά με το σχήμα της πυρκαγιάς ώστε να παραχθεί η δισδιάστατη χωρική εξάπλωση και συμπεριφορά της. Οι εξισώσεις και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Surface fire (Rothermel 1972) όπως και στο BEHAVE (Andrews 1986)
- Crown fire (Van Wagner 1977, 1993, Rothermel 1991)
- Spotting from torching trees (Albini 1979, 1983)
- Point-source fire acceleration (FCFDG 1992)
- Dead fuel moisture (Nelson 2000)



Εικόνα 2.9: Σχηματική αναπαράσταση της σύνθεσης των χωρικών δεδομένων στα λογισμικά FARSITE και FlamMap (ΠΗΓΗ: Finney 2004)

Μερικά από τα αποτελέσματα των εξισώσεων που παράγει το FARSITE αναλύονται παρακάτω. Ως ταχύτητα διάδοσης (Rate of Spread) ορίζεται η ταχύτητα με την οποία η πυρκαγιά διαδίδεται μέσω της επιφανειακής ΚΥ και μετριέται σε μέτρα ανά λεπτό (m/min). Η μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης (ROSm_{max}) παρατηρείται στο μέτωπο της πυρκαγιάς, ενώ πλάγια ή προς τα πίσω είναι η μικρότερη ταχύτητα (Pyne *et al.* 1996). Η ταχύτητα διάδοσης διαφέρει ανάλογα με την ένταση του ανέμου, τον τύπο της ΚΥ, την περιεχόμενη υγρασία και την κλίση του εδάφους. Το μήκος της φλόγας (Flame Length) μιας έρπουσας πυρκαγιάς μετριέται κατά μήκος του άξονα της φλόγας στο μέτωπο της πυρκαγιάς, και αποτελεί ένα δείκτη της έντασης της. Η ένταση της φωτιάς αναφέρεται ως ο ρυθμός με τον οποίο εκλύεται θερμική ενέργεια και καταγράφεται σε μονάδες θερμότητας (cal) ή ισχύος (watt). Η θερμική ένταση του μετώπου (Fireline Intensity) είναι το πιο κοινό και πιο χρήσιμο μέγεθος μέτρησης της έντασης μίας πυρκαγιάς και μετριέται σε kW/m. Εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης αλλά και από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της πυρκαγιάς. Επίσης, εξαρτάται από την εκλυόμενη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας και την ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς και είναι ισοδύναμη με τη θερμότητα που εκλύεται από μία μονάδα μήκους του μετώπου στη μονάδα του χρόνου (Chandler *et al.* 1983). Τέλος, η εκλυόμενη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας (Heat per Unit Area) αναφέρεται στη θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκεια της καύσης ανά μονάδα επιφάνειας και μετριέται σε kJ ανά τετραγωνικό μέτρο (kJ/m²). Η εκλυόμενη θερμότητα δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν

κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, αλλά από τον τύπο της βλάστησης και την περιεχόμενη υγρασία της ΚΥ.

Το FARSITE θεωρεί ότι οι φωτιές είναι ελλειπτικές υπό ομοιόμορφες συνθήκες και το σχήμα τους καθορίζεται από τον άνεμο και την κλίση, ενώ το μέγεθός τους από την ταχύτητα διάδοσης. Ωστόσο, υπό μη ομοιόμορφες συνθήκες η ΚΥ, ο καιρός και η τοπογραφία μπορεί να διαφέρουν χωρικά γι' αυτό και πρέπει να εισαχθούν δεδομένα με χωρική και χρονική διάσταση. Απαιτεί χωρικές εισροές από τα GIS τόσο για την τοπογραφία όσο και για την ΚΥ, τα οποία είτε απαιτούνται ή είναι προαιρετικά και συνενώνονται στο λογισμικό δημιουργώντας ένα νέο αρχείο πεδίου (Landscape file-LCP) (Πίνακας 2.6).

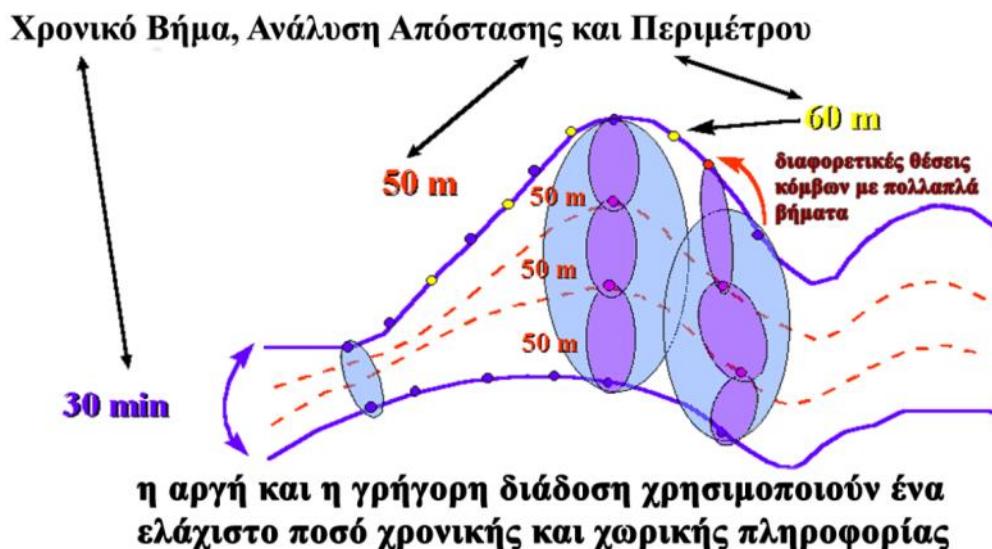
Πίνακας 2.6: Χωρικές εισροές των FARSITE και FlamMap

Όνομα Αρχείου	Απαιτείται?	Μονάδες Μέτρησης	Εναλλακτικές Μονάδες
Υψόμετρο	ναι	meters	feet
Κλίση	ναι	degrees	percent
Έκθεση	ναι	categories 1-25	degrees
Μοντέλο Καύσιμης Ύλης	ναι	13 NFFL models and expanded set of 40 models	custom or converted models
Κάλυψη Κόμης	ναι	categories 1-4	percent
Ύψος Δέντρων	όχι	meters*10	meters, feet, feet*10
Ύψος Έναρξης Κόμης	όχι	meters*10	meters, feet, feet*10
Πυκνότητα Κόμης	όχι	kg/m ³ *100,	kg/m ³ , lbs/ft ³ , lbs/ft ³ *100
Φορτίο Χούμου	όχι	Mg/ha	tons/acre
Κατακείμενη Ξυλώδης ΚΥ	όχι	coarse woody models	none

Οι παρακάτω παράγοντες ρυθμίζουν την εξομοίωση μέσω ελέγχων στην ανάλυση του χρόνου και του χώρου για όλους τους υπολογισμούς εξάπλωσης και συμπεριφοράς μιας φωτιάς (Εικόνα 2.10). Αυτό σημαίνει ότι ρυθμίζουν το πόσο συχνά το FARSITE διεξάγει νέους υπολογισμούς με νέες πληροφορίες σχετικά με την ΚΥ, τον καιρό και την τοπογραφία.

- **Χρονικό Βήμα (Timestep)** - Ο μέγιστος χρόνος που επιτρέπεται στην προσομοίωση να θεωρεί ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι σταθερές.
- **Ορατό Χρονικό Βήμα (Visible Timestep)** - Είναι το πόσο συχνά το FARSITE σχεδιάζει μια πυρική περίμετρο στον χώρο εξομοίωσης. Είναι πάντα ένας αριθμός πολλαπλάσιος του timestep και δεν μπορεί να είναι συντομότερος.
- **Ανάλυση Απόστασης (Distance Resolution)** - Η μέγιστη απόσταση εξάπλωσης που επιτρέπεται να επεκταθεί η εξάπλωση της φωτιάς σε ένα χρονικό βήμα. Αν υπερβεί η ανάλυση απόστασης σε ένα χρονικό βήμα, τότε το χρονικό βήμα συντομεύεται στο χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η εξάπλωση την καθορισμένη ανάλυση απόστασης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου εξαντληθεί το αρχικό χρονικό βήμα. Έτσι διασφαλίζεται ότι οι υπολογισμοί χωρίζονται μεταξύ τους το πολύ όσο είναι η ανάλυση απόστασης, ανεξαρτήτως του χρονικού βήματος.
- **Ανάλυση Περιμέτρου (Perimeter Resolution)** - Η μέγιστη απόσταση πάνω στην περίμετρο της πυρκαγιάς που επιτρέπεται στα σημεία της (vertices) να χωρίζουν μεταξύ τους. Αυτός ο έλεγχος είναι απαραίτητος γιατί τα vertices κατά μήκος των κυρτών τμημάτων ενός εξελισσόμενου μετώπου πυρκαγιάς διαχωρίζονται με αυξητικούς ρυθμούς καθώς η πυρκαγιά μεγαλώνει. Έτσι, πρέπει να προστίθενται σημεία ώστε να διατηρηθεί

ένα επίπεδο χωρικής λεπτομέρειας. Η ανάλυση περιμέτρου δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την ανάλυση απόστασης.



Εικόνα 2.10: Σχηματική αναπαράσταση των μεθόδων ελέγχου της προσομοίωσης (χρόνος, απόσταση και περίμετρος) στο λογισμικό FARSITE (ΠΗΓΗ: FARSITE 4.1 Online Help)

Η πυρκαγιά εξαπλώνεται σε ένα καθορισμένο χρονικό βήμα χρησιμοποιώντας σημεία που ορίζουν το μέτωπο της ως ανεξάρτητες πηγές μικρών ελλειπτικών κυματισμών (Richards 1990, Finney 2002). Αυτές οι μικρές ελλείψεις μπορούν να θεωρηθούν ως εστίες που δημιουργούν μια περιφέρεια γύρω από την αρχική περίμετρο, δημιουργώντας έτσι το νέο μέτωπο. Αυτή η διαδικασία ορίζεται ως ο κανόνας Huygens'. Ο κανόνας ονομάστηκε προς τιμή του Ολλανδού μαθηματικού του 17^{ου} αιώνα Christian Huygens, που πρότεινε αυτή τη μέθοδο για την περιγραφή της μετακίνησης των κυμάτων φωτός. Η εξάρτηση από ένα καθορισμένο σχήμα πυρκαγιάς, στην περίπτωση του FARSITE μια έλλειψη, είναι αναγκαία διότι από το υπάρχον μοντέλο εξάπλωσης της πυρκαγιάς μπορεί να προβλεφθεί μόνο ο ρυθμός εξάπλωσης του εμπρόσθιου τμήματος της πυρκαγιάς (Rothermel 1972). Η εξάπλωση της πυρκαγιάς για όλες τις άλλες διευθύνσεις απορρέει από αυτή την εμπρόσθια ταχύτητα διάδοσης χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές ιδιότητες της έλλειψης. Τα πολύγωνα της περιμέτρου της πυρκαγιάς είναι η κύρια δομή δεδομένων εκροών των προσομοιώσεων. Τα vertices των πολυγώνων της πυρκαγιάς περιέχουν πληροφορίες των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς της στο κύριο μέτωπο, δηλαδή τη θερμική ένταση του μετώπου και την ταχύτητα εξάπλωσης τα οποία μπορούν να παρεμβάλλουν για οπτικοποίηση σε ψηφιδωτή μορφή (raster) με τη μέθοδο της μέσης αντίστροφης σταθμισμένη απόστασης (inverse distance weighted average).

Τέλος, η αλλαγή στο ποσό της περιεχόμενης υγρασίας της νεκρής και πεσμένης ΚΥ κατά τη διάρκεια της μέρας είναι πολύ σημαντική για τον υπολογισμό των αλλαγών της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Σε γενικές γραμμές, τα ξηρότερα καύσιμα αυξάνουν την ταχύτητα διάδοσης, τη θερμική ένταση του μετώπου και την κατανάλωση καυσίμου. Το FARSITE χρησιμοποιεί ένα μοντέλο για να υπολογίσει την υγρασία ΚΥ κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σε άμεση ανταπόκριση με τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες. Τα ποσά υγρασίας της ζωντανής ΚΥ θεωρούνται σταθερά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (αλλά μπορούν να αλλαχθούν στο αρχείο .FMS πριν την έναρξη της προσομοίωσης). Η νεκρή υγρασία ΚΥ είναι μια πολύ σημαντική εισροή για τα δύο υπό-μοντέλα που χρησιμοποιούνται στο FARSITE:

- Το μοντέλο επιφανειακής συμπεριφοράς πυρκαγιάς (Rothermel 1972) για τον καθορισμό της ταχύτητας διάδοσης και έντασης των έρπουσων πυρκαγιών, και
- Το μοντέλο "Burnup" (Albini and Reinhardt 1995, Albini *et al.* 1995, Albini and Reinhardt 1997) για τον καθορισμό της κατανάλωσης ΚΥ και των εκπομπών αερίων (κατά τη διάρκεια της καύσης και μετά το πέρασμα του μετώπου).

Καθώς οι προσομοιώσεις του FARSITE εξελίσσονται, η περιεχόμενη υγρασία των τεσσάρων τάξεων μεγέθους ΚΥ προσαρμόζονται για τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες στη διάρκεια του χρόνου σε ένα τοπικό σημείο. Για να γίνει αυτό, το FARSITE χρησιμοποιεί τις υγρασίες νεκρής ΚΥ που παρέχονται ως "initial fuel moistures" από το αρχείο .FMS (για τις χρονικές κατηγορίες 1-h, 10-h and 100-h) και τις τροποποιεί σύμφωνα με τις αλλαγές στην θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και τη βροχόπτωση από το αρχείο καιρού (.WTR), από τη νεφοκάλυψη του αρχείου ανέμου (.WND), και από τις τοπικές βιο-γεωγραφικές συνθήκες (υψόμετρο, κλίση, έκθεση και κάλυψη κόμης) από το αρχείο τοπίου (LCP).



2.9.2. Το λογισμικό FlamMap και ο Αλγόριθμος Minimum Travel Time (MTT)

Το λογισμικό FlamMap (Finney 2002, 2006) σχεδιάστηκε για να επεκτείνει την εφαρμογή των καθιερωμένων μοντέλων προσομοίωσης συμπεριφοράς πυρκαγιών σε επίπεδο πεδίου (landscape). Όλες οι εξισώσεις και τα μοντέλα υπολογισμού συμπεριφοράς πυρκαγιών θεωρούν ότι η υγρασία καύσιμης ύλης, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου είναι σταθερές στο χρόνο. Το FlamMap έχει σχεδιαστεί για να ερευνά τη χωρική διαφοροποίηση της συμπεριφοράς της φωτιάς, έτσι αξιοποιεί το ίδιο σετ χωρικών εισροών που χρησιμοποιεί και το FARSITE. Οι υπολογισμοί της συμπεριφοράς της φωτιάς διενεργούνται αυτόνομα για κάθε κελί στο τετραγωνοποιημένο (gridded) πεδίο.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον υπολογισμό των πυρκαγιών κόμης. Είναι κρίσιμο να συμπεριληφθούν δεδομένα για την ΚΥ κόμης, το ύψος έναρξης κόμης (canopy base height-CBH) καθώς και την περιεχόμενη υγρασία φυλλώματος (foliar moisture content) (Εικόνα 2.11). Για να υπολογιστεί η δραστηριότητα της επικόρυφης πυρκαγιάς (crown fire activity-CFA) σε κάθε κελί πρέπει πρώτα να συγκριθεί η θερμική ένταση του μετώπου με το κατώφλι έντασης (intensity threshold). Αν η τιμή της θερμικής έντασης του μετώπου δεν υπερβεί αυτό το κατώφλι, τότε αποδίδεται η τιμή 1 που μεταφράζεται ως έρπουσα πυρκαγιά. Αν η τιμή υπερβεί ή γίνει ίση με το κατώφλι, τότε προκύπτει κάποιας μορφής επικόρυφη πυρκαγιά (ενεργή ή παθητική).

Για να καθοριστεί ποιος τύπος επικόρυφης πυρκαγιάς θα προκύψει (Van Wagner 1977), η αντίστοιχη ταχύτητα διάδοσης επικόρυφης πυρκαγιάς υπολογίζεται για την ισχύουσα διεύθυνση εξάπλωσης (Rothermel 1991) τροποποιημένη από το «ποσοστό κόμης που κάηκε» (crown fraction burned) (Van Wagner 1993), και συγκρινόμενο με την κρίσιμη ταχύτητα διάδοσης (critical rate of spread) υπολογισμένη από την πυκνότητα κόμης (canopy bulk density-CBD). Αν η πηγή των δεδομένων CBD βασίζεται σε μεθόδους που χρησιμοποιούν εξισώσεις βιομάζας (μέθοδος τρεχούμενων μέσων-running means), τότε η μέθοδος των Scott and Reinhardt (2001) παράγει τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ η μέθοδος του Finney (1998) αναμένεται να υποεκτιμήσει την πιθανότητα εμφάνισης ενεργής πυρκαγιάς κόμης. Αν το κατώφλι της κρίσιμης ταχύτητας διάδοσης δεν ισοφαριστεί, τότε η πυρκαγιά περιορίζεται στο λαμπάδιασμα δέντρων (passive crown fire) και κωδικοποιείται με 2. Όταν η κρίσιμη ταχύτητα διάδοσης ισοφαριστεί ή υπερβεί, τότε στο κελί δίνεται η τιμή 3 (active crown fire). Η επίδραση αυτής της λογικής είναι ότι για ένα κελί που θα δοθεί η τιμή 3 πρέπει να ισχύουν ταυτοχρόνως οι δύο συνθήκες για το κατώφλι θερμικής έντασης του μετώπου (λαμπάδιασμα) και το κατώφλι της κρίσιμης ταχύτητας διάδοσης. Ένα κελί δεν μπορεί να έχει ενεργή

πυρκαγιά κόμης χωρίς να ισχύουν ταυτόχρονα συνθήκες λαμπαδιάσματος, ενώ απαιτεί έντονη επιφανειακή δραστηριότητα φωτιάς πριν να ισοφαρίσουν οι κρίσιμες συνθήκες για λαμπαδιάσμα και ενεργή πυρκαγιά κόμης.

ΕΙΔΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΚΟΜΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ		
Παθητικές	Ενεργές	Ανεξάρτητες
		
Μικρές: ταχύτητα ανέμου, πυκνότητα όγκου κόμης & κάλυψη κόμης. Μεγάλο ύψος έναρξης κόμης.	Μεγάλες: ταχύτητα ανέμου, πυκνότητα όγκου κόμης & κάλυψη κόμης. Μικρό ύψος έναρξης κόμης.	Πολύ μεγάλες: ταχύτητα ανέμου, πυκνότητα όγκου κόμης & κάλυψη κόμης.

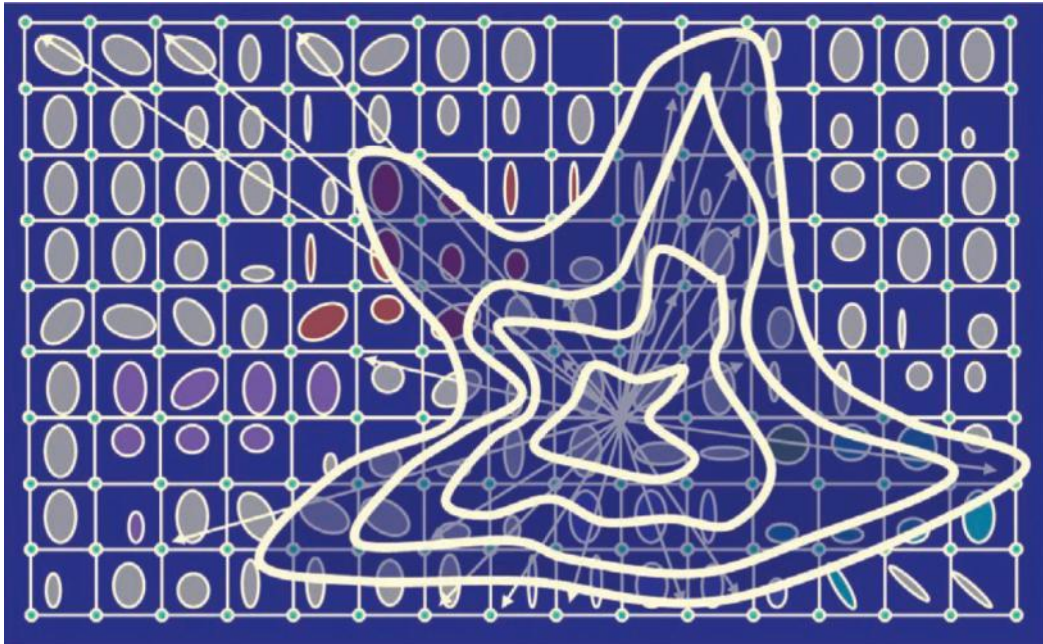
Εικόνα 2.11: Τρόπος υπολογισμού της εμφάνισης και των τύπων πυρκαγιάς κόμης με το λογισμικό FlamMap (ΠΗΓΗ: FlamMap 5 Online Help)

Η διενέργεια των προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιάς με την εφαρμογή του αλγορίθμου MTT του λογισμικού FlamMap προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Η διάδοση της πυρκαγιάς υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης του Rothermel (1972), ενώ η έναρξη και εξάπλωση των επικόρυφων πυρκαγιών στηρίζεται στη δουλειά του Van Wagner (1977), σε συνδυασμό με τον κανόνα του Huygens'. Ο αλγόριθμος MTT ενδείκνυται σε περιπτώσεις παράλληλης επεξεργασίας δεδομένων και πολύ-επεξεργαστικής ανάλυσης, έχοντας το πλεονέκτημα ότι παράγει πιθανότητες καύσης ολόκληρης της περιοχής μελέτης με την προσομοίωση χιλιάδων πιθανών νέων εστιών, οι οποίες θα μπορούσαν να κάψουν την περιοχή. Η πιθανότητα αυτή είναι μια εκτίμηση της πιθανότητας ένα κελί να καεί από κάποια τυχαία φωτιά μεταξύ των χιλιάδων αναφλέξεων που προσομοιώνονται εντός της περιοχής μελέτης. Ο MTT ψάχνει για την ταχύτερη διαδρομή εξάπλωσης πυρκαγιάς κατά μήκος ευθειών διατομών συνδεδεμένων με κόμβους (γωνίες κελιών-Εικόνα 2.12) (Finney 2006a).

Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ενός χάρτη πιθανότητας καύσης (Burn Probability-BP) που δείχνει ποιες περιοχές είναι πιο ευπαθείς και προδιατεθειμένες να αντιμετωπίσουν ένα περιστατικό πυρκαγιάς, καθώς και ποιες είναι περισσότερο «απυρικές». Οι τιμές του χάρτη έχουν εύρος BP από 0 (άκαυτο) μέχρι και 1 (απόλυτη πιθανότητα καύσης) και υπολογίζονται από την εξίσωση 2.2:

$$BP = F / n \quad (2.2)$$

όπου F είναι ο αριθμός των φορών που ένα κελί θα καεί και n ο αριθμός των προσομοιωμένων πυρκαγιών.



Εικόνα 2.12: Τρόπος υπολογισμού της εξάπλωσης πυρκαγιών με τον αλγόριθμο MTT (ΠΗΓΗ: FlamMap 5 Online Help)

Η BP για κάθε κελί είναι μια εκτίμηση της πιθανότητας ότι αυτό το κελί θα καεί από μια τυχαία ανάφλεξη μέσα στην περιοχή μελέτης και με συνθήκες καύσης παρόμοιες με αυτές των ιστορικών πυρκαγιών της περιοχής (Ager *et al.* 2012). Οι πιθανότητες του μήκους φλόγας υπολογίζονται για 20 τάξεις με ισοδιάσταση 0,5 m. Η θερμική ένταση του μετώπου (FI -kW/m) για έναν τύπο καύσιμης ύλης και συγκεκριμένες συνθήκες υγρασίας υπολογίζεται από την ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς στο μέτωπο της (Byram 1959, Catchpole *et al.* 1982). Στη συνέχεια, γίνεται μετατροπή του σε μήκος φλόγας (Flame Length, FL -m) βασισμένο στη σχέση της Εξίσωσης 2.3 (Byram 1959):

$$FL = 0,0775 (FI)^{0.46} \quad (2.3)$$

Το εξαρτώμενο μήκος φλόγας (Conditional Flame Length-CFL) είναι η σταθμισμένη πιθανότητα του μήκους φλόγας, θεωρώντας ότι η έναρξη και συμπεριφορά της πυρκαγιάς λειτουργεί ως μέτρο εκτίμηση του κινδύνου που προκαλεί (Ager *et al.* 2010). Υπολογίζεται με τη σχέση της Εξίσωσης (2.4) με συνεκτίμηση της κατανομής του μήκους φλόγας που δημιουργείται από πολλαπλές πυρκαγιές που καίνε σε κάθε κελί:

$$CFL = \sum_{i=1}^{20} \left(\frac{BP_i}{BP} \right) (Fi) \quad (2.4)$$

όπου, BP είναι η πιθανότητα καύσης και Fi είναι το μήκος φλόγας στο μεσοδιάστημα της κατηγορίας i .

Οι υψηλές τιμές πιθανοτήτων συνδέονται με το μέγεθος των πυρκαγιών που θα συμβούν εντός μιας περιοχής, κάτι που σημαίνει ότι υπό τις ίδιες συνθήκες οι μεγάλες πυρκαγιές παράγουν υψηλότερες πιθανότητες από τις μικρές πυρκαγιές (κάθε μια καίει μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής). Ο MTT δεν περιλαμβάνει την εκτίμηση του απόλυτου κινδύνου μελλοντικής εμφάνισης πυρκαγιάς, δίνει όμως ένα ποσοτικό πλαίσιο για την ανάλυση των πιθανών απωλειών από συγκεκριμένα περιστατικά πυρκαγιών, καθώς και μια μέθοδο για την ποσοτικοποίηση της αποτελεσματικότητας των σεναρίων διαχείρισης της καύσιμης ύλης στο πεδίο, υπολογίζοντας την πιθανή εξάπλωση, ένταση και τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς.

Τα αποτελέσματα του MTT μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για σχεδιασμό μεθόδων διαχείρισης της καύσιμης ύλης όσο και για προσομοίωση της εξάπλωσης μεμονωμένων περιστατικών πυρκαγιάς (ένταση και εξάπλωση). Ένας εύχρηστος τρόπος να διεξαχθεί αυτή η ανάλυση είναι μέσω χρήσης της επέκτασης του ArcGIS με τίτλο «ArcFuels», σχεδιασμένη για την καθοδήγηση της μεθοδολογίας μοντελοποίησης συμπεριφοράς πυρκαγιάς και για χωρικές αναλύσεις που στοχεύουν στη διαχείριση της καύσιμης ύλης μέσω μακροεντολών που εκτελούνται μέσω του λογισμικού ArcGIS (Vaillant *et al.* 2013). Το ArcFuels χρησιμοποιείται για τη γρήγορη δοκιμή και σχεδιασμό πιθανών μεθόδων διαχείρισης της καύσιμης ύλης σε κλίμακα τοπίου και συστάδας μέσω διασύνδεσης με μοντέλα όπως το FVS-FFE (Forest Vegetation Simulator with the Fire and Fuels Extension, Reinhardt and Crookston 2003), SVS (Stand Visualization System, McGaughey 1997), FARSITE, FlamMap, Nexus (Scott 1999) και FVS (Forest Vegetation Simulator, Crookston and Dixon 2005) με χωρικά δεδομένα και κλίμακα εφαρμογής.

2.9.3. Το λογισμικό First Order Fire Effects Model Mapping Tool (FOFEMMT)

Το εργαλείο First Order Fire Effects Model Mapping Tool (FOFEMMT) συνδέει το λογισμικό ArcGIS με το First Order Fire Effects Model (FOFEM) (Reinhardt 2003), χρησιμοποιώντας ένα περιβάλλον εργασίας υπό τη μορφή επέκτασης του ArcGIS. Το FOFEM είναι ένα μη-χωρικό πρόγραμμα ανάλυσης που υπολογίζει τις πιθανές πρωτογενείς επιπτώσεις των πυρκαγιών (κατανάλωση καύσιμης ύλης, έκλυση αερίων και καπνού, θέρμανση και έκθεση του ανόργανου εδάφους και θνησιμότητα δέντρων).

Οι ποσοτικές προβλέψεις των επιπτώσεων των πυρκαγιών χρειάζονται για το σχεδιασμό των προδιαγεγραμμένων πυρκαγιών, την εκτίμηση του αντίκτυπου μιας πυρκαγιάς και το μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και ανάπτυξη πολιτικών αντιμετώπισης τους. Οι πρωτογενείς επιπτώσεις θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν τις άμεσες επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς και σχηματίζουν μια σημαντική βάση πρόβλεψης των δευτερογενών επιπτώσεων (αναγέννηση δέντρων, διαδοχή της βλάστησης, αλλαγές στην παραγωγικότητα της περιοχής κ.α.). Αυτές οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις περιλαμβάνουν συνήθως την αλληλεπίδραση με πολλές άλλες μεταβλητές (π.χ. τον καιρό, τη χρήση ζώων για βόσκηση, την εμφάνιση εντόμων και ασθενειών) και έτσι, δεν μπορούν να εκτιμηθούν από αυτό το λογισμικό.

Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών καθορίζονται σημαντικά από την κατανάλωση καύσιμης ύλης τόσο κατά το στάδιο της φλόγωσης (flaming) όσο και της μετάκαυσης (smoldering) του χούμου και της ξυλώδους καύσιμης ύλης μετά το πέρασμα του αρχικού μετώπου. Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των πυρκαγιών, όπως η δραστηριότητα των πυρκαγιών κόμης και το ύψος καψαλίσματος κόμης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό επιπτώσεων όπως η κατανάλωση κόμης και θνησιμότητα των δέντρων. Περαιτέρω, η υγρασία της καύσιμης ύλης επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά και τις επιπτώσεις της φωτιάς με το να επιδρά στην ποσότητα του οξυγόνου που είναι διαθέσιμο για ανάφλεξη και ροή θερμότητας, και με το να καθορίζει τη διάρκεια της φλόγωσης και της μετάκαυσης.

2.9.3.1. Περιγραφή των εισροών

Η πρόβλεψη της πιθανής συμπεριφοράς πυρκαγιάς και των επιπτώσεων της απαιτεί συγκεκριμένες πληροφορίες ανά θέση σχετικά με την τοπογραφία και την καύσιμη ύλη, όσο και πληροφορίες που σχετίζονται με την υγρασία της καύσιμης ύλης και το σενάριο πυρομετεωρολογίας που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε. Στο FOFEMMT, τα δεδομένα εισροών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες-χωρικά δεδομένα, εισροές μοντέλων και το προφίλ της μεγάλης διαμέτρου ξυλώδους καύσιμης ύλης (Coarse Wood Debris-CWD), δηλαδή διαμέτρου μεγαλύτερης από 3 in/7,6 cm (1000-h). Οι συγκεκριμένες εισροές που

απαιτούνται διαφέρουν σε σχέση με το ποια από τις τέσσερις διαθέσιμες εκροές του λογισμικού επιλέγεται.

Το FOFEMMT απαιτεί τη δημιουργία ενός χωρικού αρχείου LCP, ενώ πρέπει να εισαχθεί και ένα χωρικό αρχείο που θα περιγράφει τα φορτία της καύσιμης ύλης σε μορφή μοντέλων, πληροφορίες που λείπουν από τα κλασικά μοντέλα καύσιμης ύλης τα οποία περιορίζονται στο να περιγράφουν τις ποσότητες της καύσιμης ύλης που συνεισφέρουν στην ταχύτητα διάδοσης και στη ανάφλεξη στο μέτωπο μιας πυρκαγιάς. Τα μοντέλα επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών (Fire effects fuel models-FEFM) περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του στρώματος της καύσιμης ύλης που χρειάζεται το FOFEMM ώστε να προβλέψει τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών. Η μεγάλη διαφορά των δύο τύπων μοντέλων είναι ότι τα FEFM περιλαμβάνει πληροφορίες για την καύσιμη ύλη μεγάλης διαμέτρου καθώς και χαρακτηριστικά του χούμου (Scott and Reinhardt 2001). Το FOFEMMT δέχεται τους δύο τύπους μοντέλων FEFM όπως έχουν χαρτογραφηθεί από το πρόγραμμα LANDFIRE: τα Fuel Loading Models (FLM) (Lutes *et al.* 2009) και τα Fuel Characteristics Classification System (FCCS) (Ottmar *et al.* 2007), όπως και προσαρμοσμένα μοντέλα FEFM. Τα μοντέλα FLM κατηγοριοποιούν τα απαιτούμενα συστατικά του στρώματος της νεκρής καύσιμης ύλης σε τάξεις που επηρεάζουν σημαντικά τις επιπτώσεις των πυρκαγιών. Τα μοντέλα FCCS περιλαμβάνουν περίπου 260 στρώματα καύσιμης ύλης που αντιπροσωπεύουν τους κύριους τύπους βλάστησης των ΗΠΑ.

Όπως το FlamMap, έτσι και το FOFEMMT απαιτεί ένα αρχείο καθορισμού των αρχικών τιμών υγρασίας (1-h, 10-h, 100-h, ζωντανή ποώδης και ζωντανή ξυλώδης). Το πιο σημαντικό βήμα για την επιλογή των κατάλληλων τιμών υγρασίας καύσιμης ύλης είναι να περιγράψει ο τύπος της πυρομετεωρολογίας και του σεναρίου υγρασίας που θα προσομοιωθεί. Επιπλέον, πρέπει να εισαχθεί ο άνεμος σε ύψος 6,1 m (20 ft) για να προβλεφθεί η πιθανή συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Η τιμή της ταχύτητας αναφέρεται σε αυτή που επικρατεί στα 6,1 m πάνω από την κόμη της κυρίαρχης βλάστησης. Έτσι, σε χορτολιβαδικές εκτάσεις αναφέρεται στην ταχύτητα των ανέμων πάνω από την ποώδη βλάστηση, ενώ στα δάση πάνω από την κόμη τους. Για την κυρίαρχη διεύθυνση πρέπει να καθοριστεί αν ο άνεμος είναι αναβατικός ή καταβατικός, ειδικά πρέπει να οριστεί το αζιμούθιο σε μοίρες που περιγράφει τη διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος.

Η υγρασία του φυλλώματος αντιπροσωπεύει την ποσοστιαία υγρασία που περιέχεται στα ζωντανά φύλλα και βελόνες του ανώροφου. Η υγρασία φυλλώματος επηρεάζει τη μετάβαση από έρπουσα σε επικόρυφη πυρκαγιά. Οι τυπικές τιμές της υγρασίας φυλλώματος κυμαίνονται μεταξύ 80 και 130%, με προεπιλεγμένη τιμή το 100%. Η τιμή των 80% αντιπροσωπεύει τις επιπτώσεις που έχει η παρατεταμένη ξηρασία σε δασικά συστήματα όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι λιγότερη από 760 mm, ενώ η τιμή 130% αντιπροσωπεύει υγρά δασικά συστήματα σε μια κανονική χρονιά. Η τιμή 100% αντιπροσωπεύει τις περιοχές που είτε έχουν ανακάμψει από την ξηρασία ή υγρά δασικά συστήματα που αντιμετωπίζουν εκτεταμένη ξηρασία.

Στο FOFEMMT, οι τιμές της υγρασίας καύσιμης ύλης μπορεί να είναι είτε σταθερές, είτε προσαρμοσμένες. Υπό ένα σταθερό σενάριο υγρασίας KY, οι υγρασίες που ορίζονται στο αρχικό αρχείο υγρασιών αποδίδονται σε κάθε μοντέλο καύσιμης ύλης και επομένως, διαφέρουν χωρικά μόνο βάσει του MKY. Παρόμοια, οι τιμές υγρασίας των 1000-h που εισάγονται μέσω του προφίλ CWD αποδίδονται σε κάθε FEFM και μεταβάλλονται χωρικά βάσει αυτού. Αν χρησιμοποιηθεί η επιλογή προσαρμογής της υγρασίας (conditioning), μια ξεχωριστή τιμή υγρασίας υπολογίζεται για κάθε κελί του τοπίου βασισμένη στην τοπογραφία, σκίαση, καιρικές συνθήκες και διάρκεια προσαρμογής. Για να συμβεί αυτό πρέπει να εισαχθούν τα κατάλληλα αρχεία καιρού (.WTR) και ανέμου (.WND), καθώς και το ποια είναι η περίοδος προσαρμογής της υγρασίας.

Δεν υπάρχει κάποιο γενικό μοντέλο για την υγρασία του χούμου, έτσι το FOFEMMT χρησιμοποιεί την εμπειρική σχέση που αναπτύχθηκε από τον Harrington (1982) για την πρόβλεψη της υγρασίας του χούμου από την τιμή υγρασίας νεκρής καύσιμης ύλης των 100-h. Η υγρασία του εδάφους διατηρείται σταθερή στο FOFEMMT και οι τυπικές τιμές της κυμαίνονται από 5% (πολύ ξηρές), μέχρι και 25% (υγρό). Άλλες παράμετροι που πρέπει να οριστούν αφορούν την περιοχή (περιορίζονται στις ΗΠΑ και είναι Εσωτερικά Δυτικά, Δυτικά Ειρηνικού, Νοτιοανατολικά και Βορειοανατολικά) και την εποχή (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο και χειμώνας). Τέλος, ένα προφίλ CWD περιέχει δεδομένα που αφορούν την κατανομή των κορμών (Log distribution) σε τέσσερις τάξεις διαμέτρου (7,6-15, 15,2-22,6, 22,9-50,6 και $\geq 50,8$ cm). Η κατανομή του συνολικού φορτίου ξυλώδους ΚΥ σε τάξεις βελτιώνει την ακρίβεια του μοντέλου όταν προσομοιώνονται ο ρυθμός καύσης και η συνολική κατανάλωση (Lutes 2005).

2.9.3.2. Μοντέλα Φορτίων Καύσιμης Ύλης - Fuel Loading Models

Οι Lutes *et al.* (2009) δημιούργησαν το σύστημα ταξινόμησης FLM, ειδικά σχεδιασμένο για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των πυρκαγιών από την κατά τόπους επιφανειακή ΚΥ. Η ταξινόμηση τους είναι μια από τις πρώτες που κατηγοριοποιούν τα στρώματα ΚΥ σε έτοιμες αναγνωρίσιμες τάξεις, βασισμένες στις προβλεπόμενες για αυτές επιπτώσεις πυρκαγιάς. Για τη δημιουργία τους αξιοποιήθηκαν πάνω από 4.000 μετρήσεις σε στρώματα ΚΥ των ΗΠΑ και διαχωρίζονται από δύο διακριτές επιπτώσεις: την ποσότητα του καπνού που παράγεται με την ανάφλεξη (συγκεκριμένα αυτή των εκπομπών των σωματιδίων 2,5 μm -PM_{2,5}) και την ποσότητα της θέρμανσης του εδάφους. Και οι δύο αυτές επιπτώσεις είναι σημαντικοί δείκτες για τις φυσικές και χημικές αλλαγές που προκύπτουν στο πεδίο με την κατανάλωση της ΚΥ. Οι ποσότητες της ΚΥ που περιέχονται σε αυτά τα μοντέλα αφορούν το χούμο, το βελονοτάπητα, τη λεπτή ξυλώδη ΚΥ.

Τα FLM δημιουργήθηκαν με τη χρήση ελαφρώς διαφορετικών μεθόδων για δασώδεις και μη περιοχές. Ως δασικές περιοχές καθορίστηκαν αυτές που έχουν πάνω από 10% δενδροκάλυψη ή έχουν στην κατηγοριοποίηση των τύπων εδαφοκάλυψης το όνομα κάποιου δέντρου. Οι μη δασικές περιοχές είναι αυτές που έχουν <10% δενδροκάλυψη και ΚΥ που προέρχεται κυρίως από γρασίδι, ποώδη βλάστηση ή θάμνους. Στις δασώδεις περιοχές, τα φορτία των έξι διακριτών χαρακτηριστικών της ΚΥ εισάγονται κατευθείαν στο FOFEM και ο υπολογισμός των εκπομπών και της θέρμανσης του εδάφους γίνεται αυτόματα, ενώ στις θαμνώδεις και χορτολιβαδικές εκτάσεις τα δεδομένα της ΚΥ συλλέχτηκαν ως η συνολική βιομάζα της περιοχής χωρίς διάκριση σε τάξεις.

2.9.3.3. Περιγραφή των εκροών

Το FOFEMMT επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει τα χαρακτηριστικά της ΚΥ που τον ενδιαφέρουν, καθώς και να υπολογίσει το μεταπυρικό φορτίο ΚΥ ή/και το καταναλισκόμενο φορτίο. Τα χαρακτηριστικά της ΚΥ περιλαμβάνουν το χούμο, το βελονοτάπητα, τη νεκρή ξυλώδη ΚΥ, ξηρό και σαπισμένο CWD, την ποώδη και θαμνώδη ΚΥ καθώς και την ΚΥ κόμης που θα επηρεαστεί από την πυρκαγιά κόμης. Συνοπτικά, δημιουργούνται οι παρακάτω εκροές:

- Φορτίο προ πυρκαγιάς, καταναλωμένο φορτίο, μεταφορικό φορτίο, όλα ανά τάξη ΚΥ
- Εκπομπές αερίων CO₂, CO, CH₄, SO₂, NO_x, PM_{2.5} και PM₁₀ για φλόγωση και μετάκαυση
- Μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν στο έδαφος, μέγιστο βάθος όπου η θερμοκρασία έφτασε τους 60°C και 275°C, ποσοστό ανόργανου εδάφους που εκτέθηκε

Ο κύριος ρύπος που απασχολεί τις ανθρώπινες κοινωνίες αφορά τα πολύ λεπτά σωματίδια, τόσο τα PM10 όσο και τα PM2,5. Έρευνες έχουν δείξει ότι το 90% όλων των σωματιδίων που εκλύονται μέσω του καπνού κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς είναι τύπου PM10 (Ward and Hardy 1991). Οι πιο πρόσφατες μελέτες πάνω στην ανθρώπινη υγεία δείχνουν ότι τα λεπτά σωματίδια, ειδικά ο τύπος PM2,5, ευθύνονται για πολλά προβλήματα υγείας συμπεριλαμβάνοντας τη θνησιμότητα, χρονιές πνευμονικές παθήσεις και αυξημένες εισαγωγές σε νοσοκομεία (Dockery *et al.* 1993, Schwartz *et al.* 1996). Η κατανάλωση καύσιμης ύλης συνδέεται άμεσα με την παραγωγή αερίων ρύπων, η ποσότητα των οποίων μοντελοποιείται πολλαπλασιάζοντας τις εκτιμήσεις για κατανάλωση καύσιμης ύλης με παράγοντες εκπομπών (Ward 1990). Οι παράγοντες εκπομπών έχουν αναπτυχθεί στα εργαστήρια μέσω πειραμάτων πεδίου για έναν αριθμό αερίων ρύπων έχοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά για την κατανάλωση που υλοποιείται κατά τη ανάφλεξη και μετάκαυση, αλλά και για διαφορετικούς τύπους βλάστησης και χαρακτηριστικών KY (Ward *et al.* 1993). Μια σημαντική παραδοχή του FOFEM είναι ότι η κατανάλωση KY υπολογίζεται σαν να έχει καεί ολόκληρη η περιοχή, δίχως να υπολογίζει τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς για ανομοιόμορφη ή ασυνεχή καύση.

Το FOFEM χρησιμοποιεί το μοντέλο Burnup για να προβλέψει την κατανάλωση της ξυλώδους KY. Η κατανάλωση του χούμου, της ποώδους και της θαμνώδους KY πραγματοποιείται μέσω αυτόματης επιλογής του καταλληλότερου αλγόριθμου για την περιοχή, εποχή και τύπο εδαφοκάλυψης. Το FOFEMMT χρησιμοποιεί τη δραστηριότητα πυρκαγιάς κόμης που προβλέπεται από το FlamMap για να υπολογιστεί η αναλογία της κόμης που θα επηρεαστεί από αυτή. Υπό παθητική πυρκαγιά κόμης (CFA = 2), θεωρείται ότι το 50% της κόμης θα επηρεαστεί. Υπό ενεργή πυρκαγιά κόμης (CFA = 3) θεωρείται ότι το 100% της κόμης θα επηρεαστεί. Ακόμα, γίνεται η θεώρηση ότι το φορτίο της κόμης αποτελείται από 10% βιομάζα κλαδιών και 90% βιομάζα φυλλώματος. Το FOFEMMT έπειτα εφαρμόζει την αναλογία κόμης που επηρεάστηκε, βασισμένη στην τιμή της CFA, στο 100% της βιομάζας φυλλώματος και στο 50% της βιομάζας κλαδιών έτσι ώστε η κατανάλωση αυτής της KY να είναι αντιπροσωπευτική ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της παραγωγής καπνού και αερίων.

Η ανάφλεξη και η μετάκαυση μπορούν να προσομοιωθούν ταυτόχρονα στο FOFEMMT. Για παράδειγμα, η ανάφλεξη της ξυλώδους KY μπορεί να συμβαίνει την ίδια στιγμή που διενεργείται η μετάκαυση στο χούμο ή το CWD. Με το διαχωρισμό του βάρους της KY που καταναλώθηκε στις φάσεις ανάφλεξης και μετάκαυσης, το μοντέλο Burnup επιτρέπει στους παράγοντες εκπομπών να εφαρμόζονται ξεχωριστά στην KY που καταναλώθηκε σε κάθε στάδιο. Ως παράγοντας εκπομπών (emission factor) για κάθε αέριο ρύπο ορίζεται η μάζα του κάθε ρύπου ανά τη μάζα της KY που καταναλώθηκε (Hardy *et al.* 2001). Ο παράγοντας εκπομπών διαφέρει ανά αέριο ρύπο, τύπο και κατανομή της KY. Στο FOFEMMT, οι παράγοντες εκπομπών για συγκεκριμένες χημικές εκπομπές εφαρμόζονται στην KY που καταναλώνεται στην ανάφλεξη και μετάκαυση, θεωρώντας ως τιμή ανάφλεξης για την ανάφλεξη την 0,97 και για τη μετάκαυση την 0,67 (Εξίσωση 2.5)

$$\text{Συνολικές εκπομπές} = \text{μάζα} \times \text{τιμή ανάφλεξης} \times \text{παράγοντας εκπομπών} \quad (2.5)$$

Συμπερασματικά, το FOFEMMT λαμβάνει υπόψη ένα χείριστο σενάριο και έπειτα θεωρεί ότι όλη τη θερμότητα που παράγεται από την καύση του χούμου εισχωρεί μέσα στο έδαφος. Συχνά παρατηρείται ότι δεν καταναλώνεται όλος ο χούμος από τη φωτιά ενώ όσος δεν καεί λειτουργεί ως μόνωση του εδάφους. Σε αυτές τις περιπτώσεις το μοντέλο υπολογίζει την ποσότητα της θερμότητας που απορροφάται από τον άκαυτο χούμο και προβλέπει τη θέρμανση του εδάφους βασισμένο όχι μόνο από την ποσότητα της θερμότητας που

παράγεται από την καιγόμενο χούμο, αλλά επίσης και από την ποσότητα της θέρμανσης που απορροφάται από την άκαυτη επιφάνεια του χούμου.

2.10. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.10.1. Γενικά Χαρακτηριστικά της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Για την υποστήριξη των αποφάσεων για κάποιο ζήτημα μεταξύ διαφορετικών επιλογών, καθώς και για την αξιολόγηση μιας κατάστασης, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που εντάσσονται στην κατηγορία των εργαλείων και μεθόδων της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Multi-criteria Analysis-MCA). Σύμφωνα με τον Saaty (2008): *«Όλοι μας θεμελιωδώς παίρνουμε αποφάσεις. Οι κάνουμε συνειδητά ή ασυνείδητα είναι αποτέλεσμα κάποιας απόφασης. Οι πληροφορίες που συλλέγουμε μας βοηθούν να κατανοήσουμε μια κατάσταση με σκοπό να σχηματίσουμε ολοκληρωμένη άποψη επί ενός θέματος και να λάβουμε τη σωστή απόφαση»*. Για τη διεξαγωγή μιας MCA απαιτείται η ολοκλήρωση συγκεκριμένων βημάτων ώστε να εφαρμοστεί ορθά η επιλεγμένη μέθοδος. Τα βήματα μιας MCA είναι (Α έως Η):

A. Καθορισμός του πλαισίου απόφασης

Ποιοι είναι οι στόχοι της MCA και ποιοι είναι οι διαμορφωτές γνώμης που καθορίζουν την απόφαση ή ποιοί είναι οι βασικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθεί υπόψη η άποψη τους.

A.1. Καθορισμός των στόχων της MCA και αναγνώριση των διαμορφωτών της απόφασης και βασικών παραγόντων.

A.2. Σχεδίαση του κοινωνικό-τεχνικού συστήματος για τη διεξαγωγή της MCA.

A.3. Καθορισμός του πλαισίου της εκτίμησης.

B. Αναγνώριση των επιλογών/ εναλλακτικών που πρέπει να εκτιμηθούν

C. Αναγνώριση των στόχων και κριτηρίων

Αποτύπωση της αξίας που σχετίζεται με τις συνέπειες της κάθε επιλογής.

C.1. Αναγνώριση των κριτηρίων για εκτίμηση των συνεπειών της κάθε επιλογής.

C.2. Οργάνωση των κριτηρίων μέσω ομαδοποίησης τους με βάση την ιεραρχία των στόχων υψηλού επιπέδου και χαμηλού επιπέδου.

D. Βαθμολόγηση

Εκτίμηση της αναμενόμενης απόδοσης της κάθε επιλογής σε σχέση με τα κριτήρια. Έπειτα, εκτίμηση της τιμής που σχετίζεται με τις επιπτώσεις της κάθε επιλογής για κάθε στοιχείο.

D.1. Περιγραφή των συνεπειών της κάθε επιλογής.

D.2. Βαθμολόγηση των επιλογών κάθε κριτηρίου.

D.3. Έλεγχος της συνοχής των βαθμολογιών του κάθε κριτηρίου.

E. Θέσπιση συντελεστών βαρύτητας

Καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας για κάθε κριτήριο ώστε να αποτυπώνουν τη σχετική σημαντικότητα του στην απόφαση που θα ληφθεί.

F. Συνδυασμός των συντελεστών και βαθμολογιών για κάθε επιλογή ώστε να προκύψει η συνολική τιμή

- F.1. Υπολογισμός των συνολικών σταθμισμένων βαθμολογιών σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας.
- F.2. Υπολογισμός των συνολικών σταθμισμένων βαθμολογιών.

G. Ανάγνωση και εξέταση των αποτελεσμάτων

H. Ανάλυση ευαισθησίας

- H.1. Διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας: επηρεάζουν άλλες επιλογές ή συντελεστές τη συνολική ταξινόμηση των επιλογών;
- H.2. Εξέταση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των επιλεγμένων απαντήσεων και εξέταση τους κατά ζεύγη.
- H.3. Δημιουργία πιθανών νέων επιλογών που μπορεί να είναι καλύτερες σε σχέση με όσες αρχικά ορίστηκαν.
- H.4. Επανάληψη των ανωτέρω βημάτων μέχρι να δημιουργηθεί το βέλτιστο μοντέλο.

Οι τεχνικές MCA συνήθως εφαρμόζουν την αριθμητική ανάλυση σε ένα πλέγμα αποδόσεων σε δύο στάδια:

- A. Βαθμολόγηση: αποδίδεται μια αριθμητική βαθμολόγηση της σημαντικότητας των αναμενόμενων επιπτώσεων της κάθε επιλογής του κάθε κριτηρίου σε μια κλίμακα προτίμησης. Οι πιο επιθυμητές επιλογές λαμβάνουν υψηλότερη βαθμολογία στην κλίμακα σε σχέση με τις λιγότερες επιθυμητές. Πρακτικά, χρησιμοποιούνται συχνά κλίμακες που εκτείνονται από το 0 έως το 100 και συσχετίζονται με μια πραγματική ή υποθετική πιο επιθυμητή επιλογή. Όλες οι επιλογές που υπεισέρχονται στην MCA πρέπει να πέφτουν εντός της κλίμακας 0 έως 100.
- B. Συντελεστές: αποδίδονται αριθμητικοί συντελεστές ώστε να καθοριστούν σε κάθε κριτήριο οι σχετικές αποτιμήσεις εντός των ανώτερων και κατώτερων βαθμολογιών μιας επιλεγμένης κλίμακας.

Ένα τυπικό χαρακτηριστικό της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι το πλέγμα απόδοσης (performance matrix) ή αλλιώς πίνακας συνεπειών, στον οποίο κάθε γραμμή περιγράφει μια επιλογή και κάθε στήλη περιγράφει την απόδοση αυτής της επιλογής για κάθε κριτήριο. Στη βασική μορφή της MCA, το πλέγμα απόδοσης μπορεί να είναι το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης. Οι διαμορφωτές γνώμης πρέπει να εκτιμήσουν στη συνέχεια το βαθμό στον οποίο έχουν καλυφθεί οι στόχοι από τις εγγραφές του πλέγματος. Μια τέτοια εμπειρική ανάλυση των δεδομένων μπορεί να είναι γρήγορη και αποτελεσματική, μπορεί όμως και να οδηγήσει σε μη τεκμηριωμένες υποθέσεις, δημιουργώντας λανθασμένη ιεράρχηση των επιλογών.

Το γραμμικό αθροιστικό μοντέλο παρέχει τον τρόπο ώστε οι τιμές των επιλογών στα καθορισμένα κριτήρια να μπορούν να συνδυαστούν σε μια ολική τιμή. Αν μπορεί να αποδειχτεί ή εκτιμηθεί λογικά ότι τα κριτήρια είναι κατά προτίμηση ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, καθώς και ότι η αβεβαιότητα δεν έχει εισαχθεί μέσα στο MCA μοντέλο κατά τη δημιουργία του, τότε το απλό γραμμικό μοντέλο εκτίμησης είναι εφαρμόσιμο. Η εφαρμογή του γίνεται με τον πολλαπλασιασμό της βαθμολογίας του κάθε κριτηρίου με το συντελεστή του και στη συνέχεια με άθροιση όλων αυτών των σταθμισμένων βαθμολογιών. Ωστόσο, αυτός ο απλός αριθμητικός τύπος είναι εφαρμόσιμος αν τα κριτήρια είναι αμοιβαία

ανεξάρτητα από τις επιλογές τους. Οι περισσότερες προσεγγίσεις της MCA χρησιμοποιούν αυτό το αθροιστικό μοντέλο της Εξίσωσης 2.6 (Keeney and Raiffa 1976), όπου W_j είναι το κριτήριο j , και S_{ij} είναι ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου W_j .

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij} = w_1 s_{i1} + w_2 s_{i2} + \dots + w_n s_{in} \quad (2.6)$$

Τα προβλήματα που πραγματεύονται οι μέθοδοι MCA είναι οι παρεχόμενες προς τους διαμορφωτές γνώμης επιλογές μεταβαλλόμενης σημαντικότητας και οι πληροφορίες για τη σχετική σημαντικότητα των κριτηρίων. Αυτό συνήθως γίνεται με τον καθορισμό συντελεστών σε κάθε κριτήριο, το οποίο είναι ένα κεντρικό βήμα στην απόδοση των προτιμήσεων των διαμορφωτών γνώμης. Ένας συντελεστής βαρύτητας αποδίδει την ενδεικτική τιμή σημαντικότητας ενός κριτηρίου αξιολόγησης σε σχέση με τα άλλα κριτήρια που εξετάζονται. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής, τόσο σημαντικότερο είναι το κριτήριο στη συνολική εφαρμογή (Malczewski 1999).

Υπάρχει μια ποικιλία τεχνικών για την απόδοση συντελεστών τα οποία, σε πολύ απλές περιπτώσεις, μπορεί να εφαρμοστούν με τη διαίρεση με τη μονάδα (1) μεταξύ των κριτηρίων. Όταν περισσότερα από λίγα κριτήρια συμμετέχουν στην διαδικασία και χρειάζονται να αξιολογηθούν πολλές πτυχές τους, γίνεται δύσκολο να γίνει καθορισμός των συντελεστών στο σετ κριτηρίων ως σύνολο. Τότε, συνήθως, τα βάρη κανονικοποιούνται έτσι ώστε να αθροίζονται τη μονάδα (1). Στην περίπτωση ύπαρξης των κριτηρίων (W_j), το σετ των συντελεστών καθορίζεται από την Εξίσωση 2.7:

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_j, \dots, W_n) \quad \sum W_j = 1 \quad (2.7)$$

Υπάρχουν τέσσερα κύρια σύνολα τεχνικών για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας (Malczewski 1999):

- Μέθοδοι ιεράρχησης, που είναι και η απλούστερη μέθοδος για τον καθορισμό της σημαντικότητας των συντελεστών. Κάθε κριτήριο που εξετάζεται ταξινομείται σε σχέση με τις προτιμήσεις των διαμορφωτών γνώμης.
- Μέθοδοι βαθμολόγησης, που απαιτούν την εκτίμηση των συντελεστών στη βάση μιας προκαθορισμένης κλίμακας.
- Μέθοδοι σύγκρισης κατά ζεύγη, οι οποίες περιλαμβάνουν συγκρίσεις κατά ζεύγη για τη δημιουργία ενός πλέγματος σχέσεων.
- Μέθοδοι ανάλυσης trade-off, οι οποίες χρησιμοποιούν άμεσες εκτιμήσεις trade-off ανάμεσα σε ζεύγη εναλλακτικών επιλογών.

2.10.2. Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία

Η τεχνική των συγκρίσεων κατά ζεύγη έχει αναπτυχθεί από το Saaty (1980), στα πλαίσια της διαδικασίας στήριξης αποφάσεων, γνωστή και ως Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process-AHP). Εξελήχθη ως μια από τις πλέον εφαρμοσμένες μεθόδους MCA (Zahedi 1986, Golden *et al.* 1989, Shim 1989). Στον πυρήνα της AHP βρίσκεται η μέθοδος μετατροπής των υποκειμενικών εκτιμήσεων της σχετικής σημαντικότητας σε ένα σετ συνολικών βαθμολογιών ή συντελεστών. Η βασική εισροή της μεθόδου AHP είναι οι απαντήσεις των διαμορφωτών γνώμης σε μια σειρά από ερωτήματα της γενικής μορφής: 'Πόσο σημαντικό είναι το κριτήριο A σε σχέση με το κριτήριο B?'.
 Οι συντελεστές μπορούν να εξαχθούν με τη χρήση των βασικών ισοδιανυσμάτων (*principal eigenvector*) του πλέγματος των ζευγωτών συγκρίσεων ανάμεσα στα κριτήρια. Οι ψυχολόγοι συμφωνούν ότι είναι ευκολότερο και πιο ακριβές να εκφράζει κάποιος την άποψη

του για δύο εναλλακτικές απαντήσεις παρά ταυτόχρονα για όλες τις εναλλακτικές. Επιπλέον επιτρέπει να υπάρχει συνοχή (consistency) στις απαντήσεις και έλεγχος διασταυρώσεων μεταξύ των ζευγών συγκρίσεων (Ishizaka and Ashraf 2009). Η AHP χρησιμοποιεί την αναλογική κλίμακα, η οποία, σε αντίθεση με μεθόδους που χρησιμοποιούν την κλίμακα διαστήματος (Kainulainen *et al.* 2009), δεν απαιτεί μονάδες μέτρησης κατά τη σύγκριση. Οι συγκρίσεις αφορούν τη σχετική σημαντικότητα των δύο κριτηρίων που υπεισέρχονται στον καθορισμό της σημαντικότητας ενός στόχου. Αρκετές μελέτες έχουν εφαρμόσει επιτυχημένα τη μέθοδο AHP σε πολλά και διαφορετικά πεδία έρευνας (Zahedi 1986, Golden *et al.* 1989, Shim 1989, Saaty and Forman 1992, Vargas 1997, Forman and Gass 2001, Vaidya and Kumar 2006, Ho 2008, Liberatore and Nydick 2008). Η παλαιότερη αναφορά αναφέρεται στο έτος 1972 (Saaty 1972), ενώ μετά από αυτή το άρθρο του Saaty (1977) στο περιοδικό *Journal of Mathematical Psychology* ανέλυσε επακριβώς τη μέθοδο.

Η AHP στην κανονική της μορφή χρησιμοποιεί διεργασίες για τον καθορισμό των συντελεστών και βαθμολογιών που επιτυγχάνουν οι εναλλακτικές επιλογές που βασίζονται σε ζευγαρωτές συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων και μεταξύ των επιλογών τους. Είναι πλέον γνωστό ότι οι χρήστες βρίσκουν τη ζευγαρωτή σύγκριση δεδομένων απλή και βολική. Από την άλλη, σημαντικές αμφιβολίες έχουν προκύψει πάνω στα θεωρητικά θεμέλια της AHP, καθώς και για ορισμένες ιδιότητές της. Συγκεκριμένα, το φαινόμενο της αντιστροφής της σειράς (rank reversal) έχει δημιουργήσει προβληματισμούς, οι οποίοι αναφέρονται στην πιθανότητα ότι, με την προσθήκη ακόμα μιας επιλογής στη διαθέσιμη προς σύγκριση λίστα επιλογών, η σειρά των άλλων επιλογών, που δεν έχουν καμία σχέση με τη νεοεισαχθείσα, μπορεί να αναστραφεί. Αυτό έχει επισημανθεί από πολλούς ως έλλειψη συνοχής με τη λογική αξιολόγηση των επιλογών και έτσι, αμφισβητείται η βαθύτερη θεωρητική βάση της AHP (Belton and Gear 1983). Οι French (1988) και Goodwin and Wright (1998) συμμετείχαν ενεργά στην κριτική της AHP, εγείροντας ζητήματα όπως:

- A. Η κλίμακα 1-9 έχει την ιδιότητα να είναι μη συνεπή εσωτερικά. Το A μπορεί να βαθμολογηθεί με 3 σε σχέση με το B και το B παρόμοια να λάβει τη βαθμολογία 5 σε σχέση με το Γ. Αλλά η κλίμακα 1-9 σημαίνει ότι μια ταξινόμηση συνοχής του A σε σχέση με το Γ (απαιτώντας μια βαθμολογία ίση με 15) είναι αδύνατη.
- B. Ο δεσμός μεταξύ των σημείων στην κλίμακα 1-9 και οι αντίστοιχες ονομαστικές περιγραφές δεν έχουν μια θεωρητική βάση.
- C. Οι συντελεστές προκύπτουν από τα κριτήρια πριν να καθοριστούν οι κλίμακες μέτρησης των κριτηρίων. Έτσι, ο διαμορφωτής γνώμης προτρέπει να κάνει γνωμοδοτήσεις για τη σχετική σημαντικότητα των αντικειμένων χωρίς να ξέρει τι ουσιαστικά συγκρίνεται.
- D. Με την εισαγωγή νέων επιλογών μπορούν να αλλάξουν οι σχετικές ταξινομήσεις των αρχικών επιλογών (rank reversal).
- E. Υπάρχει μια ισχυρή υπόθεση ότι τα βαθύτερα αξιώματα στα οποία η AHP βασίζεται δεν είναι επαρκώς ξεκάθαρα ώστε να μπορεί να δοκιμαστεί εμπειρικά.

Έχει γίνει ένας αριθμός προσπαθειών για να αναπτυχθούν μέθοδοι MCA που διατηρούν τα πλεονεκτήματα της AHP, με παράλληλη αποφυγή των σημείων διένεξης και κριτικής. Αυτές οι προσπάθειες επικεντρώνονται στο να βρίσκουν νέους διαφορετικούς τρόπους για να εξάγουν συντελεστές και να συνθέτουν τις ζευγαυές συγκρίσεις. Η πιο διαδεδομένη εναλλακτική είναι η μέθοδος *REMBRANDT* (Lootsma 1992, Olson 1996). Η *REMBRANDT* χρησιμοποιεί ένα σύστημα άμεσης βαθμολόγησης που είναι στη λογαριθμική κλίμακα ώστε να αντικαταστήσει την κλίμακα 1-9 της AHP. Επιπλέον, αλλάζει την προσέγγιση σύνθεσης που βασίζεται σε ισοδιανύσματα, με μια που βασίζεται στη χρήση του γεωμετρικού μέσου

ώστε να αναγνωριστούν οι εκτιμώμενοι συντελεστές και βαθμολογίες από τα πλέγματα ζευγωτών συγκρίσεων.

2.10.3. Μεθοδολογία της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

Το πρώτο βασικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι η απόδοση βαθμολογιών στις επιλογές των κριτηρίων (Saaty 1980). Υπάρχουν απλές κλίμακες οι οποίες έχουν ως όρια τις λιγότερο και περισσότερο επιθυμητές επιλογές ενός κριτηρίου. Βαθμολογίες αποδίδονται στις διαθέσιμες επιλογές έτσι ώστε οι διαφορές των αριθμών να αντιπροσωπεύουν τη δύναμη της κάθε επιλογής. Είναι συνήθως ευκολότερο για τους ανθρώπους να κάνουν σχετικές, παρά απόλυτες κρίσεις όταν συγκρίνονται οι διαφορές στις συνέπειες δύο εναλλακτικών επιλογών (Malczewski 1999). Για παράδειγμα, οι περισσότεροι άνθρωποι συμφωνούν ότι το να κερδηθούν 50.000 € θα τους δώσει ευχαρίστηση, ενώ το να χάσουν το ίδιο ποσό θα τους προκαλούσε πόνο, όπως και ότι ο πόνος είναι περισσότερο ανεπιθύμητος σε σχέση ευχαρίστηση. Ο πόνος υπερβαίνει την ευχαρίστηση αλλά κατά πόσο; Είναι δύο φορές χειρότερος, πέντε φορές χειρότερος ή πόσες φορές χειρότερος; Αυτή είναι η πιο δύσκολη κρίση που πρέπει να γίνει, αλλά οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν κάποια συναίσθηση για αυτή. Διαδικασίες μοντελοποίησης, όπως αυτές που γίνονται στην ανάλυση κόστους-οφέλους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάποια κριτήρια για να συμβάλουν στη διαδικασία της μετατροπής των επιλογών σε βαθμολογίες που είναι συγκρίσιμες.

Επειδή τα κριτήρια μετρώνται ή εκτιμώνται σε διαφορετικές κλίμακες, είναι απαραίτητο οι παράγοντες που τα αποτελούν να τυποποιηθούν/ μετασχηματιστούν πριν το συνδυασμό τους. Ο Voogd (1983) μελέτησε μια ποικιλία διεργασιών για την τυποποίηση, οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούν την ελάχιστη και μέγιστη τιμή ως σημεία στην κλίμακα. Η απλούστερη μέθοδος είναι η γραμμική κλιμάκωση (*linear scaling*) της εξίσωσης 2.8:

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} * SR \quad (2.8)$$

όπου το R_i είναι η καθαρή βαθμολογία του παράγοντα i , R_{min} είναι η ελάχιστη βαθμολογία, R_{max} είναι η μέγιστη βαθμολογία και SR είναι το τυποποιημένο εύρος.

Ένα βασικό θέμα στην τυποποίηση των παραγόντων είναι η επιλογή των ακραίων σημείων της κλίμακας στα οποία η τιμή της παραμέτρου μπορεί να φτάσει, είτε στο 0-1 ή εναλλακτικά 0-255. Κατά την ανάπτυξη των συντελεστών, ένας διαμορφωτής γνώμης ή μια ομάδα ειδικών συγκρίνει κάθε πιθανό ζεύγος και εισάγει βαθμολογίες σε ένα πλέγμα διασταυρωτών συγκρίσεων ή αναλογικό πλέγμα (A-ratio matrix) (Εξίσωση 2.9). Εφόσον το πλέγμα είναι συμμετρικό, μόνο το άνω τριγωνικό τμήμα πρέπει στην πραγματικότητα να συμπληρωθεί. Τα εναπομείναντα κελιά είναι στην πραγματικότητα αντίστροφα όσων έχουν συμπληρωθεί στο πάνω τρίγωνο.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

όπου $a_{jk} = 1/a_{kj}$ $k, j = 1, \dots, n$

Οι βαθμολογίες που μπορούν να λάβουν οι συγκρίσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.7, με τις οποίες δίνεται απάντηση στο ερώτημα «Πόσο σημαντικό είναι το A σε σχέση με το B»; Ο Eastmann (1997) παρατήρησε ότι αν υπάρχει μια εμπειρική ένδειξη για τη σχετική αποτελεσματικότητα για ένα ζεύγος παραγόντων, αυτή η ένδειξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Οι αριθμοί 2, 4, 6 και 8 είναι ενδιάμεσες τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόδοση οριακών διαφορών κρίσης μεταξύ των πέντε βασικών εκτιμήσεων (1, 3, 5, 7 και 9).

Πίνακας 2.7: Βαθμολογίες που αποδίδονται κατά τη ζευγωτή σύγκριση κριτηρίων και επιλογών κριτηρίων

Ίση σημαντικότητα	1
Ίσο έως μετρίως πιο σημαντικό	2
Μετρίως πιο σημαντικό	3
Μετρίως έως ισχυρά πιο σημαντικό	4
Ισχυρά πιο σημαντικό	5
Ισχυρά έως πολύ ισχυρά σημαντικότερο	6
Πολύ ισχυρά σημαντικότερο	7
Πολύ ισχυρά έως υπερβολικά σημαντικότερο	8
Υπερβολικά σημαντικότερο	9

Με το που δημιουργείται ο πίνακας A , είναι πιθανό να προκύψει από αυτόν ένας κανονικοποιημένος πίνακας ζευγωτών συγκρίσεων (δηλ. A_{norm}), δημιουργώντας ένα άθροισμα ίσο με τη μονάδα (1) από τα χαρακτηριστικά κάθε στήλης, δηλαδή κάθε εγγραφή \bar{a}_{jk} του πίνακα A_{norm} υπολογίζεται με την εξίσωση 2.10:

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}} \quad (2.10)$$

Έπειτα, το διάνυσμα του σταθμισμένου κριτηρίου w (που είναι το m διάνυσμα στήλης) δημιουργείται υπολογίζοντας τον μέσο όρο κάθε στήλης του πίνακα A_{norm} με την εξίσωση 2.11:

$$w_j = \frac{\sum_{l=1}^m \bar{a}_{jl}}{m} \quad (2.11)$$

Αυτοί οι μέσοι όροι παρέχουν μια εκτίμηση των σχετικών συντελεστών των αντίστοιχων κριτηρίων. Σε αυτή την περίπτωση, οι συντελεστές ερμηνεύονται ως ο μέσος όρος όλων των πιθανών τρόπων σύγκρισης των κριτηρίων. Εφόσον το πλήρες αναλογικό πλέγμα περιέχει πολλαπλούς τρόπους με τους οποίους μπορεί η σχετική σημαντικότητα των κριτηρίων να εκτιμηθεί, είναι πιθανό να καθοριστεί ο βαθμός της συνέπειας που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη των βαθμολογιών. Ο Saaty (1977) περιγράφει μια διαδικασία με την οποία μπορεί να δημιουργηθεί ένας δείκτης συνέπειας και μια αναλογία συνέπειας (*consistency ratio-CR*). Η CR καθορίζει την πιθανότητα οι βαθμολογίες του πλέγματος να έχουν δημιουργηθεί τυχαία, και ο Saaty προτείνει να επαναυπολογίζονται τα πλέγματα με βαθμούς $CR > 0,10$. Είναι χρήσιμο μέγεθος για την αναγνώριση πιθανών λαθών κρίσης ή βαθμολόγησης των ζευγών, ενώ η έλλειψη συνοχής δείχνει τα λογικά σφάλματα που έχει η κρίση του ατόμου που βαθμολογεί. Για παράδειγμα, αν το A είναι πιο σημαντικό από το B και το B πιο σημαντικό από το Γ τότε αν ισχυριστούμε ότι το Γ είναι πιο σημαντικό από το A τότε δεν υπάρχει συνέπεια. Επιπλέον, είναι επίσης πιθανό να αναλυθεί το πλέγμα για να καθοριστεί από πού προκύπτει η έλλειψη συνέπειας. Ο υπολογισμός της CR περιλαμβάνει τις παρακάτω διεργασίες και υπολογίζεται με την Εξίσωση 2.12.

- Καθορισμός του διανύσματος σταθμισμένου αθροίσματος, με τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή του πρώτου κριτηρίου επί την πρώτη στήλη του αρχικού πλέγματος ζευγωτών συγκρίσεων. Έπειτα, πολλαπλασιάζεται ο συντελεστής του δεύτερου

κριτηρίου με τη δεύτερη στήλη και ούτω καθεξής, μέχρι και τον τελευταίο συντελεστή, ενώ στο τέλος αθροίζονται αυτές οι τιμές κατά γραμμή.

- Καθορισμός του διανύσματος συνέπειας με τη διαίρεση του σταθμισμένου αθροίσματος με τον συντελεστή των κριτηρίων που καθορίστηκε προηγουμένως.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.12)$$

Όπου RI είναι ο δείκτης τυχαιότητας και CI είναι ο δείκτης συνέπειας. Για τον υπολογισμό του CI χρησιμοποιείται η εξίσωση 2.13:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.13)$$

όπου λ_{max} είναι το μέγιστο ισοδιάνυσμα και n είναι ο αριθμός των κριτηρίων

Ο δείκτης τυχαιότητας είναι ο δείκτης συνέπειας του τυχαίως δημιουργημένου πλέγματος ζευγωτών συγκρίσεων και εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων που συγκρίνονται. Ο Πίνακας 2.8 δείχνει τις τιμές του RI για διαφορετικούς αριθμούς κριτηρίων.

Πίνακας 2.8: Οι τιμές του δείκτη τυχαιότητας (Random Index) για προβλήματα μέχρι και 15 κριτηρίων

n	RI	n	RI	n	RI
1	0	6	1.24	11	1.51
2	0	7	1.32	12	1.54
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.9	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

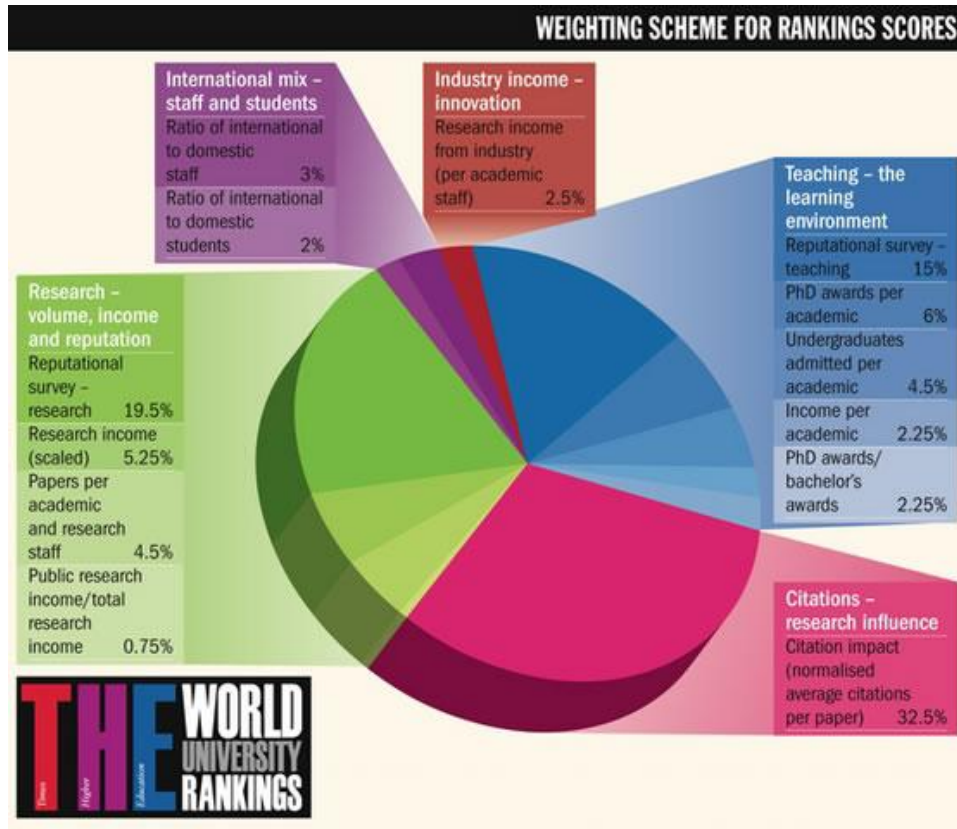
2.11. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΩΝ ΑΝΩΤΑΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ: THE TIMES HIGHER EDUCATION WORLD UNIVERSITY RANKINGS

Ο δείκτης αξιολόγησης των πανεπιστημίων του κόσμου «The Times Higher Education World University Rankings»³ παρέχει πίνακες απόδοσης των πανεπιστημίων που κρίνουν τις βασικές αποστολές τους, δηλαδή διδασκαλία, έρευνα, μετάδοση γνώσης και διεθνές κύρος. Χρησιμοποιούνται 13 ξεχωριστοί δείκτες σχεδιασμένοι για να παρέχουν τις πιο ισορροπημένες και περιεκτικές συγκρίσεις μεταξύ των πανεπιστημίων. Τα στοιχεία αυτά ομαδοποιούνται σε πέντε κριτήρια (Εικόνα 2.13):

- Διδασκαλία — το περιβάλλον μάθησης (καταλαμβάνει το 30% της τελικής βαθμολογίας κατάταξης)
- Έρευνα — όγκος, έσοδα και φήμη (καταλαμβάνει 30%)
- Ετεροαναφορές — επιρροή της έρευνας (καταλαμβάνει 30%)
- Βιομηχανικά έσοδα — καινοτομία (καταλαμβάνει 2,5%)
- Διεθνές κύρος — προσωπικό και φοιτητές (καταλαμβάνει 7,5%)

³<https://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/2015/world-ranking/#/> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

Η διδασκαλία περιέχει πέντε δείκτες οι οποίοι είναι ο αριθμός των φοιτητών/ακαδημαϊκού προσωπικού, ο αριθμός των διδακτορικών και προπτυχιακών τίτλων που απονεμήθηκαν, ο αριθμός των διδασκτόρων που εργάζονται, η φήμη της διδασκαλίας και τα έσοδα του ιδρύματος από τη διδασκαλία. Η έρευνα περιέχει τρεις δείκτες, οι οποίοι είναι τα δημοσιευμένα άρθρα, τα έσοδα από την έρευνα και η φήμη της έρευνας. Το κριτήριο ετεροαναφορές έχει έναν δείκτη, που υπολογίζει την επίδραση των δημοσιευμένων άρθρων. Το κριτήριο βιομηχανικά έσοδα έχει έναν δείκτη που υπολογίζει τα έσοδα που προέκυψαν από τις βιομηχανίες και την αγορά. Τέλος, το κριτήριο διεθνές κύρος περιέχει τρία κριτήρια, τα οποία είναι η αναλογία αλλοδαπών και γηγενών μελών του προσωπικού, οι διεθνείς συνδημοσιεύσεις και η αναλογία αλλοδαπών και γηγενών φοιτητών.



Εικόνα 2.13: Κριτήρια, δείκτες και συντελεστές βαρύτητας της μεθοδολογίας The Times Higher Education World University Rankings 2012-2013

Οι συντελεστές βαρύτητας των πέντε κατηγοριών και των 13 δεικτών διαφέρουν σημαντικά. Για την απόδοση των συντελεστών αξιοποιήθηκε η γνώμη ειδικών στα θέματα ανώτερης εκπαίδευσης (50 άτομα υψηλού κύρους). Υψηλότερα βάρη έχουν δοθεί όπου οι γνώμες των ειδικών έδειξαν βεβαιότητα ότι ο εκάστοτε δείκτης είναι χρήσιμος, καθώς και ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του είναι αξιόπιστα. Χαμηλά βάρη δόθηκαν όπου διαπιστώθηκε ότι τα δεδομένα και η χρησιμότητα του δείκτη δεν ήταν επαρκή. Για τον υπολογισμό του συνολικού αποτελέσματος υπολογίστηκαν τα “Z-scores” για όλα τα σετ δεδομένων ώστε να κανονικοποιηθούν οι διαφορετικοί τύποι δεδομένων σε μια κοινή κλίμακα που επιτρέπει τις συγκρίσεις μεταξύ τους, βασικό βήμα όταν πρέπει να συνδυαστούν διαφορετικές πληροφορίες σε έναν μοναδικό δείκτη.

Τα δεδομένα της αξιολόγησης συλλέχθηκαν από τα πανεπιστήμια, τα οποία ήταν και υπεύθυνα να παρέχουν τις αναγκαίες πληροφορίες αξιολόγησης των δεικτών. Σε περιπτώσεις που έλλειπαν ή δεν παρέχονταν δεδομένα τότε ως τιμή χρησιμοποιούταν μια μέση εκτίμηση

που προέκυπτε από τη μέση τιμή του συγκεκριμένου δείκτη και τη χαμηλότερη τιμή που καταγράφηκε από κάποιο πανεπιστήμιο σε αυτόν, αποτρέποντας έτσι την «τιμωρία» κάποιου ιδρύματος με μια μηδενική τιμή για δεδομένα τα οποία δεν μπόρεσε να παρέχει (χωρίς όμως να επιβραβεύεται).

2.12. ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΦΟΔΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΗΣ - COMPOSITE BURN INDEX

Ο τρόπος αξιολόγησης του μεγέθους των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών πρώτης τάξης στο πεδίο με τη μεθοδολογική προσέγγιση του Composite Burn Index (CBI) των Key and Benson (2006) απαιτεί την επίσκεψη σε διαφορετικές τοποθεσίες στην περιοχή εκδήλωσης της φωτιάς. Για τον υπολογισμό του CBI απαιτείται η επιλογή των κατάλληλων απαντήσεων για κάθε κριτήριο της κάθε κατηγορίας επιπτώσεων. Οι απαντήσεις είναι προκαθορισμένες και ταξινομημένες σε μια κλίμακα επιπτώσεων από 0 (καθόλου επιπτώσεις) έως και 3 (υψηλές επιπτώσεις) (Εικόνα 2.14). Η βαθμολόγηση επιτυγχάνεται έπειτα από οπτική εκτίμηση και απογραφή της κάθε θέσης. Αν κάποιο κριτήριο επιπτώσεων δεν μπορεί να αποδοθεί στην περιοχή, μπορεί να παραβλεφθεί και έτσι δεν υπολογίζεται στην τελική τιμή του CBI. Ο βαθμός κάθε κατηγορίας επιπτώσεων προκύπτει από το μέσο όρο των βαθμολογιών των κριτηρίων, όπου και όλα τα κριτήρια και κατηγορίες επιπτώσεων είναι ισοβαρή.

Ο CBI προσφέρει μια γενική βαθμολόγηση των μεταπυρικών επιπτώσεων που μπορεί κάποιος να συναντήσει στο πεδίο. Με αυτόν το δείκτη γίνεται εκτίμηση των μέσων συνθηκών που επικρατούν μετά τη φωτιά για τα διάφορα κατακόρυφα επίπεδα του δάσους, ώστε να παραχθεί μια τιμή η οποία αντικατοπτρίζει τη συνολική σφοδρότητα καύσης του δειγματοληπτικού τύπου. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται σε δειγματοληπτικά πρότυπα, πρακτικές και μεθόδους τα οποία είναι αποτυπωμένα στα πρωτόκολλα του FIREMON (Lutes *et al.* 2006). Οι τιμές του CBI είναι σε εύρος από 0 έως και 3 (άκαυτα έως υψηλή σφοδρότητα). Τα αποτελέσματα της φωτιάς για κάθε ένα από τα πέντε κατακόρυφα επίπεδα της δασικής δομής (substrates, vegetation <1 m tall, vegetation 1-5 m tall, intermediate-sized trees, big trees) καταγράφηκαν ως το ποσοστό αλλαγής που παρατηρήθηκε μεταπυρικά σε σχέση με την πρότερη κατάσταση του, και βαθμολογείται από 0 έως 3 για κάθε κριτήριο της κατηγορίας. Υπάρχουν τέσσερα με πέντε κριτήρια προς βαθμολόγηση στην κάθε κατηγορία.

Συγκεκριμένα, για την κατηγορία Α εκτιμήθηκε η αλλαγή στο φυλλοτάπητα/ καύσιμη ύλη μικρής διαμέτρου, στο χούμο, στην καύσιμη ύλη μέσης (7,6 έως 20,3 cm) και μεγάλης (>20,3 cm) διαμέτρου, καθώς και η αλλαγή στο χρώμα/ κάλυψη του εδάφους και των πετρών. Για την κατηγορία Β εκτιμήθηκε το ποσοστό αλλαγής στο φύλλωμα, το ποσοστό των ζωντανών πρεμνοφυών φυτών που αναγεννώνται, την αναμενόμενη εμφάνιση εισβολέων, καθώς και την αλλαγή στην κατανομή και συχνότητα των ειδών. Στην κατηγορία C εκτιμήθηκε το ποσοστό αλλαγής στο φύλλωμα, το ποσοστό των ζωντανών θάμνων/ δέντρων, η ποσοστιαία αλλαγή στην κάλυψη τους, καθώς και η αλλαγή στην κατανομή και συχνότητα των ειδών. Τέλος, για τις κατηγορίες D και E εκτιμήθηκε το ποσοστό των δέντρων τα οποία είναι πράσινα, μαύρα και καφέ (το άθροισμα τους πρέπει να είναι 100%), η θνησιμότητα της κόμης, καθώς και το ύψος καρβουνιάσματος του κορμού (char height). Επιπλέον, εκτιμήθηκε το ποσοστό θνησιμότητας των δέντρων και το ποσοστό αυτών που έπεσαν ή περιζώστηκαν από τις φλόγες (girdled). Σε επίπεδο δειγματοληπτικού τύπου, για κάθε κατηγορία αθροίζονται οι επιμέρους τιμές των κριτηρίων (όπου δόθηκαν) και στη συνέχεια προκύπτει ο μέσος όρος τους. Η τιμή του CBI, πέρα από αυτή του δειγματοληπτικού τύπου, υπολογίστηκε τόσο σε επίπεδο υπόροφου όσο και σε επίπεδο ανώροφου.

BI – Long Form	% Burned 100 feet (30 m) diameter from center of plot =						Fuel Photo Series =		
STRATA RATING FACTORS	BURN SEVERITY SCALE							FACTOR SCORES	
	No Effect	Low		Moderate		High			
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0		
A. SUBSTRATES									
% Pre-Fire Cover: Litter =		Duff =		Soil/Rock =		Pre-Fire Depth (inches): Litter =		Duff =	Fuel Bed =
Litter/Light Fuel Consumed	Unchanged	--	50% litter	--	100% litter	>80% light fuel	98% Light Fuel		Σ =
Duff	Unchanged	--	Light char	--	50% loss deep char	--	Consumed		N =
Medium Fuel, 3-8 in	Unchanged	--	20% consumed	--	40% consumed	--	>60% loss, deep ch		X̄ =
Heavy Fuel, > 8 in	Unchanged	--	10% loss	--	25% loss, deep char	--	>40% loss, deep ch		
Soil & Rock Cover/Color	Unchanged	--	10% change	--	40% change	--	>80% change		
CBI 1									
B. HERBS, LOW SHRUBS AND TREES LESS THAN 3 FEET (1 METER):									
%Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =							Σ =
% Foliage Altered (blk-bm)	Unchanged	--	30%	--	80%	95%	100% + branch loss		N =
Frequency % Living	100%	--	90%	--	50%	< 20%	None		X̄ =
Colonizers	Unchanged	--	Low	--	Moderate	High-Low	Low to None		
Spp. Comp. - Rel. Abund.	Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High change		
CBI 1									
C. TALL SHRUBS AND TREES 3 to 16 FEET (1 TO 5 METERS):									
%Pre-Fire Cover =		% Enhanced Growth =							Σ =
% Foliage Altered (blk-bm)	0%	--	20%	--	60-90%	> 95%	Signifent branch loss		N =
Frequency % Living	100%	--	90%	--	30%	< 15%	< 1%		X̄ =
% Change in Cover	Unchanged	--	15%	--	70%	90%	100%		
Spp. Comp. - Rel. Abund.	Unchanged	--	Little change	--	Moderate change	--	High Change		
CBI 1									
D. INTERMEDIATE TREES (SUBCANOPY, POLE-SIZED TREES)									
%Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =			Pre-Fire Number Dead =				Σ =
% Green (Unaltered)	100%	--	80%	--	40%	< 10%	None		N =
% Black (Torch)	None	--	5-20%	--	60%	> 85%	100% + branch loss		X̄ =
% Brown (Scorch/Girdle)	None	--	5-20%	--	40-80%	< 40 or > 80%	None due to torch		
% Canopy Mortality	None	--	15%	--	60%	80%	%100		
Char Height	None	--	1.5 m	--	2.8 m	--	> 5 m		
CBI 1									
Post Fire: %Girdled =		%Felled =			%Tree Mortality =				
E. BIG TREES (UPPER CANOPY, DOMINANT, CODOMNANT TREES)									
%Pre-Fire Cover =		Pre-Fire Number Living =			Pre-Fire Number Dead =				Σ =
% Green (Unaltered)	100%	--	95%	--	50%	< 10%	None		N =
% Black (Torch)	None	--	5-10%	--	50%	> 80%	100% + branch loss		X̄ =
% Brown (Scorch/Girdle)	None	--	5-10%	--	30-70%	< 30 or > 70%	None due to torch		
% Canopy Mortality	None	--	10%	--	50%	70%	%100		
Char Height	None	--	1.8 m	--	4 m	--	> 7 m		
CBI 1									
Post Fire: %Girdled =		%Felled =			%Tree Mortality =				
Community Notes/Comments:			CBI = Sum of Scores / N Rated:		Sum of Scores	N Rated	CBI		
			Understory (A+B+C)						
			Overstory (D+E)						
			Total Plot (A+B+C+D+E)						

Εικόνα 2.14: Φόρμα δειγματοληψιών για αξιολόγηση των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών με τη μέθοδο Composite Burn Index

3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. ΝΗΣΟΣ ΛΕΣΒΟΣ

Η νήσος Λέσβος βρίσκεται στο βορειοανατολικό Αιγαίο Πέλαγος και καταλαμβάνει μια έκταση 1630 km², με περίπου 470 km² να βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές με υψόμετρο κάτω των 100 m, 720 km² μεταξύ 100 και 300 m, 315 km² μεταξύ 300 και 500 m και 125 km² να βρίσκονται σε θέσεις με υψόμετρο άνω των 500 m (Εικόνα 3.1). Σε εκτεταμένα τμήματα του νησιού απαντώνται προβλήματα ερημοποίησης και υποβάθμιση των εδαφών (περίπου στο ¼ της συνολικής του έκτασης) λόγω υπερβόσκησης, συχνών περιστατικών πυρκαγιών και ανεπάρκειας βροχοπτώσεων. Αυτές οι περιοχές είναι ημι-άνυδρες ενώ το υπόλοιπο νησί είναι ξηρό έως υπο-υγρό με μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων μεταξύ 450 και 700 mm (Kosmas *et al.* 2000). Κατά τη διάρκεια του θέρους το νησί βρίσκεται υπό την επιρροή των ετησίων ανέμων οι οποίοι πνέουν με υψηλές ταχύτητες (συνήθως 5-7 Beaufort), από ΒΑ έως ΒΔ διευθύνσεις.

Στο νησί υπάρχουν αρκετά μνημεία παγκόσμιας σημασίας, όπως το απολιθωμένο δάσος ηλικίας 20 εκατομμυρίων ετών, μεσαιωνικά μοναστήρια, διατηρητέοι οικισμοί και κάστρα, προϊστορικοί οικισμοί και αρχαίοι Ελληνικοί και Ρωμαϊκοί ναοί. Επιπλέον, το νησί είναι σημαντικός τόπος φωλιάσματος, μετανάστευσης και διαμονής πτηνών, με σπάνια τοπικά είδη (*Sitta krueperi*, *Buteo buteo*, *Circaetus gallicus*, *Accipiter gentilis* κ.α.). Ο τουριστικός τομέας του νησιού είναι μεσαίου μεγέθους για τα Ελληνικά δεδομένα (σε όρους υποδομών) και μικρής κλίμακας σε σχέση με το σύνολο των οικονομικών δραστηριοτήτων του νησιού, με λίγες μόνο ανεπτυγμένες περιοχές υψηλής συγκέντρωσης τουριστών. Μικρής κλίμακας περιοχές μίξης αστικού-δασικού τοπίου (Wildland Urban Interface Areas-WUI) βρίσκονται στο ΝΑ του νησιού, στο οποίο υπάρχει πυκνή κάλυψη βλάστησης και κατοικεί το 1/3 του συνολικού πληθυσμού.

Σημαντικά τμήματα του νησιού αντιμετωπίζουν την εγκατάλειψη της υπαίθρου και τη συνεπαγόμενη επαναδάσωσή τους. Λόγω του γεγονότος ότι τα περισσότερα δάση είναι ιδιωτικά, δεν εφαρμόζεται επίσημα κάποια διαχείριση σε αυτά, τόσο δασοκομική, όσο και για τη μείωση της καύσιμης ύλης. Ως αποτέλεσμα, τα δάση και οι δασικές εκτάσεις αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο αυξημένων εντάσεων στα περιστατικά πυρκαγιών που θα ξεσπάσουν μελλοντικά εκεί. Τα ανατολικά και κεντρικά τμήματα του νησιού καλύπτονται κυρίως από πεύκα (*Pinus* spp.), καστανιές (*Castanea sativa*), πλάτανους (*Platanus occidentalis*) και ελαιώνες (*Olea europea*). Γενικά, η χλωρίδα του νησιού είναι πλούσια αλλά και εύφλεκτη, περιλαμβάνοντας δασώδεις εκτάσεις με υψηλή επικινδυνότητα, χορτολιβαδικές εκτάσεις και περιοχές με κάλυψη από δρυ και πουρνάρι (*Quercus* spp.), μακία βλάστηση και φρύγανα. Συγκεκριμένα, από ελαιώνες καλύπτονται εκτάσεις 500 km², από φρυγανικά οικοσυστήματα και χορτολίβαδα εκτάσεις 580 km², από δάση πλατύφυλλων και δρύες εκτάσεις 80 km² και από αείφυλλα-σκληρόφυλλα εκτάσεις 30 km². Στη νήσο Λέσβο παρατηρείται ένα πυκνό σύμπλεγμα δασών κωνοφόρων το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως το μεγαλύτερο και πιο συνεκτικό σε όλο το νησιωτικό σύμπλεγμα του Αιγαίου (300 km², περίπου το 20% της έκτασής της). Το άθροισμα όλων των περιοχών που καλύπτονται από κωνοφόρα δέντρα (αμιγές δάσος, αραιό δάσος, και νεαρό δάσος/αναδασώσεις) ανέρχεται στα 31.495 ha. Σε όλο το νησί, ακόμα και σε περιοχές καλυμμένες με διαφορετικούς κυρίαρχους τύπους βλάστησης, μπορεί κανείς να συναντήσει ξεχωρές αυτοφυείς συστάδες ή άτομα κωνοφόρων. Τα είδη κωνοφόρων που απαντώνται στη Λέσβο είναι η τραχεία πεύκη (*Pinus brutia* Ten.), η μαύρη πεύκη στα ανώτερα υψόμετρα (*Pinus nigra* Arnold), αυτοφυή άτομα αρκεύθου οξύκεδρου (*Juniperus oxycedrus* L.) τα οποία έχουν συχνή παρουσία σε μορφή θάμνου, η κουκουναριά (*Pinus pinea*) προερχόμενη κυρίως από δενδροφυτεύσεις του τοπικού δασοαρχείου, όπως συνέβη και με τα άτομα ή συστάδες

κυπαρισσιού (*Cupressus sempervirens*). Σπανιότερα εισαγόμενα είδη είναι η κεφαλληνιακή ελάτη (*Abies cephalonica*), η οποία σχηματίζει ένα μικρό αλσύλλιο δίπλα στο Σανατόριο της Αγιάσου, και η χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*), η οποία σχηματίζει και αυτή ένα μικρό αλσύλλιο στο αρχαίο θέατρο της πόλης της Μυτιλήνης.

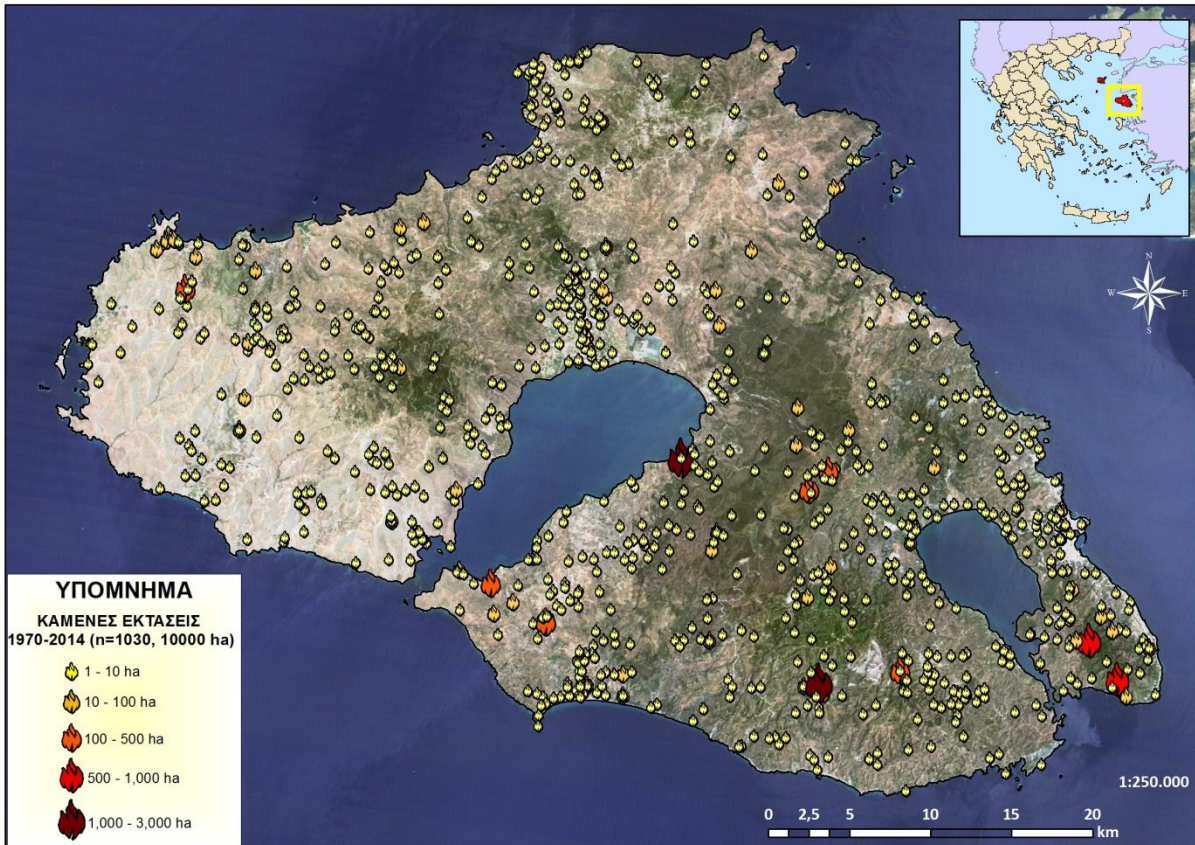
Η τραχεία πεύκη είναι το πλέον διαδεδομένο είδος κωνοφόρου με συχνή παρουσία σε ολόκληρη τη Λέσβο σχηματίζοντας πυκνές συστάδες. Πέρα από την υλοτόμηση για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών των κατοίκων, οι συστάδες της αξιοποιούνταν για τη συλλογή ρητίνης (κυρίως στις περιοχές της Μεγάλης και της Μικρής Λίμνης, αλλά και στην περιφέρεια του όρους Αμπελικό). Η μαύρη πεύκη σχηματίζει συστάδες κυρίως στον ορεινό όγκο του Προφήτη Ηλία (στην περιοχή Παρακοίλων-Πτερούντας), καθώς και στο όρος Κεντρί και σε μια ακόμα θέση βορείως του Μεγαλοχωρίου, που όμως επλήγησαν από τη μεγάλη πυρκαγιά του 1994 και έχουν απομείνει σήμερα μόνο περίπου 50 ώριμα άτομα. Ο Άρκευθος οξύκεδρος έχει θαμνοειδή μορφή στα δάση της Λέσβου και σπάνια μετατρέπεται σε δέντρο, ευρισκόμενος διάσπαρτος στα βουνά του νησιού.



Εικόνα 3.1: Δορυφορική εικόνα Landsat της νήσου Λέσβου

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών αρκετές πυρκαγιές έχουν επηρεάσει τα οικοσυστήματα του νησιού με συχνό αποτέλεσμα μεταβολές στο αγροτικό και φυσικό τοπίο και στη σύσταση της βλάστησης. Η αστικοποίηση και η μετανάστευση είχαν ως αποτέλεσμα την εγκατάλειψη της υπαίθρου χωρίς την οποιαδήποτε αγροτική, καλλιεργητική και δασοκομική χρήση, παρόμοια με πολλές περιφέρειες του Ευρωπαϊκού νότου (Plieninger *et al.* 2011). Ως συνέπεια, σημειώθηκε εμφάνιση επαναλαμβανόμενων επεισοδίων μεγάλων και έντονων πυρκαγιών σε σχετικά σύντομες χρονικές περιόδους (π.χ. το 1977 με 650 ha και 1520 ha, το 1992 με 416 ha, το 1994 με 2580 ha, και το 2006 με 680 ha καμένης έκτασης). Αλλαγές όπως οι παραπάνω στις βιοφυσικές και κοινωνικές συνθήκες μεταβάλλουν τη φύση των κινδύνων που προκύπτουν από τις πυρκαγιές, τις αιτίες και τη συχνότητα των

αναφλέξεων, καθώς και τις πολιτικές και πρακτικές που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση των παραγόντων που προκαλούν κίνδυνο (Kalabokidis *et al.* 2008, Morehouse *et al.* 2011). Συνολικά έχουν καταγραφεί 900 περιστατικά πυρκαγιάς κατά τα τελευταία 40 έτη με περίπου 10.000 ha καμένων εκτάσεων. Η μεγάλη πλειοψηφία των περιστατικών (92%) ήταν μικρής σημασίας με μεγέθη μικρότερα των 10 ha, μόλις οκτώ εκτάσεις μεταξύ 100 και 500 ha και μόνο τέσσερα περιστατικά έκαψαν πάνω από 500 ha (Εικόνα 3.2). Η πιο κοινή αιτία των αναφλέξεων είναι ο εμπρησμός για τον καθαρισμό των εκτάσεων για αγροτικές/κτηνοτροφικές διεργασίες και βελτίωση της παραγωγικότητας, ακολουθούμενη από αμέλεια/ατυχήματα και εμπρησμούς από ανθρώπους με οικονομικά ή άλλα συμφέροντα.

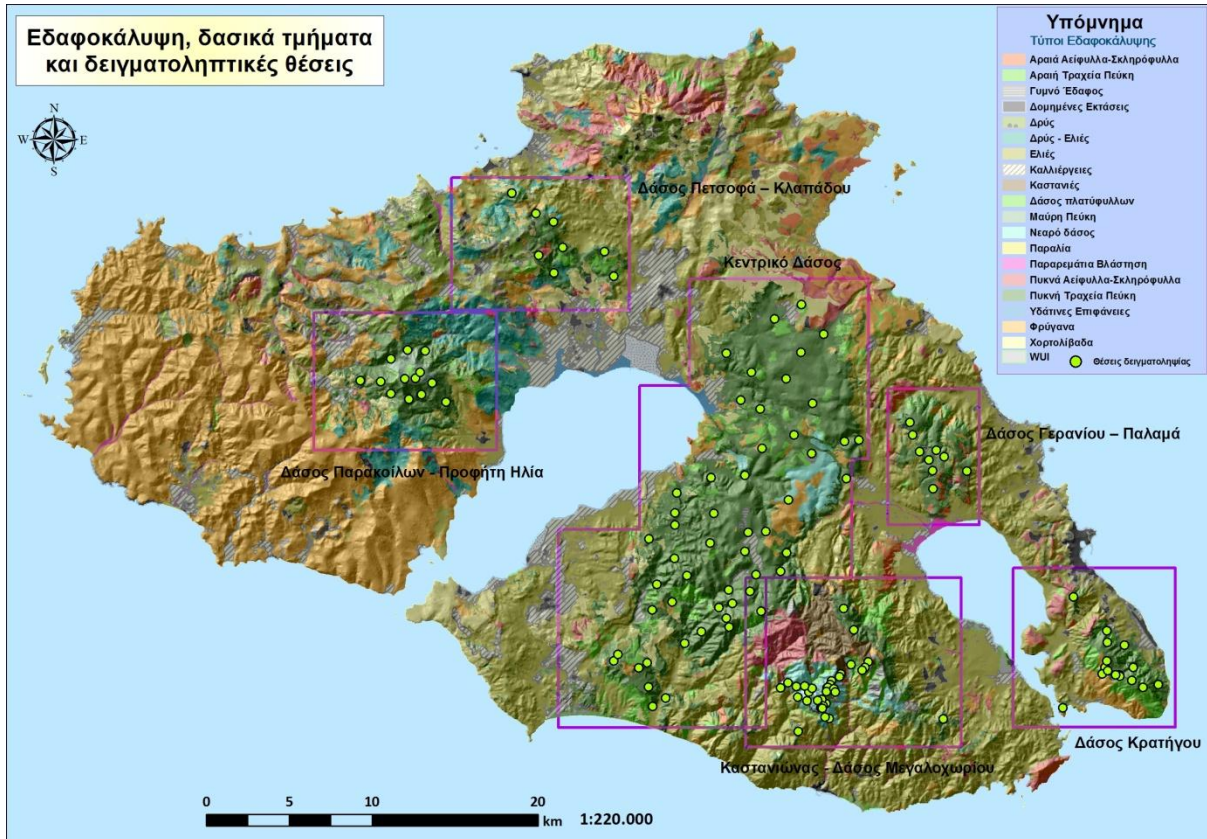


Εικόνα 3.2: Χάρτης ιστορικού πυρκαγιάς της Λέσβου για τα έτη 1970-2014

3.1.1. Δάση Κωνοφόρων Λέσβου

Στο νησί υπάρχουν έξι μεγάλα αυτόνομα δασικά συμπλέγματα τα οποία καλύπτονται από κωνοφόρα, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε μικρότερα τμήματα-υποομάδες βάσει των τοπογραφικών, κλιματικών και ανθρωπογενών συνθηκών που επικρατούν σε αυτά (Εικόνα 3.3). Συγκεκριμένα, στα νοτιοανατολικά υπάρχει το δάσος της Κρατήγου, ενώ στα ανατολικά, βορείως του κόλπου της Γέρας, το δάσος Γερανίου-Παλαμά. Στο κεντρικό τμήμα του νησιού και ανατολικά του κόλπου της Καλλονής βρίσκεται το βασικό δασικό σύμπλεγμα του νησιού, εκτεινόμενο σε μήκος 27 km με κατεύθυνση ΒΑ προς ΝΔ. Ξεκινά από την περιοχή Φιράνες, διασχίζει τον Όλυμπο και το Αμπελικό και καταλήγει στην παραλία των Βατερών. Το δάσος του Πετσοφά-Κλαπάδου βρίσκεται μεταξύ Καλλονής και Πέτρας και εκτείνεται σε περίπου 9 km με κατεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ. Το δάσος Παρακοίλων-Προφήτη Ηλία βρίσκεται στη δυτική Λέσβο και στα μεγαλύτερα υψόμετρα περικλείει έναν θύλακα μαύρης πεύκης γύρω από συστάδες τραχείας πεύκης. Τέλος, η έκτη περιοχή βρίσκεται βορείως του χωριού Μεγαλοχώρι στη νότια Λέσβο, η ιδιαιτερότητα της οποίας έγκειται στο

ότι κήκε ολοσχερώς το 1994 και πλέον έχει αρχίσει ο επαναδημιουργία των συστάδων χάριν της έντονης και επιτυχημένης φυσικής αναγέννησης. Η περιοχή είναι αυτονομημένη από το βασικό κεντρικό δασικό σύμπλεγμα, διαχωριζόμενη από τον καστανιώνα της Αγιάσου και από μια συμπαγή περιοχή θαμνώνων αειφύλλων-σκληρόφυλλων. Ανά το νησί υπάρχουν διάσπαρτοι θύλακες κωνοφόρων διαφορετικής σύστασης και έκτασης, κυρίως σε μίξη με ελαιώνες και θαμνώνες. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά όλων των δειγματοληπιών στα δάση κωνοφόρων.



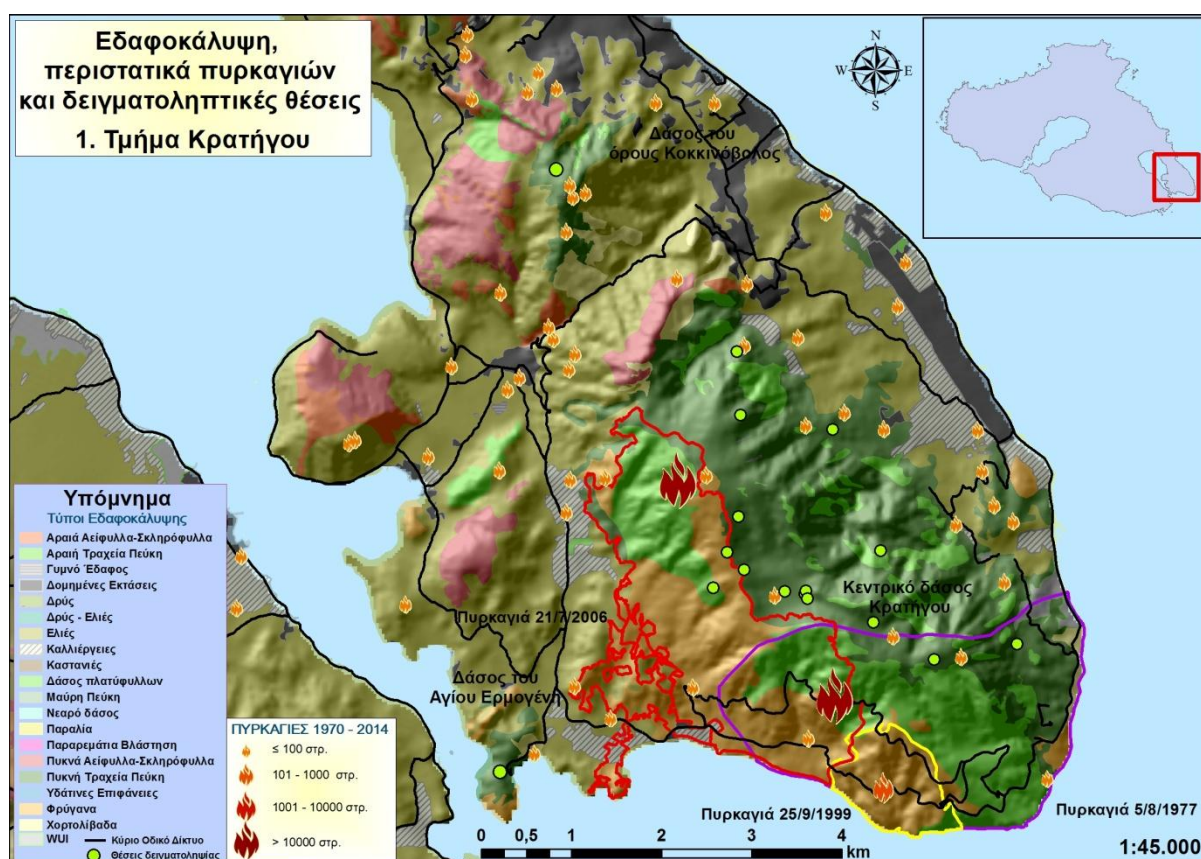
Εικόνα 3.3: Εδαφοκάλυψη, δασικά συμπλέγματα και δειγματοληπτικές θέσεις της νήσου Λέσβου

Πίνακας 3.1: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που είτε μετρήθηκαν στο πεδίο, είτε υπολογίστηκαν με μετεπεξεργασία τους

Περιγραφικά στατιστικά	n	Min	Max	Mean	Std. Error	S.D.
Ύψος Συστάδας (m)	102	6,47	20,4	12,1	0,28	2,86
QMD (cm)	96	15,7	50,5	31	n/a	n/a
Μήκος Κόμης (m)	102	1,5	9,4	5,42	0,17	1,69
Διάμετρος Κόμης (m)	102	2,5	9,9	5,5	0,13	1,31
CBH (m)	102	1,7	9,9	5,34	0,17	1,75
CBD (kg/m ³)	96	0,07	0,4	0,22	0,01	0,09
Basal Area (m ² /ha)	96	11,8	134,9	49,66	2,14	20,93
TPH Ανώροφος (n)	96	222	2272	729	32	316
TPH Υπόροφος (n)	96	25	1901	537	46	454
Κάλυψη Κόμης (%)	90	30	85	62,74	1,14	10,8

Σε αυτές τις έξι περιοχές διεξήχθησαν δειγματοληψίες σε 90 θέσεις για τη μέτρηση μιας σειράς μεταβλητών οι οποίες καθορίζουν τη δομή και σύσταση του δάσους, με μεθόδους και πρακτικές που θα εξηγηθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά δεδομένα από 12 παλαιότερες δειγματοληψίες (Ziannis *et al.* 2011). Από τα στοιχεία που προέκυψαν κατέστη δυνατή η διαίρεση της Λέσβου σε 16 τμήματα τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως αυτόνομες ενότητες εντός και εκτός των έξι βασικών συμπλεγμάτων.

Η περιοχή στα ΝΑ της Λέσβου περιλαμβάνει το δάσος της Κρατήγου στο οποίο διενεργήθηκαν δειγματοληψίες σε 15 θέσεις, καθώς και δύο θύλακες, έναν στον Άγιο Ερμογένη (μια θέση δειγματοληψίας) και έναν στο όρος Κοκκινόβολος (μια θέση δειγματοληψίας) στα ΝΔ της πόλης της Μυτιλήνης. Διαπιστώνεται εύκολα από την Εικόνα 3.4 ότι τουλάχιστον το μισό δάσος της Κρατήγου έχει καεί σε παλαιότερες πυρκαγιές τουλάχιστον μια φορά τα τελευταία 30 χρόνια. Συγκεκριμένα, το 1977 κάηκαν 650 ha, το 1999 κάηκαν 111 ha ενώ οι πιο πρόσφατες πυρκαγιές συνέβησαν το 2006 όπου κάηκαν σε δύο περιστατικά πυρκαγιών 567 ha και 290 ha δασικής έκτασης. Από τις δειγματοληψίες προέκυψαν τα στοιχεία του Πίνακα 3.2.



Εικόνα 3.4: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό τμήμα Κρατήγου

Στην πλειονότητα των σημείων δειγματοληψίας παρατηρήθηκε ότι υπάρχει νεαρό δάσος πολλαπλών κατακόρυφων στρωμάτων. Η ρητίνευση είναι σπάνιο φαινόμενο στα δάση της περιοχής, ενώ δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες και πολλές κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Τα δάση είναι πυκνά και παρατηρήθηκε έντονη παρουσία αειφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων στον υπόροφο. Παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν τα είδη λαδανιά (*Cistus creticus*, *Cistus salvefolius*), σχίνος (*Pistacia lentiscus*), πουρνάρι (*Quercus coccifera*), αστηβιά (*Sarcopoterium spinosum*), αγριελιά (*Olea oleaster*), φυλλίκι (*Phillyrea media*), άρκευθος

(*Juniperus oxycedrus L.*) και κουμαριά (*Arbutus andrachne*). Δύο θέσεις έχουν υψόμετρο κάτω από 200 m, επτά από 300 m έως 400 m και έξι θέσεις άνω των 400 m. Το ανατολικό τμήμα του δάσους δέχεται ισχυρές οικιστικές πιέσεις στα χαμηλότερα υψόμετρα, στο δυτικό όμως τμήμα υπάρχει πολύ μικρότερη οικιστική δραστηριότητα. Η εκτίμηση της εδαφοκάλυψης έδειξε ότι το 53% της περιοχής καλύπτεται από νεκρή καύσιμη ύλη, το 26% από θαμνώνες και φρύγανα, το 10% από πέτρες, το 5% από ετήσια φυτά και το 6% από άλλα χαρακτηριστικά. Η περιοχή είναι συχνός τόπος αναψυχής, είτε λόγω επισκέψεων στην εκκλησία της Παναγίας Αμαλής, είτε για εκδήλωση κυνηγετικών δραστηριοτήτων, είτε λόγω του ότι ο κεντρικός δρόμος διέρχεται από το νότιο τμήμα του δάσους και καταλήγει σε πολυσύχναστες παραλίες.

Πίνακας 3.2: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Κρατήγου

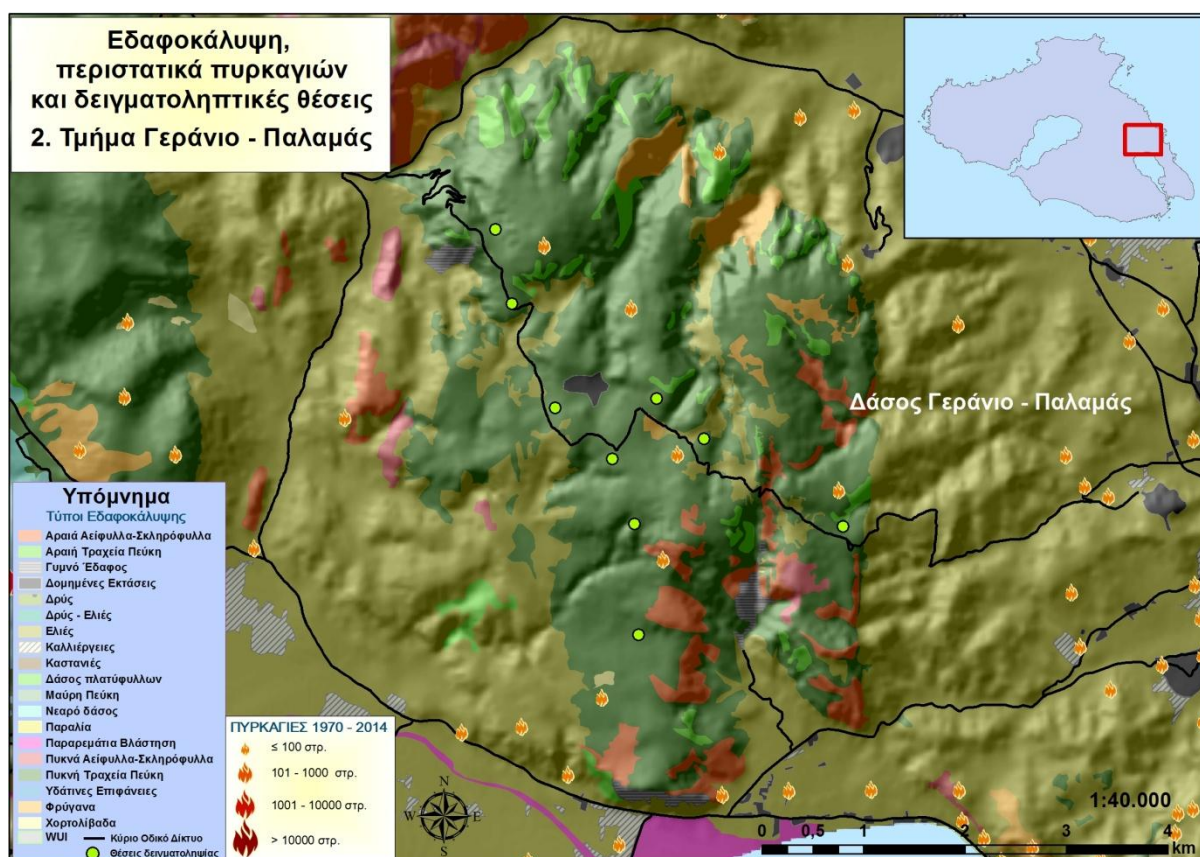
	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΑΣΟΣ ΚΡΑΤΗΓΟΥ										
Mean	10,1	24,6	5,3	4,7	4,1	0,183	40,4	790	552	74
Median	10,3	26,5	4,5	4,7	4	0,186	38	790	420	75
Max	13,4	32,7	9,3	6,4	6,2	0,29	53,3	1309	1383	80
Min	6,5	15,9	3,3	3,1	1,8	0,07	33,2	444	25	60
ΑΓΙΟΣ ΕΡΜΟΓΕΝΗΣ										
Mean	9,5	24,1	3,7	4,7	4,6	0,2	26,5	568	1086	75
ΚΟΚΚΙΝΟΒΟΛΟΣ										
Mean	16,1	37,2	6,5	5,9	9,1	0,3	79	716	296	80

Το δάσος του Αγίου Ερμογένη έχει παρόμοια δομή και σύσταση με αυτή του κεντρικού δάσους της Κρατήγου και εκτείνεται σε μια μικρή χερσόνησο που σχηματίζει έναν κόλπο, ενώ η δειγματοληψία έγινε στο μέσο ύψος της περιοχής που είναι τα 90 m. Η περιοχή δέχεται πιέσεις λόγω της πολύ έντονης τουριστικής παρουσίας, αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Θεωρείται ως περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλους από τους κατοίκους και επισκέπτες του νησιού. Τα είδη βλάστησης εντός της δειγματοληψίας ήταν η λαδανιά, ρέικι, αγριελιά και κουμαριά. Παρατηρήθηκε έντονη κατά τόπους φυσική αναγέννηση. Η εκτίμηση της εδαφοκάλυψης έδειξε ότι το 60% της περιοχής καλύπτεται από νεκρή καύσιμη ύλη και το 22% από θαμνώνες και φρύγανα.

Τέλος, το δάσος του όρους Κοκκινόβολος (περιοχή Προφήτη Ηλία) καλύπτει μια ορεινή περιοχή στα βορειοδυτικά του όρους σε υψόμετρο 350-450 m. Η δειγματοληψία έγινε σε υψόμετρο 343 m σε ώριμο δάσος τραχείας πεύκης. Παρατηρηθήκαν τα είδη πουρνάρι και κουμαριά κάτω από πυκνή κάλυψη κόμης (80%). Ο υπόροφος καλύπτεται από νεκρή καύσιμη ύλη κατά 71%, θαμνώνες κατά 22% και το 7% από άλλα χαρακτηριστικά. Τα δέντρα είναι ψηλά, υγιή και ώριμα ενώ παρατηρηθήκαν πολλοί κατακείμενοι νεκροί κορμοί. Η ανατολική πλευρά του όρους καλύπτεται από ελαιώνες, ενώ υπάρχουν αρκετές θέσεις ανάμιξης τους με κωνοφόρα. Δεν παρατηρηθήκαν σημάδια δραστηριοτήτων όπως ρητίνευση ή υλοτόμηση. Στην περιοχή έχουν εκδηλωθεί τα τελευταία 40 χρόνια μόλις τρία περιστατικά πυρκαγιών πολύ μικρής έκτασης, τα οποία κατεστάλησαν άμεσα.

Στο δασικό σύμπλεγμα Γεράνιο-Παλαμάς (Εικόνα 3.5) διεξήχθησαν εννέα δειγματοληψίες. Διαχρονικά, εντός της περιοχής έχουν συμβεί εννέα περιστατικά πυρκαγιών, κανένα όμως από αυτά δεν ξεπέρασε τα 30 ha σε καμένη έκταση, επομένως η επίδραση τους στη διαμόρφωση της δομής του δάσους είναι μηδαμινή. Στις πέντε θέσεις δειγματοληψίας

παρατηρήθηκε ώριμο πολυώροφο δάσος, ενώ σε τέσσερις νεαρό πολυώροφο δάσος με σημεία αναγέννησης. Στον υπόροφο υπάρχουν πάρα πολύ πυκνές στρώσεις αειφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων αναμεμιγμένες με νεαρά δέντρα τραχείας πεύκης, αγριελιές και κυπαρίσσια. Παρατηρήθηκε έντονη παρουσία φρυγάνων (θυμάρι και σουσούρας) και αρωματικών φυτών (φασκόμηλο, ρίγανη) τα οποία ευνοούν τη μελισσοκομία. Από τα περίπου 400 άτομα όλων των ειδών που μετρήθηκαν σε αυτές τις εννέα θέσεις, το 55% είναι τραχεία πεύκη, το 12% είναι πουρνάρια, το 15% είναι κουμαριές, το 6% αγριελιές, το 4% κυπαρίσσια, το 6% φυλλίκια και το 2% δάφνες και σχίνα.



Εικόνα 3.5: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Γεράνιο-Παλαμάς

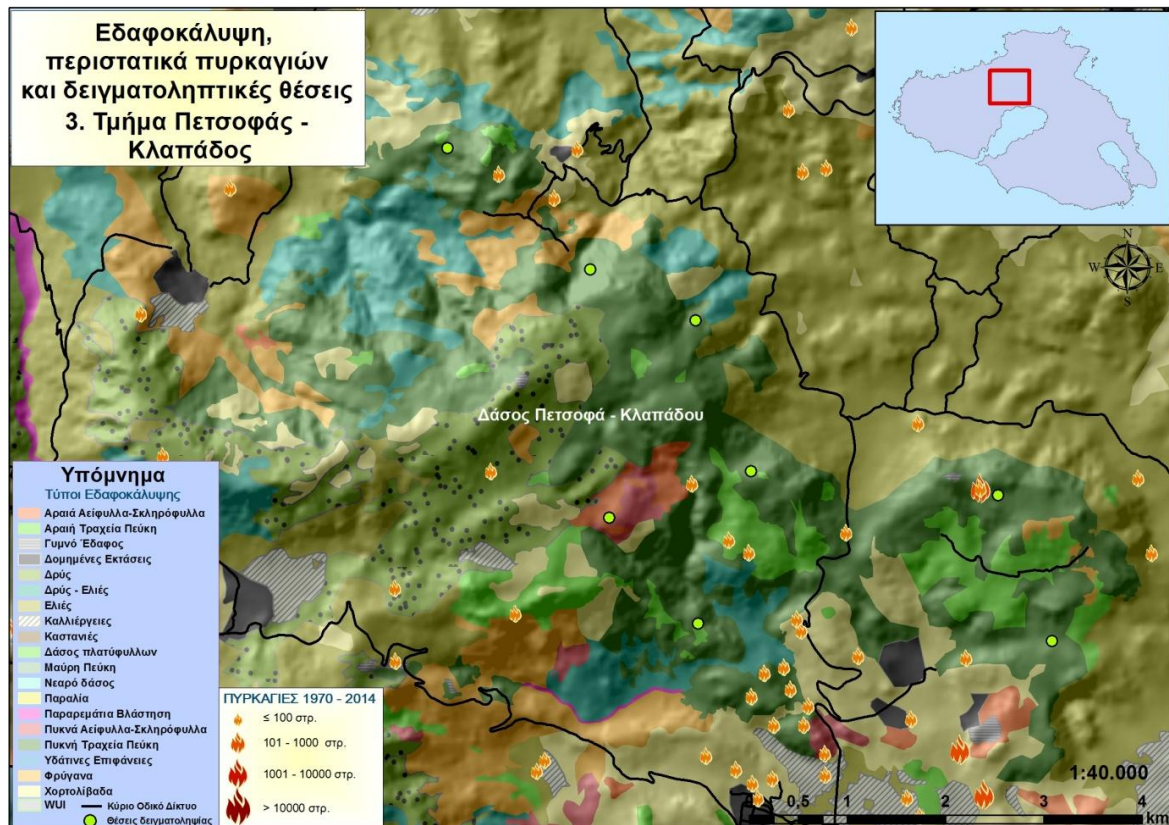
Η μέση σταθμισμένη στηθιαία διάμετρος (Quadratic Mean Diameter-QMD) είναι από τις υψηλότερες σε ολόκληρη τη Λέσβο, δείχνοντας ότι η περιοχή έχει από τα υψηλότερα και ωριμότερα δάση κωνοφόρων (Πίνακας 3.3). Οι δειγματοληψίες έγιναν σε υψόμετρα από 207 έως 278 m (2 θέσεις) και 325 έως 386 m (7 θέσεις). Η εκτίμηση της εδαφοκάλυψης έδειξε ότι το 52% της περιοχής καλύπτεται από νεκρή καύσιμη ύλη, το 27% από θαμνώνες και φρύγανα, το 13% από πέτρες, το 2% από ετήσια φυτά και το 6% από άλλα χαρακτηριστικά. Παρατηρήθηκαν δραστηριότητες ρητίνευσης, υλοτόμησης και λίγες αγροτοκτηνοτροφικές μονάδες. Το δάσος έχει δύο κεντρικές εισόδους, μια από τα ανατολικά και μια από τα βόρεια με σχετικά κάλο οδικό δίκτυο. Στην περιοχή, εντός του δάσους, υπάρχει μεγάλη κτηνοτροφική βιομηχανική εγκατάσταση.

Πίνακας 3.3: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Γεράνιο-Παλαμάς

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	11,6	34,7	5	5,8	5,8	0,277	56,6	557	573	61
Median	10,2	35,5	4,3	5,7	6,4	0,251	49,2	519	444	66
Max	16,9	42,4	8,3	6,7	9,1	0,432	95,9	765	1086	74
Min	7,3	24,5	3	4,7	3,1	0,164	26,6	370	272	30

Το δασικό σύμπλεγμα Πετσοφά-Κλαπάδου βρίσκεται στην κεντρική Λέσβο, βορείως του Κόλπου της Καλλονής (Εικόνα 3.6). Τα χαμηλότερα σημεία του ξεκινούν από υψόμετρο περίπου 100 m και φτάνει μέχρι τα 700 m στις θέσεις του Κλαπάδου. Η περιοχή περικλείεται από ελαιώνες στα βόρεια, βορειοανατολικά και ανατολικά, στα νότια από χορτολίβαδα και φρυγανικές εκτάσεις και στα ανατολικά από δάσος δρυός. Επιπλέον, εντός των δασικών εκτάσεων υπάρχουν εκτεταμένες εμφανίσεις θαμνώνων οι οποίες συνδέονται με τη βόσκηση που παρατηρήθηκε στην περιοχή.

Διενεργήθηκαν οκτώ δειγματοληψίες εντός της περιοχής σε υψόμετρα από 132 μέχρι 200 m (2 θέσεις), 300 έως 400 m (4 θέσεις) και 430 m (2 θέσεις). Στις θέσεις δειγματοληψίας βρέθηκαν τα είδη πουρνάρι, σχίνος, ρέικι και λαδανιά, ενώ παρατηρήθηκε και παρουσία ποώδους βλάστησης και ετήσιων φυτών. Συχνή εμφάνιση είχε και η δρυς, η αγριελιά, η αγλάδα και το φυλλίκι. Το μέσο ύψος των δέντρων είναι 13,6 m, με πολύ μεγάλο μέσο CBH στα 6,7 m (Πίνακας 3.4). Όλες οι περιοχές είχαν ώριμες συστάδες, είτε μονοόροφες (2 θέσεις), είτε πολυόροφες (5 θέσεις), ενώ σε μια θέση παρατηρήθηκε αναγέννηση του δάσους στον υπόροφο.



Εικόνα 3.6: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Πετσοφά-Κλαπάδου

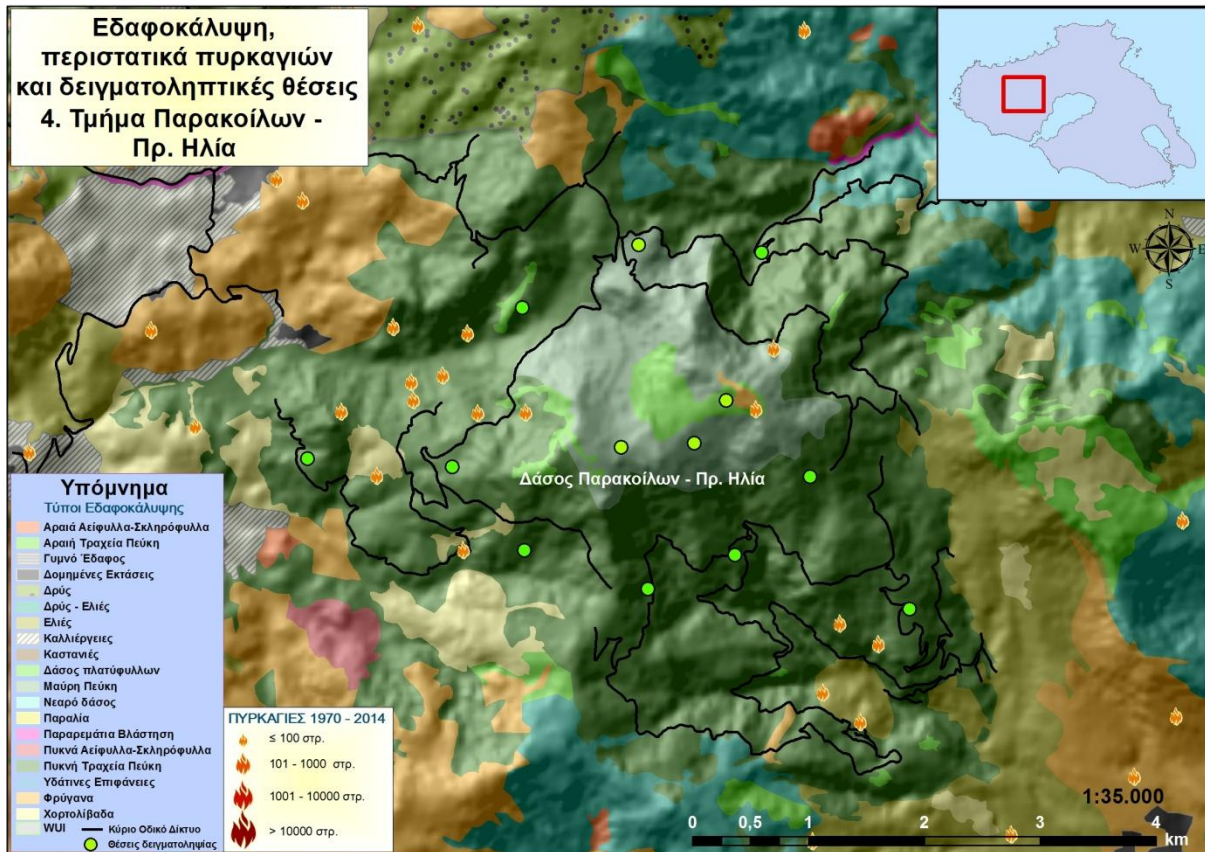
Πίνακας 3.4: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Πετσοφά-Κλαπάδου

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	13,6	32,8	6,1	5,6	6,7	0,2	55,3	730	533	70,9
Median	14	32,1	6,9	5,7	6,8	0,2	58,5	741	494	70,5
Max	15,9	44,4	8,2	6,6	8	0,3	65,3	1111	1062	77
Min	12	25,2	4,1	4,8	5,5	0,1	39,3	272	25	64

Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη φτάνει το 64%, από θαμνώνες και φρύγανα το 10%, από πέτρες το 12%, από ετήσια φυτά το 3% και από βρύα το 7% και από άλλα χαρακτηριστικά το 4%. Από όλα τα είδη φυτών που μετρήθηκαν στις οκτώ θέσεις, το 67% είναι τραχεία πεύκη, το 8% πουρνάρι, το 19% δρύες και το 4% φυλλίκι. Η μέση κάλυψη κόμης της περιοχής ξεπερνά το 70%. Γενικό συμπέρασμα είναι ότι αυτό το δάσος δέχεται ισχυρές ανθρώπινες πιέσεις, είτε λόγω της ισχυρής παρουσίας της βόσκησης, είτε λόγω των συχνών πυρκαγιών που συνέβησαν τα τελευταία 40 έτη (25 περιστατικά), με πιο πρόσφατες αυτές του καλοκαιριού του 2009 (Πετσοφάς) και 2010 (Κλαπάδος). Η περιοχή είναι ιδιαίτερα καλαίσθητη με πυκνά δάση και καταρράκτες στην οποία παρατηρείται και μεγάλη επισκευσιμότητα. Τέλος, δεν παρατηρήθηκαν δραστηριότητες ρητίνευσης και υλοτόμησης.

Το όρος Προφήτης Ηλίας στη δυτική Λέσβο φιλοξενεί ένα πυκνό υγιές δάσος τραχείας πεύκης, εντός του οποίου ενθυλακώνεται το μοναδικό πλέον συμπαγές δάσος μαύρης πεύκης του νησιού (Εικόνα 3.7). Η περιοχή έχει πληγεί από περίπου 17 περιστατικά πυρκαγιών τα τελευταία 40 έτη τα οποία έκαψαν μερικές μόνο δεκάδες στρέμματα. Διεξήχθησαν εννέα δειγματοληπτικές επιφάνειες εντός των συστάδων τραχείας πεύκης (τρεις σε υψόμετρο 360 έως 400 m, πέντε εντός της ζώνης 400 έως 510 m και μια σε υψόμετρο 617 m) και τέσσερις εντός των συστάδων της μαύρης πεύκης (530 έως 750 m).

Το μέσο ύψος των συστάδων τραχείας πεύκης ήταν το υψηλότερο του νησιού, ενώ οι περισσότερες θέσεις χαρακτηρίζονται ως ώριμο μονοόροφο δάσος (Πίνακας 3.5). Η παρουσία κωνοφόρων στην περιοχή είναι συντριπτική, με ποσοστά κάλυψης άνω του 95%. Τα πιο συχνά είδη στον υπόροφο είναι η λαδανιά, η φτέρη, νεαρές δρύες και άρκευθος, ενώ σπανιότερα εμφανίζονταν κουμαριές, πουρνάρια, αγριελιές και αγλάδες (*Pygus amygdaliformis*). Η φυσική αναγέννηση ήταν συχνό φαινόμενο στην πλειοψηφία των θέσεων. Παρατηρήθηκε απουσία κτηνοτροφικών μονάδων, ενώ σε δύο θέσεις παρατηρήθηκε ρητίνευση. Επιπλέον, σε πολλές θέσεις υπήρχαν έντονα σημάδια υλοτόμησης. Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη είναι από τις υψηλότερες στο νησί και φτάνει το 73%, ενώ το 8% καλύπτεται από θαμνώνες και φρύγανα, το 9% από πέτρες, το 4% από βρύα, το 2% από ετήσια φυτά και το 4% από άλλα χαρακτηριστικά. Στην περιοχή συναντάμε δύο πολύ σπάνια φυτά, το Ροδόδενδρο (*Rhododendron luteum* Sweet ή *Azalea pontica* L.) και την Παιωνία (*Paeonia mascula* ssp. *mascula*). Η Λέσβος είναι το μοναδικό Ευρωπαϊκό τμήμα στο οποίο απαντάται το Ροδόδενδρο, αφού η εξάπλωση του είναι στα ανατολικά. Ως ενδιαίτημα έχει την περιοχή βόρεια και υψηλότερα των Παρακοίλων (Αγία Δροσιά), μέχρι και την κορυφή του Προφήτη Ηλία, κατεβαίνοντας έως την Πτερούντα και τα Χίδηρα. Είναι φυλλοβόλος θάμνος ύψους 3 έως και σπάνια 4 m, ευδοκιμώντας στο όξινο πυριγενές πέτρωμα της περιοχής. Η Παιωνία είναι πολυετής και ποώδες φυτό και φύτευται γενικά σε ορεινούς όγκους, προτιμώντας ασβεστολιθικά εδάφη και σκιερά τοπία.



Εικόνα 3.7: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Παρακοίλων-Προφήτη Ηλία.

Πίνακας 3.5: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό σύμπλεγμα Παρακοίλων-Προφήτη Ηλία.

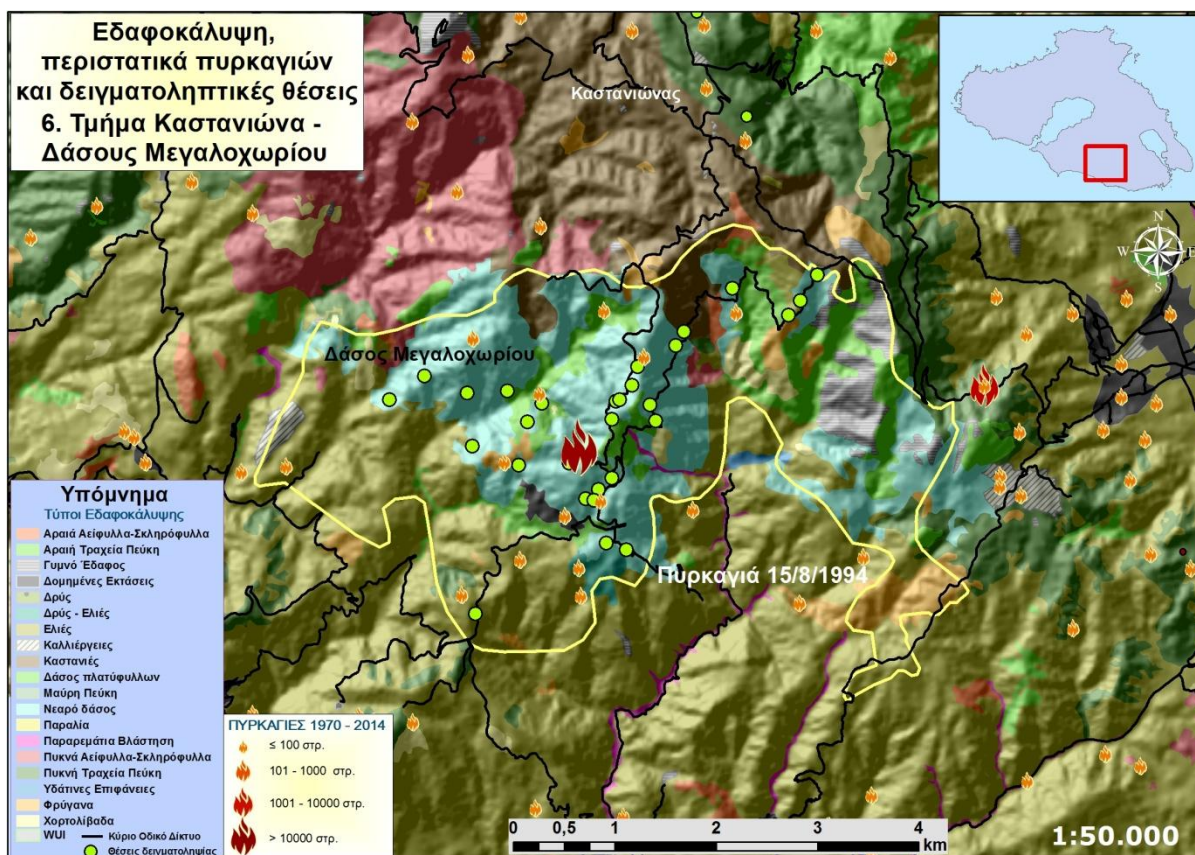
	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	14,5	31,4	5,8	5,6	6,9	0,3	54,9	768	192	70,9
Median	14,4	30,7	5,9	5,7	6,9	0,3	59,3	642	25	68,5
Max	20,4	41,2	7,3	6,6	9	0,3	67,5	1630	938	85
Min	8,4	22	3,1	4,5	4,2	0,1	30,3	420	25	61

Εντός του δάσους μαύρης πεύκης παρατηρήθηκε η παρουσία φτέρης (*Pteris aquilina*), και λίγων ατόμων δρυός και πουρναριού. Χαρακτηρίζονταν από βαθύ χούμο με πολλούς κώνους, ενώ δεν λείπουν και οι περιοχές όπου αναμιγνύεται με άτομα ή συστάδες τραχείας πεύκης (αναλογία 60%/40%). Ως επί το πλείστον οι συστάδες της χαρακτηρίζονται ως ώριμες και μονοόροφες. Η κάλυψη κόμης είναι περίπου 70% ενώ το έδαφος καλύπτεται από 78% νεκρή καύσιμη υλη, το 10% από βρύα, το 5% από ετήσια φυτά και το 7% από άλλα χαρακτηριστικά. Το μέσο ύψος των δέντρων δεν είναι πολύ μεγάλο (12 m), ενώ το μέσο ύψος έναρξης κόμης είναι 4,6 m (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα μαύρης πεύκης του Προφήτη Ηλία

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	12	35,1	6,8	8,1	4,6	0,1	34,9	376	31	69
Median	12,1	33,9	7	8,3	4,6	0,1	31,3	308	25	69
Max	13,1	39,9	8,3	9,9	6,8	0,2	55,8	667	49	69
Min	10,9	32,6	5	5,9	2,5	0,1	21,1	222	25	69

Το αναγεννώμενο δάσος Μεγαλοχωρίου είναι μια περιοχή η οποία δέχθηκε ένα σφοδρότατο πλήγμα από την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς που ξέσπασε στην περιοχή το 1994 και έκαψε περί τα 2.600 ha αγροτικών και δασικών εκτάσεων (Εικόνα 3.8). Διενεργήθηκαν 30 δειγματοληψίες για να εκτιμηθεί η κατάσταση του δάσους δύο δεκαετίες μετά την πυρκαγιά, τόσο του βαθμού επαναδάσωσης, όσο και της κατάστασης εντός των άκαυτων θυλάκων. Οι θέσεις αυτές βρίσκονταν σε υψόμετρα από 450 έως 600 m (8 θέσεις), 600 έως 700 m (10 θέσεις) και από 700 έως 807 m (12 θέσεις). Βορείως της καμένης έκτασης κυριαρχεί ο καστανιόνας της Αγιάσου και περιοχές αειφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων, ενώ στα δυτικά και νότια κυριαρχούν πυκνοί ελαιώνες. Στα ανατολικά δεσπόζουν βραχώδεις εκτάσεις μαρμάρων Περμίου-Λιθανθρακοφόρου οι οποίες είναι άγονες ή/και πολύ αραιής βλάστησης. Στην περιοχή δειγματοληψιών κυρίαρχα είδη είναι η τραχεία πεύκη και η δρυς, ενώ σε αρκετές θέσεις παρατηρήθηκε αναγέννηση μαύρης πεύκης. Κατά τόπους παρατηρήθηκε έντονη εμφάνιση σπάρτων (*Spartium junceum*), ενώ συχνή παρουσία έχουν τα είδη πουρνάρι, φτέρη και σπαράγγι.



Εικόνα 3.8: Εδαφοκάλυψη, περιστατικά πυρκαγιών και δειγματοληπτικές θέσεις στο δασικό σύμπλεγμα Καστανιόνα-Δάσους Μεγαλοχωρίου

Το μέσο ύψος των νεαρών δενδρυλλίων τραχείας πεύκης είναι 5,3 m, ενώ η μέση DBH είναι 9,2 cm. Η ελάχιστη πυκνότητα δενδρυλλίων βρέθηκε να είναι 400 άτομα/acre, ενώ η μέγιστη 7.440, με μέση πυκνότητα τα 1.480 άτομα/acre. Για τη μαύρη πεύκη, το μέσο ύψος είναι 3,1 m ενώ η μέση DBH είναι 7 cm. Η μέση πυκνότητα δενδρυλλίων είναι 400 άτομα/acre. Στις περιοχές αναγέννησης είναι συχνή η παρουσία δρυός (15 θέσεις) και πουρναριού (18 θέσεις). Η μέση κάλυψη του εδάφους με βελονοτάπητα είναι 50% για όλες τις θέσεις, το 19% καλύπτεται από νεκρούς κορμούς και κλαδιά, το 18% με θαμνώνες (και λίγα φρύγανα), το 6% με δενδρύλλια, το 4% με πέτρες, το 2% με ετήσια φυτά και το 1% από άλλα χαρακτηριστικά. Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής είναι ως επί το πλείστον σχιστόλιθοι, με περιοχές περιδοτίων και λίγες μαρμάρων. Η μέση κλίση όλων των μετρούμενων θέσεων ήταν 21°.

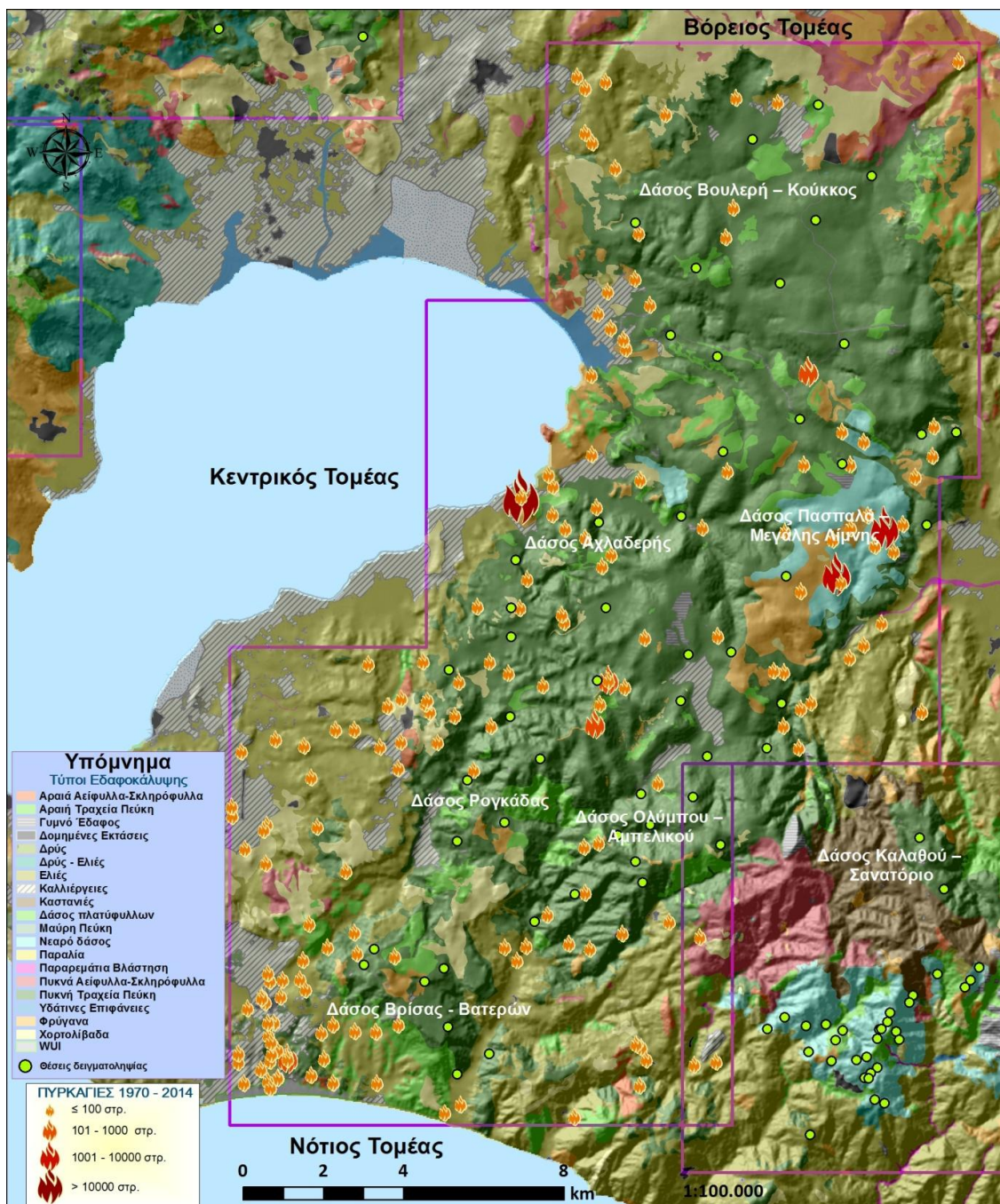
Στα δυτικά του κόλπου της Γέρας (ανατολικά του ορεινού όγκου του Ολύμπου) έγιναν τρεις δειγματοληψίες, οι δύο στο δάσος Καλαθού-Σανατόριο (νοτιώς της Αγιάσου σε υψόμετρο 650 m) και η μια στο δασικό θύλακα Τρυγώνας σε υψόμετρο 220 m (Εικόνα 3.9). Στο δάσος Καλαθού-Σανατόριο βρέθηκαν τα είδη πουρνάρι, λαδανιά, σχίνος, φυλλίκι, άρκευθος και δρυς, κάτω από ώριμες και ψηλές (15,7 m) συστάδες τραχείας πεύκης. Αποτελούν το 46% των μετρούμενων δέντρων της περιοχής, ακολουθούμενες από το πουρνάρι (37%) και το φυλλίκι (17%) (Πίνακας 3.7). Η μέση κάλυψη κόμης είναι 57%, υποδηλώνοντας σχετικά ανοιχτό δάσος, ενώ αναγνωρίστηκε ως παλαιό πολυώροφο δάσος. Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη και φυλλοτάπητα είναι 73%, ενώ το 22% καλύπτεται από θαμνώνες και φρύγανα και το 5% από πέτρες. Η περιοχή αξιοποιείται συχνά για σκοπούς αναψυχής, ενώ μέσα από αυτή περνά ο βασικός δρόμος για τον καστανιώνα. Συχνές επισκέψεις διενεργούνται για τη συλλογή άγριας τροφής, ενώ παρατηρήθηκε και συλλογή ρητίνης. Ο Καστανιώνας χωρίζει την περιοχή από το δασικό τμήμα Μεγαλοχωρίου, ενώ στα νοτιοανατολικά υπάρχει εκτεταμένη περιοχή καλυμμένη από αραιό δάσος κωνοφόρων. Έχουν εκδηλωθεί επτά περιστατικά πυρκαγιών τα οποία έκαψαν αμελητέες ποσότητες και κατασβέστηκαν γρήγορα. Ο θύλακας της Τρυγώνας είναι ένα μικρό δάσος τραχείας πεύκης στα νότια της Λέσβου, ώριμο και ψηλό, που καλύπτει το 53% της περιοχής και στον υπόροφο του κυριαρχούν τα είδη σχίνος, λαδανιά, πουρνάρι, κουμαριά, φυλλίκι, ελιά και δάφνη. Το 61% του εδάφους καλύπτεται από νεκρή καύσιμη ύλη, το 27% από θαμνώνες και το 12% από άλλα χαρακτηριστικά.

Πίνακας 3.7: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Καλαθού-Σανατόριο και στο δασικό θύλακα Τρυγώνας

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
	ΔΑΣΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΚΑΛΑΘΟΥ-ΣΑΝΑΤΟΡΙΟ									
Mean	15,7	42,6	8,1	7,1	5,2	0,4	81	556	741	57
	ΔΑΣΙΚΟΣ ΘΥΛΑΚΑΣ ΤΡΥΓΩΝΑΣ									
Mean	16,7	29,7	7,4	5,1	6,4	0,2	47,5	642	568	52

Το κεντρικό δασικό σύμπλεγμα χωρίστηκε σε τρεις τομείς-το Βόρειο, τον Κεντρικό και το Νότιο (Εικόνα 3.9). Στη βόρεια περιοχή του κεντρικού δάσους, η οποία χωρίζεται από τα άλλα τμήματα του δάσους μέσω του κεντρικού δρόμου Μυτιλήνης-Καλλονής, βρίσκεται το δασικό τμήμα Βρουλερή-Κούκκος. Διενεργήθηκαν 10 δειγματοληψίες εντός της περιοχής σε υψόμετρα από 171 έως 282 m. Στα νότια της περιοχής συνεχίζεται το κεντρικό δάσος, ενώ στα δυτικά και ανατολικά κυριαρχούν ελαιώνες. Στο βόρειο τμήμα του δάσους εντοπίζονται εκτεταμένες περιοχές θαμνώνων, φρυγάνων και χορτολίβαδων παράλληλα με την παρουσία

κτηνοτροφικών μονάδων, κυρίως προς την πλευρά του Μανταμάδου. Σε επτά θέσεις δειγματοληψίας εντοπίστηκαν κτηνοτροφικές μονάδες πολύ κοντά σε αυτές. Τέσσερις θέσεις αναγνωρίστηκαν ως παλαιό πολυώροφο δάσος με εμφανή σημάδια αναγέννησης, ενώ οι άλλες έξι θέσεις αναγνωρίστηκαν ως νεαρό πολυώροφο δάσος. Γενική διαπίστωση είναι ότι τα δάση της περιοχής δεν είναι πολύ ψηλά (10,6 m), με χαμηλό CBH (4,2 m) και μικρή σθηθιαία διάμετρο (28,4 cm). Ο αριθμός των δέντρων τόσο στον ανώροφο όσο και στον υπόροφο είναι πάρα πολύ μεγάλος (733 και 1.034 άτομα/ha αντίστοιχα) (Πίνακας 3.8). Η κάλυψη κόμης είναι 59%, ενώ η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη είναι 45%, με 20% κάλυψη από πέτρες, 14% με θαμνώνες, 8% με ετήσια φυτά, 3% από γυμνό/άγονο και το 4% από άλλα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 3.9: Εδαφοκάλυψη και δειγματοληπτικές θέσεις στο κεντρικό πευκοδάσος της νότιας Λέσβου

Στην περιοχή έχουν εκδηλωθεί 16 περιστατικά πυρκαγιών τα τελευταία 40 έτη τα οποία έκαψαν από λίγα στρέμματα μέχρι και 100 ha, κανένα όμως σοβαρό περιστατικό δεν συνέβη τα τελευταία 20 έτη. Καταγράφηκαν δραστηριότητες ρητίνευσης σε έξι θέσεις, ενώ από την περιοχή διέρχεται ένας νέος δρόμος που οδηγεί προς τον κεντρικό ΧΥΤΥ Λέσβου ο οποίος λειτουργεί και ως αντιπυρική ζώνη (πλάτους περίπου 30 m). Η περιοχή δεν προσελκύει επισκέπτες, η πρόσβαση επομένως στο δάσος διενεργείται κυρίως από τους κατοίκους των γύρω περιοχών που ασκούν οικονομικές ή κυνηγητικές δραστηριότητες. Καταγράφηκαν τα είδη λαδανιά, πουρνάρι, αγριελιά, σχίνος, δρυς, ελιά, αστηβιά, ρείκι και αγλάδα, ενώ σπάνια καταγράφηκε άρκευθος, δάφνη και φυλλίκι. Άνω του 90% όλων των καταγεγραμμένων φυτών και δέντρων είναι τραχεία πεύκη. Ο βελονοτάπητας ήταν γενικά ρηχός (4 cm) και βοσκημένος, ενώ τα φορτία της νεκρής καύσιμης ύλης είναι μικρά (2,7 tons/acre).

Πίνακας 3.8: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Βρουλερή-Κούκκος

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	10,6	28,4	4,6	4,9	4,2	0,2	38,3	733	1034	58,7
Median	10,3	27,4	4,5	5,0	3,7	0,2	39,0	741	950	59
Max	14,7	39,2	5,5	6,3	6,9	0,2	60,2	1012	1901	76
Min	8,7	20,2	3,6	3,5	3	0,1	19,5	420	370	46

Το δασικό τμήμα νοτίως της οδικής αρτηρίας Μυτιλήνης-Καλλονής χωρίστηκε σε δύο τμήματα (Πασπαλάς-Μεγάλη Λίμνη και Αχλαδερή). Το δασικό τμήμα Πασπαλά-Μεγάλης Λίμνης είναι μια σχετικά ομαλή τοπογραφικά περιοχή στην οποία κυριαρχούν νεαρά δάση κωνοφόρων σε μίξη με θαμνώνες και φρύγανα. Στην περιοχή διενεργήθηκαν 10 δειγματοληψίες σε υψόμετρα από 165 έως 300 m (3 θέσεις) και από 300 έως 400 m (7 θέσεις) σε σχετικά μικρή μέση κλίση (8°) (Πίνακας 3.9). Το κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής είναι ότι έχει πληγεί από πάρα πολλά περιστατικά πυρκαγιών τα τελευταία 40 έτη με αποτέλεσμα μεγάλα τμήματα της να είναι είτε σε στάδιο αναγέννησης και επανασύστασης, είτε να έχουν υποβαθμιστεί. Συγκεκριμένα, στην περιοχή εκδηλώθηκαν 30 περιστατικά πυρκαγιών, από τα οποία τα δύο (1984 και 1992) έκαψαν πάνω από 700 ha και τρία ήταν μέσης καμένης έκτασης (20 -100 ha). Η πιο πρόσφατη πυρκαγιά εκδηλώθηκε το 2009 στη θέση Σωτήρα και έκαψε περί τα 13 ha.

Πίνακας 3.9: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Πασπαλά-Μεγάλης Λίμνης

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	11,3	23,7	4,3	4,4	5,1	0,2	45	1076	553	60
Median	11,2	21,5	4,3	4,4	5,2	0,2	41,8	926	370	57,5
Max	14,7	39,8	6,3	5,8	7,5	0,4	80,9	2272	1654	82
Min	7	15,7	1,5	2,5	1,7	0,1	11,8	567	25	40

Τα μέση ύψη των δέντρων είναι περίπου 11 m με μέσο CBH τα 5 m, σχηματίζοντας συστάδες μέσης κάλυψης 60%. Από την Εικόνα 5.7 διαπιστώνεται ότι το δάσος συνορεύει στα ανατολικά με ελαιώνες, ενώ στο κέντρο της περιοχής υπάρχει μια μεγάλη έκταση καλυμμένη με νεαρό δάσος και θαμνώνες. Μεταξύ των ειδών που καταγράφηκαν πολύ

συχνά ήταν το ρείκι, γεγονός που εξηγεί και την έντονη μελισσοκομική δραστηριότητα της περιοχής, καθώς και η αστηβιά, τα λαδανιά και πολλά ετήσια φυτά, ενώ πιο σπάνια καταγράφηκαν το φυλλίκι, η κουμαριά, ο σχίνος, η αγριελιά και το πουρνάρι. Το 90% των δέντρων που καταγράφηκαν ήταν τραχεία πεύκη. Σε τρεις θέσεις το δάσος αναγνωρίστηκε ως ώριμο μονοόροφο, ενώ στις άλλες ήταν νεαρό δάσος με υπόροφο και νεαρά δέντρα κωνοφόρων. Ο μέσος απόλυτος αριθμός δενδρυλλίων ήταν υψηλός, φτάνοντας τα 1.077 δέντρα/ha στον ανώροφο και τα 553 δέντρα και θάμνους ανά εκτάριο στον υπόροφο. Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη είναι 48%, από πέτρες 18%, από θαμνώνες 15%, από ετήσια φυτά 10%, από δενδρύλλια 6% και το 3% από άλλα χαρακτηριστικά. Το μέσο φορτίο καύσιμης ύλης ανέρχεται σε 4 tons/acre, με μέσο βάθος βελονοτάπητα τα 10 cm. Σε πέντε θέσεις βρέθηκαν σημάδια ρητίneuσης, ενώ κτηνοτροφικές μονάδες βρέθηκαν κοντά σε δύο θέσεις. Επιπλέον, ένα πεδίο βολής του στρατού βρίσκεται εντός της περιοχής και από αυτό έχουν ξεκινήσει πολλές πυρκαγιές κατά το παρελθόν. Η πρόσβαση στο βόρειο τμήμα της περιοχής είναι δύσκολη καθώς τη διασχίζει μόνο ένας βατός χωματόδρομος και ως αποτέλεσμα, ο αριθμός των διερχόμενων επισκεπτών είναι μικρός. Από την Μεγάλη Λίμνη στα νότια της περιοχής διέρχεται ο κεντρικός δρόμος Μυτιλήνης-Πολιχνίτου και εκεί εξασκείται έντονη αγροτική δραστηριότητα, αλλά και συχνές επισκέψεις κατοίκων για συλλογή άγριας τροφής (π.χ. μανιτάρια).

Η περιοχή της Αχλαδεράς βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Κόλπου της Καλλονής και εκεί διενεργήθηκαν εννέα δειγματοληψίες σε υψόμετρα από 46 έως 200 m (5 θέσεις) και από 200 έως 323 m (4 θέσεις) σε μικρές κλίσεις (7°). Σε πέντε θέσεις οι συστάδες αναγνωρίστηκαν ως μονοόροφο ώριμο δάσος και στις άλλες νεαρό δάσος με σημεία αναγέννησης. Σε έξι θέσεις καταγράφηκε κτηνοτροφική δραστηριότητα κατά τόπους έντονη, ενώ σε τέσσερις καταγράφηκε ρητίneuση. Στις περισσότερες θέσεις διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αρκετά νεαρά δενδρύλλια, ενώ τα κυρίαρχα είδη ήταν η λαδανιά, το πουρνάρι, η αστηβιά και το ρείκι, ενώ πιο σπάνια απαντάται η αγριελιά, ο άρκευθος, ο σχίνος και πολλά είδη ετήσιων φυτών. Η μέσος απόλυτος αριθμός δενδρυλλίων ήταν υψηλός, φτάνοντας τα 790 δέντρα/ha στον ανώροφο και τα 584 δέντρα και θάμνους ανά εκτάριο στον υπόροφο. Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη είναι 52%, από πέτρες 15%, από θαμνώνες 13%, από ετήσια φυτά 9%, από δενδρύλλια 8% και το 3% από άλλα χαρακτηριστικά. Το μέσο ύψος των δέντρων ήταν μέσο (11 m) με μέσο CBH τα 5 m (Πίνακας 3.10).

Πίνακας 3.10: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Αχλαδεράς

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	10,8	27,9	4,3	4,8	5,0	0,2	44,5	790	584	57
Median	9,8	25,9	3,7	4,7	4,9	0,2	43,8	667	420	60
Max	17,7	41,2	9,4	7,3	6,4	0,3	79,0	1383	1605	68
Min	9,1	19,1	2,8	3,7	3,6	0,1	18,6	370	49	37

Στην πλειονότητα των θέσεων κυριαρχούν δέντρα μέσης ηλικίας (40-50 ετών) με υπόροφο από φρύγανα και ετήσια φυτά. Τα δάση της περιοχής είναι από τα λιγότερα επισκέψιμα της Λέσβου επειδή το οδικό δίκτυο δεν επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση σε αυτά. Έχουν καταγράψει περίπου 25 περιστατικά πυρκαγιές τα τελευταία 40 έτη, με μεγαλύτερη αυτή του 1977 η οποία κατέκαψε 1.520 ha αγροτοδασικών εκτάσεων κοντά στην αρχαία Πύρρα. Τα υπόλοιπα περιστατικά ήταν πάρα πολύ μικρά και σβήνονταν πάντα γρήγορα (<70 στρέμματα), καταδεικνύοντας ότι η ανθρωπογενής πίεση στην περιοχή δεν είναι μεγάλη. Το

μέσο φορτίο καύσιμης ύλης ανέρχεται σε 2,6 tons/acre, με μέσο βάθος βελονοτάπητα τα 4 cm.

Τα τελευταία τρία δασικά τμήματα βρίσκονται στο νότιο τμήμα της Λέσβου και είναι το ορεινό σύμπλεγμα Ολύμπου-Αμπελικού, το ημιορεινό σύμπλεγμα Ρογκάδας και το παράκτιο δάσος Βατερών-Βρίσας. Αυτό που χαρακτηρίζει τις περιοχές αυτές είναι ότι καλύπτονται από ώριμα δάση κωνοφόρων σε θέσεις με έντονη τοπογραφία. Στα ανατολικά του δάσους, στην περιοχή των Βασιλικών, η βλάστηση είναι κυρίως ελαιώνες σε μίξη με καλλιέργειες και μικρούς θύλακες κωνοφόρων. Στα δυτικά, δεσπόζει ο ορεινός όγκος του Ολύμπου με βλάστηση κυρίως αειφύλλων-σκληρόφυλλων θάμνων, ενώ στα νοτιοανατολικά και νότια κυριαρχούν καλλιέργειες και ελαιώνες (περιοχή Σταυρός).

Στο δασικό τμήμα Ολύμπου-Αμπελικού διενεργήθηκαν οκτώ δειγματοληψίες σε υψόμετρα από 370 έως 400 m (3 θέσεις) και από 535 έως 682 m (5 θέσεις) σε έντονες-κλίσεις (22°). Το μέσο ύψος δέντρων της περιοχής είναι περίπου 13 m, με το CBH να φτάνει τα 5,6 m, ενώ καταγράφηκαν αρκετά δέντρα με στηθιαία διάμετρο άνω των 100 cm. Στην περιοχή καταγράφηκαν μερικές από τις υψηλότερες στηθιαίες διαμέτρους (QMD) της οποίας η μέση τιμή έφτανε τα 35,2 cm, ενώ η basal area ήταν επίσης από τις υψηλότερες της Λέσβου (80,6 cm). Η μέση κάλυψη κόμης είναι λίγο κάτω από το μέσο όρο (58%), ενώ ο αριθμός δέντρων στον ανώροφο είναι 858 και στον υπόροφο 599 άτομα/ha. Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη είναι 55%, από πέτρες 16%, από θαμνώνες 15%, από δενδρύλλια 9% και από ετήσια φυτά 5% (Πίνακας 3.11). Οι περισσότερες συστάδες σχηματίζουν ώριμο πολυώροφο δάσος με αρκετά σημεία αναγέννησης, ενώ σε τρεις θέσεις ο υπόροφος εκυριαρχείτο από νεαρά δενδρύλλια κωνοφόρων. Καταγράφηκε έντονη δραστηριότητα ρητίνευσης επειδή στο Αμπελικό η ρητινοσυλλογή εξασκείτο έντονα κατά το παρελθόν, με αποτέλεσμα η πλειονότητα των συστάδων να έχει υποστεί έντονη διαχείριση εδώ και πολλές δεκαετίες. Το μέσο φορτίο καύσιμης ύλης ανέρχεται σε 8,4 tons/acre, με μέσο βάθος βελονοτάπητα τα 12 cm, αποδεικνύοντας την ωριμότητα του δάσους καθώς και τη συσσώρευση που έχει επέλθει τα τελευταία χρόνια από την εγκατάλειψη της διαχείρισής τους. Τα κυρίαρχα είδη του υπόροφου είναι τα νεαρά δέντρα τραχείας πεύκης, η λαδανιά που φύεται σε αφθονία σε μίξη με ετήσια φυτά και λίγα φρύγανα, ενώ αραιή εμφάνιση έχει το πουρνάρι, η αγλάδα και η φτέρη. Τα περιστατικά πυρκαγιών τα τελευταία 40 έτη ανέρχονται σε 13, ενώ κανένα από αυτά δεν έλαβε μεγάλες διαστάσεις (<25 ha).

Πίνακας 3.11: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Ολύμπου-Αμπελικού

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	12,7	35,2	5,4	6,1	5,6	0,3	80,6	858	599	58
Median	12,3	31	5	6,5	5,2	0,4	71,5	840	642	58
Max	18,9	50,5	7	7,5	8,8	0,6	134,9	1235	1160	68
Min	9,6	24,6	4,2	4,2	3,5	0,1	53	494	222	51

Η περιοχή της Ρογκάδας είναι μια δασική περιοχή με αρκετές αγροτικές και κτηνοτροφικές εκτάσεις. Διενεργήθηκαν οκτώ δειγματοληψίες σε υψόμετρα από 100 έως 200 m (2 θέσεις), από 200 έως 300 m (2 θέσεις), από 300 έως 400 m (2 θέσεις) και άλλες δύο από 400 έως 492 m, σε μέσες κλίσεις 13°. Όλες οι συστάδες αναγνωρίστηκαν είτε ως ώριμο μονώροφο δάσος (3 θέσεις) ή ως ώριμο πολυώροφο (5 θέσεις), με μεγάλα μέση ύψη δέντρων (14,3 m) και CBH (6,1 m) (Πίνακας 3.12). Σε αρκετές περιπτώσεις καταγράφηκε έντονη αναγέννηση κωνοφόρων. Ο αριθμός δέντρων ανά εκτάριο είναι 633 άτομα στον ανώροφο και 469 άτομα στον υπόροφο. Το πιο συχνό είδος βλάστησης στον υπόροφο είναι η λαδανιά

και τα νεαρά δέντρα κωνοφόρων, ενώ αρκετά συχνά εμφανίζονταν ετήσια φυτά και πουρνάρια, με πιο σπάνιες εμφανίσεις αυτές της δρυός, της αγριελιάς και του φυλλικιού. Η μέση κάλυψη από νεκρή καύσιμη ύλη είναι 60%, από πέτρες 15%, από θαμνώνες 9%, από ετήσια φυτά 5%, από δενδρύλλια 4% και από βρύα 7%. Το μέσο φορτίο καύσιμης ύλης ανέρχεται σε 3,8 tons/acre, με μέσο βάθος βελονοτάπητα τα 5,5 cm. Διαπιστώθηκε ότι σε πέντε θέσεις υπήρχε ρητίνευση, σε δύο είχε κοντά κτηνοτροφικές μονάδες και σε δύο διαπιστώθηκε υλοτόμηση. Στην περιοχή ξέσπασαν 20 πυρκαγιές τα τελευταία 40 έτη με μέγιστη καμένη έκταση τα 54 ha το 1973.

Πίνακας 3.12: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Ρογκάδας

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	14,3	34,6	6,5	6,3	6,1	0,2	57,5	633	469	57,6
Median	15,4	36,4	6,8	6,2	5,6	0,2	56,1	555	432	58
Max	17,8	41,4	8,9	8,4	9,9	0,3	65,6	938	1012	74
Min	9,3	27,3	3,7	5	3,6	0,1	50,4	420	25	44

Στην ευρύτερη περιοχή Βρίσας, Βατερών και Σταυρού (κοινώς Βούρκου) της νότιας Λέσβου υπάρχει ένα παράκτιο δασικό οικοσύστημα κωνοφόρων δέντρων το οποίο προσδίδει ιδιαίτερη περιβαλλοντική και αισθητική αξία στο τοπίο. Το δάσος αυτό αποτελεί ουσιαστικά τη νότια προέκταση του κεντρικού πευκοδάσους της Λέσβου. Τα πευκοδάση αυτά βρίσκονται πολύ κοντά στη νότια ακτή της Λέσβου, στην οποία πνέουν συχνά ισχυροί άνεμοι που επηρεάζουν την εξέλιξη του δάσους. Οι κύριες θέσεις εξάπλωσης του δάσους αρχίζουν από την κορυφή Κούτρα (380 m) στα βορειοανατολικά της Βρίσας, έως και την περιοχή Καστρί δυτικά του Σταυρού. Παραλιακά, απαντώνται μεμονωμένα δέντρα, λόχμες και μικρές συστάδες από τις θέσεις Κορώνα νοτίως της Βρίσας, Όρνοι, Αλεπούς βρύση, Μπελέκου βρύση έως τον λόφο Κουτράκι στα δυτικά του Κάμπου και μέχρι το κομμένο Ράχτο, στο πιο ανατολικό άκρο της παράκτιας ζώνης Βατερών-Βούρκου.

Για την απογραφή της καύσιμης ύλης και της δομής των δασών, διενεργήθηκαν επιτόπιες δειγματοληψίες σε υψόμετρα έως περίπου 350 m, σε πλαγιές με μέση κλίση 35% και πολλαπλούς προσανατολισμούς. Κατά θέσεις βρέθηκε ότι οι συστάδες αποτελούνται από νεαρό πολυώροφο δάσος (ηλικίας 25-40 ετών), ενώ σε άλλες θέσεις απαντάται ώριμο πολυώροφο δάσος (ηλικίας 60-80 ετών). Το μέσο ύψος των συστάδων είναι μέτριο 12-13 m, ενώ το μέσο ύψος έναρξης της κόμης των δέντρων φτάνει τα 5-6 m με κάλυψη του εδάφους από το φύλλωμα περίπου στο 65% (Πίνακας 3.13). Τα κυριότερα είδη του δάσους είναι η τραχεία πεύκη (71%), το πουρνάρι (14%) και η δρυς (15%). Η μέση κάλυψη του εδάφους από νεκρή καύσιμη ύλη είναι 62%, από θάμνους 13%, από πέτρες 13%, από ετήσια φυτά 6%, από δενδρύλλια 4% και από βρύα 2%. Το μέσο φορτίο της καύσιμης ύλης που είναι διαθέσιμο για πιθανές πυρκαγιές ανέρχεται σε περίπου 2,9 tons/acre, με μέσο βάθος φυλλοτάπητα τα 8 cm.

Πίνακας 3.13: Περιγραφικά συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες στο δασικό τμήμα Βρίσας-Βατερών

	Ύψος (m)	QMD (cm)	Μήκος Κόμης (m)	Διάμετρος Κόμης (m)	CBH (m)	CBD (kg/m ³)	Basal Area (m ² /ha)	TPH Over (n)	TPH Under (n)	Κάλυψη Κόμης (%)
Mean	12,7	33,7	6,3	6,4	5,5	0,2	26,5	490	346	63,9
Median	12,8	32,3	6	6,4	5,2	0,2	21,1	444	247	64
Max	14,9	45,8	8,2	8,2	7	0,2	49,9	691	741	77
Min	10,9	25,3	4,6	5,0	4,3	0,1	14,7	321	25	49

Όσον αφορά στις δραστηριότητες στην περιοχή, παρατηρείται μέτρια βόσκηση και ρητίνευση, έντονη γεωργική καλλιέργεια (κυρίως ελαιώνες) και απουσία υλοτόμησης. Η περιοχή είναι κυρίως τουριστική και δέχεται ισχυρές πιέσεις, τόσο οικιστικές όσο και τουριστικές. Από το χάρτη στην Εικόνα 3.9 είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι υπάρχουν αρκετοί μεμονωμένοι διάσπαρτοι θύλακες δασικών συστάδων γύρω από το κεντρικό τμήμα του δάσους που είναι και το πιο ορεινό, στο οποίο η πρόσβαση είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Πρόκειται για μια περιοχή ιδιαίτερου κάλλους στην οποία παρατηρείται πλούσια ορνιθοπανίδα (από τις λίγες περιοχές στη Λέσβο όπου εθεάθησαν τόσα πολλά πτηνά και ζώα κατά τις επισκέψεις δειγματοληψιών). Το παράκτιο πευκοδάσος των Βατερών είναι ίσως αυτό που δέχεται τις μεγαλύτερες πιέσεις στη Λέσβο, μαζί με αυτό της Κρατήγου στη Μυτιλήνη, επειδή η πρόσβαση σε αυτά για λόγους αναψυχής είναι ιδιαίτερα εύκολη και ευχάριστη. Επιπλέον, τα δέντρα επηρεάζονται από τους ισχυρούς ανέμους με αποτέλεσμα να παρατηρείται νανισμός και δυσχέρεια στην ομαλή ανάπτυξή τους, κάτι που έχει εξελιχθεί σε γενετικό γνώρισμα, κατά μήκος της ακτής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της πίεσης που δέχονται τα δάση αυτά είναι ότι στην περιοχή καταγράφεται μια από τις μεγαλύτερες πυκνότητες εμφάνισης πυρκαγιών ανά έκταση σε όλη τη Λέσβο. Τα τελευταία 40 χρόνια, εκδηλώθηκαν 40 περιστατικά πυρκαγιών μόνο στην παράκτια ζώνη που υποβάθμισαν τις δασωμένες πλαγιές πάνω από τη θάλασσα. Πιο πρόσφατο παράδειγμα, η πυρκαγιά των Βατερών του 2002 που ξεκίνησε κοντά στο δρόμο Βρίσας-Βατερών στις 26 Αυγούστου 2002 και έκαψε μια έκταση 100 ha με τελική οριοθετημένη περίμετρο περίπου 6 km. Στο ορεινό τμήμα του δάσους εκδηλώθηκαν 10 περιστατικά πυρκαγιών τα οποία ήταν μικρής έκτασης (μικρότερα από 100 στρέμματα), όλα πριν το 2000. Οι πυρκαγιές αυτές αν δεν κατασταλούν άμεσα μπορεί να γίνουν ιδιαίτερα επικίνδυνες, με αυξημένη τρωτότητα, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης πληθυσμού και κατοικιών στην περιοχή, και αυξημένη επικινδυνότητα λόγω των ισχυρών ανέμων που κυρίως με νότιες διευθύνσεις μπορούν να τη μεταφέρουν βορειότερα και να φτάσουν έως και το συμπαγές τμήμα του δάσους.

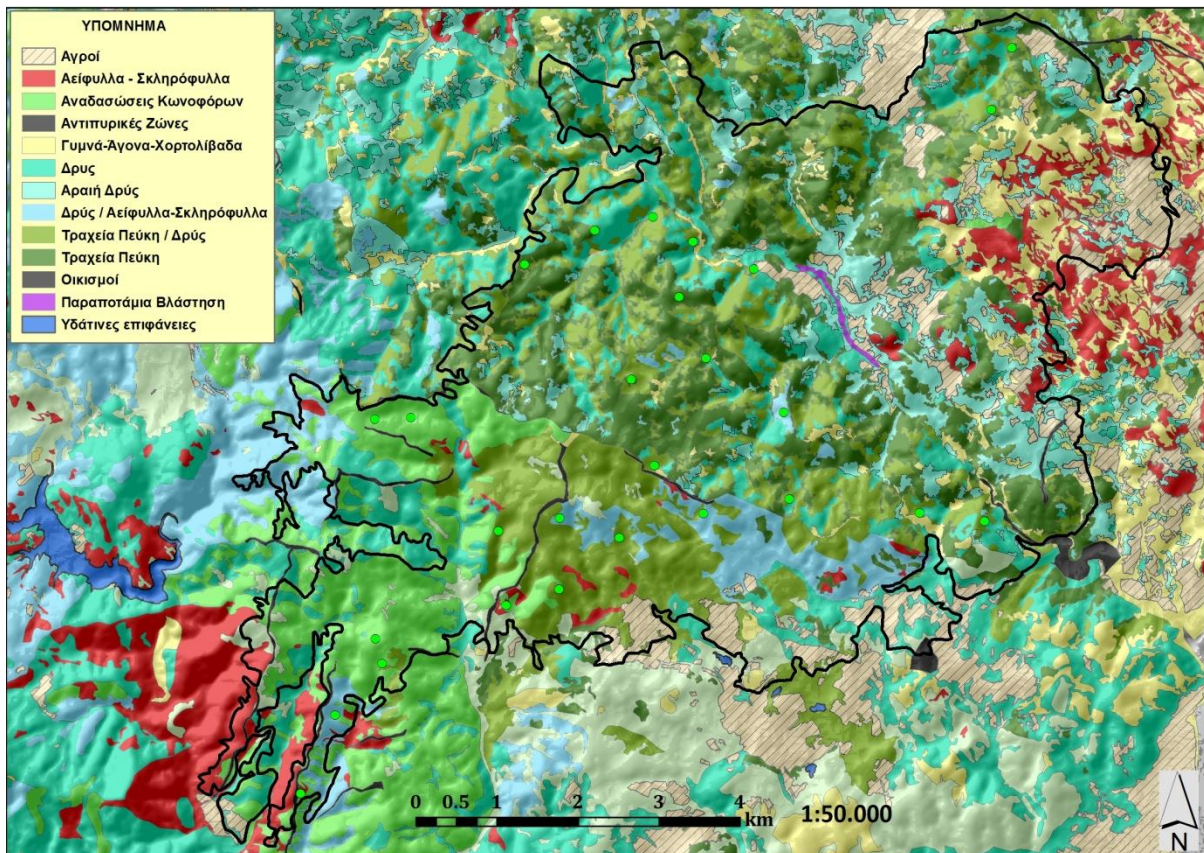
3.2. ΛΕΥΚΙΜΜΗ ΕΒΡΟΥ

Η περιοχή μελέτης κάηκε από την μεγάλη πυρκαγιά του Αυγούστου του 2011 και το βόρειο τμήμα της καμένης έκτασης βρίσκεται η περιοχή του δάσους Δαδιάς-Λευκίμμης-Σουφλίου, στα όρια των Δασαρχείων Σουφλίου και Αλεξανδρουπόλεως, υπαγόμενο στη Διεύθυνση Δασών (ΔΔ) Νομού Έβρου. Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται από 120 ως 385 m, με ψηλότερους λόφους τον Απόνεμο (140 m), το Μύτακα (276 m) την Αετοκορυφή (337 m), και τον Καρβουνιάρη (385 m) (Εικόνα 3.10).

Η βλάστηση αποτελείται κυρίως από συστάδες τραχείας πεύκης, με σπανιότερες αυτές της μαύρης πεύκης και της παραθαλάσσιας πεύκης (*P. nigra* και *P. maritima*) που προέρχονται από αναδασώσεις (Εικόνα 3.11). Κάτω από αυτές τις συστάδες συχνά απαντώνται διάσπαρτα είδη θάμνων και δέντρων όπως φυλλίκι (*Phillyrea media*), πουρνάρι

παρουσία τεχνητών αναβαθμίδων. Σημαντικό στοιχείο της τοπογραφίας είναι και η παρουσία αντιπυρικών ζωνών και περιοχών αφαίρεσης της καύσιμης ύλης (fuel breaks), με 11 από αυτές να βρίσκονται εντός των ορίων του Δασαρχείου Αλεξανδρούπολης (νοτιοδυτικά-κύριοι θύλακες αναδάσωσης), άλλες δύο στα νοτιοανατολικά και άλλη μια στα βορειοανατολικά. Κοντά στην περίμετρο της πυρκαγιάς δεν υπάρχουν αρκετοί οικισμοί εκτός από τους Κοίλα, Μελία, Ιτέα και Λευκίμμη (απόσταση <3 km). Μακρύτερα (>3 km) βρίσκονται τα χωριά Νίσα, Πυλαία, Κάβησος, Αρδάνι, Τριφύλλι, Βρυσούλα και Φέρες, όλα νότια της περιμέτρου της πυρκαγιάς. Το 2009 είχε ξεσπάσει πυρκαγιά η οποία είχε κάψει 2.297 ha σε μερικώς δασοσκεπείς εκτάσεις με δρυ, αείφυλλα-πλατύφυλλα και αναδασώσεις κωνοφόρων νότια της περιμέτρου της πυρκαγιάς του 2011.

Μια έκθεση του Hallmann (1979) ενεργοποίησε την ελληνική κυβέρνηση και το 1980 με κοινή υπουργική απόφαση δημιουργήθηκε η Προστατευόμενη Περιοχή της Δαδιάς. Η περιοχή αυτή αποτελείται από δύο πυρήνες αυστηρής προστασίας όπου απαγορεύονται οι περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες, εκτός από τις παραδοσιακές χρήσεις της γης, με έκταση 6.361 και 925 ha αντίστοιχα οι οποίοι περιβάλλονται από 43.324 ha περιφερειακής ζώνης. Το 2006 με κοινή υπουργική απόφαση η περιοχή χαρακτηρίστηκε Εθνικό Πάρκο με την ονομασία «Εθνικό Πάρκο Δάσους Δαδιάς-Λευκίμμης-Σουφλίου». Η απόσταση μεταξύ του βόρειου τμήματος της καμένης έκτασης με το νότιο μέρος του μεγάλου πυρήνα αυστηρής προστασίας είναι περίπου 1 km. Αν η φωτιά δεν περιοριζόταν επιτυχώς με όλα τα πυροσβεστικά μέσα κατά τις πρώτες ώρες έναρξης της θα ήταν πάρα πολύ πιθανό να εκδηλωθεί μια τεράστια οικολογική καταστροφή με απρόβλεπτες συνέπειες και επιπτώσεις τόσο στη χλωρίδα όσο και στην πανίδα (εύθραυστα οικοσυστήματα, ενδιαιτήματα πτηνών κ.α.) του Εθνικού Πάρκου (Grill and Cleary 2003, Kati and Sekercioglu 2006, Kati *et al.* 2007, Vasilakis *et al.* 2008, Skartsi *et al.* 2008).



Εικόνα 3.11: Τύποι εδαφοκάλυψης-χρήσεις γης της περιοχής μελέτης και οι θέσεις των 27 σημείων δειγματοληψίας (πράσινες κουκκίδες)

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΤΗΣ ΛΕΣΒΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΠΕΔΙΟΥ

Οι δασικές πυρκαγιές που εκδηλώνονται στην Ελλάδα συνήθως αποκτούν την ικανότητα να μεταφέρονται από την επιφάνεια στις κόμης των δέντρων, με αποτέλεσμα την αυξημένη σφοδρότητα καύσης και την πρόκληση μαζικής κινητοποίησης των πυροσβεστικών δυνάμεων (Kalabokidis *et al.* 2008). Συχνά, εμφανίζεται έλλειψη συντονισμού που προκαλείται από την αδυναμία των πυροσβεστικών δυνάμεων να αποκτήσουν γνώση και πληροφορίες σχετικά με το ποιες περιοχές και που έχουν επηρεαστεί από την εξάπλωση των πυρκαγιών, καθώς και με ποια συμπεριφορά και ένταση. Ο συνδυασμός της έντονης τοπογραφίας, των ακραίων καιρικών συνθηκών, της εύφλεκτης καύσιμης ύλης και της ανθρωπογεωγραφίας μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών με καταστροφικές συνέπειες (Henderson *et al.* 2005).

Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό οι πυροσβεστικές αρχές να μπορούν να αποκτήσουν έγκαιρη και ορθή γνώση και πληροφορίες σχετικά με το ποιες περιοχές έχουν επηρεαστεί από την δράση της πυρκαγιάς. Η απουσία λεπτομερών και ανανεωμένων χαρτών της δασικής καύσιμης ύλης, σύστασης και δομής οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στερεί πολύτιμες πληροφορίες από τις προκατασταλτικές ασκήσεις και από το σχεδιασμό δράσεων για την πρόληψη και καταστολή του φαινομένου. Μόνο όταν τα δεδομένα που παρέχονται στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς περιγράφουν με ακρίβεια την τοπογραφία, τη βλάστηση/ καύσιμη ύλη και τις καιρικές συνθήκες είναι εφικτή η επίτευξη υψηλής ακρίβειας στα αποτελέσματα (Stratton 2006, 2009).

Τα χαρακτηριστικά μιας έρπουσας πυρκαγιάς στο εμπρόσθιο τμήμα της (ταχύτητα διάδοσης, θερμική ένταση του μετώπου και μήκος φλόγας), υπολογισμένα για μια σταθερή κατάσταση πυρκαγιάς, εξαρτώνται κυρίως από τις πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες όπως τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, την υγρασία, την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου και την κλίση του εδάφους (Rothermel 1983). Η σύσταση, η ποσότητα και η κατανομή της επιφανειακής καύσιμης ύλης είναι η πιο σημαντική παράμετρος της πρόβλεψης της επιφανειακής εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς, περιγραφόμενη συνήθως στη μορφή των MKY (Scott and Burgan 2005). Η μετάβαση σε πυρκαγιά κόμης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων της επιφανειακής θερμικής έντασης του μετώπου, της υγρασίας του φυλλώματος κόμης, του ύψους έναρξης κόμης και της πυκνότητα/ βάρους της διαθέσιμης καύσιμης ύλης κόμης (Van Wagner 1977, Rothermel 1991). Η κηλίδωση (spotting) είναι μια σημαντική παράμετρος της δραστηριότητας των πυρκαγιών κόμης, λόγω της ικανότητάς της να δημιουργεί νέες εστίες και αναφλέξεις πολύ μακρύτερα από το κύριο μέτωπο της φωτιάς μέσω σπινθήρων ή καιγόμενων κλαδίσκων που ανυψώνονται από τη στήλη καπνού της φωτιάς (πλούμιο-plume) και μεταφέρονται με τον άνεμο (Albini 1983). Η κάλυψη κόμης (Canopy Cover-CC), το ύψος των συστάδων (Stand Height-SH), το ύψος έναρξης κόμης (CBH) και η πυκνότητα κόμης (CBD) είναι σημαντικές μεταβλητές της βλάστησης που επηρεάζονται τον υπολογισμό της δραστηριότητας των πυρκαγιών κόμης και του φαινομένου εμφάνισης κηλιδώσεων, με μεθόδους που εξηγούνται από τις εργασίες των Finney (1998) και Scott and Reinhardt (2001).

Ο κύριος στόχος αυτού του τμήματος της έρευνας είναι να παραχθούν ακριβή χωρικά δεδομένα για την καύσιμη ύλη κόμης σε ευρεία χωρική κλίμακα για τα πευκοδάση της νήσου Λέσβου, για χρήση σε εφαρμογές μοντελοποίησης συμπεριφοράς πυρκαγιών. Αυτά τα δάση είναι σημαντικά λόγω της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν στα νησιά του Αιγαίου, του οικολογικού και προστατευτικού τους χαρακτήρα, αλλά και επειδή αποτελούν την κύρια

πηγή πρόκλησης πυρκαγιών κόμης. Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών κόμης είναι καταστροφικές για τα δάση κωνοφόρων, με συχνές εμφανίσεις έντονης επιφανειακής απορροής, αυξημένης διάβρωσης και πλημμυρών. Οι πυρκαγιές κόμης διαδραματίζουν τον οικολογικό ρόλο των πυρκαγιών αντικατάστασης των συστάδων, ενεργοποιώντας παράλληλα τις διεργασίες αναγέννησης και διαδοχής των δασών.

Οι μεταβλητές συστάδας SH, CBH και CBD μοντελοποιήθηκαν αποκλειστικά με δεδομένα που μετρήθηκαν και προέκυψαν από δειγματοληψίες εντός δασών κωνοφόρων. Δευτερεύον στόχος ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου περιφερειακής κλίμακας για τη χαρτογράφηση της CC με χρήση δεδομένων από την πλειοψηφία των διαφόρων τύπων βλάστησης του νησιού. Αυτοί οι δύο στόχοι επιτυγχάνονται με τη χρήση σύγχρονων μη γραμμικών στατιστικών μοντέλων, σε συνδυασμό με ευρέως διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες και χωρικές αναλυτικές μεθόδους. Ένας τρίτος στόχος είναι η απόδοση MKY σε κάθε τύπο χρήσης γης και εδαφοκάλυψης (Land Use/ Land Cover-LULC), μέσω αναγνώρισης τους στο πεδίο και χαρτογράφησης τους βάσει ενός χάρτη LULC που προέκυψε από δορυφορικές εικόνες τύπου QuickBird.

4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

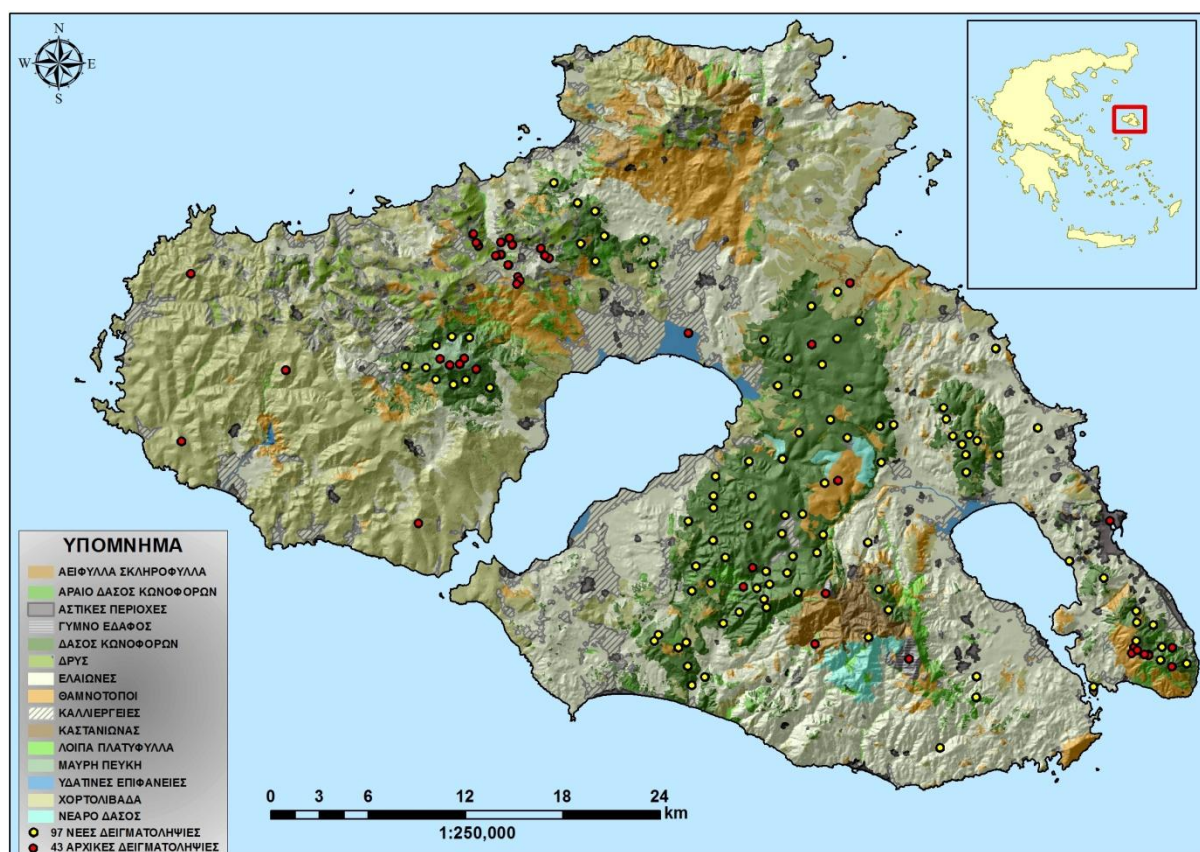
4.1.1. Δειγματοληψίες και Συλλογή Δεδομένων

Λόγω της διαθεσιμότητας των δεδομένων καθώς και ενδείξεων που προέκυψαν από άλλες έρευνες (Kalabokidis and Omi 1992), στη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε μέση χωρική ανάλυση (30 m) βασισμένη σε στις δορυφορικές εικόνες τύπου Landsat 5 TM (NASA 2014), ενώ για τις μετρήσεις πεδίου και δειγματοληψίες αξιοποιήθηκε το πρωτόκολλο Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol (FIREMON 2014). Η στρατηγική των δειγματοληψιών είχε δύο κύριους στόχους. Αρχικά, ήταν βασικό να εντοπιστούν οι θέσεις δειγματοληψιών εντός των δασών κωνοφόρων που θα χρησιμοποιούν στη στατιστική ανάλυση. Δευτερεύον, ήταν σημαντικό να καταγραφούν νέα ή να βρεθούν υφιστάμενα δεδομένα από δειγματοληψίες σε άλλους τύπους βλάστησης, είτε για να προκύψουν προκαθορισμένες τιμές για κάθε τύπο βλάστησης ή για να χρησιμοποιηθούν στη στατιστική ανάλυση.

Εντοπίστηκαν και μετρήθηκαν χαρακτηριστικά της βλάστησης σε 97 νέες τοποθεσίες, σε κυκλικές επιφάνειες δειγματοληψίας με ακτίνα 11,35 m, δηλαδή 405 m² η κάθε μια (Εικόνα 4.1, κίτρινες τελείες). Με μια τυχαία διαδικασία δειγματοληψίας, 90 από αυτές χωροθετήθηκαν και μετρήθηκαν στα δάση κωνοφόρων του νησιού, αντιπροσωπευτικά του εύρους και της ποικιλομορφίας της κάθε περιοχής. Οι άλλες επτά θέσεις εντοπίστηκαν τυχαία μέσα σε ελαιώνες (6) και καστανιές (1). Ένας επιπλέον συμπληρωματικός αριθμός 43 θέσεων (Εικόνα 4.1, κόκκινες τελείες) προέκυψε από προηγούμενες δειγματοληψίες (Plieninger *et al.* 2011, Zianis *et al.* 2011), που χρησιμοποιήθηκαν είτε για την προσαρμογή του στατιστικού μοντέλου ή για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Από αυτές τις θέσεις, επιλέχθηκαν προσεκτικά και χρησιμοποιήθηκαν μόνο όσες είχαν καταγεγραμμένες μεταβλητές που μετρήθηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως η κύρια διαδικασία δειγματοληψιών ή είχαν αποδεκτή ακρίβεια (επηρεασμένη από τη μεθοδολογία δειγματοληψίας, τα εργαλεία δειγματοληψίας, και τους υπολογισμούς που έγιναν στο στάδιο της μετεπεξεργασίας των συλλεχθέντων δεδομένων). Συνολικά, η πλειοψηφία των θέσεων δειγματοληψίας ήταν σε περιοχές κάλυψης τραχείας πεύκης (98), ακολουθούμενες από θέσεις κάλυψης δρυός (15), ελαιώνων (6), μαύρης πεύκης (4) και καστανιάς (1). Τα υπόλοιπα σημεία/θέσεις (16) είτε μετρήθηκαν σε περιοχές χαμηλής/αραιής βλάστησης (οκτώ μέσα σε ανοίγματα πευκοδασών και τέσσερα σε χορτολιβαδικές εκτάσεις), είτε τους ορίστηκε μηδενική τιμή (δύο σε άγρονο

έδαφος, μια σε ασφαλτοστρωμένο δρόμο και μια σε υδάτινη επιφάνεια και χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την εκτίμηση της κάλυψης κόμης).

Συγκεκριμένα, για όλα τα νέα σημεία δειγματοληψίας καταγράφηκε η στηθαία διάμετρος (Diameter at Breast Height-DBH) κάθε δέντρου ή κορμού με DBH πάνω από 10 cm, το ύψος των δέντρων και η μέγιστη/ελάχιστη διάμετρος κόμης για οκτώ δέντρα ανά δειγματοληπτικό τόπο (δύο ανά τεταρτημόριο), ενώ η ποσοστιαία κάλυψη της ζωντανής κόμης καθώς και η κατάσταση της κόμης (δηλαδή κυρίαρχη, συγκυρίαρχη, ενδιάμεση ή κατασταλαμένη) εκτιμήθηκαν οπτικά για κάθε δέντρο. Ακόμα, έγινε οπτική εκτίμηση του CBH για τα οκτώ επιλεγμένα δέντρα κάθε θέσης, μέσω της καταγραφής του ύψους στο οποίο υπήρχε επαρκής καύσιμη ύλη ή κλιμακωτά καύσιμα ικανά να προκαλέσουν και να μεταφέρουν τη φωτιά κάθετα εντός της κόμης.



Εικόνα 4.1: Τύποι βλάστησης και εδαφοκάλυψης της νήσου Λέσβου, χαρτογραφημένες σε υπόβαθρο δορυφορικών εικόνων Quickbird, καθώς και οι θέσεις των 43 προϋπαρχόντων και 97 νέων δειγματοληπτικών επιφανειών

Για την εκτίμηση των φορτίων και του βάθους της νεκρής κατακείμενης καύσιμης ύλης εφαρμόστηκε η τεχνική planar intersect technique που εισήγαγε ο Brown (1974). Η κάλυψη κόμης υπολογίστηκε με την τεχνική των 100 βημάτων, όπως περιγράφηκε από τους Evans and Love (1957). Μετά την εκτίμηση και καταγραφή όλων των μεταβλητών, και σε συνδυασμό με την οπτική αναγνώριση του γενικού στρώματος της καύσιμης ύλης της περιοχής μέσα στο οποίο μπορεί να επιδράσει η φωτιά, ένα MKY ορίστηκε για κάθε δειγματοληπτικό τόπο βασισμένο στα κριτήρια επιλογής που τέθηκαν από τους Scott and Burgan (2005). Για τη διασφάλιση της καλύτερης δυνατής ακρίβειας των συντεταγμένων της κάθε θέσης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Global Positioning System (GPS), καταγράφοντας τις συντεταγμένες και το υψόμετρο έπειτα από λήψη σταθμισμένων καταγραφών σε διάρκεια 10 λεπτών.

4.1.2. Ανάλυση και Επεξεργασία των Δεδομένων Δειγματοληψίας

Τα δεδομένα δειγματοληψίας αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν ώστε να προκύψουν μεταβλητές επιπέδου συστάδας, καθώς και άλλα δεδομένα βλάστησης. Με την εφαρμογή των παρακάτω μεθόδων δημιουργήθηκαν νέα δεδομένα σε επίπεδο δειγματοληπτικού τόπου και χρησιμοποιήθηκαν στη στατιστική ανάλυση. Το μέσο ύψος δέντρων που χρησιμοποιήθηκε για τον κάθε τόπο δεν ήταν ο αριθμητικός μέσος, αλλά το ύψος Lorey's (Curtis and Marshall 2000). Η διαθέσιμη λεπτή καύσιμη ύλη κόμης Y ($<0,63$ cm ή KY 1-h) υπολογίστηκε για κάθε δέντρο που υπήρχε στον δειγματοληπτικό τόπο μέσω μιας αλλομετρικής εξίσωσης υπολογισμού της (εξίσωση 4.1) για δέντρα τραχείας πεύκης (Zianis *et al.* 2011):

$$\ln Y = 4,12 + 1,825 \ln DBH \quad (R^2=0,98; p<0,05) \quad (4.1)$$

όπου το $\ln Y$ υποδηλώνει το φυσικό λογάριθμο της λεπτής KY κόμης

Επιπλέον, δημιουργήθηκε μια αλλομετρική σχέση για την εκτίμηση του ύψους των δέντρων από την DBH (εξίσωση 4.2) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της εκθετικής παλινδρόμησης σε δείγματα 300 δέντρων τραχείας πεύκης ώστε να εφαρμοστεί σε όσα δέντρα του κάθε τόπου δεν μετρήθηκαν στο πεδίο:

$$Y = 1,563 + DBH^{0,548} \quad (R^2=0,75; p<0,001) \quad (4.2)$$

Όπου το Y υποδηλώνει το ύψος του δέντρου

Η CBD και το CBH κάθε δειγματοληπτικού τόπου υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τεχνικές που πρότειναν οι Scott and Reinhardt (2001), λόγω του ότι οι καταμετρημένες συστάδες δεν έχουν ομοιόμορφη κατακόρυφη κατανομή της KY κόμης. Αρχικά, δημιουργήθηκαν κατακόρυφοι τομείς της KY κόμης ανά 1 m για κάθε δέντρο του τόπου και ομαλοποιήθηκαν με τη μέθοδο των τρεχούμενων μέσων σε βάθος 3 m ώστε να υπολογιστεί το βάρος της KY για κάθε τομέα του δέντρου. Έπειτα, αυτοί οι τομείς αθροίστηκαν και κανονικοποιήθηκαν με το εμβαδόν κάθε τόπου ώστε να δημιουργηθεί το προφίλ της KY κόμης σε επίπεδο τόπου. Ως τελική τιμή της CBD καθορίστηκε ο μέγιστος τρεχούμενος μέσος 3 m από όλα τα κάθετα προφίλ της KY. Η CBH ορίστηκε να είναι το χαμηλότερο ύψος στο οποίο υπάρχουν τουλάχιστον $0,011 \text{ kg/m}^3$ διαθέσιμης KY κόμης (Sando and Wick 1972). Οι παραπάνω τεχνικές απαιτούσαν δεδομένα από τις εξισώσεις (4.1) και (4.2). Βάσει της εμπειρίας που αποκτήθηκε από τις δειγματοληπτικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν, διαπιστώθηκαν σημαντικές υποεκτιμήσεις με τη μεθοδολογία των Scott and Reinhardt's (2001). Ως αποτέλεσμα, στη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι μετρημένες τιμές του CBH έναντι των εκτιμήσεων γιατί περιέγραφαν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούσαν στα δάση.

4.1.3. Εξαρτημένες Μεταβλητές και Εισροές Μοντέλων Προσομοίωσης Συμπεριφοράς Πυρκαγιών

Η πρώτη εξαρτημένη μεταβλητή που μελετήθηκε είναι το SH που περιγράφει το μέσο ύψος της κορυφής της κόμης κάθε συστάδας. Επηρεάζει τη σχετική θέση του λογαριθμικού προφίλ του ανέμου που εκτείνεται πάνω από το έδαφος. Μαζί με την CC, επηρεάζει τον παράγοντα μείωσης της ταχύτητας του ανέμου μέσα στα δάση (Albini and Baughman 1979), το σημείο έναρξης της ανύψωσης καυτρών από καιγόμενα δέντρα καθώς και την τροχιά τους όταν κατέρχονται μέσω του προφίλ του ανέμου (Albini 1979). Η CC είναι μια βασική εισροή γιατί επηρεάζει και καθορίζει τη μέση σκίαση της επιφανειακής KY (Rothermel *et al.* 1986), που

με τη σειρά της επηρεάζει τους υπολογισμούς της υγρασίας KY. Επιπλέον, βοηθάει στον καθορισμό του παράγοντα μείωσης της ταχύτητας του ανέμου, μειώνοντας την αρχική του τιμή όταν μετράται σε ύψος 10 m πάνω από το επίπεδο της βλάστησης στο επίπεδο του μέσου ύψους της φλόγας (midflame height) (1,5-2,0 m πάνω από το έδαφος), τιμή που επηρεάζει τη συμπεριφορά της έρπουσας πυρκαγιάς (Albini and Baughman 1979).

Το CBH είναι το ύψος μέχρι το κάτω τμήμα της ζωντανής κόμης των δέντρων, συμπεριλαμβάνοντας τις επιδράσεις της κλιμακωτής KY (π.χ. θάμνοι στον υπόροφο ή νεαρά δέντρα). Το χαμηλό CBH συχνά επιτρέπει στις έρπουσες πυρκαγιές να μεταφερθούν στο επίπεδο της KY κόμης, αυξάνοντας τη συνολική σφοδρότητα της πυρκαγιάς. Η παρουσία κλιμακωτής KY τεχνικά μειώνει το συνολικό CBH της συστάδας. Το CBH είναι μια δύσκολα μετρήσιμη μεταβλητή στο πεδίο, ενώ είναι ακόμα δυσκολότερο να εκτιμηθεί από την κάθετη κατανομή της KY κόμης.

Η CBD είναι η πυκνότητα της διαθέσιμης KY κόμης σε μια συστάδα ή σε επίπεδο περιοχής. Τυπικά, είναι το βάρος όλης της λεπτής KY (φύλλα, βελόνες, μικρά κλαδιά κ.α.) διαιρεμένο με το συνολικό όγκο της κόμης. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του κατωφλίου πέρα από το οποίο επιτυγχάνεται ενεργή πυρκαγιά κόμης (Van Wagner 1977, 1993). Μετράται σε μονάδες βάρους ανά όγκο (kg/m^3) και το τυπικό εύρος των τιμών της κυμαίνεται από 0 έως και λίγο πάνω από 0,4 για πολύ πυκνά και παραγωγικά δάση. Ο Brown (1978) μέτρησε το εύρος της CBD από 0,01 έως 0,4 μέσα σε συστάδες *Pinus ponderosa*, ενώ οι Cruz *et al.* (2003) μέτρησαν το εύρος της CBD από 0,01 σε πάνω από 0,4, με μέσο CBD την τιμή 0,18.

4.1.4. Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τρεις κατηγορίες ανεξάρτητων μεταβλητών (τοπογραφικές, κλιματικές και προϊόντα δορυφορικής τηλεπισκόπησης) για να βρεθούν οι καταλληλότερες μεταξύ των διαθέσιμων. Οι επιλεγμένες μεταβλητές επεξεργάστηκαν ώστε να ταυτίζονται χωρικά, ενώ για την περίπτωση των κλιματικών μεταβλητών αυξήθηκε τεχνητά η χωρική ακρίβεια των κελιών τους στα 30 m μέσω της μεθόδου resampling με τον αλγόριθμο bilinear interpolation για να εξασφαλιστεί η συνοχή των δεδομένων. Για τη διασύνδεση των τιμών που πρόεκυψαν για κάθε δειγματοληπτικό τόπο (SH, CC, CBH και CBD) με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Sample Raster από την επέκταση/ εργαλειοθήκη του ArcGIS με όνομα Marine Geospatial Ecology Tools (MGET, Roberts *et al.* 2010) με την εφαρμογή της μεθόδου resampling εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο nearest neighbour.

Το σημαντικότερο τμήμα της ανάλυσης έγινε με τη χρήση μιας δορυφορικής εικόνας Landsat 5 TM (με ημερομηνία λήψης την 31/5/2006). Αυτού του τύπου οι εικόνες είναι ευρέως διαθέσιμες και χωρίς κάποιο κόστος (USGS 2014), επιτρέποντας την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε κάθε περιοχή της Ελλάδος ή/και αλλού κατά περίπτωση. Οι δορυφορικές εικόνες Landsat έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολες στην ανάλυση ενώ έχουν σημαντική υποστήριξη από τα περισσότερα εμπορικά λογισμικά επεξεργασίας προϊόντων τηλεπισκόπησης. Επιπλέον, έχει συσσωρευτεί επαρκής γνώση για τα προϊόντα του δορυφόρου Landsat κατά τις τελευταίες δεκαετίες σχετικά με τη χαρτογράφηση της βλάστησης (Keane *et al.* 2001).

Η δορυφορική εικόνα διορθώθηκε γεωμετρικά με 30 σημεία έλεγχου [οριζόντιο Root Mean Square (RMS) error (X): ± 7 m, κατακόρυφο RMS error (Y): $\pm 11,8$ m, συνολικό RMS error: $\pm 13,7$ m]. Οι ατμοσφαιρικές και ραδιομετρικές διορθώσεις επιτεύχθηκαν εφαρμόζοντας μεθόδους που έχουν δημοσιευτεί από τους Chavez (1996) και Lu *et al.* (2002). Αρχικά, αποκτήθηκε η απόσταση Γης-Ηλίου (d) σε αστρονομικές μονάδες και οι ελάχιστες Digital Numbers (DN) για κάθε κανάλι της εικόνας. Έπειτα, κάθε ελαχίστη τιμή DN

μετατράπηκε σε μια ελάχιστη φασματική ακτινοβολία σε επίπεδο δορυφόρου μέσω της εξίσωσης 4.3:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax}} \right) \times Q_{cal} + LMIN_{\lambda} \quad (4.3)$$

όπου Q_{CAL} είναι η ελάχιστη τιμή DN, $Q_{CALMAX} = 255$, ενώ οι σταθερές $LMIN_{\lambda}$, $LMAX_{\lambda}$ δίνονται στον πίνακα 1 της εργασίας των Chander and Markhan (2003).

Για κάθε κανάλι υπολογίστηκε η ακτινοβολία ενός σκοτεινού αντικειμένου θεωρώντας ότι έχει αντανακλαστικότητα 1% (Chavez 1996), μέσω της εξίσωσης 4.4:

$$L_{\lambda,1\%} = \frac{0,01 \times d^2 \times \cos^2(\theta)}{\pi \times ESUN_{\lambda}} \quad (4.4)$$

όπου θ είναι η ζενίθ γωνία του Ήλιου σε μοίρες και $ESUN_{\lambda}$ είναι η μέση εξοατμοσφαιρική ηλιακή φασματική ακτινοβολία από τον πίνακα 2 της εργασίας των Chander and Markhan (2003). Η διόρθωση της θολούρας (haze) της εικόνας L_{haze} υπολογίστηκε με την εξίσωση 4.5 (Chavez 1996):

$$L_{haze} = L_{\lambda} - L_{\lambda,1\%} \quad (4.5)$$

Η εξίσωση 4.6 μετατρέπει τις τιμές DN σε ακτινοβολία σε επίπεδο δορυφόρου:

$$L_{sensor} = Gain \times DN + Bias \quad (4.6)$$

Τέλος, η πλανητικές τιμές αντανακλαστικότητας (ρ_p), οι οποίες δεν έχουν κάποια μονάδα μέτρησης, υπολογίστηκαν με τη θεμελιώδη εξίσωση μετατροπής της ακτινοβολίας σε αντανακλαστικότητα (4.7):

$$\rho_p = \frac{\pi \times d^2 \times (L_{sensor} - L_{haze})}{ESUN_{\lambda} \times \cos^2(\theta)} \quad (4.7)$$

Δημιουργήθηκαν τρεις τύποι μεταβλητών δορυφορικής τηλεπισκόπησης με μέγεθος κελιού τα 30 m (δείκτες βλάστησης, μετασχηματισμοί δεδομένων και πρωταρχικά κανάλια). Οι δείκτες βλάστησης έχουν δύο βασικές ιδιότητες. Αρχικά, αποτυπώνουν κυρίως στοιχεία του φάσματος που είναι σε αντιστοιχία με το περιεχόμενο συγκεκριμένων χημικών ιδιοτήτων της βλάστησης. Ταξινομείται σε τάξεις όπως οι χλωροφύλλες, οι ξανθοφύλλες και οι ανθοκυανίνες. Δεύτερον, μειώνουν το μεγάλο όγκο των δεδομένων σε μια μόνο, εύκολα διαχειρίσιμη τιμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε στατιστικές αναλύσεις (Gamon και Surfus 1999). Τρεις δείκτες βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία: (1) ο NDVI ο οποίος αποδίδει το περιεχόμενο της βλάστησης σε χλωροφύλλη, (2) ο δείκτης Αναλογίας Κόκκινου Πράσινου (Red Green Ratio Index-RGRI), ο οποίος αποδίδει το περιεχόμενο της βλάστησης σε ανθοκυανίνη (Gamon and Surfus 1999) και (3) ο Διαμορφωμένος Φωτοχημικός Δείκτης Αντανακλαστικότητας (Modified Photochemical Reflectance Index-MPRI), ο οποίος αποδίδει τη δραστηριότητα του κύκλου ξανθοφύλλης (Yang *et al.* 2008). Οι μετασχηματισμοί των δεδομένων επιτεύχθηκαν με την εφαρμογή των μεθόδων Tasseled Cap (TC) και Ανάλυσης Κυριών Συνιστωσών (PCA).

Οι μετασχηματισμοί TC προσφέρουν έναν τρόπο να βελτιωθεί η ανάλυση των δεδομένων για μελέτες βλάστησης μέσω ενίσχυσης της πληροφορίας των φασματικών καναλιών. Η PCA χρησιμοποιείται συχνά για τη συμπίεση των δεδομένων σε μη συσχετιζόμενες και περισσότερο διαχειρίσιμες και κατανοητές πληροφορίες σε σχέση με τα πρωταρχικά

δεδομένα. Για να υπολογιστούν τα φόρτια του κάθε καναλιού για κάθε Κύρια Συνιστώσα (Principal Component-PC) αποσπάστηκε το ποσοστό της προσφοράς τους στη διακύμανση (περιεχόμενη πληροφορία) για κάθε αρχικό κανάλι της εικόνας και εισήχθη σε κάθε PC που δημιουργούνταν (Millward *et al.* 2006). Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόστηκε η εξίσωση 4.8:

$$S_{kp} = \frac{(a_{kp})^2}{\sum_{i=1}^w (a_{(i)p})^2} \quad (4.8)$$

όπου S_{kp} είναι το ποσοστό της συνεισφοράς του καναλιού k στον παράγοντα p , a_{kp} είναι η τιμή του ιδιοδιανύσματος του καναλιού k στον παράγοντα p , και w αντιπροσωπεύει το συνολικό αριθμό των καναλιών που εισήχθησαν στην ανάλυση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Τιμές κάθε καναλιού για κάθε ανεξάρτητη κύρια συνιστώσα

	Band Loadings					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC7
Band 1	0.034887	0.008149	0.159051	0.0026708	0.393056	0.402197
Band 2	0.062766	0.00496	0.232924	5.61E-05	0.135631	0.563655
Band 3	0.146131	0.022992	0.301898	0.0796821	0.41644	0.032855
Band 4	0.064628	0.90501	0.0088	0.018575	0.001878	0.001107
Band 5	0.405339	0.001059	0.258269	0.2998772	0.035269	0.000185
Band 7	0.286249	0.057831	0.039058	0.5991388	0.017726	1.04E-06
Sum	1	1	1	1	1	1

Το κανάλι 2 της εικόνας Landsat που αντιπροσωπεύει το πράσινο (TM2) καθώς και το κανάλι 4 που αντιπροσωπεύει το εγγύς υπέρυθρο φάσμα (TM4) χρησιμοποιήθηκαν για να συνυπολογιστούν οι ιδιότητες τους στην ανάλυση (με τιμές σε DN). Το κανάλι TM2 είναι χρήσιμο για το διαχωρισμό των τύπων βλάστησης και για τον καθορισμό της υγείας τους, καθώς σχετίζεται με την πράσινη αντανάκλαστικότητα της υγιούς βλάστησης. Το κανάλι TM4 ανταποκρίνεται ιδιαίτερα στο ποσοστό της βιομάζας της βλάστησης που υπάρχει σε κάθε δορυφορική εικόνα και είναι χρήσιμο για i) αναγνώριση καλλιεργειών, ii) διαχωρισμό μεταξύ καλλιεργειών και εδάφους και iii) καθορισμό των ορίων των υδάτινων περιοχών.

Ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες και προαπαιτούμενο για το σχηματισμό της εξέλιξης και κάλυψης της βλάστησης είναι η τοπογραφία. Οι τοπογραφικές μεταβλητές προέκυψαν από το DEM του νησιού (μέγεθος κελιού: 30 m, οριζόντιο RMS error: $\pm 1,2$ m, κατακόρυφο RMS error: ± 2 m). Ως εν δυνάμει ανεξάρτητες μεταβλητές θεωρήθηκαν οι παρακάτω πέντε τοπογραφικές μεταβλητές: υψόμετρο, κλίση, δείκτης τοπογραφικής θέσης (Topographic Position Index-TPI), ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η κάθε περιοχή και ο μετασχηματισμένος δείκτης ακτινοβολίας της κυκλικής έκθεσης (Transformed Radiation Index Of Circular Aspect-TRASP) (Roberts and Cooper 1989).

Η έκθεση (στην ανάλυση αναφέρεται ως TRASP) αντιπροσωπεύει έμμεσα τη διεύθυνση της ροής των υδάτων, την ένταση των κατακρημνισμάτων που δέχεται το έδαφος, την εξάτμιση, το λιώσιμο και την κατακράτηση του χιονιού, καθώς και ορισμένες από τις ιδιότητες του εδάφους (Florinsky and Kuryakova 1996). Το υψόμετρο καθορίζει τις υψομετρικές ζώνες του εδάφους και της βλάστησης, ενώ η κλίση επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου, την πυκνότητα των δέντρων και τη δασική δομή. Η ηλιακή ακτινοβολία (watt hours

ανά m^2) υπολογίστηκε για το έτος 2006 και είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την ανάπτυξη, την πυκνότητα, την κατανομή και την υγεία της βλάστησης. Η τοπογραφική θέση συσχετίζεται με την υγρασία, τη θέρμανση, την κάλυψη και τους τύπους βλάστησης και αξιοποιώντας τη μεταβλητή TPI, το νησί ταξινομήθηκε στις κατηγορίες επίπεδο, έντονες κλίσεις, φαράγγια και κορυφογραμμές με την εργαλειοθήκη CorridorDesigner (CORRIDORDESIGN 2014).

Είναι πολύ δύσκολο να αποκτηθούν υψηλής ακρίβειας κλιματικά δεδομένα και ακόμα δυσκολότερο να βρεθούν στις κατάλληλες χωρικές και χρονικές κλίμακες επομένως, πρέπει να γίνει ένας συμβιβασμός μεταξύ της οικολογικής σημασίας, της διαθεσιμότητας και της ακρίβειας τους. Η βλάστηση μπορεί να έχει διαφοροποιούμενα χαρακτηριστικά (σύσταση, μέγεθος και πυκνότητα) αν εκτεθεί σε ανέμους με πολλές ριπές και ισχυρές εντάσεις. Η προστατευμένη/πυκνή βλάστηση εκτρέπει τον άνεμο πάνω από την κόμη αφήνοντας τον υπόροφο του δάσους να αναπτυχθεί υπό συνθήκες άπνοιας και δίχως σημαντική πίεση από τις καιρικές συνθήκες. Το ποσοστό προστασίας καθορίζεται από την CC και από την κλίση της περιοχής. Η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν τη βλάστηση σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της και καθορίζει τη σύνθεση των ειδών και τη δομή των συστάδων.

Οι κλιματικές ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την έρευνα είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου στα 10 m με μέγεθος κελιού τα 100 m (Palaiologou *et al.* 2011), η ετήσια μέση θερμοκρασία και η ετήσια μέση βροχόπτωση με μέγεθος κελιού περίπου το 1 km (Hijmans *et al.* 2005, WORLDCLIM 2014). Η κλίμακα των δεδομένων είναι αντιπροσωπευτική στο να αποδίδει τις κλιματικές διαφοροποιήσεις της νήσου Λέσβου, η οποία χαρακτηρίζεται από τρεις κλιματικές ζώνες (Kosmas *et al.* 2000). Η χωρική αποτύπωση της έντασης του ανέμου δημιουργήθηκε με το συνδυασμό δεδομένων τεσσάρων ετών από τέσσερις αυτόματους τηλεμετρικούς μετεωρολογικούς σταθμούς (ATMOΣ) με τοπογραφικά και βλαστικά δεδομένα, μέσω του λογισμικού WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) (WASP 2014). Τα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό ANUSPLIN μέσω χωρικής παρεμβολής στα μέσα μηνιαία κλιματικά δεδομένα 30 ετών (από χιλιάδες μετεωρολογικούς σταθμούς) σε συνδυασμό με δεδομένα υψομέτρου, σε έναν κάνναβο διαστάσεων 1 km^2 (ANUSPLIN 2014).

4.1.5. Στατιστική Ανάλυση

Τα GAM (Hastie and Tibshirani 1986) χρησιμοποιήθηκαν για να καθοριστεί η σχέση μεταξύ των τεσσάρων εξαρτημένων μεταβλητών με τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Τα GAM επιλέχθηκαν επειδή η σχέση μεταξύ κάθε εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών που τις αποδόθηκαν δεν ήταν γραμμική, ενώ τα GAM έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν συναρτήσεις εξομάλυνσης (smoothing functions) κατά την προσαρμογή του μοντέλου. Τα GAM αντιπροσωπεύουν τη μη παραμετρική (μη γραμμική) επέκταση των GLM, που είναι μια γενίκευση της κλασικής παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των GAM σε σχέση με τα GLM είναι η ικανότητα τους να προσαρμόζουν ένα μοντέλο παλινδρόμησης με τη χρήση συναρτήσεων εξομάλυνσης. Αυτό σημαίνει ότι στη μη γραμμική ανεξάρτητη μεταβλητή δίνεται από το χρήστη ένα καθορισμένο άθροισμα των συναρτήσεων εξομάλυνσης των συμμεταβλητών, το οποίο προστίθεται στο συμβατικό γραμμικό παράγοντα της γραμμικής σχέσης. Με την αντικατάσταση της «αυστηρά γραμμικής» δομής των GLM (εξίσωση 4.9) με την «λιγότερο παραμετρική» δομή των GAM (εξίσωση 4.10), προστίθεται ένα μεγάλο ποσοστό ευελιξίας στη σειρά των πιθανών μοντέλων που δοκιμάζονται έως ότου επιλεγεί το τελικό (Wood and Augustin 2002).

$$g(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1\chi_{1j} + \beta_2\chi_{2j} + \dots + \beta_n\chi_{nj} \quad (4.9)$$

$$g(\mu_i) = \beta_0 + s_1(\chi_{1j}) + s_2(\chi_{2j}) + \dots + s_n(\chi_{nj}) \quad (4.10)$$

όπου g είναι μια γνωστή διαφορική μονοτονική «συνάρτηση σύνδεσης» (link function), μ_i είναι η μέση τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής, β_j είναι παράμετροι που πρέπει να εκτιμηθούν και s_j είναι οι συναρτήσεις εξομάλυνσης.

Είναι βασικό να επιλεγούν οι κατάλληλες ανεξάρτητες μεταβλητές για τη στατιστική ανάλυση έτσι ώστε να έχουν πραγματική οικολογική σύνδεση με τις εξαρτημένες μεταβλητές. Η επιλογή των κατάλληλων ανεξάρτητων μεταβλητών για τη χωρική πρόβλεψη των συνθηκών της βλάστησης είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ εκείνων των μεταβλητών που έχουν οικολογική σημασία, και εκείνων που είναι διαθέσιμες σε χωρικά αρχεία (Zerger *et al.* 2009). Οι αναλύσεις με τη μέθοδο GAM διεξήχθησαν με το λογισμικό R (R Development Core Team 2008), χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο R-mgcv (Wood 2001). Σε αυτή την έρευνα, η προσαρμογή των GAM διεξήχθησαν με τη χρήση της μεθόδου «συρρίκνωσης» penalized Thin Plate Regression Spline (TPRS) (Wood 2006). Πιο συγκεκριμένα, η TPRS κατασκευάζεται αρχίζοντας με μια βάση και αποδίδοντας μια ποινή σε ένα πλήρες thin plate spline, ενώ έπειτα περικόπτεται η βάση με το βέλτιστο τρόπο ώστε να αποκτηθεί ένας χαμηλού βαθμού εξομαλυντής (smoother). Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι αποφεύγει τα προβλήματα τοποθέτησης κόμβων που έχουν οι συμβατικές μέθοδοι παλινδρόμησης με μοντελοποίηση των spline (Wood 2003). Ο αριθμός των κόμβων ελέγχει την ελαστικότητα του μοντέλου, αλλά έχει ως μειονέκτημα ότι η θέση τους τείνει να έχει εμφανή επίπτωση στο προσαρμοσμένο στατιστικό μοντέλο (Hastie and Tibshirani 1990). Η TPRS έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι οι smoothers των χαμηλότερων τάξεων είναι «φωλιασμένοι» μέσα σε smoothers υψηλότερου βαθμού, έτσι γίνεται αποδεκτή η χρήση συμβατικών ελέγχων υποθέσεων (Wood 2003).

Αρχικά, δοκιμάστηκαν οι ανεξάρτητες μεταβλητές για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ τους, μέσω του συντελεστή συσχέτισης Pearson (r). Τιμές στο συντελεστή συσχέτισης μεγαλύτερες από 0,75 ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές υποδήλωνε ότι μόνο μια από αυτές μπορεί να κρατηθεί για την επακολουθούμενη στατιστική ανάλυση. Σε αυτή την περίπτωση, για την προσαρμογή του μοντέλου κρατήθηκε η ανεξάρτητη μεταβλητή η οποία είχε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή. Λόγω του γεγονότος ότι χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός αριθμός δεδομένων δειγματοληψίας για κάθε μεταβλητή (αναφέρεται παρακάτω), ελαφρώς διαφορετικές τιμές συσχέτισης εμφανίστηκαν σε κάθε μια από αυτές, αλλά το γενικό πρότυπο συσχέτισης ήταν όμοιο. Στον πίνακα 4.2, κάθε μεταβλητή που προήλθε από προϊόντα δορυφορικής τηλεπισκόπησης παρουσιάζεται στην αριστερή στήλη, ενώ η συσχέτιση της με τις άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές παρουσιάζεται στα δεξιά. Οι τοπογραφικές και οι κλιματικές μεταβλητές δεν φανέρωσαν ισχυρές συσχετίσεις, εκτός από το υψόμετρο με τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία.

Τα σετ δεδομένων κάθε εξαρτημένης μεταβλητής είναι μοναδικά και διαφορετικά από τις άλλες επειδή δεν είχαν όλα τα δεδομένα πεδίου κάθε θέσης το ίδιο επίπεδο ακρίβειας για όλες τις μεταβλητές. Επομένως, έπρεπε να επιλεγούν οι θέσεις με τα πιο ακριβή και σωστά δεδομένα για κάθε μεταβλητή. Η προσαρμογή του μοντέλου διενεργήθηκε με αυτά τα σετ δεδομένων και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των τελικών επιφανειών για τα δεδομένα κόμης. Για τις μεταβλητές SH, CBH και CBD χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από περιοχές με πυκνά πευκοδάση καθώς και ανοιγμάτων σε αυτά ενώ για την CC, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την πλειονότητα των διαφορετικών τύπων βλάστησης του νησιού. Για τις περιοχές έξω από το εύρος της μοντελοποίησης κάθε μεταβλητής για τις οποίες η ακρίβεια της μοντελοποίησης αναμένονταν να είναι μικρή, αποδόθηκαν προκαθορισμένες τιμές είτε από τις περιοχές δειγματοληψίας ή από τη

βιβλιογραφία (Pollard 1972, Brown 1978) για να αποφευχθούν κενά στους χάρτες ή περιοχές με αυξημένη διακύμανση τιμών. Οι μη συσχετιζόμενες ανεξάρτητες μεταβλητές εισήχθησαν επιλεκτικά στο μοντέλο κάθε εξαρτημένης μεταβλητής ώστε να δοκιμαστούν συνολικά και να καθοριστεί το συνολικό μοντέλο (maximal model).

Πίνακας 4.2: Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που προέκυψαν από το δορυφόρο Landsat

Μεταβλητή	Μεταβλητές Landsat (30-m μέγεθος κελιού) με Συντελεστή Συσχέτισης (r) > 0,75				
NDVI	RGRI	MPRI	PCA2	GREENNESS	
RGRI	NDVI	MPRI	PCA1	WETNESS	
MPRI	NDVI	RGRI	PCA1	WETNESS	BRIGHTNESS
PCA1	RGRI	MPRI	WETNESS	BRIGHTNESS	TM2
PCA2	NDVI	GREENNESS	TM4		
GREENNESS	NDVI	PCA2			
WETNESS	MPRI	RGRI	PCA1	PCA3	BRIGHTNESS
BRIGHTNESS	MPRI	PCA1	WETNESS	TM2	
TM2	RGRI	MPRI	PCA1	BRIGHTNESS	
TM4	PCA2				

(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index, RGRI: Red Green Ratio Index, MPRI: Modified Photochemical Reflectance Index, PCA: Principal Component Analysis, TM: κανάλια του δορυφόρου Landsat Thematic Mapper).

Η επιλογή του μοντέλου είναι μια δύσκολη διαδικασία και απαιτεί μια σειρά από επαναληπτικές διεξαγωγές του μέσω δοκιμής και εκτίμησης σφάλματος (trial and error), ώστε να βρεθούν τα καταλληλότερα κριτήρια για την προσαρμογή του. Οικογένειες μοντελοποίησης σφάλματος (Gaussian, Poisson, Binomial) και συναρτήσεις διασύνδεσης (Identity, Log, Logit, Inverse) επιλέχθηκαν ώστε να γίνει η προσαρμογή στα δεδομένα κάθε εξαρτημένης μεταβλητής με την πιο κατάλληλη μέθοδο. Η απόδοση του κάθε μοντέλου εκτιμάται με τη μέθοδο υπολογισμού Generalized Cross Validation (GCV) μέσω της εξίσωσης 4.11:

$$GCV = v \frac{D}{(v - DoF)^2} \quad (4.11)$$

όπου v είναι ο αριθμός των δεδομένων, D είναι η απόκλιση (deviance) και DoF είναι οι ενεργοί βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου.

Αν το σκορ του δείκτη GCV για το κάθε μοντέλο αυξάνεται ή αν οι ενεργοί βαθμοί ελευθερίας είναι κοντά στο μηδέν (που σημαίνει ότι η μεταβλητή έχει μηδενιστεί και το μερικό διάγραμμα-partial diagram-δείχνει μια οριζόντια γραμμή παράλληλη στον άξονα x), τότε η μεταβλητή είναι υποψήφια για απομάκρυνση και το υπάρχον μοντέλο θα ανανεωθεί για περαιτέρω δοκιμές (Wood and Augustin 2002). Ένα ακόμα κριτήριο καταλληλότητας του μοντέλου αποτελεί το να είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές στατιστικά σημαντικές, καθώς και η συνεισφορά της τιμής intercept να είναι $p \leq 0,05$. Όμως αυτό δεν ήταν πάντα δυνατό να συμβεί χωρίς σημαντική μείωση της συνολικής ακρίβειας του μοντέλου, δηλαδή ο προσαρμοσμένος δείκτης R^2 μειώνονταν και η τιμή GCV αυξάνονταν. Το πιο σημαντικό κριτήριο επιλογής μοντέλου ήταν η σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών, ακολουθούμενο από το χαμηλότερη τιμή GCV και τις υψηλότερες τιμές προσαρμοσμένου δείκτη R^2 .

Ο καλύτερος τρόπος να ελεγχθούν για λάθη τα μοντέλα που κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο σταδιακής παλινδρόμησης (step-wise regression) είναι να μην στηρίζεται η κρίση μας μόνο στα F-στατιστικά του μοντέλου, τη σημαντικότητα ή το R^2 , αλλά να εκτιμάται η επίδοση του μοντέλου σε σχέση με ένα ανεξάρτητο σετ δεδομένων που δεν χρησιμοποιήθηκε στην προσαρμογή του μοντέλου (Mark and Goldberg 1988). Ωστόσο, λόγω της έλλειψης ικανού αριθμού ανεξάρτητων δειγματοληπτικών δεδομένων, η ανάλυση ακρίβειας διενεργήθηκε με την παρακάτω μέθοδο: Το σετ δεδομένων κάθε μεταβλητής χωρίστηκε τυχαία δέκα φορές σε δεδομένα προσαρμογής και δεδομένα ανάλυσης ακρίβειας ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία ανεξάρτητων σετ δεδομένων για την επακολουθούμενη ανάλυση ακρίβειας (που αντιστοιχούν στο 20% του συνόλου). Αυτό το ποσοστό επιλέχθηκε για να εξασφαλιστεί ένας επαρκής αριθμός δεδομένων για την προσαρμογή του μοντέλου (τουλάχιστον 80). Με λιγότερα δεδομένα, οι εξομαλυντές χρησιμοποιούν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας από τον αριθμό των δεδομένων, επομένως, το μοντέλο οδηγείται σε υπέρ-προσαρμογή. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την προσαρμογή του μοντέλου ήταν οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο πλήρες σετ δεδομένων κάθε εξαρτημένης μεταβλητής. Έπειτα, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (r) μεταξύ των προβλεπόμενων και παρατηρούμενων τιμών και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος υπολογίστηκαν για τα δέκα ανεξάρτητα σετ δεδομένων κάθε μεταβλητής. Παρόλο που τα αποτελέσματα της διαδικασίας ελέγχου ακρίβειας δεν χρησιμοποιήθηκαν στη χαρτογράφηση, εντούτοις αποτελούν καλούς δείκτες ελέγχου της ακρίβειας και ευαισθησίας των τελικών στατιστικών μοντέλων.

4.1.6. Χαρτογράφηση των Μοντέλων Καύσιμης Ύλης

Τα MKY αποτελούν βασικές εισροές στις προσομοιώσεις του μεγέθους και της έντασης των δασικών πυρκαγιών. Η απουσία αυτών των εισροών καθιστά αδύνατη την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσδίδουν στις προσομοιώσεις οι χωρικές επιφάνειες χαρακτηριστικών κόμης που πρόέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση με τα GAM. Για τη δημιουργία του χωρικού αρχείου των MKY, αξιοποιήθηκε η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen ώστε να καθοριστεί η περιοχή που είναι εγγύτερα σε κάθε σημείο δειγματοληψίας (Smith *et al.* 2007), δημιουργώντας ένα σύμπλεγμα πολυγώνων. Σε κάθε πολύγωνο αντιστοιχούσε ένα σημείο δειγματοληψίας στο οποίο αποδόθηκε το κατάλληλο MKY από την εργασία των Scott και Burgan (2005) (προέκυψε από την αναγνώριση που έγινε σε κάθε δειγματοληπτικό τόπο). Υψηλής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες QuickBird χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των LULC, με συνδυασμό επιβλεπόμενης ταξινόμησης και μεθόδων οπτικής αναγνώρισης (Vasilakos *et al.* 2007). Κάθε πολύγωνο Thiessen περικόπηκε στα όρια κάθε τύπου βλάστησης που περιέγραφε, δηλαδή τα πολύγωνα Thiessen που αντιστοιχούσαν σε δάση κωνοφόρων περικόπηκαν από το εξωτερικό πραγματικό όριο κάλυψης των δασών κωνοφόρων όπως αποτυπώθηκαν στο χάρτη LULC.

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.2.1. Στατιστικά Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των τελικών συναρτήσεων GAM που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των χωρικών δεδομένων κόμης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Το μοντέλο για το SH είχε την υψηλότερη τιμή προσαρμοσμένου R^2 , ακολουθούμενο από τις CC, CBH και CBD. Το μοντέλο SH αποκάλυψε ότι έχει ισχυρή στατιστική σχέση με τις μεταβλητές TEMPERATURE, SOLAR, WIND και TRASP. Αν οποιαδήποτε από αυτές τις ανεξάρτητες μεταβλητές έβγαине από το μοντέλο, τότε πρόεκυπτε σημαντική μείωση του προσαρμοσμένου R^2 . Οι μεταβλητές δορυφορικής τηλεπισκόπησης (PCA1, NDVI και TM4) είχαν την ισχυρότερη επιρροή στο μοντέλο του SH. Το μοντέλο της CC στηρίχθηκε κυρίως στις μεταβλητές NDVI και PCA3, ενώ από όλες τις άλλες μεταβλητές μόνο τη TPI είχε σημαντική επιρροή στο μοντέλο. Οι μεταβλητές PCA1, TM4 και PRECIPITATION είχαν σημαντική επιρροή στο μοντέλο του CBH και κατάφεραν να ερμηνεύσουν τη μισή διακύμανση του. Για το μοντέλο της CBD, οι ανεξάρτητες μεταβλητές GREENNESS και PRECIPITATION ήταν ικανές να εξηγήσουν μόνο ένα μικρό τμήμα της διακύμανσης των τιμών του στο πεδίο. Τα κατάλοιπα (residuals) των μοντέλων όλων των εξαρτημένων μεταβλητών υπολογίστηκαν και δεν βρέθηκε κανένα στοιχείο που να υποδηλώνει ότι υπήρχε χωρική αυτοσυσχέτιση σε αυτά (χρησιμοποιώντας την ανάλυση βαριογράμματος). Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι χαμηλότερα τιμές GCV όλων των δοκιμών με τα GAM για κάθε μια από τις τέσσερις εξαρτημένες μεταβλητές.

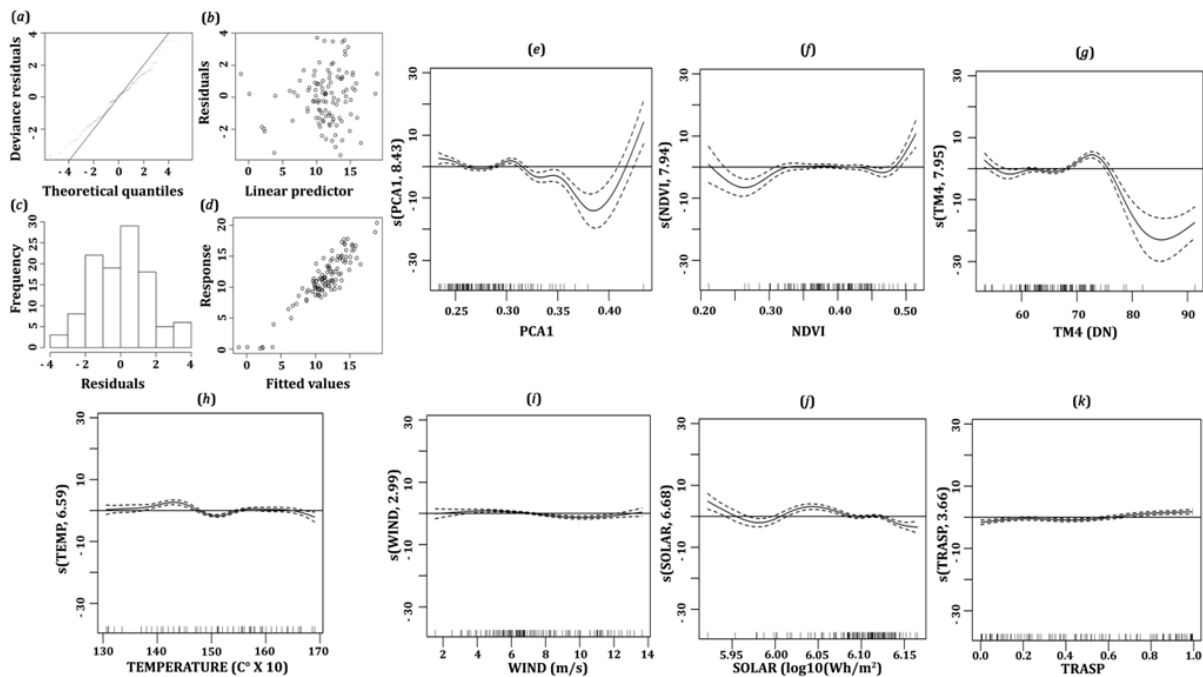
Πίνακας 4.3: Τα τελικά μοντέλα GAM για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή και τα αποτελέσματα της προσαρμογής του

	n	adjusted R^2	Τιμή GCV	Οικογένεια	Συνάρτηση διασύνδεσης
Stand Height	110	0,72	7,4378	Gaussian	identity
Formula = PCA1*** + NDVI*** + TM4*** + TEMPERATURE*** + WIND* + SOLAR*** + TRASP*					
Canopy Cover	128	0,68	0,0750	Quasi-binomial	logit
Formula = NDVI*** + PCA3*** + TPI**					
Canopy Base Height	104	0,51	2,8402	Gaussian	identity
Formula = PCA1*** + TM4*** + PRECIPITATION***					
Canopy Bulk Density	104	0,33	0,007	Gaussian	identity
Formula = GREENNESS*** + PRECIPITATION**					

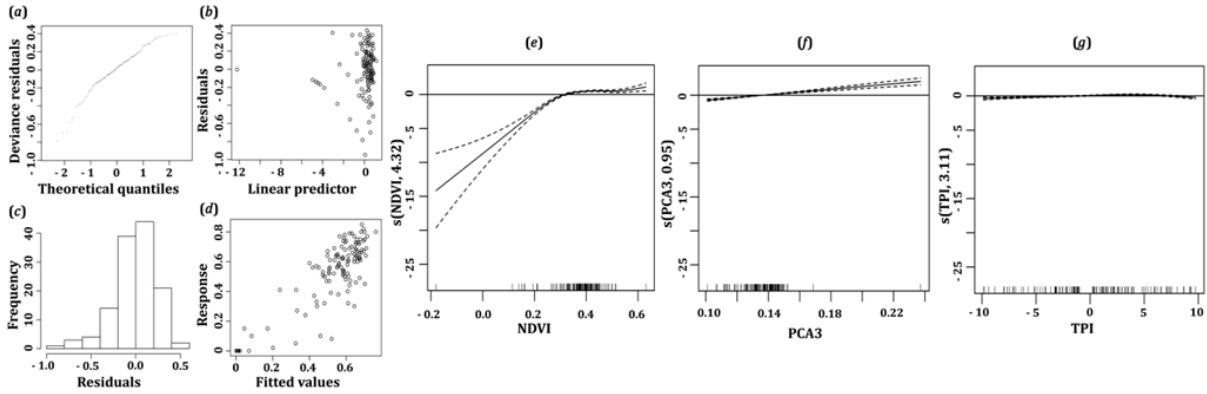
(κωδικοί στατιστικής σημαντικότητας: 0,001*** -- 0,01** -- 0,05*)

Στις Εικόνες 4.2 έως 4.3 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των εξομαλυντών κάθε εξαρτημένης μεταβλητής και η επιρροή τους στα προσαρμοσμένα μοντέλα, μαζί με τις αντίστοιχες διαγνωστικές πληροφορίες της διαδικασίας προσαρμογής των μοντέλων, δηλαδή: διαγράμματα κατάλοιπων και πληροφορίες σχετικά με τη σύγκλιση της βελτιστοποίησης επιλογής της ομαλότητας (convergence of the smoothness selection optimization), το κανονικό διάγραμμα Q-Q, κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη, ιστόγραμμα κατάλοιπων και τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Σε αυτά τα διαγράμματα φαίνονται οι προβλέψεις (συμπαγείς γραμμές) και τα Bayesian διαστήματα βεβαιότητας στο 95% (διακεκομμένες γραμμές), μαζί με τις τιμές των συμεταβλητών που παρουσιάζονται ως κάθετες γραμμές στο κάτω τμήμα του διαγράμματος και τους αποτελεσματικούς βαθμούς ελευθερίας (effective DoF) στον άξονα Y.

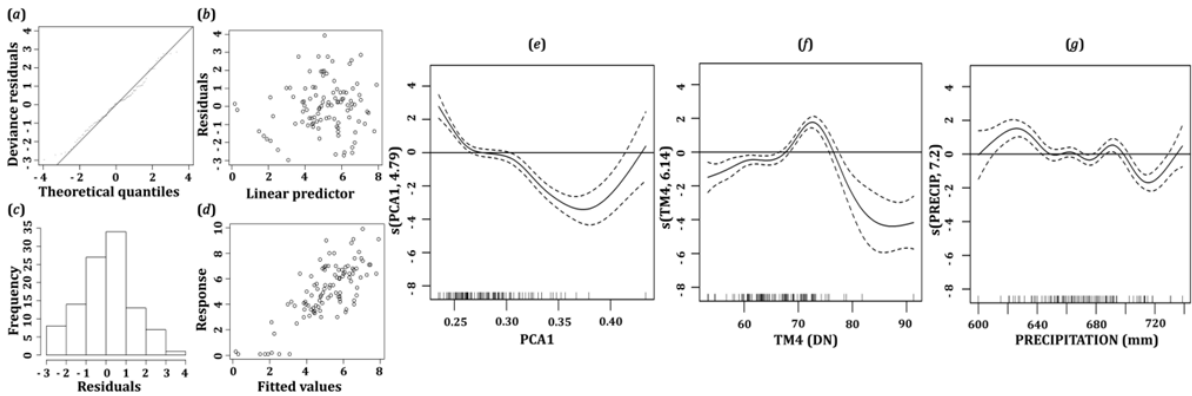
Για το SH, φαίνεται καλή γραμμική συμφωνία ανάμεσα στις τιμές απόκρισης και προσαρμογής (Εικόνα 4.2-d), ενώ το ιστόγραμμα κατάλοιπων (Εικόνα 3.3-c) φαίνεται να ακολουθεί την κανονική κατανομή. Στα διαγράμματα των εξομαλυντών, οι μεταβλητές PCA1 και TM4 έχουν ισχυρή αρνητική σχέση για τις τιμές από 0,3 έως και 0,38 και 73 έως 81 αντίστοιχα, που στη συνέχεια για τις υψηλότερες τιμές μετατρέπεται σε θετική σχέση. Φαίνεται ότι οι άλλες μεταβλητές δεν έχουν «σημαντική» επίδραση καθώς τα διαστήματα βεβαιότητας περιλαμβάνουν το μηδέν για τις περισσότερες τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής. Το ίδιο ισχύει επίσης και για τις ανεξάρτητες μεταβλητές TPI και PCA3 της CC, ενώ παρατηρήθηκε μια αρνητική λοξότητα στο διάγραμμα κατάλοιπων (Εικόνα 4.3-c). Για μικρές τιμές NDVI (-0,2 έως 0,23) και για όλο το εύρος τιμών της μεταβλητής PCA3 παρατηρήθηκε θετική σχέση. Στα ιστογράμματα κατάλοιπων διακρίνεται η κανονική κατανομή για τις εξαρτημένες μεταβλητές CBH και CBD (Εικόνες 4.4-c και 3.6-c), αλλά οι τιμές του διαγράμματος των τιμών απόκρισης vs. προσαρμοσμένων (Εικόνες 4.4-d και 4.5-d) είναι περισσότερο διασπαρμένες γύρω από τη διαγώνιο, υποδηλώνοντας μεγαλύτερες αβεβαιότητες. Στα διαγράμματα εξομαλυντών του CBH (Εικόνες 4.4, e-g), η PCA1 φαίνεται να έχει μια ισχυρή αρνητική σχέση για τιμές έως 0,36 και ισχυρή θετική σχέση για τιμές >0,36. Η μεταβλητή TM4 έχει ισχυρή θετική σχέση με τις τιμές έως και 74 και ισχυρή αρνητική σχέση για τις υψηλότερες τιμές. Στα διαγράμματα εξομαλυντών της CBD (Εικόνα 4.5, e & f), η μεταβλητή GREENNESS έχει ισχυρή θετική επίδραση για μικρές τιμές (<200), ενώ η PRECIPITATION είναι πολύ μεταβαλλόμενη σε όλο το εύρος των τιμών χωρίς κάποια ισχυρή σταθερή τάση.



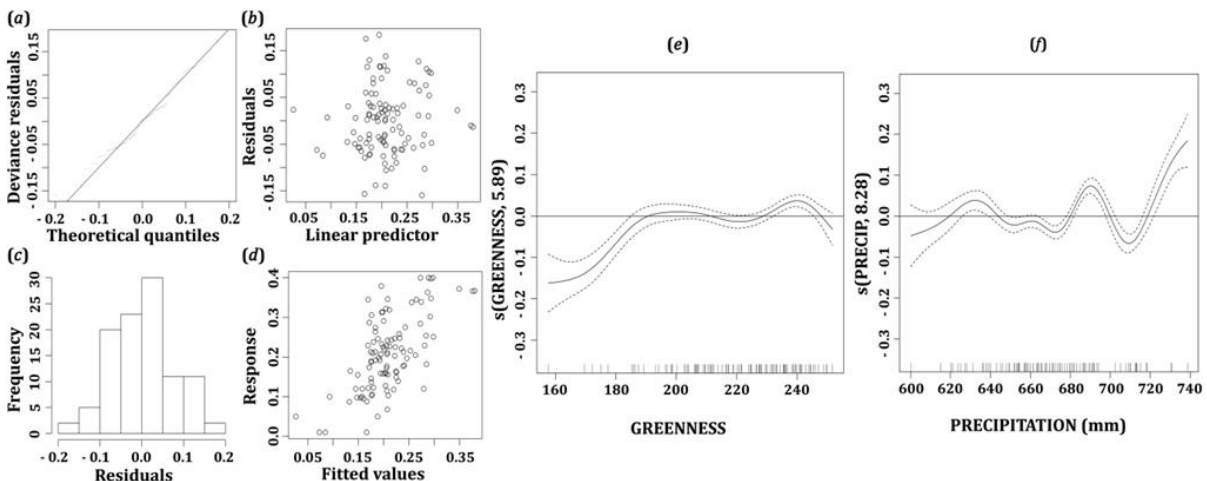
Εικόνα 4.2: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή του Ύψους Συστάδας: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (k) δείχνουν την επιρροή των επτά ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.



Εικόνα 4.3: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή της Κάλυψης Κόμης: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (g) δείχνουν την επιρροή των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.



Εικόνα 4.4: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή του Ύψους Έναρξης Κόμης: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (g) δείχνουν την επιρροή των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.



Εικόνα 4.5: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τη μεταβλητή της Πυκνότητας Κόμης: (a) κανονικό διάγραμμα Q-Q (b) κατάλοιπα vs. γραμμική πρόβλεψη (c) ιστόγραμμα κατάλοιπων και (d) τιμές απόκρισης vs. προσαρμοσμένες. Τα διαγράμματα εξομαλυντών (e) έως (f) δείχνουν την επιρροή των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο GAM.

4.2.2. Επικύρωση Αποτελεσμάτων

Η επικύρωση των αποτελεσμάτων των μοντέλων (Πίνακας 4.4) αποκάλυψε ότι η μέση συσχέτιση (για τις 10 τυχαίες διαιρέσεις του αρχικού σετ δεδομένων) μεταξύ των παρατηρούμενων δεδομένων (στο σετ επικύρωσης) και των προβλεπόμενων τιμών της μοντελοποίησης της CC ήταν αρκετά υψηλή ($r=0,74$), με μέσο προσαρμοσμένο $R^2=0,69$ (που είναι η διακύμανση που εξηγείται από τις προβλέψεις του μοντέλου για τα δεδομένα προσαρμογής).

Πίνακας 4.4: Ακρίβεια προσαρμογής των GAM και αξιολόγηση των ανεξάρτητων σετ δεδομένων για τα 10 σετ προσαρμογής και ελέγχου κάθε μεταβλητής

STAND HEIGHT (nFit=88, nEvaluation=22)				CANOPY COVER (nFit=102, nEvaluation=26)			
N	adjusted R ²	r	M.S. error	N	adjusted R ²	r	M.S. error
1	0,68	0,51	13,57	1	0,69	0,76	0,018
2	0,74	0,31	9,78	2	0,70	0,77	0,018
3	0,64	0,81	10,66	3	0,63	0,90	0,009
4	0,75	0,63	12,06	4	0,71	0,78	0,021
5	0,71	0,84	8,92	5	0,72	0,81	0,012
6	0,72	0,11	14,63	6	0,72	0,17	0,019
7	0,77	0,69	7,89	7	0,71	0,89	0,009
8	0,74	0,45	15,10	8	0,68	0,83	0,011
9	0,71	0,66	12,62	9	0,71	0,75	0,019
10	0,72	0,71	10,28	10	0,68	0,77	0,024
Median	0,72	0,64	11,36	Median	0,71	0,78	0,018
Mean	0,72	0,57	11,55	Mean	0,69	0,74	0,016
min	0,64	0,11	7,89	min	0,63	0,17	0,009
max	0,77	0,84	15,10	max	0,72	0,90	0,024
CROWN BASE HEIGHT (nFit=83, nEvaluation=21)				CROWN BULK DENSITY (nFit=83, nEvaluation=21)			
N	adjusted R ²	r	M.S. error	N	adjusted R ²	r	M.S. error
1	0,52	0,70	2,87	1	0,34	0,59	0,005
2	0,55	0,32	4,70	2	0,31	0,77	0,004
3	0,51	0,65	4,92	3	0,43	0,51	0,008
4	0,52	0,52	2,86	4	0,32	0,63	0,006
5	0,55	0,41	3,32	5	0,52	0,25	0,010
6	0,53	0,53	2,44	6	0,47	0,56	0,009
7	0,60	0,44	4,90	7	0,41	0,30	0,011
8	0,47	0,55	3,09	8	0,31	0,65	0,005
9	0,57	0,47	3,87	9	0,38	0,49	0,009
10	0,51	0,51	3,57	10	0,31	0,50	0,008
Median	0,53	0,51	3,44	Median	0,36	0,53	0,008
Mean	0,53	0,51	3,65	Mean	0,38	0,52	0,008
min	0,47	0,32	2,44	min	0,31	0,25	0,004
max	0,60	0,70	4,92	max	0,52	0,77	0,011

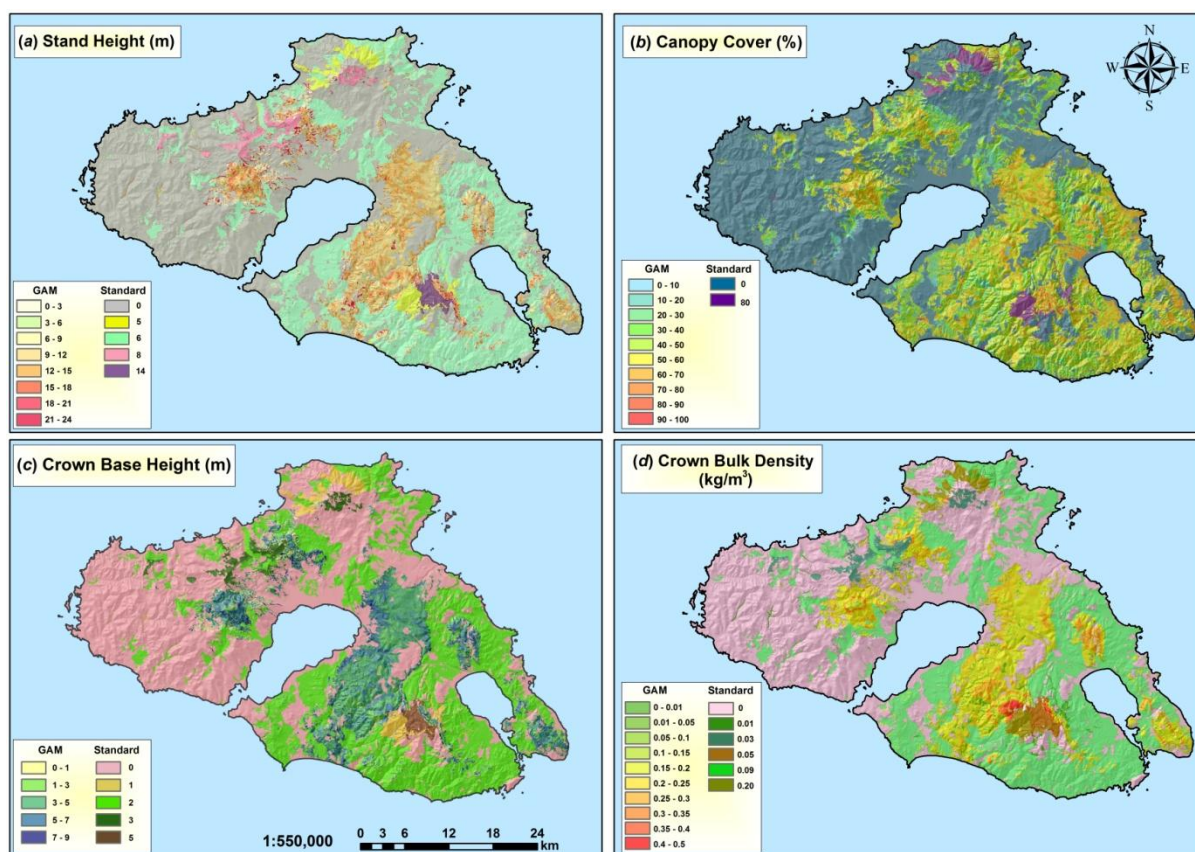
Για την SH τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η μέση συσχέτιση ήταν $r=0,57$ ενώ η μέση εξηγούμενη διακύμανση του προσαρμοσμένου $R^2=0,72$. Οι αντίστοιχες τιμές του CBH ήταν $r=0,51$ και προσαρμοσμένο $R^2=0,53$. Για την CBD βρέθηκε συσχέτιση $r=0,51$ και προσαρμοσμένο $R^2=0,28$.

Η απόδοση του μοντέλου είναι υψηλά αποδεκτή για τις μεταβλητές CC και SH, ενώ μέτρια απόδοση βρέθηκε για το CBH. Το μοντέλο της CBD έδωσε φτωχά αποτελέσματα με οριακή αποδοχή, ενώ τα χωρικά αποτελέσματα είναι μειωμένης ακρίβειας. Τα ευρήματα αυτά είναι σε συμφωνία με αποτελέσματα που βρέθηκαν σε άλλες έρευνες (Franklin *et al.* 2003, Xu *et al.* 2003, Falkowski *et al.* 2005). Παρόλο που υπάρχουν έμφυτες αβεβαιότητες για την ακρίβεια των τελικών προβλέψεων, είναι σημαντικό να αναλογιστούμε ότι αυτά τα μοντέλα σχεδιάστηκαν για τα προσφέρουν μια περιφερειακή/ χωρική διάσταση σε έναν σχετικά μικρό αριθμό μετρήσεων πεδίου παρά να αποδώσουν επακριβώς και με την ίδια ακρίβεια τις τιμές που θα μπορούσαν να μετρηθούν από χιλιάδες κατά τόπους μετρήσεις (Zerger *et al.* 2009).

4.2.3. Χαρτογράφηση των Χαρακτηριστικών της Βλάστησης

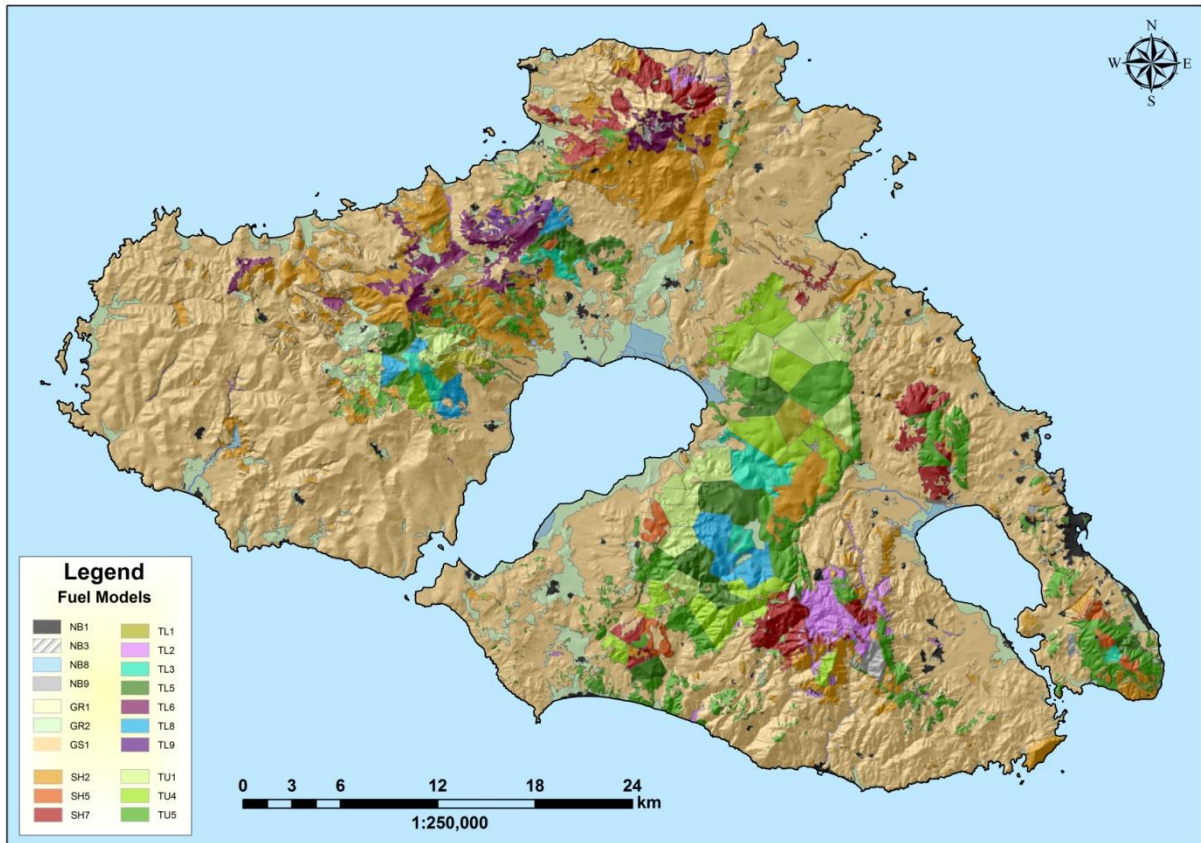
Για να δημιουργηθούν χωρικά δεδομένα για τις εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν το MGET και η επέκταση του ArcGIS «Spatial Analyst Tool». Τα αποτελέσματα, τα οποία είχαν μέγεθος κελιού τα 30 m, αναλύθηκαν περαιτέρω με τη χρήση των δεδομένων εδαφοκάλυψης της εικόνας QuickBird η οποία και αποτέλεσε την κύρια μονάδα χαρτογράφησης, αναφοράς και ανάλυσης. Ορισμένοι τύποι κάλυψης δέντρων (π.χ. πλατύφυλλα, καστανιές, ελιές και δρύες) παρουσίασαν υψηλά σφάλματα πρόβλεψης λόγω του γεγονότος ότι δεν έγιναν επαρκείς δειγματοληψίες σε αυτές τις περιοχές ή οι τιμές τους ήταν έξω από το εύρος των τιμών μοντελοποίησης. Οι τιμές των χωρικών επιφανειών που πρόεκυψαν με τη στατιστική μέθοδο για αυτούς τους τύπους βλάστησης αντικαταστάθηκαν με μια προκαθορισμένη τιμή η οποία πρόεκυψε από όσες δειγματοληψίες ήταν διαθέσιμες. Για παράδειγμα, οι μέσες τιμές του SH και CBH των καλλιεργούμενων ελαιώνων πρόεκυψαν από τις καταγραφές των έξι θέσεων δειγματοληψίας. Για τις περιοχές όπου τα δέντρα ήταν αραιά ή ανύπαρκτα (χορτολιβαδικές εκτάσεις, φρύγανα, γυμνό έδαφος, αστικές περιοχές και υδάτινες επιφάνειες) οι αντίστοιχες τιμές τους μηδενίστηκαν.

Οι χάρτες των χωρικών επιφανειών για τις εξαρτημένες μεταβλητές SH, CC, CBH και CBD παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.6. Οι υψηλότερες τιμές αυτών των μεταβλητών βρίσκονται σε δασώδεις περιοχές του νησιού (στο κεντρικό τμήμα, σε έναν θύλακα στα δυτικά και σε δύο ξεχωριστά δάση κωνοφόρων στα ανατολικά και νοτιοανατολικά). Ακραίες τιμές βρίσκονταν συνήθως στα όρια μεταξύ δύο τύπων εδαφοκάλυψης (π.χ. δάση κωνοφόρων κοντά σε δέντρα καστανιών) και σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο και έντονο ανάγλυφο.



Εικόνα 4.6: Χάρτες της νήσου Λέσβου για: (a) Ύψος Κόμης, (b) Κάλυψη Κόμης, (c) Ύψος Εναρξης Κόμης και (d) Πυκνότητα Κόμης.

Ο χάρτης των MKY παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.7. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο χάρτης απεικονίζει MKY τα οποία προέρχονται από τη δεξαμενή των τυπικών MKY των Scott and Burgan (2005). Η χαρτογράφηση των προσαρμοσμένων MKY παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5, ενώ στο Κεφάλαιο 6 γίνεται σύγκριση της ακρίβειας των προσομοιώσεων μεταξύ τυπικών και προσαρμοσμένων MKY. Το MKY GS1 (που είναι μίξη ετήσιων φυτών και φρύγανων με ποσοστό περίπου 50% φρύγανων) αποδόθηκε στην πλειοψηφία των τύπων εδαφοκάλυψης του νησιού. Οι τύποι βλάστησης που αντιστοιχήθηκαν με αυτό το MKY είναι οι Μεσογειακές χορτολιβαδικές περιοχές και οι ελαιώνες. Οι θαμνώνες και τα δάση κωνοφόρων με πυκνό και ψηλό υπόροφο θάμνων χαρακτηρίστηκαν από τα MKY SH2, SH5 και SH7 (κάλυψη θαμνώνων τουλάχιστον στο 50% του πεδίου, ενώ η ετήσια βλάστηση ήταν αραιή ή απουσίαζε). Γενικά, τα δάση κωνοφόρων χαρακτηρίστηκαν από τα MKY TU1, TU4 και TU5 (ετήσια βλάστηση ή θάμνοι αναμεμιγμένοι με πευκοβελόνες), ενώ σε μερικές περιοχές η συμπεριφορά των πυρκαγιών αποδίδονταν καλύτερα με τα MKY TL1, TL3, TL5, TL8 και TL9 (νεκρή κατακείμενη καύσιμη ύλη κάτω από την κόμη των δέντρων). Τέλος τα MKY TL2 και TL6 αποδόθηκαν αντίστοιχα στους καστασιώνες και τις περιοχές κάλυψης δρυών.



Εικόνα 4.7: Χάρτης τοπικών μοντέλων καύσιμης ύλης, χαρτογραφημένα βάσει των μετρήσεων πεδίου πάνω στους τύπους βλάστησης/εδαφοκάλυψης της νήσου Λέσβου

4.3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών είναι μια δύσκολη διαδικασία που λαμβάνει υπόψη πολλαπλά δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του δάσους ώστε να μπορέσει να προσεγγίσει με σχετική ακρίβεια το τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Δυσκολίες μοντελοποίησης υπάρχουν στην προσομοίωση των πυρκαγιών κόμης καθώς και της συνεπαγόμενης δραστηριότητας κηλίδωσης. Με την παροχή ποσοτικών δεδομένων όπως αυτά που πρόεκυψαν από αυτή την έρευνα είναι εφικτό να επιτευχθούν ακριβέστερες προσομοιώσεις της πραγματικής έκτασης και έντασης του περιστατικού.

Η χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών της κόμης με τη χρήση οικολογικά σημαντικών ανεξάρτητων μεταβλητών σε συνδυασμό με δεδομένα πεδίου έδειξε ότι υπάρχουν ισχυρές σχέσεις για τις μεταβλητές της CC και του SH, ενώ μέτριας σημαντικότητας σχέσεις βρέθηκαν για το CBH και αδύναμες για την CBD. Οι χωρικές επιφάνειες που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς διαχείρισης των δασών και προσομοιώσεις πυρκαγιών με τα λογισμικά FARSITE και FlamMap. Η ανάλυση των εικόνων του δορυφόρου Landsat 5 TM δημιούργησε σημαντικές μεταβλητές (δείκτες βλάστησης, πρωτογενή κανάλια και μετασχηματισμένα δεδομένα) για κάθε διεργασία ελέγχου της στατιστικής σχέσης με τις εξαρτημένες μεταβλητές, όπως και στις τελικές προβλέψεις με τη μέθοδο GAM. Ωστόσο, μπορούν να αναγνωριστούν πολλές πιθανές πηγές σφαλμάτων. Σφάλματα μπορεί να προέκυψαν κατά τη διάρκεια συλλογής στοιχείων στο πεδίο, π.χ. λάθη που οφείλονται στα εργαλεία μέτρησης, λανθασμένη κρίση, ανθρώπινοι παράγοντες κ.α., κυρίως κατά τη μέτρηση των μεταβλητών της κάλυψης κόμης και του ύψους των δέντρων. Σφάλματα μπορεί να προέκυψαν και από υπολογισμούς που έγιναν στις υπολογισμένες μεταβλητές έπειτα από επεξεργασία των αρχικών δεδομένων πεδίου, ιδίως για την περίπτωση

της CBD, όπου χρησιμοποιήθηκε μια αλλομετρική εξίσωση για την εκτίμηση των φορτίων της καύσιμης ύλης και η οποία έχει εγγενή στατιστική αβεβαιότητα.

Η χρήση μέτριας ανάλυσης δορυφορικών εικόνων για την εκτίμηση των συνθηκών της κόμης των δασών εφαρμόστηκε με περιορισμένη επιτυχία σε αρκετές μελέτες διότι η φασματική απόκριση των κελιών είναι ένα αμάγαμα όλων των στοιχείων και χαρακτηριστικών που βρίσκονται σε αυτό το κελί, π.χ. κόμης δέντρων, σκιές, υπόροφος και ιδιότητες του εδάφους (Stone and Haywood 2006). Η αντανάκλαστικότητα δεν σχετίζεται άμεσα με το ύψος της βλάστησης, ενώ για την περίπτωση του CBH αυτό το μειονέκτημα είναι ακόμα πιο εμφανές. Για την περίπτωση της CC, οι πιθανότητες επιτυχούς πρόβλεψης με στατιστικές μεθόδους είναι αυξημένη λόγω της ιδιότητας των εικόνων Landsat να διακρίνουν την πυκνότητα κόμης και το γυμνό έδαφος. Η συμπερίληψη στην ανάλυση τοπογραφικών και κλιματικών μεταβλητών μαζί με τις μεταβλητές που προέκυψαν από τον δορυφόρο Landsat TM λειτούργησε ευνοϊκά στη μείωση των επιδράσεων αυτών των μειονεκτημάτων και πέτυχε στο να αυξήσει την ακρίβεια της μοντελοποίησης σε ανεκτά επίπεδα για τις μεταβλητές SH και CC. Ορισμένες μεταβλητές συνεισέφεραν υπέρμετρα στα περισσότερα από τα τελικά μοντέλα GAM, όπως το κανάλι TM4 (στα μοντέλα του SH και του CBH), η PCA1 (στα μοντέλα του SH και του CBH) και ο δείκτης NDVI (στα μοντέλα της CC και του SH). Οι κλιματικές μεταβλητές συνεισέφεραν σημαντικά στα μοντέλα του SH (TEMPERATURE και WIND), του CBH και της CBD (PRECIPITATION). Οι τοπογραφικές μεταβλητές συνεισέφεραν σημαντικά στα μοντέλα της CC (TPI) και του SH (TRASP και SOLAR).

Δυσκολίες προκύπτουν και όταν γίνεται προσπάθεια να αναγνωρισθεί και να αποδοθεί σε μια περιοχή ένα MKY γιατί αυτό απαιτεί γνώση για την αναμενόμενη συμπεριφορά των πυρκαγιών καθώς και για τη βλάστηση της περιοχής (Anderson 1982). Επομένως, είναι αδύνατο να απομονωθεί η αβεβαιότητα από την αναγνώριση των MKY στο πεδίο από το προκληθέν σφάλμα της χαρτογράφησης τους. Διαφορετικοί άνθρωποι με επαρκή εμπειρία στο πεδίο και στις δασικές πυρκαγιές, πιθανόν να έχουν διαφορετικές ιδέες σχετικά με το ποιο MKY πρέπει να αποδοθεί σε μια πολύπλοκη βλαστική περιοχή. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε MKY είναι μια απόδοση της πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιάς που εξαρτάται και από άλλους παράγοντες πέρα από την καύσιμη ύλη, π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου και τοπογραφία (Burgan 1987, Omi and Joyce 2003, Andrews and Butler 2006). Επομένως, είναι πιθανές διαφορετικές ερμηνείες για το πώς θα καούν οι πολύπλοκες βλαστικές περιοχές γιατί η απόφαση επηρεάζεται από την ερμηνεία διαφορετικών παραγόντων που δεν έχουν πάντα σχέση με την καύσιμη ύλη. Αυτό είναι ένα πρόβλημα όλων των προσπαθειών χαρτογράφησης για τη δημιουργία των απαραίτητων εισροών για τη μοντελοποίηση συμπεριφοράς πυρκαγιών.

Ο συνδυασμός διαφορετικών τύπων μεταβλητών στη στατιστική ανάλυση με τα GAM, παρόλο που εξηγεί ένα μεγάλο μέρος της διακύμανσης και διαμόρφωσης των τιμών των εξαρτημένων μεταβλητών, μπορεί να χάσει σημαντικές πτυχές και πληροφορίες όσων πραγματικά υπάρχουν μέσα σε ένα δάσος. Το πρόβλημα είναι ότι οι βιοφυσικές μεταβλητές δεν παρέχουν πάντα μια πλήρη περιγραφή των υπάρχοντων βιοτικών συνθηκών (Agroyo *et al.* 2008). Τα GAM, ως μη γραμμικά στατιστικά εργαλεία, προσφέρουν την προσαρμοστικότητα που απαιτείται για τη μοντελοποίηση των ιδιοτήτων των δασών με χωρικά δεδομένα και δεδομένα πεδίου αλλά μπορούν να ανακύψουν προβλήματα, κυρίως στη διαδικασία επιλογής του μοντέλου ή στην επιλογή των μεθόδων συρρίκνωσης. Η επαναλαμβανόμενη δημιουργία σετ δεδομένων προσαρμογής και επικύρωσης έδειξε ότι υπάρχουν σταθερά παρόμοια στατιστικά επικύρωσης του μοντέλου παρέχοντας περισσότερη βεβαιότητα στην κατασκευή του τελικού μοντέλου χαρτογράφησης.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της έρευνας πεδίου είναι ότι διαρκεί περίπου μια και μισή ώρα ανά δειγματοληπτικό τόπο, δίχως να υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης και αποχώρησης

σε κάθε τόπο. Επομένως, απαιτούνταν περισσότερες από 30 ημέρες για να απογραφούν 100 δειγματοληπτικοί τόποι σε μια περιοχή του μεγέθους της νήσου Λέσβου (περίπου τρεις τόποι ανά ημέρα). Αυτός είναι ένας συχνός περιορισμός κάθε προσπάθειας χαρτογράφησης και απογράφης των δασών ανεξαρτήτως της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την επέκταση των τιμών σε επίπεδο πεδίου. Επιπλέον, απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός περαιτέρω δειγματοληπτικών δεδομένων ώστε να επικυρωθούν με μεγάλη βεβαιότητα τα στατιστικά αποτελέσματα και οι χάρτες. Μια δειγματοληπτική μέθοδος με περισσότερα συνεργεία διενέργειας δειγματοληψιών μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία, αλλά με αυξημένο κόστος.

Ένα ακόμα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ανάγκη το στατιστικό μοντέλο να επαναπροσαρμοστεί σε περίπτωση που πρέπει να γίνει εφαρμογή της μεθόδου σε μια άλλη περιοχή ή με χρήση διαφορετικής δορυφορικής εικόνας (τύπος ή/και ημερομηνία απόκτησης). Η χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλότερης χωρικής ακρίβειας (ASTER, RapidEye, QuickBird, WorldView-2 ή Ikonos) μπορεί με προϋποθέσεις να αυξήσει την ακρίβεια της μοντελοποίησης, αλλά το κόστος απόκτησης για μια διεργασία χαρτογράφησης μεγάλης κλίμακας (σε επίπεδο περιφέρειας ή χώρας) είναι σημαντικά υψηλότερο. Επιπλέον, η ακρίβεια μπορεί να αυξηθεί αν στην ανάλυση εισαχθούν πιο ακριβή χωρικά δεδομένα για το κλίμα (π.χ. σχετική υγρασία, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία) και την τοπογραφία (π.χ. απόσταση από ρέματα, εδαφολογικό και γεωλογικό υπόβαθρο). Αν συνυπολογιστούν όλα τα παραπάνω κριτήρια και προϋποθέσεις, αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερες περιφέρειες.

5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Για την αποτελεσματικότερη εκτίμηση της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών κρίθηκε απαραίτητο να δημιουργηθούν προσαρμοσμένα MKY (Custom Fuel Models) που ταιριάζουν στις συνθήκες καύσιμης ύλης των περιοχών μελέτης (Λέσβος και Έβρος). Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τη συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων των παραμέτρων της KY είναι η δειγματοληπτική μέτρηση τους (Brown *et al.* 1982). Οι ιδιότητες της KY μετρήθηκαν σε περισσότερες από 100 δειγματοληπτικές θέσεις, αντιπροσωπευτικές των δασικών οικοσυστημάτων της Λέσβου. Στις δειγματοληπτικές περιοχές αραιού και πυκνού δάσους τραχείας πεύκης πραγματοποιήθηκε καταγραφή της νεκρής ξυλώδους KY ανά κατηγορία διαμέτρου, το ύψος των αείφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων, το βάθος του φυλλοτάπητα και του χούμου, το ύψος της KY, καθώς και η ποσοστιαία κάλυψη του εδάφους ανά τύπο. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με σκοπό τη δημιουργία τεσσάρων MKY που αφορούν σε περιοχές με ανώροφο τραχείας πεύκης. Για τη δημιουργία των MKY και για την εκτίμηση της συμπεριφοράς πυρκαγιάς με αυτά χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό BehavePlus διεξάγοντας συγκρίσεις και με αντίστοιχα τυπικά MKY. Κάθε MKY συνοδεύεται από αντιπροσωπευτικές φωτογραφίες ώστε να καθίσταται εύκολη η αναγνώριση και ταυτοποίησή του στο πεδίο. Η δημιουργία MKY αναμένεται να συνεισφέρει ουσιαστικά στον τεκμηριωμένο αντιπυρικό σχεδιασμό και στην πρόληψη των δασικών πυρκαγιών.

5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τη διεξαγωγή αυτού του τμήματος της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα πρωτοκόλλα δειγματοληψιών FIREMON, αξιοποιώντας παράλληλα και μεθόδους που περιγράφηκαν από τον Brown (1974) αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία και εμπειρία. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στις έρευνες που αναφέρονται στη μέτρηση και καταγραφή ιδιοτήτων ειδών βλάστησης που απαντώνται στην περιοχή μελέτης και τη Μεσόγειο (Δημητρακόπουλος *κ.α.* 2001, Dimitrakopoulos and Panon 2001). Για την εφαρμογή της μεθόδου αξιοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των ετών 2009 και 2010, όταν και έγιναν εκτεταμένες δειγματοληψίες στα δάση κωνοφόρων της Λέσβου ώστε να καταγραφούν οικολογικοί και δασολογικοί παράμετροι (αναλυτική περιγραφή των μεθόδων στο Κεφάλαιο 4). Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν τόσο ιδιότητες των χαρακτηριστικών της κόμης του δάσους, οι οποίες συμβάλουν στην εξέλιξη του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών, όσο και ιδιότητες της επιφανειακής καύσιμης ύλης. Συγκεκριμένα, σε 90 δασικές περιοχές κωνοφόρων της Λέσβου μετρήθηκαν παράγοντες που επηρεάζουν τη δημιουργία MKY, όπως η ξυλώδης νεκρή KY ανά κατηγορία διαμέτρου με τη μέθοδο planar intersect technique (Brown 1974), το ύψος των αείφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων, το βάθος του ξηροφυλλοτάπητα και του χούμου, το ύψος της KY καθώς και η ποσοστιαία κάλυψη του εδάφους ανά κατηγορία (φυλλοτάπητας, χορτοποώδη, πέτρες, άγονο/γυμνό έδαφος, δέντρα, θάμνοι και βρύα). Σε κάθε περιοχή ελήφθησαν φωτογραφίες για την καλύτερη οπτική καταγραφή της κατάστασης της βλάστησης, ενώ αποδόθηκαν και δύο τυπικά MKY, ένα για τις κανονικές και ένα για τις ακραίες συνθήκες πυρκαγιάς που μπορεί να επικρατήσουν στην κάθε περιοχή.

Έπειτα, ακολούθησε μια διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων ώστε να προκύψουν μεγέθη τα οποία ήταν εφικτό να ενσωματωθούν στη διαδικασία δημιουργίας MKY. Στόχος ήταν να δημιουργηθούν MKY τα οποία περιγράφουν και ομαδοποιούν με λεπτομέρεια τις διαφορετικές καταστάσεις KY των παράκτιων δασών κωνοφόρων. Διακρίθηκαν τέσσερις τύποι KY (Εικόνες 5.1-5.4).



Εικόνα 5.1: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο τα αείφυλλα-σκληρόφυλλα κυριαρχούν στον υπόροφο (> 1,5 m ύψος και ποσοστό κάλυψης > 20%) σε μίξη με ξηροφυλλοτάπητα.



Εικόνα 5.2: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο οι χαμηλοί θάμνοι (φρύγανα και αείφυλλα-σκληρόφυλλα ύψους < 1,5 m σε ποσοστό > 20%) σε μίξη με ξηροφυλλοτάπητα.



Εικόνα 5.3: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο ο ξηροφυλλοτάπητας και η νεκρή ξυλώδης καύσιμη ύλη όλων των διαμέτρων κυριαρχεί (>70%), σε μίξη με χαμηλούς θάμνους και φρύγανα (<30%).



Εικόνα 5.4: Δάσος Μεσογειακών κωνοφόρων στο οποίο έχει προηγηθεί βόσκηση, καύση ή άλλη μορφής διαχείριση και εμφανίζονται σημάδια αναγέννησης (ξηροφυλλοτάπητας χαμηλού φορτίου σε μίξη με ετήσια πόωδη φυτά, χαμηλούς θάμνους ή νεαρά δενδρύλλια).

Οι θέσεις δειγματοληψίας ταξινομήθηκαν στις τέσσερις αυτές κατηγορίες βάσει των φωτογραφιών και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Στη συνέχεια, βάσει βιβλιογραφικής ανασκόπησης και εφαρμογής ποσοτικών/ εμπειρικών μεθόδων, ακολούθησε η εκτίμηση των παραμέτρων των MKY που απαιτούνται στη δημιουργία τους και δεν είναι εφικτό να μετρηθούν άμεσα στο πεδίο. Αρχικά, έπρεπε να εκτιμηθεί το φορτίο του ξηροφυλλοτάπητα σε tons/acre ανά cm ώστε, σε συνδυασμό με τη νεκρή ξυλώδη KY 1-h, να βρεθεί το συνολικό φορτίο KY 1-h. Από την εργασία του Dimitrakopoulos (2002) βρέθηκε ότι το βάρος του ξηροφυλλοτάπητα (litter weight) για κάλυψη 100% στα μεσογειακά είδη πεύκου (*Pinus brutia* και *Pinus halepensis* Mill.) είναι 0,69 tons/acre ανά cm. Από τα αποτελέσματα της ίδιας εργασίας, για τους θαμνώνες αείφυλλων-σκληροφυλλων θάμνων έως 1,5 m και για πάνω από 1,5 m υπολογίστηκε ανά εκατοστό βάθους και για κάλυψη 100% το βάρος του ξηροφυλλοτάπητα (1,01 και 0,60 tons/acre ανά cm αντίστοιχα). Έπειτα, λαμβάνοντας υπόψη το βάθος και το ποσοστό κάλυψης του βελονοτάπητα για κάθε σημείο δειγματοληψίας, καθώς και το ποσοστό κάλυψης και το μέσο ύψος των θαμνώνων, υπολογίζονταν η ποσότητα του ξηροφυλλοτάπητα σε tons/acre, τόσο των κωνοφόρων όσο και των θαμνώνων. Οι δύο αυτές τιμές αθροίζονται και προστίθενται στα αποτελέσματα της μεθόδου του Brown (1974) για να παραχθεί το συνολικό φορτίο της 1-h. Τα φορτία KY 10-h και 100-h υπολογίστηκαν απευθείας με τη μέθοδο του Brown (1974), ενώ το βάθος της KY μετρήθηκε στο πεδίο σε 12 θέσεις εντός του κάθε δειγματοληπτικού τόπου.

Το επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός της ζωντανής KY, τόσο της ποώδους όσο και της ξυλώδους. Για να υπολογιστεί το φορτίο της ζωντανής KY έγινε η υπόθεση εργασίας ότι η κατάσταση της ζωντανής ποώδους βλάστησης εντός του πευκοδάσους είναι όμοια με αυτή που επικρατεί στην Αττική, όπου οι Ξανθόπουλος κ.α. (2011) μελέτησαν τα φορτία της ζωντανής ποώδους βλάστησης. Η ζωντανή βλάστηση εντός των πευκοδασών της Λέσβου είναι γενικά κοντή (~20 cm), είτε εκ φύσεως είτε λόγω βόσκησης, και συνήθως είναι αραιή και ασυνεχής. Επομένως, υπολογίστηκε το ποσό της ζωντανής βλάστησης χρησιμοποιώντας την αναλογία του ποσοστού ετήσιων ζωντανών φυτών (% κάλυψη) και το μέσο ύψος τους (20 cm) έτσι όπως μετρήθηκαν από τις δειγματοληψίες με την Εξίσωση 5.1 (Ξανθόπουλος κ.α. 2011):

$$LH = 0,06153 + 0,000563 X \text{ (Cover X Height)} \quad (5.1)$$

Για τον υπολογισμό της ζωντανούς ξυλώδους βλάστησης αξιοποιήθηκαν οι μετρήσεις που διεξήχθησαν στις 25 δειγματοληπτικές επιφάνειες στα δάση και τους θαμνώνες της Λέσβου από τη Ρούσσου (2008). Η ζωντανή ξυλώδης βλάστηση περιλαμβάνει το φύλλωμα και τα κλαδιά διαμέτρου 1-h από ζωντανούς θάμνους. Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η χρησιμοποίηση της αλλομετρικής Εξίσωσης 5.2:

$$\text{LiveW} = 0,938 + 6,177 * \text{Height} + 0,020 * \text{Cover} \text{ (R}^2 \text{ adj.} = 0,586) \quad (5.2)$$

όπου LiveW είναι η ζωντανή βιομάζα θάμνων σε tons/ha, Height το ύψος των θάμνων (m) και Cover η κάλυψη θάμνων (%).

Στη συνέχεια συμπληρώθηκαν τα υπόλοιπα στοιχεία που απαιτούνται (1-h SA/V, Live Woody SA/V, Dead Fuel Moisture of Extinction, Dead Fuel Heat Content και Live Fuel Heat Content), είτε βάσει της βιβλιογραφίας, είτε μέσω των τιμών που είχαν παρόμοια MKY από τα 40 των Scott and Burgan (2005). Από τις μετρήσεις πεδίου είχαν αποδοθεί σε κάθε περιοχή δύο MKY. Από το σύνολο των παρατηρήσεων που κατηγοριοποιήθηκαν σε κάθε μια από τις τέσσερις κατηγορίες προέκυψε ότι για την πρώτη κατηγορία συχνότερα καταγράφονταν τα MKY SH5 και SH7, για τη δεύτερη τα TU5 και TU4, για την τρίτη τα TL8 και TU4 και για την τέταρτη τα TU1 και TU4. Ως αποτέλεσμα, από αυτά τα δύο MKY κάθε κατηγορίας συμπληρώθηκαν οι τιμές που απαιτούνταν ώστε να ετοιμαστεί το πλήρες

απαιτούμενο σετ παραμέτρων. Επειδή τα μοντέλα των παρατηρήσεων δεν περιείχαν καθόλου ζωντανή ποώδη βλάστηση, η τιμή του Live Herbaceous SA/V ορίστηκε από το μοντέλο GR2, το οποίο είχε όμοια χαρακτηριστικά με τη ζωντανή ποώδη βλάστηση των περιοχών δειγματοληψίας. Τα MKY ορίστηκαν να είναι δυναμικά, να μεταφέρεται δηλαδή μέρος των φορτίων της ζωντανής KY στη νεκρή ανάλογα με την ποσότητα της περιεχόμενης υγρασίας τους (Andrews 1986). Έχοντας πλέον όλα τα δεδομένα όπως προέκυψαν από τις δειγματοληψίες και την επεξεργασία που ακολουθήθηκε, δημιουργήθηκαν τα τέσσερα προσαρμοσμένα MKY μέσω του λογισμικού FARSITE (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά των νέων μοντέλων καύσιμης ύλης

FUEL MODEL	1-h Fuel Load (tons/acre)	10-h Fuel Load (tons/acre)	100-h Fuel Load (tons/acre)	Live Herbaceous (tons/acre)	Live Woody (tons/acre)	Fuel Depth (ft)	Dead Fuel Moisture of Extinction	1-h SA/V (1/ft)	SA/V Lh (1/ft)	SA/V Lw (1/ft)
FM01	3,53	1,27	1,47	0,03	5,08	1,97	15	750	1800	1600
FM02	3,43	1,45	0,73	0,04	1,32	0,82	25	1500	1800	750
FM03	3,05	1,09	0,98	0,04	0,88	0,52	35	1800	1800	1600
FM04	1,12	1,00	0,49	0,06	0,79	0,49	20	2000	1800	1600

Για τη δοκιμή της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς με τα προσαρμοσμένα MKY, εφαρμόστηκε η μεθοδολογική προσέγγιση του λογισμικού BehavePlus στο οποίο, παρέχοντας τις κατάλληλες εισροές (καύσιμη ύλη, περιεχόμενη υγρασία KY, καιρός και τοπογραφία), παράγονται διαγράμματα και πίνακες που επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων πυρκαγιάς. Η πρώτη ενέργεια ήταν η σύγκριση των νέων μοντέλων μεταξύ τους ώστε να διαπιστωθεί αν ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες πυρκαγιάς που επικρατούν στις περιοχές από όπου και δημιουργήθηκαν. Επιπλέον, τεκμηριώθηκε το αν υπάρχει μεταξύ τους διαχωρισμός και σε ποια έκταση. Οι τιμές της υγρασίας προήλθαν από τρία σενάρια υγρασίας (ΣΥ) που ανταποκρίνονται στις συνθήκες που επικρατούν στη Λέσβο κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2: Τιμές υγρασίας για τα τρία σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις με το BehavePlus.

Τάξη μεγέθους καύσιμης ύλης	D1L1	M2	D2L2
1-h	3	4	6
10-h	4	5	7
100-h	5	6	8
Ζωντανή Ποώδης	30	50	60
Ζωντανή Ξυλώδης	60	80	90

Το ΣΥ D1L1 περιγράφει καταστάσεις πολύ χαμηλής υγρασίας στις οποίες η νεκρή KY είναι τελείως ξηρή, η ζωντανή ποώδης έχει σχεδόν νεκρωθεί και η ζωντανή ξυλώδης είναι σε κατάσταση έντονης πίεσης λόγω ξηρασίας. Η περιγραφή των συνθηκών αυτού του σεναρίου ταιριάζει με αυτές που επικρατούν κατά τη διάρκεια ξηρασίας στα μέσα του καλοκαιριού. Το ΣΥ M2 έχει υψηλότερες τιμές υγρασίας, τυπικές αυτών που επικρατούν σε μέρες με μέσες ταχύτητες ανέμου 5 BF, ενώ η ζωντανή ποώδης βλάστηση εισέρχεται σε φάση ξήρανσης με αποχρωματισμό των φύλλων και απώλεια τμημάτων του φυτού. Η ζωντανή ξυλώδης βλάστηση διατηρεί υψηλά ποσοστά υγρασίας, συνθήκες που επικρατούν στη μακία βλάστηση. Το σενάριο αυτό περιγράφει καλύτερα τις συνθήκες που επικρατούν στα τέλη Μαΐου-αρχές Ιουνίου καθώς και προς το τέλος Αυγούστου-αρχές Σεπτεμβρίου. Τέλος, το ΣΥ

D2L2 περιγράφει συνθήκες χαμηλής υγρασίας νεκρής ΚΥ με υψηλές τιμές υγρασίας για τη ζωντανή ΚΥ. Το σενάριο αυτό μπορεί να είναι τυπικό του Μαΐου και του Σεπτεμβρίου, αλλά να χρησιμοποιηθεί και κατά τη διάρκεια πολλών ημερών του καλοκαιριού με χαμηλούς ανέμους και υψηλή σχετική υγρασία, ή έπειτα από βροχοπτώσεις. Για τη διεξαγωγή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ταχύτητα ανέμου ίση με 24 km/h (4 BF) και κλίση 50%.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναλύονται σε όρους επιφανειακής ταχύτητας διάδοσης, μήκους φλόγας, θερμικής έντασης του μετώπου και θερμότητας ανά μονάδα επιφανείας. Η γνώση των παραπάνω παραμέτρων πριν από, και κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, συμβάλλει τόσο στην αντιμετώπιση των δυσκολιών ελέγχου της πυρκαγιάς (κατασκευή νέας αντιπυρικής ζώνης, αποστολή ή όχι συνεργείων στο μέτωπο, απαιτήσεις σε προσωπικό και εξοπλισμό, νέες εστίες), όσο και στην εκτίμηση των προκαλουμένων συνεπειών στο οικοσύστημα (Kalabokidis 2004). Δεδομένου ότι οι ερμηνείες των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς δεν είναι εύκολο να κατανοηθούν, ιδιαίτερα όταν πολλοί αριθμοί εκθέτονται ταυτόχρονα στα αποτελέσματα, αξιοποιείται το Διάγραμμα Πυρικών Χαρακτηριστικών (Fire Characteristic Chart-ΔΠΧ). Το ΔΠΧ αποτελεί ένα εργαλείο που αναπτύχθηκε για να διευκολύνει την κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων (Andrews *et al.* 2011). Στο ΔΠΧ, ο κάθετος άξονας παριστάνει την ταχύτητα διάδοσης και ο οριζόντιος τη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας, ενώ οι καμπύλες παριστάνουν το μήκος της φλόγας και την ένταση της πυρκαγιάς. Έτσι, επιτυγχάνεται η εκτίμηση της σφοδρότητας της πυρκαγιάς και των ενεργειών που απαιτούνται για την καταστολή της (Pyne *et al.* 1996).

5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για να περιγραφεί η συμπεριφορά πυρκαγιών που μπορεί να εκδηλωθούν με τα νέα ΜΚΥ, χρησιμοποιούνται πίνακες οι οποίοι δείχνουν κατ' αντιπαράθεση τις τιμές τους για την επιφανειακή ταχύτητα διάδοσης, το μήκος φλόγας, τη θερμική ένταση του μετώπου καθώς και τη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας. Βασικό εργαλείο είναι και το ΔΠΧ το οποίο αποτελεί σημαντικό μέσο ταυτόχρονης σύγκρισης όλων των παραπάνω πυρικών παραμέτρων.

Στον Πίνακα 5.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των τεσσάρων νέων ΜΚΥ για τα τρία σενάρια υγρασίας. Για την ταχύτητα διάδοσης, παρατηρούμε ότι η μείωση της από το ΜΚΥ FM01 έως το μοντέλο FM04 είναι 50% για όλα τα σενάρια υγρασίας. Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι τιμές είναι παρόμοιες για τα ΜΚΥ FM01 και FM02, ενώ για τα σενάρια υγρασίας M2 και D2I2 το ΜΚΥ FM02 έχει ελαφρώς μεγαλύτερες ταχύτητες. Η μείωση των τιμών από το ΜΚΥ FM01 στο FM03 κυμαίνεται μεταξύ 25 με 30%.

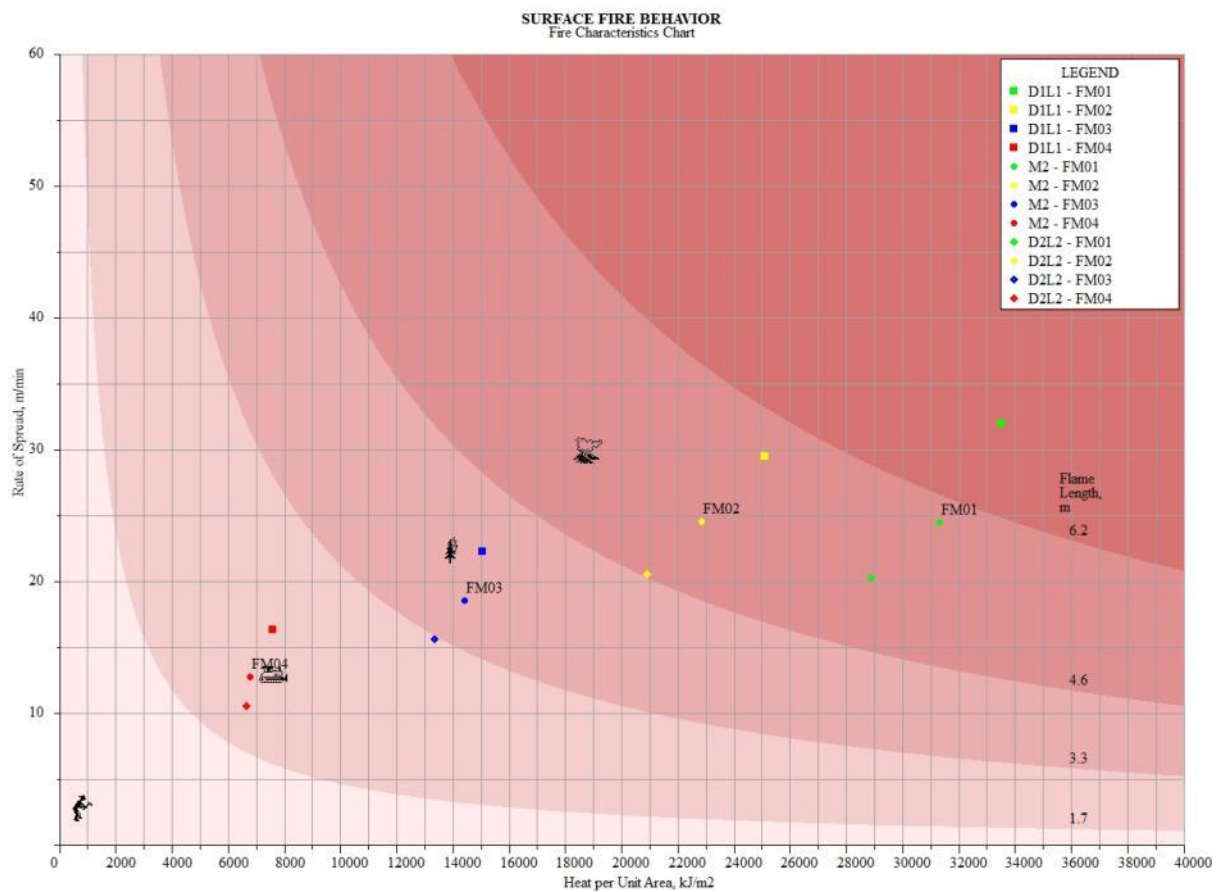
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό *BehavePlus* για τα τέσσερα νέα ΜΚΥ δασών κωνοφόρων

ΜΚΥ	Επιφανειακή Ταχύτητα Διάδοσης (μέγιστη) (m/min)			Μήκος Φλόγας (m)			Θερμική Ένταση του Μετώπου (kW/m)			Θερμότητα ανά Μονάδα Επιφανείας (kJ/m ²)		
	d1I1	M2	d2I2	d1I1	M2	d2I2	d1I1	M2	d2I2	d1I1	M2	d2I2
FM01	32	24,5	20,3	7	6	5,3	18.099	12.979	9.825	33.935	31.817	28.987
FM02	29,5	24,6	20,6	5,9	5,2	4,6	12.197	9.473	7.222	24.787	23.072	21.001
FM03	22,3	18,6	15,7	4,1	3,7	3,3	5.717	4.511	3.486	15.362	14.526	13.321
FM04	16,4	12,8	10,6	2,6	2,2	2	2.062	1.480	1.116	7.543	6.925	6.289

Για το μήκος φλόγας, παρατηρούμε ότι η διαφορά μεταξύ των ΜΚΥ FM01 και FM02 κυμαίνεται στο 14%, ενώ μεταξύ των ΜΚΥ FM01 και FM03 στο 40%, και μεταξύ των

FM01 και FM04 στο 63%. Η μέση μείωση από το MKY FM02 στο FM03 είναι περίπου 29%, ενώ από το MKY FM03 στο FM04 περίπου 39%. Από το ΔΠΧ (Εικόνα 5.5) παρατηρούμε ότι για τα MKY FM01 και FM02 οι τιμές του μήκους φλόγας είναι πολύ υψηλές και απαιτούν έμμεσες μεθόδους προσβολής (Andrews *et al.* 2011). Για το MKY FM03 διαπιστώνουμε ότι απαιτούνται εναέρια μέσα για την καταστολή των πυρκαγιών που καίνε υπό αυτές τις συνθήκες, ενώ για το MKY FM04 απαιτούνται μηχανικά μέσα.

Για τη θερμική ένταση του μετώπου, διαπιστώνουμε ότι οι ομοιότητες των τιμών μεταξύ των MKY FM01 και FM02 δεν υπάρχουν πλέον, μιας και παρατηρείται μείωση έως και 33%. Η μείωση από το MKY FM01 στο FM03 φτάνει το 66%, ενώ από το FM01 στο FM04 το 89%. Η μείωση από το MKY FM02 στο FM03 φτάνει κατά μέσο όρο το 53%, ενώ από το FM03 στο FM04 το 67%. Για τη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας καταγράφεται μείωση των τιμών κατά μέσο όρο 28% από το MKY FM01 στο FM02, 55% από το MKY FM01 στο FM03 και 88% από το MKY FM01 στο FM04. Η μείωση από το MKY FM02 στο FM03 είναι 38%, ενώ από το MKY FM03 στο FM04 περίπου 52%.



Εικόνα 5.5: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των τεσσάρων νέων MKY

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια ευδιάκριτη διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών από το ένα μοντέλο στο άλλο σε σταθερές αναλογίες για όλα τα διαφορετικά σενάρια υγρασίας. Αυτό το συμπέρασμα συμπίπτει με τις παρατηρήσεις της συμπεριφοράς πυρκαγιών για τους διάφορους τύπους δασών τραχείας πεύκης, μιας και οι πυρκαγιές σε περιοχές με πυκνό υπόροφο αείφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων είναι πάρα πολύ έντονες και με υψηλές ταχύτητες διάδοσης, ενώ για περιοχές όπου υπέστησαν βόσκηση ή καύση οι εντάσεις είναι κατά πολύ μικρότερες και τα περιστατικά πυρκαγιών πολύ ευκολότερα στην κατάσβεση. Τα αποτελέσματα αυτά αποτυπώνονται και στην Εικόνα 5.5,

όπου καταγράφεται μια κλιμακωτή αναλογική απόσταση μεταξύ των MKY FM01-FM04, καταδεικνύοντας και τις διαφορετικές μεθόδους καταστολής πιθανών πυρκαγιών που πρέπει να εφαρμοστούν.

Το επόμενο βήμα ήταν η σύγκριση κάθε μοντέλου με γνωστά MKY τα οποία αποδόθηκαν στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών ή θα μπορούσαν να αποδοθούν βάσει της βιβλιογραφίας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στις θέσεις όπου έγιναν δειγματοληψίες για το MKY FM01, αποδόθηκε συχνότερα τα MKY SH5 και SH7. Από τα 13 αρχικά μοντέλα που περιγράφηκαν από τον Anderson (1982) ταιριάζει περισσότερο το MKY 4 (Chararral). Στις θέσεις όπου έγιναν δειγματοληψίες για το MKY FM02, αποδόθηκαν συχνότερα τα MKY TU5 και TU4. Από τα 13 αρχικά μοντέλα ταιριάζει περισσότερο το MKY 6 (Dormant Brush, Hardwood Slash). Στις θέσεις όπου έγιναν δειγματοληψίες για το MKY FM03, αποδόθηκαν συχνότερα τα MKY TL8 και TU4. Από τα 13 αρχικά μοντέλα ταιριάζει περισσότερο το MKY 5 (Brush). Τέλος, για τις θέσεις όπου έγιναν δειγματοληψίες για το MKY FM04, αποδόθηκαν συχνότερα τα MKY TU1 και TU4. Από τα 13 αρχικά μοντέλα ταιριάζει περισσότερο το MKY 8 (Short Needle Litter).

Για το MKY FM01, συγκρίνοντας την ταχύτητα διάδοσης του με τα άλλα MKY γίνεται αντιληπτό ότι το FM01 σε σχέση με το SH5 υπολείπεται κατά 2,6 φορές, με το SH7 κατά 1,4 φορές και με το MKY 4 κατά 5,5 φορές (Πίνακας 5.4). Για το μήκος φλόγας διαπιστώνεται ότι το FM01 σε σχέση με το SH5 υπολείπεται κατά 46%, με το SH7 κατά 38% και με το MKY 4 κατά 140%. Για τη θερμική ένταση του μετώπου, το FM01 σε σχέση με το SH5 υπολείπεται κατά 1,3 φορές, με το SH7 κατά μια φορά και με το MKY 4 κατά 6,8 φορές. Τέλος, για τη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας προκύπτει ότι το FM01 σε σχέση με το SH5 είναι υψηλότερο κατά 38%, με το SH7 κατά 16% και σχεδόν ίσο με το MKY 4. Ως συμπέρασμα, το FM01 έχει πολύ μεγάλες διαφορές από τα άλλα συγκρίσιμα MKY, κάτι που διακρίνεται και στο ΔΠΧ (Εικόνα 5.6) όπου οι προσομοιώσεις του (πράσινο) είναι σε πολύ μεγάλη απόσταση από τις άλλες, με κοντινότερη απόσταση στο SH7 (μπλε). Τα αποτελέσματα φαίνονται λογικά, επειδή τα συγκρίσιμα MKY αφορούν πυκνό στρώμα αειφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων, μεγάλου ύψους και συχνά αδιαπέραστων σε ποσοστό κάλυψης τουλάχιστον 50%. Επιπλέον, η παρουσία της νεκρής KY των πεύκων είναι σημαντικός παράγοντας διαφοροποίησης. Εντός των περιοχών του MKY FM01 διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν πολλά αειφυλλα-σκληρόφυλλα (>20%) αλλά δεν είναι τόσο πυκνά όσο σε αμιγείς περιοχές εμφάνισης τους, κάτι που επηρεάζει και τη συμπεριφορά των πυρκαγιών.

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM01, SH5, SH7 και 4.

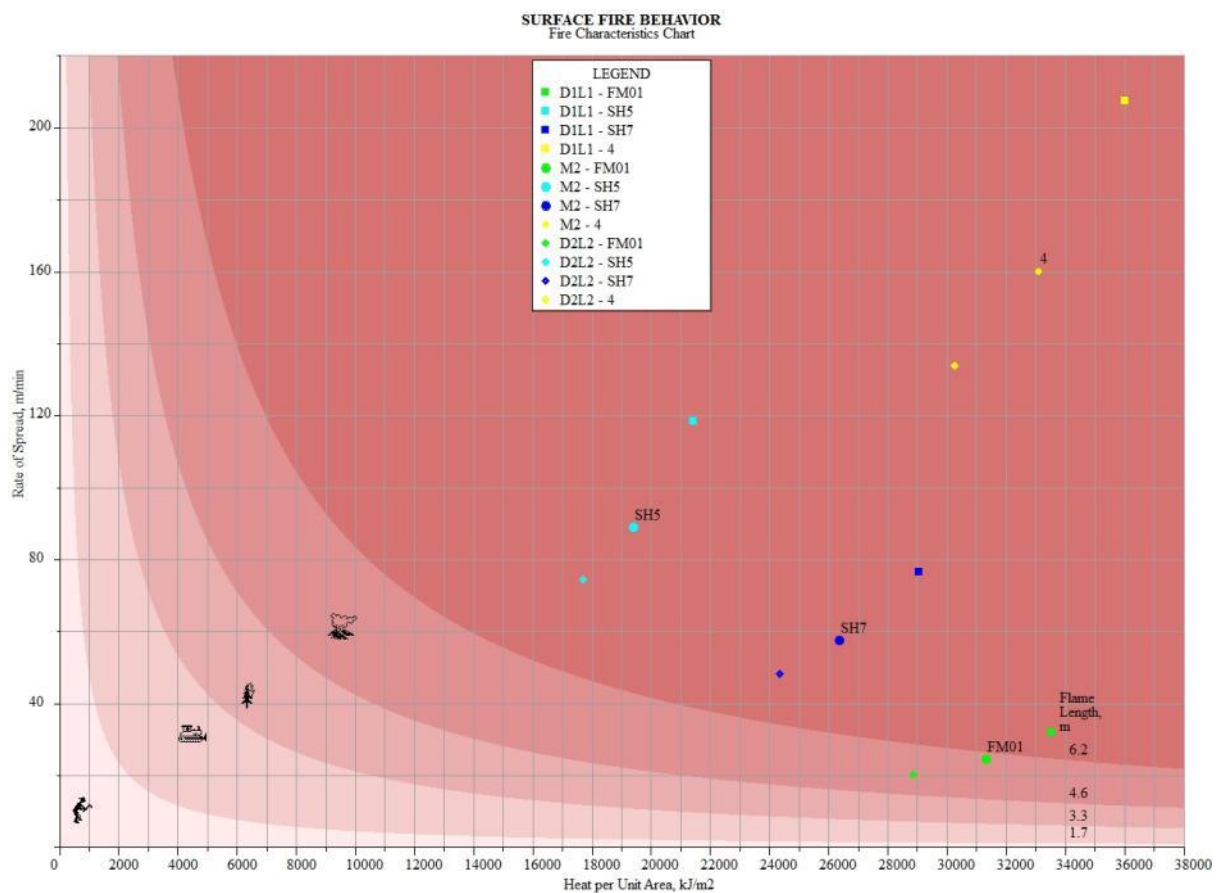
MKY	Επιφανειακή Ταχύτητα Διάδοσης (μέγιστη) (m/min)			Μήκος Φλόγας (m)			Θερμική Ένταση του Μετώπου (kW/m)			Θερμότητα ανά Μονάδα Επιφάνειας (kJ/m ²)		
	d111	M2	d212	d111	M2	d212	d111	M2	d212	d111	M2	d212
ΣΥ												
FM01	32	24,5	20,3	7	6	5,3	18.099	12.979	9.825	33.935	31.817	28.987
SH5	118,4	88,8	74,6	10,4	8,7	7,7	42.291	28.838	22.293	21.422	19.487	17.929
SH7	76,7	57,4	48,3	9,8	8,2	7,3	36.966	25.205	19.526	28.923	26.346	24.268
4	207,6	160,2	133,9	17,1	14,6	12,9	125.128	88.108	67.205	36.167	32.994	30.110

Στον Πίνακα 5.5 διακρίνονται τα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση MKY. Το MKY FM01 υπολείπεται κυρίως στα φορτία KY 10-h και 100-h, ενώ έχουν συμπεριληφθεί σε αυτό φορτία ζωντανής ποώδους και ξυλώδους βλάστησης, τα οποία προκύπτουν τόσο από την παρουσία ετήσιων φυτών, όσο και από την παρουσία των θάμνων, λαδανιών και νεαρών

δενδρυλλίων πεύκης. Τέλος, σημαντική διαφορά παρατηρείται στο βάθος του στρώματος της ΚΥ, που είναι δύο φορές μικρότερο στο FM01 από τα άλλα ΜΚΥ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο μέσο ύψος του υπολογίστηκε από τη χαμηλή βλάστηση θάμνων, τα νεαρά δενδρύλλια αλλά και τα κενά που υπήρχαν.

Πίνακας 5.5: Χαρακτηριστικά των ΜΚΥ FM01, SH5, SH7 και 4.

FUEL MODEL	1-h Fuel Load (tons/acre)	10-h Fuel Load (tons/acre)	100-h Fuel Load (tons/acre)	Live Herbaceous (tons/acre)	Live Woody (tons/acre)	Fuel Depth (ft)	Dead Fuel Moisture of Extinction	1-h SA/V (1/ft)	SA/V Lh (1/ft)	SA/V Lw (1/ft)
FM01	3,53	1,27	1,47	0,03	5,08	1,97	15	750	1800	1600
SH5	3,60	2,10	0,00	0,00	2,90	6	15	750	1800	1600
SH7	3,50	5,30	2,20	0,00	3,40	6	15	750	1800	1600
4	5,01	4,01	2,00	0,00	5,10	6	20	2000	1500	1500



Εικόνα 5.6: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των ΜΚΥ FM01, SH5, SH7 και 4.

Εξετάζοντας τη σχέση του ΜΚΥ FM02 με τα υπόλοιπα ΜΚΥ διαπιστώνουμε ότι για την επιφανειακή ταχύτητα διάδοσης, η σχέση με το TU4 είναι κατά 18% μικρότερη, με το TU5 μεγαλύτερη κατά 43% και με το ΜΚΥ 6 μικρότερη κατά περίπου 1,5 φορά (Πίνακας 5.6). Για το μήκος φλόγας διαπιστώνεται ότι το ΜΚΥ FM02 είναι κατά 15% μεγαλύτερο από το TU4, κατά 10% από το TU5 και κατά 19% από το ΜΚΥ 6. Η θερμική ένταση του μετώπου για το ΜΚΥ FM02 είναι μεγαλύτερη κατά 31% σε σχέση με το TU4, κατά 22% σε σχέση με το TU5 και κατά 37% από το ΜΚΥ 6. Τέλος, η θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας για το

MKY FM02 είναι αυξημένη κατά 42% σε σχέση με το TU4, μικρότερη κατά 38% σε σχέση με το TU5 και μεγαλύτερη κατά 75% σε σχέση με το MKY 6.

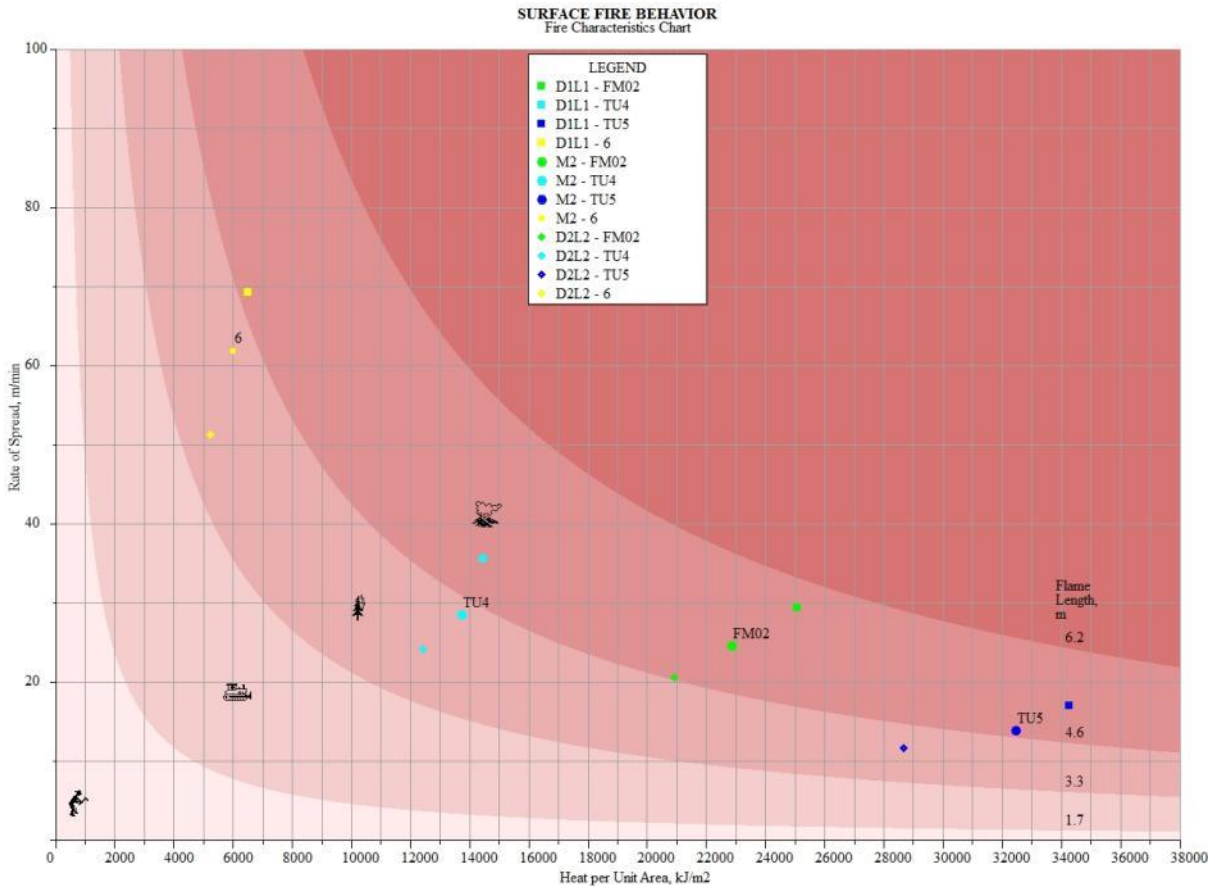
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM02, TU4, TU5 και 6.

MKY	Επιφανειακή Ταχύτητα Διάδοσης (μέγιστη) (m/min)			Μήκος Φλόγας (m)			Θερμική Ένταση του Μετώπου (kW/m)			Θερμότητα ανά Μονάδα Επιφανείας (kJ/m ²)		
	d111	M2	d212	d111	M2	d212	d111	M2	d212	d111	M2	d212
ΣΥ	29,5	24,6	20,6	5,9	5,2	4,6	12.197	9.473	7.222	24.787	23.072	21.001
FM02	29,5	24,6	20,6	5,9	5,2	4,6	12.197	9.473	7.222	24.787	23.072	21.001
TU4	35,7	28,5	24,2	5	4,4	3,9	8.654	6.363	4.988	14.536	13.378	12.360
TU5	17,1	13,9	11,7	5,3	4,7	4,1	9.744	7.381	5.698	34.176	31.830	29.172
6	69,3	62	51,4	4,7	4,3	3,7	7.455	6.190	4.575	6.452	5.994	5.344

Από την Εικόνα 5.7 διαπιστώνουμε ότι το MKY FM02 (πράσινο) βρίσκεται μεταξύ του TU4 (γαλάζιο) και του TU5 (μπλε) σε όρους πυρικής συμπεριφοράς. Το μοντέλο TU4 χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει νεαρές συστάδες πεύκης με μικρά φορτία νεκρής KY και σε μίξη με φρύγανα και ετήσια, ενώ το μοντέλο TU5 χρησιμοποιείται κυρίως για να περιγράψει συστάδες πεύκης με υπόροφο θάμνων. Στον Πίνακα 5.7 διακρίνουμε τα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση MKY. Για όλες τις κατηγορίες νεκρής KY διαπιστώνουμε ότι το MKY FM02 περιέχει μικρότερη ποσότητα σε σχέση με το TU5, ενώ το TU4 περιέχει περισσότερη ποσότητα KY για τις κατηγορίες 1-h και ζωντανής ξυλώδους βλάστησης. Το βάθος του στρώματος της KY είναι μικρότερο από το TU5 και περισσότερο από το TU4. Τέλος, το MKY 6 έχει περισσότερη KY 10-h και 100-h, αλλά και μεγαλύτερο βάθος. Στις περιοχές του MKY FM02 παρατηρήθηκε συχνή παρουσία θαμνώνων κάτω του 1,5 m αλλά με μικρή κάλυψη (λίγο μεγαλύτερο του 20%), με το άλλο ποσοστό να καλύπτεται από φρύγανα, πευκοβελόνες, πέτρες κ.α., κάτι που εξηγεί και τις τιμές των παραμέτρων που μετρήθηκαν ή εκτιμήθηκαν για αυτό το μοντέλο.

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά των MKY FM02, TU4, TU5 και 6.

FUEL MODEL	1-h Fuel Load (tons/acre)	10-h Fuel Load (tons/acre)	100-h Fuel Load (tons/acre)	Live Herbaceous (tons/acre)	Live Woody (tons/acre)	Fuel Depth (ft)	Dead Fuel Moisture of Extinction	1-h SA/V (1/ft)	SA/V Lh (1/ft)	SA/V Lw (1/ft)
FM02	3,43	1,45	0,73	0,04	1,32	0,82	25	1500	1800	750
TU4	4,50	0	0	0	2,00	0,50	12	2300	1800	2000
TU5	4,00	4,00	3,00	0	3,00	1,00	25	1500	1800	750
6	1,50	2,50	2,00	0	0	2,50	25	1750	1500	1500



Εικόνα 5.7: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM02, TU4, TU5 και 6

Εξετάζοντας τη σχέση του MKY FM03 με τα άλλα MKY (Πίνακας 5.8) διαπιστώνουμε αρχικά ότι για την επιφανειακή ταχύτητα διάδοσης, το TU4 έχει τιμές μεγαλύτερες κατά 55%, ενώ το TL8 μικρότερες κατά 39% και το MKY 5 μεγαλύτερες κατά 200%. Για το μήκος φλόγας, το TU4 είναι μεγαλύτερο κατά 20%, το TL8 μικρότερο κατά 36% και το MKY 5 μεγαλύτερο κατά 25%. Η θερμική ένταση του μετώπου είναι μεγαλύτερη κατά 45% για το TU4, μικρότερη κατά 63% για το TL8 και μεγαλύτερη κατά 60% για το MKY 5. Τέλος, για τη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας τα MKY TU4, TL8 και 5 είναι μικρότερα κατά 7%, 39% και 44% αντίστοιχα σε σχέση με το FM03. Στην Εικόνα 5.8 διακρίνουμε ότι το FM03 (πράσινο) έχει χαμηλότερο μήκος φλόγας και ταχύτητα διάδοσης σε σχέση με το TU4 (γαλάζιο) και MKY 5 (κίτρινο), αλλά με υψηλότερη θερμική ένταση του μετώπου, ενώ είναι υψηλότερο για όλες τις ιδιότητες του από το TL8 (μπλε).

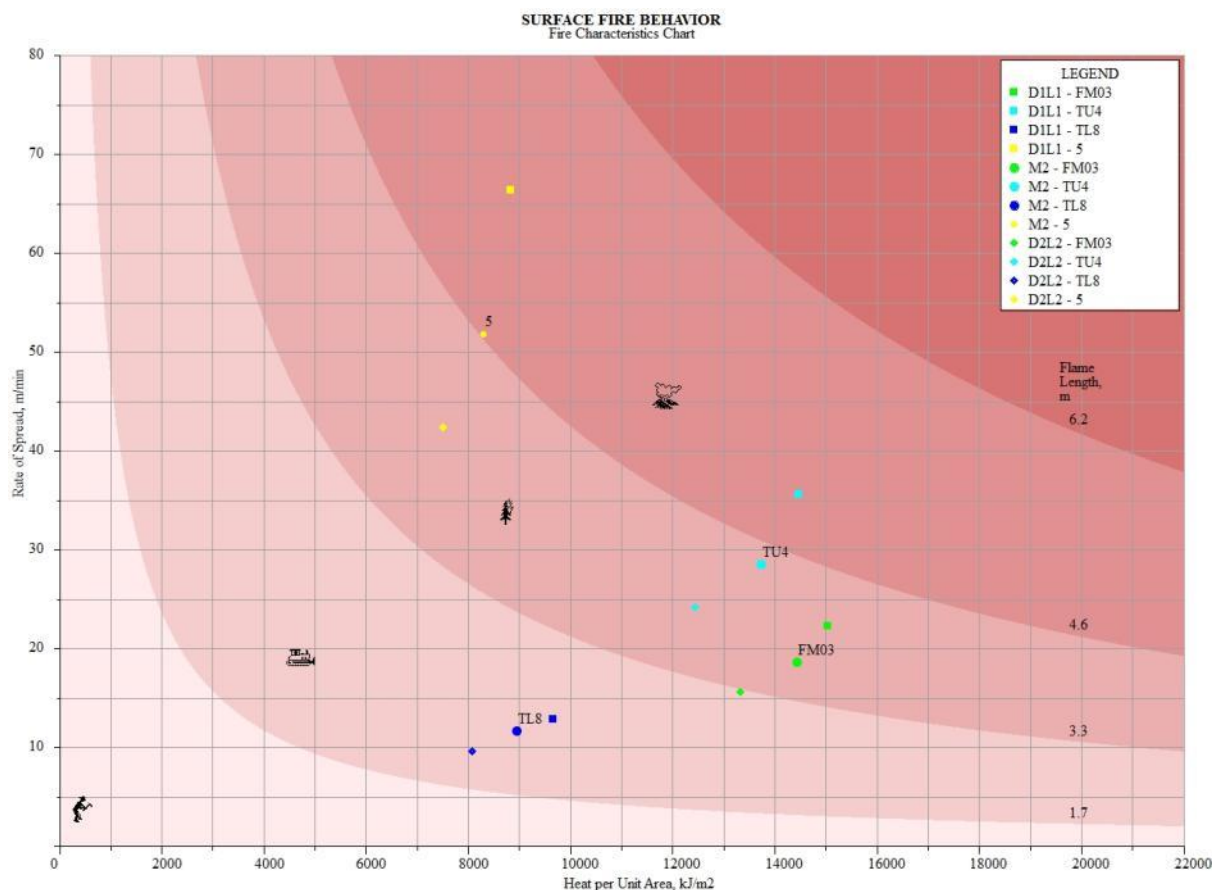
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM03, TU4, TL8 και 5.

MKY	Επιφανειακή Ταχύτητα Διάδοσης (μέγιστη) (m/min)			Μήκος Φλόγας (m)			Θερμική Ένταση του Μετώπου (kW/m)			Θερμότητα ανά Μονάδα Επιφανείας (kJ/m ²)		
	d1l1	M2	d2l2	d1l1	M2	d2l2	d1l1	M2	d2l2	d1l1	M2	d2l2
FM03	22,3	18,6	15,7	4,1	3,7	3,3	5.717	4.511	3.486	15.362	14.526	13.321
TU4	35,7	28,5	24,2	5	4,4	3,9	8.654	6.363	4.988	14.536	13.378	12.360
TL8	12,9	11,7	9,7	2,6	2,4	2,1	2.030	1.731	1.302	9.467	8.911	8.016
5	66,4	51,9	42,4	5,3	4,6	4	9.699	7.153	5.238	8.769	8.273	7.406

Στον Πίνακα 5.9 διαπιστώνουμε ότι το TL8 έχει υψηλότερα φορτία νεκρής ΚΥ από το FM03, αλλά υπολείπεται στη ζωντανή ποώδη και ξυλώδη ΚΥ, η οποία ήταν συχνή στις περιοχές του FM03 λόγω της παρουσίας λαδανιών, φρυγάνων, χαμηλών θάμνων και ετήσιων φυτών. Το TU4 έχει υψηλότερα φορτία νεκρής ΚΥ 1-h και ζωντανής ξυλώδους βλάστησης, ενώ τα υπόλοιπα φορτία του είναι μηδενικά. Για το MKY 5, όλα τα φορτία νεκρής ΚΥ είναι κατά πολύ μικρότερα του FM03, αλλά περιέχει υπερδιπλάσιο φορτίο ζωντανής ξυλώδους ΚΥ και πολύ βαθύτερο στρώμα καυσίμων (τετραπλάσιο).

Πίνακας 5.9: Χαρακτηριστικά των MKY FM03, TU4, TL8 και 5

FUEL MODEL	1-h Fuel Load (tons/acre)	10-h Fuel Load (tons/acre)	100-h Fuel Load (tons/acre)	Live Herbaceous (tons/acre)	Live Woody (tons/acre)	Fuel Depth (ft)	Dead Fuel Moisture of Extinction	1-h SA/V (1/ft)	SA/V Lh (1/ft)	SA/V Lw (1/ft)
FM03	3,05	1,09	0,98	0,04	0,88	0,52	35	1800	1800	1600
TU4	4,50	0	0	0	2,00	0,50	12	2300	1800	2000
TL8	5,80	1,40	1,10	0	0	0,30	35	1800	1800	1600
5	1,00	0,50	0	0	2,00	2,00	20	2000	1500	1500



Εικόνα 5.8: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM03, TU4, TL8 και 5

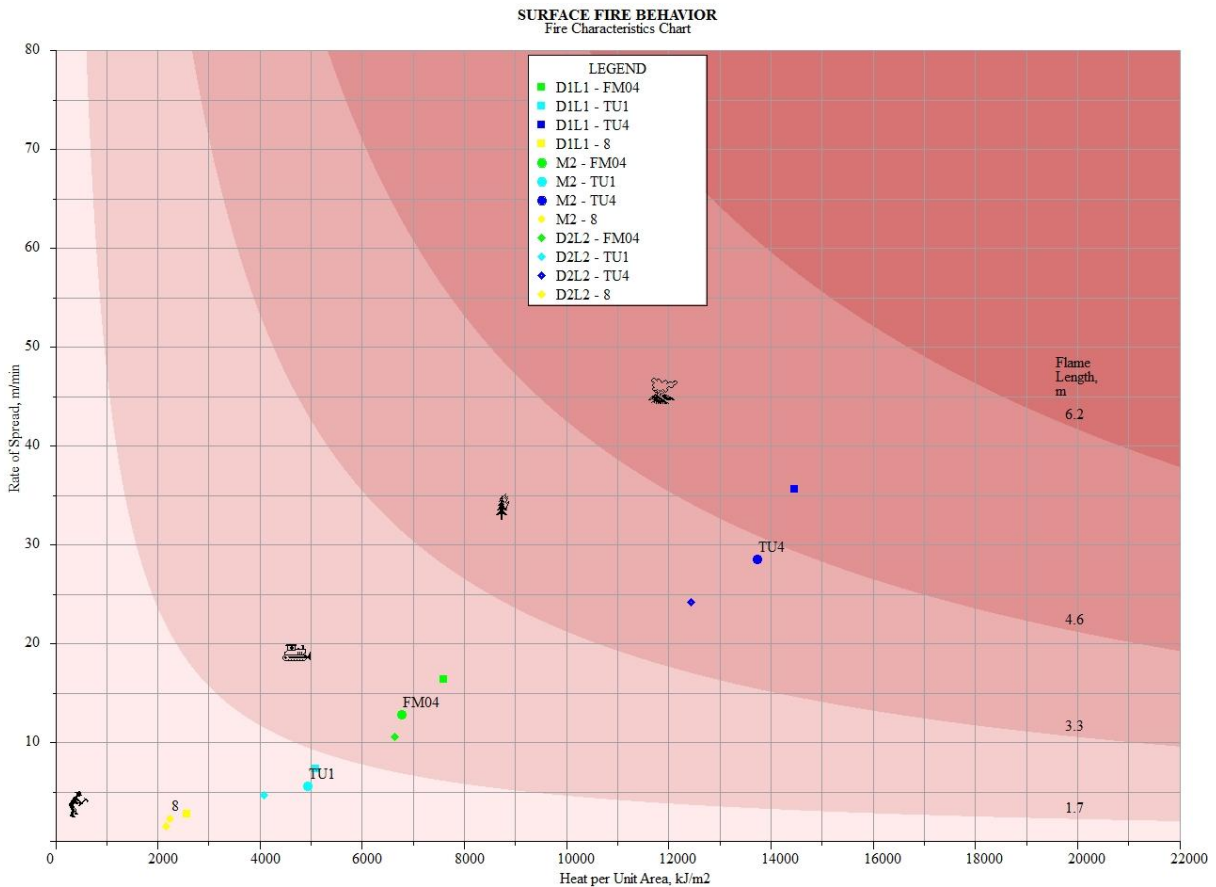
Από την εξέταση του MKY FM04, διαπιστώνουμε ότι η ταχύτητα διάδοσης των MKY TU1 και 8 υπολείπεται κατά 55% και 83% αντίστοιχα, ενώ μόνο το TU4 είναι μεγαλύτερο κατά 120% (Πίνακας 5.10). Σχετικά με το μήκος φλόγας, τα MKY TU1 και 8 είναι μικρότερα κατά 43% και 74% αντίστοιχα, ενώ το MKY TU4 είναι μεγαλύτερο του μοντέλου 4 κατά 92%. Ομοίως, για τη θερμική ένταση του μετώπου παρατηρούμε την ίδια τάση, όπου

τα MKY TU1 και 8 είναι μικρότερα κατά 69% και 94% αντίστοιχα, ενώ το MKY TU4 είναι μεγαλύτερο κατά 3 φορές από τις τιμές του MKY FM04. Τέλος, η θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας των MKY TU1 και 8 είναι μικρότερη κατά 31% και 66% αντίστοιχα, ενώ για το MKY TU4 είναι μεγαλύτερη κατά 92% από το MKY FM04.

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα ανάλυσης με το λογισμικό BehavePlus για τα MKY FM04, TU1, TU4 και 8.

MKY	Επιφανειακή Ταχύτητα Διάδοσης (μέγιστη) (m/min)			Μήκος Φλόγας (m)			Θερμική Ένταση του Μετώπου (kW/m)			Θερμότητα ανά Μονάδα Επιφανείας (kJ/m ²)		
	d1l1	M2	d2l2	d1l1	M2	d2l2	d1l1	M2	d2l2	d1l1	M2	d2l2
ΣΥ												
FM04	16.4	12.8	10.6	2.6	2.2	2	2062	1480	1116	7543	6925	6289
TU1	7.4	5.6	4.7	1.5	1.3	1.1	646	450	350	5226	4857	4509
TU4	35.7	28.5	24.2	5	4.4	3.9	8654	6363	4988	14536	13378	12360
8	2.8	2.3	1.6	0.7	0.6	0.5	120	92	58	2562	2396	2142

Στην Εικόνα 5.9 παρατηρούμε ότι το MKY FM04 (πράσινο) είναι μεταξύ των μοντέλων TU4 και TU1 σε όρους ταχύτητας διάδοσης, μήκους φλόγας και θερμικής έντασης του μετώπου, ενώ η ανώτερη και ελάχιστη απόσταση του στο ΔΠΧ σε σχέση με τα MKY TU4 (μπλε) και 8 (κίτρινο) φαίνεται όμοια. Συμπεραίνουμε ότι το νέο MKY FM04 αντιπροσωπεύει τις μέσες συνθήκες που μπορεί να εμφανίσει μια πυρκαγιά σε περιοχές όπου ταίριαζουν αυτά τα MKY.



Εικόνα 5.9: Διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών με αποτυπωμένη την πυρική συμπεριφορά των MKY FM04, TU1, TU4 και 8

Τέλος, στον Πίνακα 5.11 διαπιστώνουμε ότι το φορτίο της ΚΥ 1-h είναι μεγαλύτερο για το FM04 μόνο σε σχέση με το TU1, ενώ είναι όμοιο με το MKY 8 και κατά 3,5 φορές μικρότερο του TU4. Παρατηρούμε ότι τα φορτία των 10-h είναι όμοια για όλα τα MKY με εξαίρεση το TU4, ενώ το φορτίο των 100-h υπολείπεται πολύ στο FM04 σε σχέση με τα MKY 8 και TU1. Μικρή ποσότητα ζωντανής ΚΥ έχει καταγραφεί για τα MKY TU4 και TU1, ενώ το FM04 υπολείπεται κατά περίπου μια φορά στην ποσότητα ζωντανής ξυλώδους ΚΥ σε σχέση με το TU4. Τέλος, το βάθος της ΚΥ είναι παρόμοιο και για τα τέσσερα MKY.

Πίνακας 5.11: Χαρακτηριστικά των MKY FM04, TU1, TU4 και 8

FUEL MODEL	1-h Fuel Load (tons/acre)	10-h Fuel Load (tons/acre)	100-h Fuel Load (tons/acre)	Live Herbaceous (tons/acre)	Live Woody (tons/acre)	Fuel Depth (ft)	Dead Fuel Moisture of Extinction	1-h SA/V (1/ft)	SA/V Lh (1/ft)	SA/V Lw (1/ft)
FM04	1,12	1,00	0,49	0,06	0,79	0,49	20	2000	1800	1600
TU1	0,20	0,90	1,50	0,20	0,90	0,60	20	2000	1800	1600
TU4	4,50	0	0	0	2,00	0,50	12	2300	1800	2000
8	1,50	1,00	2,50	0	0	0,20	30	2000	1500	1500

5.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση που διενεργήθηκε προέκυψε ότι τα τέσσερα MKY παρουσιάζουν μια κλιμακωτή αύξηση της έντασης των προσομοιωμένων πυρκαγιών, ξεκινώντας από το FM04 έως το FM01. Τα MKY FM01 και FM02 διαφέρουν κυρίως ως προς τη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας, έχουν παρόμοια μήκη φλόγας, και το FM01 έχει λίγο μεγαλύτερη επιφανειακή ταχύτητα διάδοσης. Τα MKY FM03 και FM04 διαφέρουν αρκετά τόσο από τα άλλα δύο MKY, όσο και μεταξύ τους. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην Εικόνα 5.13 διαπιστώνουμε ότι το κάθε MKY ανταποκρίνεται σε μια κατηγορία δασοπυροσβεστικής επέμβασης όπως έχουν προκαθοριστεί από τους Andrews *et al.* (2011). Συγκεκριμένα, οι πυρκαγιές στο FM04 μπορούν να κατασταλούν με μηχανικά μέσα, στο FM03 με επίγειες δυνάμεις και αεροσκάφη-ελικόπτερα ενώ για τα άλλα δύο μόνο με έμμεσες μεθόδους καταστολής (αντιπυρικές ζώνες, εφαρμογή αντιπυρός, έμμεση προσβολή κ.α.).

Από τη σύγκριση με τα γνωστά MKY που σχεδιάστηκαν κυρίως για χρήση στη Β. Αμερική, διαπιστώθηκε ότι το FM01 έχει ηπιότερη συμπεριφορά από τα MKY SH5, SH7 και 4, ενώ είναι πιο κοντά στο MKY SH7, το οποίο έχει υψηλότερη επιφανειακή ταχύτητα διάδοσης και μήκος φλόγας, χαμηλότερη όμως θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας. Το FM02 είναι σε μια ενδιάμεση κατάσταση σε σχέση με τα MKY TU4 και TU5, ιδίως σε όρους θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, ενώ έχει μεγάλη διαφορά από το MKY 4 σε όρους επιφανειακής ταχύτητας διάδοσης και μήκους φλόγας. Στις περιοχές δειγματοληψίας του μοντέλου πιο συχνά αποδίδονταν τα MKY TU4 και TU5, γεγονός που καθιστά τη χρήση του νέου μοντέλου αξιόπιστη μιας και εκφράζει το μέσο των συνθηκών πυρκαγιάς που προσομοιώνονται με αυτά τα μοντέλα. Το FM03 είναι επίσης στο ενδιάμεσο των υπό εξέταση MKY TU4 και TL8, κυρίως σε όρους μήκους φλόγας, αλλά και ταχύτητας διάδοσης, ενώ έχει μεγάλη διαφορά στα ίδια μεγέθη με το MKY 5. Για το FM04 η συμπεριφορά είναι επίσης στο ενδιάμεσο των υπό εξέταση MKY TU1, TU4, ενώ η απόσταση από το MKY 8 είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη. Συμπεραίνουμε ότι τα νέα τοπικά MKY των παράκτιων κωνοφόρων δασών αποδίδουν καλύτερα τη συμπεριφορά των πυρκαγιών από τα 40 MKY των Scott and Burgan (2005), επιτρέποντας τον συγκερασμό των συνθηκών που επικρατούν μεταξύ των δύο MKY που καταγράφηκαν συχνότερα σε κάθε

σημείο, ενώ η σύγκριση τους με τα αρχικά 13 ΜΚΥ (Anderson 1982) φανέρωσε ακόμα μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις.

Τα ΜΚΥ είναι εφαρμόσιμα για σκοπούς προσομοίωσης συμπεριφοράς πυρκαγιών με σύγχρονα λογισμικά, τυποποιώντας μια πληθώρα πολύπλοκων και δύσκολα μετρήσιμων παραμέτρων της ΚΥ. Παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της εύκολης και γρήγορης χρήσης τους σε πλήθος εφαρμογών για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων σε θέματα διαχείρισης δασικών εκτάσεων και πυρκαγιών, μέσω του μοντέλου πυρικής συμπεριφοράς του Rothermel (1972) και των νεότερων συστημάτων μοντελοποίησης της συμπεριφοράς της φωτιάς. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση αφορούν συγκεκριμένες συνθήκες τοπογραφίας, καιρού και περιεχόμενης υγρασίας ΚΥ, συνθήκες που αν αλλάξουν πιθανόν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα, με όμοιες όμως αναλογίες συμπεριφοράς όπως αυτές που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη.

Σημαντική προσπάθεια έγινε κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας ώστε να καταγραφούν και να αποτυπωθούν οι συνθήκες της ΚΥ σε πολλές και διαφορετικές καταστάσεις βλάστησης κωνοφόρων μέσω εκτεταμένων δειγματοληψιών. Οι δειγματοληψίες αυτές έχουν το σημαντικό μειονέκτημα του κόστους αλλά και του χρόνου που απαιτείται για τη σωστή και αξιόπιστη διεξαγωγή τους. Είναι όμως η μόνη ενδεδειγμένη μεθοδολογική προσέγγιση που πρέπει να εφαρμοστεί αν κάποιος θέλει να δημιουργήσει νέα ΜΚΥ, μιας και απαιτείται ακριβής γνώση των συνθηκών βλάστησης και ΚΥ, αλλά και της συμπεριφοράς πυρκαγιάς που επικρατεί σε κάθε περιοχή. Επιπλέον, η έρευνα αυτή κατέδειξε τρόπους και μεθόδους μέτρησης και ποσοτικοποίησης της ΚΥ, αλλά και τρόπους ανάλυσης και επεξεργασίας των μετρήσεων. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας εφαρμόστηκαν αρκετές υποθέσεις εργασίας και παραδοχές, οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν σφάλματα τόσο στην ποσοτικοποίηση όσο και στις ακολουθούμενες προσομοιώσεις. Τα σφάλματα αυτά πρέπει να προστεθούν στα ήδη γνωστά σφάλματα που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια κάθε δειγματοληπτικής μεθόδου. Η χρήση των νέων ΜΚΥ αναμένεται ότι θα βελτιώσει την ακρίβεια των προσομοιώσεων με γνωστά λογισμικά όπως το BehavePlus, το FARSITE και το FlamMap, τόσο για τη νήσο Λέσβο, όσο και για άλλες περιοχές με παρόμοια βλάστηση.

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ FARSITE ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ MINIMUM TRAVEL TIME

Σε αυτό το κεφάλαιο διεξήχθη προσομοίωση συμπεριφοράς πέντε ιστορικών πυρκαγιών που συνέβησαν στη νήσο Λέσβο με το λογισμικό FARSITE, και στη συνέχεια ακολούθησε ανάλυση με τον αλγόριθμο MTT ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητα να εκτιμηθεί και υπολογιστεί ο κίνδυνος από μελλοντικά περιστατικά πυρκαγιών για τη νήσο Λέσβο. Η νήσος Λέσβος έχει αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας λόγω της βλάστησης, των ανθρώπινων διεργασιών και της φυσιογραφίας της. Τα αποτελέσματα που πρόέκυψαν μπορούν να συμβάλουν στην έγκαιρη προειδοποίηση, δίνοντας έμφαση όχι μόνο στο πώς μπορεί να εξελιχθεί μια πυρκαγιά αλλά και στο ποιες αξίες και υποδομές της κοινωνίας πρέπει να προστατευτούν ώστε να αποτραπεί μια μελλοντική καταστροφή σε αυτές. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογή διαχειριστικών μέτρων στη βλάστηση και στην καύσιμη ύλη ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος κάποιο περιστατικό να εξελιχθεί και να αποκτήσει χαρακτηριστικά πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας.

Το κύριο τμήμα της ανάλυσης διεξήχθη με την έκδοση γραμμής εντολών του MTT με την ονομασία “Randig” (Finney 2006a). Υπάρχουν αρκετές μελέτες που χρησιμοποίησαν τα λογισμικά FlamMap, MTT και ArcFuels, των οποίων τα αποτελέσματα συνδυάζονται στενά, για την ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου από πυρκαγιές. Οι Ager *et al.* (2007) μοντελοποίησαν το κίνδυνο πυρκαγιάς για το ενδιαίτημα ενός τοπικού Αμερικάνικου είδους κουκουβάγιας (*Strix occidentalis caurina*) μέσω του υπολογισμού των χωρικών πιθανοτήτων απώλειας των ενδιαιτημάτων της, έτσι ώστε να κατανεμηθούν και σχεδιαστούν σενάρια διαχείρισης της καύσιμης ύλης σε μια περιοχή έκτασης 70.250 ha στο κεντρικό Όρεγκον των ΗΠΑ. Οι προσομοιώσεις αποκάλυψαν ότι ένα σχετικά μικρό ποσοστό διαχείρισης του δασωμένου πεδίου (20%) είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της πιθανότητας απώλειας των ενδιαιτημάτων της κουκουβάγιας κατά 44% (μέσος ορός όλων των συστάδων με ενδιαιτήματα). Οι Ager *et al.* (2010) πραγματοποίησαν σύγκριση των μεθόδων διαχείρισης της καύσιμης ύλης στο πεδίο για τον περιορισμό του κινδύνου από πυρκαγιές σε περιοχές με αστική ανάπτυξη και οικονομικές δραστηριότητες, καθώς και για τη διατήρηση της δομής των παλαιών δασών. Οι πιθανότητες καύσης χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του προφίλ του κινδύνου για κάθε μια από τις 170 οικίες που βρίσκονται μέσα στο αστικοποιημένο περιβάλλον, καθώς και για την εκτίμηση (πιθανοκρατικά) της αναμενόμενης νέκρωσης των μεγάλων δέντρων. Οι Salis *et al.* (2013) χρησιμοποίησαν μοντελοποιήσεις προσομοιώσεων πυρκαγιών για την ανάλυση της χωρικής διαφοροποίησης της τρωτότητας βασικών κοινωνικών και οικονομικών χαρακτηριστικών της Σαρδηνίας. Χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα σημείων έναρξης και προσομοιώσεις πυρκαγιών για την εκτίμηση των πιθανοτήτων καύσης για κάθε περιοχή, καθώς και του μήκους φλόγας και της καμένης έκτασης. Αυτοί οι παράγοντες κινδύνου διερευνήθηκαν ώστε να κατανοηθεί το πώς μεταβάλλεται ο κίνδυνος σε υψηλής αξίας υποδομές και περιοχές του νησιού. Οι Ager *et al.* (2012) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο μοντελοποίησης προσομοιώσεων για να αναλύσουν την τρωτότητα κοινωνικών και οικολογικών αξιών σε ένα εθνικό δάσος του κεντρικού Όρεγκον των ΗΠΑ, εκτάσεως 0,6 εκατομμυρίων ha. Προσομοιώθηκαν 50.000 περιστατικά που αναπαριστούν την πρόσφατη χωρική κατανομή των πυρκαγιών της περιοχής, δημιουργώντας λεπτομερείς χάρτες πιθανοτήτων καύσης και κατανομές των εντάσεων τους στο πεδίο. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία διασπορογραμμάτων που δείχνουν τη μεταβλητότητα των πιθανοτήτων καύσης, του μεγέθους και της έντασης των πυρκαγιών για τμήματα της βλάστησης εντός επιλεγμένων συστατικών του τοπίου (ανθρώπινες αξίες, ενδιαιτήματα άγριας ζωής και οικολογικές αξίες). Οι παραπάνω έρευνες αποτέλεσαν οδηγό

για την εφαρμογή των πλέον ενδεδειγμένων πρακτικών και μεθόδων διεξαγωγής των προσομοιώσεων και της μετα-ανάλυσης των εκροών τους σε αυτό το τμήμα της έρευνας.

6.1. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ FARSITE

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας των απαραίτητων χωρικών δεδομένων για την προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο στα προηγούμενα κεφάλαια, ακολούθησε η ανάλυση ακρίβειας με προσομοιώσεις γνωστών περιστατικών πυρκαγιών των περασμένων ετών. Εξετάστηκαν τρία σενάρια προσομοιώσεων, το ένα με τα προσαρμοσμένα MKY (Πίνακας 6.1), το άλλο με τα τυπικά MKY και το τρίτο με τη χρήση των προσαρμοσμένων MKY στον αλγόριθμο προσομοίωσης MTT μέσω του λογισμικού FlamMap. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από ΑΤΜΟΣ της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των προσαρμοσμένων MKY

FUEL MODEL	CODE	1-H FUEL LOAD (TONS/ACRE)	10-H FUEL LOAD (TONS/ACRE)	100-H FUEL LOAD (TONS/ACRE)	LIVE HERBACEOUS (TONS/ACRE)	LIVE WOODY (TONS/ACRE)	FUEL DEPTH (FT)	DEAD FUEL MOISTURE OF EXTINCTION (%)	1-H SAV (I/FT)	SAV LH (I/FT)	SAV LW (I/FT)	LIVE MOISTURE	DESCRIPTION
XO01	205	1,93	0,19	0	0,3	0	0,98	14	2000	1800	1500	static	Mediterranean grasslands
AS01	206	1,41	0,41	0,12	0,36	0	1,31	14	2000	1800	1800	static	Sarcopeterium spinosum
SC01	208	3,96	2,75	1,45	0	3,11	3,67	14	750	1800	1600	static	Evergreen shrubs <1,5m
SC02	209	7,15	5,38	3,43	0	4,28	7,15	14	750	1800	1600	static	Evergreen shrubs >1,5m
FM01	210	3,53	1,27	1,47	0,03	5,08	1,97	15	1692	1800	1600	dynamic	Very high load, dry climate timber-shrub
FM02	211	3,43	1,45	0,73	0,04	1,32	0,82	25	1692	1800	750	dynamic	High load, dry climate shrub
FM03	212	3,05	1,09	0,98	0,04	0,88	0,52	35	1692	1800	1600	dynamic	Short-needle litter
FM04	213	1,12	1,00	0,49	0,06	0,79	0,49	20	1692	1800	1600	dynamic	Low load, compact conifer litter

Οι πυρκαγιές που αναλύθηκαν είναι της Κρατήγου-Χαραμίδας τον Ιούλιο του 2006, της Καλλονής-Πετσοφά και της Αγίας Σωτήρας τον Ιούλιο του 2009, της Αγίας Λεμονής τον Ιούλιο του 2011 και της Νυφίδας τον Αύγουστο του 2011 (Πίνακας 6.2). Με την ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα τρία σενάρια προσομοιώσεων για τις πέντε πυρκαγιές, εκτιμήθηκε η ακρίβεια αποτύπωσης της πραγματικής καμένης έκτασής τους. Το σενάριο προσομοιώσεων με τον MTT διενεργήθηκε με εισροές που παρατίθενται στον Πίνακα 6.3 και χρησιμοποίησε μόνο των προσαρμοσμένων MKY, με στόχο την εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου.

Πίνακας 6.2: Περιστατικά πυρκαγιών που προσομοιώθηκαν με το FARSITE και το FlamMap

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	ΕΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ
Κράτηγος	20/7/2006	0:00	20/7/2006	19:00	2006	721324	4324864
Πετσοφάς	7/7/2009	13:00	7/7/2009	21:30	2009	692336	4347387
Αγία Σωτήρα	31/7/2009	14:00	31/7/2009	21:30	2009	700076	4329408
Αγία Λεμονή	4/7/2011	15:30	4/7/2011	20:45	2011	687288	4357398
Νυφίδα	4/8/2011	14:25	5/8/2011	13:00	2011	683428	4327947

Πίνακας 6.3: Παράμετροι προσομοίωσης πυρκαγιών με τον αλγόριθμο MTT

	Υγρασία	Ταχύτητα Ανέμου (km/h στα 6.1 m)	Διεύθυνση Ανέμου (°)	Υγρασία Φυλλώματος	Χωρική Κλίμακα	Χρόνος Προσομοίωσης (min)
Κράτηγος	6,7,8,50,80	66	345	90	30	1440
Πετσοφάς	3,4,5,50,80	14,5	340	90	30	540
Αγία Σωτήρα	4,5,6,50,80	21	90	90	30	450
Αγία Λεμονή	3,4,5,50,80	19,3	320	100	30	315
Νυφίδα	4,5,6,50,80	29	40	100	30	1350

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις των πυρκαγιών με το λογισμικό FARSITE ήταν όμοιοι και για τα δύο σενάρια MKY (Πίνακας 6.4). Για κάθε πυρκαγιά παρατίθενται τρεις χάρτες προσομοίωσης, ενώ ένας συγκεντρωτικός πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα όλων των δεικτών για κάθε πυρκαγιά και σενάριο.

Πίνακας 6.4: Παράμετροι προσομοίωσης που καθορίστηκαν στο λογισμικό FARSITE

Πυρκαγιά	Τύπος Ανέμου	Σενάριο Υγρασίας (%)	Χρονικό Βήμα (min)	Ανάλυση απόστασης/ περιμέτρου	Επιλογές συμπεριφοράς πυρκαγιάς	Υγρασία Φυλλώματος	DBH
Κράτηγος	Wind Gusts	3,4,5,50,80	60	28 / 28 m	crown fire enabled, Scott and Reinhardt method, linked, embers, spotting 7%	90%	30
Πετσοφάς	Normal Winds, 10 min	3,4,5,50,80	10	28 / 28 m	crown fire enabled, Scott and Reinhardt method, linked, embers, spotting 6%	90%	25
Αγία Σωτήρα	Normal Winds, 10 min	4,5,6,50,80	10	28 / 28 m	crown fire enabled, Scott and Reinhardt method, linked, embers, no spotting	100%	30
Αγία Λεμονή	Normal Winds, 10 min	3,4,5,50,80	10	28 / 28 m	crown fire disabled, no spotting, embers, linked	n/a	n/a
Νυφίδα	Normal Winds, 10 min	4,5,6,50,80	10	28 / 28 m	crown fire disabled, no spotting, embers, linked	n/a	n/a

6.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Οι τρεις δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων με τους δύο τύπους ΜΚΥ και τον αλγόριθμο ΜΤΤ είναι ο Jacard's Coefficient (JC), ο Areal Association Coefficient (AAC) και ο Sørensen Coefficient (SC). Ο δείκτης JC (Jaccard 1912, Bonham-Carter 1998) μετράει την ομοιότητα μεταξύ των χαρτών και έχει εύρος από 0 (τελείως ανόμοιοι) έως και 1 (τελείως όμοιοι). Υπολογίζεται με την Εξίσωση 6.1:

$$JC = \frac{R1}{(R1+R2+R3)} \quad (6.1)$$

Όπου $R1$ ο αριθμός των κελιών όπου υπάρχει πλήρης συμφωνία καύσης, $R2$, ο αριθμός των κελιών όπου υπάρχει υποεκτίμηση και $R3$ τα κελιά όπου υπάρχει υπερεκτίμηση. Ο δείκτης αυτός μπορεί πολλές φορές να είναι παραπλανητικός διότι δεν περιλαμβάνει τις περιοχές που δεν κάηκαν και υπάρχει συμφωνία μεταξύ πραγματικότητας και πρόβλεψης ($R4$).

Ο δείκτης AAC (Dent 1996, Unwin 1981) περιλαμβάνει την εκτίμηση της ομοιότητας, τόσο για τις καμένες όσο και για τις άκαυτες περιοχές, με εύρος τιμών από 0 έως 1 (παρόμοιο με του δείκτη JC). Υπολογίζεται με την Εξίσωση 6.2:

$$AAC = \frac{R1+R4}{(R1+R2+R3+R4)} \quad (6.2)$$

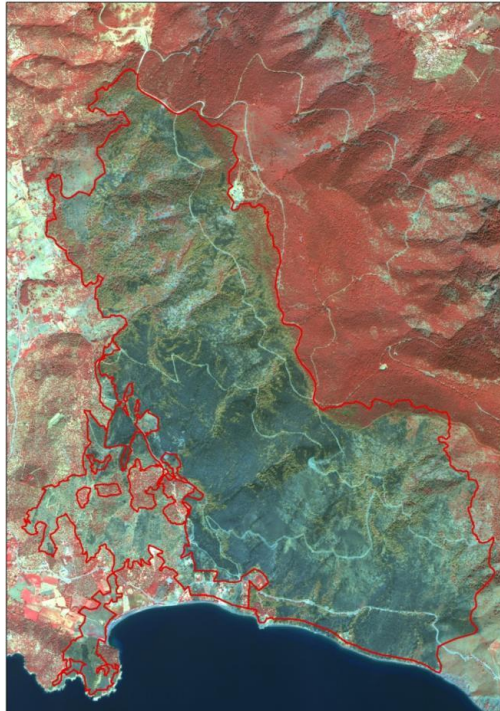
Τέλος, ο SC είναι ένας ασύμμετρος δείκτης που φανερώνει την αποκλειστική συσχέτιση μεταξύ των καμένων περιοχών (παρατηρούμενων και προσομοιωμένων) (Sørensen 1948, Greig-Smith 1983, Perry *et al.* 1999). Τιμή στο δείκτη $SC=1$ φανερώνει πλήρη συμφωνία μεταξύ προσομοιωμένης και πραγματικής τελικής περιμέτρου πυρκαγιάς. Υπολογίζεται με την Εξίσωση 6.3:

$$SC = \frac{2 \times R1}{2 \times R1 + R2 + R3} \quad (6.3)$$

6.3. ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

6.3.1. Πυρκαγιά περιοχής Κρατίγνου 19 Ιουλίου 2006

Η πυρκαγιά εκδηλώθηκε τα μεσάνυχτα της 19^{ης} Ιουλίου, πιθανώς από εμπρησμό, και μέχρι την κατάσβεση της έκαψε 6.708 στρέμματα δασικής και αγροτικής έκτασης και πέντε εξοχικές κατοικίες (Εικόνα 6.1). Για την κατάσβεση της κινητοποιήθηκαν 29 πυροσβεστικά οχήματα και 12 αεροσκάφη. Η πυρκαγιά εκδηλώθηκε αρχικά εντός δασικής περιοχής, καίγοντας όλη τη νύχτα με χαμηλές εντάσεις και ταχύτητες διάδοσης. Με το ξημέρωμα, η συμπεριφορά της πυρκαγιάς μεταβλήθηκε, και υπό την επίδραση ισχυρών Β και ΒΒΔ ανέμων κινήθηκε ταχύτατα προς τα Ν και ΝΔ, καίγοντας εκτάσεις με πυκνό δάσος κωνοφόρων με ύπαρξη υπόροφου αειφύλλων-πλατύφυλλων θάμνων. Η σφοδρότητα της πυρκαγιάς ήταν πιο έντονη στο Ν τμήμα της, όπου και οι κλίσεις ήταν έντονες (~20°). Η φωτιά εξαπλώθηκε και σε ελαιώνες και εκτάσεις καλυμμένες με χορτολίβαδα, απειλώντας σπίτια και οικίες. Η μεγίστη εξάπλωση της πυρκαγιάς και ο πλήρης περιορισμός της επετεύχθη στο Ν τμήμα της όταν έφτασε στη θάλασσα, ενώ στα ανατολικά αναχαιτίστηκε στο επίπεδο της κορυφογραμμής πάνω στο οδικό δίκτυο.



Εικόνα 6.1: Δορυφορική άποψη της καμένης περιοχής (Quickbird) αμέσως μετά το περιστατικό πυρκαγιάς

6.3.2. Πυρκαγιά Πετσοφά 7 Ιουλίου 2009

Κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου του 2009, στις 7 Ιουλίου και ώρα 13:00 στη θέση Πετσοφάς του Δήμου Καλλονής, ξέσπασε μεγάλη πυρκαγιά σε περιοχή κάλυψης από πυκνά και αραιά δάση κωνοφόρων η οποία σύντομα επεκτάθηκε σε θέσεις με χορτολίβαδα και ελαιώνες καίγοντας 650 στρέμματα (Εικόνες 6.2 και 6.3). Το σημείο έναρξης της πυρκαγιάς ήταν στο δασικό δρόμο που οδηγεί από το στρατόπεδο του Πετσοφά στην Αγία Παρασκευή. Η πυρκαγιά κινήθηκε ταχύτατα περνώντας και από τις δύο πλευρές του δρόμου και αφού οι πυροσβεστικές δυνάμεις κατόρθωσαν να την ελέγξουν από τη βόρεια πλευρά, όλη η προσπάθεια τους επικεντρώθηκε στο βασικό πυρήνα του πευκοδάσους που είχε κατεύθυνση νοτιοανατολική. Αρχικά, η προσπάθεια να ελεγχθεί η πυρκαγιά ήταν ανεπιτυχής, ενώ διαπιστώθηκε η δημιουργία δύο νέων εστιών σε ελαιώνα σε απόσταση περίπου 400 m. Μέχρι οι πυροσβεστικές δυνάμεις να κατευθυνθούν στο σημείο αυτό, άλλη μια εστία δημιουργήθηκε νοτιοανατολικά δυσκολεύοντας ακόμη περισσότερο τις συνθήκες για τις δυνάμεις πυρόσβεσης. Τελικά, με μεγάλη δυσκολία επιτεύχθηκε η οριοθέτηση του μετώπου μέχρι τις 21:30, με πλήρη έλεγχο της κατάστασης.



Εικόνα 6.2: Βορειοανατολική άποψη της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς του Πετσοφά



Εικόνα 6.3: Το νοτιοδυτικό τμήμα της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς του Πετσοφά

6.3.3. Πυρκαγιά περιοχής Αγία Σωτήρα 31 Ιουλίου 2009

Το σημείο έναρξης της πυρκαγιάς ήταν στον δασικό δρόμο νότια της Μεγάλης Λίμνης που οδηγεί από το εξωκκλήσι της Αγίας Σωτήρας του Χριστού προς τα χωριά Αμπελικό και Σταυρό. Η φωτιά ξεκίνησε στις 14:00 και επεκτάθηκε καίγοντας κυρίως σε πευκοδάσος, ενώ πολύ μικρά τμήματα στα όρια της περιμέτρου της φωτιάς ήταν αγροτικές εκτάσεις και χορτολίβαδα, με συνολικά καμένη έκταση 120 στρεμμάτων (Εικόνες 6.4 και 6.5). Η πυρκαγιά κινήθηκε ταχύτατα, παρόλο που το πλησιέστερο περιπολικό όχημα της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας Λέσβου βρισκόταν κατά την έναρξη της σε απόσταση 1,5 km από αυτή. Η πυρκαγιά πέρασε τον κεντρικό χωματόδρομο λόγω ανωφέρειας και ισχυρών βορειοανατολικών ανέμων και συνέχισε έως τον επόμενο δυτικό δασικό δρόμο, μπαίνοντας σε πυκνό δάσος κωνοφόρων.

Με την άφιξη των πυροσβεστικών δυνάμεων στην περιοχή δράσης της φωτιάς διαπιστώθηκε ότι από στη νοτιοδυτική πλευρά του μετώπου υπήρχε μία αραιώση στη βλάστηση και ότι έπρεπε να εμποδιστεί η πυρκαγιά από το να περάσει το δασικό δρόμο νότια και νοτιοανατολικά. Αν αυτό δεν συνέβαινε, τότε θα λιγόστευαν κατά πολύ οι πιθανότητες κατάσβεσης της πυρκαγιάς γιατί θα εξαπλώνονταν σε εκτάσεις με πλούσια βλάστηση και μεγάλα πεύκα με υπόροφο θαμνώνων, ενώ οι δρόμοι που διασχίζουν την περιοχή είναι στενοί και μερικώς αδιάβατοι από μεγάλα πυροσβεστικά οχήματα. Παράλληλα, είχε ήδη δημιουργηθεί ένα άλλο μέτωπο το οποίο προπορευόταν της αρχικής πυρκαγιάς και το οποίο κατευθυνόταν γρηγορότερα προς το σημείο που είχε τεθεί ως γραμμή ανάσχεσης της εξάπλωσης της. Η προσπάθεια για την καταστολή της πυρκαγιάς και για τον μερικό έλεγχο της περιμέτρου της διήρκεσε μέχρι τις 21:00 το βράδυ της ίδιας ημέρας και, παρά τις αντιξοότητες, η πυρκαγιά δεν υπερκέρασε τελικά τον δασικό δρόμο.



Εικόνα 6.4: Νοτιοανατολική άποψη της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς στην Αγία Σωτήρα.



Εικόνα 6.5: Βορειοανατολική άποψη της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς στην Αγία Σωτήρα.

6.3.4. Πυρκαγιά περιοχής Αγία Λεμονή Μήθυμνας 4 Ιουλίου 2011

Η πυρκαγιά στην περιοχή της Αγίας Λεμονής Μήθυμνας ξεκίνησε στις 15:30 στις 4 Ιουλίου 2011 και χαρακτηρίστηκε ως ιδιαίτερα σοβαρό περιστατικό μιας και είχαν προηγηθεί προσπάθειες από άγνωστους εμπρηστές να καεί ξανά η περιοχή εκείνη τη χρονική περίοδο. Οι άνεμοι έπνεαν ιδιαίτερα δυνατοί βορειοανατολικής διεύθυνσεως και εντάσεως 4 με 5 Beaufort, ενώ είχε προκληθεί και πυκνός καπνός. Κύριος στόχος των πυροσβεστικών δυνάμεων ήταν να περιοριστεί η πυρκαγιά και να μην απειληθεί μια μεγάλη ξενοδοχειακή μονάδα της περιοχής σε περίπτωση αλλαγής της διεύθυνσης των ανέμων. Υπήρξε σημαντική κινητοποίηση πυροσβεστικών δυνάμεων (13 πυρ/κα οχήματα, τρία δημοτικά οχήματα, 37 πυροσβέστες, εθελοντές και προσωπικό των ένοπλων δυνάμεων, δύο αεροσκάφη τύπου PZL και δύο CL-215). Από την πρώτη στιγμή έγινε αντιληπτό στις πυροσβεστικές δυνάμεις ότι παρόλο που οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν ακραίες από πλευράς ανέμων, η ιδιομορφία του εδάφους και το ανεπαρκές αγροτικό οδικό δίκτυο, σε συνδυασμό με τη σύσταση της βλάστησης (θαμνώνες με πουρνάρια) και τη χαμηλή σχετική υγρασία, θα δυσχέραιναν το

έργο της καταστολής της. Η πυρκαγιά τέθηκε υπό μερικό έλεγχο στις 20:35 της ίδιας ημέρας, καίγοντας 620 στρέμματα χορτολιβαδικής έκτασης με θαμνώνες (Εικόνα 6.6).



Εικόνα 6.6: Βορειοδυτική άποψη της καμένης έκτασης από την πυρκαγιά της Αγίας Λεμονής

6.3.5. Πυρκαγιά περιοχής Νυφίδας 4 Αυγούστου 2011

Στις 4 Αυγούστου 2011 και ώρα 14:25 ξέσπασε μεγάλη πυρκαγιά η οποία διήρκησε αρκετές ημέρες στην περιοχή της Νυφίδας. Το σημείο έναρξης της πυρκαγιάς ήταν σε αγροτεμάχιο πλησίον οικίας στο οποίο ο ιδιοκτήτης εκτελούσε εργασίες υπαίθρου. Η πυρκαγιά λόγω των δυνατών ανέμων ξέφυγε χωρίς να καταφέρει ο ιδιοκτήτης να την σβήσει με ίδια μέσα και γρήγορα έλαβε ανεξέλεγκτες διαστάσεις καίγοντας συνολικά 8.500 στρέμματα (Εικόνα 6.7). Την ώρα εκδήλωσης της πυρκαγιάς έπνεαν στην περιοχή βόρειοι άνεμοι εντάσεως 4 με 5 Beaufort, οι οποίοι στη συνέχεια μετατράπηκαν σε βορειοανατολικούς ίδιας έντασης. Η κινητοποίηση ήταν άμεση (13 πυρ/κα οχήματα, 7 δημοτικά οχήματα, δύο πεζοπόρα τμήματα, τριάντα εθελοντές, δύο αεροσκάφη τύπου PZL και τέσσερα CL-415). Η πυρκαγιά έλαβε γρήγορα μεγάλες διαστάσεις καίγοντας κυρίως σε χορτολιβαδικές εκτάσεις. Μερικός έλεγχος επετεύχθη στις 5 Αυγούστου στις 08:30, αν και η περίμετρος της είχε οριοθετηθεί από το βράδυ της προηγούμενης ημέρας.



Εικόνα 6.7: Βόρεια άποψη της καμένης έκτασης από την πυρκαγιά της Νυφίδας

6.4. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΑΦΛΕΞΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ MTT

Οι αναγκαίες εισροές του Randig είναι το αρχείο LCP, το αρχείο των προσαρμοσμένων MKY (αν χρησιμοποιούνται), το αρχείο καιρικών σεναρίων (Πίνακας 6.5) που περιλαμβάνει πληροφορία για το αντίστοιχο αρχείο υγρασιών καύσιμης ύλης (FMS), την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, τη διάρκεια της πυρκαγιάς, την πιθανότητα κηλιδώσης και την πιθανότητα επιλογής κάθε σεναρίου. Εναλλακτικά, μπορεί να επιλεγεί να εισαχθεί ένα χωρικό αρχείο πιθανοτήτων ανάφλεξης της περιοχή μελέτης (raster), αντί για χωροθέτηση τυχαίων σημείων αναφλέξεων στο πεδίο. Περαιτέρω, οι χρήστες πρέπει να παρέχουν έναν αριθμό καιρικών σεναρίων (ένα ή παραπάνω) που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε πυρκαγιά, τη χωρική ανάλυση, τον αριθμό των πυρκαγιών που θα προσομοιωθούν, τον αριθμό των υπολογιστικών πυρήνων ανά πυρκαγιά, το όνομα αποθήκευσης των παραγομένων αρχείων, τη μέθοδο υπολογισμού πυρκαγιών κόμης καθώς και αν θα χρησιμοποιηθεί το WindNinja (Forthofer and Butler 2007, Forthofer 2007, Forthofer *et al.* 2009) για τον υπολογισμό της διεύθυνσης και εντάσεων του ανέμου στο πεδίο, όλα ως εγγραφές (arguments) στο αρχείο εκτέλεσης του Randig.

Πίνακας 6.5: Αρχείο καιρικών σεναρίων για τις προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο MTT

	km/h-6.1 m	μίρες	min		
Υγρασία Κ.Υ.	Ταχύτητα Ανέμου	Διεύθυνση	Διάρκεια	Πιθανότητα Κηλιδώσεων	Πιθανότητα
5 - 6 - 7	8	203	300	0,1	0,33320517
5 - 6 - 7	8	135	300	0,1	0,21299824
5 - 6 - 7	8	113	300	0,1	0,19559987
5 - 6 - 7	16	203	300	0,1	0,12229159
5 - 6 - 7	16	113	300	0,1	0,07811110
5 - 6 - 7	16	90	300	0,1	0,04276671
4 - 5 - 6	29	225	300	0,1	0,01029650
4 - 5 - 6	29	203	300	0,1	0,00389597
4 - 5 - 6	29	90	300	0,1	0,00083485

Το Randig μπορεί να εκμεταλλευτεί επεξεργαστές πολλαπλών πυρήνων επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση του συνολικού χρόνου προσομοίωσης όταν περισσότεροι επεξεργαστές συμμετέχουν σε αυτή. Οι προσομοιώσεις διεξήχθησαν με ένα νήμα ανά πυρκαγιά σε ένα μηχάνημα 32 πυρήνων (Τέσσερις Intel Xeon CPU E5-4640 με 32 πυρήνες και 64 νήματα, 128 GB RAM, μοντέλο PowerEdge R820 της DELL Inc.). Προσομοιώθηκαν 100.000 περιστατικά πυρκαγιών για τη νήσο Λέσβο δύο φορές, την μια με τυχαία κατανεμημένες αναφλέξεις εντός του νησιού και την άλλη κατανεμημένες σύμφωνα με το χωρικό αρχείο πιθανοτήτων εμφάνισης πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν για την κατανόηση του κινδύνου πυρκαγιάς που προκύπτει από τα διαφορετικά πρότυπα δημιουργίας αναφλέξεων. Το επόμενο στάδιο της ανάλυσης περιελάμβανε τη χρήση του ArcFuels για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς και της τρωτότητας συγκεκριμένων αξιών σε κίνδυνο της περιοχής μελέτης.

Με την μετεπεξεργασία των αποτελεσμάτων του Randig, προέκυψε και ένα επιπλέον χωρικό αρχείο το οποίο ορίζεται ως η αναλογία πηγής-απορρόφησης (Source-Sink Ratio-SSR), υπολογισμένο ως ο λόγος του μεγέθους πυρκαγιάς (Fire Size-*FS*) και των πιθανοτήτων καύσης (Εξίσωση 6.4):

$$SSR = \log\left(\frac{FS}{BP}\right) \quad (6.4)$$

Η αναλογία SSR μετράει τη επιρροή ενός κελιού στην κοντινή του περιοχή σε όρους μεγέθους πυρκαγιάς που μπορεί να δημιουργήσει (έναρξη πυρκαγιάς από αυτό το κελί και εξάπλωση στα γειτονικά), σε σχέση με τη συχνότητα με την οποία καίγεται από πυρκαγιές που προκύπτουν σε άλλα κελιά (εκφρασμένα με το αρχείο πιθανοτήτων καύσης). Σε σχετικούς όρους, τα κελιά που έχουν υψηλή πιθανότητα καύσης αλλά δεν προκαλούν μεγάλες πυρκαγιές χαρακτηρίζονται ως περιοχές απορρόφησης πυρκαγιών (sinks), ενώ τα κελιά που προκαλούν μεγάλες πυρκαγιές και έχουν μικρή πιθανότητα καύσης από πυρκαγιές άλλων κελιών, χαρακτηρίζονται ως πηγές πυρκαγιών (sources) (Ager 2012). Επιπλέον, ένα από τα αποτελέσματα του Randig που περιέχει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος των προσομοιωμένων πυρκαγιών συνέβαλε στη δημιουργία ενός νέου χωρικού αρχείου που απεικονίζει το μέγεθος των πυρκαγιών που προκάλεσε κάθε κελί του πεδίου, δημιουργημένο με τη μέθοδο Inverse Distance Weighting (IDW) (ομαλοποιημένο με 12 γειτονικά σημεία).

6.4.1. Πλέγμα πιθανοτήτων έναρξης πυρκαγιών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το Randig χρησιμοποιεί είτε τυχαία χωροθετημένες αναφλέξεις ή πιθανοκρατικά τοποθετημένες μέσω της χρήσης ενός χωρικού πλέγματος πυκνότητας έναρξης πυρκαγιών. Το χωρικό πλέγμα προκύπτει από τις ιστορικά καταγεγραμμένες αναφλέξεις της περιοχής και δημιουργείται είτε με τη μέθοδο Kernel Density Smoothing (KDS) ή την IDW. Υπάρχει υποκειμενικότητα σχετικά στο πόσο ομαλή πρέπει να οριστεί να είναι η μέθοδος δημιουργίας του. Συνήθως είναι σχετικά ομαλό σε ευρείες περιοχές και όχι πολύ υψηλής λεπτομέρειας. Η μέθοδος KDS είναι πολύ χρήσιμη στην αξιοποίηση των πληροφοριών ιστορικών πυρκαγιών και μπορεί να δημιουργήσει με αυτές μια ποικιλία από επιφάνειες πυκνότητας.

Το χωρικό πλέγμα πυκνότητας έναρξης πυρκαγιών δημιουργήθηκε από το ιστορικό πυρκαγιών της περιοχής (1970-2012), λαμβάνοντας υπόψη το σημείο έναρξής τους και την έκταση που έκαψαν (Koutsias *et al.* 2004). Συγκεκριμένα, τα μεγέθη των πυρκαγιών κατηγοριοποιήθηκαν σε μια κλίμακα από 1 έως 11, όπου το 1 αποδόθηκε σε μεγέθη πυρκαγιών μικρότερα από 1 ha, το 2 από 1 έως <10 ha, το 3 από 10 έως <100 ha, το 5 από 100 έως <500 ha, το 7 από 500 έως <1.000 ha, το 9 από 1.000 έως <2.000 ha και το 11 για πυρκαγιές μεγαλύτερες των 2.000 ha. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιήθηκαν ως βάρη στη μέθοδο KDS. Αποδόθηκε μια ακτίνα αναζήτησης 4 km, τιμή που πρόεκυψε ώστε να διασφαλιστεί ότι στο σύνολο του νησιού αποδίδεται κάποια τιμή πυκνότητας, αλλά και για την αποφυγή υπερ-ομαλοποίησης (over-smoothing).

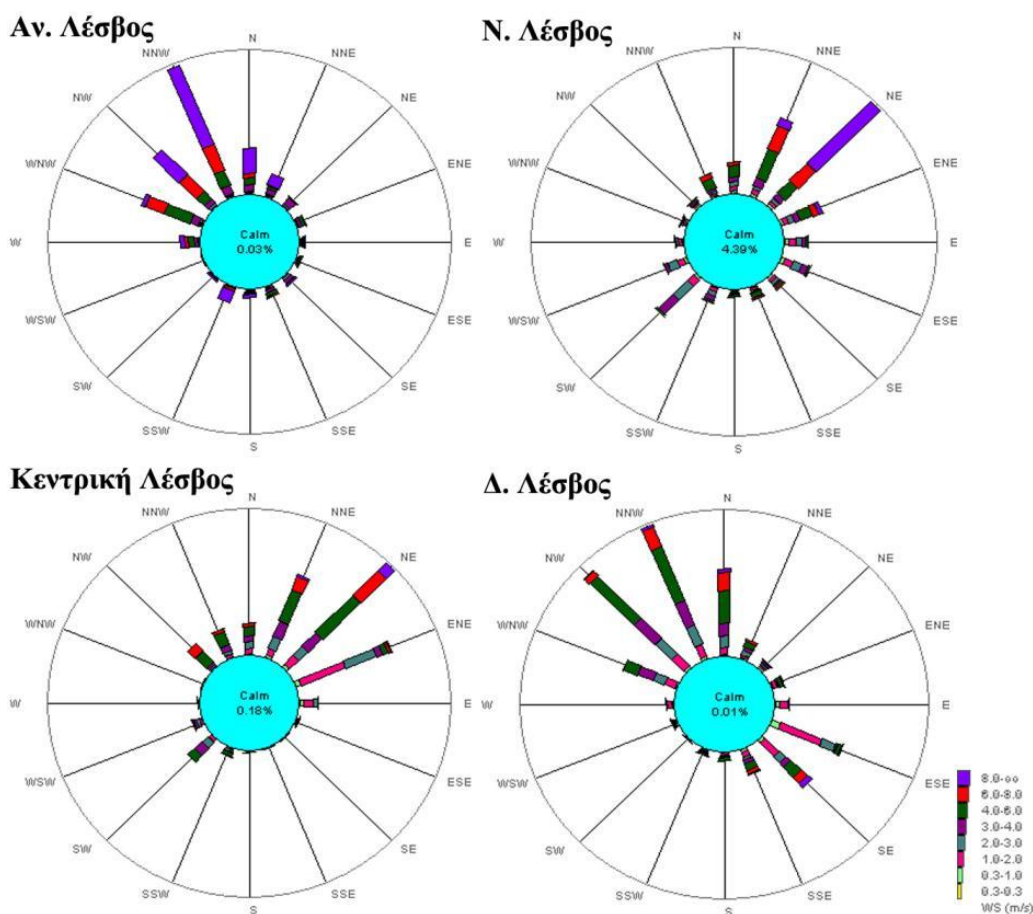
6.4.2. Δεδομένα βλάστησης και καύσιμης ύλης

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφηκε ο τρόπος δημιουργίας των χωρικών δεδομένων κόμης (Κάλυψη Κόμης, CBH, CBD και Ύψος Συστάδων). Τα MKY που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις πολλαπλών αναφλέξεων με τον αλγόριθμο MTT αποτελούνται από έναν συνδυασμό προσαρμοσμένων και τυπικών MKY, σύμφωνα και με όσα πρόεκυψαν από την ανάλυση ακρίβειάς τους. Τέσσερα τυπικά MKY χρησιμοποιήθηκαν (Scott and Burgan 2005), τα οποία είναι το GR1 για αγροτικές περιοχές, το GS1 για περιοχές κάλυψης με δρυ, το GS2 για ελαιώνες και το TL2 για δάση πλατύφυλλων. Οκτώ προσαρμοσμένα MKY χρησιμοποιήθηκαν, τέσσερα από την εργασία των Dimitrakopoulos and Panon (2001) και τα τέσσερα που πρόεκυψαν από την ανάλυση του Κεφαλαίου 5 (Πίνακας 6.7). Τα MKY 205-

209 (Dimitrakopoulos and Panov 2001) περιγράφουν καταστάσεις της ΚΥ σε Μεσογειακές χορτολιβαδικές εκτάσεις (205), φρύγανα (*Sarcopoterium spinosum*) (206), θαμνώνες αειφύλων-σκληρόφυλλων (maquis) με ύψος έως 1,5 m (208) και από 1,5 έως 3 m (209), ενώ τα ΜΚΥ 210-213 αναφέρονται σε Μεσογειακά δάση κωνοφόρων.

6.4.3. Μετεωρολογικές εισροές

Τα μετεωρολογικά σενάρια δημιουργήθηκαν με τη χρήση δεδομένων από τέσσερις ΑΤΜΟΣ της νήσου Λέσβου, εγκατεστημένους σε ένα δίκτυο που λειτουργεί από το 2003 (Palaiologou *et al.* 2011). Σε αντίθεση με το FARSITE, ο αλγόριθμος MTT θεωρεί σταθερές τις μετεωρολογικές τιμές που χρησιμοποιεί το μοντέλο για τις ξεχωριστές περιόδους καύσης της πυρκαγιάς. Στο FARSITE, για τη συνεχή διάδοση μιας πυρκαγιάς αξιοποιούνται διαφορετικά δεδομένα για τις ώρες και ημέρες της προσομοίωσης. Για να δημιουργηθούν τα δεδομένα του MTT, υπολογίστηκε για την περίοδο υψηλού κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών κάθε έτους (Μάιος έως Σεπτέμβριος) η ταχύτητα του ανέμου στο 98th εκατοστημόριο. Για την ίδια περίοδο, δημιουργήθηκαν ροδογράμματα αποτύπωσης των κυρίαρχων διευθύνσεων και ταχυτήτων του ανέμου (Εικόνα 6.8). Υπάρχουν δύο τάσεις στη διεύθυνση του ανέμου, μια από τα ΒΑ και ΒΒΑ και μια από τα ΒΔ και ΒΒΔ, ενώ συχνοί άνεμοι πνέουν και από τα βόρεια. Στηριζόμενοι σε αυτά τα δεδομένα, δημιουργήθηκαν πέντε σενάρια, κάθε ένα για μια περίοδο πυρκαγιάς πέντε ωρών που είναι η τυπική μέση διάρκεια τους στο νησί, με 0,1 πιθανότητα κηλίδωσης (spotting) (Πίνακας 6.6).



Εικόνα 6.8: Ροδογράμματα για τους τέσσερις ΑΤΜΟΣ της Λέσβου

Πίνακας 6.6: Παράμετροι και μετεωρολογικά σενάρια για τις προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο MTT

Αριθμός Σεναρίου	Ταχύτητα Ανέμου	Διεύθυνση Ανέμου	Διάρκεια Πυρκαγιάς	Πιθανότητα Κηλιδώσεων	Πιθανότητα Σεναρίου
1	27	330	300	0,1	0,20
2	31	45	300	0,1	0,25
3	16	40	300	0,1	0,20
4	14	315	300	0,1	0,15
5	24	10	300	0,1	0,20

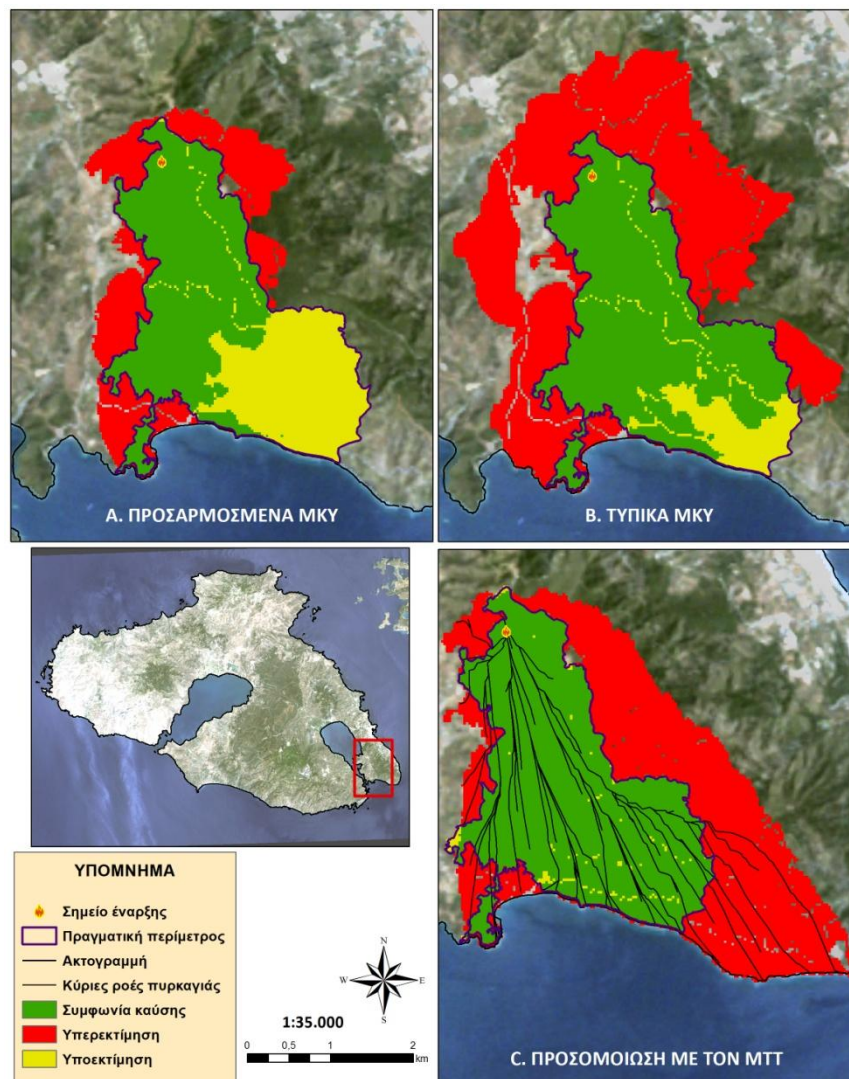
Οι τιμές της υγρασίας ΚΥ αποκτήθηκαν με τον υπολογισμό των μέσων όρων κάθε μήνα της περιόδου Μάιος έως Σεπτέμβριος της δεκαετούς περιόδου λειτουργίας των τεσσάρων ΑΤΜΟΣ (αισθητήρας CS506, Campbell Scientific). Η μεγάλη πλειοψηφία των σοβαρών περιστατικών πυρκαγιάς εμφανίζονται από τον Ιούλιο έως και τον Αύγουστο, ενώ υπάρχουν τρεις τάσεις για τις τιμές υγρασίας ΚΥ. Τα σημεία μέσου υψόμετρου στο νησί έχουν χαμηλή υγρασία νεκρής ΚΥ, 2/3 ξεραμένα χόρτα και χαμηλές τιμές υγρασίας ζωντανής ΚΥ (5%, 6%, 7%, 60%, 90%), τα χαμηλότερα υψόμετρα είναι ξηρά με πολύ χαμηλή υγρασία νεκρής ΚΥ, 2/3 ξεραμένα χόρτα και χαμηλές τιμές υγρασίας ζωντανής ΚΥ (4%, 5%, 6%, 60%, 90%) και τα πολύ ξηρά δυτικά τμήματα με εξαιρετικά χαμηλές τιμές νεκρής υγρασίας ΚΥ και πλήρως αποξηραμένα χόρτα, ενώ και η υγρασία της ζωντανής ΚΥ είναι εξίσου χαμηλή (3%, 4%, 5%, 30%, 60%). Σύμφωνα με αυτές τις τάσεις, δημιουργήθηκε ένα αρχείο τιμών υγρασίας ΚΥ προσαρμοσμένο σε κάθε ΜΚΥ, λαμβάνοντας υπόψη την κάλυψη κόμης και πυκνότητα δέντρων, το υψόμετρο, τη βλάστηση του υπόροφου και την πραγματική ταχύτητα εξάπλωσης των πυρκαγιών (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7: Τύποι βλάστησης, ΜΚΥ και υγρασίες καύσιμης ύλης

ΜΚΥ	Τύπος Βλάστησης	1-h Υγρασία ΚΥ	10-h Υγρασία ΚΥ	100-h Υγρασία ΚΥ	Ζωντανή Ποώδης ΚΥ	Ζωντανή Ξυλώδης ΚΥ	Σκίαση
101	Αγροτικές περιοχές	3	4	5	30	60	Όχι
121	Δρύες	3	4	5	60	90	Ναι
122	Ελαιώνες	4	5	6	60	90	Ναι
182	Πλατύφυλλα δέντρα	6	7	8	60	90	Ναι
205	Μεσογειακά χορτολίβαδα	6	7	8	90	120	Όχι
206	Φρύγανα	6	7	8	90	120	Όχι
208	Θαμνώνες<1,5 m	5	6	7	60	90	Όχι
209	Θαμνώνες>1,5 m	5	6	7	60	90	Όχι
210	Κωνοφόρα με θαμνώνες>1,5 m	5	6	7	60	90	Ναι
211	Κωνοφόρα με θαμνώνες<1,5 m	5	6	7	60	90	Ναι
212	Κωνοφόρα με χαμηλά φρύγανα	4	5	6	30	60	Ναι
213	Κωνοφόρα με καθαρό υπόροφο	4	5	6	30	60	Ναι

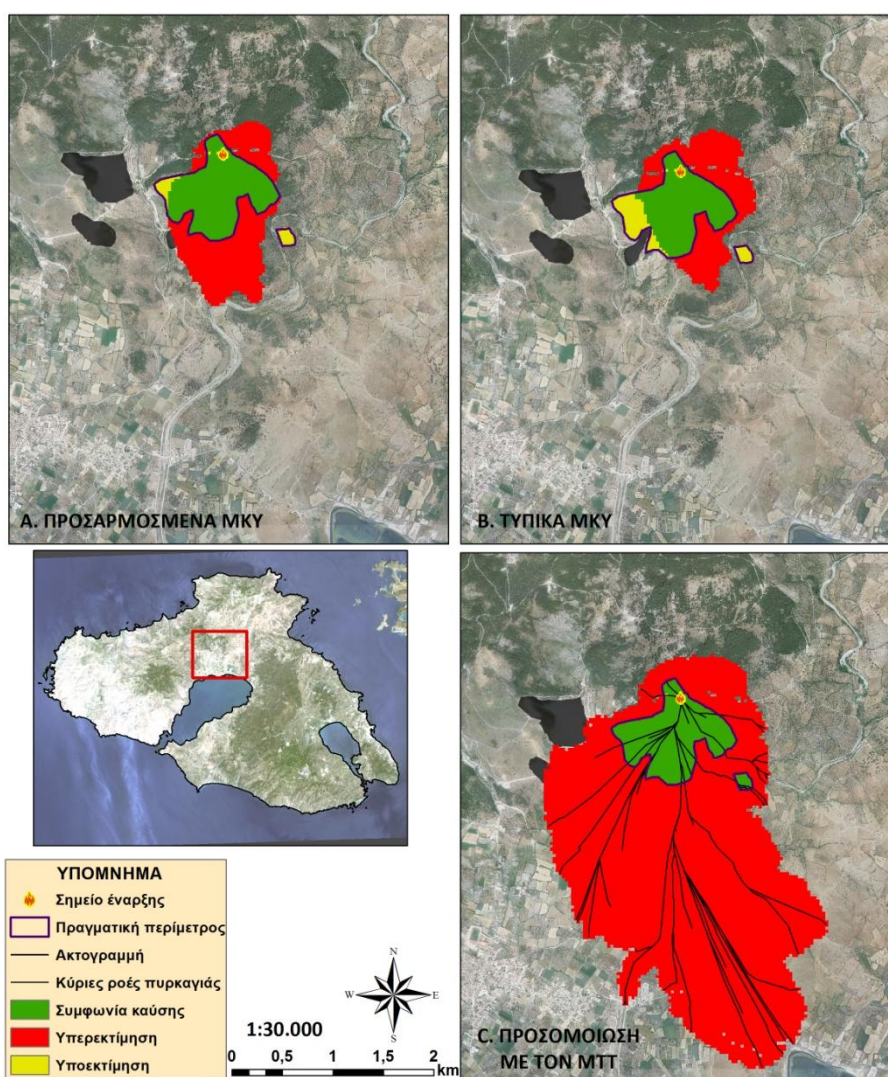
6.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς της Κρατήγου του 2006 (Εικόνα 6.9) φανέρωσαν ότι η προσομοίωση με προσαρμοσμένα ΜΚΥ, παρόλο που έχουν μικρή υποεκτίμηση προς τα βόρεια και τα ΝΔ, εντούτοις απέτυχαν να εκτιμήσουν ορθά την καμένη έκταση στα ΝΑ, περιοχή όπου καλύπτονταν από αραιά νεαρά δάση κωνοφόρων με υπόροφο φρυγάνων και θάμνων. Στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ FM01, FM02 και SC01, ενώ σε μικρότερα τμήματα καθορίστηκαν τα AS01 και FM03. Τα τυπικά ΜΚΥ πέτυχαν να εκτιμήσουν το μεγαλύτερο τμήμα της τελικής καμένης έκτασης, με μικρές μόνο υποεκτιμήσεις προς τα ΝΑ. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα ΜΚΥ TU5, SH2, GS1, ενώ σε μικρότερες εκτάσεις καθορίστηκαν τα TL3, SH5 και GR2. Εντούτοις, υπάρχει μεγάλη υπερεκτίμηση σε όλο το βόρειο τμήμα, με ακόμα μεγαλύτερη προς τα ΒΑ, ενώ σημαντική υπερεκτίμηση καταγράφηκε σε όλο το δυτικό τμήμα. Η προσομοίωση με τον αλγόριθμο ΜΤΤ πέτυχε στην ορθή εκτίμηση ολόκληρης της πραγματικά καμένης έκτασης, με ελάχιστη υπερεκτίμηση στα βόρεια και δυτικά και μηδενική υποεκτίμηση. Όμως, σημαντική υπερεκτίμηση καταγράφηκε σε όλο το ανατολικό και ΝΑ τμήμα της πραγματικά καμένης περιοχής.



Εικόνα 6.9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Κρατήγου

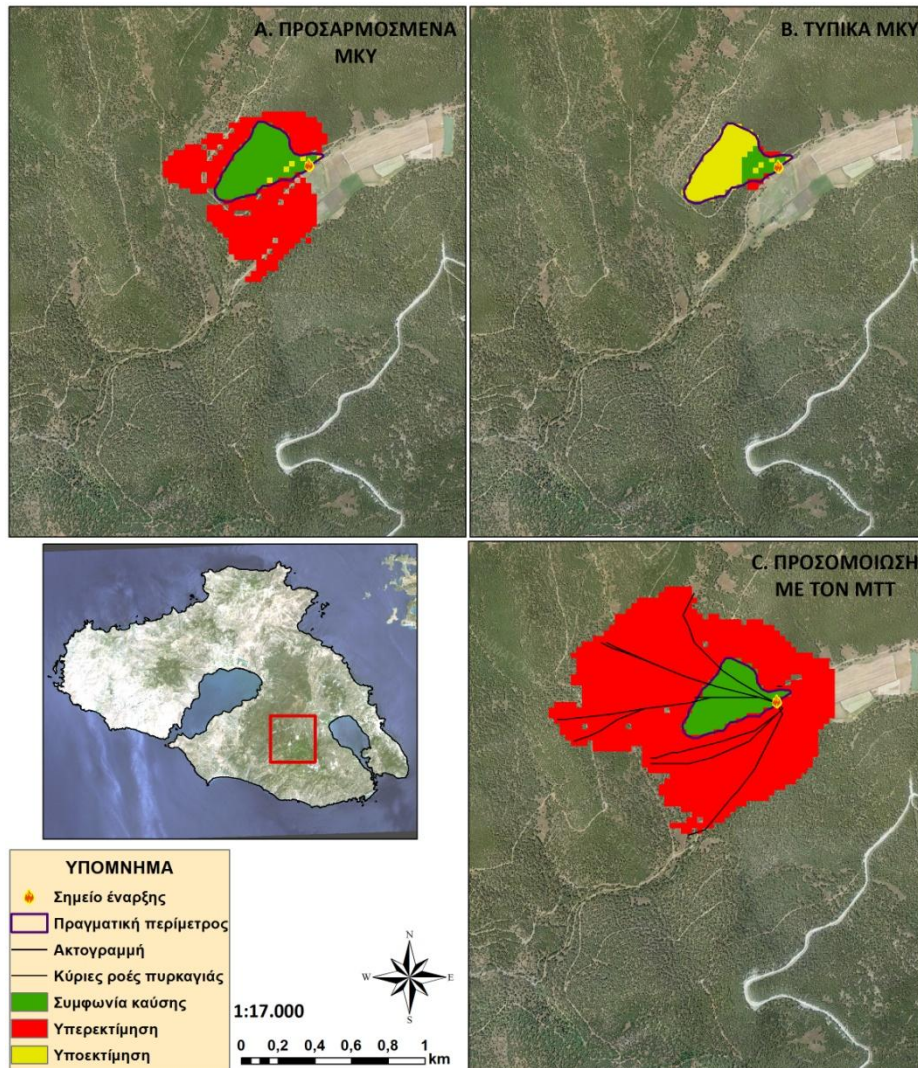
Τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς του Πετσοφά του 2009 (Εικόνα 6.10) έδειξαν ότι οι προσομοιώσεις με τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ εκτίμησαν σωστά το σύνολο σχεδόν της συνολικά καμένης έκτασης, με εξαίρεση μια μικρή περιοχή στα δυτικά και έναν θύλακα από κηλίδωση στα ΝΑ όπου καταγράφηκε υποεκτίμηση. Στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ FM02 και FM03. Υπερεκτίμηση καταγράφηκε τόσο στα ΒΑ όσο και στα νότια σε μεγάλη έκταση. Τα τυπικά ΜΚΥ υποεκτίμησαν πολύ μεγαλύτερη έκταση στα δυτικά, ενώ απέτυχαν και αυτά να εκτιμήσουν σωστά την κηλίδωση στα ΝΑ. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα ΜΚΥ TU5, GS1 και GR2. Η υπερεκτίμηση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη προς τα ΒΑ σε σχέση με τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ, ενώ σημαντικά μικρότερη είναι προς τα ΝΔ. Η προσομοίωση με τον αλγόριθμο ΜΤΤ, ενώ κατόρθωσε να εκτιμήσει ορθά το σύνολο της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς, εντούτοις σημείωσε πολύ σημαντική υπερεκτίμηση προς τα νότια και ΝΔ σε μεγάλη έκταση.



Εικόνα 6.10: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά του Πετσοφά

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της πυρκαγιάς της Αγίας Σωτήρας του 2009 έδειξαν ότι τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ κατάφεραν και εκτίμησαν σωστά το σύνολο της καμένης έκτασης της πυρκαγιάς, με μηδενική υποεκτίμηση έναντι της πραγματικής τελικής περιμέτρου (Εικόνα 6.11). Στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ FM02 και FM03. Έντονη υπερεκτίμηση καταγράφηκε στα νότια και ανατολικά, ενώ

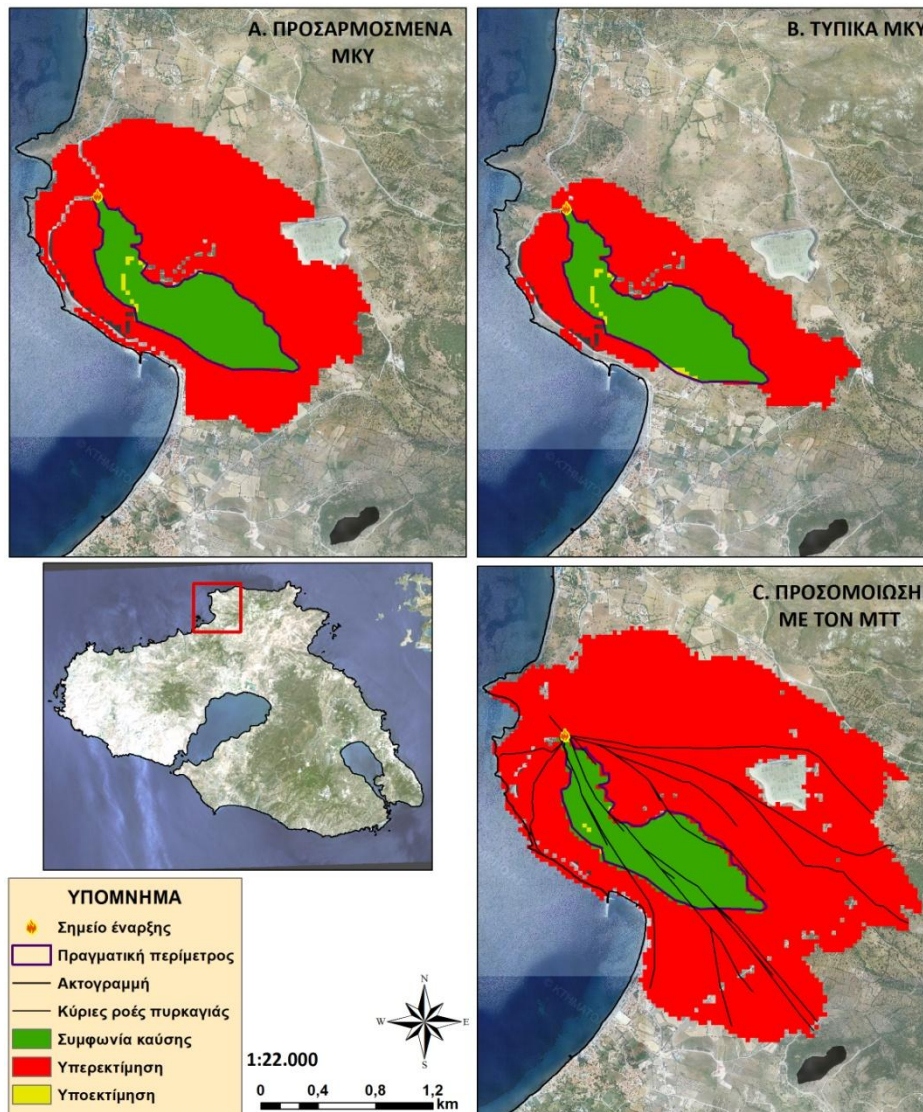
μικρή στα ΒΑ. Τα αποτελέσματα των τυπικών ΜΚΥ εκτίμησαν σωστά ένα μικρό τμήμα της πραγματικής καμένης έκτασης, με πολύ μεγάλη υποεκτίμηση στα ανατολικά, ενώ ελάχιστα τμήματα είχαν υπερεκτίμηση. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα ΜΚΥ TL8, TL3 και GR2. Οι προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο ΜΤΤ έδειξαν ότι υπάρχει συμφωνία για το σύνολο της πραγματικά καμένης έκτασης, με μηδενική υποεκτίμηση. Η υπερεκτίμηση ήταν έντονη και καταγράφηκε προς όλες τις κατευθύνσεις, σε εκτάσεις τετραπλάσιες επί της πραγματικά καμένης περιμέτρου.



Εικόνα 6.11: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Αγίας Σωτήρας

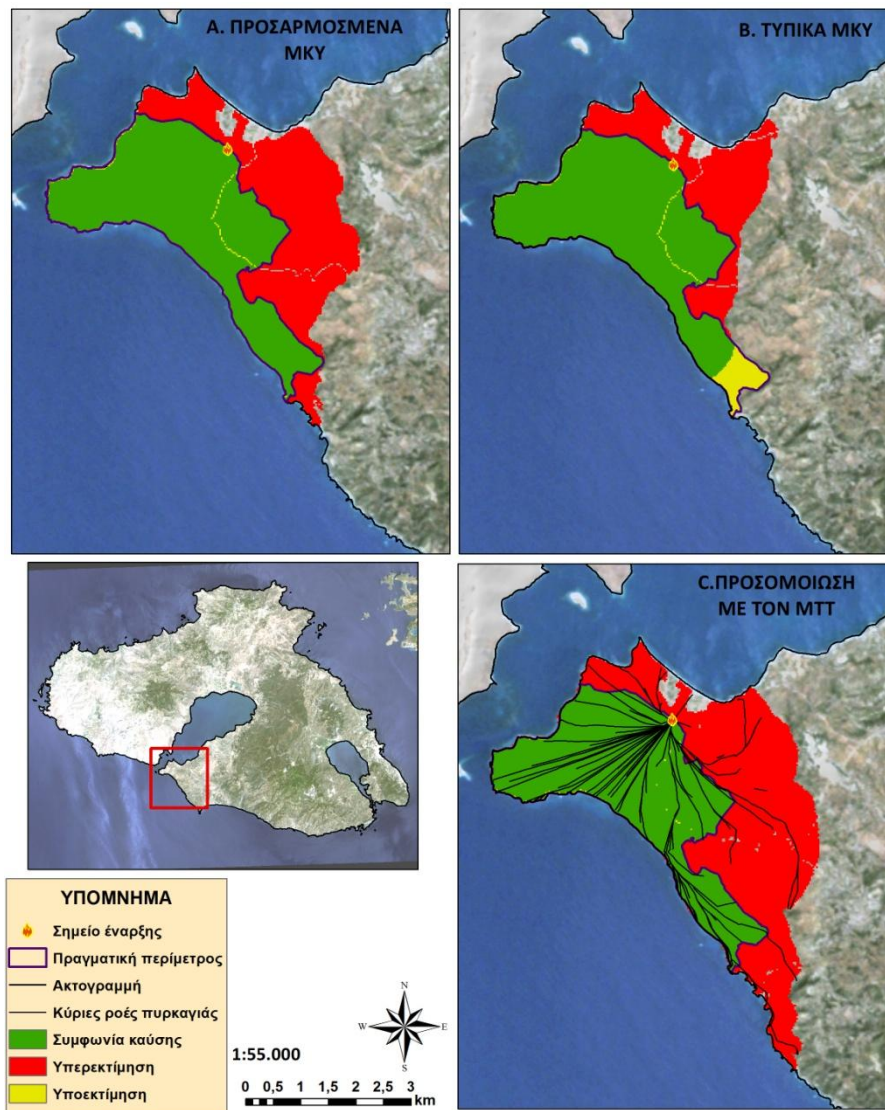
Οι προσομοιώσεις της πυρκαγιάς της Αγίας Λεμονής του 2011 έδειξαν ότι τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ πέτυχαν να εκτιμήσουν σωστά το σύνολο της πραγματικά καμένης έκτασης, δίχως υποεκτίμηση (Εικόνα 6.12). Στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ XO01 και AS01, ενώ σε μικρές εκτάσεις καθορίστηκε το FM02. Έντονη υπερεκτίμηση εκτιμήθηκε προς όλες τις κατευθύνσεις, κυρίως προς τα βόρεια και ΒΑ, ενώ η προσομοίωση στο ΝΔ τμήμα κατέληξε στη θάλασσα όπου και σταμάτησε. Τα τυπικά ΜΚΥ πέτυχαν και αυτά να εκτιμήσουν σωστά το σύνολο της πραγματικής καμένης έκτασης, με ελάχιστα μικρά τμήματα υποεκτίμησης. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα ΜΚΥ GS2 και SH7, ενώ στην υπόλοιπη έκταση χρησιμοποιήθηκαν τα GR2, SH2 και TU5. Η υπερεκτίμηση ήταν πολύ μικρότερη συγκριτικά με τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ και κατανέμεται κυρίως στα ΒΑ και ανατολικά της πραγματικής καμένης έκτασης. Η

προσομοίωση με τον αλγόριθμο MTT, κατάφερε μεν να εκτιμήσει το σύνολο της καμένης έκτασης της περιοχής, με εκτεταμένες υπερεκτιμήσεις προς κάθε κατεύθυνση και σε έκταση έως και τρεις φορές μεγαλύτερη από την πραγματική.



Εικόνα 6.12: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Αγίας Λεμονής

Τέλος, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της πυρκαγιάς της Νυφίδας του 2011 έδειξαν ότι τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ εκτίμησαν σωστά το σύνολο της πραγματικά καμένης έκτασης, δίχως υποεκτίμηση (Εικόνα 6.13). Στο 80% της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ ΧΟ01 και ΑS01, ενώ σε μικρή έκταση χρησιμοποιήθηκε και το FM02. Μικρή υπερεκτίμηση εκτιμήθηκε προς τα ΒΑ, ενώ η μεγαλύτερη καταγράφηκε στα ανατολικά. Τα τυπικά ΜΚΥ εκτίμησαν σωστά το 90% σχεδόν της πραγματικά καμένης έκτασης, με ένα μικρό τμήμα υποεκτίμησης στα ΝΑ. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα ΜΚΥ GS1 και GR2, με μικρές εκτάσεις να καλύπτονται από τα SH2 και TU5. Η υπερεκτίμηση στα ΒΑ ήταν όμοια με αυτή των προσαρμοσμένων ΜΚΥ, αλλά στα ανατολικά ήταν συγκριτικά υποδιπλάσια. Η προσομοίωση με τον αλγόριθμο MTT κατάφερε και εκτίμησε σωστά όλη την πραγματικά καμένη έκταση δίχως κανένα σημείο υποεκτίμησης. Η υπερεκτίμηση προς τα ΒΑ και ανατολικά ήταν όμοια με αυτή των προσαρμοσμένων ΜΚΥ, αρκετά μεγαλύτερη όμως στα ΝΑ.



Εικόνα 6.13: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για την πυρκαγιά της Νυφίδας

Στον Πίνακα 6.8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των ελέγχων ακρίβειας των πέντε πυρκαγιών. Ελέγχθηκαν οι περιπτώσεις των προσομοιώσεων με τυπικά, και προσαρμοσμένα ΜΚΥ, καθώς και τα αποτελέσματα του αλγορίθμου ΜΤΤ με τους δείκτες ακρίβειας SC, JC και AAC. Για την πυρκαγιά της Κρατήγους, τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ είχαν υψηλότερες βαθμολογίες συγκριτικά με τα τυπικά (εγγύτερα στην τιμή 1), ενώ οι προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο ΜΤΤ τα πήγαν καλύτερα από τα προσαρμοσμένα για τους δείκτες SC και JC. Για την πυρκαγιά του Πετσοφά, τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ πέτυχαν καλύτερα αποτελέσματα στους δείκτες SC και JC, ενώ τα τυπικά στο δείκτη AAC. Οι προσομοιώσεις του ΜΤΤ είχαν πολύ μικρή συσχέτιση με την πραγματικότητα, πετυχαίνοντας χαμηλές τιμές (εγγύτερα στο 0). Η ανάλυση ακρίβειας για την πυρκαγιά της Αγίας Σωτήρας έδειξε ότι τα προσαρμοσμένα ΜΚΥ πέτυχαν καλύτερη ακρίβεια στους δείκτες SC και JC, ενώ τα προσαρμοσμένα έχουν πολύ καλύτερη τιμή στο δείκτη AAC. Ο ΜΤΤ δεν πέτυχε καλά επίπεδα ακρίβειας και σε αυτή την περίπτωση. Στην περίπτωση της Αγίας Λεμονής, τα τυπικά ΜΚΥ πέτυχαν πολύ καλύτερα επίπεδα ακρίβειας σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις και για τους τρεις δείκτες ακρίβειας, με πολύ μεγάλες διαφορές. Τέλος, τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς της Νυφίδας ήταν καλύτερα για την προσομοίωση με τα τυπικά ΜΚΥ, με αμελητέες διαφορές με τα αποτελέσματα των προσαρμοσμένων ΜΚΥ

και των προσομοιώσεων με το MTT, οι οποίες μπορεί να ειπωθεί ότι πέτυχαν καλά επίπεδα ακρίβειας.

Πίνακας 6.8: Στατιστικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων με το FARSITE και τον αλγόριθμο MTT σε σχέση με την πραγματική περίμετρο της κάθε υπό εξέταση πυρκαγιάς.

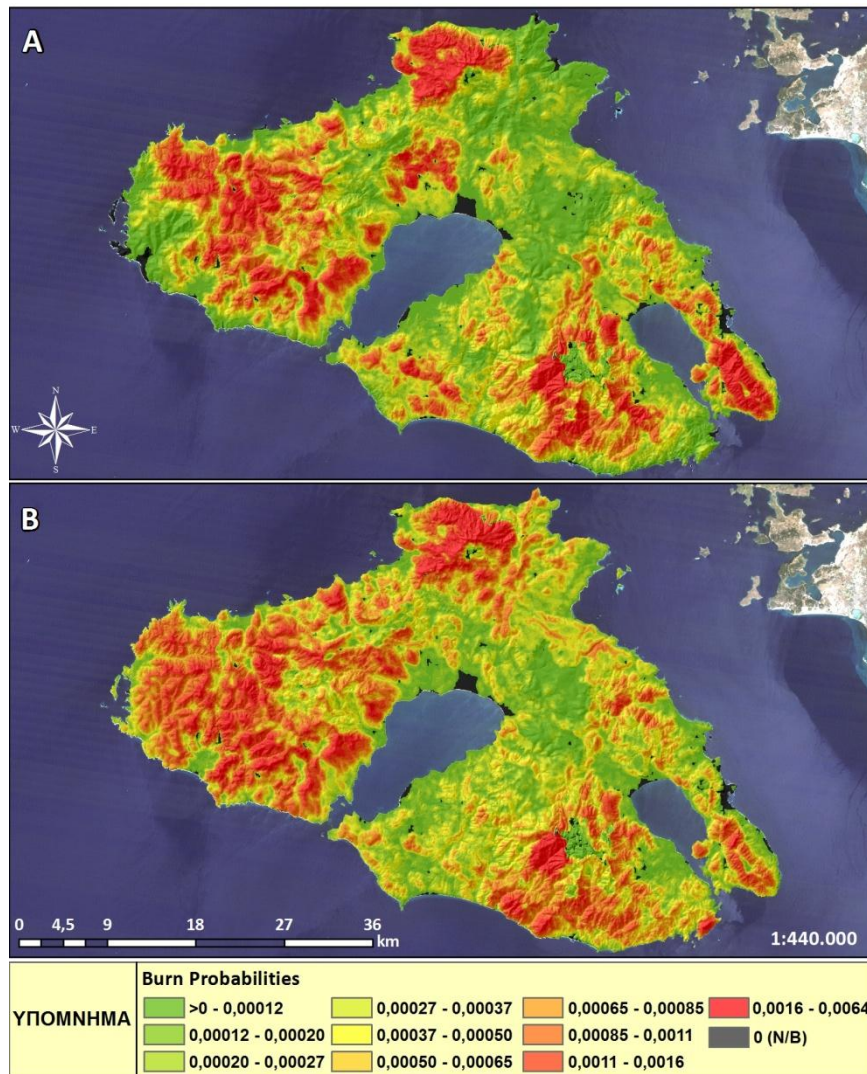
ΠΥΡΚΑΓΙΑ	ΜΚΥ	SC	JC	CAA	R1	R2	R3	R4
Κράτηγος	Τυπικά	0.56653	0.395217	0.690489	6297	1159	8477	15200
	Προσαρμοσμένα	0.61509	0.444136	0.813189	4647	2809	3007	20670
	MTT	0.66703	0.500411	0.744441	7310	146	7152	13949
Πετσοφάς	Τυπικά	0.56253	0.391334	0.78539	578	164	735	2712
	Προσαρμοσμένα	0.57929	0.407743	0.766293	674	68	911	2536
	MTT	0.17229	0.094268	0.524351	740	2	7108	7098
Σωτήρα	Τυπικά	0.31214	0.184932	0.919377	27	109	10	1330
	Προσαρμοσμένα	0.40683	0.255361	0.741192	131	5	377	963
	MTT	0.17871	0.098124	0.601276	136	0	1250	1749
Αγία Λεμονή	Τυπικά	0.47237	0.309217	0.812155	671	21	1478	5810
	Προσαρμοσμένα	0.33016	0.197722	0.655764	677	15	2732	4556
	MTT	0.21246	0.118858	0.510053	687	5	5088	4615
Νυφίδα	Τυπικά	0.7736	0.630786	0.896039	8708	752	4345	35223
	Προσαρμοσμένα	0.71215	0.552976	0.846822	9290	18580	7340	32228
	MTT	0.63461	0.464786	0.808872	9391	69	10745	36375

6.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ MTT

Τα αποτελέσματα του Randig αποκάλυψαν αρκετές περιοχές με υψηλή πιθανότητα καύσης. Συγκεκριμένα, υψηλή πιθανότητα καύσης παρατηρείται στα ΝΑ, ΒΔ, Δ και Ν τμήματα του νησιού που καλύπτονται κυρίως από αείφυλλα-σκληρόφυλλα και φρύγανα (Εικόνα 6.14). Το βασικό σύμπλεγμα δασών κωνοφόρων (κεντρικό τμήμα) έχει μόνο λίγα σημεία με υψηλές τιμές, ενώ τα δάση κωνοφόρων στα ΝΑ, που είναι και περιοχές WUI, έχει πολύ υψηλές τιμές. Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των τυχαία καταναμημένων πυρκαγιών, το πρότυπο παραμένει ίδιο με μόνη σημαντική διαφορά ότι οι τιμές στα δυτικά του νησιού είναι υψηλότερες σε πιο εκτεταμένες εκτάσεις (Εικόνα 6.14-B). Υπάρχουν μόνο κάποια μικρά τμήματα στα οποία προσομοιώθηκαν λίγες πυρκαγιές λόγω των χαμηλών ή μηδενικών τιμών στις τιμές του αρχείου πυκνότητας KDS (π.χ. νησίδες και βραχονησίδες περιμετρικά της Λέσβου και θέσεις στα ΝΔ), δημιουργώντας κάποια κενά δεδομένων (μαύρο χρώμα στον χάρτη) στα αποτελέσματα (Εικόνα 6.14-A), γεγονός που δεν συνέβη στα αποτελέσματα των τυχαίων αναφλέξεων.

Το μέσο μέγεθος των πυρκαγιών που πρόεκυψαν βάσει των ιστορικών αναφλέξεων είναι 110 ha, με ελάχιστο και μέγιστο μέγεθος τα 2 και 920 ha αντίστοιχα, ενώ τα εκατοστημόρια των 25, 50 και 75 έχουν μεγέθη πυρκαγιών 45, 85 και 120 ha αντίστοιχα, αποτελέσματα που είναι σε συμφωνία με τα καταγεγραμμένα μεγέθη ιστορικών πυρκαγιών. Οι τιμές του CFL είναι υψηλές μόνο στις περιοχές με αείφυλλα-σκληρόφυλλα (>2,5 m), τα δάση κωνοφόρων έχουν μέτριες τιμές (1-2 m), ενώ το υπόλοιπο νησί έχει χαμηλές τιμές (μέχρι και 1,5 m) (Εικόνα 6.15-A). Αρκετά τμήματα του νησιού δημιουργούν πυρκαγιές με μεγάλη καμένη έκταση, ειδικά στα δυτικά και νότια (Εικόνα 6.15-B). Οι περιοχές με υψηλές τιμές στο χάρτη SSR δείχνουν ότι οι αναφλέξεις που συμβαίνουν εκεί προκαλούν μεγάλες πυρκαγιές σε σχέση με την πιθανότητα να καούν από πυρκαγιές που πρόεκυψαν από άλλα σημεία

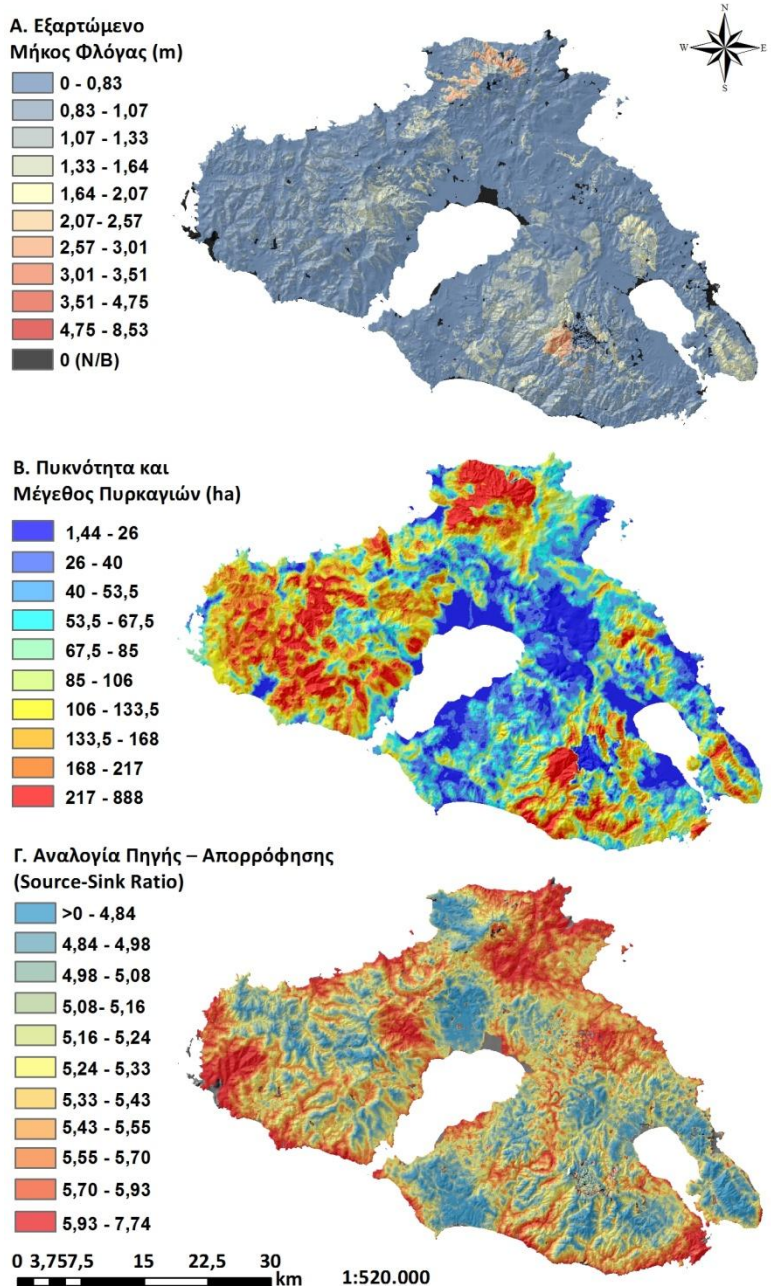
(πιθανότητα καύσης) (Εικόνα 6.15-Γ). Αντιστρόφως, οι περιοχές με μικρές τιμές προκαλούν μικρές πυρκαγιές σε σχέση με την πιθανότητα να καούν από πυρκαγιές που πρόεκυψαν αλλού (Ager 2012).



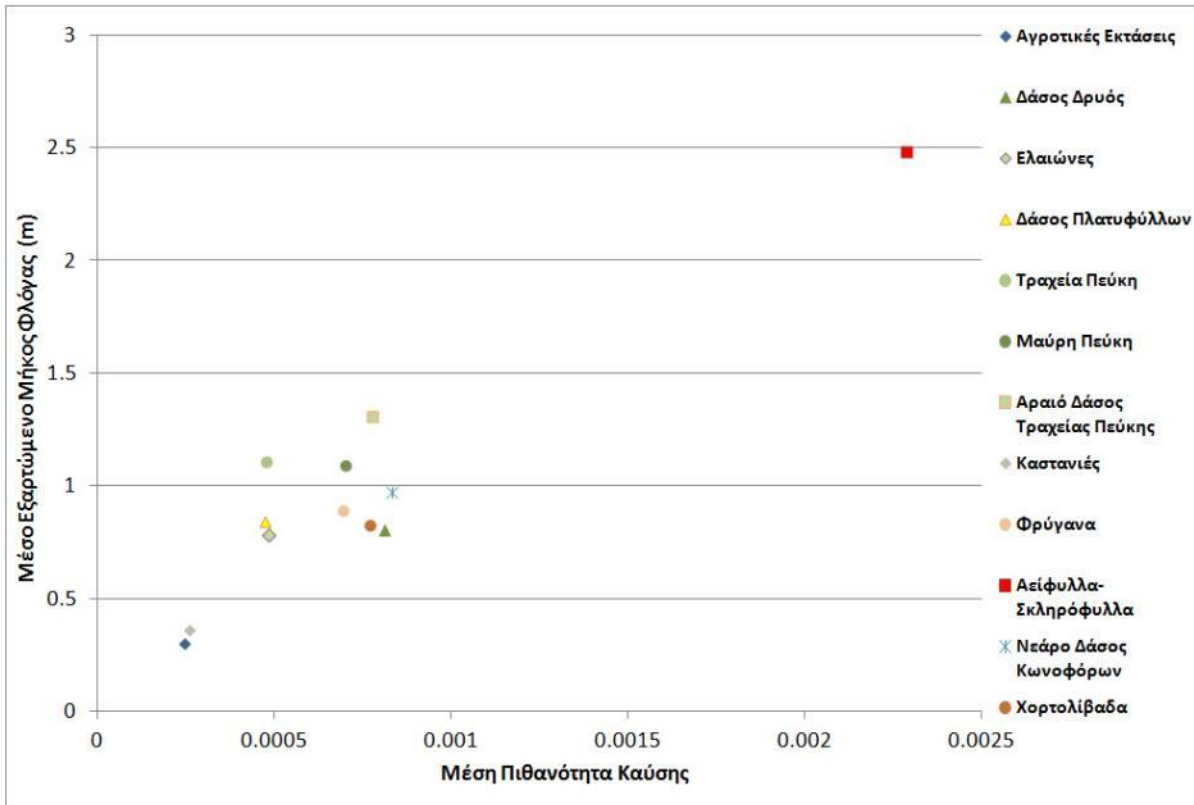
Εικόνα 6.14: Πιθανότητες καύσης για (A) ιστορικά σημεία έναρξης πυρκαγιών και (B) τυχαίες αναφλέξεις στη νήσο Λέσβο

Η διακύμανση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και αξιών σε κίνδυνο της Λέσβου περιγράφεται από τα διασπορογράμματα που δείχνουν τις μέσες τιμές του κινδύνου και της τρωτότητας σε αυτά βάσει των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων. Στην Εικόνα 6.16, το διασπορογράμματα δείχνει ποιοί τύποι βλάστησης έχουν το δυναμικό για εκδήλωση μεγάλων και συχνών πυρκαγιών. Τα αείφυλλα-σκληρόφυλλα έχουν υψηλές τιμές τόσο στις πιθανότητες καύσης, όσο και στο εξαρτώμενο μήκος φλόγας, ενώ ακολουθούν τα δάση τραχείας πεύκης. Οι χαμηλότερες τιμές βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές και στα δάση καστανιάς. Για τη δημιουργία των υπόλοιπων διασπορογραμμάτων, καθορίστηκαν ζώνες επιρροής (buffers) γύρω από το κάθε χαρακτηριστικό για το οποίο θέλαμε να εξετάσουμε τον κίνδυνο που αντιμετωπίζει. Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 6.17-A απεικονίζεται ο κίνδυνος για τα μνημεία και τις θέσεις υψηλής ιστορικής και πολιτισμικής αξίας, υπολογισμένα σε μια ζώνη ακτίνας 300 m. Όλες οι θέσεις είχαν μικρό κίνδυνο πυρκαγιάς, με τιμές CFL μικρότερες του 1 m, ενώ μόνο τέσσερις θέσεις είχαν πιθανότητες καύσης μεγαλύτερες του 0,001. Στην Εικόνα 6.17-B, ορίστηκε ζώνη 50 m για τις οικίες εκτός αστικών περιοχών, η

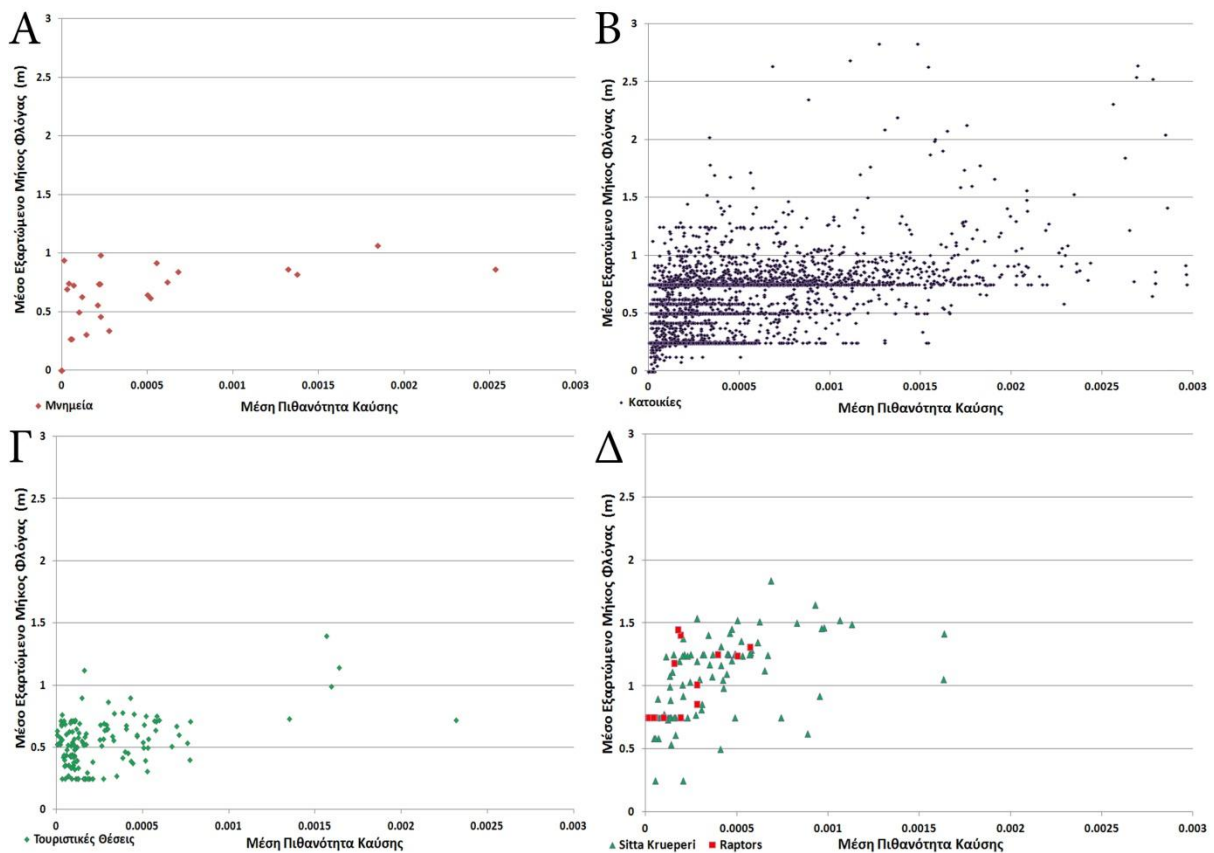
πλειοψηφία των οποίων έχει μικρές τιμές CFL (<1 m), με αρκετές οικίες όμως να αναγνωρίζονται με υψηλό κίνδυνο και τρωτότητα (BP>0,001 και CFL>1,5 m). Στην Εικόνα 6.17-Γ, ορίστηκε ζώνη ακτίνας 300 m στις τουριστικές περιοχές (παραλιακές ζώνες και ξενοδοχεία), με μόνο τέσσερις από αυτές να χαρακτηρίζονται ως θέσεις υψηλής επικινδυνότητας. Τέλος, οι σημαντικές περιοχές φωλιάσματος πληθυσμών πτηνών στο νησί απεικονίζονται στο διασπορόγραμμα της Εικόνας 6.17-Δ (*Sitta krueperi* και αρπακτικά: *Buteo buteo*, *Circaetus gallicus* και *Accipiter gentilis*), στις οποίες καθορίστηκε ζώνη ακτίνας 50 m. Αρκετές φωλιές αναγνωρίστηκαν να έχουν υψηλό κίνδυνο από τις πυρκαγιές, ειδικά για το είδος *Sitta krueperi*, ενώ τα αρπακτικά φωλιάζουν σε πιο ασφαλείς περιοχές.



Εικόνα 6.15: Εξαρτώμενο μήκος φλόγας (Α), πυκνότητα και μέγεθος πυρκαγιών (Β) και χάρτες αναλογίας πηγής-απορρόφησης (Γ) για τη νήσο Λέσβο



Εικόνα 6.16: Επικινδυνότητα πυρκαγιάς για κάθε τύπο εδαφοκάλυψης της νήσου Λέσβου



Εικόνα 6.17: Επικινδυνότητα πυρκαγιάς για μνημεία (Α), σπίτια εντός περιοχών WUI (Β), τουριστικές περιοχές και σημεία (Γ) και σημαντικές θέσεις φωλιάσματος πτηνών (Δ) της νήσου Λέσβου

6.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συμπεριφοράς ιστορικών περιστατικών πυρκαγιάς με το λογισμικό FARSITE έδειξαν ότι αν στις προσομοιώσεις εντός των δασικών εκτάσεων χρησιμοποιηθούν προσαρμοσμένα MKY, τότε προκύπτουν αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Σε αντίθεση, όσες πυρκαγιές έλαβαν χώρα σε χορτολιβαδικές εκτάσεις και περιοχές με θαμνώνες ή φρύγανα είχαν καλύτερη ακρίβεια προσομοιώσεων με τα τυπικά MKY. Οι προσομοιώσεις με τον αλγόριθμο MTT προκάλεσαν εκτεταμένες υπερεκτιμήσεις σε τρεις από τις πέντε πυρκαγιές, ενώ στις άλλες δύο η ακρίβεια ήταν παρόμοια ή καλύτερη από τις αντίστοιχες με το FARSITE. Μια εξήγηση είναι ότι καθορίστηκε μια ταχύτητα ανέμου ανά περιστατικό (σύμφωνα με τις απαιτήσεις του MTT), δίχως χρονικές μεταβολές. Οι κύριες ροές που προήλθαν από το MTT βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση της πορείας που είχε κάθε περιστατικό στο χώρο. Επιπλέον, η άμεση κινητοποίηση των πυροσβεστικών δυνάμεων απέτρεψε μια εκτός έλεγχου εξέλιξη των περιστατικών, προσπάθειες οι οποίες δεν χρησιμοποιήθηκαν ως εισροές στη διαδικασία των προσομοιώσεων με το FARSITE και είναι ένας σημαντικός παράγοντας υπερεκτίμησης της καμένης έκτασης. Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι τα προσαρμοσμένα MKY τα καταφέρνουν εξίσου καλά ή και καλύτερα από τα τυπικά, ιδιαίτερα σε περιοχές κωνοφόρων.

Ο υπολογισμός του κινδύνου πυρκαγιάς από χιλιάδες προσομοιώσεις πυρκαγιών με τον αλγόριθμο Randig αποκάλυψε το κυρίαρχο πρότυπο του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο. Τα τμήματα του νησιού με την πιο υψηλή πιθανότητα να καούν και το μεγαλύτερο μέγεθος πυρκαγιών βρίσκονται στα δυτικά, ενώ τα πιο έντονα περιστατικά μπορούν να δημιουργηθούν στα βόρεια και νότια. Με την προσομοίωση διαφορετικών πρότυπων αναφλέξεων αποκαλύφθηκε ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το αν οι προσομοιώσεις έχουν διεξαχθεί με ιστορικές ή τυχαίες πυρκαγιές, εκτός από την ανυπαρξία τιμών σε ορισμένες περιοχές με χαμηλές τιμές στο αρχείο KDS, στις οποίες αντιστοιχούσαν μόνο λίγες ή καθόλου πυρκαγιές για να προσομοιωθούν. Οι τιμές του CFL είναι παρόμοιες και για τα δύο πρότυπα με μόνο ελάχιστες διαφοροποιήσεις. Τα συμπεράσματα αυτά αποδεικνύουν ότι τα πρότυπα των πιθανοτήτων καύσης και του εξαρτώμενου μήκους φλόγας δημιουργούνται κυρίως από την εξάπλωση των πυρκαγιών υπό την επιρροή και συνδυασμό των προτύπων του καιρού και της καύσιμης ύλης, παρά από το που προκύπτουν οι αναφλέξεις.

Ορισμένα λάθη ή υπερεκτιμήσεις στις προσομοιώσεις μπορεί να δημιουργήθηκαν από ενδεχόμενη μη σωστή απόδοση του κατάλληλου MKY για ορισμένες περιοχές του νησιού, καθώς και με άλλα πιθανά λάθη τα οποία ενδέχεται να υπήρχαν στα χωρικά δεδομένα. Εντούτοις, δεν αξιολογήθηκε ότι διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα λόγω του μεγάλου πλήθους των πυρκαγιών που προσομοιώθηκαν. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις με το Randig κατέδειξαν ότι υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να μεταβληθούν ή δοκιμαστούν πριν τη διεξαγωγή των τελικών προσομοιώσεων. Αποδείχτηκε ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχουν τιμές υγρασίας της καύσιμης ύλης προσαρμοσμένες για κάθε MKY (παρά η χρήση ίδιων τιμών για όλα τα MKY), βασισμένη σε μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών που είναι κοντά σε κάθε τύπο βλάστησης.

Ρυθμίσεις έγιναν και από τη γνώση που έχει αποκτηθεί από τις παρατηρήσεις πραγματικών περιστατικών πυρκαγιάς σε κάθε τύπο βλάστησης. Η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου επιδρά πολύ σημαντικά στο τι αποτελέσματα προκύπτουν, όπως και οι τιμές της υγρασίας καύσιμης ύλης. Απαιτήθηκαν πολλές δοκιμές με το Randig ώστε να αποκλειστούν τιμές ανέμου και υγρασίας οι οποίες δημιουργούσαν μη ρεαλιστικά αποτελέσματα σε σχέση με τα πραγματικά πρότυπα πυρκαγιών του νησιού. Για την καλύτερη απόδοση των τιμών του ανέμου προτιμήθηκε η μέθοδος χωρικού υπολογισμού της ταχύτητας και διεύθυνσης του με τον αλγόριθμο WindNinja, που μπορεί να δημιουργεί τοπικά διαφοροποιημένες εκτιμήσεις

βάσει της βλάστησης και της τοπογραφίας της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Για τις προσομοιώσεις απαιτήθηκε η υποστήριξή τους από έναν πολύ δυνατό υπολογιστικό σύστημα, ειδάλως, ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των 100.000 προσομοιώσεων πυρκαγιάς για τη νήσο Λέσβο υπερβαίνει τις τέσσερις μέρες σε ένα τυπικό μηχάνημα τεσσάρων πυρήνων.

Η χρήση διασκορογραμμάτων για την αναγνώριση της επικινδυνότητας που προκύπτει από πυρκαγιές αποκάλυψε αρκετές θέσεις και αξίες σε κίνδυνο που έχουν την πιθανότητα να επηρεαστούν από μελλοντικά περιστατικά πυρκαγιών. Χάρτες και συντεταγμένες των θέσεων αυτών πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να προειδοποιηθούν και ενημερωθούν οι ιδιοκτήτες (στην περίπτωση των οικιών και ξενοδοχείων) και της πολιτείας (για την περίπτωση των μνημείων και των ενδιατημάτων άγριας ζωής), ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα και προφυλάξεις για την προστασία τους. Τέλος, η μελλοντική εργασία πάνω σε αυτά τα αποτελέσματα περιλαμβάνει την πρόταση και σχεδιασμό μέτρων και μεθόδων διαχείρισης της καύσιμης ύλης, καθώς και τη λήψη μέτρων για τη γενικότερη μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς.

7. ΜΕΤΑΠΥΡΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΥΚΙΜΜΗ ΕΒΡΟΥ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2011

7.1. ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Η δασική πυρκαγιά στη Λευκίμμη Έβρου ξεκίνησε την 24^η Αυγούστου 2011 στις 13:30 στον αγροτοδασικό δρόμο Λευκίμμη-Βυρίνης και άρχισε να εξαπλώνεται υπό την επίδραση ισχυρών βορειοανατολικών ανέμων μέσης έντασης 20 km/h (με ριπές ανέμου να αγγίζουν τα 50 km/h) από 11 διάσπαρτες εστίες κατά μήκος 3 km. Σύντομα, η φωτιά επεκτάθηκε προς τα νοτιοδυτικά καίγοντας χορτολιβαδικές εκτάσεις, αγρούς, εκτάσεις με αραιή κάλυψη δρυός, ώριμα δάση τραχείας πεύκης και μικτά δάση τραχείας πεύκης-δρυός (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1: Οι πρώτες ώρες της πυρκαγιάς όπου καίγονταν κυρίως χορτολιβαδική βλάστηση και αείφυλλα-σκληρόφυλλα

Η κινητοποίηση των οχημάτων καθώς και η κλήση εναέριων μέσων ήταν άμεση. Αρχικά, στις 13:45 απογειώθηκε ελικόπτερο από την Αλεξανδρούπολη καθώς και δύο PZL από τη Χρυσούπολη στις 14:10. Παράλληλα, στις 14:00 έγινε εκτροπή πορείας δύο CL-415 τα οποία κατευθύνονταν προς την Αιτωλοακαρνανία, ώστε να σπεύσουν προς τη Λευκίμμη. Καθώς η ταχύτητα διάδοσης και η ένταση της φωτιάς αυξάνονταν, κλήθηκαν περισσότερα εναέρια μέσα, (δύο CL-215 από τη Θεσσαλονίκη στις 15:45 και δύο CL-415 από την Ελευσίνα στις 16:00) που επιχειρούσαν στην περιοχή μέχρι τη δύση του ηλίου.

Η επίγεια κινητοποίηση των οχημάτων του Πυροσβεστικού Κλιμακίου Σουφλίου, τα οποία επιχειρήσαν στην περιοχή κοντά στον πυρήνα προστασίας του δάσους της Διαδιάς, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάσχεση του μετώπου και την αποτροπή μετάδοσής του εντός του πυρήνα του πάρκου. Από τις Πυροσβεστικές Υπηρεσίες Αλεξανδρούπολης, Διδυμοτείχου και Ορεστιάδας κινητοποιήθηκαν δώδεκα συνολικά οχήματα,

συνεπικουρούμενα από άλλα δέκα της Περιφερειακής Διοίκησης Πυροσβεστικής Υπηρεσίας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Από τις 15:30 έως και τις 19:00 αφίχθησαν ενισχύσεις από όλη τη Βόρεια Ελλάδα (πεζοπόρα τμήματα και πυροσβεστικά οχήματα). Επιπλέον, υλικές και ανθρώπινες βοήθειες προσέφεραν οι Δήμοι, τα Δασαρχεία και οι Στρατιωτικές Αρχές της περιοχής (πυροσβεστικά οχήματα και υδροφόρες, ισοπεδωτές, προωθητές γαιών κ.α.). Οι πυροσβεστικές δυνάμεις επιχειρούσαν κυρίως εντός των πολλών αντιπυρικών ζωνών της περιοχής, καθώς και πλησίον του οδικού δικτύου.

Την 25^η Αυγούστου 2011, η φωτιά συνέχισε την εξάπλωσή της καθοδηγούμενη από ισχυρούς βορειοανατολικούς ανέμους. Ήταν εμφανές ότι η πυρκαγιά πλησίαζε πλέον προς τις περιοχές αναδασώσεων στα ΝΔ, ενώ ζητήθηκε και διεθνής συνδρομή σε εναέρια μέσα (Εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2: Εξέλιξη της πυρκαγιάς εντός των περιοχών των αναδασώσεων όπου μετεξελίχθηκε από έρπουσα σε ενεργή πυρκαγιά κόμης

Στις 13:15 απογειώθηκαν άλλα δύο CL-215 από τη Σάμο και προστέθηκαν στην ήδη υπάρχουσα αεροπορική πυροσβεστική δύναμη. Η συνολική επίγεια δύναμη εκείνη την ημέρα έφτανε τα 47 οχήματα από τις διάφορες Πυροσβεστικές Υπηρεσίες, με ένα μεγάλο πλήθος οχημάτων υποστήριξης. Την 26^η Αυγούστου παρατηρήθηκε αύξηση του ανέμου και φάνηκε ότι θα ήταν η δυσκολότερη μέρα της πυρκαγιάς. Στα εναέρια μέσα προστέθηκαν τρία Chinook-47 καθώς και τέσσερα CL-415, δύο Γαλλικά και δύο Ισπανικά. Τα πεζοπόρα τμήματα σχημάτισαν 14 ομάδες με συνολική δύναμη 288 ανδρών (πυροσβεστών και στρατιωτών). Οι πυροσβεστικές ενέργειες είχαν ως αποτέλεσμα την οριοθέτηση του μετώπου στο τέλος εκείνης της ημέρας, όπου η πυρκαγιά έφτασε τη μέγιστη εξάπλωσή της. Αποτέλεσμα των συντονισμένων ενεργειών είναι η εμφανής διάσωση πολύ μεγάλων εκτάσεων (άκαυτες νησίδες) στα νοτιοδυτικά και δυτικά τμήματα της πυρκαγιάς. Σε αυτήν την περιοχή υπήρχαν και οι περισσότερες καψαλισμένες συστάδες δένδρων, η μεγάλη πλειοψηφία των οποίων επιβίωσε. Την 27^η Αυγούστου σημειώθηκε κατάσβεση των εστιών

εντός της καμένης περιμέτρου, τόσο από εναέριες δυνάμεις όσο και από επίγεια τμήματα μιας και είχε επιτευχθεί ήδη η οριοθέτησή της (Εικόνα 7.3).



Εικόνα 7.3: Εναέρια κατάσβεση ενεργών εστιών εντός του οριοθετημένου μετώπου την 27^η Αυγούστου

Τρεις οικισμοί απειλήθηκαν με εκκένωση από την πυρκαγιά (Λευκίμμη, Κοίλα και Μελία) και παρότι οι φλόγες έφτασαν στα όρια του οικισμού Κοίλα, δεν υπήρξαν απώλειες οικιών και εγκαταστάσεων (εκτός από μια κτηνοτροφική μονάδα όπου κάηκαν αποθηκευμένες μπάλες άχυρου, αλλά όχι ζώα). Οι καμένες και άκαυτες εκτάσεις εντός της εκτεταμένης καμένης περιμέτρου έφτασαν περίπου τα 5.900 ha. Τα κυριότερα είδη εδαφοκάλυψης εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς ήταν η δρυς (1.300 ha), το μικτό δάσος τραχείας πεύκης-δρυός (1.250 ha), η τραχεία πεύκη (1.200 ha), οι χορτολιβαδικές και αγροτικές εκτάσεις (850 ha), οι θαμνώνες αείφυλλων-πλατύφυλλων (700 ha) και οι αναδασώσεις κωνοφόρων (600 ha).

7.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

7.2.1. Μετεωρολογικά Δεδομένα

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές συνθήκες όπως καταγράφηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης (ιδιοκτησίας Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών) κατά τις τέσσερις ημέρες της πυρκαγιάς. Οι τιμές του ανέμου εκτιμάται ότι είναι μικρότερες κατά περίπου 20% από αυτές που επικρατούσαν στο μέτωπο της πυρκαγιάς λόγω της υψομετρικής διαφοράς και τοπογραφίας.

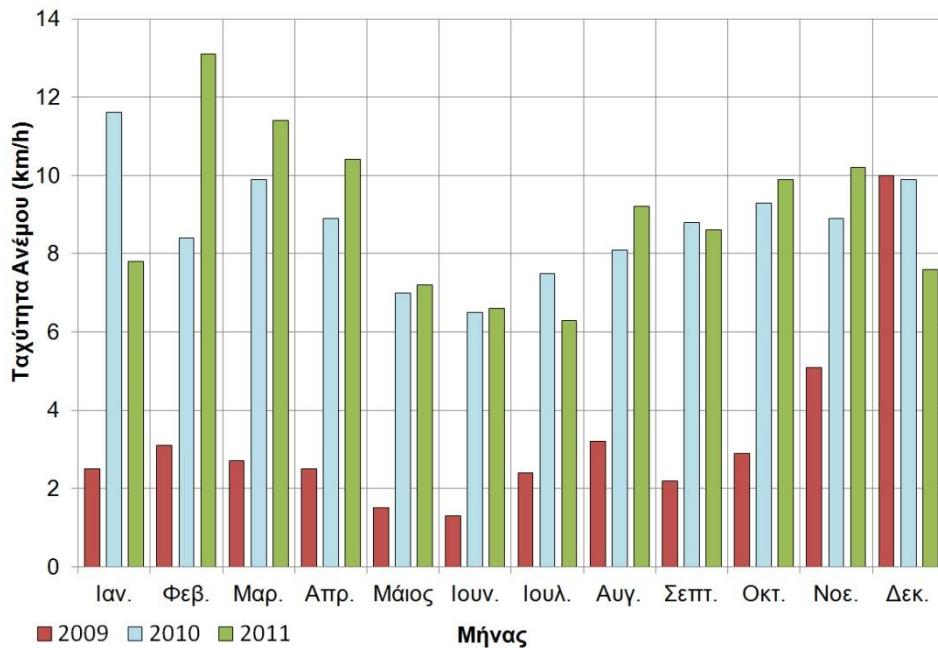
Από δεδομένα τριών ετών του μετεωρολογικού σταθμού της Αλεξανδρούπολης διεξήχθη ανάλυση των μετεωρολογικών τάσεων της περιοχής. Στην Εικόνα 7.4 διακρίνουμε ότι το 2011 η ταχύτητα του ανέμου ήταν γενικά αυξημένη σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, ενώ το

2009 καταγράφονται οι χαμηλότερες εντάσεις ανέμου. Στην Εικόνα 7.5 διακρίνουμε ότι για το έτος 2009 η συχνότερη διεύθυνση είναι η BBA (NNW 25%), και ακολουθεί η BBA (NNE 20%), η BA (NE 12%) και η ΔΝΔ (WSW 12%). Για το έτος 2010, η συχνότερη διεύθυνση είναι η BA (NE 25%), και ακολουθεί η ΝΔ (SW 14%), η BBA (NNE 10%), η Β (N 10%) και η ABA (ENE 10%). Για το έτος 2011, η συχνότερη διεύθυνση είναι η BA (NE 39%), και ακολουθεί η BBA (NNE 16%) και η ABA (ENE 10%).

Πίνακας 7.1: Μετεωρολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς

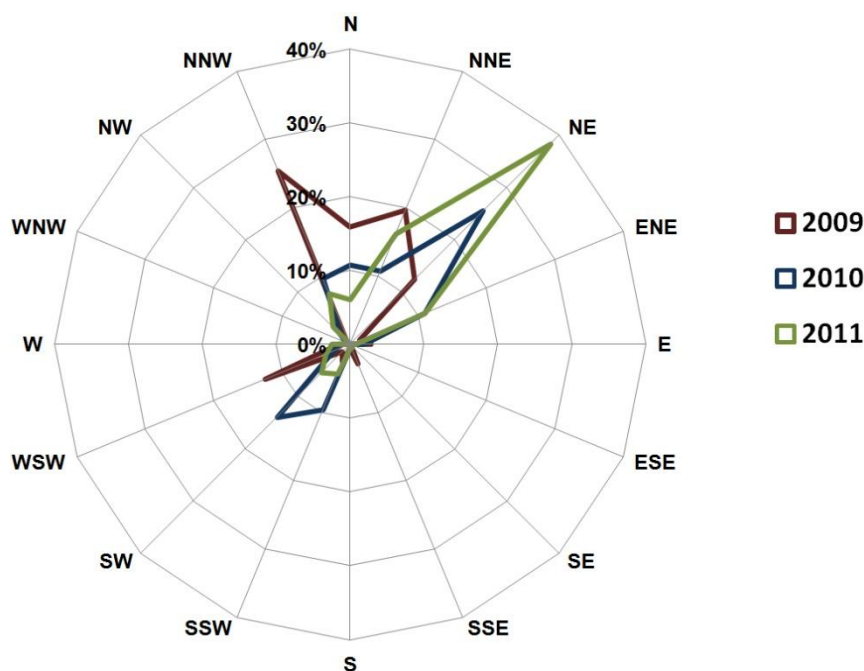
Περιοχή: Αλεξανδρούπολη, Υψόμετρο: 47 m a.s.l., ΓΠ: 40° 51' 30" N, ΓΜ: 25° 52' 00" E									
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C), ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%), ΒΡΟΧΗ (mm), ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (km/h)									
Ημέρα	Μέση Θερμοκρασία	Μέση Σχετική Υγρασία	Μέγιστη Θερμοκρασία/Ελάχιστη Σχετική Υγρασία	Ελάχιστη Θερμοκρασία/Μέγιστη Σχετική Υγρασία	Βροχή	Μέση Ένταση Ανέμου	Μέγιστη Ένταση Ανέμου	Ώρα	Κυρίαρχη Διεύθυνση Ανέμου
24-Αυγ	26,9	45	34,7 / 14	17,7 / 69	0,0	7,6 (2 BF)	38,6 (6 BF)	12:50	BBA
25-Αυγ	27,1	45	34,1 / 26	18,6 / 73	0,0	9,2 (2 BF)	33,8 (5 BF)	15:20	BBA
26-Αυγ	25,2	49	31,3 / 26	19,8 / 68	0,0	19,2 (4 BF)	51,5 (7 BF)	21:50	BA
27-Αυγ	24,8	51	31,7 / 21	20,5 / 64	0,0	18,7 (3 BF)	49,9 (7 BF)	11:10	BA

Στην Εικόνα 7.6 είναι εμφανές ότι ο μήνας με το μικρότερο άθροισμα βροχόπτωσης είναι ο Αύγουστος για όλα τα έτη. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν το Φεβρουάριο και τον Οκτώβριο του 2010, ενώ πολύ υψηλές τιμές καταγράφηκαν και το Δεκέμβριο του 2011 (>140 mm). Διαπιστώνουμε ότι κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου η βροχόπτωση, αν και μικρή, είναι συχνή και στα 3 έτη. Η συνολική βροχόπτωση για τα έτη 2009, 2010 και 2011 ήταν 555, 738 και 462 mm, αντίστοιχα. Οι υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας καταγράφονται τον Αύγουστο, ενώ οι χαμηλότερες τον Ιανουάριο.

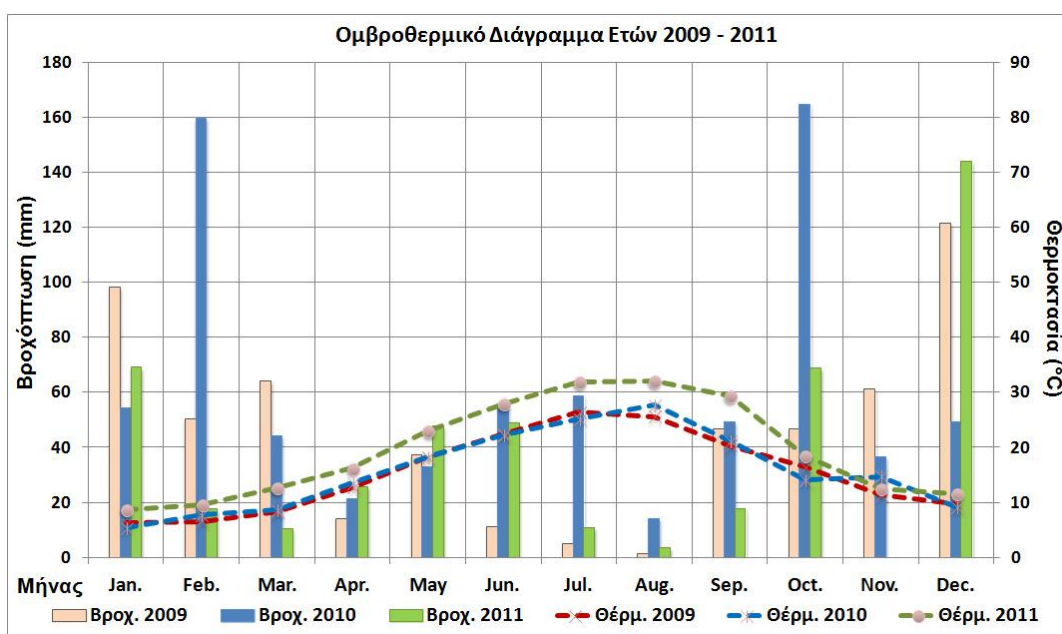


Εικόνα 7.4: Μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου για τα έτη 2009, 2010 και 2011 καταγεγραμμένη από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης

Συμπεραίνουμε ότι οι μετεωρολογικές τάσεις της περιοχής είναι τυπικές του Μεσογειακού κλίματος, με ελάχιστες βροχοπτώσεις κατά τη θερινή περίοδο, έντονες τιμές ανέμου που πνέουν από τα ΒΒΔ έως τα ΑΒΑ (κατά τη διάρκεια του χειμώνα) και από τα ΒΑ (κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού), και υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του θέρους. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης αφορούν σε καταγραφές από παραθαλάσσια περιοχή και οι τιμές αυτές υφίστανται διακυμάνσεις, παρότι όχι έντονες, αλλά σημαντικά διαφοροποιούμενες από το τοπικό μικροκλίμα που δημιουργείται λόγω της βλάστησης και της γεωμορφολογίας στην περιοχή όπου ξέσπασε και έδρασε η πυρκαγιά.



Εικόνα 7.5: Ροδόγραμμα διευθύνσεων του ανέμου για τα έτη 2009, 2010 και 2011 καταγεγραμμένες από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης



Εικόνα 7.6: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τα έτη 2009, 2010 και 2011 με δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης

7.2.2. Δειγματοληψίες

Αμέσως μετά την πυρκαγιά κρίθηκε αναγκαίο να γίνει επίσκεψη στην περιοχή ώστε να διαπιστωθεί και να μετρηθεί το μέγεθος της καταστροφής με παράλληλη εκτίμηση της σφοδρότητας και των συνεπειών της. Οι δειγματοληψίες διεξήχθησαν στα μέσα Σεπτεμβρίου 2011, τρεις εβδομάδες μετά το περιστατικό. Με αυτόν τον τρόπο επετεύχθη η άμεση εξέταση και καταγραφή όλων των χαρακτηριστικών που προέκυψαν μετά την πυρκαγιά δίχως επίδραση εξωγενών παραγόντων (ανθρώπινες επεμβάσεις, διαχειριστικά μέτρα, βροχή, χιόνια, άνεμος, βόσκηση κ.α.), τα οποία ενδεχομένως να αλλοίωναν τη μεταπυρική εικόνα της περιοχής. Μόνο στις 3 Σεπτεμβρίου καταγράφηκε μικρή βροχόπτωση (6,2 mm), η οποία δεν ήταν σε θέση να προκαλέσει οποιαδήποτε αλλοίωση της μεταπυρικής κατάστασης.

Κύριος στόχος των δειγματοληψιών ήταν να μετρηθεί το εύρος της διαβάθμισης και της ποικιλομορφίας που εμφανίζεται μέσα στις καμένες περιοχές, καλύπτοντας όσο περισσότερες επιπτώσεις της πυρκαγιάς και βιοφυσικούς παράγοντες είναι δυνατόν. Η βασική μεθοδολογία των δειγματοληψιών, από όπου και προέκυψε το κύριο αποτέλεσμα τους που ήταν ο Σύνθετος Δείκτης Καύσης (Composite Burn Index-CBI), στηρίχθηκε στο πρωτόκολλο FIREMON και στην εργασία των Key and Benson (2006). Οι τιμές του CBI που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες συσχετίστηκαν με δεδομένα τηλεπισκόπησης (delta Normalized Burn Ratio-dNBR) από το δορυφόρο Landsat 5 TM.

Για να επιλεγούν οι περιοχές δειγματοληψίας έπρεπε αρχικά να γίνει μια πρώτη χαρτογράφηση της σφοδρότητας της πυρκαγιάς. Αυτό επετεύχθη με τον υπολογισμό του dNBR για την καμένη περιοχή. Στη συνέχεια, ο dNBR κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κατηγορίες σφοδρότητας: άκαυτο, χαμηλή, μέση-χαμηλή, μέση-υψηλή και υψηλή. Με τυχαία στρωματοποιημένα δειγματοληψία τοποθετήθηκαν πέντε σημεία σε κάθε κατηγορία. Έπειτα, αυτά τα σημεία μετακινήθηκαν τόσο ώστε να είναι κοντά σε δρόμους για να επιτευχθεί η πρόσβαση σε αυτά, σε απόσταση όμως τουλάχιστον 100 m από αυτούς. Στο πεδίο διαπιστώθηκε ότι η μεταβλητότητα των άκαυτων περιοχών είχε καλυφθεί επαρκώς με τρία σημεία, ενώ χρειάζονταν παραπάνω δειγματοληψίες στην κατηγορία μέση-χαμηλή και μέση-υψηλή. Τελικά, ο συνολικός αριθμός δειγματοληψιών έφτασε τις 27, με τρία σημεία στα άκαυτα, πέντε σημεία στη χαμηλή, έξι σημεία στη μέση-χαμηλή, οκτώ σημεία στη μέση-υψηλή και πέντε σημεία στην υψηλή σφοδρότητα (Εικόνα 7.10).

Το εμβαδόν της κάθε δειγματοληπτικής περιοχής ήταν 900 m², καθορισμένο από το μέγεθος κελιού της δορυφορικής εικόνας Landsat με τα κανάλια της οποίας έγιναν οι συσχετίσεις των καταγραφών πεδίου. Με την άφιξη σε κάθε δειγματοληπτικό τόπο καθορίζονταν το κέντρο του και χαράζονταν με δύο μετροταινίες τα όρια του. Με χρήση GPS καταγράφονταν οι συντεταγμένες και το υψόμετρο του κέντρου (a.s.l.) έπειτα από 10 λεπτά καταγραφών (averaging), ενώ γίνονταν και εκτίμηση της έκθεσης και της κλίσης της περιοχής. Με τη μέθοδο CBI καταγράφονταν πέντε κατηγορίες επιπτώσεων ανάλογα με την κατακόρυφη θέση τους στο δάσος (υποστρώματα, ετήσια φυτά-χαμηλοί θάμνοι και δενδρύλλια, υψηλοί θάμνοι και νεαρά δέντρα, ενδιάμεσα δέντρα και υψηλά δέντρα). Επιπλέον, τα είδη που κάλυπταν την περιοχή καταγράφονταν για τα ύψη έως 1 m, από 1 έως 5 m και για πάνω από 5 m, όπου αυτό ήταν εφικτό και υπήρχαν ενδείξεις για την παρουσία τους. Περαιτέρω πληροφορίες καταγράφονταν για την παρουσία κτηνοτροφικών μονάδων και δραστηριοτήτων βόσκησης (ίχνη από περιττώματα ζώων), αν υπήρχε ποώδης βλάστηση, αν γίνονταν υλοτόμηση προ της πυρκαγιάς, καθώς και πληροφορίες για το έδαφος και τη γεωλογία του τόπου. Όπου δεν υπήρχαν εμφανείς και επαρκείς πληροφορίες στο πεδίο για όλα τα παραπάνω, συμπληρώθηκαν στην συνέχεια από τα δελτία των διαχειριστικών μελετών βάσει της συστάδας στην οποία περιέχονταν κάθε τόπος.

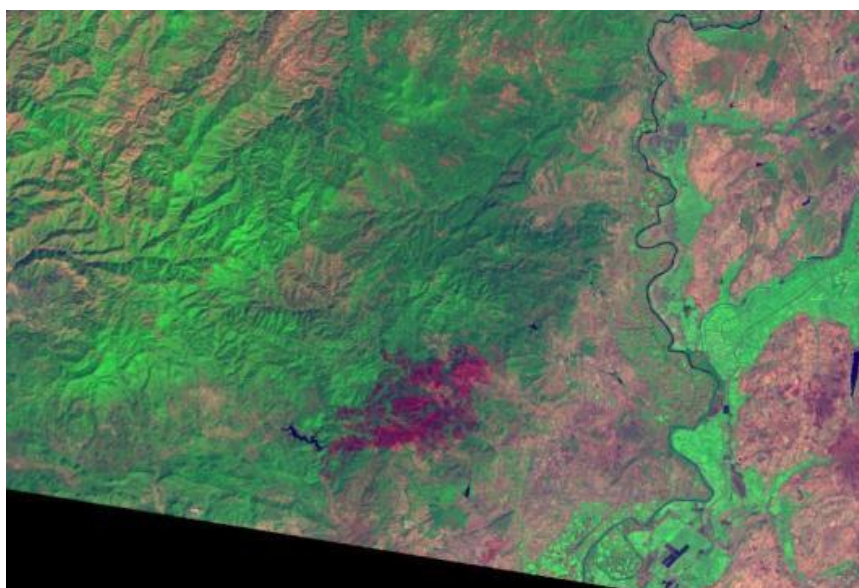
Από τη γενική εικόνα του κάθε τόπου αποδόθηκε μια κατηγοριοποίηση της συνολικής έντασης καύσης (άκαυτο, μικρή, ανομοιογενής, μέτρια και σφοδρή), όπως προτάθηκε στην

έρευνα των Omi and Kalabokidis (1991). Συμπληρωματικά, αξιοποιήθηκε η μέθοδος των Ryan and Noste (1985) για την οπτική εκτίμηση της επιφανειακής σφοδρότητας καύσης, με χρήση ενός πλαισίου 50x50 cm σε πέντε διαφορετικά σημεία κάθε δειγματοληπτικής περιοχής, με μεταξύ τους απόσταση 3 m στο διάνυσμα βορρά-νότου. Η επιφανειακή σφοδρότητα καταγράφηκε σε ποσοστά για κάθε μια από τις τέσσερις προκαθορισμένες τάξεις (άκαυτο, ήπια, μέτρια και έντονη). Ακολούθησε η καταγραφή των δέντρων κάθε δειγματοληπτικής περιοχής (μετρήθηκαν τρία χαρακτηριστικά δέντρα ανά τεταρτημόριο, συνήθως δύο κωνοφόρα και μία δρυς), με μέτρηση των εξής χαρακτηριστικών: στηθιαία διάμετρος (DBH), είδος, ποσοστό ζωντανής κόμης, ύψος καψαλίσματος κόμης, ύψος δέντρου και ύψος φλόγας. Το μέσο ύψος των θάμνων, των δενδρυλλίων και των αειφυλλων-πλατύφυλλων θάμνων εκτιμήθηκε για κάθε τεταρτημόριο. Τέλος, συμπληρώθηκε η φόρμα καταγραφής και εκτίμησης του CBI.

7.2.3. Εκτίμηση σφοδρότητας καύσης με τη μέθοδο dNBR

Για τη δημιουργία του χάρτη εκτίμησης της σφοδρότητας πυρκαγιάς χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat 5 TM (Εικόνα 7.7). Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του δείκτη NBR προ της πυρκαγιάς ελήφθη την 22α Σεπτεμβρίου 2010 (pre-fire NBR), ενώ για την κατάσταση που επικρατούσε μετά την πυρκαγιά χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα της 25ης Σεπτεμβρίου 2011 (post-fire NBR). Για να γίνει η παραγωγή των δεικτών NBR προηγήθηκε η ατμοσφαιρική και γεωμετρική διόρθωση των εικόνων. Η γεωμετρική διόρθωση στο προβολικό σύστημα (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987-ΕΓΣΑ 87) επετεύχθη τόσο με την αξιοποίηση συντεταγμένων επιφανειακών σημείων ελέγχου (Ground Control Points) τα οποία ελήφθησαν κατά την επίσκεψη στην περιοχή, όσο και με τη συμπληρωματική αξιοποίηση δεδομένων του οδικού δικτύου της περιοχής, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του κοντινότερου γείτονα (Nearest Neighbor) με παραγόμενο σφάλμα διόρθωσης μικρότερο του ενός εικονοστοιχείου (RMSE<30 m). Στις διορθωμένες εικόνες εφαρμόστηκε η εξίσωση (7.1) του NBR για να υπολογιστούν οι δύο δείκτες (pre-fire NBR και post-fire NBR):

$$\text{NBR} = (\text{Band 4} - \text{Band 7}) / (\text{Band 4} + \text{Band 7}) \quad (7.1)$$

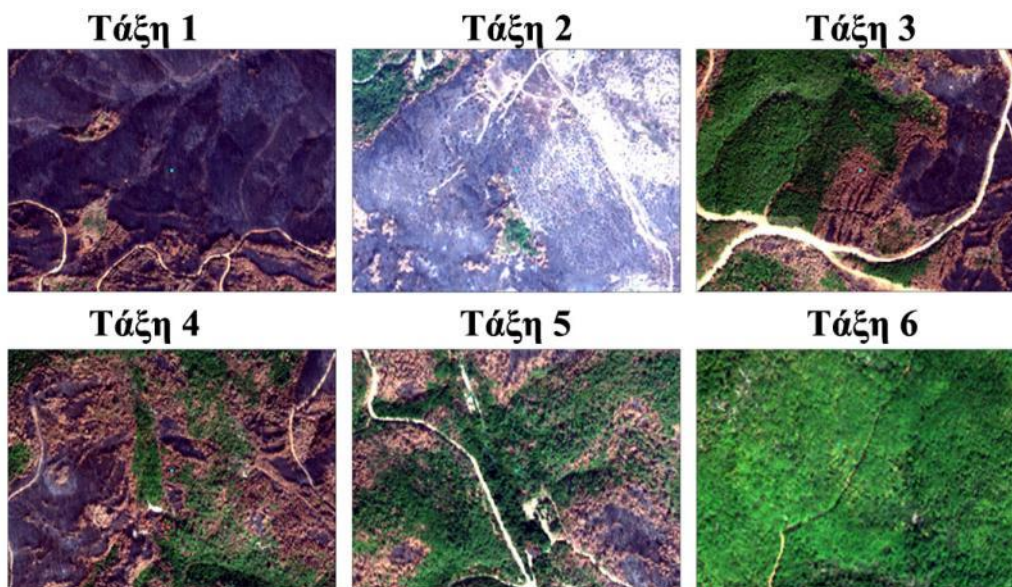


Εικόνα 7.7: Η καμένη έκταση (περιοχή χρώματος μωβ) όπως φαίνεται από το δορυφόρο LANDSAT 5 TM

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο dNBR με την εξίσωση $dNBR = \text{pre-fire NBR} - \text{post-fire NBR}$. Το αποτέλεσμα που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε επί 1.000 για να ταξινομηθεί στις επτά τάξεις σφοδρότητας καύσης βάσει της κατηγοριοποίησης των Key and Benson (2006). Συγκεκριμένα, οι τιμές -500 έως και -251 αποδίδονται σε υψηλή αναγέννηση, από -250 έως -101 σε μικρή αναγέννηση, από -100 έως και +99 σε άκαυτα, από +100 έως και +269 σε χαμηλή σφοδρότητα, από +270 έως και +439 σε μέση-χαμηλή σφοδρότητα, από +440 έως και +659 σε μέση-υψηλή σφοδρότητα και, τέλος, από +660 έως και +1.300 σε υψηλή σφοδρότητα. Λόγω του ό,τι διενεργήθηκε εκτίμηση αμέσως μετά την πυρκαγιά, οι κατηγορίες της αναγέννησης δεν υπολογίστηκαν σε αυτό το πρώιμο στάδιο έρευνας και επικεντρωθήκαμε στις εναπομείνουσες πέντε οι οποίες ήταν κυρίαρχες εντός της καμένης έκτασης.

7.2.4. Μεταπυρική κατάσταση βλάστησης

Για να επιτευχθεί ο στόχος της ακριβούς χαρτογράφησης της περιμέτρου αλλά και της μεταπυρικής κατάστασης βλάστησης (άκαυτη, καψαλισμένη και καμένη) αξιοποιήθηκε η πολυφασματική δορυφορική εικόνα WorldView-2 (μέγεθος κελιού ~0,5 m), η οποία ελήφθη αμέσως μετά την πυρκαγιά (17/9/2011). Αρχικά, το Δασαρχείο Αλεξανδρούπολης μας προμήθευσε με την εκτίμηση της περιμέτρου η οποία υπολογίστηκε από δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (RapidEye Image - 5 m). Αξιοποιώντας τη δορυφορική εικόνα WorldView-2 με συνδυασμούς καναλιών R-G-B (3-2-1) και B-NIR-R (1-4-3), καθώς και τις παρατηρήσεις πεδίου, διορθώθηκε η περίμετρος όπου χρειαζόνταν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η έκταση εντός της καμένης περιμέτρου να μειωθεί ελάχιστα από 5.905 σε 5.898 ha, ενώ σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε στο μήκος της περιμέτρου, δηλαδή από 69 σε 94 km.



Εικόνα 7.8: Οι έξι τάξεις μεταπυρικής κατάστασης της βλάστησης

Έπειτα, ακολούθησε επιβλεπόμενη ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας σε τάξεις που αντιπροσώπευαν τις εξής κατηγορίες (Εικόνα 7.8): τελείως καμένα-μαύρα (Τάξη 1), τελείως καμένα-γκρι (Τάξη 2), τελείως καψαλισμένη κόμη (Τάξη 3), μίξη καψαλισμένης-άκαυτης κόμης (Τάξη 4), άκαυτα-σκούρο πράσινο (Τάξη 5) και άκαυτα-ανοιχτό πράσινο (Τάξη 6). Μια επιπλέον τάξη, η οποία δεν έχει σχέση με τη βλάστηση, είναι τα άγονα εδάφη

(αντιπυρικές ζώνες, δρόμοι, βραχώδεις εκτάσεις, οικισμοί). Στη συνέχεια επιλέχθηκαν 200 τυχαία σημεία εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς και κατόπιν οπτικής εκτίμησης της αρχικής εικόνας WorldView-2 στα κανάλια 3-2-1, έγινε απόδοση μιας τάξης που τα αντιπροσώπευε ώστε να ακολουθήσει η ανάλυση ακρίβειας της ταξινόμησης. Οι τάξεις 1 και 2 συμπύχθηκαν ώστε να σχηματίσουν την κατηγορία καμένα, οι 3 και 4 την κατηγορία καψαλισμένα, οι 5 και 6 την κατηγορία άκαυτα και η τάξη που αφορούσε τα άγονα εδάφη έμεινε ως έχει.

7.2.5. Προσομοίωση συμπεριφοράς της φωτιάς με τα λογισμικά FARSITE και FlamMap

Για την προσομοίωση της πυρκαγιάς της Λευκίμμης, ετοιμάστηκε ένα νέο σετ δεδομένων που πληρούσε τις προδιαγραφές του λογισμικού FARSITE. Αρχικά, δημιουργήθηκαν χωρικά δεδομένα τοπογραφίας (υψόμετρο, κλίσεις και έκθεση-προσανατολισμός) από το DEM της περιοχής (ακρίβεια 30 m), το οποίο και καθορίστηκε ως το μέγεθος κελιού για όλα τα επόμενα στάδια ανάλυσης και για όλα τα δεδομένα.

Για τη δημιουργία των δεδομένων βλάστησης αξιοποιήθηκαν οι χάρτες εδαφοκάλυψης από τα Δασαρχεία του νομού Έβρου. Αυτοί οι χάρτες βλάστησης προέρχονταν από τις διαχειριστικές μελέτες των δασών του νομού και περιέχουν πληροφορίες για τον τύπο βλάστησης, τις συστάδες και τα τμήματα που είναι χωρισμένη η κάθε περιοχή. Η ευρύτερη περιοχή εξέλιξης της φωτιάς είναι χωρισμένη σε τρία διαχειριζόμενα τμήματα (Δαδιάς-Λευκίμμης-Σουφλίου, Φερρών-Τραϊανούπολης, Αβάντας-Αισύμης). Λόγω του ό,τι στο κάθε τμήμα υπήρχαν διαφορές στον τρόπο περιγραφής του κάθε τύπου εδαφοκάλυψης, προηγήθηκε η ομογενοποίησή τους σε μεγαλύτερες, πιο ευρείες κατηγορίες. Οι κατηγορίες εδαφοκάλυψης που προέκυψαν αποτέλεσαν τη βάση της δημιουργίας των εισροών βλάστησης. Σε κάθε κατηγορία, αποδόθηκε ένα μοντέλο καύσιμης ύλης επιλέγοντας μεταξύ των τυπικών 40 MKY και των προσαρμοσμένων MKY που δημιουργήθηκαν στο Κεφάλαιο 5. Από την επίσκεψη και την επιτόπια έρευνα στην περιοχή διαπιστώθηκε ότι τόσο η σύσταση, όσο και η δομή των δασών του Έβρου ήταν παρόμοια με αυτά άλλων περιοχών της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδος, οπότε κρίθηκε ότι είναι ασφαλές τα ίδια MKY να χρησιμοποιηθούν και σε αυτήν την περίπτωση. Συγκεκριμένα, από την εργασία του Dimitrakopoulos (2002) χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Μεσογειακών χορτολίβαδων, ενώ αξιοποιήθηκαν και τα τέσσερα νέα MKY για δάση κωνοφόρων από τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής.

Το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία του χάρτη κάλυψης κόμης. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι δορυφορικής τηλεπισκόπησης, ταξινομώντας την κάλυψη κόμης σε τέσσερις κατηγορίες (1:1-20%, 2: 21-50%, 3: 51-80%, 4: 81-100%, 99: 0%). Για τη δημιουργία των χαρτών απεικόνισης του ύψους συστάδας και του ύψους έναρξης κόμης ορίστηκαν τιμές για κάθε τύπο εδαφοκάλυψης, όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις πεδίου και τις καταγραφές των διαχειριστικών μελετών σε επίπεδο συστάδας. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο μέσος όρος όλων των μετρήσεων στα δέντρα κάθε τύπου εδαφοκάλυψης για κάθε τόπο δειγματοληψίας. Τέλος, για την πυκνότητα κόμης χρησιμοποιήθηκαν κατ' εκτίμηση σταθερές τιμές οι οποίες προέκυψαν είτε από τη βιβλιογραφία, είτε από τη μελέτη που διενεργήθηκε στα δάση κωνοφόρων της Λέσβου (Κεφάλαιο 4).

Για τη δημιουργία των μετεωρολογικών δεδομένων αξιοποιήθηκαν μετρήσεις από το μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην Αλεξανδρούπολη (25.9° E, 40.8° N, 3 m a.s.l.). Οι καταγραφές του μετεωρολογικού σταθμού ήταν μια ανά 30 λεπτά. Το αρχείο ανέμου περιελάμβανε τις τιμές της ταχύτητας και της διεύθυνσής του, καθώς και της ποσοστιαίας νεφοκάλυψης, ενώ το αρχείο καιρού περιελάμβανε την ελάχιστη και τη μέγιστη θερμοκρασία και σχετική υγρασία της κάθε ημέρας, καθώς και τη βροχόπτωση. Επιπλέον, λόγω της

υψομετρικής διαφοράς του σημείου καταγραφής (~3 m) και της περιοχής εκδήλωσης της φωτιάς (~200 m), δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο ανέμου στο οποίο αυξήθηκε η ένταση κατά 20% για να ανταποκρίνεται καλύτερα στις τοπικές συνθήκες. Τα δύο αυτά αρχεία ανέμου εισήχθησαν στο λογισμικό WindNinja, επιτυγχάνοντας καλύτερη απόδοση των συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της φωτιάς. Τέλος, για την περιγραφή της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας της καύσιμης ύλης, εφόσον απουσίαζαν μετρήσεις από κάποιο κοντινό μετεωρολογικό σταθμό, χρησιμοποιήθηκε το σενάριο υγρασίας D1L1 του συστήματος BehavePlus (very low dead, fully cured herb) με τιμές περιεχόμενης υγρασίας καύσιμης ύλης 3%, 4%, 5%, 30% και 60% (1-h, 10-h, 100-h, live herbaceous, και live woody αντίστοιχα) (Andrews *et al.* 2008). Η υγρασία φυλλώματος ορίστηκε να είναι 80%, τιμή που ανταποκρίνεται στις ξηρές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την περίοδο της πυρκαγιάς.

Για την προσομοίωση ορίστηκε χρονικό βήμα 30 λεπτών, ενώ η ανάλυση απόστασης και περιμέτρου ορίστηκε στα 28 m, με διάρκεια 75 ώρες (από 24/8/2011 στις 13:30 έως και την 27/8/2011 στις 16:30). Σε κανένα στάδιο της προσομοίωσης δεν συνυπολογίστηκαν οποιεσδήποτε πυροσβεστικές προσπάθειες καταστολής (εναέριες ή επίγειες). Οι αντιπυρικές ζώνες χαρτογραφήθηκαν και υπολογίστηκαν στην προσομοίωση ως αντιπυρικές ζώνες (fuel breaks). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα όταν η πυρκαγιά προσέγγισε τις ζώνες αυτές είτε να σταματάει, είτε να τις περικυκλώνει είτε να τις υπερκεράζει μέσω της κηλίδωσης (spotting). Στην προσομοίωση ενεργοποιήθηκαν οι εξισώσεις υπολογισμού πυρκαγιάς κόμης με τη μέθοδο των Scott and Reinhardt (2001). Επιπλέον, μέσω επιλογής από το FARSITE καθορίστηκε να γίνει συνδυασμός της πυκνότητας με την κάλυψη κόμης ώστε να βελτιστοποιηθεί χωρικά η κατανομή της πυκνότητας. Τέλος, προσομοιώθηκε και το φαινόμενο της κηλίδωσης με συχνότητα ανάφλεξης 6% επί του συνόλου των προσπιπτουσών καυτρών.

Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς με το λογισμικό FlamMap 5 και τον αλγόριθμο MTT χρησιμοποιήθηκαν παρόμοιες τιμές με αυτές που εισήχθησαν στο FARSITE, με τη διαφορά όμως ότι υπήρξαν κάποιες προσαρμογές που είχαν να κάνουν με τη φύση της διαδικασίας προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, η τιμή της εντάσεως του ανέμου καθώς και η διεύθυνση του εισήχθησαν ως σταθερές τιμές (35,4 km/h στα 6.1 m από διεύθυνση πνοής 45°). Η ανάλυση της προσομοίωσης ορίστηκε να είναι 30 m, ενώ η διάρκεια της να είναι απεριόριστη (μέχρι να καεί όλο το πεδίο). Τέλος, χρησιμοποιήθηκε περίοδος προσαρμογής της υγρασίας (conditioning period) από 23/8 στις 00:00 έως και τις 24/8 στις 13:30, όταν και άρχισε η πυρκαγιά.

7.2.6. Υπολογισμός και χαρτογράφηση του δείκτη διάβρωσης

Στα πλαίσια αυτής της έρευνας επιχειρήθηκε μια πρώτη προσεγγιστική αποτίμηση του αναμενόμενου δείκτη διάβρωσης ως αποτέλεσμα της πυρκαγιάς με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Fox *et al.* (2006). Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στο προσεγγιστικό μοντέλο υπολογισμού του δείκτη διάβρωσης είναι η κλίση του εδάφους, η σφοδρότητα της καύσης, οι τύποι βλάστησης πριν την πυρκαγιά και η διαβρωσιμότητα του εδάφους. Οι τιμές του κάθε ενός από τους τέσσερις παράγοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε τάξεις επιρροής του κινδύνου εμφάνισης διάβρωσης (Εικόνα 7.9). Για τον προσεγγιστικό υπολογισμό του δείκτη διάβρωσης χρησιμοποιήθηκε η Εξίσωση (7.2):

$$E = S \times CD \times BS \times SE \quad (7.2)$$

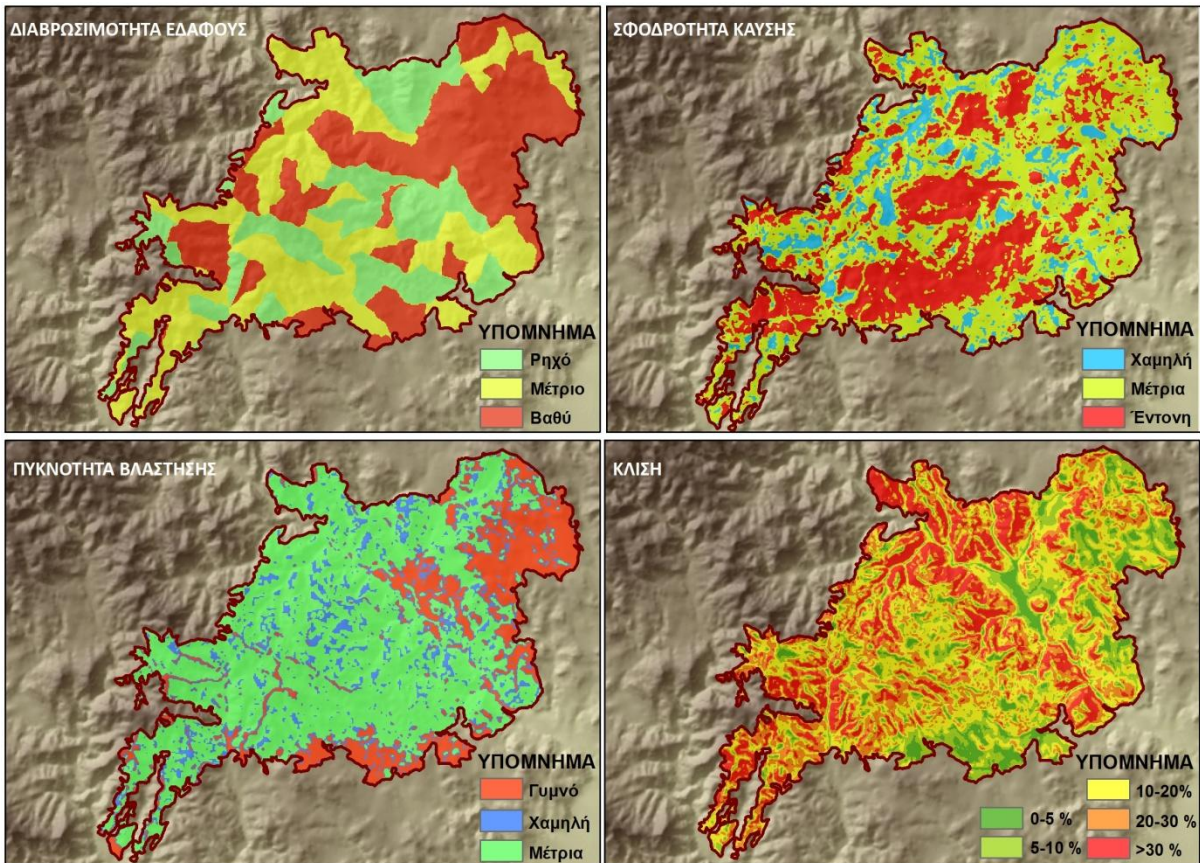
όπου E είναι ο δείκτης διάβρωσης, S ο συντελεστής κλίσης, CD ο συντελεστής πυκνότητας βλάστησης, BS ο συντελεστής σφοδρότητας καύσης και SE ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους

Για τον υπολογισμό των κλίσεων αξιοποιήθηκε το DEM της περιοχής που προήλθε από το δορυφόρο ASTER (GDEM v2, 30 m). Το χωρικό αρχείο πυκνότητας της βλάστησης είναι όμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε και στην προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιών, μόνο που οι τιμές του μεταφράστηκαν στη μέση τιμή της κάθε κατηγορίας. Η κατηγοριοποίηση της πυκνότητας βλάστησης έγινε σε τρεις τάξεις: άγονο/ γυμνό (0%), χαμηλή πυκνότητα ($\leq 40\%$), μέση-υψηλή πυκνότητα ($>41\%$). Όπως διαπιστώθηκε και από την επίσκεψη στην περιοχή, το έδαφος είχε καλυφθεί από μέτριου πάχους στρώμα με καυλισμένες πευκοβελόνες, φαινόμενο που ευνοεί την κατακράτηση των όμβριων υδάτων και την ομαλή καθίζηση τους εντός του εδάφους (Shakesby *et al.* 1993, 1996). Επιπλέον, οι ιστάμενοι κορμοί έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν τμήμα του ύδατος είτε στα κλαδιά, είτε στον κορμό, είτε κοντά στις ρίζες τους, όπως και στο να μειώνουν την ταχύτητα πρόσκρουσης των σταγόνων με το έδαφος. Ως αποτέλεσμα, οι περιοχές με μικρότερη διάβρωση είναι αυτές όπου η πυκνότητα της βλάστησης ήταν υψηλή πριν την πυρκαγιά.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες επηρεασμού του ρυθμού διάβρωσης είναι η σφοδρότητα της πυρκαγιάς (Rubio *et al.* 1997, Prosser and Williams 1998). Ο υπολογισμός της σφοδρότητας έγινε με τη μέθοδο dNBR που έχει ήδη περιγραφεί αναλυτικά, ταξινομημένη σε τρεις τάξεις (χαμηλή, μέση και έντονη). Οι περιοχές με τιμή dBNR < 99 κατηγοριοποιήθηκαν ως χαμηλής σφοδρότητας, από 100 έως και 439 ως μέση, και όσες είχαν τιμή > 439 ως περιοχές υψηλής σφοδρότητας καύσης.

Ο παράγοντας της διαβρωσιμότητας του εδάφους προσεγγίστηκε με συντελεστές από 1 έως και 3 σύμφωνα με το πάχος της εδαφικής ζώνης, που αντιστοιχεί σε αβαθές έδαφος με υψηλή περιεκτικότητα σε βράχους, χαλίκια ή πέτρες (1), μέτριου βάθους έδαφος με μέτρια περιεκτικότητα σε πέτρες (2) και βαθύ έδαφος με λίγες πέτρες (3). Για τον καθορισμό της διαβρωσιμότητας αξιοποιήθηκαν δεδομένα που πρόεκυψαν από τις τρεις διαχειριστικές μελέτες που αφορούν τα διαχειριζόμενα δάση της καμένης έκτασης. Τα διαθέσιμα δεδομένα περιείχαν πληροφορίες για την κατάσταση των εδαφών σε επίπεδο συστάδας και ως αποτέλεσμα η χαρτογράφηση τους πραγματοποιήθηκε με αυτές. Το βάθος του εδάφους και η περιεκτικότητά του σε πέτρες εντός της κάθε λεκάνης απορροής καθορίζεται από την κλίση, την έκθεση και τη θέση του κάθε τόπου σε σχέση με τα ρέματα. Τα λεπτά πετρώδη εδάφη βρίσκονται συνήθως σε απότομες νότιες πλαγιές, ενώ τα βαθεία, λιγότερο πετρώδη εδάφη βρίσκονται σε ομαλές βόρειες πλαγιές.

Για την κατηγοριοποίηση της διαβρωσιμότητας των συστάδων ακολουθήθηκε η εξής μέθοδος: Για όσες συστάδες υπήρχαν σημεία δειγματοληψίας, αντλήθηκαν πληροφορίες τόσο για το βάθος των εδαφών, όσο και για την περιεκτικότητά τους σε πέτρες. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν οι φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά την επίσκεψη στην περιοχή. Για όλες τις άλλες συστάδες, η κατηγοριοποίηση έγινε βάσει των εδαφολογικών και γεωλογικών δεδομένων των διαχειριστικών μελετών. Για όσες συστάδες είχαν βάθος εδάφους < 30 cm (περιγράφονταν ως αβαθείς ή αβαθείς έως μετρίως βαθείς ή μετρίως βαθείς έως αβαθείς) ενώ χαρακτηρίζονταν και ως άγονες και ξηρές (με πιθανότητες εμφάνισης του βασικού πετρώματος ή ακόμα και αργιλλοχαλικώδεις), αποδίδονταν η τιμή διάβρωσης 1. Για όσες συστάδες είχαν βάθος εδάφους από 30 έως 60 cm (περιγράφονταν ως μέτρια βαθείς ή μέτρια βαθείς ως αβαθείς), ενώ χαρακτηρίζονταν και ως μέτρια γόνιμες ή γόνιμες, αποδίδονταν η τιμή διάβρωσης 2. Τέλος, για όσες συστάδες είχαν βάθος εδάφους > 60 cm (χαρακτηρίζονταν ως βαθείς ή μετρίως βαθείς έως αβαθείς), ενώ χαρακτηρίζονταν και ως μετρίως γόνιμες ή γόνιμες αποδίδονταν η τιμή διάβρωσης 3.



Εικόνα 7.9: Οι τέσσερις εισροές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του χωρικού δείκτη διαβρωσιμότητας

7.2.7. Εκτίμηση επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος με το λογισμικό FOFEFMMT

Για την απόδοση των μοντέλων FEFM χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι μοντέλων FLM των Lutes *et al.* (2009), στην έρευνα των οποίων δίνονται αναλυτικές προδιαγραφές για το πώς πρέπει να αποδίδονται τα μοντέλα σε κάθε περιοχή. Για την περίπτωση της πυρκαγιάς του νομού Έβρου αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τις συστάδες της περιοχής, κυρίως βάσει των πληροφοριών που περιείχαν σχετικά με την κατάσταση του χούμου, του ξηροτάπητα και του χλωροτάπητα. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν επικουρικά οι φωτογραφίες που πάρθηκαν από την επίσκεψη στην περιοχή, σε συνδυασμό με παρατηρήσεις σε γειτονικές άκαυτες περιοχές.

Η περιοχή δράσης της φωτιάς αποτελούνταν στο μεγαλύτερο μέρος της από αναδασώσεις κωνοφόρων ηλικίας περίπου 40-50 ετών, ενώ υπήρχαν κάποια μικρά τμήματα όπου η ηλικία τους ξεπερνούσε τα 70 έτη. Ως αποτέλεσμα, δεν παρατηρήθηκε μεγάλη διαχρονική συσσώρευση καύσιμης ύλης και δεν εντοπίστηκαν περιοχές όπου περιείχαν μεγάλη ποσότητα από μεγάλης διαμέτρου καύσιμη ύλη (1000-h), παρά μόνο σποραδική και ασυνεχή. Για όσες συστάδες χαρακτηρίζονταν ότι έχουν ανύπαρκτο ή ελάχιστο κατά θέσεις χούμο, αποδόθηκε το FLM 11, ένα μοντέλο το οποίο περιέχει μικρή ποσότητα λεπτών ξυλωδών υπολειμμάτων (Fine Woody Debris-FWD) με ελάχιστο ή καθόλου χούμο. Στις συστάδες που χαρακτηρίζονταν ότι έχουν ελάχιστο ή κατά θέσεις χούμο και βελονοτάπητα αποδόθηκε το FLM 12, ένα μοντέλο όπου έχει μικρό στρώμα βελονοτάπητα και μέτριο FWD. Στις συστάδες με μέτριο στρώμα βελονοτάπητα (πάχους 1-3 cm) και λεπτό ή μέτριο στρώμα χούμου αποδόθηκε το FLM 13, ένα μοντέλο που περιέχει μέτριο φορτίο FWD, ρηχό έως μέτριο βελονοτάπητα και ρηχό χούμο. Σε μια συστάδα αποδόθηκε το FLM 31, με μέτριο βελονοτάπητα, ρηχό χούμο και λίγους νεκρούς κορμούς όπως πρόεκυψε από παρατήρηση

στο πεδίο. Στις συστάδες με μέτριο βελονοτάπητα και χούμο (2-3 cm) αποδόθηκε το FLM 41, ένα μοντέλο με μέτριο FWD, ρηχό έως μέτριο βελονοτάπητα και καθόλου νεκρούς κορμούς. Τέλος, στις συστάδες με άφθονο βελονοτάπητα και χούμο ή κατά θέσεις άφθονο με μέτριο έως άφθονο χλωροτάπητα, αποδίδονταν το FLM 102 που περιγράφει καταστάσεις με μεγάλο στρώμα βελονοτάπητα, μικρό στρώμα χούμου αλλά και λίγους μικρούς κορμούς.

Από τον χάρτη χρήσεων γης, σε όσες περιοχές χαρακτηρίζονταν ως οικισμοί και αντιπυρικές ζώνες αποδόθηκε το άκαυτο μοντέλο FLM 931. Στους αγρούς και τις χορτολιβαδικές εκτάσεις αποδόθηκε το μοντέλο FLM 15 που περιγράφει θαμνώδεις εκτάσεις με χαμηλό συνολικό φορτίο KY. Στις εκτάσεις που χαρακτηρίζονταν ως αείφυλλα-σκληρόφυλλα αποδόθηκε το μοντέλο FLM 54 που περιγράφει θαμνώδεις περιοχές με μέτριο συνολικό φορτίο καύσιμης ύλης. Τέλος, στις εκτάσεις με παραποτάμια βλάστηση αποδόθηκε το μοντέλο FLM 62 που περιγράφει καταστάσεις με μέτριο στρώμα χούμου, λίγους λεπτούς κορμούς και λίγο ξηροτάπητα.

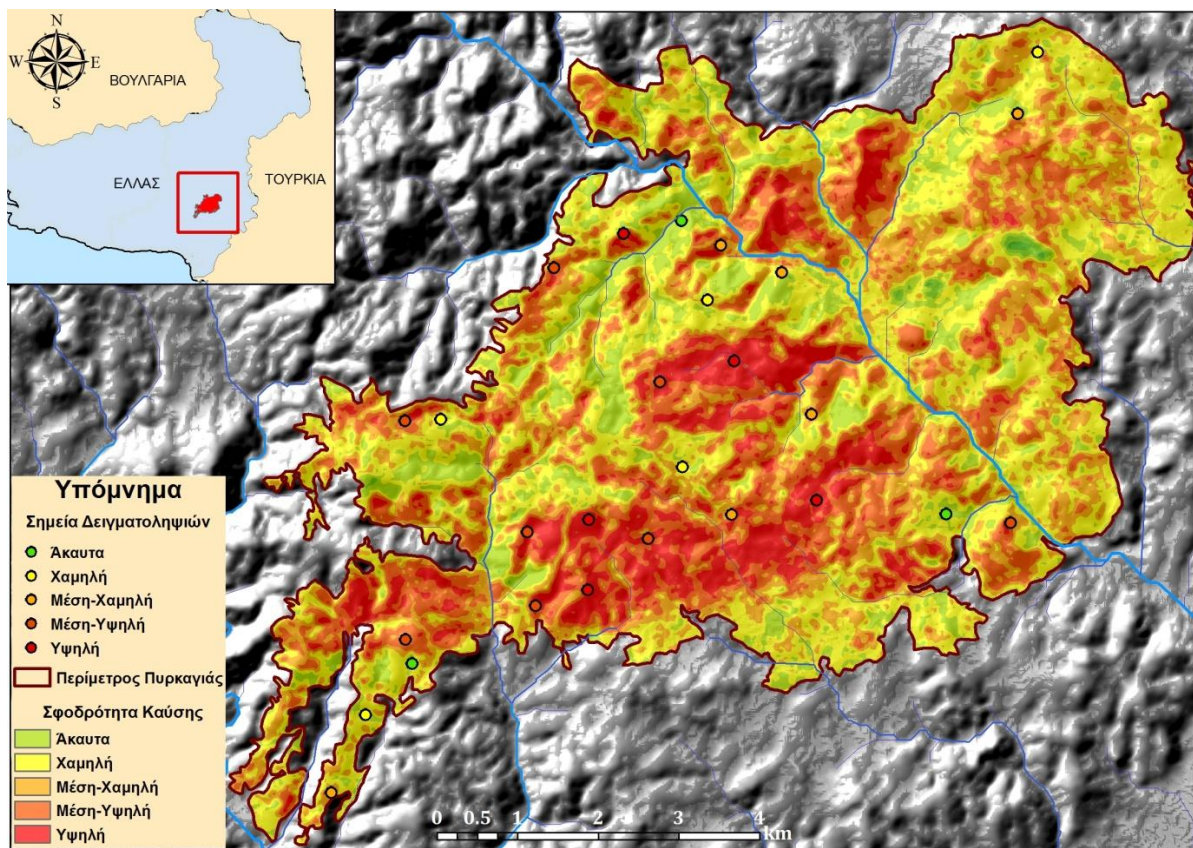
Για τη διενέργεια της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τιμές: ταχύτητα ανέμου 35,4 km/h στα 6.1 m από διεύθυνση πνοής 45°, αρχικές τιμές υγρασίας 5, 6, 7, 60 και 90%, υγρασία φυλλώματος 80% και υγρασία εδάφους 10%. Επιπλέον καθορίστηκε περίοδος προσαρμογής της υγρασίας από 23/8 στις 08:00 έως και τις 24/8 στις 13:30. Η περιοχή ορίστηκε να είναι τύπου Pacific West σε εποχή Summer, ενώ η προσομοίωση της συμπεριφοράς πυρκαγιάς κόμης έγινε με τη μέθοδο των Scott and Reinhardt (2001). Τέλος, το CWD ορίστηκε να έχει κατανομή Left, να είναι σάπιο κατά 20% και η περιεχόμενη υγρασία του να είναι 15% για όλα τα FEFM.

7.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

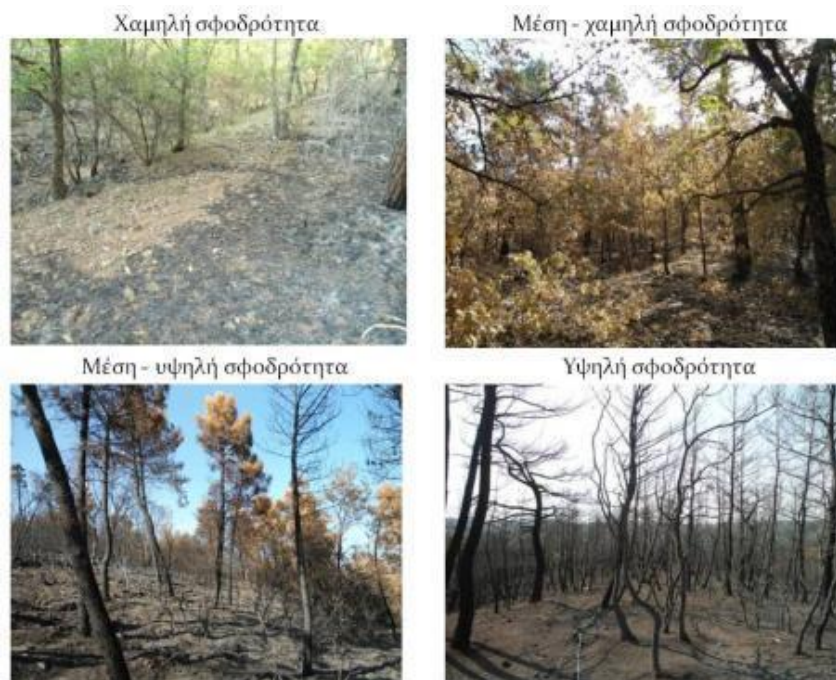
Το βασικό αποτέλεσμα της εκτίμησης της σφοδρότητας ήταν ο χάρτης σφοδρότητας καύσης (Εικόνα 7.10). Στον χάρτη διακρίνουμε με ποια σφοδρότητα και σε ποιες περιοχές έδρασε η πυρκαγιά, όπως επίσης και τα 27 σημεία δειγματοληψίας. Το νότιο τμήμα της έκτασης κάηκε με μέση-υψηλή και υψηλή σφοδρότητα, όμοια με ένα μικρότερο τμήμα στα κεντρικά και ένα μικρότερο στα βόρεια. Οι περιοχές όπου η σφοδρότητα ήταν χαμηλή εντοπίζονται στα βορειοανατολικά και στα δυτικά, ενώ με χαμηλή και μέση-χαμηλή έκαψε κυρίως στα ανατολικά και στα νοτιοανατολικά. Εντός της περιμέτρου διαπιστώθηκε ότι το 12% (700 ha) δεν κάηκε καθόλου, το 31% (1.800 ha) κάηκε με χαμηλή σφοδρότητα, το 26% (1.500 ha) κάηκε με μέση-χαμηλή σφοδρότητα, το 23% (1.400 ha) κάηκε με μέση-υψηλή σφοδρότητα και το 8% (500 ha) κάηκε με υψηλή σφοδρότητα. Για τα 27 σημεία δειγματοληψίας, καταγράφηκε η τιμή του dNBR και προέκυψε ότι η συσχέτιση με τη μέθοδο Pearson είναι $r=0,80$ ($p<0,001$). Για καλύτερη ερμηνεία και κατανόηση των αποτελεσμάτων του χάρτη σφοδρότητας καύσης, στην Εικόνα 7.11 παρουσιάζονται τέσσερις χαρακτηριστικές φωτογραφίες των τύπων σφοδρότητας που παρατηρήθηκαν κατά τη διενέργεια των δειγματοληψιών.

Από την ανάλυση της μεταπυρικής κατάστασης της βλάστησης (Εικόνα 7.12), αποδείχτηκε ότι ένα μεγάλο τμήμα εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς διασώθηκε, ενώ ένα αντίστοιχα μεγάλο τμήμα είχε δυνατότητες ανάκαμψης (καυλισμένα και ζωντανή βλάστηση). Συγκεκριμένα εντός της περιμέτρου το 58% (3.400 ha) κάηκε ολοσχερώς, το 20% (1.200 ha) καυαλίστηκε, το 17% (1.000 ha) είναι ζωντανό και το 5% (300 ha) είναι άφλεκτο/άγονο έδαφος. Η ακρίβεια της ταξινόμησης είναι ίση με 60% για τα καμένα, ίση με 71% για τα καυαλισμένα, ίση με 73% για τα άκαυτα, ενώ για τις άγονες εκτάσεις η πρόβλεψη ήταν 100% ακριβής. Επιπλέον, έγινε δυνατή η χαρτογράφηση και αναγνώριση των περιοχών όπου επλήγησαν ολοσχερώς από την πυρκαγιά και στις οποίες πρέπει να δοθεί άμεσα έμφαση εφαρμόζοντας μεθόδους και πρακτικές αποκατάστασης. Από την προσομοίωση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς με το λογισμικό FARSITE κατέστη εφικτή η

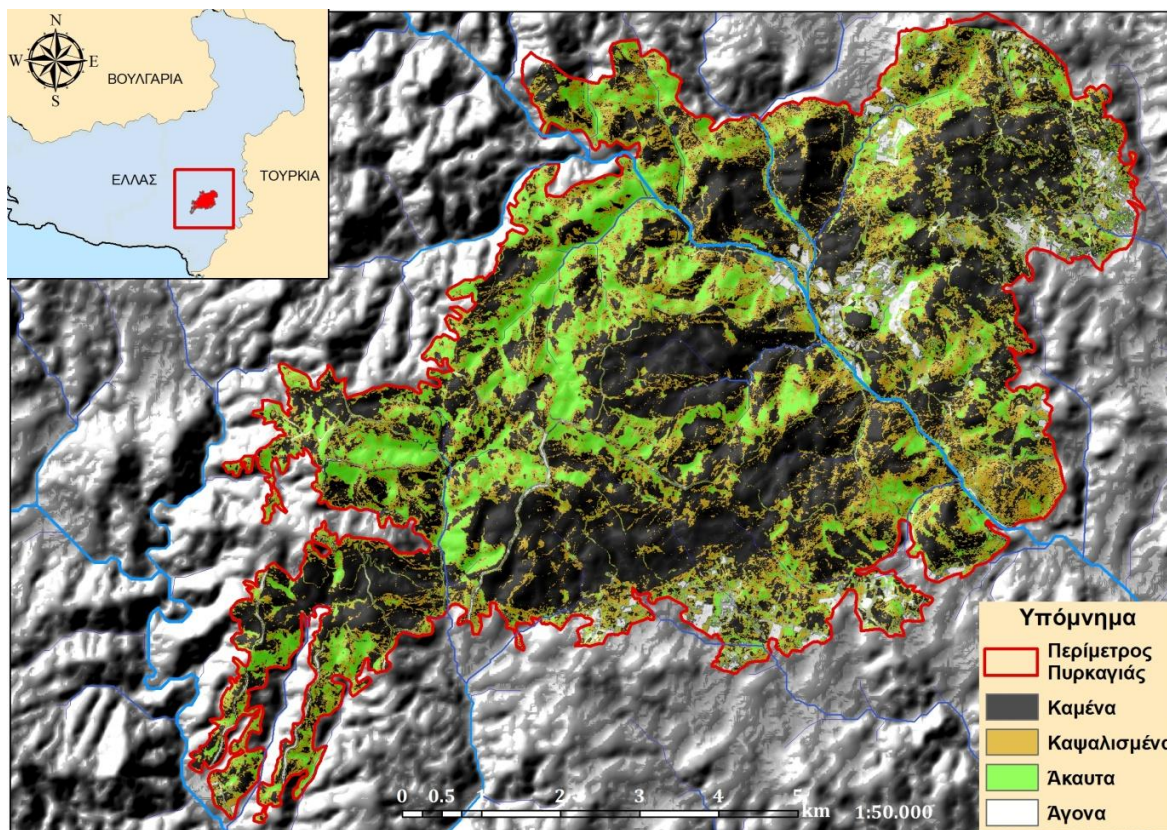
αποτύπωση της εξάπλωσης της φωτιάς κατά τις τέσσερις ημέρες που διήρκτησε (Εικόνα 7.13).



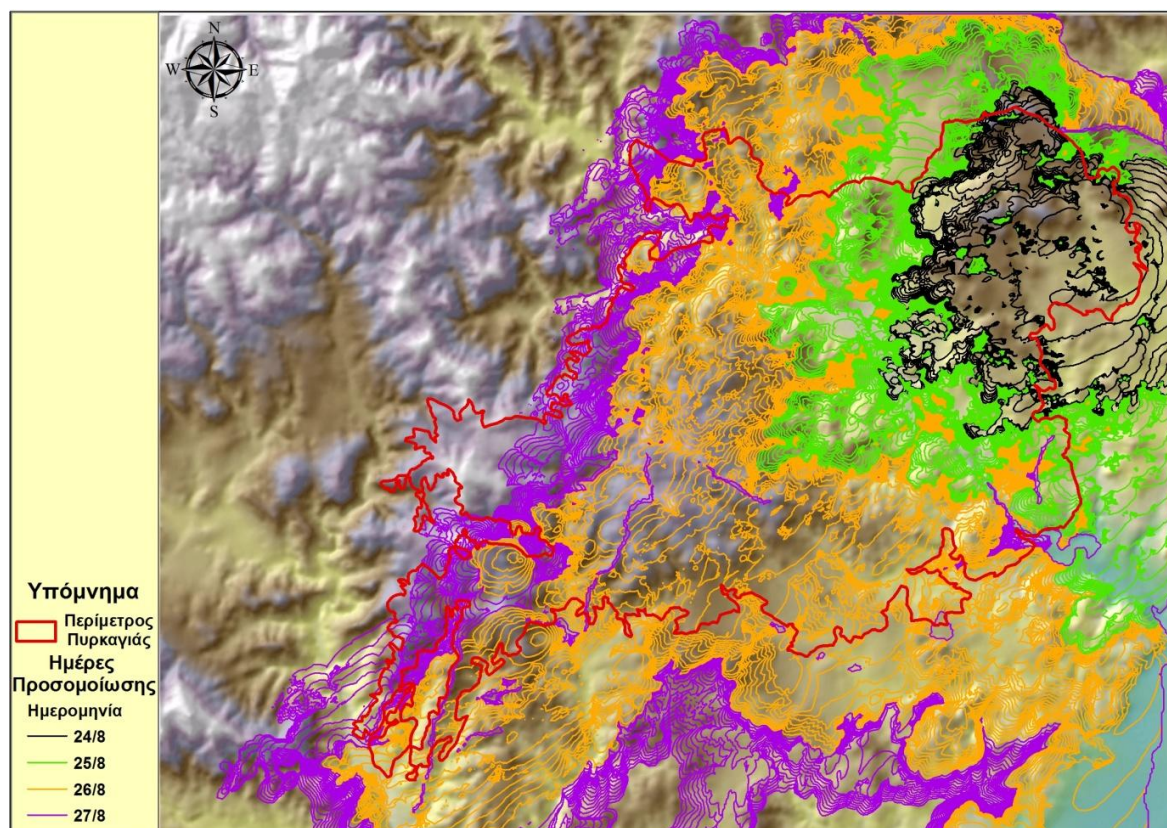
Εικόνα 7.10: Χάρτης σφοδρότητας καύσης εντός της περιμέτρου καύσης με τις θέσεις των 27 σημείων δειγματοληψίας



Εικόνα 7.11: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες των τεσσάρων κατηγοριών σφοδρότητας όπως μετρήθηκαν στο πεδίο

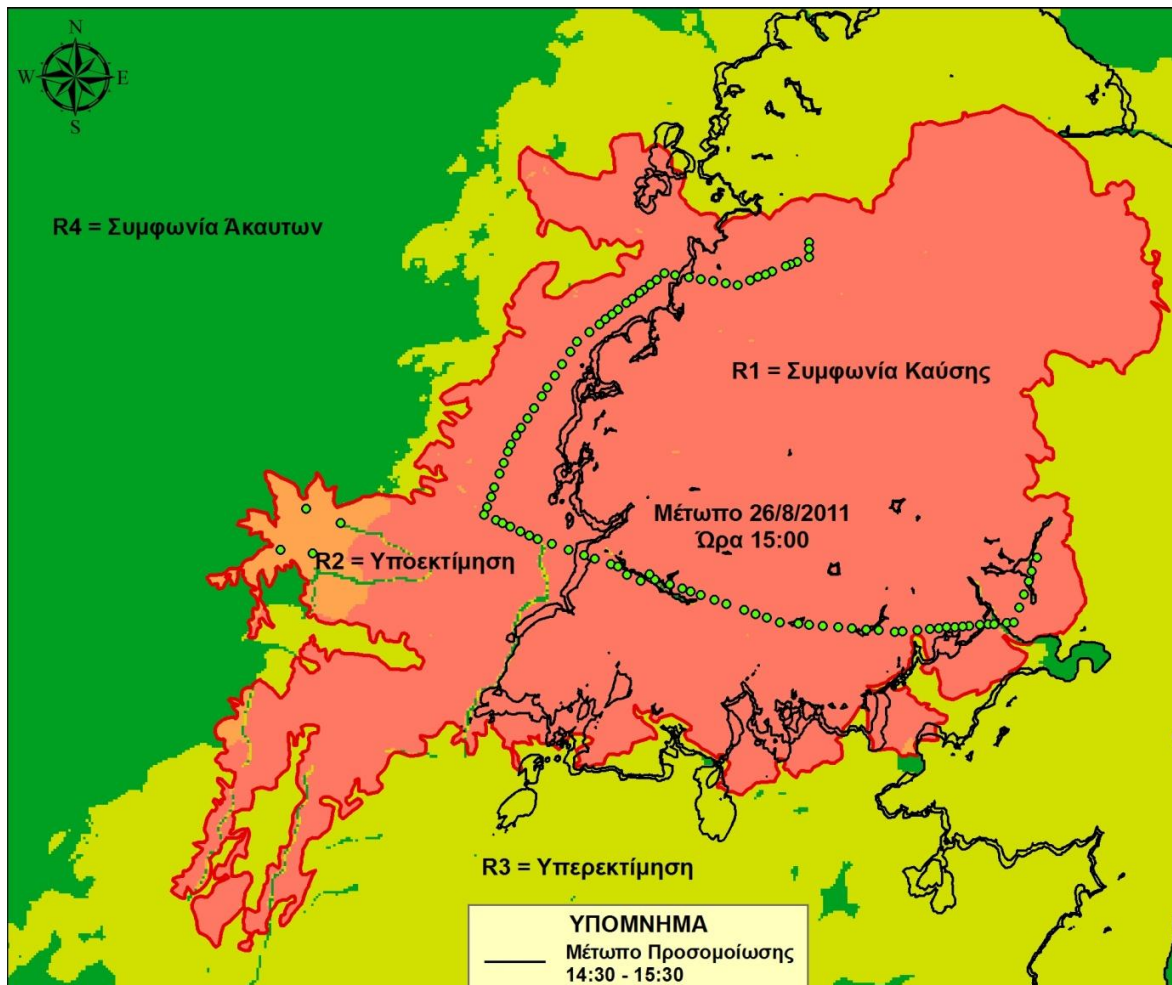


Εικόνα 7.12: Μεταπυρική κατάσταση της βλάστησης εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς



Εικόνα 7.13: Ωριαία εξάπλωση των μετώπων της πυρκαγιάς για κάθε μια από τις 4 ημέρες της διάρκειάς της

Στην Εικόνα 7.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ακριβείας της προσομοίωσης σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες της πυρκαγιάς. Από τη στατιστική ανάλυση με τους τρεις στατιστικούς δείκτες ανάλυσης ακρίβειας που χρησιμοποιήθηκαν και στο προηγούμενο κεφάλαιο, προέκυψε ότι ο $SC=0,58$, ο $JC=0,42$ και ο $AAC=0,61$. Επιπλέον, διακρίνεται σε ποιες περιοχές υπάρχει συμφωνία καμένων και άκαυτων περιοχών (R1 και R4), σε ποιες υπάρχει υποεκτίμηση (R2) και σε ποιες υπερεκτίμηση (R3) σε σχέση με την πραγματική τελική περίμετρο της πυρκαγιάς. Με πράσινες τελείες παρουσιάζεται το πραγματικό μέτωπο της 26/8/2011 και ώρα 15:00, καθώς και οι αποδεδειγμένες εκτάσεις όπου αναφλέγησαν λόγω της δράσης της κηλίδωσης. Είναι εμφανές ότι υπάρχει σημαντική υπερεκτίμηση στα νότια και στα βόρεια της καμένης έκτασης, η οποία εκδηλώθηκε κατά την τρίτη ημέρα της προσομοίωσης (26/8). Λόγω έλλειψης επαρκών στοιχείων για την ακριβή θέση της πυρκαγιάς για όλες τις ημέρες, χρησιμοποιήθηκαν οι μόνες διαθέσιμες πληροφορίες προερχόμενες από τις αεροφωτογραφίες που ελήφθησαν στις 26/8/2011. Από την ανάλυση που ακολούθησε (Πίνακας 7.2), διαπιστώθηκε ότι το 37% των σημείων της πραγματικής περιμέτρου ήταν μεταξύ του διαστήματος μικρότερο από 3 ώρες μπροστά έως και 3 ώρες πίσω από το προσομοιωμένο μέτωπο (δηλαδή σχετικά μικρή απόκλιση). Το 11% των σημείων απείχαν από -5 έως -3 ώρες πίσω από το προσομοιωμένο μέτωπο, και το και 14% από +3 έως +5 μπροστά από το προσομοιωμένο μέτωπο. Το 16% των σημείων απείχε πίσω από το προσομοιωμένο μέτωπο πάνω από 5 ώρες, ενώ το ποσοστό για διάρκεια από 5 έως 12 ώρες μπροστά από το προσομοιωμένο μέτωπο είναι 22%.



Εικόνα 7.14: Ανάλυση της προσομοιωμένης με την πραγματική έκταση της πυρκαγιάς

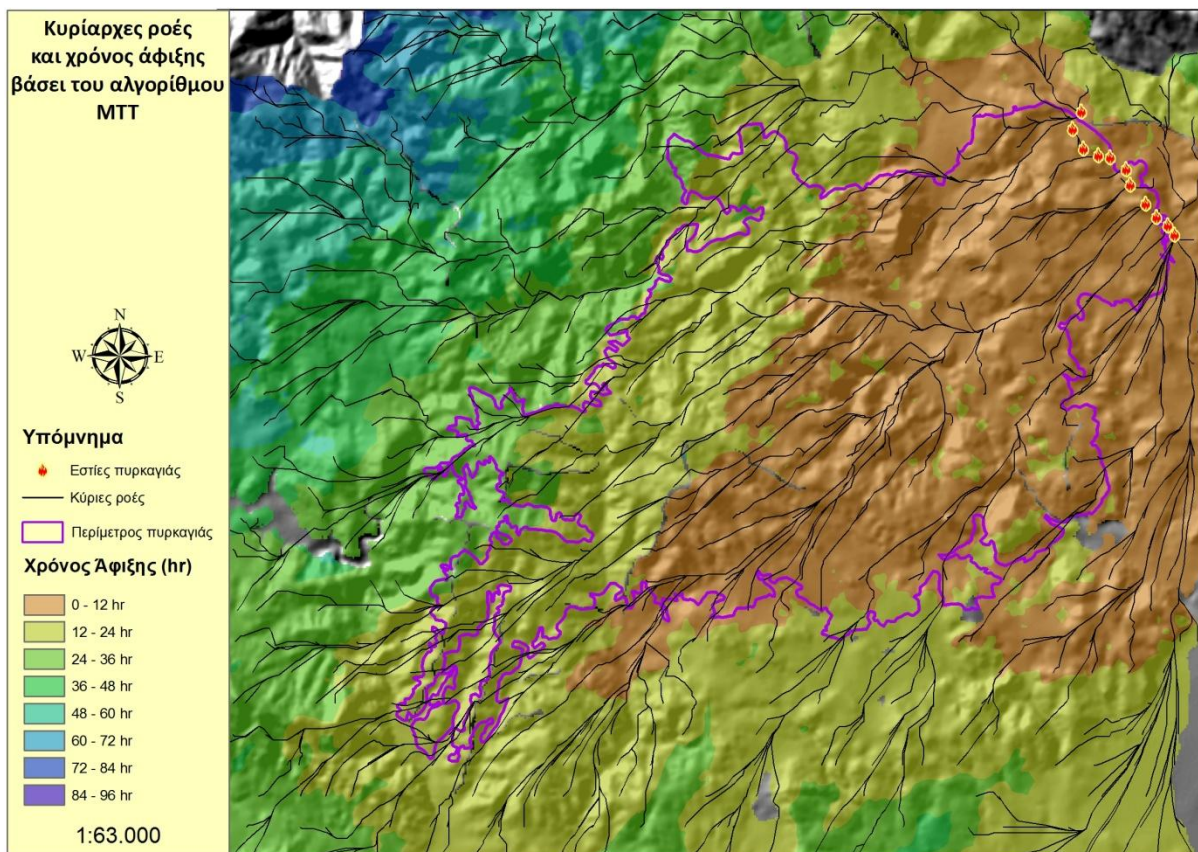
Πίνακας 7.2: Χρονική διαφορά μεταξύ πραγματικής και προσομοιωμένης περιμέτρου για την 26/8/2011 και ώρα 15:00

Διαφορά από το Προσομοιωμένο Μέτωπο (Ωρες)	Αθροιστικό Ποσοστό	Ποσοστό Κατηγορίας
> -12	12%	12%
Από -12 έως -5	16%	4%
Από -5 έως -3	27%	11%
Από -3 έως -2	48%	21%
Από -2 έως +2	60%	12%
Από +2 έως +3	64%	4%
Από +3 έως +5	78%	14%
Από +5 έως +12	100%	22%

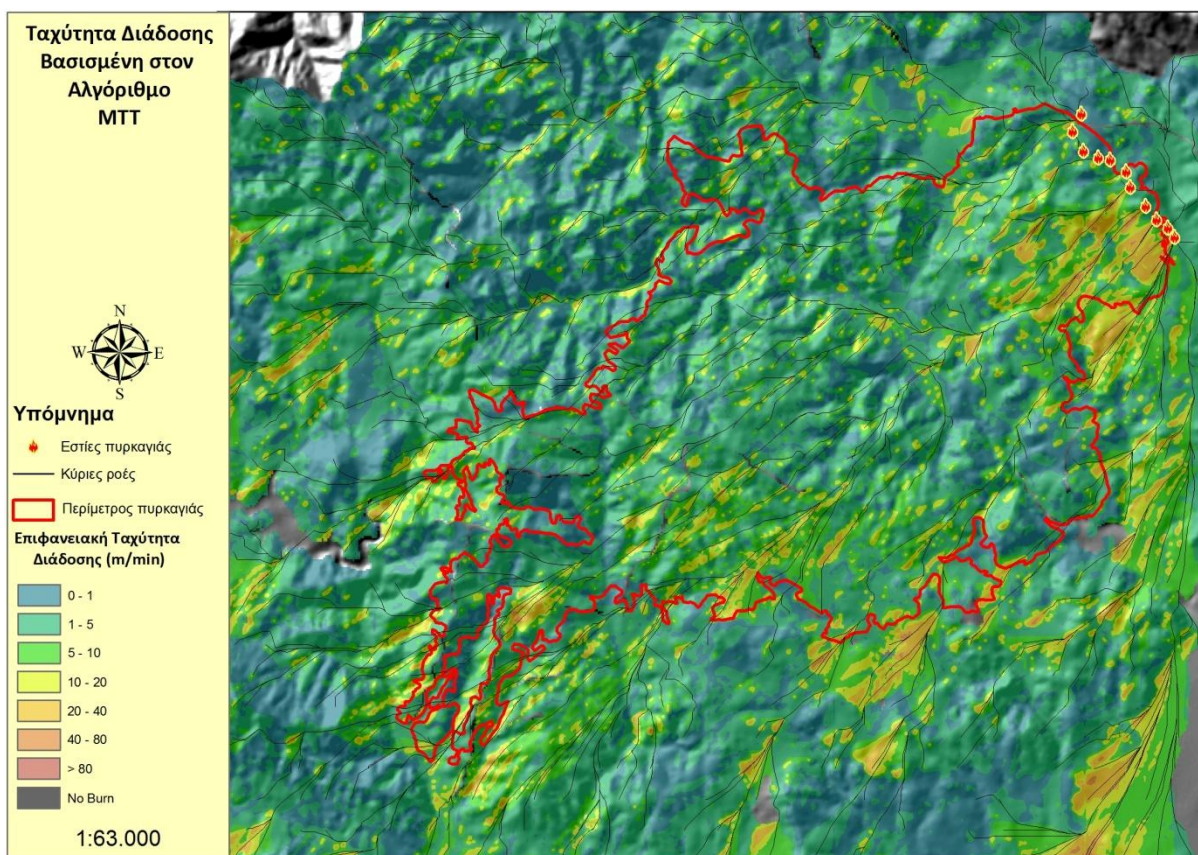
Από την προσομοίωση με το FlamMap προέκυψαν στοιχεία και δεδομένα που περιγράφουν τη συνολική εικόνα της πυρκαγιάς στο πεδίο σε όρους έντασης, καθώς και πληροφορίες για τις κύριες ροές διάδοσής της. Οι κύριες ροές διάδοσης φανερώνουν τα ταχύτερα κινούμενα τμήματα της πυρκαγιάς. Το μέτωπο κινήθηκε προς τα ΝΔ με μια κύρια ροή η οποία στη συνέχεια διακλαδώθηκε σε δύο τμήματα, το ένα προς τα δυτικά και το άλλο προς τα νότια (Εικόνα 7.15). Με τις καθορισμένες συνθήκες προσομοίωσης, η πυρκαγιά έκαψε το σύνολο της περιοχής εντός 24 ωρών. Η φωτιά διακλαδώνεται σε πολλές μικρότερης ταχύτητα κινούμενες ροές, ενώ μια προβλεπόμενη κύρια ροή, η οποία εν τέλει περιορίστηκε και δεν εκδηλώθηκε, είναι αυτή που από το νοτιότερο σημείο έναρξης κινήθηκε νότια. Τα μέτωπα που προήλθαν από τις άλλες αναφλέξεις εκδηλώθηκαν κυρίως στα βόρεια της καμένης έκτασης, άλλα αυτές οι ροές είχαν περιορισμένη έκταση. Ακόμα, από την Εικόνα 7.16 διαπιστώνεται ότι έξω από τα πραγματικά όρια της πυρκαγιάς η ταχύτητα εξάπλωσης μειώνεται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής, ενώ οι υψηλότερες ταχύτητες διάδοσης εντοπίζονται στα σημεία έναρξης της πυρκαγιάς και στα νότια-νοτιοδυτικά της καμένης έκτασης.

Στην Εικόνα 7.17 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της προσομοίωσης για τον τύπο πυρκαγιάς, όπου και προβλέφθηκε ενεργή πυρκαγιά κόμης στα κεντρικά και ΝΔ της καμένης έκτασης, ενώ παρόμοια συμπεριφορά προβλέφθηκε σε πολλές άλλες θέσεις στα κεντρικά και ΒΔ. Στα υπόλοιπα τμήματα της περιοχής προσομοιώθηκε έρπουσα πυρκαγιά με ελάχιστα σημεία λαμπαδιάσματος. Το αποτέλεσμα ταιριάζει με το χάρτη σφοδρότητας, όπου οι θέσεις με υψηλή σφοδρότητα ήταν σε μεγάλο βαθμό σε περιοχές με ενεργή πυρκαγιά κόμης. Στην Εικόνα 7.18 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της προσομοίωσης για τη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας. Είναι ευδιάκριτο ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν τις υψηλότερες εντάσεις είναι οι νότιες και οι ΝΔ. Το ΒΑ τμήμα όπου ξεκίνησε η πυρκαγιά έχει μέτριες έως χαμηλές τιμές, ενώ τα κεντρικά και δυτικά μέτριες έως υψηλές. Παρόμοια χωρική κατανομή παρουσιάζουν οι τιμές του μήκους φλόγας (Εικόνα 7.19). Τέλος, στην Εικόνα 7.20 παρουσιάζεται η θερμική ένταση του μετώπου, όπου και οι υψηλότερες τιμές διακρίνονται στις νότιες και ΝΔ περιοχές της καμένης έκτασης.

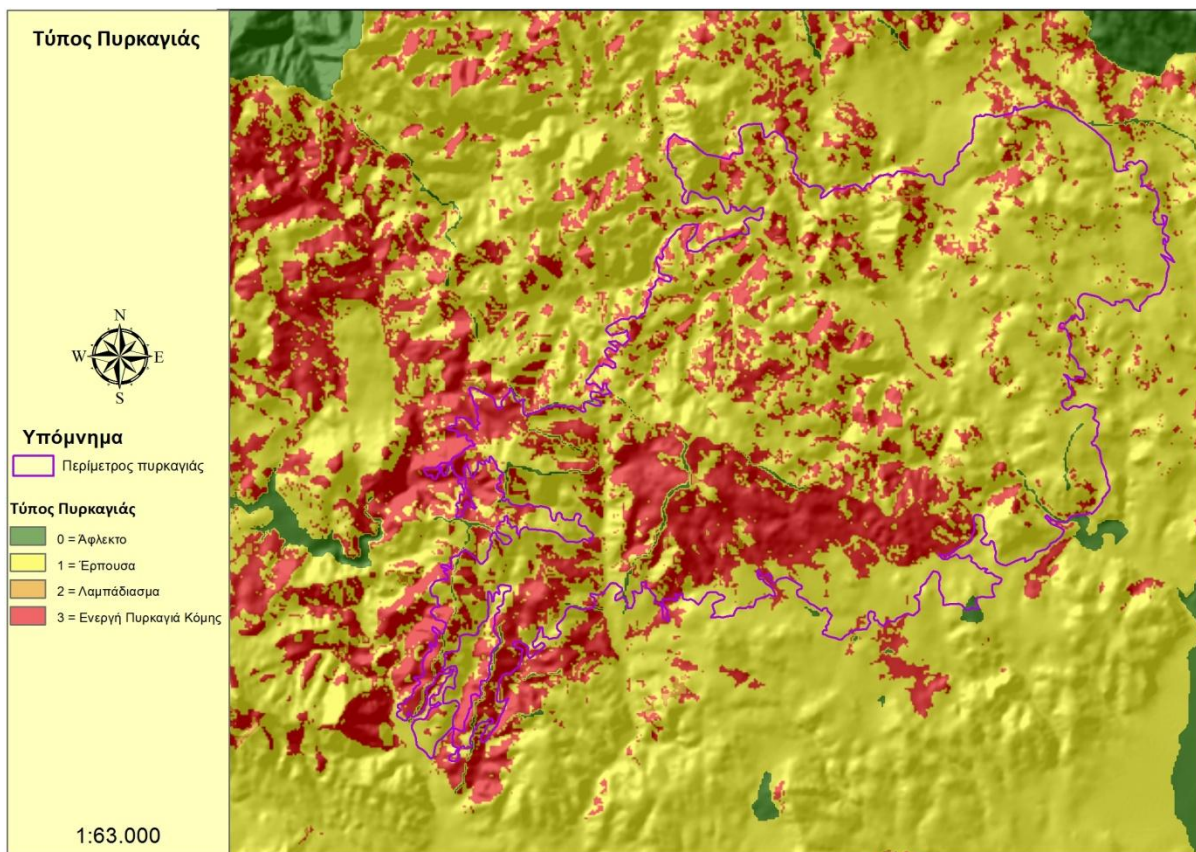
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης από το FOFEMMT χαρτογραφήθηκαν ώστε να αποδοθεί η χωρική διαφοροποίηση των μοντελοποιημένων πρωτογενών επιπτώσεων της πυρκαγιάς (Εικόνες 7.21-7.23). Τα αποτελέσματα της χαρτογραφικής ανάλυσης του δείκτη διαβρωσιμότητας του εδάφους παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.24.



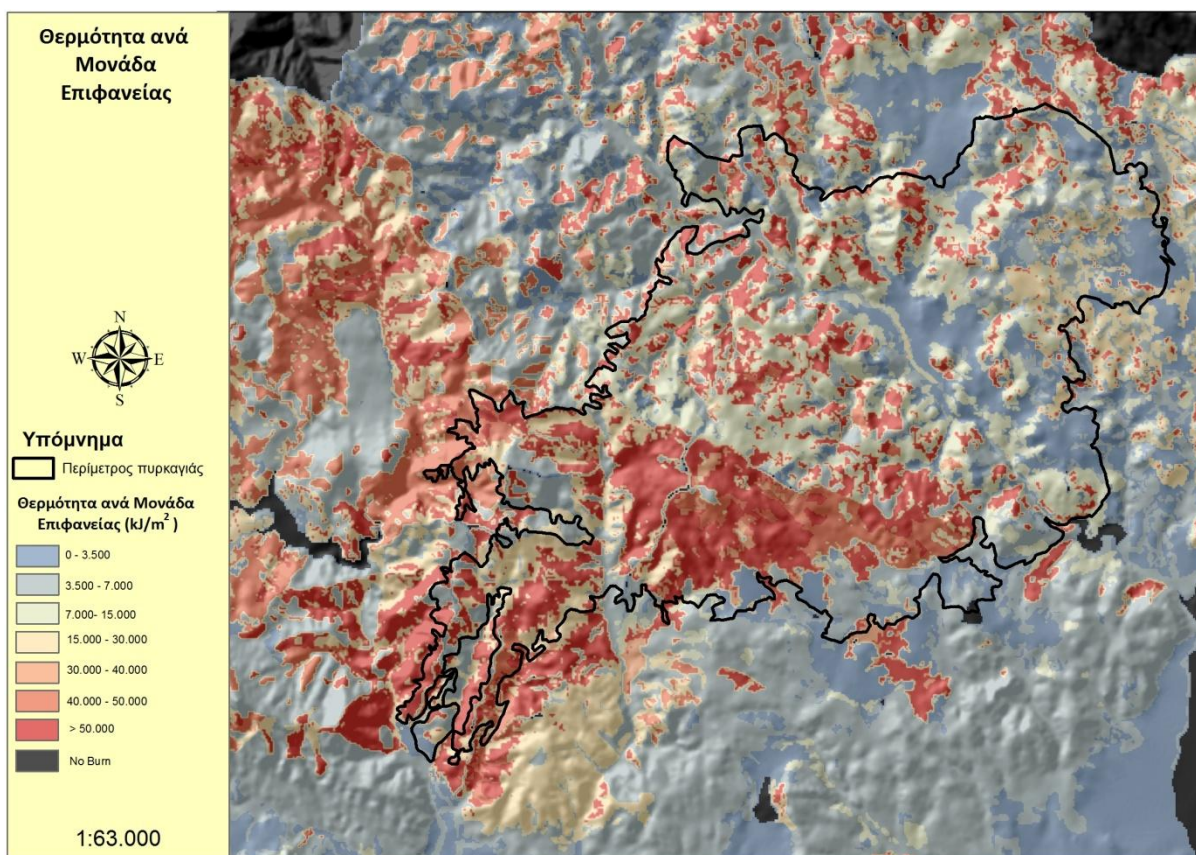
Εικόνα 7.15: Οι κύριες ροές διάδοσης της πυρκαγιάς



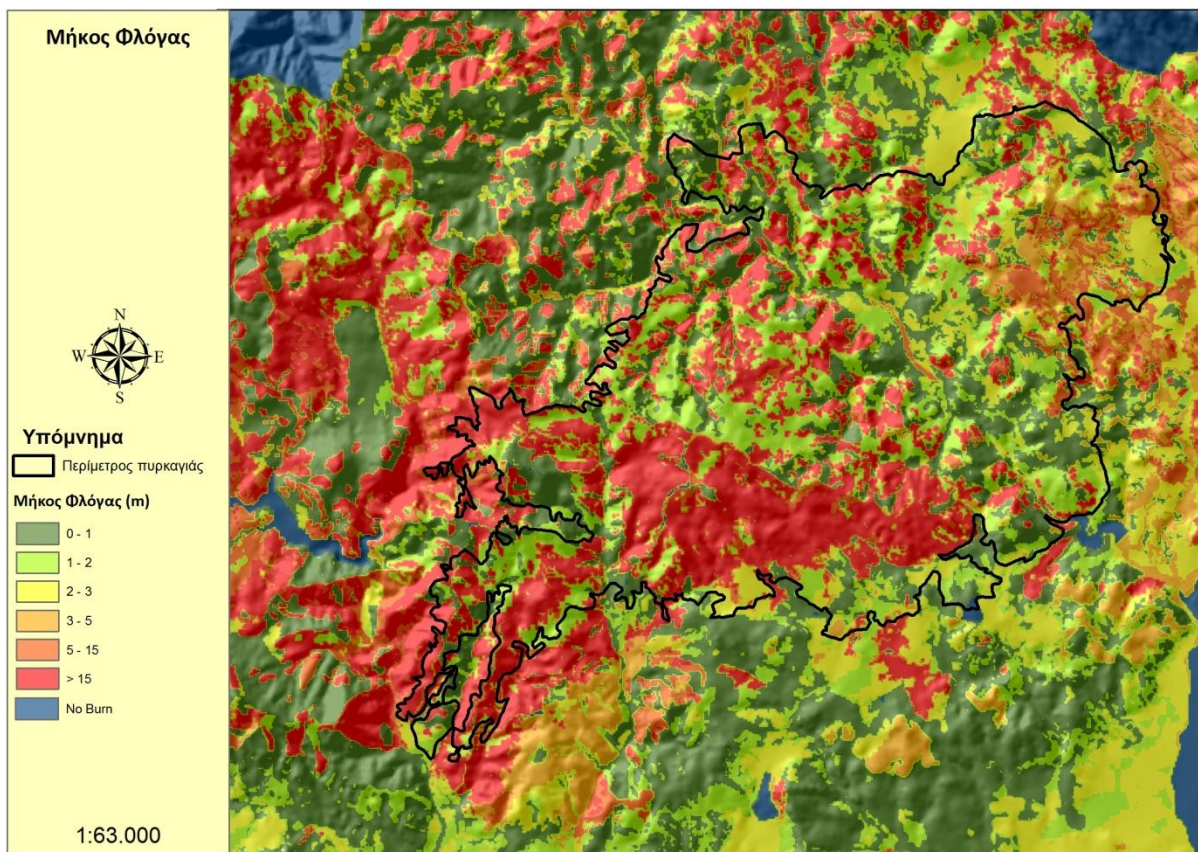
Εικόνα 7.16: Προσομοιωμένη ταχύτητα διάδοσης για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής



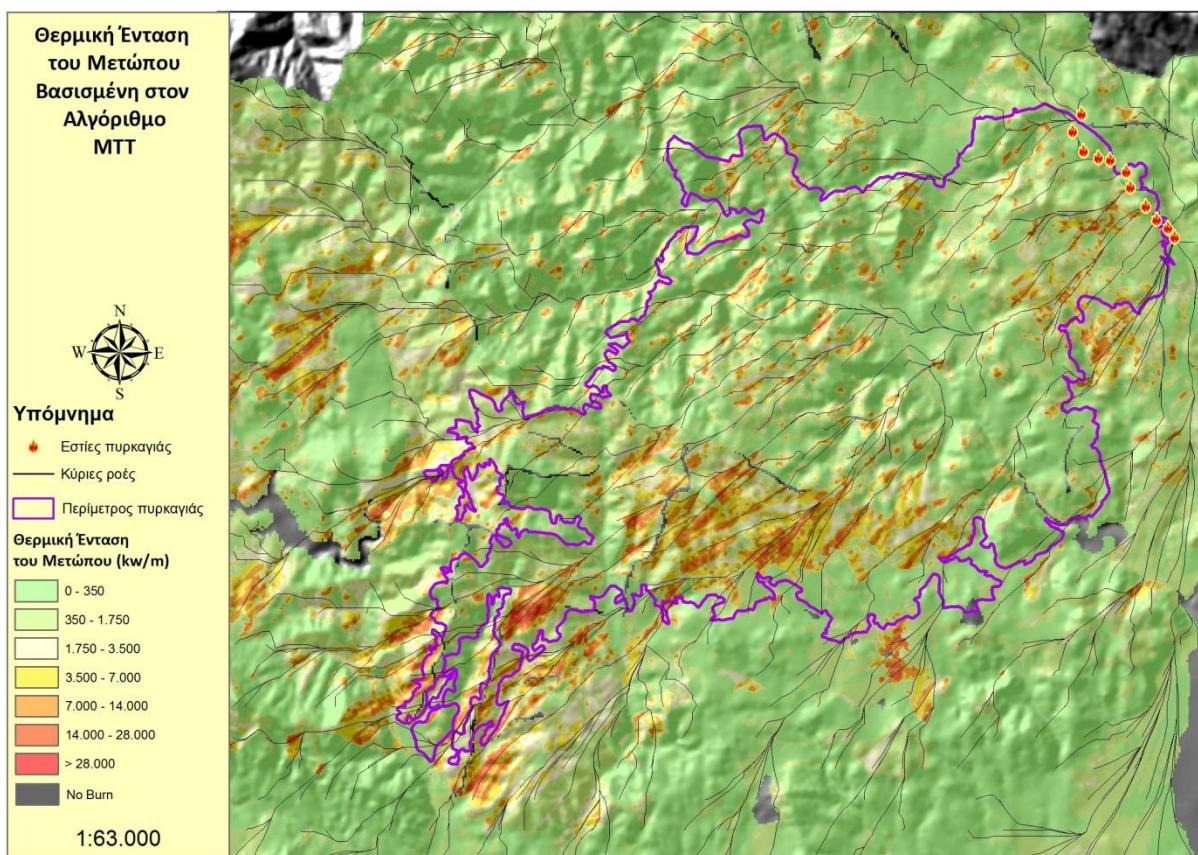
Εικόνα 7.17: Προσομοιωμένος τύπος πυρκαγιάς για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής



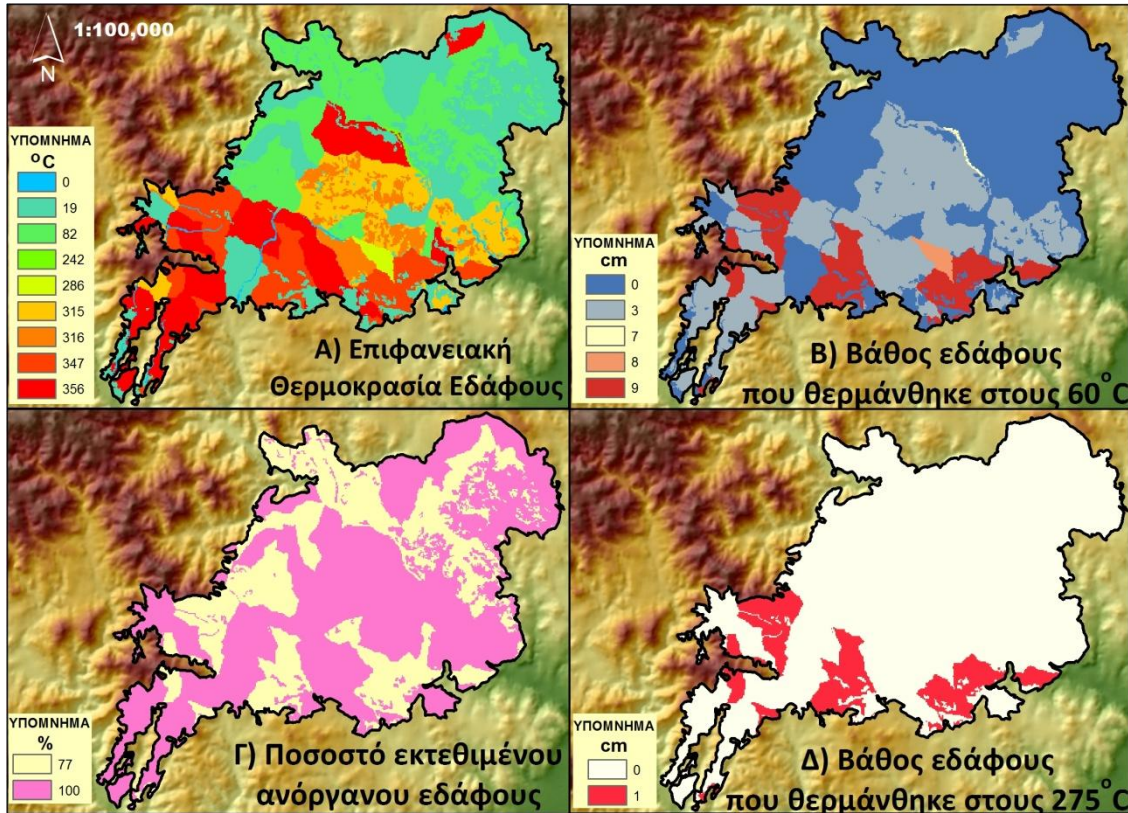
Εικόνα 7.18: Προσομοιωμένη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής



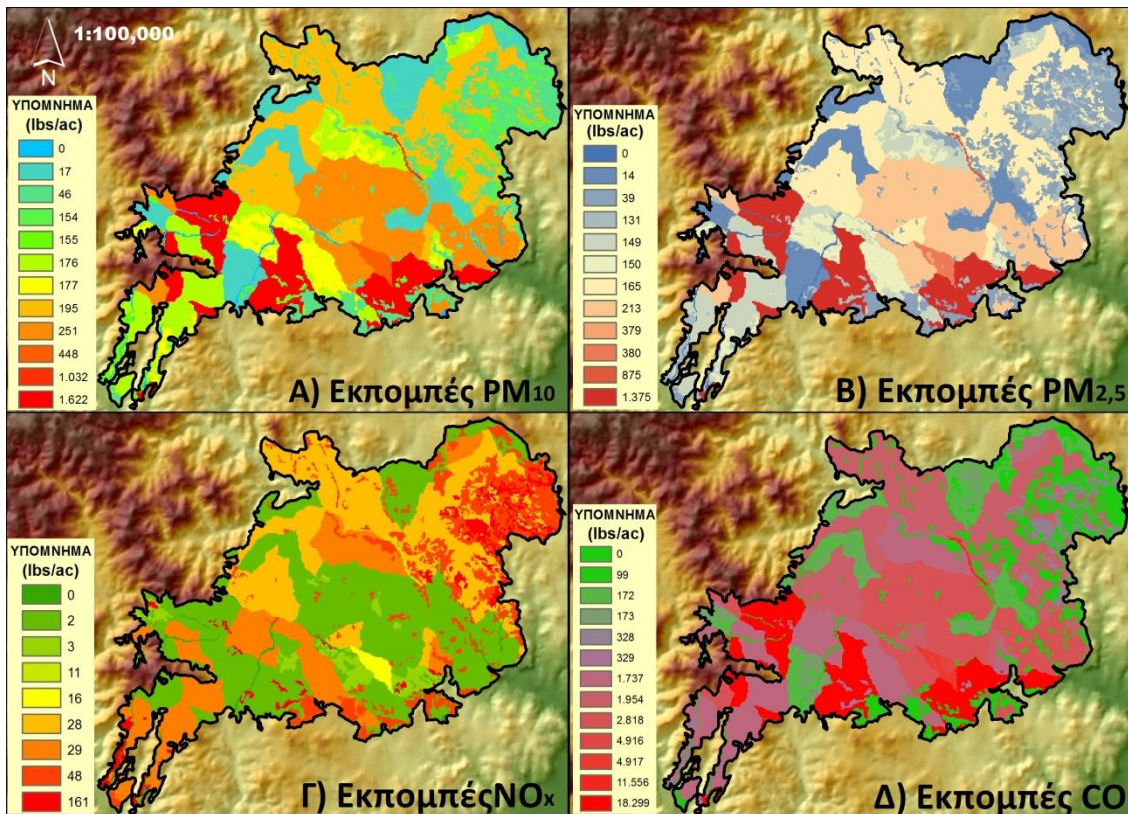
Εικόνα 7.19: Προσομοιωμένο μήκος φλόγας για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής



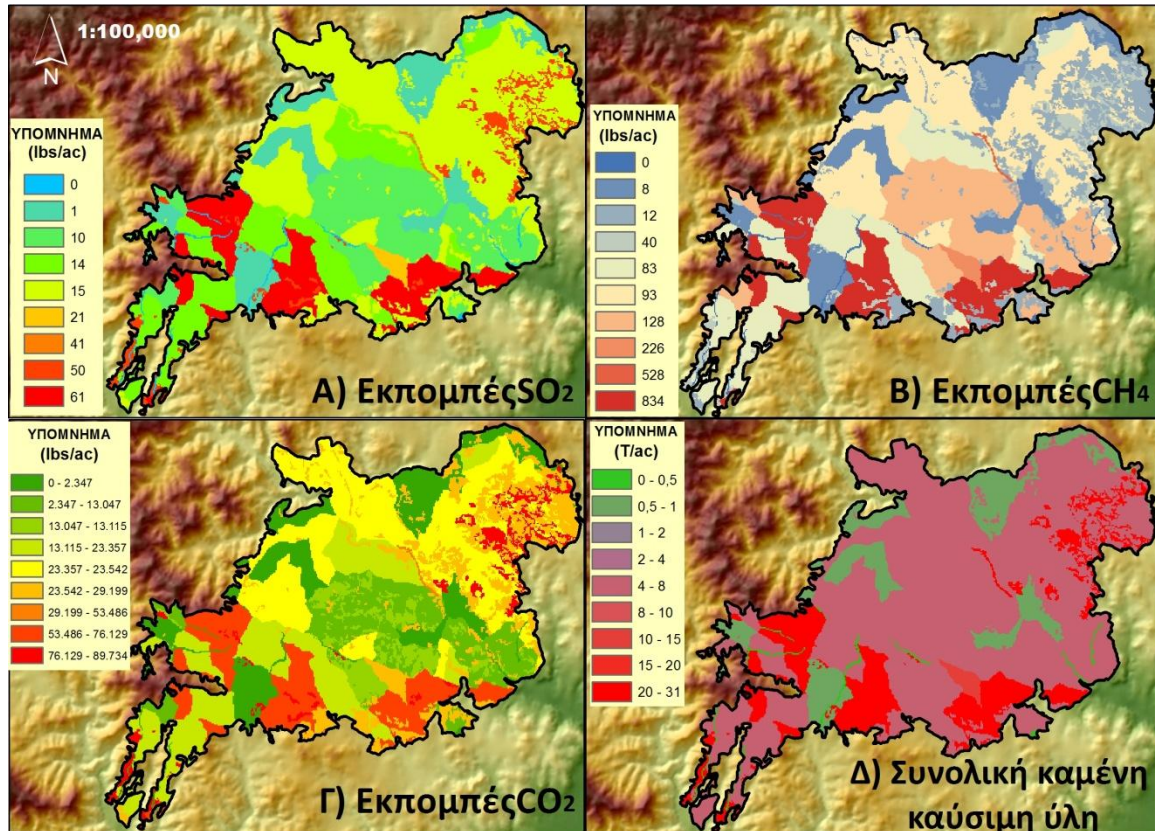
Εικόνα 7.20: Προσομοιωμένη θερμική ένταση του μετώπου για κάθε σημείο της πληγείσας περιοχής



Εικόνα 7.21: Επιπτώσεις της πυρκαγιάς στο έδαφος



Εικόνα 7.22: Έκλυση αερίων και σωματιδίων

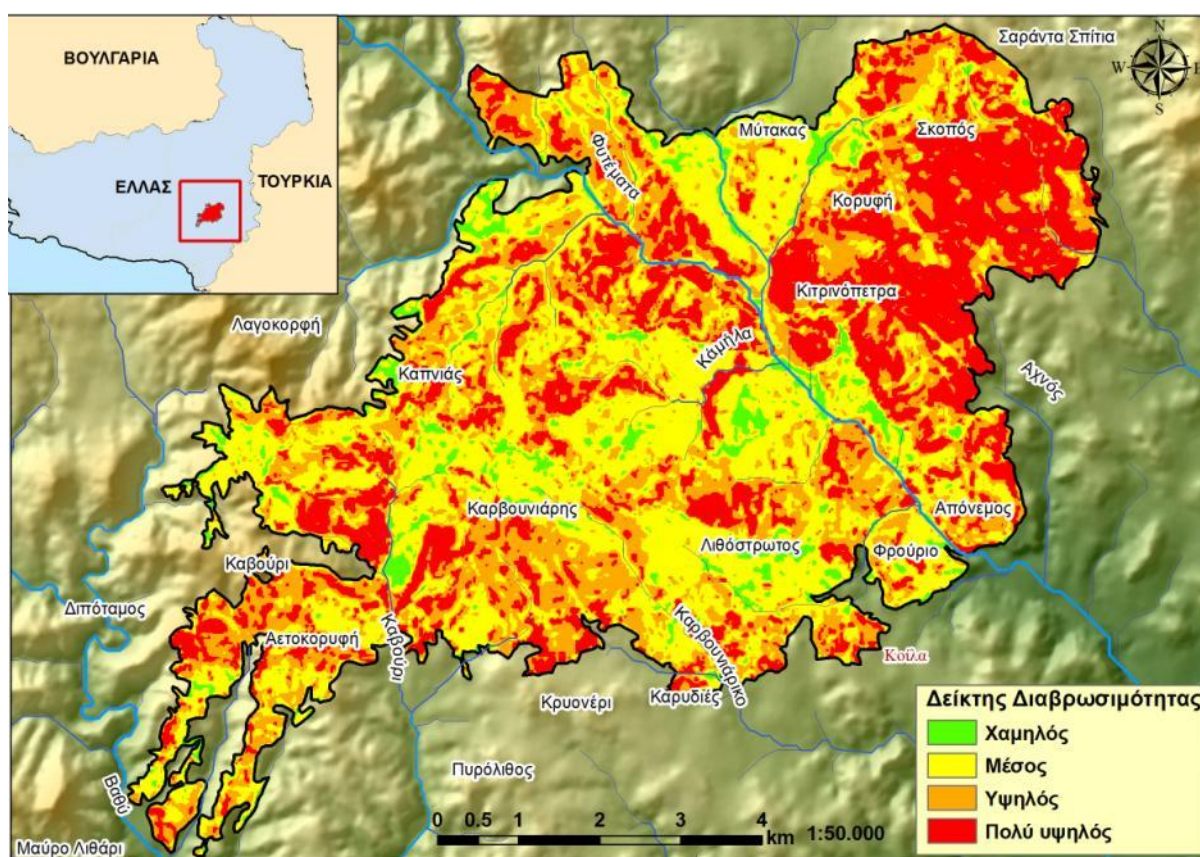


Εικόνα 7.23: Έκλυση αερίων και κατανάλωση φορτίου καύσιμης ύλης

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων ακολουθεί ο Πίνακας 7.3 στον οποίο παρατίθενται οι συνολικές εκπομπές αερίων της πυρκαγιάς και συγκριτικά στοιχεία/δεδομένα από άλλες ρυπογόνες δραστηριότητες. Για να υπολογιστούν οι τιμές αυτές έπρεπε να βρεθεί ο αριθμός των κελιών της κάθε μοναδικής τιμής εκπομπής και στη συνέχεια να πολλαπλασιαστεί με αυτή την τιμή, ώστε αθροιζόμενες στη συνέχεια να υπολογιστεί το συνολικό ποσό εκπομπών κάθε ρύπου. Επειδή οι τιμές του κάθε κελιού υπολογίζονταν σε lbs/acre (4.000 m²), ενώ το μέγεθος του είναι 900 m², έπρεπε να προηγηθεί η αναγκαία αναγωγή σε αυτό, ενώ η μονάδα μέτρησης lbs μετατράπηκε σε tonnes. Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας πρόεκυψαν εκτιμήσεις εκπομπών αερίων από διαφορετικές περιοχές και διαφορετικού τύπου δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, για τη Βρετανική Κολομβία στον Καναδά (British Columbia 2009) πρόεκυψαν δεδομένα του έτους 2005 που αφορούν στην περιοχή Canadian Lower Fraser Valley όπου καταγράφηκαν 295 μονάδες εκπομπών αερίων (εργοστάσια, ρυπογόνες δραστηριότητες, βιοτεχνίες κ.α.). Επιπλέον, για όλη την πολιτεία της Βρετανικής Κολομβίας (συνολικός πληθυσμός 4.500.000 κάτοικοι), υπήρχαν για το ίδιο έτος εκτιμήσεις της συνολικής οικιακής κατανάλωσης ξύλου και των προκληθέντων εκπομπών ρύπων. Τέλος, στην ίδια μελέτη για τη νήσο Vancouver (460 km μήκος και 80 km πλάτος) με πληθυσμό 760.000 κατοίκους, καταγράφηκαν 173 μονάδες εκπομπών αερίων. Επιπλέον στοιχεία αξιοποιήθηκαν από τη μελέτη των Allen and Dennis (2000) για τις συνολικές εκπομπές ρύπων από τις πυρκαγιές του 1997 οι οποίες έκαψαν 22.500 ha στην πολιτεία του Τέξας (ΗΠΑ). Τέλος, αξιοποιήθηκε η μελέτη των Peterson and Ward (1989) ώστε να βρεθούν στοιχεία για τις προσχεδιασμένες πυρκαγιές του 1989 οι οποίες έκαψαν 8.900 ha στην πολιτεία του Κολοράντο (ΗΠΑ).

Πίνακας 7.3: Εκπομπές αέριων ρύπων της πυρκαγιάς της Λευκίμμης 2011 όπως υπολογίστηκαν από το FOFEMMT, σε σύγκριση με άλλες πέντε περιπτώσεις της Βόρειας Αμερικής.

	Πυρκαγιά Λευκίμμης 2011 (5.900 ha)	Canadian Lower Fraser Valley (295 βιομηχανίες)	Residential Fuel Wood Combustion in B.C. (4,5 εκ κάτοικοι)	Vancouver Island (173 βιομηχανίες)	Πυρκαγιές του 1997 στο Τέξας (22.500 ha)	Προδιαγεγραμμένες πυρκαγιές του 1989 στο Κολοράντο (8.900 ha)
CO (tonnes)	22.684	4.281	69.906	13.199	22.082	16.193
NO _x	174	5.207	1.006	2.041	230	n/a
SO _x	127	957	144	1.812	174	n/a
CH ₄	1.058	n/a	n/a	n/a	1.064	811
CO ₂	189.537	n/a	n/a	n/a	n/a	321.186
PM ₁₀	2.144	2.415	11.109	2.611	2.244	1.798
PM _{2,5}	1.817	1.167	11.091	1.623	1.901	1.523



Εικόνα 7.24: Χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων του δείκτη διαβρωσιμότητας

7.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση προέκυψε ότι οι περιοχές που κάηκαν με την υψηλότερη σφοδρότητα συμπίπτουν με αυτές στις οποίες η βλάστηση κάηκε ολοσχερώς (μαυρισμένη). Συγκεκριμένα, το νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα κάηκε ολοσχερώς, όπως και το κέντρο της περιοχής και ένα τμήμα στα βόρεια. Από την Εικόνα 7.10 προκύπτει ότι σε όλη την εξωτερική περίμετρο της φωτιάς η πυρκαγιά δεν έκαψε με υψηλή σφοδρότητα. Επιπλέον, εντός της περιμέτρου προκύπτει ότι πάρα πολλές συμπαγείς περιοχές είτε δεν κάηκαν καθόλου (δυτικά), είτε καυαλίστηκαν, κάτι που σημαίνει ότι η δυνατότητα επιβίωσης του δάσους εκεί είναι αυξημένη (Εικόνα 7.12). Επιπλέον, σε όλη την καμένη έκταση υπάρχουν

εκατοντάδες άκαυτοι θύλακες και χιλιάδες μεμονωμένα δέντρα τα οποία επιβίωσαν δημιουργώντας ένα μωσαϊκό καμένων/ άκαυτων θυλάκων (Εικόνες 7.25 και 7.26), κάτι που έχει παρατηρηθεί και σε άλλες μεγάλες πυρκαγιές, όπως π.χ. στο Εθνικό Πάρκο του Yellowstone των ΗΠΑ το 1988 (Omi and Kalabokidis 1991). Αυτό οφείλεται είτε στις προσπάθειες των πυροσβεστικών δυνάμεων, είτε σε στοιχεία της τοπογραφίας και υγρασίας ή του διαμορφωμένου από τον άνθρωπο περιβάλλοντος, συντελεστές που συνέβαλλαν στην επιβίωση τους.

Η σημαντικότητα της επιβίωσης αρκετών συστάδων και δέντρων είναι ιδιαίτερα υψηλή γιατί έχει αποδειχτεί ότι η παρουσία τους συμβάλλει σημαντικά στην αναγέννηση και επανάκαμψη του δάσους (Ordóñez *et al.* 2005 και 2006, Greene and Johnson 2000). Σημαντική ένδειξη ότι η περιοχή έχει το αναγκαίο δυναμικό επανάκαμψης είναι τα μεγάλα ποσοστά επιβίωσης, η ωριμότητα του δάσους, η επάρκεια σπόρων από τα καμένα δέντρα που παρατηρήθηκε αμέσως μετά την πυρκαγιά αλλά και η ομαλή τοπογραφία. Όσον αφορά την τοπογραφία, παρατηρήθηκε ότι οι μέσες κλίσεις ήταν περίπου 15° σε υψόμετρα από 120-360 m, με σημαντικότερο στοιχείο όμως την πολύ συχνή παρουσία εκατοντάδων τεχνητών αναβαθμίδων οι οποίες δημιουργήθηκαν από τη Διεύθυνση Δασών Έβρου όταν διενεργούσε τις αναδασώσεις. Οι αναβαθμίδες έχει αποδειχτεί ότι ευνοούν τη φυτρωτικότητα των σπερμάτων των πεύκων, συγκρατούν το έδαφος, και αποτρέπουν έντονα διαβρωτικά και πλημμυρικά φαινόμενα (Pausas *et al.* 2004, Shakesby 2011) (Εικόνα 7.27).



Εικόνα 7.25: Διασωσμένες συστάδες (πράσινο) σε μίξη με καψαλισμένες (καφέ) και ολοκληρωτικά καμένες (μαύρο)

Η προσομοίωση κατέδειξε ότι αν η πυρκαγιά έκαψε ανεξέλεγκτα δίχως οποιαδήποτε προσπάθεια κατάσβεσης, θα είχε εισέλθει στον πυρήνα απόλυτης προστασίας της Δαδιάς το μεσημέρι της 26^{ης} Αυγούστου. Ο πυρήνας αυτός είναι σε απόσταση περίπου 1 km από εκεί που τελικά αναχαιτίστηκε η πυρκαγιά. Την ίδια ημέρα και ώρα η πυρκαγιά θα είχε κυκλώσει το χωριό Κοίλα (στο οποίο δόθηκε μάχη από τις πυροσβεστικές δυνάμεις για να σωθεί τελικά). Το μεσημέρι της 27^{ης} Αυγούστου θα είχε φτάσει στο χωριό Μελία. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ταχεία εξάπλωση της πυρκαγιάς προς νότια και νοτιοανατολικά, αλλά και στα βόρεια της τελικής καμένης έκτασης.



Εικόνα 7.26: Καμένη έκταση με ζωντανά και καψαλισμένα μεμονωμένα άτομα τραχείας πεύκης και δρυός

Από τη μελέτη των χαρτών αποτύπωσης των επιπτώσεων στο έδαφος (Εικόνα 7.21) διαπιστώνουμε ότι το βόρειο τμήμα της καμένης έκτασης δεν κάηκε με υψηλή σφοδρότητα και με μικρή χρονική διάρκεια. Τα νότια και ΝΔ τμήματα φαίνεται ότι κάηκαν με μεγάλη σφοδρότητα σε αρκετές θέσεις και η θερμοκρασία ξεπέρασε ακόμα και τους 275 °C, ενώ στο μεγαλύτερο τμήμα της καμένης έκτασης παρουσιάστηκε εμφάνιση του μητρικού πετρώματος (Εικόνα 7.21-Γ). Όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων, διαπιστώθηκε ότι η πυρκαγιά σε σχέση με τις εκπομπές των 295 βιομηχανιών της περιοχής Canadian Lower Fraser Valley έχει τέσσερις φορές περισσότερες εκπομπές CO και 50% περισσότερες εκπομπές PM_{2,5}, παρόμοιες εκπομπές PM₁₀, και πολύ λιγότερες εκπομπές NO_x και SO_x. Από την σύγκριση με την οικιακή κατανάλωση καυσόξυλων διαπιστώνουμε ότι οι τιμές για την πυρκαγιά της Λευκίμμης είναι δύο φορές μικρότερες για το CO, πέντε φορές για το NO_x, τέσσερις φορές για το PM₁₀ και πέντε φορές για το PM_{2,5}, ενώ είναι όμοιες για το SO_x. Οι τιμές της κατανάλωσης αφορούν μια περιοχή με το μισό σχεδόν πληθυσμό της Ελλάδος. Η νήσος Vancouver εκπέμπει σχεδόν τη μισή ποσότητα CO κατ' έτος από αυτή της πυρκαγιάς, με παρόμοιες τιμές PM₁₀ και PM_{2,5}, ενώ έχει πολύ υψηλότερες εκπομπές NO_x και SO_x. Από τη σύγκριση με τις πυρκαγιές του Τέξας διαπιστώνουμε ότι τα ποσά εκπομπών είναι σχεδόν όμοια, αν και η πυρκαγιά της Λευκίμμης είναι τέσσερις φορές μικρότερη σε μέγεθος από τη συνολικά καμένη έκταση αυτής της χρονιάς. Το γεγονός αυτό εξηγείται είτε γιατί οι πυρκαγιές του Τέξας έκαψαν τα περισσότερα στρέμματα σε εκτάσεις αραιής ή χαμηλής βλάστησης, είτε λόγω διαφορών στις μεθοδολογίες υπολογισμών των δύο εκτιμήσεων. Τέλος οι προσχεδιασμένες πυρκαγιές του Κολοράντο το 1989 έκαψαν παρόμοια στρέμματα με αυτά της Λευκίμμης και δείχνουν ότι τα μεγέθη αέριων εκπομπών ρύπων είναι παρόμοια, αν και λίγο υψηλότερα για τη Λευκίμμη (από 20 έως 40%).

Για την αποκατάσταση της περιοχής, βάσει όσων διαπιστώθηκαν κατά την επίσκεψη στο πεδίο, αλλά και σύμφωνα με δοκιμασμένες πρακτικές σε καμένες περιοχές της Ελλάδα (Ταΰγετος, Άγιο Όρος, Χίος, Ρόδος) και στο εξωτερικό (π.χ. πυρκαγιά του Όρους Carmel το 2010 στο Ισραήλ) προτείνονται μια σειρά από μέτρα που πρέπει να ληφθούν. Όσον αφορά την κτηνοτροφία της ευρύτερης περιοχής, το ζωικό κεφάλαιο ανέρχεται σε περίπου 573 βοοειδή, 1.797 προβατοειδή, 11.000 αίγες και 550 κυψέλες. Εντός της καμένης έκτασης, και ιδιαίτερα στις δασώδεις περιοχές, δεν διαπιστώθηκε αξιόλογη παρουσία κτηνοτροφικών

μονάδων ούτε και βόσκησης. Επομένως, ο κίνδυνος για υποβάθμιση του μεταπυρικού περιβάλλοντος είναι μικρός αν διατηρηθεί η υφιστάμενη κατάσταση. Ενδέχεται να προκληθούν επιπτώσεις στη μελισσοκομία μέσω μεταβολής (ποιοτικά και ποσοτικά) της σύστασης του παραγόμενου προϊόντος. Προτείνεται η εισαγωγή ελεγχόμενης κτηνοτροφίας σε άκαυτες περιοχές περίξ της καμένης έκτασης για μείωση του κινδύνου επανεμφάνισης πυρκαγιάς. Για την υλοτόμηση ή μη των καμένων δέντρων, προτείνεται προσεκτική υλοτόμηση των κορμών στις περιοχές όπου παρατηρήθηκε υψηλή σφοδρότητα καύσης έπειτα από το πέρας της άνοιξης του 2013 (για υποβοήθηση στη συγκράτηση των εδαφών και στη φυσική αναγέννηση), και άφεση των υπολοίπων στις περιοχές μέσης και χαμηλής σφοδρότητας επειδή έχουν πολλές προοπτικές να είναι ζωντανά.



Εικόνα 7.27: Χαρακτηριστική περιοχή τεχνητών αναβαθμίδων όπου η φωτιά κατέκαψε βλάστηση αποτελούμενη από δρυ και τραχεία πεύκη

Για την επιτυχή αναγέννηση του δάσους προτείνεται η αποφυγή οποιασδήποτε προσπάθειας τεχνητής αναδάσωσης στην περιοχή για τουλάχιστον δύο έτη. Το απόθεμα σπόρων τραχείας πεύκης που παρατηρήθηκε μετά την πυρκαγιά ήταν επαρκές, ενώ η παρουσία άκαυτων θυλάκων-σπορέων σε συνδυασμό με την παραγωγικότητα των εδαφών και τις μικρές κλίσεις ενισχύει την πιθανότητα φυσικής αναγέννησης (Boydak 2004). Επιπλέον, κρίνεται μη αναγκαία η εκτέλεση αντιδιαβρωτικών-αντιπλημμυρικών έργων παρά μόνο σε πολύ μικρή τοπικά εστιασμένα κλίμακα, όπου μπορούν να αναπτυχθούν κορμοδέματα και ξύλινα φράγματα (Μαρτζάκης και Λέκκας 2012). Οι λίγες αυτές θέσεις μπορούν να βρεθούν έπειτα από αξιοποίηση του χάρτη διαβρωσιμότητας (Εικόνα 7.24). Για τη μελλοντική μορφή του δάσους, προβλέπεται ότι λόγω της παρουσίας πολλών σπόρων υπάρχει ο κίνδυνος για την εμφάνιση πολύ πυκνού δάσους κωνοφόρων που θα αυξήσει τον κίνδυνο για επανεμφάνιση μεγάλης πυρκαγιάς στο μέλλον. Προτείνεται η επιλεκτική αραίωση σε περιοχές υψηλής αναγέννησης δέντρων έπειτα από πέντε με δέκα έτη για μείωση της πυκνότητας του δάσους. Τέλος, για τη διαχείριση της καύσιμης ύλης και του ξυλαποθέματος, προτείνεται η εκχώρηση ειδικών αδειών αραιωτικών υλοτομιών με αυστηρά δασοκομικά κριτήρια από τις Δασικές Υπηρεσίες, σε μεγαλύτερη κλίμακα από όσο συνέβαινε μέχρι τώρα (κυρίως στα βόρεια της καμένης έκτασης), για τη μείωση της καύσιμης ύλης και την αποφυγή μιας νέας καταστροφικής πυρκαγιάς.

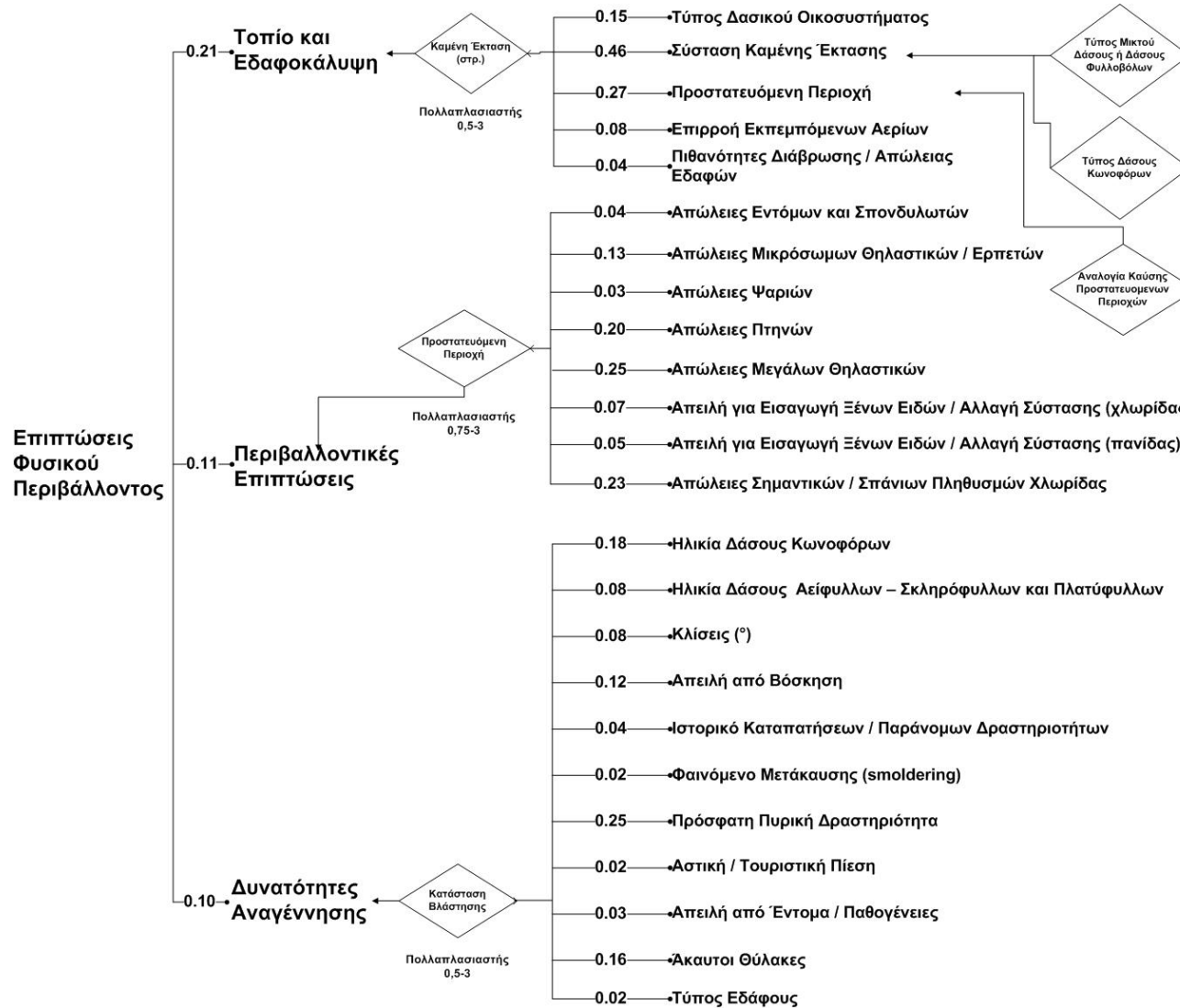
8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

Η αυξημένη συχνότητα και σφοδρότητα των περιστατικών πυρκαγιάς των τελευταίων δύο δεκαετιών στην περιοχή της Μεσογείου είχε ως αποτέλεσμα να καούν εκατομμύρια εκτάρια γης και να προκληθούν πολλοί θάνατοι και εκτεταμένες απώλειες σε κοινωνικοοικονομικούς πόρους (Moreira *et al.* 2011). Υπάρχουν αρκετές εξηγήσεις για ποιο λόγο συνέβη αυτό το μεγάλο ξέσπασμα πυρκαγιών, ερευνώντας από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής (Trigo *et al.* 2006, Founda and Giannakopoulos 2009) έως και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, αλλά υπάρχει γενική συμφωνία στο ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι η κύρια αιτία για την γεωμετρική τους αύξηση. (Pausas 2004). Είτε από εμπρησμούς, αμέλεια ή ανάγκη, οι ανθρωπογενείς πυρκαγιές συνεχώς καταστρέφουν ή επηρεάζουν σημαντικά δάση και δασικές εκτάσεις, επιταχύνοντας έτσι φαινόμενα όπως η διάβρωση, η ερημοποίηση, οι μεταβολές στις χρήσεις γης, οι εξαφανίσεις ειδών και η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος (Shakesby and Doerr 2006, Pausas *et al.* 2008, Moreira *et al.* 2011). Επιπλέον, το οικονομικό κόστος για την αποκατάσταση του τοπίου, των ζημιών σε υποδομές και περιουσίες και οι αποζημιώσεις επιβαρύνει τους κρατικούς προϋπολογισμούς (Butry *et al.* 2001, Steelman and Burke 2007). Οι φυσικοί τόποι και τα αποθέματα βιοποικιλότητας επίσης υπέστησαν τρομακτικές πιέσεις από το συνδυασμό της έντασης και συχνότητας των πυρκαγιών, των μεταπυρικών ανθρωπίνων διεργασιών και των πιέσεων από την κλιματική μεταβολή.

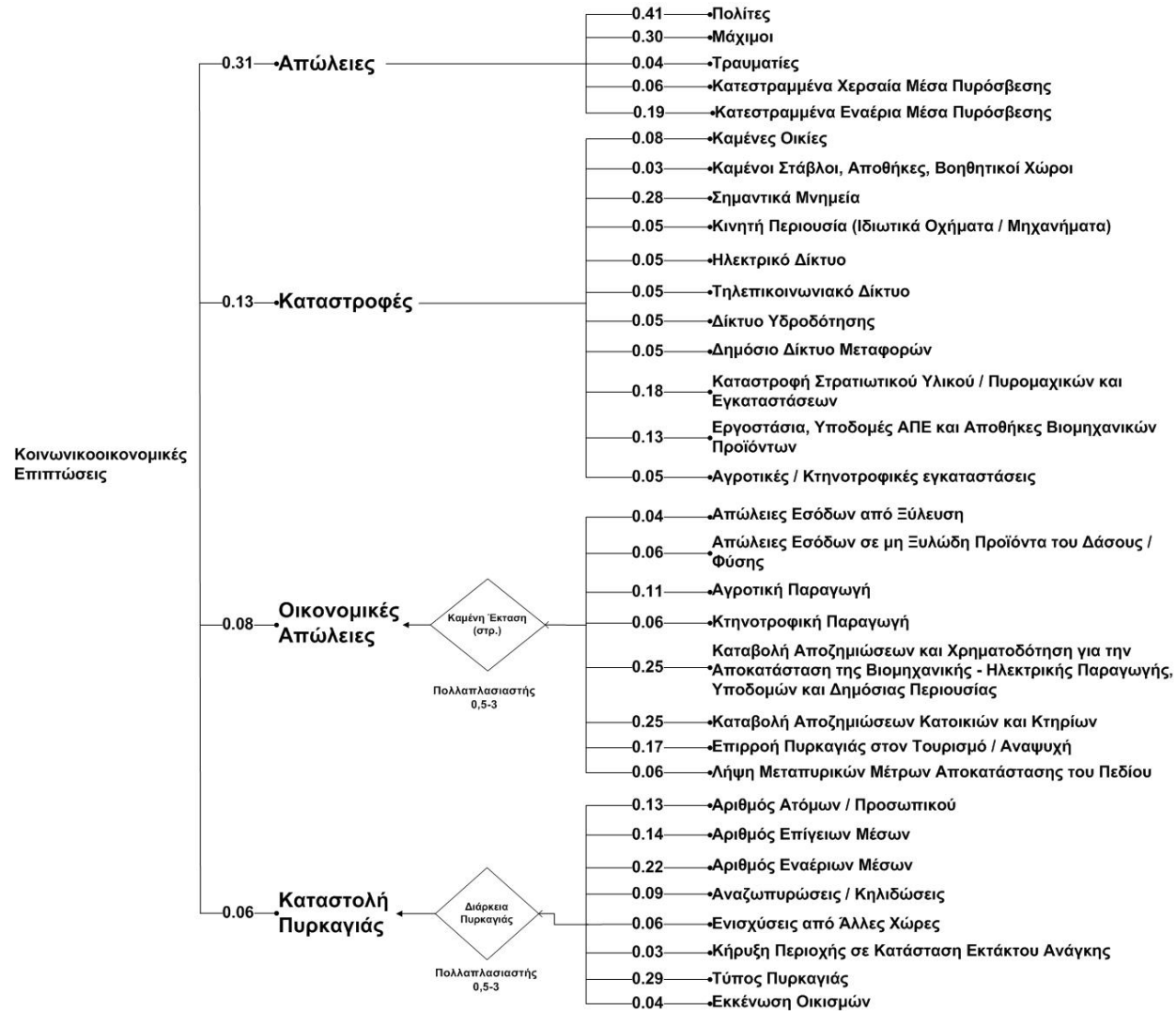
Λόγω της δραστηριότητας των πυρκαγιών η Ελλάδα έχει αντιμετωπίσει μερικές από τις χειρότερες καταστροφές της πρόσφατης ιστορίας της. Οι δασικές πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας που πλέον συμβαίνουν κάθε έτος, σε συνδυασμό με τους περιορισμένους οικονομικούς πόρους, δεν επιτρέπουν την επιβολή μέτρων αποκατάστασης για τη μεγάλη πλειοψηφία των πληγείσων περιοχών και όταν αυτό συμβαίνει, γίνεται κυρίως λόγω της κοινωνικής πίεσης και ευαισθητοποίησης και όχι βάσει τεκμηριωμένων επιστημονικών ενδείξεων και προτεραιοποίησης. Είναι εμφανές ότι λείπει μια επιστημονική προσέγγιση που να βασίζεται στην ολική εκτίμηση των επιπτώσεων που προκαλούν οι πυρκαγιές και στην ταξινόμηση τους βάσει της σημαντικότητας τους. Ο υπάρχον τρόπος αξιολόγησης της σημαντικότητας μιας δασικής πυρκαγιάς από τις κρατικές αρχές και τις πυροσβεστικές δυνάμεις στηρίζεται αποκλειστικά στην εκτίμηση της συνολικής καμένης έκτασης. Αυτή η έρευνα επικεντρώθηκε στο να εισάγει μια νέα μεθοδολογία ταξινόμησης που βασίζεται στις γνώμες ειδικών, με επιστημονική τεκμηρίωση όσων συνέβησαν σε κάθε περιστατικό καθώς και στο τι αναμένεται να συμβεί, βάσει εκτίμησης αρκετών σχετιζόμενων με την πυρκαγιά παραμέτρων και επιπτώσεων.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, αυτό το τμήμα της έρευνας συμβάλει με την πρόταση μιας μεθοδολογίας που είναι σχετικά εύκολη στη χρήση της, βασίζεται σε εκτενή μελέτη της υπάρχουσας γνώσης και των βιβλιογραφικών πηγών, λαμβάνει υπόψη τις τοπικές συνθήκες και ιδιομορφίες, ενώ έχει μικρές διαφοροποιήσεις αν εφαρμοστεί από διαφορετικούς αξιολογητές, στηριζόμενη σε ευρέως διαδεδομένα εργαλεία και μεθόδους. Η αξιολόγηση ενός περιστατικού πυρκαγιάς δεν απαιτεί απαραίτητως την επίσκεψη στην καμένη έκταση, παρόλο που αν αυτό συμβεί τότε θα βελτιωθεί ουσιαστικά η ακρίβεια της αξιολόγησης. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να υπάρχει ή να αποκτηθεί βαθιά γνώση των πολυπαραγοντικών αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο μετά την πυρκαγιά. Η βάση του προτεινόμενου Δείκτη Επιπτώσεων και Ταξινόμησης Πυρκαγιών (Fire Ranking and Effects Index-FIRE Index) είναι η πολυκριτηριακή μέθοδος AHP, που χρησιμοποιήθηκε για τον συνδυασμό των βαθμολογιών επτά κατηγοριών και 56 κριτηρίων επιπτώσεων που εντάσσονται σε αυτές. Οι κατηγορίες επιπτώσεων σχηματίζουν δύο ομάδες: τις Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Πυρκαγιών (Εικόνα 8.1) με τρεις κατηγορίες (δηλ. Επιπτώσεις Τοπίου και Εδαφοκάλυψης, Επιπτώσεις στο Ευρύτερο Περιβάλλον,

Επιπτώσεις στις Δυνατότητες Αναγέννησης-Επανάκαμψη Βλάστησης) και τις Κοινωνικοοικονομικές Επιπτώσεις Πυρκαγιών (Εικόνα 8.2) με τέσσερις κατηγορίες (δηλ. Απώλειες και Τραυματισμοί, Καταστροφές, Οικονομικές Επιπτώσεις, Καταστολή Πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη).



Εικόνα 8.1: Συνδυασμός κριτηρίων και κατηγοριών για τον υπολογισμό των Επιπτώσεων Φυσικού Περιβάλλοντος



Εικόνα 8.2: Συνδυασμός κριτηρίων και κατηγοριών για τον υπολογισμό των Κοινωνικοοικονομικών Επιπτώσεων

8.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ο τρόπος αξιολόγησης του κάθε κριτηρίου καθώς και η δομή της κάθε κατηγορίας στηρίχτηκαν σε ήδη εφαρμοσμένες μεθοδολογίες και προσεγγίσεις, όπως τη μέθοδο αξιολόγησης επιδόσεων των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων του κόσμου (The Times Higher Education World University Rankings), και τη μέθοδο Composite Burn Index (CBI) των Key and Benson (2006) για την εκτίμηση των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών πρώτης τάξεως στο πεδίο.

Το μέγεθος των επιπτώσεων εκτιμάται από ένα ή περισσότερα άτομα/αξιολογητές μέσω μιας πολυεπίπεδης διεργασίας αξιολόγησης. Το πρώτο επίπεδο αφορά τα κριτήρια που πρέπει να αξιολογηθούν σε μια κλίμακα από 0 έως 100 (καθόλου επίδραση έως πλήρη επιρροή) και βασίζεται στην επιλογή προκαθορισμένων απαντήσεων όπως προέκυψαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και την κοινή γνώση που έχει αποκτηθεί από τη μελέτη των περιστατικών πυρκαγιάς της Ελλάδας για τις προηγούμενες δεκαετίες (Πίνακας 8.1). Οι επιλογές που παρέχονται αντιστοιχούν στη σημαντικότητα των επιπτώσεων που προκλήθηκαν. Ο αξιολογητής έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε τιμή πάνω σε αυτή την κλίμακα ανεξαρτήτως των προκαθορισμένων απαντήσεων, με μόνη εξαίρεση τις τιμές των επιλογών που έχουν αποκλειστεί ή δεν είναι διαθέσιμες. Αν για παράδειγμα σε ένα κριτήριο ταιριάζουν δύο απαντήσεις με βαθμολογίες 100 και 60, τότε μπορεί να χρησιμοποιήσει την ενδιάμεση βαθμολογία τους (80) ή αν είναι πιο κοντά σε κάποια, το 70 ή το 90 ανάλογα με το πώς κρίνει τη συγκεκριμένη επίπτωση της πυρκαγιάς.

Δυο κριτήρια έχουν ένα δεύτερο επίπεδο αξιολόγησης, το οποίο ορίζεται ως Προσθετικός Παράγοντας (ΠΠ). Αξιολογείται και αυτός με τη σειρά του σε μια κλίμακα από 0 έως 100, αυξάνοντας έτσι την επιρροή του κάθε κριτηρίου στη συνολική βαθμολογία της κατηγορίας. Η βαθμολογία του κριτηρίου επηρεάζεται από την τιμή του κάθε ΠΠ, αλλά τελικά παραμένει στην κλίμακα 0 έως 100 επειδή υπολογίζεται ο μέσος όρος των επιμέρους βαθμολογιών. Για παράδειγμα, ένα προστατευόμενο δάσος λαμβάνει την υψηλότερη τιμή αν είναι παρθένο (κριτήριο) και καταλαμβάνει ποσοστό κάλυψης άνω του 50% της καμένης έκτασης (ΠΠ). Επιπλέον, η Περιγραφή Κριτηρίου παρέχει την δυνατότητα καθορισμού του ποσοστού που αντιστοιχεί σε κάθε μια προκαθορισμένη απάντηση, επιτρέποντας έτσι να επιτευχθεί μια καλύτερη περιγραφή για το τι έγινε σε επίπεδο τοπίου. Για παράδειγμα, μπορεί να δοθεί το ποσοστό της περιοχής που καλύπτεται από τους διαφορετικούς τύπους βλάστησης, αποδίδοντας ορθότερα τη βαθμολογία του κριτηρίου στις απαντήσεις (το συνολικό άθροισμα τους όμως πρέπει να είναι απαραίτητως 100%).

Πίνακας 8.1: Κλίμακα αξιολόγησης κριτηρίων από 0 (καθόλου επίδραση) έως 100 (πλήρη επιρροή)

Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
0	10	20	40	60	80	100

Το τρίτο επίπεδο αξιολόγησης εισάγει την έννοια των Γενικών Πολλαπλασιαστών (ΓΠ), οι οποίοι βασίζονται σε προκαθορισμένες απαντήσεις που αξιολογούνται σε μια κλίμακα από 0,5 έως 3 και υπάρχουν σε 5 από τις 7 κατηγορίες. Οι ΓΠ προκύπτουν μέσω της αξιολόγησης της σημαντικότητας των επιπτώσεων πυρκαγιάς (π.χ. μέγεθος πυρκαγιάς, οικολογική κατάσταση και καθεστώσ προστασίας της καμένης έκτασης), παρέχοντας τη δυνατότητα είτε να αυξηθεί (για τιμές >1), είτε να παραμείνει ως έχει (για τιμές ίσες με 1) ή να μειωθεί (για τιμές από 0,5 έως 0,9) η συνολική βαθμολογία της κατηγορίας στη συνολική βαθμολογία του FIRE Index (Πίνακας 8.2).

Πίνακας 8.2: Κλίμακα αξιολόγησης γενικών πολλαπλασιαστών από 0 (καθόλου) έως 3 (πλήρη επιρροή)

Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
0	0,5	1	1,5	2	2,5	3

Για τη διενέργεια των υπολογισμών απαιτείται η απάντηση όλων των κριτηρίων και ο υπολογισμός της σταθμισμένης βαθμολογίας τους βάσει των συντελεστών βαρυτητάς τους. Αρχικά, έχουν προκαθοριστεί οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές που μπορεί να λάβει η κάθε κατηγορία. Οι ζευγωτές συγκρίσεις με τη μέθοδο AHP εφαρμόζονται σε δύο επίπεδα, δηλαδή εντός των κριτηρίων της κάθε κατηγορίας και μεταξύ των επτά κατηγοριών. Βάσει όσων παρατέθηκαν στο υποκεφάλαιο 2.10.3, αρχικά σχεδιάζεται ένα αναλογικό πλέγμα με την Εξίσωση 2.9, στο οποίο αποδίδονται βαθμολογίες από τη ζευγωτή σύγκριση μεταξύ των κριτηρίων από τον Πίνακα 2.7. Οι τιμές του δείκτη τυχαιότητας (Random Index) προκύπτουν από τον Πίνακα 2.8, ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται ο κανονικοποιημένος πίνακας ζευγωτών συγκρίσεων (A_{norm}) με την Εξίσωση 2.10 και το κυρίαρχο ισοδιάνυσμα (δηλαδή ο συντελεστής βαρύτητας του κάθε δείκτη) με την Εξίσωση 2.11. Οι δείκτες CR και CI υπολογίζονται αντίστοιχα από τις Εξισώσεις 2.12 και 2.13. Τα αποτελέσματα της μεθόδου AHP για όλα τα κριτήρια και κατηγορίες, καθώς και η ιεράρχηση τους, παρουσιάζονται στο Παράρτημα V, πίνακες Π.17 έως Π.24.

Οι σταθμισμένες βαθμολογίες των κριτηρίων αθροίζονται και κανονικοποιούνται σε μια κλίμακα από 0 έως 100 με τη χρήση των ελάχιστων και μέγιστων τιμών σε γραμμική κλίμακα με την Εξίσωση 2.8, ενώ η ίδια μέθοδος εφαρμόζεται και στις κατηγορίες ώστε να υπολογιστεί η τιμή του τελικού FIRE Index.

8.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Από τη μελέτη που προηγήθηκε, προέκυψαν επτά ευρείες κατηγορίες επιπτώσεων, η διάθρωση των οποίων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα IV, πίνακες Π.10 έως Π.16:

- Επιπτώσεις Τοπίου και Εδαφοκάλυψης
- Επιπτώσεις στο Ευρύτερο Περιβάλλον
- Δυνατότητες Αναγέννησης-Επανάκαμψη Βλάστησης
- Καταστολή Πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη
- Απώλειες και Τραυματισμοί
- Καταστροφές
- Οικονομικές Επιπτώσεις

Στην κατηγορία «Επιπτώσεις Τοπίου και Εδαφοκάλυψης» εξετάζονται οι επιπτώσεις που προέκυψαν στα δάση, στις δασικές εκτάσεις και στο ευρύτερο τοπίο. Συγκεκριμένα, πρέπει να καθοριστεί ο τύπος του δασικού οικοσυστήματος στο οποίο έλαβε χώρα η πυρκαγιά, η σύσταση της καμένης έκτασης, αν είναι προστατευόμενη δασική περιοχή, η επιρροή εκπεμπόμενων αερίων ρύπων σε κατοικημένες περιοχές, οι πιθανότητες διάβρωσης/απώλειας εδαφών, καθώς και το μέγεθος της καμένης έκτασης.

Στην κατηγορία «Επιπτώσεις στο Ευρύτερο Περιβάλλον» εξετάζονται οι επιπτώσεις στη χλωρίδα και πανίδα της ευρύτερης περιοχής δράσης της πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα, πρέπει να καθοριστούν οι απώλειες (αν υπάρχουν) σημαντικών ενδιαιτημάτων πανίδας (Έντομα και Σπονδυλωτά, Μικρόσωμα θηλαστικά/ Ερπετά, Ψάρια, Πτηνά, Μεγάλα θηλαστικά), να εκτιμηθεί η απειλή της εισαγωγής ξένων ειδών ή η αλλαγή σύστασης των ειδών της τοπικής χλωρίδας, η απειλή της εισαγωγής ξένων ειδών ή η αλλαγή σύστασης των ειδών της τοπικής πανίδας και να διαπιστωθεί το αν η φωτιά έκαψε σε προστατευόμενη περιοχή.

Στην κατηγορία «Δυνατότητες Αναγέννησης-Επανάκαμψη Βλάστησης» εξετάζονται οι ευρύτερες δυνατότητες αναγέννησης και επανάκαμψης της βλάστησης βάσει της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς και της εκτίμησης της κατάστασης που υπήρχε πριν και μετά το περιστατικό. Εξετάζεται η ηλικία του δάσους, τόσο στα κωνοφόρα όσο και στα είδη που πρεμνοβλαστάνουν, ενώ γίνεται και εκτίμηση της μέσης κλίσης της περιοχής. Επιπλέον, αποτιμάται η απειλή από τη βόσκηση και το ιστορικό των παράνομων δραστηριοτήτων και καταπατήσεων της περιοχής. Η τυχόν δραστηριότητα του φαινομένου της μετάκαυσης και η πρόσφατη πυρική δραστηριότητα της περιοχής παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις δυνατότητες αναγέννησης. Επιπλέον, πρέπει να γίνει εκτίμηση της τουριστικής και αστικής πίεσης και να εκτιμηθεί η μεταπυρική απειλή από έντομα και παθογένειες. Τέλος, η παρουσία άκαυτων θυλάκων αποτελεί σημαντικό στοιχείο που συμβάλλει στην μακροπρόθεσμη επανάκαμψη της βλάστησης, ενώ και ο τύπος του εδάφους επηρεάζει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και τις δυνατότητες ρίζωσης. Η συνολική εκτίμηση της μεταπυρικής κατάστασης του τοπίου (άκαυτο, καψαλισμένο και καμένο) λειτουργεί σε αυτό το κριτήριο ως πολλαπλασιαστής.

Στην κατηγορία «Καταστολή Πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη» εξετάζεται η δυσκολία που αντιμετώπισαν οι δυνάμεις πολιτικής προστασίας κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων καταστολής της πυρκαγιάς, η οποία έχει άμεση επίπτωση στην αύξηση του επιχειρησιακού κόστους. Αποτελείται από οκτώ κριτήρια και έναν γενικό πολλαπλασιαστή που αξιολογούν τον τύπο της πυρκαγιάς, αν υπήρξαν αναζωπυρώσεις/κηλιδώσεις ο αριθμός των ατόμων/προσωπικού που έλαβε μέρος στις επιχειρήσεις, ο αριθμός των επίγειων και εναέριων μέσων που χρησιμοποιήθηκαν, η συνδρομή ενισχύσεων από άλλες χώρες, το αν η περιοχή κηρύχτηκε σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης και αν έγινε εκκένωση οικισμών. Ως γενικός πολλαπλασιαστής καθορίστηκε η διάρκεια της πυρκαγιάς.

Στην κατηγορία «Απώλειες και Τραυματισμοί» εξετάζονται οι απώλειες που προκλήθηκαν τόσο σε υλικό, όσο και σε ανθρώπινες ζωές. Συγκεκριμένα, πρέπει να καθοριστούν οι θανάσιμες απώλειες πολιτών, προσωπικού πυρόσβεσης ή ατόμων που έλαβαν μέρος στις επιχειρήσεις κατάσβεσης, οι πτώσεις εναέριων πυροσβεστικών μέσων, οι καταστροφές χερσαίων πυροσβεστικών οχημάτων και οι τραυματισμοί ανθρώπων (ανεξαρτήτου ιδιότητας).

Στην κατηγορία «Καταστροφές» εξετάζεται το πλήθος των καταστροφών που προέκυψαν από τη δράση της πυρκαγιάς σε υποδομές/δίκτυα, σε καλλιέργειες και ζώα, σε οικίες και βοηθητικούς χώρους, αλλά και σε μνημεία. Συγκεκριμένα, πρέπει να καθοριστεί ο αριθμός των κατεστραμμένων οικιών, ο αριθμός των κατεστραμμένων οικιακών χώρων (αποθήκες, στάβλοι, χώροι λοιπών χρήσεων κ.α.), το ποσοστό των καμένων οικόσιτων ζώων επί του συνολικού δυναμικού της περιοχής, οι καταστροφές σε καλλιέργειες και οι καταστροφές της κινητής περιουσίας (ιδιωτικά οχήματα και μηχανήματα). Επιπλέον, γίνεται εκτίμηση της αξίας των κατεστραμμένων ή φθαρμένων εγκαταστάσεων και υποδομών όπως το ηλεκτρικό δίκτυο, το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, το δίκτυο υδροδότησης, το δίκτυο μεταφορών, οι γεωκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, οι καταστροφές και φθορές σε εργοστάσια, υποδομές ΑΠΕ και αποθήκες βιομηχανικών προϊόντων, αλλά και σε στρατιωτικό υλικό/πυρομαχικά και εγκαταστάσεις. Ακόμα, διενεργείται εκτίμηση των καταστροφών σε αρχαιολογικούς, χώρους, ιστορικά μνημεία και μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς.

Τέλος, στην κατηγορία «Οικονομικές Επιπτώσεις» εξετάζεται η απώλεια εσόδων που θα προκύψει από την πυρκαγιά, καθώς και άλλες οικονομικές συνιστώσες. Συγκεκριμένα, πρέπει να καθοριστούν οι πιθανές απώλειες εσόδων από την ξύλευση των δασών, οι απώλειες εσόδων από την εκμετάλλευση μη ξυλωδών προϊόντων του δάσους και της φύσης (κυνήγι, μελισσοκομία, ρητίνευση, βρώσιμα προϊόντα, φαρμακευτικές πρώτες ύλες κ.α.), οι απώλειες στην αγροτική παραγωγή, η επιρροή της πυρκαγιάς στον τουρισμό/αναψυχή, η λήψη μεταπυρικών μέτρων αποκατάστασης του πεδίου και η καταβολή αγροτικών και

κτηνοτροφικών αποζημιώσεων. Επιπλέον, αποτιμάται η καταβολή αποζημιώσεων και η χρηματοδότηση από το κράτος και τις ασφαλιστικές εταιρείες για την αποκατάσταση της βιομηχανικής και ηλεκτρικής παραγωγής, των υποδομών και της δημόσιας περιουσίας, καθώς και για κατοικίες και κτήρια. Ως γενικός πολλαπλασιαστής χρησιμοποιείται και σε αυτή την κατηγορία η καμένη έκταση.

8.2.1. Επιπτώσεις στο Τοπίο και στην Εδαφοκάλυψη (Α)

Όταν πρόκειται για ένα περιστατικό δασικής πυρκαγιάς, είναι σίγουρο ότι μικρότερα ή μεγαλύτερα τμήματα βλάστησης της πληγείσας περιοχής έχουν καεί, καυαλιστεί ή επιβιώσει. Οι επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς μπορεί να διαφέρουν σημαντικά αναλόγως του πού έδρασε η φωτιά, καθώς και του τύπου, της σύστασης και της έκτασης της εδαφοκάλυψης (Lindenmayer and Franklin 2002). Οι επιπτώσεις αυτής της κατηγορίας είναι αυτές που γίνονται άμεσα αντιληπτές από τον άνθρωπο και συσχετίζονται με την ένταση της φωτιάς (Fire Intensity). Παρόλα αυτά, ένα δάσος που έχει υποστεί μια διαταραχή συχνά αντιμετωπίζεται από την κοινωνία αρνητικά, βλέποντας το πλέον ως ένα κατεστραμμένο ή υποβαθμισμένο οικοσύστημα. Ως συνέπεια συχνά κυριαρχεί η άποψη ότι το μεταπυρικό περιβάλλον χρειάζεται άμεσες δράσεις και μέτρα διαχείρισης ώστε να αποκατασταθεί (Beschta *et al.* 2004). Το λογικό αποτέλεσμα αυτής της θεώρησης είναι ότι κρίνεται κοινωνικά αναγκαία μια ενεργή προσέγγιση και ανάληψη δράσεων στο διαταραγμένο οικοσύστημα, με άμεσο στόχο την αισθητική αποκατάσταση του τοπίου. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων δίνονται δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Πού έδρασε η πυρκαγιά;
- Τι είδη βλάστησης επλήγησαν/ επηρεάστηκαν;
- Ποιά ήταν αναλογία των τύπων εδαφοκάλυψης;
- Υπάρχει θεσμοθετημένο καθεστώς προστασίας για την πληγείσα περιοχή;
- Οι εκπομπές αέριων ρύπων επηρέασαν κατοικημένες περιοχές;
- Πόσες είναι οι πιθανότητες διάβρωσης και απώλειας εδαφών;
- Πόση έκταση κάηκε;

8.2.1.1. Τύπος Δασικού Οικοσυστήματος - Α.1.

Το κριτήριο Α.1 αφορά τον χαρακτηρισμό του τοπίου μέσα στο οποίο εκδηλώθηκε η πυρκαγιά. Αναλόγως του τύπου οικοσυστήματος μεταβάλλεται και η δυνατότητα που υπάρχει για ανθρώπινες επεμβάσεις/ επιδράσεις εντός της καμένης περιοχής, οι δυνατότητες επανασύστασης και αναγέννησης της βλάστησης, οι τύποι βλάστησης/ εδαφοκάλυψης και η βιοποικιλότητα της χλωρίδας/ πανίδας. Για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Πεδινό/ Αγροτικό (20), Ημιορεινό (60), Περιαστικό/ WUI (80), Ορεινό (100).

Η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ) διακρίνει ως πεδινές, ημιορεινές και ορεινές τις περιοχές της χώρας σε επίπεδο κοινοτήτων. Σύμφωνα με την έρευνα των Darga *et al.* (2010), από τη χαρτογράφηση του συνόλου του αναγλύφου της χώρας προέκυψε ότι το 38,67% χαρακτηρίζεται ως ορεινό, το 30,25% ως ημιορεινό και το 31,08% ως πεδινό, ενώ σε επίπεδο κοινοτήτων τα ποσοστά αυτά είναι 29%, 33% και 38% αντίστοιχα. Ως περιοχή μίξης αστικού τοπίου-άγριας βλάστησης (WUI) ορίζεται το περιβάλλον σε ακτίνα 100 m από σπίτια και βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 200 m από θαμνώνες/ δάση (Lampin *et al.* 2010). Σε περιοχές WUI συνήθως βρίσκονται και περιαστικά δάση. Ως περιαστικό δάσος

μπορεί να οριστεί το δάσος που γεωγραφικά βρίσκεται κοντά σε ένα αστικό ή ημιαστικό κέντρο μεταξύ πόλης και υπαίθρου και ενσωματώνεται στο αστικό τοπίο ως φυσική και λειτουργική του συνέχεια (Μπεριάτος 2002). Η εγγύτητα (γεωγραφική γειτνίαση) και ο μικρός χρόνος που απαιτείται για την πρόσβαση του κοινού στο δάσος, καθώς και η τάση για εγκατάλειψη της παραδοσιακής γεωργικής εκμετάλλευσης στις περιαστικές περιοχές, λειτουργούν ως στοιχεία διαφοροποίησης του δάσους αυτού σε σχέση με τους άλλους τύπους δασών (Μπεριάτος 2002).

Συνήθως, οι πυρκαγιές σε πεδινές και αγροτικές περιοχές έχουν υψηλές συχνότητες εμφάνισης (επαναλαμβάνονται σε ετήσια βάση) και συνδέονται με την κτηνοτροφική ενασχόληση και τις αγροτικές διεργασίες. Στον Ελλαδικό χώρο αλλά και στο ευρύτερο Μεσογειακό τοπίο υπάρχει έντονη διαμόρφωση του τοπίου από την υπερχλιετή κτηνοτροφική και αγροτική δραστηριότητα του ανθρώπου, ο οποίος με τη δράση της φωτιάς αποψύλωνε δάση και διαμόρφωνε εκτάσεις ώστε να δημιουργηθεί βοσκήσιμη γη και αρόσιμες εκτάσεις (Blondel and Aronson 1999). Η συντριπτική πλειοψηφία των περιστατικών προκαλείται από τους ανθρώπους της υπαίθρου οι οποίοι προσπαθούν να κάψουν κλαδιά ή να καθαρίσουν τα χωράφια τους. Επειδή στην Ελλάδα οι αγροτικές περιοχές είναι πολύ συχνά σε μίξη με άγρια βλάστηση ή κοντά σε δασώδεις εκτάσεις, είναι πολύ συχνό φαινόμενο οι πυρκαγιές αυτές υπό την επίδραση απότομων καιρικών αλλαγών να ξεφύγουν από τον έλεγχο και να επεκταθούν σε ημιορεινές και ορεινές περιοχές. Λόγω του ότι οι πυρκαγιές είναι συχνό φαινόμενο σε αυτές τις περιοχές, οι επιδράσεις τους έχουν ήδη εκδηλωθεί από παλαιότερα περιστατικά και δεν καταγράφεται αισθητή μεταβολή της υπάρχουσας βλάστησης, λαμβάνουν μικρή βαθμολογία (20).

Στις ημιορεινές περιοχές εξασκούνται πάρα πολλές δραστηριότητες που έχουν σχέση με την τοπική οικονομία και την επιβίωση σημαντικών τμημάτων του πληθυσμού της χώρας. Είναι οι περιοχές στις οποίες εξασκείται εντονότερα η κτηνοτροφία, ενώ αυξημένη είναι και η εξάσκηση της αμπελοργίας και η καλλιέργεια οπωροφόρων δέντρων. Σημαντικά δάση και δασικές εκτάσεις μπορεί να συνυπάρχουν σε αυτές τις περιοχές, δημιουργώντας τεμάχια γης με διαφορετικούς τύπους εδαφοκάλυψης και χρήσεων γης. Λόγω του ότι οι πυρκαγιές σε αυτές τις περιοχές μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές και αλλοιώσεις στο φυσικό τοπίο και στις δραστηριότητες που εξασκούνται εκεί, με αισθητή μεταβολή της υπάρχουσας κατάστασης, λαμβάνουν μέση-υψηλή βαθμολογία (60).

Οι πυρκαγιές σε περιοχές WUI είναι οι πλέον επικίνδυνες για απώλειες ανθρώπινων ζωών. Σημαντικές απώλειες μπορεί να προκληθούν τόσο σε οικίες, όσο και σε μέσα παραγωγής και ιδιωτικής περιουσίας (οχήματα, μηχανήματα κ.α.). Επιπλέον, η σημαντική υποβάθμιση που προκαλούν στο αστικό περιβάλλον που βρίσκεται κοντά στις καμένες εκτάσεις είναι ισχυρή με υψηλό κοινωνικό κόστος, προκαλώντας έμμεσες επιπτώσεις οι οποίες διαρκούν πολλά έτη (διάβρωση, πλημμύρες, ρύπανση της ατμόσφαιρας κ.α.) και τα αποτελέσματά τους εκδηλώνονται συχνά εντός των αστικών περιοχών. Κατά τη διάρκεια αυτών των πυρκαγιών συνήθως καίγονται περιαστικά δάση κωνοφόρων τα οποία βρίσκονται σε μίξη με θαμνώνες και φρύγανα, αλλά και αγροτικές εκτάσεις. Μεταδίδονται συνήθως γρήγορα και πολλές φορές κατακαίει τη βλάστηση εντός των αυλών των σπιτιών, με αποτέλεσμα να μεταφέρει συχνά τις φλόγες εντός της οικίας (μέσω κλαδιών που πέφτουν από τις στέγες ή μέσω καυτρών που πετάγονται εντός της). Η δυσκολία στην κατάσβεση τους έγκειται στο γεγονός της έλλειψης επιχειρησιακής ευελιξίας των μονάδων πυρόσβεσης εντός των οικισμών, της κοινωνικής πίεσης και της πολυδιάσπασης των δυνάμεων. Η βαθμολογία των πυρκαγιών που εκδηλώνονται σε αυτές τις περιοχές είναι μέση-υψηλή (80).

Τέλος, οι πυρκαγιές σε ορεινές εκτάσεις συνήθως καίνε ώριμα παραγωγικά δάση και η ζημιά που προκαλούν επικεντρώνεται κυρίως εντός του φυσικού περιβάλλοντος, με συχνά αποτελέσματα τη σημαντική επιρροή στις διεργασίες της πανίδας και χλωρίδας της περιοχής. Συνήθως καίγονται μεγάλες εκτάσεις και υπάρχει σημαντική δυσκολία στην κατάσβεση τους

λόγω του έντονου αναγλύφου και των δυσκολιών πρόσβασης, ενώ η διάρκεια τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλη (συνήθως άνω των δύο ημερών). Πολύ συχνά επηρεάζονται περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους ή και προστατευόμενες περιοχές, ενώ η μείωση της αισθητικής αξίας της πληγείσας περιοχής γίνεται εύκολα αντιληπτή. Οι πυρκαγιές αυτές προκαλούνται είτε από φυσικά αίτια (κεραυνοί), είτε λόγω μετάβασης μιας πυρκαγιάς από άλλη περιοχή εντός τους (π.χ. πεδινή/ αγροτική). Τα οικοσυστήματα συνήθως έχουν τη δυναμική της ανάκαμψης στην πρότερη κατάσταση, αρκεί να μην υπάρχει αρνητική ανθρώπινη επέμβαση (π.χ. βόσκηση, νέες πυρκαγιές) ή φυσική επίδραση (π.χ. ασθένειες, έντομα κ.α.). Η βαθμολογία των επιπτώσεων των πυρκαγιών σε αυτές τις περιοχές είναι η υψηλότερη (100).

8.2.1.2. Σύσταση Καμένης Έκτασης - Α.2.

Στο κριτήριο Α.2. αξιολογείται η σύσταση της καμένης έκτασης και καθορίζεται κυρίως βάσει των τύπων εδαφοκάλυψης που υπήρχαν προ της πυρκαγιάς, καθώς και του σχετικού ποσοστού κάλυψής τους εντός της περιμέτρου της πυρκαγιάς. Σε περίπτωση πολλαπλών τύπων βλάστησης, το άθροισμα όλων των επιλογών πρέπει να είναι 100% (Περιγραφή Κριτηρίου). Ο τρόπος που κατανεμηθήκαν οι διαφορετικοί τύποι βλάστησης και εδαφοκάλυψης στην κλίμακα αξιολόγησης έγινε βάσει των αλλαγών που επέρχονται από την πυρκαγιά σε σχέση με την πρότερη κατάσταση, καθώς και με το αν υπάρχει η δυνατότητα επανάκαμψής της, και σε ποιο χρονικό διάστημα. Για την αξιολόγησή του κριτηρίου υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Άγονα (10), Φρύγανα ή Χορτολίβαδα (20), Αείφυλλα-Σκληρόφυλλα (40), Καρποφόρα δέντρα ή Καλλιέργειες (60), Μικτό Δάσος ή Δάσος φυλλοβόλων (80), Δάσος Κωνοφόρων (100). Επιπλέον, υπάρχουν δύο Προσθέτες Κριτηρίου.

Αν η έκταση είναι άγονη τότε πιθανόν να πρόκειται για υποβαθμισμένο οικοσύστημα το οποίο θα παραμείνει σε αυτή την κατάσταση, μιας και η πυρκαγιά θα έχει καταστρέψει την οποιαδήποτε ισχυρή δυνατότητα ανάκαμψης του/ μεταβολής των τύπων βλάστησης. Συνήθως πρόκειται για υπερβοσκημένες εκτάσεις ή περιοχές όπου η γεωλογία δεν ευνοεί την ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης. Λαμβάνει μικρή βαθμολογία (10) γιατί θεωρείται ότι η επίδραση της πυρκαγιάς σε αυτές είναι μικρή, προκαλώντας μικρές ή καθόλου μεταβολές. Αν η βλάστηση αποτελείται από φρύγανα ή χορτολίβαδα είναι πολύ πιθανό η περιοχή να είναι κτηνοτροφική, με πιθανή αγροτική δραστηριότητα. Αποτελείται κυρίως από ακανθωτούς θάμνους σε μίξη με τμήματα καλυμμένα με ετήσια βλάστηση η οποία μετά την επίδραση της πυρκαγιάς ανακάμπτει εντός ενός ή δύο αυξητικών περιόδων. Η βαθμολογία που λαμβάνει είναι χαμηλή (20) γιατί παρόλο που το σύστημα επηρεάζεται παροδικά, είναι εκ φύσεως προσαρμοσμένο για σύντομη ανάκαμψη της βλάστησης. Τα φυτικά είδη που το καλύπτουν έχουν προσαρμοστεί πολύ επιτυχημένα και στις δυο μεθόδους αναπαραγωγής (σπερμοβλάστηση, ριζοβλάστηση/πρεμνοβλάστηση).

Αν η βλάστηση της περιοχής αποτελείται από αείφυλλα/ σκληρόφυλλα λαμβάνει μέση - χαμηλή βαθμολογία (40). Η βλάστηση αείφυλλων/ σκληρόφυλλων θάμνων είναι ιδιαίτερος συχνή σε πάρα πολλά μέρη της Ελλάδος και καλύπτει εκτεταμένες εκτάσεις. Ένας ιδιαίτερα φτωχός υπόροφος αναπτύσσεται κάτω από την κόμη τους (λεπτός και συνεχής), προσφέροντας όμως ενδιαίτημα σε πολλά είδη θηλαστικών και ορνιθοπανίδας. Μετά από μια πυρκαγιά, συνήθως καίγεται τελείως το φύλλωμα και οι λεπτοί κλαδίσκοι και μένουν οι χονδρότεροι κορμοί μαυρισμένοι. Τα είδη είναι πυρικώς προσαρμοσμένα και έχουν τη δυνατότητα ανάκαμψης μέσω πρεμνοβλάστησης και ριζοβλάστησης, ενώ μέσα σε ένα έτος επαύξησης θα έχουν πιθανόν αναβλαστήσει. Η πιθανότητα να νεκρωθούν ολοκληρωτικά έπειτα από την πυρκαγιά είναι μέτρια και εξαρτάται από το εάν η φωτιά περάσει στο δύσφλεκτο τμήμα των κοιμώμενων οφθαλμών και τους καταστρέψει.

Αν η πυρκαγιά δράσει σε εκτάσεις καλυμμένες με καρποφόρα δέντρα ή σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τότε η βαθμολογία είναι μέτρια (60). Πρόκειται για σοβαρή καταστροφή, μιας και για να επανέλθει η καλλιέργεια στην πρότερη κατάσταση (τόσο φυσιογραφικά, όσο και παραγωγικά) απαιτούνται τουλάχιστον τρία με πέντε έτη. Υπάρχουν αρκετά είδη που δεν νεκρώνονται αλλά αναβλαστάνουν και επανακάμπτουν (π.χ. ελιά), αλλά σε αρκετές περιπτώσεις συμβαίνει νέκρωση του κάμβιου λόγω θερμότητας και κατ' επέκταση ολόκληρου του δέντρου. Παρόλο που τέτοιου είδους καταστροφές δεν είναι συχνές, ειδικότερα σε περιοχές όπου οι αγρότες φροντίζουν και περιποιούνται τα δέντρα και διατηρούν καθαρό τον υπόροφο τους, τις τελευταίες δεκαετίες τα περιστατικά έχουν αυξηθεί λόγω της εγκατάλειψης της υπαίθρου και της επανάκαμψης της άγριας βλάστησης εντός παλαιότερων δενδρωδών καλλιεργειών. Αν η περιοχή καλύπτεται από καλλιέργειες, είτε ετήσιες, είτε πολυετείς (δημητριακά, αμπέλια), η βλάστηση συνήθως καταστρέφεται ολοκληρωτικά. Πέρα από την πολύ σημαντική επίπτωση σε οικονομικούς όρους, οι καταστροφές σε καλλιέργειες επιφέρουν σημαντική αλλοίωση στο πεδίο (πάντα σε σχέση με την πρότερη κατάσταση) και για την ανασύστασή τους απαιτείται ανθρώπινη επέμβαση.

Εφόσον θεωρηθεί ότι σε κάποιο ποσοστό εντός της καμένης έκτασης υπήρχε Μικτό δάσος ή Δάσος Φυλλοβόλων/ Πλατυφύλλων, ενεργοποιείται η επιλογή του πρώτου Προσθήτη Κριτηρίου. Η βαθμολογία του σταθμίζεται από το ποσοστό κάλυψης αυτού του τύπου βλάστησης, ενώ στη συνέχεια προστίθεται στην αρχική βαθμολογία της συγκεκριμένης επιλογής του κριτηρίου. Η τελική τιμή της συγκεκριμένης επιλογής του κριτηρίου προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο απαντήσεων. Για την αξιολόγησή του είναι διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Δεν Ισχύει (0), Πουρνάρι (Δέντρο) ή Δρυς ή Αριά ή Αγριελιά (40), Μικτά ή Αμιγή Δάση Φυλλοβόλων (60), Οξιά ή Ψυχρόβια Φυλλοβόλα (80), Μικτό Δάσος Κωνοφόρων και Φυλλοβόλων (100).

Αν η σύσταση του δάσους είναι δρύες (πουρνάρι/ αριά σε δενδρώδη μορφή, πλατύφυλλη ή χνοώδης δρύς) ή αγριελιά, τότε λαμβάνει μέτρια-χαμηλή βαθμολογία (40). Αυτά τα δέντρα έχουν την ιδιότητα να αναβλαστάνουν (πρεμνοφυή) μετά από μια πυρκαγιά. Οι δρύες είναι ημιαειθαλές είδος με φύλλα δερματώδη που διατηρούνται πράσινα μέχρι αργά το χειμώνα, πολλές φορές και μέχρι την αρχή της άνοιξης ενώ η αριά και η αγριελιά είναι αειθαλή δέντρα. Υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης έρπουσας πυρκαγιάς ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας, κυρίως μεταδιδόμενη σε ετήσια φυτά και θάμνους ή σε φρύγανα που φύονται στον υπόροφο και συνδυάζονται με τη νεκρή καύσιμη υλη. Η συχνότητα των πυρκαγιών στα θερμόβια δάση δρυός είναι υψηλή (πέμπτη υψηλότερη) στην Ελλάδα, με μέσο όρο τα 54 περιστατικά πυρκαγιών ανά έτος με μέση καμένη έκταση τα 27 ha ανά πυρκαγιά (Καϊλίδης 1989). Όσο πιο ώριμα είναι τα δέντρα (άνω των 10 m ύψους και 20 cm DBH), τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες να επιβιώσουν μετά την πυρκαγιά.

Μέση βαθμολογία (60) λαμβάνουν τα μικτά ή αμιγή δάση φυλλοβόλων που αποτελούνται από τα είδη βελανιδιά/ άλλες θερμόβιες δρύες, σφενδάμια (*Acer* spp.), καστανιά, καρυδιά, γαύρο (*Carpinus orientalis*), πλάτανο (*Platanus orientalis*), χαρουπιά (*Ceratonia siliqua* L.), κουτσουπιά (*Cercis siliquastrum* L.), φράξο (*Fraxinus* spp.), λεύκη (*Populus* spp.) κ.α. Συχνά, τα είδη αυτά σχηματίζουν πυκνά δάση στην ζώνη Coccifero-carpinetum στα οποία οι πυρκαγιές εξαπλώνονται μέσω ετήσιων φυτών, φρυγάνων και νεκρής καύσιμης ύλης, γρήγορα όμως μπορεί να εξελιχθούν σε επικόρυφες πυρκαγιές. Όταν καούν, τα περισσότερα είδη επανέρχονται εύκολα μέσω πρεμνοβλάστησης, ενώ αρκετά από αυτά έχουν την ιδιότητα αναπαραγωγής με σπορά από γειτονικές άκαυτες περιοχές.

Μέση-υψηλή βαθμολογία (80) λαμβάνουν τα δάση ψυχρόβιων φυλλοβόλων που αποτελούνται από τα είδη οξιά (*Fagus sylvatica*), σημύδα (*Betula pendula*) κ.α.. Πολλά από αυτά είναι σκιανθεκτικά είδη (π.χ. οξιά). Σε περιπτώσεις πολύ ξηρών καλοκαιριών, μπορεί να ξεραθεί το φυλλόστρωμα της οξιάς και να πιάσει φωτιά, με αποτέλεσμα να καεί το ξύλο και τα κάτω κλαδιά της ή ακόμα και ολόκληρο το δέντρο. Τέτοια δάση υπάρχουν στη Βόρεια

Ελλάδα, ενώ το θερμοόριο της οξιάς φτάνει έως την Στερεά Ελλάδα (όρος Οξυά-Κορυφή Σαράνταινα).

Τέλος, τα Μικτά Δάση Κωνοφόρων-Φυλλοβόλων λαμβάνουν την υψηλότερη βαθμολογία (100). Τα δάση αυτά αποτελούνται κυρίως από οξιά και σημύδα σε μίξη με δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*), υβριδογενή ελάτη (*Abies borisii-regis*) και ερυθρελάτη (*Picea abies*), ενώ απαντώνται σε υψόμετρα άνω των 1000 m. Τέτοια δάση υπάρχουν στη Βόρεια Ελλάδα (Ροδόπη, Πίνδος, Όλυμπος). Σε περίπτωση πολύ ξηρών καλοκαιριών, επέρχεται ταχεία ξήρανση της βλάστησης στον υπόροφο και προκύπτουν μεγάλες πυρκαγιές, προκαλούμενες συχνά από πτώσεις κεραυνών. Οι πυρκαγιές μεταδίδονται είτε μέσω του βελονοτάπητα ή συνήθως μέσω λαμπαδιάσματος από ένα δέντρο σε γειτονικά. Για να επανέλθει ένα τέτοιο δάσος στην πρότερη κατάσταση χρειάζεται να περάσουν δεκαετίες, ενώ υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες οι οποίοι είναι πιθανό να δυσχεράνουν τη φυσική αναγέννηση (π.χ. έντονη κλίση, διάβρωση, έλλειψη σπόρων, νέες πυρκαγιές).

Εφόσον θεωρηθεί ότι σε κάποιο ποσοστό υπήρχε Δάσος Κωνοφόρων εντός της καμένης έκτασης, ενεργοποιείται η επιλογή του δεύτερου Προσθέτη Κριτηρίου. Για την αξιολόγησή του υπάρχουν οι εξής διαθέσιμες επιλογές: Δεν Ισχύει (0), Τραχεία ή Χαλέπιος Πεύκη (40), Άρκευθος ή Κυπαρίσσι (60), Μαύρη Πεύκη ή Κουκουναριά (80), Ελάτη ή Ρόμπολο ή Δασική Πεύκη ή Μίξη Ελάτης-Πεύκης (100).

Τα θερμόβια δάση κωνοφόρων (τραχεία και χαλέπιος πεύκη) υφίστανται πολύ μεγάλη πίεση και είναι αυτά που καίγονται συχνότερα στην Ελλάδα (περίπου δύο φορές μέσα σε κάθε αιώνα). Σχηματίζουν πυκνά και αμιγή δάση σε όλη την υψομετρική ζώνη από 0 έως 1000 m και είναι εξαπλωμένα τόσο στα νησιά, όσο και στην ηπειρωτική χώρα. Το κυρίαρχο πυρικό καθεστώς σε αυτά τα δάση είναι η επανάληψη της φωτιάς, που πριν από την εμφάνιση του ανθρώπου συνέβαινε ανά 120-130 έτη, ενώ σήμερα τα μεσοδιαστήματα μειώθηκαν σε 35-45 έτη. Η συχνότερη περίπτωση πυρκαγιών σε αυτά τα δάση συμβαίνει με την καύση του υπορόφου, ο οποίος αποτελείται από πευκοβελόνες και νεκρά κλαδιά, δενδρύλλια, αειφυλλους/ σκληρόφυλλους θάμνους και ετήσια βλάστηση. Από την επιφάνεια η πυρκαγιά μεταδίδεται στην κόμη μέσω της κλιμακωτής καύσιμης ύλης, προκαλώντας πυρκαγιές υψηλής έντασης. Για την αναγέννηση τους απαιτείται καθαρό έδαφος απαλλαγμένο από θάμνους και φρύγανα, επομένως η επίδραση των πυρκαγιών είναι ευεργετική στην αναγέννησή τους. Όταν ξεσπάσει πυρκαγιά οι υψηλές θερμοκρασίες ενεργοποιούν ειδικούς μηχανισμούς οι οποίοι προκαλούν άνοιγμα των κώνων μέσα στις επόμενες 48 ώρες, αφού το γυμνό πια έδαφος έχει κρυώσει (Κωνσταντινίδης 2003). Ανοίγοντας οι κώνοι, διασκορπίζουν τα σπέρματα σε μια απόσταση που υπολογίστηκε ότι είναι τριπλάσια με τετραπλάσια περίπου από το ύψος που βρίσκεται ο κώνος. Ο διασκορπισμός αυτός υποβοηθείται από πτερύγια που διαθέτουν τα σπέρματα. Τα είδη αυτά είναι πυρικόως προσαρμοσμένα έχοντας σημαντικές δυνατότητες αναγέννησης, ενώ μπορούν να αποικίσουν και άνυδρες περιοχές και σχετικά φτωχές εδαφολογικά. Σε περίπτωση που η φωτιά κάψει νεαρές συστάδες ηλικίας μικρότερης των δέκα ετών, προκύπτει σημαντικό πρόβλημα διαθεσιμότητας σπόρων με αποτέλεσμα τη μη αναστρέψιμη υποβάθμιση του δάσους. Λόγω όλων των παραπάνω, η βαθμολογία επιπτώσεων είναι μέτρια-χαμηλή (40) (υψηλές δυνατότητες αναγέννησης και μεγάλη έκταση τους στην Ελλάδα). Υπό δυσμενείς όμως συνθήκες όπως μεγάλες κλίσεις, επίδραση βόσκησης, επαναλαμβανόμενες φωτιές, οικοπεδοποίηση κ.α., οι αρνητικές επιπτώσεις της πυρκαγιάς σε αυτά τα είδη μπορεί να γίνουν πάρα πολύ σημαντικές.

Οι πυρκαγιές που εκτυλίσσονται σε περιοχές που καλύπτονται κατά κύριο λόγο από άρκευθο (*Juniperus* spp.) ή κυπαρίσσια λαμβάνουν μέτρια βαθμολογία (60), επειδή οι συστάδες είναι σπάνιες και οι πυρκαγιές σε αυτές μπορεί να γίνουν ιδιαίτερα καταστροφικές για αυτά τα είδη. Ο άρκευθος είναι ένα από τα πέντε μεγάλα γένη κωνοφόρων, με πολυάριθμες ποικιλίες και με τη μεγαλύτερη ίσως προσαρμογή στις Ελληνικές

εδαφοκλιματικές συνθήκες. Από τη χώρα μας κατάγονται τα είδη *J. drupacea*, *J. oxycedrus*, *J. macrocarpa*, *J. communis*, *J. nana*, *J. phoenicea*, *J. foetidissima*, *J. excelsa* που φύονται από την κορυφή του Ολύμπου (*J. nana*) ως και τη Γαύδο (*Juniperus phoenicea*). Είναι αιθαλή φυτά με βελονοειδές ή λεπιοειδές φύλλωμα. Το υποείδος *Juniperus oxycedrus* είναι μικρό κωνικό δέντρο ή μεγάλος θάμνος με βελονοειδές γκριζοπράσινο φύλλωμα και κόκκινους καρπούς που απαντάται παντού στην Ελλάδα. Μόνο ο *Juniper macrocarpa* σχηματίζει αμιγείς συστάδες σε αμμώδεις παραλιακές περιοχές του Αιγαίου όπως η Ελαφώνησος, η Γαύδος, η Κρήτη, ενώ τα άλλα είδη βρίσκονται είτε στον υπόροφο άλλων τύπων δασών, είτε σε μίξη με αείφυλλα-σκληρόφυλλα.

Τα φυσικά δάση κυπαρισσιού είναι λίγα στην Ελλάδα (απαντώνται σε Κρήτη, Δυτική Ελλάδα και τα νησιά του Ιονίου) και, παρά την αντίθετη επικρατούσα αντίληψη, καίγονται και αυτά. Τεχνητά αλσύλλια και συστάδες βρίσκονται σε ολόκληρη τη χώρα (εισήχθη μαζικά σε μέρη όπως η Ρόδος, Σάμος και Σάμη). Το πιο γνωστό είδος κυπαρισσιού της Ελλάδας είναι το κοινό κυπαρίσσι το αιθαλές (*Cupressus sempervirens*). Σε περιστατικά πυρκαγιών, καίγεται ο υπόροφος από χόρτα, θάμνους και βελόνες με αποτέλεσμα να νεκρώνεται το δέντρο στον κορμό, ενώ λόχμες του είδους είναι πολύ ευαίσθητες σε επικόρυφες πυρκαγιές καταστρέφοντας ολοκληρωτικά τα δέντρα (Κωνσταντινίδης 2001). Είναι παθητικό αλλά και ενεργητικό πυράντοχο και κρατά μέρος των κώνων του κλειστούς για μερικά χρόνια, όπου προστατεύονται οι σπόροι σε περίπτωση πυρκαγιάς (Κωνσταντινίδης 2001). Αμέσως μετά την πυρκαγιά διασκορπίζει χιλιάδες σπόρους στο απογυμνωμένο έδαφος, ενώ διατηρεί μικρό αριθμό κοιμώμενων οφθαλμών πολύ κοντά ή κάτω από το έδαφος, οι οποίοι ενεργοποιούνται εφόσον καεί ή κοπεί το υπέργειο τμήμα. Στην Ελλάδα μετά από πυρκαγιά αναγεννιούνται φτωχικά έως μέτρια, σε αντίθεση με την εισαγόμενη *Cupressus arizonica* που αναγεννιέται άριστα (Καϊλίδης 2004).

Οι πυρκαγιές που εκτυλίσσονται σε περιοχές που καλύπτονται κατά κύριο λόγο από κουκουναριά (*Pinus pinea*) και μαύρη πεύκη λαμβάνουν μέτρια προς υψηλή (80) βαθμολογία λόγω της δυσκολίας αναγέννησής τους, και λόγω του ότι οι συστάδες αυτές δεν είναι πολύ διαδεδομένες στην Ελλάδα. Τα δάση κουκουναριάς (*Pinus pinea*) απαντώνται στη Δ. Πελοπόννησο (δάσος Στροφυλιάς), Μαραθώνα, Νάξο, Σκιάθο (Ν. Σκιάθος-Κουκουναριές) και στη χερσόνησο της Σιθωνίας. Η έρευνα των Rodrigo *et al.* (2007) σχετικά με αναγέννηση του είδους σε οκτώ καμένες εκτάσεις της Καταλονίας (μεταξύ 1979 και 2001), έδειξε ότι υπήρχε σημαντική δυσχέρεια στην ανάπτυξη δενδρυλλίων με διασπορά σπόρων μετά από την πυρκαγιά, καθώς και ότι μειώθηκε η πυκνότητα και κάλυψη τους σε σχέση με μη καμένες εκτάσεις. Λόγω της σπανιότητας της παρουσίας του είδους, αλλά και της δυσκολίας επανάκαμψής τους, θεωρήθηκε ότι υπάρχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις σε αυτό. Οι πυρκαγιές σε συστάδες κουκουναριάς είναι συνήθως έρπουσες λόγω του μεγάλου ύψους έναρξης κόμης της, όμως δεν είναι σπάνιο η φωτιά να μεταπηδά στην κόμη μέσω της κλιμακωτής βλάστησης ή να νεκρώνει το δέντρο μέσω θέρμανσης/ καύσης του κάμβιου και των ριζών του.

Η μαύρη πεύκη φύτεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα σε σχέση με τα θερμόβια κωνοφόρα (800 έως 1000 m). Είναι είδος ημισκιάφυτο και αποκλαδώνεται φυσικά, ενώ στον υπόροφο της υπάρχει συνήθως μόνο βελονοτάπητας. Είναι από τα λιγότερα εύφλεκτα είδη κωνοφόρων, ενώ το πλήθος των πυρκαγιών που συμβαίνουν στις συστάδες της είναι έρπουσες, και μόνο υπό δυσμενείς συνθήκες (έντονοι άνεμοι και μεγάλες κλίσεις) μπορεί να εξελιχθεί σε πυρκαγιά κόμης. Το είδος είναι ανθεκτικό λόγω του παχύ φλοιού του που δεν σκάζει και δεν νεκρώνεται, έχοντας δυνατότητες αποφυγής της δευτερογενούς προσβολής των σωζόμενων δέντρων από μύκητες και έντομα. Εφόσον καεί, ανακάμπτει αργά με δύσκολη και ευαίσθητη σε διαταραχές φυσική αναγέννηση. Οι σπόροι που παράγονται ωριμάζουν κατά το φθινόπωρο-χειμώνα και διασπείρονται την άνοιξη με αποτέλεσμα κατά

τις θερινές πυρκαγιές να μην υπάρχουν ώριμοι σπόροι για την εγκαθίδρυση της αναγέννησης. Αρκετά συχνά τη βρίσκουμε σε μίξη με ελάτη και πιο σπάνια με άλλα είδη κωνοφόρων.

Οι πυρκαγιές που εκτυλίσσονται σε περιοχές που καλύπτονται κατά κύριο λόγο από δάση ελάτης, δασικής πεύκης, Ρόμπολου και βαλκανικής πεύκης λαμβάνουν υψηλή βαθμολογία (100) λόγω της πολύ μεγάλης δυσκολίας αναγέννησης και σπανιότητας των ανωτέρω ειδών. Τα δάση ελάτης της Ελλάδος κυριαρχούνται από το ενδημικό είδος Κεφαλληνιακή Ελάτη (*Abies cephalonica*), η οποία αναπτύσσεται στα βουνά όλης της Ν. Ελλάδας (από τα Άγραφα μέχρι τον Ταΰγετο της Πελοποννήσου), σχηματίζοντας εκτεταμένα δάση σε υψόμετρα από 600 έως 2000 m, ενώ απαντάται σε μικτές συστάδες και στη Β. Ελλάδα. Είναι σκιανθεκτικό και ψυχρόβιο είδος και μπορεί να αναπτυχθεί σε αβαθή και ξηρότερα εδάφη, ιδίως σε ασβεστολιθικά πετρώματα, γιατί οι ρίζες εισχωρούν βαθιά μέσα στις ρωγμές και εξασφαλίζουν τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες. Άλλα είδη ελάτης είναι η Λευκή Ελάτη (*Abies alba*), την οποία συναντάμε στα βουνά της Ηπείρου, Μακεδονίας και Θράκης και η διασταύρωση του ευρωπαϊκού Λευκού Έλατου με την Κεφαλληνιακή Ελάτη (φυσικό υβρίδιο Υβριδογενής Ελάτη-*Abies borisii-regis*) που απαντάται στα βουνά της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδος. Όπως αναφέρει ο Καϊλίδης (2004), οι καθαρές πυρκαγιές ελάτης είναι πρακτικά άγνωστες καθώς στα φυσικά δάση δημιουργεί κλειστές συστάδες και στο έδαφος υπάρχει μόνο βελονοτάπητας που χουμοποιείται γρήγορα και αποκλαδώνεται φυσικά, χωρίς να υπάρχουν χόρτα και θάμνοι. Υπό πολύ ξηρές συνθήκες όμως έχουν συμβεί καταστροφικές πυρκαγιές, όπως οι πυρκαγιές της Εύβοιας το 1998 (900 ha), στο Μαίναλο Αρκαδίας το 2000 (3000 ha), του Ταΰγετου και της Πάρνηθας το 2007 (2.500 και 2.180 ha αντίστοιχα). Δεν είναι είδος προσαρμοσμένο στις πυρκαγιές οι οποίες, κατακαίγοντας ακόμα και τους κώνους της, στερούν την αποθεματική ύπαρξη σπόρων μετά τη φωτιά. Το μεγάλο πρόβλημα είναι η ευαισθησία στη φλοιόκαυση, δηλαδή το κάψιμο του φλοιού όταν το νεαρό είδος εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία, εμποδίζοντας την αναδημιουργία του καμένου ελατοδάσους. Ως συνέπεια, απαιτούνται συνθήκες σκίασης οι οποίες πρέπει να δημιουργηθούν τεχνητά, ειδικά ο φυσικός χρόνος επανάκαμψης είναι πάρα πολύ μεγάλος. Σύμφωνα με τη διαχειριστική μελέτη του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας (Αμοργιανιώτης 1997), προκύπτει ότι για να αποκτήσει ένα δένδρο ελάτης στην Πάρνηθα στηθιαία διάμετρο 10, 20, 40 και 50 cm απαιτούνται 41, 73, 171, 247 έτη αντίστοιχα, το δε μέσο ύψος στις αντίστοιχες διαμέτρους είναι 5,4, 8,6, 12,3, 13,6 m. Για την εξασφάλιση της σκίασης πρέπει να δημιουργηθεί πρόδασος από άλλα είδη, όπως η μαύρη πεύκη ή ο άρκευθος τα οποία δεν είναι ανταγωνιστικά της, ενώ στη σκιά τους δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για τη φύτευση και ανάπτυξη της ελάτης.

Η Δασική Πεύκη (*Pinus silvestris*) είναι ένα κοινό είδος της Ευρώπης, στην Ελλάδα όμως εμφανίζεται σε μεγάλα υψόμετρα από τον Όλυμπο και βόρεια, όπως τα Πιέρια όρη και η Ροδόπη, σχηματίζοντας αμιγή ή μικτά δάση συνολικής έκτασης 21.000 ha. Στη Ροδόπη υπάρχουν αμιγείς συστάδες στις θέσεις Χάϊντου, Λεπίδα και Ελατιά, με μικτές σε πολλές άλλες θέσεις. Είναι δέντρο πολύ ψηλό (έως και 40 m) και αυτή του η ιδιότητα καθιστά δύσκολη την ολοκληρωτική του καύση μέσω πυρκαγιών κόμης. Η Λευκόδερμη Πεύκη-Ρόμπολο (*Pinus leucodermis*) βρίσκεται στα βουνά της Β. Πίνδου, στον Όλυμπο, στο Βέρμιο και στο Βούρινο. Ευδοκίμει σε πετρώδη και ορεινά εδάφη σε υψόμετρο 1.500 -2.400 m, στις πλέον αντίξοες κλιματικές συνθήκες, και εκεί όπου τελειώνουν τα δάση μαύρης πεύκης ή ελάτης. Είναι είδος που απαντάται διάσπαρτο και δεν σχηματίζει πυκνό δάσος. Και τα δύο είδη μπορούν να νεκρωθούν από έρπουσες ή εδαφικές πυρκαγιές, κυρίως αν πληγεί το κάμβιο και το ριζικό σύστημα. Τα μεγάλα υψόμετρα στα οποία ευδοκίμουν, τα πολλά έτη που απαιτούνται για την επαναδημιουργία των συστάδων, η σπανιότητα τους στον Ελλαδικό χώρο και η συγκέντρωσή τους σε θύλακες τα καθιστούν ιδιαίτερα ευάλωτα είδη.

Τέλος, η Βαλκανική πεύκη (*Pinus peuce*) είναι από τα ελάχιστα πενταβέλονα είδη πεύκης στην Ευρώπη με ιδιαίτερη οικολογική, αισθητική, ιστορική και οικονομική αξία. Είναι

λείψανο της τριτογενούς περιόδου και τα συγγενικά του είδη (*Pinus mondicola*, *Pinus strobus*, *Pinus wallichiana*, *Pinus dalatensis*) βρίσκονται σήμερα στη Β. Αμερική και στην Ασία. Η Βαλκανική Πεύκη έχει πολύ περιορισμένη φυσική εξάπλωση στην Ελλάδα, με μόνο δύο περιοχές εμφάνισης (στο όρος Βόρρας και στη Ροδόπη), σχηματίζοντας αμιγείς και μικτές συστάδες με ελάτη και ερυθρελάτη. Απαντάται πιο συχνά στη Σερβία, το Μαυροβούνιο, την Αλβανία, τη Βουλγαρία και την FYROM σε υψόμετρο 600 με 2.200 m. Είναι ενδημικό είδος, ενώ λόγω της σπανιότητας του θεωρείται μοναδικό δείγμα παγκόσμιας φυσικής κληρονομιάς (οδηγία 92/43/EEC) και ο βιότοπός του έχει ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό δίκτυο προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000 (Κωδικός NATURA GR1120003 OROS CHAINTOU-KOULA & GYRO KORYFES). Είναι πολύ ανθεκτική στις πολύ χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες, ακόμα και κάτω από τους -45°C , καθώς και στην έκθεση σε δυνατό άνεμο. Εξαιτίας της υψηλής ανθεκτικότητας της μπορεί να φύτευται και σε χαμηλότερα υψόμετρα όπου και μπορεί να αναπτυχθεί γρηγορότερα από ότι στα ψηλά βουνά.

8.2.1.3. Προστατευόμενη Περιοχή - Α.3.

Στο κριτήριο Α.3 περιγράφεται το αν η περιοχή που εκδηλώθηκε η φωτιά έχει χαρακτηριστεί ως δασική προστατευόμενη περιοχή, καθώς και το ποσοστό που καταλαμβάνει εντός της συνολικά καμένης έκτασης. Οι μεγαλύτερες καταστροφές και απώλειες βλάστησης συμβαίνουν από πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα σε δάση και δενδρώδεις εκτάσεις. Οι κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών που επιλέχθηκαν σε αυτό το κριτήριο αφορούν αποκλειστικά σε δάση και δρυμούς (Εικόνα 8.3). Αν μια περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί με παραπάνω από μια κατηγορίες τότε πρέπει να επιλεγεί ποια από αυτές έχει την ανώτερη βαθμολογία. Το κριτήριο Α.3 συνοδεύεται από έναν Προσθήκη Κριτηρίου στον οποίο καθορίζεται η ποσοστιαία αναλογία καύσης προστατευόμενων περιοχών/ άλλων περιοχών εντός πυρικής περιμέτρου. Η τελική τιμή του κριτηρίου προκύπτει από τον μέσο όρο της βαθμολογίας του κριτηρίου και του προσθήκη του. Για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Όχι (0), Παρόχθιο ή Παράκτιο ή Προστατευτικό Δάσος (40), Αισθητικό Δάσος ή Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης (60), Εθνικός Δρυμός ή Εθνικό Πάρκο (80), Παρθένο Δάσος (100).

Οι Παρόχθιοι Οικότοποι/ Παραποτάμια Δάση είναι από τους πλέον σημαντικούς οικολογικά και κοινωνικοοικονομικά οικοτόπους καθώς, αν και καλύπτουν σχετικά μικρή έκταση, υποστηρίζουν πολύ υψηλή ποικιλότητα ειδών χλωρίδας και πανίδας. Επιπλέον, αποτελούν σημαντικούς τόπους αναπαραγωγής ψαριών και γενικά της άγριας πανίδας, ενώ παράλληλα αποτελούν και «διαδρόμους» μετακίνησης τους. Ακόμα, παρέχουν σημαντικές υπηρεσίες/ αξίες στις ανθρώπινες κοινωνίες, όπως αντιπλημμυρική προστασία, καθαρισμός των νερών, αναψυχή, σταθεροποίηση των πρανών, πεδία επιστημονικής έρευνας, αλιευτική και αισθητική αξία. Πολλά παρόχθια δάση έχουν ενταχθεί στο δίκτυο NATURA 2000. Σημαντικά παρόχθια δάση υπάρχουν στον Ευρώτα, στον Άρδα, στη νότια όχθη της Λίμνης Βόλβης (Δάσος της Απολλωνίας), στις όχθες του ποταμού Ρήχιου (Δάσος των Στενών Ρεντίνας), στο Φράξο της Αιτωλοακαρνανίας, στο Κοντζά Ορμάν στις εκβολές του Νέστου, στον Αλιάκμονα, στο Διάβα Καλαμπάκας, στην Πρέβελη Ρεθύμνου (φοινικόδασος) και αλλού. Όσον αφορά τη βλάστηση που περιλαμβάνουν τα παρόχθια δάση της Ελλάδος, κυριαρχούνται κυρίως από ιτιές (*Salix* spp.), ενώ περιλαμβάνουν πολλά στρώματα (ορόφους) με βλάστηση από λεύκες (*Populus* spp.), σκλήθρα (*Alnus* spp.), φράξους (*Fraxinus angustifolia*), φτελιές (*Ulmus* spp.), τα οποία αναπτύσσονται σε εποχικά κατακλυζόμενα εδάφη ή εδάφη με υψηλή υγρασία. Κυρίαρχο είδος είναι και ο πλάτανος και ζητιά (*Liquidambar orientalis*).

Ως Παράκτιο Δάσος ορίζεται ένα δάσος το οποίο βρίσκεται εγγύς των θαλασσιών ακτών. Στην Ελλάδα συναντάμε παράκτια δάση και δασικές εκτάσεις με πεύκα, άρκευθο, θαμνώνες

(αγριελιά, χαρουπιά, κουμαριά, σχίνος, πουρνάρι, μυρτιά) και φρύγανα (αστοιβίδα, λαδανιά, ρίγανη, θυμάρι, λεβάντα, ασπάλαθος). Τα είδη που συνθέτουν αυτά τα δάση αντέχουν στην παρατεταμένη ξηρασία και στους ισχυρούς ανέμους, ενώ ευδοκούν σε σχετικά άγονα εδάφη. Μερικά από τα σημαντικότερα παράκτια δάση της Ελλάδος είναι τα κεδροδάση στην Κρήτη, το φοινικόδασος στο Βαί της Κρήτης, τα πευκοδάση στη Χαλκιδική και τις Σποράδες, τα δάση με τις κουκουναριές στη Σκιάθο και στη Στροφυλιά, το παράκτιο δάσος μαύρης πεύκης στα Πετρωτά Αλεξανδρούπολης (το οποίο αποτελείται από δέντρα νάνους), και το παράκτιο δάσος της Ελαίας στη Μεσσηνία.

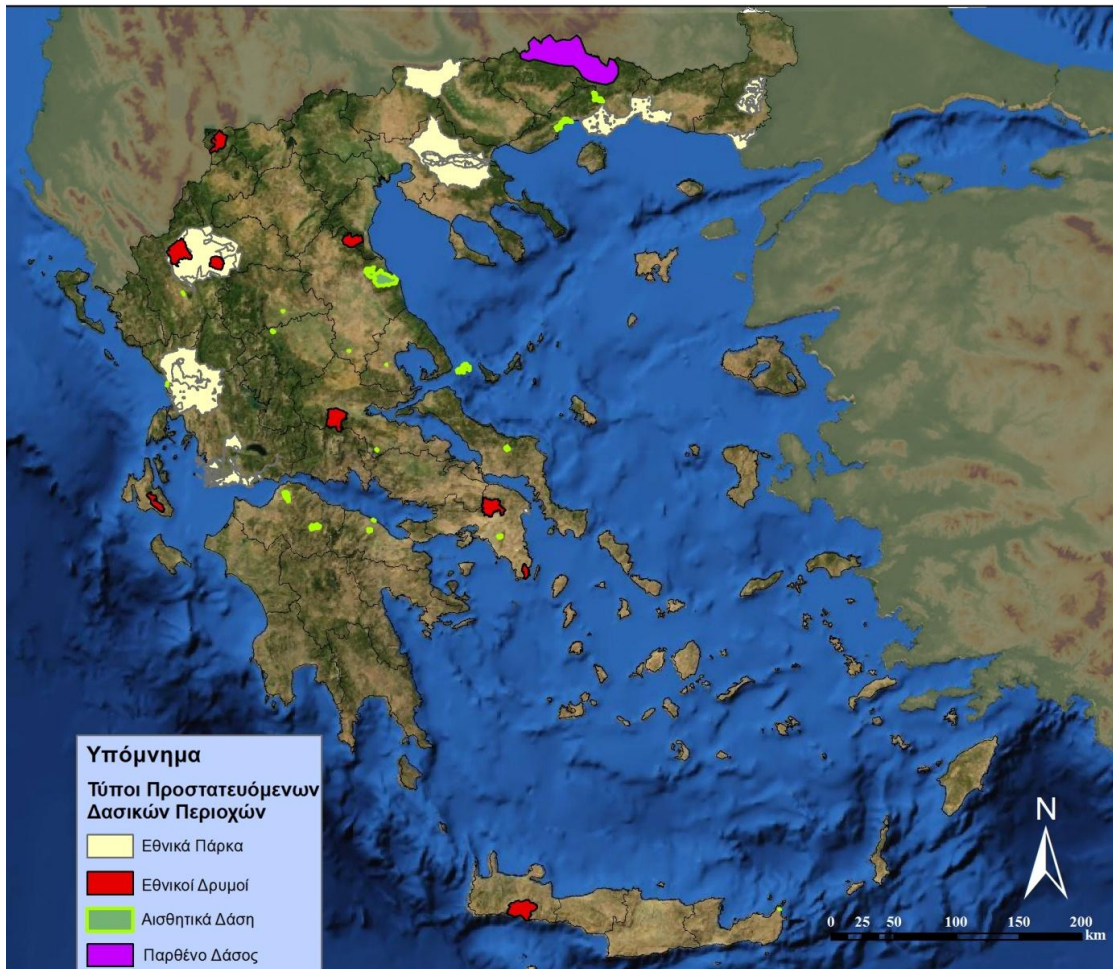
Ως Προστατευτικά Δάση χαρακτηρίζονται αυτά που φύονται σε κατωφέρειες, άλλα και όσα προστατεύουν και συγκρατούν το έδαφος από καταπτώσεις, πλημμύρες και χείμαρρους. Επιπλέον, ο χαρακτηρισμός αποδίδεται σε όσα δάση βρίσκονται στις όχθες ποταμών, ρεμάτων και θαλασσών και αυτά που προστατεύουν πηγές, ρέματα, τοπία ιστορικής αξίας, μνημεία καθώς και άλλες τρωτές φυσικές και κοινωνικές αξίες. Ως και τον Αύγουστο του 2009 έχουν κηρυχθεί οι περιοχές του ορεινού όγκου Λευκών Ορέων, των Κορυφών Ασφένδου Καλλικράτη και του ορεινού όγκου Αποπηγάδι Σελίνου, όλες στο Νομό Χανίων. Η κατηγορία με όλα τα προαναφερθέντα είδη προστατευόμενων δασών βαθμολογείται με μέτρια-χαμηλή τιμή (40).

Σύμφωνα με το νομοθετικό διάταγμα 996/71 (άρθρο 3, παρ. 2), αισθητικά δάση μπορούν να κηρύσσονται δάση ή φυσικά τοπία που έχουν τέτοια ιδιαίτερη αισθητική, υγιεινή και τουριστική σημασία, ώστε να επιβάλλεται η προστασία της πανίδας, της χλωρίδας και του ιδιαίτερου φυσικού κάλλους τους. Για την προστασία, οργάνωση και βελτίωση των αισθητικών δασών προβλέπεται νομοθετικά η λήψη μέτρων και εκτέλεση έργων από την πολιτεία. Τα αισθητικά δάση της Ελλάδος παρατίθενται στον Πίνακα Π.3 του Παραρτήματος. Τα Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (έχουν κηρυχθεί 51) περιλαμβάνουν μεμονωμένα δένδρα ή συστάδες δένδρων με ιδιαίτερη βοτανική, οικολογική, αισθητική ή ιστορική και πολιτισμική αξία. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν επίσης εκτάσεις με σπουδαίο οικολογικό, παλαιοντολογικό, γεωμορφολογικό ή άλλο ενδιαφέρον. Η θεσμοθέτησή τους υλοποιήθηκε βάσει του δασικού κώδικα. Η πλειονότητα των μνημείων αυτών καταλαμβάνει ελάχιστα τετραγωνικά μέτρα. Τα σημαντικότερα σε έκταση και αξία μνημεία παρουσιάζονται στον Πίνακα Π.4 του παραρτήματος. Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών που λαμβάνουν χώρα εντός των αισθητικών δασών και διατηρητέων μνημείων της φύσης έχουν μέτρια βαθμολογία (60).

Οι Εθνικοί Δρυμοί/ Πάρκα της Ελλάδας είναι φυσικές περιοχές που έχουν ιδιαίτερη οικολογική σημασία εξαιτίας της σπανιότητας και της ποικιλομορφίας της χλωρίδας και πανίδας που περιέχουν, των γεωμορφολογικών σχηματισμών και του υπεδάφους τους, του υδρογραφικού δικτύου και των σχηματισμών του, της ατμόσφαιρας και γενικά του φυσικού περιβάλλοντός που περικλείουν. Χρησιμοποιείται συνήθως ο όρος "εθνικός δρυμός" αντί του όρου "εθνικό πάρκο" (national park) που είχε επικρατήσει σε άλλες χώρες γιατί θεωρήθηκε ότι οι αξίες της φύσης που έχουν ανάγκη ιδιαίτερης προστασίας βρίσκονται κυρίως στον ορεινό χώρο, σε απομονωμένες περιοχές "παρθένας φύσης". Οι δρυμοί είναι "Εθνικοί" με την έννοια ότι έχουν ιδιαίτερη αξία για όλο το έθνος εξαιτίας της απaráμιλλης ομορφιάς και των ευκαιριών που προσφέρουν για έρευνα, εκπαίδευση και αναψυχή. Η διαχείριση τους γίνεται στα πλαίσια των αρχών που καθορίζονται από το Ν. 996/71, που αποτελεί μέρος του Ν. 86/1969 «Περί Δασικού Κώδικος» και σύμφωνα με το διάταγμα αυτό, οι Εθνικοί Δρυμοί αποτελούνται από τον πυρήνα και την περιφερειακή ζώνη, έκτασης τουλάχιστον ίσης με το πυρήνα. Στην Ελλάδα έχουν κηρυχθεί δέκα περιοχές ως Εθνικοί δρυμοί και παρουσιάζονται στον Πίνακα Π.5 του Παραρτήματος. Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών που λαμβάνουν χώρα εντός των Εθνικών Δρυμών αξιολογούνται με μέτρια προς υψηλή βαθμολογία (80).

Τέλος, ως Παρθένο Δάσος χαρακτηρίζεται το δάσος που δημιουργείται, αναπτύσσεται και αναγεννιέται ακλουθώντας τους κανόνες της φύσης κάτω από τις επιδράσεις του βιοτικού

και αβιοτικού περιβάλλοντος, χωρίς καμία ανθρώπινη επέμβαση εδώ και τουλάχιστον 500 χρόνια. Υπάρχει ένας αδιάκοπος αγώνας για το φως, το νερό, τα θρεπτικά συστατικά, το ζωτικό χώρο ανάμεσα στα μεμονωμένα άτομα αλλά και ανάμεσα στα είδη, ενώ τα φυτά μεγαλώνουν, δημιουργούν σπέρματα, πεθαίνουν και τα διαδέχονται άλλα. Συνήθως, τα παρθένα δάση διακρίνονται στα πρωτογενή, τα οποία παρέμειναν μακριά από ανθρωπογενείς επιδράσεις, και στα δευτερογενή, που υπέστησαν κάποτε ανθρωπογενείς επιδράσεις οι οποίες όμως δεν άφησαν εμφανή ίχνη. Στα παρθένα δάση τυπικά δεν επιτρέπονται ανθρωπογενείς επιδράσεις όπως υλοτομία, κυνήγι ή τουριστικές δραστηριότητες. Στην Ελλάδα, γνωστό είναι το Παρθένο δάσος του όρους Φρακτού στο βόρειο άκρο του ελληνικού τμήματος της οροσειράς της Ροδόπης, το οποίο κηρύχθηκε νομοθετικά το 1979. Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών που λαμβάνουν χώρα εντός των Παρθένων Δασών αξιολογούνται με υψηλή βαθμολογία (100).



Εικόνα 8.3: Προστατευόμενες Δασικές Περιοχές στην Ελλάδα

8.2.1.4. Επιρροή Εκπεμπόμενων Αερίων Ρύπων - Α.4.

Στο κριτήριο Α.4 περιγράφεται το αν επηρεάστηκε η ευζωία/ ποιότητα του κατοικημένου περιβάλλοντος μέσω των εκπομπών αερίων ρύπων, δηλαδή η υγεία του οικοσυστήματος και η δυνατότητα των πολιτών για απόλαυση της ζωής (αναψυχή) και της παρουσίας τους (Newman 1999, Marans and Couper 2000, Van Kamp *et al.* 2003). Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, η ομίχλη/ θολούρα (haze) που δημιουργείται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς θεωρείται ως αρνητική επίπτωση στην αναψυχή και απόλαυση της ζωής. Ο ορισμός της ρύπανσης της ατμόσφαιρας περιλαμβάνει τόσο την ανθρωπογενή προέλευση

της, που περιλαμβάνει τη δημιουργία όζοντος κατά τη διάρκεια θερινών ημερών σε πόλεις της Ελλάδας, την καύση αγρών ή υπολειμμάτων καλλιεργειών κοντά σε κατοικημένες περιοχές, καθώς και τη συγκέντρωση ρύπων από βιομηχανίες και άλλες δραστηριότητες, όσο και τη πρόκληση της από φυσικές πηγές όπως οι δασικές πυρκαγιές ή τη δραστηριότητα ενός ηφαιστείου. Το κριτήριο αξιολογείται βάσει των συνεπειών που μπορεί να προκαλέσει σε κατοικημένες περιοχές και περιοχές συγκέντρωσης ανθρώπων για αναψυχή ή τουρισμό, παρέχοντας τις παρακάτω επιλογές: Μακριά από οικισμούς (0), Κοντά σε μικρούς οικισμούς (<5.000 κάτοικοι) ή μικρούς τουριστικούς οικισμούς/ εγκαταστάσεις (10), Μείωση ορατότητας εντός μεσαίων οικισμών (<20.000 κάτοικοι) ή μεσαίων τουριστικών οικισμών/ εγκαταστάσεων (40), Μείωση ορατότητας εντός μεγάλων πόλεων (>20.000 κάτοικοι) ή μεγάλων τουριστικών οικισμών/ εγκαταστάσεων (60), Αποπνικτική ατμόσφαιρα εντός μεσαίων οικισμών (<20.000 κάτοικοι) ή μεσαίων τουριστικών οικισμών/ εγκαταστάσεων (80), Αποπνικτική ατμόσφαιρα εντός μεγάλων πόλεων (>20.000 κάτοικοι) (100).

Στις ΗΠΑ έχουν θεσμοθετηθεί διατάξεις όπως η Clean Air Act, National ambient air quality standards-NAAQS (U.S. Environmental Protection Agency 2000), που στοχεύουν στην προστασία της υγείας και ευζωίας των ανθρώπων απέναντι στις αρνητικές επιπτώσεις της ρύπανσης του αέρα, θεσπίζοντας όρια στις συγκεντρώσεις σημαντικών ρυπαντών τις οποίες αν υπερβούν, μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (βασικά όρια) ή στην ευζωία (δευτερεύοντα όρια) (Πίνακας 8.3).

Πίνακας 8.3: Καθορισμένα όρια ποιότητας του αέρα στις ΗΠΑ

Ρυπαντής	Βασικά/ Δευτερεύοντα όρια	Μέσος Χρόνος Έκθεσης	Επίπεδα	
Carbon Monoxide	Βασικά	8-ώρες	9 ppm	
		1-ώρα	35 ppm	
Μόλυβδος (Pb)	Βασικά και Δευτερεύοντα	Κινούμενος μέσος 3 μηνών	0.15 µg/m ³	
Διοξείδιο του Αζώτου (NO ₂)	Βασικά	1-ώρα	100 ppb	
	Βασικά και Δευτερεύοντα	Ετήσιο	53 ppb	
Οζόν	Βασικά και Δευτερεύοντα	8-ώρες	0.075 ppm	
Διοξείδιο του Θείου	Βασικά	1 ώρα	75 ppb	
	Δευτερεύοντα	3 ώρες	0.5 ppm	
Αιωρούμενα Μικροσωματίδια	PM _{2.5}	Βασικά	Ετήσιο	12 µg/m ³
		Δευτερεύοντα	Ετήσιο	15 µg/m ³
	PM ₁₀	Βασικά και Δευτερεύοντα	24 ώρες	150 µg/m ³

Μονάδες μέτρησης: σωματίδια ανά εκατομμύριο (ppm) κατ' όγκο, σωματίδια ανά δισεκατομμύριο (ppb) κατ' όγκο και μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα (µg/m³).

Η ανάφλεξη και καύση της καύσιμης ύλης μιας περιοχής έχει την ιδιότητα να απελευθερώνει ρυπαντές στην ατμόσφαιρα (Sastry 2002). Ο καπνός αποτελείται από άκαυτη ύλη αποτελούμενη κυρίως από σωματίδια, στάχτη και υδρατμούς, όπως και από εκπομπές αερίων από σωματίδια, μέταλλα και υδατάνθρακες. Όλοι οι ρυπαντές του αέρα κατηγοριοποιούνται στους πρωταρχικούς και στους δευτερεύοντες ρυπαντές. Οι πρωταρχικοί ρυπαντές είναι οι ουσίες οι οποίες εκλύονται άμεσα στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς (σωματίδια, υδατάνθρακες, CO, O₃, SO₂, NO₂, Pb), ενώ οι δευτερεύοντες ρυπαντές είναι νέες ουσίες που δημιουργούνται από τις χημικές διεργασίες που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα (Sandberg *et al.* 2002). Η ορατότητα μιας περιοχής επηρεάζεται κυρίως από τη διάχυση και την απορρόφηση του φωτός από τα σωματίδια και

τα αέρια, επιδρώντας στην καθαρότητα, στο χρώμα και στην υφή των όσων οπτικά διακρίνονται. Τα μικρά σωματίδια (PM_{2.5}) είναι πιο ενεργά στην πρόκληση προβλημάτων ορατότητας. Η πλειοψηφία των εκλυόμενων σωματιδίων από τις πυρκαγιές είναι οργανικές ενώσεις με βάση τον άνθρακα.

Μια επιπλέον διάκριση μπορεί να γίνει για όσους ρυπαντές προκαλούν επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Σημαντική επίδραση στους ανθρώπους προκαλούν τα αιωρούμενα μικροσωματίδια και η επιρροή τους εξαρτάται από την ηλικία, το ιστορικό υγείας του εκτεθειμένου ατόμου και τα επίπεδα έκθεσης του (Vedal and Dutton 2006). Σημαντικότερος παράγοντας είναι το μέγεθος των εισπνεόμενων σωματιδίων επειδή τα μεγάλα σωματίδια (>5 microns) εγκλωβίζονται στην ανώτερη αναπνευστική οδό και μπορούν να αντιμετωπιστούν ενώ αντιθέτως, τα μικρά σωματίδια (<2,5 microns) εισχωρούν βαθύτερα μέσω της κατώτερης αναπνευστικής οδού και καταλήγουν στα πνευμόνια και σε άλλες θέσεις εντός του σώματος. Στον καπνό μιας δασικής πυρκαγιάς, το 90% όλων των εκλυόμενων σωματιδίων ανήκει στην κατηγορία PM₁₀, και από αυτά, περίπου το 80 με 90% ανήκει στην κατηγορία των μικρών σωματιδίων PM_{2.5} (Ward and Hardy 1991).

8.2.1.5. Πιθανότητες Διάβρωσης/ Απώλειας Εδαφών - A.5.

Το κριτήριο A.5 αξιολογεί τις πιθανότητες διάβρωσης και απώλειας εδαφών. Για την εκτίμησή του πρέπει να καθοριστούν η σφοδρότητα καύσης της περιοχής, οι κλίσεις, ο τύπος των εδαφών καθώς και η δραστηριότητα της βόσκησης. Επιπλέον, πρέπει να καθοριστεί το ποσοστό της περιοχής εντός της καμένης έκτασης στο οποίο αναμένεται να υπάρχουν τέτοιες πιθανότητες. Μετά από μια πυρκαγιά, αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα για πλημμύρες και διάβρωση, εν μέρει λόγω της αυξημένης επιφανειακής απορροής και μειωμένης καθίζησης των υδάτων εντός της καμένης έκτασης (Robichaud 2000, Parsons *et al.* 2010). Η διάβρωση του εδάφους και η υποβάθμιση της ποιότητας ενός τόπου προκαλούν σημαντικά προβλήματα σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Το πρόβλημα προκαλεί οικονομικές, πολιτικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω των ζημιών που προκαλούνται εντός και εκτός της περιοχής δράσης μιας πυρκαγιάς. Πολλές ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η βόσκηση, οι εξορύξεις, οι κατασκευές και οι αγροτικές δραστηριότητες επιδρούν στην επιφάνεια της γης και προκαλούν διάβρωση, η οποία εντείνεται αν συνδυαστεί με φαινόμενα πυρκαγιών. Η διάβρωση του εδάφους που προκύπτει σε καλλιεργημένες εκτάσεις είναι συχνά υψηλότερη από τις ακαλλιεργητές (Vijith *et al.* 2012). Πολλές από τις διεργασίες που επηρεάζουν την ποιότητα των εδαφών μέσω διάβρωσης, δημιουργίας πλημμυρών και υποβάθμισής τους έχουν ήδη περιγραφεί στο υποκεφάλαιο 2.5. Για την εκτίμηση της διάβρωσης και των άλλων δυσμενών επιπτώσεων στο έδαφος υπάρχουν αρκετά μοντέλα και λογισμικά όπως το Water Erosion Prediction Project (WEPP-Flanagan and Livingston 1995), το Erosion Risk Management Tool (ERMiT-Robichaud *et al.* 2007), το Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE-RUSLE 1993) και άλλα. Πολλά από αυτά έχουν και χωρικές προεκτάσεις, ενώ η μέθοδος των Fox *et al.* (2006) εφαρμόστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την περιοχή του Έβρου. Για την αξιολόγηση του κριτηρίου υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Καθόλου (0), Λίγες (20), Μέτριες (60), Πολλές (100).

Η πυκνότητα της βλάστησης προ της πυρκαγιάς (συμπεριλαμβανομένης και της καύσιμης ύλης της επιφάνειας και του εδάφους) είναι ένας βασικός παράγοντας που επιδρά στις πιθανότητες να προκύψει διάβρωση μετά την πυρκαγιά (Parsons *et al.* 2010). Πέρα από την αναγνώριση των γενικών χαρακτηριστικών της πυκνότητας βλάστησης της περιοχής πρέπει επίσης να εκτιμηθεί η χωρική κατανομή ή αλλιώς, ετερογένεια/ ομοιογένεια της βλάστησης. Μεγάλα τμήματα πυκνής βλάστησης (όπως στις πλαγιές) σε μια γενικώς χαρακτηρισμένη περιοχή ως αραιής βλάστησης, μπορεί να προκαλέσουν κατά τόπους υψηλή σφοδρότητα καύσης, που με τη σειρά της προκαλεί υδρολογικές διαταραχές σε περίπτωση

έντονων βροχοπτώσεων. Σε μια λεκάνη απορροής όσο μικρότερα είναι τα τμήματα πυκνής βλάστησης που δημιουργούν υψηλή εδαφική σφοδρότητα καύσης, τόσο μικρότερες πιθανότητες υπάρχουν να παρουσιαστεί αυξημένη μεταπυρική απορροή ή εδαφική διάβρωση. Επιπλέον, στα φαινόμενα διάβρωσης και υποβάθμισης που σχετίζονται με τη σφοδρότητα καύσης συνεισφέρουν και οι τύποι βλάστησης (άγρονο, γρασίδι, φρύγανα, θάμνοι και δέντρα), σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή της καύσιμης ύλης εδάφους, επιφάνειας, κλίμακας και κόμης (Πίνακας 8.4-Parsons *et al.* 2010). Η κατανομή τους μπορεί να διαφέρει σημαντικά εντός της καμένης περιοχής.

Πίνακας 8.4: Σχέσεις τύπου βλάστησης και πυκνότητας κόμης με τη σφοδρότητα καύσης του εδάφους

Τύπος βλάστησης	Πυκνότητα Κάλυψης	Τάξεις σφοδρότητας καύσης του εδάφους		
		Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
Θαμνώνες	Αραιή	Κ	Σ	
	Μέτρια	Κ	Κ	Σ
	Υψηλή	Κ	Κ	Σ
Δάσος	Αραιή	Κ	Σ	
	Μέτρια	Κ	Κ	Σ
	Υψηλή	Κ	Κ	Κ
Φρύγανα	Αραιή	Κ	Σ	
	Μέτρια	Κ	Κ	Σ
	Υψηλή	Κ	Κ	Σ
Γρασίδι	Αραιή	Κ		
	Μέτρια	Κ	Σ	
	Υψηλή	Κ	Κ	

Αραιή = 20%, Μέτρια = 20-60% και Υψηλή \geq 60%. Κ=Κοινό, Σ=Σπάνιο (αλλά μπορεί να συμβεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες). Γκρι κελιά = Δέν Ισχύει

Οι πιθανότητες να προκύψουν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος εξαρτώνται και από την κλίση του. Περιοχές με έντονη κλίση και ανάγλυφο έχουν περισσότερες πιθανότητες να παρουσιάσουν τέτοια φαινόμενα σε σχέση με επίπεδες και ομαλές περιοχές. Ο τύπος του εδάφους διαδραματίζει εξίσου σπουδαίο ρόλο, με εδάφη τα οποία είναι ρηχά (< 20 cm) και με μεγάλη περιεκτικότητα σε πέτρες να έχουν μικρή διαβρωσιμότητα, εδάφη μέσου βάθους και μέτρια ποσότητα πετρών να έχουν μέτρια διαβρωσιμότητα και εδάφη τα οποία είναι βαθιά (>50 cm) με μικρή περιεκτικότητα σε πέτρες να έχουν μεγάλη διαβρωσιμότητα (Fox *et al.* 2006). Τέλος, η απειλή από βόσκηση στις καμένες περιοχές, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε εντατική βόσκηση πριν την πυρκαγιά, διαδραματίζει πολύ σημαντική επιρροή στις πιθανότητες διάβρωσης. Το πρόβλημα προκύπτει όχι μόνο από την ενδεχόμενη αλλοίωση της μεταπυρικής εξέλιξης της βλάστησης, αλλά και από την πίεση που ασκείται στο έδαφος από τις οπλές των ζώων. Όσο μεγαλύτερη και εντονότερη είναι η βόσκηση τόσο περισσότερο αυξάνεται η πιθανότητα να προκύψει διάβρωση.

8.2.1.6. Καμένη Έκταση - Γενικός Πολλαπλασιαστής

Ως Γενικός Πολλαπλασιαστής της Κατηγορίας ορίστηκε η καμένη έκταση σε στρέμματα, η οποία δίνει μια βασική εκτίμηση του μεγέθους της καταστροφής της βλάστησης και των γενικότερων επιπτώσεων που προκλήθηκαν. Ο πολλαπλασιαστής παρέχει τις εξής επιλογές περιγραφής της καμένης έκτασης σε στρέμματα: <100 (0,5), 100 έως 1.000 (1), 1.001 έως 5.000 (1,5), 5.001 έως 20.000 (2), 20.001 έως 70.000 (2,5), >70.000 στρέμματα (3).

Θα πρέπει να αναλογιστούμε ότι υπάρχει μια σύνδεση μεταξύ του μεγέθους των περιστατικών, δηλαδή όλες οι πυρκαγιές ξεκινούν από τη μικρότερη κατηγορία μέχρι την κλιμάκωση τους στη μεγαλύτερη. Οι συνθήκες και οι παράγοντες που προκαλούν αυτή την επίδραση έχουν σχέση με την τοπογραφία, τη βλάστηση και τον καιρό, αλλά και με την αποτελεσματικότητα των προσπαθειών καταστολής τους (έγκαιρη επέμβαση και στρατηγική κατάσβεσης). Πολλές πυρκαγιές οι οποίες θα μπορούσαν να αποβούν πάρα πολύ καταστροφικές σβήστηκαν εγκαίρως, ενώ σε άλλες που υπήρξε αμέλεια ή λάθος σχεδιασμός υπήρξε κλιμάκωση τους (π.χ. γιατί αφέθηκαν να καίνε και δεν σβήστηκαν εγκαίρως). Συμπερασματικά, το αν μια πυρκαγιά θα μείνει μικρή ή θα μεγαλώσει δεν έχει απόλυτη σχέση με την περιοχή όπου ξεσπάει, αλλά με ένα πλήθος παραμέτρων που συνεπιδρούν σε αυτή.

Η μικρότερη βαθμολογία αποδόθηκε στην τάξη μεγέθους <100 στρέμματα που περιλαμβάνει τα περισσότερα περιστατικά ανά την επικράτεια. Οι περισσότερες από αυτές τις πυρκαγιές είτε δεν έχουν το δυναμικό της επέκτασης και ανάπτυξης, είτε απλά κατασβήνονται έγκαιρα χωρίς να επιφέρουν σημαντικές αλλοιώσεις στη βλάστηση και στην οικολογία του τοπίου. Η βαθμολογία που λαμβάνουν είναι 0,5. Η επόμενη τάξη μεγέθους είναι οι πυρκαγιές οι οποίες καίνε από 100 έως και 1.000 στρέμματα βλάστησης. Οι πυρκαγιές αυτές είναι αρκετά συχνές και συμβαίνουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε κάθε νομό (ανά 2 με 3 έτη συνήθως). Είναι πυρκαγιές που έχουν μικρό αντίκτυπο στις περιοχές που πλήττουν, αν και συνήθως απαιτούν αρκετές προσπάθειες για την καταστολή τους. Είναι περιστατικά που διαρκούν συνήθως 3 έως 10 ώρες, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου και την περιοχή εκδήλωσης τους. Δεν μεταβάλλουν σημαντικά τη βλάστηση, αφήνοντας περιθώρια επανάκαμψής της από γειτονικές άκαυτες περιοχές ή θύλακες.

Η επόμενη τάξη μεγέθους αφορά πυρκαγιές από 1.001 έως και 5.000 στρέμματα. Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζει τις πυρκαγιές ως μεσαίου μεγέθους. Συνήθως απαιτούνται συντονισμένες προσπάθειες κατάσβεσης με ενισχύσεις από όλες τις πυροσβεστικές υπηρεσίες και κλιμάκια της περιοχής, καθώς και με εναέρια μέσα. Δεν είναι αρκετά συχνές (μέσος όρος 24 κατ' έτος σε επίπεδο χώρας) και συμβαίνουν συνήθως μια ανά πέντε έτη σε κάθε νομό υπό φυσιολογικές συνθήκες. Η τάξη μεγέθους πυρκαγιών από 5.001 έως και 20.000 στρέμματα αφορά σε πυρκαγιές οι οποίες έχουν λάβει μεγάλες διαστάσεις και έκαιγαν ανεξέλεγκτα για πάνω από μια μέρα, υπό την επίδραση έντονων συνθηκών τοπογραφίας και καιρού. Χαρακτηρίζονται από την υψηλή σφοδρότητα καύσης και έντασής, ενώ η βλάστηση των περιοχών που επλήγησαν ανακάμπτει έπειτα από πολλά έτη. Λίγες πυρκαγιές από την προηγούμενη κατηγορία καταφέρνουν να φτάσουν σε αυτά τα μεγέθη.

Η επόμενη τάξη μεγέθους είναι οι πυρκαγιές που καίνε από 20.001 έως και 70.000 στρέμματα. Προκαλούν εκτεταμένες καταστροφές όχι μόνο στη βλάστηση αλλά και στο ζωικό και αγροτικό κεφάλαιο, έχοντας πάντα τη δυνατότητα να πλήξουν ακόμα και κατοικημένες περιοχές. Οι επιπτώσεις τους είναι εμφανείς στις περιοχές δράσης τους για δεκαετίες, ενώ η μεγάλη έκτασή τους προκαλεί εκτεταμένες επιπτώσεις κλίμακας τοπίου (υδρολογικές διαταραχές, εδαφικές αλλοιώσεις, πλήγμα στη χλωρίδα της περιοχής και αλλαγή των ποιοτικών χαρακτηριστικών της, αλλαγές στη σύσταση της πανίδας κ.α.). Η κατάσβεσή τους είναι πολύ δύσκολη και συνήθως απαιτείται είτε η εφαρμογή της μεθόδου του αντιπυρός (που δεν επιτρέπεται η εφαρμογή του στην Ελλάδα) και η διάνοιξη αντιπυρικών ζωνών, είτε η εφαρμογή συντονισμένων πυροσβεστικών ενεργειών έπειτα από κάποια ευνοϊκή μεταβολή των καιρικών συνθηκών. Τέλος, η τάξη μεγέθους πυρκαγιών που υπερβαίνουν τα 70.000 στρέμματα μπορεί τις χαρακτηριστεί ως Μεγαπυρκαγιές σε επίπεδο Ελληνικό-Μεσογειακό, οι οποίες επιφέρουν σημαντικότερες μεταβολές στο πεδίο (landscape fires) αλλά και στις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες. Οι πυρκαγιές αυτές μαίνονται ανεξέλεγκτες για πολλές ημέρες έως ότου σταματήσουν είτε σε κάποιο φυσικό εμπόδιο (λίμνη, θάλασσα, άγονη περιοχή κ.α.), είτε έπειτα από επίμονες και συντονισμένες

προσπάθειες των πυροσβεστικών δυνάμεων, με μεγάλη όμως δυσκολία κατάσβεσης με τεχνητά μέσα. Λόγω μεγέθους, μπορεί να μεταβάλλουν σημαντικά τη βλάστηση του τοπίου, ακόμα και να εξαφανίσουν κατά τόπους κυρίαρχα είδη βλάστησης.

8.2.1.7. Αξιολόγηση Επιπτώσεων Τοπίου και Εδαφοκάλυψης για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της κατηγορίας για την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.5.

Πίνακας 8.5: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων τοπίου και εδαφοκάλυψης της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011

ΣΥΝΤΕΛ.	ID		Τοπίο και την Εδαφοκάλυψη	1η τιμή	2η τιμή	3η τιμή	Τελική Τιμή	Σταθμισμένη Τιμή
0.146	A.1	KP.	70% ημιορεινή / 30% πεδινά-αγροτικές				50	7,31
0.464	A.2	KP.	14% χορτολιβαδικές, 12% θαμνώνες, 1% άγωνα, 23% πλατύφυλλα, 50% κωνοφόρα				62,1	28,84
		ΠΕΡ. KP.	14% χορτολιβαδικές, 12% θαμνώνες, 1% άγωνα	0,14 X 60, 0,12 X 40 και 0,01 X 10			13,3	
		ΠΡΟΣ. KP.	23% πλατύφυλλα-δρυς και πουρνάρι	18,4	9,2	27,6	13,8	
		ΠΡΟΣ. KP.	50% κωνοφόρα-τραχεία πεύκη	50	20	70	35	
0.270	A.3	KP.	εθνικό πάρκο	80	(80+80)/2		80	21,64
		ΠΡΟΣ. KP.	41-50%	80				
0,076	A.4	KP.	κοντά σε μικρούς οικισμούς				10	0,76
0,043	A.5	KP.					61,6	2,62
		ΠΕΡ. KP.	7% <λίγες, 37% <μέτριες, 33% >μέτριες και 23% πολλές	0,07 X 10, 0,37 X 40, 0,33 X 70 και 0,23 X 100				
ΣΥΝΟΛΟ								61,17
ΠΟΛΛΑΠΛ.		59.000 στρέμματα					2,5	152,93
HIGHER VALUE		300		LOWER VALUE			3,78	
50,35								

Η φωτιά έδρασε κυρίως σε ημιορεινή περιοχή (>70%), με ορισμένα τμήματα στα πεδινά, περιλαμβάνοντας και αγροτικές εκτάσεις (~30%). Στο κριτήριο A.1 η βαθμολογία που λαμβάνει είναι 50, λίγο χαμηλότερη από το 60 της ημιορεινής επιλογής, λόγω της πεδινής έκτασης που περιελάμβανε. Από τη συνολικά καμένη έκταση, το 14% αποτελείται από χορτολιβαδικές και αγροτικές εκτάσεις, το 12% από θαμνώνες αείφυλλων-σκληρόφυλλων, ένα 1% από γυμνά/ άγωνα, το 23% από δάση πλατύφυλλων και το 50% από δάση κωνοφόρων. Αντίστοιχα, οι βαθμολογίες που λαμβάνει το κριτήριο A.2 για τις τρεις πρώτες απαντήσεις είναι $0,14 \times 60 + 0,12 \times 40 + 0,01 \times 10 = 13,3$. Για τους δύο τελευταίους τύπους βλάστησης, οι τιμές είναι $0,23 \times 80 = 18,4$ και $0,5 \times 100 = 50$. Από τον πρώτο προσθέτη προκύπτει ότι κήκε δρυς και πουρνάρι, άρα πολλαπλασιάζεται η κάλυψη του (23%) με τη

βαθμολογία της συγκεκριμένης επιλογής (40), δηλαδή 9,2. Από το δεύτερο προσθέτη προκύπτει ότι κάηκε τραχεία πεύκη (40), πολλαπλασιαζόμενο με την κάλυψη κωνοφόρων (50%), δηλαδή 20. Άρα αντίστοιχα προκύπτει $18,4 + 9,2 = 27,6$ και $50 + 20 = 70$. Η συνολική αξιολόγηση κριτήριο Α.2 έβγαλε βαθμολογία $13,3 + 27,6/2 + 70/2 = 62,1$.

Το 50% περίπου της καμένης έκτασης βρίσκεται εντός της περιφερειακής ζώνης του «Εθνικού Πάρκου Δάσους Δαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου». Ως αποτέλεσμα η βαθμολογία που λαμβάνει το κριτήριο Α.3 είναι 80 λόγω του ότι αποτελεί Εθνικό Πάρκο, ενώ λόγω της αναλογίας καύσης προστατευόμενων περιοχών/ άλλων περιοχών εντός πυρικής περιμέτρου λαμβάνει επιπλέον βαθμολογία 80 (41-50%), δηλαδή σύνολο $160 / 2 = 80$. Στο κριτήριο Α.4. οι εκπομπές μικροσωματιδίων και αέριων ρύπων εκτιμάται ότι επηρέασαν μικρούς οικισμούς και δεν εισέρευσαν σε μεγαλύτερες πόλεις, άρα θα λάβει βαθμολογία ίση με 10. Από τα αποτελέσματα του χάρτη διαβρωσιμότητας προέκυψε ότι στο 7% της περιοχής έχει πιθανότητες διάβρωσης χαμηλότερες από λίγες, το 37% χαμηλότερες από μέτριες, το 33% περισσότερες από μέτριες και το 23% πολλές. Επομένως, οι βαθμολογίες στο κριτήριο Α.5 διαμορφώνονται ως $0,07 \times 10 + 0,37 \times 40 + 0,33 \times 70 + 0,23 \times 100 = 61,6$. Τέλος, η καμένη έκταση ανέρχεται στα 59.000 περίπου στρέμματα, λαμβάνει δηλαδή πολλαπλασιαστή 2,5.

Σύμφωνα με τους συντελεστές που προέκυψαν από τη μέθοδο ΑΗΡ, η συνολική βαθμολογία όλων των κριτηρίων προκύπτει ως $0,146 \times 50 + 0,464 \times 62,1 + 0,27 \times 80 + 0,076 \times 10 + 0,043 \times 61,6 = 61,17$. Έπειτα, θα πολλαπλασιαστεί με 2,5 (πολλαπλασιαστής) για να προκύψει σύνολο 152,93. Από την κανονικοποίηση της βαθμολογίας στην κλίμακα 0 έως 100 με την Εξίσωση 2.8, προκύπτει η τελική βαθμολογία της κατηγορίας για αυτή την πυρκαγιά που είναι **50,35 / 100**.

8.2.2. Επιπτώσεις στο Ευρύτερο Περιβάλλον (B)

Πέρα από την αλλοίωση του τοπίου ή την καταστροφή των κυρίαρχων τύπων βλάστησης, οι πυρκαγιές προκαλούν συχνά πολύ περισσότερες επιπτώσεις που αφορούν το ευρύτερο φυσικό περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσεται, επιβιώνει, ανταγωνίζεται και συμβιώνει η πανίδα και η χλωρίδα της περιοχής. Πολλά σημαντικά ενδιαιτήματα μπορεί να βρίσκονται εντός της πληγείσας περιοχής και ενδέχεται να έχουν υποστεί απώλειες κατά την εκδήλωση του φαινομένου. Επιπλέον, πολλά από αυτά μπορεί να πληγούν μετά την εκδήλωση του φαινομένου, λόγω των δυσμενών συνθηκών που προκύπτουν. Σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων δίνονται δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Υπήρξαν απώλειες σημαντικών ενδιαιτημάτων πανίδας;
- Αν υπήρξαν, πόσο σημαντικές είναι σε πλήθος και σπουδαιότητα;
- Υπήρξαν απώλειες σημαντικών και σπάνιων πληθυσμών χλωρίδας;
- Ποια είναι η απειλή για εισαγωγή ξένων ειδών;
- Αναμένεται να αλλάξει η σύσταση των ειδών της περιοχής;
- Υπάρχει θεσμοθετημένο καθεστώς προστασίας για την πανίδα και χλωρίδα;

Τα κριτήρια που σχετίζονται με τις απώλειες σημαντικών ενδιαιτημάτων πανίδας περιλαμβάνουν τα είδη που διαβιούν σε άγρια μορφή στην περιοχή που επλήγη και όχι οικόσιτα ζώα ή πληθυσμούς που αξιοποιούνται για οικονομικό όφελος. Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι τα κριτήρια της κατηγορίας δεν πρέπει να αξιολογούνται βάσει του απόλυτου αριθμού των απωλειών της πανίδας, κάτι που είναι σχεδόν αδύνατον να γίνει π.χ. για είδη εντόμων ή ερπετών. Βασικό σκεπτικό της διαδικασίας αξιολόγησης της κατηγορίας είναι η χωρική κατανομή και η σπανιότητά τους. Αν για παράδειγμα το σύνολο των ενδιαιτημάτων ενός είδους επλήγη από ένα περιστατικό πυρκαγιάς, τότε οι επιπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το τι θα συνέβαινε αν σε κοντινές άκαυτες περιοχές υπήρχαν

άλλα ενδαιτήματα του ίδιου είδους. Για τη βαθμολόγηση του κάθε κριτηρίου πρέπει επίσης να ληφθεί η σημαντικότητα και σπανιότητα του ενδαιτήματος. Αν για παράδειγμα συνεισφέρει σημαντικά στα συνολικά βιογενετικά αποθέματα μιας περιοχής ή η περιοχή είναι καταφύγιο σπάνιων και προστατευόμενων ειδών, τότε οι επιπτώσεις πρέπει να αξιολογούνται αναλόγως. Ακόμα, πρέπει να συνυπολογιστεί το γεγονός ότι είναι ισχυρή η πιθανότητα αμέσως μετά την πυρκαγιά πολλά είδη που μπορεί να επλήγησαν σημαντικά να έχουν τη δυναμική να ανακάμψουν πληθυσμιακά πολύ σύντομα (π.χ. σαλιγκάρια), τόσο ώστε να μην θεωρείται πλέον ότι επηρεάστηκαν. Επιπλέον, αν ένα είδος είναι πολύ σπάνιο και κινδυνεύει με εξαφάνιση τότε η βαθμολογία θα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την επιρροή που μπορεί να επέλθει σε ένα κοινό είδος που είναι σε αφθονία σε γειτονικές άκαυτες περιοχές.

Σε θερμοκρασίες πάνω από 62 °C τα περισσότερα θηλαστικά και μικρά ζώα θανατώνονται, ενώ σε παρόμοιες θερμοκρασίες επηρεάζονται και τα μεγαλύτερα ζώα (Howard *et al.* 1959). Οι περισσότερες πυρκαγιές φτάνουν ή ξεπερνούν αυτή τη θερμοκρασία, επομένως έχουν την ικανότητα να σκοτώσουν ή να τραυματίσουν την πανίδα, ενώ οι μεγάλες και έντονες πυρκαγιές είναι πολύ επικίνδυνες για όσα ζώα βρεθούν στο πέρασμα τους (Bendell 1974, Singer and Schullery 1989). Ακόμα όμως και αν η θερμότητα δεν είναι υψηλή, ο καπνός μπορεί να θανατώσει πάρα πολλά είδη ζώων. Τα περισσότερα είδη πανίδας έχουν ανεπτυγμένους μηχανισμούς απόκρισης στο πέρασμα της φωτιάς, με σημαντικές όμως διαφορές ανά κατηγορία ειδών. Αυτοί περιλαμβάνουν είτε μεθόδους αποφυγής ή αντίστασης στην πυρκαγιά (δυνατότητες θερμομόνωσης, ρύθμισης της θερμοκρασίας τους, αντοχής λόγω μεγέθους και μείωση της διάρκειας έκθεσης στη θερμότητα). Επιπλέον, τα ζώα μπορούν είτε να αποφύγουν τις φλόγες ή να κρυφτούν σε οπές του εδάφους, να μπουν σε ποτάμια ή λίμνες ή ακόμα και να περάσουν διαμέσου των φλογών. Άλλες αποκρίσεις περιλαμβάνουν το πλησίασμα κοντά στις φλόγες και στον καπνό για αναζήτηση τροφής και την είσοδο σε καμένες εκτάσεις για να τραφούν από τα υπολείμματα της πυρκαγιάς (Komarek 1969). Ως αποτέλεσμα, μόνο ένα μικρό μέρος της άγριας πανίδας θανατώνεται ή τραυματίζεται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την επικρατούσα άποψη της κοινής γνώμης σχετικά με το τι συμβαίνει μετά από μια πυρκαγιά στην πανίδα μιας περιοχής. Συμπερασματικά, η φωτιά μπορεί να επηρεάσει έναν πληθυσμό αν είναι ήδη μικρός και το είδος έχει περιορισμένο εύρος και κινητικότητα ή εξειδικευμένες συνθήκες αναπαραγωγής (Smith and Fischer 1997).

Οι απώλειες της βλάστησης και των θρεπτικών στοιχείων του οικοσυστήματος επηρεάζουν σημαντικά τις δυνατότητες κάποιων ειδών της πανίδας για επιβίωση ακόμα και μετά το πέρας της φωτιάς, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να ευνοήσουν την ανάπτυξη και εξέλιξη άλλων ειδών. Με την αλλαγή της σύστασης της βλάστησης, οι πρότερες συνθήκες οι οποίες ευνοούσαν ένα είδος μπορεί να μεταβληθούν τόσο ώστε να μην είναι εφικτή πλέον η επιβίωσή του σε αυτή την περιοχή. Για παράδειγμα, η απώλεια κάλυψης, σημείων φωλιάσματος και τροφής είναι άμεσες επιπτώσεις ως προς την ικανότητα του είδους να ανταπεξέλθει, ενώ ως έμμεσες επιπτώσεις μπορεί να αναλογιστούν οι αλλαγές στη θερμοκρασία και στην ένταση του ανέμου καθώς και οι μεταβολές στις ιδιότητες του εδάφους.

Συμφώνα με τους Huff and Smith (κεφάλαιο στο Smith 2000), υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες απόκρισης της πανίδας. Ως Εισβολείς, θεωρούνται τα είδη που δεν υπήρχαν πριν τη φωτιά και καταγράφηκαν μετά. Ως Εκμεταλλευτές, θεωρούνται τα είδη που εντοπίζονταν πριν τη φωτιά και έχουν μια αύξηση στους πληθυσμούς τους 50% ή και παραπάνω. Ως Αντιστασιακά, θεωρούνται τα είδη που εντοπίζονταν πριν τη φωτιά και έχουν μείωση στον πληθυσμό τους μικρότερη του 50%. Ως Επιζήσαντα, θεωρούνται τα είδη που εντοπίζονταν πριν τη φωτιά και έχουν μια μείωση μεγαλύτερη του 50%. Ως Αποφεύγοντα, θεωρούνται τα είδη που εντοπίζονταν πριν τη φωτιά αλλά μετά την πυρκαγιά δεν εντοπίζονται ή έχουν πολύ

μικρούς πληθυσμούς. Τέλος, υπάρχει μια άλλη κατηγορία η οποία έχει ασυνέχειες και μεταβολές στους πληθυσμούς της τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στη χλωρίδα, έχει αποδειχτεί ότι στην Ελλάδα υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία ειδών, πολλά από τα οποία είναι σπάνια ή πολύτιμα και τα οποία μπορεί να επηρεαστούν σημαντικά από τη δράση της φωτιάς. Σύμφωνα με τους Phitos *et al.* (1995) και Georghiou and Delipetrou (2010), τα είδη φυτών που έχουν καταγραφεί είναι περίπου 5.800, με υψηλό ποσοστό ενδημικών φυτών (15,6%) ή περίπου 1.275 ενδημικά τάξα (Iatrou 1996). Στη μελέτη των Phitos *et al.* (1995), περιλαμβάνονται 263 είδη και υποείδη αγγειοσπέρμων, ταξινομημένα υπό το καθεστώς των εξαφανισμένων (6 τάξα), κινδυνεύον (36), τρωτό (146) και σπάνιο (75). Η νέα έκδοση του Βιβλίου Ερυθρών Δεδομένων των Σπάνιων και Απειλούμενων Φυτών της Ελλάδας (Φοίτος κ.α. 2009) περιλαμβάνει 300 φυτικά taxa. Και στις δύο εκδόσεις του έργου, καταγράφονται συνολικά 473 είδη υπό απειλή (Μπαντή 2012), ενώ εκτιμάται ότι ο συνολικός αριθμός τους φτάνει τα 700. Από αυτά, τα 339 είναι ενδημικά της Ελλάδος (71,7%) ενώ τα υπόλοιπα 134 taxa (28,3%) εξαπλώνονται και εκτός συνόρων της χώρας. Οι κατηγορίες κινδύνου εξαφάνισης, καθώς και τα αντίστοιχα κριτήρια θεσπίστηκαν από τη Διεθνή Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης International Union for the Conservation of Nature (IUCN)⁴ (Πίνακας 8.6) από το 2000 και μετά έχουν ως εξής:

- ΕΞΑΦΑΝΙΣΘΕΝ (EX) (Extinct) - Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι και το τελευταίο άτομο του είδους έχει εξαφανισθεί.
- ΕΞΑΦΑΝΙΣΘΕΝ ΣΤΗ ΦΥΣΗ (EW) (Extinct in the Wild) - Επιβιώνει σε συνθήκες καλλιέργειας (π.χ. βοτανικοί κήποι) ή σαν επιγενής πληθυσμός εκτός της γνωστής φυσικής εξάπλωσης του είδους. Ένα taxon εκλαμβάνεται ως εξαφανισθέν στη φύση, όταν δεν τελεσφόρησαν εκτεταμένες προσπάθειες να ανευρεθεί στους γνωστούς βιοτόπους του σε διάφορες χρονικές περιόδους, καθώς και σε όλη την αναμενόμενη περιοχή εξάπλωσης του στην κατάλληλη εποχή που μπορεί να εντοπισθεί.
- ΚΙΝΔΥΝΕΥΟΝ ΣΕ ΚΡΙΣΙΜΟ ΒΑΘΜΟ (CR) (Critically Endangered) - Αντιμετωπίζει μεγάλο κίνδυνο εξαφάνισης στη φύση στο άμεσο μέλλον.
- ΚΙΝΔΥΝΕΥΟΝ (EN) (Endangered) - Δεν κινδυνεύει σε κρίσιμο βαθμό, αλλά αντιμετωπίζει μεγάλο κίνδυνο να εξαφανισθεί.
- ΤΡΩΤΟ (VU) (Vulnerable) - Δεν είναι ούτε κινδυνεύον σε κρίσιμο βαθμό, ούτε κινδυνεύον, αλλά μεσοπρόθεσμα διατρέχει μεγάλο κίνδυνο να εξαφανισθεί.
- ΜΕΙΩΜΕΝΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (LR) (Lower Risk) - Έχει περιληφθεί σε κάποια από τις κατηγορίες σπανιότητας αλλά δεν εμπίπτει σε κάποια από τις προαναφερθείσες κατηγορίες.
- ΣΧΕΔΟΝ ΑΠΕΙΛΟΥΜΕΝΟ (NT) (Near Threatened) - Αποδίδεται σε είδη ή κατώτερα taxa που μπορεί να θεωρηθούν απειλούμενα με εξαφάνιση στο άμεσο μέλλον, παρόλο που δεν είναι επί του παρόντος σε καθεστώς απειλής.

Οι Φοίτος κ.α. (2009) διαπίστωσαν ότι το 59% των taxa είναι Τρωτά, το 21% Κινδυνεύοντα, το 13% Σχεδόν Απειλούμενα, το 6% Κρισίμως Κινδυνεύοντα και το 1% Χαμηλού Κινδύνου. Σύμφωνα με επεξεργασμένα δεδομένα της μελέτης με τίτλο «Δημιουργία Ενός Καταλόγου των Πλέον Απειλούμενων Φυτών στην Ελλάδα ως Εργαλείο για τη Λήψη Μέτρων Διαχείρισης» (συντάκτης Αδαμόπουλος Θεμιστοκλής, εταιρεία ΥΛΗ⁵), προέκυψε ότι η πλειοψηφία των φυτών διαβιεί σε βράχια (29,4%), Φρυγανότοπους-Θαμνότοπους (23,6%), Αλπικούς οικότοπους (8,2%), σάρρες και πετρώδεις πλαγιές (7,4%) και λιβάδια (6%), ενώ ένα 13,2% βρίσκεται σε δάση (μεσόφιλα, θερμόφιλα και διάκενα). Στη

⁴ <http://cmsdata.iucn.org/downloads/redlistcatsenglish.pdf> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

⁵ <http://www.forest.gr/ylh/> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

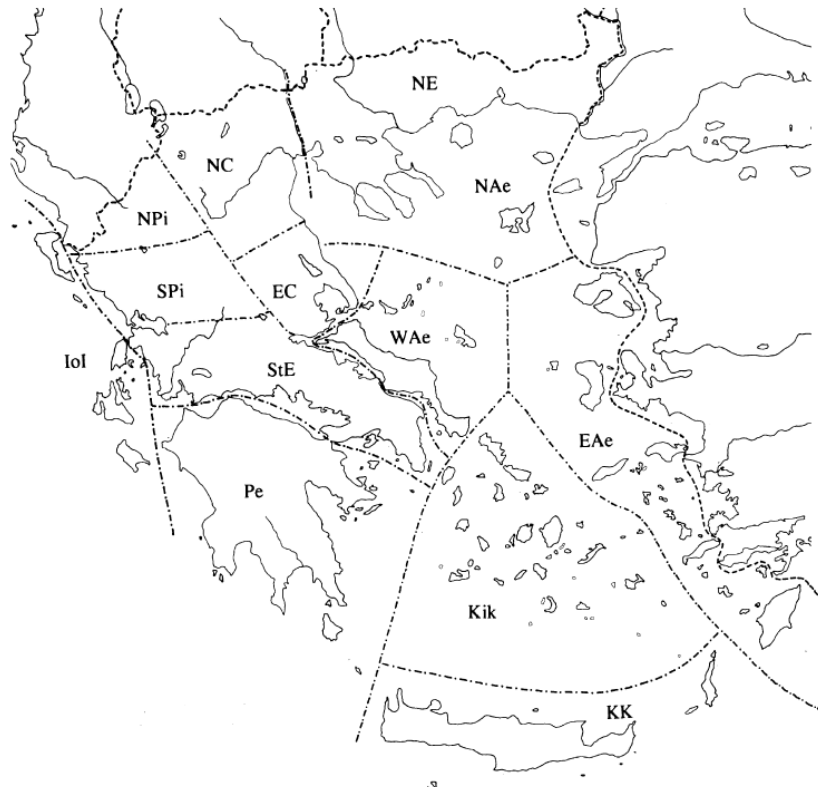
μελέτη διαπιστώθηκε ότι η πλειονότητα των taxa (ποσοστό 39,7%) φύονται σε χαμηλά υψόμετρα (0-500 m), ένα 20,7% από 500 έως 1000 m, 18,2% από 1000 έως 1500 m, 14,3% από 1500 έως 2000 m και 6,9% σε υψόμετρα άνω των 2000 m. Η μεγάλη πλειονότητα των απειλούμενων φυτών εντοπίζεται στις βλαστητικές περιοχές της Κρήτης-Κάρπαθου (93 taxa), Πελοποννήσου (86 taxa), Ανατολικού Αιγαίου (51 taxa) και Στερεάς Ελλάδας (42 taxa) (Εικόνα 8.4). Από τα βουνά τις περισσότερες εγγραφές έχουν τα Λευκά Όρη της Κρήτης με 20 και ακολουθούν ο Ταΰγετος (11), ο Όλυμπος (10) και ο Πάρνωνας (9). Από τα νησιά (εκτός Κρήτης), τις περισσότερες εγγραφές έχει η Ρόδος με 14 και ακολουθούν η Σάμος με 11 και η Κάρπαθος με 9.

Ως φυτά εισβολείς ορίζονται τα μη ενδημικά είδη που έχουν επιτυχώς επεκταθεί έξω από τον φυσικό χώρο εξάπλωσής τους (Williamson 1996, Richardson *et al.* 2000). Οι περισσότερες εισβολές κατά τους περασμένους αιώνες έγιναν με είδη που μεταφέρθηκαν άμεσα ή έμμεσα από τους ανθρώπους (McKinney and Lockwood 1999, Ryšek *et al.* 2002). Τα είδη εισβολείς έχουν προσελκύσει αρκετή προσοχή λόγω του οικονομικού κόστους που προκαλούν για την καταπολέμησή τους (Pimente 2002), επειδή μεταβάλλουν την τοπική βιοποικιλότητα (Daehler and Strong 1994, Wilcove *et al.* 1998) και τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων (Vitousek 1990, D 'Antonio and Vitousek 1992). Οι εισβολές φυτών αναγνωρίζονται ευρέως ως σημαντικές απειλές στη διατήρηση της βιοποικιλότητας παγκοσμίως. Ένας τρόπος που οι εισβολείς επιδρούν στα γηγενή οικοσυστήματα είναι μέσω της αλλαγής των ιδιοτήτων της καύσιμης ύλης, που με τη σειρά της μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά των πυρκαγιών μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά του πυρικού καθεστώτος της περιοχής (Brooks *et al.* 2004). Οι εισβολές φυτών έχουν τη δυναμική να προκαλούν ταχείες μεταβολές σε όλες τις ιδιότητες της καύσιμης ύλης, ιδιαίτερα όταν πολλαπλοί εισβολείς λειτουργούν συνεργατικά επιταχύνοντας την αλλαγή. Τα φυτά εισβολείς μπορούν άμεσα να επηρεάσουν τα ενδημικά είδη με το να αντλούν τους περιορισμένους ζωτικούς πόρους. Ως έμμεση επίδραση θεωρείται η αλλαγή που επέρχεται στο οικοσύστημα μέσω μεταβολών στη σταθερότητα των εδαφών, της επιτάχυνσης των διαβρωτικών φαινομένων, τον αποικισμό των ανοιχτών υποστρωμάτων, τη συμφόρηση ξηροτάπητα, αλάτων και άλλων χαρακτηριστικών του εδάφους και με την πρόκληση ή αποτροπή νέων πυρκαγιών (Vitousek 1990, Richardson *et al.* 2000). Οι μεταβολές που δημιουργούνται στη βλάστηση και τα πυρικά καθεστώτα επηρεάζουν με τη σειρά τους και την πανίδα της περιοχής, που ήταν προσαρμοσμένη σε συγκεκριμένο τύπο ενδιαιτήματος και τροφής.

Οι μεταβολές που προκύπτουν σε μια περιοχή και επηρεάζουν τις ιδιότητες της καύσιμης ύλης διαχωρίζονται σε εγγενείς και εξωγενείς (Brooks *et al.* 2004). Εγγενείς αλλαγές προκαλούνται μέσω της αύξησης ή μείωσης της ευφλεκτότητας του φυτικού ιστού. Παράδειγμα αύξησης αποτελεί ο ευκάλυπτος (*Eucalyptus* spp.) ενώ είδη που προκαλούν μείωση είναι η φραγκοσουκιά (*Opuntia* spp.), η *Centaurea maculosa* και η *Acacia saligna*. Οι εξωγενείς ιδιότητες είναι η αύξηση ή μείωση του φορτίου της καύσιμης ύλης, της οριζόντιας συνέχειας, της κατακόρυφης συνέχειας και η μεταβολή στην αναλογία πυκνότητας (packing ratio). Αν οι αλλαγές στο πυρικό καθεστώς έχουν ως συνέπεια την προώθηση της κυριαρχίας των εισβολέων, τότε δημιουργείται ένας κύκλος εισβολέων-πυρικού καθεστώτος, ενώ όσο περισσότερο μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος, τόσο δυσκολότερη γίνεται η αποκατάσταση του τόπου στις προ εισβολής συνθήκες (Brooks *et al.* 2004). Για την κατανόηση αυτού του κύκλου σε μια περιοχή πρέπει να ελεγχθεί η εξελικτική ιστορία των πιθανών εισβολέων καθώς και των ενδιαιτημάτων που υφίσταται την εισβολή, σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά που έχει ο εισβολέας ως καύσιμη ύλη.

Πίνακας 8.6: Συνοπτική παρουσίαση των κριτηρίων της IUCN
(ΠΗΓΗ: Τσιντίδης κ.α. 2007)

Κριτήρια	A-E	Κρισίμως Κινδυνεύον	Κινδυνεύον	Εύρωτο
A. Μείωση Πληθυσμού		Μείωση σε 10 έτη ή 3 γενεές (όποιο είναι μεγαλύτερο)		
A1		>90%	>70%	>50%
A2, A3 & A4		>80%	>50%	>30%
A1.	Μείωση πληθυσμού στο παρελθόν, που εξάγεται από παρατήρηση, εκτίμηση, συμπέρασμα ή υπόνοια και τα αίτια της μείωσης είναι σαφώς αναστρέψιμα και κατανοητά και έπαψαν να λειτουργούν, και η εκτίμηση της μείωσης βασίζεται σε οποιοδήποτε από τα ακόλουθα: (a) άμεση παρατήρηση (b) δείκτη αφθονίας του είδους (c) μείωση περιοχής κατάληψης ή εύρους εξάπλωσης και/ή υποβάθμιση ποιότητας ενδιαίτηματος (d) πραγματικά ή δυνητικά επίπεδα εκμετάλλευσης και (e) επιδράσεις εισηγμένων ειδών, υβριδισμού, παθογόνων, ρύπων, ανταγωνιστών ή παρασίτων.			
A2.	Μείωση πληθυσμού στο παρελθόν, που εξάγεται από παρατήρηση, εκτίμηση, συμπέρασμα ή υπόνοια, και τα αίτια μπορεί να μην έχουν σταματήσει να λειτουργούν ή δεν είναι κατανοητά ή μπορεί να μην είναι αναστρέψιμα· εκτίμηση μείωσης βάσει των (a) έως (e) που αναφέρονται στο A1.			
A3.	Μείωση πληθυσμού προβλεπόμενη ή βασισμένη σε υπόνοια, η οποία μπορεί να επέλθει (σε μέγιστο 100 ετών)· εκτίμηση μείωσης βάσει των (a) έως (e) που αναφέρονται στο A1.			
A4.	Μείωση πληθυσμού βασισμένη σε παρατήρηση, εκτίμηση, συμπέρασμα, πρόβλεψη ή υπόνοια, σε περίοδο μέχρι 100 έτη, αλλά η χρονική περίοδος περιλαμβάνει τόσο το παρελθόν όσο και το μέλλον και τα αίτια μείωσης μπορεί να μην έχουν σταματήσει ή δεν είναι κατανοητά ή μπορεί να μην είναι αναστρέψιμα· εκτίμηση μείωσης βάσει των (a) έως (e) που αναφέρονται στο A1.			
B. Γεωγραφική εξάπλωση είτε σε επίπεδο εύρους εξάπλωσης B1 (EOO: Extent Of Occurrence) ή έκτασης κατάληψης (AOO: Area Of Occurancy)				
B1. Είτε περιορισμένη EOO		< 100 km ²	< 5.000 km ²	<20.000 km ²
B2. Είτε μικρή AOO		< 10 km ²	<500 km ²	< 2.000 km ²
Και ισχύουν 2 από τα ακόλουθα:				
(a) σημαντική κατάτμηση πληθυσμού ή μικρός αριθμός θέσεων		=1	=2-5	=6-10
(b) Συνεχής μείωση πληθυσμού βάσει μείωσης οποιουδήποτε από τα ακόλουθα: (i) AOO (ii) EOO (iii) εμβαδόν, έκταση ή/και ποιότητα του ενδιαίτηματος (iv) αριθμός θέσεων ή υποπληθυσμών και (v) αριθμός ωρίμων ατόμων.				
(c) Ακραίες διακυμάνσεις σε οποιοδήποτε από τα: (i) EOO (ii) AOO (iii) αριθμός θέσεων ή υποπληθυσμών (iv) αριθμός ωρίμων ατόμων.				
C. Μικρό μέγεθος πληθυσμού και μείωση				
Αριθμός ωρίμων ατόμων		<250	<2.500	< 10.000
Και είτε το C1 ή το C2				
C1. Εκτιμώμενη συνεχής μείωση τουλάχιστον σε μέγιστο 100 ετών		25% σε 3 έτη ή 1 γενεά	20% σε 5 έτη ή 2 γενεές	10% σε 10 έτη ή 3 γενεές
C2. Συνεχής μείωση και ή το (a) ή/και το (b)				
(ai) αριθμός ωρίμων ατόμων στον μεγαλύτερο υποπληθυσμό		<50	<250	<1.000
(aii) ή ποσοστό % ατόμων σε 1 υποπληθυσμό		90-100%	95-100%	100%
(b) ακραίες διακυμάνσεις στον αριθμό ωρίμων ατόμων				
D. Πολύ μικρός ή περιορισμένης έκτασης πληθυσμός				
Ένα από τα δύο				
D1. Αριθμός ατόμων		<50	<250	<1.000
D2. Μικρή AOO		δεν ισχύει	δεν ισχύει	AOO<20 km ² ή αριθμός θέσεων ≤ 5
E. Ποσοτική ανάλυση				
καταδεικνύουσα πιθανότητα εξαφάνισης στη φύση ίση τουλάχιστον με		50% σε 10 έτη ή 3 γενεές (μέγιστο 100 ετών)	20% σε 20 έτη ή 5 γενεές (μέγιστο 100 ετών)	10% σε 100 έτη



Εικόνα 8.4: Οι βλασθητικές περιοχές της Ελλάδας (ΠΗΓΗ: Strid and Tan 1997)

Η ικανότητα ενός εισβολέα να δημιουργήσει ένα αυτοσυντηρούμενο κύκλο εξαρτάται από την ικανότητα του να επιβιώσει υπό το νέο καθεστώς που το ίδιο δημιούργησε. Στη συνέχεια, ο εισβολέας πρέπει να δημιουργήσει σημαντικό πολλαπλασιαστικό γενετικό υλικό στην περιοχή και να υπερβεί σημαντικά γεωγραφικά όρια για την εξάπλωση του (Richardson *et al.* 2000). Όταν τα φυτά εισβολείς φθάσουν σε μια επαρκή αφθονία σε ένα μεγάλο τμήμα του οικοσυστήματος μπορούν να αλλάξουν το γηγενή πληθυσμό, τις κοινότητες και τις ιδιότητες του οικοσυστήματος. Η τελευταία φάση αυτού του κύκλου περιλαμβάνει τη διαίونيση των μεταβαλλόμενων συνθηκών καύσιμης ύλης και χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στις διαδοχικές περιόδους επανεμφάνισης της πυρκαγιάς, σημείο στο οποίο μπορεί να υποστηριχθεί ότι το καθεστώς πυρκαγιάς έχει πλήρως μεταβληθεί.

8.2.2.1. Απώλειες Εντόμων και Σπονδυλωτών - B.1.

Το κριτήριο επιπτώσεων B.1 σχετίζεται με τις απώλειες και τις απειλές στα ενδιαιτήματα των εντόμων και σπονδυλωτών, παρέχοντας τις παρακάτω επιλογές: Όχι (0), Λίγες (20), Μέτριες (60), Υψηλές (100). Είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου ένα προστατευόμενο είδος ζει μόνο σε μια περιοχή (π.χ. πεταλούδες *Panaxia quadripunctaria* στη Ρόδο) και αν η πυρκαγιά πλήξει το είδος τότε πρέπει να καθοριστεί η υψηλότερη βαθμολογία. Συνήθως όμως οι πυρκαγιές στην Ελλάδα αφήνουν αρκετές άκαυτες νησίδες ή γειτονικές περιοχές επιτρέποντας την επιβίωση των ειδών.

Στην έρευνα τη Swengel (2001) γίνεται εκτενής αναφορά και επισκόπηση στις δημοσιευμένες εργασίες που αφορούν στις επιπτώσεις της φωτιάς στα έντομα και τα σπονδυλωτά. Η τρωτότητα τους εξαρτάται από τη θέση τους κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Ενώ οι ενήλικες μορφές μπορούν να θαφτούν ή να πετάξουν ώστε να αποφύγουν

τους τραυματισμούς, είδη με στάδια ζωής τα οποία περιλαμβάνουν ακινησία και διαβιούν στο στρώμα της νεκρής καύσιμης ύλης ή στους ιστούς των φυτών είναι περισσότερο τρωτά (Smith 2000). Πολλά έντομα, αρθρόποδα και σπονδυλωτά έλκονται προς τις καμένες περιοχές μέσω του καπνού, της θερμότητας και των αυξημένων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα με στόχο να τραφούν με κουφάρια άλλων εντόμων ή ζώων ή και με τα υπολείμματα της φωτιάς (Evans 1971). Μετά την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 και της Χίου το 2012, παρατηρήθηκε ότι μεγάλος αριθμός σφηγκών του είδους *Vespa orientalis* εισέρεαν στην περιοχή όπου τρέφονταν από άλλα νεκρά έντομα ή νεκρά ζώα (Καλαμποκίδης κ.α. 2012a, 2013). Πολλά καμένα δέντρα χρησιμοποιούνται για φύλιασμα και αναπαραγωγή. Η αφθονία πολλών εντόμων πάνω στο έδαφος μειώνεται άμεσα μετά από μια πυρκαγιά, αλλά αμέσως μετά αυξάνεται ραγδαία καθώς εμφανίζεται η φρέσκια βλάστηση και τα νεαρά φυτά (Robbins and Myers 1992). Η μείωση σχετίζεται με την έκθεση στις φλόγες, με μικρή ή καθόλου μείωση για τα είδη που διαβιούν στο έδαφος, μέσα ή κάτω από άκαυτα ξύλα ή πάνω από τις φλόγες σε κορυφές δέντρων. Συμπερασματικά, η ανάκαμψη των ειδών μετά από μια πυρκαγιά διαφέρει ανάλογα με την ικανότητα τους να αποκτήσουν πρόσβαση στην αναγεννώμενη βλάστηση, ενώ επηρεάζει την βιωσιμότητά τους και ο βαθμός έκθεσής τους σε θανάσιμες θερμοκρασίες και η πίεση που δέχονται στο μεταπυρικό περιβάλλον.

8.2.2.2. Απώλειες Μικρόσωμων Θηλαστικών/ Ερπετών - B.2.

Τα θηλαστικά είναι εξ ορισμού μια ζωική ομάδα με αρκετή ανομοιομορφία, καθώς περιλαμβάνει είδη με μεγάλες διαφορές ως προς το σωματικό μέγεθος (όπως η μυγαλίδα και η αρκούδα), τη συμπεριφορά ή τον τρόπο διαβίωσης (ο λύκος ζει σε χερσαία ενδιαίτηματα, η βίδρα σε υγρότοπους, ο ασπάλακας διαβιεί υπόγεια και οι νυχτερίδες πετάνε) (Λεγάκις και Μαραγκού 2009). Η απόκριση των μικρόσωμων θηλαστικών καθώς και πολλών ειδών της ερπετοπανίδας στην πυρκαγιά είναι παρόμοια. Ως εκ τούτου, ομαδοποιήθηκαν στο κριτήριο επιπτώσεων B.2 που σχετίζεται με τις απώλειες και απειλές στα ενδιαίτημά τους και βαθμολογείται με τις ακόλουθες τιμές: Όχι (0), Λίγες (20), Μέτριες (60), Υψηλές (100).

Για την αξιολόγηση του κριτηρίου πρέπει να εκτιμηθεί αν υπάρχουν εντός της καμένης περιοχής είδη τα οποία είναι σπάνια, σημαντικά ή απειλούμενα από την πυρκαγιά και διαβιούν σε μεγάλους πληθυσμούς εντός της καμένης έκτασης, δίχως άλλους σημαντικούς βιότοπους σε κοντινή απόσταση. Από τα στοιχεία της έρευνας των Λεγάκι και Μαραγκού (2009) για τα είδη μικρόσωμων θηλαστικών της Ελλάδος, διαπιστώθηκε ότι η τάξη των Τρωκτικών αποτελείται από 33 είδη, από τα οποία δύο χαρακτηρίστηκαν ως Κινδυνεύοντα-σκαπτοποντικός του Felten (*Microtus felteni*) και στεποποντικός (*Apodemus witherbyi*)-πέντε Τρωτά, τρία Σχεδόν Απειλούμενα και τέσσερα Ανεπαρκώς Γνωστά. Η τάξη των Σαρκοφάγων περιλαμβάνει αρκετά μικρόσωμα θηλαστικά όπως τα δεντροκούναβο (*Martes martes*), βίδρα (*Lutra lutra*), βρομοκούναβο (*Mustela putorius*), νυφίτσα (*M. Nivalis*), στικτοϊκτίδα (*Vormela peregusna*), ασβός (*Meles meles*), αγριόγατα (*Felis silvestris*) και πετροκούναβο (*Martes foina*). Τέλος, η τάξη των λαγόμορφων περιλαμβάνει τον λαγό (*Lepus europaeus*) και το αγριοκούνελο (*Oryctolagus cuniculus*).

Τα μικρά θηλαστικά αναζητούν προστασία στο υπέδαφος ή σε περιοχές-καταφύγια μέσα στην καμένη έκταση. Στην έρευνα των Lyon *et al.* (1978), παρατηρήθηκε ότι όταν προκύψει μια πυρκαγιά είναι πιθανότερο να πανικοβληθούν σε σχέση με τα μεγαλύτερα θηλαστικά τα οποία και κινούνται ταχύτερα, και πιο ήρεμα στην περιφέρεια της φωτιάς. Τα περισσότερα μικρά θηλαστικά αποφεύγουν τη φωτιά μέσω υπόγειων τούνελ, διαδρόμων κάτω από υγρό υπόροφο των δασών, σε οπές στο ριζικό σύστημα δέντρων και στον κενό χώρο ανάμεσα σε πέτρες ή μεγάλους πεσμένους κορμούς (Ford *et al.* 1999). Πολλά μικρά θηλαστικά καταφέρνουν να διαφύγουν από τις καμένες περιοχές και επιστρέφουν όταν οι συνθήκες είναι πάλι ευνοϊκές. Σημαντικοί λόγοι της μεταπυρικής διαφυγής σε άκαυτες περιοχές είναι η

έλλειψη τροφής και ότι πλέον, λόγω της απώλειας κάλυψης, είναι εκτεθειμένα σε επιθέσεις άλλων ζώων. Κάποια είδη τρωκτικών μπορεί να ευνοηθούν από την ύπαρξη σπόρων και βρώσιμων ετήσιων φυτών και ριζών που είναι διαθέσιμοι μετά την πυρκαγιά, προσελκύνοντας τα εντός των καμένων εκτάσεων σε μεγάλους αριθμούς, παρά τον αυξημένο κίνδυνο που διατρέχουν από αρπακτικά πτηνά και άλλα ζώα.

Τα περισσότερα είδη μικρών θηλαστικών και ερπετοπανίδας έχουν περιορισμένη κινητικότητα. Πολλά είδη ερπετών εμφανίζουν μείωση των πληθυσμών τους λόγω της απώλειας και υποβάθμισης των ενδιαιτημάτων τους, της εισαγωγής ξένων ειδών, της ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής (Gibbons *et al.* 2000, Klemens 2000). Σε πολλές περιοχές οι δασικές πυρκαγιές έχουν επισημανθεί ότι αποτελεί την κύρια απειλή για αυτά (Brooks and Esque 2002). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι νεκρές χελώνες που παρατηρούνται μετά από πυρκαγιές (Εικόνα 8.5-B). Σύμφωνα με την εργασία των Sanz-Aguilar (2011), η πυρκαγιά του Αυγούστου του 2004 στη Sierra de la Carrasquilla (Murcia) σκότωσε το σύνολο των χελωνών κάτω των τεσσάρων ετών, ενώ αύξησε τη θνησιμότητα κατά 62% στο νέα άτομα (ανάμεσα σε 4 και 8 έτη) και κατά 12% στα ενήλικα άτομα (8 έτη). Η ύπαρξη υγροτόπων μέσα στα δάση και στις πληγείσες περιοχές μπορεί να παρέχει καταφύγιο σε πολλά είδη ερπετών τα οποία συνεχίζουν εκεί τη διαβίωση τους χωρίς μεγάλες διαταραχές μετά από μια πυρκαγιά (Russel *et al.* 1999). Για τις δυνατότητες μετανάστευσης των ερπετών και αμφιβίων δεν υπάρχει επαρκής γνώση, μιας και η σχετική βιβλιογραφία είναι περιορισμένη. Γενικότερο συμπέρασμα είναι ότι τόσο τα ερπετά/αμφίβια όσο και τα μικρά θηλαστικά μπορούν να ανταπεξέλθουν και προσαρμοστούν πάρα πολύ καλά μετά από μια πυρκαγιά, ενώ παρουσιάζουν και αυξημένη επιβιωσιμότητα.



Εικόνα 8.5: Α) Νεαρή σαύρα μέσα σε καμένη έκταση Β) Καμένη χελώνα μετά από την πυρκαγιά της Πάρνηθας Γ) Νεκρός βάτραχος σε καμένη έκταση Δ) Καμένο φίδι μετά από την πυρκαγιά του Αγίου Όρους του 2012

8.2.2.3. Απώλειες Ψαριών - Β.3.

Οι πυρκαγιές μπορούν να δημιουργήσουν αρνητικές επιπτώσεις στα ψάρια του γλυκού νερού μέσω επιρροής των ενδιαιτημάτων τους που βρίσκονται σε λίμνες, ρυάκια και νερόλακκους. Η ακριβής πρόβλεψη της απόκρισης κάποιου είδους ψαριού στην πυρκαγιά είναι δύσκολο να προβλεφθεί, οπότε για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου επιπτώσεων Β.3 πρέπει να ληφθεί υπόψη αν υπάρχει κάποιο είδος ψαριού που ζει στην ευρύτερη περιοχή, αν είναι κοινό ή απειλούμενο, καθώς και το αν οι συνθήκες της φωτιάς και το ενδιαίτημά του έχει χαρακτηριστικά τα οποία συνηγορούν στο ό,τι θα απειληθεί μελλοντικά η επιβίωσή του (π.χ. πιθανή πυρκαγιά στην ευρύτερη δασική περιοχή προστασίας του Γκιζανιού στη Ρόδο). Βαθμολογείται με τις ακόλουθες τιμές: Όχι (0), Λίγες (20), Μέτριες (60), Υψηλές (100).

Τα ψάρια των ελληνικών γλυκών νερών είναι πολύτιμο στοιχείο της ελληνικής πανίδας σπονδυλωτών. Από τα πάνω από 100 είδη, τουλάχιστον 38 είναι ενδημικά και πάνω από 40 ενδημικά υποείδη, ενώ η έρευνα πεδίου και οι βελτιωμένες ταξινομικές τεχνικές αποκαλύπτουν νέα είδη όπως η Ντάσκα (*Pseudophoxinus stymfalicus*) (Kottelat and Barbieri 2004). Οι περιοχές με το μεγαλύτερο ποσοστό ενδημισμού είναι η Δυτική Ελλάδα, η Πελοπόννησος και η περιοχή της Αττικοβοιωτίας (Economidis and Banarescu 1991, Οικονόμου κ.α. 1999, Γαβριηλίδης 2004). Πολλά ενδημικά είδη έχουν περιορισμένη κατανομή, συχνά σε μία μόνο λίμνη ή ένα ποτάμι, ενώ άλλα συχνή παρουσία σε πηγές ή μικρά ρέματα στην περιφέρεια των υγροτόπων (και όχι μέσα στην κύρια υδάτινη έκταση). Πολλά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και προσαρμοσμένα σε ασταθείς συνθήκες, όπως η Ντάσκα (Οικονομίδης 1990, Οικονόμου 2000). Διαβιώντας όμως σε τόσο ευάλωτα οικοσυστήματα και με τόσο μικρούς πληθυσμούς αντιμετωπίζουν πολλούς κινδύνους και αποτελούν τα πιο απειλούμενα είδη ζώων στην Ελλάδα. Σήμερα έχουν ήδη εξαφανιστεί πολλοί τοπικοί πληθυσμοί ψαριών, ενώ ορισμένα είδη απειλούνται με ολοκληρωτική εξαφάνιση, όπως η Μενίδα (*Leuciscus keadicus*) στον ποταμό Ευρώτα (Economou *et al.* 2002).

Τα ψάρια έχουν σχετική μακροζωία και παρουσιάζουν κινητικότητα, επομένως είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον καθορισμό των μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα χαρακτηριστικά των ενδιαιτημάτων τους (Karr 1981). Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις ψαριών ενσωματώνουν πολλά επίπεδα της τροφικής αλυσίδας και τείνουν να μεταβιβάζουν τις επιπτώσεις που συμβαίνουν στα χαμηλότερα επίπεδα της (Barbour *et al.* 1999). Τα ψάρια μπορούν να υποστούν άμεση θνησιμότητα από τις αυξημένες θερμοκρασίες του νερού και την τοξικότητα του καπνού που συχνά σχετίζεται με τις έντονες και σφοδρές πυρκαγιές (Minshall *et al.* 1989, Rieman *et al.* 1997).

Μεγαλύτερη ανησυχία προκαλούν οι πιθανές έμμεσες επιπτώσεις όπως η αυξημένη παρουσία σωματιδίων στο νερό, καθώς και μεταβολές στην υδρολογία της περιοχής. Η αυξημένη παρουσία άμμου και σωματιδίων μπορεί να μειώσει το ζωτικό χώρο του ενδιαιτηματος και την παρουσία βενθικών ψαριών, να οδηγήσει σε μειωμένη αναπαραγωγική επιτυχία και στην επικράτηση πιο κοινών ειδών, μειώνοντας έτσι τη βιοποικιλότητα (Berkman and Rabeni 1987, Dunham *et al.* 2003). Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στα ψάρια εξαρτώνται κυρίως από (Rieman *et al.* 2003):

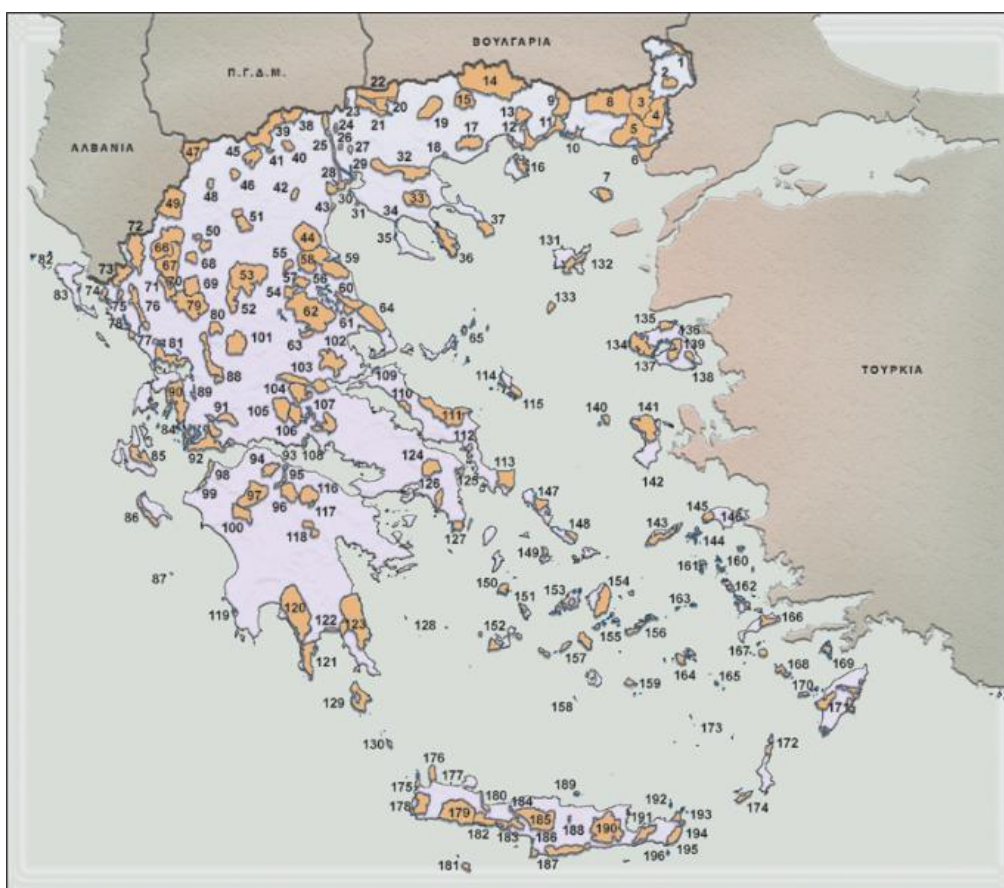
1. Τα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς και την κατανομή των επερχόμενων βροχοπτώσεων.
2. Τις συνθήκες που επικρατούσαν στα ρέματα και τις υδάτινες επιφάνειες πριν την πυρκαγιά.
3. Τις δυνατότητες επαναποικισμού των ειδών.
4. Την πορεία του κάθε είδους στην περιοχή και την ηλικιακή δομή των πληθυσμών.

5. Το ιστορικό της διαχείρισης και καταστολής της πυρκαγιάς.

8.2.2.4. Απώλειες Πτηνών - B.4.

Η θνησιμότητα των πτηνών εξαρτάται από την εποχή εκδήλωσης της πυρκαγιάς, την ομοιομορφία της καύσης στο πεδίο και τη σφοδρότητά της (Apfelbaum and Haney 1981, Kruse and Piehl 1986, Lehman and Allendorf 1989, Robbins and Myers 1992, Smucker *et al.* 2005). Στην αξιολόγηση του κριτηρίου επιπτώσεων B.4 πρέπει να ληφθεί υπόψη το αν υπήρχαν πριν την πυρκαγιά σημαντικά είδη πτηνών στην περιοχή, καθώς και αν η ικανότητα επιβίωσής τους έχει επιβαρυνθεί σημαντικά από τη διαταραχή που προκλήθηκε. Βαθμολογείται με τις ακόλουθες τιμές: Όχι (0), Λίγες (20), Μέτριες (60), Υψηλές (100).

Οι Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά (ΣΠΠ), αποτελούν ένα διεθνές δίκτυο περιοχών που είναι ζωτικές για τη διατήρηση παγκοσμίως απειλούμενων ειδών, ενδημικών ειδών ή ειδών πτηνών που εξαρτώνται από τους συγκεκριμένους βιοτόπους για την επιβίωσή τους. Οι περιοχές αυτές έχουν αναγνωριστεί με βάση καθαρά επιστημονικά κριτήρια, και στην Ελλάδα υπάρχουν 196 (Εικόνα 8.6).



Εικόνα 8.6: Σημαντικές περιοχές για τα πουλιά της Ελλάδος
(ΠΗΓΗ: http://www.ornithologiki.gr/page_in.php?tID=2334&sID=68)

Το πρόγραμμα των ΣΠΠ της Ελληνικής Ορνιθολογικής Εταιρείας είναι μέρος ενός ευρύτερου προγράμματος της BirdLife International (Important Bird Areas/ IBAs⁶). Από τα αποτελέσματα του προγράμματος προέκυψαν και είναι διαθέσιμες αναλυτικές ποσοτικές, χαρτογραφικές και περιγραφικές πληροφορίες για την ορνιθοπανίδα του συνόλου των 196

⁶ <http://www.birdlife.org/worldwide/science> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

περιοχών, βοηθώντας τον αξιολογητή του κριτηρίου στην αναγνώριση των ειδών κάθε περιοχής.

Στις δασώδεις εκτάσεις, η σφοδρότητα καύσης συντελεί σημαντικά στις συνέπειες που προκαλούνται στα είδη πτηνών της περιοχής (Smucker *et al.* 2005). Πολλά είδη πτηνών φεύγουν από τις καιγόμενες περιοχές για την αποφυγή τραυματισμών, κάποια από τα οποία γυρίζουν για να εκμεταλλευτούν τις νέες συνθήκες που δημιουργήθηκαν στο ενδιαίτημά τους, ενώ άλλα θα εγκαταλείψουν οριστικά τις καμένες εκτάσεις μιας και πλέον δεν προσφέρουν τη δομή ή την τροφή που απαιτούν για να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν. Βασικός παράγοντας που καθορίζει τη μακρόχρονη επιβίωση των πτηνών είναι η ικανότητα τους να επαναδημιουργούν τις φωλιές τους στο νέο περιβάλλον (Lyon *et al.* 2000, κεφάλαιο στο Smith 2000). Η θνησιμότητα των ενήλικων πτηνών θεωρείται ελάχιστη, ενώ η θνησιμότητα των νεοσσών είναι σημαντική. Για τα είδη των πτηνών που φωλιάζουν εντός του εδάφους, η καταστροφή των φωλιών και των μικρών τους είναι σημαντική γιατί είναι τρωτά ακόμα και σε χαμηλής έντασης πυρκαγιές (Arfelbaum and Haney 1981). Αντιθέτως, τα είδη που φωλιάζουν στην κόμη μπορούν να επηρεαστούν από έντονες έρπουσες ή επικόρυφες πυρκαγιές. Μελέτες στις κοινότητες των πτηνών έδειξαν ότι οι νέες ανοιχτές περιοχές που δημιουργούνται μετά από μια πυρκαγιά κατακλύζονται από πτηνά τα οποία προτιμούν ανοιχτούς και χαμηλής βλάστησης χώρους, ενώ συμβιώνει και με άλλα είδη τα οποία έχουν προτίμηση στη συγκεκριμένη περιοχή μιας και ζούσαν εκεί πριν την πυρκαγιά (Lawrence 1966, Izhaki and Adar 1997, Imbeau *et al.* 1999). Έρευνες στις ΗΠΑ (Parker 1974) έδειξαν ότι ορισμένα αρπακτικά εκμεταλλεύονται την ευκαιρία της φωτιάς και προσελκύονται για να κυνηγήσουν ή να τραφούν με κουφάρια νεκρών ζώων.

8.2.2.5. Απώλειες Μεγάλων Θηλαστικών - B.5.

Το κριτήριο επιπτώσεων B.5 αφορά τα μεγάλα θηλαστικά και τις επιπτώσεις που μπορεί να προκλήθηκαν από την πυρκαγιά στον πληθυσμό τους, την κατάσταση ενδιαίτηματος και τη συμπεριφορά τους. Για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου απαιτείται η απόκτηση γνώσης για τα είδη της περιοχής, καθώς και για ενδεχόμενες καταγραφές απωλειών σε αυτά. Μόνο σε περιπτώσεις όπου ένα υπό εξαφάνιση/ απειλούμενο είδος ή το ενδιαίτημά του επλήγη σφοδρά και αποδεδειγμένα πρέπει να επιλέγονται βαθμολογίες άνω του 50. Σε περιπτώσεις απώλειας μερικών ατόμων κάποιου κοινού είδους, οι επιπτώσεις αξιολογούνται με βαθμολογίες κάτω του 50 ανάλογα με τον αριθμό των νεκρών ειδών που εντοπίστηκαν. Βαθμολογείται με τις ακόλουθες τιμές: Όχι (0), Λίγες (20), Μέτριες (60), Υψηλές (100).

Με τον όρο μεγάλα θηλαστικά ταξινομούνται όσα είδη έχουν μέγεθος που ξεπερνά περίπου το 1 m σε ύψος και μήκος, ενώ ανήκουν στις οικογένειες των Σαρκοφάγων και Αρτιοδάκτυλων. Ως μεγάλα θηλαστικά χαρακτηρίζονται και κάποια οικόσιτα είδη, όπως το άλογο (*Equus caballus*) και ο γάιδαρος (*Equus asinus*), τα οποία ανήκουν στην τάξη των Περισοδάκτυλων. Από τα 14 είδη Σαρκοφάγων της Ελλάδος, ως μεγάλα θηλαστικά χαρακτηρίζονται η αρκούδα (*Ursus arctos*), ο λύκος (*Canis lupus*), το τσακάλι (*Canis aureus*), ο λύγκας (*Lynx lynx*) αλλά και η κόκκινη αλεπού (*Vulpes vulpes*). Ο λύγκας έχει χαρακτηριστεί ως Κρισίμως Κινδυνεύον είδος, ενώ η αρκούδα και η βίδρα ως Κινδυνεύοντα. Η τάξη των Αρτιοδακτύλων της Ελλάδας περιλαμβάνει τον αγριόχοιρο (*Sus scrofa*), ο οποίος βρίσκεται σε αφθονία, το ελάφι (*Cervus elaphus*), που είναι Κρισίμως Κινδυνεύον, η κρητική μυγαλή (*Crocidura zimmermanni*), ο κρητικός αίγαγρος (*Capra aegagrus cretica*), το πλατόνι (*Dama dama*), που είναι Κινδυνεύον, καθώς και το αγριόγιδο (*Rupicapra rupicapra balcanica*) που είναι Σχεδόν Απειλούμενο. Η τάξη περιλαμβάνει και οικόσιτα είδη της Ελλάδας όπως το βόδι (*Bos Taurus*), τον βούβαλο (*Bubalus bubalis*) και την κατσικά (*Capra hircus*).

Η ικανότητα των μεγάλων θηλαστικών να επιβιώνουν από τις πυρκαγιές εξαρτάται από την κινητικότητα τους καθώς και την ομοιομορφία, σφοδρότητα, μέγεθος και διάρκεια της πυρκαγιάς (Wright and Bailey 1982). Η θνησιμότητα τους είναι πιο πιθανή όταν τα μέτωπα της φωτιάς είναι πλατειά και κινούνται γρήγορα, παράγουν ενεργές πυρκαγιές κόμης, ενώ εμφανίζεται και πυκνός καπνός στην επιφάνεια (Lyon *et al.* κεφάλαιο στο Smith 2000). Επειδή η θνησιμότητα στα μεγάλα θηλαστικά είναι χαμηλή, η άμεση προκληθείσα θνησιμότητα από την ένταση της φωτιάς έχει μικρή επιρροή στο συνολικό πληθυσμό του είδους (French and French 1996). Στις περιπτώσεις άμεσης καύσης και νέκρωσης κάποιων ατόμων, τα κουφάρια τους αποτελούν πηγή τροφής για σαρκοφάγα είδη τόσο από γειτονικές περιοχές, όσο και από τους άκαυτους θύλακες αποτελώντας μια πηγή τροφής που συμβάλει στην επιβίωση ορισμένων ειδών για πολλούς μήνες (π.χ. αρκούδες). Οι Singer and Schullery (1989) διαπίστωσαν ότι τα μεγάλα θηλαστικά έχουν επαρκή κινητικότητα ώστε απλά να φεύγουν μακριά από τον κίνδυνο κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι βίσωνες, αλκές και άλλα οπληφόρα έβρισκαν και αναπαύονταν μέσα στο πεδίο θέασης των φλογών, συχνά στα 100 m ή λιγότερο από καιγόμενα δέντρα.

Επειδή είδη όπως το ελάφι εξαρτώνται από την παρουσία της βλάστησης για βοσκή, κάλυψη, ξεκούραση και θερμική προστασία, απομακρύνονται από τις καμένες περιοχές αν η πυρκαγιά αφαιρέσει πολλά από τα χαρακτηριστικά του ενδιαιτήματος που απαιτούν για την επιβίωση του είδους (Lyon *et al.* 2000, κεφάλαιο στο Smith 2000). Ως αποτέλεσμα, για πολλά είδη θηλαστικών οι πυρκαγιές αντικατάστασης συστάδων, καθώς και οι έρπουσες πυρκαγιές που είναι αρκετά σφοδρές ώστε να νεκρώσουν τα άνω τμήματα των θάμνων και τα νεαρά δέντρα, είναι πιθανότερο να δημιουργήσουν υψηλούς ρυθμούς μετανάστευσης σε σχέση με τις ανομοιομορφες ή χαμηλής εντάσεως πυρκαγιές. Τέλος, τα μεγάλα θηλαστικά μπορεί να μετακινηθούν σε καμένα ενδιαιτήματα απλά γιατί είναι συνηθισμένα στο να βρίσκονται στην περιοχή ή γιατί μετά τη φωτιά τα νέα φυτά ή τα παραβλαστήματα είναι πρώτης ποιότητας τροφή για τα χορτοφάγα. Γενικότερα, εκτιμάται ότι οι επιπτώσεις των πυρκαγιών είναι διαχειρίσιμες λόγω του μεγέθους των ζώων, ενώ πολλά μπορεί να ευνοηθούν από τη μεταπυρική κατάσταση. Ειδικότερα όμως σε περιπτώσεις όπου η πυρκαγιά δεν έκαψε ολοκληρωτικά εκτεταμένες εκτάσεις με υψηλή σφοδρότητα, η προσαρμογή στις νέες συνθήκες επέρχεται ιδιαίτερα εύκολα.

8.2.2.6. Απώλειες Σημαντικών/ Σπάνιων Πληθυσμών Χλωρίδας - B.6.

Το κριτήριο επιπτώσεων B.6 αξιολογεί τις απώλειες σημαντικών ή σπάνιων πληθυσμών χλωρίδας, καταγράφοντας την επίδραση που έχει η πυρκαγιά σε αυτά τα είδη καθώς και το κατά πόσο μπορεί να απειλήσει την παρουσία, ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους στην περιοχή. Για την αξιολόγηση του κριτηρίου πρέπει να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη στην πληγείσα περιοχή όχι μόνο των τρωτών ή απειλούμενων ειδών, αλλά και των ειδών τα οποία μπορεί να υπάρχουν σε αφθονία σε επίπεδο χώρας ή γεωγραφικής περιφέρειας αλλά να είναι σπάνια ή σημαντικά για το τοπικό οικοσύστημα ή το αντίθετο (άφθονα σε τοπικό επίπεδο και σπάνια σε εθνικό), π.χ. Κρητικός Φοίνικας και Ροδόδενδρο Λέσβου (Εικόνα 8.7). Επιπλέον, θεωρείται ότι εφόσον η πυρκαγιά έκαψε εκτάσεις όπου υπάρχουν τέτοια είδη τότε έχει επέλθει *de facto* κάποια καταστροφή/ αλλοίωση των ενδιαιτημάτων και πληθυσμών του είδους, έστω και μικρής έκτασης (Brown and Smith 2000). Στην έρευνα των Montmollin and Strahm (2005) για τα 50 πιο απειλούμενα είδη φυτών στα νησιά της Μεσογείου, 10 από αυτά καταγράφηκαν στην Κρήτη και στα νησιά του Αιγαίου (Πίνακας 8.7). Για την αξιολόγηση του κριτηρίου υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Καθόλου-Δεν Υπήρχαν Σπάνια/Σημαντικά Είδη (0), Διαχειρίσιμη-Μικρές Απώλειες με Δυνατότητες Ανάκαμψης (20), Εκτεταμένη-Αλλοίωση Συνθηκών Ενδιαιτήματος και Σημαντική Πίεση στους Πληθυσμούς (60), Έντονη-Πιθανή Εξαφάνιση Ειδών (100).

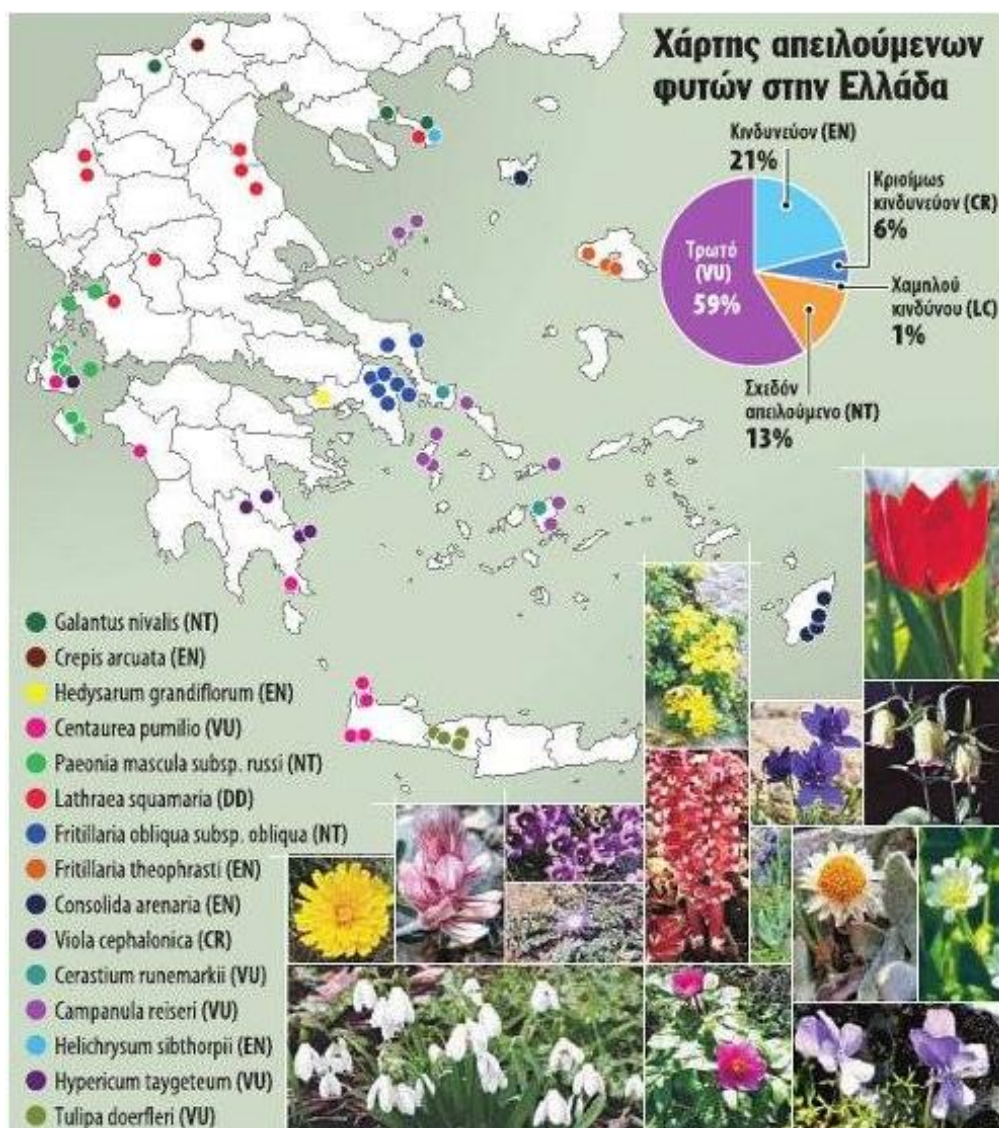
Πίνακας 8.7: Απειλούμενα είδη φυτών στον Ελλαδικό χώρο

Όνομα	Λατινικό Όνομα	Περιοχή	Πληθυσμοί	Κατάσταση	Αναφορά
Καμπανούλα	<i>Campanula reiseri</i>	Σποράδες, Κυκλάδες, Άνδρος, Δονούσα, Κέα	Μικροί πληθυσμοί	VU	Kamari 2013
Κενταύρια "ζαρωμένος"	<i>Centaurea pumilio</i>	Ν.Α. Πελοπόννησος, Δ. Κρήτη, Κεφαλονιά, Ελαφώνησος	Μεγάλοι και εύρωστοι πληθυσμοί στην Βουλισμένη και στο απέναντι νησάκι του Ελαφονησιού στη Δ. Κρήτη	VU	Kamari and Matthäs 1986
Κρητικό κεφαλάνθηρο	<i>Cephalanthera cucullata</i>	Κρήτη (Λευκά όρη, Ψηλορείτης, Δίκτη)	Μικροί αραιοί πληθυσμοί	EN	Turland 1992
Σεράστιο του Ρούνεμαρκ	<i>Cerastium runemarkii</i>	Νησιά Αιγαίου, Νάξος, Όχη Εύβοιας	Μικροί πληθυσμοί, στην περιοχή της Νάξου φύεται μόνο στις κορυφές της Όχης Εύβοιας	VU	Trigas <i>et al.</i> 2008
Κονσολίντα	<i>Consolida arenaria</i>	Ανατολικές ακτές της Ρόδου και στη χερσόνησο του Αγίου Σώζοντα της Λήμνου	Ο συνολικός πληθυσμός του δεν ξεπερνάει τα 10.000 άτομα	EN	Thomas <i>et al.</i> 2012
n/a	<i>Crepis arcuata</i>	Φλώρινα, Όρος Βόρας, Καϊμακτσαλάν στα ελληνικά σύνορα της Γιουγκοσλαβίας	Μικροί πληθυσμοί ανατολικά της κορυφής του Όρους Βόρας	VU	Kamari and Strid 1989
Έβενος του Σιμπθόρπ	<i>Ebenus sibthorpii</i> DC	ΝΑ Ελλάδα, Πάρνηθα και Καισαριανή	Μικρός πληθυσμός στους Θρακομακεδόνες	R	Bayrakdar <i>et al.</i> 2010
Φριτιλάρια η πλαγία	<i>Fritillaria obliqua subsp. obliqua</i>	Αθήνα (Τουρκοβούνια), Ανατολική Αττική (Πάρνηθα, Σχινιάς και πιθανώς Πεντέλης) και Κεντρική Εύβοια	Μικροί πληθυσμοί	NT	Zaharof 1989
Φριτιλάρια της Λέσβου	<i>Fritillaria theophrasti</i>	Ν.Δ. Λέσβος	Μικροί πληθυσμοί	EN	Kamari and Phitos 2001
Γάλανθος ο χιονόδης	<i>Galanthus nivalis</i>	Μακεδονία, Ήπειρος, Ικαρία	Μικροί πληθυσμοί	NT	Bishop 2006
n/a	<i>Hedysarum grandiflorum</i>	Αττική, Γεράνεια	Μικροί πληθυσμοί	EN	Constantinidis 2012
n/a	<i>Helichrysum sibthorpii</i>	Όρος Άθως	Μικροί πληθυσμοί	EN	Papanicolaou and Kokkini 1984
Υπερικό το ακιδόφορο	<i>Hypericum aciferum</i>	Περιοχή Σφακίων (ανάμεσα στη Σούγια και την Αγία Ρούμελη)	Μικροί πληθυσμοί	EN	Greuter 1965
Υπερικό του Ταϋγέτου	<i>Hypericum taygeteum</i>	Κεντρικός Ταϋγέτος	Ολιγομελείς πληθυσμοί	VU	Kamari <i>et al.</i> 2010
n/a	<i>Lathraea squamaria</i>	Όρος Κάτω Όλυμπος	Σταθερός πληθυσμός	DD	Authier 1993
Κόκκινος κρίνος	<i>Lilium chalcedonicum</i> L.	Πάρνηθα, Μαίναλο, Πάρνηθα, Ερύμανθος, Δίρφος κ.α.	4 πολύ μικρούς πληθυσμούς	R	Bergmeier 2002
n/a	<i>Omphalodes runemarkii</i>	ΝΑ Πελοπόννησος, Όρη Ανατολικής Λακωνίας	Μικροί πληθυσμοί	NT	Strid and Tan 2005
Άσπρη παιώνια	<i>Paeonia mascula</i> (L.)	Πάρνηθα, Στερεά Ελλάδα, Νησιά Ιονίου, Λευκάδα	3 μικροί πληθυσμοί 70 ατόμων	NT	Aplada <i>et al.</i> 2007
Παιώνια του Παρνασσού	<i>Paeonia parnassica</i>	Παρνασσός και Ελικώνας	Μικροί πληθυσμοί σε μόνο δύο βουνά	VU	Papandreou <i>et al.</i> 2002
Κρητικός Φοίνικας ή Φοίνικας του Θεόφραστου	<i>Phoenix theophrasti</i>	Κρήτη, Νότια Σέριφος	Πολύ περιορισμένη εξάπλωση σε λίγες περιοχές, κυρίως της Κρήτης	VU	Greuter 1967

Υποκεφάλαιο 8.2.2: Επιπτώσεις στο Ευρύτερο Περιβάλλον (B)

Ροδόδενοδρο της Λέσβου	<i>Rhododendron luteum</i>	Δυτική Λέσβος, Όρος Προφήτης Ηλίας	Μικροί πληθυσμοί	VU	Sawidis <i>et al.</i> 2011
n/a	<i>Stachys swainsonii</i> ssp. <i>melangavica</i>	Ηραίο Λουτρακίου (ακρωτήριο Μελαγκάβι)	Μικροί πληθυσμοί	R	Kokkoris and Arianoutsou 2004
Τουλίπα του Doerfler	<i>Tulipa doerfleri</i>	Κεντρική Κρήτη, Οροπέδιο του Γιούς Κάμπου, στο Αμάρι Ρεθύμνου	Περιορισμένη κατανομή	VU	Bergmeier and Strid 2014
Κεφαλληνιακή βιόλα	<i>Viola cephalonica</i>	Κεφαλονιά, Όρος Αίνος (Μέγας Σωρός)	Πυκνός υποπληθυσμός σε θέση με το τοπωνύμιο "Χιονίστρα"	CR	Panitsa and Iliadou 2013
n/a	<i>Aethionema retsina</i>	Σκύρος και Σκυροπούλα	Μικροί πληθυσμοί	CR	Phitos <i>et al.</i> 2005
n/a	<i>Allium calamarophilon</i>	Εύβοια	Πολύ μικροί πληθυσμοί	DD	Phitos and Tzanoudakis 1981
Ανθεμίδα η λειάζουσα	<i>Anthemis glaberrima</i>	Αγία Γραμβούσα και Ήμερη Γραμβούσα, ΒΔ Κρήτη	Φύεται στις δύο νησίδες	CR	Greuter <i>et al.</i> 1984
Βούπλευρο της Κακής Σκάλας	<i>Bupleurum kakiskalae</i>	Λευκά Όρη, περιοχή Κακίσκαλο, Σαμαριά, Κρήτη	Πληθυσμός από περίπου 100 άτομα	CR	Greuter <i>et al.</i> 1984
Κονσολίντα της Σάμου	<i>Consolida samia</i>	Σάμος (Όρος Κερκετεύες)	100 άτομα το 1996	CR	Davis 1994
Κονβόλβουλος ο αργυρόθαμνος	<i>Convolvulus argyrothamnus</i>	Ιεράπετρα Κρήτης	Περίπου 35 άτομα σε δύο πληθυσμούς	CR	Greuter <i>et al.</i> 1984
Χορστρισέα των δολινών	<i>Horstrissea dolinicola</i>	Ψηλορείτης, Κορυφή Ίδη	Περίπου 50 άτομα σε 5 πληθυσμούς	CR	Egli <i>et al.</i> 1990
n/a	<i>Minuartia dirphya</i>	Εύβοια (Όρος Δίρφυς)	1 πληθυσμός σε έκταση 5 km ² (250 άτομα)	CR	Trigas and Iatrou 2004
Πολύγαλα της Ελένης	<i>Polygala helenae</i>	Κήθηρα (Κάλαμος)	1 πληθυσμός	CR	Greuter <i>et al.</i> 1984
Σαπονάρια των Γιάγκελ	<i>Saponaria jagelii</i>	Νησίδα Ελαφώνησος, Κύθηρα	Φύεται σε δύο περιοχές της νησίδας	CR	Phitos and Greuter 1993

(Με γκρι χρώμα είναι όσα είδη αναφέρονται στην εργασία των Montmollin and Strahm (2005) για τα 50 πιο απειλούμενα είδη φυτών στα νησιά της Μεσογείου.)



Εικόνα 8.7: Χάρτης απειλούμενων φυτών στην Ελλάδα
(ΠΗΓΗ: Φοίτος κ.α. 2009)

8.2.2.7. Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης της Χλωρίδας - B.7.

Το κριτήριο επιπτώσεων B.7 εκτιμά την απειλή για εισαγωγή ξένων ειδών/ αλλαγή σύστασης της χλωρίδας. Η φωτιά ή άλλες διαταραχές μπορούν να μεταβάλλουν τις ευρύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες ευνοώντας τους εισβολείς, καθώς και να μειώσουν το σθένος των τοπικών φυτών και την ικανότητά τους να αντιστέκονται σε αυτούς (King and Grace 2000). Επιπλέον, πολλές φορές μετά από μια πυρκαγιά γίνεται ένας αγώνας για το ποια είδη θα εποίκισουν στην καμένη περιοχή, ιδιαίτερα στα όρια περιοχών όπου κυριαρχούν εισβολείς σε αντιπαράθεση με γηγενή φυτά (Keeley *et al.* 2003). Για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου πρέπει να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη ξένων ειδών στην περιοχή πριν την πυρκαγιά, καθώς και οι πληθυσμοί τους. Αν σε γειτονικές προς τις καμένες περιοχές υπήρχε εκτεταμένη παρουσία τέτοιων ειδών, τότε η βαθμολογία πρέπει να είναι υψηλότερη. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν ενδείξεις για παρουσία τέτοιων ειδών, το κριτήριο πρέπει να βαθμολογηθεί αποκλειστικά από την εκτίμηση της ενδεχόμενης αλλαγής της σύστασης της βλάστησης της περιοχής. Αν διαπιστωθεί ότι η περιοχή που κάηκε έχει ενδείξεις στο να αλλάξει η σύσταση και η αφθονία των ειδών της, τότε πρέπει να συνεκτιμηθεί στη βαθμολογία. Η αλλαγή της

σύστασης τις περισσότερες φορές συμβαίνει μέσω γηγενών ειδών που προϋπήρχαν στην περιοχή και με την πυρκαγιά άδραξαν την ευκαιρία να αποικήσουν περιοχές στις οποίες πριν δεν είχαν πρόσβαση. Μετά από μια πυρκαγιά είναι φυσιολογικό να ακολουθηθούν οι καθιερωμένες οικολογικές δραστηριότητες διαδοχής της βλάστησης, ανάλογα με τον προϋπάρχοντα τύπο βλάστησης της περιοχής (π.χ. ετήσια φυτά-θάμνοι-νεαρά δέντρα). Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να αποδοθεί η χαμηλότερη βαθμολογία. Αν εκτιμηθεί ότι διαταράσσεται με κάποιο τρόπο η καθιερωμένη αλληλουχία διαδοχής, τότε πρέπει η βαθμολογία να είναι η υψηλότερη. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Καθόλου (0), Κατά Τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100). Ακολουθεί η περιγραφή ορισμένων από τα πλέον γνωστά και διαδεδομένα είδη-εισβολείς της Ελλάδος.

Στην Ελλάδα έχουν καταγραφεί πολλά φυτά εισβολείς τα οποία υπό προϋποθέσεις μπορούν να εποικίσουν τις καμένες εκτάσεις (Arianoutsou *et al.* 2010b). Πολλά είδη δημιουργούν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις. Μεταξύ των πιο γνωστών εισβολέων της Ελλάδας είναι η φραγκοσυκιά (*Opuntia ficus-indica*), ο ευκάλυπτος (*Eucalyptus sp.*), η βρωμοκαρυδιά (*Ailanthus altissima*) και τα καλάμια (*Arundo donax* και *Phragmites australis*). Πυκνοί πληθυσμοί από καλάμια επηρεάζουν τα ρέματα και τα ποτάμια, ενώ βρίσκονται σε ανταγωνισμό με τα γηγενή φυτά, παρεμποδίζουν τον έλεγχο της ροής των υδάτων και αυξάνουν την ευφλεκτικότητα της περιοχής επειδή καίγονται έντονα και γρήγορα. Είναι χαρακτηριστικό φυτό που μπορεί να δημιουργήσει ένα πυρικό καθεστώς εισβολέα, προκαλώντας πυρκαγιές. Έχει όμως την ικανότητα να ανακάμπτει 3-4 φορές γρηγορότερα από τα ενδημικά είδη (McWilliams 2004, Benton *et al.* 2005).

Η *Acacia saligna* και η *Robinia pseudoacacia* προέρχονται από τη Β. Αμερική και δημιουργούν πυκνές μονοσφαιρικές συστάδες, αποκλείοντας τα γηγενή είδη και παρακωλύοντας την αναγέννησή τους μέσω του φαινομένου της αλληλοπάθειας ενώ μεταβάλλουν τις διεργασίες του εδάφους, τα πυρικά καθεστώτα και τη ροή των νερών. Η *Bidens pilosa* είναι ένα ζιζάνιο ιθαγενές είδος της Αμερικής το οποίο εισήχθη στην Ευρώπη και την Ασία δημιουργώντας πυκνές καλύψεις που ανταγωνίζονται τα τοπικά είδη, συνήθως κυριαρχώντας επί αυτών. Έχει αλληλοπαθητικές ιδιότητες εμποδίζοντας την αναγέννηση των γηγενών φυτών, ενώ μεγαλώνει τρεις φορές γρηγορότερα σε σχέση με παρόμοια είδη. Το φυτό *Heliotropium curassavicum*, επίσης προερχόμενο από την Αμερική, δημιουργεί πυκνές μονοσφαιρικές συστάδες με δύο επίπεδα πληθυσμών (μέσω σποράς και πρεμνοβλάστησης). Η *Imperata cylindrica*, προερχόμενο από την Ανατολική Ασία, είναι ζιζάνιο που βρίσκεται σε ένα ευρύ πεδίο ενδιαιτημάτων, συμπεριλαμβανομένων υποβαθμισμένων δασών, χορτολίβαδων και νεαρών συστάδων. Η αύξησή της ανησυχεί τους οικολόγους γιατί μετατοπίζει τα γηγενή είδη φυτών, διώχνει τα ζώα και μεταβάλλει τα πυρικά καθεστώτα (Brewer and Cralle 2003). Έχει την ιδιότητα να εισβάλλει σε πευκοδάση και να μειώνει ακόμα και πολύ μεγάλες ποικιλομορφίες στον υπόροφο. Ο Lippincott (2000) βρήκε ότι περιοχές που κατακλύστηκαν από αυτό το φυτό δημιουργήθηκαν μεγαλύτερα φορτία μικρής διαμέτρου καύσιμης ύλης.

Η *Macfadyena unguis-cati* προέρχεται από την Κεντρική Αμερική και είναι ένα αναρριχώμενο φυτό (McClymont 1996) το οποίο επηρεάζει όλα τα επίπεδα των δασικών οικοσυστημάτων που εισβάλλει μέσω της εξάπλωσής της τόσο οριζόντια όσο και κάθετα σχεδόν σε οτιδήποτε μπορεί να έρθει σε επαφή μαζί του. Σχηματίζει ένα πυκνό στρώμα από φύλλα και κλαδιά το οποίο ανταγωνίζεται τα τοπικά φυτά και αυξάνει τα φορτία της καύσιμης ύλης. Επιπλέον, νεκρώνει τα δέντρα πνιγοντάς τα με το βάρος και τη σκιά που δημιουργεί. Το είδος *Oxalis pes-caprae* (Castor bean) προέρχεται από την Αφρική και τις Βερμούδες και αποτελεί σημαντικό ζιζάνιο των ελαιώνων, μετατοπίζοντας τα γηγενή φυτά που φύονται σε υδάτινες επιφάνειες και ακτές, ενώ είναι από τα πρώτα που ανακάμπτουν έπειτα από μια πυρκαγιά. Η βρωμοκαρυδιά είναι ιθαγενές είδος της Κίνας και της Κορέας. Στην περιοχή της Μεσογείου εξαπλώνεται όχι μόνο σε αστικές περιοχές, αλλά όλο και

συχνότερα σε δασικές περιοχές, αγροτικές εκτάσεις, ρέματα και χαράδρες, έχοντας αναπτύξει ιδιαίτερα επιτυχημένες τεχνικές αναπαραγωγής (ιδίως μέσω της σπερμοβλάστησης), ενώ είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στην καταπολέμησή της. Έχει υπολογιστεί ότι ένα ενήλικο δένδρο μπορεί να παράγει μέχρι 325.000 σπέρματα το χρόνο, φτάνοντας ύψος 30 m. Από οικολογικής πλευράς, χαρακτηρίζεται ως πολύ επιθετικό είδος και όπου φυτρώσει σύντομα γίνεται το επικρατέστερο είδος, σχηματίζοντας αδιαπέραστες συστάδες.

Η φραγκοσυκιά είναι πολύκλαδο κακτοειδές φυτό προερχόμενο από την Κ. Αμερική, το οποίο μπορεί να φτάσει σε ύψος μέχρι 3-5 m. Δεν έχει κορμό και αποτελείται από σαρκώδη επίπεδα τμήματα με μορφή ελλειπτικού δίσκου ενωμένα μεταξύ τους. Εξαπλώνεται σε κλωνικές αποικίες και μπορεί γρήγορα να καλύψει εκτεταμένες περιοχές. Η εξάπλωση του υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες περιορίζεται σε νησιά της Ελλάδας και τις παραθαλάσσιες περιοχές. Είναι φυτό το οποίο δεν καίγεται εύκολα από τις πυρκαγιές, επομένως μπορεί να εξαπλωθεί μεταπυρικά στις περιοχές που έχουν καθαριστεί από άλλα είδη βλάστησης. Τέλος, το είδος ευκάλυπτου που συναντάμε στην Ελλάδα είναι ο ευκάλυπτος ο σφαιρικός (*Eucalyptus globulus*), ο οποίος σε συστάδες δημιουργεί ιδιαίτερα εύφλεκτες συνθήκες λόγω της χημικής σύστασης των τμημάτων του φυτού. Καλλιεργείται για καλλωπιστικούς λόγους, ενώ ήδη έχει εξαπλωθεί σε όλες σχεδόν τις περιοχές της χώρας.

8.2.2.8. Απειλή για Εισαγωγή Ξενικών Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης της Πανίδας - B.8.

Το κριτήριο επιπτώσεων B.8 σχετίζεται με την αλλαγή της σύστασης της πανίδας, καθώς και με την προσέλευση ξενικών ειδών τα οποία θα ανταγωνιστούν, συμβιώσουν ή εξαλείψουν τα τοπικά είδη που προϋπήρχαν της πυρκαγιάς. Η αξιολόγηση θα πρέπει να γίνει μέσω απόκτησης καλής γνώσης για το τι απειλές αντιμετώπιζε η περιοχή πριν την πυρκαγιά, καθώς και με την εκτίμηση της εξέλιξης των πληθυσμών υπό τις νέες συνθήκες. Μετά από μια πυρκαγιά, πολλά είδη από γειτονικές άκαυτες περιοχές εισρέουν στην καμένη έκταση για να εκμεταλλευτούν την ύπαρξη τροφής, μετά από λίγο καιρό όμως θα απομακρυνθούν και θα επιστρέψουν στα βασικά ενδιαιτήματά τους. Στην Ελλάδα έχουν καταγραφεί ξενικά είδη-εισβολείς τα οποία έχουν τη δυναμική να εξαπλωθούν στις καμένες περιοχές, να επεκτείνουν τα ενδιαιτήματά τους και να αυξήσουν τους πληθυσμούς τους. Τα είδη αυτά είναι τόσο ξενικά, όσο και τοπικά/ ενδημικά.

Μέχρι την εκδήλωση της πυρκαγιάς, τα τοπικά είδη πολλές φορές έχουν την ικανότητα να αποκρούσουν επιδρομές ή να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στις πιέσεις των εισβολέων. Αν όμως ένας πληθυσμός κάποιου είδους εξασθενήσει, τότε η αλλαγή σύστασης των ειδών μπορεί να επέλθει με γοργούς ρυθμούς. Πρέπει να εκτιμηθεί το κατά πόσο είναι πιθανό να συμβούν τέτοιες αλλαγές, πόσο εκτεταμένες μπορεί να είναι και αν θα είναι μόνιμες ή παροδικές. Επιπλέον, θα πρέπει να αξιολογηθεί κατά πόσο έχουν επιβιώσει πληθυσμοί σε γειτονικές άκαυτες περιοχές ή εντός άκαυτων θυλάκων που μπορούν να επαναποικίσουν την περιοχή. Στην αξιολόγηση θα πρέπει να συνεκτιμηθεί η επιρροή που έχει στην περιοχή η παρουσία ειδών όπως οι άγριες κασίκες ή τα άγρια άλογα τα οποία μπορούν να γίνουν εισβολείς και να δημιουργήσουν αρνητικές επιπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή εξάπλωσής τους. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Καθόλου (0), Κατά Τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100). Ακολουθεί η περιγραφή ορισμένων από τα πλέον γνωστά και διαδεδομένα είδη-εισβολείς της Ελλάδος.

Ο γνωστός αρουραίος (*Rattus rattus*) εισέβαλε από την Ινδική υποήπειρο και έχει εξαπλωθεί σε όλο τον πλανήτη. Είναι συχνός σε δάση και δασικές εκτάσεις και τρέφεται με οτιδήποτε βρώσιμο συναντήσει. Έχει διαπιστωθεί ότι τρώνε ενδημικά σαλιγκάρια, σκαθάρια, αράχνες, σκόρους, τζιτζίκια και φρούτα (Innes 1990). Επιπλέον, ψάχνουν και τρώνε αυγά από πολλά δασικά πτηνά (Innes *et al.* 1999). Στο είδος αυτό έχει αποδοθεί η καταστροφική

μείωση των πληθυσμών των πτηνών σε νησιά και βραχονησίδες. Επιπλέον, συνδέεται με την εξαφάνιση πολλών ειδών των περιοχών που εισβάλλει όπως πτηνών, μικρών θηλαστικών, ερπετών, ασπόνδυλων και φυτών, ιδιαίτερα στα νησιά. Χρησιμοποιεί τα δέντρα και τα κλαδιά τους για φώλιασμα και εύρεση τροφής.

Το Ευρωπαϊκό φλοιοφάγο σκαθάρι της Ελάτης (*Ips typographus*) προκαλεί μαζικές επιθέσεις σε ζωντανά δέντρα και μπορεί να δημιουργήσει θνησιμότητα σε επίπεδα τοπίου (Baier *et al.* 2007). Παρά το γεγονός ότι το είδος προτιμάει τραυματισμένα δέντρα ελάτης, συχνά προσβάλλει και υγιή άτομα, για παράδειγμα στις παρυφές πρόσφατων υλοτομημένων εκτάσεων (Eriksson *et al.* 2007). Εξάρσεις του πληθυσμού του εντόμου μπορούν να αναπτυχθούν ταχύτατα με δυναμική που μπορεί να καταβάλει τις αντιστάσεις των υγιών δέντρων (Grodzki *et al.* 2006, Joensuu *et al.* 2008). Οι μεταβολές που προκλήθηκαν από την αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας την περασμένη δεκαετία επέτρεψαν στο είδος να ολοκληρώνει κύκλους ζωής σε υψόμετρα τα οποία ήταν ακατάλληλα για την ανάπτυξη του και, ως συνέπεια, αναμένεται ότι μελλοντικά θα πλήξει ορεινά δάση απρόσβλητα μέχρι τώρα (Seidl *et al.* 2009).

Το έντομο *Harmonia axyridis* (είδος πασχαλίτσας) είναι γνωστό ότι αποικεί σε μια ευρεία γκάμα οικοτόπων, κυνηγεί και παραγκωνίζει τα τοπικά είδη πασχαλίτσας και είναι παράσιτο. Έχει μεγάλο εύρος εξάπλωσης (50 με 100 km κατ' έτος), ενώ είναι ιδιαίτερα ικανό στο να κυνηγεί και να επηρεάζει άλλα είδη, όπως την πεταλούδα μονάρχη (*Danaus plexippus*) και την *Galerucella californiensis* (Koch 2003). Το κουνούπι τίγρης (*Aedes albopictus*) έχει πλέον εξαπλωθεί και στην Ελλάδα και σχετίζεται με ασθένειες όπως ο ιός του δυτικού Νείλου, την Ιαπωνική εγκεφαλίτιδα και το δάγκειο πυρετό. Οι πυρκαγιές μπορούν να επιδράσουν στο είδος, είτε καταστρέφοντας τα ενδιαίτηματά του και εξαλείφοντας το από μια περιοχή, είτε αναγκάζοντάς το να μετακινηθεί σε άλλες περιοχές όπου μέχρι πρότινος δεν υπήρχε. Εφόσον οι πυρκαγιές τα εξαναγκάσουν σε μετακίνηση ευνοώντας την ανάπτυξή τους στη νέα περιοχή, τότε μπορεί να υπάρξει σημαντική επίπτωση και στους ανθρώπους επειδή τρέφεται κυρίως από δαγκώματα σε αυτούς. Το είδος διαβίει σε τρύπες και κουφάλες των δέντρων, έτσι οι τόποι αναπαραγωγής του είναι φυσικές περιοχές με μικρούς περιορισμένους όγκους νερού που περιβάλλονται από βλάστηση. Επιπλέον, διαβίει σε αγροτικές περιοχές πυκνής βλάστησης.

Το είδος αλόγου *Equus caballus* είναι ένα μεγάλο μη μηρυκαστικό φυτοφάγο θηλαστικό που είναι όμοιο στην εμφάνιση με το οικιακό άλογο. Ενώ προτιμάει ως τόπο διαβίωσης τις ανοιχτές χορτολιβαδικές εκτάσεις, είναι γνωστό ότι εισβάλλει σε ερήμους, ημιορεινικές κοιλάδες, παραλιακές περιοχές, υποαλπικές περιοχές, δάση και θαμνώνες. Σε κάποιες περιοχές προστατεύεται ως πολύτιμο, ενώ σε άλλες περιοχές θεωρείται ως απειλή επειδή ανταγωνίζεται τα οικόσιτα ζώα σε τροφή, υποβαθμίζει τα φυσικά οικοσυστήματα μέσω βοσκής και ποδοπατήματος (τρέφεται με περίπου 2-2,5% της σωματικής του μάζας ανά μέρα), ρυπαίνει τις πηγές νερού και μειώνει τη φυσική βιοποικιλότητα. Όλα αυτά μπορεί να αυξήσουν την πιθανότητα να εμφανιστούν σε καμένες περιοχές μη βρώσιμα αγριόχορτα και διάβρωση του εδάφους, ενώ έχει αποδειχτεί ότι αυξάνει την πίεση σε πτηνά, μικρά θηλαστικά, ερπετά και μυρμηγκία (Nimmo and Miller 2007, Csurhes *et al.* 2009). Η κατσίκα (*Capra hircus*) είναι φυτοφάγο με ικανότητα κατανάλωσης μεγάλου αριθμού φυτικών ειδών. Οι κατσίκες μεταβάλλουν τις φυτικές κοινωνίες και τη δασική δομή, τρώνε τις κορυφές των νεαρών δένδρων μην επιτρέποντας την ανάπτυξή τους, ενώ απειλούν ευάλωτα φυτικά είδη. Η μείωση της βλάστησης ελαττώνει τις επιλογές κάλυψης και φωλιάσματος των γηγενών ειδών, ενώ η υπερβόσκηση οδηγεί σε υποβάθμιση του οικοσυστήματος, ιδιαίτερα σε νησιά και νησιώτικες περιοχές μετά από πυρκαγιές (Campbell and Donlan 2005). Τέλος, οι άγριες κατσίκες μεταφέρουν ασθένειες, μολύνοντας γηγενή ζώα.

8.2.2.9. Τύπος Προστατευόμενης Περιοχής - Γενικός Πολλαπλασιαστής

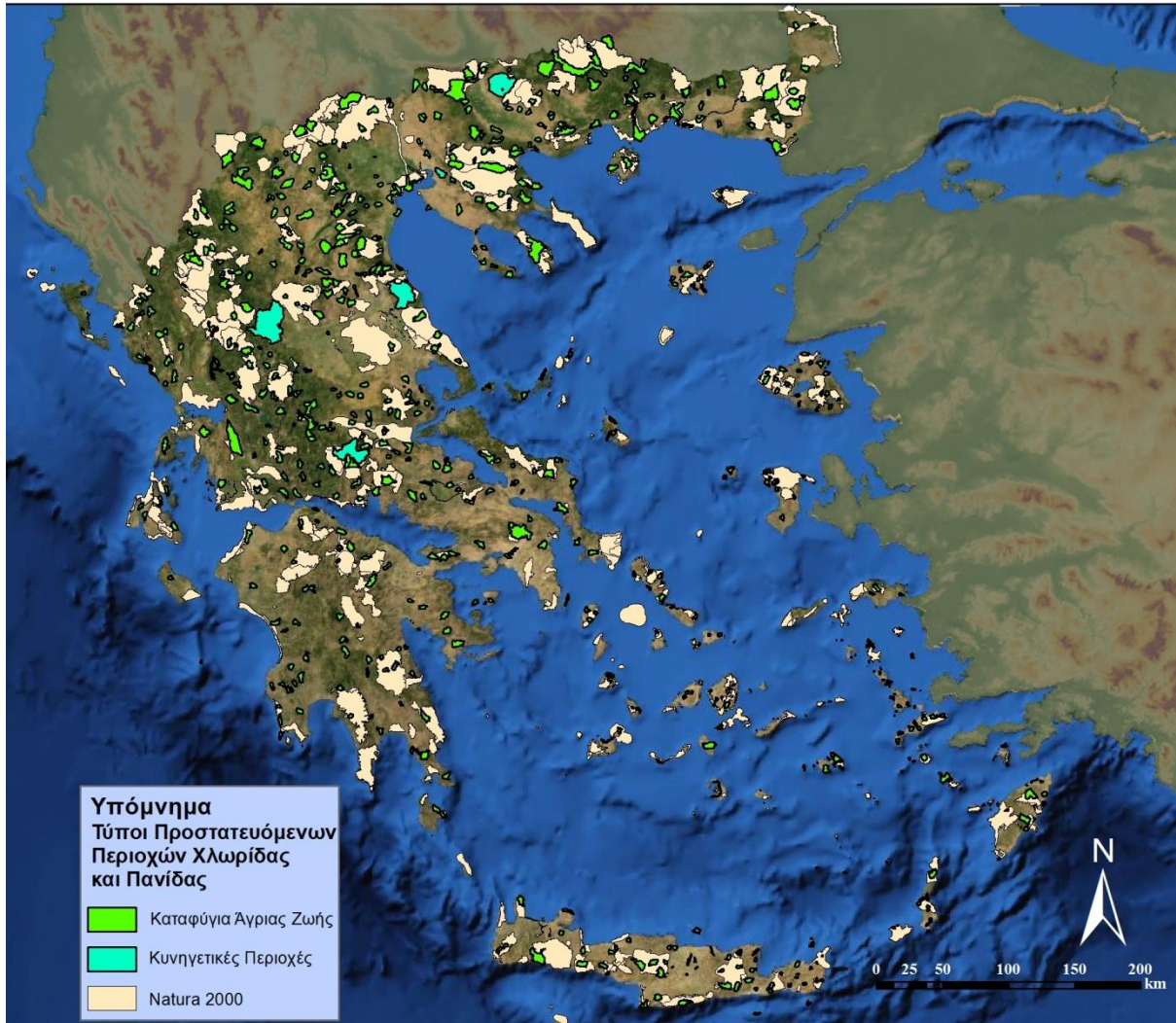
Ως γενικός πολλαπλασιαστής του κριτηρίου θα χρησιμοποιηθεί το καθεστώς προστασίας των περιοχών. Περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους προστατευόμενων περιοχών σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία, με έμφαση στο καθεστώς προστασίας της χλωρίδας και πανίδας. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Όχι (1), Καταφύγια Άγριας Ζωής/ Ελεγχόμενες Κυνηγετικές Περιοχές-Περιοχή Natura 2000 (1,5), Περιοχές Προστασίας της Φύσης (2), Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης (2,5), Βιογενετικά Αποθέματα/ Αποθέματα Βιόσφαιρας (3). Επιπλέον, η αναλογία που αντιστοιχεί σε κάποια από τις επιλεγμένες κατηγορίες σε σχέση με τη συνολικά καμένη έκταση θα αποτελέσει τον προσθέτη του πολλαπλασιαστή. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: <10% (0,5), 11-20% (1), 21-30% (1,5), 31-40% (2), 41-50% (2,5), >50% (3). Ο τελικός πολλαπλασιαστής θα προκύψει από τον μέσο όρο των δύο απαντήσεων. Στη βαθμολόγηση του πολλαπλασιαστή γίνεται θεώρηση ότι σε αυτές τις περιοχές πολλά είδη χλωρίδας και πανίδας διαβιούν έχοντας εξασφαλισμένους τους απαραίτητους πόρους για την αειφορική συμβίωσή τους, ενώ μια διαταραχή όπως οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να διαταράξει αυτή την ισορροπία, αυξάνοντας έτσι τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της πυρκαγιάς (Mazaris *et al.* 2008).

Στην Ελλάδα θεσμοθετήθηκαν διάφορες κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών (Εικόνα 8.8), οι περισσότερες από τις οποίες έχουν ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Προστατευόμενων Περιοχών NATURA 2000. Σήμερα έχουν οριστεί 234 περιοχές NATURA 2000 σε όλη τη χώρα, οι οποίες καλύπτουν συνολικά το 18% της χερσαίας επιφάνειας της Ελλάδας, χωρίς να περιλαμβάνονται οι αμιγώς θαλάσσιες περιοχές. Το δίκτυο στοχεύει στην προστασία συγκεκριμένων ενδιαιτημάτων αλλά και ειδών χλωρίδας και πανίδας που έχουν αξιολογηθεί ως σημαντικά σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Dimopoulos *et al.* 2005).

Τα Καταφύγια Άγριας Ζωής αριθμούν 610 περιοχές που πληρούν τις προϋποθέσεις ώστε να καλύπτονται οι βασικές ανάγκες των θηραμάτων σε ησυχία, τροφή και νερό. Οι Ελεγχόμενες Κυνηγετικές Περιοχές είναι επτά και παρουσιάζονται στον Πίνακα Π.6 του Παραρτήματος. Αυτές οι περιοχές αποτελούν καταφύγια για πολλά είδη, ιδιαίτερα όπου υπάρχουν αυξημένες πιέσεις από κυνηγούς. Η καύση σε αυτές τις περιοχές μπορεί να οδηγήσει στην τοπική εξάλειψη ορισμένων ειδών επειδή θα απολέσουν ένα σημαντικό ενδιαιτήμα.

Οι Περιοχές Προστασίας της Φύσης αποτελούνται από 23 κηρυγμένες περιοχές (Πίνακας Π.7 του Παραρτήματος). Είναι περιοχές στις οποίες επιτρέπεται η ανάπτυξη ήπιων μορφών οικονομικής δραστηριότητας, με βάση την αρχή της αειφορίας. Ως περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης χαρακτηρίζονται εκτάσεις με εξαιρετικά ευαίσθητα οικοσυστήματα, ενδιαιτήματα σπάνιων ή απειλούμενων με εξαφάνιση ειδών της αυτοφυούς χλωρίδας ή άγριας πανίδας ή εκτάσεις που έχουν σημαίνουσα θέση στον κύκλο ζωής σπάνιων ή απειλούμενων με εξαφάνιση ειδών της άγριας πανίδας (οκτώ στο σύνολο - Πίνακας Π.8 του Παραρτήματος). Σε αυτές απαγορεύεται κάθε δραστηριότητα και μόνο κατ' εξαίρεση μπορεί να επιτρέπονται ορισμένες. Περιβάλλονται από περιφερειακή-ρυθμιστική ζώνη προστασίας, επαρκούς έκτασης ώστε να κλιμακώνονται οι όροι και περιορισμοί για την καλύτερη διασφάλιση του προστατευτέου αντικειμένου.

Το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Βιογενετικών Αποθεμάτων αποσκοπεί στη διατήρηση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων χλωρίδας, πανίδας και φυσικών περιοχών της Ευρώπης. Ως Βιογενετικά Αποθέματα έχουν χαρακτηριστεί 16 περιοχές της Ελλάδας, με συνολική έκταση 22.300 ha (0,16% της συνολικής χερσαίας έκτασης της χώρας) (Πίνακας Π.9 του Παραρτήματος). Τέλος, στα «Αποθέματα Βιόσφαιρας» (Biosphere reserves) έχουν ενταχθεί δύο περιοχές, ο Εθνικός Δρυμός Ολύμπου (πυρήνας έκτασης 4.000 ha) και ο Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς (πυρήνας έκτασης 4.850 ha).



Εικόνα 8.8: Χάρτης των κύριων προστατευόμενων περιοχών της Ελλάδας

8.2.2.10. Αξιολόγηση Επιπτώσεων στο Ευρύτερο Περιβάλλον για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της κατηγορίας για την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.8. Από την επίσκεψη στο πεδίο διαπιστώθηκε ότι ήταν ευδιάκριτα τα υπολείμματα εντόμων και σπονδυλωτών σε πάρα πολλές περιοχές εντός της καμένης έκτασης. Ακόμα, διαπιστώθηκε ότι πάρα πολλά σαρκοφάγα έντομα εισέρευσαν στην περιοχή για την αναζήτηση τροφής. Λόγω των εκτεταμένων άκαυτων ή μερικώς καμένων νησίδων, αλλά και της γειννίας με εκτεταμένες άκαυτες δασικές περιοχές, εκτιμάται ότι η επανάκαμψη των ειδών στην περιοχή δεν θα είναι δύσκολη. Επιπλέον, δεν διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν σπάνια είδη σε αυτή την κατηγορία. Μικρές απώλειες υπέστησαν σμήνη μελισσιών τοπικών παραγωγών. Ως αποτέλεσμα, η βαθμολογία που αποδόθηκε στο κριτήριο B.1 είναι ίση με 30.

Ο νομός Έβρου είναι η πλουσιότερη περιοχή της Ευρώπης σε ερπετά και αμφίβια με καταγεγραμμένα 40 διαφορετικά είδη, ανάμεσα στα οποία ένα είδος σαλαμάνδρας, δύο είδη τριτόνων, 9 είδη βατράχων και φρύνων, δύο είδη νεροχελωνών, 11 είδη σαυρών και 13 είδη φιδιών. Η ύπαρξη τόσο μεγάλου αριθμού ερπετών και αμφιβίων συμβάλλει στη διατήρηση μεγάλων και υγιών πληθυσμών σαρκοβόρων θηλαστικών και αρπακτικών πουλιών και αναδεικνύει το σημαντικό ρόλο της ερπετοπανίδας στη δομή του οικοσυστήματος. Στην ευρύτερη περιοχή απαντώνται συνολικά 53 είδη θηλαστικών, ανάμεσα στα οποία το

αγριογούρουνο, το ζαρκαδί, ο αγριόγατος, ο λαγός, η βίδα, ο ασβός, το κουνάβι, η αλεπού, ο λαγόγυρος, καθώς και πολλά είδη τρωκτικών. Για το κριτήριο Β.2, εκτιμάται ότι οι απώλειες ήταν λίγες (δεν βρέθηκαν παρά ελάχιστα κουφάρια ζώων κατά την επίσκεψη στην περιοχή αμέσως μετά την πυρκαγιά), και αποδόθηκε η τιμή 20.

Για το κριτήριο Β.3, συστηματική καταγραφή των ειδών έχει γίνει μόνο στο Διαβολόρεμα της Δαδιάς και έχουν αναγνωριστεί 10 είδη (κέφαλος, γελάρι, βιργιάνα, σίρκο, γωβιός, βαβούκι, τούρνα, περκί, ρινογωβιός), ανάμεσα στα οποία και η θρακοβελονίτσα που απαντάται αποκλειστικά στην Ελλάδα. Εντός της περιοχής υπάρχουν εκτεταμένα ρέματα και ρυάκια, κυρίως στο ΒΑ τμήμα, τα οποία ενδέχεται να φιλοξενούν τέτοια είδη. Εκτιμάται ότι η πυρκαγιά δεν επηρέασε σημαντικά τα ενδιαιτήματά τους μιας και οι περιοχές με τα μεγαλύτερα ρέματα κήκαν μερικώς και με μικρή σφοδρότητα. Ως αποτέλεσμα το κριτήριο θα λάβει τη βαθμολογία 20.

Η αξία της ορνιθοπανίδας της περιοχής είναι αδιαμφισβήτητη, φιλοξενώντας στην ευρύτερη περιοχή του Εθνικού Πάρκου 36 από τα 38 ευρωπαϊκά ημερόβια αρπακτικά πουλιά, ενώ συνολικά απαντώνται 212 διαφορετικά είδη. Εκτιμάται ότι σε ένα μεγάλο ποσοστό η διαβίωση αυτών των ειδών επηρεάστηκε από την πυρκαγιά, ενώ στην πληγείσα περιοχή υπάρχουν πάρα πολλά ενδιαιτήματα πτηνών. Λόγω της παρουσίας άκαυτων νησίδων και εκτεταμένων γειτονικών περιοχών, οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς μπορούν να μετριαστούν με την πάροδο του χρόνου. Η βαθμολογία του κριτηρίου Β.4 είναι μέτρια προς υψηλή, δηλαδή 80.

Η παρουσία του λύκου είναι σταθερή στην περιοχή, ενώ σποραδικές εμφανίσεις κάνει και η αρκούδα, πιθανώς άτομα που μετακινούνται στην περιοχή μέσω των συνόρων με τη Βουλγαρία. Για την αξιολόγηση του κριτηρίου Β.5, δεν διαπιστώθηκε η παρουσία κουφαριών μεγάλων θηλαστικών και εκτιμάται ότι οι απώλειες των ενδιαιτημάτων είναι ελάχιστες-λίγες, λαμβάνοντας βαθμολογία 10.

Πίνακας 8.8: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων στο ευρύτερο περιβάλλον της πυρκαγιάς της Λευκίμης Έβρου 2011

ΣΥΝΤΕΛ.	ID		Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	1η τιμή	Τελική Τιμή	Σταθμισμένη Τιμή
0,036	B.1	KP.	παραπάνω από λίγες		30	1,09
0,125	B.2	KP.	λίγες		20	2,51
0,034	B.3	KP.	λίγες		20	0,68
0,195	B.4	KP.	μέτριες προς υψηλές		80	15,63
0,248	B.5	KP.	λίγες προς καθόλου		10	2,48
0,232	B.6	KP.	διαχειρίσιμη-μικρές απώλειες με δυνατότητες ανάκαμψης		20	4,65
0,073	B.7	KP.	εκτεταμένη		60	4,40
0,054	B.8	KP.	ελάχιστη έως καθόλου		10	0,54
ΣΥΝΟΛΟ						31,99
		ΠΟΛΛΑΠΛ.	NATURA 2000	1,5	2	63,98
ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΚΑΙ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		ΠΡΟΣ. ΠΟΛΛΑΠΛ.	41-50%	2,5		
HIGHER VALUE			300	LOWER VALUE		0
21,33						

Για το κριτήριο Β.6, διαπιστώθηκε ότι οι απώλειες σημαντικών/ σπάνιων πληθυσμών χλωρίδας είναι διαχειρίσιμες, με μικρές απώλειες και δυνατότητες ανάκαμψης, λαμβάνοντας τη βαθμολογία 20. Λόγω της μεταπυρικής διαχείρισης της περιοχής με εφαρμογή

εκτεταμένων υλοτομιών, αναμένεται ότι θα συντελεστεί αλλαγή της σύστασης της χλωρίδας σε ποσοστό περίπου 50% επί του συνόλου της καμένης περιοχής, με τις περιοχές που καλύπτονταν από εκτεταμένες αναδασώσεις κωνοφόρων να εξελίσσονται μελλοντικά σε θαμνώνες. Ως αποτέλεσμα, η βαθμολογία του κριτηρίου B.7 είναι 60. Τέλος, δεν αναμένεται σημαντική απειλή για εισαγωγή ξένων ειδών/ αλλαγή σύστασης (πανίδας), επομένως το κριτήριο B.8 λαμβάνει τη βαθμολογία 10.

Σε ποσοστό περίπου 50% η περιοχή ανήκει στο δίκτυο Natura 2000, άρα θα λάβει βαθμολογίες 1,5 ως προστατευόμενη περιοχή και 2,5 για το ποσοστό κάλυψης. Η τελική βαθμολογία του πολλαπλασιαστή θα είναι ο μέσος όρος των δύο βαθμολογιών, άρα 2. Η συνολική βαθμολογία θα διαμορφωθεί από $0,036 \times 30 + 0,125 \times 20 + 0,034 \times 20 + 0,195 \times 80 + 0,248 \times 10 + 0,232 \times 20 + 0,073 \times 60 + 0,054 \times 10 = 31,99$. Το αποτέλεσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με 2 και προκύπτει 63,98. Όταν σταθμιστεί, η βαθμολογία της κατηγορίας διαμορφώνεται στα **21,33 / 100**.

8.2.3. Δυνατότητες Αναγέννησης (Γ)

Το κριτήριο δυνατότητες αναγέννησης εκτιμά την επιρροή της φωτιάς, της τοπογραφίας και των ανθρωπίνων επεμβάσεων στην ικανότητα της βλάστησης να επανακάμψει στην πρότερη κατάσταση και να συντελεστεί μια φυσιολογική διαδοχή. Το αποτέλεσμα που προκύπτει πρέπει να ερμηνευτεί ως οι πιθανότητες να συμβεί ή όχι αναγέννηση στην πληγείσα περιοχή, και όχι απόλυτα το ποιο κριτήριο θα έχει τελικά την μεγαλύτερη επιρροή σε αυτή. Επομένως, ο αξιολογητής καλείται να παράσχει μια εκτίμηση σε πρώτο στάδιο και όχι μια ενδελεχή ανάλυση όλων των αλληλεπιδράσεων των κριτηρίων. Σε διαφορετικές πυρκαγιές, ακόμα και σε διαφορετικά τμήματα εντός της καμένης περιμέτρου, κάποια κριτήρια ενδέχεται να περιγράφουν περισσότερο ή λιγότερο καλύτερα την επίδραση της πυρκαγιάς στο τι τελικά θα συμβεί, κάτι το οποίο όμως δεν ήταν εφικτό να υπολογιστεί στα πλαίσια αυτής της έρευνας.

Έπειτα από μια διαταραχή, μηχανισμοί τίθενται σε ισχύ ώστε να μπορέσει να επιβιώσει και να αναγεννηθεί η βλάστηση. Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς η επιβίωση των ατόμων εξαρτάται, πέρα από τις βιοφυσικές συνθήκες και στην τυχειότητα, επομένως ο μοναδικός τρόπος αύξησης των πιθανοτήτων διαφύλαξης των ειδών είναι μέσω των μηχανισμών αναγέννησης. Διαφορετικά είδη έχουν αναπτύξει διαφορετικούς μηχανισμούς επιβίωσης, αναλόγως της προσαρμογής τους στο ευρύτερο περιβάλλον (θρεπτικά συστατικά, διαθέσιμη ακτινοβολία, ανταγωνισμός, καιρικές συνθήκες, τοπογραφία, βιοτικοί παράγοντες, ανθρώπινη επίδραση κ.α.). Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η φυσική αναγέννηση των ειδών θα επιτευχθεί με επιτυχία επειδή μπορούν να εκδηλωθούν οι μηχανισμοί επιβίωσης που έχουν αναπτύξει τα είδη κατά τη διάρκεια των εκατομμυρίων ετών εξέλιξης. Ακόμα και υπό το πλέον έντονο και σφοδρό περιστατικό πυρκαγιάς, το δάσος έχει τη δυναμική να ανακάμψει και εν τέλει να αποκτήσει την πρότερη κατάστασή του, συντομότερα ή αργότερα. Απαραίτητη όμως συνθήκη είναι να αφεθεί το οικοσύστημα αδιατάρακτο. Επιπλέον, αναλόγως των συνθηκών της πυρκαγιάς θα εμφανιστούν είτε μικρές, είτε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους επανάκαμψης. (Naveh 1974, Παπαναστάσης 1978, 1988, Kazanis and Agianoutsou 1996, Thanos 1999). Ως γενικός κανόνας που χρησιμοποιείται σε αυτή την κατηγορία, στις περιπτώσεις όπου η εδαφοκάλυψη χαρακτηρίζεται ως αραιής βλάστησης/ άγονη ή φρύγανα/ χορτολίβαδα, η ανάκαμψη επανέρχεται σε λιγότερο από μια αυξητική περίοδο, ενώ στην περίπτωση κάλυψης αείφυλλων/ σκληρόφυλλων θάμνων, η ανάκαμψη σε ένα οικοσύστημα δίχως νέες διαταραχές έρχεται σε περίοδο δύο με πέντε ετών. Στις περιπτώσεις δεινιδρών καλλιεργείων και δασών, η επανάκαμψη της βλάστησης στα πρότερα επίπεδα κάλυψης και ανάπτυξης των δέντρων είναι ακόμα δυσκολότερη και θα απαιτηθούν πολλά έτη για να συμβεί, ενώ υπεισέρχονται πάρα πολλοί παράγοντες διαταραχής και δυσχέρειας της επανασύστασης οι οποίοι πρέπει να αξιολογηθούν. Στο

υποκεφάλαιο 2.4 έχουν αναπτυχθεί λεπτομερώς οι μέθοδοι αναγέννησης, οι απειλές και τα χαρακτηριστικά των πιο διαδεδομένων ειδών βλάστησης. Σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων δίνονται δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Ποια είναι η ηλικία του δάσους;
- Ποιες είναι οι κλίσεις του εδάφους στην περιοχή και σε ποια έκταση;
- Υπάρχουν άκαυτοι θύλακες εντός της καμένης έκτασης και αν ναι, με ποια διασπορά;
- Ποιοι τύποι εδαφών κυριαρχούν στην περιοχή και σε ποια έκταση;
- Ποιο είναι το πυρικό ιστορικό της περιοχής-καθεστώς πυρκαγιάς;
- Υπάρχει απειλή/ ιστορικό προσβολών του δάσους από έντομα και άλλες παθογένειες;
- Εκδηλώθηκε το φαινόμενο της μετάκαυσης (smoldering);
- Πόση εκτιμάται να είναι η απειλή από τη βόσκηση στην καμένη περιοχή;
- Υπάρχει απειλή/ ιστορικό καταπατήσεων, αλλαγών χρήσεων γης και παράνομων δραστηριοτήτων;
- Δέχεται η περιοχή αστική ή τουριστική πίεση;
- Ποια είναι η μεταπυρική κατάσταση της βλάστησης και σε τι ποσοστά (καμένη, καυλισμένη και άκαυτη);

8.2.3.1. *Ηλικία Δάσους Κωνοφόρων – Γ.1.*

Το κριτήριο επιπτώσεων Γ.1 αξιολογεί την ηλικία του δάσους για τα είδη κωνοφόρων και το πώς αυτή επιδρά στις διεργασίες αναγέννησης. Οι διαθέσιμες επιλογές του κριτηρίου είναι οι εξής: Δεν ισχύει (0), 60-100 (10), 20-60 (20), >100 (60), 15-20 (80), <15 έτη (100). Θεωρείται ότι τα ώριμα προς αναπαραγωγή άτομα έχουν ευκολότερη αναγέννησή λόγω της υψηλότερης διαθεσιμότητας και καλύτερης ποιότητας σπόρων, ενώ για πολύ μεγάλες ηλικίες ή πολύ νεαρά άτομα η αναγέννηση είναι δυσκολότερη (Thanos and Daskalaku 2000, Tarpas *et al.* 2001, Ne'eman *et al.* 2004, Climent *et al.* 2008). Η μεταπυρική αναβλάστηση μπορεί να διαφέρει με την ηλικία του φυτού. Τα νεαρά φυτά μπορεί να μην είναι ικανά να αναπαραχθούν μέχρι να φτάσουν σε κάποια συγκεκριμένη ηλικία, η οποία διαφέρει κατά είδος. Τα ώριμα φυτά ορισμένων ειδών είναι ικανά να παράγουν μερικούς απογόνους που θα επιβιώσουν, ενώ τα ωριμότερα φυτά (άνω των 80 ετών) άλλων ειδών όπως η *Pinus rigida* (Little and Somes 1956) μπορούν να δημιουργήσουν βιώσιμα αναβλαστήματα από τη βάση του κορμού τους. Τα φυτά που επιβίωσαν σε θύλακες ή γειτονικές άκαυτες εκτάσεις μπορεί να είναι είτε πολύ μικρά (Zasada 1971, Barney and Frischknecht 1974), είτε πολύ μεγάλα για να παράγουν πολλούς βιώσιμους σπόρους. Είδη κωνοφόρων τα οποία διαβιούν σε περιοχές με υψηλή συχνότητα πυρκαγιών αρχίζουν την παραγωγή κώνων νωρίτερα από άλλα παρόμοια είδη (Keeley and Zedler 1998). Ο χρόνος της διασποράς των σπόρων είναι ένα ειδικό χαρακτηριστικό κάθε είδους που διαφέρει με το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος (Zasada 1986).

8.2.3.2. *Ηλικία Δάσους Αείφυλλων – Σκληρόφυλλων θάμνων και Πλατύφυλλων – Γ.2.*

Το κριτήριο επιπτώσεων Γ.2 αξιολογεί την ηλικία του δάσους σε είδη βλάστησης τα οποία αναπαράγονται κυρίως μέσω πρεμνοβλάστησης-ριζοβλάστησης (αείφυλλα-σκληρόφυλλα, πλατύφυλλα και άλλα δενδρώδη είδη). Γίνεται θεώρηση ότι όσο μεγαλύτερη ηλικία έχουν τα είδη της περιοχής που αναπαράγονται με αυτό τον τρόπο ή όσο πιο νεαρά είναι (Johnson and Godman 1983, Stroempl 1983), τόσο δυσκολότερη είναι η αναγέννησή τους. Οι διαθέσιμες επιλογές του κριτηρίου είναι οι εξής: Δεν είχε (0), 20-60 (20), 15-20 (40), 10-15 (60), 60-80 (80), >80 ή <10 έτη (100). Ο Lamson (1988), ομαδοποίησε αρκετά χαρακτηριστικά που

επηρεάζουν τη συχνότητα αναβλάστησης, όπως το είδος, η ηλικία και η διάμετρος του μητρικού δέντρου, όπως επίσης και η περίοδος κοπής ή καύσης, η ποιότητα του τύπου και η συνολική πυκνότητα της συστάδας. Η συχνότητα αναβλάστησης συχνά μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας του δέντρου, π.χ. κομμένοι κορμοί από ώριμα δέντρα παράγουν λιγότερες αναβλαστήσεις σε σχέση με τα νεαρότερα δέντρα (Johnson and Godman 1983, Stroempl 1983).

Ωστόσο, για πολλά δέντρα η αναβλάστηση παραμένει σχετικά υψηλή για κορμούς καμένων δέντρων μέχρι και τα 60 έτη, ενώ για δέντρα άνω των 100 ετών η αναβλάστηση είναι πάρα πολύ μικρή. Τα φυτά που πρεμνοβλαστάνουν, διαφυλάσσουν έναν αριθμό οφθαλμών που βρίσκονται σε λήθαργο για δεκάδες χρόνια και ενεργοποιούνται όταν κοπεί ή καεί το υπέργειο τμήμα του φυτού. Ο μεριστωματικός ιστός, από τον οποίον αποτελούνται οι οφθαλμοί, είναι κύτταρα που έχουν την ικανότητα αναπαραγωγής και με το πέρασμα των χρόνων χάνει τη ζωτικότητα του, οπότε παρατηρείται μείωση της παραβλάστησης. Οι μεγαλύτεροι ηλικιακά καμένοι κορμοί συνήθως παράγουν λιγότερες αναβλαστήσεις σε σχέση με τους νεαρότερους, όμως για πολλά παραβλαστάνοντα είδη βρέθηκε ότι το μέγεθος του μητρικού φυτού (ύψος και διάμετρος) επιδρά θετικά στον αριθμό των παραβλαστημάτων (Konstantinidis *et al.* 2005, 2006). Είναι φανερό ότι το εκτεταμένο ριζικό σύστημα (σε βάθος και εμβαδόν) παρέχει μια πλούσια δεξαμενή θρεπτικών συστατικών (Kennard *et al.* 2002), ενώ άλλες έρευνες έδειξαν ότι η δυναμική της αναβλάστησης σχετίζεται με το μεγάλο μέγεθος των φυτών, επειδή αποθηκεύουν θρεπτικά συστατικά και έχουν πιο ενεργούς υπόγειους οφθαλμούς (Cirne and Scarano 2001, Pausas 1997). Για τα περισσότερα είδη, η επιτυχία της αναβλάστησης είναι τουλάχιστον 50% για δέντρα μέχρι και 40 cm στηθιαίας διαμέτρου (Stroempl 1983).

8.2.3.3. Κλίσεις – Γ.3.

Ο βαθμός της κλίσης μιας περιοχής επηρεάζει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, με παρόμοιο τρόπο που ο άνεμος επηρεάζει τη γωνιά της φλόγας. Στο κριτήριο επιπτώσεων Γ.3, η επιλογή της τιμής της κλίσης πρέπει να γίνει με εκτίμηση του ποσοστού εντός της καμένης έκτασης της κάθε τάξης κλίσης. Για αυτό τον λόγο, παρέχεται και η επιλογή περιγραφής του κριτηρίου για κάθε τάξη. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: 0-5° (0), 5-10° (10), 10-15° (20), 15-20° (40), 20-30° (60), 30-45° (80), >45° (100). Όσο αυξάνεται η κλίση, οι φλόγες βρίσκονται πιο κοντά στην καύσιμη ύλη που βρίσκεται στο ανώτερο τμήμα μπροστά από το μέτωπο. Αυτή η διεργασία προθερμαίνει την καύσιμη ύλη, ενώ αυξάνει την αναφλεξιμότητα και την ταχύτητα διάδοσης (Rothermel 1985). Επιπλέον, επηρεάζει τόσο τον κίνδυνο διάβρωσης (Fox *et al.* 2006), όσο και τις δυνατότητες που έχουν μεταπυρικά οι σπόροι από τα φυτά να βλαστήσουν και να αναπτυχθούν (Dafis 1987, Tsitsoni 1997, Vallejo *et al.* 1999, Diaz-Delgado *et al.* 2003, Pausas *et al.* 2004).

Έχει βρεθεί ότι όταν η κλίση μιας πλαγιάς είναι μεγαλύτερη από 50%, τότε η μεταπυρική αναβλάστηση μπορεί να μειωθεί (Agiannoutsou *et al.* 2000) μέσω μείωσης του εμπλουτισμού της περιοχής με νεαρά φυτά, ενώ όσο η κλίση γίνεται εντονότερη η αναβλάστηση γίνεται ολοένα και δυσκολότερη μιας και οι σπόροι μπορούν να παρασυρθούν προς τα κατόπι της πλαγιάς φυτρώνοντας σε μη επιθυμητές θέσεις και με μεγάλες πυκνότητες (Tsitsoni 1997). Σε περιοχές με αυξημένη κλίση, οι φλόγες είναι πιθανό να καίνε για περισσότερο χρόνο και με μεγαλύτερη ένταση τη βλάστηση, ενώ καθιστούν το έδαφος στειρό και μη δεκτικό για τους σπόρους λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που διοχετεύτηκαν σε αυτό. Επιπλέον, σε περιοχές με μεγάλη κλίση είναι πιθανό τα εδάφη να είναι φτωχά λόγω της διάβρωσης που προκαλείται από τον αέρα και το νερό. Σε αυτές τις θέσεις είναι πιθανό η βλάστηση να είναι πολύ αραιή, και κατ' επέκταση, η διαθεσιμότητα σπόρων μετά τη φωτιά να είναι μικρότερη από το μέσο όρο της περιοχής, φυτρώνοντας σε μικροπαγίδες του εδάφους. Λαμβάνοντας

υπόψη τα παραπάνω, συμπεραίνεται ως γενικός κανόνας ότι όσο μικρότερη κλίση υπάρχει σε μια περιοχή, τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος να παρασυρθούν οι σπόροι και τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες να παρουσιαστεί επιτυχημένη αναγέννηση.

8.2.3.4. Πρόσφατη Πυρική Δραστηριότητα – Γ.4.

Το κριτήριο επιπτώσεων Γ.4 αξιολογεί τον χρόνο που παρήλθε από το τελευταίο περιστατικό πυρκαγιάς στην περιοχή. Η λογική βαθμολόγησης είναι ότι όσο περισσότερα έτη έχουν παρέλθει από το τελευταίο περιστατικό που συνέβη στην περιοχή, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι πιθανότητες φυσικής αναγέννησης και η επιτυχής ανασύσταση του τοπίου. Επιπλέον, υπό προϋποθέσεις, αυτό το κριτήριο έχει θετικές επιπτώσεις στη γενικότερη κατάσταση του φυσικού τοπίου επειδή η πυρκαγιά σε δάση μετά από πάρα πολλά έτη αποτελεί τον μόνο φυσικό τρόπο ανανέωσης και εξάλειψης ασθενειών και παθογενειών που μπορεί να υπάρχουν σε αυτά. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: >100 (0), >50 (20), >30 (60), >20 (80), <10 έτη (100).

Τα καθεστώτα πυρκαγιάς είναι όρος που αναφέρεται στη μακροπρόθεσμη φύση της φωτιάς σε ένα οικοσύστημα (Brown 2000), περιλαμβάνοντας τόσο τη συχνότητα, όσο και τη σφοδρότητα των επιπτώσεων των πυρκαγιών. Οι περιγραφές των πυρικών καθεστώτων γίνονται συνήθως με γενικό και ευρύ τρόπο, λόγω του ότι υπάρχει τεράστια μεταβλητότητα στις πυρκαγιές στο χώρο και το χρόνο (Whelan 1995). Σύμφωνα με την ταξινόμηση της σφοδρότητας των πυρκαγιών, οι πυρκαγιές με υψηλής σφοδρότητας καθεστώτα πυρκαγιάς είναι λιγότερο συχνές (με μεσοδιάστημα εμφάνισης μεταξύ δύο φαινομένων τα 100 έτη) και συχνά νεκρώνουν τα περισσότερα δέντρα σε ένα δάσος (Agee 1990). Τα καθεστώτα πυρκαγιάς μέτριας σφοδρότητας έχουν συχνότητα εμφάνισης τα 25 με 100 έτη και αντικαταστούν μόνο μερικώς τις συστάδες του δάσους, περιλαμβάνοντας περιοχές εντός της καμένης έκτασης τόσο με υψηλή, όσο και με χαμηλή σφοδρότητα καύσης. Αυτές οι πυρκαγιές είναι αρκετά συχνές πλέον στον Ελλαδικό χώρο στα δάση μεσογειακών κωνοφόρων, έχοντας δώσει μερικά από τα μεγαλύτερα σε έκταση περιστατικά των τελευταίων ετών (Εβρος 2011 και Χίος 2012). Τα καθεστώτα πυρκαγιάς χαμηλής σφοδρότητας (1 με 25 έτη) εμφανίζουν συχνές πυρκαγιές χαμηλής σφοδρότητας με μικρές συνήθως επιπτώσεις στο δασικό ανάφορο, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μη αναστρέψιμες καταστάσεις στον υπόροφο εξαιτίας π.χ. της προκληθείσας έλλειψης σπόρων. Οι πυρκαγιές σε χορτολιβαδικές εκτάσεις και θαμνώνες εμπίπτουν σε αυτό το καθεστώς και τείνουν να είναι χαμηλής και μέτριας σφοδρότητας καύσης, αλλά ταχέως κινούμενες και με μέτριες εντάσεις (Schmoltd *et al.* 1999).

Οι δραστηριότητες του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον έχουν πολλές φορές ως αποτέλεσμα τη μείωση των μεσοδιαστημάτων μεταξύ των πυρκαγιών. Όταν οι πυρκαγιές είναι συχνές συνήθως είναι και καταστροφικές για την υπάρχουσα βλάστηση, ενώ σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες δεν επιτρέπουν στο φυσικό περιβάλλον να ανακάμψει με φυσιολογικές διεργασίες. Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν αρκετά παραδείγματα διαδοχικών περιστατικών πυρκαγιάς σε δάση κωνοφόρων χωρίς να έχουν περάσει τα απαραίτητα έτη για τη ηλικιακή ωρίμανση των δέντρων και την παραγωγή νέου σπερματικού αποθέματος. Ως αποτέλεσμα, το πεδίο υποβαθμίζεται είτε σε θαμνότοπο μέσω πρεμνοβλάστησης από προϋπάρχοντες θάμνους, είτε σε φρυγανότοπο, είτε σε περιοχή βλάστησης ετήσιων φυτών ή ακόμα και σε άγονο τοπίο.

8.2.3.5. Άκαυτοι Θυλάκες – Γ.5.

Το κριτήριο Γ.5 αξιολογεί την παρουσία άκαυτων θυλάκων μετά από μια πυρκαγιά, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τη μελλοντική μορφή του δάσους, την πανίδα και τη χλωρίδα (Zasada 1971, Gasaway and DuBois 1985, Turner *et al.* 2003, Diaz-Delgado *et al.* 2004,

Ordóñez *et al.* 2005, 2006). Πολλές φορές, η μεταπυρική εξάπλωση της βλάστησης βασίζεται σε φυτά τα οποία έχουν επιβιώσει εντός άκαυτων θύλακων και με τους σπόρους τους αποικίζουν την περιοχή, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου τα καμένα εδάφη έχουν υποστεί κάποια επίδραση που δεν επέτρεψε αρχικά τη φυσιολογική επανάκαμψη της βλάστησης (Lentile *et al.* 2005, Agianoutsou *et al.* 2010a). Οι άκαυτοι θύλακες λειτουργούν ως κιβωτός και καταφύγιο για φυτά και ζώα, δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες για να μην διαρραγεί η ευαίσθητη ισορροπία του μεταπυρικού οικοσυστήματος. Όσο περισσότεροι θύλακες υπάρχουν, τόσο καλύτερη εκτιμάται ότι θα είναι η κατάσταση, ενώ η διασπορά τους εντός της καμένης έκτασης συνεισφέρει ακόμα περισσότερο στη μεταπυρική οικολογική αποκατάσταση. Εφόσον επιλεγεί το ό,τι υπάρχουν θύλακες (πολλοί ή λίγοι), τότε πρέπει να καθοριστεί αν είναι σε διασπορά ή συγκεντρωμένοι. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Πολλοί (σε διασπορά) (0), Πολλοί (συγκεντρωμένοι) (20), Λίγοι (σε διασπορά) (40), Λίγοι (συγκεντρωμένοι) (60), Καθόλου (100).

8.2.3.6. Απειλή από Βόσκηση – Γ.6.

Η βόσκηση διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ικανότητα του δάσους για φυσική αναγέννηση. Για την αξιολόγηση του κριτηρίου Γ.6 χρησιμοποιήθηκε ως γενικός κανόνας ότι αν οι καμένες περιοχές απειληθούν με βόσκηση, τότε οι επιπτώσεις στην αναγέννηση είναι πολύ σημαντικές. Οι διαθέσιμες επιλογές στη βαθμολόγηση του κριτηρίου επιπτώσεων της βόσκησης είναι οι εξής: Καθόλου (0), Κατά τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100).

Η βόσκηση των δασών στην Ελλάδα ασκείται κυρίως με πρόβατα και με κατσίκες. Σπανιότερα, υπάρχουν περιοχές όπου είναι διαδεδομένη η εκτροφή και βόσκηση βοοειδών (Μακεδονία, Θράκη). Μέσω της βόσκησης μειώνεται η καύσιμη βιομάζα και, ως γενικός κανόνας, μειώνεται και ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Η βόσκηση είναι μια κοινή πρακτική η οποία εφαρμόζεται είτε βάσει σχεδίου, είτε ανεξέλεγκτα, η αποτίμηση της οποίας είναι γενικώς θετική προ της εκδήλωσης κάποιας πυρκαγιάς, μιας και πέρα από τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης μιας πυρκαγιάς, αποφέρει και σημαντικά οικονομικά οφέλη (Carmel and Kadmon 1999). Μια αρνητική παράμετρος της βόσκησης σε δασώδεις εκτάσεις προ κάποιας πυρκαγιάς είναι ότι, σε περίπτωση που εφαρμόζεται πάρα πολύ εντατική άσκηση της υπάρχει ο κίνδυνος της εξαφάνισης φυτών που προέρχονται από αναγέννηση (Perevolotsky and Haimon 1992).

Όμως, η βόσκηση έπειτα από μια πυρκαγιά έχει συνήθως πολύ αρνητικές επιπτώσεις στην εξέλιξη του οικοσυστήματος. Οι βασικότεροι λόγοι για αυτό είναι ότι αφαιρούνται τα αρτίφυτα, τόσο της ποώδους βλάστησης όσο και των νεαρών δέντρων και θάμνων. Ως αποτέλεσμα, το οικοσύστημα αλλοιώνεται και τα μόνα είδη βλάστησης που επιβιώνουν είναι τα μη βρώσιμα (π.χ. φρύγανα, ασφόδελοι κ.α.). Υπάρχει νομοθετικό καθεστώς το οποίο ορίζει το χρονικό διάστημα μετά από κάποιο περιστατικό πυρκαγιάς το οποίο πρέπει να παρέλθει για να επιτραπεί ξανά η βόσκηση, το οποίο εξαρτάται από το είδος του ζώου (βοοειδή τρία έτη, πρόβατα πέντε έτη και αίγες 10 έτη) και τον προϋπάρχοντα τύπο βλάστησης. Η περίοδος απαγόρευσης της βόσκησης μπορεί να μειωθεί εφόσον αποκατασταθεί η οικολογική ισορροπία. Πρέπει να επισημανθεί όμως ότι δεν ενδείκνυται απαγόρευση βόσκησης σε καμένες χορτολιβαδικές εκτάσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Σύμφωνα με τις δυνατότητες της εκάστοτε περιοχής και την πίεση της βόσκησης, πρέπει να εμποδίζεται να εφαρμοστεί βόσκηση αμέσως μετά την πυρκαγιά, ιδιαίτερα σε χορτολιβαδικά, φρυγανικά και πετρώδη/ ημι-ερημικά οικοσυστήματα (Wright and Bailey 1982). Στα ποωλίβαδα, η ζημία από την πυρκαγιά τόσο στα φυτά όσο και στο έδαφος είναι συνήθως περιορισμένη καθώς όταν καίγονται, τα φυτά έχουν κλείσει το βιολογικό τους κύκλο έχοντας ήδη δημιουργήσει και διασκορπίσει τους σπόρους, οι περισσότεροι από τους οποίους προσφυλάσσονται σε ρωγμές του εδάφους. Επομένως την επόμενη άνοιξη τα φυτά

θα φυτρώσουν κανονικά, εκτός ίσως από περιοχές που καταστράφηκαν οι σπόροι ολοσχερώς. Σ' αυτές τις εκτάσεις χρειάζεται αναστολή της βόσκησης μέχρι να αποκατασταθεί η κάλυψη των ποωδών φυτών και ωριμάσουν τα φυτά ώστε να παράγουν σπέρματα. Στα φρύγανα απαιτείται αναστολή της βόσκησης μέχρι την ικανοποιητική εγκατάσταση των ποωδών φυτών (δύο με τρία έτη ανάλογα με το συγκεκριμένο κλιματεδαφικό περιβάλλον), καθώς τα φρύγανα είναι χαμηλής προτίμησης από τα ζώα και ανταγωνίζονται με επιτυχία τα επιθυμητά ποώδη είδη. Για τα δάση κωνοφόρων απαιτούνται τουλάχιστον πέντε έτη αναστολής στις καλύτερες ποιότητες τόπου (Παπαναστάσης 2001), ενώ σε μέτριες ή φτωχές θέσεις απαιτούνται 10 με 15 έτη το λιγότερο ώστε το ύψος των δέντρων να ξεπεράσει το ύψος βόσκησης της κατσίκας.

8.2.3.7. *Ιστορικό Καταπατήσεων/ Παράνομων Δραστηριοτήτων – Γ.7.*

Το κριτήριο Γ.7 αξιολογεί το ιστορικό καταπατήσεων και παράνομων δραστηριοτήτων, συνυπολογίζοντας τις γενικότερες κοινωνικοοικονομικές συνθήκες μιας περιοχής και τις συνεπακόλουθες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που εκδηλώνονται στη φύση και στο φυσικό τοπίο. Αφορά κυρίως σε περιοχές αγροτικής και κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης. Αν υπάρχουν σημάδια ή ιστορικό καταπατήσεων, αυτά πρέπει να αξιολογηθούν γιατί ενδέχεται να συμβούν πλέον εντός της καμένης έκτασης. Ανάλογα με το μέγεθος που έχουν αυτές οι καταπατήσεις (σε σχέση με την καμένη έκταση), υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: Καθόλου (0), Κατά τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100).

Η προστασία των δασών από καταπατήσεις και επεμβάσεις είναι κατοχυρωμένη νομικά, και απαγορεύεται η ανέγερση οικοδομών, κτισμάτων και πάσης φύσεως εγκαταστάσεων εντός δημοσίων ή ιδιωτικών δασών ή δασικών ή αναδασωτέων εκτάσεων, που κήκων ή επηρεάστηκαν από πυρκαγιά. Επιπλέον, υπάρχουν ποινικές και δικονομικές διατάξεις που αφορούν παράνομες και βλαπτικές ενέργειες εις βάρος δάσους ή δασικής έκτασης, όπως παράνομη υλοτομία, βοσκή και ρητινοσυλλογή, καταπάτηση και πρόκληση πυρκαγιάς. Το φαινόμενο των καταπατήσεων μπορεί να λάβει εκτεταμένες διαστάσεις σε περιοχές όπου υπάρχουν διακατεχόμενες εκτάσεις μεταξύ δημοσίου και ιδιωτών ή σε περιοχές όπου επιχειρείται η αλλαγή των χρήσεων γης. Επιπλέον, παράνομες δραστηριότητες όπως η δίχως άδεια ξύλευση, η χρήση χωματουργικών και αγροτικών μηχανημάτων ή ακόμα και η παράνομη θήρα, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη μεταπυρική κατάσταση του δασικού οικοσυστήματος (Taccioni *et al.* 2003). Ως αποτέλεσμα μπορούν να προκύψουν δυσμενείς επιπτώσεις στις διεργασίες φυσικής αναγέννησης, στους πληθυσμούς της πανίδας και στο έδαφος.

8.2.3.8. *Αστική/ Τουριστική Πίεση – Γ.8.*

Το κριτήριο Γ.8 περιγράφει την αστική/ τουριστική πίεση που ενδέχεται να υποστεί η καμένη έκταση και πρέπει να αξιολογηθεί η πρότερη χρήση της ως περιοχής αναψυχής και εκδήλωσης δραστηριοτήτων φυσιολατρίας. Αφορά κυρίως σε περιοχές μίξης αστικού-φυσικού τοπίου (WUI) (Atmiş *et al.* 2007). Συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλές περιοχές όπου αποτελούν πόλο έλξης τουριστών, είτε πρόκειται για ένα παράκτιο δάσος, είτε για μια περιοχή με σπάνια είδη (π.χ. κοιλάδα πεταλούδων στη Ρόδο), είτε για μια περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους (Kuvan 2005). Αν η διαταραχή του οικοσυστήματος από την πυρκαγιά συνδυαστεί με πιθανές διαταραχές που μπορούν να προκύψουν από τέτοιου είδους πιέσεις, τότε τα αποτελέσματα είναι αρνητικά για την αποκατάσταση του οικοσυστήματος. Η άσκηση τέτοιων δραστηριοτήτων απαγορεύεται, αλλά λόγω του γεγονότος ότι δεν μπορεί να επιβληθεί η αστυνόμευση και προστασία της περιοχής, οι δραστηριότητες αυτές μπορεί να εξακολουθήσουν να εκδηλώνονται παρανόμως και παρατύπως. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Καθόλου (0), Κατά τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100).

8.2.3.9. Φαινόμενο Μετάκαυσης (Smoldering) – Γ.9.

Το κριτήριο Γ.9 υπολογίζει την επίδραση του φαινομένου της μετάκαυσης (smoldering) στη μεταπυρική κατάσταση μιας περιοχής. Έχει σχέση με τη χωρική κατανομή της εμφάνισης του φαινομένου και όσο πιο έντονη είναι, τόσο περισσότερο ενδέχεται να επηρεαστεί αρνητικά η περιοχή. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Καθόλου (0), Κατά τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100). Αφού έχει περάσει το κύριο μέτωπο από το πεδίο, ακολουθεί η διαδικασία της μετάκαυσης που είναι μια αργή και άνευ φλόγας μορφή καύσης. Κατά τη διάρκειά της καίγεται ο χούμος, οι ρίζες και τα μεγαλύτερης διαμέτρου κλαδιά και κορμοί. Με την καύση αυτών των στοιχείων αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες συνήθως διεισδύουν βαθύτερα στο έδαφος. Η μετάκαυση αποτελεί σημαντικότερο κίνδυνο από την ίδια την πυρκαγιά γιατί μπορεί να μετατρέψει την καύσιμη ύλη σε τοξικά υποπροϊόντα, σε υψηλότερους ρυθμούς και επίπεδα σε σχέση με τη διεργασία της φλόγωσης επειδή η καύση είναι ατελής και πιο αργή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εκτίθεται το έδαφος στις περιβαλλοντικές συνθήκες και ουσιαστικά να «αποστειρώνεται» από κάθε είδους θρεπτικά συστατικά (οργανικά και ανόργανα). Το γεγονός αυτό ενδέχεται να επιδράσει συνδυαστικά με άλλους παράγοντες (διάβρωση, βόσκηση, ανθρώπινες δραστηριότητες κ.α.) και να δημιουργήσει δυσμενείς συνθήκες για την αναγέννηση της βλάστησης.

Υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ του βαθμού θέρμανσης του εδάφους και της μεταπυρικής αναβλάστησης σε δασώδεις εκτάσεις (Miller 1977, Dyrness and Norum 1983, Ryan and Noste 1985, Morgan and Neuenschwander 1988) και σε θαμνώνες (Zschaechner 1985), που σχετίζεται με την κατανομή των ληθαργικών οφθαλμών και σημείων αναβλάστησης του φυτού (Gill 1995). Ενώ η φλόγωση νεκρώνει τους σπόρους που βρίσκονται μέσα στο επιφανειακό στρώμα του φυλλοτάπητα, η αύξηση της εδαφικής θερμοκρασίας με την μετάκαυση καθορίζει τα ποσοστά νέκρωσης της υφιστάμενης βλάστηση, η οποία ενδέχεται να μην έχει επηρεαστεί από την φλόγωση αλλά, εν τέλει, να νεκρωθεί από την δραστηριότητα της μετάκαυσης. Επιπλέον, με τη δράση της ενεργοποιούνται θαμμένοι ληθαργικοί σπόροι, όπως π.χ. συμβαίνει στη λαδανιά (*Cistus* spp.) (Morgan and Neuenschwander 1988, Weatherspoon 1988).

8.2.3.10. Απειλή από Έντομα/ Παθογένειες – Γ.10.

Το κριτήριο Γ.10 αξιολογεί παράγοντες όπως η παρουσία εντόμων και η εκδήλωση ασθενειών στις πρόσφατα καμένες συστάδες οι οποίοι μπορεί να επιδράσουν στην αναγέννηση των δασών. Υπάρχουν πολλά είδη φλοιοφάγων, φυλλοφάγων και ξυλοφάγων εντόμων τα οποία είτε νεκρώνουν τα επιζήσαντα δέντρα, μειώνοντας έτσι και τη δυνατότητα σποράς από αυτά, είτε ακόμα προσβάλλοντας τα νεαρά δέντρα που εμφανίζονται. Σπανιότερα, μπορεί να εμφανιστούν ασθένειες στα επιζήσαντα δέντρα ή στα νεαρά δενδρύλλια, κυρίως από μύκητες και παράσιτα. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Καθόλου (0), Κατά τόπους (20), Εκτεταμένη (60), Έντονη (100).

Ως αρρώστια των φυτών μπορεί να θεωρηθεί κάθε δυσλειτουργία των κυττάρων και ιστών του φυτού-φορέα που προκύπτει από το συνεχή ερεθισμό και παρενόχληση ενός παθογόνου οργανισμού ή κάποιου περιβαλλοντικού παράγοντα που οδηγεί στην ανάπτυξη των συμπτωμάτων (Agrios 2005). Τρία αλληλοσχετιζόμενα στοιχεία έχουν ως αποτέλεσμα να προκύπτει μόλυνση: ένα ευπαθές φυτό-φορέας, ένας τοξικός παθογόνος οργανισμός, καθώς και ένα ευνοϊκό περιβάλλον ή κλίμα («τρίγωνο της ασθένειας») (Sturrock *et al.* 2011). Υπάρχουν διάφοροι ευνοϊκοί παράγοντες για την εκδήλωση κάποιας παθογένειας, οι οποίοι ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Παράγοντες Προδιάθεσης, που είναι μακροπρόθεσμοι, στατικοί και αργά μεταβαλλόμενοι όπως το καθεστώς υγρασίας του εδάφους, η πυκνότητα των συστάδων και το μέσο ύψος βροχόπτωσης.
- Παράγοντες Υποκίνησης, που είναι βραχυπρόθεσμοι, όπως είναι τα έντομα αποφύλλωσης ή η ζημιά που προκύπτει από τις πυρκαγιές. Τα δέντρα που προσβάλλονται από αυτούς μπορεί να ανακάμψουν, αλλά αν συνδυαστούν με κάποιον ή κάποιους από τους παράγοντες προδιάθεσης, τότε ή θα νεκρωθούν ή η ανάκαμψη θα αργήσει πάρα πολύ.
- Παράγοντες Συνεισφοράς, οι οποίοι είναι δευτερογενείς παθογένειες που νεκρώνουν τα δέντρα τα οποία έχουν ήδη προσβληθεί από παράγοντες υποκίνησης και προδιάθεσης.

Καθώς τα δέντρα αποδυναμώνονται από τους παράγοντες προδιάθεσης, υποκίνησης και συνεισφοράς, προκύπτουν δύο στάδια παθογένειας του συστήματος. Πρώτον, πολλά δέντρα νεκρώνονται μειώνοντας την κατακόρυφη βιομάζα και δεύτερον, ο πληθυσμός του παθογόνου οργανισμού θα αυξηθεί μέχρι το σημείο στο οποίο θα μπορεί να απειλεί δέντρα τα οποία ίσως να μπορούσαν να αντισταθούν σε μια ελαφρά επίθεση αλλά όχι σε βαριά μόλυνση (de Dios 2007). Οι παθογόνοι οργανισμοί των δασικών οικοσυστημάτων περιλαμβάνουν έντομα, μύκητες, ωομήκυτες, βακτήρια, φυτοπλάσματα, παρασιτικά φυτά ανώτερης τάξης, ιούς και νηματοειδή. Οι γηγενείς δασικοί παθογόνοι, που είναι εσωτερικά συστατικά πολλών δασικών οικοσυστημάτων (Hansen and Goheen 2000), επηρεάζουν τον πλούτο και αφθονία των ειδών καθώς και τη διαδοχή, δομή και σύσταση των δασών σε επίπεδο συστάδας και τοπίου (Winder and Shamoun 2006). Επιπλέον, επηρεάζουν σημαντικά τους πληθυσμούς των ζώων, τους κύκλους αζώτου και νερού, και την συνολική λειτουργία του οικοσυστήματος (Sturrock *et al.* 2011).

Οι μη γηγενείς ή εισαχθέντες παθογόνοι οργανισμοί έχουν την ικανότητα να νεκρώσουν τα περισσότερα φυτικά είδη μιας περιοχής, μερικές φορές και ολοσχερώς, λόγω του ότι οι φορείς δεν έχουν συνεξελιχθεί με τους παθογόνους και έχουν περιορισμένες αντιστάσεις σε αυτούς (Hansen 2008). Μη μολυσματικές ή αβιοτικές ασθένειες των δασών προκαλούνται από επίμονους αβιοτικούς παράγοντες που είναι άμεσα δυσμενείς προς την υγεία των δέντρων (π.χ. ξηρασία, έλλειψη θρεπτικών συστατικών κ.α.) (Boyce 1961). Υπό φυσιολογικές συνθήκες, οι παθογόνοι οργανισμοί και τα δέντρα είναι σε ισορροπία κατά την οποία, η ικανότητα των παθογόνων είναι απλά επαρκής για να νεκρώσει μερικά μόνο ασθενικά δέντρα. Τα υγιή δέντρα είναι ικανά να αντιμετωπίσουν μέτριες προσβολές με εσωτερικούς μηχανισμούς άμυνας, όπως π.χ. η ρητίνη (de Dios 2007).

Η χαλέπιος και άλλα διαδεδομένα είδη πεύκης στην Ελλάδα είναι φορείς ενός μεγάλου αριθμού εντόμων που μπορεί να γίνουν παράσιτα (Mendel *et al.* 1985, Liphshitz and Mendel 1989, Mendel 1990). Τα πιο κοινά παρασιτικά είδη στις Μεσογειακές ημίξηρες περιοχές είναι τα φλοιοφάγα σκαθάρια (*Carphoborus minimus*, *Hylurgus ligniperda*, *Hylurgus micklitzi*, *Hylastes linearis*, *Pityogenes calcaratus*, *Orthotomicus erosus*, *Tomicus destruens*), οι κάμπιες (*Thaumetopoea pityocampa*, *Thaumetopoea wilkinsoni*) και άλλα είδη εντόμων (*Neodiprion sertifer*, *Matsucoccus josephi*, *Palaeococcus fuscipennis*) (Maestre and Cortina 2004).

8.2.3.11. Τύπος Εδάφους – Γ.11.

Το κριτήριο Γ.11 αξιολογεί το γενικό τύπο του εδάφους της καμένης περιοχής, πληροφορία που σχετίζεται με τη δυνατότητα που έχουν τα αναγεννώμενα φυτά να φυτρώσουν και αναπτυχθούν σε μια περιοχή, καθώς και τη διαθεσιμότητά της σε θρεπτικά συστατικά. Για την αξιολόγηση του κριτηρίου πρέπει να διαπιστωθεί τόσο το μέσο βάθος του εδάφους, όσο και η περιεκτικότητα του σε πέτρες και βράχια, θεωρώντας ότι όσο βαθύτερα είναι τα εδάφη

και όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητά τους σε πέτρες, τόσο ευνοϊκότερες είναι οι συνθήκες για την αναγέννηση του δάσους σε σχέση με ρηγά-σκελετωμένα εδάφη (López-Soria and Castell 1992, Minotta and Pinzauti 1996, Spanos *et al.* 2001). Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Μεγάλο Βάθος-Μικρή Περιεκτικότητα Πετρών (0), Μεγάλο Βάθος-Μέτρια Περιεκτικότητα Πετρών (20), Μετρίου Βάθους-Μικρή Περιεκτικότητα Πετρών (40), Μετρίου Βάθους, Μέτρια Περιεκτικότητα Πετρών (60), Ρηγά-Πολλές Μέτριες Πέτρες (80), Ελάχιστο Βάθος Χώματος-Πολλές Μεγάλες Πέτρες (100).

Εδάφη τα οποία έχουν μεγάλο βάθος και μικρή περιεκτικότητα πετρών θεωρούνται ότι έχουν μικρή ή μηδαμινή αρνητική επίδραση στις διεργασίες αναγέννησης της βλάστησης. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν βαθύτερη και ευκολότερη πρόσβαση σε υπόγεια ύδατα και θρεπτικά συστατικά, δίχως να δυσχεραίνεται η ανάπτυξη των ριζών σε βάθος. Η παρουσία πολλών και μεγάλων πετρών και βράχων θεωρείται παράγοντας που δυσχεραίνει τη φυσική αναγέννηση, περιορίζοντας τις φυτικές ρίζες, αποτρέποντας σπόρους από το να βλαστήσουν και να καλυφτούν από χώμα και μετατρέπουν το έδαφος σε σκληρό και πυκνό. Πάραυτα, πολλά είδη φυτών, κυρίως όμως τα άτομα τραχείας και χαλεπίου πεύκης, δείχνουν ιδιαίτερη προσαρμοστικότητα σε πετρώδη εδάφη με μικρό βάθος, γεγονός το οποίο πρέπει να συνεκτιμηθεί κατά την αξιολόγηση του κριτηρίου.

8.2.3.12. Ποσοστά και Ποιότητα Καύσης του Ανώροφου – Γενικός Πολλαπλασιαστής

Ο γενικός πολλαπλασιαστής, ο οποίος επηρεάζει καταλυτικά τις δυνατότητες αναγέννησης μιας καμένης περιοχής, αποτελείται από τα ποσοστά και την ποιότητα καύσης του ανώροφου σε όρους καμένου, καψαλισμένου και άκαντου. Οι διαθέσιμες επιλογές παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.9.

Πίνακας 8.9: Διαθέσιμες επιλογές του γενικού πολλαπλασιαστή της κατηγορίας επιπτώσεων Δυνατοτήτων Αναγέννησης

	No Effect		Low		Moderate		High
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Καμένο (μαυρισμένο-απανθρακωμένο)		Καθόλου	5-20%		60%	>85%	100% και απώλειες κλαδιών
Καψαλισμένο		Καθόλου	5-20%		40-80%	<40 ή >80%	Καθόλου λόγω λαμπαδιάσματος
Άκαντο (αναλλοίωτο)		100%	80%		40%	<10%	Καθόλου

Ο πολλαπλασιαστής βαθμολογείται μόνο όταν η καμένη περιοχή είναι δενδρώδης ή θαμνώδης και όχι όταν η περιοχή είναι άγονη, καλλιέργειες, φρύγανα ή χορτολιβαδική. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν υπάρχει πολλαπλασιαστής και η βαθμολογία συγκεντρώνεται από τις απαντήσεις των άλλων κριτηρίων. Σε περίπτωση που υπάρχει ανώροφος, τότε πρέπει το ποσοστιαίο άθροισμα των τριών απαντήσεων να είναι 100%. Ο πολλαπλασιαστής προκύπτει από τον μέσο όρο των απαντήσεων. Υπάρχουν τρεις διαθέσιμες καταστάσεις οι οποίες πρέπει να βαθμολογηθούν (Key and Benson 2006):

- **Ποσοστό άκαντης/ αναλλοίωτης κόμης (Πράσινο)** - Είναι το ποσοστό όγκου της κόμης (ζωντανής ή νεκρής) προ της πυρκαγιάς, το οποίο δεν έχει επηρεαστεί. Στη βαθμολόγηση περιλαμβάνονται οι αναβλαστήσεις από τις καμένες κόμεις αλλά όχι από τις βάσεις των δέντρων/ θάμνων.
- **Ποσοστό καψαλισματος (Καφέ)** - Ποσοστό της κόμης των δέντρων το οποίο έχει επηρεαστεί από το καψάλισμα σε σχέση με την προ της πυρκαγιάς κατάσταση. Το

φύλλωμα νεκρώνεται από την ακτινοβολούμενη θερμότητα χωρίς άμεση επαφή με τις φλόγες και γίνεται καφέ.

- **Ποσοστό καψίματος (Μαύρο)** - Το ποσοστό καψίματος είναι το προ της πυρκαγιάς φύλλωμα κόμης (ζωντανό ή νεκρό) που έπιασε φωτιά, συμπεριλαμβανόμενων και των κλαδιών και φύλλων. Σε πυρκαγιές υψηλής σφοδρότητας, η κατανάλωση των λεπτών κλαδιών είναι εμφανής. Σε πολλές περιπτώσεις τα φυλλοβόλα δέντρα δεν θα λαμπαδιάσουν σημαντικά όταν τα φύλλα τους έχουν πέσει, αλλά υπάρχει η πιθανότητα υψηλά μήκη φλόγας από το έδαφος να μαυρίσουν ολόκληρο το δέντρο, νεκρώνοντας το.

8.2.3.13. Αξιολόγηση των Δυνατοτήτων Αναγέννησης για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της κατηγορίας για την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.10.

Πίνακας 8.10: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων στις δυνατότητες αναγέννησης της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011

ΣΥΝΤΕΛ.	ID		Δυνατότητες Αναγέννησης	1η τιμή	Τελική Τιμή	Σταθμισμένη Τιμή
0,182	Γ.1	ΚΡ.	45-65 έτη		40	7,28
0,076	Γ.2	ΚΡ.	40-60 έτη		20	1,52
0,083	Γ.3	ΚΡ.			20	1,66
		ΠΕΡ. ΚΡ.	19,5% (0-5°), 29% (5-10°), 26% (10-15°), 17% (15-20°), 8,5% (20-30°)		0,195X0 + 0,29X10 + 0,26X20 + 0,17X40 + 0,085X60	
0,245	Γ.4	ΚΡ.	50 έτη		20	4,90
0,163	Γ.5	ΚΡ.	πολλοί άκαυτοι ή μερικώς καμένοι θύλακες συγκεντρωμένοι		20	3,26
0,119	Γ.6	ΚΡ.	βόσκηση περιορισμένη και κατά τόπους		20	2,38
0,045	Γ.7	ΚΡ.	έντονη		100	4,50
0,019	Γ.8	ΚΡ.	μηδενική		0	0,00
0,024	Γ.9	ΚΡ.	εκτεταμένο		60	1,44
0,029	Γ.10	ΚΡ.	μικρή κατά τόπους		10	0,29
0,016	Γ.11	ΚΡ.			43.4	0,69
		ΠΕΡ. ΚΡ.	36% μεγάλο βάθος, μικρή προς μέτρια περιεκτικότητα πετρών, 38% μετρίου βάθους, μικρή προς μέτρια περιεκτικότητα πετρών, 26% ρηχά, πολλές μέτριες πέτρες		0,36X10 + 0,38X50 + 0,26X80	
ΣΥΝΟΛΟ						27,92
		ΠΟΛΛ ΑΠΛ.	καμένο 58%	2	1,75	48,87
			καψαλισμένο 20%	1		
			άκαυτο 22%	2,25		
HIGHER VALUE			300	LOWER VALUE		0
16,29						

Για το κριτήριο Γ.1, προκύπτει ότι η μέση ηλικία του δάσους κωνοφόρων είναι 45-65 έτη, άρα η βαθμολογία που λαμβάνει είναι 40. Στο κριτήριο Γ.2 η ηλικία είναι 40-60 έτη, άρα βαθμολογείται με 20. Στο κριτήριο Γ.3 προέκυψαν τα ποσοστά κάθε κατηγορίας κλίσης μέσω ανάλυσης με GIS, και η βαθμολογία διαμορφώνεται ως 0,195X0 + 0,29X10 + 0,26X20

+ 0,17X40 + 0,085X60 = 20. Η πιο πρόσφατη μεγάλη πυρκαγιά έγινε πριν 50 έτη, άρα το κριτήριο Γ.4 βαθμολογείται με 20. Διαπιστώθηκε ότι στην περιοχή υπάρχουν πολλοί άκαυτοι ή μερικώς καμένοι θύλακες, οι οποίοι όμως είναι συγκεντρωμένοι σε συγκεκριμένες θέσεις στα ΝΔ και ΒΔ, άρα το κριτήριο Γ.5 βαθμολογείται με 20.

Για το κριτήριο Γ.6 εκτιμήθηκε ότι η απειλή από βόσκηση είναι περιορισμένη και μόνο κατά τόπους μπορεί να εκδηλωθεί σε ήπια μορφή, άρα βαθμολογείται με 20. Στην περιοχή, λόγω του καθεστώτος προστασίας δεν υπάρχει ιστορικό καταπατήσεων ή εκτεταμένων παράνομων δραστηριοτήτων που μπορεί να ανακόψουν την πορεία αναγέννησης. Πάραυτα, διενεργήθηκαν εκτεταμένες υλοτομίες μετά την πυρκαγιά και ενώ ήταν νόμιμες, εν τούτοις το πεδίο δεν αφέθηκε αδιατάρακτο. Ως αποτέλεσμα το κριτήριο Γ.7 βαθμολογήθηκε με την υψηλότερη τιμή, δηλαδή 100. Δεν εκτιμάται ότι υπάρχει αστική και τουριστική πίεση στην περιοχή, άρα το κριτήριο Γ.8 λαμβάνει μηδενική τιμή. Το φαινόμενο της μετάκαυσης παρατηρήθηκε σε αρκετές θέσεις και ήταν μέτριας σφοδρότητας. Διαπιστώθηκε όμως ότι υπάρχουν εκτεταμένες εκτάσεις με έντονη καύση. Ως αποτέλεσμα, το κριτήριο Γ.9 βαθμολογήθηκε με την τιμή 60. Στο κριτήριο Γ.10, εκτιμήθηκε ότι η απειλή για πιθανή προσβολή της καμένης έκτασης είναι μικρή και κατά τόπους επειδή έγιναν εκτεταμένες υλοτομίες στην περιοχή, άρα λαμβάνει τη βαθμολογία 10. Για το κριτήριο Γ.11 οι τύποι εδαφών προέκυψαν με ανάλυση GIS, διαμορφώνοντας τη βαθμολογία ως $0,36X10 + 0,38X50 + 0,26X80 = 43,4$. Ο πολλαπλασιαστής διαμορφώνεται από τις τιμές 58% καμένο, 20% καψαλισμένο και 22% ζωντανό/ άκαυτο, άρα $(2 + 1 + 2,25) / 3 = 1,75$. Η συνολική βαθμολογία διαμορφώνεται από $0,182X40 + 0,076X20 + 0,083X20 + 0,245X20 + 0,163X20 + 0,119X20 + 0,045X100 + 0,019X0 + 0,024X60 + 0,029X10 + 0,016X43,4 = 27,92$. Το αποτέλεσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με 1,75 και προκύπτει 48,87. Όταν σταθμιστεί, η βαθμολογία της κατηγορίας γίνεται **16,29 / 100**.

8.2.4. Καταστολή Πυρκαγιάς – Επιχειρησιακά Κόστη (Δ)

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η καταστολή των δασικών πυρκαγιών έχει γίνει μια πολύπλοκη διαδικασία που ξεφεύγει από τα καθιερωμένα πρότυπα της απλής αντιμετώπισης τους με παραδοσιακές μεθόδους. Οι πυροσβεστικές δυνάμεις είναι αντιμετώπιες με τις σημερινές πολύπλοκες περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνθήκες, καθώς επίσης και με θέματα που άπτονται της δημόσιας και ατομικής ασφάλειας. Έπειτα από τα τραγικά γεγονότα του καλοκαιριού του 2007, φαίνεται ότι προέκυψε μια μεταβολή στη στρατηγική καταστολής των πυρκαγιών στην Ελλάδα όπου πλέον δίνεται απόλυτη προτεραιότητα στην προστασία της ανθρώπινης ζωής και εν συνεχεία στην προστασία της ιδιωτικής και δημόσιας περιουσίας και τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων και οικοσυστημάτων (ΦΕΚ Α 73/24-3-2014). Ως αποτέλεσμα, η προστασία των οικιστικών περιοχών προέχει της προστασίας των δασικών οικοσυστημάτων και φυσικών αξιών με συνέπεια να δημιουργείται ακόμα ένας παράγοντας που συμβάλει στο να καίγονται πολύ μεγαλύτερες εκτάσεις σε σχέση με το παρελθόν.

Η καταστολή των πυρκαγιών εμπεριέχει αυξημένα κόστη για τα οποία έρευνες δείχνουν ότι αυξάνονται όσο πληθαίνουν τα περιστατικά πυρκαγιών και αυξάνεται το συνολικό μέγεθος των καμένων εκτάσεων (Fire and Aviation Management 2000). Συγκεκριμένα, τα ετήσια έξοδα της Δασικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ για την καταστολή των πυρκαγιών στο εθνικό σύστημα δασών αυξήθηκαν από 137 εκατομμύρια δολάρια το 1980 (με 90\$ κόστος ανά καμένο στρέμμα) σε 591 το 1999 (245\$ ανά στρέμμα). Σύμφωνα με τον προϋπολογισμό του έτους 2012 του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδος⁷, δαπανήθηκαν περίπου 425 εκατομμύρια ευρώ, η κατανομή των οποίων φαίνεται στον πίνακα 8.11:

⁷ <https://et.diavgeia.gov.gr/decision/view/45%CE%A86%CE%99-%CE%95%CE%97%CE%A4> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

Πίνακας 8.11: Τύπος δαπάνης και κόστος σε ευρώ από την Πυροσβεστική Υπηρεσία

Τύπος δαπάνης	Κόστος (ευρώ)
Προμήθεια κεφαλαιακού εξοπλισμού	249.000
Στρατιωτικές κατασκευές, προμήθειες και εξοπλισμοί	836.500
Προμήθεια υγειονομικού, φαρμακευτικού υλικού και ειδών καθαριότητας	1.517.000
Αμοιβές πολιτικών υπάλληλων (τακτικοί και ΙΔΑΧ)	1.840.900
Προμήθεια ειδών διατροφής, ιματισμού, υπόδησης, εξάρτυσης, εστίασης, κατασκήνωσης και άθλησης	5.370.900
Προμήθεια ειδών συντήρησης και επισκευής εγκαταστάσεων και εξοπλισμού	5.545.000
Προμήθεια καυσίμων και λιπαντικών	7.200.000
Πληρωμές για μετακινήσεις	7.550.000
Προμήθειες αγαθών και κεφαλαιακού εξοπλισμού	21.579.400
Πρόσθετες και παρεπόμενες παροχές	25.350.000
Πληρωμές για λοιπές υπηρεσίες (μισθώματα και μισθώσεις, τέλη ύδρευσης και ηλεκτρισμού, ταχυδρομικά έξοδα κ.α.)	31.456.400
Αμοιβές υπάλληλων με σχέση εργασίας ιδιωτικού δικαίου ορισμένου χρόνου και ειδικών κατηγοριών	83.620.000
Αμοιβές στρατιωτικών γενικά, οργάνων ΕΛ.ΑΣ, Λ.Σ., Π.Σ. και αγροφυλακής	232.339.100
ΣΥΝΟΛΟ	424.454.200

Υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες δαπανών (Mangan 2001): το προσωπικό, οι εξοπλισμοί και τα αεροπορικά μέσα. Τα έξοδα του προσωπικού αποτελούν ένα μεγάλο τμήμα των δαπανών καταστολής, οι οποίες περιλαμβάνουν τον βασικό μισθό, τα επιδόματα επικινδυνότητας και τις υπερωρίες. Επιπλέον έξοδα δημιουργούνται όταν πρέπει να μεταφερθούν συνεργεία από άλλες περιοχές. Τα έξοδα του εξοπλισμού, που περιλαμβάνει μηχανήματα, εκσκαφείς, υδροφόρες και οχήματα μεταφοράς είναι επίσης υψηλά. Στα έξοδα αυτά περιλαμβάνεται η υπενοικίαση οχημάτων ή εξοπλισμού από ιδιώτες και οι μισθοί των χειριστών τους. Τα εναέρια μέσα αποτελούν την πιο εμφανή δαπάνη, καθώς περά από τα έξοδα πτήσης που είναι υψηλά, περιλαμβάνεται η συντήρησή, τα ανταλλακτικά αλλά και το κόστος υπενοικίασης ή και αγοράς τους. Όλες οι παραπάνω δαπάνες προσαυξάνονται για κάθε επιπλέον ημέρα πυρκαγιάς, ενώ προστίθενται και νέα, όπως π.χ. το κόστος για τα ημερήσια γεύματα κάθε ατόμου που συμμετέχει στην κατάσβεση και μπορεί να φτάσει έως και τα 20 ευρώ.

Από τον Πίνακα 8.11 γίνεται εμφανές ότι η πλειοψηφία των συνολικών δαπανών πηγαίνει σε μισθοδοσίες, μετακινήσεις και επιδόματα (πάνω από 300 εκ. ευρώ), ενώ το υπόλοιπο ποσό κατανέμεται σε προμήθειες, επισκευές, κατασκευές, αναλώσιμα, καύσιμα, πάγια και μισθώσεις. Από την έρευνα των Schuster *et al.* (1997), όπου εξέτασαν τα κόστη 171 πυρκαγιών των ΗΠΑ (μέτριου και μεγάλου μεγέθους) με έμφαση στις 20 μεγαλύτερες από το 1994, διαπιστώθηκε ότι το 56,6% των εξόδων αφορά τα εναέρια μέσα, τον εξοπλισμό, τη διατροφή και υγιεινή των πυροσβεστών, το 31,7% αφορά τα κόστη προσωπικού (υπερωρίες και έκτακτοι υπάλληλοι) και το 11,7% άλλες δαπάνες. Στην ίδια έρευνα, βάσει των απαντήσεων που έδωσαν οι επιτελείς των προσπαθειών καταστολής των πυρκαγιών του 1994 στις ΗΠΑ, θεωρήθηκε ότι το κόστος αυξάνεται πολύ σημαντικά σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του περιστατικού, καθώς και της δυσκολίας πρόσβασης στην περιοχή. Άλλοι παράγοντες που δυσχεραίνουν την καταστολή

και αυξάνουν το κόστος είναι η τοπογραφία, τα φορτία καύσιμης ύλης, η προστασία περιουσιών και ανθρώπων και η διαθεσιμότητα, αριθμός και ποιότητα των πυροσβεστών.

Η κατηγορία επιπτώσεων που σχετίζεται με τις ενέργειες καταστολής συνεκτιμά επιπτώσεις που προκλήθηκαν κατά τη διάρκεια εφαρμογής των μέτρων και στρατηγικών αντιμετώπισης της πυρκαγιάς. Αποτελείται από οκτώ κριτήρια και έναν γενικό πολλαπλασιαστή, συνθέτοντας το γενικό πλάνο καταστολής το οποίο έχει τόσο οικονομικό κόστος για τη διεξαγωγή της επιχείρησης, όσο και το κόστος φθοράς και κόπωσης των μέσων και του προσωπικού. Σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων δίνονται δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Με ποιον τύπο εκδηλώθηκε η πυρκαγιά;
- Ποια ήταν η διάρκεια της πυρκαγιάς;
- Πόσα άτομα συμμετείχαν στην κατάσβεση της πυρκαγιάς;
- Ποιος είναι ο αριθμός των επίγειων και εναέριων μέσων που κινητοποιήθηκαν;
- Υπήρξε συνδρομή μέσων και προσωπικού από άλλες χώρες;
- Κηρύχθηκε η περιοχή σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης;
- Προκλήθηκαν αναζωπυρώσεις ή/και κηλιδώσεις;
- Εκκενώθηκαν οικισμοί;

8.2.4.1. Τύπος Πυρκαγιάς – Δ.1.

Το κριτήριο Δ.1 αξιολογεί τον τύπο πυρκαγιάς και πώς επηρέασε τις προσπάθειες καταστολής, παρέχοντας τις εξής επιλογές: Έρπουσα (20), Παθητική κόμης/ Λαμπάδιασμα (60), Ενεργή κόμης (100). Μια συνηθισμένη λανθασμένη αντίληψη σε σχέση με την ένταση της πυρκαγιάς είναι ότι μια πυρκαγιά αντικατάστασης των δασικών συστάδων αντιπροσωπεύει την πιο σφοδρή διαταραχή. Παρόλο που μια τέτοια πυρκαγιά μπορεί να καταστρέψει όλη τη βλάστηση του ανώροφου, δεν είναι αναγκαστικά το ίδιο καταστρεπτική για τους οργανισμούς στο χούμο, το ανόργανο έδαφος και την επιφάνεια (Ryan and Noste 1985). Από πλευράς όμως καταστολής, ο τύπος της πυρκαγιάς παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον τρόπο που σχεδιάζεται η επιχείρηση, στη δυσκολία κατάσβεσης και στην συμπεριφορά της.

Ο πρώτος τύπος είναι οι έρπουσες πυρκαγιές οι οποίες εξελίσσονται στην επιφάνεια και αποτελούν τον πλέον συνηθισμένο τύπο, ενώ είναι η αρχική μορφή όλων των άλλων τύπων πυρκαγιάς που συμβαίνουν στον Ελλαδικό χώρο. Στο συγκεκριμένο τύπο, οι φλόγες καταναλώνουν τη ζωντανή επιφανειακή βλάστηση (ετήσια φυτά, φρύγανα, θάμνοι, χαμηλά δενδρύλλια), τη νεκρή καύσιμη ύλη της επιφάνειας και το χούμο, δίχως μετάβαση στον ανώροφο. Ο ανώροφος, αν υπάρχει, συνήθως παραμένει ανέπαφος αν και πολλές φορές μπορεί να συμβεί εκτεταμένη νέκρωση δέντρων λόγω ακτινοβολίας και καψαλίσματος της κόμης. Η έρπουσα πυρκαγιά είναι και πιο εύκολο να ελεγχθεί και να κατασταλεί, επειδή κατά τη διάρκεια της μπορούν να επιχειρήσουν τόσο πεζοπόρα τμήματα με επινώτιους πυροσβεστήρες, όσο και χωματουργικά μηχανήματα.

Οι πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες είναι αυτές που εκδηλώνονται ή μεταδίδονται στη δασική κόμη, η οποία μπορεί να αποτελείται είτε από ψηλούς θαμνώνες, είτε από δενδρώδεις συστάδες. Αυτό το είδος πυρκαγιάς είναι εξαιρετικά έντονο και μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους ανθρώπους και τα μέσα κατάσβεσης. Υπάρχουν τρεις τύποι πυρκαγιών κόμης, ή παθητική πυρκαγιά κόμης (λαμπάδιασμα), η ενεργή πυρκαγιά κόμης που μεταδίδεται από κόμη σε κόμη δέντρου, και η ανεξάρτητη πυρκαγιά κόμης που μεταδίδεται αυτόνομα στον ανώροφο, ανεξαρτήτως με το τι συμβαίνει στην επιφάνεια. Ο τύπος που προκύπτει εξαρτάται από παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, η πυκνότητα και συγκόμωση της κόμης, αλλά και το ύψος έναρξης της κόμης (Scott and Reinhardt 2001).

Από τη δράση των πυρκαγιών κόμης μπορούν να προκύψουν νέα περιστατικά πυρκαγιών μέσω του πετάγματος καυτρών, οι οποίες μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις και να αναφλέξουν την καύσιμη ύλη σε περιοχές μπροστά από το κύριο μέτωπο της. Μια επιπλέον δυσκολία της καταστολής των πυρκαγιών κόμης είναι ότι τα συνεργεία πυροσβεστών δεν μπορούν να δράσουν αυτόνομα, αλλά απαιτείται και η συνδρομή οχημάτων και εναέριων μέσων. Επιπλέον, οι μέθοδοι προσβολής σε περίπτωση ενεργής πυρκαγιάς κόμης περιορίζονται σε παθητικές μεθόδους όπως το αντίπυρ, η διάνοιξη νέων αντιπυρικών ζωνών και η απονίλωση εκτάσεων (fuel breaks). Η αντιμετώπιση τους απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και στρατηγική σκέψη για το που και ποτέ θα πρέπει να γίνει επιχείρηση καταστολής. Για όλους τους παραπάνω λόγους, οι επιπτώσεις που έχει ο τύπος της πυρκαγιάς στις προσπάθειες καταστολής είναι πολύ σημαντικές, αυξάνοντας σημαντικά και το κόστος των επιχειρήσεων.

8.2.4.2. Αναζωπυρώσεις/ Κηλιδώσεις – Δ.2.

Μια σημαντική παράμετρος η οποία επενεργεί στις προσπάθειες καταστολής είναι η εκδήλωση αναζωπυρώσεων, και αξιολογείται στο κριτήριο Δ.2 παρέχοντας τις εξής επιλογές: Όχι (0), Λίγες (60), Συνεχείς (100). Οι αναζωπυρώσεις μπορεί να προκύψουν σε κατεσταλμένα μέτωπα ή σε εκτάσεις όπου ήδη έχει περάσει το κύριο μέτωπο της φωτιάς, αλλά έχει παραμείνει σημαντική ποσότητα άκαυτης ή μερικώς καμένης καύσιμης ύλης. Οι αναζωπυρώσεις έχουν ως κύρια αιτία εμφάνισης τη μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών, και ιδιαίτερα της έντασης και διεύθυνσης πνοής του ανέμου. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος που προκύπτει από αυτές είναι ότι μπορούν να κάψουν τμήματα των περιοχών για τα οποία υπήρχε ένας εφησυχασμός λόγω της πρόσκαιρης καταστολής του φαινομένου, με αποτέλεσμα να πρέπει να επανασχεδιαστεί ο τρόπος αντιμετώπισης της πυρκαγιάς.

Επιπλέον, οι αναζωπυρώσεις μπορούν να δημιουργήσουν επικίνδυνες καταστάσεις, τόσο για την προστασία της ζωής των πολιτών και του προσωπικού, όσο και του εξοπλισμού αλλά και των υποδομών. Συχνά καθυστερούν τον χαρακτηρισμό ενός περιστατικού ως πλήρως κατασταλμένο, ενώ απαιτείται και η διατήρηση σημαντικού αριθμού μέσων και προσωπικού στην περιοχή για πολλές ημέρες. Τέλος, οι αναζωπυρώσεις πολλές φορές αποσπών πόρους (υλικούς και ανθρώπινους) για την καταστολή τους οι οποίοι είναι χρήσιμοι στην εφαρμογή της κύριας στρατηγικής καταστολής ή σε άλλα νέα περιστατικά πυρκαγιών ανά τη χώρα. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το κόστος καταστολής αυξάνεται σημαντικά αν υπάρχουν αναζωπυρώσεις. Οι διαθέσιμες επιλογές έχουν να κάνουν τόσο με τον αν υπήρξαν αναζωπυρώσεις όσο και με το αν ήταν λίγες ή συνεχείς.

8.2.4.3. Αριθμός Ατόμων/ Προσωπικού – Δ.3.

Ο καθορισμός των επιλογών του κριτηρίου Δ.3, που αφορά τον αριθμό των ατόμων/ προσωπικού που συμμετείχε στην κατάσβεση, καθώς και των κριτηρίων Δ.4 και Δ.5, που καταγράφουν τον αριθμό των επίγειων και εναέριων μέσων, βασίστηκε στα επίσημα στοιχεία που διαθέτει το Πυροσβεστικό Σώμα της Ελλάδος για τα περιστατικά πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012. Για το κριτήριο Δ.3 υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: <10 (10), 10-24 (20), 25-39 (40), 40-54 (60), 55-69 (80), >70 άτομα (100). Η κατάταξη των επιλογών του κριτηρίου προέκυψε από τον Πίνακα 8.12, με εύρη από λιγότερα των 10 ατόμων (επιχείρηση κατάσβεσης σχηματισμού περίπολου) έως και πάνω από 70 άτομα (πλήρης κλίμακας κινητοποίηση δυνάμεων). Διαπιστώνεται ότι στην πλειοψηφία των περιστατικών επιχειρούν λιγότεροι από 10 άνθρωποι, ενώ σε πολύ λίγα περιστατικά απαιτούνται πάνω από 70 άτομα. Οι κατηγορίες ατόμων που αποτελούν αυτό τον αριθμό είναι τα στελέχη του Πυροσβεστικού Σώματος, οι εθελοντές, τα στελέχη των ένοπλων δυνάμεων καθώς και άλλες δυνάμεις (π.χ. από ΟΤΑ). Από παλαιότερα περιστατικά πυρκαγιών, είναι γνωστό ότι στην Πάρνηθα το

2007 επιχείρησαν κατά μέσο όρο κάθε ώρα 40 άτομα, ενώ ο μέγιστος αριθμός έφτασε τα 130 άτομα, στον Έβρο το 2011 επιχείρησαν συνολικά 104 άτομα, στην Πεντέλη το 1995 ο αριθμός έφτασε τα 145 άτομα, ενώ στη Χίο το 2012 ο μέγιστος αριθμός έφτασε τα 532 άτομα.

Πίνακας 8.12: Αριθμός ατόμων που επιχείρησαν στα περιστατικά των πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012

Περιστατικά Πυρκαγιών (n)		
Αριθμός Ατόμων	2011	2012
10-24	1282	1148
<10	9364	8642
10-24	1282	1148
25-39	261	246
40-54	107	81
55-69	46	44
>70	70	102

8.2.4.4. Αριθμός Επίγειων Πυροσβεστικών Μέσων – Δ.4.

Στον Πίνακα 8.13 παρουσιάζεται ο αριθμός των επίγειων πυροσβεστικών μέσων που έλαβαν μέρος στην κατάσβεση περιστατικών πυρκαγιών για τα έτη 2011 και 2012. Οι κατηγορίες οχημάτων που αποτελούν το συνολικό αριθμό των οχημάτων του πίνακα είναι τα πυροσβεστικά οχήματα, τα οχήματα των ΟΤΑ, τα βυτιοφόρα και τα χωματουργικά μηχανήματα. Η συντριπτική πλειοψηφία των περιστατικών καταστέλλεται με 1 έως 4 οχήματα, ενώ πολύ λίγα περιστατικά απαιτήσαν την κινητοποίηση άνω των 50 οχημάτων. Συγκεκριμένα, στην πυρκαγιά της Πάρνηθας το 1989 χρησιμοποιήθηκαν 10 οχήματα, στην πυρκαγιά της Πεντέλης το 1995 χρησιμοποιήθηκαν 55 οχήματα, στην πυρκαγιά της Πάρνηθας το 2007 χρησιμοποιήθηκαν 50 οχήματα και τέλος, στην πυρκαγιά του Έβρου το 2011 χρησιμοποιήθηκαν 48 οχήματα. Για το κριτήριο επιπτώσεων Δ.4 υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: 1-4 (10), 5-9 (20), 10-14 (40), 15-19 (60), 20-24 (80), >25 (100).

Πίνακας 8.13: Αριθμός επίγειων μέσων που επιχείρησαν στα περιστατικά των πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012

Περιστατικά Πυρκαγιών (n)		
Αριθμός Επίγειων Μέσων	2011	2012
1-4	9643	8884
5-9	1023	908
10-14	232	219
15-19	94	87
20-24	30	42
25-49	35	43
50-100	5	11
>100	3	2

8.2.4.5. Αριθμός Εναέριων Πυροσβεστικών Μέσων – Δ.5.

Στον Πίνακα 8.14 παρουσιάζεται ο αριθμός των εναέριων πυροσβεστικών μέσων που έλαβαν μέρος στην κατάσβεση περιστατικών πυρκαγιών για τα έτη 2011 και 2012. Ο αριθμός των

εναέριων μέσων που εμφανίζεται στον πίνακα αποτελείται από ελικόπτερα (τύπων Ericson S-64, Chinook CH-47, AB-212, CH-53, Eurocopter Super Puma, Bell 214, Eurocopter AS 532, Mil Mi, Kamov Ka-27 κ.α.), μάχιμα πυροσβεστικά αεροσκάφη (τύπων CL-415, CL-215 και PZL), καθώς και λοιπά αεροσκάφη υποστήριξης ή κατάσβεσης (τύπων Beriev Be-200, Grumman G-164 Ag Cat, PC-6 Turbo Porter, C-130 Hercules, Martin Mars, Cessna L-1) που επιχείρησαν τα τελευταία έτη στην Ελλάδα.

Όσον αφορά την συνολική διαθεσιμότητα των ιδιόκτητων εναέριων μέσων της Ελλάδος, υπάρχουν 13 CL-215, οκτώ CL-415 και 21 PZL, με διαθεσιμότητες για το 2012 δέκα, οκτώ και 19 μονάδες αντίστοιχα, ενώ υπάρχουν πέντε πυροσβεστικά ελικόπτερα (συν 15 ενοικιαζόμενα). Στην πλειοψηφία των περιστατικών χρησιμοποιήθηκαν λιγότερα από δύο αεροσκάφη, ενώ σε λιγότερο από το 10% των περιστατικών χρησιμοποιούνται άνω των πέντε εναέριων μέσων. Τέλος, στην πυρκαγιά της Πάρνηθας το 1989 χρησιμοποιήθηκαν τρία εναέρια μέσα, στην Πάρνηθα το 2007 χρησιμοποιήθηκαν 12 και στον Έβρο το 2011 χρησιμοποιήθηκαν 10. Για το κριτήριο επιπτώσεων Δ.5 υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: 0 (0), ≤2 (40), 3-5 (60), 6-10 (80), >10 (100).

Πίνακας 8.14: Αριθμός εναέριων μέσων που επιχείρησαν στα περιστατικά των πυρκαγιών των ετών 2011 και 2012

Περιστατικά Πυρκαγιών (n)		
Αριθμός Εναέριων Μέσων	2011	2012
<=2	290	373
3-5	103	122
6-10	44	37
>10	5	6

8.2.4.6. Συνδρομή Ενισχύσεων από άλλες Χώρες – Δ.6.

Το κριτήριο επιπτώσεων Δ.6 αξιολογεί το αν υπήρξε συνδρομή ενισχύσεων από άλλες χώρες. Σχετίζεται με την αδυναμία παροχής επιπλέον μέσων καταστολής της πυρκαγιάς πέραν των υπάρχοντων διαθέσιμων, είτε λόγω της μεγάλης έκτασης του φαινομένου, είτε λόγω της μακράς διάρκειάς του, είτε λόγω του κατακερματισμού των δυνάμεων καταστολής σε πολλά διαφορετικά μέτωπα και περιστατικά. Συνήθως, πριν την αίτηση για συνδρομή μέσων και προσωπικού έχει προηγηθεί η κήρυξη της πληγείσας περιοχής σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης. Η αίτηση συνδρομής μπορεί να αφορά είτε πεζοπόρα τμήματα, είτε οχήματα, είτε εναέρια μέσα. Το κόστος των μέσων αυτών, τόσο για τη μετάβαση από τις χώρες τους στην Ελλάδα, όσο και για τη συντήρηση και τη χρήση τους στις επιχειρήσεις είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Πολλές φορές συμβαίνει οι χώρες που προσφέρονται να βοηθήσουν να κάνουν προσφορά μέσων και ανθρώπων δίχως να έχει προηγηθεί κάποιο αίτημα και δίχως να χρειαστεί να καταβληθεί κάποιο κόστος από την Ελλάδα (στα πλαίσια διακρατικών συμφωνιών ή διπλωματικών κινήσεων). Τις περισσότερες φορές όμως το κόστος βαρύνει τη χώρα υποδοχής αυτής της βοήθειας. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι παρακάτω: Όχι (0), Πεζοπόρα (20), Οχήματα (60), Αεροσκάφη (100).

8.2.4.7. Κήρυξη Περιοχής σε Κατάσταση Εκτάκτου Ανάγκης – Δ.7.

Το κριτήριο επιπτώσεων Δ.7 αξιολογεί το αν έχει κηρυχτεί μια περιοχή σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (ΓΓΠΠ) λόγω κάποιας καταστροφής. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι παρακάτω: Όχι (0) ή Ναι (100). Σε αυτή την περίπτωση ενεργοποιείται το Γενικό Σχέδιο Πολιτικής Προστασίας με τη συνθηματική λέξη

«ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ». Σκοπός του «ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ» είναι η διαμόρφωση ενός συστήματος αποτελεσματικής αντιμετώπισης καταστροφικών φαινομένων και ως εκ τούτου, της προστασίας της ζωής, της υγείας και της περιουσίας των πολιτών και του φυσικού περιβάλλοντος. Αν προκύψει κατάσταση εκτάκτου ανάγκης, τότε απαιτείται ειδικός συντονισμός από τη ΓΓΠΠ του δυναμικού και των μέσων των υπηρεσιών και των φορέων που αναλαμβάνουν δράση σε κεντρικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, ενώ κινητοποιείται επιπλέον δυναμικό και μέσα σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες. Οι βασικές διαφορές μεταξύ της καθημερινής λειτουργίας των υπηρεσιών και της κατάστασης εκτάκτου ανάγκης/καταστροφής είναι ότι απαιτείται συνεργασία και με άγνωστα άτομα και η υλοποίηση νέων και μη συνηθισμένων δράσεων. Επιπλέον, για την κάλυψη των πληροφοριακών αναγκών είναι απαραίτητος ο επικοινωνιακός συντονισμός ανάμεσα σε υπηρεσίες και φορείς, ενώ οι υποδομές και τα δίκτυα (επικοινωνιών, ηλεκτρισμού, κλπ.) μπορεί να έχουν επηρεαστεί και να μην λειτουργούν κανονικά. Μια τέτοια κατάσταση αυξάνει την πολυπλοκότητα διαχείρισης της πυρκαγιάς, απαιτεί επιπλέον συντονισμό και επιτυχή εφαρμογή του σχεδιασμού αντιμετώπισής της. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, το κόστος αντιμετώπισης αυξάνεται σημαντικά.

8.2.4.8. Εκκένωση Οικισμών – Δ.8.

Το κριτήριο επιπτώσεων Δ.8 αξιολογεί το αν συντελέστηκε εκκένωση οικισμών, καθώς και τον αριθμό τους. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), <2 οικισμοί (20), 2 μέχρι 5 οικισμοί (60), >5 οικισμοί (100). Υπάρχουν δύο λόγοι που λαμβάνεται απόφαση για την εγκατάλειψη κάποιας οικίας ή οικισμού όταν πλησιάζει μια πυρκαγιά. Πρώτον, όταν εκτιμηθεί ότι είναι αδύνατον υπό τις παρούσες συνθήκες να σωθούν και ότι επιπλέον χρόνος στο συγκεκριμένο σημείο δεν θα αλλάξει την κατάσταση και θα μειώσει την ασφάλεια των πυροσβεστών. Δεύτερον, όταν εκτιμηθεί ότι οι συνθήκες είναι τέτοιες, ή ενδέχεται να μετατραπούν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εμποδιστεί η ασφαλής διαφυγή των πολιτών και να κινδυνεύσει η ζωή τους αν παραμείνουν στις θέσεις τους. Η εκκένωση των οικισμών εμπεριέχει υψηλό κόστος (μετακίνησης, διατροφής και στέγασης του πληθυσμού) και δυσκολίες σχεδιασμού. Πολλές φορές σε περιστατικά πυρκαγιών της Ελλάδος έχει διαταχτεί εκκένωση οικισμών. Στον Πίνακα 8.15 δίνονται οι αριθμοί των εκκενωμένων οικισμών για πρόσφατα γνωστά και μεγάλα περιστατικά πυρκαγιών.

Πίνακας 8.15: Αριθμός εκκενωμένων οικισμών κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών

Περιστατικό	Αριθμός Οικισμών
Αιγίου Αχαΐας 2007	5
Εύβοια 2007	5
Αρκαδία 2008	4
Δερβενοχώρια 2008	2
Λευκίμη Έβρου 2011	2
Εύβοια 2012	2
Ουρανούπολη 2012	2
Χίος 2012	3

Όταν οι μεγάλες πυρκαγιές απειλούν οικίες, γειτονιές ή ακόμα και οικισμούς στο πεδίο WUI, τότε η πίεση προς τις δυνάμεις καταστολής και τους τοπικούς φορείς αυξάνεται τόσο πολύ που μπορεί ολόκληρος ο στρατηγικός σχεδιασμός καταστολής της πυρκαγιάς να καταρρεύσει. Το πρόβλημα της απειλής οικισμών και οικιών γίνεται εντονότερο τα τελευταία έτη λόγω του ό,τι υπάρχει αυξημένη ανοικοδόμηση σε φυσικές και δασώδεις περιοχές.

Αθροιστικά στην πολιτική πίεση που ασκείται στις πυροσβεστικές δυνάμεις δρα και η πίεση από τα ΜΜΕ, πολλές φορές συσχετίζοντας την επιτυχία ή αποτυχία των προσπαθειών πυρόσβεσης μόνο από τον αριθμό των σπιτιών που σώθηκαν ή καταστράφηκαν. Έτσι, λόγω σύγχυσης, οι προτεραιότητες και οι στόχοι των πυροσβεστών μπορούν να περιπλέκουν σημαντικά.

8.2.4.9. Διάρκεια Πυρκαγιάς – Γενικός Πολλαπλασιαστής

Ως γενικός πολλαπλασιαστής του κριτηρίου έχει οριστεί να είναι η διάρκεια της πυρκαγιάς, η οποία όσο μεγαλύτερη είναι τόσο και αυξάνονται οι επιπτώσεις που προκαλούνταν στον τομέα της καταστολής. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: 0-3 (0,5), 3-15 (1), <24 (1,5), 48 (2), 72 (2,5), >72 ώρες (3). Πολλές φορές η φωτιά διατηρείται ενεργή σε νησίδες και θύλακες εντός της τελικής οριοθετημένης περιμέτρου πυρκαγιάς, και τότε θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί ο πλήρης έλεγχος της. Όταν η φωτιά έχει ελεγχθεί και δεν επεκτείνεται περαιτέρω, δίχως όμως να σβηστεί το κύριο μέτωπο, τότε θεωρείται ότι είναι υπό μερικό έλεγχο. Με τον όρο διάρκεια της πυρκαγιάς εννοούμε τον χρόνο που χρειάστηκε η πυρκαγιά για να φτάσει στο μέγιστο της επέκτασής της, χωρίς να υπολογίζεται ο χρόνος καταστολής των μικρών εστιών, της εκδήλωσης του φαινομένου της μετάκαυσης, καθώς και της καύσης αποκομμένων συστάδων και θυλάκων.

Για την πλήρη κατάσβεση της πυρκαγιάς (ώστε να μην υπάρχει ίχνος φλόγας και καπνού), μπορεί να απαιτηθούν από μερικές ημέρες έως και πολλές εβδομάδες. Τα περισσότερα περιστατικά πυρκαγιών της Ελλάδας καταστέλλονται μέσα στις πρώτες τρεις ώρες από την εκδήλωσή τους, αρκετά όμως μπορεί να διαρκέσουν έως και 24 ώρες. Πολύ λίγα και μεγάλα περιστατικά ξεφεύγουν των δύο ή τριών ημερών σε διάρκεια (Έβρος 2011, Χίος 2012, Άγιο Όρος 2012, κ.α.). Ο χρόνος εκδήλωσης της πυρκαγιάς κατά τη φάση εξάπλωσης της είναι πολύ κρίσιμη παράμετρος επειδή σε αυτή την περίοδο οι δυνάμεις καταστολής είναι σε πλήρη επιχειρησιακή ανάπτυξη, ενώ είναι και η περίοδος κατά την οποία σημειώνονται οι περισσότερες καταστροφές και απώλειες. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο χρόνος, τόσο περισσότερη καταπόνηση δέχονται οι δυνάμεις καταστολής, ενώ τόσο περισσότερο είναι το κόστος των επιχειρήσεων. Επιπλέον, στερούνται πολύτιμες ώρες ξεκούρασης και ανασυγκρότησης των δυνάμεων. Λόγω του γεγονότος ότι οι περισσότερες πυρκαγιές στην Ελλάδα εκδηλώνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα κατά την αντιπυρική περίοδο, γίνεται εμφανές το πόσο κρίσιμο είναι να μην υπάρχουν ανοιχτά μέτωπα μεγάλης διάρκειας. Συνοψίζοντας, με αυτό το κριτήριο λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς σε όρους καταστολής είναι ανάλογες του χρόνου διάρκειας του περιστατικού.

8.2.4.10. Αξιολόγηση των Επιπτώσεων Καταστολής για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της κατηγορίας για την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.16. Για το κριτήριο Δ.1 προκύπτει ότι ο τύπος πυρκαγιάς ήταν συνδυασμός κυρίως παθητικής και ενεργητικής πυρκαγιάς κόμης, ενώ σε μικρή έκταση έκαψε και επιφανειακά. Ως αποτέλεσμα, όπου έκαιγε με παθητικό τρόπο η σφοδρότητα ήταν μικρότερη και επιβίωσαν αρκετά δέντρα. Η βαθμολογία του κριτηρίου είναι 80, η ενδιάμεση των δύο απαντήσεων. Για το κριτήριο Δ.2, καταγράφηκαν αναζωπυρώσεις οι οποίες ήταν περισσότερες από την απάντηση Λίγες και όχι Συνεχείς, άρα λαμβάνει τη βαθμολογία 80. Ο αριθμός των ατόμων/ προσωπικού που συμμετείχε στην επιχείρηση ξεπέρασε τα 70 άτομα, άρα η βαθμολογία του κριτηρίου Δ.3 είναι 100. Επίσης, ο αριθμός των επίγειων μέσων που συμμετείχαν ξεπέρασε τα 25, άρα η βαθμολογία του κριτηρίου Δ.4 είναι 100. Ο αριθμός των εναέριων μέσων που επιχείρησαν στην κατάσβεση ξεπέρασε τα 10, άρα η βαθμολογία του

κριτηρίου Δ.5 είναι 100. Από τον Ευρωπαϊκό Μηχανισμό Πολιτικής Προστασίας ζητήθηκαν τρία ζεύγη αεροσκαφών CL-415. Στο αίτημα ανταποκρίθηκε άμεσα η Ισπανία και η Γαλλία, οι οποίες διέθεσαν από δύο αεροσκάφη CL-415 έκαστη. Επομένως στο κριτήριο Δ.6 η βαθμολογία είναι 100. Η περιοχή κηρύχτηκε σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης, άρα η βαθμολογία του κριτηρίου Δ.7 είναι 100. Τέλος, για το κριτήριο Δ.8 αποφασίστηκε οι 60 κάτοικοι των οικισμών Κοίλα και Μελία να απομακρύνθηκαν με λεωφορείο του δήμου. Επειδή όμως τελικά η πυρκαγιά δεν έφτασε στα χωριά και η εκκένωση δεν ήταν πλήρης κλίμακας, η βαθμολογία είναι 40. Η διάρκεια εξάπλωσης της πυρκαγιάς ήταν περίπου 72 ώρες, άρα ο πολλαπλασιαστής λαμβάνει την τιμή 2,5. Η συνολική βαθμολογία διαμορφώνεται από $0,294 \times 80 + 0,088 \times 80 + 0,131 \times 100 + 0,135 \times 100 + 0,223 \times 100 + 0,060 \times 100 + 0,028 \times 100 + 0,040 \times 40 = 89,95$. Το αποτέλεσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με 2,5 και προκύπτει 224,87. Όταν σταθμιστεί, η βαθμολογία της κατηγορίας διαμορφώνεται στα **74,59 / 100**.

Πίνακας 8.16: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων καταστολής της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011

ΣΥΝΤΕΛ.	ID		Καταστολή	Τελική Τιμή	Σταθμισμένη Τιμή
0,294	Δ.1	KP.	κυρίως παθητική-με ενεργητική	80	23,54
0,088	Δ.2	KP.	περισσότερες από λίγες και όχι συνεχείς	80	7,02
0,131	Δ.3	KP.	ξεπέρασε τα 70 άτομα	100	13,11
0,135	Δ.4	KP.	ξεπέρασε τα 25	100	13,54
0,223	Δ.5	KP.	ξεπέρασε τα 10	100	22,30
0,060	Δ.6	KP.	αεροσκάφη	100	6,01
0,028	Δ.7	KP.	κηρύχτηκε	100	2,81
0,040	Δ.8	KP.	2 οικισμοί-μη πλήρης εκκένωση	40	1,61
ΣΥΝΟΛΟ					89,95
ΠΟΛΛΑΠΛ.			72 ώρες	2,5	224,87
HIGHER VALUE			300	LOWER VALUE	4,2755
74,59					

8.2.5. Απώλειες και Τραυματισμοί (Ε)

Οι διοικητές των πυροσβεστικών δυνάμεων στην Ελλάδα έχουν ως πρώτη προτεραιότητα την προστασία των πληρωμάτων και των ζώων των πολιτών. Η δεύτερη προτεραιότητα είναι η σωτηρία της ιδιοκτησίας και των κτισμάτων, σε σχέση πάντα με το αν μπορούν ή όχι να σωθούν. Τέλος, ως τρίτη προτεραιότητα έρχεται η διατήρηση του αξιόμαχου των πυροσβεστικών δυνάμεων και η διατήρηση πόρων έτσι ώστε να είναι εφικτή η συνέχιση των προσπαθειών καταστολής του κύριου μετώπου. Μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς είναι οι απώλειες που μπορεί να προκαλέσει σε ανθρώπινες ζωές. Οι ανθρώπινες απώλειες, πέρα από την προσωπική τραγωδία που προκαλούν στις οικογένειες και τους οικείους των θυμάτων, έχουν και την ψυχολογική διάσταση που διαπερνά το σύνολο των στρωμάτων της κοινωνίας. Ο φόβος των πολιτών για εγκλωβισμό, τραυματισμό και θάνατο από μια πυρκαγιά πολλές φορές οδηγεί στη λήψη λανθασμένων αποφάσεων υπό καθεστώς πανικού που ενδέχεται, εν τέλει, να προκαλέσει νέες απώλειες όπως έδειξαν και τα τραγικά γεγονότα των πυρκαγιών του 2007.

Ο αριθμός των απωλειών σε συνδυασμό με τη συνολικά καμένη έκταση έχει επικρατήσει στην σκέψη των περισσότερων κοινωνιών ότι είναι τα βασικά μεγέθη αξιολόγησης των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς (Haynes *et al.* 2010). Αναμφίβολα, οι απώλειες είναι η

σημαντικότερη επίπτωση που μπορεί να προκαλέσουν και συμπεριλαμβάνεται με αυξημένη βαρύτητα στον υπολογισμό των συνολικών επιπτώσεων της. Στη συγκεκριμένη κατηγορία υπάρχουν πέντε κριτήρια απωλειών, τα τρία αφορούν στις ανθρώπινες ζωές (τραυματίες και νεκροί πολίτες και απώλειες προσωπικού), ενώ τα δύο αφορούν στις απώλειες σε μέσα κατάσβεσης (πυροσβεστικά οχήματα και εναέρια μέσα). Η λογική επιλογής των δύο τελευταίων κριτηρίων έχει να κάνει με τις απώλειες που υφίσταται το Πυροσβεστικό Σώμα κατά τη διάρκεια καταστολής του φαινομένου, για αυτό και δεν μπήκαν στο κριτήριο καταστροφές ή στην καταστολή (με παρόμοιο τρόπο που εκτιμώνται οι απώλειες σε στρατιωτικές επιχειρήσεις). Επιπλέον, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όταν υπάρχουν απώλειες εναέριων μέσων έχουμε νεκρούς μάχιμους, ενώ πολύ συχνά η απώλεια πυροσβεστικών οχημάτων προκαλεί αντίστοιχα απώλειες σε μάχιμους. Σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων δίνονται δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Υπήρξαν θάνατοι πολιτών και πόσοι;
- Υπήρξαν τραυματισμοί και πόσοι;
- Υπήρξαν θάνατοι μάχιμων και πόσοι;
- Υπήρξαν κατεστραμμένα χερσαία ή εναέρια μέσα πυρόσβεσης;

8.2.5.1. Θάνατοι Πολιτών – Ε.1.

Το κριτήριο Ε.1 αφορά στους θανάτους πολιτών που προκαλούνται άμεσα από την πυρκαγιά (εγκαύματα και ασφυξία) ή έμμεσα (ατυχήματα). Η αξιολόγηση γίνεται με τη λογική ότι όσο περισσότερες απώλειες πολιτών συνέβαιναν τόσο μεγαλύτερη και η επίπτωσή τους, παρέχοντας τις εξής επιλογές: 0 (0), 1 (40), <5 (60), 5 έως 10 (80), >10 (100). Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα καταγράφηκαν πάρα πολλοί θάνατοι από πυρκαγιές, άλλοι από εγκλωβισμούς σε οικίες ή στο οδικό δίκτυο, άλλοι από ασφυξία ή παθολογικές καταστάσεις που εκδηλώθηκαν με την πυρκαγιά και άλλοι από τραυματισμούς κατά την προσπάθεια διαφυγής. Η εγκατάλειψη της υπαίθρου και η έντονη διείδυση της βλάστησης εντός αγροτικών οικισμών έχουν ως αποτέλεσμα την είσοδο της πυρκαγιάς μέσα σε κατοικημένες περιοχές (Ικαρία 1993, Χαραυγή Ιωαννίνων 2000 και Ηλεία 2007). Στον Πίνακα 8.17 παρουσιάζονται οι πυρκαγιές που προκάλεσαν απώλειες τα τελευταία 30 έτη.

Πίνακας 8.17: Ανθρώπινες απώλειες κατά τη διάρκεια περιστατικών δασικών πυρκαγιών των τελευταίων 30 ετών

Περιστατικό	Απώλειες πολιτών
Κασσάνδρα Χαλκιδικής 2006	1
Ρέθυμνο 2010	1
Αίγιο Αχαΐας 2007	3
Αρεόπολη Λακωνίας 2007	5
Εύβοια 2007	6
Αρκαδία 2007	7
Χαραυγή 2000	11
Ικαρία 1993	13
Ηλεία 2007	34

8.2.5.2. Απώλειες Μαχίμων και Στελεχών της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας – Ε.2.

Το κριτήριο Ε.2 καταγράφει τις απώλειες μαχίμων και στελεχών της ΠΥ Ελλάδος που σκοτώθηκαν κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων καταστολής πυρκαγιών. Από το 1998, με την ανάληψη της δασοπυρόσβεσης από την ΠΥ, μέχρι και το 2012 υπήρξαν 31 θύματα, αριθμός πολύ αυξημένος σε σχέση με το παρελθόν (από το 1911 μέχρι και το 2012 ο συνολικός αριθμός των θυμάτων ανέρχεται σε 51). Πολλά από αυτά τα θύματα έχασαν τη ζωή τους σε περιστατικά εντός πόλεων. Στον Πίνακα 8.18 παρατίθενται αποκλειστικά τα περιστατικά δασικών πυρκαγιών που προκάλεσαν απώλειες, καθώς και την αιτία θανάτου. Επιπλέον, σε όσους μάχιμους υπηρετούσαν στο έδαφος και έχασαν τη ζωή τους πρέπει να προστεθούν και όσοι πιλότοι έπεσαν εν ώρα καθήκοντος με εναέρια μέσα (Πίνακας 8.19). Οι απώλειες μαχίμων, πέρα από την τραγωδία σε συγγένειες, συναδέλφους και οικείους έχει μια επιπλέον δευτερεύουσα διάσταση που είναι η απώλεια εκπαιδευμένων στελεχών, στα οποία για την απόκτηση εμπειρίας δαπανήθηκαν σημαντικά ποσά και χρόνος από το κράτος, γεγονός που είναι ακόμα εντονότερο στις περιπτώσεις των πιλότων. Για την αξιολόγηση υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: 0 (0), 1 (40), 2 έως 3 (60), 4 έως 5 (80), >5 (100).

Πίνακας 8.18: Απώλειες μαχίμων πυροσβεστών κατά τη διάρκεια πυροσβεστικής αποστολής γνωστών περιστατικών πυρκαγιών

Περιστατικό	Απώλειες μάχιμων	Αιτία
Καλλιθέα Δήμου Πρεσπών 2011	1	ανατροπή οχήματος
Ανατολική Μάνη Λακωνία 2011	1	ανατροπή οχήματος
Άνω Αρχανές Ηράκλειου Κρήτης 2011	1	ανατροπή οχήματος
Αρεόπολη Λακωνίας 2007	1	στην κατάσβεση
Ταΰγετος 2000	1	τραυματισμός
Ανθούπολη Πάτρας 1982	1	τραυματισμός
Εύβοια 2007	2	στην κατάσβεση
Χίος 1999	2	στην κατάσβεση
Βάρη 1999	2	ανατροπή οχήματος
Ζαχάρω Ηλείας 2007	3	στην κατάσβεση
Δοξαρό Ρεθύμνου 2007	3	στην κατάσβεση
Καρέα 1998	4	στην κατάσβεση

8.2.5.3. Αριθμός Τραυματιών – Ε.3.

Το κριτήριο Ε.3 καταγράφει τον αριθμό των τραυματιών από την εκδήλωση της πυρκαγιάς. Για την αξιολόγησή του υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: 0 (0), 1 (10), <5 (20), <10 (40), 10-20 (60), 20-30 (80), >30 (100). Ο αριθμός των τραυματιών αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο εκτίμησης της επίδρασης της πυρκαγιάς στις κοινωνίες. Όσο περισσότεροι τραυματίες υπάρχουν έπειτα από ένα περιστατικό, τόσο περισσότερο προκύπτει η αίσθηση της αναποτελεσματικότητας των προσπαθειών καταστολής αλλά και της έντασης του φαινομένου. Πολλοί τραυματισμοί προκύπτουν είτε στις λανθασμένες επιλογές διαφυγής και διαχείρισης της κατάστασης, είτε σε υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων, είτε σε αδυναμία αντίδρασης απέναντι στις φλόγες. Τραυματισμοί προκύπτουν πολλές φορές και στα συνεργεία καταστολής της πυρκαγιάς, είτε λόγω ελλιπής εκπαίδευσης (π.χ. εθελοντικά σώματα), είτε λόγω δυσμενών συνθηκών, είτε λόγω λανθασμένης κρίσης. Ανεξαρτήτως του τρόπου που προκύπτουν, οι τραυματισμοί είναι μια δυσμενής επίπτωση της πυρκαγιάς η

οποία προκαλεί πόνο και δυστυχία σε ανθρώπους, αφήνει μόνιμα ή μη σημάδια, και έχει ένα αυξημένο κόστος νοσηλίων για κάθε επιπλέον τραυματία, ιδιαίτερα όταν πρέπει να εφαρμοστούν πρακτικές αποκατάστασης (εγκαύματα, αναπνευστικά προβλήματα, ακρωτηριασμοί κ.α.). Οι τραυματισμοί είναι πολύ συχνό φαινόμενο και προκαλούνται ακόμα και από μικρής έκτασης και έντασης περιστατικά. Οι περισσότεροι τραυματισμοί δεν είναι σοβαροί, και σε πολλά περιστατικά κατά τη διάρκεια κάθε αντιπυρικής περιόδου προκύπτουν από ένας έως και πέντε τραυματίες. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις μπορούν να συμβούν έως και 20 τραυματισμοί, ενώ σε περιπτώσεις μεγα-πυρκαγιών όπως αυτές του 2007 μπορούν να ξεπεράσουν τους 30.

8.2.5.4. Κατεστραμμένα Χερσαία Μέσα Πυρόσβεσης – E.4.

Το κριτήριο E.4 αξιολογεί τις καταστροφές χερσαίων μέσων πυρόσβεσης που μπορούν να σημειωθούν κατά την κατάσβεση της πυρκαγιάς, ανεξάρτητα με το σε ποια υπηρεσία ανήκουν και ποιος είναι ο ιδιοκτήτης τους. Για την αξιολόγησή του υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: 0 (0), 1 (20), 2 (40), 3 (60), 4 έως 5 (80), >5 (100). Το κόστος των οχημάτων είναι υψηλό και ακόμα και το πιο απλό όχημα μπορεί να κοστίζει από 10.000, έως και δεκάδες χιλιάδες ευρώ με τον εξοπλισμό του. Η καταστροφή των οχημάτων πολλές φορές επιφέρει και τον θάνατο του προσωπικού που τα χειρίζεται. Παρόλο που υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα (υπολογίζεται ότι είναι ενεργά άνω των 1.700 οχημάτων διαφόρων τύπων στη διάθεση της ΠΥ) και οι απώλειες τους δεν είναι δυσαναπλήρωτες, εν τούτοις, παραμένει πάντα μια σημαντικού τύπου απώλεια.

8.2.5.5. Κατεστραμμένα Εναέρια Μέσα Πυρόσβεσης – E.5.

Το κριτήριο E.5 καταγράφει τις απώλειες και καταστροφές εναέριων μέσων πυρόσβεσης, ενώ είναι μια από τις πλέον δαπανηρές απώλειες μέσων που μπορεί να σημειωθεί κατά τη διάρκεια ενός περιστατικού πυρκαγιάς. Για την αξιολόγησή του υπάρχουν διαθέσιμες οι εξής επιλογές: 0 (0), 1 (60), 2 (80), >2 (100). Πέρα από το υψηλό κόστος απόκτησης και συντήρησης των αεροσκαφών, το οποίο ουσιαστικά χάνεται με μια πτώση, προκαλούνται θάνατοι των πιλότων τους οι οποίοι συνήθως δύσκολα μπορούν να διαφύγουν από μια πτώση λόγω του χαμηλού ύψους πτήσης και των δυσμενών εν γένει συνθηκών σε μια πυρκαγιά. Στην Ελλάδα, τα τελευταία 40 έτη έχουν απολεσθεί εννέα πυροσβεστικά αεροπλάνα τύπου PZL (Mielec) M-18B "Dromader" και Canadair CL-215 και CL-415, ενώ αξιοσημείωτη είναι και η πτώση του ελικοπτερου UH-1H της αεροπορίας στρατού κατά την οποία βρήκαν το θάνατο 10 μάχιμοι. Τα PZL (Mielec) M-18B "Dromader" είναι μονοκινητήρια ελικοφόρα αεροσκάφη αγροτικών εφαρμογών. Η Ελλάδα αγόρασε 30 PZL στις αρχές της δεκαετίας του 1980, τα οποία υπηρετούν στην 359 ΜΑΕΔΥ με αποστολή την πυρόσβεση. Θεωρούνται κατάλληλα για τη μορφολογία του ελληνικού εδάφους καθώς μπορούν να προσεγγίσουν δύσβατες ορεινές εκτάσεις με κλίσεις έως και 60%. Μπορούν να μεταφέρουν έως 2.500 λίτρα υγρού φορτίου.

Το Bombardier (πρώην Canadair) CL-415 (SuperScooper) είναι ένα Καναδικό αμφίβιο αεροσκάφος, ειδικά σχεδιασμένο για ρόλους αεροπυρόσβεσης. Είναι το μόνο αεροσκάφος σχεδιασμένο και κατασκευασμένο αποκλειστικά για αυτόν το ρόλο και βασίζεται στο CL-215 της ίδιας εταιρίας. Το CL-415 έχει ικανότητα υδροληψίας μέχρι 6.140 λίτρα νερού από υδάτινες επιφάνειες (θάλασσες, λίμνες), επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία χωρίς να χρειάζεται να επιστρέψει στη βάση του για ανεφοδιασμό. Στον Πίνακα 8.19 φαίνονται όλες οι απώλειες αεροσκαφών σε συγκεκριμένα περιστατικά πυρκαγιών, καθώς και οι απώλειες πιλότων που προκάλεσαν.

Πίνακας 8.19: Ανθρώπινες απώλειες σε αεροπορικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια προορβεστικής αποστολής γνωστών περιστατικών πυρκαγιάς

Περιστατικό	Απώλειες μάχιμων	Τύπος Αεροσκάφους	Κωδ.	Μονάδα
Καμένα Βούρλα 1991	0	PZL M.18	-	-
Κεφαλονιά 2009	1	PZL M.18	1122	-
Παλιοκαστρίτσα Κέρκυρας 2000	1	PZL M.18	-	-
Μυτιλήνη 2003	1	PZL M.18	-	-
Στύρα Ευβοίας 2007	2	CL-415 MP	2055	383MEEA
Πήλιο 2000	2	cl 215	1048	355MTM
Άνω Ροδίνη Αχαΐας 1993	2	cl 215	1064	355MTM
Ελευσίνα 1984	2	cl 215	1015	355MTM
Ίσθμια Κορινθίας 1977	3	cl 215	1042	355MTM
Τερνιθέα Δράμας 1994	10	UH-1H	633	Ε/Π ΕΣ 633

8.2.5.6. Αξιολόγηση των Απωλειών και Τραυματισμών για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Στην υπό εξέταση πυρκαγιά δεν σημειώθηκε καμία απώλεια, άρα οι τιμές και των πέντε κριτηρίων είναι μηδενικές. Ως αποτέλεσμα, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι **0 / 100**.

8.2.6. Καταστροφές (ΣΤ)

Η κατηγορία Καταστροφές περιλαμβάνει κριτήρια που αφορούν στο κοινωνικοοικονομικό πεδίο εκτίμησης των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών, ιδιαίτερα όταν εμπεριέχονται καταστροφές της παρουσίας των πολιτών. Οι καταστροφές είναι σε άμεση συνάφεια με τις επιπτώσεις που προκαλούνται στην οικονομία και η προσέγγιση της αξιολόγησής τους πρέπει να εμπεριέχει και τις οικονομικές προεκτάσεις τους. Επιπλέον, σχετίζονται άμεσα και με το διαδεδομένο ορισμό «αξίες σε κίνδυνο, Values At Risk-VAR» που χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ για να καταδείξει τι πραγματικά έχει αξία για την κοινωνία και πρέπει να προστατευτεί (Calkin *et al.* 2007). Οι αξίες αυτές μπορεί να είναι τόσο υλικές (υποδομές, οικίες, μνημεία κ.α.), όσο και άυλες (αισθητική αξία, αναψυχή, χώροι πολιτισμικής αξίας κ.α.). Ως αποτέλεσμα, η μεταπυρκαγιά αξιολόγηση της κατηγορίας πρέπει να περιλαμβάνει τη συνεκτίμηση όσο δυνατόν περισσότερων αξιών ή περιουσιακών στοιχείων που μπορούν να πληγούν από μια πυρκαγιά, επικεντρωμένη σε υλικές αξίες οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν και με οικονομικούς όρους. Οι άυλες αξίες συνεκτιμώνται στις κατηγορίες επιπτώσεων Τοπίου και Εδαφοκάλυψης και Ευρύτερου Περιβάλλοντος.

Τα τελευταία έτη έχουν σημειωθεί εκτεταμένες καταστροφές σε κάθε είδους αξία ή υποδομή, καταδεικνύοντας ότι τίποτα δεν είναι άτρωτο αν η συμπεριφορά της φωτιάς ξεπεράσει κάποια όρια. Για την αξιολόγηση των κριτηρίων αυτής της κατηγορίας πρέπει να ληφθεί υπόψη η ζημιά που έχει προκληθεί, η οποία εκτιμάται είτε στο επίπεδο σημαντικότητας των ζημιών (μνημεία), είτε στην εκτίμηση του κόστους των προκληθέντων ζημιών (μονεταριστική προσέγγιση). Η κατηγορία περιλαμβάνει 11 κριτήρια στα οποία εκτιμώνται οι ζημιές σε εγκαταστάσεις/ υποδομές, μνημεία, περιουσιακά στοιχεία και βιοποριστικές υποδομές, ενώ δίνονται δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Υπήρξαν καταστροφές σε οικίες, στάβλους, αποθήκες;
- Καταστράφηκε κινητή δημόσια ή ιδιωτική περιουσία;
- Υπήρξαν καταστροφές στα δίκτυα ηλεκτρισμού, υδροδότησης και τηλεπικοινωνιών;

- Υπήρξε καταστροφή στρατιωτικού υλικού/ πυρομαχικών και εγκαταστάσεων;
- Υπήρξε καταστροφή σε εργοστάσια, υποδομές ΑΠΕ και αποθήκες βιομηχανικών προϊόντων;
- Υπέστη φθορές ή καταστροφές το δίκτυο μεταφορών;
- Καταστράφηκαν αγροτικές ή κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής;
- Υπέστησαν φθορές σημαντικά πολιτισμικά μνημεία;

8.2.6.1. Καμένες Οικίες – ΣΤ.1.

Στο κριτήριο ΣΤ.1 η αξιολόγηση του κριτηρίου γίνεται βάση του απόλυτου αριθμού οικιών που κάηκαν από το περιστατικό, παρέχοντας τις εξής επιλογές: 0 (0), 1 (10), 3 (20), 5 (40), <10 (80), >10 (100). Η καταστροφή σε οικίες προκαλείται από την ανάφλεξη της φυτικής καύσιμης ύλης που βρίσκεται είτε στην επιφάνεια του εδάφους, είτε μέσω κλαδιών που βρίσκονται από πάνω τους, είτε μέσω πετάγματος καυρών εντός της οικίας ή σε εύφλεκτα υλικά περιμετρικά της. Προκειμένου να προστατευθούν τα πάσης φύσεως κτίσματα που βρίσκονται στην ύπαιθρο ή εντός δασών και δασικών εκτάσεων, πρέπει να γίνεται περιμετρικός καθαρισμός σε απόσταση τουλάχιστον 10 m και κλάδεμα όλων των δένδρων μέχρι ύψους 3 m γύρω από τα κτίσματα, καθώς επίσης και καθαρισμός της στέγης και της υδροροής τους. Επειδή όμως αυτοί οι καθαρισμοί δεν συμβαίνουν, πολύ συχνά σημειώνονται καταστροφές. Όσες οικίες βρίσκονται εντός των ορίων της ζώνης WUI ή είναι απομονωμένες εντός δασωμένων εκτάσεων, διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο να πληγούν κάποια στιγμή από μια μελλοντική πυρκαγιά.

Η καταστροφή οικιών επιφέρει ψυχολογικές συνέπειες στους πολίτες, οικονομικές απώλειες για τους ιδιοκτήτες και καταβολή αποζημιώσεων από το κράτος ή τις ασφαλιστικές εταιρείες. Οι πυρκαγιές που προκαλούνται κοντά σε οικισμούς, παραθεριστικές περιοχές και περιαστικά δάση είναι αυτές που προκαλούν συχνότερα καταστροφές οικιών. Μετά την ολοκλήρωση της καταγραφής των ζημιών από τις πυρκαγιές του καλοκαιριού του 2007, γνωστοποιήθηκε ότι 847 κατοικίες σε επτά νομούς της χώρας υπέστησαν ολοκληρωτική καταστροφή, ενώ επιπλέον 672 κατοικίες υπέστησαν μερική καταστροφή και κρίθηκαν επισκευάσιμες. Ολική καταστροφή υπέστησαν 41 δημόσια κτήρια, εκκλησίες και επαγγελματικές στέγες, καθώς και 817 στάβλοι, αποθήκες και κτήρια λοιπών χρήσεων.

8.2.6.2. Αριθμός Καμένων Στάβλων, Αποθηκών, Βοηθητικών Χώρων – ΣΤ.2.

Στο κριτήριο ΣΤ.2 καταμετράται ο απόλυτος αριθμός καμένων στάβλων, αποθηκών, βοηθητικών χώρων κτλ., οι οποίοι αξιοποιούνταν για την κάλυψη οικιακών/ οικογενειακών αναγκών και όχι για κάποια επαγγελματική δραστηριότητα. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: 0 (0), 1 (10), 3 (20), 5 (40), <10 (60), <20 (80), >20 (100). Τέτοιοι βοηθητικοί χώροι βρίσκονται διάσπαρτοι συχνά στην Ελληνική ύπαιθρο και εξυπηρετούν πλείστες ανάγκες και δραστηριότητες, ιδιαίτερα σε αγροτικές/ ημιαστικές περιοχές. Λόγω της χωροθέτησής τους στα περίξ των οικιών και εντός του αύλειου χώρου τους, πολύ συχνά καταστρέφονται είτε λόγω αμέλειας (π.χ. αποθήκευση εύφλεκτων υλικών ή καύσιμης ύλης), είτε λόγω της μη λήψης των κατάλληλων προστατευτικών μέτρων. Δεν προκαλούνται σημαντικές ψυχολογικές πιέσεις από την καταστροφή τέτοιων κτηρίων, συχνά όμως υπάρχει ένα σημαντικό οικονομικό κόστος από την απώλεια των αποθηκευμένων αντικειμένων, καθώς και για την αποκατάστασή τους.

8.2.6.3. Καταστροφές σε Σημαντικά Μνημεία– ΣΤ.3.

Στο κριτήριο ΣΤ.3 αξιολογούνται οι καταστροφές που μπορεί να επέλθουν σε μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς, σε ιστορικά μνημεία (>200 έτη) και σε νεότερα μνημεία (<200 έτη). Για την αξιολόγηση του πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η καταστροφή της αισθητικής αξίας των μνημείων, ιδιαίτερα αν συνδέονται με κάποιο δάσος (π.χ. Κρόνιος Λόφος στην Ολυμπία κατά το 2007) ή συγκεκριμένο είδος βλάστησης. Σε περίπτωση που καταστραφεί ή υποστεί ζημιές κάποιο μνημείο, τότε οι επιπτώσεις θεωρούνται μεγάλες και λαμβάνουν υψηλή βαθμολογία (>60). Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Νεότερα Μνημεία (<200 έτη) (60), Ιστορικά Μνημεία (>200 έτη) (80), Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς (100).

Η Ελλάδα είναι μια χώρα όπου χιλιάδες μνημεία βρίσκονται διάσπαρτα στην επικράτεια της. Τα μνημεία αυτά μπορεί να είναι προϊστορικά, αρχαϊκά, ελληνιστικά, ρωμαϊκά, βυζαντινά ή νεότερα. Πολλά από αυτά διατηρούν ακόμα τη λειτουργία τους, ιδίως βυζαντινά και νεότερα θρησκευτικά μνημεία. Η ιδιαιτερότητα τους έγκειται στο ότι είναι πολλές φορές είναι οροθετημένα σε ιερούς τόπους, οι οποίοι συνήθως είναι θέσεις ή περιοχές κυριαρχίας της άγριας βλάστησης και ζωής. Ως αποτέλεσμα, πολλά από αυτά παρουσιάζουν αυξημένη επικινδυνότητα από περιστατικά πυρκαγιών. Συχνά καίγονται εξωκλήσια και θρησκευτικά μνημεία, ενώ η φωτιά του Άγιου Όρους του 2012 απείλησε σοβαρά την Ιερά Μονή Χιλανδαρίου. Πέρα από τις καταστροφές και φθορές σε σημαντικά θρησκευτικά μνημεία, η φωτιά μπορεί να απειλήσει και σημαντικότερα μνημεία τα οποία έχουν παγκόσμια αναγνώριση. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι η φωτιά που έκαψε τμήμα της αρχαίας Ολυμπίας το 2007. Η φωτιά έθεσε σε άμεσο κίνδυνο τον αρχαιολογικό θησαυρό της περιοχής. Μετά την καταστροφή των παροχών ηλεκτρισμού προς τις αντλίες νερού του πυροσβεστικού συστήματος του χώρου, η φωτιά κατέκαψε το περιβάλλον δάσος και κατεστάλη μόνο όταν συγκεντρώθηκε μεγάλη πυροσβεστική δύναμη στο χώρο. Η επέμβαση της πυροσβεστικής δεν πρόλαβε όμως να αποτρέψει καταστροφές στον Κρόνιο Λόφο και στον αύλειο χώρο του μουσείου και του αρχαιολογικού χώρου.

8.2.6.4. Καταστροφές σε Κινητή Περιουσία (Οχήματα/ Μηχανήματα) – ΣΤ.4.

Στο κριτήριο ΣΤ.4 υπολογίζονται οι καταστροφές που μπορεί να επέλθουν στην κινητή περιουσία του δημοσίου ή ιδιωτών, και αφορά κυρίως στα μηχανοκίνητα οχήματα (αυτοκίνητα, μηχανάκια, τροχόσπιτα, αγροτικά μηχανήματα, φορτηγά, χωματουργικά μηχανήματα, σκάφη αναψυχής και βάρκες κ.α.). Οι διαθέσιμες επιλογές είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<15.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<30.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<100.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>200.000 €) (100). Πολύ συχνά, οχήματα παντός είδους καίγονται από τις φλόγες, είτε λόγω αδυναμίας προσέγγισής τους κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, είτε λόγω αδυναμίας μετακίνησής τους. Τα οχήματα αυτά μπορεί να είναι στο δρόμο και να τα προλάβει η πυρκαγιά, σε αύλειους χώρους ή στην ύπαιθρο. Η καταστροφή αφορά κυρίως στους ιδιοκτήτες των οχημάτων οι οποίοι θα κληθούν να τα επισκευάσουν/ αντικαταστήσουν, δίχως να εμπίπτουν σε κάποια κατηγορία αποζημίωσης αν δεν υπάρχει σχετική ασφαλιστική μέριμνα. Η βαθμολόγηση του κριτηρίου πρέπει να γίνει βάσει της αγοραίας αξίας των οχημάτων, κάνοντας μια εκτίμηση για αυτή. Αν για παράδειγμα καούν δύο Ι.Χ. αυτοκίνητα το κόστος είναι ελάχιστο ή μικρό (<20.000 ευρώ), ενώ αν καούν 10 μεγάλα αγροτικά μηχανήματα τότε το κόστος μπορεί να είναι υψηλό (>200.000 €).

8.2.6.5. Καταστροφές στο Ηλεκτρικό Δίκτυο – ΣΤ.5.

Στο κριτήριο ΣΤ.5 εκτιμώνται οι καταστροφές που προκαλούνται στο ηλεκτρικό δίκτυο, παρέχοντας τις εξής επιλογές: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<15.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<30.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<100.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>200.000 €) (100). Έχει αποδειχτεί ότι πολλές πυρκαγιές ξεκινούν από ηλεκτροφόρα καλώδια, μετασηματιστές ή άλλα τμήματα που αποτελούν το ηλεκτρικό δίκτυο κάθε περιοχής. Εκτός όμως από σημαντικός παράγοντας πρόκλησης νέων αναφλέξεων, το ηλεκτρικό δίκτυο συχνά πλήττεται από τις πυρκαγιές με αποτέλεσμα τη μερική ή ολική καταστροφή του εντός των καμένων εκτάσεων. Είναι συχνό φαινόμενο στην Ελλάδα τα ηλεκτροφόρα καλώδια και οι στύλοι που τα συγκρατούν να βρίσκονται εντός δασών ή δασικών εκτάσεων, καθιστώντας τα έτσι ιδιαίτερα ευάλωτα και επικίνδυνα συγχρόνως. Σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν δέντρα κοντά σε αυτό, τότε συνήθως οι ζημιές είναι μικρής κλίμακας (π.χ. σε αγρούς ή φρυγανότοπους). Μετά από μια πυρκαγιά, συνεργεία σπεύδουν για την αποκατάσταση της ηλεκτροδότησης. Για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου πρέπει να γίνει εκτίμηση του πόσο σημαντικές ήταν οι ζημιές, καθώς και του χρόνου που απαιτείται για την αποκατάστασή τους. Η πληροφορία αυτή μπορεί να αποκτηθεί από επικοινωνία με το τοπικό παράρτημα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία είναι και υπεύθυνη για την καταγραφή των ζημιών και την αποκατάστασή τους.

8.2.6.6. Καταστροφές στο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο – ΣΤ.6.

Στο κριτήριο ΣΤ.6 εκτιμώνται οι ζημιές που μπορούν να προκληθούν στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, το οποίο περιλαμβάνει γραμμές τηλεφωνίας, υποσταθμούς, κεραίες τηλεπικοινωνιών, υποδομές διαδικτύου, αναμεταδότες κ.α. Η βαθμολόγηση του κριτηρίου πρέπει να γίνεται βάσει των καταγραφών της ΠΥ για τις καταστροφές που προκλήθηκαν στο δίκτυο, ενώ από τις εταιρείες μπορεί να προκύψουν πληροφορίες σχετικές με το κόστος τους. Οι διαθέσιμες επιλογές του κριτηρίου είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<15.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<30.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<100.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>200.000 €) (100).

Λόγω της φύσης του δικτύου, πολλές από τις διεργασίες του πλέον εκτελούνται ασύρματα μέσω αναμεταδοτών, μειώνοντας ή εξαλείφοντας την ανάγκη για στύλους υποστήριξης και καλώδια. Παρόλα αυτά, σε πολλές περιοχές της Ελλάδος υπάρχει ακόμα συμβατικό τηλεφωνικό δίκτυο το οποίο διέρχεται από σημεία υψηλής επικινδυνότητας. Επιπλέον, πολλοί αναμεταδότες, κεραίες και υποσταθμοί βρίσκονται σε κορυφές λόφων ή βουνών οι οποίες περικλείονται από δασική βλάστηση. Οι ζημιές σε αυτές τις υποδομές μπορεί να είναι πολύ υψηλού κόστους σε περίπτωση που καούν, ως εκ τούτου, οι εταιρείες που τα διαχειρίζονται συνήθως φροντίζουν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας τους. Το δίκτυο αυτό αποτελείται σε συντριπτική πλειοψηφία από υποδομές που ανήκουν σε ιδιωτικές εταιρείες, γεγονός που σημαίνει ότι σε περίπτωση ζημίας δεν επιβαρύνεται ο κρατικός προϋπολογισμός αλλά οι ιδιοκτήτες ή οι ασφαλιστικές εταιρείες.

8.2.6.7. Καταστροφές στο Δίκτυο Υδροδότησης – ΣΤ.7.

Στο κριτήριο ΣΤ.7 καταγράφονται οι ζημιές που προέκυψαν στο δίκτυο υδροδότησης, τόσο στην υποδομή μεταφοράς των υδάτων, όσο και σε βασικές επικουρικές υποδομές (υποσταθμούς, αντλιοστάσια, γεωτρήσεις, δεξαμενές κ.α.) που χρησιμοποιούνται για την άντληση ή αποθήκευση του νερού. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<15.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<30.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<100.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>200.000 €) (100).

Στη βαθμολόγηση αυτού του κριτηρίου πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι ενέργειες που απαιτούνται να διεξαχθούν (με το αντίστοιχο κόστος), ώστε η ποιότητα του ύδατος να επανέλθει σε κανονικά και επιτρεπτά επίπεδα για κατανάλωση (π.χ. μέσω φιλτραρίσματος). Είναι πολύ συχνό φαινόμενο στην Ελλάδα, και κυρίως σε μη αστικές περιοχές, η μεταφορά του νερού να γίνεται μέσω πλαστικών σωλήνων οι οποίοι συχνά είναι παράλληλοι με το οδικό δίκτυο, διερχόμενοι από περιοχές όπου είναι πολύ εύκολο να καούν. Το φαινόμενο της μεταφοράς του ύδατος με τέτοιους σωλήνες είναι συχνό σε περιοχές με παραθεριστικές ή μεμονωμένες κατοικίες, αγροτικές εκτάσεις και χωριά. Από την πυρκαγιά και τα υποπροϊόντα της καύσης μπορεί να προκύψει και μόλυνση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, γεγονός που απαιτεί την παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος έως ότου αποκατασταθεί η ποιότητα τους. Λόγω της φύσης του δικτύου, οι καταστροφές σε αυτό είναι πάρα πολύ συχνές, αν και το κόστος αποκατάστασης μπορεί να χαρακτηριστεί μέτριο ως μικρό. Πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος των ζημιών μπορούν να αντληθούν από τις τοπικές εταιρείες ύδρευσης που έχουν και την ευθύνη του δικτύου. Πρέπει να διερευνηθεί και τυχόν ύπαρξη βλαβών ή καταστροφών στις βασικές επικουρικές υποδομές του δικτύου, αν και η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο είναι μικρή.

8.2.6.8. Καταστροφές ή Ζημιές στο Δημόσιο Δίκτυο Μεταφορών – ΣΤ.8.

Στο κριτήριο ΣΤ.8 εκτιμώνται οι καταστροφές ή ζημιές στο δημόσιο δίκτυο μεταφορών, υπολογίζοντας το κατά πόσο μπορεί να γίνει ομαλά η κυκλοφορία των οχημάτων μετά το περιστατικό πυρκαγιάς, αλλά και τα ποσά που απαιτούνται για την αποκατάστασή του. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<15.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<30.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<100.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>200.000 €) (100). Οι ζημιές που μπορούν να προκληθούν στο οδικό δίκτυο είναι συνήθως μικρού κόστους, και περιλαμβάνουν την πτώση δέντρων ή μπάζων, προκαλώντας καταστροφές σε τμήματα του οδοστρώματος, παράσυρση εδαφών, πιθανές καθιζήσεις και διάβρωση πάνω σε σημεία που περνάει το δίκτυο. Μετά την πυρκαγιά εντοπίζονται τα σημεία που προκλήθηκαν αυτές οι καταστροφές και ενημερώνονται οι αρμόδιες δημοτικές υπηρεσίες για την αποκατάσταση της κυκλοφορίας και την επαναφορά του οδοστρώματος σε καλή κατάσταση. Στην αξιολόγηση πρέπει να περιλαμβάνεται και το κόστος διάνοιξης νέων δρόμων και συντήρησης των υπάρχοντων.

8.2.6.9. Καταστροφές στρατιωτικού υλικού/ πυρομαχικών και εγκαταστάσεων – ΣΤ.9.

Στο κριτήριο ΣΤ.9 εκτιμώνται οι καταστροφές στρατιωτικού υλικού/ πυρομαχικών και εγκαταστάσεων (καταστροφή, απενεργοποίηση και πρόκληση ζημιών), ενώ περιλαμβάνονται και οι δεξαμενές και χώροι φύλαξης στρατιωτικών καυσίμων. Για τη βαθμολόγηση αυτού του κριτηρίου πρέπει να γίνει εκτίμηση του κατά πόσον επλήγησαν οι στρατιωτικές υποδομές, με εκτίμηση του κόστους που θα απαιτηθεί για την αποκατάσταση των ζημιών ή το κόστος απώλειας των υλικών. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<50.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<100.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<200.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>300.000 €) (100).

Το σύνολο των υποδομών και υλικών αυτού του κριτηρίου ανήκει στις Ελληνικές Ένοπλες Δυνάμεις που θεωρούνται μέρος της κρατικής υποδομής. Δεν περιλαμβάνονται όσα οχήματα ή αεροσκάφη συμμετέχουν στις δυνάμεις καταστολής της πυρκαγιάς επειδή εμπίπτουν στην κατηγορία «Απώλειες και Τραυματισμοί». Το κόστος που μπορεί να προκληθεί σε αυτές από τις πυρκαγιές μπορεί να είναι υπερβολικά υψηλό, οδηγώντας όχι μόνο σε απώλειες υλικού και υποδομών, αλλά και ανθρώπινων ζωών, ενώ επιπλέον μπορεί να επέλθει πλήγμα στην άμυνα και ασφάλεια της χώρας. Οι Ελληνικές Ένοπλες Δυνάμεις

μεριμνούν ώστε οι χώροι αποθήκευσης και φύλαξης όπλων, πυρομαχικών και καυσίμων να είναι καθαροί από καύσιμη ύλη, ενώ οι χώροι εντός των στρατοπέδων χαρακτηρίζονται ως χαμηλού κινδύνου. Παρόλα αυτά, πολλές φορές απειλήθηκαν στρατιωτικοί χώροι και εγκαταστάσεις, είτε λόγω της υψηλής έντασης της πυρκαγιάς, είτε λόγω του ότι οι εγκαταστάσεις ήταν απομονωμένες εντός δασικών εκτάσεων (π.χ. φυλάκια).

8.2.6.10. Καταστροφές σε Εργοστάσια, Υποδομές ΑΠΕ και Αποθήκες Βιομηχανικών Προϊόντων – ΣΤ.10.

Στο κριτήριο ΣΤ.10 γίνεται εκτίμηση των καταστροφών σε εργοστάσια, υποδομές ΑΠΕ και αποθήκες βιομηχανικών προϊόντων, διερευνώντας κατά πόσο έχουν πληγεί παραγωγικές υποδομές ή χώροι αποθήκευσης. Για τη βαθμολόγηση του πρέπει να τεκμηριωθεί ότι υπάρχει ζημιά στη διαδικασία παραγωγής ή έχει καταστραφεί αποθηκευμένο προϊόν, ενώ για την εκτίμηση του κόστους πρέπει να δοθούν πληροφορίες από τους ιδιοκτήτες τους, ενώ σε διαφορετική περίπτωση πρέπει γίνει σχετική εκτίμηση του. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<50.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<100.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<200.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>300.000 €) (100).

Με τον όρο εργοστάσια εννοούνται όλες οι υποδομές που έχουν είτε γραμμές παραγωγής, είτε αποτελούν χώρους δημιουργίας αγαθών. Δεν περιλαμβάνονται οι αγροτικές/κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, παρά μόνο όσες έχουν οργανωμένη βιομηχανική δομή, όπως πτηνοτροφεία, βιομηχανικά βουστάσια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.α. Επίσης, η καταστροφή μηχανημάτων και κεφαλαίου (ολική ή μερική) θεωρείται ότι εμπίπτει σε αυτό το κριτήριο. Ακόμα, πρέπει να διερευνηθεί το κατά πόσο επλήγησαν αποθήκες στις οποίες φυλάσσονται προϊόντα. Οι ζημιές που μπορεί να δημιουργηθούν αν πληγούν τέτοιες εγκαταστάσεις μπορεί να είναι πάρα πολύ μεγάλες, βαραίνοντας κυρίως τους ιδιοκτήτες και τις ασφαλιστικές εταιρείες. Επιπλέον, το κοινωνικό κόστος μπορεί να είναι πολύ υψηλό καθώς πολλά άτομα μπορεί να χάσουν την εργασία τους.

Στο κριτήριο εντάσσονται και οι υποδομές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) οι οποίες είναι πλέον διάσπαρτες στην ύπαιθρο της Ελλάδας, ενώ πολλές εγκαταστάσεις βρίσκονται εντός δασών ή δασικών εγκαταστάσεων. Κατά κανόνα, οι υποδομές ΑΠΕ έχουν εφαρμόσει τα απαραίτητα μέτρα και κανονισμούς πυροπροστασίας επειδή θεωρούνται βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Όμως, υπό ακραίες συνθήκες μπορεί να προκληθούν ζημιές σε βοηθητικές υποδομές, ή ακόμα και μερική/ολική ζημιά στις ίδιες τις εγκαταστάσεις. Το κόστος των υποδομών ΑΠΕ είναι πάρα πολύ υψηλό, ως αποτέλεσμα οι ιδιοκτήτες τους θα αναγκαστούν να καταβάλλουν μεγάλα χρηματικά ποσά για την αποκατάσταση τους, ενώ σε συνδυασμό με το ότι το κράτος έχει επιδοτήσει πολλά από αυτά τα έργα και οι τράπεζες έχουν δανειοδοτήσει τη δημιουργία τους, οι ζημιωμένοι είναι πολλοί περισσότεροι.

8.2.6.11. Επίδραση της Πυρκαγιάς σε Γεωργικές – Κτηνοτροφικές Εγκαταστάσεις – ΣΤ.11.

Το κριτήριο ΣΤ.11 αφορά στην επίδραση της πυρκαγιάς σε γεωργικές-κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (<50.000 €) (10), Μικρό Κόστος (<100.000 €) (20), Μέτριο Κόστος (<200.000 €) (60), Σημαντικές Ζημιές Υψηλού Κόστους (>300.000 €) (100). Σε αυτή την κατηγορία δεν περιλαμβάνονται οι οικιακοί στάβλοι, αποθήκες, κοτέτσια, ούτε και οι βιομηχανικού τύπου εγκαταστάσεις παραγωγής αγροτικών-κτηνοτροφικών προϊόντων. Στη μελέτη του Στάμου (2008) διαπιστώθηκε ότι ο μέσος όρος των κατεστραμμένων γεωκτηνοτροφικών εγκαταστάσεων των ετών 1973-1997 ανέρχεται σε 30 κατ' έτος (με εκτιμώμενο ετήσιο κόστος περίπου 260.000 ευρώ).

Στο κριτήριο περιλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται από επαγγελματίες γεωργούς και κτηνοτρόφους, οι οποίες είναι βασικές για τη σωστή εξάσκηση των δραστηριοτήτων του επαγγέλματός τους. Περιλαμβάνει τους στάβλους, τα ράντζα, τις αποθήκες φύλαξης ζωοτροφών, τα σιλό, τα μαντριά και τα βουστάσια, καθώς και τους βοηθητικούς χώρους αποθήκευσης εξοπλισμού και μηχανημάτων. Δεν περιλαμβάνει τα οχήματα (π.χ. τρακτέρ, θεριζοαλωνιστικές μηχανές) τα οποία εμπίπτουν στο κριτήριο «Κινητή Περιουσία». Οι ζημιές ή η καταστροφή τέτοιων υποδομών είναι ιδιαίτερα συχνή στην Ελλάδα επειδή πολλές από αυτές βρίσκονται σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας. Ενώ το κριτήριο δεν περιλαμβάνει την απώλεια ζωικού ή αγροτικού κεφαλαίου, εμπεριέχει υποδομές οι οποίες είναι αναγκαίες και χωρίς αυτές η παραγωγικότητα μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Το κόστος αποκατάστασης της καταστροφής βαρύνει τους ιδιοκτήτες, ενώ αρκετές φορές εμπίπτει και στις αποζημιώσεις του Οργανισμού Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ). Για τη βαθμολόγηση του πρέπει να γίνει εκτίμηση του κεφαλαίου που δαπανήθηκε από τους πληγέντες για την απόκτηση και δημιουργία αυτών των εγκαταστάσεων και μηχανημάτων.

8.2.6.12. Αξιολόγηση των Καταστροφών από την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της κατηγορίας για την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.20.

Πίνακας 8.20: Πίνακας αξιολόγησης επιπτώσεων καταστροφών της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011

ΣΥΝΤΕΛ.	ID		Καταστροφές	Τελική Τιμή	Σταθμισμένη Τιμή
0,085	ΣΤ.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	δεν καταγράφηκαν	0	0,00
0,028	ΣΤ.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ένας στάβλος-αποθήκη	10	0,28
0,285	ΣΤ.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	δεν υπήρχαν	0	0,00
0,048	ΣΤ.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ελάχιστο-πιθανές μικροφθορές σε δημόσια και ιδιωτικά οχήματα	10	0,48
0,051	ΣΤ.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ελάχιστο-μικρό	15	0,72
0,048	ΣΤ.6	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	δεν διαπιστώθηκαν ζημιές	0	0,00
0,048	ΣΤ.7	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ελάχιστο	10	0,48
0,048	ΣΤ.8	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	μικροφθορές ελάχιστου κόστους	20	0,96
0,183	ΣΤ.9	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	δεν διαπιστώθηκαν ζημιές	0	0,00
0,128	ΣΤ.10	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	δεν διαπιστώθηκαν ζημιές	0	0,00
0,048	ΣΤ.11	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	δεν διαπιστώθηκαν ζημιές	0	0,00
ΣΥΝΟΛΟ					2,92
HIGHER VALUE			100	LOWER VALUE	0
2,92					

Στο κριτήριο ΣΤ.1 αποδίδεται μηδενική τιμή επειδή δεν καταγράφηκαν καμένες οικίες. Λόγω του ότι κάηκε ένας στάβλος-αποθήκη, η βαθμολογία του κριτηρίου ΣΤ.2 είναι 10. Στην περιοχή δεν υπήρχαν σημαντικά μνημεία, άρα στο κριτήριο ΣΤ.3 αποδίδεται μηδενική τιμή. Το κόστος της κατεστραμμένης κινητής περιουσίας είναι ελάχιστο, περιλαμβάνοντας πιθανές μικροφθορές σε δημόσια και ιδιωτικά οχήματα που έλαβαν μέρος κατά τη διάρκεια της πυρόσβεσης, άρα το κριτήριο ΣΤ.4 βαθμολογείται με 10. Για το

κριτήριο ΣΤ.5, εκτιμάται ότι το κόστος αποκατάστασης της ηλεκτροδότησης είναι ελάχιστο-μικρό και αφορά κυρίως στα τμήματα του δικτύου που ήταν πέριξ των δρόμων ή εντός του δάσους, άρα λαμβάνει βαθμολογία 15. Δεν διαπιστώθηκαν ζημιές στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, άρα η βαθμολογία στο κριτήριο ΣΤ.6 είναι μηδενική. Ελάχιστο αναμένεται να είναι και το κόστος αποκατάστασης της υδροδότησης, κυρίως για επισκευές των σωλήνων μεταφοράς του, άρα η βαθμολογία στο κριτήριο ΣΤ.7 είναι 10. Μικροφθορές ελάχιστου κόστους συνέβησαν στο οδικό δίκτυο, απαιτήθηκε όμως η διάνοιξη νέων οδών εντός της καμένης έκτασης για την απόληψη της ξυλείας αλλά και κατά τη διάρκεια του περιστατικού για τη δημιουργία αντιπυρικών ζωνών. Επομένως, η βαθμολογία του κριτηρίου ΣΤ.8 είναι 20. Δεν διαπιστώθηκε καταστροφή στρατιωτικού υλικού/ πυρομαχικών και εγκαταστάσεων αλλά ούτε και σε εργοστάσια, υποδομές ΑΠΕ και αποθήκες βιομηχανικών προϊόντων. Άρα η βαθμολογία για τα κριτήρια ΣΤ.9 και ΣΤ.10 είναι μηδενική. Τέλος, δεν διαπιστώθηκαν φθορές σε αγροτικές και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, επομένως η βαθμολογία στο κριτήριο ΣΤ.11 είναι μηδενική. Η συνολική βαθμολογία διαμορφώνεται από $0,085X0 + 0,028X10 + 0,285X0 + 0,048X10 + 0,051X15 + 0,048X0 + 0,048X10 + 0,048X20 + 0,183X0 + 0,128X0 + 0,048X0 = 2,92$. Όταν σταθμιστεί, η βαθμολογία της κατηγορίας διαμορφώνεται στα **2,92 / 100**.

8.2.7. Οικονομικές Επιπτώσεις (Z)

Η οικονομική θεωρία έχει διαδραματίσει για πολύ καιρό σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των κονδυλίων διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών στις ΗΠΑ και αλλού. Για τη διευκόλυνση και αιτιολόγηση των αποφάσεων χρηματοδότησης, η δασική υπηρεσία των ΗΠΑ δημιούργησε ένα υπολογιστικό εργαλείο με το όνομα National Fire Management Analysis System (NFMAS) (Lundgren 1999). Το NFMAS σχεδιάστηκε για τον υπολογισμό των πιο συμφερούσων ετήσιων προϋπολογισμών διαχείρισης δασικών πυρκαγιών και αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ελαχιστοποίησης του αθροίσματος όλων των εξόδων.

Το άθροισμα όλων των σχετικών με τις πυρκαγιές εξόδων είναι γνωστό ως “Κόστος συν Καθαρή Μεταβολή Αξιών” ή $C+NVC$, όπου το C συμβολίζει όλα τα έξοδα που σχετίζονται με την καταστολή των πυρκαγιών και το NVC τις καθαρές ζημιές που προήλθαν από την πυρκαγιά (Sparhawk 1925, Donovan and Rideout 2003). Τα αυξημένα κόστη της καταστολής πυρκαγιάς (C) έχουν σκοπό τη μείωση των καθαρών ζημιών (NVC), και το ιδανικό επίπεδο καταστολής και ζημιών είναι αυτό στο οποίο ελαχιστοποιούνται τα συνολικά έξοδα (Simard 1976). Το μοντέλο $C+NVC$ προέκυψε και σχετίζεται στενά με το παλαιότερο μοντέλο Least Cost Plus Loss ($LC + L$) που περιέγραψε ο Sparhawk (1925). Ενδεικτικά, στον Πίνακα 8.21 παρουσιάζονται οι πυρκαγιές με τα μεγαλύτερα κόστη και δαπάνες στις ΗΠΑ και την Ελλάδα.

Υπάρχουν πέντε γενικές κατηγορίες αξιών σε κίνδυνο (VAR) που πρέπει να υπεισέρχονται στην εκτίμηση επιπτώσεων των πυρκαγιών. Αυτές αφορούν τη ζωή και ασφάλεια, τις πολιτισμικές αξίες, τις οικολογικές αξίες, τις άμεσες οικονομικές αξίες και τις έμμεσες οικονομικές αξίες μέσω απώλειας χρήσης πόρων, με τις δύο τελευταίες να αποτελούν αντικείμενο των οικονομικών επιπτώσεων (Calkin *et al.* 2007). Είναι δύσκολο έως αδύνατο για πολλές μη οικονομικές VAR να αντικατασταθούν ή να επανέλθουν στην πρότερη κατάσταση με οποιοδήποτε τίμημα σε περίπτωση καταστροφής τους. Παρόλο που υπάρχουν κάποιες οικονομικές μέθοδοι για τον υπολογισμό της χρηματικής αξίας κάποιων μη οικονομικών VAR , συνήθως δεν υπάρχει ο χρόνος και η εμπειρία που απαιτείται για την άμεση αποτίμησή τους. Επιπλέον, υπάρχουν ηθικές και κοινωνικές διαφωνίες σχετικά με την απόδοση χρηματικής αξίας σε αυτές τις αξίες.

Για μια VAR στην οποία μπορεί να αποδοθεί χρηματική αξία, ως απώλεια χρήσης ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία δεν μπορεί πλέον μια υπηρεσία ή μονάδα να

χρησιμοποιηθεί λόγω της ζημιάς που υπέστη ή στην αδυναμία πρόσβασης προς αυτή (Calkin *et al.* 2007). Για παράδειγμα, ένας δρόμος ο οποίος έχει παρασυρθεί από τα ορμητικά νερά των πρώτων βροχοπτώσεων μετά την πυρκαγιά μπορεί να εμποδίσει την πρόσβαση σε μια απομακρυσμένη περιοχή υλοτομίας ή σε μια δημοφιλή περιοχή αλιείας. Οι ιδιοκτήτες καταλυμάτων και οι σχετικές με τη δραστηριότητα τοπικές επιχειρήσεις θα χάσουν έσοδα μέχρι την αποκατάσταση ή διάνοιξη του δρόμου. Είναι συχνά δύσκολο να εκτιμηθεί η χρηματική αξία των VAR που υπέστησαν απώλεια χρήσης και μόνο ειδικοί με οικονομικές γνώσεις μπορούν να διεξάγουν μια τέτοια εκτίμηση. Γι' αυτό τον λόγο, στη συγκεκριμένη κατηγορία αποδόθηκαν επιλογές στα κριτήρια που αφορούν το σχετικό και όχι το απόλυτο κόστος των καταστροφών.

Πίνακας 8.21: Οικονομική αποτίμηση μεγάλων πυρκαγιών των ΗΠΑ και της Ελλάδας

Τοποθεσία	Έτος	Κόστος (\$)
Oakland Fire, California	1991	2.687 billions
Πυρκαγιές Ελλάδας 2007	2007	2.118 billions
San Bernardino Counties, California	2003	2.03 billions
Cedar Fire, California	2003	1.24 billions
Witch Fire, California	2007	1.142 billions
Old Fire, California	2003	1.141 billions
Los Angeles County Fire, California	1993	559 million
Waldo Canyon, Colorado Springs	2012	453.7 millions
Black Forest, near Colorado Springs	2013	292.8 millions
Fourmile Canyon, northwest of Boulder	2010	229.1 millions
High Park, near Fort Collins	2012	113.7 millions
Hayman, southwest of Denver	2002	49.5 millions
Missionary Ridge, near Durango	2002	22.7 millions
Iron Mountain, near Cañon City	2002	9.6 millions
Coal Seam, Glenwood Springs	2002	8.2 millions

Η κατηγορία των οικονομικών επιπτώσεων είναι συμπληρωματική στην κατηγορία «Καταστροφές» και εμπεριέχει κριτήρια τα οποία σχετίζονται με τις απώλειες εσόδων από κάποια δραστηριότητα, την καταβολή αποζημιώσεων και τη λήψη μεταπυρικών μέτρων προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος. Ο αξιολογητής οφείλει να παράσχει δεδομένα και πληροφορίες που απαντούν στα εξής ερωτήματα:

- Υπήρξε απώλεια εσόδων από δραστηριότητες ξύλευσης;
- Υπήρξαν απώλειες εσόδων από συλλογή, εμπορία, παραγωγή και εκμετάλλευση μη ξυλωδών προϊόντων του δάσους;
- Καταβλήθηκαν αποζημιώσεις και χρηματοδότηση για την αποκατάσταση της βιομηχανικής-ηλεκτρικής παραγωγής, υποδομών και δημόσιας περιουσίας από το κράτος ή/και τις ασφαλιστικές εταιρείες;
- Ποιο ήταν το κόστος των απωλειών εσόδων και της αποκατάστασης της αγροτικής παραγωγής;
- Ποιο ήταν το κόστος των απωλειών εσόδων και της αποκατάστασης της κτηνοτροφικής παραγωγής;
- Υπήρξε επιρροή της πυρκαγιάς στο τουριστικό προϊόν της περιοχής ή μειώθηκε η ελκυστικότητά της ως τόπος αναψυχής;

- Καταβλήθηκαν αποζημιώσεις για ζημιές ή καταστροφές σε κτήρια και κατοικίες από το κράτος ή/και τις ασφαλιστικές εταιρείες;
- Ελήφθησαν μεταπυρικά μέτρα αποκατάστασης του πεδίου και με ποιο κόστος;

8.2.7.1. Οικονομικές Απώλειες από Δραστηριότητες Ξύλευσης – Z.1.

Το κριτήριο Z.1 υπολογίζει τις απώλειες που προήλθαν από την πυρκαγιά στον τομέα της απόληψης του ξυλαποθέματος της πληγείσας περιοχής, ενώ περιλαμβάνονται και οι απώλειες που προκλήθηκαν στη βιομηχανική παραγωγή που έχει άμεση σχέση με την παραγόμενη ξυλεία της περιοχής. Σε αυτό το κριτήριο οι επιπτώσεις αποτιμώνται σε έσοδα που χάνονται λόγω της πυρκαγιάς, επομένως αν το ποσό που αναμένεται να χαθεί είναι χαμηλό θα πρέπει και το κριτήριο να αξιολογηθεί αναλόγως. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (10), Μικρό Κόστος (20), Μερική Καταστροφή (60), Υψηλό Κόστος (80), Ολοσχερής Καταστροφή (100).

Η οικονομική αξία των απωλειών εσόδων είναι ακόμα μεγαλύτερη αν το δάσος ήταν διαχειριζόμενο και κοντά στην περίοδο λήξης της διαχειριστικής περιόδου. Πολλά δάση και δασικά συμπλέγματα δεν είναι διαχειριζόμενα, αλλά μικρά συνεργεία και κάτοικοι τα χρησιμοποιούν για συγκομιδή ξύλου υπό την καθοδήγηση των τοπικών δασαρχείων. Σε αυτές τις περιπτώσεις όμως η οικονομική κλίμακα των δραστηριοτήτων είναι πολύ μικρή και πρέπει να αξιολογηθεί αναλόγως. Παρά την καύση του δάσους, ακόμα και οι καμένοι κορμοί πολλές φορές αποφέρουν οικονομικό όφελος, κυρίως για πώληση ως καυσόξυλα ή για την παραγωγή μοριοσανίδων, και ως αποτέλεσμα μπορούν να συλλεχθούν από συνεργεία υλοτόμων (πρόσφατο παράδειγμα η πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου το 2011). Παρά το ότι ο εξωτερικός φλοιός του δέντρου μπορεί να είναι μαυρισμένος και καψαλισμένος, το εσωτερικό του έχει εμπορική αξία αν συλλεχτεί πριν το προσβάλλουν έντομα, μύκητες και άλλοι διαβρωτικοί παράγοντες.

Η εμπορική αξία του ξύλου εξαρτάται από το είδος των δέντρων. Τα είδη έλατο, πεύκο, δρυς, ελιά χρησιμοποιούνται κυρίως σαν καυσόξυλα. Ποικιλίες όπως η μαύρη πεύκη της Πίνδου θεωρείται από τους ειδικούς το ομορφότερο μαλακό ξύλο στην επιπλοποιία, όμως το γεγονός ότι φύονται σε περιορισμένες εκτάσεις τα καθιστά ελάχιστα εμπορικά εκμεταλλεύσιμα. Η ελιά επίσης προσφέρει μια συνεχή πηγή ξυλείας σε χιλιάδες ανθρώπους, λόγω της διάχυσής της σε ιδιωτικές εκτάσεις. Η Ελληνική καρυδιά είναι ένα σπάνιο ξύλο, υψηλής αισθητικής και οικονομικής αξίας, με πιο χαρακτηριστική ιδιότητα της το ότι δεν προκαλεί φτάρνισμα κατά την επεξεργασία της, όπως η Ευρωπαϊκή και η Αμερικάνικη καρυδιά. Η καστανιά του είδους *Aesculus Hippocastanum* είναι αυτοφυής στην Ελλάδα και το ξύλο της δεν έχει ιδιαίτερη εμπορική εκμετάλλευση, όμως η ταχύτατη ανάπτυξή της την κάνει χρήσιμη για πολτοποίηση χαρτομάζας. Σε περιοχές όπως το Πήλιο όπου είναι αυτοφυής και υπάρχουν μεγάλες φυτείες, ανέκαθεν χρησιμοποιείτο ως βασικό ξύλο για κατασκευή επίπλων, ως οικοδομικό υλικό π.χ. για στέγες (παρά τις μικρές μηχανικές αντοχές της), και για την κατασκευή βαρελιών (για τυρί, κρασί κ.α.). Παρόμοιες ιδιότητες και εμπορική εκμετάλλευση παρουσιάζει και η οξιά.

Υπάρχουν περιοχές της Ελλάδος όπου εκτεταμένα τμήματα του τοπικού πληθυσμού, μεμονωμένα ή οργανωμένα σε συνεταιρισμούς, εξασκούν το επάγγελμα του υλοτόμου για κύριο ή συμπληρωματικό εισόδημα. Τα πρόσφατα οικονομικά δεδομένα της χώρας έκαναν πάλι ελκυστικό το ξύλο ως μέθοδο θέρμανσης και ως αποτέλεσμα αυξήθηκε η ζήτηση. Οι δασικές πυρκαγιές καταστρέφουν όχι μόνο την τωρινή αξία του ξυλαποθέματος της πληγείσας περιοχής, αλλά στερούν για δεκαετίες έναν πολύτιμο πόρο των τοπικών κοινωνιών. Κατά την αξιολόγηση του κριτηρίου πρέπει να ληφθεί υπόψη αν υπήρχε οικονομική δραστηριότητα στον τομέα της ξύλευσης (από διαχειριστικές μελέτες), τι είδους

ήταν (επιπλοποιία, καυσόξυλα, παραγωγή μοριοσανίδων), καθώς και την εκμεταλλευόμενη έκταση εντός της καμένης περιοχής.

8.2.7.2. Οικονομικές Απώλειες μη Ξυλωδών Προϊόντων του Δάσους/ Φύσης – Ζ.2.

Το κριτήριο Ζ.2 υπολογίζει τις οικονομικές απώλειες που προέκυψαν από την πυρκαγιά στην συγκομιδή, παραγωγή και εμπορία μη ξυλωδών προϊόντων του δάσους/ φύσης. Αφορά σε είδη τα οποία προέρχονται κυρίως από διεργασίες οι οποίες δεν εμπεριέχουν την κοπή/ καταστροφή δέντρων όπως το κυνήγι, η ρητίνευση, η συλλογή βρώσιμων προϊόντων (μανιτάρια, μούρα, καρποί, σπόροι κ.α.), την παραγωγή φαρμακευτικών πρώτων υλών κ.α. (Ministry of Forests and Range 2008). Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (10), Μικρό Κόστος (20), Μερική Καταστροφή (60), Υψηλό Κόστος (80), Ολοσχερής Καταστροφή (100).

Στην Ελλάδα, άνθρωποι από διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά, γεωγραφικά και πολιτισμικά πλαίσια συλλέγουν ή επενδύουν στα δασικά προϊόντα για διαφορετικούς λόγους, όπως η εξυπηρέτηση βασικών οικιακών αναγκών τους (π.χ. συλλογή βρώσιμων προϊόντων, κυνήγι), τη διατήρηση πολιτισμικών και οικογενειακών παραδόσεων, την πνευματική και σωματική τους ολοκλήρωση και ψυχαγωγία (π.χ. κυνήγι, συλλογή μανιταριών, συλλογή βοτάνων), την επιστημονική γνώση (π.χ. φαρμακευτικές πρώτες ύλες, έρευνα) και τη δημιουργία εισοδήματος (μελισσοκομία, βόσκηση, κυνήγι, τουρισμός κ.α.). Σημαντικές οικονομικές απώλειες προκύπτουν σε όσους εξασκούν κάποια σχετική επαγγελματική δραστηριότητα.

Όσον αφορά στο κυνήγι-τουρισμό, υπάρχουν ανά την Ελλάδα πολλά τουριστικά καταλύματα κυνηγών και σύλλογοι οι οποίοι ειδικεύονται στην συλλογή βρώσιμων προϊόντων, κυρίως μανιταριών. Σε περίπτωση που η πυρκαγιά πλήξει περιοχές και δάση στα οποία βρίσκονται αυτές οι ποικιλίες ή είδη κυνηγιού, τότε αναμένεται πτώση ή εξαφάνιση της τουριστικής αξίας της περιοχής με σημαντικές οικονομικές απώλειες. Πάρα πολλοί κυνηγοί επισκέπτονται δάση και περιοχές όπου υπάρχουν θηράματα. Σε περίπτωση που λόγω της πυρκαγιάς απαγορευτεί το κυνήγι ή υπάρχουν σημαντικές απώλειες πληθυσμών των θηρευόμενων ειδών ή τα είδη μεταναστεύσουν σε άλλες περιοχές, τότε θα εκλείψει ένας τουριστικός πόρος της περιοχής. Για να συμβεί όμως αυτό πρέπει η πυρκαγιά να είναι πολύ μεγάλης κλίμακας και να καταστρέψει εκτεταμένα τμήματα, ενώ πρέπει και να μην υπάρχουν γειτονικές εναλλακτικές περιοχές για εξάσκηση της δραστηριότητας, στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση του κριτηρίου.

Για τη βαθμολόγηση του κριτηρίου είναι πολύ βασικό να απαντηθεί το ερώτημα αν προέκυψαν ή εκτιμάται ότι θα προκύψουν οικονομικές απώλειες και ζημιές από την πυρκαγιά σε ολόκληρο ή κάποιο από το ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων που περιγράφονται στο κριτήριο. Αρκεί έστω ένας από τους προαναφερθέντες τομείς να υπέστη κάποιου είδους ζημιά ώστε να αξιολογηθεί με κάποια βαθμολογία μεγαλύτερη της μηδενικής. Έπειτα, πρέπει να υπολογιστεί το οικονομικό μέγεθος της δραστηριότητας πριν την πυρκαγιά και κατά πόσο θα επηρεαστεί η συνέχισή της στην περιοχή. Αν η αποκατάσταση απαιτήσει λίγα έτη και επηρεάστηκε ένα μικρό τμήμα της συνολικής δραστηριότητας της περιοχής, τότε θα πρέπει η αξιολόγηση να φτάσει μέχρι το μέτριο επίπεδο. Αν για την ανάκαμψη απαιτηθεί πάνω από μια δεκαετία, τότε η αξιολόγηση θα πρέπει να φτάσει μέχρι και το υψηλότερο επίπεδο. Αν η επιρροή της πυρκαγιάς περιλαμβάνει δύο ή περισσότερα προϊόντα ή δραστηριότητες, τότε θα πρέπει να αξιολογηθεί και αυτό το στοιχείο με υψηλότερη βαθμολογία.

8.2.7.3. Καταστροφές και Αποζημιώσεις Αγροτικής Παραγωγής – Ζ.3.

Το κριτήριο Ζ.3 αξιολογεί την καταστροφή που επήλθε στις καλλιέργειες και την συνολική αγροτική παραγωγή, καθώς και τις αποζημιώσεις που δόθηκαν σε αυτόν τον τομέα. Επιπλέον, συνυπολογίζει τα διαφυγόντα έσοδα που προκλήθηκαν τόσο στις βιομηχανίες αγροτικών προϊόντων από την καταστροφή και στέρηση των πρώτων υλών (π.χ. συσκευαστήρια, κομποστοποίηση, θερμοκήπια, ελαιοτριβεία κ.α.), όσο και τις άμεσες απώλειες εσόδων από τη στέρηση της παραγωγής λόγω καταστροφής των μέσων της (δέντρα, αμπέλια, γεωκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, εργαλεία κ.α.). Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (10), Μικρό Κόστος (20), Μερική Καταστροφή (60), Υψηλό Κόστος (80), Ολοσχερής Καταστροφή (100).

Ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, η καταστροφή μπορεί να είναι μικρής έκτασης (απώλεια παραγωγής μιας χρονιάς), ή μεγάλης έκτασης καταστρέφοντας πολυετείς καλλιέργειες (αμπελώνες, καρποφόρα δέντρα, θαμνώδεις καλλιέργειες) οι οποίες απαιτούν χρόνια για να ξαναδημιουργηθούν. Στο κριτήριο υπολογίζεται η παραγωγή που θα χαθεί για την τρέχουσα ή τις προσεχείς χρονιές καθώς και την καταστροφή στην αγροτική υποδομή και στο κεφάλαιο. Στην περίπτωση των ετήσιων καλλιεργειών, η καταστροφή που θα προέλθει είναι διαχειρίσιμη, ενώ στην περίπτωση που οι καλλιέργειες είναι πολυετείς τότε θα χαθεί σημαντικό εισόδημα για όλα τα χρόνια της αναμονής αποκατάστασης τους. Ενδεικτική είναι η περίπτωση της πυρκαγιάς της Χίου το 2012, όταν και κάηκαν καλλιέργειες μαστίχας καταστρέφοντας ολοσχερώς το 10% της παραγωγής του νησιού και πλήττοντας άλλο ένα 20%, το οποίο εκτιμάται ότι θα ανακάμψει έπειτα από 2-3 έτη. Η καταστροφή μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες στον τοπικό αγροτικό πληθυσμό, από επιδράσεις στο ψυχολογικό επίπεδο έως και μετανάστευση του. Επιπλέον, η στέρηση πρώτων υλών σε τοπικές βιομηχανίες επεξεργασίας και τυποποίησης αγροτικών προϊόντων μπορεί να οδηγήσει πολλές από αυτές σε σμίκρυνση του κύκλου εργασιών τους, μείωση προσωπικού και κλείσιμο. Το κριτήριο αυτό έχει μια επιπλέον σημαντικότητα στην Ελλάδα επειδή η οικονομία της χώρας είναι κυρίως αγροτική και τα κυριότερα εξαγωγίμα προϊόντα της (κρασί, ελαιόλαδο, σιτάρι) πλήττονται συχνά από πυρκαγιές.

Ο βασικός φορέας καταβολής αποζημιώσεων στην Ελλάδα είναι ο ΕΛΓΑ, σκοπός του οποίου είναι η ασφάλιση της γεωργικής παραγωγής και του κεφαλαίου των αγροτικών εκμεταλλεύσεων, και σε αυτόν υπάγονται χωρίς εξαίρεση όλα τα φυσικά και νομικά πρόσωπα που έχουν την κυριότητα ή την εκμετάλλευση αγροτικών επιχειρήσεων. Επιπλέον αποζημιώσεις μπορεί να καταβληθούν είτε από τον κρατικό προϋπολογισμό, είτε από έκτακτα μετρά στήριξης (π.χ. πρόγραμμα Πολιτικής Σχεδίασης Εκτάκτου Ανάγκης-ΠΣΕΑ, για τις πυρκαγιές του 2007), είτε από το Ταμείο Αλληλεγγύης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΤΑΕΕ). Το ΤΑΕΕ δημιουργήθηκε για την αντιμετώπιση μεγάλων φυσικών καταστροφών και την εκδήλωση της ευρωπαϊκής αλληλεγγύης στις πληγείσες περιοχές της Ευρώπης. Οι συνολικές αποζημιώσεις του ΤΑΕΕ για τις πυρκαγιές του 2007 στην Ελλάδα ανήλθαν σε 90 εκατομμύρια ευρώ, ενώ το ΠΣΕΑ κατέβαλε 4,1 εκατομμύρια ευρώ μόνο για τις αγροτικές αποζημιώσεις. Ο ΕΛΓΑ ανέλαβε την καταβολή του ποσού των 20 εκατομμύριων ευρώ στους δικαιούχους αγρότες κρατικών οικονομικών ενισχύσεων (ΠΣΕΑ) για τις ζημιές που προκλήθηκαν από τις πυρκαγιές των ετών 2006 και 2007.

8.2.7.4. Καταστροφές και Αποζημιώσεις Κτηνοτροφικής Παραγωγής – Ζ.4.

Οι επιπτώσεις που προκαλούνται από την απώλεια ζωικού κεφαλαίου είναι πάρα πολύ σημαντικές, τόσο οικονομικά όσο και ψυχολογικά, και αξιολογούνται στο κριτήριο Ζ.4. Πριν την αξιολόγηση, απαιτείται μια εκτίμηση για το πόσο ζωικό κεφάλαιο υπήρχε πριν την πυρκαγιά. Πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από την απογραφή Γεωργίας-Κτηνοτροφίας

της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής όπου και αναφέρονται οι εκμεταλλεύσεις και ο αριθμός ζώων σύμφωνα με την υπάρχουσα διοικητική διαίρεση της χώρας. Στο κριτήριο αυτό η αξιολόγηση πρέπει να γίνει με γνώμονα τόσο την απώλεια της φυσικής υπόστασης των ζώων, όσο και των παραγόμενων από αυτά προϊόντων. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο κόστος (10), Μικρό κόστος (20), Μερική καταστροφή (60), Υψηλό κόστος (80), Ολοσχερής καταστροφή (100).

Οι οικονομικές απώλειες αφορούν είτε σε κοπάδια ζώων τα οποία χρησιμοποιούνται για επαγγελματικούς σκοπούς, είτε σε οικόσιτα ζώα που ζουν σε στεγασμένους χώρους (π.χ. εκτροφή αγελάδων και πουλερικών), είτε σε ζώα τα οποία χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων μιας περιοχής.

Σημαντικότερες οικονομικές απώλειες αναμένεται να προκύψουν στην εξάσκηση των δραστηριοτήτων της μελισσοκομίας και της βόσκησης. Πολύ συχνά, ολόκληρα σμήνη μελισσών χάνονται λόγω αδυναμίας έγκαιρης μεταφοράς τους σε ασφαλές μέρος. Η μελισσοκομία δεν θα επηρεαστεί ιδιαίτερα σε περίπτωση που η περιοχή καλυφθεί με ρείκι μετά την πυρκαγιά, ενώ η φυσική ανθοφορία αναμένεται ότι θα αποκατασταθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την πυρκαγιά. Ιδιαίτερο πρόβλημα όμως προκύπτει σε περιοχές όπου το παραγόμενο μέλι προέρχεται από κωνοφόρα (έλατα ή πεύκα), στις οποίες η παραγωγή αναμένεται ότι θα επανέλθει μετά από τουλάχιστον 15 έτη. Προβλήματα αναμένεται να προκύψουν και σε περιοχές με παραγωγή θυμαρίσιου μελιού (νησιά Αιγαίου και Κρήτη), το οποίο αν καεί απαιτεί πολλά έτη για την επανεμφάνιση του στην περιοχή. Όσον αφορά στη βόσκηση, το σημαντικότερο πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι για την προστασία της μελλοντικής διαδοχής της περιοχής και την εξασφάλιση της δασικής αναγέννησης ενδέχεται να απαγορευτεί εντός των καμένων περιοχών. Σε περιπτώσεις πολύ μεγάλων πυρκαγιών (Χίος 2012), σε συνδυασμό με τους περιορισμούς της νησιωτικότητας, είναι πολύ δύσκολη η μετακίνηση των κοπαδιών σε άλλες περιοχές όπου ήδη μπορεί να υπάρχει μεγάλος συνωστισμός από ζώα. Ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου τα κοπάδια αποτελούνται από αίγες, τότε οι απαγορεύσεις μπορεί να είναι πολύ αυστηρές.

Οι πυρκαγιές στην Ελλάδα προκαλούν συχνά τέτοιες οικονομικές επιπτώσεις και απώλειες επειδή το ζωικό κεφάλαιο είναι ιδιαίτερα υψηλό και πυκνά κατανομημένο σε περιοχές που αντιμετωπίζουν συχνές πυρκαγιές. Επιπλέον, απώλειες συχνά προκαλούνται λόγω εγκλωβισμού των ζώων εντός στεγασμένων χώρων ή περιφραγμένων εκτάσεων, αδυνατώντας να διαφύγουν από τις φλόγες και τον καπνό. Η απώλεια του ζωικού κεφαλαίου μπορεί να επιφέρει οικονομική καταστροφή στους ιδιοκτήτες τους και για αυτό τον λόγο αποζημιώνονται από το κράτος. Ως αποτέλεσμα, οι απώλειες πλήττουν τόσο τον ιδιοκτήτη, ο οποίος χάνει και εισόδημα από το κεφάλαιο αλλά και το ίδιο το κεφάλαιο του, όσο και το κράτος που αναγκάζεται να αποζημιώσει τον πληγέντα. Κατά την περίοδο 1990-1996 (Στάμου 2008) καίγονταν κατά μέσο όρο 700 ζώα κατ' έτος, με ετήσιο κόστος περίπου 53.000 ευρώ. Οι απώλειες αιγοπροβάτων από τις πυρκαγιές του 2007 φτάνει τις 73.000 (25.000 στη Ηλεία, 21.500 στη Μεσσηνία, 20.000 στη Λακωνία και 6.500 αλλού).

8.2.7.5. Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής - Ηλεκτρικής Παραγωγής, των Υποδομών και της Δημόσιας Περιουσίας – Ζ.5.

Η καταβολή αποζημιώσεων και χρηματοδότηση για την αποκατάσταση της βιομηχανικής-ηλεκτρικής παραγωγής, των υποδομών και της δημόσιας περιουσίας έχει ως βασικό στόχο την εκτίμηση του κόστους που θα απαιτηθεί για την επαναφορά των συνθηκών στα επίπεδα που ήταν προ της πυρκαγιάς, μέσω της επιδιόρθωσης ή επαναδημιουργίας των υποδομών. Για την αξιολόγηση του κριτηρίου Ζ.5 πρέπει να γίνει εκτίμηση του αν υπάρχει δυνατότητα να δοθούν αποζημιώσεις και ποιο είναι το εκτιμώμενο κόστος τους. Οι διαθέσιμες επιλογές

είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (10), Μικρό Κόστος (20), Μέτριο Κόστος (60), Υψηλό Κόστος (100).

Στην κατηγορία «Καταστροφές» αποτιμήθηκαν οι ζημιές που έγιναν σε διάφορες υποδομές και δίκτυα, με στόχο όμως να μετρηθεί το πόσα χρήματα χάθηκαν και όχι το πόσα θα δαπανηθούν για την αποκατάσταση. Για παράδειγμα, αν ένας επιχειρηματίας είχε εγκαταστήσει ένα φωτοβολταϊκό πάρκο κόστους 100.000 € δύο έτη πριν την πυρκαγιά και αυτό καταστράφηκε τελείως, τότε έχει υποστεί καθαρή ζημιά το ποσό που επένδυσε, χωρίς να σημαίνει απαραίτητα ότι θα αποζημιωθεί για αυτό ή θα δαπανηθούν επιπλέον χρήματα στην συγκεκριμένη επένδυση. Αντιθέτως, στόχος αυτού του κριτηρίου είναι να υπολογίσει πόσα χρήματα αναμένεται ότι θα δαπανηθούν είτε από τα κονδύλια των ΤΑΑΕ, ΠΣΕΑ, των ασφαλιστικών εταιρειών, του κράτους ή των ιδιωτών για το μετριασμό των οικονομικών επιπτώσεων της πυρκαγιάς. Η βαθμολόγηση του κριτηρίου άφορα όλες τις εγκαταστάσεις, υποδομές και μνημεία που περιγράφηκαν στην κατηγορία «Καταστροφές», αλλά και τα μηχανικά μέσα που περιγράφηκαν στην κατηγορία «Απώλειες». Μερικές από τις επιλέξιμες δαπάνες για αποζημιώσεις/ αποκατάσταση περιλαμβάνονται στο Ειδικό Πλαίσιο Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης Πληγεισών Περιοχών από Πυρκαγιές, όπου και προβλέπεται χρηματοδότηση και αποζημίωση για τις εξής δράσεις: Αποκατάσταση υποδομών αρχαιολογικών χώρων και μνημείων, Αποκατάσταση υποδομών υγείας και πρόνοιας, Αποχέτευση και καθαρισμός λυμάτων/ ύδρευση, Έγχειρες βελτιώσεις, Αποκατάσταση υποδομών ενέργειας, καθώς και επισκευή/ ανασκευή/ κατασκευή οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, υποδομών τηλεπικοινωνιών, κ.α.

8.2.7.6. Αποζημιώσεις σε Κτήρια ή Κατοικίες – Z.6.

Το κριτήριο Z.6 αφορά στα χρηματικά ποσά που δαπανήθηκαν για αποζημιώσεις σε κτήρια ή κατοικίες που υπέστησαν ζημιές από τη δράση της πυρκαγιάς. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Ελάχιστο Κόστος (10), Μικρό Κόστος (20), Μέτριο Κόστος (60), Υψηλό Κόστος (100). Στη μελέτη του Στάμου (2008) διαπιστώθηκε ότι ο μέσος όρος των κατεστραμμένων οικιών για το διάστημα 1973-1997 ανέρχεται σε 13 κατ' έτος (με ετήσιο κόστος περίπου 600.000 ευρώ). Ορισμένα από τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν για τις πυρκαγιές του 2007 είναι ότι δηλώθηκαν 232 ζημιές (το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου 2007), εκ των οποίων οι 181 αφορούν σε κατοικίες, οι 49 σε εμπορικούς κινδύνους και οι δύο σε βιομηχανικούς, με εκτιμώμενο σύνολο αποζημιώσεων ποσού 5,7 εκατομμυρίων ευρώ. Ο κλάδος αποζημιώσεων με τίτλο «Πυρκαγιές και Στοιχεία της Φύσης» αντιστοιχεί στο 9,4% επί του συνόλου των καταβληθέντων ασφαλιστικών αποζημιώσεων στην Ελλάδα (102,9 εκατομμύρια ευρώ για το 2010).

Για το 2007, εκδόθηκε εγκύκλιος του Υπουργείου Οικονομίας και Οικονομικών όπου αναφέρεται ότι χορηγείται οικονομική ενίσχυση ποσού 10.000 ευρώ κατά νοικοκυριό για αντικατάσταση της οικοσκευής. Σε ό,τι αφορά στην οικονομική συμμετοχή του κράτους στην αποκατάσταση ζημιών σε κτίρια, προβλέπονταν για κτίσματα που έχουν χρήση κατοικίας και έχουν καταστραφεί να δίδονται 500 ευρώ ανά τ.μ., για αποθήκες κάθε χρήσης, 180 ευρώ ανά τ.μ. και για πάσης φύσεως επισκευές κτιρίων που επλήγησαν μέχρι 300 ευρώ ανά τ.μ. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ειδικό Πλαίσιο Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης Πληγεισών Περιοχών από Πυρκαγιές 2008^{8,9}):

1. Για τις 994 κατοικίες που κρίθηκαν επισκευάσιμες και τις 563 που κρίθηκαν ολοσχερώς κατεστραμμένες, υποβλήθηκαν 1.197 αιτήσεις για χρηματοδότηση της

⁸ http://www.espa.gr/Lists/Custom_Announcements/Attachments/36/2008_11_19_Sxedio.pdf (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

⁹ http://www.espa.gr/Lists/Custom_Announcements/Attachments/36/2008_11_18_table.pdf (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

επισκευής ή ανακατασκευής τους και καταβλήθηκαν στους δικαιούχους 20.625.232 ευρώ (περίπου 17.000 ευρώ ανά αίτηση).

2. Για τα 1.114 λοιπά κτίσματα που κρίθηκαν επισκευάσιμα και τα 1.001 που κρίθηκαν ολοσχερώς κατεστραμμένα, υποβλήθηκαν 1.064 αιτήσεις για χρηματοδότηση της επισκευής ή ανακατασκευής τους και καταβλήθηκαν στους δικαιούχους 11.317.869 ευρώ (περίπου 11.000 ευρώ ανά αίτηση).

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το κράτος μπορεί να δώσει από 15.000 έως και 30.000 ευρώ αποζημίωση ανά κτήριο ανάλογα με την περίπτωση (κύρια ή δευτερεύουσα κατοικία, αποθήκες ή βιομηχανικά κτήρια), ενώ ένα αντίστοιχο ποσό αναμένεται ότι θα καταβληθεί και από τις ασφαλιστικές εταιρείες.

8.2.7.7. Απώλειες Εσόδων από τον Τουρισμό – Ζ.7.

Το κριτήριο Ζ.7 αξιολογεί τις απώλειες εσόδων από τον τουρισμό που μπορεί να προκληθούν στην περιοχή από τη δράση της πυρκαγιάς. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Μη Τουριστική Περιοχή (0), Περιοχή Με Υποδομές Για Παράλιο Τουρισμό (20), Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους Κοντά σε Έντονα Τουριστικά Ανεπτυγμένες Περιοχές (60), Δασική Περιοχή που Χρησιμοποιούνταν για Τουριστικούς Σκοπούς/ Αναψυχή (100).

Στην Ελλάδα όπου ο τουριστικός τομέας αποτελεί τον βασικό πυλώνα της τοπικής αλλά και της εθνικής οικονομίας, μια πτώση στην τουριστική κίνηση μπορεί να δημιουργήσει δυσμενείς συνθήκες στη διαβίωση και ευημερία του τοπικού πληθυσμού. Το βασικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι αν η πληγείσα περιοχή είχε τουριστικό ενδιαφέρον, καθώς και αν μπορεί να τεκμηριωθεί ότι η βλάβηση και το φυσικό τοπίο απέφεραν έσοδα (Kuvan 2005). Οι πλέον τουριστικές περιοχές της χώρας δεν καλύπτονται παρά σε πολύ μικρό βαθμό από δάση, επομένως οι πυρκαγιές δεν αναμένεται να επηρεάσουν τις κρατήσεις ή να μειώσουν τα έσοδα. Αυτές είναι κυρίως περιοχές ή νησιά με παραλιακή τουριστική υποδομή. Υπάρχει όμως ένα πλήθος άλλων περιοχών ανά την Ελλάδα οι οποίες προσφέρουν φυσιολατρικές υπηρεσίες που σχετίζονται με τα δάση και τα βουνά. Εκεί, έχει αναπτυχθεί ένα πυκνό δίκτυο υποστηρικτικών υπηρεσιών προς τους επισκέπτες και τουρίστες στο οποίο συμμετέχουν και οι τοπικές βιομηχανίες και καταναλώνεται το τοπικά παραγόμενο προϊόν (αγροτικό, κτηνοτροφικό ή πολιτισμικό). Οι δασικές πυρκαγιές σε αυτές τις περιοχές μπορεί να προκαλέσουν ανυπολόγιστες ζημιές, μιας και με την απώλεια του βασικού πόλου έλξης της περιοχής εκτιμάται ότι δεν θα είναι πλέον ελκυστικές προς τους επισκέπτες, ενώ η ανάκαμψη της φύσης και του τοπίου θα απαιτήσει δεκαετίες. Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν και αρκετές περιοχές με αγροτουριστικές εγκαταστάσεις. Οι κυριότερες περιοχές στην Ελλάδα που προσφέρουν τέτοιες υπηρεσίες είναι: Τζουμέρκα, Παρνασσός -Αράχωβα-Αμφίκλεια, Ζαγοροχώρια, Καϊμάκτσαλαν-Αμύνταιο-Λουτρά Πόζαρ, Γρεβενά-Βασιλίτσα, Μετέωρα-Περτούλι-Ελάτη, Λίμνη Πλαστήρα, Βέροια-Σέλι-Νάουσα, Καστοριά, Ξάνθη-Νέστος, Πάργα, Ορεινή Κοζάνη, Ορεινή Αρκαδία, Καλάβρυτα, Ορεινή Κορινθία, Ορεινή Ναυπακτία, Καρπενήσι, Πήλιο, Μάνη, Ελατοχώρι-Παλιός Παντελεήμονας-Όλυμπος.

Πυρκαγιές στην ευρύτερη περίμετρο αυτών των περιοχών αυξάνει την πιθανότητα να επέλθει κάποιου είδους επιρροή στο τουριστικό προϊόν. Το πόσο έντονη θα είναι εξαρτάται από το κατά πόσο οι φυσικοί πόροι βλάβησης της περιοχής διαδραμάτιζαν τον κυρίαρχο ρόλο στην επιλογή της περιοχής για αναψυχή/ τουρισμό. Υπάρχει και μια άλλη κατηγορία απώλειας πόρων που μπορεί να επέλθει από την πυρκαγιά και αφορά σε τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους κοντά σε έντονα τουριστικά ανεπτυγμένες περιοχές. Αυτά τα τοπία έλκουν επισκέπτες, με τις τοπικές κοινωνίες ή τους φορείς διαχείρισής τους να αντλούν πόρους από εισιτήρια, ενοικιάσεις καταστημάτων, διαφημιστικά είδη κτλ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η Κοιλιάδα των Πεταλούδων στη Ρόδο και το Φαράγγι της Σαμαριάς στην Κρήτη, όπου

εισρέουν καθημερινά εκατοντάδες επισκέπτες φέρνοντας έσοδα εκατομμυρίων ευρώ. Αν η πυρκαγιά προκύψει σε τέτοιο τοπίο, τότε η βαθμολογία θα πρέπει να είναι υψηλότερη.

8.2.7.8. Λήψη Μεταπυρικών Μέτρων Αποκατάστασης του Πεδίου – Ζ.8.

Στο κριτήριο Ζ.8 αξιολογείται η λήψη μεταπυρικών μέτρων πεδίου που έχουν ως κύριο στόχο τη σταθεροποίηση, βελτίωση και αποκατάσταση της πληγείσας περιοχής, αντιστρέφοντας ή εξαλείφοντας τις αρνητικές επιπτώσεις που προκλήθηκαν από την πυρκαγιά. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: Όχι (0), Μικρής Κλίμακας Αναδασώσεις ή Αντιδιαβρωτικά-Αντιπλημμυρικά Έργα (20), Μέτριας Κλίμακας Αναδασώσεις ή Αντιδιαβρωτικά-Αντιπλημμυρικά Έργα (60), Μεγάλης Κλίμακας Αναδασώσεις ή Αντιδιαβρωτικά-Αντιπλημμυρικά Έργα (100). Στις ΗΠΑ, έρευνες έχουν εκτιμήσει την αποτελεσματικότητά και το κόστος εφαρμογής των διαθέσιμων μεταπυρικών μέτρων πεδίου (Napper 2006), με ειδικές ομάδες να έχουν την ευθύνη υλοποίησης αυτών των μεθόδων (Burned Area Emergency Response teams-BAER).

Συγκεκριμένα, καλούνται να επιλέξουν μεθόδους και πρακτικές αποκατάστασης όπως την εναέρια ή την επίγεια επίστρωση με πριονίδι (2.000-3.000\$ και 1.500-3.000\$/acre αντίστοιχα), την επίστρωση αχυροστρώματος (250-1.200\$/acre), τη διασπορά υπολειμμάτων υλοτομίας/ κλαδιών (220-1.000\$/acre), την εγκατάσταση διχτύων ελέγχου διάβρωσης (30-80 λεπτά ανά m²), τη δημιουργία κορμοπλέγματων ελέγχου διάβρωσης (420-1.200\$/acre), την σπορά τοπικών φυτών (20-170\$/acre) κ.α. Οι Χριστακόπουλος και Βέρδη (2008) υπολόγισαν ότι το κόστος των τεχνικών αναδασώσεων στην Αττική κυμαίνονταν μεταξύ 590-1.000 €/στρέμμα. Στην έρευνα των Λυριτζή κ.α. (2009), περιγράφονται τα μέτρα αποκατάστασης που είναι διαδεδομένα και υπάρχει η τεχνογνωσία εφαρμογής τους στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, τα διαχωρίζουν σε:

- Κατασκευή έργων ανάσχεσης (προσωρινής συγκράτησης) της επιφανειακής απορροής και μείωσης της διάβρωσης του εδάφους στις πλαγιές μιας λεκάνης απορροής (κορμοδέματα, βαθμίδες από ξηρολιθοδομή, αύλακες, τάφροι κ.α.).
- Κατασκευή φραγμάτων στην ορεινή κοίτη των ρεμάτων (π.χ. κορμοφράγματα από καμένους κορμούς, ξηρολίθινα φράγματα, φράγματα από συρματοκιβώτια με λίθους ή σκύρα κ.α.).
- Απομάκρυνση από όλο το μήκος της κοίτης των ρεμάτων τυχόν εμποδίων από φυσικά αίτια ή παράνομες ανθρώπινες παρεμβάσεις και διάνοιξή της.
- Κατασκευή μεγάλων φραγμάτων ανάσχεσης της πλημμυρικής απορροής μετά το ορεινό τμήμα μιας λεκάνης απορροής.
- Συγκομιδή της νεκρής ιστάμενης καύσιμης ύλης και κορμών (μηχανικά ή με χρήση συνεργείων).
- Αποκατάσταση της βλάστησης μέσω τεχνικών αναδασώσεων.

Όλα τα παραπάνω μέτρα μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες, με το κόστος εφαρμογής των μέτρων να αυξάνεται ανάλογα με την έκταση, αλλά να έχει αντιστρόφως ανάλογη πορεία κόστους ανά στρέμμα.

8.2.7.9. Μέγεθος Πυρκαγιάς – Γενικός Πολλαπλασιαστής

Ο γενικός πολλαπλασιαστής της κατηγορίας θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος των οικονομικών επιπτώσεων της πυρκαγιάς. Ακόμα και αν ο αξιολογητής έχει βαθμολογήσει όλους τους δείκτες τους με τη μεγαλύτερη βαθμολογία, αν το μέγεθος της πυρκαγιάς είναι μικρό τότε και η βαθμολογία του κριτηρίου θα είναι επίσης μικρή. Γίνεται θεώρηση ότι το μέγεθος της πυρκαγιάς σχετίζεται άμεσα με το κόστος των αναμενόμενων επιπτώσεών της,

ενώ όσο μικρότερο είναι, τόσο περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να επιτευχθεί η άμεση ανασυγκρότηση των δραστηριοτήτων με το μικρότερο κόστος. Οι διαθέσιμες επιλογές αξιολόγησης είναι οι εξής: <100 (0,5), 100 έως 1.000 (1), 1.001 έως 5.000 (1,5), 5.001 έως 20.000 (2), 20.001 έως 70.000 (2,5), >70.000 στρέμματα (3).

8.2.7.10. Αξιολόγηση των Οικονομικών επιπτώσεων από την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της κατηγορίας για την πυρκαγιά του Έβρου το 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.22. Για το κριτήριο Ζ.1 διαπιστώθηκε ότι στην καμένη περιοχή είχαν γίνει εκτεταμένες αναδασώσεις προ τεσσάρων δεκαετιών με στόχο την οικονομική εκμετάλλευση της ξυλείας που θα προέκυπτε. Ως διαχειριζόμενο δάσος προβλέπονταν η εφαρμογή της διαχειριστικής μελέτης τα προσεχή έτη αλλά τελικά, η πυρκαγιά δεν επέτρεψε αυτό τον σχεδιασμό. Εκτιμάται ότι οι απώλειες εσόδων ήταν πολλές. Όμως, λόγω των εκτεταμένων υλοτομιών που διενεργήθηκαν από συνεργεία υλοτόμων αμέσως μετά την πυρκαγιά, οι οικονομικές επιπτώσεις μετριάστηκαν. Ως αποτέλεσμα, η βαθμολογία που θα αποδοθεί είναι 60. Για το κριτήριο Ζ.2 αναμένεται ότι θα προκύψουν σοβαρές επιπτώσεις στις οικονομικές δραστηριότητες για τα μη ξυλώδη προϊόντα του δάσους, ιδιαίτερα στους τομείς του κυνηγιού και της συλλογής άγριας τροφής (μανιτάρια), και η βαθμολογία που αποδόθηκε είναι 80. Η επιρροή της πυρκαγιάς στην αγροτική παραγωγή θα είναι λίγη και μικρού κόστους, επικεντρωμένη κυρίως στα ανατολικά και νότια τμήματα της καμένης έκτασης όπου υπήρχαν καλλιέργειες που κάηκαν. Επομένως, το κριτήριο Ζ.3 θα βαθμολογηθεί με 20.

Πίνακας 8.22: Πίνακας αξιολόγησης οικονομικών επιπτώσεων της πυρκαγιάς της Λευκίμμης Έβρου 2011

ΣΥΝΤΕΛ.	ID		Οικονομία	Τελική Τιμή	Σταθμισμένη Τιμή
0,038	Z.1	KP.	μερική καταστροφή	60	2,30
0,062	Z.2	KP.	σοβαρές επιπτώσεις στις οικονομικές δραστηριότητες	80	4,93
0,104	Z.3	KP.	λίγη και μικρού κόστους	20	2,08
0,062	Z.4	KP.	μέτριες-χαμηλές	40	2,46
0,255	Z.5	KP.	λίγες και μικρού κόστους	20	5,09
0,255	Z.6	KP.	καθόλου	0	0,00
0,164	Z.7	KP.	Δασική περιοχή που χρησιμοποιούνταν για τουριστικούς σκοπούς/ αναψυχή	70	11,46
0,062	Z.8	KP.	μεγάλης κλίμακας	100	6,16
ΣΥΝΟΛΟ					34,48
ΠΟΛΛΑΠΛ.			59.000 στρέμματα	2,5	86,19
HIGHER VALUE			300	LOWER VALUE	0
28,73					

Οι επιπτώσεις στην κτηνοτροφική παραγωγή αναμένεται να είναι μέτριες-χαμηλές επειδή στην περιοχή δραστηριοποιούνται αρκετές μονάδες βοοειδών και αιγοπροβάτων που πλέον δεν θα έχουν πρόσβαση εντός της καμένης έκτασης. Η βαθμολογία του κριτηρίου Ζ.4 θα είναι 40. Για το κριτήριο Ζ.5, αναμένεται ότι οι αποζημιώσεις που θα δοθούν για την αποκατάσταση της βιομηχανικής-ηλεκτρικής παραγωγής, υποδομών και δημόσιας περιουσίας θα είναι λίγες και μικρού κόστους, άρα θα λάβει τη βαθμολογία 20. Για το

κριτήριο Z.6, δεν διαπιστώθηκε ότι καταβλήθηκαν αποζημιώσεις κατοικιών και κτηρίων επειδή δεν υπήρξαν καταστροφές σε αυτά, άρα θα λάβει τη βαθμολογία 0. Η περιοχή δέχεται πολλές επισκέψεις για το δάσος της Δαδιάς και την παρατήρηση άγριων πτηνών και θεωρείται δασική περιοχή που χρησιμοποιούνται για τουριστικούς σκοπούς/ αναψυχή, με κύριο κέντρο το χωριό Δαδιά. Η περιοχή δράσης της πυρκαγιάς είναι σε μεγάλη απόσταση από το συγκεκριμένο χωριό και δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή από τους επισκέπτες της περιοχής. Αν όμως λόγω της πυρκαγιάς μειωθούν οι πληθυσμοί των πτηνών, που αποτελούν πόλο έλξης στην περιοχή, ενδέχεται να μειωθεί και η τουριστική κίνηση. Ως αποτέλεσμα, στην αξιολόγηση του κριτηρίου Z.7 θεωρήθηκε ότι υπάρχει ισχυρή πιθανότητα να επηρεαστεί ο τουρισμός και η αναψυχή της περιοχής, λαμβάνοντας βαθμολογία ίση με 70.

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι ελήφθησαν μεγάλης κλίμακας μεταπυρικά μέτρα αποκατάστασης του πεδίου, κυρίως σε επίπεδο σταθεροποίησης εδαφών, απόληψης της νεκρής ξυλείας και αναδάσωσης. Η βαθμολογία του κριτηρίου Z.8 είναι 100. Λόγω του μεγέθους της καμένης έκτασης, ο πολλαπλασιαστής λαμβάνει την τιμή 2,5. Η συνολική βαθμολογία διαμορφώνεται από $0,038 \times 60 + 0,062 \times 80 + 0,104 \times 20 + 0,062 \times 40 + 0,255 \times 20 + 0,255 \times 0 + 0,164 \times 70 + 0,062 \times 100 = 34,48$. Το αποτέλεσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με 2,5 και προκύπτει 86,19. Όταν σταθμιστεί, η βαθμολογία της κατηγορίας διαμορφώνεται στα **28,73 / 100**.

8.2.8. Συνολική βαθμολογία του Δείκτη επιπτώσεων για την Πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου 2011

Στις Εικόνες 8.1 και 8.2 παρουσιάστηκε σχηματικά ο τρόπος που συνδυάζονται τα κριτήρια, οι προσθέτες και οι πολλαπλασιαστές ώστε να προκύψουν τόσο οι επιμέρους βαθμολογίες κάθε κατηγορίας, όσο και η συνολική ταξινόμηση και βαθμολόγηση της εκάστοτε πυρκαγιάς.


Ταξινόμηση	1	2	3	4	5	6	7
Κατηγορία	Απώλειες	Τοπίο και Εδαφοκάλυψη	Καταστροφές	Δυνατότητες Αναγέννησης	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Οικονομία	Καταστολή
Συντελεστής	0,31	0,21	0,13	0,11	0,11	0,08	0,05
Βαθμολογία Πυρκαγιάς	0,00	50,35	2,92	16,27	21,33	28,73	74,59

Η τελική συνολική βαθμολογία του δείκτη επιπτώσεων διαμορφώνεται από $0,31 \times 0 + 0,21 \times 50,35 + 0,13 \times 2,92 + 0,11 \times 16,27 + 0,11 \times 21,33 + 0,08 \times 28,73 + 0,05 \times 74,59 = \mathbf{21,28 / 100}$. Οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις έχουν βαθμολογία **14,68** (ανώτερη δυνατή 42,35), ενώ οι Κοινωνικοοικονομικές Επιπτώσεις έχουν βαθμολογία **6,60** (ανώτερη δυνατή 57,65).


8.3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για την ευκολότερη αξιολόγηση των περιστατικών πυρκαγιάς σχεδιάστηκε ένα διαδικτυακό αυτοματοποιημένο λογισμικό το οποίο αλληλεπιδρά με τους χρήστες μέσω ενός σύγχρονου Graphical User Interface (GUI) και είναι ικανό να διεξάγει και υπολογίζει όλες τις περίπλοκες σχέσεις μεταξύ των κριτηρίων και κατηγοριών (Εικόνα 8.9). Όλοι οι υπολογισμοί διενεργούνται αυτόματα, ενώ ο χρήστης μπορεί με ταχύτητα και ασφάλεια να δει την επιρροή της κάθε επιλογής του τόσο στη συνολική βαθμολογία του δείκτη, όσο και στις επιμέρους κατηγορίες και κριτήρια (Εικόνα 8.10). Επιπλέον, η αναλυτική βοήθεια και τεκμηρίωση που στηρίζεται στα προηγούμενα κείμενα αυτής της διατριβής συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση του τι αξιολογείται και με ποια λογική.


Name of evaluator
 Name of fire
 Date of fire




[Effects on Landscape and Vegetation](#)




[General Environmental Impacts](#)




[Regeneration Potential - Vegetation Recovery](#)




[Firefighting / Wildfire Confrontation](#)



[Casualties and Fatalities](#)



[Destructions / Damages on Infrastructure](#)



[Economic Losses](#)

Εικόνα 8.9: Αρχική εικόνα του λογισμικού εκτίμησης επιπτώσεων και επιλογή μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών

Firefighting / Wildfire Confrontation

	No effect	10	20 (Low)	40	60 (Moderate)	80	100	
Fire Type	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Surface		<input type="radio"/> Torching / Passive Crown Fire		<input checked="" type="radio"/> Active Crown Fire	<input type="radio"/> User defined value:
Spotting	<input type="radio"/> now				<input type="radio"/> few		<input checked="" type="radio"/> constant	<input type="radio"/> User defined value: 0
Number of Firefighting Personnel		<input type="radio"/> <10	<input type="radio"/> 10-24	<input type="radio"/> 25-39	<input type="radio"/> 40-54	<input checked="" type="radio"/> 55-69	<input type="radio"/> >70	<input type="radio"/> User defined value:
Number of Firefighting Vehicles		<input type="radio"/> 1-4	<input type="radio"/> 5-9	<input type="radio"/> 10-14	<input type="radio"/> 15-19	<input checked="" type="radio"/> 20-24	<input type="radio"/> >25	<input type="radio"/> User defined value:
Number of Firefighting Aircrafts	<input type="radio"/> 0			<input type="radio"/> <=2	<input type="radio"/> 3-5	<input type="radio"/> 6-10	<input checked="" type="radio"/> >10	<input type="radio"/> User defined value:
International Aid (Personnel, Vehicles, Aircrafts)	<input type="radio"/> no		<input type="radio"/> personnel		<input type="radio"/> vehicles		<input checked="" type="radio"/> aircraft	<input type="radio"/> User defined value:
Declaration of the Area in a State of Emergency	<input type="radio"/> no						<input checked="" type="radio"/> yes	
Settlement Evacuation	<input type="radio"/> no		<input type="radio"/> 2 settlements		<input type="radio"/> 2 to 5 settlements		<input checked="" type="radio"/> >5 settlements	<input type="radio"/> User defined value:
Multiplier: Wildfire Duration		<input type="radio"/> 0.5	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1.5	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2.5	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> User defined value:

Home	Previous category	Next category	Save evaluation category	View evaluation category
CRITERION	TITLE	VALUE	WEIGHTED VALUE	
Criterion 1	Fire Type	100	29,43	
Criterion 2	Spotting	100	8,78	
Criterion 3	Number of Firefighting Personnel	80	10,49	
Criterion 4	Number of Firefighting Vehicles	80	10,83	
Criterion 5	Number of Firefighting Aircrafts	100	22,3	
Criterion 6	International Aid (Personnel, Vehicles, Aircrafts)	100	6,01	
Criterion 7	Declaration of the Area in a State of Emergency	100	2,81	
Criterion 8	Settlement Evacuation	100	4,02	
GENERAL MULTIPLIER: 2,5			SUM: 94,67	FINAL VALUE: 78,59

Εικόνα 8.10: Τρόπος καθορισμού των επιλογών του κάθε κριτηρίου για την κατηγορία Καταστολή πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη

8.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο προτεινόμενος δείκτης εκτίμησης επιπτώσεων πυρκαγιάς FIRE Index προσθέτει στην υπάρχουσα δομή αξιολόγησης μια συνολικότερη αποτίμηση των αποτελεσμάτων που προκλήθηκαν από ένα περιστατικό πυρκαγιάς, επιτρέποντας την ταξινόμηση των πυρκαγιών βάσει πολλαπλών κριτηρίων. Αυτή είναι η πρώτη έκδοσή του που στοχεύει στον καθορισμό του πλαισίου αξιολόγησης της σημαντικότητας των επιπτώσεων κάθε περιστατικού πυρκαγιάς, παρέχοντας την ιεράρχηση των κατηγοριών, κριτηρίων και των επιλογών τους, αλλά και θεσπίζοντας κανόνες καθορισμού της λογικής συνδυασμού των βαθμολογιών τους.

Τα μοντέλα μας δείχνουν μια άποψη της πραγματικότητας, επιτρέποντας να αξιολογήσουμε πιθανά σενάρια για το τι συνέβη κατά το παρελθόν, ή να κατανοήσουμε καλύτερα το τι συμβαίνει στο παρόν, ή ενδέχεται να συμβεί μελλοντικά. Με την ίδια λογική, ο FIRE Index δεν αποτυπώνει με την πλήρη λεπτομέρεια όλο το πολυσύνθετο και πολυπαραγοντικό εύρος επιπτώσεων και αλληλοσυσχετίσεων που συμβαίνουν έπειτα από μια πυρκαγιά, το οποίο μόνο αποσπασματικά και μεμονωμένα μπορεί να αξιολογηθεί σε αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας. Η λογική και η συμβολή του στην επιστήμη των δασικών πυρκαγιών είναι να μπορεί να καταγράψει το τι συνέβη για ένα μεγάλο πλήθος κατηγοριών επιπτώσεων, ενώ για άλλα κριτήρια μπορεί να εκτιμήσει το τι ενδέχεται να ακολουθήσει, και να μεταδώσει αυτή την πληροφορία στις κοινωνίες. Με τον συνδυασμό των βαθμολογιών των κριτηρίων κάθε κατηγορίας επιπτώσεων και με τη σύνθεση των βαθμολογιών τους σε μια συνολική τιμή, το αποτέλεσμα μπορεί να δείξει στο ευρύ κοινό και στους κρατικούς φορείς ότι σε αυτή την πυρκαγιά κάτι λιγότερο ή περισσότερο σοβαρό συνέβη σε έναν ή περισσότερους περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς τομείς, μια προσέγγιση που είναι πέρα από την απλή εκτίμηση της καμένης έκτασης.

Αυτό επιτρέπει τη σταδιακή μεταφορά της υπάρχουσας λογικής που επικρατεί μετά από κάθε περιστατικό πυρκαγιάς, που επιτάσσει είτε την αναδάσωση ή τη μη λήψη οποιουδήποτε προστατευτικού-διαχειριστικού μέτρου, στη λογική ότι προκλήθηκαν μια σειρά από επιπτώσεις που πρέπει να αξιολογηθούν και να αντιμετωπιστούν με επιστημονικές μεθόδους και στοχευμένες δράσεις. Αναμένεται ότι με τη χρήση του δείκτη, οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών θα μπορούν να ιδωθούν ως ένα σύνολο αρνητικών και θετικών συνεπειών που μπορούν να αντιμετωπιστούν ή διαχειριστούν είτε συνδυαζόμενες ή μεμονωμένα, ώστε να μετριαστούν τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς τόσο στη φύση όσο και στις ανθρώπινες κοινωνίες. Επιπλέον, θα αυξήσει την κοινωνική εγρήγορση για το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών και θα αποτελέσει μια συμπυκνωμένη πηγή πληροφοριών. Τέλος, δεν υποκαθιστά μια ενδελεχή μελέτη κάποιου περιστατικού με υπάρχουσες μεθόδους και πρακτικές για την εκτίμηση των πρώτης και δεύτερης τάξεως επιπτώσεων της πυρκαγιάς (όπως περιγράφηκαν αναλυτικά σε προηγούμενα κεφάλαια), αλλά αντιθέτως θα βελτιωθεί η τεκμηρίωση των επιλογών αξιολόγησης του FIRE Index.

Η κοινωνική διάσταση διέπει τη λογική καθορισμού των επιλογών και της ιεράρχησής τους στα περισσότερα κριτήρια, καθώς και στην ιεράρχηση των κατηγοριών και κριτηρίων με τη μέθοδο AHP, ενώ παράλληλα συνυπάρχει με την περιβαλλοντική διάσταση. Όταν όμως υπάρχει σύγκρουση μεταξύ των δύο αντιλήψεων, τότε επικρατεί η κοινωνική διάσταση. Αυτό σημαίνει ότι ο αξιολογητής του δείκτη, ο οποίος είναι πάντα κάποιος ειδικός σε θέματα δασικών πυρκαγιών, αξιολογεί τις κατηγορίες και τα κριτήρια με τη λογική του τι έχει σημασία για τον άνθρωπο και τις κοινωνίες, καθώς και του πώς η κοινωνία αντιλαμβάνεται την οικολογία και την περιβαλλοντική πολιτική που πρέπει να ασκηθεί. Για παράδειγμα, μια καταστροφή σε ένα περιστατικό δάσος μπορεί να έχει πολύ μικρή οικολογική σημασία σε επίπεδο νομού ή χώρας, αλλά πολύ σημαντική κοινωνική και ψυχολογική διάσταση για τους κατοίκους αυτής της πόλης. Επομένως, στην κλίμακα ιεράρχησης θα αποδοθεί ως πιο σημαντική από μια αντίστοιχης έκτασης πυρκαγιά σε ένα βουνό ή μια

πεδιάδα. Όλα αυτά αποτυπώνονται στην ιεράρχηση που προέκυψε με τη μέθοδο AHP για τις κατηγορίες και τα κριτήρια επιπτώσεων.

Υπάρχουν αρκετές υποθέσεις εργασίας και περιορισμοί που ήταν αναγκαίοι στον σχεδιασμό του δείκτη. Η κύρια υπόθεση εργασίας είναι ότι κάθε επίπτωση πυρκαγιάς μπορεί να εκτιμηθεί από ένα συνήθως κριτήριο το οποίο έχει προκαθορισμένες επιλογές σε μια κλίμακα από 0 έως 100, έτσι ώστε να προκύψει μια αριθμητική τιμή της σημαντικότητάς τους. Αυτό το γεγονός δεν αποτελεί πρόβλημα για κριτήρια όπως η «Καμένη Έκταση», αλλά το να αποδοθούν βαθμολογίες στον αριθμό των θανάτων μπορεί να προκαλέσει διαφωνίες, σύγχυση και παρεξηγήσεις. Ωστόσο, οι επιλογές προέκυψαν από λεπτομερή έρευνα σε εκατοντάδες περιστατικά πυρκαγιών, τόσο της Ελλάδας όσο και του εξωτερικού. Ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι επιλογές τοποθετήθηκαν στην κλίμακα είναι περισσότερο περιγραφικός/ ποιοτικός, παρά αριθμητικός. Η υπάρχουσα προσέγγιση τοποθετεί τις επιλογές των κριτηρίων στην κλίμακα ιεραρχικά, από τη μικρότερη μέχρι τη μεγαλύτερη επίπτωση. Οι αριθμητικές τιμές χρησιμοποιούνται κυρίως στους υπολογισμούς, αλλά το νόημά τους έγκειται στον τρόπο που ο αξιολογητής τις επιλέγει πάνω στην προκαθορισμένη κλίμακα (μικρή έως μεγάλη επίπτωση).

Μια ακόμα υπόθεση εργασίας έγινε στην κατηγορία «Καταστροφές», όπου σε αρκετά κριτήρια αποδόθηκαν νομισματικές τιμές και αξίες. Ο κύριος περιορισμός αυτής της προσέγγισης είναι ότι τα συνολικά κόστη των ζημιών μπορούν κατά πολύ να ξεπερνούν τις προκαθορισμένες επιλογές του κριτηρίου, χωρίς τη δυνατότητα να μπορεί να εισαχθεί στην διαδικασία αξιολόγησης αυτό το επιπλέον ποσό. Όπως όμως έχει ήδη επισημανθεί, το πλαίσιο αξιολόγησης του δείκτη έχει σχεδιαστεί ώστε να αποτυπώνει και να καταγράφει τη μεταβλητότητα μεταξύ των διαφορετικών δασικών πυρκαγιών και όχι απαραίτητα να καταγράφει με πλήρη λεπτομέρεια το τι ακριβώς συνέβη.

Η τελευταία υπόθεση εργασίας, που είναι ταυτόχρονα και περιορισμός, είναι η χρήση της μεθόδου AHP για να προκύψουν οι συντελεστές βαρύτητας των κατηγοριών και των κριτηρίων. Η μέθοδος AHP απαιτεί εισροές από τους χρήστες ώστε να καθορίσει την ιεραρχία μεταξύ των κατηγοριών και των κριτηρίων, και έτσι είναι ευάλωτη στην εισαγωγή υποκειμενικών απόψεων στα αποτελέσματα. Διαφορετικοί άνθρωποι μπορεί να εκτιμήσουν διαφορετικά τη σημαντικότητά τους και αυτό εκ των πραγμάτων θα οδηγήσει σε μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας. Η μέθοδος AHP εκτιμήθηκε από τον συντάκτη αυτής της εργασίας με την εκτίμηση της κοινωνικής οπτικής των επιπτώσεων δασικών πυρκαγιών ως την πλέον σημαντική συνιστώσα, ακολουθούμενη από τις περιβαλλοντικές και οικονομικές προσεγγίσεις. Σε επόμενη έκδοση, θα διενεργηθεί στατιστική τεκμηρίωση τόσο των επιλογών του κάθε κριτηρίου, όσο και της σχετικής σημαντικότητας των κατηγοριών και κριτηρίων μέσω στατιστικών μεθόδων στην κοινωνική έρευνα. Επιπλέον, για την εφαρμογή του δείκτη σε επιχειρησιακό επίπεδο θα απαιτηθεί και η εξέταση του από ειδικούς επιστήμονες σε διάφορα επίπεδα της επιστήμης των δασικών πυρκαγιών.

Ο FIRE Index έχει στόχο στο να κεντρίσει το ενδιαφέρον του κοινού και των φορέων, παρέχοντας μια προτεραιοποίηση κυρίως μεταξύ των πυρκαγιών που συμβαίνουν τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα. Για αυτό το σκοπό, στα πλαίσια της μελλοντικής εργασίας θα μελετηθούν και αξιολογηθούν πολλά από τα παρελθόντα περιστατικά πυρκαγιών που απασχόλησαν τους φορείς και την κοινή γνώμη. Επιπλέον δεδομένα και πληροφορίες από άλλες μελέτες που έχουν διενεργηθεί κατά τα τελευταία έτη στην Ελλάδα από κρατικούς φορείς, ΜΚΟ και ιδιώτες θα αξιοποιηθούν για αυτό το σκοπό. Αναμένεται ότι θα προκύψουν νέες εκδόσεις που θα διορθώσουν, εξελίξουν, συμπληρώσουν και αυτοματοποιήσουν τις συνολικές και επιμέρους διεργασίες και υποθέσεις εργασίας. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι ένα μεγάλο πλήθος των εισροών της μεθοδολογίας μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε τέτοιο βαθμό, που ο αξιολογητής το μόνο που θα πρέπει να κάνει στη συνέχεια είναι να εγκρίνει τα αποτελέσματα ή να διενεργήσει μικροεπεμβάσεις/ διορθώσεις σε αυτά.

Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι για το 1/3 των κριτηρίων, προσθετών και πολλαπλασιαστών υπάρχουν χωρικά δεδομένα συνοδευόμενα από σημαντικές περιγραφικές πληροφορίες, και οι απαντήσεις μπορούν να δοθούν μέσω χωρικής ανάλυσης σε αυτά. Για παράδειγμα, το πόση είναι η καμένη έκταση και ποιο είναι το όριο της μπορεί να δοθεί άμεσα από χάρτες του EFFIS¹⁰. Χωρικά δεδομένα από προϊόντα δορυφορικής τηλεπισκόπησης (όπως η σφοδρότητα καύσης, χάρτες διάβρωσης, κλίσεις και τύποι εδαφών κ.α.), μπορεί επίσης να συμβάλουν στην διαδικασία αξιολόγησης αν είναι διαθέσιμα. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, μπορεί άμεσα να προκύψει πληροφορία σχετικά με τους τύπους βλάστησης ή τις προστατευόμενες περιοχές, και να υπολογιστούν τα ποσοστά και η έκτασή τους εντός της καμένης περιοχής. Τέλος, μελλοντικά θα διεξαχθεί εκτίμηση της μεταβλητότητας του δείκτη σε περίπτωση αξιολόγησης από διαφορετικούς ανθρώπους για το ίδιο περιστατικό, όσο και εξειδικευμένες εκτιμήσεις ευαισθησίας. Έτσι, θα διαπιστωθεί ποια κριτήρια και κατηγορίες είναι πιο ευμετάβλητα, πόσα μπορούν να εκτιμηθούν από χωρικά δεδομένα και με ποια ακρίβεια, και ποιες είναι οι καλύτερες μέθοδοι εκτίμησης τους από τον αξιολογητή.

¹⁰ <http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/applications/current-situation/> (πρόσβαση στις 25 Ιουνίου 2015)

9. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα αυτής της διατριβής κατέδειξαν ότι η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών πρέπει να αντιμετωπίζεται ολιστικά σε όλα τα στάδια της, από τον προκατασταλτικό σχεδιασμό, την καταστολή αλλά και την μεταπυρική διαχείριση. Παρά το γεγονός ότι το βασικό αντικείμενο αυτής της διατριβής είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών, αποδείχτηκε ότι τα εργαλεία και οι μέθοδοι δασολογίας και γεωπληροφορικής που αξιοποιήθηκαν έχουν εκτεταμένες δυνατότητες και μπορούν να συμβάλλουν σε κάθε στάδιο της διαχείρισης δασικών πυρκαγιών. Σε κάθε περίπτωση, κρίνεται αναγκαία η συνεργασία και ο συντονισμός των φορέων πολιτικής προστασίας (ΟΤΑ, Δασαρχεία, Πυροσβεστικό Σώμα, εθελοντές).

Η αξιοποίηση των λογισμικών προσομοίωσης συμπεριφοράς πυρκαγιών μπορεί να αξιοποιηθεί σε σενάρια «τι-θα-συμβεί-αν» και βάσει των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν, να γίνουν συντονισμένες και στοχευόμενες ενέργειες για την μείωση του κινδύνου που προκύπτει από πυρκαγιές. Αυτές οι ενέργειες μπορεί να περιλαμβάνουν μεθόδους διαχείρισης της καύσιμης ύλης, δημιουργία στρατηγικά κατανομημένων αντιπυρικών ζωνών, βέλτιστη χωροθέτηση πυροσβεστικών οχημάτων πρώτης κρούσης κ.α. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για την έγκαιρη ενημέρωση και πληροφόρηση του κοινού. Κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς, οι πυροσβεστικές δυνάμεις μπορούν να αξιοποιήσουν τα λογισμικά FARSITE και FlamMap ώστε να αναλύσουν συγκεκριμένα σενάρια για την υπό εξέλιξη πυρκαγιά και να εκτιμήσουν την πιθανή συμπεριφορά της. Τέλος, μετά την πυρκαγιά οι προσομοιώσεις μπορούν να υποδείξουν το ποιές περιοχές κήκαν με τη μεγαλύτερη ένταση καθώς και να γίνει εκτίμηση των επιπτώσεων πρώτης τάξης με αυτά.

Για να καταστεί εφικτή όμως η αξιοποίηση των λογισμικών προσομοίωσης συμπεριφοράς πυρκαγιάς είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν όλες οι απαραίτητες εισροές σε αυτά, εξασφαλίζοντας έτσι ότι τα αποτελέσματα θα είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Υπάρχουν αντικειμενικές δυσκολίες σε αυτό το εγχείρημα, ιδιαίτερα αν αφορά μεγάλες γεωγραφικές περιφέρειες. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας κατέστη εφικτή η δημιουργία τους για την νήσο Λέσβο, αλλά είναι γεγονός ότι απαιτείται ιδιαίτερα αυξημένος χρόνος διεξαγωγής των δειγματοληψιών και της μετα-ανάλυσης τους. Περαιτέρω, η γνώση και η εμπειρία που απαιτείται για να γίνουν αυτές οι μετρήσεις αξιόπιστα και με το ελάχιστο δυνατό σφάλμα δεν είναι εξασφαλισμένες, και χρειάζονται είτε μεγάλες ερευνητικές ομάδες ή η όλη προσπάθεια να γίνει από τη Δασική Υπηρεσία. Με τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έχει αποδειχτεί ότι αυτά τα δεδομένα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα και είναι προς το κοινό όφελος παράλληλα με τις διαχειριστικές μελέτες, να γίνεται πρόβλεψη και για τη δημιουργία τους ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν σε λογισμικά προσομοιώσεων δασικών πυρκαγιών. Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν σε αυτή την έρευνα μπορούν να επεκταθούν και να εφαρμοστούν σε ευρύτερες περιοχές. Επιπλέον, μια σημαντική παράμετρος των δειγματοληψιών σε δασικές περιοχές, ιδιαίτερα σε μη διαχειριζόμενες όπως αυτές της νήσου Λέσβου, είναι το ότι δημιουργείται γνώση για την υφιστάμενη κατάσταση των δασών τα οποία έχουν σε μεγάλο βαθμό εγκαταλειφθεί από κάθε μορφής διαχείριση (επίσημη ή ανεπίσημη) και έτσι μπορεί ο εκάστοτε δασάρχης να προτείνει και εφαρμόσει μέτρα για την αποφυγή περαιτέρω υποβάθμισης τους.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην πυρκαγιά της Λευκίμμης Έβρου παρέχει μια συνολική αποτίμηση όλων των παραμέτρων και συνεπειών της, από την έναρξη και εξέλιξη της έως και τις αναμενόμενες επιπτώσεις της. Η αξιοποίηση δορυφορικών εικόνων απέδειξε ότι δύσκολες μέχρι πρότινος διεργασίες, όπως η χαρτογράφηση της σφοδρότητας καύσης και της περιμέτρου μπορεί να γίνει άμεσα. Έτσι, δεν είναι απαραίτητη η επίσκεψη στην περιοχή, ενώ εύκολα μπορεί να εκτιμηθεί και το μέγεθος των επιπτώσεων (καμένο, καψαλισμένο και

άκαυτο) και να παρθούν αποφάσεις σχετικά με το εάν και πότε πρέπει να ληφθούν μεταπυρικά μέτρα αποκατάστασης. Αν όμως αυτή η πληροφορία συνδυαστεί με δεδομένα πεδίου τα οποία μπορεί να αποκτηθούν σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, ακόμα και από ένα άτομο (1 εβδομάδα για την συγκεκριμένη πυρκαγιά), τότε η εικόνα που έχουν οι φορείς διαχείρισης των δασών γίνεται πληρέστερη. Ο χάρτης σφοδρότητας μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με άλλα δεδομένα για να εκτιμηθεί χωρικά η αναμενόμενη διάβρωση της περιοχής. Τέλος, οι επιπτώσεις πυρκαγιάς πρώτης τάξης μπορούν πλέον να χαρτογραφηθούν και να παρέχουν άμεση ενημέρωση στο ευρύτερο κοινό.

Η μεθοδολογία του FIRE Index που παρουσιάστηκε αναλυτικά παρέχει για πρώτη φορά ένα καθολικό τρόπο συνεκτίμησης των επιπτώσεων που προκαλούνται από πυρκαγιές, επιτρέποντας την ταξινόμηση και σύγκριση διαφορετικών περιστατικών πυρκαγιών. Απώτερος στόχος είναι να καταστεί εφικτή η εκτίμηση των επιπτώσεων κάθε σημαντικής πυρκαγιάς που συμβαίνει στην Ελλάδα, γεγονός που προϋποθέτει την αποδοχή και χρήση του δείκτη από την επίσημη πολιτεία. Για τη διευκόλυνση του παραπάνω στόχου σχεδιάστηκε ειδικό διαδικτυακό λογισμικό το οποίο επιτρέπει την γρήγορη αξιολόγηση του κάθε περιστατικού. Εφόσον η αξιολόγηση γίνεται κατόπιν μελέτης και προσεκτικής άντλησης σωστών πληροφοριών, εκτιμάται ότι τα αποτελέσματα μπορούν να υποδείξουν αν κάτι λιγότερο ή περισσότερο σημαντικό έγινε στην υπό αξιολόγηση πυρκαγιά. Η μεθοδολογία αυτή εκτιμάται ότι θα συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών, μιας και είναι ένα εργαλείο που στοχεύει πρωτίστως στην ενημέρωση της κοινωνίας και στην πληροφόρηση των αρμόδιων φορέων διαχείρισης του φυσικού πλούτου της χώρας. Σημαντική συμβολή αναμένεται ότι θα επιτευχθεί αν τερματιστεί η υπερβολική αντίδραση έπειτα από περιστατικά πυρκαγιών τα οποία έτυχαν προβολής από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, αλλά και η αγνόηση άλλων περιστατικών τα οποία είχαν πολύ σημαντικές και εκτεταμένες επιπτώσεις και για τα οποία δεν ελήφθη η παραμικρή μεταπυρική μέριμνα. Τέλος, η μεθοδολογία που προτάθηκε έχει συγκεκριμένες υποθέσεις εργασίας στην βαθμολόγηση των κριτηρίων και κατηγοριών, οι οποίες εύκολα μπορούν να τροποποιηθούν και να βελτιωθούν αν αυτό καταστεί αναγκαίο.

9.1. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σε αυτή την έρευνα παρουσιάστηκε η λογική και το υπολογιστικό πλαίσιο του FIRE index, για το οποίο και απαιτήθηκε σημαντικός χρόνος υλοποίησης. Έτσι, κατέστη εφικτή μόνο η αξιολόγηση ενός περιστατικού πυρκαγιάς για το οποίο υπήρχαν τα απαραίτητα δεδομένα. Βασικό τμήμα της μελλοντικής εργασίας θα γίνει πάνω στην βελτιστοποίηση της ακρίβειας και αποτελεσματικότητας του δείκτη, αξιοποιώντας και άλλα περιστατικά πυρκαγιών που συνέβησαν ή θα συμβούν στην Ελλάδα. Έτσι, αναμένεται ότι θα προκύψει μια πληρέστερη εικόνα σχετικά με την ευαισθησία των κριτηρίων, των κατηγοριών και του τελικού δείκτη σε μεταβολές. Επιπλέον, θα προκύψουν νέες εκδόσεις της διαδικτυακής εφαρμογής όπου και θα παρέχονται αναλυτικές οδηγίες και τεκμηρίωση του κάθε κριτηρίου και κατηγορίας, βελτιωμένο γραφικό περιβάλλον και διόρθωση προγραμματιστικών προβλημάτων (bugs). Περαιτέρω, η εμπειρία που αποκτήθηκε από την μεθοδολογία προσομοιώσεων δασικών πυρκαγιών έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία για την εκτίμηση και υπολογισμό των αναμενόμενων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών και στο πως αυτές αναμένεται ότι θα επηρεάσουν με την σειρά τους αξίες και υποδομές σε κίνδυνο, με δημοσίευση στο περιοδικό *Forests (Effect of Climate Change Projections on Forest Fire Behavior and Values-at-Risk in Southwestern Greece, doi:10.3390/f6062214)*. Τέλος, προγραμματίζεται η δημοσίευση δύο ακόμα τμημάτων της διδακτορικής διατριβής σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Agee, J.K., 1990. The historical role of fire in Pacific Northwest forests. In: Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forests. (eds. Walstad, J.D., Radosevich, S.R., Sandberg, D.V.) pp. 25-38. (Corvallis: Oregon State University Press)
- Ager, A.A., Finney, M.A., Kerns, B.K. and Maffei, H., 2007. Modeling wildfire risk to northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*) habitat in Central Oregon, USA. *Forest Ecology and Management*, **246**, 45–56.
- Ager, A.A. and Vaillant, N., 2010. A comparison of landscape fuel treatment strategies to mitigate wildland fire risk in the urban interface and preserve old forest structure. *Forest Ecology and Management*, **259**, 1556-1570.
- Ager, A.A., Vaillant, N.M., Finney, M.A. and Preisler, H.K., 2012. Analyzing wildfire exposure and source-sink relationships on a fire prone forest landscape. *Forest Ecology and Management*, **267**, 271-283.
- Agrios, G.N., 2005. Plant Pathology. 5th edn. (Elsevier-Academic Press: San Diego, CA, USA)
- Albini, F.A., 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-30. (Ogden, UT).
- Albini, F.A., 1979. Spot fire distance from burning trees-a predictive model. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-56. (Ogden, UT)
- Albini, F.A. and Baughman, R.G., 1979. Estimating windspeeds for predicting wildland fire behavior. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-221. (Ogden, UT)
- Albini, F.A., 1983. Potential spotting distance from wind-driven surface fires. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-309. (Ogden, UT)
- Albini, F.A. and Reinhardt, E.D., 1995. Modeling Ignition and Burning Rate of Large Woody Natural Fuels. *International Journal of Wildland Fire*, **5** (2), 81-91.
- Albini, F.A., Brown, J.K., Reinhardt, E.D. and Ottmar, R.D., 1995. Calibration of a Large Fuel Burnout Model. *International Journal of Wildland Fire*, **5** (3), 173-192.
- Albini, F.A., Amin, M.R., Hungerford, R.D., Frandsen, W.H. and Ryan, K.C., 1996. Models for fire-driven heat and moisture transport in soils. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-GTR-335. (Ogden, UT)
- Albini, F.A. and Reinhardt, E.D., 1997. Improved Calibration of a Large Fuel Burnout Model. *International Journal of Wildland Fire*, **7**(1), 21-28.
- Alexander, M.E., 1985. Estimating the length-to-breadth ratio of elliptical forest fire patterns. In: Proceedings of the 8th Conference on Fire and Forest Meteorology, April 29-May 2, 1985, Society of American Foresters. Detroit, MI and Bethesda, MD. pp. 287-304.
- Alexandridis, T.K., Gitas, I.Z. and Silleos, N.G., 2008. An estimation of the optimum temporal resolution for monitoring vegetation condition on a nationwide scale using MODIS/Terra data. *International Journal of Remote Sensing*, **29**, 3589-3607.
- Allen D. and Dennis A., 2000. Inventory of air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas. Center for Energy and Environmental Resources, The Texas Natural Resources Conservation Commission, The University of Texas. (Austin, TX)
- Alrababah, M.A., Alhamad, M.N., Bataineh, A.L., Bataineh, M.M. and Suwaileh, A.F., 2011. Estimating east Mediterranean forest parameters using Landsat ETM. *International Journal of Remote Sensing*, **32**, 1561-1574.
- Andrews, P.L. and Rothermel, R.C., 1982. Charts for interpreting wildland fire behavior characteristics. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-131. (Ogden, UT)
- Anderson, H.E., 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-122. (Ogden, UT)
- Anderson, H.E., 1983. Predicting wind-driven wildland fire size and shape. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-305. (Ogden, UT)
- Andrews, P.L., 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system- Burn subsystem. Part 1. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-194. (Ogden, UT)
- Andrews, P.L. and Butler, B.W., 2006. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. In: Proceedings RMRS-P-41, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station 28-30 March 2006, Portland, OR. 809 p.
- Andrews, P.L., Bevins, C.D. and Seli, R.C., 2008. BehavePlus fire modeling system, version 4.0: User's Guide. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-106WWW Revised. (Ogden, UT)

- Andrews, P.L., 2009. BehavePlus fire modeling system, v. 5.0: variables. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-213www revised. (Fort Collins, CO)
- Andrews, P.L., Heinsch, F.A. and Schelvan, L., 2011. How to generate and interpret fire characteristics charts for surface and crown fire behavior. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-253. (Fort Collins, CO)
- Anusplin 2014, Fenner School of Environment & Society.
<http://fennerschool.anu.edu.au/research/products/anusplin-vrsn-44> (accessed 25 June 2015)
- Apfelbaum, S., and Haney, A., 1981. Bird populations before and after wildfire in a Great Lakes pine forest. *Condor*, **83(4)**, 347-354.
- Aplada, E., Georgiadis, T., Tiniakou, A. and Theocharopoulos, M., 2007. Phytogeography and ecological evaluation of the flora and vegetation of Mt Parnitha (Attica, Greece). *Edinburgh Journal of Botany*, **64(02)**, 185-207.
- Arianoutsou M., Kazanis D. and Varela V., 2000. Ecological indicators of land degradation due to frequent fires: the case of Penteli Mt., Attica, Greece. In: International Conference on Mediterranean-Type Ecosystems, 11–15 September 2000, Stellenbosch, South Africa.
- Arianoutsou, M., Christopoulou, A., Kazanis, D., Tountas Th, G. E., Bazos, I., and Kokkoris, Y., 2010a. Effects of fire on high altitude coniferous forests of Greece. In: 6th international conference on forest fire research, 15-18 November 2010, Coimbra, Portugal.
- Arianoutsou, M., Bazos, I., Delipetrou, P. and Kokkoris, Y., 2010b. The alien flora of Greece: taxonomy, life traits and habitat preferences. *Biological Invasions*, **12**, 3525-3549.
- Arroyo, L.A., Pascual, C. and Manzanera, J.A., 2008. Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing. *Forest Ecology and Management*, **256**, 1239-52.
- Atmiş, E., Özden, S. and Lise, W., 2007. Urbanization pressures on the natural forests in Turkey: an overview. *Urban Forestry and Urban Greening*, **6(2)**, 83-92.
- Authier, P., 1993. Contributions à “Flora hellenica”: la flore de la région des Monts Timfi (Epire, nord—ouest Grèce)(I). *Acta Botanica Gallica*, **140(5)**, 525-533.
- Ayhan, S., 1983. Kızılçamın doğal gençleştirmesinde gözlemlerin bilimsel bulgular ışığında yorumu. *Orman Mühendisliği Dergisi*, **Sayı 10 (Ekim)**, 14–18.
- Baier, P., Pennerstorfer, J., and Schopf A., 2007. PHENIPS - A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, **249(3)**, 171-186.
- Barbero, M., and Quezel, P., 1976. Les groupements forestiers de Grèce centromériodionale. *Ecologia Mediterranea*, **2**, 1-86.
- Barbero, M., and Quezel, P., 1980. La végétation forestière de Crète. *Ecologia Mediterranea*, **5**, 175-210.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. US Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA 841-B-99-002, Second Edition. (Washington D.C.)
- Barney, M.A. and Frischknecht, N.C. 1974. Vegetation changes following fire in the pinyon-juniper type of west-central Utah. *Journal of Range Management*, **27(2)**, 91-96.
- Bayraktar, F., Aytaç, Z., Suludere, Z. and Candan, S., 2010. Seed morphology of *Ebenus* L. species endemic to Turkey. *Turkish Journal Of Botany*, **34(4)**, 283-289.
- Belton, V. and Gear, T., 1983. On a short-coming in Saaty’s method of analytic hierarchies. *Omega*, **11**, 228–30.
- Bendell, J. F. 1974. Effects of fire on birds and mammals. In: Fire and ecosystems (eds. Kozlowski, T.T. and Ahlgren, C.E.). pp. 73-138. (Academic Press: New York, NY)
- Benton, N., Bell, G. and Swearingen, J.M., 2005. Fact Sheet: Giant Reed. Plant Conservation Alliance. Available from: <http://www.nps.gov/plants/alien/fact/pdf/ardo1.pdf> (accessed 25 June 2015).
- Bergmeier, E., 2002. Plant communities and habitat differentiation in the Mediterranean coniferous woodlands of Mt. Parnon (Greece). *Folia Geobotanica*, **37(3)**, 309-331.
- Bergmeier, E. and Strid, A., 2014. Regional diversity, population trends and threat assessment of the weeds of traditional agriculture in Greece. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **175(4)**, 607-623.
- Berkman, H.E. and Rabeni, C.F., 1987. Effect of siltation on stream fish communities. *Experimental Biology of Fishes*, **18(4)**, 285-294.
- Beschta, R.L., Rhodes, J.J., Kauffman, J.B., Griesswell, R.E., Minshall, G.W., Karr, J.R., Perry, D.A., Hauer, E.R. and Frissell, C.A., 2004. Postfire management on forested public lands of the western United States. *Conservation biology*, **18**, 957–967.
- Bishop, M., Grimshaw, J. and Davis, A.P., 2006. *Snowdrops: a monograph of cultivated Galanthus*. Griffin Press: England.
- Blondel, J. and Aronson, J., 1999. Biology and Wildlife of the Mediterranean Region. (Oxford University Press: Oxford)

- Bonham-Carter, G., 1998. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. (Pergamon: Ontario)
- Boyce, J.S., 1961. Forest Pathology. 3rd edition. (McGraw Hill Book Co: New York, NY)
- Boydak, M., 1993. Kızılcâmın silvikültürel özellikleri, uygulanabilecek gençleştirme yöntemleri ve uygulama esasları. In: Proceedings of the International Symposium on Pinus brutia Ten., 18–23 October 1993, Marmaris-Turkey. pp. 146-158.
- Boydak, M., 2004. Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten.-a review. *Plant Ecology*, **171**, 153-163.
- Brewer, J.S. and Cralle, S.P., 2003. Phosphorus addition reduces invasion of a longleaf pine savanna (Southeastern USA) by a non-indigenous grass (*Imperata cylindrica*). *Plant Ecology*, **167(2)**, 237-245.
- British Columbia, 2009. 2005 British Columbia Emissions Inventory of Criteria Air Contaminants. British Columbia Ministry of Healthy Living and Sport Population and Public Health.(Victoria, B.C.) http://www.bcairquality.ca/reports/pdfs/2005_emissions_inventory.pdf (accessed 25 June 2015)
- Brofas, G., Karetos, G., Dimopoulos, P. and Tsagari, C., 2006. The natural environment of *Cupressus sempervirens* in Greece as a basis for its use in the Mediterranean region. *Land Degradation & Development*, **17**, 645-659.
- Brooks, M.L. and Esque, T.C., 2002. Alien plants and fire in desert tortoise (*Gopherus Agassizii*) habitat of the Mojave and Colorado deserts. *Chelonian Conservation and Biology*, **4**, 330–340.
- Brooks, M.L., D'antonio, C.M., Richardson, D.M., Grace, J.B., Keeley, J.E., Ditomaso, J.M., Hobbs, R.J., Pellant, M. and Pyke, D., 2004. Effects of invasive alien plants on fire regimes. *BioScience*, **54 (7)**, 677-688.
- Brown, J.K., 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-16. (Ogden, UT)
- Brown, J.K., 1978. Weight and density of crowns of Rocky Mountain conifers. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-RP-197.
- Brown, J.K., Oberheu, R.D. and Johnston, C.M., 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-129. (Ogden, UT)
- Brown, J.K. 2000. Introduction and fire regimes. In: Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. (Eds Brown, J.K. and Smith, J.K.). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol. 2, pp.1-8. (Ogden, UT)
- Brown, J.K. and Smith, J.K., (Eds.) 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol. 2. (Ogden, UT)
- Burgan, R.E., 1987. Concepts and interpreted examples in advanced fuel modeling. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-238. (Ogden, UT)
- Burrows, N.D., 1995. A framework for assessing acute impacts of fire in Jarrah forests for ecological studies. *Calm Science*, **4**, 59–66.
- Busse, M.D. and DeBano, L.F., 2005. Soil Biology-Chapter 4. In: Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. (Eds. Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F. - revised 2008). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol.4. (Ogden, UT)
- Butry, D.T., Mercer, E.D., Prestemon, J.P., Pye, J.M. and Holmes, T.P., 2001. What is the price of catastrophic wildfire? *Journal of Forestry*, **99(11)**, 9-17.
- Byram, G.M., 1959. Combustion of forest fuels. In: Forest fire: control and use. (Ed. Davis, K.P.) pp. 61–89. (Mcgraw-Hill: Texas, USA)
- Calkin, D.E., Hyde, K.D., Robichaud, P.R., Jones, J.G., Ashmun, L.E. and Loeffler D., 2007. Assessing post-fire values-at-risk with a new calculation tool. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-205. (Fort Collins, CO)
- Callaway, R.M. and Davis, F.W., 1998. Recruitment of *Quercus agrifolia* in central California: the importance of shrub-dominated patches. *Journal of Vegetation Science*, **9**, 647–656.
- Callaway, R.M., Nadkarni, N.M. and Mahall, B.E., 1991. Facilitation and interference of *Quercus douglasii* on understory productivity in central California. *Ecology*, **72**, 1484–1499.
- Campbell, G.S., Jungbauer, J.D., Bristow, K.L. and Hungerford, R.D., 1995. Soil temperature and water content beneath a surface fire. *Soil Science*, **159 (6)**, 363–374.
- Campbell, K.J and Donlan, C.J 2005. A review of feral goat eradication on islands. *Conservation Biology*, **19 (5)**, 1362-1374.
- Catchpole, E.A., De Mestre, N.J. and Gill, A.M., 1982. Intensity of fire at its perimeter. *Australian Forest Research*, **12**, 47–54.
- Cawsey, E.M., Austin, M.P. and Baker, B.L., 2002. Regional vegetation mapping in Australia: A case study in the practical use of statistical modelling. *Biodiversity and Conservation*, **11**, 2239–2274.

- Chambers, J.C., Schupp, E.W, Vander W. and Stephen B., 1999. Seed dispersal and seedling establishment of pinyon and juniper species with the pinyon-juniper woodlands. In: Ecology and management of pinyon-juniper communities within the Interior West, 15-18 September 1997, Provo, Utah. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-9, pp. 29-34. (Fort Collins, CO)
- Chandler, D., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. and Williams, D., 1983. Fire in Forestry, Volume I: Forest Fire Behavior and effects. (John Wiley and Sons, Inc: USA)
- Chander, G. and Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **11**, 2674-2677.
- Chavez, P.S., 1996. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **62**, 1025-1036.
- Chen, K., Blong, R. and Jacobson, C., 2003. Towards an Integrated Approach to Natural Hazards Risk Assessment Using GIS: With Reference to Bushfires. *Environmental Management*, **31** (4), 546-560.
- Cirne, P., Scarano, F.R., 2001. Resprouting and growth dynamics after fire of the clonal shrub *Andira legalis* (Leguminosae) in a sandy coastal plain in south-eastern Brazil. *Journal of Ecology*, **89** (3), 351- 357.
- Climent, J., Prada, M. A., Calama, R., et al., 2008. To grow or to seed: ecotypic variation in reproductive allocation and cone production by young female Aleppo pine (*Pinus halepensis*, Pinaceae). *American Journal of Botany*, **95**(7), 833-842.
- Constantinidis, T., 2012. *Hedysarum grandiflorum* subsp. *bulgaricum* (Leguminosae) and *Biarum ditschianum* (Araceae), two new records for the Greek flora. *Phytologia Balcanica*, **18**(2), 155-161.
- Corridor design, 2014. <http://corridordesign.org> (accessed 25 June 2015)
- Crookston, N.L. and Dixon, G.E., 2005. The forest vegetation simulator: a review of its structure, content, and applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, **49**, 60-80.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. and Wakimoto, R.H., 2003. Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. *International Journal of Wildland Fire*, **12**, 39-50.
- Csurhes, S., Paroz, G. and Markula, A., 2009. Pest animal risk assessment Feral horse *Equus caballus*. Biosecurity Queensland Queensland Primary Industries and Fisheries Department of Employment, Economic Development and Innovation.
- Curtis, R.O. and Marshall, D.D., 2000. Why Quadratic Mean Diameter? Technical note. *Western Journal of Applied Forestry*, **15**, 137-139.
- Daehler C.C., and Strong D.R., 1994. Native plant biodiversity vs. the introduced invaders: status of the conflict and future management options. In: Biological Diversity: Problems and Challenges. (Eds. Majumdar, S.K., Brenner, F.J., Lovich, J.E., Schalles, J.F. and Miller, E.W.) pp. 92- 113. (Easton, PA: Pennsylvania Academy of Science)
- Dafis S. 1987. Ecology of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forests. In: 1st Scientific Conference on *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* forests. 30 September-2 October 1987, Chalkida, Greece (Ed. Hellenic Forestry Society). pp. 17-25.
- D'Antonio C.M. and Vitousek P.M., 1992. Biological invasions by exotic grasses the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review Of Ecology And Systematics*, **23**, 63-87.
- Darra, A., Kavouras, M. and Tzelepis, N., 2010. Characterization of greek municipalities and sub-municipalities according to their topographic relief. *Geographia Technica*, **Special Issue 2010**, 12-19.
- Davis, S.D., Heywood, V.H. and Hamilton, A.C. (Eds). Centres of Plant Diversity, 1994-1997. A Guide and Strategy for Their Conservation. World Wide Fund for Nature (Gland, SW) and IUCN, (Gland, SW) and Cambridge, (Cambridge, UK)
- de Dios, V.R., Fischer, C., and Colinas, C., 2007. Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures. *New forests*, **33**(1), 29-40.
- De Luis, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C. and Raventos, J., 2003. Effects of fire and torrential rainfall on erosion in a Mediterranean gorse community. *Land Degradation and Development*, **14**, 203-213.
- DeBano, L.F. and Krammes, J.S., 1966. Water repellent soils and their relation to wildfire temperatures. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, **11**(2), 14-19.
- DeBano, L.F., Savage, S.M. and Hamilton, D.A., 1976. The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. *Soil Science Society of America Journal*, **40**, 779-782.
- DeBano, L.F., 1981. Water repellent soils: a state-of-the art. USDA Forest Service, General Technical Report PSW-46. (Berkeley, CA)
- DeBano, L.F. 1990. Effects of fire on soil resource in Arizona chaparral. In: Effects of fire management of southwestern natural resources. (tech. coord. Krammes, J.S.). USDA Forest Service, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM-191, pp. 65-77. (Fort Collins, CO)
- DeBano, L.F. 1991. The effect of fire on soil. In: Management and productivity of western-montane forest soils. (Eds. Harvey, A.E. and Neuenschwander, L.F.). USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-280, pp. 32-50. (Ogden, UT)

- DeBano, L.F., 2000a. Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*, **231**, 4–32.
- DeBano, L.F., 2000b. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*, **231**, 195–206.
- DeBano L.F., Neary D.G. and Ffolliott P.F. 2005. Soil Physical Properties-Chapter 2. In: Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. (Eds. Neary, D.G., Ryan, K.C. and DeBano, L.F., revised 2008). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-42-vol.4. (Ogden, UT)
- Debazac, E.F. and Mavrommatis, G., 1971. Les grandes divisions ecologiques de la vegetation forestière en Grèce continentale. *Bulletin de la Société botanique de France*, **118 (5-6)**, 429-452.
- Dekker, L.W. and Ritsema, C.J., 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *Journal of Hydrology*, **231**, 148-164.
- Dent, B., 1996. Cartography. Thematic Map Design (4th ed). (Brown Publisher: Dubuque)
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. and Pons, X., 2003. Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **24(8)**, 1751-1763.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. and Pons, X., 2004. Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology*, **19 (7)**, 731-745.
- Dimitrakopoulos, A.P. and Panov, P.I., 2001. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. *International Journal of Wildland Fire*, **10**, 23-27.
- Dimitrakopoulos, A.P., 2002. Mediterranean fuel models and potential fire behavior in Greece. *International Journal of Wildland Fire*, **11**, 127-130.
- Dimopoulos, P., Bergmeier, E., Theodoropoulos, K., Fisher, P. and Tsiafouli, M., 2005. Monitoring Guide for Habitat Types and Plant Species in the Natura2000 Sites of Greece with Management Institutions. University of Ioannina and Hellenic Ministry for Environment, Physical Planning and Public Works.
- Dirik, H., 2000. Analysis of pressure-volume (PV) curves within dry season in shoots of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten) provenances from different bioclimatic zones. *Istanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A*, **50(2)**, 93-103.
- Dockery, D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G. and Speizer, F.E., 1993. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*, **329**, 1753-1759.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A. and Walsh, R.P.D., 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, **51**, 33–65.
- Donovan, G.H. and Rideout, D.B. 2003. A reformulation of the cost plus net value change (C+ NVC) model of wildfire economics. *Forest Science*, **49(2)**, 318-323.
- Dunham, J.B., M.K. Young, R.E. Gresswell, and B.E. Rieman. 2003. Effects of fire on fish populations: landscape perspectives on persistence of native fishes and nonnative fish invasions. *Forest Ecology and Management*, **178**, 183-196.
- Dunn, P.F. and DeBano, L.F., 1977. Fire's effect on biological and chemical properties of chaparral soils. In: Symposium on the environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean ecosystems. (tech. cords: Mooney, H.A. and Conrad, C.E.). USDA Forest Service, General Technical Report WO-3, pp. 75-84. (Washington, DC)
- Dunn, P.H., Barro, S.C. and Poth, M., 1985. Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral soil. *Soil Biology and Biochemistry*, **17**, 143–148.
- Dyrness, C.T. 1976. Effect of wildfire on soil wettability in the high Cascades of Oregon. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Research Paper PNW-202. (Corvallis OR)
- Dyrness, C.T., and Norum, R.A., 1983. The effects of experimental fires on black spruce forest floors in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research*, **13**, 879-893.
- Eastman, J.R., 1997. Idrisi for Windows, Version 2.0: Tutorial Exercises. Graduate School of Geography-Clark University. (Worcester, MA)
- Economidis, P.S. and Banareescu, P.M., 1991. The distribution and origins of freshwater fishes in the Balkan Peninsula, especially in Greece. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, **76 (2)**, 257-283.
- Economou, A.N., Stouboudi, M.T. and Barbieri, R., 2002. Threatened fishes of the world: *Leuciscus keadicus*. *Environmental Biology of fishes*, **73**, 252.
- Egli, B., Gerstberger, P., Greuter, W., and Risse, H., 1990. *Horstrissea dolinicola*, a new genus and species of umbels (Umbelliferae, Apiaceae) from Kriti (Greece). *Willdenowia*, **19**, 389-399.
- Eler, Ü. and Şenergin, Ş., 1992. Olgunlaşmamış kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kozalaklarından yararlanabilme imkanları. *Ormançılık Araştırma Enstitüsü yayınları*, **223–226**, 1–28.
- Emmi, P.C. and Horton, C.A., 1995. A Monte Carlo simulation of error propagation in a GIS-based assessment of seismic risk. *International Journal of Geographical Information Systems*, **9(4)**, 447–461.

- Eriksson, M., Neuvonen, S. and Roininen, H., 2007. Retention of wind-felled trees and the risk of consequential tree mortality by the European spruce bark beetle *Ips typographus* in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **22**(6), 516-523
- Esri, 2008. *ArcGIS Desktop: Release 9.3* (Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute).
- Evans, R.A. and Love, R.M., 1957. The step-point method of sampling: a practical tool in range research. *Journal of Range Management*, **10**, 208-212.
- Evans, W.G. 1971. The attraction of insects to forest fires. In: Tall Timbers conference on ecological animal control by habitat management. 25-27 February 1971, Tallahassee, Florida, pp. 115-127. (Tall Timbers Research Station, FL)
- Fire and Aviation Management, 2000. Policy implications of large fire management: A strategic assessment of factors influencing costs. Report by the Strategic Overview of Large Costs Team, USDA Forest Service and F&AM. (Washington, DC)
- Falkowski, M.J., Gessler, P.E., Morgan, P., Hudak, A.T. and Smith, A.M.S., 2005. Characterizing and mapping forest fire fuels using ASTER imagery and gradient modeling. *Forest Ecology and Management*, **217**, 129-146.
- FCFDG - Forestry Canada Fire Danger Group, 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada, Science and Sustainable Development Directorate, Information Report ST-X-3. (Ottawa, Ontario, Canada)
- Fernandes, P.M., Catchpole, W.R. and Rego, F.C., 2000. Shrubland fire behavior modelling with microplot data. *Canadian Journal of Forest Research*, **30**, 889-899.
- Finney, M.A., 2002. Fire growth using minimum travel time methods. *Canadian Journal of Forest Research*, **32**, 1420-1424.
- Finney, M.A., 2004. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-RP-4. (Ogden, UT).
- Finney, M.A., 2006a. A computational method for optimizing fuel treatment locations. In Fuels management—how to measure success. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-41, (Eds Andrews, P.L. and Butler, B.W. comps. 2006), pp.107-124. (Fort Collins, CO)
- Finney, M.A., 2006b. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In Fuels management—how to measure success. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-41, (Eds Andrews, P.L. and Butler, B.W. comps. 2006), pp. 213-220. (Fort Collins, CO)
- FIREMON, 2014. Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol. <http://www.frames.gov/index.php/partner-sites/firemon/firemon-home> (accessed 25 June 2015)
- Flanagan, D.C. and Livingston, S.J. (Eds), 1995. WEPP user summary. USDA Forest Service, Agricultural Research Service, National Soil Erosion Research Laboratory, NSERL Report No. 11. (West Lafayette, IN)
- Florinsky, I.V. and Kuryakova, G.A., 1996. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, **27**, 123-141.
- Ford, W.M., Menzel, M.A., McGill, D.W., Laerm, J. and McCay, T.S., 1999. Effects of a community restoration fire on small mammals and herpetofauna in the southern Appalachians. *Forest Ecology and Management*, **114**, 233-243.
- Forman, E. and Gass S., 2001. The Analytic Hierarchy Process—An Exposition. *Operations Research*, **49** (4), 469-486.
- Forthofer, J.M., 2007. Modeling wind in complex terrain for use in fire spread prediction. Colorado State University, Thesis. (Fort Collins, CO)
- Forthofer, J. and Butler, B., 2007. Differences in simulated fire spread over Askervein Hill using two advanced wind models and a traditional uniform wind field. In: The fire environment--innovations, management, and policy. Conference proceedings, 26-30 March 2007, Destin, Florida. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-46CD. (Butler, B.W. and Cook, W. comps.). pp. 123-127. (Fort Collins, CO).
- Forthofer, J., Shannon, K. and Butler, B., 2009. Simulating diurnally driven slope winds with WindNinja. In: 8th Symposium on Fire and Forest Meteorological Society, 13-15 October 2009, Kalispell, Montana.
- Founda, D. and Giannakopoulos, C., 2009. The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece—a typical summer in the future climate? *Global and Planetary Change*, **67**, 227-236.
- Fox, D., Berolo, W., Carrega, P. and Darboux, F., 2006. Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France. *Earth Surface Processes Landforms*, **31**, 606-621.
- Franklin, S.E., Hall, R.J., Smith, L. and Gerylo, G.R., 2003. Discrimination of conifer height, age and crown closure classes using Landsat-5 TM imagery in the Canadian Northwest. *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 1823-1834.
- French, S., 1988. Decision Theory: an Introduction to the Mathematics of Rationality. p. 448 (Ellis Horwood Chichester)

- French, M.G. and French, S.P., 1996. Large mammal mortality in the 1988 Yellowstone fires. In: The ecological implications of fire in Greater Yellowstone. Proceedings, 2nd biennial conference on the Greater Yellowstone Ecosystem, 19-21 September 1993. (Ed. Greenlee, Jason M.). International Association of Wildland Fire, Yellowstone National Park, Fairfield Wyoming, pp. 113-115.
- Gamon, J.A. and Surfus, J.S., 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, **143**, 105–117.
- Gasaway, W.C. and DuBois, S.D., 1985. Initial response of moose to a wildfire in interior Alaska. *Canadian Field Naturalist*, **99**, 135–140.
- Georgioui, K. and Delipetrou, P., 2010. Patterns and traits of the endemic plants of Greece. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **162**, 130–422.
- Gibbons, J.W., Scott, D.E., Ryan, T.J., Buhlmann, K.A., Tuberville, T.D., Metts, B.S., Greene, J.L., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S. and Winne, C.T., 2000. The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *BioScience*, **50**, 653–666.
- Gill, M.A., 1995. Stems and fires. In: Plant stems physiology and functional morphology. (Ed. Gartner, N. G.). pp. 323-342. (Academic Press: San Diego, CA)
- Golden, B.E., Wasil, E.A. and Harker, P.T., 1989. The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies. (Heidelberg: Springer-Verlag)
- Goodwin, P. and Wright, G., 1998. Decision Analysis for Management Judgement. 2nd edition. (Chichester: John Wiley).
- Greene, D.F. and Johnson, E.A., 2000. Tree recruitment from burn edges. *Canadian Journal of Forest Research*, **30**, 1264-1274.
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. 3rd edition. 374 p. (University of California Press: Berkeley, CA)
- Greuter, W., 1965. Beiträge zur Flora der Sudagais 1–7. *Candollea*, **20**, 167–218.
- Greuter, W. 1967: Beiträge zur Flora der Südägäis 8-9. *Bauhinia*, **3**, 243-254.
- Greuter, W., Burdet, H.M. and Long, G. (Eds.) 1984, 1986, 1989. Med-Checklist. A Critical Inventory of Vascular Plants of the Circum-Mediterranean Countries. Vol. 1, 3 and 4. (Geneva, CH and Berlin, DE)
- Grill, A. and Cleary, D.F.R., 2003. Diversity pattern in butterfly communities of the Greek nature reserve Dadia. *Biological Conservation*, **114**, 427–436.
- Grodzki, W., Jakus, R., Lajzova, E., Sitkova, Z., Maczka, T. and Skvarenina, J., 2006. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of Forest Science*, **63(1)**, 55-61.
- Hallmann, B., 1979. Guidelines for the conservation of birds of prey in Evros - A report to IUCN/WWF Int. Project 1684 aimed at the conservation of birds of prey in NE Greece. Unpublished Report. WWF International, Gland. 200 pp.
- Hansen, E.M. and Goheen, E.M., 2000. Phellinus weirii and other native root pathogens as determinants of forest structure and process in western North America. *Annual Review of Phytopathology*, **38**, 515–39.
- Hansen, E.M., 2008. Alien forest pathogens: Phytophthora species are changing world forests. *Boreal Environmental Research*, **13**, 33–41.
- Hardy, C.C., Ottmar, R.D., Peterson, J.L., Core, J.E., and Seamon, P., (Eds.) 2001. Smoke management guide for prescribed and wildland fire: 2001 edition. National Wildfire Coordination Group, PMS 420-2, NFES 1279. 226 p. (Boise, ID)
- Hare, R.C., 1961. Heat effects on living plants. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Occasional Paper 183. 32 p. (New Orleans, LA)
- Harrington, M.G., 1982. Stand, Fuel, and Potential Fire Behavior Characteristics in an Irregular Southeastern Arizona Ponderosa Pine Stand. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research Note RM-418. 6 p. (Fort Collins, CO)
- Hastie, T. and Tibshirani, R., 1986. Generalised Additive Models. *Statistical Science*, **1**, 297-310.
- Hastie, T. J., and R. J. Tibshirani. 1990. Generalized Additive Models. (Chapman and Hall/CRC: London)
- Haynes, K., Handmer, J., McAneney, J., Tibbits, A. and Coates, L., 2010. Australian bushfire fatalities 1900–2008: exploring trends in relation to the ‘Prepare, stay and defend or leave early’ policy. *Environmental Science & Policy*, **13(3)**, 185-194.
- Heiskanen, J., 2006. Tree cover and height estimation in the Fennoscandian tundra-taiga transition zone using multiangular MISR data. *Remote Sensing of Environment*, **103**, 97–114.
- Henderson, M., Kalabokidis, K., Marmaras, E., Konstantinidis, P. and Marangudakis, M., 2005. Fire and society: a comparative analysis of wildfire in Greece and the United States. *Human Ecology Review*, **12**, 169-182.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, **25**, 1965-1978.

- Ho, W., 2008. Integrated analytic hierarchy process and its applications-A literature review. *European Journal of Operational Research*, **186** (1), 211-228.
- Horvat, I., 1962. Die Vegetation Südosteuropas in Klimatischen und bodenkundlichen Zusammenlang. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*, **1** (2), 136-160.
- Horvat, I., Glavac, V. and Ellenberg, H. 1974. Vegetation Südosteuropas. 767p. (G. Fischer: Stuttgart)
- Hosking, J.S., 1938. The ignition at low temperatures of the organic matter in soils. *Journal of Agricultural Science*, **28**, 393-400.
- Howard, W.E., Fenner, R.L., and Childs, H.E., 1959. Wildlife survival in brush burns. *Journal of Range Management*, **12**, 230-234.
- Huffman, E.L., MacDonald, L.H. and Stednick, J.D., 2001. Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado front range. *Hydrological Processes*, **15**, 2877-2892.
- Iatrou, G., 1996. The richness and the rarity of the Greek flora. In: The Greek «Habitat» project Natura 2000 (Directive 92/43/EEC): an overview. (Dafis, S., Papastergiadou, E., Georghiou, K., Babalonas, D. and Georgiadis, Th., (Eds.)) The Goulandris Natural History Museum-Greek Biotope/Wetland Centre, pp. 439-440. (Thessaloniki: GR)
- Iglesias, T., Cala, V. and Gonzalez, J., 1997. Mineralogical and chemical modifications in soils affected by forest fire in the Mediterranean area. *The Science of the Total Environment*, **204**, 89-96.
- Imbeau, L., Savard, J.P.L. and Gagnon, R., 1999. Comparing bird assemblages in successional black spruce stands originating from fire and logging. *Canadian Journal of Zoology*, **77**, 1850-1860.
- Inbar, M., Tamir, M. and Wittenberg, L., 1998. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology*, **24**, 17-33.
- Innes, J. G. 1990. Ship Rat. The Handbook of New Zealand Mammals. King, C. M. (ed.). pp. 206-225. (Oxford University Press: Oxford)
- Innes, J., Hay, R., Flux, I., Bradfield, P., Speed, H. and Jansen, P. 1999. Successful recovery of North Island kokako *Callaeas cinerea wilsoni* populations, by adaptive management. *Biological conservation*, **87**, 201-214.
- Ishizaka, A. and Labib, A., 2009. Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations. *OR Insight*, **22**(4), 201-220.
- Izhaki, I. and Adar, M., 1997. The effects of post-fire management on bird community succession. *International Journal of Wildland Fire*, **7**, 335-342.
- Jaccard, P., 1912. The distribution of the flora of the alpine zone. *New Phytologist*, **11**, 37-50.
- Joensuu, J., Heliovaara, K. and Savolainen, E., 2008. Risk of bark beetle (Coleoptera, Scolytidae) damage in a spruce forest restoration area in central Finland. *Silva Fennica*, **42**(2), 233-245.
- Joergensen, J.R. and Hodges, C.S.Jr., 1970. Microbial characteristics of a forest soil after twenty years of prescribed burning. *Mycologia*, **62**, 721-726.
- Johnson, E.A., 1992. Fire and Vegetation Dynamics: Studies from the North American Boreal Forest. (Cambridge University Press: Cambridge)
- Johnson, P.S. and Godman, R.M., 1983. Precommercial thinning of oak, basswood, and red maple sprout clumps. In: Silviculture of established stands in north. Stier, Jeffrey C. (Ed.). SAF Region V Technical Conference, Duluth, Minnesota. Society of American Foresters, pp. 124-142. (Washington, DC: USA)
- Kainulainen, T., Leskinen, P., Korhonen, P., Haara, A. and Hujala, T., 2009. A statistical approach to assessing interval scale preferences in discrete choice problems. *Journal of the Operational Research Society*, **60** (2), 252-258.
- Kalabokidis, K.D. and Omi, P.N., 1992. Quadrat analysis of wildland fuel spatial variability. *International Journal of Wildland Fire*, **2**, 145-152.
- Kalabokidis, K.D., 2004. Automated forest fire and flood hazard protection system. Disaster management: linking people and the environment. *Geoinformatics*, **7**, 14-17.
- Kalabokidis, K., Koutsias, N., Konstantinidis, P. and Vasilakos, C., 2007. Multivariate analysis of landscape wildfire dynamics in a Mediterranean ecosystem of Greece. *Area*, **39**, 392-402.
- Kalabokidis, K., Iosifides, T., Henderson, M. and Morehouse, B., 2008. Wildfire policy and use of science in the context of a socio-ecological system on the Aegean Archipelago. *Environmental Science and Policy*, **11**, 408-421.
- Kalabokidis, K., Palaiologou, P. and Kyriakidis, P., 2010. Forest fire fuels mapping by geoinformatics for fire behavior modeling. In CD-ROM Proceedings 6th International Conference on Forest Fire Research, Viegas (ed.), 15-18 November 2010, Coimbra, Portugal. Published by ADAI Portugal.
- Kalabokidis, K., Palaiologou P. and Finney M., 2014a. Fire Behavior Simulation in Mediterranean Forests Using the Minimum Travel Time Algorithm. In Wade, D.D. and Fox, R.L. (Eds.), Robinson, M.L. (Comp.), Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, 18-22 February 2013, Raleigh, NC and 1-4 July 2013, St. Petersburg, Russia (pp. 468- 492). International Association of Wildland Fire: Missoula, MT.

- Kalabokidis K., Palaiologou P. and Athanasis N., 2014b. A fire effects index for overall assessment of wildfire events in Greece. In Viegas, D. X. (ed.): Proceedings of 7th International Conference on Forest Fire Research, Advances in Forest Fire Research, 17-20 November 2014, Coimbra, Portugal. Published by Imprensa da Universidade de Coimbra. pp. 1600-1614.
- Kamari, G. and Matthäs U., 1986. Cytotaxonomical contributions on the flora of Crete. III. *Willdenowia*, 515-520.
- Kamari, G. and Strid, A., 1989. *Crepis arcuata* (Asteraceae), a new species from N Greece. *Willdenowia*, **19**, 79-82.
- Kamari, G. and Phitos. D., 2001. *Fritillaria theophrasti*, a new species from Lesvos, east Aegean islands, Greece. *Biologia Gallo-Hellenica*, **26**, 69-76.
- Kamari, G., Kyriakopoulos, C. and Kofinas, G., 2010. New finding of *Phytosia crocifolia* (Compositae) in E Peloponnisos. *Flora Mediterranea*, **20**, 235-238.
- Kamari, G., 2013. The present and future of the flora of Greece and its conservation assessment. *Flora Mediterranea*, **23**, 183-194.
- Karr, J.R., 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, **6**, 21-27.
- Karydas, C.G. and Gitas, I.Z., 2011. Development of an Ikonos image classification rule-set for multi-scale mapping of Mediterranean rural landscapes. *International Journal of Remote Sensing*, **32**, 9261-9277.
- Kati, V. and Sekercioglu, C.H., 2006. Diversity, ecological structure, and conservation of the landbird community of Dadia reserve, Greece. *Diversity and Distribution*, **12**, 620-629.
- Kati, V., Fofopoulos, J., Ioannidis, Y.H.P., Poirazidis, K. and Lebrun, P., 2007. Diversity, ecological structure and conservation of herpetofauna in a Mediterranean area (Dadia National Park, Greece). *Amphibia-Reptilia*, **28**, 517-529.
- Kazanis, D. and Arianoutsou, M., 1996. Vegetation composition in a post-fire successional gradient of *Pinus halepensis* forests in Athens, Greece. *International Journal of Wildland Fire*, **6** (2), 89-91.
- Keeley, J.E. and Zedler, P.H. 1998. Evolution of life histories in *Pinus*. In: Ecology and biogeography of *Pinus*. (Richardson, D.M., ed.) pp. 219-247. (Cambridge University Press: Cambridge)
- Keane, R.E., Mincemoyer, S.A., Schmidt, K.M., Long, D.G. and Garner, J.L., 2000. Mapping vegetation and fuels for fire management on the Gila National Forest Complex, New Mexico. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-46-CD. (Ogden, UT)
- Keane, R.E., Burgan, R., and Wagtenonk, J.V., 2001. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*, **10**(4), 301-319.
- Keeley, J.E., Lubin, D. and Fotheringham, C.J., 2003. Fire and grazing impacts on plant diversity and alien plant invasions in the southern Sierra Nevada. *Ecological Applications*, **13**, 1355-1374.
- Keeley, J.E., 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, **18**(1), 116-126.
- Keeney, R.L. and Raiffa, H., 1976. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. (Wiley, New York).
- Kennard, D.K., Gould, K., Putz, F.E., Fredericksen, T.S., Morales, F., 2002. Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, **162** (2-3), 197- 208.
- Keskin, S., Sabuncu, R., and Şahin, M., 2001. Düzlerçamı'nda 1997 yılında yanan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında farklı ekim yöntemleri ile gençliğin elde edilmesi. *Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, teknik Bülten*, 13.
- Key, C.H. and Benson, N.C., 2006. Landscape assessment: Sampling and analysis methods. In: FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-164-CD. (Fort Collins, CO).
- King, S.E. and Grace, J.B., 2000. The effects of gap size and disturbance type on invasion of wet pine savanna by cogongrass, *Imperata cylindrica* (Poaceae). *American Journal of Botany*, **87**, 1279-1286.
- Klemens, M.W., 2000. Turtle conservation. (Smithsonian Institution Press: Washington D.C.)
- Klopatek, C.C., DeBano, L.F. and Klopatek, J.M., 1988. Effects of simulated fire on vesicular-arbuscular mycorrhizae in pinyon- juniper woodland soil. *Plant and Soil*, **109**, 245-249.
- Knoepp, J.D., DeBano, L.F. and Neary, D.G., 2005. Soil Chemistry-Chapter 3. In: Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. (Eds. Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F., 2005 - revised 2008). USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol.4. (Ogden, UT)
- Knox, K.J.E. and Clarke, P., 2005. Nutrient availability induces contrasting allocation and starch formation in resprouting and obligate seeding shrubs. *Functional Ecology*, **19**, 690-698.
- Koch, R.L., 2003. The multicoloured Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control and non target impacts. *Journal of Insect Science*, **3**, 32.

- Kokkoris, Y. and Arianoutsou, M., 2004. Demographic monitoring of four endemic plant taxa in the fire prone-environments of Central Greece: early results. In *Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems. Proceedings of the 10th MEDECOS Conference*, April 25-May 1 2004, Rhodes, Greece.
- Komarek, E.V., Sr., 1969. Fire and animal behavior. In: 9th annual Tall Timbers Fire Ecology conference, 10-11 April 1969, Tallahassee, Florida, pp. 161-207. Tall Timbers Research Station: Tallahassee, FL)
- Konstantinidis, P., Tsiourlis, G. and Galatsidas, S., 2005. Effects of wildfire season on the resprouting of kermes oak (*Quercus coccifera* L.). *Forest Ecology and Management*, **208**(1), 15-27.
- Konstantinidis, P., Tsiourlis, G. and Xofis, P., 2006. Effect of fire season, aspect and pre-fire plant size on the growth of *Arbutus unedo* L.(strawberry tree) resprouts. *Forest Ecology and Management*, **225**(1), 359-367.
- Korakis, G., Gerasimidis, A., Poirazidis, K. and Kati, V., 2006. Floristic records from Dadia-Lefkimi-Soufli National Park, NE Greece. *Flora Mediterranea*, **16**, 11–32.
- Kosmas, C., Danalatos, N.G. and Gerontidis, S.T., 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena*, **40**, 3-17.
- Kottelat, M. and Barbieri, R., 2004. Pseudophoxinus laconicus, a new species of minnow from Peloponnese, Greece, with comments on the West Balkan Pseudophoxinus species (Telostei: Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, **15**, 147-160.
- Koutsias, N. and Karteris, M., 2003. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 3093-3104.
- Kramp, B.A., Patton, D.R. and Brady, W.W., 1986. Run wild: wildlife/habitat relationships. USDA Forest Service, Southwestern Region.
- Kruse, A.D. and Piehl, J.L., 1986. The impact of prescribed burning on ground-nesting birds. In: The prairie: past, present and future. (Eds. Clambey, G.K. and Pemble, R.H.). Proceedings of the 9th North American prairie conference, 29 July-1 August 1984, Moorhead, Minnesota, pp. 153-156. Tri-College University Center for Environmental Studies. (Fargo, ND)
- Vaidya, O. and Kumar, S., 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, **169** (1), 1-29.
- Kuvan, Y., 2005. The use of forests for the purpose of tourism: the case of Belek Tourism Center in Turkey. *Journal of environmental management*, **75**(3), 263-274.
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Bouillon, C., Morge, D. and Ferrier, J. P., 2010. Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France. *Journal of environmental management*, **91**(3), 732-741.
- Lamson, N.I., 1988. Precommercial thinning and pruning of Appalachian stump sprouts- 10-year results. *Southern Journal of Applied Forestry*, **12**, 23-27.
- Lawrence, G.B., 1966. Ecology of vertebrate animals in relation to chaparral fire in the Sierra Nevada foothills. *Ecology*, **47**, 278–291.
- Le Houerou, H.N., 1974. Fire and vegetation in the Mediterranean Basin. In: 13th Annual Tall Timbers Fire Ecology Conferences, Tallahassee, Florida. pp. 237–277.
- Lehmann, A., Overton, J.M and Leathwick, J.R., 2002. GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction. *Ecological Modelling*, **157**, 189-207.
- Lehman, R.N. and Allendorf, J.W., 1989. The effects of fire, fire exclusion and fire management on raptor habitats in the western United States. In: Western Raptor Management Symposium and Workshop. (Ed. Pendleton, B. G.). National Wildlife Federation Scientific and Technical Series 12, pp. 236-244. (Boise, Idaho)
- Lentile, L.B., Frederick, W.S. and Wayne, D.S., 2005. Patch structure, fire-scar formation, and tree regeneration in a large mixed-severity fire in the South Dakota Black Hills, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, **35** (12), 2875-2885.
- Lewis, S.A., Wu, J.Q. and Robichaud, P.R., 2006. Assessing burn severity and comparing soil water repellency, Hayman Fire, Colorado. *Hydrological Processes*, **20**, 1-16.
- Liberatore, M. and Nydick, R., 2008. The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal of Operational Research*, **189** (1), 194-207.
- Lide, D.R. (ed.), 2001. CRC handbook of chemistry and physics. 2nd Edition. pp. 4–81 (CRC Press: New York)
- Lindenmayer, D.B. and Franklin, J.F., 2002. Conserving Forest Biodiversity: A Comprehensive Multiscaled Approach. (Island Press: Washington, D.C.).
- Lippincott, C.L., 2000. Effects of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. (cogongrass) invasion on fire regime in Florida sandhill (USA). *Natural Areas Journal*, **20**(2), 140-149.
- Little, S. and Somes, H.A. 1956. Buds enable pitch and shortleaf pines to recover from injury. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper NE-81. (Upper Darby, PA)

- Lootsma, F.A., 1992. The REMBRANDT System for Multi-criteria Decision Analysis via Pairwise Comparisons or Direct Rating. Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Report 92-05, Delft University of Technology, The Netherlands.
- López-Soria, L., and Castell, C., 1992. Comparative genet survival after fire in woody Mediterranean species. *Oecologia*, **91**(4), 493-499.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E., 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *International Journal of Remote Sensing*, **23**, 2651-2671.
- Lundgren, S., 1999. The national fire management analysis system (NFMAS) past 2000: A new horizon. In: Proceedings of the symposium on fire economics, planning, and policy: bottom lines. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, General Technical Report PSW-GTR-173, pp. 71-78. (Albany, CA)
- Lutes, D.C., 2005. Predicted fuel consumption in the Burnup Model: Sensitivity to four user inputs. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Note RMRS-RN-51WWW. (Fort Collins, CO)
- Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S. and Larry J. Gangi, 2006. FIREMON: The fire effects monitoring and inventory system. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-164-CD. (Fort Collins, CO)
- Lutes, D.C., Keane, R.E. and Caratti, J.F., 2009. A surface fuel classification for estimating fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, **18**, 802-814.
- Lyon, L. J., Crawford, H.S., Czuhai, E., Frederiksen, R.L., Harlow, R.F., Metz, L.J. and Pearson, H.A., 1978. Effects of fire on fauna: a state of knowledge review. USDA Forest Service, General Technical Report WO-6. (Washington, D.C.)
- Maestre, F.T., and Cortina, J., 2004. Are Pinus halepensis plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas?. *Forest Ecology and Management*, **198**(1), 303-317.
- Malczewski J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. (John Wiley and Sons: Toronto)
- Mangan, R.J., 2001. Issues in reducing costs on large wildland fires. *Fire Management Today*, **61** (3), 6-10.
- Marans, R.W. and Couper, M., 2000. Measuring the quality of community life: a program for longitudinal and comparative international research. In: Proceedings of the Second International Conference on Quality of Life in Cities, vol. 2. Singapore
- Mark, J. and Goldberg, M.A., 1988. Multiple Regression Analysis and Mass Assessment: A Review of the Issues. *The Appraisal Journal*, **56**, 89-109.
- Martin, R.E., Miller, R.L. and Cushwa, C.T., 1975. Germination response of legume seeds subjected to moist and dry heat. *Ecology*, **56**, 1441-1445.
- Mazaris, A.D., Kallimanis, A.S., Sgardelis, S.P. and Pantis, J.D., 2008. Does higher taxon diversity reflect richness of conservation interest species?: the case for birds, mammals, amphibians, and reptiles in Greek protected areas. *Ecological indicators*, **8**(5), 664-671.
- McClymont, K., 1996. Cat's Claw Creeper (Macfadyena unguis-cati). BRAIN (Brisbane Rainforest Action & Information Network), Newsletter, April 1996.
- McGaughey, R., 1997. Visualizing forest stand dynamics using the Stand Visualization System. In: ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition, April 1997, Bethesda, Meryland, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- McKinney, M.L. and Lockwood, J.L., 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution*, **14**, 450-53.
- McWilliams, J., 2004. Arundo donax. In: Fire Effects Information System, [Online]. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: <http://www.feis-crs.org/beta/> (accessed 25 June 2015)
- Miller, M. 1977. Response of blue huckleberry to prescribed fires in a western Montana larch-fir forest. USDA Forest Service, Intermountain forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-188. (Ogden, UT)
- Millward, A.A., Piwowar, J.M. and Howarth, P.J., 2006. Time-Series Analysis of Medium-Resolution, Multisensor Satellite Data for Identifying Landscape Change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **6**, 653-663.
- Ministry of Forests and Range (Canada) 2008. Glossary of Forestry Terms in British Columbia. <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/documents/glossary> (accessed 25 June 2015)
- Minotta, G. and Pinzauti, S., 1996. Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*, **86**, 61-71.
- Minshall, G.W., Brock, J.T. and Varley, J.D., 1989. Wildfires and Yellowstone 's stream ecosystems. *BioScience*, **39**, 707-715.
- Mirov, N.T., 1967. The genus Pinus. (The Ronald Press Company: New York)

- Montmollin, B. de and Strahm, W. (Eds), 2005. The Top 50 Mediterranean Island Plants: Wild plants at the brink of extinction, and what is needed to save them. IUCN/SSC Mediterranean Islands Plant Specialist Group. (Gland, CH and Cambridge, UK)
- Morehouse, B.J., Henderson, M., Kalabokidis, K. and Iosifides, T., 2011. Wildland fire governance: perspectives from Greece. *Journal of Environmental Policy and Planning*, **13**, 349-371.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., et al., 2011. Landscape-wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, **92(10)**, 2389-2402.
- Morgan, P. and Neuenschwander, L.F. 1988. Shrub response to high and low severity burns following clearcutting in Northern Idaho. *Western Journal of Applied Forestry*, **3(1)**, 5-9.
- Nahal, I. 1986. Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. *Options Méditerranéennes*, Série Etudes, n. 1986-I, 1-9. (Paris: CIHEAM)
- Napper, C., 2006. Burned area emergency response treatments catalog. USDA Forest Service, National Technology and Development Program, Watershed, Soil, Air Management, 0625 1801—SDTDC. (San Dimas: CA)
- NASA, 2014, The Landsat Program. <http://landsat.gsfc.nasa.gov> (accessed 25 June 2015)
- Naveh, Z., 1974. Effects of fire in the Mediterranean region. In: Fire and ecosystems. (Eds Kozlowski, T.T. and Ahlgren, C.E.), pp. 401-434. (Academic Press, New York)
- Ne'eman, G., Goubitz, S. and Nathan, R., 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire - a critical review. *Plant Ecology*, **171**, 69-79.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F. and Ffolliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, **122**, 51-71.
- Nelson, R.M., 2000. Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. *Canadian Journal of Forest Research*, **30**, 1071-1087.
- Newman, P.W.G., 1999. Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape Urban Planning*, **33**, 219-226.
- Nimmo, D.G. and Miller, K.K. 2007. Ecological and human dimensions of management of feral horses in Australia: a review. *Wildlife Resources*, **34**, 408-417.
- Nyland, R.D., 1996. Silviculture concepts and applications. (McGraw-Hill Co., Inc.: New York)
- Odabaşı, T., 1983. Kızılçam doğal gençleştirme tekniğindeki gelişmeler. *İÜ Orman Fakültesi Dergisi B*, **33**, 95-111.
- Olson, D., 1996. *Decision Aids for Selection Problems*. (Springer Verlag: New York)
- Omi, P.N. and Kalabokidis, K.D., 1991. Fire damage on extensively vs. intensively managed forest stands within the North Fork Fire, 1988. *Northwest Science*, **65**, 149-157.
- Omi, P.N. and Joyce, L.A., 2003. Fire, fuel treatments, and ecological restoration. In: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-29, 16-18 April 2002, Fort Collins, Colorado. (Fort Collins, CO)
- Ordóñez, J.L., Retana, J. and Espelta, J.M., 2005. Effects of tree size, crown damage, and tree location on post-fire survival and cone production of *Pinus nigra* trees. *Forest Ecology and Management*, **206**, 109-117.
- Ordóñez, J.L., Horas, R.M. and Retana, J., 2006. A model of the recruitment of *Pinus nigra* from unburned edges after large wildfires. *Ecological Modelling*, **197**, 405-417.
- Ottmar, R.D., Sandberg, D.V., Riccardi, C.L. and Prichard, S.J., 2007. An Overview of the Fuel Characteristic Classification System—Quantifying, Classifying, and Creating Fuelbeds for Resource Planning. *Canadian Journal of Forest Research*, **37 (12)**, 2383-2393.
- Özdemir, T., 1977. Antalya bölgesinde kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarının tabii gençleştirme olanakları üzerinde araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A*, **27(2)**, 239-293.
- Pausas, J.G., 1997. Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *Journal of Vegetation Science*, **8(5)**, 703-706.
- Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Haralambopoulos, D., Feidas, H. and Polatidis, H., 2011. Wind characteristics and mapping for power production in the island of Lesbos, Greece. *Computers and Geosciences*, **37**, 962-972.
- Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Kyriakidis, P., 2013. Forest mapping by geoinformatics for landscape fire behaviour modelling in coastal forests, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, **34(12)**, 4466-4490.
- Pamay, B., 1966. Türkiye'de yaş sınıfları metodunun uygulanmasından doğan gençleştirme problemleri (Silvikültürel Planlama). *Fakülteler Matbaası*.
- Panitsa, M. and Iliadou, E., 2013. FLORA AND PHYTOGEOGRAPHY OF THE IONIAN ISLANDS (GREECE). In Proceeding of 2nd Botanical Conference in Menorca, Islands and plants: preservation and understanding of flora on Mediterranean islands. Pons, E.C, et al. (Eds.), Menorca, Spain. pp. 243-260.

- Papandreou, V., Magiatis, P., Chinou, I., Kalpoutzakis, E., Skaltsounis, A.L. and Tsarbopoulos, A., 2002. Volatiles with antimicrobial activity from the roots of Greek *Paeonia* taxa. *Journal of ethnopharmacology*, **81**(1), 101-104.
- Papanicolaou, K. and Kokkini, S., 1984. Adaptive plant evolution in the alpine environment of the Greek mountains. In *Being alive on land* (pp. 21-31). Springer Netherlands.
- Parker, J.W., 1974. Activity of red-tailed hawks at a corn stubble fire. *Kansas Ornithological Society*, **22**, 17-18.
- Parson, A., Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Napper, C. and Clark, J.T., 2010. Field guide for mapping post-fire soil burn severity. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-243. (Fort Collins, CO)
- Pausas, J.G., Ribeiro, E. and Vallejo, R., 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, **203**, 251-259.
- Pausas, J.G., Llovet, J., Rodrigo, A. and Vallejo, R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review. *International Journal of Wildland Fire*, **17**, 713-723.
- Perevolotsky, A. and Haimov, Y., 1992. The effect of thinning and goat browsing on the structure and development of Mediterranean woodland in Israel. *Forest ecology and management*, **49** (1), 61-74.
- Perry, G.L.W., Sparrow, A.D. and Owens, I.F., 1999. A GIS-supported model for the simulation of the spatial structure of wildland fire. Cass Basin, New Zealand. *Journal of Applied Ecology*, **36**, 502-518.
- Peterson J. and Ward D., 1989. An inventory of particulate matter and air toxic emissions from prescribed fires in the United States for 1989. Final Report. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Fire and Environmental Research Applications. (Seattle, WA)
- Phitos, D., and Tzanoudakis, D., 1981. A new species of *Allium* from Euboea (Greece). *Botanika Chronika*, **1**(1), 11-13.
- Phitos, D., and Greuter, W., 1993. *Saponaria jagelii*, a new species from the island of Elafonisos (Peloponnisos, Greece). *Flora Mediterranea*, **3**, 277-278.
- Phitos, D., Strid, A., Snogerup, S. and Greuter, W., 1995. The red data book of rare and threatened plants of Greece. World Wide Fund for Nature (WWF).
- Pimentel, D. 2002. Biological Invasions: Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal, and Microbe Species. (CRC Press: Boca Raton, Florida)
- Plieninger, T., Schaich, H. and Kizos, T., 2011. Land-use legacies in the forest structure of silvopastoral oak woodlands in the Eastern Mediterranean. *Regional Environmental Change*, **11**, 603-615.
- Pollard, D.F.W., 1972. Above-ground dry matter production in three stands of trembling aspen. *Canadian Journal of Forest Research*, **2**, 27-33.
- Poth, M., Anderson, I.C., Miranda, H.S., Miranda, A.C. and Riggan, P.J., 1995. The magnitude and persistence of soil NO, N₂O, CH₄, and CO₂ fluxes from burned tropical savanna in Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 503-513.
- Precht, J., Chrisphersen, J., Hensel, H. and Larcher, W., 1973. Temperature and life. (Springer-Verlag.: New York)
- Prosser, I.P., Williams, L., 1998. The effect of wildfire on runoff and erosion in native *Eucalyptus* forest. *Hydrological Processes*, **12**, 251-265.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L. and Laven, R.D., 1996. Introduction to Wildland Fire, second edition. (John Wiley and Sons, Inc.: New York)
- Pyšek, P., Sadlo, J. and Mandak, B., 2002. Catalogue of alien plants of the Czech Republic. *Preslia*, **74**, 97-186
- R Development Core Team, 2008, R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org> (accessed 25 June 2015)
- Raison, R.J., Khanna, P.K., Woods, P.V., 1985a. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Canadian Journal of Forest Research*, **15**, 132-140.
- Raison, R.J., Khanna, P.K., Woods, P.V., 1985b. Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian sub-alpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research*, **15**, 657-664.
- Reinhardt, E.D., 2003. Using FOFEM 5.0 to estimate tree mortality, fuel consumption, smoke production and soil heating from wildland fire. In: Second International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress and Fifth Symposium on Fire and Forest Meteorology, November 16-20, 2003, Orlando, Florida. American Meteorological Society, P5.2.
- Reinhardt, E.D. and Crookston, N.L., 2003. The fire and fuels extension to the forest vegetation simulator. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR- 116. (Ogden, UT)
- Renbuss, M., Chilvers, G.A. and Pryer, L.D., 1973. Microbiology of an ashbed. In: Proceedings of the Royal Linnean Society of New South Wales, **97**, 302-310.

- Riano, D., Meier, E., Allgower, B., Chuvieco, E. and Ustin, S.L., 2003. Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment*, **86**, 177–186.
- Richards, G.D., 1990. An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solutions. *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, **30**, 1163–1179.
- Richardson, D.M., Pysek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D. and West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, **6**, 93–107.
- Rieman, B., Lee, D., Chandler, G. and Myers, D., 1997. Does wildfire threaten extinction for salmonids? Responses of redband trout and bull trout following recent large fires on the Boise National Forest. In: 1st conference on fire effects on rare and endangered species and habitats, 13-16 November 1995, Coeur d'Alene, Idaho, pp. 47-57. (Ed. Greenlee, J.M). International Association of Wildland Fire. (Fairfield, WA)
- Rieman, B.E., Lee, D., Burns, D., Gresswell, R., Young, M., Stowell, R., Rinne, J. and Howell, P., 2003. Status of native fishes in the western United States and issues for fire and fuels management. *Forest Ecology and Management*, **178**, 197-211.
- Robbins, L.E., and Myers, R.L., 1992. Seasonal effects of prescribed burning in Florida: a review. Issue 8 of Tall Timbers Research, Inc., Miscellaneous Publication (Tall Timbers Research, Inc.: Tallahassee, FL)
- Roberts, D.W. and Cooper, S.V., 1989. Concepts and techniques of vegetation mapping. In: Land Classifications Based on Vegetation: Applications for Resource Management, 17-19 November 1989, Moscow, ID, pp. 90-96. USDA Forest Service, General Technical Report INT-257.
- Roberts, J.J., Best, B.D., Dunn, D.C., Treml, E.A. and Halpin, P.N., 2010. Marine Geospatial Ecology Tools: An integrated framework for ecological geoprocessing with ArcGIS, Python, R, MATLAB, and C++. *Environmental Modelling & Software*, **25**, 1197-1207.
- Robichaud, P.R. and Miller, S.M., 1999. Spatial interpolation and simulation of post-burn duff thickness after prescribed fire. *International Journal of Wildland Fire*, **9** (2), 137-143.
- Robichaud, P.R., 2000. Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *Journal of Hydrology*, **231-232**, 220-229.
- Robichaud, P.R., Elliot, W.J., Pierson, F.B., Hall, D.E., Moffet, C.A. and Ashmun, L.E., 2007. Erosion risk management tool (ERMiT) user manual, version 2006.01.18. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-188. (Fort Collins, CO)
- Rodrigo, A., Vanessa, Q. and Javier, R., 2007. Fire reduces Pinus pinea distribution in the northeastern Iberian Peninsula. *Ecoscience*, **14.1**, 23-30.
- Rothermel, R.C., 1972. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fuels. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station, Research Paper INT-115. (Ogden, UT)
- Rothermel, R.C., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-143. (Ogden, UT)
- Rothermel, R.C., 1985. Fire behavior consideration of aerial ignition. Prescribed Fire by Aerial Ignition. *Intermountain Fire Council*, 143-158.
- Rothermel, R.C., Wilson, R.A., Morris, G.A. and Sackett, S.S., 1986. Modeling moisture content of fine dead wildland fuels input to the BEHAVE fire prediction system. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research Paper INT-359. (Ogden, UT)
- Rothermel, R.C., 1991. Predicting behavior and size of crown fires in the northern Rocky Mountains. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research Paper INT-438. (Ogden, UT)
- Rubio, J.L., Forteza, J., Andreu, V. and Cerni, R., 1997. Soil profile characteristics influencing runoff and soil erosion after forest fire: a case study (Valencia, Spain). *Soil Technology*, **11**, 67–78.
- RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). 1993. RUSLE user's guide. Soil and Water Conservation Society. (Ankeny: IA)
- Russell, K.R., Van Lear, D.H. and Guynn, D.C., 1999. Prescribed fire effects on herpetofauna: review and management implications. *Wildlife Society Bulletin*, **27(2)**, 374-384.
- Ryan, K. and Noste, N., 1985. Evaluating prescribed fires. In: Symposium and Workshop on Wilderness Fire. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182, pp. 230-238. (Lotan, J.E., et al.(tech. coord.).)
- Saaty, T., 1972. An eigenvalue allocation model for prioritization and planning. Working paper, Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania.
- Saaty, T., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, **15** (3), 234-281.
- Saaty, T., 1980. The Analytical Hierarchy Process. (John Wiley: New York)
- Saaty, T. and Forman, E., 1992. The Hierarchon: A Dictionary of Hierarchies. (RWS Publications: Pittsburgh, USA)
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, **1(1)**, 83-98.

- Salis, M., Ager, A.A., Arca, B., Finney, M.A., Bacciu, V., Duce, P. and Spano, D., 2013. Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy. *International Journal of Wildland Fire*, **22**, 549–565.
- Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., Peterson, J.L., and Core, J., 2002. Wildland fire on ecosystems: effects of fire on air. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol. 5. (Ogden, UT)
- Sando, R.W. and Wick, C.H., 1972. A method of evaluating crown fuels in forest stands. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Paper NC-84. (Saint Paul, MN)
- Sanz-Aguilar, A., Anadón, J. D., Giménez, A., Ballestar, R., Graciá, E. and Oro, D., 2011. Coexisting with fire: The case of the terrestrial tortoise *Testudo graeca* in mediterranean shrublands. *Biological conservation*, **144**(3), 1040-1049.
- Sastry, N., 2002. Forest fires, air pollution, and mortality in Southeast Asia. *Demography*, **39**(1), 1-23.
- Savage, S.M., 1974. Mechanism of fire-induced water repellency in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, **38**, 652-657.
- Sawidis, T., Theodoridou, T., Weryszko-Chmielewska, E. and Bosabalidis, A.M., 2011. Structural features of *Rhododendron luteum* flower. *Biologia*, **66**(4), 610-617.
- Schiller, G., 2000. Inter-and intra-specific genetic diversity of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. In: Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. (Eds. Ne'eman, G. and Trabaud, L.) pp. 13-35. (Backhuys Publishers: Leiden)
- Schmoldt, D.L., Peterson, D.L., Keane, R.E., Lenihan, J.M., McKenzie, D., Weise, D.R. and Sandberg, D.V., 1999. Assessing the effects of fire disturbance on ecosystems: a scientific agenda for research and management. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-455. (Portland, OR)
- Schuster, E.G., Cleaves, D.A. and Bell, E.F., 1997. Analysis of USDA Forest Service fire-related expenditures 1970–1995. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Research Paper PSW-RP-230. (Albany, CA)
- Schwartz, J., Dockery, D.W. and Neas, L.M., 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles?. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **46**, 927-939.
- Scott, J.H., 1999. NEXUS: a system for assessing crown fire hazard. *Fire Management Notes*, **59**, 21–24.
- Scott, J. H. and Reinhardt, E. D. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-RP-29. (Fort Collins, CO)
- Scott, J.H. and Burgan, R.E., 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-153. (Fort Collins, CO).
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Lindner, M. and Lexer, M.J. 2009. Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies. *Regional Environmental Change*, **9**, 101-119.
- Shakesby, R.A., Coelho, C.O.A., Ferreira, A.D., Terry, J.P. and Walsh, R.P.D., 1993. Wildfire impacts on soil erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, **3**, 95–110.
- Shakesby, R.A., Boakes, D.J., Coelho, C.D.A., Gonçalves, A.J. and Walsh, R.P.D., 1996. Limiting soil loss after forest fire in Portugal: the influence of different post-fire timber clearing practices. *Applied Geography*, **16**(4), 337-355.
- Shakesby, R.A. and Doerr, S.H., 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, **74**, 269-307.
- Shakesby, R.A., 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, **105**, 71–100.
- Shim, J., 1989. Bibliography research on the analytic hierarchy process (AHP). *Socio-Economic Planning Sciences*, **23** (3), 161-167.
- Silleos, N.G., Alexandridis, T.K., Gitas, I.Z. and Perakis, K., 2006. Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*, **21**, 21-28.
- Simard, A.J., 1976. Wildland fire management: The economics of policy alternatives. Canadian Forest Service, Technical Report 15. (Ottawa, Ontario)
- Singer, F.J. and Schullery, P., 1989. Yellowstone wildlife: populations in process. *Western Wildlands*, **15**(2), 18-22.
- Skartsi, T., Elorriaga, J., Vasilakis, D. and Poirazidis, K., 2008. Population size, breeding rates and conservation status of Eurasian black vulture in the Dardia National Park, Thrace, NE Greece. *Journal of Natural History*, **42**, 345–353.

- Skordilis, A. and Thanos, C.A., 1995. Seed stratification and germination strategy in the Mediterranean pines *Pinus brutia* and *P. halepensis*. *Seed Science Research*, **5**, 151–160.
- Skordilis, A., Thanos, C.A., 1997. Comparative ecophysiology of seed germination strategies in the seven pine species naturally growing in Greece. In: Basic and Applied Aspects of Seed Biology. (Eds. Ellis, R.H., Murdoch, A.I. and Hong, T.D.), pp. 623-632. (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht)
- Smith, J.K. and Fischer, W.C. 1997. Fire ecology of the forest habitat types of northern Idaho. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INTGTR- 363. (Ogden, UT)
- Smith, J.K., (Ed.) 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol. 1. (Ogden, UT)
- Smith, J.M., Goodchild, F.M. and Longley, A.P., 2007. Geospatial Analysis—A Comprehensive Guide. 3rd edition. (Troubador Publishing Ltd.: Leicester).
- Smith, M.A., Wright, H.A. and Schuster, J.L. 1975. Reproductive characteristics of redberry juniper. *Journal of Range Management*, **28(2)**, 126-128.
- Smucker, K. M., Hutto, R. L., and Steele, B. M., 2005. Changes in bird abundance after wildfire: importance of fire severity and time since fire. *Ecological Applications*, **15(5)**, 1535-1549.
- Sørensen, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, **5(4)**, 1–34.
- Soto, B., Díaz-Fierros, F., 1998. Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. *Catena*, **31**, 257–270.
- Spanos, I.A., Daskalakou, E.N. and Thanos, C.A., 2000. Postfire, natural regeneration of *Pinus brutia* forests in Thasos island, Greece. *Acta Oecologica*, **21(1)**, 13-20.
- Spanos, I.A., Radoglou, K.M. and Raftoyannis, Y., 2001. Site quality effects on post-fire regeneration of *Pinus brutia* forest on a Greek island. *Applied vegetation science*, **4(2)**, 229-236.
- Sparhawk, W.N., 1925. The use of liability ratings in planning forest fire protection. *Journal of Agricultural Research*, **30(8)**, 693-792.
- Steelman, T.A. and Burke, C.A., 2007. Is wildfire policy in the United States sustainable? *Journal of Forestry*, **105(2)**, 67-72.
- Stone, C. and Haywood, A., 2006. Assessing canopy health of native eucalypt forests. *Ecological Management and Restoration*, **7**, 24–30.
- Stonge, B., Hu, Y. and Vega, C., 2008. Mapping the height and above-ground biomass of a mixed forest using lidar and stereo Ikonos images. *International Journal of Remote Sensing*, **5**, 1277-1294.
- Stratton, R.D., 2006. Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-183. (Ft. Collins, CO)
- Stratton, R.D., 2009. Guidebook on LANDFIRE fuels data acquisition, critique, modification, maintenance, and model calibration. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-220. (Fort Collins, CO)
- Strid, A. and Tan, K. 1997. Flora hellenica 1. (Koeltz Scientific Books: Königstein)
- Strid, A. and Tan, K., 2005. A new species of *Omphalodes* (Boraginaceae) from Southeast Peloponnese, Greece. *Phytologia balcanica*, **11(1)**, 69-72.
- Stroempl, G., 1983. Thinning clumps of northern hardwood stump sprouts to produce high quality timber. In: Forest Research Information Paper, Canadian Ministry of Natural Resources (Maple: Ontario)
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J. and Woods, A.J., 2011. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, **60(1)**, 133-149.
- Swengel, A.B., 2001. A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. *Biodiversity and Conservation*, **10.7**, 1141-1169.
- Tacconi, L., Boscolo, M. and Brack, D., 2003. National and international policies to control illegal forest activities. *Report for the Ministry of Foreign Affairs*, Government of Japan. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Tapias, R., Gil, L., Fuentes-Utrilla, P. and Pardos, J.A., 2001. Canopy seed banks in Mediterranean pines of southeastern Spain: A comparison between *Pinus halepensis* Mill, *P. pinaster* Ait, *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology*, **89**, 629-638.
- Tappeiner, J.C., Harrington, T.B. and Walstad, J.D., 1984. Predicting recovery of tanoak (*Lithocarpus densiflorus*) and pacific madrone (*Arbutus menziesii*) after cutting or burning. *Weed Science*, **32**, 413-417.
- Thanos, C.A., Marcou, S., Christodoulakis, D. and Yannitsaros, A., 1989. Early post-fire regeneration in *Pinus brutia* forest ecosystems of Samos island (Greece). *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum*, **10**, 79–94.
- Thanos, C.A. and Marcou, S., 1991. Post-fire regeneration in *Pinus brutia* forest ecosystems of Samos island (Greece): 6 years after. *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum*, **12**, 633–642.
- Thanos, C.A., Daskalakou, E.N. and Nikolaidou, S., 1996. Early postfire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mount Parnis, Greece. *Journal of Vegetation Science*, **7**, 273–280.

- Thanos, C., 1999. Fire effects on forest vegetation, the case of Mediterranean pine forests in Greece. In: Wildfire Management. (Eds. G. Eftichidis, P. Balabanis and A. Ghazi), pp. 323-334. European Commission DGXII. (Algosystems SA: Athens)
- Thanos, C.A. and Daskalakou, E.N., 2000. Reproduction in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. In: G. Ne'eman and L. Trabaud [eds.], Ecology, biogeography and management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forest ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, pp, 79-90.
- Thomas, A.D., Walsh, R.P.D. and Shakesby, R.A., 2000. Solutes in overland flow following fire in eucalyptus and pine forests, northern Portugal. *Hydrological Processes*, **14**, 971-985.
- Thomas, K., Thanopoulos, R., Knüpfper, H. and Bebeli, P.J., 2012. Plant genetic resources of Lemnos (Greece), an isolated island in the Northern Aegean Sea, with emphasis on landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **59(7)**, 1417-1440.
- Tiedemann, A.R., 1987. Combustion losses of sulfur and forest foliage and litter. *Forest Science*, **33**, 216-223.
- Trabaud, L., Grosman, J. and Walter, T., 1985. Recovery of burnt *Pinus halepensis* Mill. forests. I. Understorey and litter phytomass development after wildfire. *Forest Ecology and Management*, **12**, 269-277.
- Triantakoustantis, D.P., Kollias, V.J. and Kalivas D.P., 2006. Forest re-growth since 1945 in the Dadia forest nature reserve in northern Greece. *New Forests*, **32**, 51-69.
- Trigas, P. and Iatrou, G., 2004. A new species of *Minuartia* (Caryophyllaceae) from the island of Evvia (Greece). *Nordic Journal of Botany*, **23(4)**, 415-425.
- Trigas, P., Iatrou, G. and Panitsa, M., 2008. Vascular plant species diversity, biogeography and vulnerability in the Aegean islands as exemplified by Evvia island (W Aegean, Greece). *Fresenius Environmental Bulletin*, **17(1)**, 48.
- Trigo, R.M., Pereira, J., Pereira, M.G., Mota, B., Calado, T.J., Dacamara, C.C. and Santo, F.E., 2006. Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *International Journal of Climatology*, **26**, 1741-1757.
- Tsitsoni, T., 1997. Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *Forest Ecology Management*, **92**, 199-208.
- Turland, N. 1992. Floristic notes from Crete. *Botanical journal of the Linnean Society*, **108(4)**, 345-357.
- Turner, M.G., Romme, W.H. and Tinker, D.B., 2003. Surprises and lessons from the 1988 Yellowstone fires. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **1(7)**, 351-358.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2000. National ambient air quality standards (NAAQS). <http://www.epa.gov/air/criteria.html> (accessed 25 June 2015)
- Unwin, D. 1981. Introductory Spatial Analysis. (Routledge Kegan and Paul: London)
- USGS 2014, Global Visualization Viewer. <http://glovis.usgs.gov> (accessed 25 June 2015)
- Vaillant, N.M., Ager, A.A., Anderson, J. and Miller, L., 2013. ArcFuels User Guide and Tutorial: for use with ArcGIS 9. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNWGTR-877. (Portland, OR)
- Vallejo, V.R., Bautista, S. and Cortina, J., 1999. Restoration for soil protection after disturbances. In: Life and Environment in the Mediterranean. (Ed. Trabaud L.), pp. 301-343. (WIT Press, UK)
- Van Kamp, I., Leidelmeijer, K., Marsman, G. and De Hollander, A. (2003). Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and urban planning*, **65(1)**, 5-18.
- Van Wagner, C.E., 1977. Conditions for the start and spread of crownfire. *Canadian Journal of Forest Research*, **7**, 23-34.
- Van,Wagner, C.E., 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **23**, 442-449.
- Van Wagendonk, J.W. and Root, R.R., 2003. The use of multi-temporal Landsat Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data for mapping fuel models in Yosemite National Park, USA. *International Journal of Remote Sensing*, **8**, 1639-1651.
- Vargas, L., 1997. Comments on Barzilai and Lootsma Why the Multiplicative AHP is Invalid: A Practical Counterexample. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, **6(4)**, 169-170.
- Vasilakis, D.P., Poirazidis, K.S. and Elorriaga, J.N., 2008. Range use of a Eurasian black vulture (*Aegypius monachus*) population in the Dadia-Lefkimi-Soufli National Park and the adjacent areas, Thrace, NE Greece. *Journal of Natural History*, **42**, 355-373.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Kallos, G. and Matsinos, Y., 2007. Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal of Wildland Fire*, **16**, 306-316.
- Vedal, S. and Dutton, S.J., 2006. Wildfire air pollution and daily mortality in a large urban area. *Environmental research*, **102(1)**, 29-35.
- Vijith, H., Suma, M., Rekha, V.B., Shiju, C. and Rejith, P.G., 2012. An assessment of soil erosion probability and erosion rate in a tropical mountainous watershed using remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, **5(4)**, 797-805.

- Vitousek, P.M., 1990. Biological invasions and ecosystem processes: towards an integration of population biology and ecosystem studies. *Oikos*, **57**, 7-13
- Voogd, H., 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. (Pion, Ltd.: London)
- Wade, D.D., 1993. Thinning young loblolly pine stands with fire. *International Journal of Wildland Fire*, **3**, 169-178.
- Wallis, M.G. and Horne, D.J., 1992. Soil water repellency. In: *Advances in Soil Science*, Vol. 20. (Ed. Stewart BA), pp. 91-146. (Springer: New York)
- Walsh, R.P.D., Coelho, C.D.A., Shakesby, R.A. and Terry, J.P., 1992. Effects of land use management practices and fire on soil erosion and water quality in the Agueda river basin, Portugal. *Geoökoplus*, **3**, 15-36.
- Ward, D.E., 1990. Factors influencing the emissions of gases and particulate matter from biomass burning. In: *Fire in the tropical biota*. (Ed. Goldammer, J.G.), pp. 418-436. (Springer-Verlag: Berlin)
- Ward, D.E. and Hardy, C.C., 1991. Smoke emissions from wildland fires. *Environmental International*, **17**, 117-134.
- Ward, D.E., Peterson, J. and Hao, W.M., 1993. An inventory of particulate matter and air toxic emissions from prescribed fires in the USA for 1989. In: *Air and Waste Management Association, 1993 annual meeting and exhibition*, Denver, Colorado, pp. 1-19.
- Wasp 2014, Wind Atlas Analysis and Application Program. <http://www.wasp.dk> (accessed 25 June 2015)
- Weatherspoon, P.C., 1988. Preharvest prescribed burning for vegetation management: effects on *Ceanothus velutinus* seeds in duff and soil. In: *9th annual forest vegetation management conference*, 4-5 November 1987, Redding, California, pp. 125-141.
- Whelan, R.J., 1995. *The ecology of fire*. (Cambridge University Press: New York)
- White, E.M., Thompson, W.W. and Gartner, F.R., 1973. Heat effects on nutrient release from soils under ponderosa pine. *Journal of Range Management*, **26**, 22-24.
- Wilcove, D.S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A., Losos, E., 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience*, **48**, 607-615.
- Williamson, M.H., 1996. *Biological Invasions*. (Chapman and Hall: London)
- Winder, R.S. and Shamoun, S.F., 2006. Forest pathogens: friend or foe to biodiversity. *Canadian Journal of Plant Pathology*, **28**, 1-7.
- Wood, S.N., 2001. MGCV: GAMs and Generalised Ridge Regression for R. *R News*, **1**, 20-25.
- Wood, S.N. and Augustin, N.H., 2002. GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling. *Ecological Modelling*, **157**, 157-177.
- Wood, S.N., 2003. Thin plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, **65**, 95-114.
- Wood, S.N., 2006, *Generalized Additive Models: An Introduction with R* (Chapman & Hall/CRC: Florida).
- Worldclim, 2014, Global Climate Data. <http://www.worldclim.org> (accessed 25 June 2015)
- Wright, H.A. and Bailey, A.W., 1982. *Fire ecology, United States and southern Canada*. (John Wiley and Sons: New York)
- Xu, B., Gong, P. and Pu, R., 2003. Crown closure estimation of oak savannah in a dry season with Landsat TM imagery: Comparison of various indices through correlation analysis. *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 1811-1822.
- Yaka, M., 1993. Kızılcammı doğal gençleştirilmesi. In: *Proceedings of the International Symposium on Pinus brutia Ten.*, 18-23 October 1993, Marmaris-Turkey, pp. 169-175. Publication of Ministry of Forestry, Ankara.
- Yang, Z., Willis, P. and Mueller, R., 2008, Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. In *Pecora-17: The Future of Land Imaging...Going Operational*, 18-20 November 2008, Denver, CO.
- Yohay, C. and Kadmon, R., 1999. Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, **145** (2), 243-254.
- Zaharof, E., 1989. Karyological studies of twelve *Fritillaria* species from Greece. *Caryologia*, **42** (2), 91-102.
- Zahedi, F., 1986. The analytic hierarchy process: a survey of the method and its applications. *Interfaces*, **16**, 96-108.
- Zasada, J.C. 1971. Natural regeneration of interior Alaska forests—seed, seedbed, and vegetative reproduction considerations. In: *Fire in the northern environment—a symposium*. (Eds. Slaughter, C.W., Barney, R.J. and Hansen, G.M.), pp. 231-246. USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. (Portland, OR)
- Zasada, J.C. 1986. Natural regeneration of trees and tall shrubs on forest sites in interior Alaska. In: *Forest ecosystems in the Alaskan taiga*. (Eds. Van Cleve, K., Chapin, F.S., Flanagan, P.W., Viereck, L.A. and Dyrness, C.T.), pp. 45-73. (Springer-Verlag: New York)
- Zerger, A., Gibbons, P., Seddon, J., Briggs, S. and Freudenberger, D., 2009. A method for predicting native vegetation condition at regional scales. *Landscape and Urban Planning*, **91**, 65-77.

- Zianis, D., Xanthopoulos, G., Kalabokidis, K., Kazakis, G., Ghosn, D. and Roussou, O., 2011. Allometric equations for aboveground biomass estimation by size class for *Pinus brutia* Ten. trees growing in North and South Aegean islands, Greece. *European Journal of Forest Research*, **130**, 145-160.
- Zschaechner, G.A. 1985. Studying rangeland fire effects: A case study in Nevada. In: Rangeland fire effects: a symposium. (Eds. Sanders, K. and Durham, J.), pp. 66-84. 27-29 November 1984, Boise, Idaho, U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management.

Β. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Αμοργιανιώτης, Γ., 1997. Σχέδιο Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας. Τόμοι Α-Θ. Δασαρχείο Πάρνηθας, Αχαρνές.
- Γαβρηλίδης, Η., 2004. Τα ενδημικά ψάρια της Υλικής. *Η Φύση*, **105**, 9-12.
- Γκουβάς, Μ. και Σακελλαρίου, Ν., 2011. Κλίμα και Δασική Βλάστηση της Ελλάδας. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Τεχνική Αναφορά, Αριθμός Δημοσιεύματος: 1/2011, Αθήνα.
- Δημητρακόπουλος, Α.Π., Mateeva, V. και Ξανθόπουλος Γ., 2001. Μοντέλα Καύσιμης Ύλης Μεσογειακών Τύπων Βλάστησης της Ελλάδας. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Σειρά VI, **3(12)**, 192-206.
- Καϊλίδης, Δ. 1989. Βλάβες των δασών από παράσιτα, ιούς, βακτήρια, μύκητες, δασικά έντομα και πυρκαγιές. Σε: *Ελληνικά Δάση*, σελ. 31-33, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας και Κοινοφελές Ίδρυμα ΕΤΒΑ.
- Καϊλίδης, Δ. και Καρανικόλα, Π. 2004. Δασικές Πυρκαγιές 1900-2000. (Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη)
- Κακούρος, Π. και Χρυσοπολίτου, Β., (επιμ. εκδ), 2010. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μύρης πεύκης. Σε: *Πρακτικά Συνεδρίου*, 15 - 16 Οκτωβρίου 2009, Σπάρτη. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνηθα και Υδροτόπου Μούστου. Αστρος.
- Καλαμποκίδης, Κ.Δ. 1997. Προστασία με ρεαλισμό και αποτελεσματικότητα. *Οικονομικός Ταχυδρόμος*, 24 Ιουλίου, **30 (2255)**, 53-55.
- Καλαμποκίδης, Κ., Τουλίκας, Β. και Παλαιολόγου, Π., 2012a. Μελέτη και εκτίμηση επιπτώσεων και συμπεριφοράς της πυρκαγιάς Λευκίμης Έβρου 2011. *Πυροσβεστική Επιθεώρηση*, **155**, 4-13.
- Καλαμποκίδης, Κ., Παλαιολόγου, Π. και Τουλίκας, Β., 2012b. Μεταπυρική ανάλυση δασικών πυρκαγιών σε προστατευόμενες περιοχές. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Πολιτικής και Διαχείρισης: Διαχείριση Προστατευόμενων Περιοχών, 25-27 Μαΐου 2012, Μυτιλήνη. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Σελ. 3-36.
- Καλαμποκίδης Κ., Ρούσσου, Ο. και Παλαιολόγου, Π., 2012c. Δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης δασικών περιοχών τραχείας πεύκης για προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιών. Στα *Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Οικολογίας «Οικολογική Έρευνα στην Ελλάδα: Τάσεις, Προκλήσεις, Εφαρμογές»*, 4-7 Οκτωβρίου 2012, Αθήνα. Ελληνική Οικολογική Εταιρεία, Αθήνα. Σελ. 175.
- Καλαμποκίδης, Κ., Παλαιολόγου, Π. και Τουλίκας, Β., 2013. Η πυρκαγιά του Αγίου Όρους 2012. *Πυροσβεστική Επιθεώρηση*, **162**, 13-19.
- Κοντός, Π., 1909. Επίδρασις επί την Ελληνικήν δασικήν βλάστησιν του Ελληνικού κλίματος. Αθήνα.
- Κοντός, Π., 1921. Ελληνική δασοκομία μετά στοιχείων δασικής διαχείρισεως. Φυσικοί, οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες. Αθήναι.
- Κωνσταντινίδης, Π. και Γκατζογιάννης, Σ., 2001. Επιλογή Δασικών Ειδών για Αναδασώσεις σε Πυρόπληκτες Περιοχές (με εκτενή εισαγωγή στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα). Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης-ΕΘΙΑΓΕ και Ταχυδρομικό Ταμιευτήριο (Αυτοτελής έκδοση), σελ. 143.
- Κωνσταντινίδης, Π., 2003. Μαθαίνοντας να Ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές. (Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη)
- Λεγάκις, Α. και Μαραγκού, Π. (επιμ. εκδ), 2009. Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας. (Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία, Αθήνα).
- Λιαρίκος, Κ., Μαραγκού, Π. και Παπαγιάννης, Θ., (επιμ. εκδ), 2012. Η Ελλάδα τότε και τώρα: Διαχρονική χαρτογράφηση των καλύψεων γης, 1987-2007. WWF Ελλάς, Αθήνα.
- Μαρτζάκης, Β. και Λέκκας, Ε., 2012. Αποτύπωση της χωρικής κατανομής των αντιδιαβρωτικών έργων του 2007 στην Ηλεία και υπολογισμός της αποδοτικότητας τους σε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Σε: *Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου HellasGIS*, 17-18 Μαΐου 2012, Αθήνα.
- Μιμίκου, Α.Μ., 1994. Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων. (Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα)
- Μπάντη, Α., 2012. Σπάνια και απειλούμενα φυτά της Ελλάδας: κατανομή, απειλές και κατάσταση διατήρησης *in situ* και *ex situ*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας.
- Μπεριάτος Η., 2002. Περιστατικά Δάση, τα Πράσινα Τείχη των Ελληνικών Πόλεων: Δυνατότητες Προστασίας και Ανάδειξης. *Σειρά Ερευνητικών Εργασιών*, **8(14)**, 343-354.
- Ντάφης, Σ.Α., 1973. Ταξινόμησης της Δασικής Βλαστήσεως της Ελλάδος. *Επιστημονική Επετηρίς Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής*, **Τόμος ΙΕ, Τεύχος Β'**, 75-86. Θεσσαλονίκη.

- Ντάφης, Σ.Α., 1989. Οι διαχειριστικές μορφές δάσους. Σε: Ελληνικά Δάση, σελ. 23-26, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας και Κοινωφελές Ίδρυμα ΕΤΒΑ.
- Ξανθόπουλος, Γ., Δόσης, Σ., Καρπή, Α., Παναγιωτίδου, Ε. και Σουφλής, Δ., 2011. Αντιπροσωπευτικά μοντέλα δασικής καύσιμης ύλης για την περιφέρεια της Αττικής: Δημιουργία και λογισμικό αξιοποίησης. Στα πρακτικά του 14ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, 1-4 Νοεμβρίου 2009, Πάτρα, σελ. 615-624. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, Θεσσαλονίκη.
- Οικονομίδης, Π., 1990. Ένα ξεχασμένο ψάρι του Μαραθώνα. *Η Φύση*, **Ανοιξη**, 19-22.
- Οικονόμου, Α., Μπαρμπιέρι, Ρ., Νταουλάς, Χ., Ψαρράς, Θ., Στουμπούδη, Μ., Μπερταχάς, Η., Γιακουμή, Σ. και Πατσιάς, Α. 1999. Απειλούμενα ενδημικά είδη ψαριών του γλυκού νερού της Δυτικής Ελλάδας και Πελοποννήσου - κατανομή, αφθονία, κίνδυνοι και μέτρα προστασίας. ΕΚΘΕ (πρόγραμμα ΠΕΝΕΔ), σελ. 341, 4 Παραρτήματα.
- Οικονόμου, Α.Ν., 2000. Pseudophoxinus stymfalicus: Ένα επιτυχημένο ψάρι των γλυκών νερών της Ελλάδας. Σε: Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ιχθυολόγων, 20-23 Ιανουαρίου 2000, Μεσολόγγι, σελ. 169-172.
- Παπαδόπουλος, Α.Γ., 2000. Η πολιτική προστασία στην Ελλάδα-Αντιμετώπιση φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών. (Εκδόσεις Ίων, Αθήνα)
- Παπαναστάσης, Β.Π., 1978. Πρώτα στάδια διαδοχής της βλαστήσεως μετά από πυρκαγιά στους θαμνώνες αειφύλλων πλατύφυλλων της Χαλκιδικής. *Το Δάσος*, **30 (79-80)**, 19-26.
- Παπαναστάσης, Β.Π., 1988. Αποκατάσταση και διαχείριση βοοειδών στις αναδασώσεις πεύκης της περιοχής Κιλκίς. *Δασική Έρευνα*, **3(III)**, 215-241.
- Παπαναστάσης, Β.Π., 2001. Όροι και προϋποθέσεις εφαρμογής βόσκησης αγροτικών ζώων στις καμένες δασικές εκτάσεις. Σε: Αποκατάσταση καμένων περιοχών. 13-14 Δεκεμβρίου 2001, Αθίνα, Ελλάδα. (Ξανθόπουλος, Δ.Γ. και Αριανούτσου, Μ., επιμ. Εκδ. 2007), σελ. 147-156. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας.
- Παπασταύρου, Α. και Καρτέρης, Μ., 1989. Τα φυσικά δάση και οι δασικές εκτάσεις. Σε: Ελληνικά Δάση, σελ. 27-28, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας και Κοινωφελές Ίδρυμα ΕΤΒΑ.
- Ρούσσου, Ο.Ν., 2008. Χαρτογράφηση και τρισδιάστατη οπτικοποίηση καύσιμης ύλης για διαχείριση πυρκαγιών με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και εργαλείων γεωπληροφορικής. Τεχνική Έκθεση, John S. Latsis Public Benefit Foundation.
- Στάμου, Ν., 2008. Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών. Σε: Αποκατάσταση καμένων περιοχών. 13-14 Δεκεμβρίου 2001, Αθίνα, Ελλάδα. (Ξανθόπουλος, Δ.Γ. και Αριανούτσου, Μ., επιμ. Εκδ. 2007), σελ. 9-18. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας.
- Τσαγκάρη, Κ., Καρέτσος Γ. και Προύτσος, Ν., 2011. Δασικές πυρκαγιές Ελλάδας, 1983-2008. (WWF Ελλάς, ΕΘΙΑΓΕ, και ΙΜΔΟ-ΤΔΠ, Αθήνα)
- Τσιντίδης, Τ., Χριστοδούλου Χ. Σ., Δεληπέτρου, Π., και Γεωργίου, Κ. (Eds), 2007. Το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου. (Φιλοδασικός Σύνδεσμος Κύπρου: Λευκωσία, Κύπρος)
- Φοίτος, Δ., Κωνσταντινίδης, Θ. και Καμάρη, Γ. (Eds), 2009. Βιβλίο Ερυθρών Δεδομένων των Σπάνιων και Απειλούμενων φυτών της Ελλάδας. Τόμος 1 (Α-D) & 2 (Ε-Z). (Ελληνική Βοτανική Εταιρία, Πάτρα, Ελλάδα)
- Χριστακόπουλος, Π. και Ι. Βέρδη, 2008. Αναδασωτικά έργα στην Αττική από τη Δ/Δασών Αττικής: Διαδικασία-τεχνική-προβλήματα-παραιτέρω προοπτικές-Προτάσεις. Σε: Αποκατάσταση καμένων περιοχών. 13-14 Δεκεμβρίου 2001, Αθίνα, Ελλάδα. (Ξανθόπουλος, Δ.Γ. και Αριανούτσου, Μ., επιμ. Εκδ. 2007), σελ. 163-174. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Πίνακας Π.1: Περιστατικά πυρκαγιάς από 5.000 έως και 19.999 στρέμματα

	Νομός	Ημερ/νία Έναρξης	Ωρα Έναρξης	Στρέμματα
1	ΣΑΜΟΣ	31/7/1993	15:00	19.900
2	ΑΤΤΙΚΗ ΚΑΠΑΝΔΡΙΤΗ	7/3/1990	13:40	19.890
3	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	27/6/2007	19:15	19.537
4	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	5/8/1982	n/a	19.485
5	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	21/7/2007	18:05	19.026
6	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	18/8/1984	n/a	18.850
7	ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ	21/7/1977	11:30	18.500
8	ΠΡΕΒΕΖΑ (ΚΕΡΑΣ.)	3/8/1981	10:00	18.299
9	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ (ΣΚΙΩΝΗ)	21/6/1977	n/a	18.100
10	ΠΑΤΡΑ-ΖΗΡΙΑ	22/7/1995	12:30	18.000
11	ΓΥΘΕΙΟ (ΒΡΑΣΤΑ)	3/8/1981	n/a	17.560
12	ΦΛΩΡΙΝΑ-ΠΡΕΣΠΕΣ	9/7/1988	10:30	17.500
13	ΠΕΝΤΕΛΗ	20/7/1974	7:00	17.500
14	ΑΤΤΙΚΗ ΚΕΡΑΤΕΑ	1/6/1974	7:00	17.500
15	ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ (ΒΡΥΣΩΝ)	13/8/1981	n/a	17.500
16	ΚΑΒΑΛΑ	5/9/1992	19:30	17.280
17	ΕΚΑΛΗ	4/8/1981	14:30	17.000
18	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	4/8/1981	n/a	16.850
19	ΑΘΗΝΑ-ΕΚΑΛΗ-ΚΑΣΤΡΙ-Ν.ΕΡΥΘΡ.	4/8/1981	n/a	16.725
20	ΣΕΙΧ ΣΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	6/7/1997	16:10	16.648
21	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	11/6/1990	16:40	16.543
22	ΑΤΤ-ΜΕΓΑΡΑ	16/8/1978	10:00	16.400
23	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	2/8/1981	n/a	16.240
24	ΘΑΣΟΣ	21/5/1984	3:30	16.131
25	ΛΟΥΤΡΑΚΙ-ΠΕΡΑΧΩΡΑ	4/8/1986	14:00	16.000
26	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	5/8/1977	4:00	16.000
27	ΓΥΘΕΙΟ (ΜΙΝΑΛ.)	5/8/1981	n/a	15.900
28	ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟ	14/8/1985	n/a	15.812
29	ΑΡΓΟΛΙΔΑ	8/8/1992	10:30	15.800
30	ΛΑΥΡΙΟ (ΚΑΛΥΒ.)	12/8/1982	15:00	15.680
31	ΡΟΔΟΠΗΣ	4/8/2001	13:45	15.500
32	ΣΑΜΟΣ	16/7/1990	12:45	15.500
33	ΚΑΒΑΛΑ (ΜΕΣΟΡ.)	11/8/1985	15:00	15.368
34	ΑΤΤΙΚΗΣ-ΛΑΥΡΙΟ	6/8/1992	13:30	15.200
35	ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΝΤΕΛΗ	1/8/1982	14:30	15.130
36	ΑΤΤΙΚΗΣ	25/8/1980	n/a	15.130
37	ΠΕΝΤΕΛΗ (ΕΚΑΛΗ, ΔΙΟΝ.)	1/4/1982	14:00	15.130
38	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	25/8/1974	n/a	15.120
39	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ (ΒΑΘΥΛΑΚ.)	6/8/1982	11:00	15.120

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

40	ΕΥΒΟΙΑΣ	26/8/2007	17:00	15.000
41	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	24/8/2007	19:59	15.000
42	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	25/7/2007	21:00	15.000
43	ΑΤΤΙΚΗΣ	24/7/2007	16:50	15.000
44	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	4/6/2001	13:50	15.000
45	ΑΤΑΛΑΝΤΗ	3/7/1988	n/a	15.000
46	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	7/6/1977	17:00	15.000
47	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	3/8/1986	n/a	14.974
48	ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ	1/8/1990	14:55	14.950
49	ΓΥΘΕΙΟ (ΣΙΔΗΡΟΚ.)	12/8/1981	n/a	14.780
50	ΕΒΡΟΥ	5/9/2001	17:28	14.700
51	ΑΡΝΑΙΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	23/7/1990	14:20	14.250
52	ΔΡΑΜΑΣ	29/8/1994	11:00	14.000
53	ΧΑΝΙΩΝ (ΑΜΥΓΔΑΛ.)	24/7/1985	0:00	14.000
54	ΑΤΤΙΚΗ	11/8/1977	n/a	14.000
55	ΚΟΖΑΝΗΣ	24/7/2007	17:30	13.500
56	ΑΡΙΔΑΙΑ (ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ)	7/8/1981	n/a	13.500
57	ΤΡΙΠΟΛΗ	9/7/1988	n/a	13.400
58	ΦΥΛΗ ΠΑΡΝΗΘΑΣ-ΑΙΓΑΛΕΩ	23/7/1989	11:30	13.100
59	ΑΓΙΑ (ΚΑΣΤΡΙ)	7/8/1985	n/a	13.000
60	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ	13/8/1988	n/a	12.925
61	ΠΕΙΡΑΙΑ	12/9/1992	20:40	12.755
62	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ-ΛΑΜΙΑΣ	28/9/1991	22:00	12.725
63	ΜΑΛΛΟΙ	21/8/1993	22:00	12.500
64	ΧΙΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΘΩΜΑΣ)	6/9/1980	n/a	12.500
65	ΠΑΤΡΑ (ΦΛΟΚΑ)	5/9/1982	11:00	12.400
66	ΓΟΥΜΕΝΙΣΑ	18/9/1980	n/a	12.310
67	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ (ΑΣΒΕΣΤ.)	21/7/1981	n/a	12.300
68	ΣΑΜΟΥ	30/7/2010	0:26	12.000
69	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ	4/12/2008	0:30	12.000
70	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	25/8/2007	10:55	12.000
71	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	25/7/2007	16:50	12.000
72	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	27/6/2007	16:00	12.000
73	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ	14/8/1988	n/a	12.000
74	ΤΡΙΚΑΛΑ	12/7/1980	16:00	12.000
75	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	25/8/2011	13:45	12.000
76	ΗΜΑΘΙΑ	1/7/1977	n/a	11.855
77	ΣΑΡΩΝΙΔΑ	12/8/1982	13:45	11.800
78	ΑΘΗΝΑ-ΣΑΡΩΝΙΔΑ	12/8/1982	14:00	11.800
79	ΚΑΒΑΛΑ (ΠΟΝΤΟΛ.)	12/8/1985	n/a	11.504
80	ΛΑΣΗΘΙ (ΚΑΤΩΓ.)	30/9/1984	n/a	11.500
81	ΦΛΩΡΙΝΑΣ	7/11/2011	15:40	11.500
82	ΠΑΤΡΑ	17/9/1987	n/a	11.400
83	ΛΑΡΙΣΑ	27/7/1980	15:00	11.400
84	ΣΑΜΟΣ	12/9/1985	20:00	11.200
85	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	27/7/1993	17:15	11.149
86	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	29/8/1993	12:00	11.050

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

87	ΠΕΝΤΕΛΗ	10/7/1974	8:00	11.000
88	ΑΤΤΙΚΗ	1/5/1974	8:00	11.000
89	ΧΙΟΣ	6/7/1977	11:00	11.000
90	ΛΑΣΗΘΙ (ΙΕΡΑΠ.)	1/7/1984	20:00	11.000
91	ΧΙΟΣ	3/6/1975	n/a	11.000
92	ΔΩΔΕΚΑΝ. (ΑΠΕΡ.)	9/8/1982	9:00	10.987
93	ΤΡΙΠΟΛΗ (ΛΕΟΝΤ.)	4/8/1981	n/a	10.850
94	ΥΔΡΑ	14/7/1985	15:00	10.800
95	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	28/8/1974	n/a	10.680
96	ΑΤΤΙΚΗΣ	28/8/1980	n/a	10.680
97	ΜΕΣΣΟΛΟΓ. (ΨΗΛΟΡ)	1/8/1981	n/a	10.645
98	ΙΚΑΡΙΑ -ΑΓΙΟΣ ΚΥΡΗΚΟΣ	30/7/1993	14:55	10.565
99	ΛΑΡΙΣΑΣ	16/9/1994	11:00	10.500
100	ΤΡΙΚΑΛΑ	10/7/1977	14:00	10.500
101	ΡΕΘΥΜΝΟ	8/7/1978	11:00	10.500
102	ΕΥΒΟΙΑ-ΙΣΤΙΑΙΑ	11/6/1990	7:20	10.340
103	ΕΥΒΟΙΑΣ-ΧΑΛΚΙΔΑ	24/7/1994	16:00	10.326
104	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	23/7/2007	18:39	10.200
105	ΚΑΒΑΛΑ (ΚΟΡΥΦΗ)	17/8/1985	n/a	10.136
106	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ	29/8/1988	n/a	10.120
107	ΕΥΒΟΙΑΣ-ΧΑΛΚΙΔΑ	28/7/1994	17:15	10.023
108	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	14/8/1974	n/a	10.010
109	ΧΑΝΙΩΝ	20/4/2008	12:12	10.000
110	ΑΤΤΙΚΗΣ	25/8/2007	14:52	10.000
111	ΧΙΟΥ	25/7/2007	11:39	10.000
112	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	18/7/2007	14:30	10.000
113	ΙΚΑΡΙΑ	20/8/1993	15:00	10.000
114	ΗΛΕΙΑ	11/6/1975	n/a	10.000
115	ΑΤΤΙΚΗΣ	20/8/2012	14:00	10.000
116	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	16/6/2012	18:45	10.000
117	ΡΕΘΥΜΝΟ	14/10/1980	n/a	9.999
118	ΣΠΑΡΤΗ (ΒΑΜΒ)	12/7/1980	15:00	9.980
119	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	3/8/1977	n/a	9.850
120	ΚΑΛΑΜΑΤΑ (ΜΕΓ. ΓΕΦ.)	4/8/1981	0:00	9.700
121	ΑΤΤΙΚΗ	10/8/1977	n/a	9.690
122	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	12/10/2001	3:44	9.500
123	ΗΜΑΘΕΙΑ ΝΑΟΥΣΑ	23/7/1993	13:00	9.400
124	ΚΙΛΚΙΣ	18/8/2008	11:05	9.300
125	ΛΑΚΩΝΙΑ	22/5/1975	n/a	9.300
126	ΕΥΒΟΙΑ ΑΛΙΒΕΡΙ	21/8/1990	11:00	9.190
127	ΕΒΡΟΥ	29/7/2007	10:40	9.000
128	ΤΡΙΚΑΛΑ	16/9/1994	13:00	9.000
129	ΤΡΙΚΑΛΑ	2/8/1994	14:30	9.000
130	ΕΥΒΟΙΑΣ	22/9/2000	12:50	8.800
131	ΣΑΜΟΣ (ΠΛΑΡ. ΚΟΥΜ.)	7/8/1983	10:00	8.800
132	ΠΑΤΡΑ (ΣΑΝΤΑΜ.)	3/8/1981	20:00	8.750
133	ΦΘ. ΑΜΦΙΚΛΕΙΑ	22/7/1977	11:00	8.600

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

134	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	20/8/2009	19:50	8.500
135	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	17/8/2009	11:38	8.500
136	ΣΑΜΟΥ	2/8/2010	14:19	8.000
137	ΑΤΤΙΚΗΣ	17/7/2010	12:37	8.000
138	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	25/8/2007	5:34	8.000
139	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	25/8/2007	0:48	8.000
140	ΦΛΩΡΙΝΑΣ	25/7/2007	20:10	8.000
141	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	26/6/2007	15:00	8.000
142	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	22/8/2006	14:00	8.000
143	ΑΡΤΑΣ	9/9/2000	5:15	8.000
144	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	26/8/2000	5:30	8.000
145	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	7/8/2000	15:04	8.000
146	ΑΧΑΪΑΣ	18/7/2012	02:30	8.000
147	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	26/8/2011	11:09	8.000
148	ΛΑΡΙΣΑΣ	20/7/2011	13:50	8.000
149	ΠΕΝΤΕΛΗ	1/7/1974	11:00	7.675
150	ΑΤΤΙΚΗΣ	15/6/2009	15:28	7.000
151	ΚΙΛΚΙΣ	7/9/2008	12:29	7.000
152	ΧΑΝΙΩΝ	30/7/2007	11:40	7.000
153	ΠΕΛΛΑΣ	17/7/2012	01:49	7.000
154	ΚΡΑΤΗΓΟΥ ΛΕΣΒΟΥ	21/7/2006	23:45	6.800
155	ΑΤΤΙΚΗΣ	14/8/2010	15:15	6.500
156	ΕΒΡΟΥ	21/9/2000	12:49	6.500
157	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	22/8/2012	11:55	6.500
158	ΑΤΤΙΚΗΣ	16/8/2007	10:30	6.300
159	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	24/8/2007	15:15	6.000
160	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	18/7/2007	15:49	6.000
161	ΔΡΑΜΑΣ	24/8/2000	10:59	6.000
162	ΕΥΒΟΙΑΣ	8/7/2000	17:30	6.000
163	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	19/7/2011	15:05	6.000
164	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	27/6/2006	15:00	5.520
165	ΕΥΒΟΙΑΣ	12/7/2008	9:15	5.500
166	ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ	17/9/2001	14:42	5.500
167	ΛΑΡΙΣΑΣ	19/8/2000	12:59	5.500
168	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	19/8/2000	12:59	5.500
169	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	26/7/2000	19:29	5.500
170	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	9/7/2000	16:50	5.500
171	ΕΥΒΟΙΑΣ	27/3/2001	8:30	5.420
172	ΑΤΤΙΚΗΣ	28/7/2005	12:51	5.400
173	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	14/10/2007	20:56	5.300
174	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	5/7/2000	23:44	5.300
175	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	21/8/2006	9:05	5.100
176	ΕΒΡΟΥ	25/7/2007	11:30	5.003
177	ΧΙΟΥ	26/8/2011	18:50	5.000
178	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	3/8/2011	19:45	5.000
179	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	23/8/2011	01:40	5.000
180	ΛΑΡΙΣΑΣ	18/9/2011	18:00	5.000

Πίνακας Π.2: Περιστατικά πυρκαγιάς από 20.000 έως και 69.999 στρέμματα

	Νομός	Ημερ/νία Έναρξης	Ώρα Έναρξης	Στρέμματα
1	ΠΕΝΤΕΛΗ ΑΝ. ΑΤΤΙΚΗ	21/7/1995	7:30	68844
2	ΑΜΑΛΙΑΔΑΣ	3/8/1981	11:30	68.820
3	ΑΜΑΛΙΑΔΑ	3/8/1981	n/a	68.820
4	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	21/8/2000	18:09	67.000
5	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	22/8/2000	16:00	60.000
6	ΠΕΝΤΕΛΗ ΑΝ. ΑΤΤΙΚΗ	13/6/1992	19:00	59.500
7	ΕΒΡΟΥ	27/8/2011	13:30	59.000
8	ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑΣ	3/8/1981	22:30	57.250
9	ΛΑΡΙΣΑΣ	23/7/1988	n/a	54.000
10	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	21/8/2006	12:05	51.000
11	ΚΑΒΑΛΑΣ (ΧΑΛΚΕΡΟ)	14/8/1985	n/a	50.593
12	ΧΙΟΥ	3/8/1981	12:30	50.500
13	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	25/8/2007	16:05	50.000
14	ΕΥΒΟΙΑΣ	24/8/2007	14:05	50.000
15	ΜΕΣΣΗΝΙΑ (ΜΑΥΡΟΜ.)	5/8/1981	13:00	50.000
16	ΕΒΡΟΥ	24/8/2011	13:30	50.000
17	ΑΜΑΛΙΑΔΑΣ (ΒΑΡΝΩΤ.)	14/8/1985	n/a	49.000
18	ΧΙΟΥ	6/7/1988	n/a	48.000
19	ΕΥΒΟΙΑΣ	22/8/2009	10:40	46.000
20	ΛΑΡΙΣΑΣ	28/7/2000	4:30	45.000
21	ΠΥΡΓΟΣ (ΚΟΥΤΣΟΧ.)	2/8/1981	11:00	43.450
22	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	9/7/2000	14:29	42.500
23	ΑΜΑΛΙΑΔΑ (ΡΟΥΠ.)	4/8/1981	n/a	41.650
24	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	12/7/2000	14:00	40.000
25	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	4/7/2000	9:49	40.000
26	ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ	8/7/1988	n/a	40.000
27	ΕΥΒΟΙΑΣ-ΙΣΤΙΑΙΑ	30/7/1990	9:30	39.845
28	ΤΡΙΠΟΛΗ-ΡΟΥΤΣΙΟ-ΣΟΥΛ	25/8/1993	13:30	39.500
29	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	25/6/1990	12:00	39.245
30	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ (ΟΛΥΜΠΟΥ)	26/7/1983	21:00	39.210
31	ΤΡΙΚΑΛΑ	9/7/1988	n/a	38.000
32	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ (ΑΓ.ΑΝΤΡ.)	3/8/1981	7:00	37.200
33	ΛΑΥΡΙΟ	14/7/1985	22:30	37.000
34	ΒΔ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	18/7/1984	12:30	36.000
35	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ (ΔΗΤΗ, ΩΡ)	18/7/1984	12:00	36.000
36	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	4/8/1981	n/a	33.200
37	ΤΡΙΠΟΛΗ (ΧΑΝΙΑ)	3/8/1981	22:00	33.160
38	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	3/8/1981	n/a	32.800
39	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ-ΑΤΑΛΑΝΤΗ	12/10/1992	15:30	32.700
40	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	22/8/2009	13:15	32.500
41	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ-ΣΠΕΡΧΙΑΔΑ	25/8/1992	12:30	32.000
42	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	15/8/1985	n/a	32.000
43	ΚΟΖΑΝΗ	8/7/1988	n/a	31.000
44	ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ(ΦΙΛ)	3/8/1981	n/a	30.250

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

45	ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ (ΣΥΚΙΑ)	15/8/1985	n/a	30.240
46	ΚΟΡΙΝΘΙΑ ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟ	29/9/1993	15:00	30.140
47	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	9/7/2000	17:00	30.050
48	ΚΙΛΚΙΣ	7/9/1988	n/a	30.000
49	ΕΥΒΟΙΑ-ΑΛΙΒΕΡΙ	14/8/1988	n/a	30.000
50	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	2/8/1981	22:00	30.000
51	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	7/8/2012	13:40	30.000
52	ΕΥΒΟΙΑΣ	24/8/2012	23:30	30.000
53	ΛΑΡΙΣΑΣ	23/8/1988	n/a	29.500
54	ΛΑΡΙΣΑΣ	9/7/2000	13:55	28.170
55	ΒΑΡΝΑΒΑ-ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ	13/8/1984	12:20	27.500
56	ΑΤΤ. (ΚΑΠΑΝΔΡ. , ΓΡΑΜ., ΚΑΛΑΜΟΣ)	13/8/1984	13:00	27.500
57	ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ (ΜΥΡΟΥ)	4/8/1981	22:00	27.400
58	ΠΑΤΡΑ	12/8/1985	12:00	27.000
59	ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	9/7/1988	n/a	26.560
60	ΠΑΤΡΑ (ΑΝΔΡΕΑ)	3/8/1981	9:00	26.502
61	ΛΕΣΒΟΥ	15/8/1994	2:45	25.950
62	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	23/9/1988	n/a	25.422
63	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	24/8/2007	11:00	25.000
64	ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ	24/7/2007	21:56	25.000
65	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	27/6/2007	15:35	25.000
66	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	24/7/1993	n/a	25.000
67	ΧΙΟΣ	30/8/1987	11:00	25.000
68	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	6/8/1977	8:00	25.000
69	ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟ (ΚΑΡ.)	1/8/1982	13:00	24.350
70	ΚΑΒΑΛΑΣ (ΕΛΑΙΟΧ.)	14/8/1985	n/a	24.068
71	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	9/7/2000	14:10	24.000
72	ΛΑΡΙΣΑΣ	23/8/1988	n/a	23.500
73	ΧΙΟΣ	18/8/1987	13:00	22.600
74	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ	2/10/1991	16:35	22.540
75	ΛΑΡΙΣΑΣ	11/7/1988	n/a	22.500
76	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	14/8/1990	14:30	22.300
77	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	14/8/2008	12:15	22.000
78	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	28/8/1983	n/a	22.000
79	ΛΑΣΙΘΙΟΥ (ΜΑΛΛΕΣ)	28/8/1983	n/a	22.000
80	ΛΑΚΩΝΙΑΣ ΣΠΑΡΤΗ	9/8/1992	15:00	21.700
81	ΑΤΤ-ΛΑΥΡΙΟ (Π.ΦΩΚ.)	7/8/1979	n/a	21.580
82	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	25/8/2007	11:15	21.500
83	ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ	21/7/1981	14:00	21.500
84	ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ-ΦΥΛΑΚΕΣ	21/7/1981	n/a	21.500
85	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	12/7/2000	16:29	21.000
86	ΡΟΔΟΠΗ (ΠΡΟΣΚΥΝ.)	12/5/1982	12:00	20.538
87	ΝΑ ΘΑΣΟΥ	21/7/1984	3:30	20.500
88	ΘΑΣΟΣ (ΘΕΟΛ.)	21/7/1984	3:30	20.500
89	ΦΛΩΡΙΝΑΣ	26/8/2012	13:00	20.300
90	ΑΛΜΥΡΟΣ	3/9/1988	n/a	20.240
91	ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	29/8/1993	15:00	20.239

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

92	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	13/7/2000	10:30	20.200
93	ΕΒΡΟΥ	6/9/2009	12:45	20.000
94	ΔΡΑΜΑΣ	24/8/2000	10:59	20.000
95	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ	12/8/1988	n/a	20.000
96	ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ	8/7/1988	n/a	20.000
97	ΑΤΤΙΚΗΣ	16/6/2012	12:30	20.000
98	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	30/7/2012	00:12	20.000
99	ΡΕΘΥΜΝΟΥ	28/7/2011	21:16	20.000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Πίνακας Π.3: Τα αισθητικά δάση της Ελλάδος (Νέζης, 1992)

Όνομασία	Περιοχή	Έκταση	Σύσταση	ΦΕΚ
Φοινικόδασος Βαί	Σητείας Κρήτης	20 ha	Φοίνικες	666 Β/70
Δασική περιοχή Καισαριανής	Αττικής	640 ha	Πεύκα, κυπαρίσσια και άλλα φυτικά είδη	31 Α Ι 74
Κουλάδα Τεμπόν	Λάρισα	1762 ha	Πλατάνια, ιτιές και άλλα φυτικά είδη	648 Β/ 68
Δάσος Ι.Μ. Αγ. Γεωργίου Καραϊσκάκη Μουζακίου	Καρδίτσας	252 ha	Δρύες και καστανιές	31 Α/ 74
Δάσος Πευκιάς Ξυλόκαστρου	Κορινθία	27 ha	Παραθαλάσσιο δάσος χαλεπίου πεύκης	70 Α Ι 74
Δασική περιοχή Πανεπιστημιούπολης Πατρών	Πάτρα	1850 ha	Πεύκη	99 ΑΠ 4
Δημόσιο δάσος Ιωαννίνων	Ιωάννινα	86 ha	Πεύκη	306 Α/ 76
Δημοτικό δάσος Φαρσάλων	Λάρισα	34 ha	Πεύκα και κυπαρίσσια	103 Δ/ 77
Δάσος Στενής	Εύβοια	677 ha	Έλατα, καστανιές, πεύκα	108 ΔΠ7
Δασικό σύμπλεγμα Όσσας	Λάρισα	16900 ha	Έλατα, οξιές, καστανιές, δρύες, φιλύρες	175 Δ/77, 160 Α/85 και 5 Α/86
Δάσος Μογγοστού	Κορινθία	520 ha	Πεύκα, δρύες και αείφυλλα πλατύφυλλα	175 ΔΙ77
Δάσος Ακτής Νικόπολης Μύτικα	Πρέβεζα	66 ha	Παραλιακό δάσος με πεύκα και ευκαλύπτους	183 Δ/77
Δάση Νήσου Σκιάθου	Σκιάθος	3000 ha	Χαλέπιος πεύκη και αείφυλλα πλατύφυλλα, Κουκουναριές	248 ΔΙ77
Στενά Νέστου	Ξάνθη-Καβάλα	2380 ha	Ποικίλη παραποτάμια βλάστηση	283 Δ/77
Άλσος Εθνικής Ανεξαρτησίας Καλαβρύτων	Αχαΐα	1750 ha	Έλατα και αείφυλλα πλατύφυλλα	404 ΔΙ77
Δάσος Τιθορέας	Φθιώτιδα	200 ha	Ποικίλη βλάστηση	125 ΔΙ79
Δάσος Αμυγδαλεώνος	Καβάλα	2816 ha	Πεύκα και κυπαρίσσια	606 Δ/79
Άλση Αηλιά και Κάστρου Τρικάλων	Τρίκαλα	28 ha	Πεύκα και κυπαρίσσια	609 Δ/79
Δάσος Κουρί Αλμυρού	Μαγνησία	100 ha	Αυτοφυής δρύες	99 Α/80

Πίνακας Π.4: Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης

Όνομασία	Έκταση	ΦΕΚ
Το Δάσος Δενδροκέρδων στην Κυνουρία Αρκαδίας	74	121/Δ/1980
Συστάδα Δρυός και Φράξου (Μουριών)	9,2	121/Δ/1980
Το Δάσος της Οξιάς στην Τσίγλα Χαϊντού Ξάνθης	18	121/Δ/1980
Το Δάσος Οξιάς στο Πευκωτό Πέλλας	3,2	121/Δ/1980
Το Παρθένο Δάσος της Κεντρικής Ροδόπης	550	121/Δ/1980
Το νησί Πιπέρι στις Βόρειες Σποράδες	438	121/Δ/1980
Το δάσος του Λεσινίου Αιτωλοακαρνανίας	45,9	773/Β/1985
Ο Σφαργώνας στο δάσος του Λαϊλιά Σερρών	3,9	656/Β/1986
Το Δάσος αείφυλλων πλατύφυλλων στο νησί Σαπέντζα	240	656/Β/1986

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Το Μικτό Δάσος Προμάχων-Λυκοστόμου Αριδαίας	192	656/B/1986
Το Φυσικό Δάσος Κυπαρισσιού στον Έμπωνα Ρόδου	135	656/B/1986
Το Μικτό Δάσος του Γράμμου	130	656/B/1986
Το Απολιθωμένο Δάσος της Λέσβου	15	160/A/1985
Οι δύο Πλάτανοι του Σχολαρίου	-	281/B/1975
Το κλήμα των Καλαβρύτων	-	738/B/1975
Το Πεύκο της Νικήτης Χαλκιδικής	-	738/B/1975
Ο Πλάτανος στο Γεροπλάτανο Χαλκιδικής	-	738/B/1975
Ο Πλάτανος της Βάβδου	-	738/B/1975
Ο Πλάτανος του Πανσανία στο Αίγιο	-	738/B/1976
Οι Δώδεκα Βρύσες του Αιγίου	-	738/B/1976
Οι Πλάτανοι των Κομποτάδων	-	113/B/1976
Ο Πλάτανος της Άρτας	-	1113/B/1976
Ο αειθαλής Πλάτανος της Φαιστού	-	590/B/1977
Οι Πλάτανοι της Βέροιας	-	590/B/1977
Ο Πλάτανος του Ναυπλίου	-	590/B/1977
Η Ελιά του Ναυπλίου	-	590/B/1977
Ο Φοίνικας του Ναυπλίου	-	590/B/1977
Οι Ύαμοι Κρυονερίου Αργολίδας	-	590/B/1977
Οι Ελιές της Δημαίνης Αργολίδας	-	590/B/1977
Οι Ελιές του Αλμυροποτάμου Εύβοιας	-	590/B/1977
Ο Πλάτανος της Δημητσάνας Αρκαδίας	-	121/Δ/1980
Ο Σφένδαμος του Σιδηροκάστρου Μεσσηνίας	-	121/Δ/1980
Η Ελιά της Καλαμάτας	-	121/Δ/1980
Η Δρυς του Περιθωρίου Αρκαδίας	-	121/Δ/1980
Η Δρυς στις Κορφές Ηρακλείου	-	121/Δ/1980
Οι Βελανιδιές στην Καλαμά Αιγίου	-	121/Δ/1980
Η Δρυς της Δόριζας Αρκαδίας	-	121/Δ/1980
Ο Πλάτανος Βλάτους Χανίων	-	121/Δ/1980
Ο Πλάτανος της Αγ. Μαρίας Φθιώτιδας	-	121/Δ/1980
Οι Πλάτανοι της Λαμίας	-	121/Δ/1980
Ο Πλάτανος στην Ελαία Θεσπρωτίας	-	173/B/1981
Η Φτελιά της Αηδόνας Καλαμπάκας	-	173/B/1981
Ο αειθαλής Πλάτανος των Αζωγυρών Χανίων	-	173/B/1981
Το Κρητικό Κεφαλάνηρο στις Καμάρες Ηρακλείου	-	589/B/1985
Ο Πλάτανος του Αγ. Φλώρου Μεσσηνίας	-	589/B/1985
Ο Πλάτανος του Ιπποκράτη στην Κω	-	589/B/1985
Ο Πλάτανος της Απολλωνίας-Σταυρός Θεσσαλονίκης	-	589/B/1985
Ο Πλάτανος της Πλατανιώτισσας Καλαβρύτων	-	773/B/1985
Ο Πλάτανος της Αγ. Λαύρας Καλαβρύτων	-	656/B/1986
Υπόλειμμα υδροχαρούς δάσους στην Ιστιαία Εύβοιας	-	656/B/1986
Το Κυπαρίσι της Πρασιάς Ευρυτανίας	-	520/B/1997

Πίνακας Π.5: Εθνικοί Δρυμοί της Ελλάδος

Εθνικοί Δρυμοί	Εμβαδόν ΦΕΚ (ha)	ΦΕΚ
Εθνικός Δρυμός Πάρνηθας	3.812	ΒΔ 644/1961 ΦΕΚ 155/A/1961
Εθνικός Δρυμός Σουνίου	3.500	ΠΔ 182/1974 ΦΕΚ 80/A/1974
Εθνικός Δρυμός Πίνδου	6.927	ΒΔ 487/1966 ΦΕΚ 120/A/1966
Εθνικός Δρυμός Οίτης	7.210	ΒΔ 218/1966 ΦΕΚ 56/A/1966
Εθνικός Δρυμός Πρεσπών	19.470	ΠΔ 46/1974 ΦΕΚ 19/A/1974
Εθνικός Δρυμός Βίκου-Αώου	12.600	ΠΔ 213/1973 ΦΕΚ 198/A/1973
Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς	4.850	ΒΔ 731/1962, ΦΕΚ 200/A/1962 ΒΔ 74/1964, ΦΕΚ 33/A/1964
Εθνικός Δρυμός Παρνασσού	3.513	ΒΔ 25.07.1938, ΦΕΚ 286/A/38 ΒΔ 23.12.1939, ΦΕΚ 1/A/1939
Εθνικός Δρυμός Αίνου	2.862	ΒΔ 776/1962 ΦΕΚ 199/A/1962
Εθνικός Δρυμός Ολύμπου	3.988	ΒΔ 09.06.1938 ΦΕΚ 248/A/1938

Σχεδιασμός Πρόβλεψης Συμπεριφοράς και Αξιολόγηση των Επιπτώσεων Δασικών Πυρκαγιών με Χρήση Γεωπληροφορικής

Πίνακας Π.6: Ελεγχόμενες Κυνηγετικές Περιοχές

Ελεγχόμενες Κυνηγετικές Περιοχές	Εμβαδόν ΦΕΚ (ha)	ΦΕΚ
Ορεινή Σερρών	24.600	1587/Β/1975
Δίας Ηρακλείου	1.250	474/Β/1977
Σαπέντζα Καλαμάτας	850	1041/Β/1977
Αταλαντόνησι Αταλάντης	185	1041/Β/1977
Όσσα Λάρισας	26.337	88/Β/1985
Γιούρα	6.583	1474/Β/2001
Κόζιακας Τρικάλων	48.360	527/Β/1992
Παρνασσίδα	25.000	2614/Β/2013

Πίνακας Π.7: Περιοχές Προστασίας της Φύσης

Περιοχές Προστασίας της Φύσης	ΦΕΚ
Υγρότοπος Δύστου Εύβοιας (Περιοχή 2)	60/Δ/08.02.1990 (ΖΟΕ)
Όρος Κέρκη και όρος Καρβούνη Σάμου (Περιοχή Β)	100/Δ/27.02.1995 (ΖΟΕ)
Υγρότοπος Ψαχνών στην Εύβοια (Περιοχή 1-Πυρήνας υγροβιότοπου)	642/Δ/09.10.1989 (ΖΟΕ)
Περιοχή Δήμων Άργους και Μήδειας (Περιοχές 5 και 5α)	396/08.06.1999 (ΖΟΕ)
Δήμος Σταγείρου Ακάνθου (ΖΠΦΠ 1 και ΖΠΦΠ 2)	326/Δ/26.04.2002 (ΖΟΕ)
Υγρότοπος και ακτή Ψαλιδίου Δήμου Κω (Ζώνες ΠΠΦ1 και ΠΠΦ2)	571/Δ/06.07.2006
Ζώνες Ια, Ιβ και Ιγ του Εθνικού Πάρκου Πίνδου	Απόφαση 23069, ΦΕΚ 639/Β/14.06.2005
Ζώνες Α1, Α2, Α3, Α4 και Α5 Εθνικού Πάρκου Σχινιά-Μαραθώνα	395/Δ/03.07.2000
Ζώνες ΠΦ1, ΠΦ2, ΠΦ3 και ΠΦ4 Εθνικού Πάρκου Λιμνοθαλασσών Μεσολογγίου	Απόφαση 22306, ΦΕΚ 477/Δ/31.03.2006
Ζώνη Α2 (Μακεδονικά Τέμπη) Εθνικού Πάρκου υγροτόπων Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών	Απόφαση 6919, ΦΕΚ 248/Δ/05.03.2004
Ζώνες Α, Β και Γ Εθνικού Πάρκου Δέλτα Έβρου	Απόφαση 4110, ΦΕΚ 102/Δ/16.03.2007
Ζώνες Α1 και Α2 Εθνικού Πάρκου δάσους Λαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου	Απόφαση 35633, ΦΕΚ 911/Δ/13.10.2006
Ζώνες Α1, Α2, Α3, Α4 και Α5 Εθνικού Πάρκου Δέλτα Νέστου, Λίμνης Βιστωνίδας με λιμνοθάλασσα και λιμναία χαρακτηριστικά και Λίμνης Ισμαρίδας	Απόφαση 44549, ΦΕΚ 497/Δ/17.10.2008
Ζώνη Α Εθνικού Πάρκου Αμβρακικού κόλπου	Απόφαση 11989, ΦΕΚ 123/Δ/21.03.2008
Ζώνες ΙΑ, ΙΒ, ΙΓ και ΙΔ Εθνικού Πάρκου Τζουμέρκων-Περιστερίου και χαράδρας Αράχθου	49/Δ/12.02.2009
Ζώνη Α Εθνικού Πάρκου Υγροτόπων Κοτυχίου –Στροφιλιάς	Απόφαση 12365, ΦΕΚ 159/Δ/29.04.2009
Ζώνες ΠΔ1, ΠΔ2, ΠΔ3, ΠΔ4, ΠΑ, Β1, Β2, Β3, Β4, Β5, Β6 και Β7 Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα	Απόφαση 12966, ΦΕΚ 220/Δ/14.05.2009
Ζώνες Β1, Β2, Β3, Β4, Β5, Β6 και Β7 Εθνικού Πάρκου Πρεσπών	Απόφαση 28651, ΦΕΚ 302/Δ/23.07.2009
Χερσαίες, υδάτινες και θαλάσσιες περιοχές των Στενών και εκβολών των ποταμών Αχέροντα και Καλαμιά, του Έλους Καλοδικίου	Απόφαση 36427/09, 396/Δ/17-09-09
Ζώνες Β1, Β2, Β3, Β4, Β5, Β6 και Β7 Εθνικού Πάρκου Οροσειράς Ροδόπης	Απόφαση 40379/09, ΦΕΚ 445/Δ
Ζώνες Α1, Α2 και Α3 Εθνικού Πάρκου ορεινού όγκου Χελμού-Βουραϊκού	Απόφαση 40390/09, ΦΕΚ 446/Δ

Πίνακας Π.8: Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης

Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης	ΦΕΚ
Υγρότοπος Δύστου Εύβοιας Περιοχή 1	Διάταγμα, ΦΕΚ 60/Δ/08.02.1990 (ΖΟΕ)
Μικρό και Μεγάλο Σειτάι Σάμου Περιοχή Α1-Πυρήνας και Α2	Διάταγμα, ΦΕΚ 100/Δ/27.02.1995 (ΖΟΕ)
Ζώνες ΑΠ1, ΑΠ2, ΑΠ3 και ΑΠ4 Εθνικού Πάρκου Λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου	Απόφαση 22306, ΦΕΚ 477/Δ/31.03.2006
Ζώνη Α1 (Δάσος Απολλωνίας) Εθνικού Πάρκου υγροτόπων Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών	Απόφαση 6919, ΦΕΚ 248/Δ/05.03.2004
Ζώνη Α1 Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου	ΠΔ, ΦΕΚ 906/22.12.1999
Ζώνες ΑΠ1, ΑΠ2, ΑΠ3 και ΑΠ4 Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα	Απόφαση 12966, ΦΕΚ 220/Δ/14.05.2009
Ζώνες Α1, Α2 και Α3 Εθνικού Πάρκου Πρεσπών Απόφαση 28651,	ΦΕΚ 302/Δ/23.07.2009 Ζώνες Α1, Α2 και Α3 Εθνικού Πάρκου Οροσειράς Ροδόπης Απόφαση 40379/09, ΦΕΚ 445/Δ

Πίνακας Π.9: Βιογενετικά Αποθέματα

Βιογενετικά Αποθέματα	Εμβαδόν ΦΕΚ (εκτάρια)
Φυσικό Μνημείο Δάσους Λεσινίου	45,9
Εθνικός Δρυμός Πίνδου (πυρήνας)	3.393
Παρθένο Δάσος Κεντρικής Ροδόπης	550
Παρθένο Δάσος Παρανεστίου	500
Φυσικό Μνημείο Μικτού Δάσους Κυπαρισσίου Έμπωνα Ρόδου	135
Κόλπος Λαγανά	2.450
Φυσικό Μνημείο Μικτού Δάσους Γράμμου	130
Εθνικός Δρυμός Αίνου (πυρήνας)	2.862
Αισθητικό Δάσος Κουρί-Αλμυρού	100
Φυσικό Μνημείο Δάσους Αειφύλλων Πλατάνων Νήσου Σαπιέντζα	24
Φυσικό Μνημείο Δάσους Οξιάς στην Τσίγλα -Χαϊντού Ξάνθης	18
Φυσικό Μνημείο Μικτού Δάσους Αλμωπίας Αριδαίας	192
Εθνικός Δρυμός Ολύμπου (πυρήνας)	3.988
Εθνικός Δρυμός Οίτης (πυρήνας)	3.010
Εθνικός Δρυμός Πρεσπών (Δάσος Κέδρων)	13
Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς	4.850

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ

(Πηγή πληροφοριών και προσαρμογή κειμένου από: Λιαρίκος κ.α. 2012)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ

- 4 Εθνικά Πάρκα [Δάσους Δαδιάς-Λευκίμμης-Σουφλίου, Δέλτα Έβρου, Αν.Μακεδονίας-Θράκης (Δέλτα Νέστου, Βιστωνίδα, Ισμαρίδας) και Οροσειράς Ροδόπης]
- 36 περιοχές οι οποίες εντάσσονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 [Οδηγίες 92/43/ΕΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)] και καλύπτουν το 16% της συνολικής έκτασης του εν λόγω γεωγραφικού διαμερίσματος
- 2 Αισθητικά Δάση (Στενά Νέστου Καβάλας-Ξάνθης και Δάση Αμυγδαλέων Καβάλας)
- 3 Βιογενετικά Αποθέματα (Παρθένο Δάσος Παρανεστίου, Παρθένο Δάσος Κεντρικής Ροδόπης, Δάσος οξιάς στην Τσίγλα-Χαινού Ξάνθης). Τα δύο τελευταία έχουν χαρακτηριστεί και Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης
- 3 Υγροτόπους Διεθνούς Σημασίας (Ramsar) (Δέλτα Έβρου, Ισμαρίδας-Βιστωνίδα-πόρτο Λάγους, Δέλτα Νέστου)
- 51 Καταφύγια Άγριας Ζωής

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

- 3 Εθνικούς Δρυμούς (Πρεσπών, καθώς και τμήματα των δρυμών Ολύμπου και Πίνδου)
- 4 Εθνικά Πάρκα [Δρυμού Πρεσπών, Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα, Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης, Υγροτόπου Κερκίνης] καθώς και τμήμα του Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου]
- 4 υγροτόπους διεθνούς σημασίας (Ramsar) (Λίμνη Μικρή Πρέσπα, Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα, Λίμνες Κορώνεια-Βόλβη, Λίμνη Κερκίνη)
- 62 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000, [Οδηγίες 92/43/ΕΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)] και καλύπτουν το 47% περίπου του Γεωγραφικού Διαμερίσματος
- Η περιοχή των Πρεσπών αποτελεί τμήμα του Διασυνοριακού Πάρκου Πρεσπών ανάμεσα σε Αλβανία, Ελλάδα και Π.Γ.Δ.Μ.
- 11 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης
- 5 Βιογενετικά αποθέματα (Εθνικός Δρυμός Ολύμπου-πυρήνας, Εθνικός Δρυμός Πρεσπών-Δάσος Κέδρων, Φυσικό Μνημείο Μεικτού Δάσους Αλμωπίας Αριδαίας, Φυσικό Μνημείο Μεικτού Δάσους Γράμμου)
- Ο Εθνικός Δρυμός Ολύμπου έχει επίσης χαρακτηριστεί Αποθέμα Βιόσφαιρας, ενώ το Όρος Άθως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς τόσο για τη φύση όσο και για τον πολιτισμό
- 125 Καταφύγια Άγριας Ζωής

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ

- 2 Εθνικούς Δρυμούς (Πίνδου και Βίκου-Αώου)
- 3 Εθνικά Πάρκα (Βόρειας Πίνδου Υγροτόπων Αμβρακικού κόλπου και Τζουμέρκων, Περιστερίου και χαράδρας Αράχθου, μικρό τμήμα του οποίου ανήκει στο ΓΔ Θεσσαλίας)
- 1 Περιοχή Οικοανάπτυξης (Λίμνης Παμβώτιδας)
- 1 Υγρότοπο διεθνούς σημασίας (Ramsar) (Κόλπος Αμβρακικού)
- 28 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 (Οδηγίες 92/43/ΕΟΚ και 79/409/ΕΟΚ)
- 2 Αισθητικά δάση (περιαστικό δάσος Ιωαννίνων και παραλιακό δάσος Νικοπόλεως-Μύτικα Πρέβεζας) και 2 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (ο Πλάτανος της Άρτας και ο Πλάτανος στην Ελαία Θεσπρωτίας).

- 2 Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 4 της Σύμβασης της Βαρκελώνης (Αισθητικό δάσος Νικοπόλεως-Μύτικα Πρέβεζας και Αμβρακικός Κόλπος)
- Τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, τα οποία συγκεντρώνονται κυρίως στην παράκτια περιοχή που εκτείνεται από τις εκβολές του Αχέροντα ως τη σαγιάδα και στον κεντρικό ορεινό όγκο κ.λπ.
- 34 Καταφύγια Άγριας Ζωής

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

- Τμήμα του Εθνικού Πάρκου-Εθνικού Δρυμού Ολύμπου
- 1 Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο (Αλοννήσου Βορείων Σποράδων)
- 29 περιοχές οι οποίες εντάσσονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 [Οδηγίες 92/43/ΕΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)]
- 7 Αισθητικά Δάση (Κοιλιάδα Τεμπών Λάρισας, Δάσος Καραϊσκάκη Καρδίτσας, Δάσος Φαρσάλων Λάρισας, Δασικό σύμπλεγμα Όσσας Λάρισας, Δάση νήσου Σκιάθου Μαγνησίας, Δάση Λόφων Κάστρου Απλιά Τρικάλων, Δρυοδάσος Κουρί Αλμυρού Μαγνησίας). Το τελευταίο αποτελεί και Βιογενετικό Αποθέμα
- 2 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (Το νησί Πιπέρι στις Β. Σποράδες και η Φτελιά της Αηδόνας Καλαμπάκας)
- 2 Περιοχές Σύμβασης Βαρκελώνης (Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο Αλοννήσου Βόρειων Σποράδων, Αισθητικό Δάσος Σκιάθου)
- 1 Μνημείο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς (UNESCO), τα Μετέωρα
- 52 Καταφύγια Άγριας Ζωής

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

- 4 Εθνικούς Δρυμούς (Οίτης, Παρνασσού, Πάρνηθας, Σουνίου)
- 2 Εθνικά Πάρκα (Σχινιά-Μαραθώνα και λιμνοθάλασσας Μεσολογίου) καθώς και τμήμα του Εθνικού Πάρκου Υγρότοπων Αμβρακικού.
- 1 υγρότοπο διεθνούς σημασίας (Ramsar) (Υγρότοποι Μεσολογίου-Αιτωλικού)
- 49 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 [Οδηγίες 92/43/ΕΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)] και καταλαμβάνουν το 16% περίπου του Γεωγραφικού διαμερίσματος.
- 3 Αισθητικά δάση (Δάσος Καισαριανής Αττικής, Δάσος Στενής Εύβοιας, Περιαστικό Δάσος Τιθορέας Φθιώτιδας)
- 7 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (το υπόλειμμα υδροχαρούς δάσους στην Ιστιαία Εύβοιας, οι ελιές του Αλμυροποτάμου Εύβοιας, καθώς και ο πλάτανος της Αγ. Μαρίνας Φθιώτιδας, οι πλάτανοι της Λαμίας Φθιώτιδας, το κυπαρίσσι της Πρασιάς Ευρυτανίας, οι πλάτανοι των Κομποτάδων Φθιώτιδας και το δάσος του Λεσινίου Αιτωλοακαρνανίας). Το τελευταίο μαζί με τον πυρήνα του Δρυμού της Οίτης είναι χαρακτηρισμένα και ως Βιογενετικά Αποθέματα
- 93 Καταφύγια Άγριας Ζωής
- Ο Εθνικός Δρυμός Σουνίου έχει επίσης χαρακτηριστεί ως Ειδικά Προστατευόμενη Περιοχή με βάση το πρωτόκολλο «Περί των ειδικά προστατευόμενων περιοχών της Μεσογείου» της Σύμβασης της Βαρκελώνης

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

- 2 Εθνικά Πάρκα (Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφιλιάς και Χελμού-Βουραϊκού)
- 1 Οικολογικό Πάρκο (Όρους Πάρνωνια και Υγροτόπου Μουστού)
- 1 Υγρότοπο διεθνούς σημασίας Ramsar (Λιμνοθάλασσα Κοτυχίου-Δάσος Στροφιλιάς)
- 49 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 [Οδηγίες 92/43/ΕΟΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)]

- 4 Αισθητικά δάση (Πευκιάς Ξυλόκαστρου Κορινθίας, Δρυοδάσος Μογγοστού Κορινθίας, Δάσος Χειμάρρων Σελεμνού και Χαράδρου Αχαΐας, Δάσος Εθνικής Ανεξαρτησίας Καλαβρύτων Αχαΐας)
- 19 Διατηρητέα μνημεία φύσης, εκ των οποίων το Δάσος αείφυλλων πλατύφυλλων στο νησί Σαπιέντζα Μεσσηνίας έχει επίσης χαρακτηριστεί ως Βιογενετικό Απόθεμα
- 59 Καταφύγια Άγριας Ζωής

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ

- 1 Εθνικός Δρυμός (Σαμαριάς)
- 1 Αισθητικό Δάσος (Φοινικόδασος Βάι Λασιθίου)
- 2 Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές σύμφωνα με τη Σύμβαση της Βαρκελώνης (Εθνικός Δρυμός της Σαμαριάς και το Φοινικόδασος του Βάι)
- 53 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000, [Οδηγίες 92/43/ΕΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)]
- 1 Ελεγχόμενη Κυνηγετική Περιοχή (Νήσος Δίας Ηρακλείου)
- 54 Καταφύγια Άγριας Ζωής
- 5 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (το Κρητικό Κεφαλάνθηρο στις Καμάρες Ηρακλείου, ο αειθαλής Πλάτανος της Φαιστού, η Δρυς στις Κορυφές Ηρακλείου, ο Πλάτανος Βλάτους Χανίων και ο αειθαλής Πλάτανος των Αζωγυρών Χανίων)
- Ο Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς έχει επίσης χαρακτηριστεί Απόθεμα Βιόσφαιρας ενώ του έχει απονεμηθεί το Ευρωδίπλωμα. Ο πυρήνας του θεωρείται και Βιογενετικό Απόθεμα

ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

- 94 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 [Οδηγίες 92/43/ΕΟΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)]
- 128 Καταφύγια άγριας ζωής
- 3 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (το Απολιθωμένο δάσος της Λέσβου, ο Πλάτανος του Ιπποκράτη στην Κω και το φυσικό Δάσος Κυπαρισσιού στον Έμπωνα Ρόδου). Το τελευταίο ανήκει και στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Βιογενετικών Αποθεμάτων
- 1 Περιοχή Σύμβασης Βαρκελώνης (Απολιθωμένο Δάσος Σίγρι στη Λέσβο)

ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΙΟΝΙΟΥ

- 1 Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο (Ζακύνθου, κόλπου Λαγανά και νήσων Στροφάδων)
- 1 Εθνικό Δρυμό (Αίνου)
- 19 περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 [Οδηγίες 92/43/ΕΚ και 2009/147/ΕΚ (79/409/ΕΟΚ)]
- 11 Καταφύγια Άγριας Ζωής
- Ο πυρήνας του Εθνικού Δρυμού Αίνου και ο Κόλπος του Λαγανά έχουν επίσης ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Βιογενετικών Αποθεμάτων που θέσπισε το Συμβούλιο της Ευρώπης για τη διατήρηση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων χλωρίδας, πανίδας και φυσικών περιοχών Ευρώπης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Π.10: Επιπτώσεις στο Τοπίο και την Εδαφοκάλυψη

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου	Χαμηλές	Μέτριες	Υψηλές			
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστή					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,15	3,15	A.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Τύπος Δασικού Οικοσυστήματος		Πεδινό/ Αγροτικό	Ημιορεινό	Περίαπτικό/ WUI	Ορεινό		
0,46	9,99	A.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Σύσταση Καμένης Έκτασης	Άγωνα	Φρύγανα ή Χορτολιβάδα	Αείφυλλα/ Σκληρόφυλλα	Καρποφόρα Δέντρα/ Καλλιέργειες	Μικτό Δάσος ή Δάσος Φυλλοβόλων/ Πλατυφύλλων	Δάσος Κωνοφόρων	
			ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Κάλυψη (0-100%)- Άθροισμα 100%		0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	
			ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Τύπος Μικτού Δάσους ή Δάσους Φυλλοβόλων	Δεν Ισχύει		Πουρνάρι (Δέντρο) ή Δρυς ή Αριά ή Αγριελιά	Μικτά ή Αμιγή Δάση Φυλλοβόλων	Οξιά ή Ψυχρόβια Φυλλοβόλα	Μικτό Δάσος Κωνοφόρων και Φυλλοβόλων	
			ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Τύπος Δάσους Κωνοφόρων	Δεν Ισχύει		Τραχεία ή Χαλέπιος Πεύκη	Αρκευθος ή Κυπαρίσσια	Μαύρη Πεύκη ή Κουκουναριά	Ελάτη ή Ρόμπολο ή Δασική Πεύκη ή Μίξη Ελάτης-Πεύκης	
0,27	5,82	A.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Προστατευόμενη Περιοχή	Όχι		Παρόχθιο ή Παράκτιο Δάσος ή Προστατευτικό Δάσος	Αισθητικό Δάσος/ Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης	Εθνικός Δρυμός ή Εθνικό Πάρκο	Παρθένο Δάσος	
			ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Ανάλογα Καύσης Προστατευόμενων Περιοχών/ Άλλων Περιοχών Εντός Πυρικής Περιμέτρου		<10%	11-20%	21-30%	31-40%	41-50%	>50%
0,08	1,64	A.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Επιρροή Εκπεμπόμενων αερίων	Μακριά από Οικισμούς	Κοντά σε Μικρούς Οικισμούς (<5.000 Κάτοικοι) ή Μικρούς Τουριστικούς Οικισμούς/ Εγκαταστάσεις	Μείωση Ορατότητας Εντός Μεσαίων Οικισμών (<20.000 Κάτοικοι) ή Μεσαίων Τουριστικών Οικισμών/ Εγκαταστάσεων	Μείωση Ορατότητας Εντός Μεγάλων Πόλεων (>20.000 Κάτοικοι) ή Μεγάλων Τουριστικών Οικισμών/ Εγκαταστάσεων	Αποπνικτική Ατμόσφαιρα Εντός Μεσαίων Οικισμών (<20.000 Κάτοικοι) ή Μεσαίων Τουριστικών Οικισμών/ Εγκαταστάσεων	Αποπνικτική Ατμόσφαιρα Εντός Μεγάλων Πόλεων (>20.000 Κάτοικοι)	
0,05	0,92	A.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Πιθανότητες Διάβρωσης/ Απώλειας Εδαφών	Καθόλου	Λίγες	Μέτριες	Πολλές			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Ποσοστό Περιοχής (0-100%)-Άθροισμα 100%	0-100%				
		ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΣ	Καμένη Έκταση (στρ.)	<100	100-1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-70.000

Π.11: Απώλειες και Τραυματισμοί

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστική					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,41	12,97	E.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Πολίτες	0			1	<5	5-10	>10
0,31	9,72	E.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Μάχημοι	0			1	2-3	4-5	>5
0,04	1,16	E.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Τραυματίες	0	1	>5	<10	10-20	20-30	>30
0,06	1,88	E.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Πυροσβεστικά Οχήματα	0		1	2	3	4-5	>5
0,19	6,02	E.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Εναέρια Μέσα	0				1	2	>2

Π.12: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστική					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,036	0,39	B.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απώλειες Εντόμων και Σπονδυλωτών	Όχι		Λίγες		Μέτριες		Υψηλές
0,125	1,36	B.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απώλειες Μικρόσωμων Θηλαστικών/ Ερπετών	Όχι		Λίγες		Μέτριες		Υψηλές
0,034	0,37	B.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απώλειες Ψαριών	Όχι		Λίγες		Μέτριες		Υψηλές
0,195	2,12	B.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απώλειες Πτηνών	Όχι		Λίγες		Μέτριες		Υψηλές
0,248	2,52	B.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απώλειες Μεγάλων θηλαστικών	Όχι		Λίγες		Μέτριες		Υψηλές
0,233	0,80	B.6	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απώλειες Σημαντικών/ Σπάνιων Πληθυσμών Χλωρίδας	Καθόλου-Δεν Υπήρχαν Σπάνια/ Σημαντικά Είδη		Διαχειρίσιμη-Μικρές Απώλειες με Δυνατότητες Ανάκαμψης		Εκτεταμένη-Αλλοίωση Συνθηκών Ενδιατήματος και Σημαντική Πίεση στους Πληθυσμούς		Έντονη-Πιθανή Εξαφάνιση Ειδών
0,073	0,80	B.7	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης (Χλωρίδας)	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
0,054	0,59	B.8	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης (Πανίδας)	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
			ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΣ	Προστατευόμενη Περιοχή			Όχι	Καταφύγια Άγριας Ζωής/ Ελεγχόμενες Κινητικές Περιοχές-Περιοχή Natura 2000	Περιοχές Προστασίας της Φύσης	Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης	Βιογενετικά Αποθέματα/ Αποθέματα Βιόσφαιρας
			ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΗ	Ποσοστό Περιοχής		<10%	11-20%	21-30%	31-40%	41-50%	>50%

Π.13: Δυνατότητες Αναγέννησης - Επανάκαμψη της βλάστησης

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστική					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,18	1,87	Γ.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Ηλικία Δάσους (Κωνοφόρα)	Δεν Ισχύει	60-100	20-60		>100	15-20	<15
0,08	0,83	Γ.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Ηλικία Δάσους (Πρεμνοβλάστηση)	Δεν Ισχύει		20-60	15-20	10-15	60-80	>80 ή < 10
0,08	0,83	Γ.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Κλίσεις (°)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-45	>45
			ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Έκταση (0-100%)-Άθροισμα 100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
0,25	2,59	Γ.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Πρόσφατη Πυρική Δραστηριότητα	>100 έτη		>50 έτη		>30 έτη	>20 έτη	< 10 έτη
0,16	1,66	Γ.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Ακαυτοί Θύλακες	Πολλοί (σε Διασπορά)		Πολλοί (Συγκεντρωμένοι)	Λίγοι (σε Διασπορά)	Λίγοι (Συγκεντρωμένοι)		Καθόλου
0,12	1,24	Γ.6	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Απειλή από Βόσκηση	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
0,04	0,41	Γ.7	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Ιστορικό Καταπατήσεων/ Παράνομων Δραστηριοτήτων	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
0,02	0,21	Γ.8	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αστική/ Τουριστική Πίεση	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
0,02	0,21	Γ.9	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Φαινόμενο Μετάκαυσης	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
0,03	0,31	Γ.10	ΔΕΙΚΤΗΣ	Απειλή από Έντομα/ Παθογένειες	Καθόλου		Κατά τόπους		Εκτεταμένη		Έντονη
0,02	0,21	Γ.11	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Τύπος Εδάφους	Μεγάλο Βάθος, Μικρή Περιεκτικότητα Πετρών		Μεγάλο Βάθος, Μέτρια Περιεκτικότητα Πετρών	Μετρίου Βάθους, Μικρή Περιεκτικότητα Πετρών	Μετρίου Βάθους, Μέτρια Περιεκτικότητα Πετρών	Ρηχά, Πολλές Μέτριες Πέτρες	Ελάχιστο Βάθος Χώματος, Πολλές Μεγάλες Πέτρες
			ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	Έκταση (0-100%)-Άθροισμα 100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
			ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΣ	Μέσος όρος των τριών απαντήσεων							
Καμένο (Μαυρισμένο-Απανθρακωμένο)					Καθόλου		5-20%		60%	>85%	100% και Απόλειες Κλαδιών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Καυγαλισμένο (Λαμπαδιάσμα)		Καθόλου	5-20%		40-80%	<40 ή >80%	Καθόλου Λόγω Λαμπαδιάσματος
Άκαντο (Αναλλοίωτο)		100%	80%		40%	<10%	Καθόλου

Π.14: Καταστολή πυρκαγιάς – Επιχειρησιακά Κόστη

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστική					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,34	1,52	Δ.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Τύπος Πυρκαγιάς			Έρπουσα		Παθητική κόμησ/ Λαμπαδιάσμα		Ενεργή Κόμησ
0,03	0,11	Δ.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αναζωπυρώσεις	Όχι				Λίγες		Συνεχείς
0,03	0,15	Δ.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αριθμός Ατόμων/ Προσωπικού		<10	10-24	25-39	40-54	55-69	>70
0,05	0,22	Δ.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αριθμός Επίγειων Μέσων		1-4	5-9	10-14	15-19	20-24	>25
0,14	0,64	Δ.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αριθμός Εναέριων Μέσων	0			<=2	3-5	6-10	>10
0,08	0,34	Δ.6	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Συνδρομή Ενισχύσεων από Άλλες Χώρες	Όχι		Πεζοπόρα		Οχήματα		Αεροσκάφη
0,21	0,92	Δ.7	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Κήρυξη Περιοχής σε Κατάσταση Εκτάκτου Ανάγκης	Όχι						Ναι
0,12	0,51	Δ.8	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Εκκένωση οικισμών	Όχι		<2 Οικισμοί		2 Μέχρι 5 Οικισμοί		>5 Οικισμοί
			ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΣ	Διάρκεια Πυρκαγιάς		0-3 h	3-15 h	<24 h	48 h	72 h	> 72h

Π.15: Καταστροφές

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστή					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,09	1,14	ΣΤ.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Καμένες Οικίες	0	1	3	5		<10	>10
0,03	0,37	ΣΤ.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Καμένοι Στάβλοι, Αποθήκες, Βοηθητικοί Χώροι	0	1	3	5	<10	<20	>20
0,28	3,83	ΣΤ.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Σημαντικά Μνημεία	Όχι				Νεότερα Μνημεία (<200 έτη)	Ιστορικά Μνημεία (>200 έτη)	Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς
0,05	0,64	ΣΤ.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Κινητή Περιουσία (Οχήματα/ Μηχανήματα)	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<15.000 €)	Μικρό (<30.000 €)		Μέτριο (<100.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>200.000 €)
0,05	0,64	ΣΤ.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Δίκτυο ΔΕΗ	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<15.000 €)	Μικρό (<30.000 €)		Μέτριο (<100.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>200.000 €)
0,05	0,68	ΣΤ.6	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<15.000 €)	Μικρό (<30.000 €)		Μέτριο (<100.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>200.000 €)
0,05	0,64	ΣΤ.7	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Δίκτυο υδροδότησης	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<15.000 €)	Μικρό (<30.000 €)		Μέτριο (<100.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>200.000 €)
0,05	0,64	ΣΤ.8	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Οδικό δίκτυο	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<15.000 €)	Μικρό (<30.000 €)		Μέτριο (<100.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>200.000 €)
0,18	2,46	ΣΤ.9	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Καταστροφή Στρατιωτικού Υλικού/ Πυρομαχικών και Εγκαταστάσεων	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<50.000 €)	Μικρό (<100.000 €)		Μέτριο (<200.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>300.000 €)
0,13	1,72	ΣΤ.10	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Εργοστάσια, Υποδομές ΑΠΕ και Αποθήκες Βιομηχανικών Προϊόντων	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<50.000 €)	Μικρό (<100.000 €)		Μέτριο (<200.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>300.000 €)
0,05	0,64	ΣΤ.11	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αγροτικές/ Κτηνοτροφικές Εγκαταστάσεις	Όχι	Ελάχιστο κόστος (<50.000 €)	Μικρό (<100.000 €)		Μέτριο (<200.000 €)		Σημαντικές ζημιές υψηλού κόστους (>300.000 €)

Π.16: Οικονομικές Επιπτώσεις (έξοδα αποκατάστασης και τις απώλειες του οικονομικού κύκλου)

Βάρος	Συνολικό Βάρος (%)	ID	Τύπος	Δείκτης Επιπτώσεων	Καθόλου		Χαμηλές		Μέτριες		Υψηλές
Βαθμολογία Πολλαπλασιαστική					0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Βαθμολογία Κριτηρίου					0	10	20	40	60	80	100
0,04	0,29	Z.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Ξύλευση	Όχι	Ελάχιστο Κόστος	Μικρό Κόστος		Μερική Καταστροφή	Υψηλό Κόστος	Ολοσχερής Καταστροφή
0,06	0,47	Z.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Μη Ξυλώδη Προϊόντα του Δάσους/ Φύσης	Όχι	Ελάχιστο Κόστος	Μικρό Κόστος		Μερική Καταστροφή	Υψηλό Κόστος	Ολοσχερής Καταστροφή
0,10	0,80	Z.3	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Αγροτική Παραγωγή	Όχι	Ελάχιστο Κόστος	Μικρό Κόστος		Μερική Καταστροφή	Υψηλό Κόστος	Ολοσχερής Καταστροφή
0,06	0,47	Z.4	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Κτηνοτροφική Παραγωγή	Όχι	Ελάχιστο Κόστος	Μικρό Κόστος		Μερική Καταστροφή	Υψηλό Κόστος	Ολοσχερής Καταστροφή
0,25	1,96	Z.5	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής- Ηλεκτρικής Παραγωγής, Υποδομών και Δημόσιας Περιουσίας	Όχι	Ελάχιστο Κόστος	Μικρό Κόστος		Μέτριο Κόστος		Υψηλό Κόστος
0,25	1,96	Z.6	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Καταβολή Αποζημιώσεων Κατοικιών και Κτηρίων	Όχι	Ελάχιστο κόστος	Μικρό κόστος		Μέτριο κόστος		Υψηλό κόστος
0,16	1,26	Z.7	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Επιρροή Πυρκαγιάς στον Τουρισμό/ Αναψυχή	Μη Τουριστική Περιοχή		Περιοχή με Υποδομές για Παράλιο Τουρισμό		Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους Κοντά σε Έντονα Τουριστικά Ανεπτυγμένες Περιοχές		Δασική Περιοχή που Χρησιμοποιούνταν για Τουριστικούς Σκοπούς/ Αναψυχή
0,06	0,47	Z.8	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	Λήψη Μεταπτυρικών Μέτρων Αποκατάστασης του Πεδίου	Όχι		Μικρής Κλίμακας Αναδασώσεις ή Αντιδιαβρωτικά-Αντιπλημμυρικά Έργα		Μέτριας Κλίμακας Αναδασώσεις ή Αντιδιαβρωτικά-Αντιπλημμυρικά Έργα		Μεγάλης Κλίμακας Αναδασώσεις ή Αντιδιαβρωτικά-Αντιπλημμυρικά Έργα
			ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΣ	Καμένη Έκταση (στρ.)		<100	100-1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-70.000	>70.000

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΗΡ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ**

Π.17: Επιπτώσεις σε Δάση και Δασικές Εκτάσεις

1	2	3	4	5
Σύσταση Καμένης Έκτασης	Προστατευόμενη Περιοχή	Τύπος Δασικού Οικοσυστήματος	Επιρροή Εκπεμπόμενων Αερίων	Πιθανότητες Διάβρωσης

	Σύσταση Καμένης Έκτασης	Προστατευόμενη Περιοχή	Τύπος Δασικού Οικοσυστήματος	Επιρροή Εκπεμπόμενων Αερίων	Πιθανότητες Διάβρωσης
Σύσταση Καμένης Έκτασης	1,00	2,00	5,00	6,00	7,00
Προστατευόμενη Περιοχή	0,50	1,00	2,00	5,00	6,00
Τύπος Δασικού Οικοσυστήματος	0,20	0,50	1,00	3,00	4,00
Επιρροή Εκπεμπόμενων Αερίων	0,17	0,20	0,33	1,00	3
Πιθανότητες Διάβρωσης	0,14	0,17	0,25	0,33	1,00
SUM	2,0	3,9	8,6	15,3	21,0
N = 5		RI = 1,12			

					sum	Priority vector
0,4976	0,5172	0,5825	0,3913	0,3333	2,3220	0,464406733
0,2488	0,2586	0,2330	0,3261	0,2857	1,3522	0,270449361
0,0995	0,1293	0,1165	0,1957	0,1905	0,7315	0,146293926
0,0829	0,0517	0,0388	0,0652	0,1429	0,3816	0,076314402
0,0711	0,0431	0,0291	0,0217	0,0476	0,2127	0,042535577

Consistency index					Weighted sum vector	Consistency vector
0,4644	0,5409	0,7315	0,4579	0,2977	2,4924	5,3669
0,2322	0,2704	0,2926	0,3816	0,2552	1,4320	5,2950
0,0929	0,1352	0,1463	0,2289	0,1701	0,7735	5,2872
0,0774	0,0541	0,0488	0,0763	0,1276	0,3842	5,0341
0,0663	0,0451	0,0366	0,0254	0,0425	0,2160	5,0773
CI = 0,0530					CR = 0.0473	λ_{max} = 5,2120

Π.18: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

1	2	3	4	5	6	7	8	
Απώλειες Σημαντικών/Σπάνιων Πληθυσμών Χλωρίδας	Απώλειες Μεγάλων Θηλαστικών	Απώλειες Πτηνών	Απώλειες Μικρόσωμων Θηλαστικών/ Ερπετών	Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης (Χλωρίδας)	Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης (Πανίδας)	Απώλειες Εντόμων και Σπονδυλωτών	Απώλειες Ψαριών	
Απώλειες Σημαντικών/Σπάνιων Πληθυσμών Χλωρίδας	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	4,00	5,00	6,00
Απώλειες Μεγάλων Θηλαστικών	1,00	1,00	2,00	3,00	5,00	4,00	5,00	5,00
Απώλειες Πτηνών	0,50	0,50	1,00	3,00	5,00	4,00	5,00	5,00
Απώλειες Μικρόσωμων Θηλαστικών/ Ερπετών	0,33	0,33	0,33	1,00	4,00	3,00	4,00	4,00
Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης (Χλωρίδας)	0,50	0,20	0,20	0,25	1,00	2,00	2,00	3,00
Απειλή για Εισαγωγή Ξένων Ειδών/ Αλλαγή Σύστασης (Πανίδας)	0,25	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00
Απώλειες Εντόμων και Σπονδυλωτών	0,20	0,20	0,20	0,25	0,50	0,50	1,00	1,00
Απώλειες Ψαριών	0,17	0,20	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00
SUM	4,0	3,7	6,2	11,1	18,3	19,0	25,0	27,0
N = 8					RI = 1.41			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

								sum	Priority vector
0,253164557	0,27149321	0,323450135	0,270676692	0,109090909	0,210526316	0,2	0,222222222	1,860624043	0,233
0,253164557	0,27149321	0,323450135	0,270676692	0,272727273	0,210526316	0,2	0,185185185	1,98722337	0,248
0,126582278	0,13574661	0,161725067	0,270676692	0,272727273	0,210526316	0,2	0,185185185	1,563169418	0,195
0,084388186	0,09049774	0,053908356	0,090225564	0,218181818	0,157894737	0,16	0,148148148	1,003244546	0,125
0,126582278	0,05429864	0,032345013	0,022556391	0,054545455	0,105263158	0,08	0,111111111	0,586702049	0,073
0,063291139	0,0678733	0,040431267	0,030075188	0,027272727	0,052631579	0,08	0,074074074	0,435649278	0,054
0,050632911	0,05429864	0,032345013	0,022556391	0,027272727	0,026315789	0,04	0,037037037	0,290458512	0,036
0,042194093	0,05429864	0,032345013	0,022556391	0,018181818	0,026315789	0,04	0,037037037	0,272928785	0,034

Consistency index								Weighted sum vector	Consistency vector
0,232578005	0,248402921	0,390792354	0,376216705	0,146675512	0,217824639	0,18153657	0,204696588	1,998723295	8,593776062
0,232578005	0,248402921	0,390792354	0,376216705	0,366688781	0,217824639	0,18153657	0,17058049	2,184620466	8,794664953
0,116289003	0,124201461	0,195396177	0,376216705	0,366688781	0,217824639	0,18153657	0,17058049	1,748733825	8,949682896
0,077526002	0,082800974	0,065132059	0,125405568	0,293351025	0,163368479	0,145229256	0,136464392	1,089277755	8,686039782
0,116289003	0,049680584	0,039079235	0,031351392	0,073337756	0,108912319	0,072614628	0,102348294	0,593613212	8,094237451
0,058144501	0,06210073	0,048849044	0,041801856	0,036668878	0,05445616	0,072614628	0,068232196	0,442867994	8,132560145
0,046515601	0,049680584	0,039079235	0,031351392	0,036668878	0,02722808	0,036307314	0,034116098	0,300947183	8,288885888
0,038763001	0,049680584	0,039079235	0,031351392	0,024445919	0,02722808	0,036307314	0,034116098	0,280971623	8,235749081
CI = 0,0674								CR = 0,0478	$\lambda_{max} = 8,4719$

Π.19: Δυνατότητες Αναγέννησης - Επανάκαμψη της βλάστησης

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Πρόσφατη Πυρική Δραστηριότητα	Ηλικία Δάσους (Κωνοφόρα)	Άκαυτοι Θύλακες	Απειλή από Βόσκηση	Κλίσεις (°)	Ηλικία Δάσους (Πρεμνοβλάστηση)	Ιστορικό Καταπατήσεων/ Παράνομων Δραστηριοτήτων	Απειλή από Έντομα/ Παθογένειες	Φαινόμενο Μετάκαυσης	Αστική/ Τουριστική Πίεση	Τύπος Εδάφους	
Πρόσφατη Πυρική Δραστηριότητα	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00	3,00	7,00	7,00	8,00	9,00	9,00
Ηλικία Δάσους (Κωνοφόρα)	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	2,00	7,00	6,00	7,00	8,00	8,00
Άκαυτοι Θύλακες	0,33	0,50	1,00	5,00	3,00	3,00	6,00	5,00	6,00	8,00	8,00
Απειλή από Βόσκηση	0,25	0,33	0,50	1,00	5,00	2,00	6,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Κλίσεις (°)	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00
Ηλικία Δάσους (Πρεμνοβλάστηση)	0,33	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	4,00	3,00	3,00	5,00	5,00
Ιστορικό Καταπατήσεων/ Παράνομων Δραστηριοτήτων	0,14	0,14	0,17	0,17	0,25	0,25	1,00	3,00	2,00	5,00	5,00
Απειλή από Έντομα/ Παθογένειες	0,14	0,17	0,20	0,20	0,25	0,33	0,33	1,00	2,00	2,00	2,00
Φαινόμενο Μετάκαυσης	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00
Αστική/ Τουριστική Πίεση	0,11	0,13	0,13	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00
Τύπος Εδάφους	0,11	0,13	0,13	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,50	1,00
SUM	3,30	5,29	7,95	14,97	18,65	14,32	36,53	35,50	39,00	50,50	52,00
N = 11							RI = 1.51				

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

											sum	Priority vector
0.3030667	0.37837838	0.377358491	0.267260579	0.214477212	0.209545984	0.191605839	0.197183099	0.205128205	0.178218	0.173076923	2.695299278	0.25
0.1515334	0.18918919	0.251572327	0.200445434	0.214477212	0.139697322	0.191605839	0.169014085	0.179487179	0.158416	0.153846154	1.999283957	0.18
0.1010222	0.09459459	0.125786164	0.334075724	0.160857909	0.209545984	0.164233577	0.14084507	0.153846154	0.158416	0.153846154	1.79706942	0.16
0.0757667	0.06306306	0.062893082	0.066815145	0.268096515	0.139697322	0.164233577	0.14084507	0.128205128	0.09901	0.096153846	1.304779336	0.12
0.0757667	0.0472973	0.041928721	0.033407572	0.053619303	0.139697322	0.109489051	0.112676056	0.102564103	0.09901	0.096153846	0.91160986	0.08
0.1010222	0.09459459	0.041928721	0.033407572	0.026809651	0.069848661	0.109489051	0.084507042	0.076923077	0.09901	0.096153846	0.833694367	0.08
0.0432952	0.02702703	0.020964361	0.011135857	0.013404826	0.017462165	0.027372263	0.084507042	0.051282051	0.09901	0.096153846	0.491614589	0.04
0.0432952	0.03153153	0.025157233	0.013363029	0.013404826	0.023282887	0.009124088	0.028169014	0.051282051	0.039604	0.038461538	0.316675407	0.03
0.0378833	0.02702703	0.020964361	0.013363029	0.013404826	0.023282887	0.013686131	0.014084507	0.025641026	0.039604	0.038461538	0.267402636	0.02
0.0336741	0.02364865	0.01572327	0.013363029	0.010723861	0.013969732	0.013686131	0.014084507	0.012820513	0.019802	0.038461538	0.209957294	0.02
0.0336741	0.02364865	0.01572327	0.013363029	0.010723861	0.013969732	0.005474453	0.014084507	0.012820513	0.009901	0.019230769	0.172613856	0.02

Consistency index											Weighted sum vector	Consistency vector
0.245027207	0.363506174	0.490109842	0.474465	0.331494495	0.227371191	0.312845648	0.201520714	0.194475	0.171783	0.141229518	3.153827886	12.87134
0.122513604	0.181753087	0.326739895	0.355849	0.331494495	0.151580794	0.312845648	0.17273204	0.170165	0.152696	0.12553735	2.403907348	13.22623
0.081675736	0.090876544	0.163369947	0.593082	0.248620871	0.227371191	0.268153412	0.143943367	0.145856	0.152696	0.12553735	2.24118213	13.71845
0.061256802	0.060584362	0.081684974	0.118616	0.414368118	0.151580794	0.268153412	0.143943367	0.121547	0.095435	0.078460843	1.595630762	13.45204
0.061256802	0.045438272	0.054456649	0.059308	0.082873624	0.151580794	0.178768941	0.115154694	0.097237	0.095435	0.078460843	1.019971226	12.30755
0.081675736	0.090876544	0.054456649	0.059308	0.041436812	0.075790397	0.178768941	0.08636602	0.072928	0.095435	0.078460843	0.915503219	12.07941
0.035003887	0.025964727	0.027228325	0.019769	0.020718406	0.018947599	0.044692235	0.08636602	0.048619	0.095435	0.078460843	0.501205221	11.21459
0.035003887	0.030292181	0.032673989	0.023723	0.020718406	0.025263466	0.014897412	0.028788673	0.048619	0.038174	0.031384337	0.329538327	11.4468
0.030628401	0.025964727	0.027228325	0.023723	0.020718406	0.025263466	0.022346118	0.014394337	0.024309	0.038174	0.031384337	0.28413476	11.6883
0.027225245	0.022719136	0.020421243	0.023723	0.016574725	0.015158079	0.022346118	0.014394337	0.012155	0.019087	0.031384337	0.225188173	11.79797
0.027225245	0.022719136	0.020421243	0.023723	0.016574725	0.015158079	0.008938447	0.014394337	0.012155	0.009544	0.015692169	0.18654482	11.88777
CI = 0,1335											CR = 0,0884	λ_{max} = 12,3354

Π.20: Επιπτώσεις Καταστολής/ Πυρόσβεσης

1	2	3	4	5	6	7	8	
Τύπος Πυρκαγιάς	Αριθμός Εναέριων Μέσων	Αριθμός Επίγειων Μέσων	Αριθμός Ατόμων/ Προσωπικού	Αναζωπυρώσεις	Συνδρομή Μέσων από Άλλες Χώρες	Εκκένωση Οικισμών	Κήρυξη Περιοχής σε Κατάσταση Εκτάκτου Ανάγκης	
Τύπος Πυρκαγιάς	1,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	6,00
Αριθμός Εναέριων Μέσων	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Αριθμός Επίγειων Μέσων	0,33	0,50	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Αριθμός Ατόμων/ Προσωπικού	0,33	0,33	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Αναζωπυρώσεις	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
Συνδρομή Μέσων από Άλλες Χώρες	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
Εκκένωση Οικισμών	0,20	0,20	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00
Κήρυξη Περιοχής σε Κατάσταση Εκτάκτου Ανάγκης	0,17	0,17	0,20	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00
SUM	3,0	4,8	8,3	9,3	13,1	17,8	24,5	32,0
N = 8					RI = 1.41			

								sum	Priority vector
0,3297	0,4181	0,3622	0,3232	0,3057	0,2243	0,2041	0,1875	2,3547	0,2943
0,1648	0,2091	0,2414	0,3232	0,2293	0,2243	0,2041	0,1875	1,7837	0,2230
0,1099	0,1045	0,1207	0,1077	0,1529	0,1682	0,1633	0,1563	1,0835	0,1354
0,1099	0,0697	0,1207	0,1077	0,1529	0,1682	0,1633	0,1563	1,0486	0,1311
0,0824	0,0697	0,0604	0,0539	0,0764	0,1121	0,1224	0,1250	0,7024	0,0878
0,0824	0,0523	0,0402	0,0359	0,0382	0,0561	0,0816	0,0938	0,4805	0,0601
0,0659	0,0418	0,0302	0,0269	0,0255	0,0280	0,0408	0,0625	0,3217	0,0402
0,0549	0,0348	0,0241	0,0215	0,0191	0,0187	0,0204	0,0313	0,2249	0,0281

Consistency index								Weighted sum vector	Consistency vector
0,2943	1,1148	0,4063	0,3932	0,4390	0,3604	0,2413	0,1968	3,4461	11,7079
0,0589	0,2230	0,4063	0,2622	0,3512	0,3003	0,2413	0,1687	2,0117	9,0229
0,0981	0,0743	0,1354	0,2622	0,1756	0,2403	0,2011	0,1406	1,3275	9,8019
0,0981	0,1115	0,0677	0,1311	0,1756	0,1802	0,1608	0,1406	1,0656	8,1295
0,0589	0,0557	0,0677	0,0655	0,0878	0,1201	0,1206	0,1125	0,6889	7,8466
0,0491	0,0446	0,0339	0,0437	0,0439	0,0601	0,0804	0,0844	0,4399	7,3245
0,0491	0,0372	0,0271	0,0328	0,0293	0,0300	0,0402	0,0562	0,3018	7,5058
0,0420	0,0372	0,0271	0,0262	0,0219	0,0200	0,0201	0,0281	0,2227	7,9206
CI = 0,0939								CR = 0,0666	λ_{max} = 8,6574

Π.21: Απώλειες

1	2	3	4	5
Πολίτες	Μάχιμοι	Αεροσκάφη	Οχήματα	Τραυματίες

	Πολίτες	Μάχιμοι	Αεροσκάφη	Οχήματα	Τραυματίες
Πολίτες	1,00	2,00	3,00	7,00	7,00
Μάχιμοι	0,50	1,00	3,00	7,00	7,00
Αεροσκάφη	0,33	0,33	1,00	6,00	7,00
Οχήματα	0,14	0,14	0,17	1,00	3,00
Τραυματίες	0,14	0,14	0,14	0,33	1,00
SUM	2,1	3,6	7,3	21,3	25,0
N = 5			RI = 1,12		

					sum	Priority vector
0,471910112	0,552631579	0,410423453	0,328125	0,28	2,043090144	0,41
0,235955056	0,276315789	0,410423453	0,328125	0,28	1,530819298	0,31
0,157303371	0,092105263	0,136807818	0,28125	0,28	0,947466452	0,19
0,06741573	0,039473684	0,022801303	0,046875	0,12	0,296565717	0,06
0,06741573	0,039473684	0,019543974	0,015625	0,04	0,182058388	0,04

Consistency index					Weighted sum vector	Consistency vector
0,408618029	0,612327719	0,568479871	0,415192004	0,254881744	2,259499367	5,529612519
0,204309014	0,30616386	0,568479871	0,415192004	0,254881744	1,749026493	5,712713758
0,13620601	0,10205462	0,18949329	0,355878861	0,254881744	1,038514525	5,480481778
0,058374004	0,043737694	0,031582215	0,059313143	0,109235033	0,30224209	5,095701765
0,058374004	0,043737694	0,02707047	0,019771048	0,036411678	0,185364894	5,090808929
CI = 0,0954					CR = 0,0852	λ_{max} = 5,3818

Π.22: Καταστροφές

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Σημαντικά Μνημεία	Καταστροφή Στρατιωτικού Υλικού/ Πυρομαχικών και Εγκαταστάσεων	Εργοστάσια, Υποδομές ΑΠΕ και Αποθήκες Βιομηχανικών Προϊόντων	Καμένες Οικίες	Δίκτυο ΔΕΗ	Οδικό Δίκτυο	Αγροτικές/ Κτηνοτροφικές Εγκαταστάσεις	Κινητή Περιουσία (Οχήματα/ Μηχανήματα)	Δίκτυο Υδροδότησης	Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο	Καμένοι Στάβλοι, Αποθήκες, Βοηθητικοί Χώροι

	Σημαντικά Μνημεία	Καταστροφή Στρατιωτικού Υλικού/ Πυρομαχικών και Εγκαταστάσεων	Εργοστάσια, Υποδομές ΑΠΕ και Αποθήκες Βιομηχανικών Προϊόντων	Καμένες Οικίες	Δίκτυο ΔΕΗ	Οδικό Δίκτυο	Αγροτικές/ Κτηνοτροφικές Εγκαταστάσεις	Κινητή Περιουσία (Οχήματα/ Μηχανήματα)	Δίκτυο Υδροδότησης	Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο	Καμένοι Στάβλοι, Αποθήκες, Βοηθητικοί Χώροι
Σημαντικά Μνημεία	1,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00
Καταστροφή Στρατιωτικού Υλικού/ Πυρομαχικών και Εγκαταστάσεων	0,33	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00
Εργοστάσια, Υποδομές ΑΠΕ και Αποθήκες Βιομηχανικών Προϊόντων	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
Καμένες Οικίες	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00
Δίκτυο ΔΕΗ	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Οδικό Δίκτυο	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Αγροτικές/ Κτηνοτροφικές Εγκαταστάσεις	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Κινητή Περιουσία (Οχήματα/ Μηχανήματα)	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Δίκτυο Υδροδότησης	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00
Καμένοι Στάβλοι, Αποθήκες, Βοηθητικοί Χώροι	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	1,00
SUM	3,2	6,5	9,8	13,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,3	32,0
N = 11								RI = 1.51			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

											sum	Priority vector
0,3125	0,4592	0,4103	0,3000	0,2439	0,2439	0,2439	0,2439	0,2439	0,2459	0,1875	3,135	0,284987
0,1042	0,1531	0,2051	0,2250	0,1951	0,1951	0,1951	0,1951	0,1951	0,1967	0,1563	2,016	0,183267
0,0781	0,0765	0,1026	0,1500	0,1463	0,1463	0,1463	0,1463	0,1463	0,1475	0,1250	1,411	0,128315
0,0781	0,0510	0,0513	0,0750	0,0976	0,0976	0,0976	0,0976	0,0976	0,0984	0,0938	0,935	0,085031
0,0625	0,0383	0,0342	0,0375	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0492	0,0625	0,528	0,048003
0,0625	0,0383	0,0342	0,0375	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0492	0,0625	0,528	0,048003
0,0625	0,0383	0,0342	0,0375	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0492	0,0625	0,528	0,048003
0,0625	0,0383	0,0342	0,0375	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0492	0,0625	0,528	0,048003
0,0625	0,0383	0,0342	0,0375	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0492	0,0625	0,528	0,048003
0,0625	0,0383	0,0342	0,0375	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0488	0,0492	0,0938	0,559	0,050844
0,0521	0,0306	0,0256	0,0250	0,0244	0,0244	0,0244	0,0244	0,0244	0,0164	0,0313	0,303	0,027539

Consistency index											Weighted sum vector	Consistency vector
0,285	0,550	0,513	0,340	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,254	0,165	3,308	11,607
0,095	0,183	0,257	0,255	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,203	0,138	2,091	11,410
0,071	0,092	0,128	0,170	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,153	0,110	1,444	11,254
0,071	0,061	0,064	0,085	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,102	0,083	0,946	11,124
0,057	0,046	0,043	0,043	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,051	0,055	0,534	11,125
0,057	0,046	0,043	0,043	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,051	0,055	0,534	11,125
0,057	0,046	0,043	0,043	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,051	0,055	0,534	11,125
0,057	0,046	0,043	0,043	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,051	0,055	0,534	11,125
0,057	0,046	0,043	0,043	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,051	0,055	0,534	11,125
0,057	0,046	0,043	0,043	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,051	0,083	0,562	11,045
0,047	0,037	0,032	0,028	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,017	0,028	0,309	11,223
CI = 0,020794908											CR = 0,013771463	λmax = 11,20794908

Π.23: Οικονομικές Επιπτώσεις

1	2	3	4	5	6	7	8	
Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής-Ηλεκτρικής Παραγωγής, Υποδομών και Δημόσιας Περιουσίας	Καταβολή Αποζημιώσεων Κατοικιών και Κτηρίων	Επιρροή Πυρκαγιάς στον Τουρισμό/ Αναψυχή	Αγροτική Παραγωγή	Λήψη Μεταπτυρικών Μέτρων Αποκατάστασης του Πεδίου	Κτηνοτροφική Παραγωγή	Μη Ξυλώδη Προϊόντα του Δάσους/ Φύσης	Ξύλευση	
Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής-Ηλεκτρικής Παραγωγής, Υποδομών και Δημόσιας Περιουσίας	Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής-Ηλεκτρικής Παραγωγής, Υποδομών και Δημόσιας Περιουσίας	Καταβολή Αποζημιώσεων Κατοικιών και Κτηρίων	Επιρροή Πυρκαγιάς στον Τουρισμό/ Αναψυχή	Αγροτική Παραγωγή	Λήψη Μεταπτυρικών Μέτρων Αποκατάστασης του Πεδίου	Κτηνοτροφική Παραγωγή	Μη Ξυλώδη Προϊόντα του Δάσους/ Φύσης	Ξύλευση
Καταβολή Αποζημιώσεων και Χρηματοδότηση για την Αποκατάσταση της Βιομηχανικής-Ηλεκτρικής Παραγωγής, Υποδομών και Δημόσιας Περιουσίας	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00
Καταβολή Αποζημιώσεων Κατοικιών και Κτηρίων	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00
Επιρροή Πυρκαγιάς στον Τουρισμό/ Αναψυχή	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00
Αγροτική Παραγωγή	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00
Λήψη Μεταπτυρικών Μέτρων Αποκατάστασης του Πεδίου	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00
Κτηνοτροφική Παραγωγή	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00
Μη Ξυλώδη Προϊόντα του Δάσους/ Φύσης	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00
Ξύλευση	0,20	0,20	0,25	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00
SUM	3,8	3,8	6,8	10,8	16,5	16,5	16,5	24,0
N = 8					RI = 1.41			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

								sum	Priority vector
0,2643	0,2643	0,2963	0,2769	0,2424	0,2424	0,2424	0,2083	2,0375	0,25
0,2643	0,2643	0,2963	0,2769	0,2424	0,2424	0,2424	0,2083	2,0375	0,25
0,1322	0,1322	0,1481	0,1846	0,1818	0,1818	0,1818	0,1667	1,3092	0,16
0,0881	0,0881	0,0741	0,0923	0,1212	0,1212	0,1212	0,1250	0,8312	0,10
0,0661	0,0661	0,0494	0,0462	0,0606	0,0606	0,0606	0,0833	0,4928	0,06
0,0661	0,0661	0,0494	0,0462	0,0606	0,0606	0,0606	0,0833	0,4928	0,06
0,0661	0,0661	0,0494	0,0462	0,0606	0,0606	0,0606	0,0833	0,4928	0,06
0,0529	0,0529	0,0370	0,0308	0,0303	0,0303	0,0303	0,0417	0,3061	0,04

Consistency index								Weighted sum vector	Consistency vector
0,2547	0,2547	0,3273	0,3117	0,2464	0,2464	0,2464	0,1913	2,0790	8,1630
0,2547	0,2547	0,3273	0,3117	0,2464	0,2464	0,2464	0,1913	2,0790	8,1630
0,1273	0,1273	0,1637	0,2078	0,1848	0,1848	0,1848	0,1531	1,3336	8,1494
0,0849	0,0849	0,0818	0,1039	0,1232	0,1232	0,1232	0,1148	0,8399	8,0839
0,0637	0,0637	0,0546	0,0520	0,0616	0,0616	0,0616	0,0765	0,4952	8,0380
0,0637	0,0637	0,0546	0,0520	0,0616	0,0616	0,0616	0,0765	0,4952	8,0380
0,0637	0,0637	0,0546	0,0520	0,0616	0,0616	0,0616	0,0765	0,4952	8,0380
0,0509	0,0509	0,0409	0,0346	0,0308	0,0308	0,0308	0,0383	0,3081	8,0518
CI = 0,078640442								CR = 0,055773363	$\lambda_{max} = 8,550483094$

Π.24: Συνολική Βαθμολογία

1	2	3	4	5	6	7
Απώλειες	Επιπτώσεις στο Τοπίο και την Εδαφοκάλυψη	Καταστροφές	Δυνατότητες Αναγέννησης-Επανάκαμψη της βλάστησης	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Οικονομικές Επιπτώσεις	Καταστολή Πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη

	Απώλειες	Επιπτώσεις στο Τοπίο και την Εδαφοκάλυψη	Καταστροφές	Δυνατότητες Αναγέννησης-Επανάκαμψη της βλάστησης	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Οικονομικές Επιπτώσεις	Καταστολή Πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη
Απώλειες	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00	5,00
Επιπτώσεις σε Δάση και Δασικές Εκτάσεις	0,50	1,00	2,00	3,00	2,00	3,00	4,00
Καταστροφές	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	1,00	3,00
Δυνατότητες Αναγέννησης-Επανάκαμψη της βλάστησης	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	2,00	3,00
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	3,00
Οικονομικές Επιπτώσεις	0,25	0,33	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00
Καταστολή Πυρκαγιάς-Επιχειρησιακά Κόστη	0,20	0,25	1,00	0,33	0,33	0,50	1,00
SUM	3,0	4,9	9,0	10,8	9,8	13,5	21,0
N = 7					RI = 1,32		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

							sum	Priority vector
0,3390	0,4068	0,3333	0,2769	0,3051	0,2963	0,2381	2,1955	0,31
0,1695	0,2034	0,2222	0,2769	0,2034	0,2222	0,1905	1,4881	0,21
0,1130	0,1017	0,1111	0,1846	0,2034	0,0741	0,1429	0,9307	0,13
0,1130	0,0678	0,0556	0,0923	0,1017	0,1481	0,1429	0,7214	0,10
0,1130	0,1017	0,0556	0,0923	0,1017	0,1481	0,1429	0,7553	0,11
0,0847	0,0678	0,1111	0,0462	0,0508	0,0741	0,0952	0,5300	0,08
0,0678	0,0508	0,1111	0,0308	0,0339	0,0370	0,0476	0,3791	0,05

Consistency index							Weighted sum vector	Consistency vector
0,3175	0,4303	0,4027	0,3111	0,3256	0,3079	0,2200	2,3149	7,2923
0,1587	0,2151	0,2685	0,3111	0,2171	0,2309	0,1760	1,5774	7,3322
0,1058	0,1076	0,1342	0,2074	0,2171	0,0770	0,1320	0,9810	7,3083
0,1058	0,0717	0,0671	0,1037	0,1085	0,1540	0,1320	0,7428	7,1640
0,1058	0,1076	0,0671	0,1037	0,1085	0,1540	0,1320	0,7787	7,1747
0,0794	0,0717	0,1342	0,0518	0,0543	0,0770	0,0880	0,5564	7,2277
0,0635	0,0538	0,0447	0,0346	0,0362	0,0385	0,0440	0,3152	7,1653
CI = 0,039626484							CR = 0,030020064	$\lambda_{max} = 7,237758905$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ Π. Α. ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΥ

ΔΙΕΘΝΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ (SCIENCE CITATION INDEX)

- (1) **Palaiologou, P.**, Kalabokidis, K., Haralambopoulos, D., Feidas, H. and Polatidis, H., **2011**. Wind characteristics and mapping for power production in the Island of Lesbos, Greece. *Computers and Geosciences*, **37(7)**, 962-972.
- (2) **Palaiologou, P.**, Kalabokidis, K. and Kyriakidis, P., **2013**. Forest mapping by geoinformatics for landscape fire behaviour modelling in coastal forests, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, **34(12)**, 4466-4490.
- (3) Kalabokidis, K., Athanasis, N., Gagliardi, F., Karagiannis, F., **Palaiologou, P.**, Parastatidis, S., and Vasilakos, C **2013**. Virtual Fire: A web-based GIS platform for forest fire control. *Ecological Informatics*, **16**, 62-69.
- (4) Kalabokidis, K., Athanasis, N., Vasilakos, C., and **Palaiologou, P.**, 2013. Porting of a wildfire risk and fire spread application into a cloud computing environment. *International Journal of Geographical Information Science*, **28(3)**, 541-552.
- (5) Kalabokidis K., **Palaiologou P.**, Gerasopoulos E., Giannakopoulos C., Kostopoulou E. and C. Zerefos, **2015**. Effect of Climate Change Projections on Forest Fire Behavior and Values-at-Risk in Southwestern Greece. *Forests*, **6(6)**, 2214-2240.
- (6) Athanasis N., Karagiannis F., **Palaiologou P.**, Vasilakos C. and Kalabokidis K., 2015. AEGIS App: Wildfire Information Management for Windows Phone Devices. International Workshop on Mobile Information Systems (MSIS 2015), August 17-20, 2015, Belfort, France. *Procedia Computer Science* **56**, 544 – 549.

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- (1) Καλαμποκίδης, Κ., Τουλίκας, Β. και **Παλαιολόγου, Π.**, **2012**. Μελέτη και εκτίμηση επιπτώσεων και συμπεριφοράς της πυρκαγιάς Λευκίμμης Έβρου 2011. *Πυροσβεστική Επιθεώρηση*, **155**, 4-13.
- (2) Καλαμποκίδης, Κ., **Παλαιολόγου, Π.** και Τουλίκας, Β., **2013**. Η πυρκαγιά του Αγίου Όρους 2012. *Πυροσβεστική Επιθεώρηση*, **162**, 13-19.

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ

- (1) Kalabokidis, K., **Palaiologou, P.** and Kyriakidis, P., **2010**. Forest fire fuels mapping by geoinformatics for fire behavior modeling. In CD-ROM Proceedings 6th International Conference on Forest Fire Research, Viegas (ed.), 15-18 November 2010, Coimbra, Portugal. Published by ADAI Portugal. 8 p.
- (2) Καλαμποκίδης, Κ., **Παλαιολόγου, Π.** και Τουλίκας, Β., 2013. Συμπεριφορά και Επιπτώσεις της Πυρκαγιάς του Αγίου Όρους τον Αύγουστο του 2012. Στα Πρακτικά του 16ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου & Annual Meeting Prosilva Europe «Προστασία-διαχείριση των ελληνικών δασών σε περίοδο οικονομικής κρίσης και η πρόκληση της Φυσικής Δασοπονίας», 6-9 Οκτωβρίου 2013, Θεσσαλονίκη. pp. 84-96.
- (3) Kalabokidis K., **Palaiologou P.**, Kostopoulou E., Zerefos C.S., Gerasopoulos E. and Giannakopoulos C., 2014. Effect of climate projections on the behavior and impacts of wildfires in Messenia, Greece. In Kanakidou, M., Mihalopoulos, N. and Nastos, P. (Eds.), Proceedings of 12th International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere COMECAP 2014, Heraklion 28-31 May 2014, Greece (pp. 395- 400). ISBN: 978-960-524-430-9, Vol 1.
- (4) Kalabokidis, K., Athanasis N., Vasilakos C. and **Palaiologou P.**, 2014. Cloud Computing in Geospatial Analysis of Wildfire Danger and Fire Growth. In Wade, D.D. and Fox, R.L. (Eds.), Robinson, M.L. (Comp.), Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, 18-22 February 2013, Raleigh, NC and 1-4 July 2013, St. Petersburg, Russia (pp. 457- 467). International Association of Wildland Fire: Missoula, MT.
- (5) Kalabokidis, K., **Palaiologou P.** and Finney M. 2014. Fire Behavior Simulation in Mediterranean Forests Using the Minimum Travel Time Algorithm. In Wade, D.D. and Fox, R.L. (Eds.), Robinson, M.L. (Comp.), Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, 18-22 February 2013, Raleigh, NC and 1-4 July 2013, St. Petersburg, Russia (pp. 468- 492). International Association of Wildland Fire: Missoula, MT.
- (6) Kalabokidis, K., Athanasis, N., **Palaiologou, P.**, Vasilakos, C., Finney, M. and Ager, A., **2014**. Minimum travel time algorithm for fire behavior and burn probability in a parallel computing

- environment. In Viegas, D. X. (ed.): Proceedings of 7th International Conference on Forest Fire Research, Advances in forest fire research, 17-20 November 2014 Coimbra, Portugal. pp. 882-891. ISBN 978-989-26-0884-6
- (7) Kalabokidis, K., **Palaiologou, P.** and Athanasis, N., **2014**. A fire effects index for overall assessment of wildfire events in Greece. In Viegas, D. X. (ed.): Proceedings of 7th International Conference on Forest Fire Research, Advances in forest fire research, 17-20 November 2014 Coimbra, Portugal. pp. 1600-1614. ISBN 978-989-26-0884-6
- (8) Kalabokidis K., Vasilakos C., Athanasis N., **Palaiologou P.**, Vaitis M., Tsekouras G., Ager A., Finney M., **2015**. AEGIS: Wildfire Web Geographic Information System. In Proceedings of 2nd International Conference SafeChania 2015: The Knowledge Triangle in the Civil Protection Service, 10-12 June 2015, Chania, Greece.
- (9) Καλαμποκίδης Κ., Αθανάσης Ν., **Παλαιολόγου Π.**, Βασιλάκος Χ., Καραγιάννης Φ., **2015**. AEGIS App: Διαχείριση Πληροφοριών Πυρκαγιών για Windows Smartphones. Στα Πρακτικά του 2^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου SafeChania 2015: Το τρίγωνο της γνώσης στην υπηρεσία της Πολιτικής Προστασίας, 10-12 Ιουνίου 2015, Χανιά.

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗΣ

- (1) Kalabokidis, K. and **Palaiologou, P.**, **2012**. Forest fire modeling aided by Web GIS in a changing climate. Conference on Climate Change and Forest Fires in the Mediterranean Basin: Management and Risk Reduction, 24-26 January 2012, Nir Etzion, Israel. Israeli Ministry of Environmental Protection. pp. 53-54.
- (2) Καλαμποκίδης, Κ., Βασιλάκος, Χ. Αθανάσης, Ν. και **Παλαιολόγου, Π.**, **2012**. Ανάπτυξη συστήματος εκτίμησης κινδύνου και εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους (cloud computing). Στα CD-ROM Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου HellasGIS, 17-18 Μαΐου 2012, Αθήνα. Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Αθήνα. 15 σελ.
- (3) Καλαμποκίδης, Κ., **Παλαιολόγου, Π.** και Τουλίκας, Β., **2012**. Μεταπυρική ανάλυση δασικών πυρκαγιών σε προστατευόμενες περιοχές. 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Πολιτικής και Διαχείρισης: Διαχείριση Προστατευόμενων Περιοχών, 25-27 Μαΐου 2012, Μυτιλήνη. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Σελ. 3-36.
- (4) Καλαμποκίδης, Κ., **Παλαιολόγου, Π.** και Γουναρίδης, Δ., **2012**. Ανάλυση μεταπυρικής φυσικής αναγέννησης μεσογειακού δάσους στο νησιωτικό ορεινό περιβάλλον της Λέσβου. Στα Πρακτικά του 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Οικολογίας, «Οικολογική Έρευνα στην Ελλάδα: Τάσεις, Προκλήσεις, Εφαρμογές», 4-7 Οκτωβρίου 2012, Αθήνα. Ελληνική Οικολογική Εταιρεία, Αθήνα. Σελ. 174.
- (5) Καλαμποκίδης Κ., Ρούσσου, Ο. και **Παλαιολόγου, Π.**, **2012**. Δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης δασικών περιοχών τραχείας πεύκης για προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιών. Στα Πρακτικά του 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Οικολογίας «Οικολογική Έρευνα στην Ελλάδα: Τάσεις, Προκλήσεις, Εφαρμογές», 4-7 Οκτωβρίου 2012, Αθήνα. Ελληνική Οικολογική Εταιρεία, Αθήνα. Σελ. 175.
- (6) Αγουρόγιαννης, Π., Καλαμποκίδης, Κ., **Παλαιολόγου, Π.**, και Τάταρης Γ. **2014**. Χαρτογραφική Απεικόνιση Γεωγραφικών Δεδομένων για τη Διαχείριση Πυρκαγιών στην Αχαΐα. Στα Πρακτικά του 13^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας «Η Χαρτογραφία στο Διαδίκτυο Σύγχρονες Τάσεις και Προοπτικές», 22-24 Οκτωβρίου 2014, Πάτρα, Ελλάς.
- (7) Καλαμποκίδης, Κ., Βαΐτης, Μ., **Παλαιολόγου, Π.**, Τάταρης, Γ., Ρετσιλίδου, Ο., και Χατζόπουλος, Ι. **2014**. Βάση Γεωγραφικών Δεδομένων της Νήσου Ρόδου για Διαχείριση Κινδύνων. Στα Πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου «Η χρήση των νέων τεχνολογιών στην πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών - Ο ρόλος της Πολιτικής Προστασίας», 24-26 Οκτωβρίου 2014, Ρόδος, Ελλάς. 14 p.
- (8) Καλαμποκίδης, Κ., Βασιλάκος, Χ., Αθανάσης, Ν., **Παλαιολόγου, Π.**, και Τσεκούρας, Γ. **2014**. Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών (AEGIS). Στα Πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου «Η χρήση των νέων τεχνολογιών στην πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών - Ο ρόλος της Πολιτικής Προστασίας», 24-26 Οκτωβρίου 2014, Ρόδος, Ελλάς. 13 p.
- (9) **Palaiologou P.**, Tsiourlis G., Kalabokidis K., Krallis F., Konstantinidis P., **2015**. Regeneration of burned *Pinus brutia* ecosystems in Greece. In Book of Abstracts of International Conference on Fire Behaviour and Risk, 26-29 May 2015, Sardinia, Italy. p. 82.
- (10) Kalabokidis K., Vasilakos C., Athanasis N., **Palaiologou P.**, **2015**. AEGIS - Wildfire Prevention and Management Information System. In Book of Abstracts of International Conference on Fire Behaviour and Risk, 26-29 May 2015, Alghero, Sardinia, Italy. p. 93.