



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

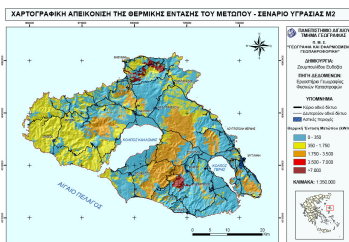
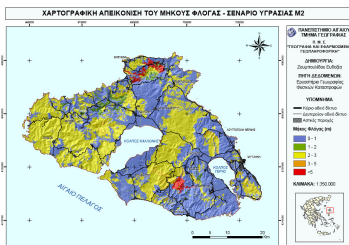
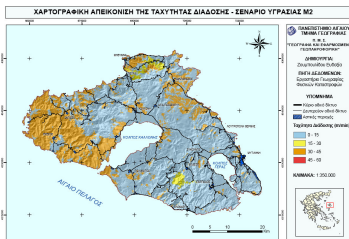
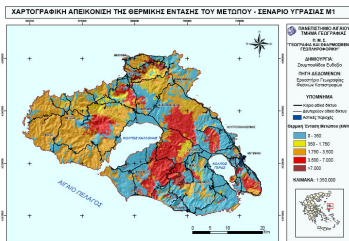
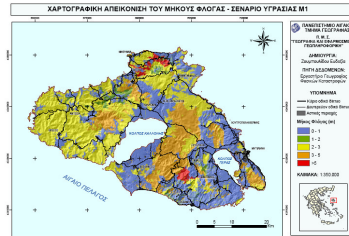
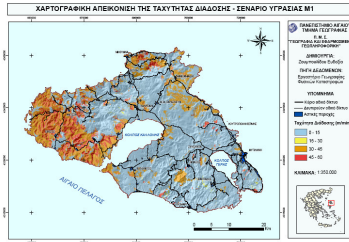
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
«ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

Μεταπτυχιακή διατριβή με θέμα:
**«Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς
πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση
δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης
και Συστημάτων Γεωγραφικών
Πληροφοριών»**

Ζουμπολίδου Ευδοξία

Επιβλέπων καθηγητής: Καλαμποκίδης Κωνσταντίνος
Μέλη συμβουλευτικής επιτροπής:
Κουκούλας Σωτήριος,
Φείδας Χαράλαμπος

Μυτιλήνη, Μάιος 2007



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή διατριβή αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για ώθηση στην περαιτέρω ανάλυση και έρευνα στους επιστημονικούς τομείς, καθώς αποτελεί το κίνητρο για την εξέλιξη και ανάπτυξη γνώσεων και εμπειριών σε επιστημονικά θέματα των ενδιαφερόμενων σπουδαστών.

Για το λόγο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κύριο Καλαμποκίδη Κωνσταντίνο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας και επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου διατριβής, για την ανάθεση αυτής της εργασίας, μέσω της οποίας μου δόθηκε η δυνατότητα και η ευκαιρία να ασχοληθώ με το συνδυασμό δύο υψηλού ενδιαφέροντος αντικειμένων: των Δασικών Πυρκαγιών και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Τον ευχαριστώ ακόμη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε θέματα δομής και σύνταξής της, καθώς και για την καθοδήγησή του στους επιμέρους κλάδους της.

Επιπλέον, ευχαριστώ τους κυρίους Κουκούλα Σωτήριο, Λέκτορα και Φείδα Χαράλαμπο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας, μέλη της εξεταστικής επιτροπής, αλλά και τον κύριο Σουλακέλλη Νικόλαο για τις εξίσου πολύτιμες επιστημονικές συμβουλές και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Ακόμα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου από τα εργαστήρια Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών και Χαρτογραφίας και Γεωπληροφορικής για τις κατ' ιδίαν συζητήσεις μας στο θέμα της διπλωματικής εργασίας και τη βοήθεια που μου παρείχαν για την ολοκλήρωση αυτής, καθώς και τον Περιβαλλοντολόγο Κοντό Θέμη για τη βοήθειά του σε θέματα μεθοδολογίας.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Περιβαλλοντολόγο Ρούσσου Όλγα για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις της, από την αρχή της προτεινόμενης μεθοδολογίας έως την παρουσίαση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, να ευχαριστήσω τη φίλη μου Σαρρίδου Δήμητρα, απόφοιτη του τμήματος Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Κοινωνικής Ανθρωπολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τη φιλολογική συμβολή της στο κείμενο.

Οποιοσδήποτε παραλείψεις ή ατέλειες ας κριθούν με επιείκεια... *“Δε χρησιμεύει σε τίποτα σπουδαίο να αναζητάς τα λάθη, γιατί είναι χαρακτηριστικό του προπέτη να προτιμά το ρόλο του κριτικού που αποδοκιμάζει, παρά το ρόλο του ποιητή που δημιουργεί”*.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	4
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Ανάλυση του ζητήματος	6
1.2 Στόχοι.....	7
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	9
2.1 Εισαγωγικά.....	9
2.1.1 Επίδραση της τοπογραφίας στη συμπεριφορά της φωτιάς	10
2.1.2 Επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στη συμπεριφορά της φωτιάς	11
2.1.3 Επίδραση της καύσιμης ύλης στη συμπεριφορά της φωτιάς	12
2.1.4 Μοντέλα καύσιμης ύλης	17
2.2 Μεθοδολογικά	21
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	39
3.1 Περιοχή Μελέτης.....	39
3.1.1 Κλίμα.....	40
3.1.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί	40
3.1.3 Βλάστηση – Φυτοκοινωνιολογική διάπλαση	40
3.2 Διάγραμμα ροής εργασιών	44
3.3 Δεδομένα.....	45
3.4 Παραδοχές – Συνθήκες	46
3.4 Υλικά και Μέθοδοι.....	53
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	61
4.1 Σενάριο Υγρασίας M1	61
4.2 Σενάριο Υγρασίας M2	70
4.3 Σενάριο Υγρασίας M3	72
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	82
1. ΧΑΡΤΕΣ	83
2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	95

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Ψηφιακό τοπίο θεματικών επιφανειών που απαιτούνται από GIS για προσομοίωση στο FARSITE (Finney, 1998).....	7
Σχήμα 2.1: Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς (Καλαμποκίδης, 2004).....	9
Σχήμα 2.2: Επίδραση διαφορετικών κλίσεων στη συμπεριφορά της φωτιάς (http://www.meted.ucar.edu/fire/fwxf/).....	10
Σχήμα 2.3: Επίδραση της αρχικής θέσης μιας πυρκαγιάς στη συμπεριφορά της (http://www.meted.ucar.edu/fire/fwxf/).....	11
Σχήμα 2.4: Κατεύθυνση φωτιάς ανάλογη με τη διεύθυνση του ανέμου (http://www.meted.ucar.edu/fire/fwxf/).....	12
Σχήμα 2.5: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας των φυτών κατά τη διάρκεια του έτους (Chandler <i>et. al</i> , 1983).....	14
Σχήμα 2.6: Μήκος φλόγας (Andrews, 1986).....	19
Σχήμα 2.7: Νομογράφημα πρόγνωσης πυρικών παραμέτρων δασικών πυρκαγιών σε θαμνώνες αιφύλλων – πλατυφύλλων (Δημητρακόπουλος και Δρίτσα, 2001)..	25
Σχήμα 2.8: Τα μοντέλα καύσιμης ύλης που απαντώνται στη Λέσβο (Καλαμποκίδης κ.α., 2004).....	26
Σχήμα 2.9: Ευφλεκτότητα των μοντέλων καύσιμης ύλης που απαντώνται στη Λέσβο (Καλαμποκίδης κ.α., 2004).....	27
Σχήμα 2.10: Χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας εμφάνισης και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών σε όλη την έκταση του εθνικού δρυμού (Καλαμποκίδης και Κούτσιας, 2000).....	28
Σχήμα 2.11: Χαρτογράφηση σταθερού και μεταβαλλόμενου κινδύνου πυρκαγιάς (CFD, VFD) με συνδυασμό των επιπέδων του μετεωρολογικού κινδύνου (MR), της ευπάθειας της καύσιμης ύλης (FS) και της εμφάνισης της φωτιάς (FO) (Gouma and Chronopoulou–Sereli 1998).....	30
Σχήμα 2.12: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης την άνοιξη ψευδοχρωματισμένη (RGB: 453) (Maselli <i>et al.</i> 2000).....	31
Σχήμα 2.13: Χάρτες επικινδυνότητας που προέκυψαν από (α) ποσοτική και (β) ποιοτική προσέγγιση (Maselli <i>et al.</i> 2000).....	32
Σχήμα 2.14: Προτεινόμενη μέθοδος για χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης χρησιμοποιώντας την πιθανή βλάστηση, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και μοντέλα καύσιμης ύλης για τη συμπεριφορά της φωτιάς (Keane <i>et al.</i> , 2001)..	34
Σχήμα 2.15: Γραφική αναπαράσταση της εξέλιξης των δυναμικών μοντέλων (Scott and Burgan, 2005).....	37
Σχήμα 2.16: Σύγκριση της ταχύτητα διάδοσης μεταξύ των δυναμικών μοντέλων GR6 και GR8 και του στατικού μοντέλου 3 (Scott and Burgan, 2005).....	38
Σχήμα 3.1: Χάρτης βλάστησης της Λέσβου (βασισμένος σε δορυφορική εικόνα) σε σύγκριση με έναν απλοποιημένο γεωλογικό χάρτη (Grove and Rackham, 2003).....	42
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής εργασιών.....	44
Σχήμα 3.3: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο BehavePlus3.....	54
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης.....	55
Σχήμα 3.5: Αρχείο κλίσεων Λέσβου.....	56
Σχήμα 3.6: Απεικόνιση σε αρχείο raster των περιοχών όπου υπάρχουν δάση Κωνοφόρων.....	57
Σχήμα 3.7: Raster Calculator.....	58

Σχήμα 3.8: Απεικόνιση σε αρχείο raster των τιμών της ταχύτητας διάδοσης του μοντέλου tu5 για το σενάριο υγρασίας M1.....	59
Σχήμα 3.9: Τελικό αρχείο raster που απεικονίζει τις τιμές της ταχύτητας διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M1.....	59
Σχήμα 3.10: Μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης ανάλογα με τη θερμοότητα ανά μονάδα επιφανείας. Κατηγορίες ανάλογα με τις ενέργειες καταστολής.....	60
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα δάση κωνοφόρων.....	63
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τον καστασιώνα.....	63
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα χορτολίβαδα.....	64
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα δρυοδάση και λοιπά πλατύφυλλα.....	64
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μεταβολής του μήκους της φλόγας ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για εκτάσεις αείφυλλων σκληρόφυλλων.....	66
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα μεταβολής του μήκους της φλόγας ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για χορτολίβαδα.....	67
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα μεταβολής του μήκους της φλόγας ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τους ελαιώνες.....	67
Σχήμα 4.8: Διάγραμμα μεταβολής της θερμικής έντασης του μετώπου ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τους θαμνότοπους.....	69
Σχήμα 4.9: Διάγραμμα μεταβολής της θερμικής έντασης του μετώπου ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα δρυοδάση και τα λοιπά πλατύφυλλα.....	69
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα μεταβολής της θερμικής έντασης του μετώπου ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα χορτολίβαδα.....	70

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Αντιστοίχιση των τιμών του μήκους της φλόγας και της θερμικής έντασης του μετώπου με ενέργειες καταστολής μίας πυρκαγιάς.....	20
Πίνακας 2.2: Επίπεδα περιεχόμενης υγρασίας, ξερής έναντι ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης (Scott and Burgan, 2005).....	38
Πίνακας 3.1.1: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης (Scott and Burgan, 2005).....	49
Πίνακας 3.1.2: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της ζωντανής καύσιμης ύλης (Scott and Burgan, 2004).....	50
Πίνακας 3.2.1: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης.....	50
Πίνακας 3.2.2: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της ζωντανής καύσιμης ύλης.....	50
Πίνακας 3.3: Αντιστοίχιση κλίμακας Μποφόρ με μετρούμενες ταχύτητες ανέμου σε km/h.....	51
Πίνακας 3.4: Πίνακας προσαρμογής ανέμου για εύρεση της ταχύτητας στο μέσο ύψος της φλόγας (Rothermel, 1983).	52
Πίνακας 3.5: Πίνακας διπλής εισόδου με τις τιμές της ταχύτητας διάδοσης.....	55
Πίνακας 3.6: Αντιστοίχιση των τύπων κάλυψης γης με τα μοντέλα καύσιμης ύλης και τους κωδικούς στο ArcMap.....	56

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 3.1: Νήσος Λέσβος.....	39
Χάρτης 3.2: Θεματικός χάρτης Λέσβου.....	45
Χάρτης 3.3: Χάρτης μοντέλων καύσιμης ύλης Λέσβου	49
Χάρτης 4.1: Ταχύτητα διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M1	62
Χάρτης 4.2: Μήκος Φλόγας για το σενάριο υγρασίας M1.....	65
Χάρτης 4.3: Θερμική ένταση του μετώπου για το σενάριο υγρασίας M1	68
Χάρτης 4.4: Ταχύτητα διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M2.....	71
Χάρτης 4.5: Μήκος Φλόγας για το σενάριο υγρασίας M2.....	71
Χάρτης 4.6: Θερμική ένταση του μετώπου για το σενάριο υγρασίας M2	72
Χάρτης 4.7: Ταχύτητα διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M3.....	73
Χάρτης 4.8: Μήκος Φλόγας για το σενάριο υγρασίας M3.....	73
Χάρτης 4.9: Θερμική ένταση του μετώπου για το σενάριο υγρασίας M3	74

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανάλυση του ζητήματος

Οι δασικές πυρκαγιές και οι επιπτώσεις τους αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα οικολογικά προβλήματα σε παγκόσμια κλίμακα και μία από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές της Ευρω-Μεσογειακής λεκάνης. Ιδιαίτερα σε περιοχές, οι οποίες ανήκουν στο Μεσογειακό τύπο κλίματος με θερμά και ξηρά καλοκαίρια, όπως είναι η Ελλάδα, η έξαρση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών, τείνει να αποτελέσει μία από τις μεγαλύτερες αιτίες υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος. Η φυσική βλάστηση των περιοχών αυτών είναι σε γενικές γραμμές προσαρμοσμένη στις ξηροθερμικές περιόδους μέσω της εξάπλωσης ξηρόφυτων. Σε συνθήκες φυσικής ισορροπίας μάλιστα, η φωτιά αποτελεί περιβαλλοντικό παράγοντα που μπορεί να είναι ευεργετικός για την αναγέννηση της βλάστησης. Βέβαια, η κατάσταση αυτή έχει αλλάξει λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας που πολλές φορές αποτελεί συνειδητά ή ασυνείδητα αιτία πυρκαγιών (Maselli *et al.*, 2000). Στις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης καίγεται κάθε χρόνο το 10% των δασών και θαμνότοπων (Dimitrakopoulos and Papaioannou, 2001). Σε αυτές τις περιοχές, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν κύρια οικολογική διεργασία η οποία ασκεί σημαντική επίδραση, θετική ή αρνητική, στο φυσικό κύκλο ανάπτυξης της βλάστησης, στη δυναμική των φυσικών οικοσυστημάτων, καθώς και στη δομή και λειτουργία τους, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών (Κούτσιας, 2002).



Μέσα στις ήδη προβλεπόμενες δυσμενείς κλιματικές συνθήκες για τις επόμενες δεκαετίες, το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα θα εντείνεται μεταξύ άλλων και από τη μη εφαρμογή της σύγχρονης τεχνογνωσίας (Καλαμποκίδης, 2004).

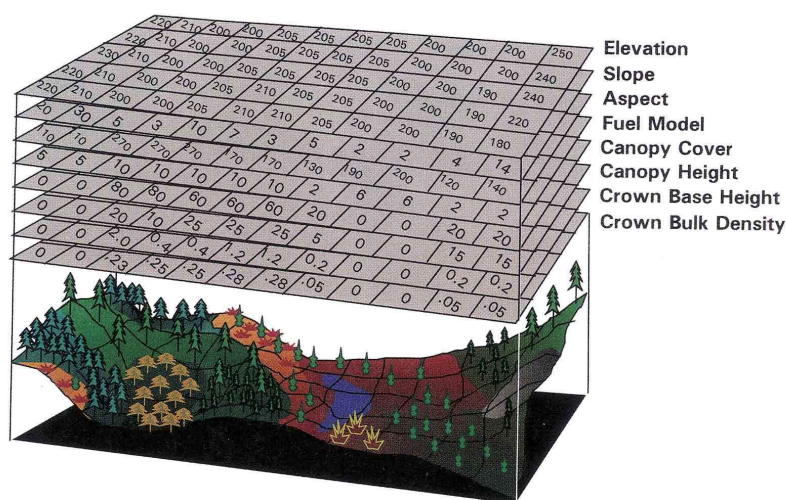
Οι πυρκαγιές των δασικών περιοχών αποτελούν ένα σύνθετο χωρικό φαινόμενο, το οποίο επηρεάζεται από πολλούς περιβαλλοντικούς, τοπογραφικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Γι' αυτό η αποτελεσματική διαχείρισή τους απαιτεί την κατανόηση των λειτουργιών του κάθε παράγοντα ξεχωριστά, αλλά και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Λόγω των μεγάλων περιβαλλοντικών, οικονομικών

και κοινωνικών συνεπειών των δασικών πυρκαγιών, είναι αναγκαία η απόκτηση σε βάθος της γνώσης όλων εκείνων των παραμέτρων, που συντελούν και επηρεάζουν την έναρξη και διάδοση μιας πυρκαγιάς και διαμορφώνουν το βαθμό επικινδυνότητάς της. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορούν αυτές οι παράμετροι να ενσωματωθούν σε ένα τεχνολογικά σύγχρονο και αποτελεσματικό διαχειριστικό δασικό σχεδιασμό.

1.2 Στόχοι

Η σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος κινείται σε δύο βασικούς άξονες: τη λήψη μέτρων πρόληψης και τη λήψη μέτρων έγκαιρης επέμβασης και καταστολής. Ένα τέτοιου είδους εξελιγμένο σύστημα, που θα βασίζεται στην εκ των προτέρων γνώση των πιθανών περιοχών εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών, καθώς και στη γνώση της συμπεριφοράς της φωτιάς, θεωρείται μεγάλο διαχειριστικό πλεονέκτημα. Η γνώση των περιοχών υψηλού κινδύνου θα προσανατολίσει τους αρμόδιους φορείς προς τη σωστή κατεύθυνση εφαρμογής προγραμμάτων πυροπροστασίας. Η εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων θα γίνεται με προτεραιότητα χωρική και χρονική στις ζώνες υψηλού κινδύνου, ελαχιστοποιώντας το κόστος και μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητά τους (Κούτσιας κ.α., 2005).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (**Σχήμα 1.1**), βοηθούν αποτελεσματικά για τη σωστή αντιμετώπιση του φαινομένου. Για παράδειγμα, χάρτες βλάστησης και επικινδυνότητας, βάσεις δεδομένων και συστήματα εκτίμησης κινδύνου δασικών πυρκαγιών συμβάλλουν στην πρόληψη, αλλά και την πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση τους.



Σχήμα 1.1: Ψηφιακό τοπίο θεματικών επιφανειών που απαιτούνται από GIS για προσομοίωση στο FARSITE (Finney, 1998)

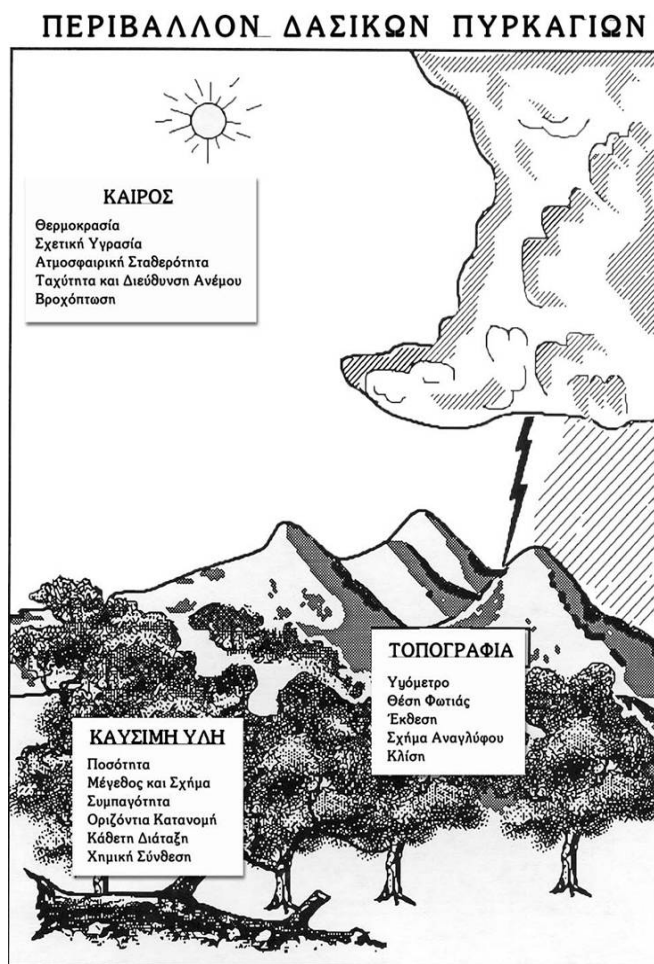
Απεικόνιση της ευφλεκτότητας των τύπων καύσιμης ύλης είναι χρήσιμη στο σχεδιασμό της διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών, γιατί παρέχει δυνατότητα πρόβλεψης συμπεριφοράς των ειδών στη φωτιά, εμπλέκει την ταξινόμηση διαφόρων φυτικών ειδών μέσα σε ένα οικοσύστημα και βοηθά στην επιλογή κατάλληλων ειδών για αναδάσωση και μείωση του κινδύνου της φωτιάς (Dimitrakopoulos and Papaniannou, 2001). Απεικόνιση της ενδεχόμενης συμπεριφοράς μίας πυρκαγιάς σε περιοχή με συγκεκριμένη τοπογραφία και κάτω από δεδομένες μετεωρολογικές συνθήκες δίνει επίσης τη δυνατότητα, σε περιπτώσεις εμφάνισης πυρκαγιάς, έγκαιρης και συγκροτημένης παρέμβασης, συνεπώς πιο αποτελεσματικής αντιμετώπισης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ψηφιακών χαρτών που θα απεικονίζουν τις παραμέτρους της συμπεριφοράς των πυρκαγιών στο νησί της Λέσβου. Έτσι, θα είναι πιο εύκολη η σύγκριση της συμπεριφοράς της φωτιάς στα διάφορα είδη, κάτω από διαφορετικές τοπογραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες. Επιπλέον θα είναι δυνατό να εκτιμηθούν καλύτερα οι συνθήκες στις περιοχές που εξελίσσεται μία φωτιά, έτσι ώστε να υπάρξει πιο σωστή αντιμετώπιση από τους αρμόδιους φορείς. Απώτερος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η συμβολή στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση και ελαχιστοποίηση της εξάπλωσης των πυρκαγιών στο νησί της Λέσβου.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Εισαγωγικά

Για τη διερεύνηση του θέματος και την κατανόηση της βιβλιογραφίας απαραίτητη είναι η εξέταση ορισμένων όρων και εννοιών. Έτσι, ξεκινώντας από τους φυσικούς παράγοντες οι οποίοι ελέγχουν και επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας δασικής πυρκαγιάς (Σχήμα 2.1), θα μπορούσαν να καταταχθούν σε τρεις ομάδες: 1) την τοπογραφία της περιοχής: υψόμετρο, θέση της φωτιάς, έκθεση, κλίση, διαμόρφωση εδάφους, 2) τις μετεωρολογικές συνθήκες: άνεμος, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική σταθερότητα, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, βροχόπτωση και 3) τα χαρακτηριστικά της διαθέσιμης καύσιμης ύλης: ποσότητα, μέγεθος, σχήμα, χημική σύνθεση, συσσώρευση, οριζόντια κατανομή και κάθετη διάταξη (Καλαμποκίδης, 2004).



Σχήμα 2.1: Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς (Καλαμποκίδης, 2004)

2.1.1 Επίδραση της τοπογραφίας στη συμπεριφορά της φωτιάς

Η τοπογραφία μιας περιοχής επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά της φωτιάς. Ένας από τους βασικούς τοπογραφικούς παράγοντες είναι το ανάγλυφο του εδάφους και κυρίως η κλίση. Σε μεγάλες κλίσεις το μήκος της φλόγας είναι μεγαλύτερο, ακριβώς επειδή οι απότομες πλαγιές έχουν την ίδια επίδραση με τον ισχυρό άνεμο. Μεγάλου μήκους φλόγες προθερμαίνουν την καύσιμη ύλη που βρίσκεται μακρύτερα και προς τα επάνω και συμβάλλουν στη γρηγορότερη διάδοση της πυρκαγιάς (Σχήμα 2.2). Επιπλέον, η θέση της έναρξης μιας πυρκαγιάς σε μια πλαγιά επηρεάζει το μέγεθος και τη διάδοσή της. Μία πυρκαγιά που ξεκινάει στους πρόποδες μιας πλαγιάς θα πάρει μεγαλύτερες διαστάσεις από ότι μία που θα ξεκινήσει στη μέση ή κοντά στην κορυφή της. Και αυτό γιατί έχει περισσότερη έκταση προς τα επάνω για να κάψει (Σχήμα 2.3). Επίσης, η κλίση και το υψόμετρο επηρεάζουν έμμεσα τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς, αφού ανάλογα με το υψόμετρο αλλάζει το μικροκλίμα της περιοχής και η βλάστηση (Pyne *et al.*, 1996).



Σχήμα 2.2: Επίδραση διαφορετικών κλίσεων στη συμπεριφορά της φωτιάς (<http://www.meted.ucar.edu/fire/fwv/>)



The COMET Program

Σχήμα 2.3: Επίδραση της αρχικής θέσης μιας πυρκαγιάς στη συμπεριφορά της (<http://www.meted.ucar.edu/fire/fwxf/>)

Εντούτοις και η έκθεση μιας περιοχής επηρεάζει τη συμπεριφορά της φωτιάς, αφού σε περιοχές με νότια έκθεση έχουμε πιο λεπτή καύσιμη ύλη, μεγαλύτερες θερμοκρασίες, μεγαλύτερης διάρκειας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και μικρότερη σχετική υγρασία. Έτσι, η καύσιμη ύλη ξηραίνεται ταχύτερα σε νότιες, νοτιοανατολικές και ανατολικές πλαγιές, παρά σε πλαγιές άλλων εκθέσεων. Τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα πιθανότερη έναρξη μίας πυρκαγιάς και μεγαλύτερης ταχύτητας διάδοσης σε αυτές τις περιοχές (<http://www.meted.ucar.edu/fire/fwxf/>).

2.1.2 Επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στη συμπεριφορά της φωτιάς

Οι μετεωρολογικές συνθήκες αποτελούν άλλον ένα παράγοντα επιρροής. Ο άνεμος είναι ο πιο μεταβλητός, αλλά ταυτόχρονα και ο πιο σημαντικός μετεωρολογικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά της φωτιάς και δρα με διάφορους τρόπους. Αρχικά, βοηθάει στην ξήρανση της καύσιμης ύλης, αφού απομακρύνει την υγρασία που εξατμίζεται από τα φυτά. Επιπλέον, συντηρεί και αυξάνει την ένταση της καύσης, εξασφαλίζοντας συνεχώς οξυγόνο. Ο άνεμος προωθεί τις φλόγες προς την κατεύθυνση της άκαυτης καύσιμης ύλης, την οποία θερμαίνουν και ξηραίνουν με την ακτινοβολία (radiation) ή μέσω ρευμάτων (convection) (Santoni *et al.*, 2006), έτσι ώστε να αναφλεγούν πιο γρήγορα. Επίσης, επηρεάζει και έμμεσα μία πυρκαγιά, καθώς μεταφέρει καύτρες με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων εστιών και σε άλλες περιοχές, μακριά από την ήδη υπάρχουσα. Το σχήμα, η κατεύθυνση και η ταχύτητα διάδοσης μιας πυρκαγιάς, καθορίζεται κυρίως

από τον άνεμο και τη διεύθυνσή του (<http://www.meted.ucar.edu/fire/fwv/>). Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο ισχυρή είναι η αποδοτικότητα της φωτιάς και τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα που απελευθερώνεται από τις φλόγες (Santoni *et al.*, 2006). Στο **Σχήμα 2.4** φαίνεται η κατεύθυνση της φωτιάς, που είναι ανάλογη με τη διεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 2.4: Κατεύθυνση φωτιάς ανάλογη με τη διεύθυνση του ανέμου (<http://www.meted.ucar.edu/fire/fwv/>)

Επιπλέον, η θερμοκρασία του αέρα είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει όχι μόνο τη θερμοκρασία της καύσιμης ύλης και ως εκ τούτου την ευφλεκτότητά της, αλλά και άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες όπως η υγρασία του αέρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης, τόσο πιο εύκολα αναφλέγεται και τόσο πιο γρήγορα καίγεται. Υψηλές θερινές θερμοκρασίες αυξάνουν την ταχύτητα εξάτμισης της υγρασίας της καύσιμης ύλης και έτσι παρουσιάζει μεγαλύτερη ευφλεκτότητα. Η υγρασία, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, επηρεάζει άμεσα την περιεχόμενη υγρασία της νεκρής καύσιμης ύλης.

2.1.3 Επίδραση της καύσιμης ύλης στη συμπεριφορά της φωτιάς

Ως καύσιμη ύλη (Κ.Υ.) χαρακτηρίζεται όλο το ζωντανό ή νεκρό οργανικό βλαστικό υλικό που υπάρχει είτε στο έδαφος (φυλλόστρωμα, βελόνες, κλαδιά, κορμοί, χόρτα, θάμνοι, δενδρύλλια και δέντρα), είτε πάνω στα δέντρα (κλαδιά, φύλλωμα, όρθια νεκρά δέντρα), που προκαλεί ή υφίσταται ανάφλεξη και καίγεται (Pyne *et al.*, 1996). Μερικά από τα χαρακτηριστικά της είναι η πυκνότητα, το πάχος, ο λόγος επιφάνεια προς όγκο και η περιεχόμενη υγρασία. Όλες οι παράμετροι της συμπεριφοράς της φωτιάς συνδέονται άρρηκτα με τα χαρακτηριστικά της καύσιμης

ύλης (Bilgili, 2003). Το συνολικό φορτίο της καύσιμης ύλης είναι όλο το ζωντανό και νεκρό βλαστικό υλικό επάνω από το ανόργανο έδαφος (Pyne et al., 1996).

Η ποσότητα της καύσιμης ύλης που είναι διαθέσιμη για καύση σε μία δεδομένη πυρκαγιά καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεχόμενη υγρασία της (Pyne et al., 1996). Η περιεχόμενη υγρασία είναι το ποσό του νερού που περιέχεται στην καύσιμη ύλη, εκφράζεται σαν ποσοστό επί του ξηρού της βάρους και είναι ιδιαίτερα σημαντική για όλες τις παραμέτρους της συμπεριφοράς μίας πυρκαγιάς, την ταχύτητα διάδοσης, τη θερμική ένταση, την παραγωγή καπνού και τη θνησιμότητα των φυτών. Το ποσό της υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει η καύσιμη ύλη ποικίλλει για τη νεκρή και τη ζωντανή καύσιμη ύλη. Η νεκρή μπορεί να περιέχει υγρασία μέχρι 30% (πέρα από την οποία τα κύτταρα δεν μπορούν να κρατήσουν το πρόσθετο νερό), ενώ η περιεκτικότητα σε υγρασία της ζωντανής μπορεί να φθάσει και 300%. Όσο πιο χαμηλή είναι η περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης, τόσο πιο εύκολα αρχίζει και εξαπλώνεται μία πυρκαγιά.

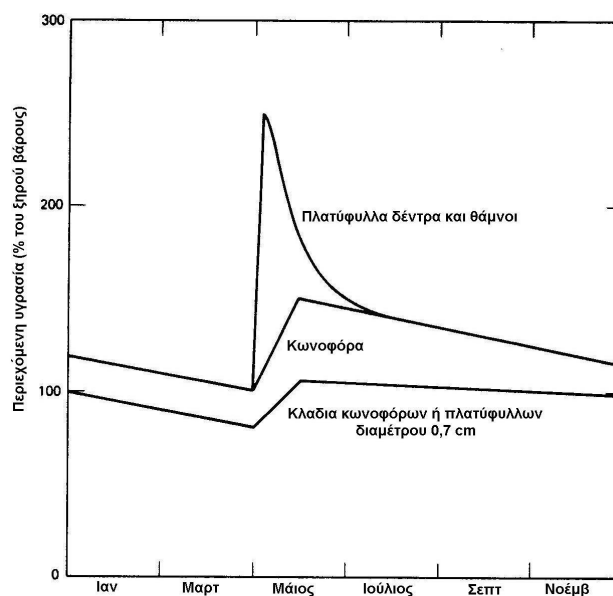
Η περιεχόμενη υγρασία μεταβάλλεται με διαφορετικό τρόπο και ρυθμό στη ζωντανή και τη νεκρή καύσιμη ύλη και η μεταβολή αυτή είναι κυρίως αποτέλεσμα της επίδρασης των μετεωρολογικών συνθηκών. Στη ζωντανή καύσιμη ύλη η περιεχόμενη υγρασία μεταβάλλεται κυρίως εποχιακά, ανάλογα με τα στάδια ανάπτυξης του φυτού, λόγω βιολογικών διεργασιών. Διαφέρει τόσο στο χρόνο και στο χώρο, όσο και στα διάφορα είδη. Σε μία συγκεκριμένη περιοχή με συγκεκριμένο κλίμα η υγρασία και οι μεταβολές της ακολουθούν συνήθως κάποιο πρότυπο. Ωστόσο, ασυνήθιστες συνθήκες, όπως ξηρασία ή έντονες βροχοπτώσεις, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, προσβολές από έντομα και ασθένειες, μπορεί να διαφοροποιήσουν την περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης. Το υψόμετρο και η έκθεση της περιοχής επίσης επηρεάζουν το τοπικό μικροκλίμα και προκαλούν διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη πολλών ειδών.

Η περιεχόμενη υγρασία του καινούριου φυλλώματος έχει υψηλότερες τιμές την εποχή της εμφάνισής του. Μειώνεται ραγδαία κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της κόμης και γενικότερα του φυτού, αλλά ακόμη πιο πολύ αργότερα ως τελικό στάδιο της ανάπτυξης. Στα φυλλοβόλα φυτά η περιεχόμενη υγρασία της κόμης τους είναι σε σχετικά υψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Αντίθετα, τα αιθαλή φυτά περιέχουν κατά μέσο όρο πολύ μικρότερο ποσοστό υγρασίας κατά την αυξητική περίοδο.

Η υγρασία που εμπεριέχεται στη νεκρή καύσιμη ύλη μεταβάλλεται κυρίως κατά

τη διάρκεια της ημέρας, ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα, τον άνεμο, τη σχετική υγρασία κλπ. Η νεκρή καύσιμη ύλη χαρακτηρίζεται ως “υγροσκοπική”. Αυτό σημαίνει ότι αποβάλλει ή απορροφά υγρασία από την ατμόσφαιρα, μέχρι να έρθει σε ισορροπία εκείνη που περιέχεται με την υγρασία του αέρα. Το μέγεθος της μεταβολής εξαρτάται επίσης και από τη σύνθεση των υλικών (βελόνες, φύλλα, χόρτα, κλαδιά), το μέγεθος και το σχήμα της καύσιμης ύλης, καθώς και την τοπογραφία της περιοχής, που καθορίζει το μικροκλίμα, την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται κλπ. Σε ανοιχτές περιοχές, η καύσιμη ύλη δέχεται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από ό,τι όταν βρίσκεται κάτω από την κόμη των δέντρων. Έτσι, περιέχει κατά μέσο όρο λιγότερη υγρασία. Επίσης, νεκρή καύσιμη ύλη προσκολλημένη σε άλλα φυτά είναι εκτεθειμένη σε διαφορετικές συνθήκες από αυτές της καύσιμης ύλης που βρίσκεται στο έδαφος. (Chandler *et. al*, 1983, Pyne *et al.*, 1996).

Στο διάγραμμα του **Σχήματος 2.5** φαίνεται πώς μεταβάλλεται η περιεχόμενη υγρασία του φυλλώματος και των κλαδιών ορισμένων τύπων βλάστησης κατά τη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 2.5: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας των φυτών κατά τη διάρκεια του έτους (Chandler *et. al*, 1983)

Η νεκρή καύσιμη ύλη μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το χρόνο που χρειάζεται να προσαρμοστεί στις διάφορες περιβαλλοντικές αλλαγές. Όταν συμβαίνει μία αλλαγή, η περιεχόμενη υγρασία μετακινείται σε καινούριο σημείο ισορροπίας. Ο χρόνος αντίδρασης της καύσιμης ύλης εξαρτάται από το πόσο γρήγορα αυτή χάνει ή απορροφάει υγρασία όταν βρεθεί σε ακραίες συνθήκες υγρασίας ή ξηρασίας. Η

χρονική υστέρηση (**time lag**) είναι μία έκφραση του ρυθμού με τον οποίο ένας δεδομένος τύπος καύσιμης ύλης προσεγγίζει το σημείο ισορροπίας της περιεχόμενης υγρασίας. Η χρονική υστέρηση που μεσολαβεί καθορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε η νεκρή καύσιμη ύλη να χάσει περίπου το 63% της διαφοράς μεταξύ της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας και της περιεχόμενης υγρασίας στο σημείο ισορροπίας, σε σταθερές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας του αέρα. Η διάρκεια αυτών των χρονικών περιόδων είναι ένα χαρακτηριστικό της καύσιμης ύλης. Η χρονική υστέρηση μπορεί να εκφραστεί σε λεπτά, ώρες ή μέρες, αλλά για μεγαλύτερη σαφήνεια χρησιμοποιούνται οι ώρες (Pyne *et al.*, 1996).

Το μέσο διάστημα της χρονικής υστέρησης διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος και άλλα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης. Το Εθνικό Σύστημα Εκτίμησης Κινδύνου Πυρκαγιών των Ηνωμένων Πολιτειών (NFDRS) έχει διαχωρίσει την περιεχόμενη υγρασία σε τάξεις χρονικής υστέρησης της 1, 10, 100 και 1000 ωρών (Burgan *et al.*, 1998). Για διευκόλυνση των επιστημόνων, έχει γίνει μία άμεση αντιστοίχιση της διαμέτρου της καύσιμης ύλης με τη χρονική υστέρηση: 1 ώρα = 0–0,5 cm, 10 ώρες = 0,5–2,5 cm, 100 ώρες = 2,5–7,5 cm, 1000 ώρες = > 7,5 cm. Οι Burgan *et al.* (1998) στην εργασία τους αναφέρουν πως ο Anderson το 1985 είχε αποδείξει ότι η περισσότερη νεκρή βλάστηση, που πρωταρχικά συμμετέχει στον καθορισμό της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς, ανήκει στις κατηγορίες χρονικής υστέρησης 1 με 10 ώρες. Στο βιβλίο τους οι Pyne *et al.* (1996) αναφέρουν επίσης πως ο ίδιος είχε βρει (1990b) ότι υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στους χρόνους αντίδρασης για τη λεπτή καύσιμη ύλη. Η χρονική υστέρηση για χόρτα, βρύα και λειχήνες βρίσκεται ανάμεσα στις 2 και 4 ώρες, για ξηροτάπητα από βελόνες κωνοφόρων στις 2 με 14 ώρες, ενώ για πρόσφατα πεσμένες βελόνες στις 5 με 34 ώρες. Έτσι, πολλές φορές η παραπάνω αντιστοίχιση μπορεί να είναι και παραπλανητική, γιατί εφαρμόζοντας αυστηρά αυτά τα διαστήματα χρονικής υστέρησης σε προβλέψεις για τη συμπεριφορά της φωτιάς είναι πιθανό να προκληθούν σφάλματα.

Η καύσιμη ύλη χωρίζεται σε τρία στρώματα, εκείνη του εδάφους, της επιφάνειας και της κόμης. Η καύσιμη ύλη του εδάφους περιλαμβάνει ρίζες και θαμμένα κομμάτια από κλαδιά και φύλλα και συνήθως δίνει πυρκαγιές με μικρή ένταση και ρυθμό διάδοσης. Η καύσιμη ύλη της επιφάνειας αποτελείται από πεσμένα φύλλα, κλαδιά, νεαρά φυτά, και ποώδη βλάστηση. Οι περισσότερες πυρκαγιές ξεκινούν και μεταφέρονται μέσω της επιφανειακής καύσιμης ύλης. Ο ανώροφος (*overstory*) των δένδρων και οι θάμνοι συνθέτουν την καύσιμη ύλη της κόμης που δίνει πολύ ισχυρές

πυρκαγιές, οι οποίες είναι γενικά δύσκολο να ελεγχθούν (Pyne *et al.*, 1996).

Οι Gouma and Chronopoulou – Sereli (1998) θεωρούν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες και η βλάστηση είναι οι δύο από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την έναρξη μίας πυρκαγιάς. Όπως αναφέρουν, οι περισσότερες εκτιμήσεις επικινδυνότητας για πυρκαγιά έχουν βασιστεί στην εξέταση των μετεωρολογικών παραμέτρων για εκτίμηση της κατάστασης της καύσιμης ύλης. Οι πυρκαγιές ξεκινούν και σταματούν με την καύσιμη ύλη, η οποία θεωρείται σχετικά σταθερή σε μία περιοχή. Η συμβολή της καύσιμης ύλης στη συμπεριφορά της φωτιάς είναι σημαντική και είναι ο μόνος φυσικός παράγοντας, που η ορθολογική διαχείρισή του από τον άνθρωπο μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο πυρκαγιάς.

Η ποσότητα και η ποιότητα της καύσιμης ύλης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που ελέγχουν τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς, τόσο από άποψη εξάπλωσης όσο και εκλυόμενης θερμότητας. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι όλη η δασική βιομάζα δεν αποτελεί καύσιμη ύλη στο πέρασμα της φωτιάς και περιοχές με τα ίδια είδη βλάστησης μπορεί να διατρέχουν διαφορετικό κίνδυνο, λόγω της μορφολογίας, όπως το ύψος, η πυκνότητα, η περιεχόμενη υγρασία και η ποσότητα της βλάστησης. Γι' αυτόν το λόγο, δε λαμβάνεται υπόψη όλη η βιομάζα στα μοντέλα συμπεριφοράς και κινδύνου πυρκαγιών. Τα μοντέλα αυτά δέχονται ως στοιχεία εισροής την ποσότητα της κατακείμενης νεκρής καύσιμης ύλης (δηλαδή κλαδιά διαμέτρου μέχρι 7,5 cm και φυλλοτάπητας), της χορτοποώδους βλάστησης και των ιστάμενων ζωντανών θάμνων (βλαστοί διαμέτρου μέχρι 0,5 cm και φύλλωμα) (Καλαμποκίδης, κ.α., 2000).

Είναι προφανές ότι μικρά και λεπτά κλαδάκια πιάνουν φωτιά και τη διατηρούν ευκολότερα σε σχέση με μεγαλύτερα κλαδιά και κορμούς. Αυτό συμβαίνει γιατί απαιτείται μικρότερη ποσότητα θερμότητας για να αποβληθεί η περιεχόμενη υγρασία τους και να αυξηθεί η θερμοκρασία τους σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Επίσης, το πόσο κοντά βρίσκονται τα υλικά, αλλά και η διάταξη της καύσιμης ύλης επηρεάζουν την ανάφλεξη και την καύση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν έχουμε μεγάλο ποσοστό συμπαγούς καύσιμης ύλης, παρατηρείται μικρή ταχύτητα διάδοσης. Χαλαρή διάταξη της καύσιμης ύλης σημαίνει περισσότερο διαθέσιμο οξυγόνο για καύση, αλλά και ταχύτερη αντίδραση στις αλλαγές της υγρασίας.

Επιπλέον η διάταξη, κάθετη ή οριζόντια, της καύσιμης ύλης επηρεάζει έντονα τη συμπεριφορά της φωτιάς. Χορτολιβαδική βλάστηση και θάμνοι έχουν κάθετη διάταξη, ενώ κατακείμενο υλικό όπως υπολείμματα ξυλείας και θραύσματα κορμών

οριζόντια. Η διάταξη επίσης αφορά και τη μίξη νεκρής και ζωντανής καύσιμης ύλης. Όταν ανοιχτές περιοχές είναι γυμνές ή σχετικά γυμνές, ελλείπει καύσιμης ύλης, είναι πολύ δύσκολο η φωτιά να μεταφερθεί από μία “νησίδα” καύσιμης ύλης σε μια άλλη, χωρίς ισχυρό άνεμο. Ομοίως, η οριζόντια συνέχεια στις κόμες των δέντρων καθορίζει αν είναι εφικτή μία πυρκαγιά κόμης. Η κάθετη διάταξη της καύσιμης ύλης καθορίζει και το είδος της φωτιάς. Αναρριχόμενη ή ψηλή βλάστηση μπορεί να μεταφέρει μία έρπουσα πυρκαγιά στις κόμες των δέντρων και να τη μετατρέψει σε επικόρυφη, με συνέπεια την αλλαγή της συμπεριφοράς της (Pyne *et al.*, 1996). Η ταχύτητα διάδοσης αυξάνεται όσο η καύσιμη ύλη της κόμης γίνεται πιο περίπλοκη και μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνεται το ύψος των φυτών, σαν αποτέλεσμα της κάθετης ασυνέχειας της καύσιμης ύλης (Bilgili, 2003).

2.1.4 Μοντέλα καύσιμης ύλης

Το είδος, η ποσότητα, η χημική σύσταση, το μέγεθος, το σχήμα, καθώς και η συνέχεια της δασικής καύσιμης ύλης είναι σημαντικοί παράγοντες που συντελούν στην εμφάνιση και τη διάδοση μιας πυρκαγιάς. Τα παραπάνω στοιχεία μαζί με άλλες φυσικοχημικές παραμέτρους της επιφανειακής καύσιμης ύλης ταξινομούνται σε τύπους καυσίμου, τα λεγόμενα μοντέλα καύσιμης ύλης, που είναι αποδεκτοί από μοντέλα πυρκαγιάς. Ένα μοντέλο καύσιμης ύλης είναι μία χαρακτηριστική και απλουστευμένη περιγραφή της για ένα μαθηματικό μοντέλο συμπεριφοράς της φωτιάς (Pyne *et al.*, 1996). Τα μοντέλα καύσιμης ύλης, επειδή τυποποιούν μια πληθώρα πολύπλοκων και δύσκολων να υπολογιστούν παραμέτρων πυρκαγιάς, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της εύκολης και γρήγορης χρήσης σε πολλές εφαρμογές αντιπυρικής προστασίας (π.χ. εκτίμηση κινδύνου, διευθέτηση καύσιμης ύλης, επιχειρήσεις καταστολής).

Ερευνητές και διαχειριστές χρησιμοποιούν μοντέλα προσομοίωσης για να κατανοήσουν τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς και να προβλέψουν τον κίνδυνό της. Βέβαια, η ακρίβεια των προβλέψεων εξαρτάται από την ικανότητα των μοντέλων προσομοίωσης να απεικονίσουν τις διεργασίες που ελέγχουν μία πυρκαγιά, αλλά και από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε αυτά (Hall and Burke, 2006).

Οι Δημητρακόπουλος κ.α. (2001) αναφέρουν ότι τα συμπλέγματα δασικής καύσιμης ύλης αποτελούνται από χλωρά και ξηρά μέρη φυτών διαφόρων διαστάσεων, βάρους και φυσικοχημικών ιδιοτήτων, καθώς και ποικίλου βαθμού οριζόντιας και κατακόρυφης συνέχειας, συνιστώντας τη διαθέσιμη καύσιμη ύλη κατά

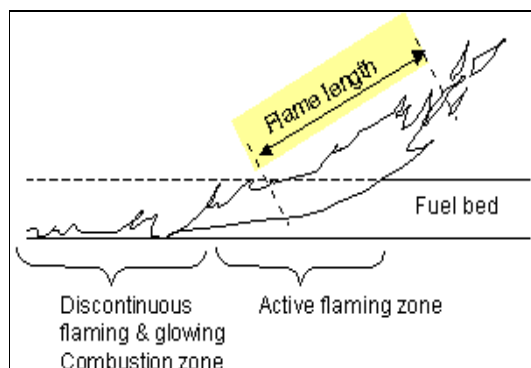
τη διάρκεια των πυρκαγιών. Ακριβώς επειδή τα φυσικά συμπλέγματα της δασικής καύσιμης ύλης παρουσιάζουν μεγάλη χωρική και χρονική ανομοιογένεια και ασυνέχεια, και συνεπώς είναι εξαιρετικά δύσκολο να μετρηθούν οι φυσικές και χημικές παράμετροί τους με μεθόδους απογραφής ή και εκτεταμένης δειγματοληψίας, η πλέον χρησιμοποιούμενη παγκοσμίως μέθοδος για την αποτίμηση της δασικής καύσιμης ύλης είναι η δημιουργία αντιπροσωπευτικών μοντέλων. Η ποσοτικοποίηση και τυποποίηση των συμπλεγμάτων δασικής καύσιμης ύλης κρίνεται απαραίτητη, εφόσον αποτελούν την κύρια συνιστώσα του πυρικού περιβάλλοντος και γι' αυτό χρησιμοποιούνται ως εισαγωγικά στοιχεία σε μοντέλα πρόγνωσης, τόσο του κινδύνου έναρξης, όσο και της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών (Καλαμποκίδης κ.α., 2004).

Ο Deeming (1975) ορίζει ως μοντέλο καύσιμης ύλης τη μαθηματική περιγραφή του στρώματος της καύσιμης ύλης και περιλαμβάνει όλες τις μεταβλητές που είναι απαραίτητες, ώστε να υπολογιστούν οι επιλεγμένες παράμετροι της συμπεριφοράς της φωτιάς, όπως η ταχύτητα διάδοσης και η θερμική ένταση του μετώπου (Chandler *et. al*, 1983). Όπως αναφέρουν οι Δημητρακόπουλος κ.α. (2001), ο Burgan (1987) ορίζει το μοντέλο καύσιμης ύλης σαν ένα τυπικό σύμπλεγμα δασικών καυσίμων, του οποίου η ποσοτική έκφραση των φυσικών και χημικών παραμέτρων του είναι αντιπροσωπευτική της «μέσης» (τυπικής) κατάστασης ενός συγκεκριμένου τύπου βλάστησης. Σύμφωνα με τους Ξανθόπουλο και Μανασή (2000) μοντέλο καύσιμης ύλης ορίζεται σαν ένας προσομοιωμένος τύπος καύσιμης ύλης για τον οποίο έχουν καθοριστεί οι τιμές για όλες τις μεταβλητές περιγραφής του, οι οποίες απαιτούνται για τη λύση του μαθηματικού μοντέλου διάδοσης της φωτιάς.

Κάποιες από τις παραμέτρους της πυρκαγιάς, που συχνά υπολογίζονται με τη βοήθεια των μοντέλων καύσιμης ύλης είναι η ταχύτητα διάδοσης, η θερμική ένταση, το μήκος της φλόγας, η έκταση, η περίμετρος της πυρκαγιάς μετά από 30 λεπτά από την εκδήλωσή της, καθώς και η μέγιστη δυνατή απόσταση μεταφοράς καυτρών από το μέτωπο της πιθανολογούμενης πυρκαγιάς. Γνώση των παραπάνω παραμέτρων πριν και κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς συμβάλλει τόσο στην αντιμετώπιση των δυσκολιών ελέγχου της πυρκαγιάς (κατασκευή αντιπυρικής γραμμής, αποστολή ή όχι συνεργείων στο μέτωπο, απαιτήσεις σε προσωπικό και εξοπλισμό, νέες εστίες, ασφάλεια), όσο και στην εκτίμηση των μετέπειτα συνεπειών στο οικοσύστημα (Καλαμποκίδης, 2004).

Ως **ταχύτητα διάδοσης** (rate of spread) ορίζεται η ταχύτητα με την οποία η

πυρκαγιά διαδίδεται μέσω της επιφανειακής καύσιμης ύλης και υπολογίζεται σε μέτρα ανά λεπτό (m/min). Μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης (ROS_{max}) έχουμε μπροστά, στο μέτωπο της πυρκαγιάς, ενώ πλάγια ή προς τα πίσω η ταχύτητα είναι μειωμένη (Pyne *et al.*, 1996). Το **μήκος της φλόγας** (flame length) μίας επιφανειακής πυρκαγιάς υπολογίζεται κατά μήκος του άξονα της φλόγας στο μέτωπο της πυρκαγιάς. Αποτελεί επίσης δείκτη της έντασης της φωτιάς (**Σχήμα 2.6**).



Σχήμα 2.6: Μήκος φλόγας (Andrews, 1986)

Η **ένταση της φωτιάς** (fire intensity) αφορά το ρυθμό με τον οποίο εκλύεται θερμική ενέργεια και υπολογίζεται σε μονάδες θερμότητας (calories) ή ισχύος (watts). Η **θερμική ένταση του μετώπου** (fireline intensity) που αναφέρεται και ως ένταση Byram είναι το πιο κοινό και πιο χρήσιμο μέγεθος μέτρησης της έντασης μίας πυρκαγιάς και μετριέται σε kW/m. Εξαρτάται από την εκλυόμενη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας και την ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς και είναι ισοδύναμη με την θερμότητα που εκλύεται από μία μονάδα μήκους του μετώπου στη μονάδα του χρόνου (Chandler *et. al*, 1983).

Έχει βρεθεί ότι η θερμική ένταση του μετώπου σχετίζεται στενά με κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς. Η θερμική ένταση όπως και το μήκος της φλόγας συνδέονται με τη θερμότητα που νοιώθει κάποιος, ο οποίος στέκεται δίπλα στις φλόγες. Έτσι, έχει προκύψει ένας πίνακας βάσει των σημειώσεων του F.A. Albin (Pyne *et al.*, 1996) που αντιστοιχεί τις τιμές του μήκους της φλόγας και της θερμικής έντασης του μετώπου, με ενέργειες καταστολής μιας πυρκαγιάς (**Πίνακας 2.1**).

Πίνακας 2.1: Αντιστοίχιση των τιμών του μήκους της φλόγας και της θερμικής έντασης του μετώπου με ενέργειες καταστολής μίας πυρκαγιάς

Μήκος Φλόγας (m)	Θερμική ένταση μετώπου (kW/m)	Τρόποι Καταστολής
<1	<350	Η πυρκαγιά μπορεί να αντιμετωπιστεί με άμεση επέμβαση, κατά μέτωπο ή πλευρικά, χρησιμοποιώντας ανθρώπινο δυναμικό με εργαλεία
1 – 2	350 – 1750	Η πυρκαγιά είναι αρκετά έντονη για άμεση επέμβαση από ανθρώπινο συνεργείο. Εξοπλισμός όπως μηχανήματα και οχήματα μπορεί να είναι αποτελεσματικά
2 – 3	1750 – 3500	Ισχυρής έντασης πυρκαγιά με πιθανά προβλήματα κατά την προσπάθεια ελέγχου, όπως μεταφορά στην κόμη των δένδρων, αναζωπυρώσεις κλπ. Οι άμεσες μέθοδοι θεωρούνται εδώ αναποτελεσματικές και πρέπει να ληφθούν έμμεσα μέτρα καταστολής και χρήση εναέριων μέσων, όπως αεροσκάφη
>3	>3500	Πρόκειται για πιθανές πυρκαγιές κόμης μεγάλης έντασης που δύσκολα τίθενται υπό έλεγχο

Η απειλή έναρξης και εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες είναι γνωστή με τον όρο **κίνδυνος πυρκαγιάς** (Danger) και αποτελείται από τη διακινδύνευση (Risk) και την επικινδυνότητα (Hazard). Η διακινδύνευση αναφέρεται στην πιθανότητα ανάφλεξης λόγω φυσικών ή ανθρωπογενών αιτιών και η επικινδυνότητα αναφέρεται στην εκάστοτε συμπεριφορά της πυρκαγιάς (Καλαμποκίδης, 2004). Αντίστοιχα, οι Κούτσιας και Καρτέρης (2000) τονίζουν σχετικά με το βαθμό επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών (Fire Danger) ότι αυτός συνίσταται από τον κίνδυνο έναρξης (Fire Risk) και από τον κίνδυνο διάδοσης (Fire Hazard). Ο κίνδυνος έναρξης αποδίδεται κυρίως σε ανθρώπινες δραστηριότητες και γενικά παράγοντες που επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από αυτές, καθώς και άλλους που αφορούν τη γενικότερη κοινωνικοοικονομική κατάσταση. Εν αντιθέσει, ο κίνδυνος διάδοσης σχετίζεται άμεσα με τους τρεις παράγοντες που προαναφέρθηκαν (καύσιμη ύλη, τοπογραφία και μετεωρολογία).

Αν ως **ευφλεκτότητα** των φυτών ορίζεται η ιδιότητα των διαφόρων ειδών να αναφλέγονται και να διατηρούν τη φωτιά (Dimitrakopoulos, 2001), πρέπει να τονιστεί ότι λόγω των διαφορετικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των ειδών, διαφορετικό είναι και το είδος ευφλεκτότητας των διαφόρων τύπων καύσιμης ύλης.

2.2 Μεθοδολογικά

Οι Dimitrakopoulos and Panov (2001) θεωρούν ότι για την αξιολόγηση και διαβάθμιση της επικινδυνότητας της καύσιμης ύλης είναι πολύ σημαντική η ποσοτικοποίηση των πυρικών ιδιοτήτων των διαφόρων μεμονωμένων φυτικών ειδών που εμπεριέχονται στα συμπλέγματα καύσιμης ύλης, κατά την προσπάθεια εκτίμησης της ευφλεκτότητας τους. Για το λόγο αυτό, ποσοτικοποίησαν και συνέκριναν στο εργαστήριο τις φυσικές και χημικές πυρικές ιδιότητες διαφόρων κυρίαρχων ειδών της Μεσογειακής λεκάνης. Μετρήθηκε και αναλύθηκε η περιεχόμενη θερμότητα (heat content) και η συνολική οργανική (απαλλαγμένη από πυρίτιο) στάχτη (total and mineral (silica-free) ash content) για 13 είδη, ενώ για άλλα 8 είδη υπολογίστηκε ο λόγος επιφάνεια προς όγκο (cm^2/cm^3) (surface area-to-volume ratio) και η πυκνότητα των σωματιδίων (particle density).

Συγκεκριμένα τα είδη που μετρήθηκαν ήταν από φρύγανα (*Sarcopoterium spinosum*, *Phlomis fruticosa*, *Thymus capitatus*, *Calicotome vilosa*, *Genista acanthoclada*, *Cistus salvaefolius*), από μακία βλάστηση (*Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*) και από κωνοφόρα (*Pinus halepensis*, *Pinus brutia*, *Cupressus sempervirens*). Τα δείγματα συλλέχθηκαν τον Δεκέμβριο του 1997 στην Κρήτη σε υψόμετρο 200 – 450 m. Τα είδη που αναλύθηκαν παρουσιάζουν μεγάλες παραλλαγές σαν ενδεχόμενη καύσιμη ύλη, λόγω των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμα στην εκτίμηση της επικινδυνότητας της καύσιμης ύλης, αλλά και στο σχηματισμό μοντέλων καύσιμης ύλης για τη βλάστηση στην ανατολική Μεσόγειο.

Ο Dimitrakopoulos (2001) ταξινόμησε 8 κυρίαρχα είδη σε μικρότερες ομάδες, ανάλογα με την αναμενόμενη ευφλεκτότητα τους, εφαρμόζοντας πολυμεταβλητές στατιστικές μεθόδους (Hierarchical Cluster Analysis and Canonical Discriminant Analysis) στις τιμές των πιο σημαντικών τους πυρικών ιδιοτήτων (περιεχόμενη θερμότητα, συνολική και οργανική (απαλλαγμένη από πυρίτιο) στάχτη, λόγος επιφάνειας προς όγκο (cm^2/cm^3) και πυκνότητα των σωματιδίων). Τα είδη που χρησιμοποιήθηκαν είναι βελόνες από *Pinus halepensis* και *Pinus brutia*, καθώς και φύλλα και κλαδιά από *Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Phlomis fruticosa*, *Cistus salvaefolius* και *Arbutus unedo*. Υποθέτοντας ότι οι πυρικές ιδιότητες που αναλύθηκαν είναι μεταξύ των κύριων συστατικών της ευφλεκτότητας των ειδών, διακρίθηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες:

- Πολύ εύφλεκτα: *Pinus halepensis*, *Pinus brutia* και *Quercus ilex*
- Εύφλεκτα: *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus* και *Arbutus unedo*
- Μεσαίου βαθμού εύφλεκτα: *Phlomis fruticosa* και *Cistus salvaefolius*
- Λιγότερο εύφλεκτα: (δεν αναφέρονται είδη)

Όπως αναφέρει και ο ίδιος, τα αποτελέσματα συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με παρόμοιες ταξινομήσεις βασισμένες σε εργαστηριακές δοκιμές (Dimitrakopoulos, 2001).

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Dimitrakopoulos and Papaioannou (2001) υπάρχει ουσιαστική ανάγκη για ταξινόμηση της φυσικής καύσιμης ύλης, ανάλογα με την αναμενόμενη ευφλεκτότητα της, στα πλαίσια του σχεδιασμού της διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών. Για το λόγο αυτό, μέτρησαν σε εργαστηριακές δοκιμές το χρόνο ανάφλεξης 24 κυρίαρχων Μεσογειακών ειδών καύσιμης ύλης, ώστε να κατορθώσουν μία ενδεχόμενη ταξινόμηση με βάση το βαθμό ευφλεκτότητας και να καθορίσουν το απαραίτητο ποσοστό υγρασίας για την κατάσβεση αυτών των καυσίμων. Η περιεχόμενη υγρασία ήταν ο μόνος σημαντικός παράγοντας που επηρέασε την ευφλεκτότητα. Ανέπτυξαν μοντέλα παλινδρόμησης μεταξύ του χρόνου ανάφλεξης και της περιεχόμενης υγρασίας, δίνοντας μία τιμή σε όλους τους τύπους καύσιμης ύλης και στη συνέχεια τα χρησιμοποίησαν για την ταξινόμηση σύμφωνα με τη σχετική ευφλεκτότητα αυτής της καύσιμης ύλης.

Τα είδη οργανώθηκαν σε 4 ομάδες: λιγότερο εύφλεκτα, μετρίου βαθμού εύφλεκτα, εύφλεκτα και εξαιρετικά εύφλεκτα. Βρήκαν με τον τρόπο αυτό μία ισχυρά θετική σχέση μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας στα φυτά και του χρόνου ανάφλεξης, κάτι που βρίσκει σύμφωνες και με άλλες μελέτες. Η υγρασία ενός φυτού καθορίζει εάν αυτό πρόκειται να αναφλεγεί και αν ναι, πόσο αποδοτική θα είναι η καύση του μετά την ανάφλεξη. Θεώρησαν πολύ σημαντικό να καθορίσουν μία δεδομένη τιμή (κατώφλι) για την περιεχόμενη υγρασία, πάνω από την οποία θα αποτρέπεται έναρξη φωτιάς.

Μία αρκετά αξιόλογη δουλειά έγινε από τους Δημητρακόπουλο κ.α (2001) για τη δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης που αφορά τους μεσογειακούς τύπους βλάστησης της χώρας μας. Επελέγησαν 181 σημεία δειγματοληψίας ανάλογα με την ποικιλομορφία και την έκταση των Μεσογειακών συμπλεγμάτων της καύσιμης ύλης στα κατά τόπους γεωγραφικά διαμερίσματα. Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας, για τη μέτρηση των φορτίων της καύσιμης ύλης ανά κατηγορία διαμέτρου, εφαρμόστηκε η μέθοδος των Brown *et al.* (1982), σε συνδυασμό με τη μέθοδο των Maxwell and

Ward (1980). Για την ταξινόμηση των φωτοσειρών σε αντιπροσωπευτικά μοντέλα έγινε στατιστική ανάλυση των τιμών των ιδιοτήτων της καύσιμης ύλης τους, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της ανάλυσης κατά ομάδες (cluster analysis). Ο αριθμός των θέσεων δειγματοληψίας κρίθηκε ικανοποιητικός για μια αδρομερή ανάλυση των τύπων της καύσιμης ύλης που απαντώνται στα Μεσογειακά οικοσυστήματα της Ελλάδας. Η διάκριση των μοντέλων της καύσιμης ύλης που προέκυψαν ανταποκρίνεται πλήρως στις κύριες Ελληνικές Μεσογειακές διαπλάσεις. Έτσι έχουμε παρακάτω 7 μοντέλα: 1) Θαμνώνες αειφύλλων – πλατυφύλλων I (ύψος έως 1,5 m), 2) Θαμνώνες αειφύλλων – πλατυφύλλων II (ύψος έως 1,5-3,0 m), 3) Πρινώνες, 4) Φρύγανα I (Ασφάκα), 5) Φρύγανα II (Αστοιβίδα), 6) Μεσογειακά χορτολίβαδα, 7) Ξηροτάπητας δασών Χαλέπιου και Τραχείας Πεύκης. Βέβαια, μία δεύτερη δειγματοληψία, ίσως επιτρέψει στο μέλλον την επαλήθευση, διαφοροποίηση ή αύξηση αυτών των μοντέλων.

Ο Dimitrakopoulos (2002) συνεχίζοντας τη μελέτη με τα παραπάνω μοντέλα υπολόγισε και την ενδεχόμενη συμπεριφορά πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα BEHAVE, λαμβάνοντας ως δεδομένα τις ιδιαίτερες παραμέτρους κάθε μοντέλου. Με τον τρόπο αυτό, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα μοντέλα των θαμνώνων φέρουν πυρκαγιές με υψηλή ένταση και ταχύτητα διάδοσης, ενώ τα φρύγανα και τα χορτολίβαδα φέρουν γρήγορες πυρκαγιές μέσης ή χαμηλής έντασης. Από την άλλη, ο ξηροτάπητας των κωνοφόρων φέρει τις λιγότερο σφοδρές πυρκαγιές.

Στη νοτιοδυτική Τουρκία, σε ένα Μεσογειακό οικοσύστημα με μακία βλάστηση, συγγενές με τα Ελληνικά Μεσογειακά οικοσυστήματα, τέθηκαν από τους Bilgili and Saglam (2003) 25 πειραματικές φωτιές. Οι φωτιές αυτές δοκιμάστηκαν κάτω από μία σειρά μετεωρολογικών συνθηκών και καύσιμης ύλης για να συγκεντρωθούν ποιοτικά στοιχεία σχετικά με τη διάδοση της φωτιάς, την κατανάλωση της καύσιμης ύλης και τη θερμική ένταση, καθώς και να αναπτυχθούν μοντέλα πρόβλεψης συμπεριφοράς της φωτιάς για διαχειριστικούς σκοπούς. Στην έρευνα αυτή δε συνυπολογίστηκε η επίδραση της κλίσης του εδάφους. Χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις συσχέτισης και παλινδρόμησης για να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς της φωτιάς, των ιδιοτήτων της καύσιμης ύλης και των μετεωρολογικών συνθηκών.

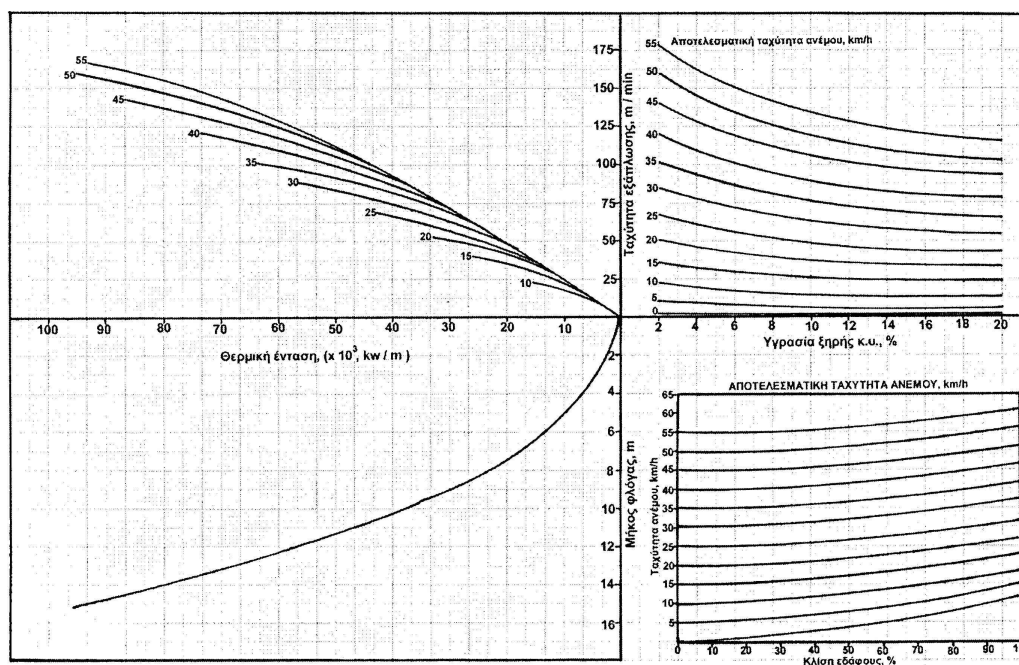
Αυτό που προέκυψε από την έρευνά τους είναι ότι η ταχύτητα διάδοσης είναι στενά συνδεδεμένη με την ταχύτητα του ανέμου, εφόσον εξηγεί το 71% των

παρατηρούμενων διακυμάνσεων στην ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς. Επίσης, η θερμική ένταση συνδέεται με την ταχύτητα του ανέμου, αλλά και με το ύψος της βλάστησης, τη φυτοκάλυψη και το συνολικό φορτίο της καύσιμης ύλης. Η ταχύτητα του ανέμου εξηγεί μόνο το 44,6% των παρατηρούμενων διακυμάνσεων της θερμικής έντασης. Αν ληφθεί υπόψη το συνολικό φορτίο ως δεύτερη μεταβλητή και η φυτοκάλυψη και το μέσο ύψος σαν τρίτες μεταβλητές βελτιώνονται οι προβλέψεις για τη θερμική ένταση.

Οι Ξανθόπουλος και Μανασή (2001) προτείνουν μια πρακτική μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων καύσιμης ύλης για την Ελλάδα και παρουσιάζουν ένα παράδειγμα (Χαλκιδική) ιδιαίτερα προσαρμοσμένο στους θαμνώνες και την υπόροφο θαμνώδη βλάστηση των μεσογειακών οικοσυστημάτων της χώρας. Το βασικότερο δεδομένο που χρησιμοποίησαν είναι η ποσότητα της ζωντανής αλλά και νεκρής βιομάζας και δημιούργησαν μία αλλομετρική εξίσωση που επιτρέπει την εύκολη κατά προσέγγιση εκτίμηση της ποσότητας της βιομάζας στους θαμνώνες της χώρας. Χρησιμοποιώντας τις τιμές που προκύπτουν από την εξίσωση στο υποσύστημα NEWMDL του BEHAVE, δημιουργείται ένα μοντέλο καύσιμης ύλης. Βέβαια στην εργασία τους έγινε απλά παρουσίαση της μεθοδολογίας που επιδέχεται βελτίωση, εφόσον το δείγμα που χρησιμοποίησαν ήταν περιορισμένο και οι εξισώσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιχειρησιακά όπως είναι.

Για πρώτη φορά, παρουσιάστηκαν στην Ελλάδα (Δημητρακόπουλος και Δρίτσα, 2001) νομογραφήματα (**Σχήμα 2.7**) (συνδυασμοί υπολογιστικών διαγραμμάτων μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η γραφική επίλυση πολύπλοκων μαθηματικών εξισώσεων) για τον υπολογισμό των πυρικών παραμέτρων των πυρκαγιών σε Μεσογειακούς τύπους βλάστησης της Ελλάδας. Για τη δημιουργία των νομογραφημάτων συνετέθησαν μοντέλα καύσιμης ύλης, αντιπροσωπευτικά της Μεσογειακής βλάστησης και χρησιμοποιήθηκαν ως εισαγωγικά στοιχεία στο πρόγραμμα προσομοίωσης δασικών πυρκαγιών BEHAVE, για τον υπολογισμό των πυρικών παραμέτρων των πυρκαγιών, οι οποίες κινούνται σε ένα μεγάλο εύρος διακύμανσης των τιμών των μετεωρολογικών και τοπογραφικών παραμέτρων. Η χρήση αυτών των νομογραφημάτων έχει αποδειχθεί χρήσιμη στη δασική πράξη, εφόσον η εφαρμογή τους δεν απαιτεί γνώση ηλεκτρονικών υπολογιστών, ούτε μαθηματικές πράξεις, είναι προσαρμοσμένα στα χαρακτηριστικά της Ελληνικής Μεσογειακής βλάστησης και ανταποκρίνονται σε μεγάλο εύρος τιμών μετεωρολογικών και τοπογραφικών παραμέτρων. Βέβαια, οι προβλέψεις τους θα

πρέπει να θεωρούνται ενδεικτικές και να χρησιμοποιούνται με επιφύλαξη, έως ότου γίνει η επαλήθευσή τους μέσω εκτεταμένων παρατηρήσεων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα.

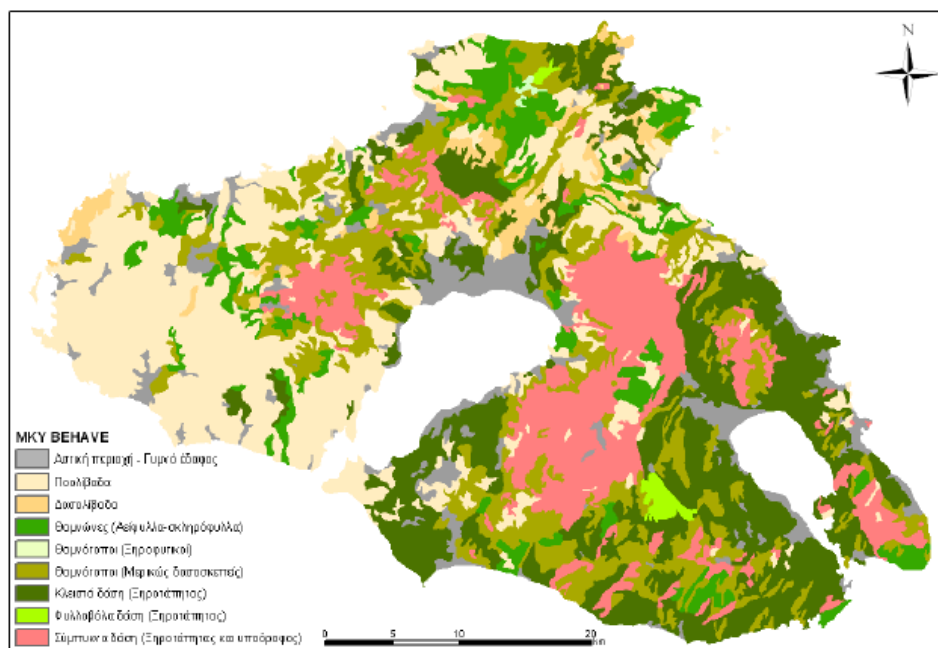


Σχήμα 2.7: Νομογράφημα πρόγνωσης πυρικών παραμέτρων δασικών πυρκαγιών σε θαμνώνες αειφύλλων – πλατυφύλλων (Δημητρακόπουλος και Δρίτσα, 2001)

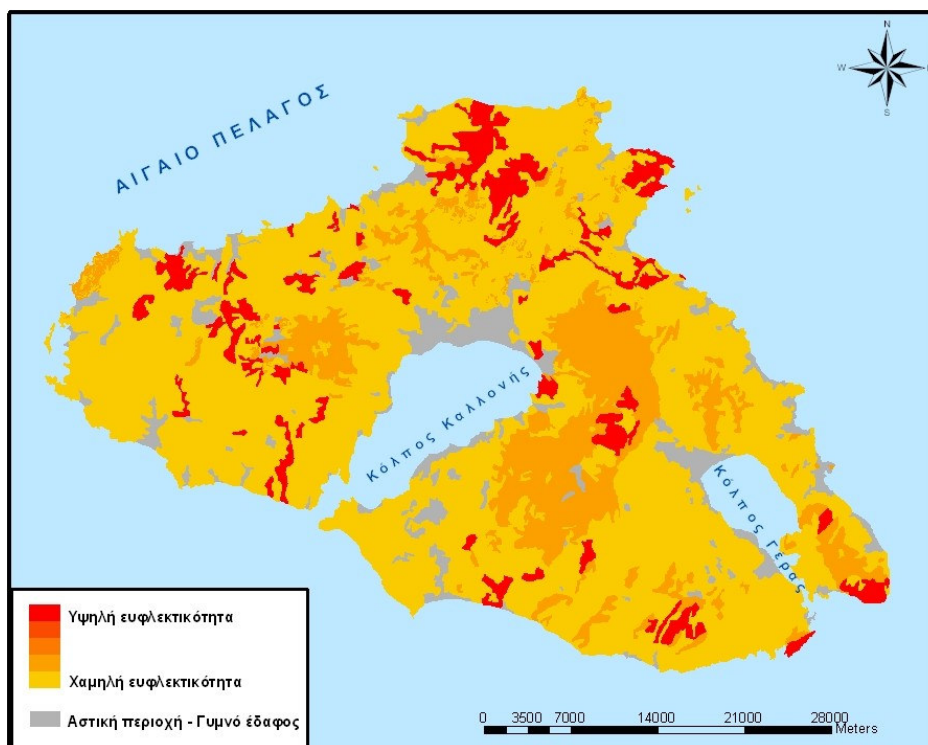
Για τη Λέσβο έχει γίνει (Καλαμποκίδης κ.α., 2004) ανάλυση προσομοίωσης πυρκαγιών, για κάθε μοντέλο καύσιμης ύλης και τύπο βλάστησης που συναντάται στο νησί, με βάση το σύστημα ταξινόμησης των χρήσεων γης του προγράμματος CORINE, καθώς και εντοπισμός των περιοχών που παρουσιάζουν έντονη συμπεριφορά πυρκαγιάς λόγω τοπογραφίας και βλάστησης. Επίσης, έγινε και χαρτογραφική απεικόνιση της καύσιμης ύλης (Σχήμα 2.8), ενέργεια ουσιαστική για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας μιας πυρκαγιάς στο χώρο και την προσομοίωση της εξάπλωσης της φωτιάς κατά μήκος του τοπίου. Στην ίδια εργασία έγινε χωρική μοντελοποίηση των περιοχών που παρουσιάζουν έντονη συμπεριφορά και δημιουργήθηκε χάρτης ευφλεκτότητας (Σχήμα 2.9), για τη δημιουργία του οποίου απαραίτητη είναι η εξαγωγή ενός δείκτη οικολογικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς ή ευφλεκτότητας της βλάστησης, μέσω της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Καλαμποκίδης κ.α., 2004).

Εκείνο που προέκυψε ήταν πως η μοντελοποίηση της καύσιμης ύλης και η ανάλυση της χωρικής της κατανομής παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό

ενδιαφέρον για την υποστήριξη αποφάσεων όσον αφορά την πρόληψη και την καταστολή των δασικών πυρκαγιών. Τα μοντέλα καύσιμης ύλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση συμπεριφοράς πυρκαγιών, είτε σε εφαρμογές που αφορούν προληπτικό σχεδιασμό είτε σε πραγματικές επιχειρήσεις καταστολής αυτών, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Στα πλαίσια ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, οι αναγκαίοι παράγοντες για την ερμηνεία του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών τοπίου μπορούν να συνδυαστούν αποτελεσματικά σε χωρικό επίπεδο, δημιουργώντας έτσι τις αναγκαίες δομές και χωρικές συσχετίσεις για την ανάπτυξη μοντέλων επικινδυνότητας. Η ψηφιακή χαρτογράφηση ευφλεκτότητας της δασικής καύσιμης ύλης (όπως παρουσιάζεται στην εργασία των Καλαμποκίδη κ.α., 2004) μαζί με όλα τα σύγχρονα εργαλεία της γεωπληροφορικής θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αντιπυρικής προστασίας της χώρας μας, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, τόσο σε τοπική κλίμακα όσο και σε περιφερειακό επίπεδο.



Σχήμα 2.8: Τα μοντέλα καύσιμης ύλης που απαντώνται στη Λέσβο (Καλαμποκίδη κ.α., 2004)

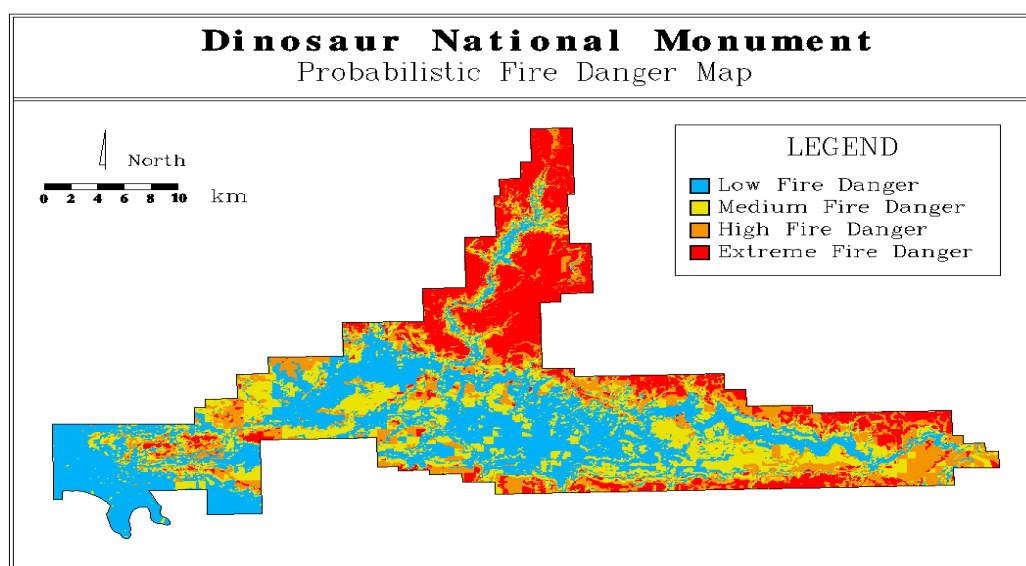


Σχήμα 2.9: Ευφλεκτότητα των μοντέλων καύσιμης ύλης που απαντώνται στη Λέσβο (Καλαμποκίδης κ.α., 2004)

Οι Καλαμποκίδης και Κούτσιας (2000) στην εργασία τους ανέπτυξαν ένα μοντέλο πιθανοτήτων εμφάνισης δασικών πυρκαγιών, με στόχο την εκτίμηση του βαθμού πυρο-επικινδυνότητας των γεωγραφικών μονάδων του χώρου που ορίζονται από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνιστώσες (**Σχήμα 2.10**). Η μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν το βαθμό επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών βασίστηκε στη γεωγραφική πολυμεταβλητή ανάλυση ιστορικών στατιστικών δεδομένων των πυρκαγιών και περιβαλλοντικών παραγόντων, με βάση το στατιστικό μοντέλο Λογιστικής Παλινδρόμησης. Η ανάλυση έγινε με στοιχεία από έναν Εθνικό Δρυμό του Κολοράντο των Η.Π.Α. (το Dinosaur National Monument) συνολικής έκτασης 850.000 στρεμμάτων, αλλά η όλη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα δημιουργίας του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών και της αντιπυρικής διαχείρισης παρουσιάζουν ερευνητικό και πρακτικό ενδιαφέρον για την εφαρμογή τους στην ορθολογική αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών στη χώρας μας.

Πραγματοποιήθηκε χρήση διάφορων περιβαλλοντικών συνισταμένων του χώρου, όπως τοπογραφία, μετεωρολογικά δεδομένα, κατηγορίες κάλυψης γης, αλλά και ανθρώπινων δραστηριοτήτων (συνολικά 11 ανεξάρτητες μεταβλητές). Επειδή το

αντικείμενο έρευνας ήταν η ανάπτυξη ενός λογιστικού μοντέλου ερμηνείας της χωρικής εμφάνισης πυρκαγιών, βάση ιστορικών παρατηρήσεων, η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν οι καμένες εκτάσεις. Στην εργασία αυτή, η προσέγγιση της λογιστικής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε ως η πλέον κατάλληλη για την ερμηνεία της εξαρτημένης μεταβλητής, η οποία επιδέχεται μόνο δύο τιμές (καμένο, μη καμένο). Αναπτύχθηκαν συνολικά 4 μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης για την ερμηνεία και εκτίμηση της εμφάνισης των πυρκαγιών στο Dinosaur National Monument, τα οποία συμπεριλαμβάνουν 11, 8, 6 και 3 ανεξάρτητες μεταβλητές. Σύμφωνα με τα συνολικά ποσοστά ακριβείας, τα οποία σημειώθηκαν πάνω από 65% και τα 4 μοντέλα παρουσίασαν ικανοποιητική απόδοση στην εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής.



Σχήμα 2.10: Χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας εμφάνισης και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών σε όλη την έκταση του εθνικού δρυμού (Καλαμποκίδης και Κούτσιας, 2000)

Οι Κούτσιας κ.α. (2005) χρησιμοποιώντας ως βασικό εργαλείο επεξεργασίας χωρικών δεδομένων τα Σ.Γ.Π. καθώς και μεθόδους χωρικής ανάλυσης, παρουσίασαν κάποιες βασικές αρχές στρατηγικού σχεδιασμού ζωνών επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών, με βάση ιστορικά στοιχεία. Θεώρησαν ότι τα σημεία έναρξης των δασικών πυρκαγιών δεν αποτελούν ακριβή χωρικά σημεία αλλά ασαφή, τα οποία προσδιορίζουν μια ευρύτερη περιοχή μέσα στην οποία βρίσκεται στην πραγματικότητα το σημείο έναρξης. Χρησιμοποίησαν τις συντεταγμένες των σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα κατά το χρονικό διάστημα 1985–1995 αλλά και τα έτη 1996 και 1997 που χρησιμοποιήθηκαν

για την αξιολόγηση αυτής της μεθοδολογικής προσέγγισης.

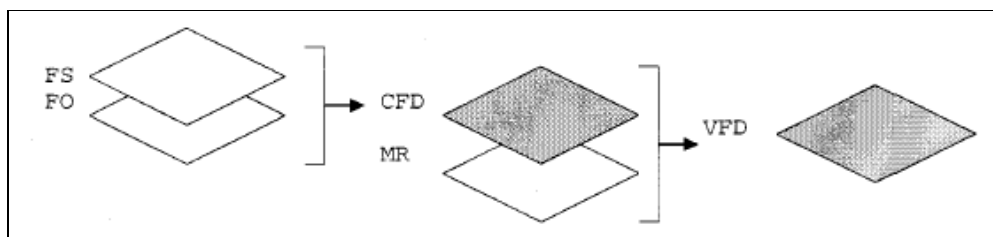
Αρχικά εκτίμησαν και απεικόνισαν την πυκνότητα όλων των σημείων με τη μέθοδο της παρεμβολής πυρήνα (Kernel) και συνδύασαν σε ένα επίπεδο τις εκτιμήσεις πυκνότητας των σημείων έναρξης με τα σημεία ελέγχου μέσω της υπέρθεσης των δύο γεωγραφικών επιπέδων. Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ζωνών επικινδυνότητας, με κριτήριο ταξινόμησης την ποσοστιαία κατανομή της έκτασης της περιοχής όπου εφαρμόστηκε. Στη συνέχεια, δημιούργησαν ένα διμεταβλητό πρότυπο για τον προσδιορισμό του χωρικού προτύπου εμφάνισης δασικών πυρκαγιών και περαιτέρω επεξήγησης πιθανών υποκείμενων αιτιών. Τα σημεία έναρξης πυρκαγιών τα έτη 1996 και 1997 χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του συστήματος ζωνοποίησης, στο οποίο η κάθε κατηγορία κινδύνου καταλαμβάνει το 25% της συνολικής έκτασης. Η αξιολόγηση, που έγινε με κριτήριο την επί της εκατό ποσοστιαία κατανομή των σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών σε κάθε κατηγορία κινδύνου, έδωσε πολύ θετικά αποτελέσματα, εφόσον το ποσοστό των εκτιμώμενων σημείων έναρξης ήταν σχεδόν το ίδιο με το πραγματικό ποσοστό για τις δύο πιο επικίνδυνες ζώνες.

Οι Gouma and Chronopoulou–Sereli (1998) επέλεξαν τον μετεωρολογικό κίνδυνο, την ευπάθεια της καύσιμης ύλης και την εμφάνιση της φωτιάς, για να χαρτογραφήσουν τον κίνδυνο φωτιάς και να δημιουργήσουν ζώνες επικινδυνότητας σταθερές και μεταβλητές. Η θερμοκρασία του αέρα έχει άμεση επίπτωση στην ενέργεια που απαιτείται για ανάφλεξη και η σχετική υγρασία επιδρά στην ξηραντική δύναμη του αέρα, άρα επηρεάζει την υγρασία της καύσιμης ύλης. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα, μειώνεται η σχετική υγρασία κάτι που συνεπάγεται υψηλά επίπεδα ξηρότητας στην καύσιμη ύλη. Στη μελέτη τους υποστηρίζουν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν προκαλούν άμεσα πυρκαγιά. Είναι όμως περισσότερο πιθανό κάποιος παράγοντας (άνθρωπος – κεραυνός) να οδηγήσει σε ανάφλεξη όταν συνδυάζονται υψηλές θερμοκρασίες με χαμηλή σχετική υγρασία.

Η περιγραφή των ζωνών επικινδυνότητας έγινε με την χρήση των χαρτών (θεματικά επίπεδα) του μετεωρολογικού κινδύνου, της ευπάθειας της καύσιμης ύλης και της εμφάνισης της φωτιάς, ακολουθώντας δύο προσεγγίσεις. Στη μία θεώρησαν ότι κάποια επίπεδα ήταν σημαντικότερα από τα άλλα και η ένωση των θεματικών επιπέδων έγινε ιεραρχικά ακολουθώντας τη σειρά εμφάνισης της φωτιάς, ευπάθειας της καύσιμης ύλης και μετεωρολογικού κινδύνου. Στη δεύτερη προσέγγιση (**Σχήμα 2.11**) τα επίπεδα ενσωματώθηκαν σε δύο βήματα. Στο πρώτο, από τον συνδυασμό

των επιπέδων «εμφάνιση της φωτιάς» και «ευπάθεια της καύσιμης ύλης» αποτυπώθηκαν οι σταθερές σε χρόνο και τόπο ζώνες. Στο δεύτερο βήμα, στο νέο επίπεδο που προέκυψε σε συνδυασμό με το επίπεδο του μετεωρολογικού κινδύνου αποτύπωσαν τις μεταβλητές ζώνες επικινδυνότητας. Αυτός ο τελευταίος χάρτης μεταβάλλεται σύμφωνα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες.

Ολοκληρώνοντας, επισημαίνουν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στοιχεία της τοπογραφίας, υπολογίζοντας την επίδρασή τους στην προσέγγιση των ζωνών.

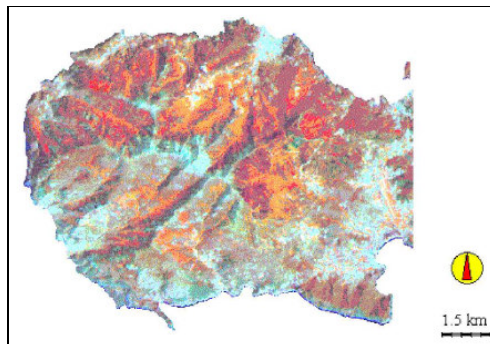


Σχήμα 2.11: Χαρτογράφηση σταθερού και μεταβαλλόμενου κινδύνου πυρκαγιάς (CFD, VFD) με συνδυασμό των επιπέδων του μετεωρολογικού κινδύνου (MR), της ευπάθειας της καύσιμης ύλης (FS) και της εμφάνισης της φωτιάς (FO) (Gouma and Chronopoulou–Sereli 1998)

Οι Maselli *et al.* (2000) θεωρούν ότι εφόσον οι συνθήκες για την εμφάνιση μίας πυρκαγιάς καθορίζονται κυρίως από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες (βλάστηση, εδαφικοί τύποι, τοπογραφία, μικροκλίμα), μπορεί να γίνει εκτίμηση του κινδύνου με τη σύνθεση των κατάλληλων θεματικών επιπέδων μέσα από ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Επίσης, δορυφορικά δεδομένα μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για αυτό το αντικείμενο, χάρη στη σχέση μεταξύ των προαναφερθέντων περιβαλλοντικών παραγόντων και του απαιτούμενου φασματικού σήματος (spectral signal acquired). Παλαιότερη έρευνα της ίδιας συγγραφικής ομάδας έδειξε ότι επιβλεπόμενοι και μη επιβλεπόμενοι φασματικοί δείκτες (spectral indices) σχετικοί με τον κίνδυνο φωτιάς μπορούν να προέλθουν από εικόνες του θεματικού χάρτη (Thematic Mapper – TM) του Landsat λαμβανόμενες στην περιοχή της Μεσογείου κατά την άνοιξη εποχή.

Μια πιο ντετερμινιστική προσέγγισή τους στηρίζεται σε επιβλεπόμενα ταξινομημένες εικόνες του TM και βοηθητικά δεδομένα από την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας. Το επιχείρημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι διάφοροι τύποι βλάστησης μπορεί να συνδέονται με διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας. Παρήγαγαν χάρτες επικινδυνότητας προσδίδοντας σε κάθε “τάξη” βλάστησης μία τιμή επικινδυνότητας, η οποία προήλθε από την υπάρχουσα βιβλιογραφία,

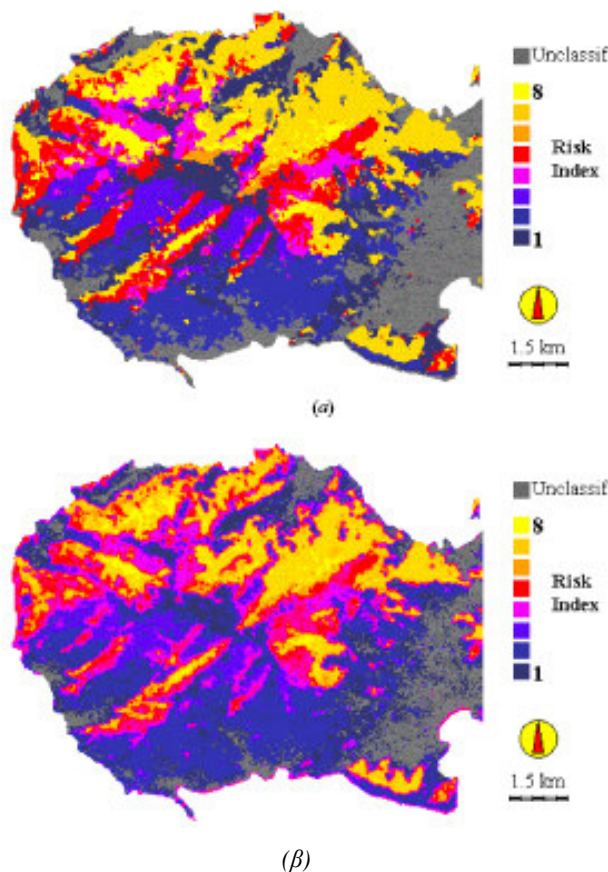
προσαρμοσμένη στις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Χρησιμοποίησαν ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM), έναν γεωλογικό χάρτη της περιοχής, πληροφορίες για την τοποθεσία και το μέγεθος παλαιότερων πυρκαγιών, αναφορές κάλυψης γης που προήλθαν από αεροφωτογραφίες και δύο scenes του TM του Landsat-5 (Σχήμα 2.12). Επιπλέον, χρησιμοποίησαν ως αναφορά τους τύπους βλάστησης που χρησιμοποιούνται στο BEHAVE και τους προσαρμόσαν στη Μεσογειακού τύπου βλάστηση.



Σχήμα 2.12: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης την άνοιξη ψευδοχρωματισμένη (RGB: 453) (Maselli *et al.* 2000)

Η αξιολόγηση των χαρτών επικινδυνότητας που προέκυψαν από ποσοτική και ποιοτική προσέγγιση (Σχήματα 2.13α και 2.13β) πραγματοποιήθηκε συγκρινόμενη με τη συχνότητα των πυρκαγιών που πραγματικά συνέβησαν στην περιοχή που μελετάται. Η σύγκλιση των εκτιμώμενων τιμών επικινδυνότητας και της συχνότητας των πυρκαγιών που συνέβησαν αξιολογήθηκε με αναλύσεις παλινδρόμησης και χαρακτηρίστηκε ως συντελεστής συσχέτισης.

Εν κατακλείδι, συμπεράναν πως η ποιοτική προσέγγιση επέφερε καλύτερα αποτελέσματα από την ποσοτική. Επίσης, κατέληξαν στο ότι ακριβείς ταξινομήσεις με διάφορους τύπους βλάστησης μπορούν να γίνουν μόνο με την ενιαία χρήση φασματικών και βοηθητικών δεδομένων. Και αυτό γιατί πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές τάξεις βλάστησης, η κατανομή των οποίων επηρεάζεται από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τέλος, αυτές οι ταξινομήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της επικινδυνότητας προσδίδοντας αντίστοιχες τιμές σε κάθε τάξη βλάστησης.



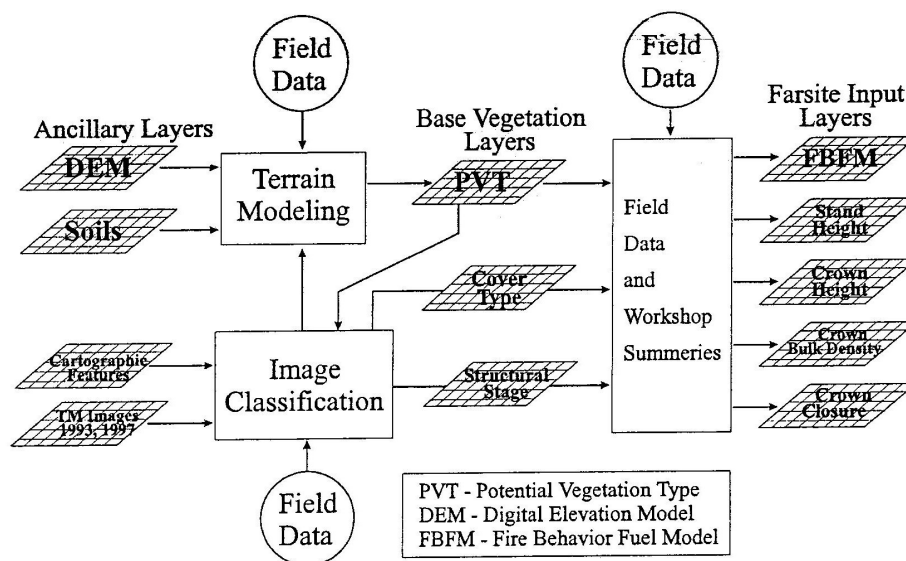
Σχήμα 2.13: Χάρτες επικινδυνότητας που προέκυψαν από (α) ποσοτική και (β) ποιοτική προσέγγιση (Maselli *et al.* 2000)

Στην εργασία των Falkowski *et al.* (2005) έγινε μία προσπάθεια να εκτιμηθεί η ακρίβεια και χρησιμότητα των εικόνων από το δορυφορικό αισθητήρα ASTER και τη βαθμιδωτή μοντελοποίηση¹ για τη χαρτογράφηση των επιπέδων της καύσιμης ύλης, με στόχο τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς με το FARSITE και το FLAMMAP. Χρησιμοποιήθηκαν εμπειρικά δεδομένα στηριζόμενα σε εργασία πεδίου και φασματική πληροφορία από μία εικόνα του ASTER για να ελεγχθεί η επάρκεια του ASTER για χαρτογράφηση και χαρακτηρισμό της συγκόμωσης (crown closure) και της πυκνότητας της συγκόμωσης (crown bulk density). Τα επιφανειακά μοντέλα καύσιμης ύλης χαρτογραφήθηκαν με γνώμονα μία κατηγοριοποίηση στηριζόμενη σε τρία βαθμιδωτά επίπεδα: δυνητικός τύπος βλάστησης (potential vegetation type), τύπος κάλυψης (cover type) και δομικό στάδιο (structural stage). Το τελικό θεματικό επίπεδο της καύσιμης ύλης είχε ακρίβεια 0,632.

¹ Η βαθμιδωτή μοντελοποίηση (gradient modeling) αναφέρεται στη χρήση περιβαλλοντικών βαθμίδων (gradient) (τοπογραφικές, βιογεωχημικές, βιοφυσικές και βλάστησης) για τη μοντελοποίηση της εμφάνισης φυσικών φαινομένων όπως οι τύποι βλάστησης ή κατανομή των τύπων εδάφους (Falkowski *et al.*, 2005).

Η χρήση εμπειρικών σχέσεων μεταξύ των δορυφορικών εικόνων του ASTER και των δεδομένων πεδίου αποδείχθηκε επιτυχής στην χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης της κόμης. Τα αποτελέσματα για τα εμπειρικά μοντέλα καύσιμης ύλης για την κόμη των φυτών υποδεικνύουν ότι δείκτες βλάστησης που περιλαμβάνουν ορατά μήκη κύματος είναι καταλληλότεροι για την εκτίμηση των διαφόρων χαρακτηριστικών της κόμης των φυτών.

Οι Keane *et al.* (2001) θεωρούν ότι οι χάρτες που απεικονίζουν τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης είναι απαραίτητοι στο σχεδιασμό της διαχείρισης πυρκαγιών σε πολλές κλίμακες, διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας και διακινδύνευσης για πυρκαγιά και την προσομοίωση της έντασης και ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς στο τοπίο. Είναι γενικά δύσκολο να δημιουργηθούν χάρτες καύσιμης ύλης, λόγω της παρεμπόδισης των δορυφόρων από την κόμη των δένδρων, τους περιορισμούς των προϊόντων της τηλεπισκόπησης, τη μεγάλη μεταβλητότητα της καύσιμης ύλης και τη δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης. Οι ίδιοι στην εργασία τους παρουσίασαν 4 προσεγγίσεις, με παραδείγματα από τη βιβλιογραφία, για τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης με 1) αναγνώριση πεδίου, 2) άμεσες μεθόδους χαρτογράφησης, 3) έμμεσες μεθόδους χαρτογράφησης και 4) μοντελοποίηση παραγόντων (gradient modeling). Παρόλα αυτά, καμία προσέγγιση δεν τους φάνηκε απόλυτα ακριβής και συνεπής. Έτσι, εισήγαγαν μία πιθανή στρατηγική χαρτογράφησης που χρησιμοποιεί σύγχρονη τεχνολογία τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας εικόνων. Ταξινόμησαν μοντέλα καύσιμης ύλης μετά από συνδυασμούς σε τρεις 'τάξεις' που περιγράφουν βιοφυσικές ιδιότητες, σύνθεση ειδών και κάθετη δομή συστάδας (vertical stand structure). Τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης μπορούν να τεθούν σε αντιστοιχία σε συνδυασμούς βιοφυσικών κατηγοριών και κατηγοριών βλάστησης για να παραχθούν αποτελεσματικοί και ευέλικτοι χάρτες για την πρόβλεψη πυρκαγιών (**Σχήμα 2.14**). Μελλοντικές τεχνολογίες για χαρτογράφηση καύσιμης ύλης οφείλουν να περικλείουν όλες τις προσεγγίσεις, ώστε να δημιουργούν περισσότερο χρήσιμους χάρτες.



Σχήμα 2.14: Προτεινόμενη μέθοδος για χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης χρησιμοποιώντας την πιθανή βλάστηση, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και μοντέλα καύσιμης ύλης για τη συμπεριφορά της φωτιάς (Keane *et al.*, 2001)

Οι Burgan *et al.* (1998) στην εργασία τους παρουσιάζουν έναν χάρτη μοντέλων καύσιμης ύλης με ανάλυση 1 km, που παράχθηκε με τη χρήση παλαιότερων χαρτών κάλυψης γης, οικοτόπων και εκτεταμένων δεδομένων πεδίου. Στη συνέχεια, ο χάρτης αυτός βελτιώθηκε με τη βοήθεια αναφορών από διαχειριστές πυρκαγιών εξειδικευμένους σε διαφορετικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Προσδοκούν ότι ο χάρτης μοντέλων καύσιμης ύλης θα χρησιμοποιηθεί στην επόμενη γενιά συστημάτων εκτίμησης δασικών πυρκαγιών στις Ηνωμένες Πολιτείες, καθώς επίσης θα κάνει δυνατή και την άμεση εξέλιξη ενός χάρτη του δείκτη πιθανών πυρκαγιών, βασισμένο σε δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα πεδίου.

Ο δείκτης πιθανής πυρκαγιάς (The Fire Potential Index, FPI) αναπτύχθηκε για να ενσωματώσει δεδομένα πεδίου και δορυφορικά σε έναν δείκτη, που συσχετίζεται πολύ καλά με την εμφάνιση φωτιάς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα χάρτη πιθανών πυρκαγιών από τοπική ως εθνική κλίμακα, με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Οι υποθέσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη δημιουργία αυτού του μοντέλου είναι οι εξής: α) μία ενδεχόμενη πυρκαγιά μπορεί να εκτιμηθεί αν καθοριστεί η αναλογία της ζωντανής καύσιμης ύλης και είναι γνωστό πόσο κοντά βρίσκεται η περιεχόμενη υγρασία της νεκρής καύσιμης ύλης με την υγρασία σβησίματος β) το πόσο πράσινη (greenness) είναι η βλάστηση παρέχει μία χρήσιμη παραμετροποίηση της ποσότητας της υψηλής περιεχόμενης υγρασίας της ζωντανής βλάστησης γ) η υγρασία της καύσιμης ύλης των 10 ωρών χρησιμοποιείται

για την απεικόνιση της νεκρής καύσιμης ύλης, καθώς η περιεχόμενη υγρασία της νεκρής καύσιμης ύλης είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό της διάδοσης της πυρκαγιάς και δ) ο άνεμος δεν περιλαμβάνεται επειδή είναι φαινόμενο παροδικό.

Ο δείκτης FPI πιθανολογείται πως σχετίζεται αρκετά με την εμφάνιση πυρκαγιάς και προσαρμόζεται στην απεικόνιση πιθανών πυρκαγιών σε μεγάλες και σε μικρότερες περιοχές. Απαιτεί αρκετά ιστορικά στοιχεία για την ανάπτυξη των στατιστικών σχέσεων που μπορούν να δώσουν την πιθανότητα της φωτιάς, μέσω μίας συγκεκριμένης τιμής του δείκτη. Η χρήση του δείκτη αυτού απαιτεί χάρτη των μοντέλων της καύσιμης ύλης, χάρτη της μέγιστης αναλογίας της ζωντανής βλάστησης, πρόσβαση σε πρόσφατους χάρτες Relative Greenness (σχετικής πρασινάδας) όπως έχει υπολογιστεί από δεδομένα AVHRR/NDVI, και ένα αρκετά πυκνό δίκτυο υδρομετρικών σταθμών. Η υγρασία της καύσιμης ύλης των 10 ωρών μπορεί να υπολογιστεί από τα δεδομένα των υδρομετρικών σταθμών και να γίνει παρεμβολή για όλη την περιοχή. Τα αποτελέσματα του δείκτη σε δοκιμές στην Καλιφόρνια και τη Νεβάδα δείχνουν ότι μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση των πυρκαγιών και σε άλλες χώρες. Αυτό ίσως διαπιστωθεί από μελλοντικές δοκιμές σε Μεσογειακά οικοσυστήματα της Ισπανίας, της Χιλής, της Αργεντινής και του Μεξικού.

Οι Hall and Burke (2006) ασχολήθηκαν με τον χαρακτηρισμό της καύσιμης ύλης σαν στοιχεία εισροής για μοντέλα συμπεριφοράς της φωτιάς. Τους απασχόλησαν κυρίως επικόρυφες πυρκαγιές όπου τα δεδομένα που απαιτούνται για την πρόβλεψη του κινδύνου επικόρυφων πυρκαγιών περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, όχι μόνο της κόμης, αλλά και της εδαφικής. Επειδή αυτές οι μεταβλητές είναι δύσκολο να μετρηθούν, η καύσιμη ύλη της επιφάνειας κατηγοριοποιείται σε πρότυπα μοντέλα και υπολογίζονται οι μεταβλητές της καύσιμης ύλης της κόμης (ύψος, πυκνότητα) βασισμένες σε υποθέσεις. Υπολόγισαν ένα εύρος τιμών αυτών των χαρακτηριστικών για 14 συστάδες *Pinus ponderosa* στο Κολοράντο των Η.Π.Α., διαφοροποιώντας τις υποθέσεις στους υπολογισμούς. Χρησιμοποίησαν το NEXUS, ένα μοντέλο διάδοσης για να προβλέψουν τον κίνδυνο για φωτιά στις 14 περιοχές χρησιμοποιώντας τις τιμές των χαρακτηριστικών της κόμης, και 4 μοντέλα καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ορεινά δάση. Το NEXUS προέβλεψε ότι απαιτούνται περισσότερο ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες για να μετατραπεί μία πυρκαγιά από έρπουσα σε επικόρυφη, από ότι για να διαδοθεί αποτελεσματικά μία πυρκαγιά, αφού έχει φθάσει στις κόμης των δέντρων. Η συμφωνία μεταξύ των

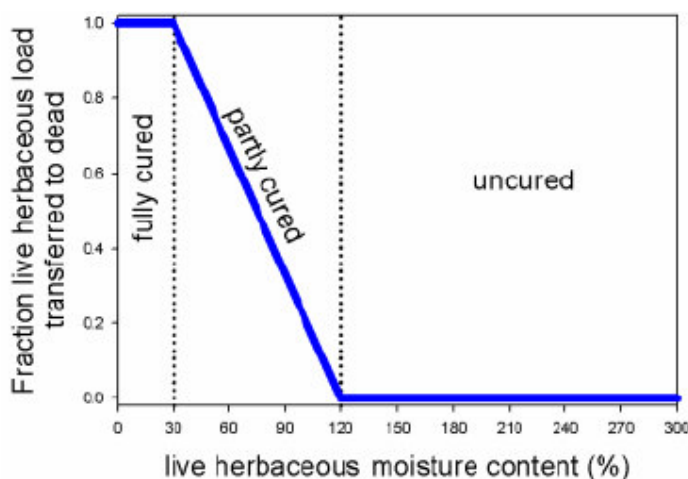
αποτελεσμάτων από το NEXUS και της σφοδρότητας της καύσης ήταν γενικά πολύ ισχυρή. Στις περιπτώσεις που ήταν μικρότερου βαθμού, οι διαφορές μπορεί να αποδοθούν σε διαφοροποιήσεις των καιρικών συνθηκών ή στη δυσκολία να ποσοτικοποιήσουν την κλιμακωτή καύσιμη ύλη. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι χρειάζεται να εκτιμώνται πολύ προσεκτικά τα μοντέλα της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούνται σε μοντέλα προσομοίωσης και πρόβλεψης, για να ενισχύονται τα αποτελέσματα. Επιπλέον, προτείνουν το προδιαγεγραμμένο κάψιμο σαν κατάλληλη μέθοδο μείωσης της καύσιμης ύλης (Hall and Burke, 2006).

Οι Scott and Burgan (2005) παρουσίασαν ένα ολοκληρωμένο σύνολο πρότυπων μοντέλων καύσιμης ύλης για συμπεριφορά της φωτιάς για να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο διάδοσης επιφανειακών πυρκαγιών του Rothermel (1972). Στην εργασία τους περιγράφονται τα χαρακτηριστικά κάθε μοντέλου, η εξέλιξη αυτού του συνόλου και η σχέση του με τα 13 αυθεντικά μοντέλα καύσιμης ύλης της συμπεριφοράς της φωτιάς του Albin (1976) (Andrews, 1986). Παρά το γεγονός ότι ένα μοντέλο καύσιμης ύλης τεχνικά περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία εισαγωγής, για το μοντέλο του Rothermel αρκετά από αυτά τα στοιχεία δεν έχουν ελεγχθεί από τους χρήστες όταν δημιουργούν ένα προσαρμοσμένο μοντέλο. Επίσης, διαπίστωσαν την ανάγκη για δημιουργία νέων μοντέλων καύσιμης ύλης για να α) βελτιωθεί η ακρίβεια των προβλέψεων της συμπεριφοράς της φωτιάς και εκτός της ξηροθερμικής περιόδου, β) αυξηθεί ο αριθμός των μοντέλων καύσιμης ύλης που θα προσαρμόζονται σε περιοχές με υψηλή υγρασία, γ) αυξηθεί ο αριθμός των μοντέλων για το επιφανειακό στρώμα φύλλων και κλαδιών με υπόροφο με ποώδη φυτά και θάμνους στα δάση, και δ) αυξηθεί η ικανότητα προσομοίωσης αλλαγών της συμπεριφοράς της φωτιάς, ως αποτέλεσμα της συμπεριφοράς της καύσιμης ύλης, προσφέροντας έτσι περισσότερες επιλογές μοντέλων καύσιμης ύλης.

Οι Scott and Burgan διαθέτουν έναν οδηγό επιλογής μοντέλου, αναλυτική περιγραφή και φωτογραφίες του καθενός, ώστε να βοηθήσουν στη χρήση των καινούργιων αυτών μοντέλων. Τονίζουν επιπλέον ότι το σύνολο των μοντέλων αυτών δημιουργήθηκε για την προσομοίωση της συμπεριφοράς επιφανειακών πυρκαγιών στο μέτωπο της φωτιάς και όχι σε τυχόν αναζωπυρώσεις, που ενδέχεται να υπάρξουν μετά το πέρασμα της πυρκαγιάς.

Στο σύνολο τους τα μοντέλα που περιέχουν ζωντανή χορτολιβαδική (herbaceous) βλάστηση είναι “δυναμικά”, με την έννοια ότι το χορτολιβαδικό τους φορτίο εναλλάσσεται μεταξύ νεκρού και ζωντανού, εξαρτώμενο από το συγκεκριμένο ποσό

της περιεχόμενης υγρασίας. Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2.15**, αν η περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης είναι ίση ή περισσότερη από 120%, η χορτολιβαδική καύσιμη ύλη είναι πράσινη και όλο το φορτίο της παραμένει στην κατηγορία ‘ζωντανή’ για τη δεδομένη περιεχόμενη υγρασία. Αν η περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης είναι ίση ή μικρότερη από 30%, τότε η χορτολιβαδική καύσιμη ύλη θεωρείται εντελώς ξηρή και όλο το φορτίο της μεταφέρεται στη νεκρή βλάστηση. Αν η περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης κυμαίνεται μεταξύ 30% και 120%, τότε ένα μέρος του φορτίου μεταφέρεται στην κατηγορία ‘νεκρή’.



Σχήμα 2.15: Γραφική αναπαράσταση της εξέλιξης των δυναμικών μοντέλων (Scott and Burgan, 2005)

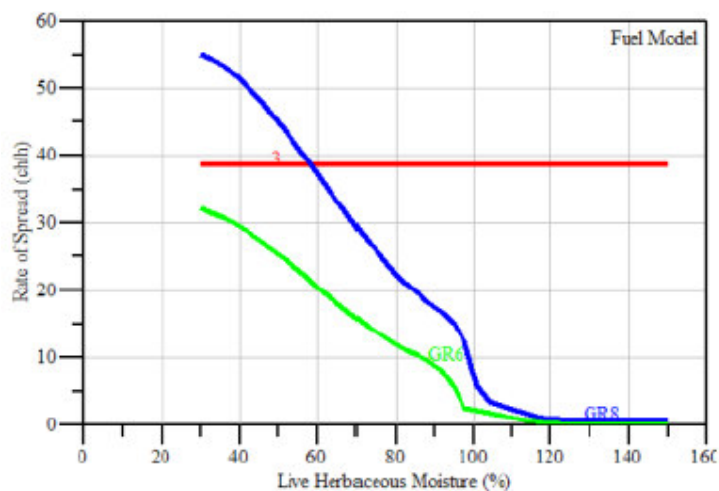
Όταν αξιολογούνται δυναμικά μοντέλα, σε εκείνο που πρέπει να δίνεται προσοχή είναι ότι η περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά της φωτιάς, επειδή το φορτίο της αλλάζει μεταξύ ζωντανού και νεκρού και η νεκρή καύσιμη ύλη περιέχει πολύ λιγότερη υγρασία από ότι η ζωντανή. Συχνά είναι προτιμότερο να εκτιμάται η περιεχόμενη υγρασία της χορτολιβαδικής βλάστησης δουλεύοντας αντίστροφα, εκτιμώντας δηλαδή πρώτα το βαθμό της ξηρής χορτολιβαδικής (**Πίνακας 2.2**). Για παράδειγμα, αν παρατηρείται ότι το 50% της καύσιμης ύλης είναι ξηρό, χρησιμοποιείται μία τιμή της τάξης του 75% για την περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης.

Κανένα από τα 13 αυθεντικά μοντέλα δεν είναι δυναμικό. Για το λόγο αυτό, άμεση σύγκριση μεταξύ των καινούργιων και των παλαιών μοντέλων είναι δυνατή αν η περιεχόμενη υγρασία της χορτολιβαδικής βλάστησης είναι ίση ή μικρότερη από 30%. Για παράδειγμα, τα μοντέλα GR6 και GR8 είναι παρόμοια με το αυθεντικό

μοντέλο 3, αλλά η συμπεριφορά τους πάνω από ένα εύρος περιεχόμενης υγρασίας είναι διαφορετική (**Σχήμα 2.16**). Το μοντέλο 3 δεν περιέχει ζωντανή χορτολιβαδική βλάστηση, για αυτό η συμπεριφορά της φωτιάς δεν μεταβάλλεται. Τα μοντέλα GR6 και GR8 είναι δυναμικά, για αυτό η ταχύτητα διάδοσης αυξάνεται σημαντικά στα χαμηλά επίπεδα της περιεχόμενης υγρασίας.

Πίνακας 2.2: Επίπεδα περιεχόμενης υγρασίας, ξερής έναντι ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης (Scott and Burgan, 2005)

Βαθμός Ξηρασίας		Περιεχόμενη υγρασία ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης
πράσινη	0%	120% ή περισσότερο
1 τέταρτο	25%	98%
1 τρίτο	33%	90%
μισό	50%	75%
2 τρίτα	66%	60%
3 τέταρτα	75%	53%
εντελώς ξηρή	100%	30% ή λιγότερο



Σχήμα 2.16: Σύγκριση της ταχύτητα διάδοσης μεταξύ των δυναμικών μοντέλων GR6 και GR8 και του στατικού μοντέλου 3 (Scott and Burgan, 2005)

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή η οποία μελετάται είναι το νησί της Λέσβου (Χάρτης 3.1), που βρίσκεται στο βορειοανατολικό Αιγαίο, κοντά στις Μικρασιατικές ακτές και απέναντι από τον Αδραμυτικό κόλπο. Περικλείεται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες $25,83^{\circ}$ γ.μ και $38,95^{\circ}$ γ.π έως $26,62^{\circ}$ γ.μ. και $39,40^{\circ}$ γ.π. Έχει έκταση 1636 km^2 , με μήκος ακτογραμμής 370 km και είναι το τρίτο σε έκταση νησί της Ελλάδας μετά την Κρήτη και την Εύβοια. Έχει πληθυσμό 90.634 κατοίκους (απογραφή 2001) και διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου και στο Νομό Λέσβου.



Χάρτης 3.1: Νήσος Λέσβος

Περιμετρικά του νησιού σχηματίζεται πλήθος όρμων και ακρωτηρίων, ενώ ξεχωρίζουν οι κόλποι της Καλλονής και της Γέρας στο νότιο μέρος. Το νησί παρουσιάζει πλούσιο ανάγλυφο και ποικιλία γεωμορφολογικών σχηματισμών. Τα ψηλότερα βουνά του είναι ο Λεπέτυμνος (968 m) στα βόρεια του νησιού, ο Όλυμπος (967 m) νοτιοανατολικά και το Ψηλοκούδουνο (914 m) νότια. Δεν υπάρχουν ιδιαίτερα εκτεταμένες πεδιάδες, ενώ οι πιο σημαντικές από άποψη έκτασης και παραγωγικότητας είναι εκείνες των Καλλονής, Ιππείου, Περάματος και Ερεσού. Τέλος, υπάρχουν αρκετοί χειμάρροι, οι οποίοι κατά την κρίσιμη ξηροθερμική περίοδο ξηραίνονται.

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

3.1.1 Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής είναι τυπικό μεσογειακό με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους βροχερούς χειμώνες. Καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια, ενώ για τις βροχοπτώσεις καταγράφεται μέγιστο ύψος το Δεκέμβριο και ελάχιστο τον Ιούλιο. Η ξηροθερμική περίοδος έχει ως αφετηρία το Μάιο και ολοκληρώνεται τον Οκτώβριο. Λόγω της θέσης του νησιού στην Ανατολική Μεσόγειο, η περίοδος αυτή ενισχύεται με την επικράτηση των βορειοανατολικών ανέμων (μελτέμια) κατά τη θερινή περίοδο και αυτό συνεπάγεται σχετικά δροσερό καλοκαίρι. Το φαινόμενο των χιονοπτώσεων, με εξαίρεση τα ορεινά, είναι σπάνιο.

3.1.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί περιγράφονται με βάση το Γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας, όπως συντάχτηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών για το νησί της Λέσβου (έξι φύλλα, κλίμακας 1:50.000). Έτσι, οι κατηγορίες μητρικού υλικού που υπάρχουν κυρίως στο νησί είναι οι εξής:

1. Τεταρτογενείς αποθέσεις – Αλούβια (al)
2. Ηφαιστειακοί σχηματισμοί, κυρίως ανδεσιτικές λάβες (p2) Κ. Μειόκαινο
3. Ηφαιστειακοί σχηματισμοί, κυρίως ιγνιμβρίτες (r2) και πυροκλαστικά Κ. Μειόκαινο
4. Νεογενή Ιζήματα
5. Οφειόλιθοι
6. Αμφιβολίτες και ημιμεταμορφωμένα ιζήματα (sh)
7. Σχιστόλιθοι και Ασβεστόλιθοι Περμο – Τριαδικό (rt)
8. Σχιστόλιθοι και Μάρμαρα (pz) Ανωτ. Παλαιοζωικό
9. Σχιστόλιθοι φυλίτες μάρμαρα (h) Λιθανθρακοφόρο

3.1.3 Βλάστηση – Φυτοκοινωνιολογική διάπλαση

Στον Ελλαδικό χώρο, διαμορφώνονται κυρίως πέντε ζώνες βλάστησης (Αθανασιάδης, 1984). Τα όρια των ζωνών αυτών πολλές φορές συγχέονται μεταξύ τους. Η γλωρίδα, το κλίμα, η ορογραφική διαμόρφωση, η γεωλογική – πετρογραφική σύνθεση και η ιστορία αλληλεπιδρούν στη διαμόρφωσή τους και κατατάσσονται ως ακολούθως:

- Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia ilicis*): παραλιακή, λοφώδης και υποορεινή περιοχή
- Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia pubescens*): λοφώδης, υποορεινή περιοχή
- Ζώνη δασών οξιάς – ελάτης και ορεινών παραμεσόγειων κωνοφόρων (*Fagetalia*):

ορεινή υποαλπική περιοχή

- Ζώνη ψυχροβίων κωνοφόρων (Vaccinio – Picetalia): ορεινή υποαλπική περιοχή
- Εξωδασική ζώνη υψηλών ορέων (Astragalo – Acantholimonetalia)

Στη Λέσβο διακρίνονται η Ευμεσογειακή και η Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης, οι οποίες αναλύονται ως εξής:

Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης (Quercetalia ilicis): παραλιακή, λοφώδης και υποορεινή περιοχή: Στη ζώνη αυτή διακρίνονται δύο υποζώνες οι οποίες εμφανίζονται στο νησί, η Oleo – Ceratonion και η Quercion – Ilicis..

Η υποζώνη Oleo – Ceratonion, που είναι εκείνη της ελιάς, αναλύεται με τη σειρά της σε δύο αυξητικούς χώρους, στον κατώτερο θερμότερο, τον Oleo – Ceratonietum και στον σχετικά ψυχρότερο, τον Oleo – Lentiscum. Στον αυξητικό χώρο του Oleo – Ceratonietum απαντώνται ενώσεις φρυγάνων με ακανθώδεις ημίθαμνους, όπως *Poterium spinosum*, *Genista acanthoclanda*, *Euphorbia acanthothamnus* κ.α., καθώς και διάφορα χειλανθή (Lamiaceae). Στη συνέχεια των φρυγανικών ενώσεων, σε σχετικά ψυχρότερες περιοχές όπου εμφανίζεται ο αυξητικός χώρος Oleo – Lentiscum κυριαρχούν τα *Olea europaea var. silvestris* (αγριελιά), *Pistacia lentiscus*, *Erica manipuliflora*, *Myrtus communis*, *Quercus coccifera*. Από γεωργικής άποψης κυριαρχεί η καλλιέργεια της ελιάς.

Η υποζώνη Quercion – ilicis που είναι η ζώνη της αριάς μπορεί να διακριθεί σε δύο αυξητικούς χώρους, στον Adrachno – Quercetum ilicis και τον Orno - Quercetum ilicis. Στο νησί εμφανίζεται μόνο ο αυξητικός χώρος Orno - Quercetum ilicis, στον οποίο σε κατά τόπους σημεία παρατηρούνται ενώσεις *Erica manipuliflora* και *Erica arborea* (ράχες και νότιες εκθέσεις κλιτύων), ενώ σε σχετικά καλύτερες οικολογικά θέσεις κυριαρχούν τα *Arbutus unedo*, *Calycotome villosa*, *Spartium junceum* κ.α. Στην υποζώνη αυτή εμφανίζεται η άριστη μορφή ανάπτυξης της Τραχείας Πεύκης (*Pinus brutia*) και η καλλιέργεια της ελιάς βρίσκεται στα ψυχροόριά της.

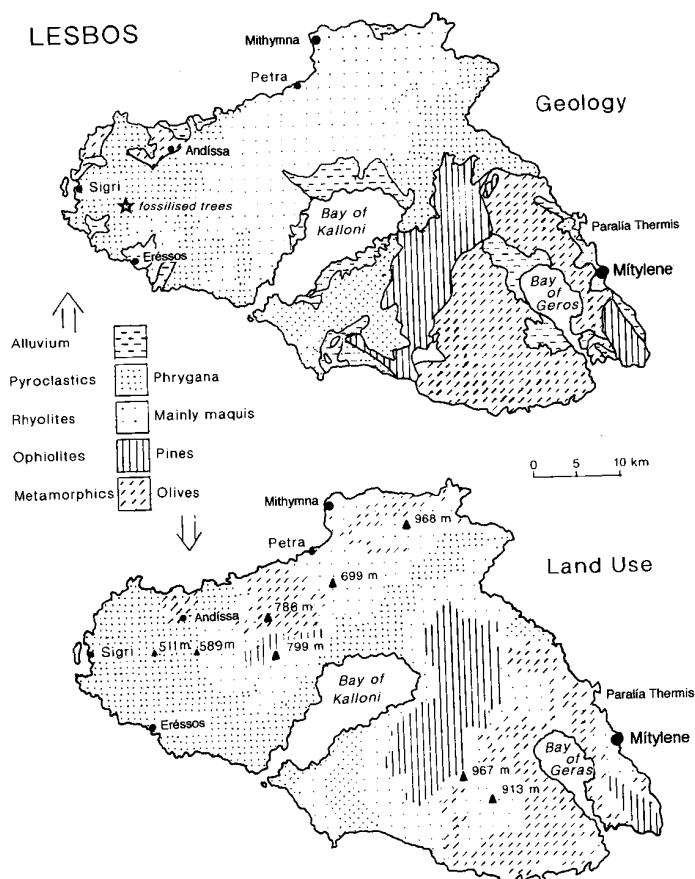
Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (Quercetalia pubescensis): λοφώδης, υποορεινή περιοχή: Στη ζώνη αυτή το κλίμα γίνεται ψυχρότερο, διότι οι θερμοκρασίες το χειμώνα κατεβαίνουν συχνά κάτω από το μηδέν. Χαρακτηριστικά είδη της ζώνης αυτής είναι τα *Quercus coccifera*, *Pistacia terebinthus*, *Quercus pubescens*, *Quercus cerris* κ.α.

Τέλος, οφείλει να αναφερθεί ότι η Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*) δεν ανήκει σε καμία από τις δύο παραπάνω ζώνες βλάστησης, αλλά σύμφωνα με την κατάταξη του Ντάφη (1986) ανήκει στη **ζώνη των ορεινών παραμεσόγειων κωνοφόρων**.

Καταλαμβάνει έκταση 200 περίπου ha, εμφανίζεται στα ψυχροόρια της Τραχείας Πεύκης από υψόμετρο 600 m περίπου, αρχικά σε μίξη με την Τραχεία και πιο ψηλά σχεδόν επικρατεί (Ψηλοκούδουνο, Προφήτης Ηλίας, Παράκοιλα, Ρούτφας).

Στην παραπάνω ανάλυση των φυτοκοινωνικών διαπλάσεων θα πρέπει να τονιστεί η δυσκολία σαφούς διαχωρισμού τους. Η παρουσία της πρώτης ζώνης είναι έντονη, ως αποτέλεσμα της επίδρασης της ιδιαίτερης γεωλογίας της περιοχής, της ιστορίας της και της έντονης ανθρωπογενούς επίδρασης μέσω της υπερβόσκησης.

Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί ότι το κύριο χαρακτηριστικό της δασικής βλάστησης της Λέσβου είναι η στενή συσχέτιση των διαφόρων τύπων βλάστησης με τη γεωλογική δομή του νησιού, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.1** (Grove and Rackham, 2003). Οι κατηγορίες του γεωλογικού υποβάθρου της Λέσβου και η φυσιогνωμία της βλάστησης που επικρατεί ανά κατηγορία αναλύονται παρακάτω.



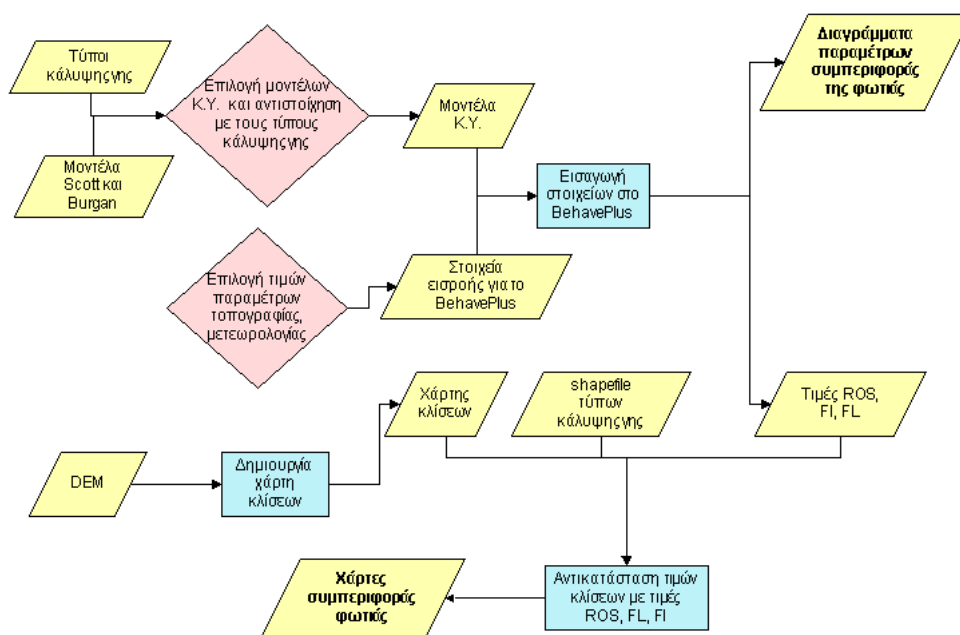
Σχήμα 3.1: Χάρτης βλάστησης της Λέσβου (βασισμένος σε δορυφορική εικόνα) σε σύγκριση με έναν απλοποιημένο γεωλογικό χάρτη (Grove and Rackham, 2003)

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα, που αποτελούν τα μάρμαρα και οι σχιστόλιθοι, απαντώνται κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού. Στα πετρώματα αυτά έχει αναπτυχθεί κυρίως η καλλιέργεια της ελιάς. Στη χερσόνησο της Αμαλής και δυτικά του όρους Ολύμπου εντοπίζονται οφειολιθικά πετρώματα, όπου αναπτύσσονται συστάδες Τραχείας Πεύκης. Οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί διακρίνονται στις ηφαιστειακές λάβες και τους ηφαιστειακούς τόφφους. Οι ηφαιστειακές λάβες καταλαμβάνουν το κέντρο του νησιού, δυτικά και περιφερειακά του κόλπου της Καλλονής. Πάνω στις ηφαιστειακές λάβες απαντώνται υποβαθμισμένα δρυοδάση με κυρίαρχο είδος τη Χνοώδη Δρυ (*Quercus pubescens*). Υπάρχουν επίσης συστάδες Τραχείας Πεύκης με φρυγανώδη υπόροφο από *Sarcopoterium spinosum* και *Centaurea spinosa*. Οι ηφαιστειακοί τόφφοι καταλαμβάνουν το δυτικό και βορειοδυτικό μέρος του νησιού, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής του απολιθωμένου δάσους. Η βλάστηση που κυριαρχεί στην περιοχή αυτή είναι τα φρύγανα με κύρια είδη τα *Sarcopoterium spinosum* και *Centaurea spinosa* (Αραβανόπουλος και Πανέτσος, 1996). Στα αλλουβιακά εδάφη (περιοχές Καλλονής, Γέρας, Βασιλικών, Λισβορίου, Μεσότοπου, Άντισσας) υπάρχουν κυρίως γεωργικές καλλιέργειες.

Κατά μήκος των ρεμάτων, όπου οι οικολογικές συνθήκες αλλάζουν εξαιτίας της ύπαρξης του νερού, συναντώνται είδη όπως ο Πλάτανος (*Platanus orientalis*), η Φτελιά, (*Ulmus campestris*), η Δάφνη (*Laurus nobilis*), η Ιτιά (*Salix alba*), η Λυγαριά (*Vitex agnus castus*), η Πικροδάφνη (*Nerium oleander*) κ.ά.

3.2 Διάγραμμα ροής εργασιών

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής παρουσιάζονται τα βασικά βήματα που ακολουθήθηκαν για την πραγματοποίηση του τεχνικού μέρους αυτής της εργασίας.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής εργασιών

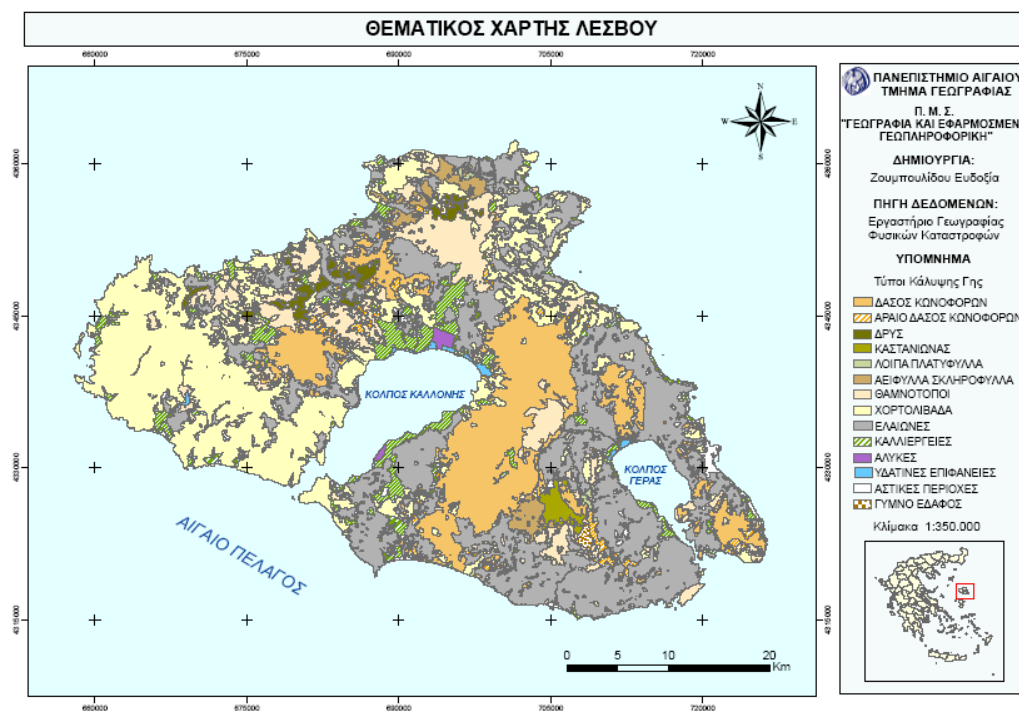
Από τους τύπους κάλυψης γης και τα μοντέλα καύσιμης ύλης των Scott and Burgan (2005) επιλέχθηκαν τα μοντέλα που αντιπροσωπεύουν καλύτερα την καύσιμη ύλη για κάθε τύπο βλάστησης. Παράλληλα, επιλέχθηκαν οι τιμές όλων των μετεωρολογικών και τοπογραφικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν σαν στοιχεία εισαγωγής για το BehavePlus3, πρόγραμμα μοντελοποίησης της καύσιμης ύλης και πρόβλεψης της συμπεριφοράς της φωτιάς. Έπειτα, τα επιλεγμένα μοντέλα μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία εισήχθησαν στο BehavePlus3 και από την επεξεργασία τους προέκυψαν οι τιμές για την ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς, το μήκος της φλόγας και τη θερμική ένταση του μετώπου. Παράχθηκαν επίσης και διαγράμματα των παραμέτρων της συμπεριφοράς της φωτιάς ανάλογα με την κλίση του εδάφους και την ταχύτητα του ανέμου.

Το επόμενο βήμα ήταν η διαδικασία της χαρτογράφησης. Από το Ψηφιακό Μοντέλο του Εδάφους δημιουργήθηκε ο χάρτης των κλίσεων του νησιού. Στη συνέχεια, σε συνδυασμό με το αρχείο των τύπων κάλυψης γης και τις τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν από το BehavePlus3, αντικαταστάθηκαν οι τιμές των κλίσεων με τις τιμές των τριών παραμέτρων. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι χάρτες που απεικονίζουν τις παραμέτρους της συμπεριφοράς της φωτιάς.

3.3 Δεδομένα

Όσο πιο ακριβή είναι τα στοιχεία που εισάγονται σε ένα μοντέλο, τόσο περισσότερο μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος που περιέχεται στο μοντέλο πρόβλεψης (Hall and Burke, 2006). Για τη δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που παραχωρήθηκαν από το εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών και έχουν προέλθει από επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας QuickBird για το νησί της Λέσβου. Για τη δημιουργία της εικόνας του μωσαϊκού χρησιμοποιήθηκαν τουλάχιστον 15 διαφορετικά σκηνικά με περίοδο λήψης το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 2002 και του 2003. Οι περιοχές που καλύπτονταν από νέφη αντικαταστάθηκαν από εικόνα Landsat ETM με ανάλυση 15 μέτρα και ημερομηνία λήψης 07/06/2000. Ως προβολικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε το ΕΓΣΑ '87 που χρησιμοποιεί για περιγραφή της γήινης επιφάνειας το Ελλειψοειδές εκ Περιestroφής GRS-80.

Από την εικόνα αυτή με ψηφιοποίηση προέκυψε ο θεματικός χάρτης 14 τάξεων (Χάρτης 3.2), οι οποίες είναι οι εξής: 1. Δάσος κωνοφόρων, 2. Αραιό δάσος κωνοφόρων, 3. Δρυς, 4. Καστανιώνας, 5. Λοιπά πλατύφυλλα, 6. Αειφύλλα σκληρόφυλλα, 7. Θαμνότοποι, 8. Χορτολίβαδα, 9. Ελαιώνες, 10. Καλλιέργειες, 11. Αλυκές, 12. Υδάτινες επιφάνειες, 13. Αστικές περιοχές, 14. Γυμνό έδαφος.



Χάρτης 3.2: Θεματικός χάρτης Λέσβου

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) με ανάλυση 30 m, και με ψηφιοποιημένα αρχεία (shape file) την ακτογραμμή του νησιού, τους 14 τύπους κάλυψης γης, τους οικισμούς και το οδικό δίκτυο του νησιού, κατηγοριοποιημένο σε κύριο, δευτερεύον και αγροτικό. Το προβολικό σύστημα των αρχείων είναι το ΕΓΣΑ '87.

3.4 Παραδοχές – Συνθήκες

Στην παρούσα εργασία, αντί για τα 13 αυθεντικά μοντέλα του Albini (1976) χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα των Scott and Burgan (2005). Κάθε ένας τύπος κάλυψης γης ήρθε σε αντιστοιχία με κάποιο από τα 40 μοντέλα. Αυτό έγινε με βάση τη βλάστηση που κυριαρχεί σε κάθε μοντέλο (κωνοφόρα, πλατύφυλλα, θάμνοι, χορτολίβαδα), αλλά και κάποια χαρακτηριστικά των μοντέλων, όπως το συνολικό φορτίο, ο λόγος επιφάνεια προς όγκο, η υγρασία σβησίματος κλπ. Παρακάτω, παρατίθεται η αντιστοίχιση και μία σύντομη περιγραφή των μοντέλων, όπως τη δίνουν οι Scott and Burgan (2005). Στο **Χάρτη 3.3** απεικονίζονται αυτά τα μοντέλα για το νησί της Λέσβου.

1. Δάσος κωνοφόρων – Μοντέλο TU5: Θάμνοι και δένδρα ξηρού κλίματος, πολύ υψηλού φορτίου. Ο κύριος φορέας της φωτιάς στο μοντέλο TU5 είναι μεγάλου μεγέθους δασικός ξηροτάπητας με υπόροφο θαμνών ή δενδρυλλίων. Η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς είναι μέτρια όπως και το μήκος της φλόγας.



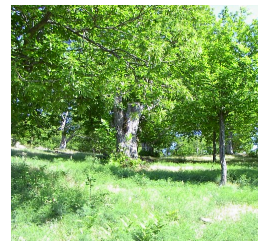
2. Αραιό δάσος κωνοφόρων – Μοντέλο TU4: Νανοφυές ή καχεκτικό δάσος κωνοφόρων με υπόροφο. Ο πρωταρχικός φορέας της φωτιάς σε αυτό το μοντέλο είναι κοντά κωνοφόρα δέντρα με υπόροφο. Η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς είναι μέτρια όπως και το μήκος της φλόγας.



3. Δρυς και 5. Λοιπά πλατύφυλλα – Μοντέλο TL6: Ξηροτάπητας πλατύφυλλων μέτριου φορτίου. Ο κύριος φορέας της φωτιάς στο μοντέλο TL6 είναι μέτριου φορτίου ξηροτάπητας πλατύφυλλων ειδών, λιγότερο συμπαγής από το μοντέλο TL2. Η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς είναι μέτρια και το μήκος της φλόγας χαμηλό.



4. Καστανιώνας – Μοντέλο TL2: Ξηροτάπητας πλατύφυλλων χαμηλού φορτίου. Ο βασικός φορέας της φωτιάς εδώ είναι ξηροτάπητας πλατύφυλλων δένδρων. Έχουμε χαμηλό φορτίο, σχετικά συμπαγών υπολειμμάτων. Η ταχύτητα διάδοσης και το μήκος φλόγας είναι πολύ χαμηλά.



6. Αείφυλλα σκληρόφυλλα – Μοντέλο SH7: Θαμνότοποι ξηρού κλίματος πολύ μεγάλου φορτίου. Ο πρωταρχικός φορέας της φωτιάς σε αυτό το μοντέλο είναι ξυλώδεις θάμνοι και ξηροτάπητας. Το φορτίο είναι πολύ μεγάλο, βάθους 1,2 – 1,8 m. Η ταχύτητα διάδοσης είναι υψηλή και το μήκος της φλόγας πολύ υψηλό.



7. Θαμνότοποι – Μοντέλο SH2: Θάμνοι ξηρού κλίματος μεσαίου φορτίου. Ο κύριος φορέας της φωτιάς στο μοντέλο SH2 είναι ξυλώδεις θάμνοι και ξηροτάπητας. Το φορτίο της καύσιμης ύλης είναι μέτριο με βάθος περίπου 30 cm, χωρίς παρουσία χορτολιβαδικής βλάστησης. Η ταχύτητα διάδοσης και το μήκος της φλόγας είναι χαμηλά.



8. Χορτολίβαδα – Μοντέλο GR2 (dynamic): Χορτολιβαδική βλάστηση ξηρού κλίματος χαμηλού φορτίου. Ο βασικός φορέας της φωτιάς εδώ είναι χόρτα και επίσης μπορεί να υπάρχουν μικρές ποσότητες λεπτής νεκρής καύσιμης ύλης. Αν υπάρχουν θάμνοι δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς.



9. Ελαιώνες – Μοντέλο TU1 (dynamic): Μοντέλο μικτής βλάστησης ξηρού κλίματος με χαμηλό φορτίο. Ο κύριος φορέας της φωτιάς είναι χαμηλού φορτίου χόρτα και/ή θάμνοι με κάποιο ξηροτάπητα. Η ταχύτητα διάδοσης και το μήκος φλόγας είναι χαμηλά.

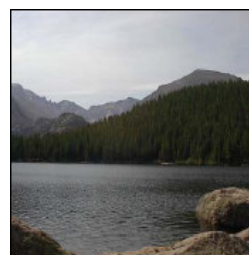


Μοντέλα που δεν επιδέχονται καύση (**Non burnable** fuel type models - NB): Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνονται για να παρέχουν συνέχεια στον τρόπο με τον οποίο τμήματα του τοπίου που δεν καίγονται απεικονίζονται σε έναν χάρτη μοντέλων καύσιμης ύλης. Σε όλα τα NB μοντέλα δεν υπάρχει φορτίο καύσιμης ύλης και η φωτιά δε διαδίδεται.

10. Καλλιέργειες – Μοντέλο NB3: Γεωργικές εκτάσεις σε μη εύφλεκτες συνθήκες. Για παράδειγμα, αρδευόμενες ετήσιες καλλιέργειες, καθαρισμένοι ή οργωμένοι οπωρώνες, αμπέλια κ.ά. Σε περιπτώσεις που οι καλλιέργειες έχουν εκτεθεί σε εύφλεκτες συνθήκες (ετήσιες καλλιέργειες που ξεράθηκαν πριν τη συγκομιδή, αναπτυγμένα χόρτα και πόες μέσα σε οπωρώνες και αμπέλια) πρέπει να χρησιμοποιείται άλλο μοντέλο.



11. Αλوكές και 12. Υδάτινες επιφάνειες – Μοντέλο NB8: Περιοχές καλυμμένες με νερό όπως λίμνες, ποτάμια, θάλασσες, ωκεανοί περιέχονται στο μοντέλο NB8.

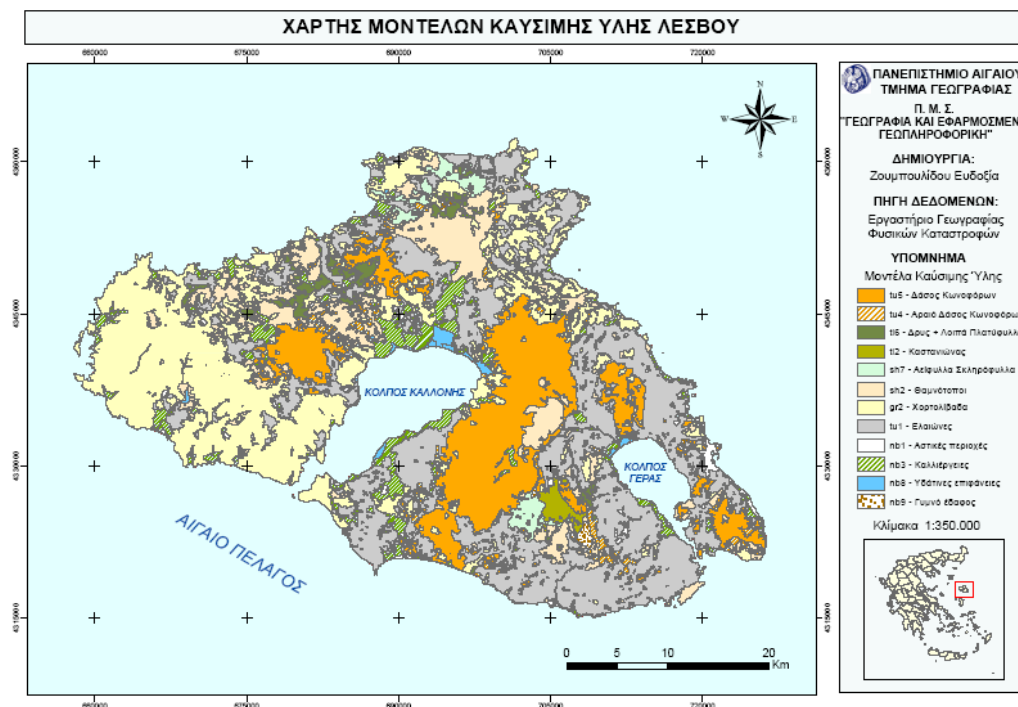


13. Αστικές περιοχές – Μοντέλο NB1: Αποτελείται από αστικές και ημιαστικές περιοχές. Για να θεωρείται NB1 μία περιοχή δεν πρέπει να υποστηρίζει διάδοση δασικής πυρκαγιάς. Σε μερικές περιπτώσεις, περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί NB1 μπορεί να υποστούν ζημιές λόγω δασικής πυρκαγιάς, παρόλα αυτά, η ανάφλεξη των κτιρίων γίνεται είτε από κτίριο σε κτίριο, είτε από κάποιο φλεγόμενο κλαδί, κανένα από τα οποία δεν είναι κατηγοριοποιημένα, βάσει των μοντέλων καύσιμης ύλης.



14. Γυμνό έδαφος – Μοντέλο NB9: Εκτάσεις γης απαλλαγμένες από βλάστηση, ικανή να υποστηρίξει διάδοση πυρκαγιάς, καλύπτονται από το μοντέλο NB9. Τέτοιες περιοχές μπορεί να περιλαμβάνουν άγονες εκτάσεις με πολύ λίγη βλάστηση, λατομεία, θίνες, βραχώδεις σχηματισμούς, ακτές κ.ά.





Χάρτης 3.3: Χάρτης μοντέλων καύσιμης ύλης Λέσβου

Για να διευκολύνουν τη σύγκριση των καινούριων μοντέλων καύσιμης ύλης με τα 13 αυθεντικά αλλά και μεταξύ τους, οι Scott and Burgan (2005) στην εργασία τους ανέπτυξαν πρότυπα σενάρια υγρασίας της νεκρής και της ζωντανής καύσιμης ύλης (Πίνακες 3.1.1 και 3.1.2). Διαχωρίζουν τα σενάρια της ζωντανής από της νεκρής καύσιμης ύλης, ώστε η περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής και της νεκρής καύσιμης ύλης να μπορεί να μεταβάλλεται ανεξάρτητα. Παρόλα αυτά, αν τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς μιας φωτιάς δεν περιέχουν ζωντανή βλάστηση, τότε η συμπεριφορά της φωτιάς δεν επηρεάζεται από το σενάριο της ζωντανής βλάστησης. Τα σενάρια υγρασίας της ζωντανής βλάστησης καλύπτουν ένα εύρος της ζωντανής χορτολιβαδικής βλάστησης από εντελώς ξηρή (cured) (30%) έως εντελώς πράσινη (120%).

Πίνακας 3.1.1: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης (Scott and Burgan, 2005)

timelag class	D1	D2	D3	D4
1-hr	3	6	9	12
10-hr	4	7	10	13
100-hr	5	8	11	14

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Πίνακας 3.1.2: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της ζωντανής καύσιμης ύλης (Scott and Burgan, 2004)

	L1 fully cured	L2 two- thirds cured	L3 one-third cured	L4 fully green (uncured)
live herbaceous	30	60	90	120
live woody	60	90	120	150

Στην παρούσα εργασία και για τις συνθήκες της Λέσβου, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν τρία διαφορετικά σενάρια για τη ζωντανή και τη νεκρή καύσιμη ύλη, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει τις Μέσες Χείριστες Συνθήκες (M1), τις Μέτριες Συνθήκες (M2) και τις Μέσες Βέλτιστες Συνθήκες (M3) κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής/ αντιπυρικής περιόδου (Πίνακες 3.2.1 και 3.2.2).

Πίνακας 3.2.1: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης

timelag class	M1	M2	M3
1-hr	5	8	11
10-hr	6	9	12
100-hr	7	10	13

Πίνακας 3.2.2: Τιμές (%) περιεχόμενης υγρασίας της ζωντανής καύσιμης ύλης

	M1	M2	M3
Ζωντανή χορτολιβαδική βλάστηση	30	30	30
Ζωντανή ξυλώδης βλάστηση	70	100	130

Η αντιπυρική περίοδος ξεκινάει την 1^η Μαΐου και τελειώνει περίπου στα μέσα ή τέλη Οκτωβρίου ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Για να γίνουν πιο κατανοητά τα σενάρια υγρασίας απαραίτητο είναι να ερμηνευτούν σε σχέση με τις μετεωρολογικές συνθήκες της Λέσβου. Έτσι, οι τιμές του σεναρίου M1 αντιστοιχούν σε πιο ξηρές και θερμές περιόδους του έτους. Για τη Λέσβο η περίοδος αυτή διαρκεί από τα μέσα Ιουλίου και ολόκληρο τον Αύγουστο, οπότε και επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες με ελάχιστες βροχοπτώσεις. Το σενάριο M2 αντιστοιχεί στην περίοδο που διαρκεί από τον Ιούνιο μέχρι και τα μέσα Ιουλίου και τον Σεπτέμβριο. Τέλος, το σενάριο M3 θεωρητικά αντιστοιχεί στα τέλη της άνοιξης και τις αρχές του

φθινοπώρου. Παρόλα αυτά, ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες μεταβάλλεται και αυτή η αντιστοιχία. Για παράδειγμα όταν το χειμώνα κυριαρχούν υψηλές θερμοκρασίες χωρίς πολλές βροχοπτώσεις, το σενάριο M2 μπορεί να αντιστοιχεί στις συνθήκες του Μαΐου και όχι του Ιουνίου. Ή αντίθετα, αν την άνοιξη επικρατούν πολλές βροχοπτώσεις με χαμηλές θερμοκρασίες, το σενάριο M3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για τον Ιούνιο. Βέβαια, όλες οι κλιματικές αλλαγές που συμβαίνουν δείχνουν μία τάση προς θερμότερα και ξηρότερα καλοκαίρια, κάτι που στο μέλλον μάλλον θα επιμηκύνει την αντιτυρική περίοδο.

Η ταχύτητα του ανέμου είναι μία ακόμα μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε ως στοιχείο εισροής στο BehavePlus3 για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Ο άνεμος συνήθως υπολογίζεται στα 10 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και για μετρήσεις σε ύψος 10 m, οι αντιστοιχίες της κλίμακας Μποφόρ (BF) με τις κατά μέσο όρο μετρούμενες ταχύτητες ανέμου σε km/h φαίνονται στον **πίνακα 3.3**.

Πίνακας 3.3: Αντιστοίχιση κλίμακας Μποφόρ με μετρούμενες ταχύτητες ανέμου σε km/h (Καλαμποκίδης, 2004)

BF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Km/h	5	10	15	25	30	40	50	60	70	85	100	>100

Καθώς οι ταχύτητες των ανέμων μετριάζονται σημαντικά κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και κυρίως μέσα στα κράσπεδα των δασοσυστάδων, δημιουργούνται πεδία ροής ανέμου στο μέτωπο της πυρκαγιάς πολύ μικρότερα από αυτά που επικρατούν σε υψηλότερα σημεία της ατμόσφαιρας. Για το λόγο αυτό, ο Rothermel (1983) αναφέρει πως ο άνεμος πρέπει να προσαρμόζεται στο μέσο ύψος της φλόγας (midflame height). Αυτό γίνεται με τον πίνακα προσαρμογής του ανέμου που προέκυψε από μελέτη των Albin and Baughman το 1979 (**Πίνακας 3.4**). Από τον πίνακα αυτόν επιλέγεται ο κατάλληλος δείκτης προσαρμογής ανάλογα με το μοντέλο καύσιμης ύλης και πολλαπλασιάζεται με την ταχύτητα του ανέμου στα 6 m. Το αποτέλεσμα είναι η ταχύτητα του ανέμου στο μέσο ύψος της φλόγας (midflame wind). Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αντιστοίχιση των δεικτών με τα αυθεντικά μοντέλα του Albin ανάλογα με την έκθεσή τους στον άνεμο και η αντιστοίχιση των μοντέλων αυτών με εκείνα των Scott and Burgan (2005) που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 3.4: Πίνακας προσαρμογής ανέμου για εύρεση της ταχύτητας στο μέσο ύψος της φλόγας (Rothermel, 1983).

Έκθεση καύσιμης ύλης	Μοντέλο καύσιμης ύλης (Albini)	Μοντέλο καύσιμης ύλης (Scott and Burgan)	Δείκτης προσαρμογής ανέμου
ΕΚΤΕΘΕΙΜΕΝΗ Κ.Υ. Καύσιμη ύλη εκτεθειμένη απευθείας στον άνεμο – χωρίς ανώροφο ή με αραιό ανώροφο. Καύσιμη ύλη που βρίσκεται είτε κάτω από ψηλή βλάστηση που έχει χάσει το φύλλωμα της, είτε κοντά σε αποψιλωμένα δάση, είτε βρίσκεται σε ψηλές κορυφές όπου τα δένδρα παρέχουν ελάχιστη κάλυψη από τον άνεμο	4	SH7	0,6
	13	-	0,5
	1,3,5,6,11,12 (2,7) ¹ (8,9,10) ²		0,4
ΜΕΡΙΚΩΣ ΚΑΛΥΜΜΕΝΗ Κ.Υ. Καύσιμη ύλη που είτε βρίσκεται κάτω από ανομοιογενή ψηλή βλάστηση όπου δεν είναι πολύ καλά καλυμμένη, είτε βρίσκεται κάτω από ψηλή βλάστηση στη μέση ή ψηλότερα πλαγιάς σε βουνό με τον άνεμο να φυσάει κατευθείαν στην πλαγιά	Όλα τα μοντέλα Κ.Υ.	Όλα τα μοντέλα Κ.Υ.	0,3
ΠΛΗΡΩΣ ΚΑΛΥΜΜΕΝΗ Κ.Υ. Καύσιμη ύλη προστατευμένη κάτω από ιστάμενη ψηλή βλάστηση σε επίπεδο έδαφος ή ομαλή πλαγιά ή δίπλα σε πρόποδες βουνού με απότομες πλαγιές	Όλα τα μοντέλα Κ.Υ.	Όλα τα μοντέλα Κ.Υ.	Ανοιχτές συστάδες 0,2
			Πυκνές συστάδες 0,1

¹ Καύσιμη ύλη συνήθως μερικώς καλυμμένη

² Καύσιμη ύλη συνήθως πλήρως καλυμμένη

Για τη χαρτογραφική απεικόνιση των παραμέτρων της συμπεριφοράς της φωτιάς επιλέχθηκε σταθερή ταχύτητα ανέμου 15 km/h, με ανοδική κατεύθυνση και για τα τρία σενάρια περιεχόμενης υγρασίας, ως πιο αντιπροσωπευτική για την αντιτυρική περίοδο στη Λέσβο. Παρόλα αυτά, δημιουργήθηκαν και γραφήματα για τις 3 παραμέτρους της συμπεριφοράς της φωτιάς και για άλλες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, έτσι ώστε να υπάρχει πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη συμπεριφορά της φωτιάς.

Όσον αφορά στην κλίση, καλύτερα και πιο ακριβή αποτελέσματα θα προέκυπταν

αν η κλίση είχε εισαχθεί ανά μία ποσοστιαία τιμή (1%, 2%, 3%, ..., 100%). Αυτό όμως θα καθιστούσε τη διαδικασία της χαρτογράφησης χρονοβόρα και με μεγαλύτερη πιθανότητα σφάλματος, και πιο συγκεκριμένα την αντικατάσταση των τιμών των κλίσεων από τις τιμές των παραμέτρων. Έτσι, οι τιμές των κλίσεων εισήχθησαν ανά 5 ποσοστιαίες τιμές (5%, 10%, 15%, ..., 100%), κάτι που μας δίνει τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια με μικρές πιθανότητες σφάλματος.

Το BehavePlus3 δίνει τη δυνατότητα να παραχθούν αποτελέσματα και για διαφορετικές συνθήκες, όπως τιμές για την ταχύτητα του ανέμου σε διαφορετικά ύψη από το μέσο ύψος της φλόγας, διεύθυνση του ανέμου καθοδική σε σχέση με την κλίση της πλαγιάς, ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς όχι μόνο κατά τη διεύθυνση της μέγιστης ταχύτητας διάδοσης κλπ. Παρόλα αυτά, στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν οι παραπάνω παραδοχές ώστε να ανταποκρίνονται στις χειρότερες συνθήκες που επικρατούν στη Λέσβο κατά την αντιπυρική περίοδο.

Τέλος, οι παράμετροι της φωτιάς που επιλέχθηκαν να χαρτογραφηθούν είναι το μήκος της φλόγας (FL), η μέγιστη ταχύτητα διάδοσης (ROS_{max}) και η θερμική ένταση του μετώπου της φωτιάς (FI). Αυτό συμβαίνει διότι οι τρεις παραπάνω παράμετροι θεωρούνται οι πιο αντιπροσωπευτικές και κατάλληλες για να περιγράψουν τη συμπεριφορά της φωτιάς (Pyne *et al.*, 1996).

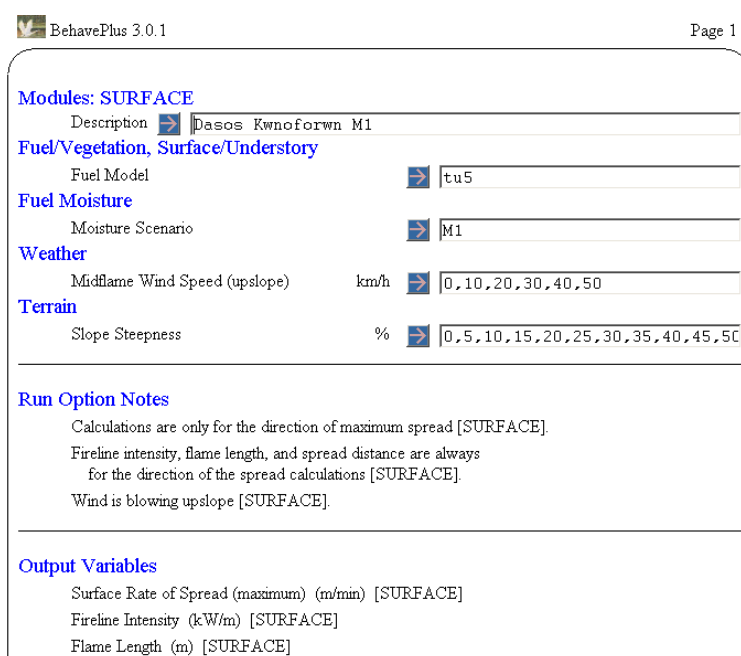
3.4 Υλικά και Μέθοδοι

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή γραφημάτων και χαρτών είναι το BehavePlus3 και η εφαρμογή ArcMap του ArcGIS 9.1. Το BehavePlus3 αποτελεί ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης της καύσιμης ύλης και πρόβλεψης της συμπεριφοράς της φωτιάς, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών, όπως στη διαχείριση πυρκαγιών, στην πρόβλεψη της συμπεριφορά μίας εν εξελίξει έρπουσας πυρκαγιάς, στο σχεδιασμό προδιαγεγραμμένου καψίματος, αλλά και στην εκπαίδευση. Αν και στηρίζεται κυρίως σε εμπειρικά μοντέλα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιεί και φυσικοχημικές σχέσεις και παραμέτρους της καύσιμης ύλης και της φωτιάς. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής χρησιμοποιείται ευρέως τόσο ερευνητικά όσο και επιχειρησιακά. Στο BehavePlus3 εισήχθησαν τα δεδομένα για την καύσιμη ύλη, την τοπογραφία και τη μετεωρολογία της περιοχής για να δώσει στοιχεία για τις παραμέτρους της συμπεριφοράς μίας πυρκαγιάς.

Το ArcMap αφορά σε εφαρμογές που σχετίζονται με χάρτες. Πιο συγκεκριμένα,

δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγούν μέσα από αναζητήσεις, χωρικά και μη χωρικά στοιχεία. Επιπλέον, μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν διαφορετικές απεικονίσεις ενός χάρτη, αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς (Κουτσόπουλος και Ανδρουλάκης, 2003). Το ArcMap χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογραφική απεικόνιση των παραμέτρων της συμπεριφοράς της φωτιάς.

Πιο συγκεκριμένα, στο BehavePlus3 εισήχθησαν (**Σχήμα 3.3**) ο τύπος κάθε μοντέλου καύσιμης ύλης με τον αντίστοιχο κωδικό (tu1, sh7, tl6 κλπ.), το σενάριο της περιεχόμενης υγρασίας, (M1, M2, M3) οι τιμές του ανέμου και οι τιμές των κλίσεων.



Σχήμα 3.3: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο BehavePlus3

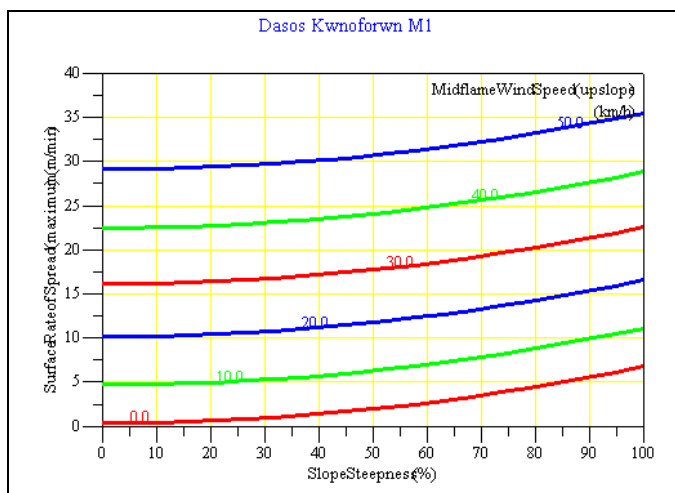
Τα στοιχεία που προέκυψαν ξεχωριστά για κάθε σενάριο υγρασίας ήταν πίνακες διπλής εισόδου, με τις τιμές της ταχύτητας διάδοσης, του μήκους της φλόγας και της θερμικής έντασης του μετώπου, ανάλογα με την κλίση της περιοχής και τον άνεμο (**Πίνακας 3.5**).

Πίνακας 3.5: Πίνακας διπλής εισόδου με τις τιμές της ταχύτητας διάδοσης

Dasos Kwnoforwn M1
Surface Rate of Spread (maximum) (m/min)

Slope %	MidflameWindSpeed(upslop) km/h					
	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
0	0.4	4.7	10.2	16.1	22.5	29.1
5	0.4	4.7	10.2	16.2	22.5	29.1
10	0.4	4.8	10.2	16.2	22.6	29.2
15	0.5	4.9	10.3	16.3	22.6	29.3
20	0.6	5.0	10.4	16.4	22.7	29.4
25	0.8	5.1	10.6	16.5	22.9	29.5
30	0.9	5.3	10.7	16.7	23.1	29.7
35	1.2	5.5	11.0	16.9	23.3	29.9
40	1.4	5.7	11.2	17.2	23.5	30.1
45	1.7	6.0	11.5	17.4	23.8	30.4
50	2.0	6.3	11.8	17.7	24.1	30.7
55	2.3	6.6	12.1	18.1	24.4	31.0
60	2.7	7.0	12.5	18.4	24.8	31.4
65	3.1	7.4	12.9	18.8	25.2	31.8
70	3.5	7.8	13.3	19.3	25.6	32.2
75	4.0	8.3	13.8	19.7	26.1	32.7
80	4.5	8.8	14.3	20.2	26.6	33.2
85	5.0	9.3	14.8	20.8	27.1	33.7
90	5.5	9.9	15.3	21.3	27.7	34.3
95	6.1	10.5	15.9	21.9	28.3	34.9
100	6.8	11.1	16.6	22.5	28.9	35.5

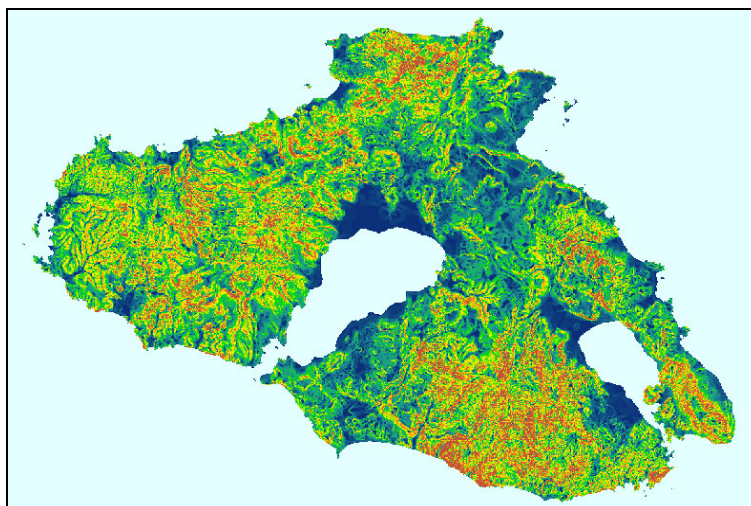
Επιπλέον το BehavePlus3 δίνει αντίστοιχα και διαγράμματα (Σχήμα 3.4) για το πώς μεταβάλλεται κάθε παράμετρος, αν αντί μίας δοθούν περισσότερες τιμές ανέμου.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης

Στο ArcGIS από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους δημιουργήθηκε το αρχείο raster (ψηφιδωτή μορφή) των κλίσεων του νησιού, με μέγεθος κελιού (cell size) ίσο με 30 m (Σχήμα 3.5).

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών



Σχήμα 3.5: Αρχείο κλίσεων Λέσβου

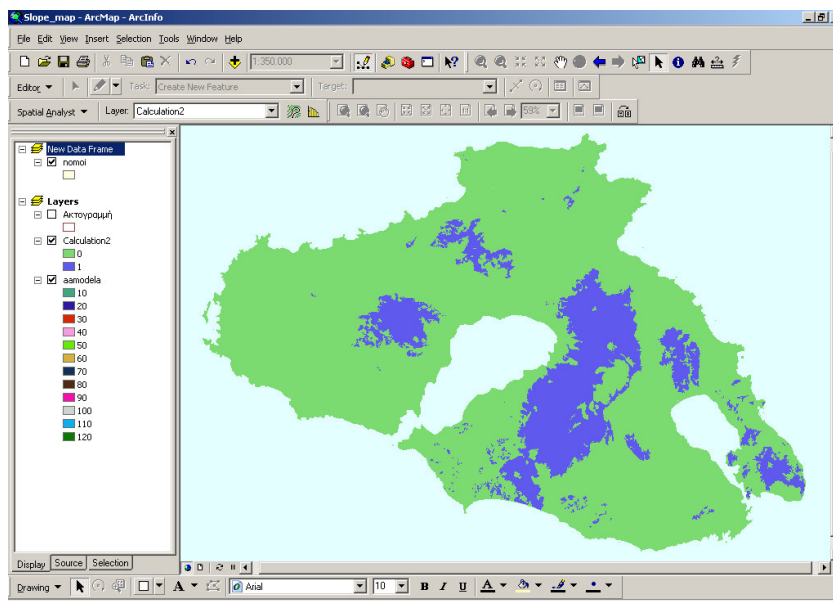
Στο shapefile αρχείο (διανυσματική μορφή) με τους τύπους κάλυψης γης προστέθηκε μία στήλη με το όνομα 'modelo', όπου κάθε τύπος κάλυψης γης αντιστοιχίστηκε με τον κωδικό του μοντέλου (Πίνακας 3.6). Στη συνέχεια, μετατράπηκε το shapefile σε raster αρχείο χρησιμοποιώντας ως ιδιότητα τη στήλη 'modelo' και το καινούριο αρχείο ονομάστηκε 'modela'.

Πίνακας 3.6: Αντιστοίχιση των τύπων κάλυψης γης με τα μοντέλα καύσιμης ύλης και τους κωδικούς στο ArcMap

Κωδικοί στο ArcMap	Περιγραφή Τύπου Βλάστησης Quickbird	ΜΚΥ
10	Δάσος κωνοφόρων	TU5
90	Αραιό δάσος κωνοφόρων	TU4
70	Δρυς - Λοιπά πλατύφυλλα	TL6
120	Καστανιώνας	TL2
80	Αείφυλλα σκληρόφυλλα	SH7
30	Θαμνότοποι	SH2
20	Χορτολίβαδα	GR2 dynamic
40	Ελαιώνες	TU1 dynamic
60	Αστικές περιοχές	NB1
50	Καλλιέργειες	NB3
110	Υδάτινες επιφάνειες - Αλυκές	NB8
100	Γυμνό έδαφος	NB9

Στη συνέχεια, βάζοντας στο *Raster Calculator* $modela = 10$ για το μοντέλο TU5, 90 για το μοντέλο TU4, 70 για το μοντέλο TL6 κλπ. και κάνοντας evaluate προέκυψαν αρχεία raster που για τις περιοχές π.χ. που εμφανίζεται το μοντέλο TU5

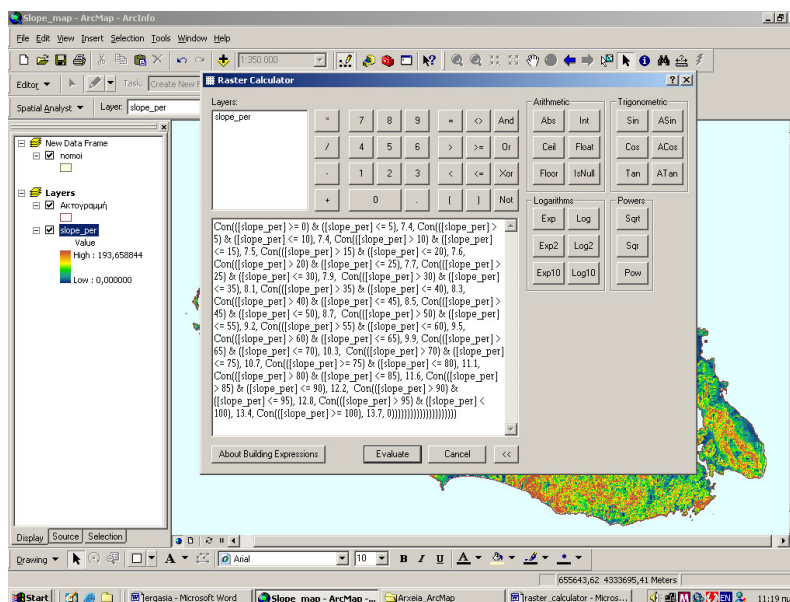
(δάσος κωνοφόρων) έχουν την τιμή 1 και όλες οι υπόλοιπες την τιμή 0 (Σχήμα 3.6). Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία έχουν προκύψει 12 αρχεία raster όσα και τα μοντέλα, που το κάθε ένα έχει σαν όνομα το όνομα του αντίστοιχου μοντέλου, για παράδειγμα kwnof_tu5.



Σχήμα 3.6: Απεικόνιση σε αρχείο raster των περιοχών όπου υπάρχουν δάση Κωνοφόρων

Έπειτα, με τη βοήθεια του *Raster Calculator* (Σχήμα 3.7) στο αρχείο των κλίσεων, αντικαταστάθηκαν οι τιμές των κλίσεων με τις τιμές της κάθε παραμέτρου. Λόγου χάρι, η συνθήκη που χρησιμοποιήθηκε για να αντικατασταθούν οι τιμές της ταχύτητας διάδοσης του μοντέλου TU5 (δάσος κωνοφόρων) για το σενάριο υγρασίας M1 ήταν η εξής:

```
Con([slope_per] >= 0) & ([slope_per] <= 5), 7.4, Con([slope_per] > 5) &
([slope_per] <= 10), 7.4, Con([slope_per] > 10) & ([slope_per] <= 15), 7.5,
Con([slope_per] > 15) & ([slope_per] <= 20), 7.6, Con([slope_per] > 20) &
([slope_per] <= 25), 7.7, Con([slope_per] > 25) & ([slope_per] <= 30), 7.9,
Con([slope_per] > 30) & ([slope_per] <= 35), 8.1, Con([slope_per] > 35) &
([slope_per] <= 40), 8.3, Con([slope_per] > 40) & ([slope_per] <= 45), 8.5,
Con([slope_per] > 45) & ([slope_per] <= 50), 8.7, Con([slope_per] > 50) &
([slope_per] <= 55), 9.2, Con([slope_per] > 55) & ([slope_per] <= 60), 9.5,
Con([slope_per] > 60) & ([slope_per] <= 65), 9.9, Con([slope_per] > 65) &
([slope_per] <= 70), 10.3, Con([slope_per] > 70) & ([slope_per] <= 75), 10.7,
Con([slope_per] >= 75) & ([slope_per] <= 80), 11.1, Con([slope_per] > 80) &
([slope_per] <= 85), 11.6, Con([slope_per] > 85) & ([slope_per] <= 90), 12.2,
Con([slope_per] > 90) & ([slope_per] <= 95), 12.8, Con([slope_per] > 95) &
([slope_per] < 100), 13.4, Con([slope_per] >= 100), 13.7, 0))))))))))))))))))
```



Σχήμα 3.7: Raster Calculator

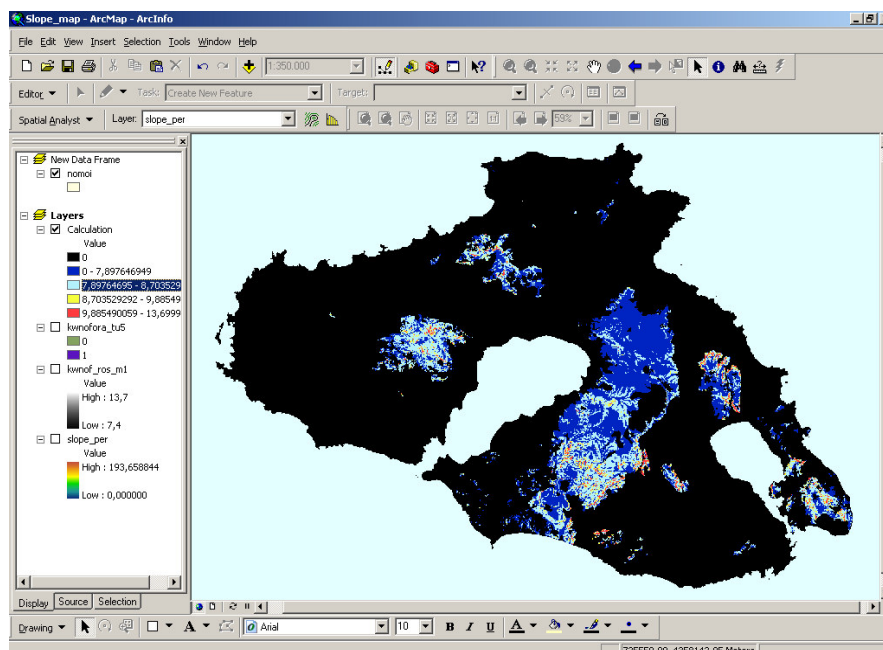
Αντίστοιχα, έγινε το ίδιο για όλες τις παραμέτρους σε όλα τα μοντέλα καύσιμης ύλης και για τα τρία σενάρια υγρασίας, αντικαθιστώντας κάθε φορά τις τιμές των κλίσεων με τις τιμές κάθε παραμέτρου. Επειδή οι τιμές όλων των παραμέτρων για τα 4 μοντέλα που δεν επιδέχονται καύση (NB) είναι μηδέν, ομαδοποιήθηκαν σε ένα μοντέλο με κωδικό NB και γι' αυτό το μοντέλο δημιουργήθηκε ένα αρχείο raster με τιμή μηδέν σε όλα τα εικονοστοιχεία. Έτσι, δημιουργήθηκαν 81 ξεχωριστά αρχεία raster με όνομα που να αντιστοιχεί στο μοντέλο, το σενάριο υγρασίας και την αντίστοιχη παράμετρο. Για παράδειγμα, το αρχείο που απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης του μοντέλου TU5 για το σενάριο υγρασίας M1 ονομάστηκε ROS_TU5_M1 κλπ. Στη συνέχεια, πάλι στο Raster Calculator πολλαπλασιάστηκε καθένα από τα 81 αυτά αρχεία raster με το αρχείο που αντιστοιχεί στο κάθε μοντέλο.

Έτσι, έχουμε ένα αρχείο raster όπου στην περιοχή που υπάρχει το κάθε μοντέλο, τα εικονοστοιχεία έχουν την τιμή της παραμέτρου για το αντίστοιχο μοντέλο και όλα τα υπόλοιπα έχουν την τιμή μηδέν (Σχήμα 3.8). Αυτό σημαίνει ότι για κάθε σενάριο υγρασίας έχουμε 3 παραμέτρους της συμπεριφοράς της φωτιάς και για κάθε παράμετρο 9 αρχεία, όσα δηλαδή και τα μοντέλα. Το τελευταίο βήμα ήταν να προστεθούν, ξεχωριστά κάθε φορά, τα 9 αυτά αρχεία με την εξής πρόταση:

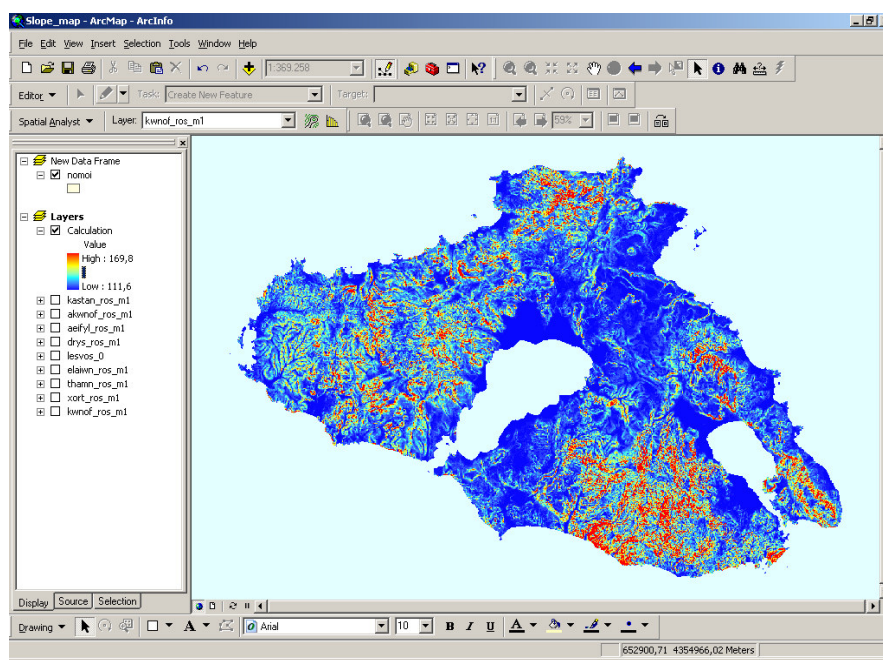
$$[aeifyl_ros_m1] + [akwnof_ros_m1] + [drys_ros_m1] + [elaiwn_ros_m1] + [kastan_ros_m1] + [kwnof_ros_m1] + [lesvos_0] + [thamn_ros_m1] + [xort_ros_m1]$$

ώστε να προκύψει το τελικό αρχείο (Σχήμα 3.9) πάνω στο οποίο βασίστηκε η δημιουργία κάθε χάρτη.

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών



Σχήμα 3.8: Απεικόνιση σε αρχείο raster των τιμών της ταχύτητας διάδοσης του μοντέλου tu5 για το σενάριο υγρασίας M1

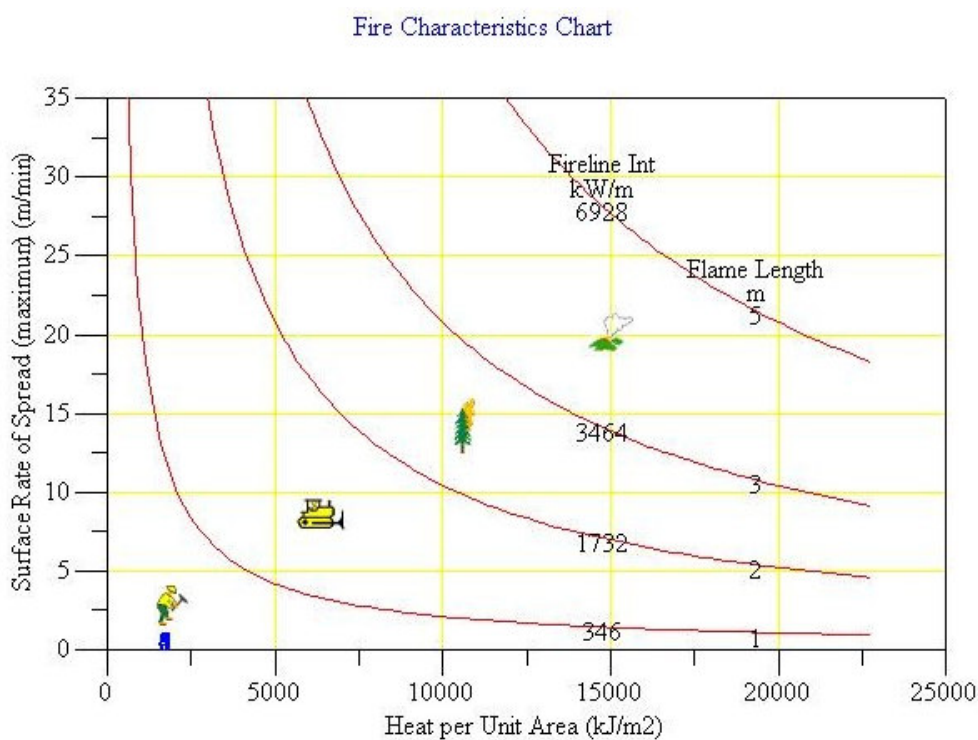


Σχήμα 3.9: Τελικό αρχείο raster που απεικονίζει τις τιμές της ταχύτητας διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M1

Για τη χαρτογραφική απεικόνιση των παραμέτρων επιλέχθηκε να καταναμηθούν οι τιμές κάθε παραμέτρου σε κατηγορίες, ανάλογα με τον πίνακα του F.A. Albini (Πίνακας 2.1) (Pyne *et al.*, 1996), ο οποίος αντιστοιχεί τις τιμές του μήκους της φλόγας και της θερμικής έντασης του μετώπου με ενέργειες καταστολής μίας

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

πυρκαγιάς. Έτσι, οι τιμές του μήκους της φλόγας κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής: 0–1 m, 1–2 m, 2–3 m, 3–5 m και >5 m. Για τη θερμική ένταση του μετώπου οι κατηγορίες είναι 0–350 KW/m, 350–1750 KW/m, 1750–3500 KW/m, 3500–7000 KW/m και >7000 KW/m. Αντίστοιχα, οι κατηγορίες για την ταχύτητα διάδοσης είναι 0–5 m/min, 15–30 m/min, 30–45 m/min, 45–60 m/min. Οι κατηγορίες φαίνονται και στο διάγραμμα πυρικών χαρακτηριστικών στο **Σχήμα 3.10** που προκύπτει από το BehavePlus3. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτές τις κατηγορίες, οι χάρτες που δημιουργήθηκαν (Παράρτημα) γίνονται πιο εύχρηστοι και επιτρέπουν την καλύτερη αξιολόγηση μίας κατάστασης πυρκαγιάς.



Σχήμα 3.10: Μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης ανάλογα με τη θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας. Κατηγορίες ανάλογα με τις ενέργειες καταστολής

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

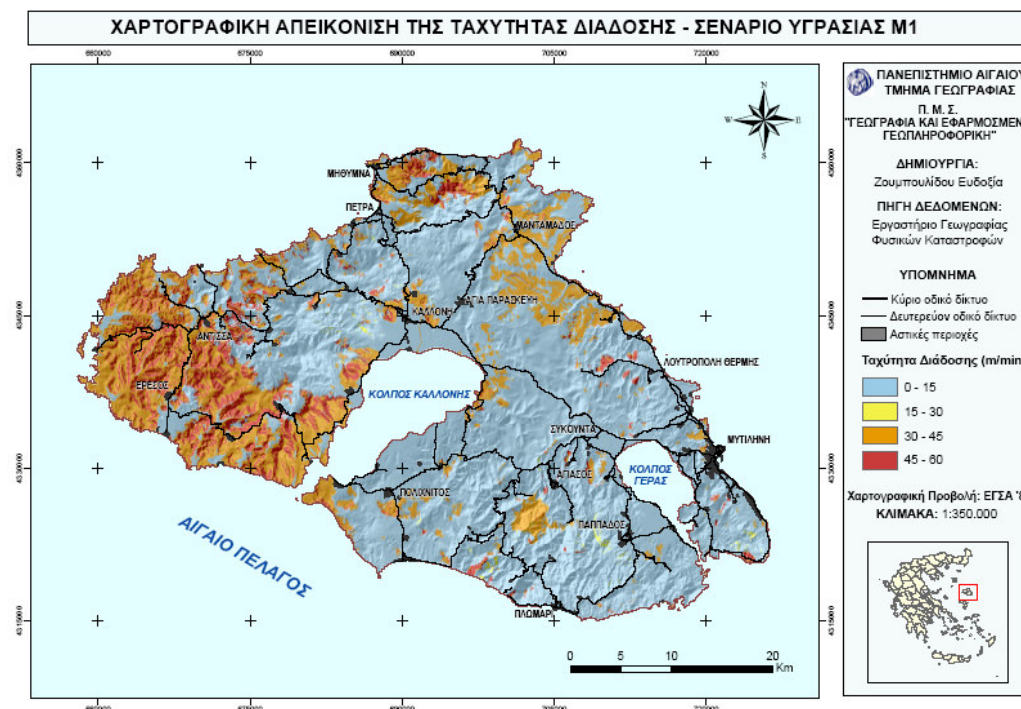
Η χαρτογραφική απεικόνιση των παραμέτρων της συμπεριφοράς της φωτιάς είναι ουσιαστική για την κατανόηση της εξάπλωσης και της έντασής της κατά μήκος του τοπίου. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων οδήγησε στην παραγωγή των χαρτών που απεικονίζουν τις παραμέτρους της συμπεριφοράς της φωτιάς στη Λέσβο. Κάθε χάρτης απεικονίζει τις τιμές μίας παραμέτρου για συγκεκριμένο σενάριο υγρασίας.

4.1 Σενάριο Υγρασίας M1

Αρχικά, ο **Χάρτης 4.1** απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης πυρκαγιάς βάσει των χείριστων συνθηκών περιεχόμενης υγρασίας (M1: Υγρασία 1-hr: 5%, 10-hr: 6%, 100-hr: 7%). Παρατηρείται ότι η φωτιά εξαπλώνεται με μεγάλη ταχύτητα (42,9 – 54,4 m/min) στις εκτάσεις με χορτολίβαδα και στις εκτάσεις που καλύπτονται από αείφυλλα σκληρόφυλλα (32,2 – 53,3 m/min). Αυτό συμβαίνει γιατί στις εκτάσεις με ποώδη βλάστηση ο άνεμος και η λεπτή καύσιμη ύλη συμβάλλουν στη γρήγορη διάδοση της φωτιάς. Αντίστοιχα, στα αείφυλλα σκληρόφυλλα η περιεχόμενη υγρασία τους είναι πολύ χαμηλή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και η σύνθεσή τους περισσότερο εύφλεκτη από άλλα είδη. Στις χορτολιβαδικές εκτάσεις όταν αυξάνεται η κλίση από 0 – 60% παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας διάδοσης 9 m/min, αλλά για μεγαλύτερες κλίσεις η ταχύτητα διάδοσης παραμένει σταθερή, περίπου 54 m/min. Αυτό συμβαίνει γιατί στα χορτολίβαδα η καύσιμη ύλη είναι σχετικά λεπτή και καίγεται γρήγορα. Έτσι, η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς δεν προλαβαίνει ουσιαστικά να αυξηθεί περισσότερο. Στα υπόλοιπα μοντέλα, καθώς αυξάνεται η κλίση παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας διάδοσης, γεγονός που οφείλεται στο φαινόμενο της ταχύτερης θέρμανσης της καύσιμης ύλης που υπάρχει μπροστά στη γραμμή του μετώπου της φωτιάς (Καλαμποκίδης κ.α., 2004).

Μικρότερη ταχύτητα διάδοσης (0,8 m/min) σημειώνεται στον καστανιώνα και αυτό συμβαίνει γιατί σε αυτά τα δάση συγκρατούνται μεγάλα ποσά υγρασίας (Καλαμποκίδης κ.α., 2004). Στους καστανιώνες, όλες οι παράμετροι (ROS, FL, FI) παραμένουν σταθερές, ανεξάρτητα από τις τιμές των κλίσεων. Οι ταχύτητες για τα υπόλοιπα μοντέλα κυμαίνονται από 3–13 m/min περίπου. Στα αραιά δάση κωνοφόρων έχουμε μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης και αυτό συμβαίνει παρόλο που τα είδη που κυριαρχούν στον υπόροφο των δασών αυτών είναι σχεδόν τα ίδια με αυτά που υπάρχουν στα δάση των κωνοφόρων. Αντίθετα, η συγκόμωση των

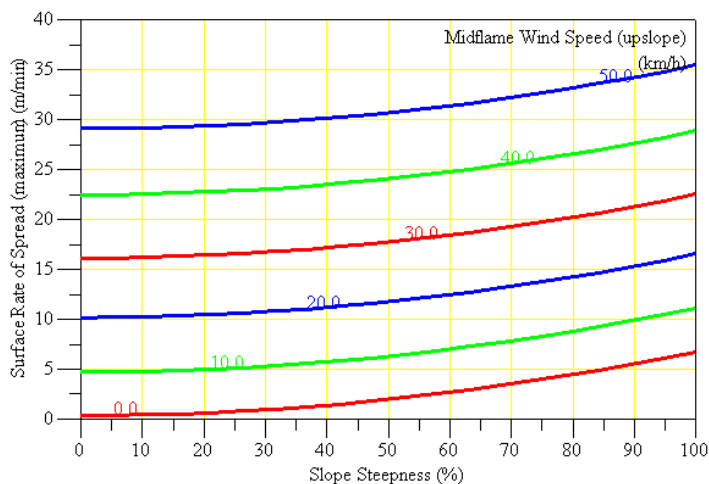
συστάδων αυτών είναι πιο χαλαρή, με αποτέλεσμα ο υπόροφος τους να είναι πιο ανεπτυγμένος, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει χωρίς εμπόδια (κόμεις δένδρων) στα φυτά του υπορόφου. Έτσι, σε συνδυασμό με τον άνεμο που περνάει ευκολότερα από τους λίγους κορμούς των δένδρων, το αυξημένο φορτίο της καύσιμης ύλης προκαλεί πυρκαγιές που εξαπλώνονται με σχετικά μεγάλη ταχύτητα.



Χάρτης 4.1: Ταχύτητα διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M1

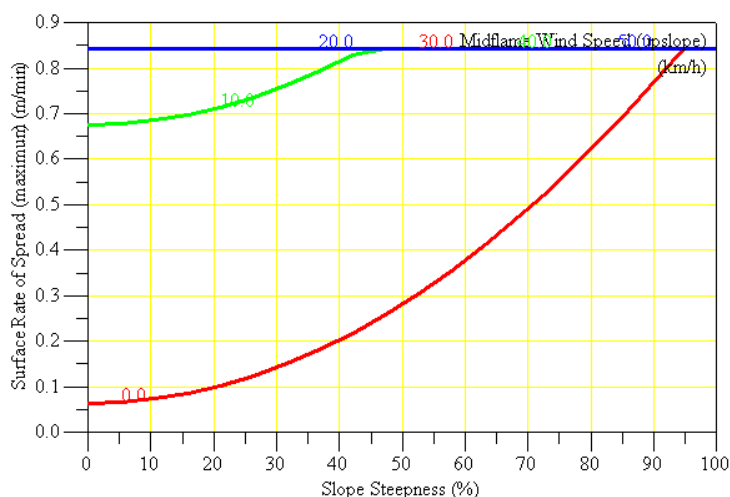
Όπως έχει αποδειχθεί, όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο ισχυρή είναι η ένταση της φωτιάς και τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα που απελευθερώνεται από τις φλόγες (Santoni *et al.*, 2006). Έτσι, είναι αναμενόμενο σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου η συμπεριφορά της φωτιάς να εντείνεται. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.1**, στα δάση κωνοφόρων με μέση ταχύτητα ανέμου 10 km/h η ταχύτητα διάδοσης ξεκινάει από τα 4,8 m/min και φτάνει τα 11 m/min, ενώ με άνεμο 40 km/h η ταχύτητα διάδοσης ξεκινάει από 22,5 και φτάνει τα 28,9 m/min σε μεγάλες κλίσεις. Ανάλογη είναι η συμπεριφορά της φωτιάς όταν μεταβάλλεται ο άνεμος στα αραιά δάση κωνοφόρων, στους θαμνότοπους και στα αείφυλλα σκληρόφυλλα, με διαφορετικές βέβαια τιμές.

Dasos Kwnoforwn M1



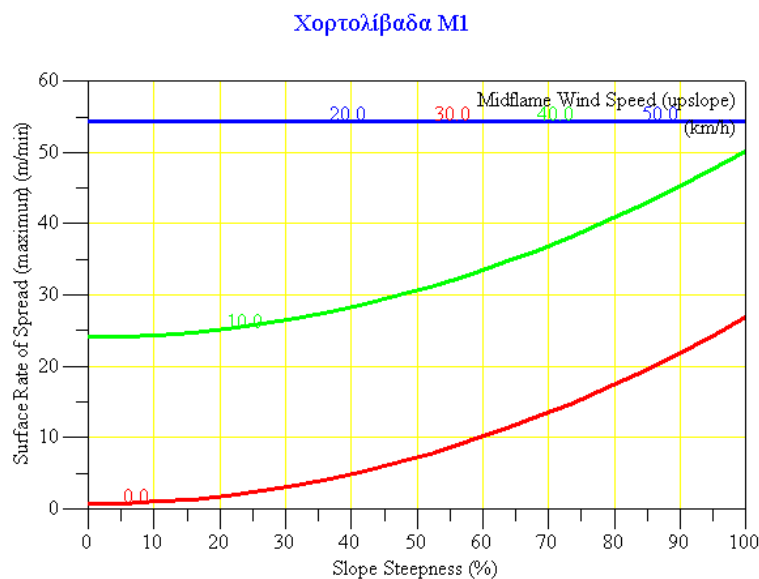
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα δάση κωνοφόρων

Kastaniwnas M1



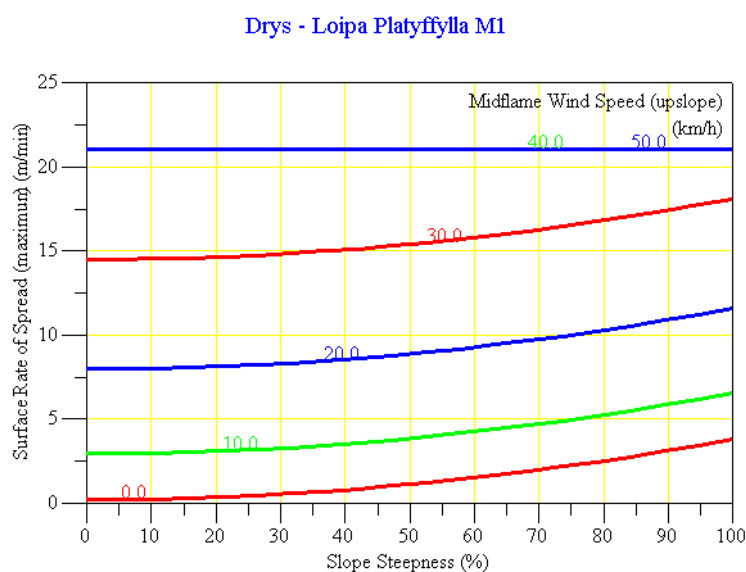
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τον καστασιώνα

Στο **Σχήμα 4.2**, όπου αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, φαίνεται η ανεπαίσθητη αύξηση της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς (0,0–0,8m) αντίστοιχα στον καστασιώνα. Ανάλογη είναι η συμπεριφορά και των άλλων δύο παραμέτρων γι' αυτό το μοντέλο. Επίσης, αυτό που φαίνεται καθαρά είναι πως με άνεμο 20 km/h η ταχύτητα διάδοσης σταθεροποιείται, γιατί η βιομάζα καίγεται πολύ γρήγορα όπως και στα χορτολίβαδα. Η διαφορά των δύο αυτών μοντέλων είναι πως στα χορτολίβαδα η φωτιά εξαπλώνεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς και η ταχύτητα αυτή αυξάνεται ραγδαία όσο αυξάνεται η κλίση (**Σχήμα 4.3**).



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα χορτολίβαδα

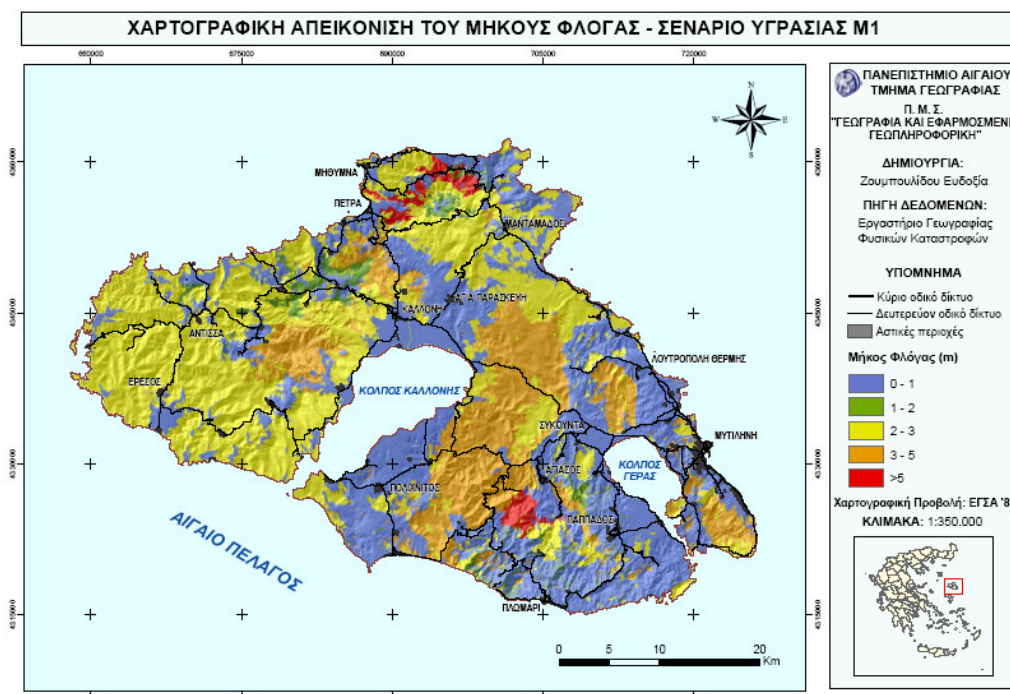
Στο **Σχήμα 4.4** παρουσιάζεται η μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς σε δρυοδάση και άλλα πλατύφυλλα. Κι εδώ παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της ταχύτητας διάδοσης από 3 – 6 m/min με 10 km/h ταχύτητα ανέμου σε 14,5 – 18,1 m/min με 30 km/h ταχύτητα ανέμου. Και σε αυτό το μοντέλο η ταχύτητα διάδοσης σταθεροποιείται με ανέμους 40 km/h ή ισχυρότερους. Αντίστοιχα, αυξάνεται και η ταχύτητα διάδοσης στους ελαιώνες, μόνο που σταθεροποιείται με ανέμους 30 km/h ή και ισχυρότερους.



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της φωτιάς ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα δρυοδάση και λοιπά πλατύφυλλα

Για το μήκος της φλόγας (**Χάρτης 4.2**), μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται σε εκτάσεις με αείφυλλα σκληρόφυλλα, με μήκη που ξεκινούν από τα 6 και φτάνουν μέχρι και τα 8 m. Αυτό συμβαίνει λόγω της υψηλής ευφλεκτότητας αυτών των ειδών, αλλά και της μεγάλης πυκνότητας και συνέχειας της καύσιμης ύλης. Πυρκαγιές με μικρότερο μήκος φλόγας επικρατούν κυρίως στους ελαιώνες, με τιμές που κυμαίνονται περίπου στο 1 m, αλλά και στους καστανιόνες σε λιγότερο από 0,5 m. Στον ξηροτάπητα των ελαιώνων, η ποσότητα της καύσιμης ύλης είναι περιορισμένη και ελεγχόμενη, ενώ η συσσωρευμένη υγρασία στους καστανιόνες δεν επιτρέπει φωτιές μεγάλου μεγέθους. Στα υπόλοιπα μοντέλα, το μήκος της φλόγας κυμαίνεται ανάλογα με την κλίση από 3 έως 4,5 m στα κωνοφόρα, από 1,3 έως 1,7 m στη δρυ και τα υπόλοιπα πλατύφυλλα, και από 2,4 έως 3 m στους θαμνότοπους και τα χορτολίβαδα.

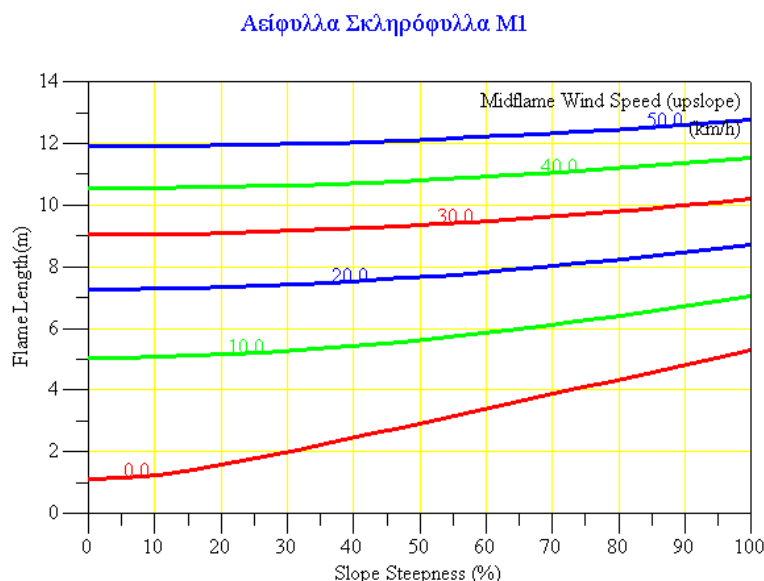
Το μήκος της φλόγας σε μια πυρκαγιά εξαρτάται και από το ύψος της βλάστησης, αλλά και από το είδος της πυρκαγιάς (έρπουσα ή επικόρυφη). Τα αποτελέσματα που δίνει το BehavePlus3 αφορούν σε έρπουσες πυρκαγιές και γι' αυτό παρατηρούμε τιμές μεγαλύτερες στους θαμνότοπους και τα χορτολίβαδα από ότι στη δρυ ή στα αείφυλλα σκληρόφυλλα από ότι στα κωνοφόρα. Αν μία έρπουσα πυρκαγιά μετατραπεί σε επικόρυφη ή μικτή, τότε μεταβάλλεται και η συμπεριφορά της.



Χάρτης 4.2: Μήκος Φλόγας για το σενάριο υγρασίας Μ1

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Στο **Σχήμα 4.5** παρουσιάζεται η μεταβολή του μήκους της φλόγας σε εκτάσεις με αείφυλλα σκληρόφυλλα ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση. Σε κατάσταση άπνοιας, το μήκος της φλόγας ξεκινάει από 1,1 και φτάνει τα 5,3 m. Με άνεμο 10 km/h, το μήκος της φλόγας από 5 m φτάνει τα 7 m. Με άνεμο 40 km/h, το μήκος της φλόγας από 10,6 m φτάνει τα 11,5 m. Παρατηρείται πως όσο αυξάνεται η ένταση του ανέμου, η κλίση επιδρά όλο και λιγότερο στην αύξηση του μήκους της φλόγας. Κατά τον ίδιο τρόπο, μεταβάλλεται το μήκος της φλόγας και για τα κωνοφόρα, τα αραιά κωνοφόρα και τους θαμνότοπους.

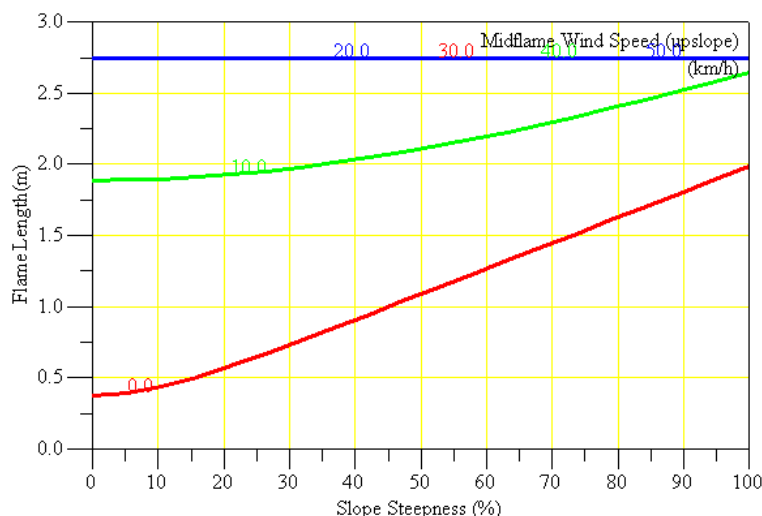


Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μεταβολής του μήκους της φλόγας ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για εκτάσεις αείφυλλων σκληρόφυλλων

Στα χορτολίβαδα (**Σχήμα 4.6**), το μήκος της φλόγας, όπως και η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς, σε κατάσταση άπνοιας αυξάνεται από 0,4 m έως 2 m, με άνεμο ταχύτητας 10 km/h αυξάνεται από 1,9 m έως 2,6 m, ενώ σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου σταθεροποιείται στα 2,7 m. Στο επόμενο διάγραμμα (**Σχήμα 4.7**) φαίνεται η αύξηση του μήκους της φλόγας στους ελαιώνες. Η αύξηση εδώ είναι σχετικά μικρή, από 0,2 m έως 0,8 m σε κατάσταση άπνοιας και 1,1 m έως 1,4 m με άνεμο ταχύτητας 20 km/h. Με ισχυρότερους ανέμους, το μήκος της φλόγας σταθεροποιείται στα 1,4 m, κάτι που μπορεί να σημαίνει ότι η φωτιά εξαπλώθηκε στις κόμες των δένδρων και κινδυνεύει να γίνει επικόρυφη. Γενικά στους ελαιώνες, η φωτιά μπορεί να είναι απρόβλεπτη και με τη δράση του ανέμου να εξαπλωθεί πολύ γρήγορα και στις κόμες των ελαιόδενδρων. Με ανάλογο τρόπο, αυξάνεται το μήκος της φλόγας και στα δρυοδάση, εδώ όμως σταθεροποιείται στα 2,5 m με ανέμους από 40 km/h και πάνω.

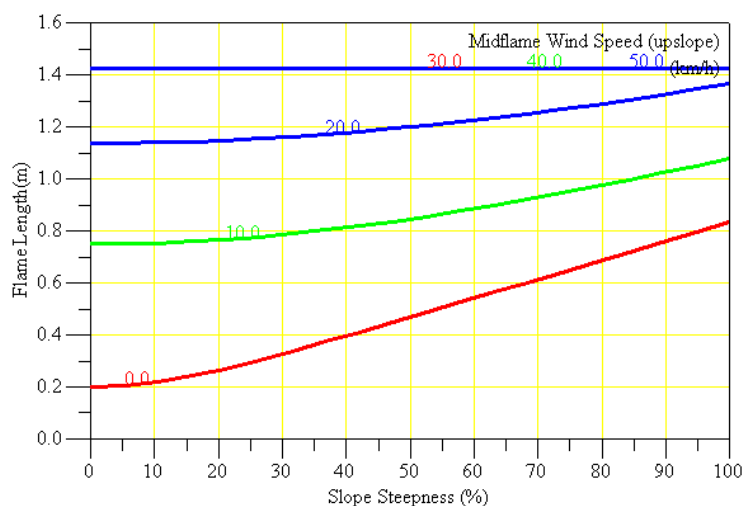
Επίσης εδώ είναι δυσκολότερο η φωτιά να εξαπλωθεί στις κόμρες, λόγω του μεγαλύτερου ύψους των δένδρων.

Χορτολίβαδα M1



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα μεταβολής του μήκους της φλόγας ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για χορτολίβαδα

Ελαιώνες M1

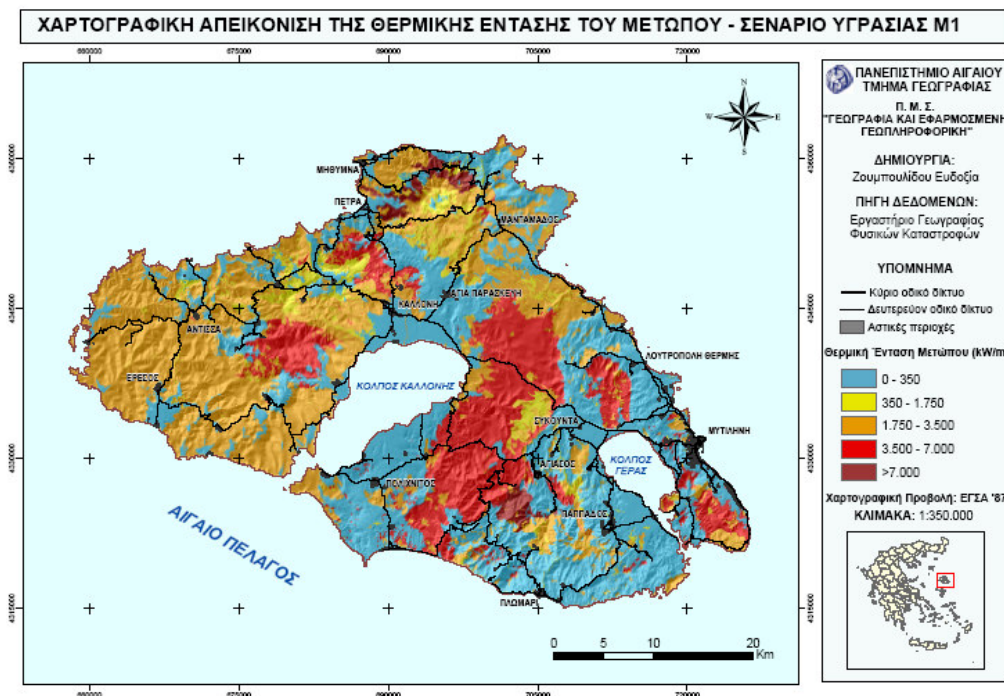


Σχήμα 4.7: Διάγραμμα μεταβολής του μήκους της φλόγας ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τους ελαιώνες

Μία γενική παρατήρηση για όλα τα μοντέλα είναι πως το μήκος της φλόγας δεν αυξάνεται τόσο γρήγορα με την αύξηση της κλίσης. Σε κλίσεις μικρότερες από 15% είναι σχετικά σταθερό και αρχίζει να αυξάνεται σε μεγαλύτερες.

Στο **Χάρτη 4.3** φαίνεται, όπως ήταν αναμενόμενο, πως τα αείφυλλα σκληρόφυλλα δίνουν τις πυρκαγιές με μεγαλύτερη θερμική ένταση, από 14000 έως

23000 kW/m. Αντίστοιχα στον καστανιώνα, οι τιμές της θερμικής έντασης του μετώπου είναι πολύ χαμηλές, στα 24 kW/m. Μεγάλες τιμές της θερμικής έντασης (3000 – 7111 kW/m) παρατηρούνται στις περιοχές με κωνοφόρα δάση, καθώς υπάρχει συνεχόμενη και ομοιόμορφη κατανομή της εύφλεκτης καύσιμης ύλης. Στους θαμνότοπους και τα χορτολίβαδα η θερμική ένταση του μετώπου ξεκινάει από 1700 και φτάνει τα 3000 kW/m. Στις περιοχές με ελαιώνες και δρύες, η θερμική ένταση είναι σχετικά χαμηλή και κυμαίνεται από 230 μέχρι 780 kW/m με πιο αυξημένη τη θερμική ένταση στους ελαιώνες. Αυτό συμβαίνει γιατί στα δρυοδάση ενδέχεται να μην υπάρχει ξηροτάπητας, ή αν υπάρχει δεν προσφέρει μεγάλα ποσά καύσιμης ύλης. Αλλά και στους ελαιώνες, ο υπόροφος συνήθως καθαρίζεται από τους παραγωγούς με αποτέλεσμα οι πυρκαγιές να μην είναι μεγάλης έντασης και να μην εκλύονται μεγάλα ποσά θερμότητας.

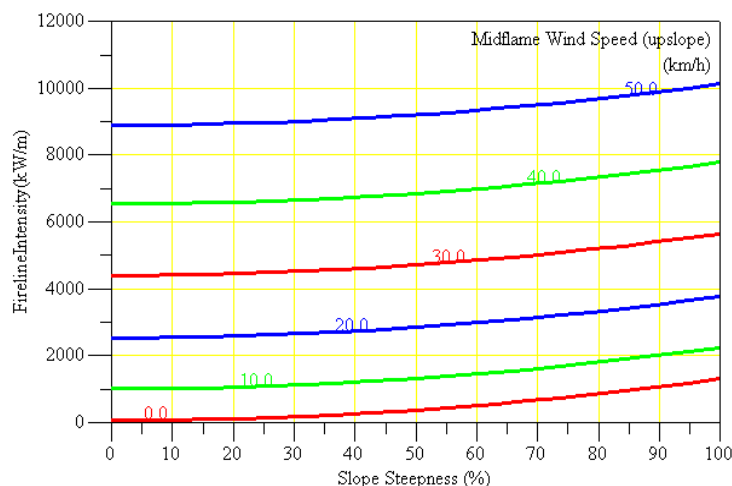


Χάρτης 4.3: Θερμική ένταση του μετώπου για το σενάριο υγρασίας M1

Η αύξηση της θερμικής έντασης του μετώπου είναι λογικό να είναι ανάλογη με αυτήν του μήκους της φλόγας. Αυτό φαίνεται και από τα **Σχήματα 4.8, 4.9 και 4.10**. Στο πρώτο διάγραμμα για τους θαμνότοπους, παρατηρείται συνεχής αύξηση της θερμικής έντασης από 1006 έως 2248 kW/m για ανέμους με ταχύτητα 10 km/h ενώ για ανέμους 50 km/h η θερμική ένταση ξεκινάει από 8900 και ξεπερνά τα 10000 kW/m. Το ίδιο συμβαίνει και στα μοντέλα των κωνοφόρων και αραιών κωνοφόρων, καθώς και στα αείφυλλα πλατύφυλλα.

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

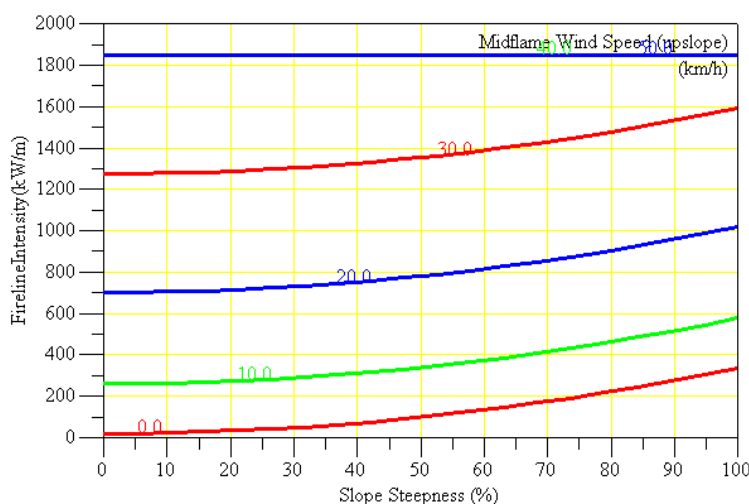
Θαμνότοποι M1



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα μεταβολής της θερμικής έντασης του μετώπου ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τους θαμνότοπους

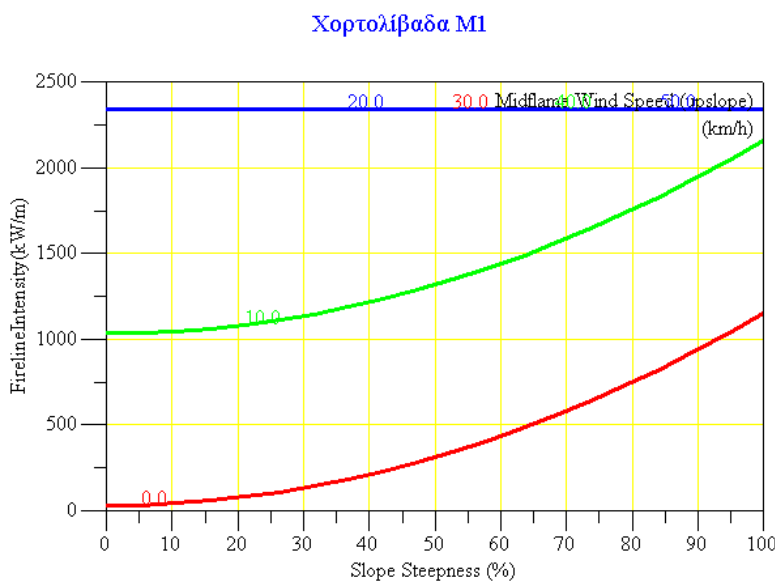
Ανάλογα με το μήκος της φλόγας, η θερμική ένταση του μετώπου αυξάνεται και στα δρυοδάση και τους ελαιώνες. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ενώ με άπνοια η θερμική ένταση ξεκινάει από τα 19 και φτάνει τα 337 kW/m, με ανέμους 30 km/h η θερμική ένταση ξεκινάει από 1275 και φτάνει τα 1593 kW/m.

Drys - Loipa Platyffylla M1



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα μεταβολής της θερμικής έντασης του μετώπου ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα δρυοδάση και τα λοιπά πλατύφυλλα

Τέλος, στα χορτολίβαδα έχουμε ραγδαία αύξηση της θερμικής έντασης του μετώπου. Ενώ σε άπνοια και με μικρές κλίσεις η θερμική ένταση έχει τιμές κοντά στο 30, με άνεμο μόλις 10 km/h η θερμική ένταση ξεκινάει από 1036 και φτάνει τα 2158 kW/h.



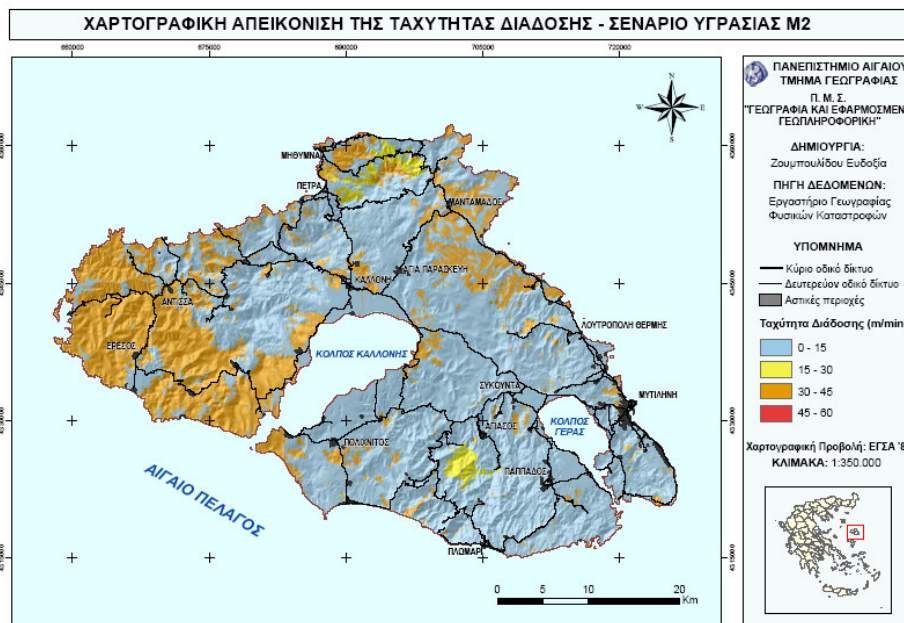
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα μεταβολής της θερμικής έντασης του μετώπου ανάλογα με τον άνεμο και την κλίση για τα χορτολίβαδα

4.2 Σενάριο Υγρασίας M2

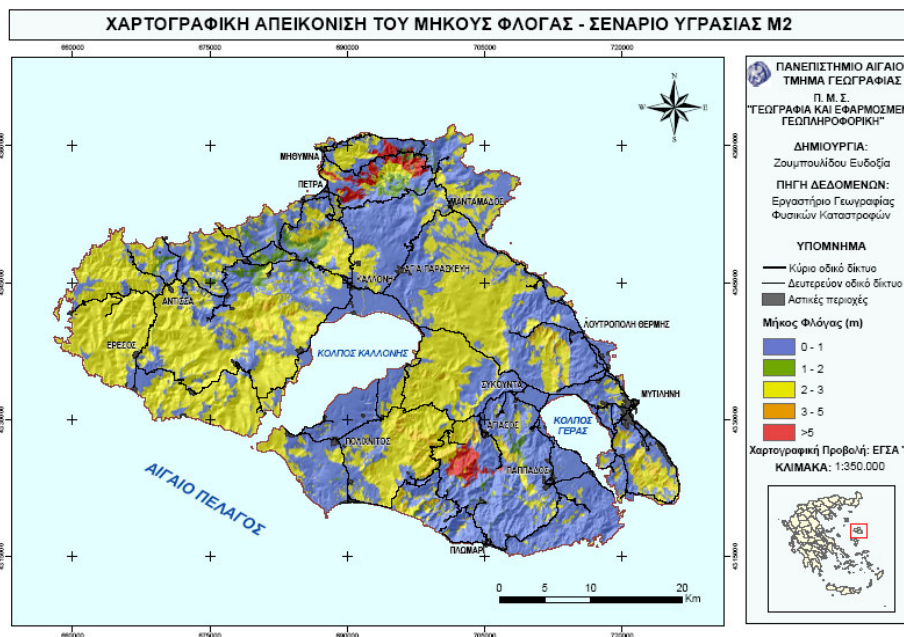
Βέβαια, όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία της βλάστησης ως συνέπεια της αυξημένης υγρασίας του αέρα, τόσο πιο ήπια γίνεται η συμπεριφορά της φωτιάς και αρχικά μειώνεται η ταχύτητα διάδοσής της. Για το σενάριο υγρασίας M2 (M2: Υγρασία 1-hr: 8%, 10-hr: 9%, 100-hr: 10%) (Χάρτης 4.4), μεγαλύτερη ταχύτητα παρατηρείται και πάλι στις χορτολιβαδικές εκτάσεις (41,9 m/min) και μικρότερη, εκτός από τους καστασιώνες (0,6 m/min), στους θαμνότοπους (2,5 m/min). Στα υπόλοιπα μοντέλα η ταχύτητα διάδοσης κυμαίνεται κάτω από τα 15 m/min εκτός από τις εκτάσεις με αείφυλλα σκληρόφυλλα, όπου η φωτιά εξαπλώνεται με ταχύτητες από 22,5 έως 37,6 m/min. Στα κωνοφόρα η ταχύτητα διάδοσης ξεκινάει από 5 και φτάνει τα 10 m/min, ενώ στα δάση αραιών κωνοφόρων η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς κυμαίνεται μεταξύ 9,1 και 14,5 m/min. Στα δάση δρυός, οι ταχύτητες δεν ξεπερνούν τα 7 m/min και στους ελαιώνες τα 3,5 m/min.

Αντίστοιχα, μειώνεται και το μήκος της φλόγας για τα διάφορα μοντέλα. Στο Χάρτη 4.5 φαίνεται και πάλι πως το μήκος της φλόγας μίας φωτιάς που ξεσπάει σε έκταση με αείφυλλα σκληρόφυλλα ξεπερνάει τα 5 m και φτάνει τα 6,5. Στα δάση με κωνοφόρα και αραιά κωνοφόρα, το μήκος της φλόγας ξεκινάει από τα 2,4 m και σε μεγάλες κλίσεις (δάσος των Παρακοίλων, πευκοδάσος ανατολικά των Βασιλικών) ξεπερνά τα 3 m. Στα χορτολίβαδα το μήκος της φλόγας είναι περίπου 2 m, ενώ στα δρυοδάση, τους ελαιώνες και τους θαμνότοπους δεν ξεπερνά το 1–1,5 m. Στους

καστανιόνες σε αυτές τις συνθήκες περιεχόμενης υγρασίας είναι αρκετά δύσκολο να αναπτυχθεί φωτιά και αν αυτό συμβεί η συμπεριφορά της είναι ήπια.



Χάρτης 4.4: Ταχύτητα διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M2

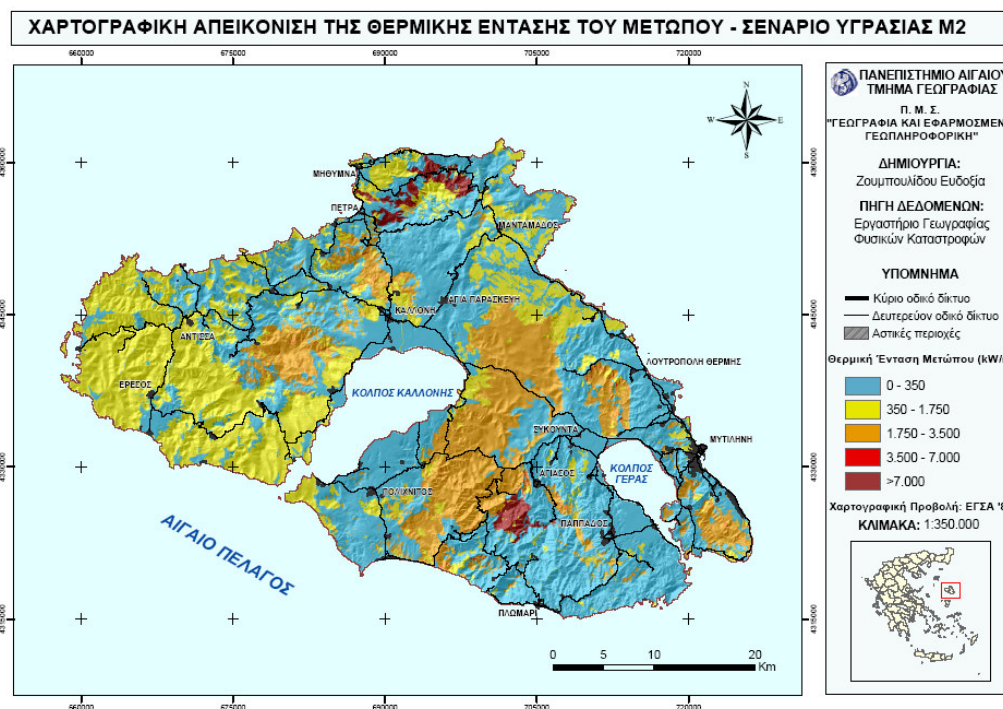


Χάρτης 4.5: Μήκος Φλόγας για το σενάριο υγρασίας M2

Στο Χάρτη 4.6 παρατηρείται πως μεγαλύτερη θερμότητα εκλύεται όταν καίγονται εκτάσεις με αείφυλλα σκληρόφυλλα πάνω από 8500 kW/m. Τα κωνοφόρα σε αυτές τις συνθήκες υγρασίας δίνουν πυρκαγιές με θερμική ένταση μετώπου από 2500 έως 4490 kW/m σε μεγάλες κλίσεις, ενώ τα αραιά δάση κωνοφόρων

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

μικρότερης έντασης (1700 – 2750 kW/m). Η ένταση σε πυρκαγιές χορτολιβαδων πλησιάζει τα 1460 – 1680 kW/m, ενώ στα δρυοδάση δεν ξεπερνά τα 550 kW/m. Στους θαμνότοπους και στους ελαιώνες, η θερμική ένταση των πυρκαγιών είναι αρκετά χαμηλή, 103 – 238 kW/m.



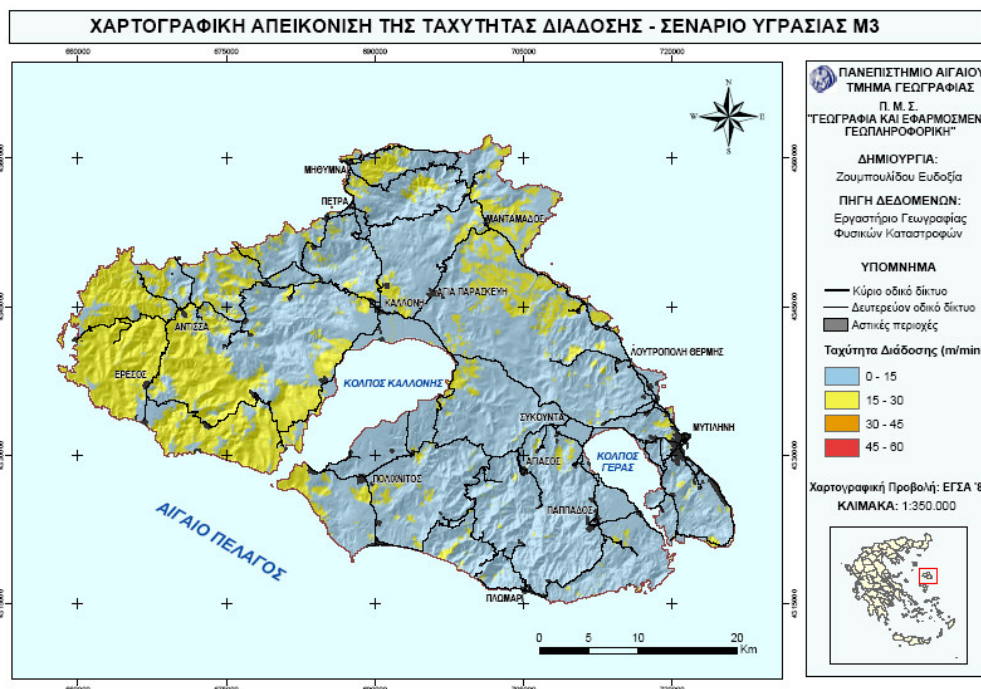
Χάρτης 4.6: Θερμική ένταση του μετώπου για το σενάριο υγρασίας M2

4.3 Σενάριο Υγρασίας M3

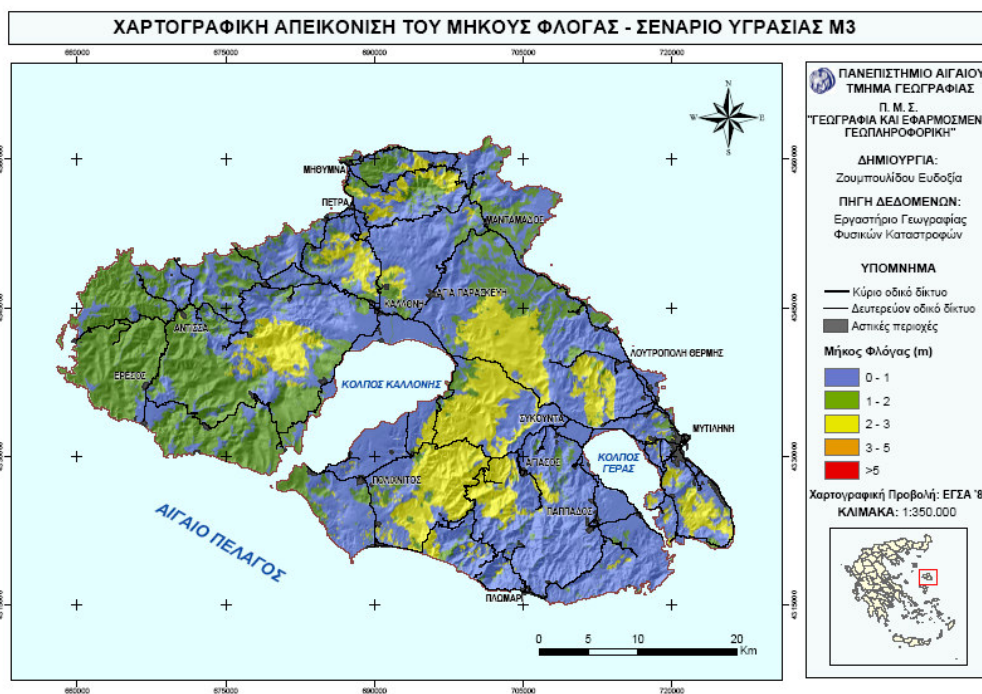
Με ακόμα μεγαλύτερη περιεχόμενη υγρασία (M3: Υγρασία 1-hr: 11%, 10-hr: 12%, 100-hr: 13%) (Χάρτης 4.7) μεγαλύτερες ταχύτητες παρατηρούνται και πάλι στα δυτικά του νησιού, στις χορτολιβαδικές εκτάσεις (26 m/min) και μικρότερες στους ελαιώνες (0,4 m/min). Σε όλα τα υπόλοιπα μοντέλα, η φωτιά εξαπλώνεται με ταχύτητες που κυμαίνονται από 1 έως 13,5 m/min. Γενικά, αυτές οι συνθήκες δεν προσφέρουν περιβάλλον κατάλληλο για ανάφλεξη και διάδοση πυρκαγιάς.

Έτσι, και το μήκος της φλόγας (Χάρτης 4.8) είναι πολύ μικρότερο σε όλα τα μοντέλα συγκριτικά με τα άλλα σενάρια υγρασίας που εξετάστηκαν παραπάνω. Ακόμα και στα πιο εύφλεκτα είδη, τα αείφυλλα σκληρόφυλλα, το μήκος της φλόγας δεν ξεπερνά τα 3 m, ενώ σε κάποιες περιοχές με κωνοφόρα και μεγάλες κλίσεις μπορεί να φτάσουν και τα 3 m. Στα χορτολιβαδα και τα δρυοδάση, το μήκος της φλόγας κυμαίνεται μεταξύ 1 και 1,8 m ενώ στους ελαιώνες, θαμνότοπους και στις εκτάσεις με αραιά κωνοφόρα το μήκος της φλόγας μπορεί να φτάσει και το 1 m.

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών



Χάρτης 4.7: Ταχύτητα διάδοσης για το σενάριο υγρασίας M3

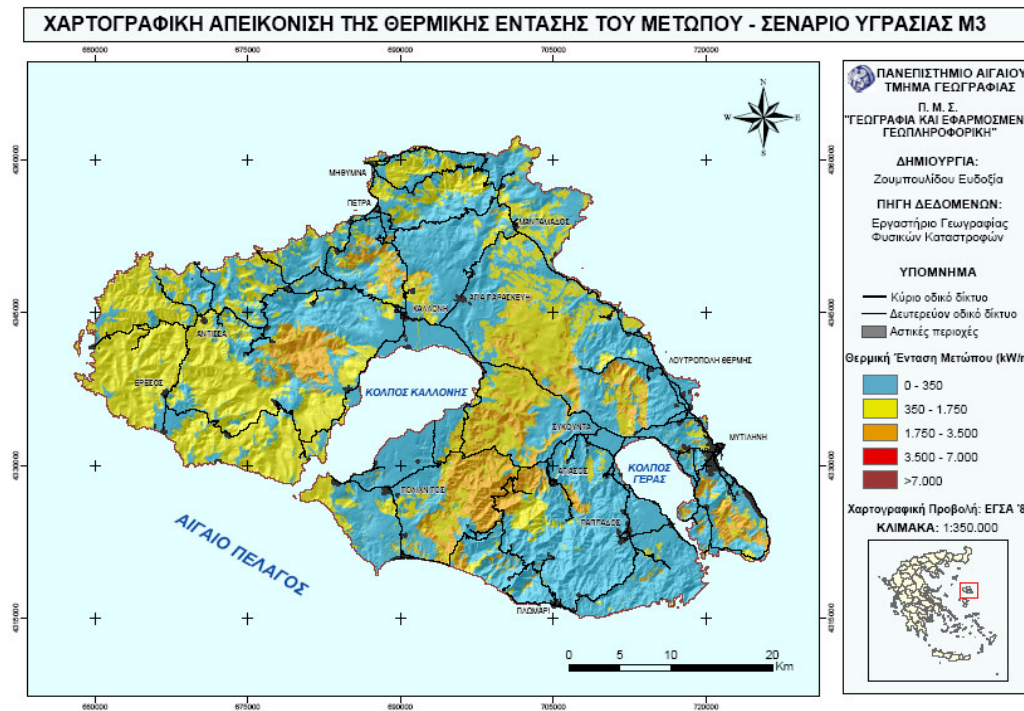


Χάρτης 4.8: Μήκος Φλόγας για το σενάριο υγρασίας M3

Αντίστοιχα και οι τιμές της θερμικής έντασης του μετώπου μειώνονται αισθητά με την αυξημένη περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης. Τα αειφύλλα σκληρόφυλλα και τα κωνοφόρα δίνουν τις πυρκαγιές με τη μεγαλύτερη ένταση, με

Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

1358 – 2233 kW/m τα αειφύλλα και 1700 – 3120 kW/m τα κωνοφόρα. Τα χορτολίβαδα φτάνουν τα 900 kW/m, ενώ στα δρυοδάση η θερμική ένταση φτάνει τα 440 kW/m. Στα αραιά δάση κωνοφόρων, τους θαμνότοπους και τους ελαιώνες η θερμική ένταση είναι πολύ χαμηλή με μέγιστες τιμές στα 180, 104 και 9 kW/m.



Χάρτης 4.9: Θερμική ένταση του μετώπου για το σενάριο υγρασίας M3

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, στις εκτάσεις που καλύπτονται από αείφυλλα σκληρόφυλλα αλλά και δάση κωνοφόρων και χορτολίβαδα, η συμπεριφορά της φωτιάς είναι περισσότερο έντονη. Σε δασικές εκτάσεις με υψηλή βλάστηση, πολύ σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της φωτιάς παίζει ο υπόροφος και τα είδη που τον συνθέτουν. Η αύξηση της κλίσης αλλά και οι ισχυροί άνεμοι εντείνουν ακόμα περισσότερο τη συμπεριφορά της φωτιάς. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της υγρασίας του αέρα, και κατά συνέπεια η περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης, τόσο περισσότερο αποδυναμώνεται η συμπεριφορά της φωτιάς.

Σε κάποιες τουριστικές περιοχές, όπως τα Βατερά, την Κράτηγο, τη Μήθυμνα και το Σίγρι – Ερεσό, παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό έναρξη πυρκαγιών σχεδόν κάθε χρόνο και η συμπεριφορά της φωτιάς, λόγω της βλάστησης και του ανάγλυφου είναι αρκετά έντονη. Τα αίτια είναι προφανώς ανθρωπογενή, καθώς σε αυτές τις περιοχές υπάρχει μεγάλη τουριστική και οικιστική ανάπτυξη. Οι πυρκαγιές αυτές μπορεί να οφείλονται σε ατυχήματα αλλά και κακόβουλες, εμπρηστικές ενέργειες.

Για περιβαλλοντικές συνθήκες που αντιστοιχούν στο σενάριο υγρασίας M1, οι ενέργειες που πρέπει να γίνονται για την καταστολή της φωτιάς είναι αναγκαίο να είναι συντονισμένες και άμεσες. Στα αείφυλλα σκληρόφυλλα που η φωτιά διαδίδεται ταχύτατα και έχει μεγάλη ένταση, είναι απαραίτητη η επέμβαση εναέριων μέσων. Το ίδιο και για τα κωνοφόρα όπου υπάρχει άμεσος κίνδυνος η φωτιά να μετατραπεί σε επικόρυφη. Χρήσιμη θα ήταν και η κατασκευή αντιπυρικών ζωνών στα παραπάνω μοντέλα αλλά και στα χορτολίβαδα, για να ανακόπτουν την ταχύτατη εξάπλωση της φωτιάς. Στα υπόλοιπα μοντέλα, επέμβαση με οχήματα και μηχανήματα πιθανόν θα είναι αρκετή, ανάλογα βέβαια και με τους ανέμους που επικρατούν. Για τα άλλα δύο σενάρια υγρασίας που η συμπεριφορά της φωτιάς γίνεται πιο ήπια, άμεσα μέτρα κατάσβεσης μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά και να μη χρειάζονται εναέρια ή άλλα έμμεσα μέτρα. Βέβαια, άμεση προσέγγιση της περιοχής δίνει καλύτερη εκτίμηση της κατάστασης, άρα και δυνατότητα λήψης σωστότερων μέτρων.

Η ακριβής χαρτογράφηση της συμπεριφοράς της φωτιάς είναι μία δύσκολη και πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί εμπειρία και γνώση στην τηλεπισκόπηση, στα μοντέλα καύσιμης ύλης, στην οικολογία αλλά και στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Στην παρούσα εργασία δουλεύοντας με δεδομένα που προέκυψαν από μία αρκετά υψηλής ανάλυσης δορυφορική εικόνα, διαπιστώθηκε ότι για τη

δημιουργία των χαρτών, όσο υψηλότερης ευκρίνειας δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιηθούν, τόσο μεγαλύτερης ανάλυσης θα είναι τα χωρικά δεδομένα που θα προκύψουν και λεπτομερέστερος ο χάρτης βλάστησης που θα παραχθεί με ψηφιοποίηση των δεδομένων αυτών. Αν συνδυαστεί και εργασία πεδίου, οι τελικοί χάρτες καύσιμης ύλης και συμπεριφοράς της φωτιάς που θα προκύψουν θα είναι πιο ρεαλιστικοί και θα δίνουν μία εικόνα πολύ πιο κοντά στην πραγματικότητα. Βέβαια, οι χάρτες αυτοί, ανά τακτά χρονικά διαστήματα θα πρέπει να ενημερώνονται και να εμπλουτίζονται με νέα δεδομένα, για να παραμένουν χρήσιμοι και λειτουργικοί. Στην παρούσα εργασία, αυτό που θα βελτίωνε ίσως τα αποτελέσματα είναι ένα λεπτομερέστερο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, αλλά και εργασίες πεδίου.

Η μοντελοποίηση της καύσιμης ύλης, η πρόβλεψη και χαρτογραφική απεικόνιση της συμπεριφοράς της φωτιάς παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον για τη λήψη και υποστήριξη αποφάσεων όσον αφορά στην πρόληψη και στην καταστολή των δασικών πυρκαγιών. Η γνώση των παραμέτρων της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς, όπως είναι η ταχύτητα διάδοσης, το μήκος της φλόγας και η θερμική ένταση του μετώπου πριν από και κατά τη διάρκειά της, συμβάλλουν τόσο στην αντιμετώπιση των δυσκολιών ελέγχου της φωτιάς, όσο και στην αντιμετώπιση των προκαλούμενων συνεπειών στα διάφορα οικοσυστήματα (Καλαμποκίδης κ.α., 2004). Η χρήση των παραγόμενων χαρτών από αρμόδιες υπηρεσίες (Δασική Υπηρεσία, Πυροσβεστική Υπηρεσία) θα συμβάλλει στον αποτελεσματικότερο αντιπυρικό σχεδιασμό, με αποτέλεσμα την πιο έγκαιρη πρόληψη δασικών πυρκαγιών στην περιοχή. Επιπλέον, θα οδηγήσει σε καλύτερα πορίσματα στις πραγματικές επιχειρήσεις αντιμετώπισης πυρκαγιών, δηλαδή σε πιο αποτελεσματική και άμεση επέμβαση.

Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η εκ των προτέρων γνώση για τις περιοχές όπου η φωτιά εξαπλώνεται με μικρή ή μεγάλη ταχύτητα, σε ποια είδη οι φλόγες παίρνουν γρήγορα μεγάλο ύψος ή η θερμότητα που εκλύεται είναι επικίνδυνη ή όχι. Έτσι, ενέργειες όπως κατασκευή αντιπυρικών ζωνών, αποστολή ή όχι συνεργείων στο μέτωπο της φωτιάς, απαιτήσεις σε προσωπικό και εξοπλισμό γίνονται πιο έγκαιρα και πιο συγκροτημένα. Επίσης, καταστάσεις όπως αναζωπυρώσεις και νέες εστίες μπορούν να αντιμετωπιστούν με περισσότερη ασφάλεια για το ανθρώπινο δυναμικό. Στα πλαίσια των προληπτικών μέτρων θα μπορούσε να ενταχθεί και η διαχείριση της καύσιμης ύλης. Σε ευαίσθητες περιοχές με μεγάλη ευφλεκτότητα και έντονη συμπεριφορά φωτιάς (τουριστικές περιοχές, πυκνά πευκοδάση) μπορεί να

γίνει διευθέτηση ή μείωση της φυτικής ύλης, ώστε να περιοριστεί ή και να αποφευχθεί έναρξη και εξάπλωση της φωτιάς. Με τον τρόπο αυτό, θα έχουμε συμβολή στη μείωση των καμένων εκτάσεων και αντίστοιχη μείωση των κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ως αποτέλεσμα της καλύτερης πρόληψης, του καλύτερου συντονισμού της αντιτυρικής προστασίας αλλά και της πιο άμεσης και αποτελεσματικής αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών.

Όπως διαπιστώνεται από την ανασκόπηση της ελληνικής αλλά και διεθνούς βιβλιογραφίας, δεν υπάρχει κάποια τυποποιημένη μεθοδολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χαρτών συμπεριφοράς της φωτιάς, κάτι που αναδεικνύει την πρωτοτυπία και τη χρησιμότητα της παρούσας έρευνας. Βέβαια, πάντα υπάρχουν προοπτικές για την εξέλιξη και περαιτέρω διερεύνηση του ζητήματος. Για παράδειγμα κάποιες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία περιορίζουν το εύρος των αποτελεσμάτων. Σε μελλοντική έρευνα θα ήταν χρήσιμο να διευρυνθούν οι παραδοχές αυτές ώστε να προκύψουν αποτελέσματα που να αντιστοιχούν σε περισσότερες και πιο πολύπλοκες συνθήκες, τις οποίες συναντάμε στη φύση. Επίσης ένα μέρος της διαδικασίας της χαρτογράφησης μπορεί να μοντελοποιηθεί ώστε στο μέλλον να γίνεται σε λιγότερο χρόνο, με μεγαλύτερη ακρίβεια και μικρότερες πιθανότητες σφάλματος.

Αναγκαίο θεωρείται να παραχθούν αντίστοιχοι χάρτες για περισσότερες περιοχές της χώρας. Η ψηφιακή χαρτογράφηση της συμπεριφοράς της φωτιάς, όπως παρουσιάζεται στην εν λόγω εργασία, μαζί με όλα τα σύγχρονα εργαλεία της γεωπληροφορικής θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αντιτυρικής προστασίας, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, τόσο σε τοπική κλίμακα όσο και σε περιφερειακό επίπεδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Αθανασιάδης, Ν.Η. 1984. *Δασική φυτοκοινωνιολογία*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Παπούλη. Θεσσαλονίκη
- Αραβανόπουλος Α.Φ., και Πανέτσος Π.Κ. 1996. *Η γενετική της εξελικτικής πορείας δένδρων και θάμνων της νήσου Λέσβου*. Στα Πρακτικά του 1^{ου} Επιστημονικού Συμποσίου «Απολιθωμένο δάσος Λέσβου – Διατηρητέο μνημείο της φύσης – Συνθήκες δημιουργίας – Προστασία - Αξιοποίηση». 20 – 27 Απριλίου 1996, Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου – Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Μυτιλήνη. σελ. 117 - 135
- Δημητρακόπουλος, Α.Π., και Δρίτσα, Σ. 2001. *Νομογραφήματα πρόγνωσης πυρικών παραμέτρων πυρκαγιών σε μεσογειακούς τύπους βλάστησης της Ελλάδος*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα 3(12): 207-223.
- Δημητρακόπουλος, Α.Π., Mateeva, V., και Ξανθόπουλος, Γ. 2001. *Μοντέλα καύσιμης ύλης μεσογειακών τύπων βλάστησης της Ελλάδος*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα 3(12): 192-206.
- Καϊλίδης, Δ. 1993. *Δασικές Πυρκαγιές*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Παπούλη. Θεσσαλονίκη
- Καλαμποκίδης, Κ.Δ. 2004 *Συμπεριφορά δασικών Πυρκαγιών*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος “Οικολογία & Διαχείριση Πυρκαγιών”. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας.
- Καλαμποκίδης, Κ.Δ. 2004 *Πρόληψη δασικών πυρκαγιών, διαστάσεις του προβλήματος και στρατηγικές αντιμετώπισης* Πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος “Οικολογία & Διαχείριση Πυρκαγιών”. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας.
- Καλαμποκίδης, Κ.Δ., και Κούτσιας Ν. 2000. *Γεωγραφική πολυμεταβλητή ανάλυση της χωρικής εμφάνισης των δασικών πυρκαγιών*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα 1(11): 37–47.
- Καλαμποκίδης, Κ.Δ., Βέργος, Σ., και Παληχωρίτης, Ν. 2000. *Ανάλυση κινδύνου δασικών πυρκαγιών στα παραμεσογειακά ορεινά οικοσυστήματα της λίμνης Ν. Πλαστήρα*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα 1(11): 24 – 36.
- Καλαμποκίδης, Κ., Ρούσσου, Ο., Βασιλάκος, Χ., και Μαρκοπούλου, Δ. 2004. *Χωρική μοντελοποίηση καύσιμης ύλης και συμπεριφοράς πυρκαγιών τοπίου*. Στα Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου. 14-17 Οκτωβρίου 2004, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία και Τμήμα Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου, Μυτιλήνη. Τόμ. Ι, σελ. 486-494.
- Κούτσιας, Ν., και Καρτέρης. 2000. *Μοντελοποίηση και χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας έναρξης των δασικών πυρκαγιών σε εθνική κλίμακα*. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις". 9–10 Δεκεμβρίου 1999, Αθήνα Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

- Κούτσιας, Ν., Καρτέρης, Μ., Μπαλάτσος, Π., και Καλαμποκίδης, Κ. 2005. *Στρατηγική σχεδιασμού ζωνών επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών: μια γεωγραφική προσέγγιση σε ιστορικά δεδομένα πυρκαγιών*. Γεωγραφίες 10: 62–79
- Κουτσόπουλος, Κ., και Ανδρουλάκης, Ν. 2003. *Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του Λογισμικού ArcGIS*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα
- Ντάφης, Σ.Α. 1986. *Δασική Οικολογία*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Παπούλη. Θεσσαλονίκη
- Ξανθόπουλος, Γ., και Μανασή, Μ. 2001. *Μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων καύσιμης ύλης για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών*. Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, “Προστασία φυσικού περιβάλλοντος και αποκατάσταση διαταραγμένων περιοχών”, 17-20 Οκτωβρίου 2000, Κοζάνη. Ελληνική Δασολογική Εταιρία, Θεσσαλονίκη. Σελ. 541-549.
- Σεραϊδής, Π. 2000. *Φυτά της Λέσβου*. Μυτιλήνη

Ξενογλώσση Βιβλιογραφία

- Andrews, P.L. 1986. *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System – Burn subsystem, Part 1*. Gen. Tech. Rep. INT-194, 130 p.
- Bilgili, E. 2003. *Stand development and fire behavior*. Forest Ecology and Management, 179: 333 – 339
- Bilgili, E., and Saglam, B. 2003. *Fire Behavior in Maquis fuels in Tuerkey*. Forest Ecology and Management, 184: 201 – 207
- Burgan, R.E., and Shasby, M.B. 1984. *Mapping Broad – Area Fire Potential from Digital Fuel, Terrain and Weather Data*. Journal of Forestry, (82)4: 228–231
- Burgan, R.E., Klaver, R.W., and Klaver, J.M. 1998. *Fuel Models and Fire Potential from Satellite and Surface Observations*. International Journal of Wildland Fire, 8(3): 159 – 170
- Chandler, D., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., and Williams, D. 1983. *Fire in Forestry, Volume I, Forest Fire Behavior and effects*. John Wiley & Sons, Inc. USA
- Dimitrakopoulos, A.P. 2002. *Mediterranean fuel models and potential fire behaviour in Greece*. International Journal of Wildland Fire, 11: 127–130
- Dimitrakopoulos, A.P. 2001. *Statistical classification of species flammability*. International Journal of Wildland Fire, 10: 113–118
- 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., and Papaioannou, K.K. 2001. *Flammability assessment of Mediterranean forest fuels*. Fire Technology, 37: 143–152
- Finney, M.A. 1998. *FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation*. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.
- Gouma, V., and Chronopoulou – Sereli, A. 1998. *Wildland fire danger zoning – a methodology*. International Journal of Wildland Fire, 8(1): 113–118
- Grove, A.T., and Rackham, O. 2003. *The nature of Mediterranean Europe, An Ecological History*. Yale University Press. New Haven and London
- Hall, S.A., and Burke, I.C. 2006. *Considerations for characterizing fuels as inputs for fire behaviour model*. Forest Ecology and Management, 227: 102 – 114
- Hardy, C.C., Burgan, R.E., and Ottmar, R.D. 2000. *A Database for Spatial Assessments of fire Characteristics, Fuel Profiles, and PM Emissions*. In: pp. 229 – 244. Sampson, R.N., Atkinson, R.D., and Lewis, J.W. (eds.) *Mapping Wildfire Hazards and Risks*. Food Product Press. New York
- 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
- Kosmas, C., Danalatos, N.G., and Gerontidis, St. 2000. *The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions*. CATENA, 40: 3 – 17
- Keane, R.E., Burgan, R., and Wagtendonk, J. 2001. *Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling*. International Journal of Remote Sensing, 10: 301 – 319
- Maselli, F., Rodolfi, A., Bottai, L., Romanelli, S., and Conese, C. 2000. *Classification of Mediterranean vegetation by TM and ancillary data for the evaluation of fire risk*. International Journal of Remote Sensing, (21)17: 3303 – 3313
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., and Laven, R.D. 1996. *Introduction to Wildland Fire*, second edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Quintiere, J.G. 1998. *Principles of fire behavior*. Delmar Publishers. USA
- Rothermel, R.C. 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p.
- Rothermel, R.C. 1983. *How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires*. General Technical Report INT-143. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 168 p.
- Santoni, P.A., Simeoni, A., Rossi, J.L., Bosseur, F., Morandini, F., Silvani, X., Balbi, J.H., Cancellieri, D., and Rossi, L. 2006. *Instrumentation of wildland fire:*

Characterisation of a fire spreading through a Mediterranean shrub. Fire Safety Journal, 41: 171 – 184

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.* General Technical Report RMRS-GTR-153. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 80 p.

Ιστοσελίδες

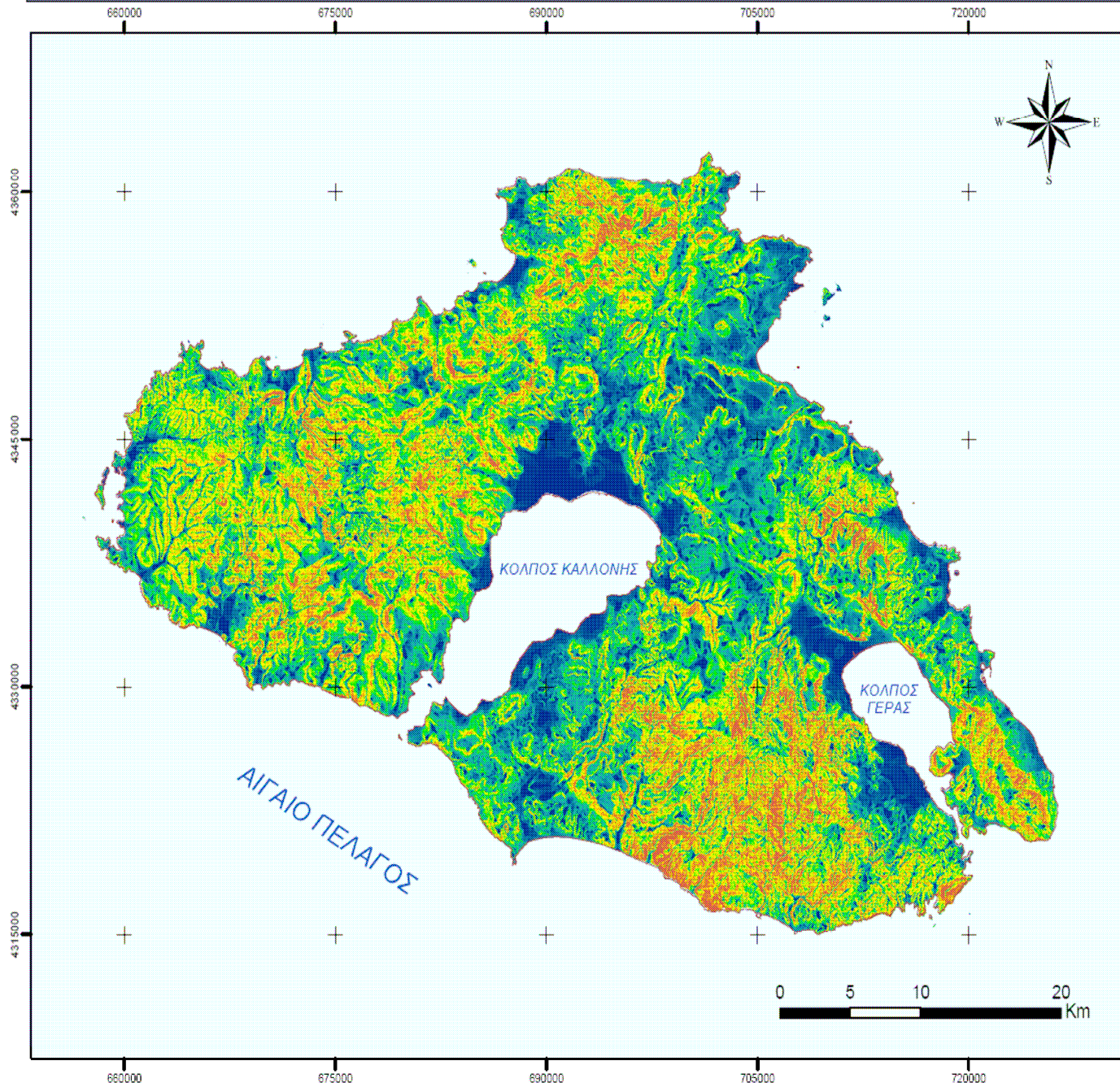
Introduction to fire behavior. Influences of topography, fuels and weather on fire ignition and spread. Produced by the COMET® Program.
<http://www.meted.ucar.edu/fire/fwv/>

National Park Service, U.S. Department of the Interior
http://www.nps.gov/nifc/public/pub_und_understandingfire.cfm

<http://www.e-lesvos.com/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ (%) ΛΕΣΒΟΥ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:

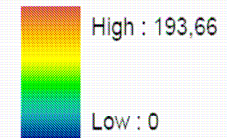
Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:

Εργαστήριο Γεωγραφίας
Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Τιμές κλίσεων επί %

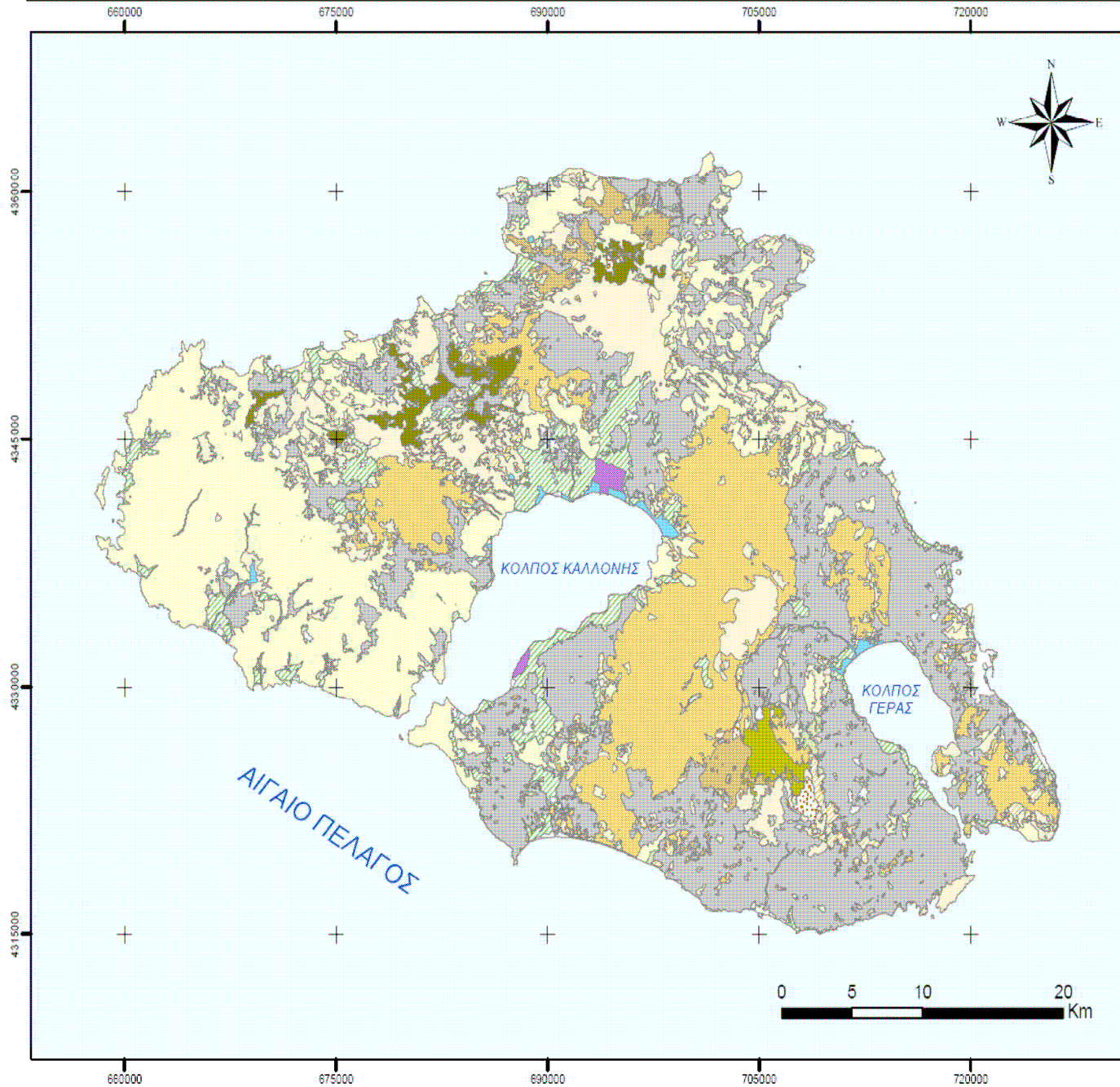


Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000



ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΣΒΟΥ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:

Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:

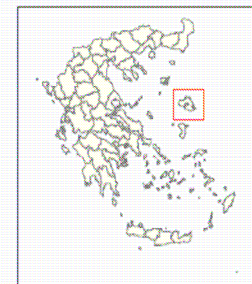
Εργαστήριο Γεωγραφίας
Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

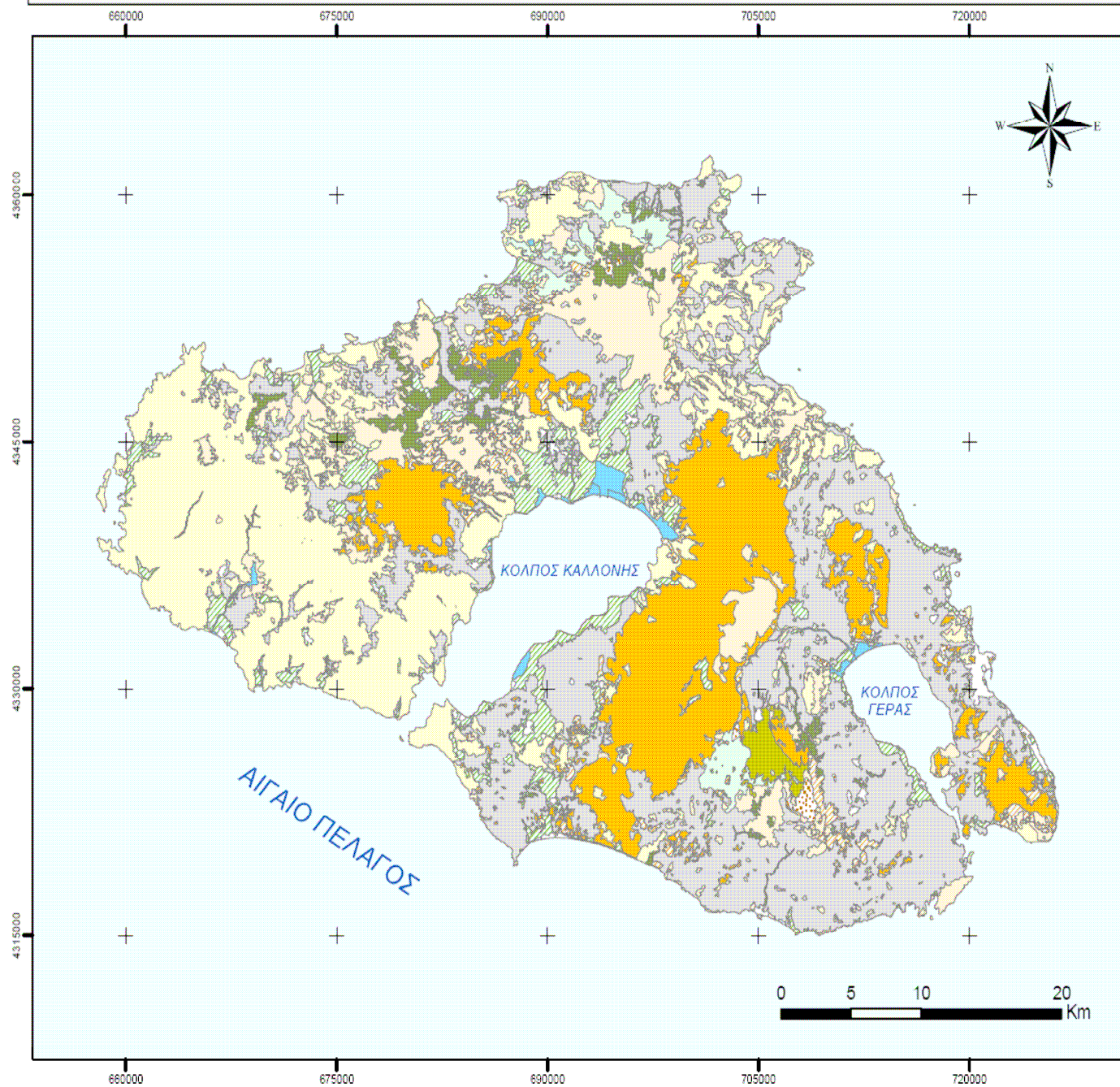
Τύποι Κάλυψης Γης

- ΔΑΣΟΣ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ
- ΑΡΑΙΟ ΔΑΣΟΣ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ
- ΔΡΥΣ
- ΚΑΣΤΑΝΙΩΝΑΣ
- ΛΟΙΠΑ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ
- ΑΕΙΦΥΛΛΑ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΑ
- ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ
- ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΑ
- ΕΛΑΙΩΝΕΣ
- ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
- ΑΛΥΚΕΣ
- ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
- ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
- ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ

Κλίμακα 1:350.000



ΧΑΡΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΛΕΣΒΟΥ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:

Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:

Εργαστήριο Γεωγραφίας
Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

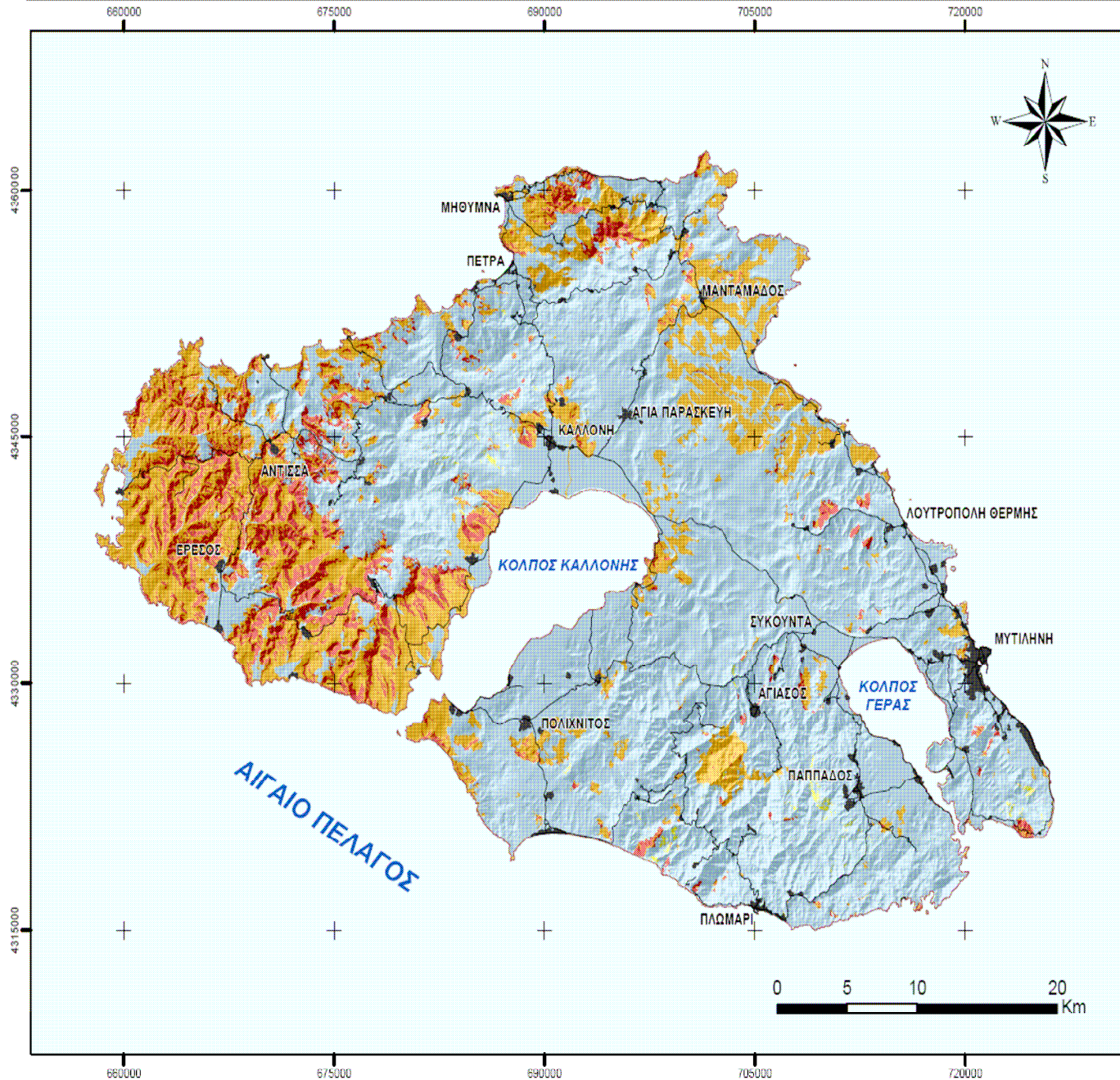
Μοντέλα Καύσιμης Ύλης


- tu5 - Δάσος Κωνοφόρων
- tu4 - Αραιό Δάσος Κωνοφόρων
- ti6 - Δρυς + Λοιπά Πλατύφυλλα
- ti2 - Καστανιάνος
- sh7 - Αείφυλλα Σκληρόφυλλα
- sh2 - Θαμνότοποι
- gr2 - Χορτολίβαδα
- tu1 - Ελαιώνες
- nb1 - Αστικές περιοχές
- nb3 - Καλλιέργειες
- nb8 - Υδάτνες επιφάνειες
- nb9 - Γυμνό έδαφος

Κλίμακα 1:350.000



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ1







ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
 Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"





ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
 Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
 Εργαστήριο Γεωγραφίας
 Φυσικών Καταστροφών


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Κύριο οδικό δίκτυο
-  Δευτερεύον οδικό δίκτυο
-  Αστικές περιοχές

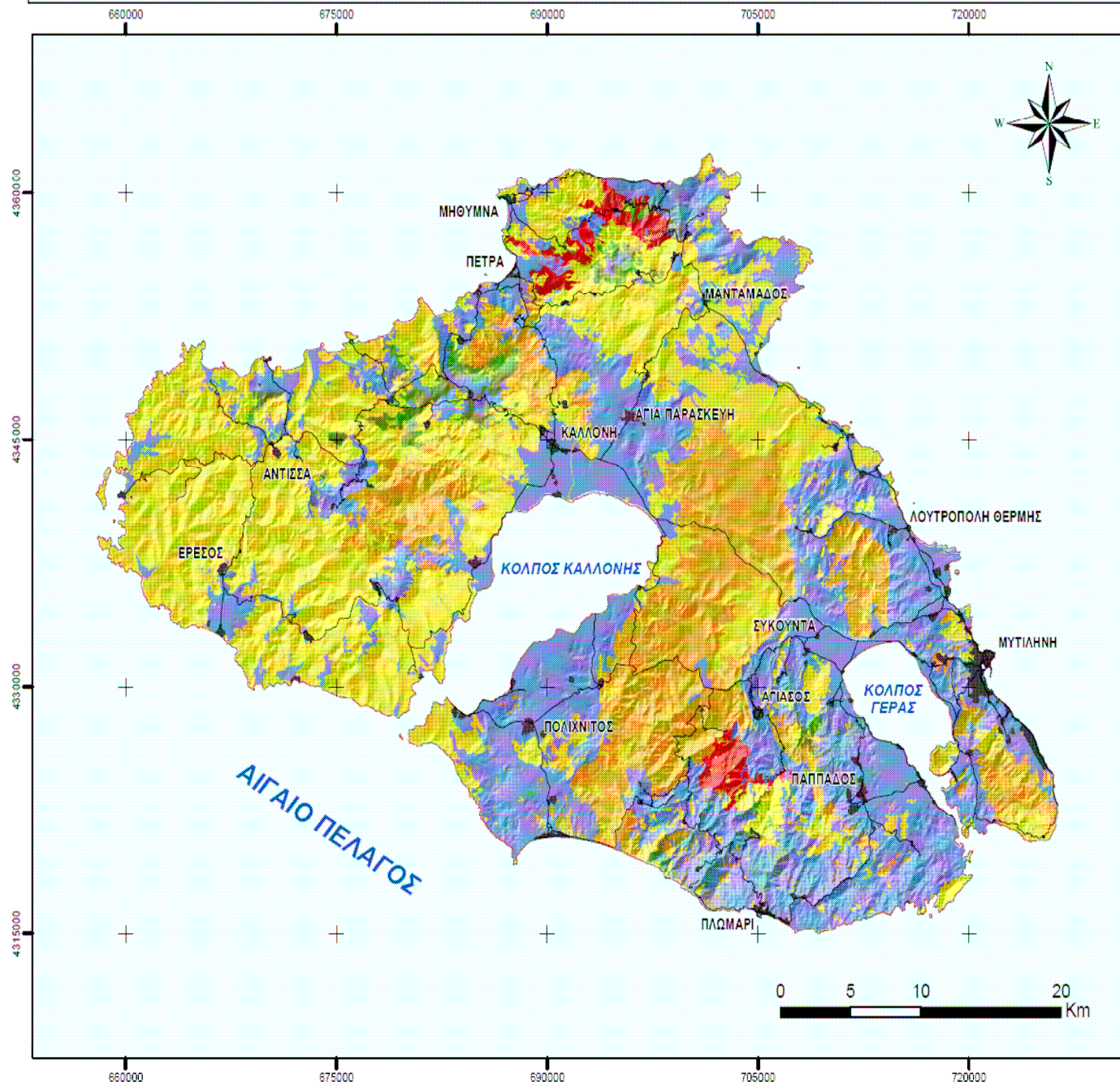
Ταχύτητα Διάδοσης (m/min)

-  0 - 15
-  15 - 30
-  30 - 45
-  45 - 60

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
 ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΦΛΟΓΑΣ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ1



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:

Ζουμπουλίδου Ευδοξία

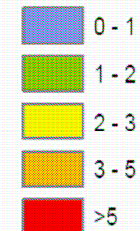
ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:

Εργαστήριο Γεωγραφίας
Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

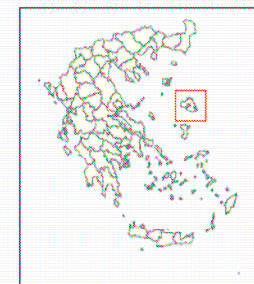
- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Αστικές περιοχές

Μήκος Φλόγας (m)

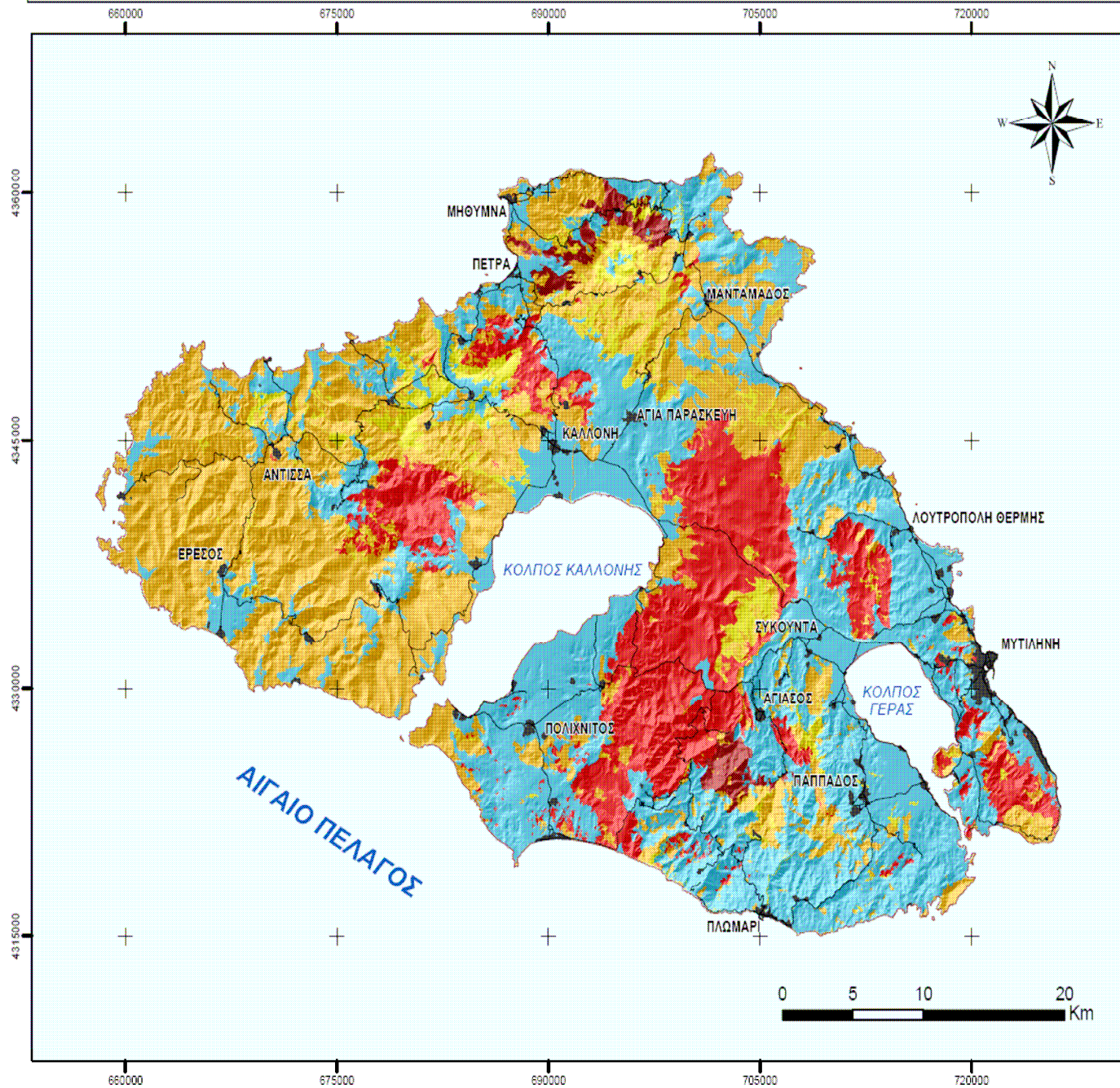



Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ1



 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
Εργαστήριο Γεωγραφίας
Φυσικών Καταστροφών

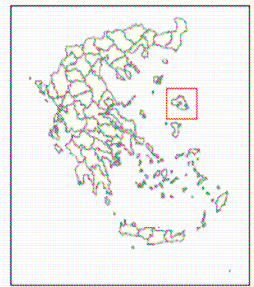
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Αστικές περιοχές

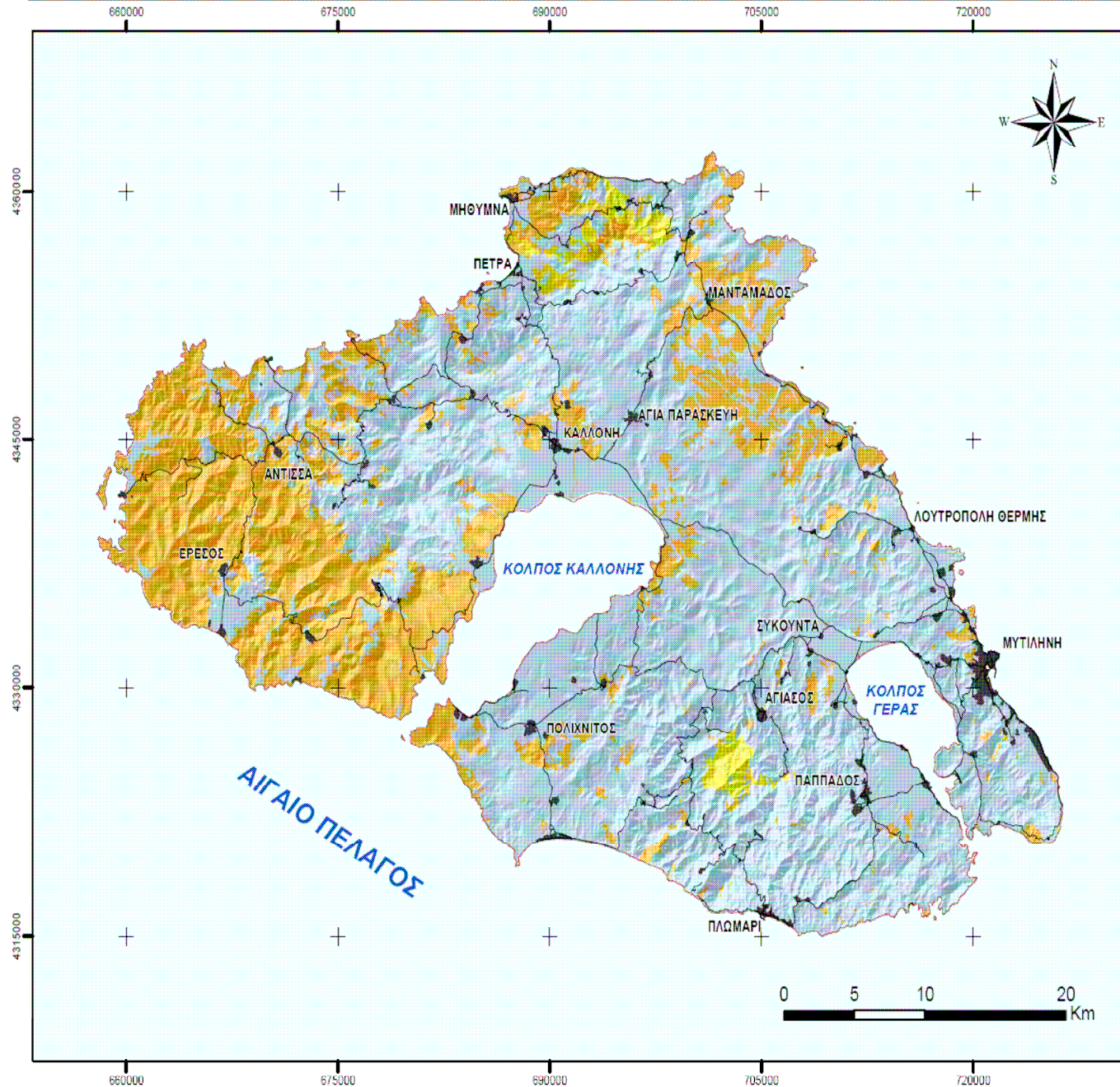
Θερμική Ένταση Μετώπου (kW/m)


- 0 - 350
- 350 - 1.750
- 1.750 - 3.500
- 3.500 - 7.000
- >7.000

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ M2



 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
Εργαστήριο Γεωγραφίας
Φυσικών Καταστροφών

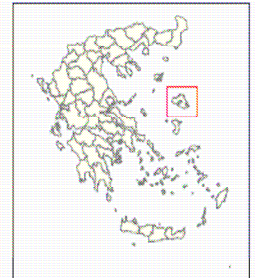
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Αστικές περιοχές

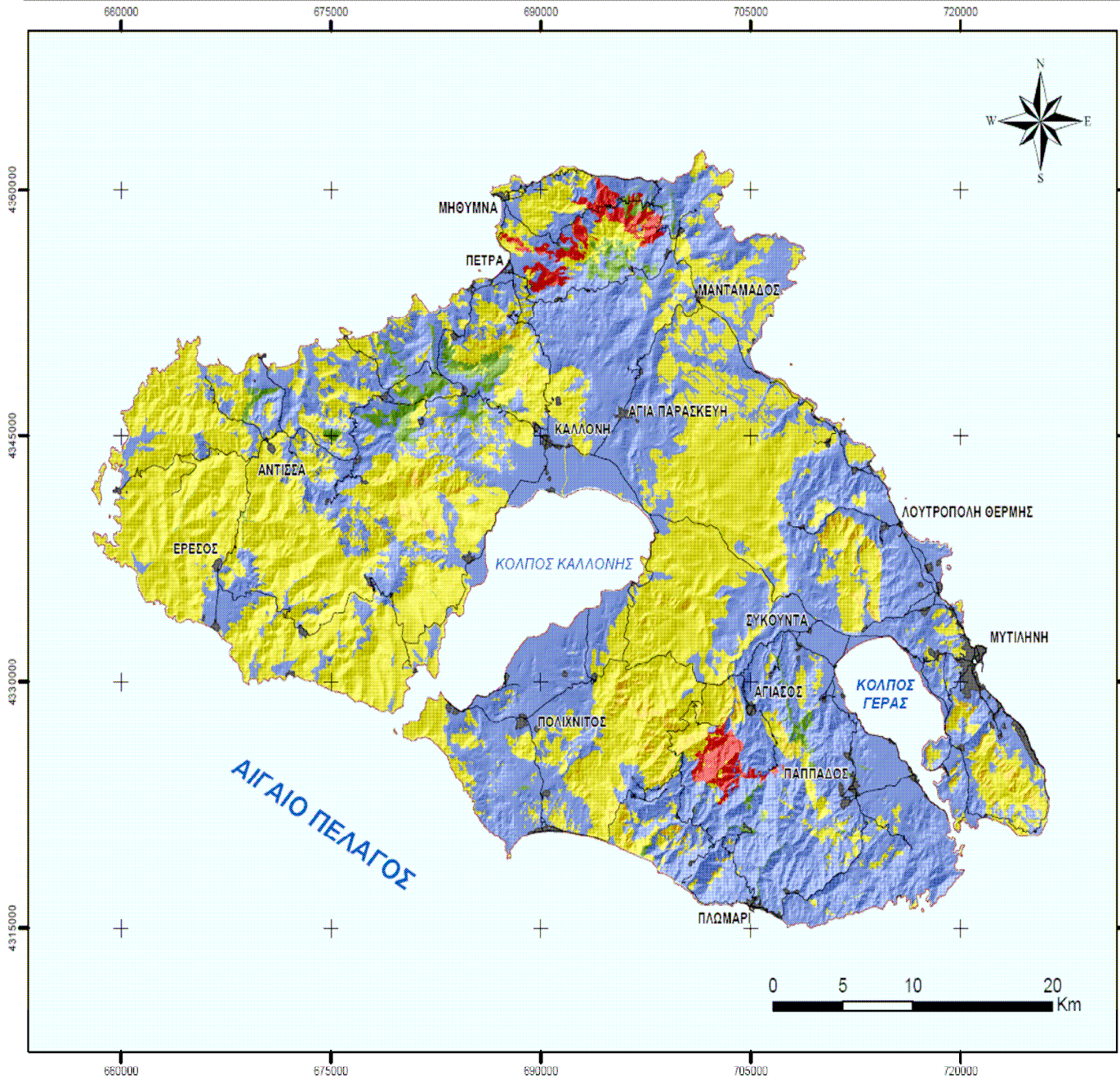
Ταχύτητα Διάδοσης (m/min)

- 0 - 15
- 15 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΦΛΟΓΑΣ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ2



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Π. Μ. Σ.
 "ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
 ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
 Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
 Εργαστήριο Γεωγραφίας
 Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

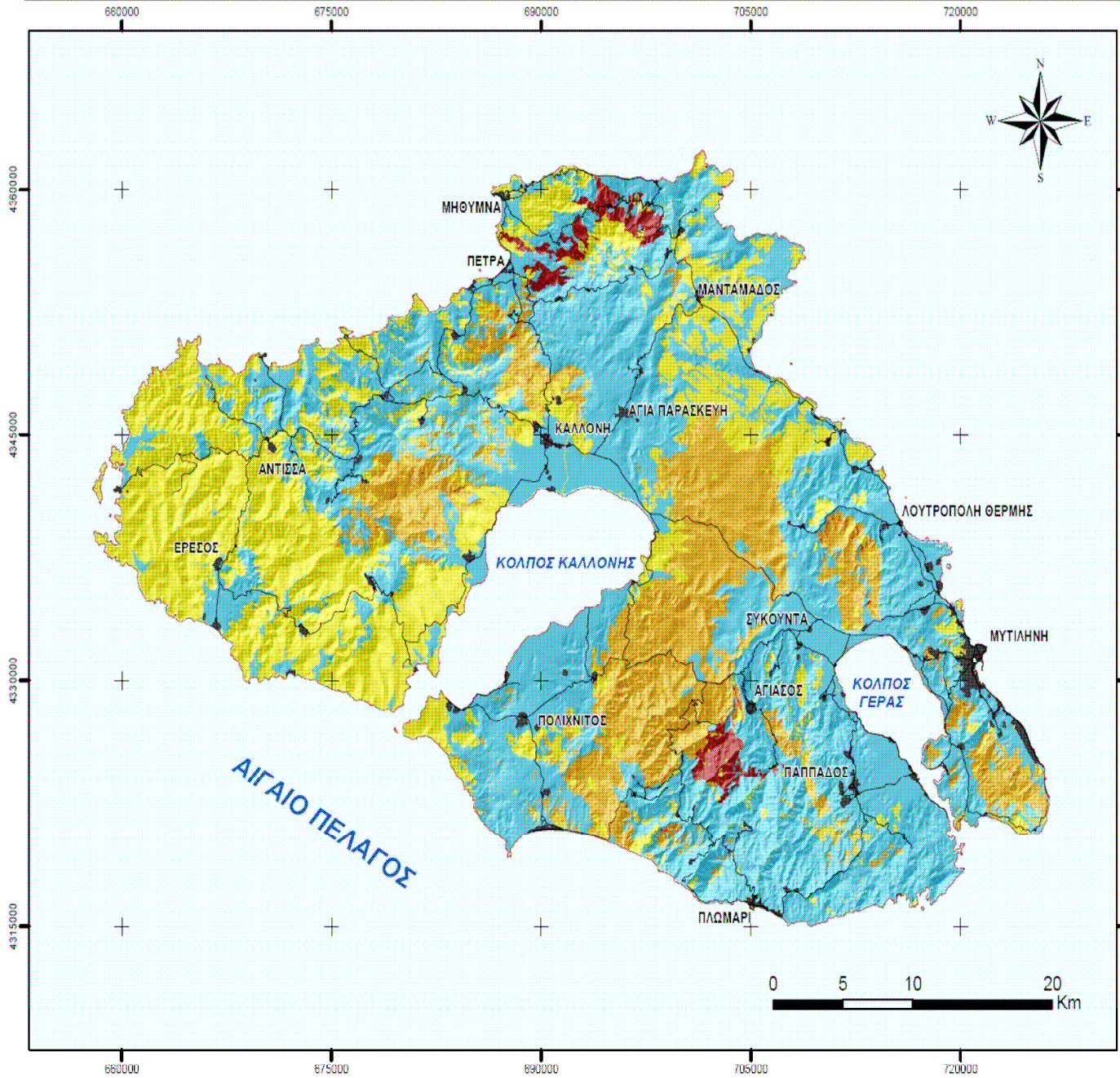
- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- ▨ Αστικές περιοχές

Μήκος Φλόγας (m)

- 0 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 5
- >5

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
 ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ2



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Π. Μ. Σ.
 "ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
 ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
 Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
 Εργαστήριο Γεωγραφίας
 Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

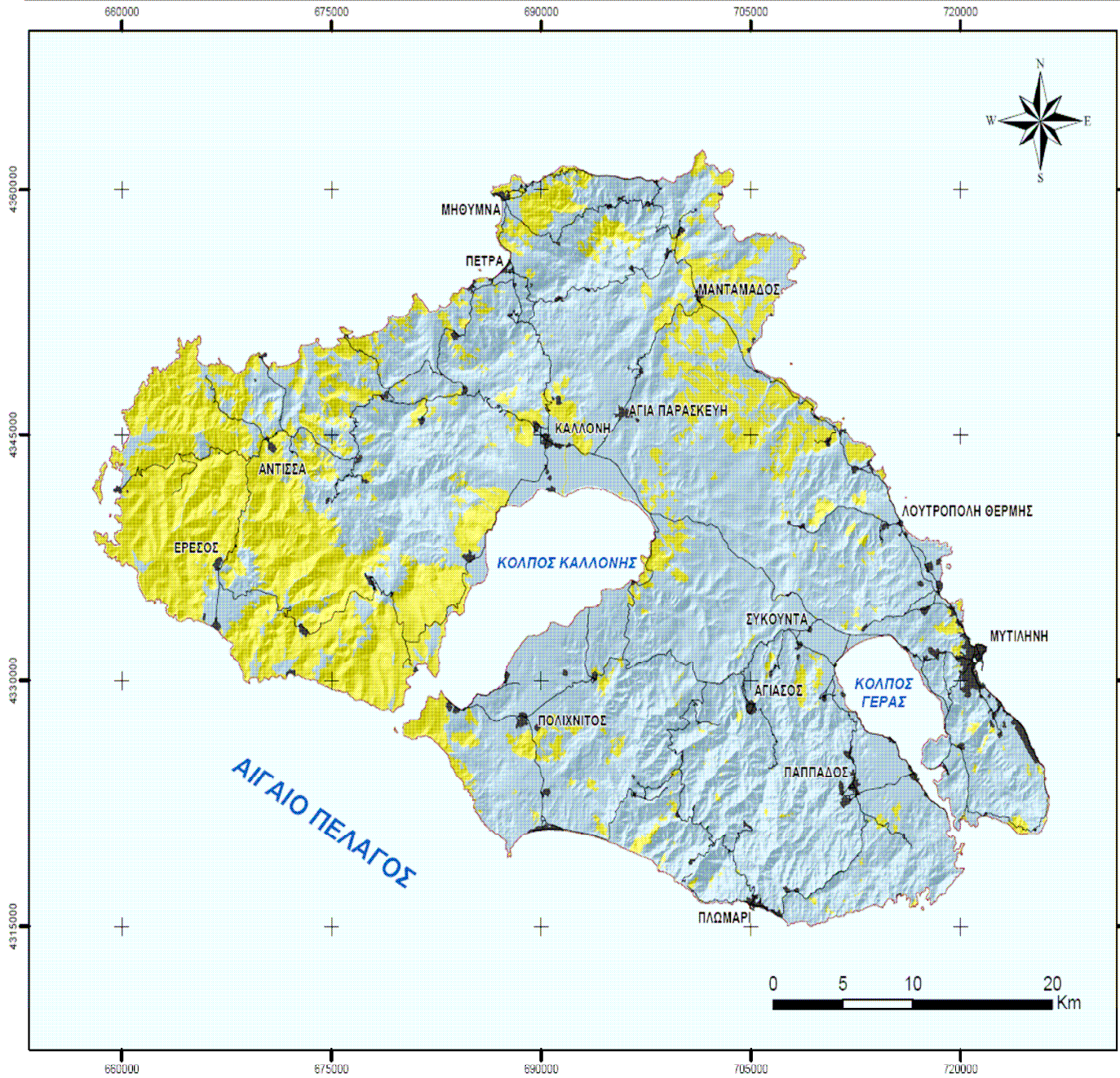
- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Αστικές περιοχές

Θερμική Ένταση Μετώπου (kW/m)

- 0 - 350
- 350 - 1.750
- 1.750 - 3.500
- 3.500 - 7.000
- >7.000

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
 ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ3



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
 Π. Μ. Σ.
 "ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
 ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
 Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
 Εργαστήριο Γεωγραφίας
 Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

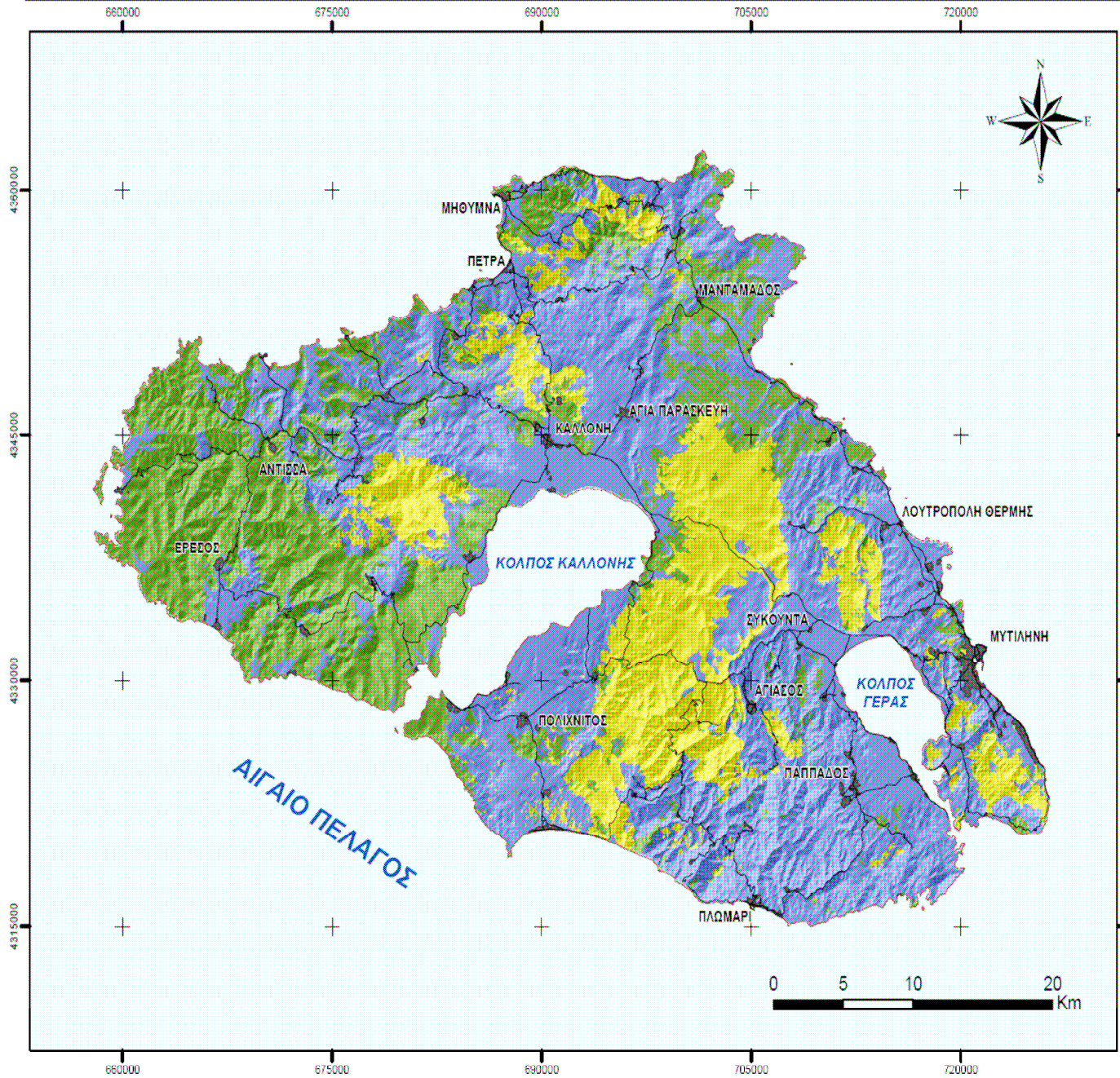
- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Αστικές περιοχές

Ταχύτητα Διάδοσης (m/min)

- 0 - 15
- 15 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
 ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΦΛΟΓΑΣ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ3



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
 Π. Μ. Σ.
 "ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
 ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
 Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
 Εργαστήριο Γεωγραφίας
 Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

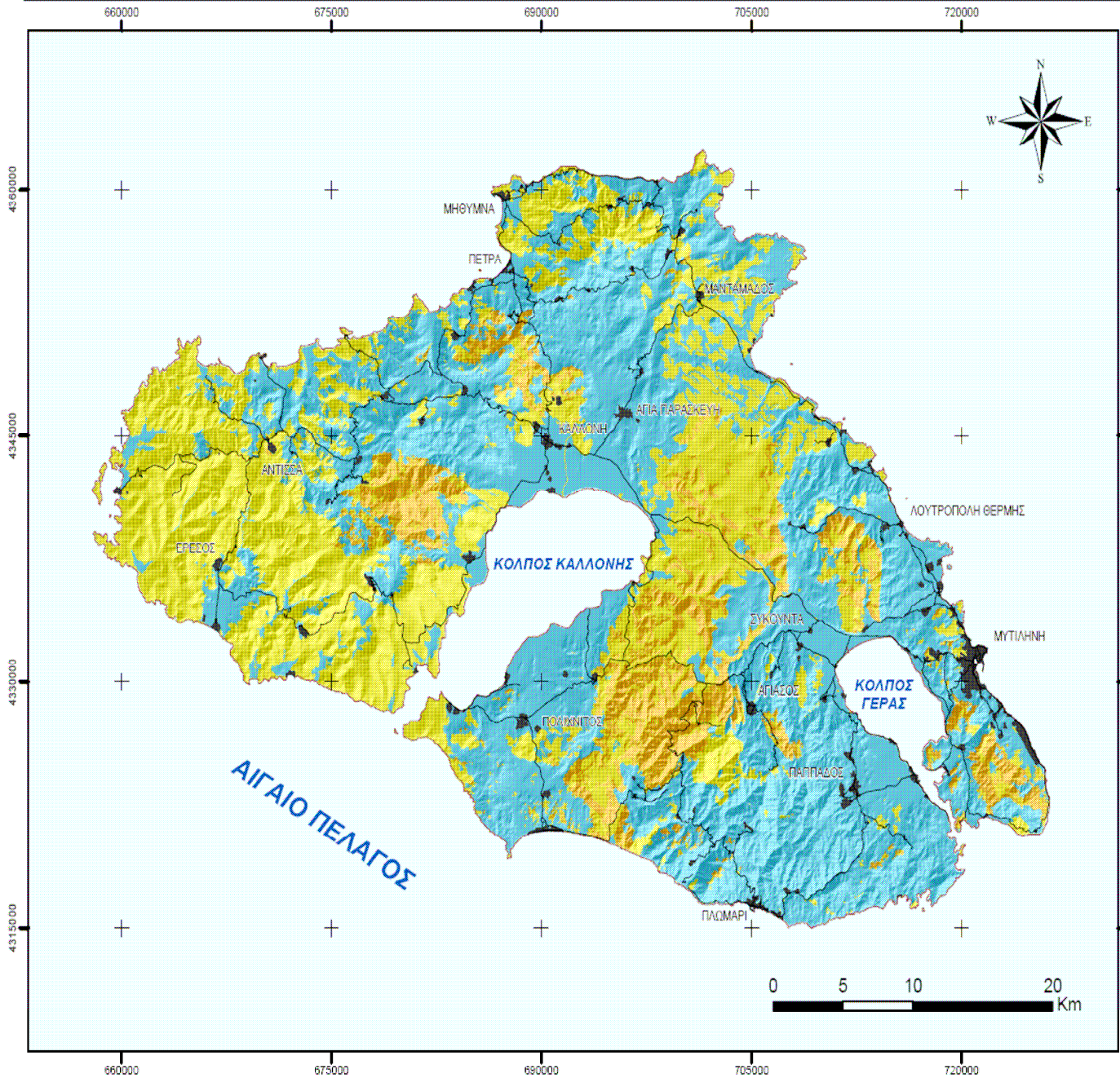
- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- ▨ Αστικές περιοχές

Μήκος Φλόγας (m)

- 0 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 5
- >5

Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
 ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ - ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ3



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
 Π. Μ. Σ.
"ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ:
 Ζουμπουλίδου Ευδοξία

ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:
 Εργαστήριο Γεωγραφίας
 Φυσικών Καταστροφών

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Κύριο οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Αστικές περιοχές

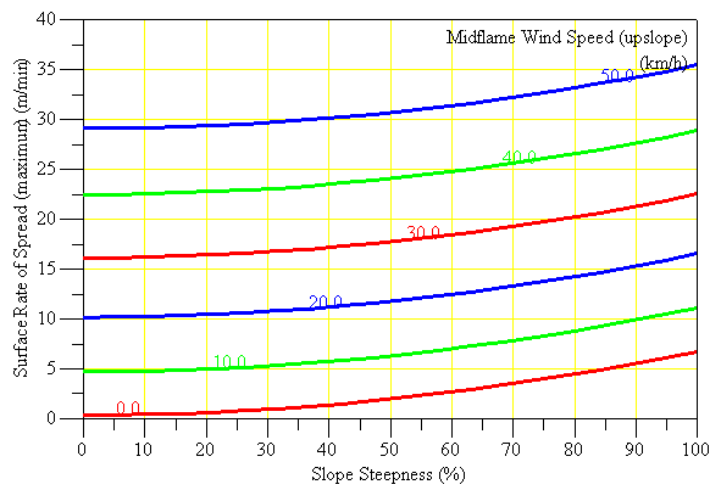
Θερμική Ένταση Μετώπου (kW/m)

- 0 - 350
- 350 - 1.750
- 1.750 - 3.500
- 3.500 - 7.000
- >7.000

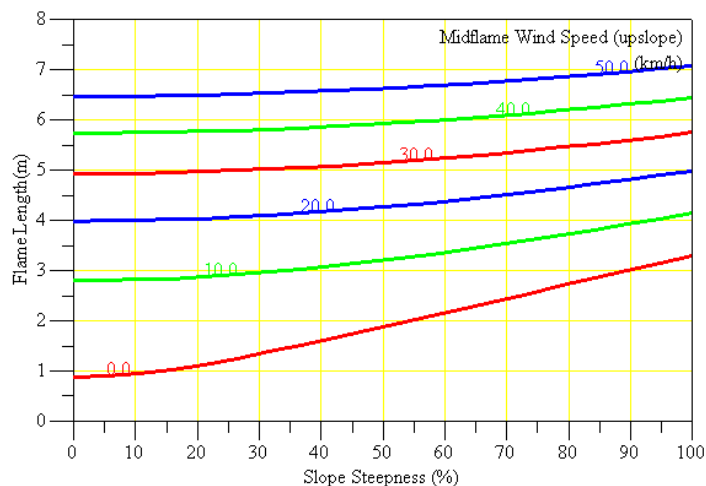
Χαρτογραφική Προβολή: ΕΓΣΑ '87
 ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:350.000

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ M1 (ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)

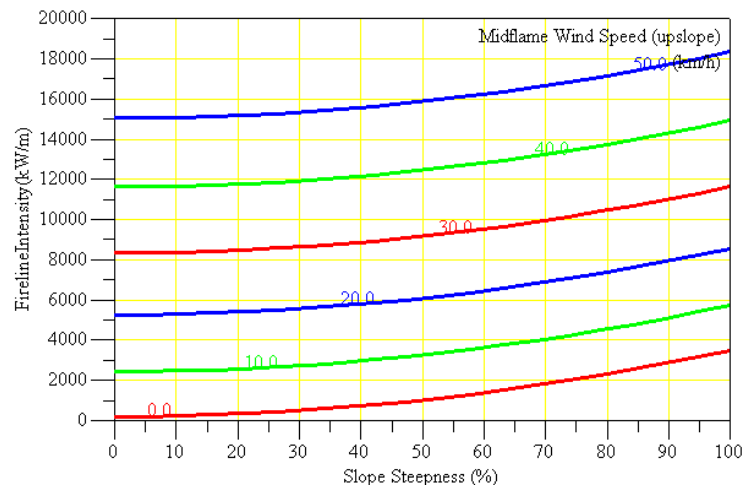
Δάσος Κονοφόρων M1



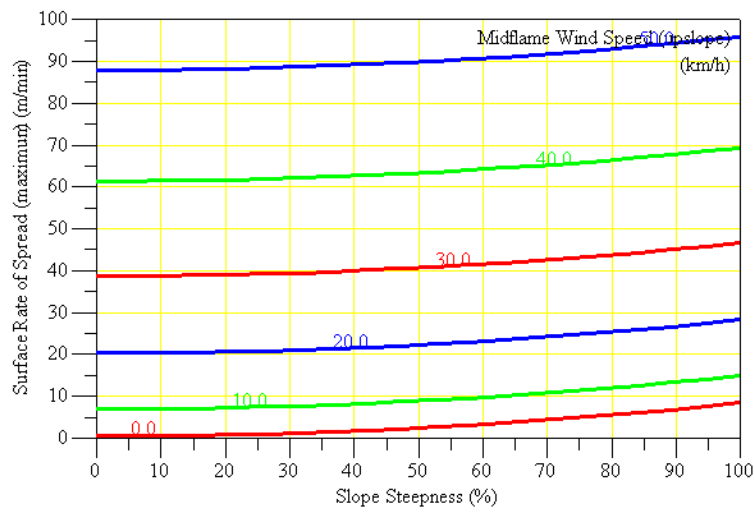
Δάσος Κονοφόρων M1



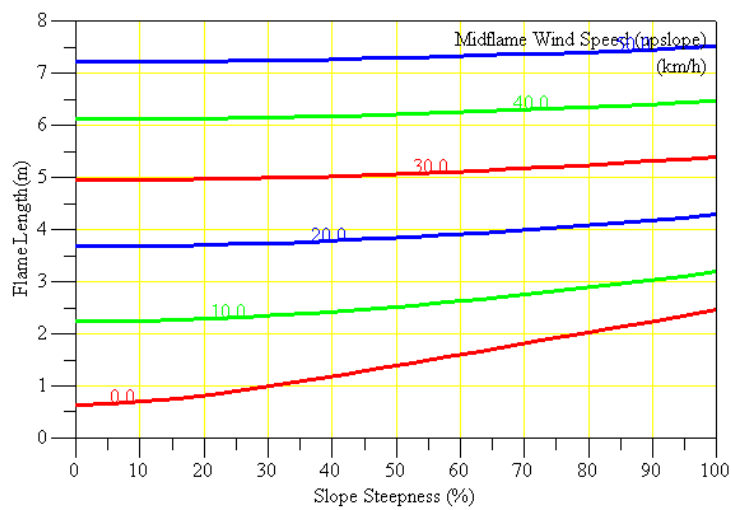
Δάσος Κωνοφόρων Μ1



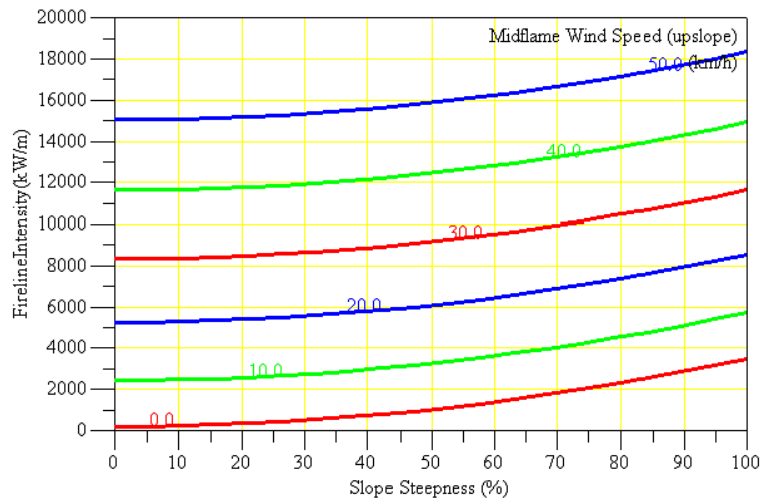
Αραιό Δάσος Κωνοφόρων Μ1



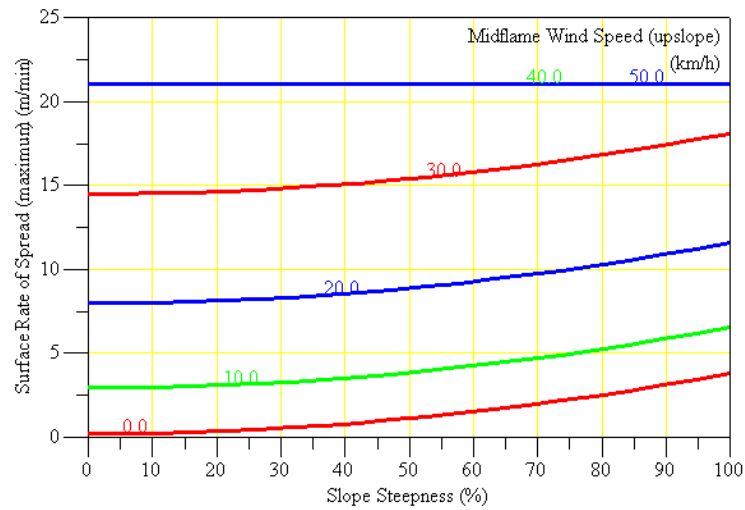
Αραιό Δάσος Κωνοφόρων Μ1



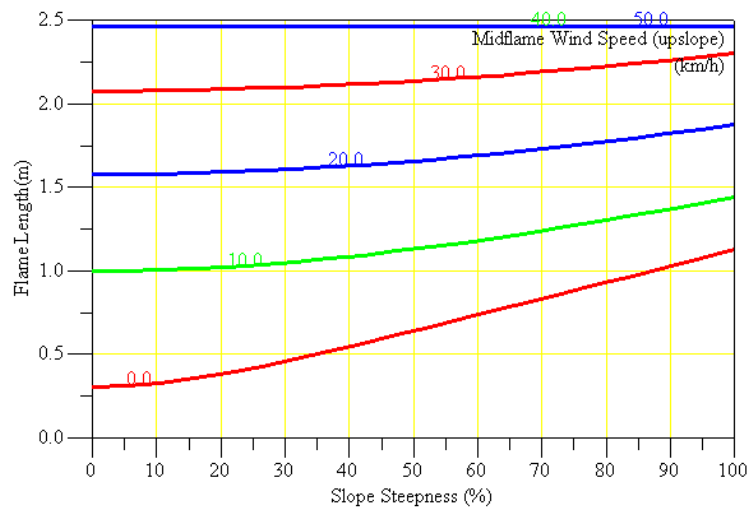
Αραιό Δάσος Κωνοφόρων ΜΙ



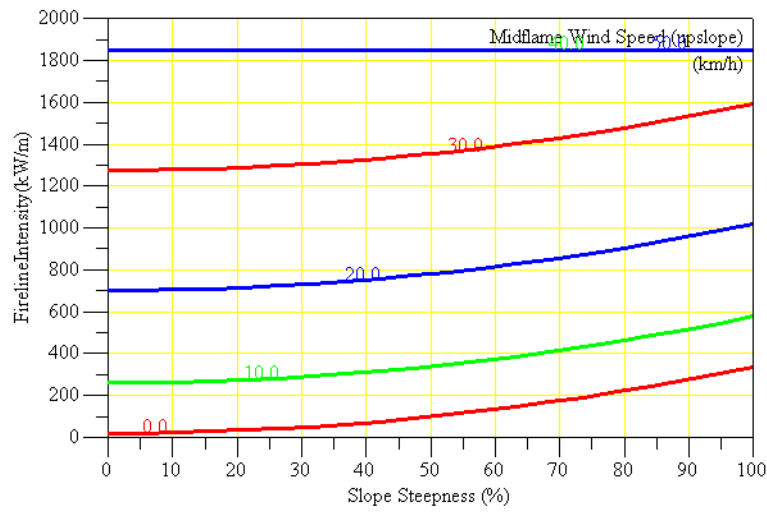
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα ΜΙ



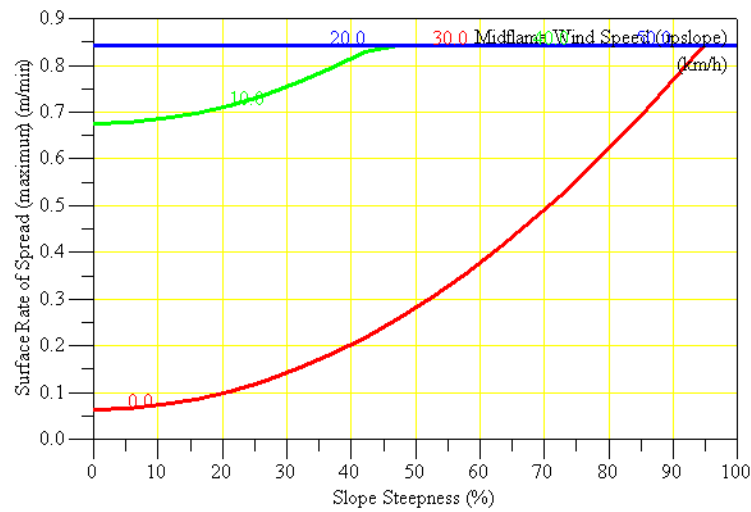
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα ΜΙ



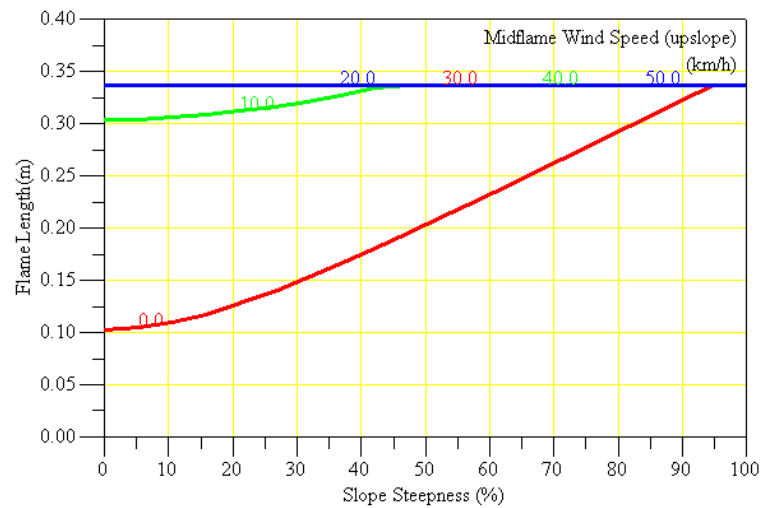
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα ΜΙ



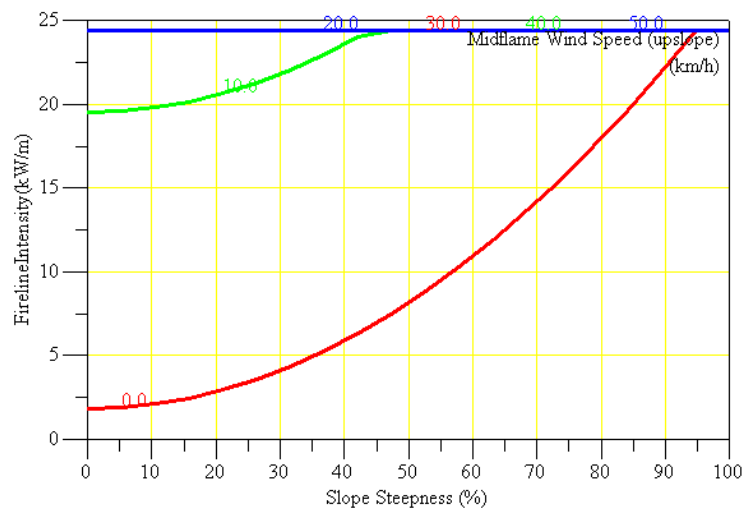
Καστανιόνας ΜΙ



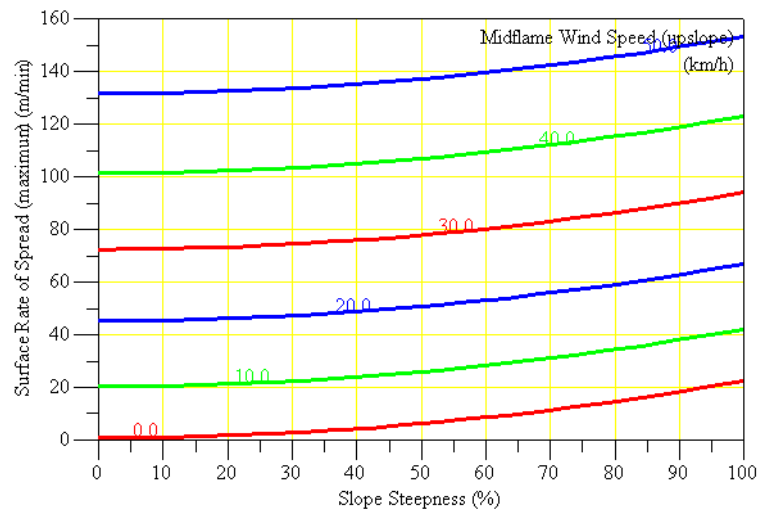
Καστανιόνας ΜΙ



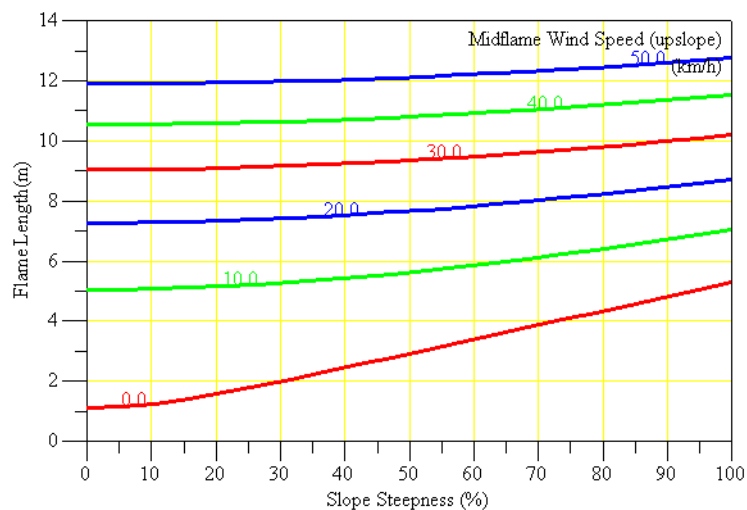
Καστανιόνας ΜΙ



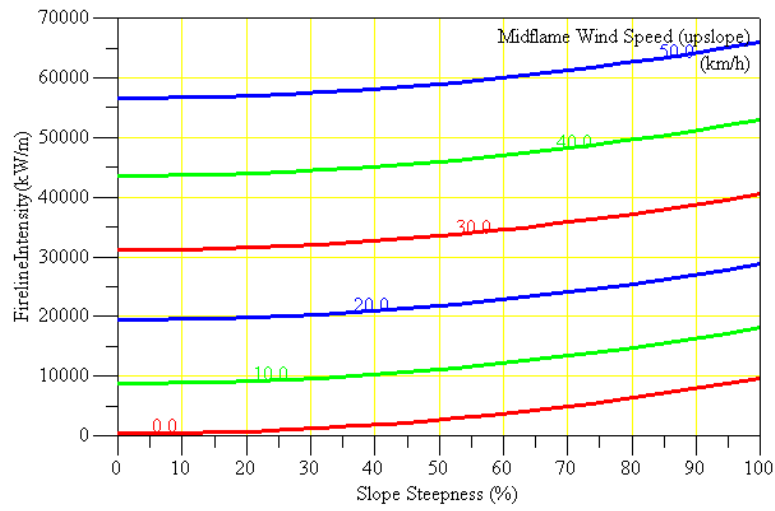
Αειφύλλα Σκληρόφυλλα ΜΙ



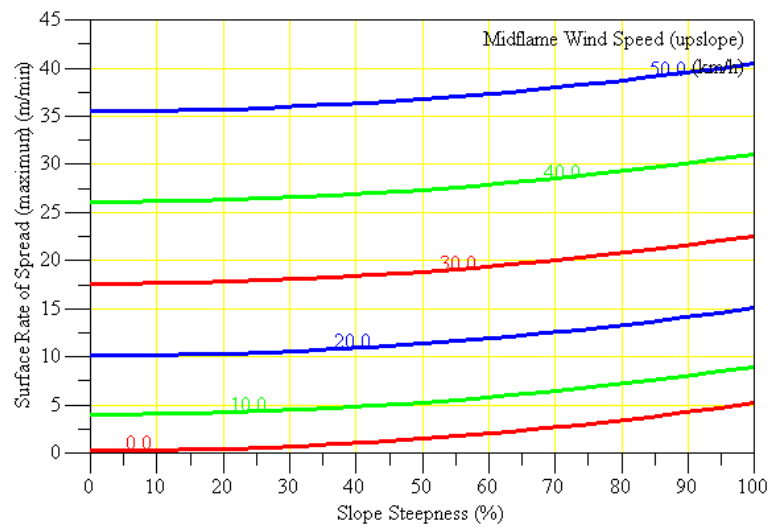
Αειφύλλα Σκληρόφυλλα ΜΙ



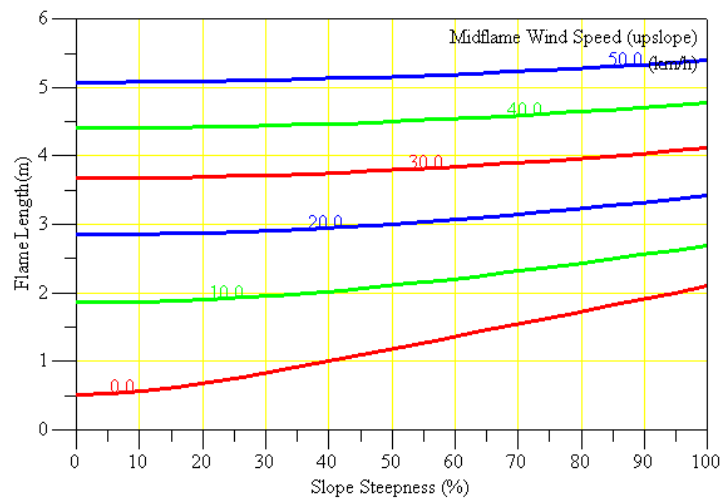
Αείφυλλα Σκληρόφυλλα Μ1



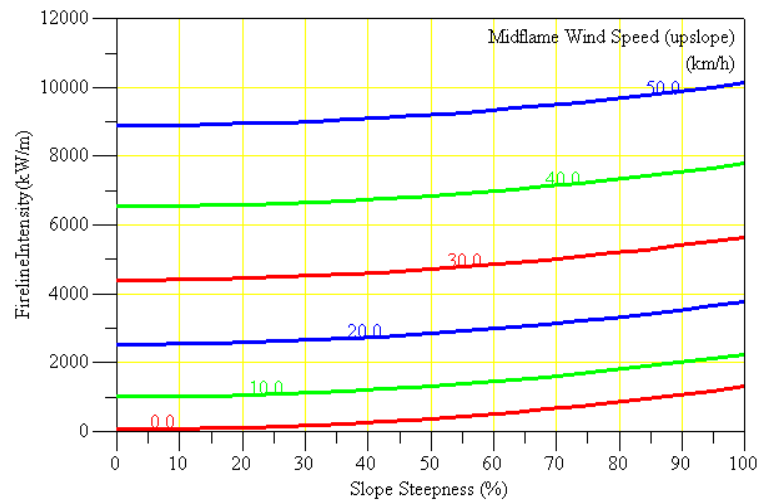
Θαμνότοποι Μ1



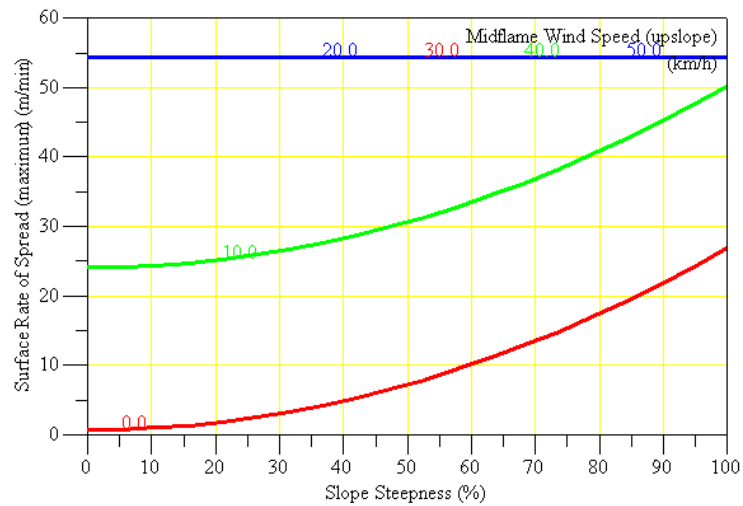
Θαμνότοποι Μ1



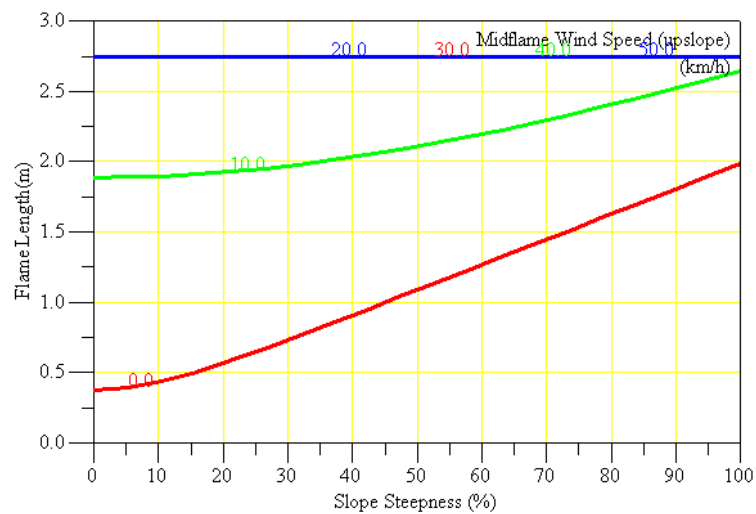
Θαμνότοποι Μ1



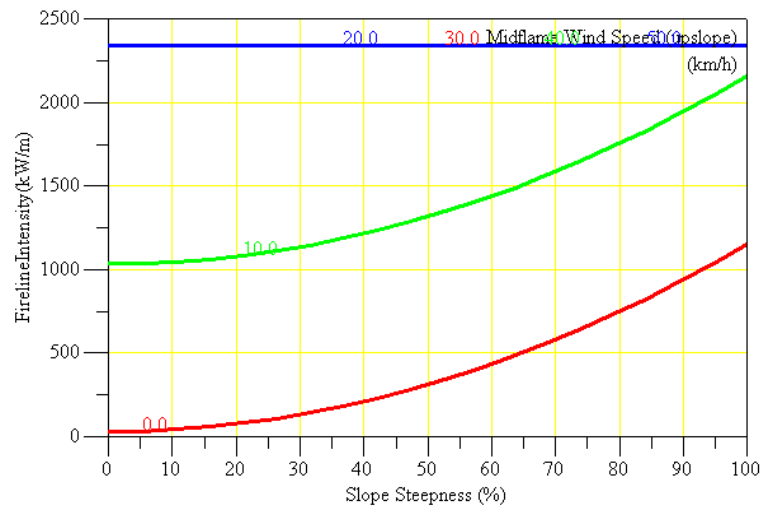
Χορτολίβαδα Μ1



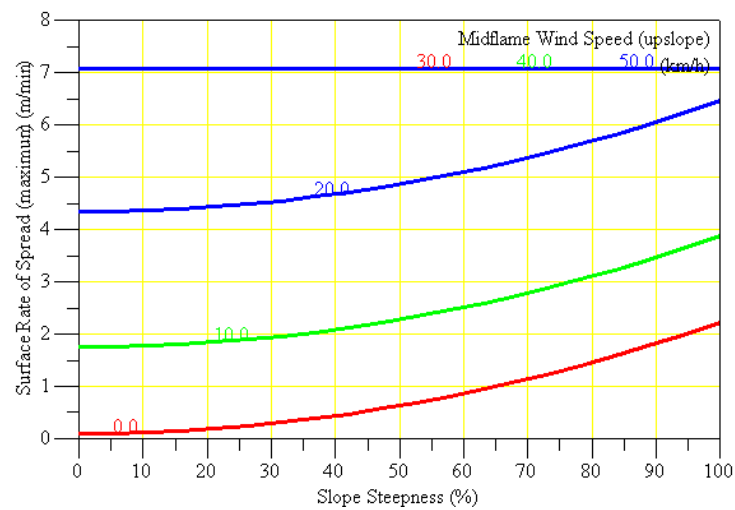
Χορτολίβαδα Μ1



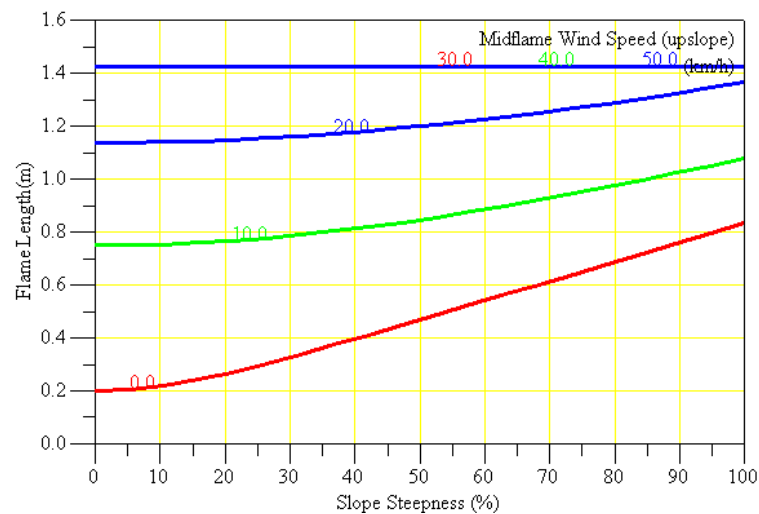
Χορτολίβαδα Μ1



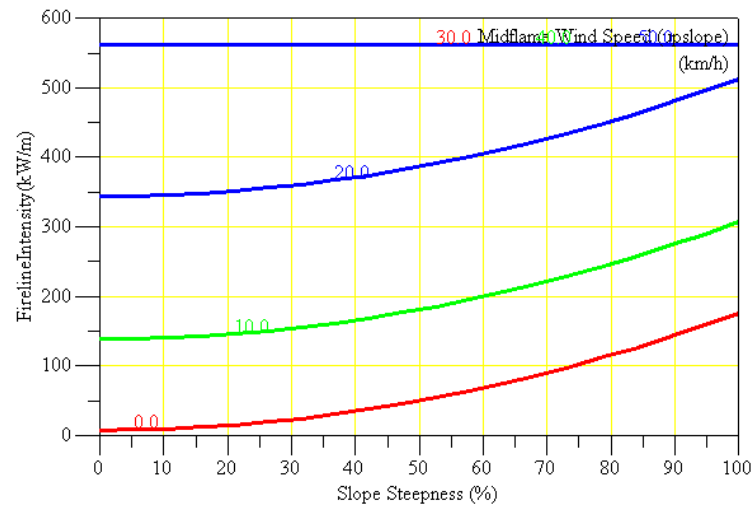
Ελαιώνες Μ1



Ελαιώνες Μ1

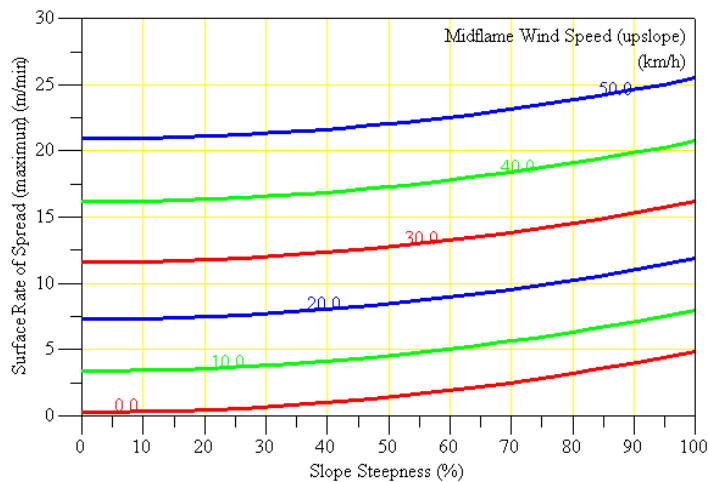


Ελαιώνες Μ1

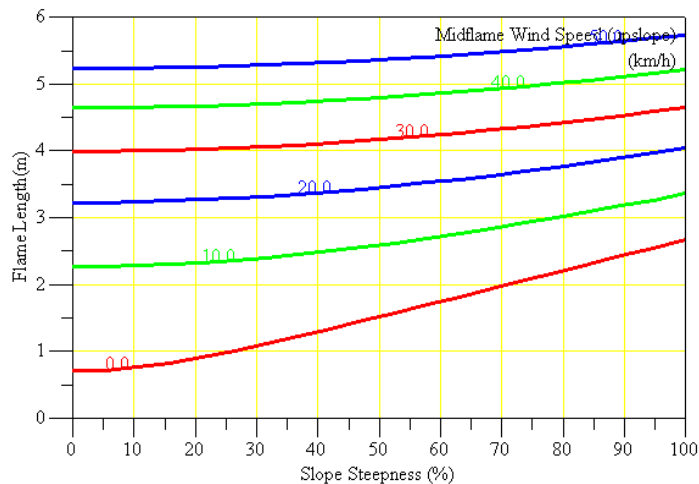


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ M2
(ΜΕΤΡΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)**

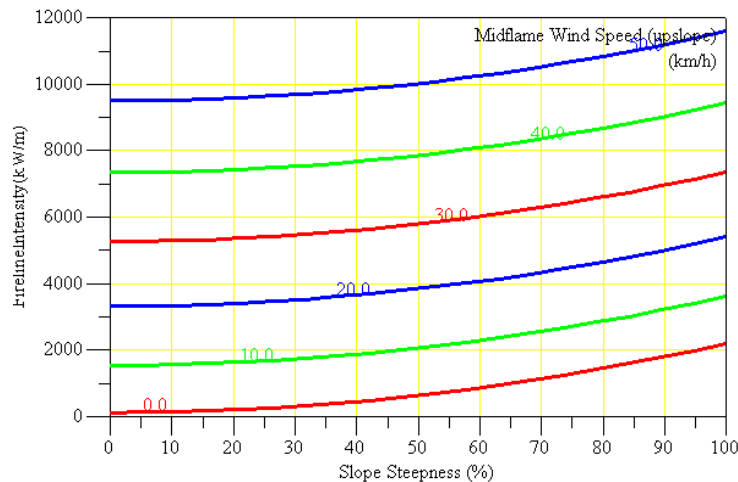
Δάσος Κονοφόρων M2



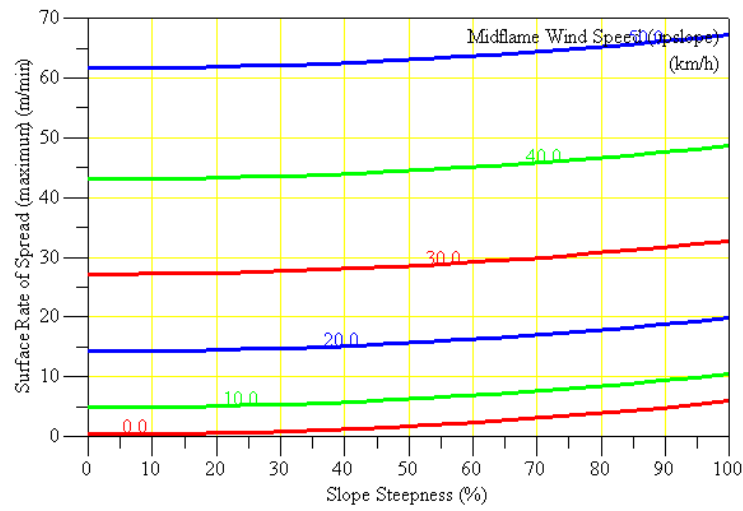
Δάσος Κονοφόρων M2



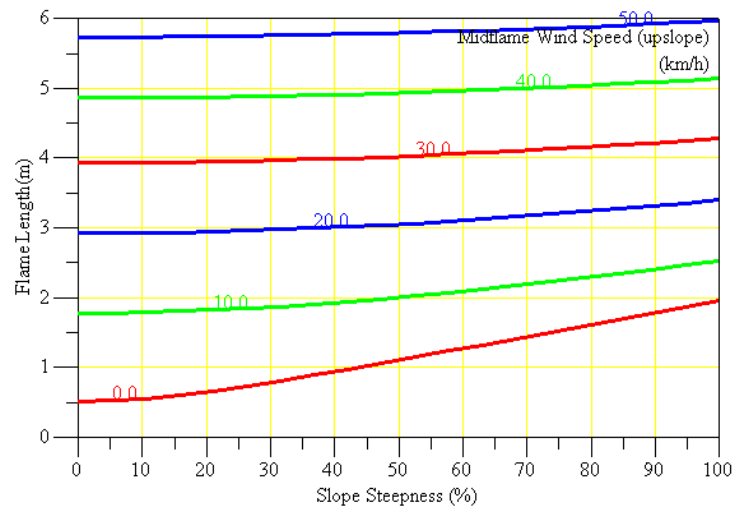
Δάσος Κονοφόρων M2



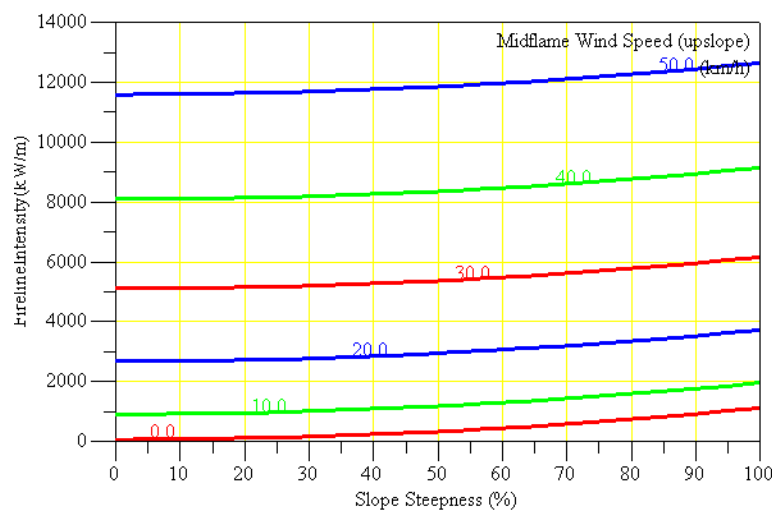
Αραιό Δάσος Κονοφόρον Μ2



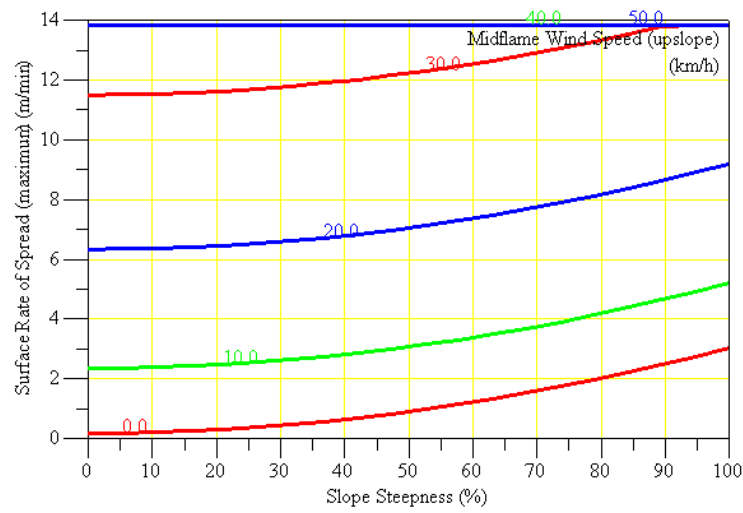
Αραιό Δάσος Κονοφόρον Μ2



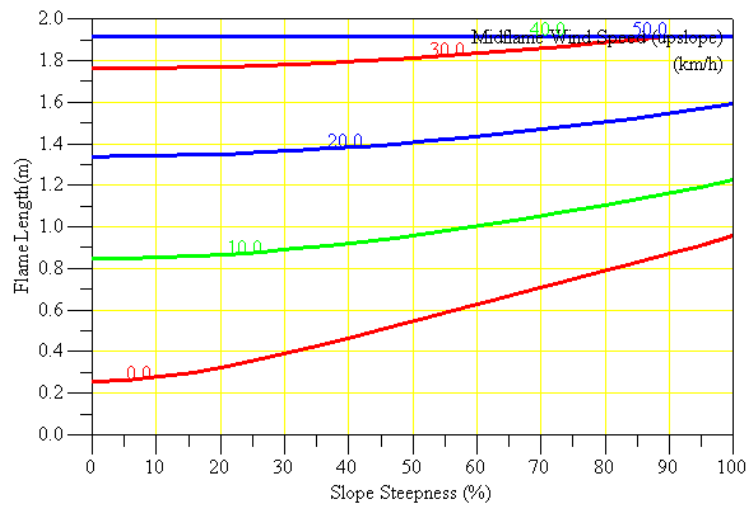
Αραιό Δάσος Κονοφόρον Μ2



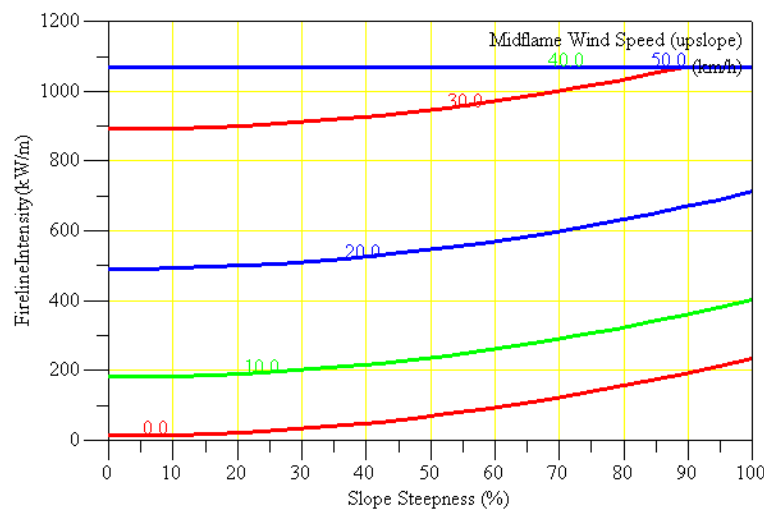
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα Μ2



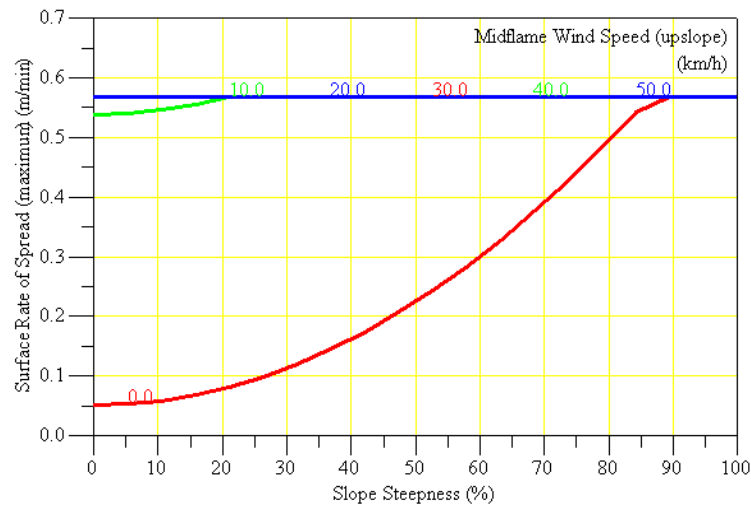
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα Μ2



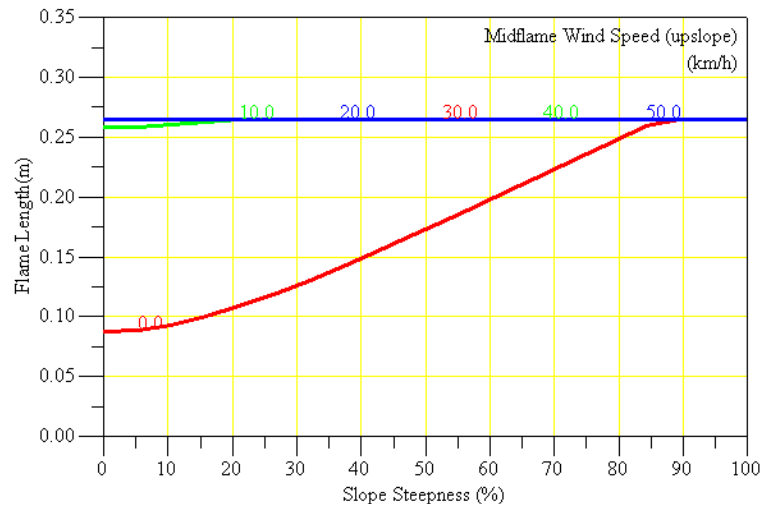
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα Μ2



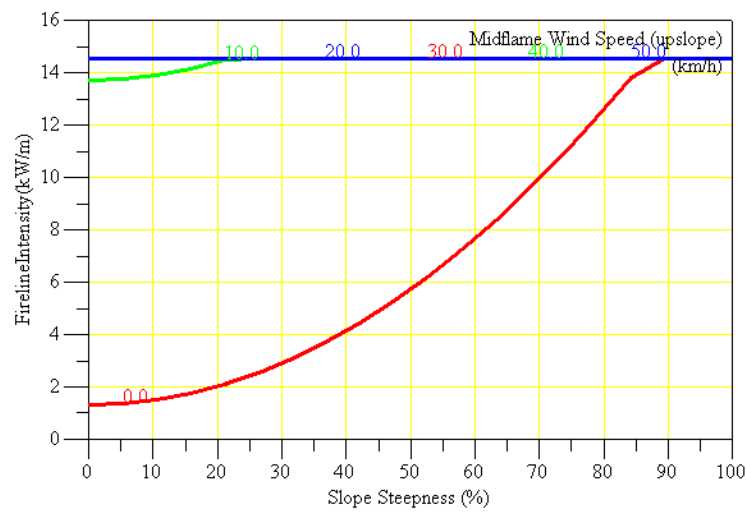
Καστανιώνας Μ2



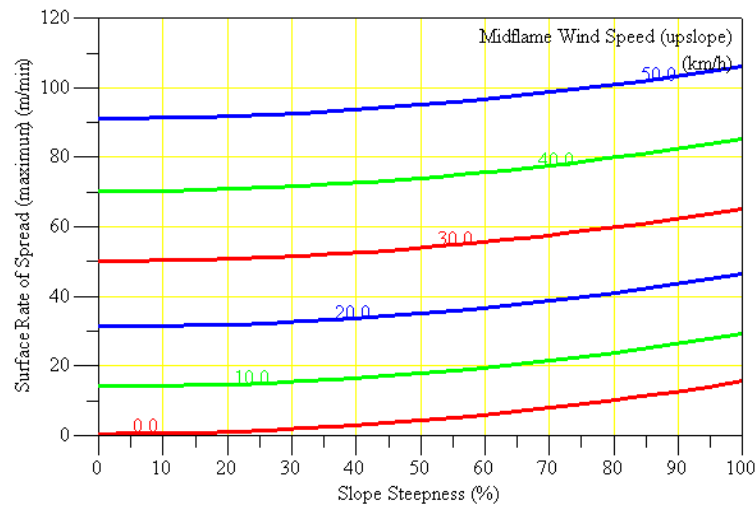
Καστανιώνας Μ2



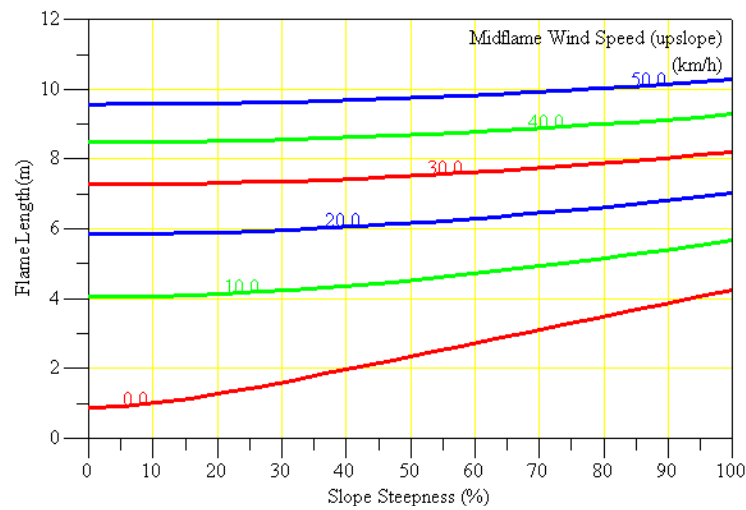
Καστανιώνας Μ2



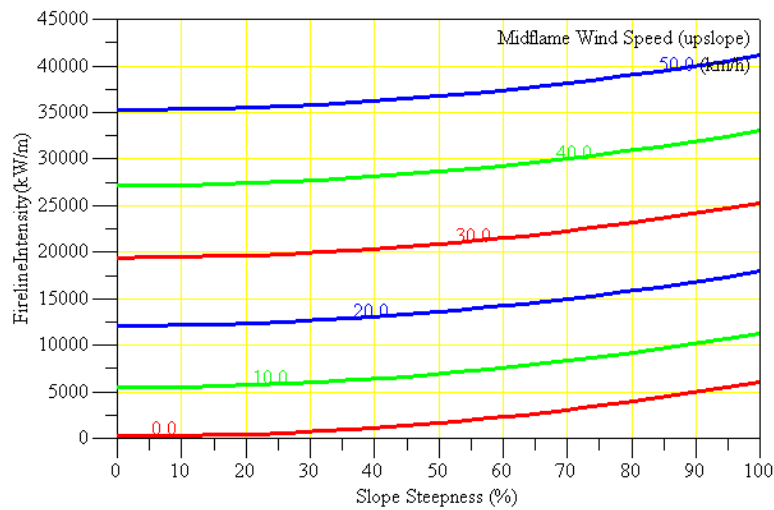
Αείφυλλα Σκληρόφυλλα Μ2



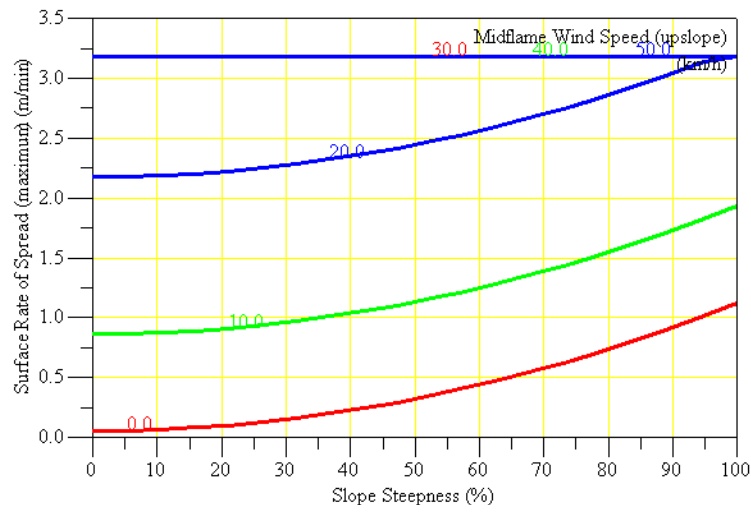
Αείφυλλα Σκληρόφυλλα Μ2



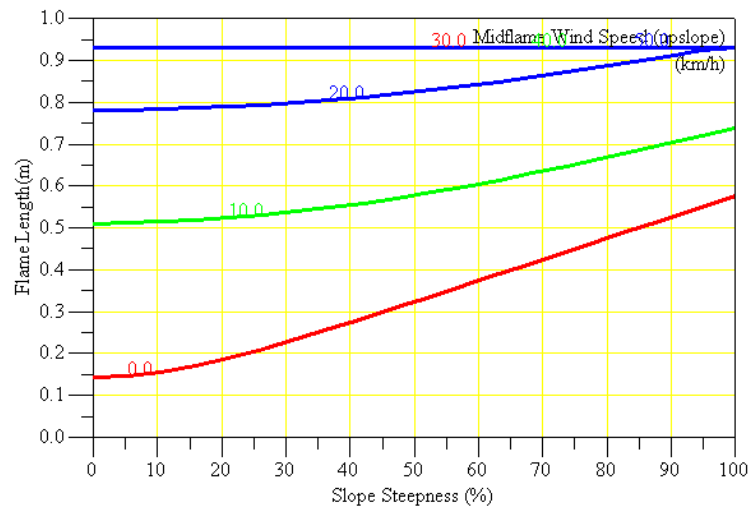
Αείφυλλα Σκληρόφυλλα Μ2



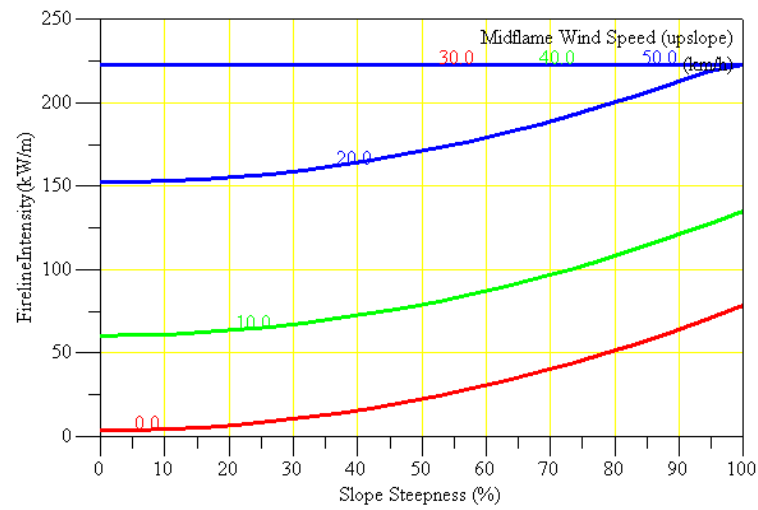
Θαμνότοποι M2



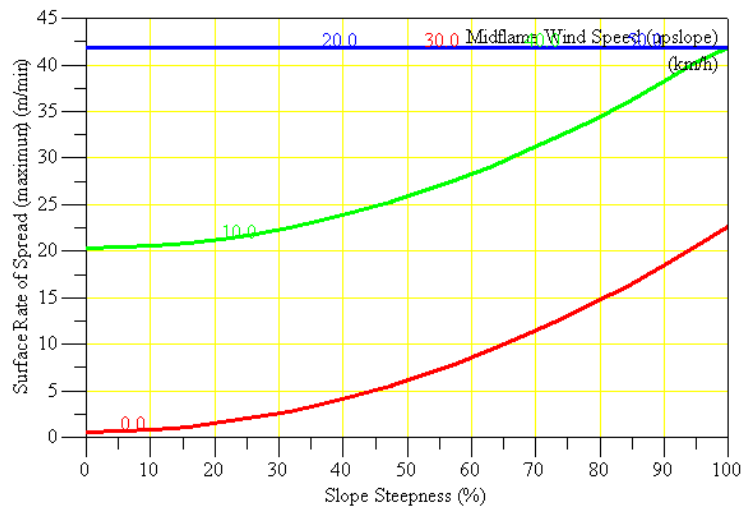
Θαμνότοποι M2



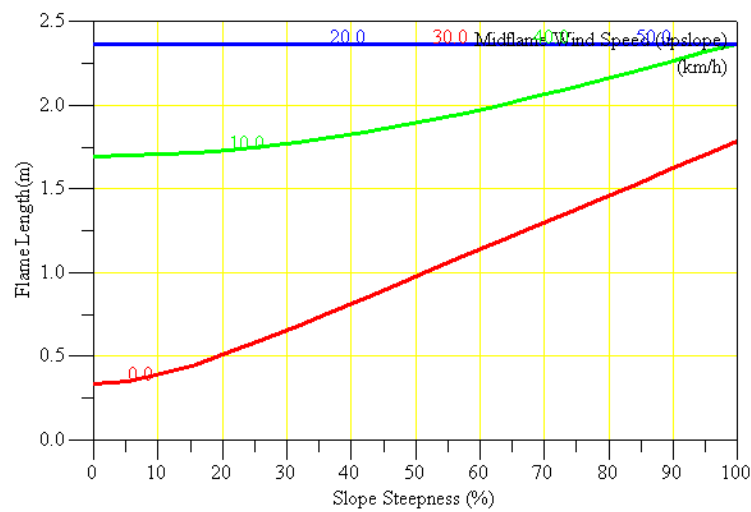
Θαμνότοποι M2



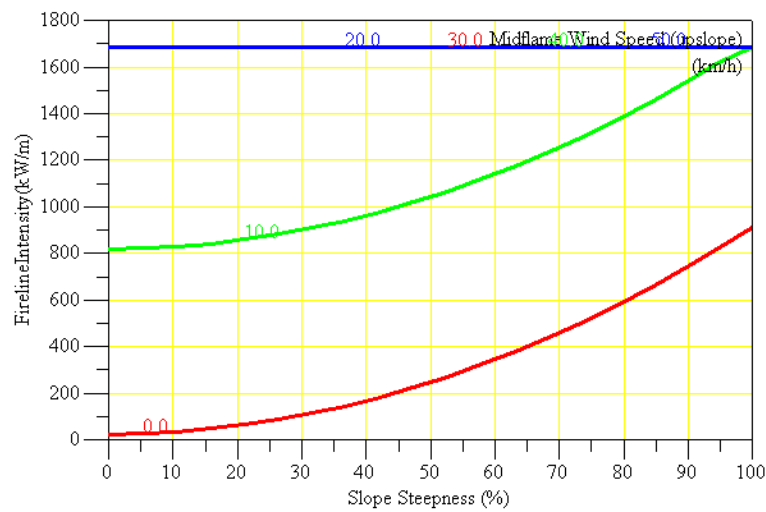
Χορτολιβάδα M2



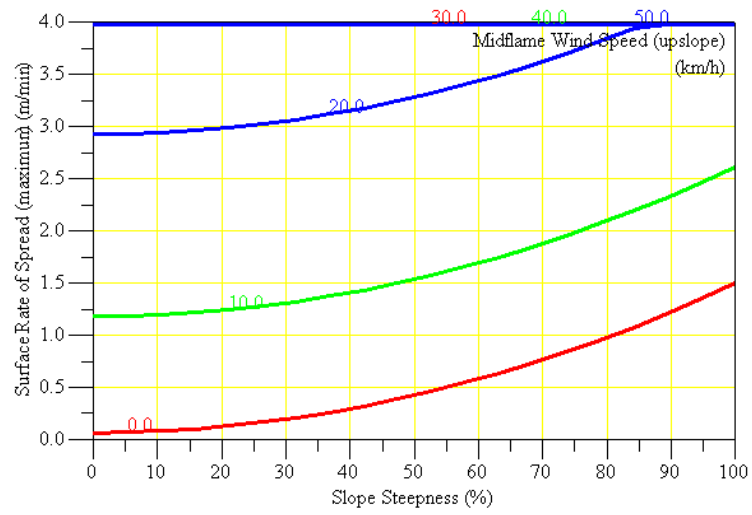
Χορτολιβάδα M2



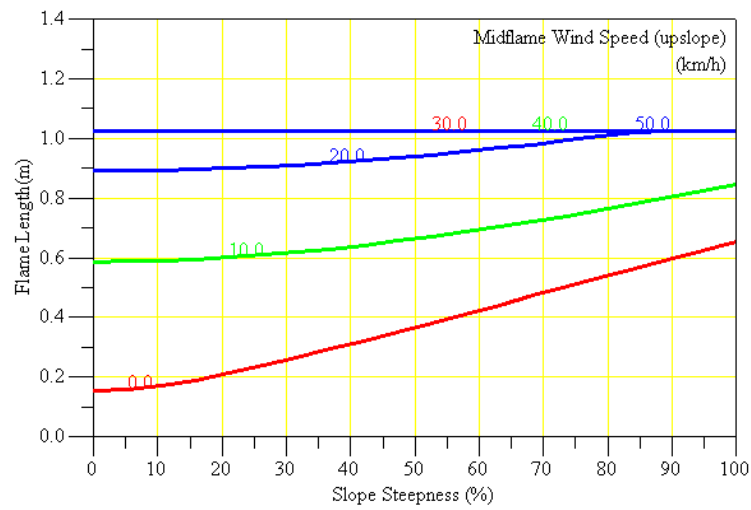
Χορτολιβάδα M2



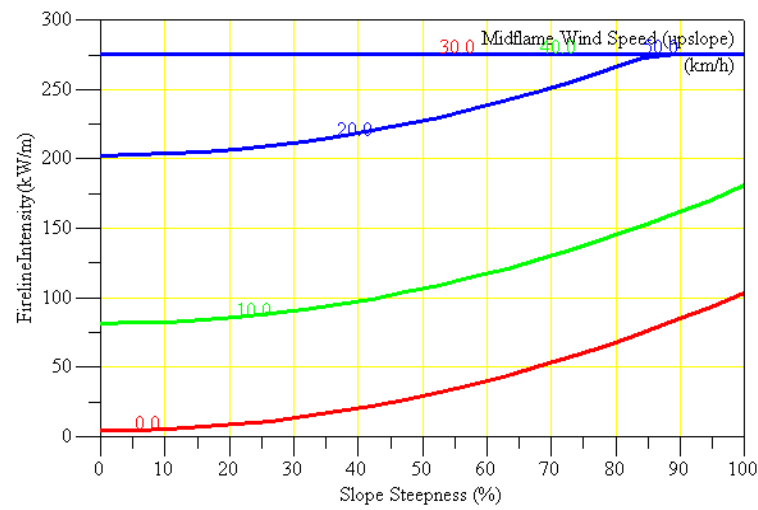
Ελαιώνες M2



Ελαιώνες M2

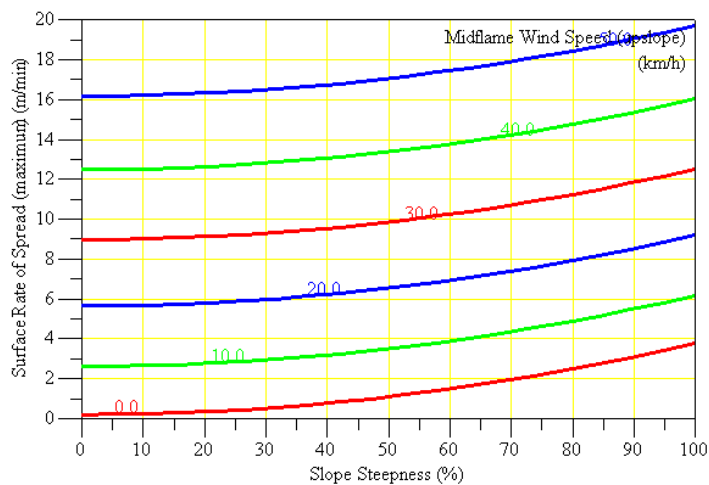


Ελαιώνες M2

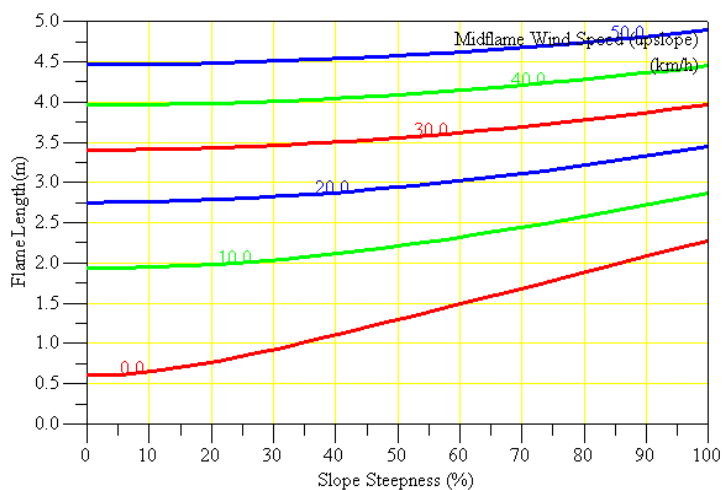


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Μ3
(ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)**

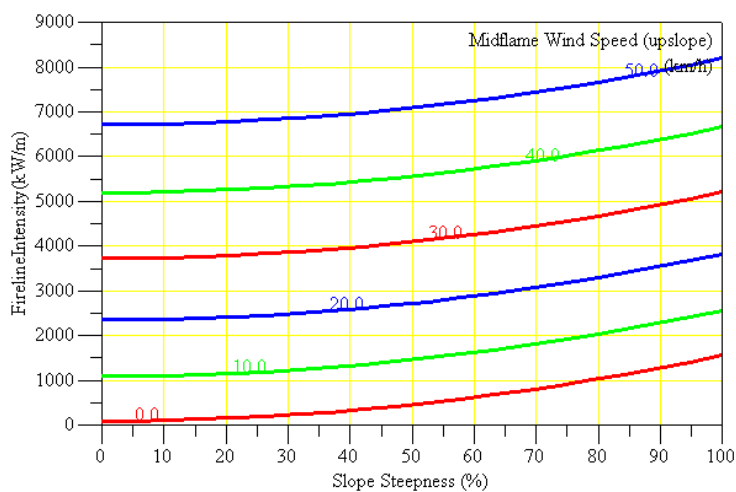
Δάσος Κονοφόρων Μ3



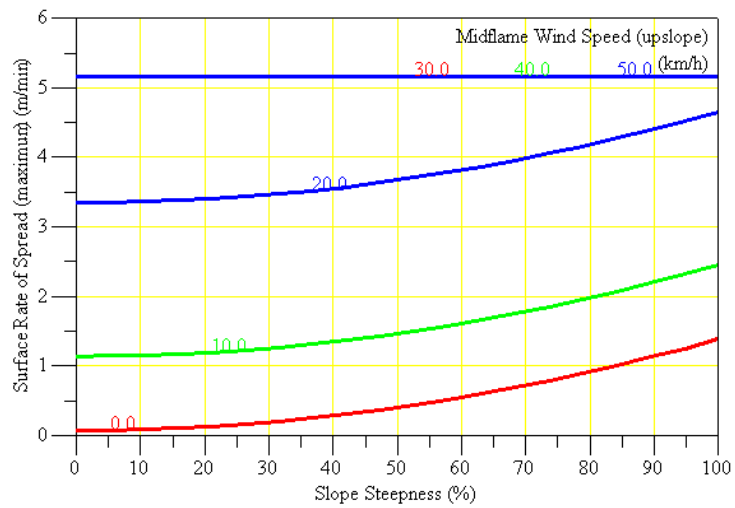
Δάσος Κονοφόρων Μ3



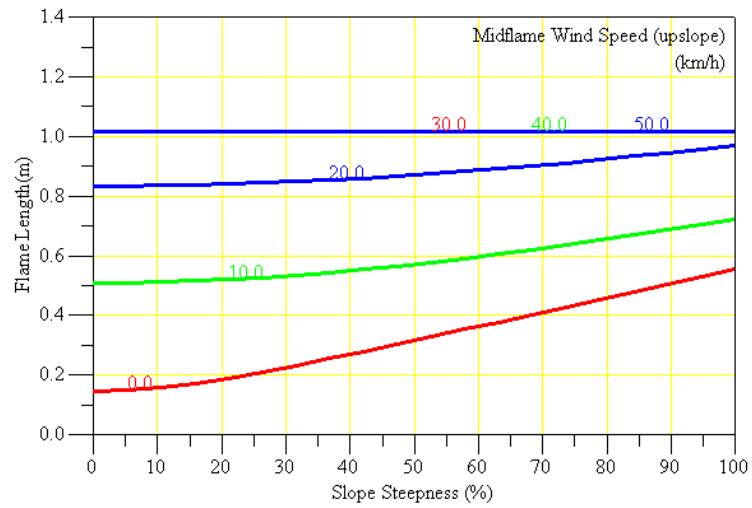
Δάσος Κονοφόρων Μ3



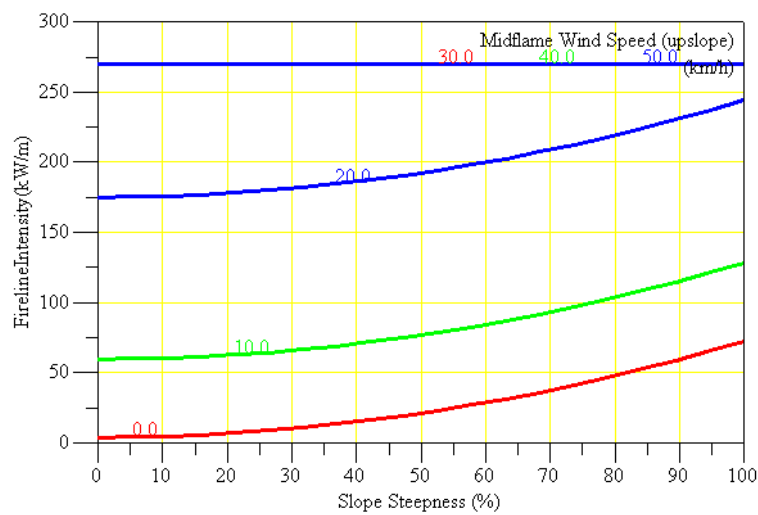
Αραιό Δάσος Κωνοφόρων Μ3



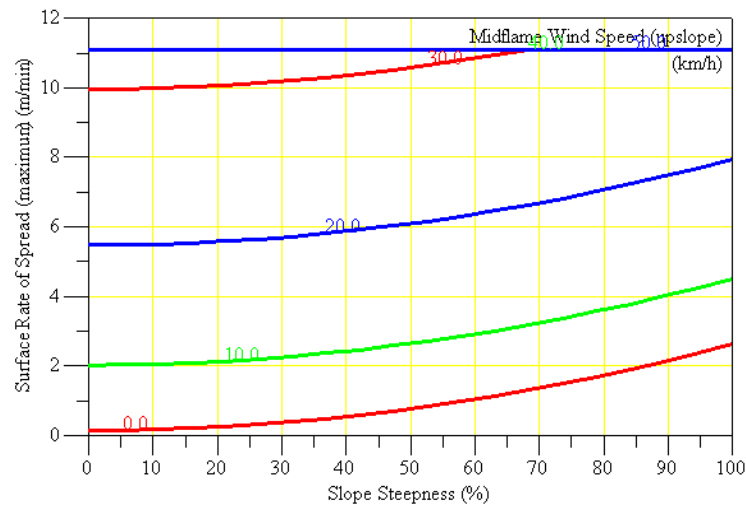
Αραιό Δάσος Κωνοφόρων Μ3



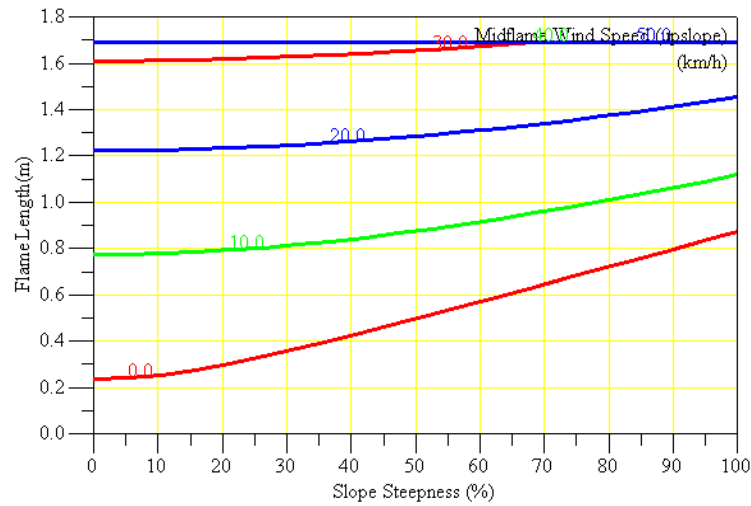
Αραιό Δάσος Κωνοφόρων Μ3



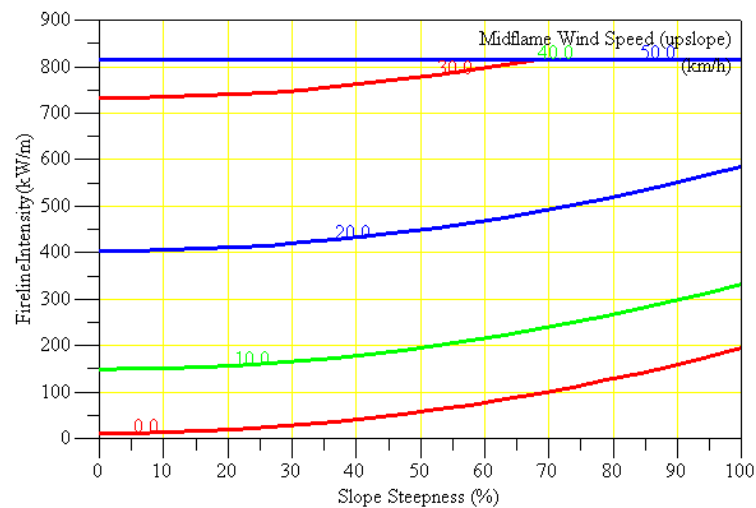
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα Μ3



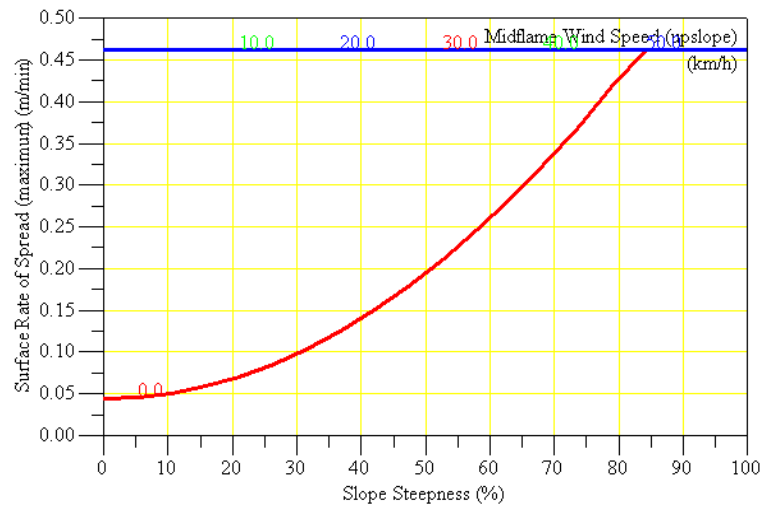
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα Μ3



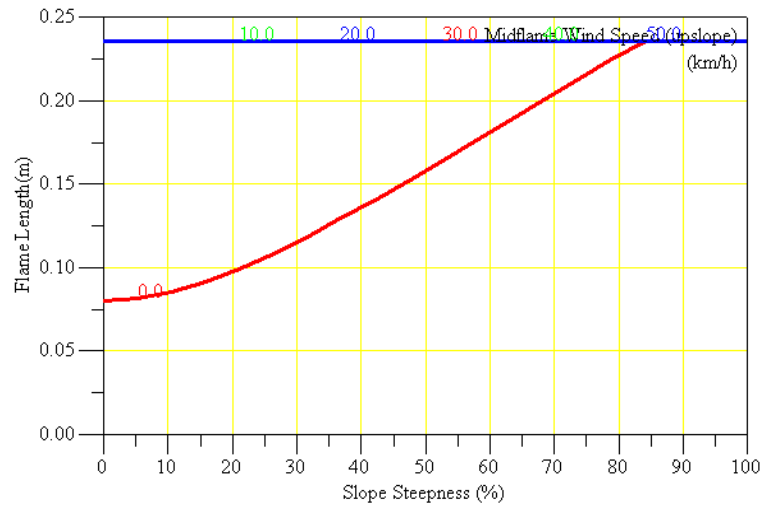
Δρυς - Λοιπά Πλατύφυλλα Μ3



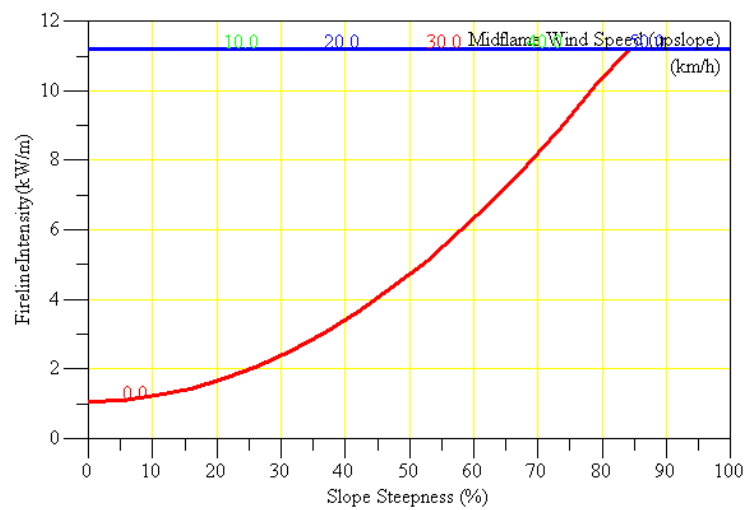
Καστανιώνας Μ3



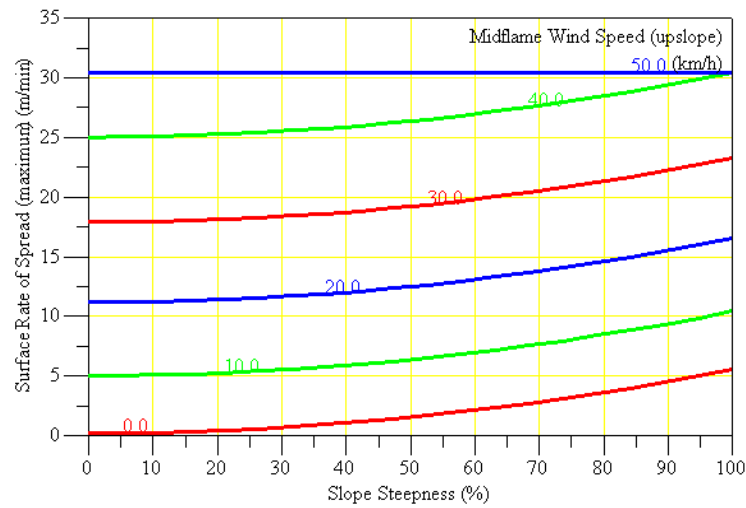
Καστανιώνας Μ3



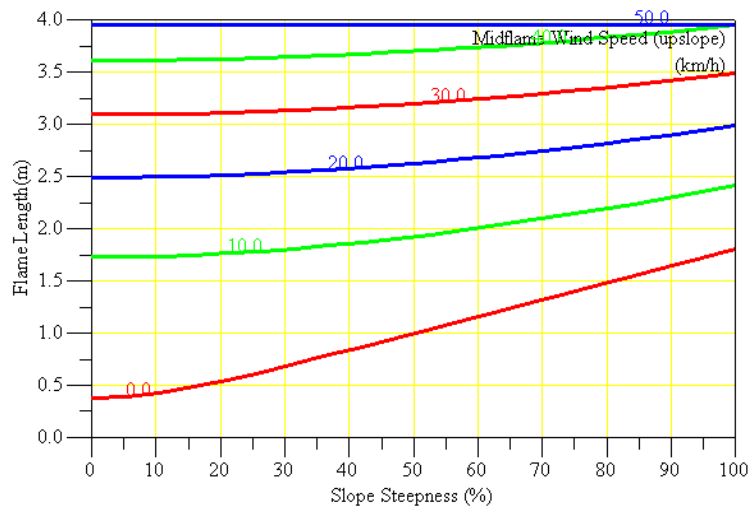
Καστανιώνας Μ3



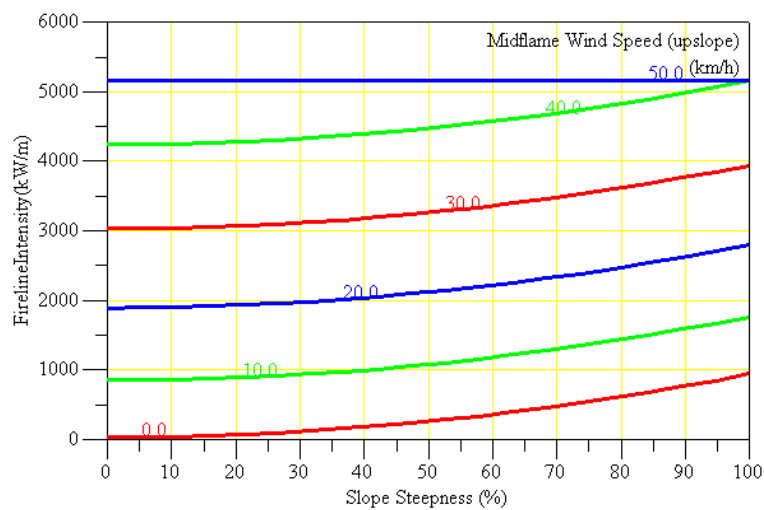
Αείφυλλα Σικληρόφυλλα Μ3



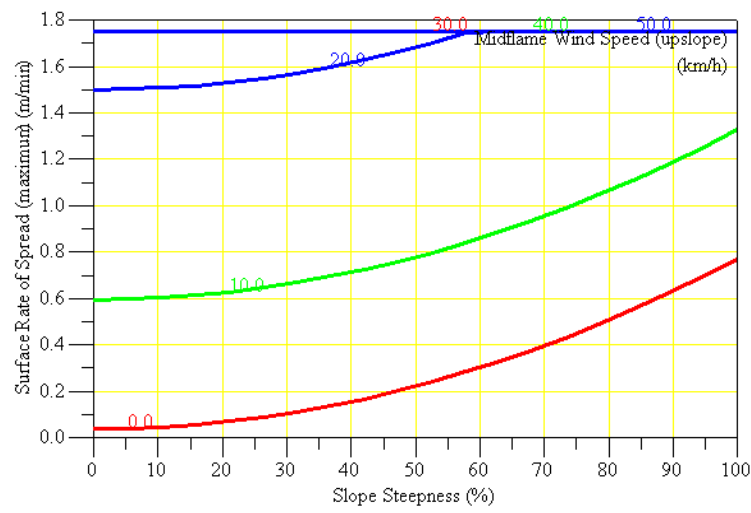
Αείφυλλα Σικληρόφυλλα Μ3



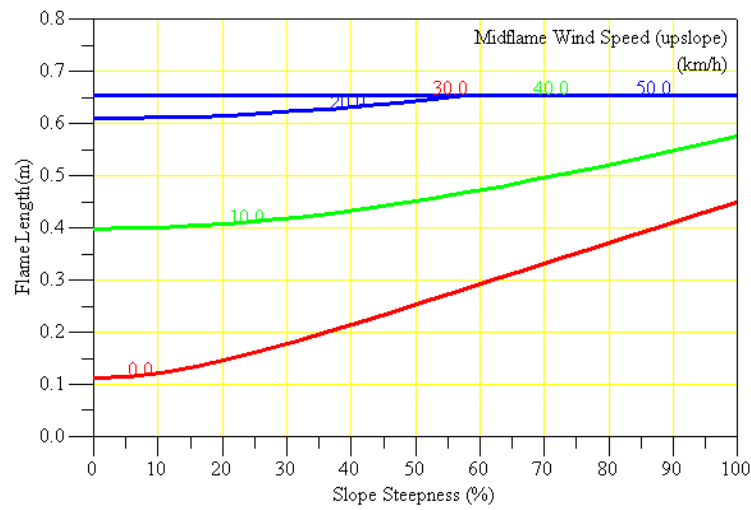
Αείφυλλα Σικληρόφυλλα Μ3



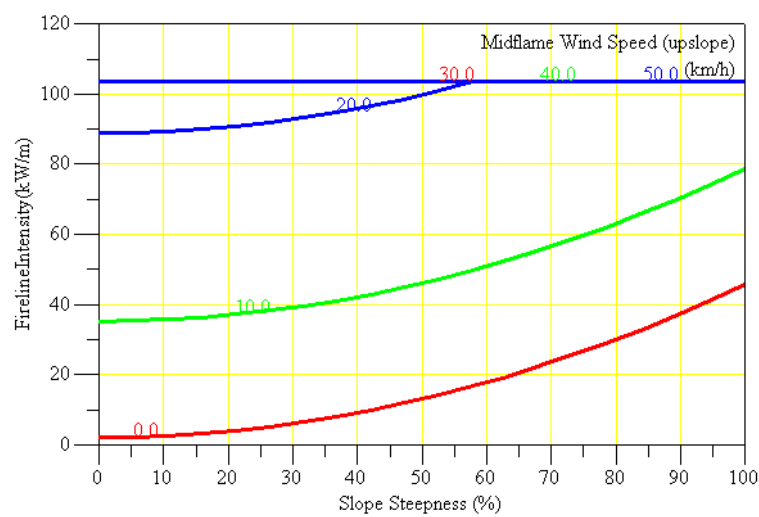
Θαμνότοποι Μ3



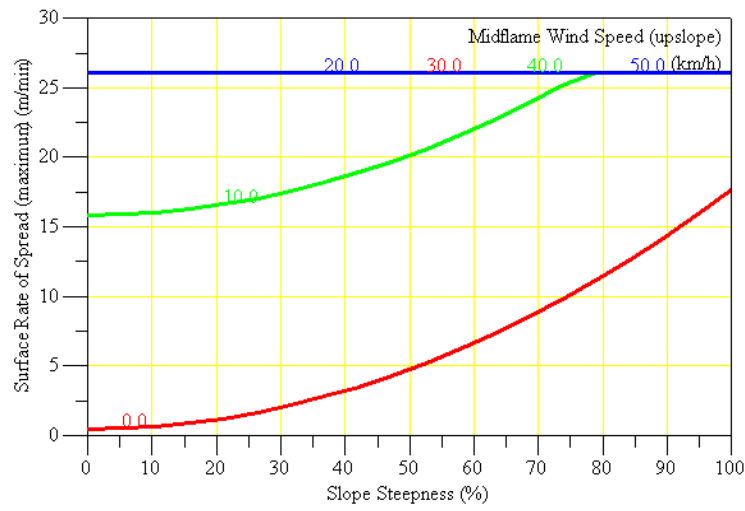
Θαμνότοποι Μ3



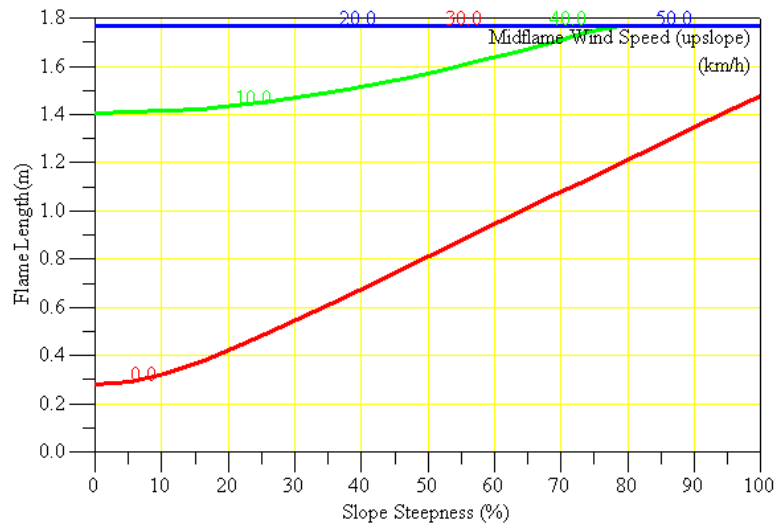
Θαμνότοποι Μ3



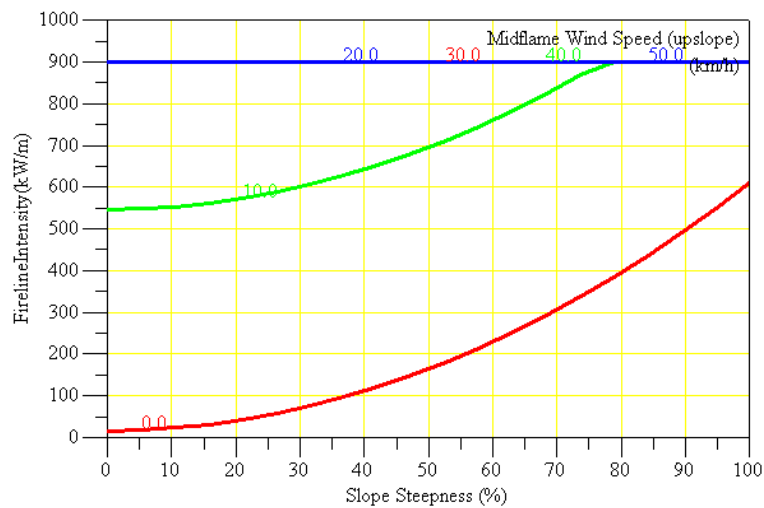
Χορτολίβαδα Μ3



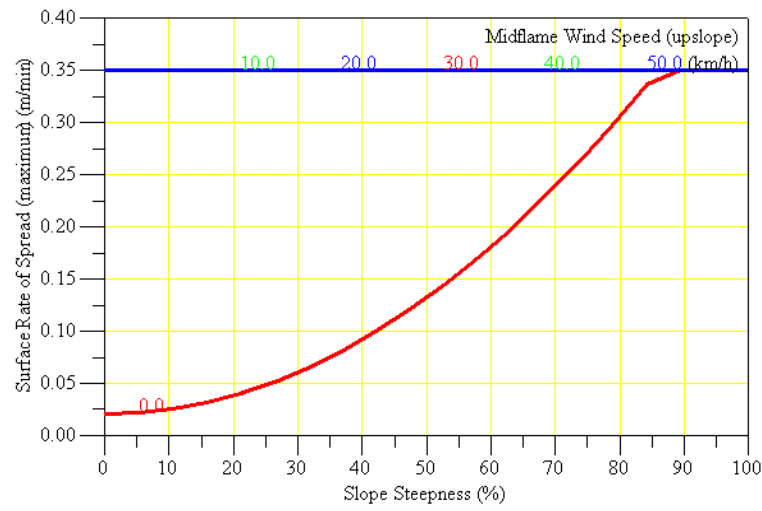
Χορτολίβαδα Μ3



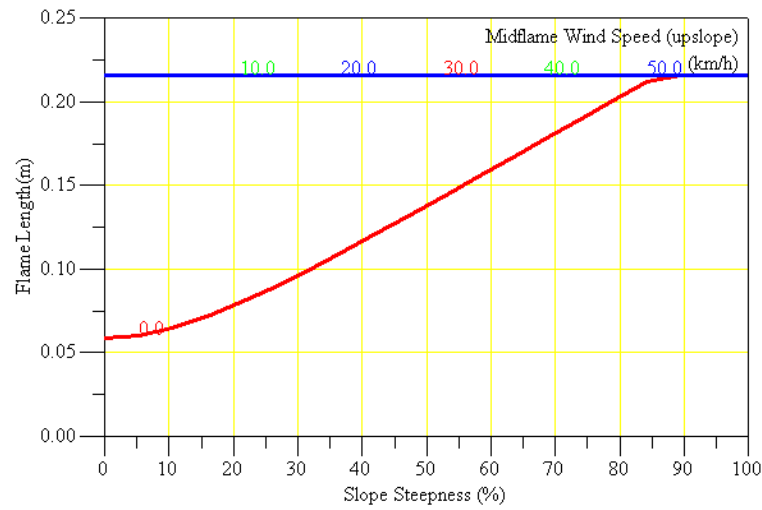
Χορτολίβαδα Μ3



Ελαιώνες Μ3



Ελαιώνες Μ3



Ελαιώνες Μ3

