



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών στην
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΑΦΘΟΝΙΑΣ ΕΙΔΩΝ
ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΠΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ”**

Χατζηγόγα Χρυσούλα

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

που υποβλήθηκε στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση
του Τμήματος Περιβάλλοντος ως μέρος
των απαιτήσεων για την απόκτηση
Διπλώματος Ειδίκευσης
στην Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση

Μυτιλήνη

Μάρτιος / 2007

ΕΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

Ακαδημαϊκός υπεύθυνος

Επιβλέπων καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κ Παναγιώτη Δημητρακόπουλο, επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος και κ Σωτήρη Κουκούλα, λέκτορα του Τμήματος Γεωγραφίας, οι οποίοι από τη θέση του επιβλέποντα μου προσέφεραν την απαραίτητη καθοδήγηση και τις επιστημονικές τους συμβουλές και συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Εκτιμώ ιδιαίτερα την προθυμία και τη διαθεσιμότητα που επέδειξαν σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Ακόμη, ευχαριστώ το Εργαστήριο Διαχείρισης Βιοποικιλότητας του Τμήματος Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου και το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών της Αθήνας για την παροχή πρωτογενών ψηφιακών δεδομένων.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου, για τη στήριξη που μου παρείχε ως τώρα στην πορεία των σπουδών μου, τους φίλους μου και τους ανθρώπους που με πλαισιώνουν για τη βοήθεια, την υπομονή και την κατανόηση που επέδειξαν όλο αυτό το διάστημα διεκπεραίωσης της διατριβής.

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η Χρυσούλα Χατζηγώγα του Αθανασίου γεννήθηκε το 1981 στη Θεσσαλονίκη. Το 1999, αποφοίτησε από τη Γερμανική Σχολή Θεσσαλονίκης. Σπούδασε στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και διαθέτει πτυχίο Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος με κατεύθυνση «Προστασία Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος». Την περίοδο 2005-2006 παρακολούθησε το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση» του Τμήματος Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου στη Μυτιλήνη, όπου και κατοικεί μέχρι σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Χατζηγώγα Χρυσούλα

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΑΦΘΟΝΙΑΣ ΕΙΔΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΠΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ”

Μάρτιος/ 2007

Η κατανόηση των παραγόντων και των εμπλεκόμενων μηχανισμών που καθορίζουν τη χωρική διαβάθμιση της ποικιλότητας, όπως επίσης και η περαιτέρω διερεύνηση των σχέσεων της ποικιλότητας και των οικοσυστημικών λειτουργιών, αποτελούν καίρια ζητήματα για την επιστήμη της οικολογίας, και αποσκοπούν στην αποσαφήνιση των θεωριών που πλαισιώνουν τη μελέτη της ποικιλομορφίας της ζωής.

Μια από τις κυρίαρχες υποθέσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η ενεργειακή υπόθεση που υποστηρίζει ότι η ενέργεια παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του πλούτου των ειδών σε περιφερειακό, κυρίως, επίπεδο (π.χ. Wright et al. 1993, Huston 1994, Mittelbach et al. 2001). Για την εκτίμηση της ενέργειας σε μια κλίμακα τοπίου χρησιμοποιείται η παραγωγικότητα, η οποία υποδηλώνει το ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια ρέει μέσα από ένα οικοσύστημα μέσω του τροφικού δικτύου και περιγράφει μια οικοσυστημική λειτουργία. Η σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας, αν και έχει διερευνηθεί αρκετά σε τοπική κλίμακα, παραμένει σχετικά ανεξερεύνητο πεδίο έρευνας όταν πρόκειται για χωρικές κλίμακες μεγαλύτερες από αυτές της δειγματοληπτικής επιφάνειας. Η εργασία αυτή, με περιοχή μελέτης το νησί της Κρήτης, διερευνά τη σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας σε επίπεδο κλίμακας τοπίου με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και μοντέλων παλινδρόμησης. Τελικά, το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε, με βάση τα παραγόμενα αποτελέσματα, είναι ότι η παραγωγικότητα δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα ελέγχου της αφθονίας των ειδών στην Κρήτη και ότι, τελικά, η συγκεκριμένη σχέση ελέγχεται περισσότερο από άλλους παράγοντες, όπως το δυναμικό νερού-ενέργειας και η ετερογένεια του τοπίου.

ABSTRACT

Chatzigoga Chrysoula

“STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PRODUCTIVITY AND SPECIES RICHNESS AT THE LANDSCAPE SCALE WITH THE USE OF GIS: THE CASE OF CRETE ”

March/ 2007

Understanding the factors and the underlying mechanisms that constitute the diversity gradient, as well as further research on the relationship between diversity and ecosystem function are current issues in ecology, that are intended to clarify the theories affiliated with the variety of life.

One of the main hypotheses towards this direction is the energy hypothesis, according to which energy plays an important role in determining species richness, especially at the regional level (e.g. Wright et al. 1993, Huston 1994, Mittelbach et al. 2001). When dealing with a landscape scale the measure used for the estimation of energy is productivity, which describes the rate of energy flux through food webs in an ecosystem, and represents an ecosystem function. The relationship between species richness and productivity, although sufficiently studied at the local scale, remains a relatively unknown field of research when it comes to spatial scales greater than the size of a sample unit. This study, concerning the island of Crete, examines the relationship between species richness and productivity at the landscape scale with the use of GIS and regression models. Finally, we come to the conclusion that, in reference to the results that were produced, that productivity is *not* a prominent factor for the control of species richness in Crete and that this relationship is in fact determined by other factors, such as water-energy dynamics and habitat heterogeneity.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	III
ABSTRACT	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	V
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ/ ΕΙΚΟΝΩΝ	VIII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	3
1.1. Πρότυπα διαβάθμισης της ποικιλότητας στο χώρο	4
1.2. Ποικιλότητα και περιβαλλοντικοί παράγοντες	7
1.3. Βιοποικιλότητα και κλίμακα μελέτης. Μια top-down προσέγγιση	11
1.4. Ποικιλότητα-οικοσυστημική λειτουργία	13
1.5. Σχέση παραγωγικότητας –ποικιλότητας	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	21
2.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης	21
2.1.1. Βιογεωγραφία και Ιστορία	21
2.1.2. Κλίμα	21
2.1.3. Γεωμορφολογία	22
2.1.4. Τύποι οικοτόπων	22
2.1.5. Χλωρίδα	23
2.1.6. Καθεστώς Προστασίας	24
2.2. Μέθοδοι και Υλικά	25
2.2.1. Αφθονία των ειδών (species richness)	26
2.2.2 Εκτίμηση δείκτη παραγωγικότητας NDVI με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης	28
2.2.3. Εδαφολογικά στοιχεία	35
2.2.4. Χρήσεις γης	37
2.2.5. Κλιματικά και τοπογραφικά δεδομένα	39
2.3. Στατιστική Ανάλυση	40
2.3.1. Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση	40
2.3.2. Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	50
3.1. Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση	50
3.2. Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	61
4.1. Ανάλυση των αποτελεσμάτων	61
4.2. Θεωρητικές υποθέσεις που πλαισιώνουν την εργασία	62
4.3. Σύγκριση με άλλες μελέτες	64
4.4. Παραδοχές και περιορισμοί της εργασίας	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
5.1. Σύνθεση	69
5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Χωρικά επίπεδα πληροφορίας (Πηγή: Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου.	32
Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover (CLC90), έκδοση 12/2000.	38
Πίνακας 2.3: Κλιματικά και τοπογραφικά δεδομένα (Πηγή: Τζατζόγλου, 2004).	39
Πίνακας 2.5: Υποψήφιες ερμηνευτικές μεταβλητές για το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης.	46
Πίνακας 3.1: Εφαρμογή του One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test για έλεγχο της κανονικότητας της εξαρτημένης μεταβλητής.	50
Πίνακας 3.3: Σύνοψη του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης.	52
Πίνακας 3.4: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης.	52
Πίνακας 3.5: Οι ερμηνευτικές μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης και οι σχετικές υποθέσεις που υποστηρίζουν.	55
Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης με τη μέθοδο Enter.	55
Πίνακας 3.7: Σύνοψη του μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Το μοντέλο έχει κατασκευαστεί με τη μέθοδο <i>Enter</i>	56
Πίνακας 3.8: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) του μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που προέκυψε με τη μέθοδο <i>Enter</i>	56
Πίνακας 3.9: Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που παρέμειναν στο μοντέλο με την εφαρμογή της βηματικής παλινδρόμησης.	57
Πίνακας 3.10: Μεταβλητές που αποκλείστηκαν στα διάφορα στάδια εφαρμογής της βηματικής παλινδρόμησης (Stepwise regression).	58
Πίνακας 3.11: Προσδιορισμός ευθείας παλινδρόμησης στο μοντέλο πολλαπλής βηματικής παλινδρόμησης.	59
Πίνακας 3.12: Σύνοψη των μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της βηματικής παλινδρόμησης. Το Μοντέλο 4 ερμηνεύει σε μεγαλύτερο ποσοστό την εξαρτημένη μεταβλητή και επιλέγεται ως το καλύτερα δυνατά προσαρμοζόμενο στα δεδομένα.	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ/ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 2.1: Κάνναβος με μέγεθος κελιού 8,25 x 8,25km (Πηγή: Turtland et al. 1993).....	25
Σχήμα 2.2: Κωδικοποίηση των κελιών (Πηγή: Turtland et al. 1993).	26
Σχήμα 2.3: Φασματική υπογραφή της βλάστησης και φασματική δειγματοληψία για τα κανάλια 1 και 2 του καταγραφικού συστήματος AVHRR. Τα βέλη υποδεικνύουν τη ζώνη απορρόφησης της χλωροφύλλης και των υδρατμών. (Πηγή: Μηλιαρέσης, 2003).	29
Εικόνα 2.1: Δορυφορική εικόνα σε μορφή αρχείου TIFF που απεικονίζει την παγκόσμια κατάσταση της βλάστησης το μήνα Σεπτέμβρη του 1992.	30
Εικόνα 2.2: Δορυφορική εικόνα σε μορφή αρχείου Esri-Grid που απεικονίζει την κατάσταση της βλάστησης στην Ελλάδα το μήνα Μάιο του 1989.	31
Σχήμα 2.4: Μέθοδος χωρικής παρεμβολής για την εξαγωγή των τιμών του δείκτη NDVI στα κεντρώα σημεία κάθε κελιού του πλέγματος.	34
Σχήμα 2.5: Μερική μετατόπιση των κεντρικών σημείων που βρισκόντουσαν εκτός του πλέγματος και δεν είχαν τιμές. Πηγή (για τα 3 πρώτα αρχεία): Dimitrakopoulos et al. 2004)...	35
Σχήμα 2.6: Εδαφολογικός χάρτης της Κρήτης (Πηγή: Νάκος 1979).....	36
Σχήμα 3.1: Διάγραμμα διασποράς των τιμών του δείγματος. Στον άξονα των X φαίνονται οι μέσες τιμές NDVI της αυξητικής περιόδου της δεκαετίας 1985-1995 σε κάθε κελί, ενώ στον άξονα των Y οι αντίστοιχες τιμές της αφθονίας των ειδών σε κάθε κελί.	51
Σχήμα 3.2: Έλεγχος για σταθερή διακύμανση με ανάλυση των υπολοίπων στο SPSS 11.5.	53

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μια περιοχή μελέτης όπως η Κρήτη, που τα τελευταία χρόνια χαρακτηρίζεται από ραγδαίες αλλαγές των χρήσεων γης με σημαντικές συνέπειες για τα ενδιαιτήματα και τη βιοποικιλότητα, οι ισχυρές κοινωνικο-οικονομικές πιέσεις, υπαγορεύουν οι αποφάσεις για τη διατήρηση να λαμβάνονται γρήγορα και αποτελεσματικά και σε όρους βιώσιμης ανάπτυξης για την εν λόγω περιοχή. Πρόκειται για έναν διαρκή συμβιβασμό της ανάγκης για αγροτική και τουριστική ανάπτυξη και της ανάγκης για προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Εάν επιθυμούμε να ελπίζουμε στα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα από την εφαρμογή διαχειριστικών μέτρων για τη διατήρηση, η γνώση μας γύρω από θέματα βιοποικιλότητας, απώλειας ενδιαιτημάτων και ανθρώπινης επίδρασης οφείλει να εμπλουτίζεται συνεχώς.

Μέσα από την εργασία αυτή επιδιώκεται να εξεταστεί η σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας και ειδικότερα να προσδιοριστεί το κατά πόσο η παραγωγικότητα επηρεάζει την ποικιλότητα σε περιφερειακές χωρικές κλίμακες ή αν τελικά άλλοι αβιοτικοί παράγοντες είναι αυτοί που ελέγχουν τη συγκεκριμένη σχέση. Η διερεύνηση της σχέσης αυτής, κάθε άλλο παρά νέα είναι για την επιστήμη της Οικολογίας, ωστόσο η πλειοψηφία των μέχρι τώρα προσεγγίσεων αφορά μικρής κλίμακας πειράματα πεδίου. Η προσέγγιση της διερεύνησης των παραγόντων που καθορίζουν τη διαβάθμιση της αφθονίας των ειδών σε κλίμακα τοπίου είναι πιο ρεαλιστική και με μεγαλύτερη πρακτική σημασία για περιοχές όπως η Κρήτη, γιατί αυτή είναι και η κλίμακα στην οποία λαμβάνονται οι διαχειριστικές αποφάσεις.

Η δομή της παρούσας εργασίας έχει ως εξής:

Το πρώτο Κεφάλαιο ονομάζεται «Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας». Σ' αυτό, μετά από εκτενή ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, παρέχεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας σχετικά με τα παρατηρούμενα πρότυπα διαβάθμισης της ποικιλότητας στο χώρο, τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που τα διαμορφώνουν και τους αντίστοιχους εμπλεκόμενους μηχανισμούς και υποθέσεις. Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό δίνονται κάποιες βασικές έννοιες απαραίτητες για την κατανόηση της εργασίας, ενώ αναφέρονται και κάποια επιπλέον στοιχεία που αφορούν την κλίμακα της ανάλυσης και τη λειτουργική σημασία μιας top-down προσέγγισης στη διερεύνηση των σχέσεων της ποικιλότητας με άλλους παράγοντες. Τέλος, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη σχέση ποικιλότητας-οικοσυστημικής λειτουργίας και ποικιλότητας-παραγωγικότητας καθώς αυτές οι σχέσεις βρίσκονται στο επίκεντρο του διερευνητικού στόχου της εργασίας.

Το δεύτερο Κεφάλαιο αφορά το μεθοδολογικό κομμάτι της εργασίας, Αρχικά, δίνεται μια περιγραφή της περιοχής μελέτης, καθώς και των δεδομένων στα οποία βασίστηκε η εργασία. Ειδικότερα, η μεθοδολογία περιλαμβάνει:

- (α) δεδομένα παρουσίας – απουσίας των φυτικών ειδών της Κρήτης σε κάθε κελί ενός καννάβου διαστάσεων 8.25 km x 8.25 km, που επικαλύπτει το νησί της Κρήτης (164 κελιά),
- (β) εκτίμηση ενός δείκτη παραγωγικότητας (π.χ. NDVI) με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπισης ,
- (γ) εκτίμηση ενός δείκτη ποικιλότητας για τους τύπους εδαφών και τις χρήσεις γης της Κρήτης ξεχωριστά,
- (ε) κλιματολογικά δεδομένα σε επεξεργασμένη μορφή από προηγούμενη πτυχιακή εργασία.

Στο Κεφάλαιο «Μεθοδολογία», αρχικά, χρησιμοποιώντας τον αριθμό των φυτικών ειδών και την αντίστοιχη εκτίμηση της τιμής παραγωγικότητας ανά κελί του καννάβου, εξετάζεται η ύπαρξη σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα δεδομένα αβιοτικών παραγόντων (π.χ. βροχόπτωση, θερμοκρασία, τύποι εδαφών, ετερογένεια τοπίου) εξετάζεται αν η προκύπτουσα σχέση αποδίδεται σε κάποιο άλλο παράγοντα εκτός της παραγωγικότητας. Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και με χρήση μοντέλων κλασικής στατιστικής.

Στο Κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, τόσο από την εφαρμογή απλής γραμμικής παλινδρόμησης, όσο και από την εφαρμογή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, και έχει την ομώνυμη επικεφαλίδα «Αποτελέσματα».

Στο Κεφάλαιο «Συζήτηση» στη συνέχεια, γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων, η σύνδεση αυτών με τις αντίστοιχες θεωρητικές υποθέσεις και η σύγκρισή τους με άλλες μελέτες, ενώ σ' αυτό το Κεφάλαιο εντοπίζονται και παρουσιάζονται και κάποιες αδυναμίες της εργασίας.

Τέλος, στο Κεφάλαιο «Συμπεράσματα», συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας μαζί με κάποια επιπλέον σχόλια, και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και βελτίωση της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο όρος «βιολογική ποικιλότητα» υποδηλώνει την παραλλακτικότητα (variability) μεταξύ των ζώντων οργανισμών των χερσαίων, των θαλάσσιων και των άλλων υδατικών οικοσυστημάτων καθώς και των οικολογικών συμπλόκων τα οποία σχηματίζουν. Περιλαμβάνει την ποικιλότητα μεταξύ των ειδών, στο εσωτερικό ενός είδους και την ποικιλότητα των οικοσυστημάτων” (Σύμβαση για τη Διατήρηση της Βιοποικιλότητας, Johnson, 1993).

Αυτός είναι ο πλέον διάσημος ορισμός που περιέχεται στη Σύμβαση του Ρίο για την Βιοποικιλότητα που υπέγραψαν περισσότερα από 150 κράτη του κόσμου στις 5 Ιουνίου του 1992 στη Διάσκεψη Κορυφής των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Σε έναν πιο σύγχρονο και απλοποιημένο ορισμό θα λέγαμε ότι «η βιοποικιλότητα περιλαμβάνει την ποικιλομορφία της ζωής σε ένα φάσμα ιεραρχικών επιπέδων από τα γονίδια μέχρι τη βιόσφαιρα» (Swingland 2001).

Τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος έχει αρχίσει να αντιλαμβάνεται τη σημασία διατήρησης της βιοποικιλότητας και να συνειδητοποιεί ότι τα οικοσυστήματα δρουν με τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν πληθώρα οικοσυστημικών υπηρεσιών, η οικονομική αξία των οποίων δεν είναι καθόλου ευκαταφρόνητη (Costanza et al. 1997). Η παροχή των υπηρεσιών αυτών προϋποθέτει την ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων, η οποία με την ολοένα αυξανόμενη ανθρωπογενή επίδραση στα φυσικά και ημι-φυσικά οικοσυστήματα κάθε άλλο παρά εξασφαλισμένη μπορεί να θεωρείται (Loreau 2000). Το μέλλον της παγκόσμιας βιοποικιλότητας, είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον αριθμό και τον τύπο των ειδών που μπορεί να υποστηρίξει μια περιοχή. Στο πλαίσιο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και του κατακερματισμού των ενδιαιτημάτων σε ευρεία κλίμακα είναι σημαντικό να μπορεί να προβλεφθεί το πώς η απώλεια ενδιαιτημάτων μεταφράζεται σε απώλειες ειδών (Drakare et al. 2006).

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με το πώς διαβαθμίζεται η αφθονία των ειδών στο χώρο, με τη διερεύνηση των σχέσεων ποικιλότητας και διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως επίσης και με την εξέταση του μηχανισμού σύνδεσης της ποικιλότητας με τις οικοσυστημικές λειτουργίες, αποσκοπεί στην αποσαφήνιση κάποιων από τις έννοιες και τις θεωρίες που πλαισιώνουν τη μελέτη της ποικιλομορφίας της ζωής και παρέχει το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η παρούσα εργασία.

1.1. Πρότυπα διαβάθμισης της ποικιλότητας στο χώρο

Η αποκάλυψη των βαθύτερων αιτιών που οφείλονται για τα διαφορετικά πρότυπα χωροταξικής διαβάθμισης της αφθονίας των ειδών παραμένει πρωταρχικός και αμετάβλητος στόχος στην οικολογία από τον 19^ο αιώνα (Darwin 1839, Wallace 1878) μέχρι σήμερα. Μάλιστα, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας γύρω από το θέμα αυτό τείνει να εντείνεται όσο συγκεντρώνονται περισσότερα στοιχεία γύρω από το εύρος εξάπλωσης, τα ενδιαιτήματα και τη βιολογία των οργανισμών. Η επιθυμία για έγκαιρη πρόγνωση/πρόβλεψη των αποκρίσεων της βιοποικιλότητας στις παρατηρούμενες παγκόσμιες μεταβολές του περιβάλλοντος είναι απαραίτητη προϋπόθεση, εάν επιδιώκεται ο σχεδιασμός επιτυχών ενεργειών για τη διατήρησή της (Dayton, 2003). Με την πάροδο του χρόνου οι διατυπώσεις των διαφόρων θεωριών για τα παρατηρούμενα πρότυπα διαβάθμισης της ποικιλότητας γίνονται ολοένα και πιο ολοκληρωμένες. Ωστόσο η ανάπτυξη ικανοποιητικών αιτιολογικών μηχανισμών που να τις πλαισιώνουν παραμένει μια μεγάλη πρόκληση για τους οικολόγους (Rohde 1992, Gaston 2000, Willig et al. 2003). Στη συνέχεια περιγράφονται κάποια από τα επικρατέστερα πρότυπα χωροταξικής διαβάθμισης της ποικιλότητας.

Ένα βασικό πρότυπο διαβάθμισης της βιοποικιλότητας στο χώρο αφορά τη σχέση που εμφανίζει ο αριθμός των ειδών σε μια δεδομένη έκταση επιφάνειας (**SAR: species-area relationship**). Παράλληλα με την αύξηση της έκτασης μιας γεωγραφικής περιοχής, αυξάνεται και ο αριθμός των ειδών που αυτή φιλοξενεί (MacArthur & Wilson 1967, Williamson 1967, 1988, Rosenzweig 1995). Οι ανώτερες ταξινομικές ομάδες ακολουθούν συνήθως ένα τέτοιο πρότυπο. Ανεξάρτητα από τις διαστάσεις μιας περιοχής (από τα μικρά τμήματα ομοιόμορφων ενδιαιτημάτων ως τις εκτάσεις των ηπείρων), οι διαδικασίες που επιφέρουν αύξηση της ποικιλότητας κατ' αναλογία προς την έκτασή της διαφέρουν σημαντικά. Σύμφωνα με τον Rosenzweig (1995), διατυπώνονται 4 πρότυπα προκειμένου να περιγραφεί η σχέση ειδών/έκτασης:

α) *σχέσεις ειδών/έκτασης μικρών περιοχών μίας και μόνης μεγαδιάπλασης (biome)*: προκύπτουν από αυξημένες συγκεντρώσεις εξειδικευμένων οργανισμών σε οριακή από άποψη μεγέθους έκταση, η βιοποικιλότητα της οποίας μπορεί να μην είναι πάντα απλή συνάρτηση που να συσχετίζεται αποκλειστικά με την έκταση της συγκεκριμένης περιοχής.

β) *σχέσεις ειδών/έκτασης μεγάλων περιοχών μίας και μόνης μεγαδιάπλασης (biome)*: αυτές προκύπτουν κατά κύριο λόγο από συσχετισμούς μεταξύ μεγαλύτερων εκτάσεων που συνήθως περιλαμβάνουν περισσότερα ενδιαιτήματα.

γ) *σχέσεις ειδών/έκτασης των νησιών ενός αρχιπελάγους*: αυτές προκύπτουν από το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες περιοχές περιλαμβάνουν περισσότερα ενδιαιτήματα, και από τις

αλληλεπιδράσεις της μετανάστευσης και της εξαφάνισης των ειδών που εμφανίζονται σε νησιά του αρχιπελάγους.

δ) *σχέσεις ειδών/έκτασης διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών ή περιφερειών*: αυτές προκύπτουν από το μέγιστο βαθμό ειδογένεσης και από το χαμηλότερο ρυθμό εξαφάνισης που χαρακτηρίζει τις μεγάλες περιφέρειες.

Οι σχέσεις ειδών/έκτασης προβλέπουν πως όταν ένα ενδιαίτημα περιοριστεί στο χώρο τείνει να χάνει είδη. Σε συνδυασμό με την καταλυτική επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην έκταση των ενδιαιτημάτων είναι επόμενο η συρρίκνωση ή ακόμη και ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων να εντείνουν τους ρυθμούς εξαφάνισης των ειδών. Σε κατακερματισμένα ενδιαιτήματα το τοπίο που δημιουργείται περιλαμβάνει υπολείμματα βλάστησης σε ένα πλέγμα αγροτικών και αστικών εκτάσεων. Ο κατακερματισμός οδηγεί σε αλλαγές του φυσικού περιβάλλοντος σε μικρή κλίμακα (π.χ. στη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας, του νερού και των θρεπτικών) και σε αλλαγές βιογεωγραφικής φύσης (π.χ. αλλαγές ως προς την απομόνωση και τη συνεκτικότητα), οι οποίες έχουν σοβαρές συνέπειες για τη μεγαδιάπλαση (Saunders et al. 1991 στο Gaston & Spicer, 2002, *Βιοποικιλότητα. Μια εισαγωγή*). Σε μια μετα-ανάλυση 794 μελετών πάνω σε μελέτες των σχέσεων αριθμού ειδών-έκτασης επιφάνειας που διεξάχθηκε από τους Drakare et al. (2006) τονίζεται η εξάρτηση του αριθμού των ειδών από μεταβλητές που σχετίζονται με την κλίμακα του χώρου καθώς και από τον τύπο των ειδών και των ενδιαιτημάτων που εμπλέκονται.

Το πρότυπο διαβάθμισης της ποικιλότητας με το γεωγραφικό πλάτος (latitudinal gradient), αποτελεί ίσως την πιο έγκυρη καταγραφή της διακύμανσης της ποικιλότητας στο χώρο και είναι γνωστό από πολύ παλιά (Humboldt & Bonpland 1807, Wallace 1853, Bates 1862). Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, η αφθονία των ειδών πολλών ταξινομικών ομάδων αυξάνεται από τα μεγαλύτερα (εύκρατα) προς τα μικρότερα (τροπικά) γεωγραφικά πλάτη. Η συγκέντρωση περισσότερων ειδών κατά μήκος του Ισημερινού αποτελεί ένα από τα πλέον τυπικά χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας, είτε αυτή μετριέται σε τοπικό επίπεδο, είτε σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, είτε πάλι καταγράφεται συγκεντρωτικά σε ευρύτερες ζώνες γεωγραφικού πλάτους (Gaston & Spicer 2002). Η γενική αποδοχή του προτύπου επιβεβαιώνεται συνεχώς με νέες μελέτες, όπως αυτή του Hillebrand (2004), στην οποία διεξάχθηκε μια μετά-ανάλυση σε 600 μελέτες που αφορούσαν το πρότυπο αυτό, και που αναδεικνύει την ύπαρξη μεγάλης ετερογένειας μεταξύ των διάφορων παραμέτρων που προσπαθούν να δώσουν εξήγηση στους μηχανισμούς που διαμορφώνουν το πρότυπο, ειδικά σε μελέτες που αφορούν διαφορετικές κλίμακες, γεωγραφικές περιοχές, ταξινομικές ομάδες, τύπους ενδιαιτημάτων, τύπους οργανισμών, αλλά και διαφορετικά σωματικά βάρη των οργανισμών (π.χ. Cardillo 2002).

Μεταξύ άλλων πολυσυζητημένων θεωριών για την εξήγηση της γεωγραφικής διαβάθμισης της ποικιλότητας αξίζει να αναφερθούν οι εξής:

Η «**υπόθεση των γεωγραφικών περιορισμών**» (**mid-domain effect**) υποστηρίζει ότι η ποικιλότητα σε μια επιφάνεια (domain) καθορίζεται αποκλειστικά από γεωμετρικούς περιορισμούς, ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές διακυμάνσεις και προτείνει ότι η αφθονία των ειδών εμφανίζει ένα μέγιστο στο κέντρο της γεωγραφικής επιφάνειας που εξετάζεται (Willig & Lyons 1998, Lees et al. 1999, Colwell & Lees 2000). Όπως αναφέρουν οι Mora & Robertson (2005) αποτελεί ένα μηδενικό μοντέλο που προκύπτει αν εφαρμοστεί τυχαία επικάλυψη του εύρους εξάπλωσης διαφορετικών ειδών σε μια καθορισμένη επιφάνεια που περιορίζεται από όρια που τίθενται από φυσιογραφικά χαρακτηριστικά (π.χ. η ακτογραμμή, όταν πρόκειται για χερσαία επιφάνεια ή μια οροσειρά). Η θεωρία του mid domain effect παραμένει δημοφιλής αν και έχει δεχτεί έντονη κριτική, αφού οι ζώνες εξάπλωσης των ειδών δεν καθορίζονται από τη γεωμετρία, αλλά είναι προϊόν αλληλεπίδρασης οργανισμών - περιβάλλοντος. Το εύρος εξάπλωσης ενός είδους καθορίζεται τόσο από τα εγγενή χαρακτηριστικά του (φυσιολογικές ικανότητες, ιστορική εξέλιξη, δημογραφία, χαρακτηριστικά διασποράς) όσο και από εξωτερικούς παράγοντες, όπως αλληλεπιδράσεις με άλλα είδη και χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος που περιορίζουν την επέκταση της ζώνης διαβίωσης αυτού (Hughes 2002).

Η «**υπόθεση του Rapoport**», περισσότερο γνωστή ως ο κανόνας του Rapoport (Rapoport 1975, Stevens 1989) υποστηρίζει ότι η διαβάθμιση της βιοποικιλότητας κατά γεωγραφικό πλάτος σε μια περιοχή διαμορφώνεται από την τάση επέκτασης του εύρους εξάπλωσης των ειδών όσο πλησιάζουμε προς τους πόλους, ως απόκριση στην περιβαλλοντική παραλλακτικότητα (Mora & Robertson 2005). Με άλλα λόγια, το μέγεθος του εύρους εξάπλωσης των ειδών εμφανίζεται μικρότερο σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη. Αυτό βρίσκει την παρακάτω εξήγηση: στην τροπική ζώνη, οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι περισσότερο προβλέψιμες και σχεδόν σταθερές, με αποτέλεσμα τα είδη να εμφανίζονται προσαρμοσμένα σ' αυτές τις συνθήκες με πιο εξειδικευμένα χαρακτηριστικά και επομένως μικρότερο εύρος εξάπλωσης. Αντίθετα, σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη η διαδικασία της επιλογής ευνοεί την εξέλιξη ειδών με μεγαλύτερο εύρος εξάπλωσης για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην παραλλακτικότητα του περιβάλλοντος (Hughes 2002).

Μέχρι σήμερα η επιστήμη αδυνατεί να καταλήξει σε μια ευρέως αποδεκτή εξήγηση για τις κατά γεωγραφικό πλάτος διαβαθμίσεις της ποικιλότητας, παρά το μεγάλο αριθμό υποθέσεων που έχουν προταθεί ως τώρα (Pianka 1966, Huston 1979, 1994, Rohde 1992, Colwell & Hurtt 1994, Rosenzweig 1995), αλλά και των νέων υποθέσεων που συνεχίζουν να εμφανίζονται

(Ritchie & Olf 1999, Colwell & Lees 2000, Dynesious & Jansson 2000), υπερβαίνοντας σήμερα το συνολικό αριθμό των τριάντα (Hawkins et al. 2003b). Η ποικιλότητα πολλών ομάδων οργανισμών αυξάνει όσο μεταβαίνουμε από υψηλά σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα από το ταξονομικό επίπεδο και τη χωρική κλίμακα που εξετάζεται (Gaston & Williams, 1996). Πολλοί είναι οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί για την εξήγηση αυτού του φαινομένου, μεταξύ των οποίων αναφέρονται οι διαβαθμίσεις στην επίδραση του ανταγωνισμού των ειδών, στην αμοιβαία συνεργασία τους, στην αρπακτικότητα, την περιβαλλοντική σταθερότητα, την παραγωγικότητα, την έκταση της περιοχής, την ετερογένεια του ενδιαιτήματος, τον οικολογικό και τον εξελικτικό χρόνο και την ηλιακή ακτινοβολία (Pianka 1966, Rohde 1992&1999, Rosenzweig 1995, Gaston & Williams 1996, στο Bokma et al. 2001). Καμία όμως από αυτές τις προτάσεις που επιχειρούν να εξηγήσουν τα αίτια που προκαλούν το εκάστοτε πρότυπο δε φαίνεται να ξεχωρίζει (Gaston & Spicer, 2002). Επομένως, η διαβάθμιση της ποικιλότητας κατά γεωγραφικό πλάτος θα μπορούσε να αποτελεί εν μέρει αποτέλεσμα οικολογικών και εξελικτικών διαδικασιών και, εν μέρει, συνέπεια ενός συνδυασμού στοχαστικών διαδικασιών και φυσιογραφικών ορίων (Bokma et al. 2001).

Τέλος, για να μην παραμεληθεί η τρισδιάστατη δομή του τοπίου, αναφέρεται και **το πρότυπο διαβάθμισης της ποικιλότητας με τον όγκο (υψόμετρο)**. Στη χερσαία επιφάνεια, ως τρίτη διάσταση εκλαμβάνεται συχνά το υψόμετρο. Αυτό θα μπορούσε να παραβλεφθεί στην περίπτωση εξέτασης μεγάλων περιοχών, διότι το μέγεθός του είναι μικρό συγκριτικά με το γεωγραφικό μήκος ή πλάτος. Ωστόσο, μέτρια αύξηση του υψομέτρου συνοδεύεται π.χ. από αλλαγή θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε αλλαγή στο γεωγραφικό πλάτος κατά αρκετά εκατοντάδες χιλιόμετρα. Γενικά, είναι αποδεκτό για τα χερσαία οικοσυστήματα ότι η αφθονία των ειδών μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου (Gaston & Spicer, 2002). Οι λεπτομέρειες αυτού του προτύπου όμως ποικίλουν ανάλογα με την υπό εξέταση ταξινομική ομάδα και γι' αυτό δε θα αναλυθούν εδώ.

1.2. Ποικιλότητα και περιβαλλοντικοί παράγοντες

Το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο ή το σχήμα της χερσαίας επιφάνειας δεν καθορίζουν από μόνα τους τα επίπεδα της βιοποικιλότητας. Αντίθετα, οι διαβαθμίσεις της βιοποικιλότητας που σχετίζονται με αυτές τις μεταβλητές προκύπτουν από αλλαγές που βρίσκονται σε άμεση αλληλεπίδραση με τις μεταβολές των παραπάνω μεταβλητών, αλλά και με διάφορους άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ανάλογα με την περιοχή που εξετάζεται οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επικρατούν ενδέχεται να ποικίλουν. Έτσι, τα επίπεδα της ποικιλότητας μια περιοχής τείνουν να συσχετίζονται με παράγοντες όπως η εξατμισοδιαπνοή, η διάρκεια της

ηλιοφάνειας, η ιζηματογένεση, η πρωτογενής παραγωγικότητα, η γονιμότητα του εδάφους, η θερμοκρασία κ.α. (Gaston & Spicer, 2002).

Επίσης, οι σχέσεις που παρατηρούνται ποικίλουν σημαντικά ανάμεσα στις ταξινομικές ομάδες, τις περιοχές, ενώ μπορεί να εμφανίζουν και εποχιακές διακυμάνσεις. Επιπλέον, δεν εκτυλίσσονται πάντοτε με απλό τρόπο. Η αφθονία των ειδών συχνά φτάνει στο μέγιστο βαθμό της σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο κατά μήκος της οποιασδήποτε περιβαλλοντικής καμπύλης στην οποία εξετάζεται (Gaston & Spicer, 2002).

Υστερα από έρευνα των Hawkins et al. (2003), προκύπτει ότι το κλίμα είναι ένας από τους κυρίαρχους παράγοντες που περιγράφουν ικανοποιητικά το πρότυπο διαβάθμισης της ποικιλότητας σε παγκόσμιο επίπεδο, και ο μοναδικός μέχρι τώρα που ευθύνεται από μόνος του για περισσότερο από το 60% της διαβάθμισης αυτής (Hawkins et al. 2003b).

Σε περιφερειακό επίπεδο, οι περιβαλλοντικοί εκείνοι παράγοντες που σχετίζονται με τη διαθέσιμη ενέργεια (διαθεσιμότητα τροφής ή περιορισμός θρεπτικών, παραγωγικότητα) φαίνεται πως δικαιολογούν σε μεγαλύτερο βαθμό τη διακύμανση της βιοποικιλότητας από εκείνους που δεν έχουν καμία σχέση με αυτούς (Wright et al. 1993).

Σύμφωνα με τους Tognelli & Kelt (2004), τρεις από τις πλέον πολυσυζητημένες υποθέσεις που καθορίζουν την αφθονία των ειδών *σε περιφερειακό επίπεδο* είναι **1) η υπόθεση της ενέργειας** (στην οποία εντάσσονται οι υποθέσεις της παραγωγικότητας, της περιβάλλουσας ατμοσφαιρικής-ambient ενέργειας και του δυναμικού νερού-ενέργειας), **2) η υπόθεση της ετερογένειας του ενδιαίτηματος** και **3) η υπόθεση της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών** (Currie 1991, Kerr & Packer 1997, Kerr et al. 2001, Rahbeck & Graves 2001, στο Tognelli & Kelt. 2004).

1) Η υπόθεση της ενέργειας, μια υπόθεση που βασίζεται στη ρυθμιστική επίδραση του κλίματος πάνω στην ενέργεια, υποστηρίζει ότι η διαθεσιμότητα της ενέργειας είναι αυτή που παράγει και διατηρεί τις διαβαθμίσεις στην ποικιλότητα. Χρονολογείται τόσο παλιά όσο και η επιστήμη της βιογεωγραφίας (von Humboldt, 1808), και βρίσκει έντονη υποστήριξη στη βιβλιογραφία, όπως διαπιστώθηκε και σε έρευνα των Wright et al 1993. Η υπόθεση της ενέργειας εμφανίζει 2 εκδοχές, που υποκινούνται από διαφορετικούς μηχανισμούς (Turner et al. 1987, 1996, Currie 1991, Hawkins et al. 2003a, στο Hawkins et al. 2003b). Η μια εκδοχή της υπόθεσης προτείνει ότι τα όρια στην αφθονία των ειδών τίθενται από την ενέργεια μέσω της τροφικής αλυσίδας και αναπτύχθηκε από τους Hutchinson (1959), Conell & Orias (1964), Brown (1981) και Wright (1983). Σύμφωνα με τον τελευταίο, αρχικά η αφθονία των φυτικών οργανισμών περιορίζεται από την ηλιακή ενέργεια και τη διαθεσιμότητα του νερού (δυναμικό νερού-ενέργειας). Στη συνέχεια, η αφθονία των φυτοφάγων οργανισμών περιορίζεται από την καθαρή πρωτογενή παραγωγή των φυτών, των θηρευτών από τη δευτερογενή παραγωγή των

φυτοφάγων και ούτω καθεξής, όσο ανεβαίνουμε στην τροφική αλυσίδα. Δηλαδή, στην εκδοχή αυτή, τα όρια της ποικιλότητας τίθενται από την ποσότητα της ενέργειας που ρέει μέσα στα τροφικά δίκτυα και όχι από τη συνολική ενέργεια που εισέρχεται σε ένα οικοσύστημα. Είναι περισσότερο γνωστή ως «υπόθεση της παραγωγικότητας» και έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον (Wright et al. 1993, Huston 1994, Mittelbach et al. 2001, στο Hawkins et al. 2003b).

Η δεύτερη εκδοχή εντοπίζεται χρονικά στον von Humboldt (1808), και βασίζεται στις φυσιολογικές απαιτήσεις των οργανισμών απέναντι στην ενέργεια που τους περιβάλλει (ambient energy) και όχι σ' αυτήν που εντοπίζεται στα αποθέματα τροφής. Σύμφωνα με την «υπόθεση της περικλείουσας ενέργειας», η ποικιλότητα των φυτών εμφανίζεται μειωμένη σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη, επειδή πολλά είδη με έλλειψη ανθεκτικότητας στον παγετό αδυνατούν να επιβιώσουν κατά την ψυχρή χειμερινή περίοδο της εύκρατης ζώνης. Οι ψυχροί χειμώνες είναι άμεσο αποτέλεσμα των εποχιακών διαβαθμίσεων της περικλείουσας ενέργειας όσο απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό (Hawkins et al. 2003b).

Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της διαβάθμισης της ποικιλότητας για ένα ευρύ φάσμα ταξινομικών ομάδων, μεταξύ των οποίων και τα φυτά, φαίνεται να παίζουν το νερό και η ενέργεια, υποστηρίζοντας την υπόθεση του «δυναμικού νερού-ενέργειας». Σύμφωνα με την O'Brien (2006), «το δυναμικό νερού-ενέργειας καθορίζει τις βασικές αβιοτικές περιβαλλοντικές συνθήκες που είναι διαθέσιμες για την ύπαρξη και τη λειτουργία της ζωής, παντού και πάντα» (O'Brien, 2006). Στο γεωγραφικό πρότυπο διαβάθμισης που παρατηρείται στις υπάρχουσες μελέτες φαίνεται ότι η σχετική σημασία των δυο συστατικών του δυναμικού νερού-ενέργειας μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος ως εξής: η **ενέργεια** είναι αυτή που θέτει τους ισχυρούς περιορισμούς στην αφθονία των φυτών και των ζώων στο μακρινό Βορρά (και πιθανότατα στο μακρινό Νότο), όπου τα αποθέματα ενέργειας είναι χαμηλά, ενώ το **νερό** επιδρά ως περιοριστικός παράγοντας σε περιοχές με υψηλά αποθέματα ενέργειας. Σε ποιά ακριβώς γεωγραφικό πλάτος συμβαίνει αυτή η μεταβολή δεν έχει διαπιστωθεί ακόμη, όπως επίσης ούτε και το είδος της μεταβολής αυτής (διαδοχική ή απότομη μετάβαση). Συμπερασματικά, τόσο η υπόθεση της περικλείουσας ενέργειας όσο και η υπόθεση της παραγωγικότητας βρίσκουν υποστήριξη, ανάλογα με το σημείο του πλανήτη στο οποίο διεξάγεται η έρευνα και ανάλογα με τα αποθέματα νερού-ενέργειας στην περιοχή μελέτης (Hawkins et al., 2003b).

Για την ποσοτικοποίηση της υπόθεσης της ενέργειας συχνά χρησιμοποιούνται μεταβλητές όπως η δυνητική και πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Potential & Actual Evapotranspiration - PET, AET), που αντιπροσωπεύουν είτε την πρωτογενή παραγωγικότητα είτε τη θερμότητα που είναι διαθέσιμη στο περιβάλλον (Currie 1991, Kerr & Packer 1997, Kerr 2001, Hawkins et al. 2003). Ακόμα μια μεταβλητή που συχνά χρησιμοποιείται στα χερσαία οικοσυστήματα και

σχετίζεται με την πρωτογενή παραγωγικότητα (Kessler 2001) είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Digital Vegetation Index), που υπολογίζεται από δορυφορικές εικόνες με τη βοήθεια του καταγραφικού συστήματος AVHRR. Ο NDVI εμφανίζει έντονη συσχέτιση με παράγοντες βλάστησης όπως η υπέργεια βιομάζα, η φυλλική επιφάνεια και η απορροφώμενη ενεργή ακτινοβολία με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Curran 1982, Goward et al. 1985 στο Tognelli & Kelt, 2004).

2) Η υπόθεση της ετερογένειας του ενδιαιτήματος (habitat heterogeneity hypothesis) υποστηρίζει ότι «μεγαλύτερη ετερογένεια του ενδιαιτήματος διευκολύνει την εμφάνιση ποικιλότητας» (Rodriguez 2005). Βασίζεται στη διαβάθμιση που εμφανίζουν στο χώρο οι φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες, που επιτρέπει την εμφάνιση μεγαλύτερης διαφοροποίησης των οικολογικών θώκων (ecological niche) και συνεπώς την εμφάνιση περισσότερων ειδών. Με τον όρο «οικολογικός θώκος», που προτάθηκε από τον Grinnell το 1917, εννοείται ο λειτουργικός ρόλος κάθε είδους σε ένα οικοσύστημα, όσον αφορά τη ροή ενέργειας και την ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων. Οι ειδικές προσαρμογές που διαθέτει κάθε είδος, χάρη στις οποίες μπορεί να επιβιώνει και αναπαράγεται σε ένα βίοτοπο, καθορίζουν και το λειτουργικό του ρόλο (Παπαγεωργίου, 1995. *Οικολογία και Διαχείριση Άγριας Πανίδας*). Η ετερογένεια του ενδιαιτήματος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ως τοπογραφική διακύμανση (π.χ. υψομετρική διακύμανση/τυπική απόκλιση) ή ως πλήθος οικοσυστημάτων (ποικιλότητα χρήσεων γης = land-cover diversity) σε μια περιοχή (Tognelli & Kelt 2004, Rodriguez 2005).

3) Η υπόθεση της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών (climatic variability hypothesis) υποστηρίζει ότι «σταθερότερα κλίματα φιλοξενούν περισσότερα είδη». Μεταξύ των μηχανισμών που εξηγούν τα πρότυπα διαβάθμισης της ποικιλότητας σε σχέση με το κλίμα συγκαταλέγονται η σταθερότητα, ποικιλομορφία, ηπιότητα και δριμύτητα του κλίματος (Pianka 1966, Brown & Lomolino 1998, Currie 1991, Rohde 1992, στο Tognelli & Kelt 2004), συνθέτοντας νέες υποθέσεις που σχετίζονται με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (contemporary climate hypothesis). Για την ποσοτικοποίηση τέτοιων υποθέσεων χρησιμοποιούνται κλιματικές μεταβλητές, όπως η τυπική απόκλιση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και των κατακρημνισμάτων (Tognelli & Kelt 2004, Rodriguez 2005).

Συμπληρωματικά αναφέρεται άλλη μια υπόθεση, η «**υπόθεση που βασίζεται σε ιστορικά συμβάντα**» (historical contingency hypothesis) που υποστηρίζει ότι «η ιστορία επηρεάζει τη διηπειρωτική διαβάθμιση της ποικιλότητας» (Hawkins et al. 2003a).

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι δεν υπάρχει μια και μοναδική εξήγηση για τα πρότυπα που ακολουθούν τα είδη στην κατανομή τους στο χώρο. Οι αντικρουόμενες υποθέσεις γενικά δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, αλλά είναι πιθανό να λειτουργούν συνδυαστικά, είτε διαδοχικά είτε παράλληλα, διαμορφώνοντας από κοινού τα παρατηρούμενα πρότυπα

διαβάθμισης της ποικιλότητας (Whittaker et al. 2001, Brown & Lomolino 1998, Gaston 2000, στο Tognelli & Kelt 2004). Το βέβαιο είναι ότι πολλαπλοί παράγοντες δρουν συνεργιστικά και καθορίζουν τις διακυμάνσεις της αφθονίας των ειδών, ωστόσο πρέπει να δίνεται βαρύτητα στην κλίμακα που χρησιμοποιείται, γιατί οι παράγοντες αυτοί διαφοροποιούνται ανάλογα με την κλίμακα της ανάλυσης (Tognelli & Kelt, 2004).

1.3. Βιοποικιλότητα και κλίμακα μελέτης. Μια top-down προσέγγιση

Μια από τις μεγαλύτερες αδυναμίες της σύγχρονης οικολογικής θεωρίας είναι η αδυναμία σωστού χειρισμού της γεωγραφικής κλίμακας. Συγκεκριμένα, παρατηρείται έντονη δυσχέρεια στην αντιστοιχία των παραγόντων που επηρεάζουν την ποικιλότητα με την κατάλληλη κλίμακα, δηλαδή με αυτήν στην οποία γίνονται αντιληπτές οι επιδράσεις τους.

Ο Robert Whittaker (1960) επινόησε ένα απλό σύστημα ταξινόμησης της κλίμακας εμφάνισης της ποικιλότητας. Όρισε τρεις κλίμακες ποικιλότητας: την άλφα (alpha), τη βήτα (beta) και τη γάμα (gamma) ποικιλότητα (συμβολίζονται διεθνώς με τα ελληνικά πεζά γράμματα α, β και γ αντίστοιχα).

α-ποικιλότητα είναι ο αριθμός των ειδών που συνυπάρχουν σε μία γεωγραφική περιοχή (ποικιλότητα εντός του βιοτόπου - *within habitat diversity*).

β-ποικιλότητα είναι ο συνολικός αριθμός ειδών που διαφοροποιούν δύο 'γειτονικές' γεωγραφικά περιοχές που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές οικολογικές συνθήκες (ποικιλότητα μεταξύ βιοτόπων - *among habitat diversity*).

γ-ποικιλότητα: ο συνολικός αριθμός των ειδών που διαφοροποιούν δύο απομακρυσμένες γεωγραφικά περιοχές, οι οποίες όμως είναι οικολογικά ομόλογες (*geographic-scale diversity*) (Δημητρακόπουλος, 2006, Πανεπιστημιακές σημειώσεις).

Ποια είναι όμως πραγματικά μεγέθη χωρικής κλίμακας στα οποία μεταφράζονται οι όροι α-, β-, και γ-ποικιλότητα;

Οι Shmida & Wilson (1985) προτείνουν για τα χερσαία φυτά μια κλίμακα 10^2 - 10^4 m² ως κατάλληλη για την α-ποικιλότητα, 10^6 - 10^8 m² κατάλληλη για τη γ-ποικιλότητα, με τη β-ποικιλότητα να χαρακτηρίζει τη διακίνηση ειδών μεταξύ των βιοκοινοτήτων της α-ποικιλότητας (Whittaker et al. 2001). Οι Mittelbach et al. (2001) διακρίνουν την κλίμακα μελέτης με βάση τη γεωγραφική έκταση σε 4 κατηγορίες, την «τοπική κλίμακα» (0-20km), την «κλίμακα τοπίου»(20-200km), την «περιφερειακή κλίμακα» (200-4000km) και την «ηπειρωτική-παγκόσμια κλίμακα» (>4000km). Ο Benett (1991) οργάνωσε ένα πλαίσιο τεσσάρων βαθμίδων σχετικά με τις μεταβλητές που εξηγούν τις διαβαθμίσεις της ποικιλότητας στην αντίστοιχη χωρική κλίμακα. Έτσι, στην τοπική κλίμακα οι διακυμάνσεις της ποικιλότητας (α-

ποικιλότητας) οφείλονται σε βιοτικές αλληλεπιδράσεις του μικροπεριβάλλοντος (π.χ. βόσκηση). Στην κλίμακα τοπίου η ποικιλότητα (β- και γ-ποικιλότητα) φαίνεται πως καθορίζεται από την τοπογραφία, το έδαφος και τις διαταραχές (π.χ. πυρκαγιά). Στην περιφερειακή κλίμακα επικρατεί το δυναμικό νερού-ενέργειας σε συνδυασμό με το κλίμα και τη φυσιογραφία, καθώς και ιστορικοί παράγοντες. Όσο για τις μεγαλύτερες, ηπειρωτικές κλίμακες γίνεται λόγος για μεγάλες περιβαλλοντικές αλλαγές, κινήσεις των τεκτονικών πλακών και καταστροφικά γεγονότα μεγάλης εμβέλειας (Whittaker et al. 2001). Σύμφωνα με τους O'Brien et al. (2000), η μέτρηση των διαβαθμίσεων της ποικιλότητας διαφέρει μεταξύ κλιμάκων ως εξής:

Στη μακροκλίμακα, υπολογίζονται οι διαφορές στην επικάλυψη περιοχών εξάπλωσης των ειδών (γένη, οικογένειες). Το εύρος εξάπλωσης ενός ταχον είναι ένας συνδυασμός της εξάπλωσης των ανεξάρτητων ατόμων του, και της ικανότητας καθενός από τα άτομα αυτά να προσαρμόζονται στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, να διασπείρονται και να καταλαμβάνουν περιβάλλοντα μέσα στο εύρος ανοχής τους. Οι περιοριστικοί παράγοντες που επιδρούν σ' αυτή την κλίμακα είναι το κλίμα, τα φυσικά εμπόδια στην εξάπλωση (π.χ. θάλασσα ή βουνά) και ο χρόνος

Σε επίπεδο μικρο- και μεσοκλίμακας, οι διαβαθμίσεις της ποικιλότητας μετρώνται ως οι διαφορές στην επικάλυψη περιοχών εξάπλωσης των ανεξάρτητων ατόμων των ταχα *μέσα* στο εύρος της εξάπλωσής τους και *μέσα* στα όρια ανοχής τους. Εδώ το κλίμα θέτει τα όρια σε σχέση με το ποια ταχα θα μπορούσαν να υπάρχουν εκεί, εφόσον θεωρηθεί ότι όλες οι υπόλοιπες παράμετροι συνεισφέρουν ισότιμα, αλλά δεν είναι τόσο σημαντικό, όσο άλλοι παράγοντες (αβιοτικοί και βιοτικοί), των οποίων η ετερογένεια είναι αντιληπτή σε τέτοιες κλίμακες (π.χ. κλίση, έκθεση, ή ιστορικοί παράγοντες, όπως εκρήξεις ηφαιστειών, (O'Brien et al. 2000)).

Σύμφωνα με τους Mittelbach et al. (2001), κάθε προσπάθεια οργάνωσης των διαφορετικών κλιμάκων μελέτης οικολογικών σχέσεων εμπεριέχει κάποιο βαθμό αυθαιρεσίας, εφόσον οι πληθυσμοί και οι διαδικασίες που εμπλέκονται σ' αυτήν αλληλεπιδρούν. Ωστόσο, διαβαθμίσεις στην κλίμακα συντελούν σε μια πιο ξεκάθαρη αντίληψη των υπαρχόντων πρότυπων στις σχέσεις ποικιλότητας και άλλων παραμέτρων (π.χ. παραγωγικότητα), και στο συσχετισμό των σχέσεων αυτών με τις αντίστοιχες θεωρίες (Mittelbach et al. 2001). Όπως επισημαίνουν οι Ricklefs et al. (1999), είναι σημαντικό να ξεκαθαριστούν η κλίμακα της ανάλυσης καθώς και το ακριβές φάσμα της βιοποικιλότητας που εξετάζεται. Μια ολοκληρωμένη εξήγηση των γεωγραφικών διαβαθμίσεων της ποικιλότητας, επειδή είναι πολύπλοκη, θα πρέπει να αναζητείται σε διαφορετικές κλίμακες μέσα από μια top-down προσέγγιση (Whittaker & Field, 2000). Η ανάπτυξη ενός πλαισίου ανάλυσης μιας top-down προσέγγισης, από τη μακροκλίμακα σε πιο διακριτές κλίμακες, βοηθάει να ξεπεραστούν κάποια προβλήματα όπως π.χ. το πώς να διακριθεί το αν η επίδραση κάποιων μεταβλητών έχει τοπική ή ευρύτερη σημασία,

εξασφαλίζοντας ένα βήμα προς μια πιο ολοκληρωμένη εξήγηση της διαβάθμισης της ποικιλότητας. Αυτού του είδους η προσέγγιση πιθανότατα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την επιστημονική έρευνα.

Ειδικότερα, μια ανάλυση μακροκλίμακας αποτελεί το πρώτο βήμα σε μια top-down προσέγγιση χωρικής ανάλυση της διαβάθμισης της ποικιλότητας και περιλαμβάνει άλλους παράγοντες από αυτούς που εξετάζονται στη συνέχεια σε πιο διακριτές κλίμακες. Ως σημείο αφετηρίας προτείνεται το δυναμικό νερού-ενέργειας, ένας τρίτος σημαντικός παράγοντας είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο, ενώ τα πιθανά ιστορικά συμβάντα εμπεριέχουν ένα σημαντικό τμήμα της εξήγησης της υπολειμματικής παραλλακτικότητας, αφού έχει εξαιρεθεί αυτή που οφείλεται σε κλιματικούς παράγοντες (Ricklefs et al. 1999). Στην ανάλυση της υπολειμματικής παραλλακτικότητας (residual variation), εξετάζονται οι επιρροές που παρατηρούνται σε πιο διακριτές κλίμακες μεταξύ βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων και σχέσεων. Αν χρησιμοποιηθούν απλοί χάρτες γεωγραφικής διαβάθμισης των παραγόντων που δε λήφθηκαν υπόψη και που θεωρείται ότι είναι υπεύθυνοι για την υπολειμματική παραλλακτικότητα, και συγκριθούν με όσα είναι γνωστά σχετικά με τη φυσιογραφία, τη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής μελέτης, τότε μπορούν να εντοπιστούν άλλες μεταβλητές η ενσωμάτωση των οποίων θα προσέφερε μια ολοκληρωμένη εξήγηση του προτύπου (ή της διαβάθμισης), είτε στην ίδια είτε σε πιο διακριτή κλίμακα ανάλυσης (O'Brien et al. 2000).

1.4. Ποικιλότητα-οικοσυστημική λειτουργία

Ο όρος *οικοσυστημική λειτουργία (ecosystem function)* αναφέρεται στην ικανότητα ενός οικοσυστήματος να πραγματοποιήσει τις πρωτογενείς οικοσυστημικές διεργασίες της πρόσληψης, της αποθήκευσης και της μεταφοράς ενέργειας, διοξειδίου του άνθρακα, θρεπτικών και νερού (Solbrig 1991). Ενσωματωμένες σ' αυτές τις συνολικές οικοσυστημικές διεργασίες είναι πολύ περισσότερες διεργασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε επίπεδο πληθυσμού και σε επίπεδο κοινότητας και οι οποίες εξασφαλίζουν την συνεχιζόμενη λειτουργία των οικοσυστημάτων. Μία πρωτογενής λειτουργία (μεταφορά νερού, ενέργειας, θρεπτικών) απαρτίζεται από έναν αριθμό διαφορετικών υπο-οικοσυστημικών λειτουργιών (αποδόμηση, δέσμευση N, παραγωγικότητα), κάθε μία από τις οποίες εκτελείται από μία ή περισσότερες λειτουργικές ομάδες, που αποτελούνται από λειτουργικώς ισοδύναμα είδη (Hobbs et al. 1995).

Η προσπάθεια σύνδεσης βιοποικιλότητας και οικοσυστημικής λειτουργίας δεν αποτελεί απλή υπόθεση, καθώς «η σχέση μεταξύ των οργανισμών σ' ένα σύστημα και των λειτουργιών του συστήματος δεν είναι πάντοτε ευκρινής» (O'Neil et al. 1986). Στην εξέταση ενός οικοσυστήματος παρατηρούνται 2 διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη, *πληθυσμιακή-κοινοτική ή βιοτική προσέγγιση*, εξετάζει ένα οικοσύστημα με όρους των συστατικών του ειδών ή των

πληθυσμών, οργανωμένων σε ομάδες ή κοινότητες, ενώ η δεύτερη, η *λειτουργική προσέγγιση*, με όρους λειτουργιών (Loreau, 2000).

Ο συγκερασμός των δύο ρευμάτων δεν είναι εύκολος: διαφορετικά είδη μπορούν να επιτελέσουν τις ίδιες ή όμοιες λειτουργίες, τα ίδια είδη μπορούν να εκπληρώσουν διαφορετικές λειτουργίες την ίδια χρονική περίοδο, ή τα ίδια είδη μπορούν εκτελέσουν διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικούς χρόνους ή τρόπους (Δημητρακόπουλος, 2006, *Πανεπιστημιακές Σημειώσεις*).

Η ανάγκη απλοποίησης των σύνθετων φυσικών οικοσυστημάτων (Shugart, 1997) οδήγησε στην ομαδοποίηση των ειδών σύμφωνα με την ομοιότητα της συμπεριφοράς που αυτά παρουσιάζουν σε σχέση με μια οικοσυστημική λειτουργία (Woodward & Cramer, 1996). Έτσι, στη σύγχρονη οικολογία, τα είδη, ως ταξινομικές μονάδες, υποκαταστάθηκαν από τους λειτουργικούς τύπους των ειδών. Ως *λειτουργικός τύπος* θεωρείται μια ομάδα οργανισμών, η οποία παίζει τον ίδιο λειτουργικό ρόλο στο οικοσύστημα, είτε αντιδρώντας με τον ίδιο τρόπο σε κάποια διαταραχή, είτε χρησιμοποιώντας τους ίδιους πόρους (Gitay & Noble, 1997).

Βλέποντας την ποικιλότητα κάτω από αυτό το πρίσμα, οι Nijs and Impens (2000) θεωρούν, ότι δυο είναι τα κύρια συστατικά της ποικιλότητας: α) ο αριθμός των λειτουργικά ανάλογων ειδών (είδη που υποστηρίζουν την ίδια λειτουργία μέσα σε ένα οικοσύστημα και άρα αποτελούν ένα λειτουργικό τύπο) μέσα σε οικοσύστημα (Huston 1994, Woodward et al. 1997), και β) ο αριθμός των διαφορετικών λειτουργιών, που αυτά τα είδη επιτελούν (ποικιλότητα μέσα και μεταξύ των λειτουργικών ομάδων, αντίστοιχα). Οι ίδιοι συγγραφείς συνιστούν κι ένα τρίτο συστατικό της ποικιλότητας που είναι η ετερογένεια μεταξύ των ειδών, η οποία σχετίζεται με την πιθανότητα εξαφάνισής τους από το οικοσύστημα.

Σύμφωνα με τους Woodward and Kelly (1997), με την ταξινόμηση των οργανισμών με βάση τους λειτουργικούς τους τύπους μπορεί να προβλεφθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η συμπεριφορά ενός οικοσυστήματος. Ιδιαίτερα για τους φυτικούς οργανισμούς, η φυλογενετική ταξινόμηση τους δεν σχετίζεται με την ευαισθησία του στους παράγοντες του περιβάλλοντος. Συχνά είδη, τα οποία σχετίζονται ταξινομικά, εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες διαφορές στην ευαισθησία τους σε κάποιο περιβαλλοντικό παράγοντα (π.χ. αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες) από είδη που δε σχετίζονται ταξινομικά, αλλά έχουν παρόμοια οικολογία (Woodward & Kelly, 1997). Για το λόγο αυτό, στις μέρες μας ενισχύεται η τάση μέτρησης της ποικιλότητας λειτουργικών τύπων αντί της χρήσης των ειδών, ως ταξινομικών μονάδων. Παρόλα αυτά, συνεχίζεται να εφαρμόζεται η κλασική προσέγγιση της ποικιλότητας, η οποία βασίζεται στα είδη, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατό αυτά να αγνοηθούν, όταν πρόκειται να διερευνηθεί η οικολογική αξία ενός οικοσυστήματος.

Η περαιτέρω διερεύνηση των σχέσεων της ποικιλότητας και των οικοσυστημικών λειτουργιών είναι απαραίτητη προκειμένου να απαντηθούν τα εξής βασικά ερωτήματα:

- Τα οικοσυστήματα παρότι “φτωχαίνουν” σε αριθμό ειδών μπορούν να είναι λειτουργικά πλήρη;
- Θα λειτουργούν διαφορετικά από τα περισσότερα πλούσια σε είδη συστήματα από τα οποία προήλθαν;

Τα παραπάνω ερωτήματα θέτουν τις βάσεις για τη διερεύνηση της απόκρισης του οικοσυστήματος από πλευράς σταθερότητας σε κάποια διαταραχή που οδηγεί στην απώλεια βιοποικιλότητας. Ο σύγχρονος ορισμός της οικολογικής σταθερότητας αναφέρεται στην ικανότητα μιας βιοκοινότητας ή ενός οποιουδήποτε συστήματος να εμφανίζει *ανθεκτικότητα* (resistance) και ικανότητα *ανάκαμψης* (resilience) σε μια διαταραχή. Η ικανότητα ανάκαμψης περιγράφει την ταχύτητα με την οποία η διαταραγμένη βιοκοινότητα επιστρέφει στην αρχική της κατάσταση, ενώ η ανθεκτικότητα αφορά την αντίσταση που προβάλλει ευθύς εξ αρχής, αποφεύγοντας τη μετατόπισή της από την αρχική κατάσταση (Johnson et al. 1996).

Σύμφωνα με τους Johnson et al. (1996), υπάρχουν τέσσερις βασικές υποθέσεις οι οποίες συνδέουν τη βιοποικιλότητα με τη σταθερότητα ενός οικοσυστήματος (πέρα από τη μηδενική υπόθεση, όπου η ποικιλότητα δεν έχει επίδραση στις οικοσυστημικές λειτουργίες):

α) Υπόθεση ποικιλότητας-σταθερότητας (diversity-stability hypothesis)

Η υπόθεση αυτή προβλέπει ότι σε μια βιοκοινότητα αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της χρήσης της ενέργειας (παραγωγικότητα), καθώς και η ικανότητα ανάκαμψης από μια διαταραχή, αν ο αριθμός των ειδών της κοινότητας αυξηθεί. Ο MacArthur (1955), ο οποίος εισήγαγε αυτή την υπόθεση, υποστηρίζει ότι η μεταφορά ενέργειας από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο αποτελεί θεμελιώδη λειτουργία του οικοσυστήματος και ότι η ροή ενέργειας στα πολύπλοκα τροφικά πλέγματα (εννοώντας αυτά που χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό δεσμών μεταξύ των ειδών) επηρεάζεται λιγότερο από μία διαταραχή, γιατί υπάρχει η δυνατότητα εναλλακτικών τρόπων ροής της ενέργειας. Έτσι, η αφαίρεση οποιουδήποτε είδους από το τροφικό πλέγμα, αναμένεται να αυξήσει την ευπάθεια του συστήματος στις διαταραχές.

Η υπόθεση εισάγει την ιδέα ότι, σε ένα οικοσύστημα με αυξημένο αριθμό ειδών, τα οποία αλληλεπιδρούν όσον αφορά την ικανοποίηση των τροφικών τους αναγκών, υπάρχει αυξημένη ικανότητα των πληθυσμών να παραμένουν σταθεροί ύστερα από μία διαταραχή. Μετά τη διατύπωση της υπόθεσης ποικιλότητας-σταθερότητας, η οποία προβλέπει ότι η μεγαλύτερη ποικιλότητα ειδών αυξάνει τη σταθερότητα ενός οικοσυστήματος, άλλοι ερευνητές δήλωσαν ότι ισχύει και το αντίστροφο. Ότι δηλαδή, η μεγαλύτερη σταθερότητα οδηγεί σε μεγαλύτερη ποικιλότητα (Aarts & Nienhuis, 1999).

β) Υπόθεση των συνδέσμων (rivet hypothesis)

Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή, η οποία εισήχθη από τους Ehrlich & Ehrlich (1981), η αντίσταση ενός οικοσυστήματος σε μία εξωτερική διαταραχή μειώνεται σταδιακά όσο ο αριθμός των ειδών μειώνεται, ακόμα και αν η απόδοση του οικοσυστήματος φαίνεται να μένει ανεπηρέαστη. Οι Johnson et al. (1996), διερευνώντας την υπόθεση αυτή, παρομοιάζουν τα είδη ενός οικοσυστήματος με τους μεταλλικούς συνδέσμους που συγκρατούν ένα αεροσκάφος. Η απομάκρυνση των συνδέσμων πάνω από ένα όριο μπορεί να προκαλέσει στο αεροσκάφος (στην περίπτωση μας το οικοσύστημα) αιφνίδια πτώση (κατάρρευση). Όμως, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, δεν είναι γνωστός ο χρόνος και ο ρυθμός των ειδών που πρέπει να αφαιρεθούν προκειμένου να καταρρεύσει ένα οικοσύστημα. Έτσι, η εξαφάνιση κάποιων ειδών μπορεί να μην γίνει αντιληπτή αφού η απόδοση του οικοσυστήματος θα παραμείνει ανεπηρέαστη.

γ) Υπόθεση των πλεοναζόντων ειδών (redundancy hypothesis)

Η υπόθεση αυτή, έτσι όπως παρουσιάστηκε από το Walker (1992), στηρίζεται στην άποψη ότι η διατήρηση της σταθερότητας ενός οικοσυστήματος μπορεί να συμβαδίσει με την εξαφάνιση κάποιων ειδών, εφόσον τα είδη που παραμένουν μπορούν να επιτελέσουν τις λειτουργίες αυτών που εξέλειψαν. Στην καρδιά της υπόθεσης αυτής βρίσκεται η ιδέα ότι τα είδη μπορούν να διαχωριστούν σε λειτουργικές ομάδες. Η εξαφάνιση ενός είδους, το οποίο ανήκει σε μια λειτουργική ομάδα, προβλέπεται να έχει μικρότερη σημασία για τη λειτουργία ενός οικοσυστήματος, σε σχέση με την εξαφάνιση ενός είδους, που αποτελεί από μόνο του μία λειτουργική ομάδα.

Σύμφωνα με το Lawton (1994), η υπόθεση αυτή αποτελεί συμπλήρωμα της υπόθεσης των συνδέσμων, αφού λαμβάνει υπόψη της τα είδη – σύνδεσμοι, τα οποία θα μπορούσαν να αφαιρεθούν έτσι ώστε να μην καταρρεύσει το οικοσύστημα.

δ) Ιδιοσυγκρατική υπόθεση (idiosyncratic hypothesis)

Η υπόθεση αυτή παρουσιάστηκε από το Lawton (1994) και υποστηρίζει ότι η οικοσυστημική λειτουργία μεταβάλλεται με τη μεταβολή της ποικιλότητας, αλλά η μεταβολή αυτή δεν υπόκειται σε κάποιο γνωστό κανόνα. Συγκεκριμένα, η υπόθεση αυτή θεωρεί ότι η λειτουργία των οικοσυστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση των κοινοτήτων σε είδη και όχι από την ποικιλότητά τους *per se* (από μόνη της).

Ακόμα και όταν τα υψηλά επίπεδα ποικιλότητας δεν αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για τη διατήρηση της σωστής λειτουργίας του οικοσυστήματος σε σταθερές ή ήπιες περιβαλλοντικές συνθήκες, μπορεί να αποβούν κρίσιμα για τη σταθερότητα του οικοσυστήματος εάν οι περιβαλλοντικές συνθήκες μεταβληθούν. Στην ιδέα αυτή βασίζεται η «Υπόθεση της εξασφάλισης» (insurance hypothesis) (Walker 1992, Lawton & Brown 1993, Yachi & Loreau 1999, στο Loreau 2000), που διατυπώνεται ως εξής: «Είδη με όμοια λειτουργία, τα οποία

θεωρούνται υπεράφθονα κάτω από κανονικές - σχετικά σταθερές - περιβαλλοντικές συνθήκες, μπορούν να αντισταθμίσουν τις αλλαγές στην αφθονία και να διατηρήσουν τις οικοσυστημικές διεργασίες, λόγω της ανοχής που παρουσιάζουν στον συγκεκριμένο παράγοντα διαταραχής». Δηλαδή ο αυξημένος πλούτος ειδών θα οδηγήσει σε μία μειωμένη μεταβλητότητα (variability) στις οικοσυστημικές διεργασίες λόγω αντισταθμιστικών δράσεων μεταξύ των ειδών (Loreau, 2000).

1.5. Σχέση παραγωγικότητας –ποικιλότητας

Οι σχέσεις μεταξύ του πλούτου των ειδών και της παραγωγικότητας των οικοσυστημάτων έχουν απασχολήσει ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα της Οικολογίας, καθώς η διαλεύκανση των μηχανισμών που κινούν τις σχέσεις αυτές παραμένουν θεμελιώδους σημασίας για την κατανόηση των παραγόντων που καθορίζουν τη βιοποικιλότητα. Παρά την πολυετή επιστημονική έρευνα και το έντονο θεωρητικό ενδιαφέρον γύρω από το θέμα αυτό, παρατηρείται αδυναμία κατάληξης σε ένα γενικό πρότυπο για τη σχέση ποικιλότητας-παραγωγικότητας, ενώ τα αποτελέσματα σχετικά με το ποιοι οργανισμοί ακολουθούν τα διάφορα πρότυπα, αλλά και σχετικά με τους μηχανισμούς που παράγουν τα πρότυπα αυτά παραμένουν αντιφατικά (Mittelbach et al. 2001).

Προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι σχέσεις παραγωγικότητας-ποικιλότητας όταν η ποικιλότητα θεωρείται ανεξάρτητη μεταβλητή και η παραγωγικότητα ως εξαρτημένη, και να υπάρξει σύγκλιση σε ένα γενικευμένο πρότυπο της σχέσης αυτής, υπάρχει ανάγκη διεξαγωγής συγκριτικής έρευνας μεταξύ οικοσυστημάτων με διαφορετικές μορφές ανάπτυξης και διαβαθμίσεις στην ποικιλότητα των λειτουργικών ομάδων. Σε τέτοια συστήματα πολλαπλών μορφών ανάπτυξης το ακριβές νόημα της «ταξινομικής ποικιλότητας», που συχνά αναφέρεται ως συνώνυμο της συνολικής ποικιλότητας μιας περιοχής, είναι ιδιαίτερης σημασίας για την κατανόηση των λειτουργικών επιδράσεων της ποικιλότητας εντός του εξεταζόμενου οικοσυστήματος. Μεγάλες διαφορές μεταξύ των ειδών παρουσιάζονται ανάλογα με το αν αναφερόμαστε σε θάμνους, λιβαδικά φυτά ή και γεώφυτα που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την τιμή της υπό εξέταση μεταβλητής που σχετίζεται με την οικοσυστημική λειτουργία (Troumbis & Memtsas, 2000).

Σύμφωνα με εκτεταμένη έρευνα της Rajaniemi (2003),

α) για πειράματα με αύξηση της παραγωγικότητας τεχνητά (λίπανση) ισχύει η γενικευμένη σχέση: αύξηση παραγωγικότητας- μείωση ποικιλότητας (DiTommaso & Aarssen 1989, Pratt 1984, Carson & Barrett 1988, Goldberg & Miller 1990, Gough et al. 2000, στο Rajaniemi 2003) με ελάχιστες εξαιρέσεις, στις οποίες η προσθήκη λιπάσματος δε φαίνεται να επηρεάζει την ποικιλότητα της εξεταζόμενης κοινότητας.

β) στη φύση τα πρότυπα της σχέσης ποικιλότητας-παραγωγικότητας παρουσιάζουν διαβαθμίσεις. Σε μεγάλες γεωγραφικές κλίμακες, (μεταξύ μεγαδιαπλάσεων-biomes) η ποικιλότητα φαίνεται πως αυξάνει με αύξηση της παραγωγικότητας.

Σε μικρότερες γεωγραφικές κλίμακες, (μέσα στην ίδια μεγαδιάπλαση-biome, αλλά μεταξύ κοινοτήτων), τα πρότυπα ποικίλουν: η σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας μπορεί να είναι μονοκόρυφη, θετική ή και αρνητική, ή ακόμη να έχει τη μορφή καμπύλης U. (Waide et al. 1999, Mittelbach et al. 2001, Gross et al. 2000, στο Rajaniemi 2003).

Όσο για τη μικρότερη κλίμακα, εντός της κοινότητας, οι σχέσεις είναι ακόμη πιο απροσδιόριστες και συχνά δεν ακολουθούν κάποιο πρότυπο, ενώ μπορεί να είναι και μονοκόρυφες, ή θετικές (Waide et al. 1999, Gross et al. 2000).

Παρά τις παραπάνω παραλλαγές, η μονοκόρυφη καμπύλη θεωρείται κατά πολλούς ότι περιγράφει καλύτερα την πραγματική σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας σε φυσικά οικοσυστήματα και παραμένει σήμερα η επικρατέστερη (Rosenzweig & Abramsky 1993, Tilman & Pacala 1993, Huston 1994, Abrams 1995, Rosenzweig 1995). Ωστόσο, άλλοι έχουν αποδείξει ότι σε μοντέλα ανταγωνιστικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ειδών προβλέπονται επίσης και θετικές σχέσεις παραγωγικότητας-ποικιλότητας (Abrams 1995, Wright et al. 1993). Σύμφωνα με τους Mittelbach et al. (2001), και οι δυο παραπάνω σχέσεις απαντώνται στη φύση και μάλιστα ίσως έχει δοθεί υπερβολική βαρύτητα στην αναζήτηση μονοκόρυφων σχέσεων.

Από τα παραπάνω είναι ξεκάθαρο ότι οι σχέσεις μεταξύ ποικιλότητας και παραγωγικότητας διαφέρουν, όχι μόνο όταν η διερεύνησή τους αφορά διαφορετικές γεωγραφικές κλίμακες, αλλά και ανάλογα με τη φύση των μεταβολών σε ένα οικοσύστημα (φυσικές ή τεχνητές), ενώ ταυτόχρονα επηρεάζονται έντονα ανάλογα με την ταξινομική ομάδα που εξετάζεται (Mittelbach et al. 2001). Μπορεί μάλιστα να ακολουθούν διαφορετικά πρότυπα και στην ίδια γεωγραφική κλίμακα ή κάτω από το ίδιο καθεστώς της μεταβολής (Rajaniemi, 2003).

Στην προσπάθεια ερμηνείας της παρατηρούμενης μονοκόρυφης σχέσης παραγωγικότητας-ποικιλότητας για τα φυτά διατυπώθηκαν 5 υποθέσεις, όπως αναφέρονται από την Rajaniemi, (2003). Αυτές βασίζονται στη θεωρία του ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών, ο οποίος αυξάνει όσο ανεβαίνουμε από μέσα σε υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας, οδηγώντας σε αποκλεισμό των λιγότερο ανταγωνιστικών ειδών και επομένως σε σταδιακή μείωση της ποικιλότητας. Ειδικότερα, το αυξανόμενο τμήμα της καμπύλης ερμηνεύεται με βάση εξελικτικές διεργασίες, οι οποίες οδηγούν σε μεγαλύτερη ποικιλότητα σε ενδιάμεσα επίπεδα παραγωγικότητας απ' ότι σε χαμηλά. Στο φθίνον τμήμα της καμπύλης ο ανταγωνισμός παρουσιάζει μικρή ή και καμία επίδραση στην ποικιλότητα σε ενδιάμεσα επίπεδα παραγωγικότητας, έχει όμως μεγάλη επίδραση σε υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας.

Οι υποθέσεις αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με την εξήγηση που δίνεται κάθε φορά στις παραπάνω παρατηρήσεις, ως εκ τούτου ανάλογα με το ποιοι είναι κάθε φορά οι φυσικοί πόροι για τους οποίους ανταγωνίζονται τα είδη (οποιοσδήποτε πόρος, ή ανταγωνισμός για φως) και μέσα από ποιες οικολογικές διεργασίες εξηγείται το φθίνον τμήμα της καμπύλης. Οι 5 υποθέσεις αναφέρονται στη συνέχεια:

1) η υπόθεση της έντασης του συνολικού ανταγωνισμού (total competition intensity hypothesis, Grime, 1977) υποστηρίζει ότι σε χαμηλά επίπεδα παραγωγικότητας επιβιώνουν είδη που εμφανίζονται ανθεκτικά στη έλλειψη πόρων, ενώ σε υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας επιβιώνουν είδη ικανά να συναγωνιστούν για φυσικούς πόρους. Μια ενδιάμεση κατάσταση παρατηρείται σε ενδιάμεσα επίπεδα παραγωγικότητας, όπου ο ανταγωνισμός είναι μέσης έντασης.

2) η υπόθεση της δυναμικής ισορροπίας (dynamic equilibrium hypothesis, Huston, 1979) σύμφωνα με την οποία η μέγιστη επίδραση της παραγωγικότητας στην ποικιλότητα εμφανίζεται σε διαταραχές μέσης συχνότητας.

3) η υπόθεση της ετερογένειας του ενδιαιτήματος (habitat heterogeneity hypothesis, Tilman & Pacala, 1993). Τη μεγαλύτερη ετερογένεια πόρων εμφανίζουν περιοχές με μέση παραγωγικότητα, στις οποίες εξασφαλίζεται και η συνύπαρξη περισσότερων ειδών με διαφορετικές απαιτήσεις.

4) η υπόθεση της έντασης του ανταγωνισμού για φως (light competition intensity hypothesis, Newman, 1973). Περιοχές με υψηλή παραγωγικότητα εμφανίζουν αυξημένο βαθμό φυτοκάλυψης και επομένως μεγαλύτερη σκίαση που με τη σειρά της αυξάνει την ένταση του ανταγωνισμού για φως και οδηγεί σε αποκλεισμό ειδών, λόγω ασύμμετρου μεγέθους.

5) η υπόθεση του ανταγωνισμού για φως με τυχαίες απώλειες ειδών (light competition with random species loss hypothesis, Goldberg & Miller, 1990). Αυτή δε διαφέρει πολύ από την προηγούμενη, παρά μόνο στο ότι ο αποκλεισμός δεν αφορά μόνο τα είδη που δεν είναι καλοί ανταγωνιστές για τον παράγοντα φως. Εξαιτίας του ανταγωνισμού χάνονται άτομα από όλα τα είδη, γεγονός που οδηγεί αρχικά σε τοπική εξαφάνιση των σπανιότερων ειδών ή σε στοχαστική απώλεια ειδών.

(Rajaniemi, 2003)

Τα διαθέσιμα στοιχεία και πειραματικά δεδομένα δεν επαρκούν για την έντονη υποστήριξη κάποιας από τις παραπάνω υποθέσεις, αλλά ούτε και για την απόρριψη κάποιας από αυτές. Σύμφωνα με εύστοχη παρατήρηση της Rajaniemi, (2003), το επιστημονικό ενδιαφέρον δε θα πρέπει πλέον να εστιάζεται στη διερεύνηση των προτύπων που ακολουθούν οι σχέσεις παραγωγικότητας-ποικιλότητας, αλλά θα πρέπει να στραφεί στη μελέτη των μηχανισμών που διέπουν τα διαφορετικά πρότυπα. Είναι σημαντικό να εξεταστεί εάν οι διαφορετικοί μηχανισμοί

μπορούν να εξηγήσουν τη διαβάθμιση των προτύπων της σχέσης ποικιλότητας παραγωγικότητας, ενώ ο καλύτερος τρόπος αξιολόγησης των προτεινόμενων μηχανισμών είναι η διεξαγωγή πειραμάτων και η άμεση εξέταση των επιδράσεων του ανταγωνισμού στην ποικιλότητα των ειδών. Μόνο μέσα από την εμπειρική παρατήρηση μπορούμε να εντοπίσουμε τα πρότυπα που ακολουθεί η σχέση αυτή στη φύση (Mittelbach et al. 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί το νησί της Κρήτης. Η Κρήτη, είναι ένα νησιωτικό διαμέρισμα της νότιας Ελλάδας και το μεγαλύτερο νησί της χώρας. Είναι φυσικό σταυροδρόμι ανάμεσα στην Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική, διατηρώντας περίπου ίση απόσταση από τις 3 ηπείρους (λίγο μεγαλύτερη των 300km) και παρουσιάζει μια φυσική και πολιτιστική ταυτότητα ξεχωριστή και διαφορετική από οποιαδήποτε άλλη περιοχή της χώρας (Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης - ΟΑΔΥΚ, διαθέσιμα στην ιστοσελίδα <http://www.oadyk.gr/content/view/33/37>, ημερομηνία επίσκεψης: 2/2/2007).

2.1.1. Βιογεωγραφία και Ιστορία

Από την εποχή του μέσου Μειόκαινου, 18 εκατομμύρια χρόνια πριν, που η Κρήτη ήταν ενωμένη με την υπόλοιπη Ελλάδα, την Τουρκία και τα νησιά του Αιγαίου, το νησί απομονώθηκε πριν από 5 εκατομμύρια χρόνια, καθώς τα βουνά υπερυψώθηκαν και η Μεσόγειος θάλασσα κατέκλυσε το Αιγαίο. Οι μεγάλες κλιματικές εναλλαγές στην περίοδο του Πλειστόκαινου μεταξύ παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων δεν άφησαν τη χλωρίδα και την πανίδα του νησιού ανεπηρέαστη. Με την κάθοδο των Παγετώνων από τους πόλους προς τις εύκρατες περιοχές της Μεσογείου το επίπεδο της θάλασσας έπεφτε σημαντικά (μέχρι και 200μ), σχηματίζοντας «γέφυρες ξηράς» που συνέδεαν την Κρήτη με τις γειτονικές γήινες μάζες, εξασφαλίζοντας την αποίκιση του νησιού από φυτά και ζώα των περιοχών αυτών. Γι' αυτό διαπιστώνουμε την ύπαρξη πολλών ειδών της Τριτογενούς περιόδου, που συνέχισαν να αναπτύσσονται σε συνθήκες απομόνωσης (Sfikas, 1987).

2.1.2. Κλίμα

Η Κρήτη έχει κλίμα τυπικά μεσογειακό, με ήπιους, υγρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Παρατηρείται όμως μια παράταση της θερινής περιόδου σε σχέση με άλλες περιοχές της νότιας Ελλάδας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του νησιού κυμαίνεται στους 19-19,5 βαθμούς Κελσίου. Ακόμη, στην Κρήτη παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των βόρειων και νότιων ακτών, με τις δεύτερες σημαντικά θερμότερες και ξηρότερες, καθώς η νότια πλευρά του νησιού συχνά δέχεται νότιους θερμούς ανέμους του Λιβυκού πελάγους με αφετηρία την αφρικανική έρημο. Αντίθετα, οι βόρειες ακτές είναι αποδέκτες των βόρειων ανέμων που πνέουν ορμητικοί από το Αιγαίο χειμώνα-καλοκαίρι, τα γνωστά «μελέτμια». Πέρα από το ορεινό μέρος του νησιού που δέχεται μεγάλες ποσότητες κατακρημνισμάτων (έως και 1400mm βροχής ετησίως) οι βροχοπτώσεις στο υπόλοιπο νησί είναι μέτριες.

2.1.3. Γεωμορφολογία

Η Κρήτη είναι προικισμένη με πλούσιες γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες, υψηλή ετερογένεια και συνεχή εναλλαγή των τοπίων της, και μοναδικά σε πλούτο και δυναμική οικοσυστήματα. Είναι σε μεγάλο ποσοστό ορεινή, με κορυφές που δεν υστερούν σε υψόμετρο αυτών της ηπειρωτικής Ελλάδας. Επιπλέον, οι ορεινοί όγκοι κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια του νησιού, δημιουργώντας ένα ανάγλυφο τραχύ και ποικίλο. Από τις τρεις μεγάλες οροσειρές της Κρήτης στο δυτικό τμήμα υψώνονται τα Λευκά όρη με ψηλότερη κορυφή τους Πάχνες (2453m), στο κεντρικό τμήμα βρίσκεται η δεύτερη μεγάλη οροσειρά του νησιού, η Ίδη, ή Ψηλορείτης που και είναι το ψηλότερο όρος της Κρήτης με ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό (2456m), ενώ στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης βρίσκεται η τρίτη μεγάλη οροσειρά, η Δίκτη ή Λασιθιώτικα Βουνά (2148m). Αξίζει να αναφερθούν και τα όρη Κέδρος, Σιδερώτας, Κουκούλωνας, Αστερούσια, Σελένα, Θρυπτής και Ορνό που καταλαμβάνουν ενδιάμεσες περιοχές από αυτές στις οποίες συναντάμε τις οροσειρές, χαρίζοντας ακόμη μεγαλύτερη ποικιλομορφία στο τοπίο.

2.1.4. Τύποι οικοτόπων

Ως αποτέλεσμα του ποικίλου τοπογραφικού αναγλύφου της, αλλά και των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σ' αυτήν, η Κρήτη φιλοξενεί πληθώρα οικοτόπων. Ο Sfikas (1987) κάνει διαχωρισμό 8 τύπων οικοτόπων στο νησί με βάση την παρακάτω ζωνοποίηση:

Την παράκτια/παραθαλάσσια ζώνη, την πεδινή ζώνη (από το σημείο που τελειώνει η προηγούμενη και μέχρι 300m), την υποορεινή ζώνη (πρόποδες των βουνών, 300-800m), την ορεινή ζώνη (800-1800m), την υποαλπική ζώνη (1800-2200m) και την αλπική ζώνη (από τα 2200m μέχρι τις ψηλότερες κορυφές). Μένουν άλλοι 2 τύποι οικοτόπων, τα φαράγγια και οι βουνοπλαγιές και, τέλος, τα εσωτερικά νερά του νησιού. Στα τελευταία περιλαμβάνονται οι λίμνες, οι ελώδεις παράκτιες λιμνούλες, οι εκβολές μικρών ποταμών (που συνήθως ξηραίνονται τη θερινή περίοδο), οι όχθες των ποταμών αυτών καθώς και αρκετοί βάλτοι (Sfikas, 1987).

Γενικότερα, ο ορεινός όγκος της Κρήτης που καλύπτει ευρύτατες εκτάσεις δυσπρόσιτες και δύσβατες αποτελεί ένα φυσικό μουσείο και ένα άριστο καταφύγιο των βιογενετικών αποθεμάτων τόσο της χλωρίδας όσο και της πανίδας και ορνιθοπανίδας. Απόκρημνες πλαγιές βουνοκορυφές και σπήλαια που έχουν σχηματιστεί στους ασβεστόλιθους αποτελούν ιδανικούς τόπους φωλιάσματος κυρίως σπάνιων αρπακτικών πουλιών. Ένας σημαντικός δείκτης για τη ποιότητα των οικοσυστημάτων είναι τα πουλιά, και ιδιαίτερα τα μεγάλα αρπακτικά που

αντικατοπτρίζουν την κατάσταση της δομής και λειτουργίας των βιοκοινωνιών ενός οικοσυστήματος (ΟΑΔΥΚ, ημερομηνία επίσκεψης: 2/2/2007).

Οι πεδινές και παραλιακές εκτάσεις είναι αυτές που δέχονται τις μεγαλύτερες πιέσεις από την ανθρωπογενή επίδραση. Οι πεδιάδες και τα φυσικά λιβάδια του νησιού υφίστανται ως επί το πλείστον εντατική καλλιέργεια, με συχνή χρήση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων και έντονη βόσκηση, ενώ η πυκνή δόμηση και οι συνέπειες του μαζικού τουρισμού κυριαρχούν στις παραθαλάσσιες περιοχές (Sfikas, 1987).

Τα δεκάδες φαράγγια που είναι διάσπαρτα στο νησί (με πιο φημισμένο αυτό της Σαμαριάς στο νομό Χανίων) ποικίλλουν ανάλογα με το χαρακτηριστικά του καθενός, δηλαδή με το ύψος τους, τα πετρώματά τους, το περιβάλλον τους, τον προσανατολισμό και το βάθος τους. Η θέση ενός φαραγγιού μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική: η ύπαρξη ορθοπλαγιών με βόρειο προσανατολισμό, που ουσιαστικά αποφεύγουν την άμεση έκθεση στον ήλιο κατά τη θερινή περίοδο συνιστά αιτία για την ευδοκίμηση πολλών σπάνιων ειδών, λόγω των ιδιαίτερων βιοκλιματικών συνθηκών που αναπτύσσονται. Τα φαράγγια παρέχουν καταφύγιο σε πολλά ενδημικά φυτά που απαιτούν ιδιαίτερα κλιματεδαφικά περιβάλλοντα (π.χ. χασμόφυτα) και χαρακτηρίζονται ως τράπεζες των βιογενετικών αποθεμάτων (ΟΑΔΥΚ, ημερομηνία επίσκεψης: 2/2/2007).

Τα εσωτερικά νερά του νησιού είναι ιδιαίτερης σημασίας τόσο για τη διατήρηση του πληθυσμού των τοπικών υδρόβιων πτηνών όσο και των μεταναστευτικών πουλιών που έρχονται από την Αφρική και χρησιμοποιούν τους οικότοπους αυτούς ως ενδιάμεσους σταθμούς ανάπαυσης (Sfikas, 1987).

2.1.5. Χλωρίδα

Το νησί της Κρήτης παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς σ' αυτήν εμφανίζεται πληθώρα ενδημικών και σπάνιων φυτικών ειδών που συνθέτουν μια μοναδική χλωρίδα (Phitos et al. 1995, στο Dimitrakopoulos et al. 2004). Όπως αναφέρουν οι Turtland et al. (1993) τα ενδημικά taxa με την ευρεία έννοια, συνθέτουν πάνω από το 10% της συνολικής τοπικής χλωρίδας. Επιπλέον, έχει θεωρηθεί ως μία από τις 10 θερμές περιοχές (hotspots) της βιοποικιλότητας της Μεσογείου, λόγω του υψηλού χλωριδικού πλούτου της και των απειλών που υφίσταται (Medail & Quezel, 1997).

Ειδικότερα, σε μια επιφάνεια 8700 km², η τοπική χλωρίδα περιλαμβάνει 1624 είδη καθώς και 76 είδη που έχουν εισαχθεί από τον άνθρωπο (Turtland et al., 1993). Η χλωρίδα αυτή περιλαμβάνει πολλά είδη με εύρος εξάπλωσης στη Μεσόγειο και την Ανατολή (π.χ. *Datisca cannabica*), μερικά είδη της Βόρειας Αφρικής (π.χ. *Erodium crassifolium*) και μερικά εναπομείναντα σπάνια είδη του τριαδικού, ενδημικά του Αιγαίου (π.χ. *Lomelosia minoana* ssp.

asterusica) (Dimitrakopoulos et al. 2004). Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο έχει αποτελέσει πεδίο έρευνας και διεξαγωγής πειραμάτων για πολλούς επιστήμονες.

Η σημερινή κατάσταση της χλωριδικής ποικιλότητας της Κρήτης βρίσκει εξήγηση μέσα από το γενικότερο πρότυπο βιολογικής διαφοροποίησης των ειδών στη Μεσόγειο, και ειδικότερα αυτό που ακολουθείται στο νοτιοανατολικό τμήμα της. Σύμφωνα με τον Quezel (1978,1985), η μεσογειακή λεκάνη αποτελεί μια έκταση που από τη μια λειτουργεί ως καταφύγιο για πολλά είδη φυτών, ενώ παράλληλα ενθαρρύνει τη χλωριδική ανταλλαγή και την ενεργή διαφοροποίηση των ειδών σε νέα (Medail & Quezel, 1997). Αυτό το πρότυπο συνδυάζει δομικά και δυναμικά στοιχεία βιογεωγραφικών θεωριών (Turner et al. 1996), και παράλληλα εστιάζει στα οικολογικά φαινόμενα της μετανάστευσης, της εξαφάνισης, των ταξινομικών διαδικασιών και της τοπικής διαφοροποίησης (Blondel & Aronson, 1999). Τέτοιες διαδικασίες εξηγούν τα υψηλά επίπεδα της α-ποικιλότητας στο νησί, ενώ η οικολογική ετερογένεια και το σύνθετο μωσαϊκό των ενδιαιτημάτων, σ' αυτή την κλίμακα, εξηγούν τα υψηλά επίπεδα β-ποικιλότητας μεταξύ των κελιών (Dimitrakopoulos et al. 2004).

2.1.6. Καθεστώς Προστασίας

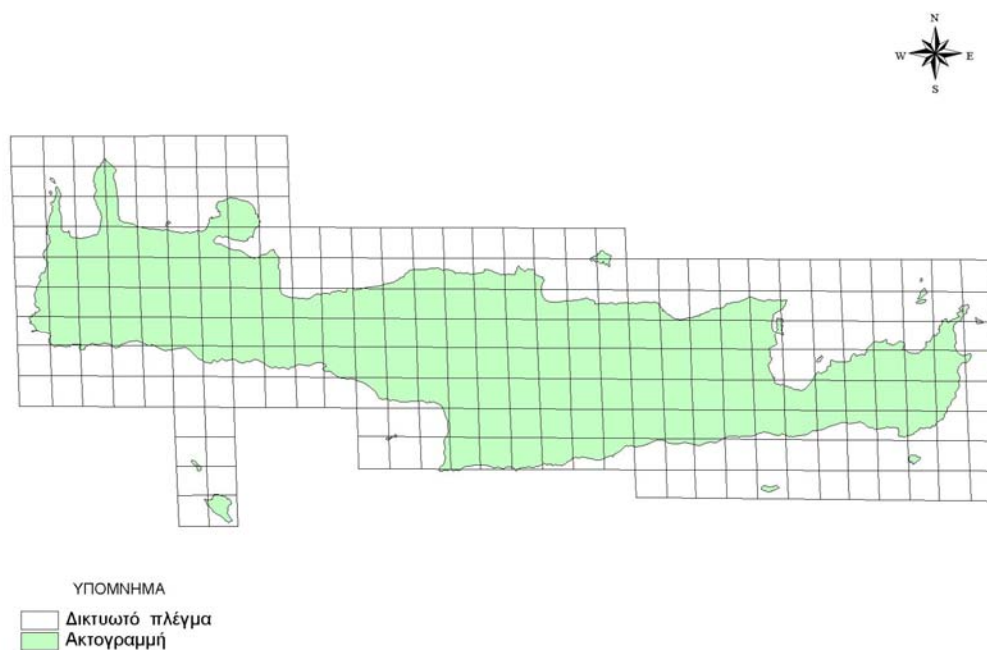
Στην Κρήτη το υπάρχον καθεστώς προστασίας που εφαρμόζεται είναι το δίκτυο Natura 2000. Σύμφωνα με τους Dafis et al. (1996) έχουν επιλεγεί 34 θέσεις για να συμπεριληφθούν στο δίκτυο, καλύπτοντας μια επιφάνεια 2778 km², που μεταφράζεται σε 32% ολόκληρου του νησιού. Η αποτελεσματικότητα του δικτύου στην περίπτωση της Κρήτης, ωστόσο, τίθεται υπό αμφισβήτηση, καθώς τα κριτήρια στα οποία βασίζεται κρίνονται ανεπαρκή για να αποτυπώσουν τις ανάγκες για την αντιπροσωπευτικότερη προστασία της βιοποικιλότητας σε τοπικό επίπεδο (Dimitrakopoulos et al. 2004).

2.2. Μέθοδοι και Υλικά

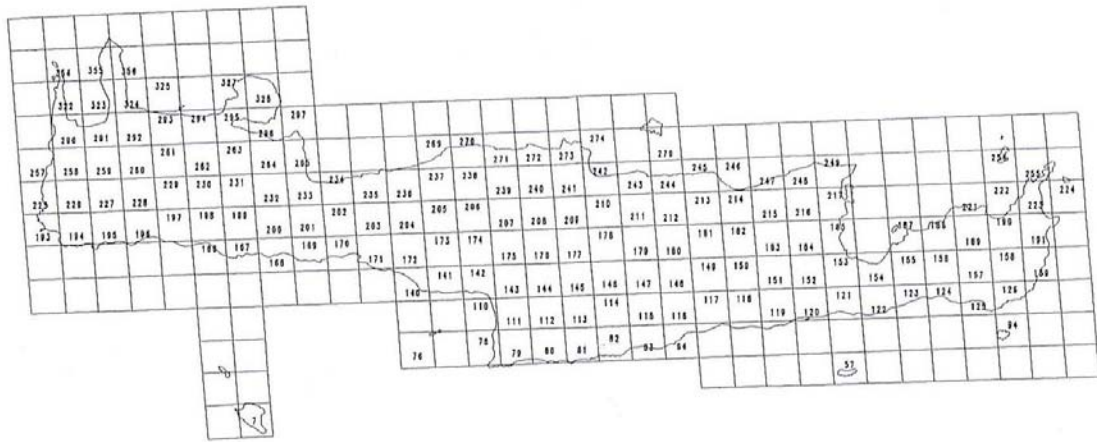
Χρησιμοποιήθηκε ένας κάνναβος με μέγεθος κελιού 8,25km x 8,25km, που επικαλύπτει ολόκληρη την νήσο Κρήτη καθώς και τις νησίδες που υπάγονται σ' αυτήν, με μεγαλύτερη και πλέον απομακρυσμένη αυτών τη Γαύδο. Ο κάνναβος αυτός έχει βασιστεί σε χάρτες κατανομής των φυτικών ειδών και υποειδών που έχουν δημοσιευτεί από τους Turtland et al. (1993) και φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Ειδικότερα, το κυρίως νησί μαζί με τα μικρά νησιά και τις νησίδες που το περιβάλλουν, χωρίστηκε σε 164 τετράγωνα, ισομεγέθη κελιά επιφάνειας 8,25 x 8,25 km². Στα κελιά αυτά δόθηκαν κωδικοί αριθμοί όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

Περιπτώσεις στις οποίες κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν κάποιες προσαρμογές των κελιών του καννάβου ήταν οι ακόλουθες:

- 1) Όταν το ποσοστό της περιεχόμενης γης μέσα σε ένα κελί της παράκτιας ζώνης ήταν 10% ή και μικρότερο, τότε γινόταν μια συγχώνευση του κελιού αυτού με το γειτονικό του (προτιμήθηκε αυτό με τη μεγαλύτερη χερσαία επιφάνεια).
- 2) Επιπλέον, νησιά και μικρονήσια πλησίον της ακτής ενσωματώθηκαν στο πλησιέστερο κελί της παράκτιας ζώνης του καννάβου, ενώ
- 3) νησιά περισσότερο απομακρυσμένα, όπως η Γαύδος, περιλαμβάνονταν σε ανεξάρτητα κελιά, τα όρια των οποίων προσαρμόστηκαν έτσι ώστε κάθε νησί να μην αντιστοιχεί σε περισσότερα από ένα κελί (Turtland et al. 1993, στο Dimitrakopoulos et al. 2004).



Σχήμα 2.1: Κάνναβος με μέγεθος κελιού 8,25 x 8,25km (Πηγή: Turtland et al. 1993).



Σχήμα 2.2: Κωδικοποίηση των κελιών (Πηγή: Turtland et al. 1993).

2.2.1. Αφθονία των ειδών (species richness)

Δεδομένα σχετικά με την αφθονία των ειδών, απαραίτητα για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, προήλθαν από ερευνητική εργασία που πραγματοποιήθηκε από το τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου και είχε τίτλο «Ερευνώντας την αποτελεσματικότητα των ειδικών περιοχών διατήρησης Natura 2000: η περίπτωση της Κρήτης» (Dimitrakopoulos et al., 2004, Questioning the effectiveness of the Natura 2000 special areas of conservation strategy: the case of Crete). Ειδικότερα, για κάθε κελί του καννάβου είχε υπολογιστεί ο πλούτος των φυτικών ειδών επικαλύπτοντας τους χάρτες κατανομής των ειδών και υποειδών πάνω στον κάνναβο και αθροίζοντας τους αριθμούς των ειδών σε κάθε κελί (Dimitrakopoulos et al. 2004).

Για να υπάρξει συνάφεια με τα υπόλοιπα δεδομένα, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μια ταξινόμηση των φυτικών ειδών με βάση τη βιοτική τους μορφή σε 4 κατηγορίες: δέντρα, θάμνοι, φρύγανα και ποώδη φυτά. Η ταξινόμηση αυτή έγινε σε επίπεδο είδους και υποείδους με βάση την περιγραφή που ακολουθείται στα λευκώματα: *Wild Flowers of Crete* (Sfikas, 1987), *Δένδρα και θάμνοι της Ελλάδας* (Σφήκας, 1994), *Wild Flowers of the Mediterranean. A complete guide to the islands and coastal regions* (Blamey & Grey-Wilson, 2004), και στις βοτανικές εγκυκλοπαίδειες *Flora Hellenica, Volume 1 & 2* (Phitos et al. 1997, 2002), *Flora Europaea, Volume 1 -5* (Tutin, 1964, 1988, 1989, 1990).

Αναλυτικά, είδη που στην παραπάνω βιβλιογραφία αναφέρονται ως “δέντρο” , “δέντρο ή θάμνος” (tree, tree or shrub) κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία. Είδη που αναφέρονται ως “θάμνοι”, “μικροί θάμνοι”, “αναρριχώμενοι θάμνοι” (shrub, small shrub, shrublet, subshrub, shrubby climbers) εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία. Είδη που αναφέρονται αποκλειστικά

ως “νανώδεις θάμνοι” ή “φρύγανα” (dwarf shrub) στην τρίτη κατηγορία. Τέλος, όλα τα υπόλοιπα είδη, τα οποία και αποκλείστηκαν από περαιτέρω χρήση στην εργασία αυτή εντάσσονται στην τέταρτη κατηγορία ως ποώδη φυτά (αναφέρουμε ότι εδώ περιλαμβάνονται βότανα και αγριολούλουδα, αγρωστώδη και ψυχανθή, ετήσια και πολυετή, φτέρες, αναρριχώμενα και υδρόβια φυτά κ.α., που συνήθως έφεραν το χαρακτηρισμό “herbs”).

Τα είδη τα οποία δεν εντοπίστηκαν στα παραπάνω λευκώματα και τις βοτανικές εγκυκλοπαίδειες αναζητήθηκαν με βάση τα λατινικά τους ονόματα σε ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, στις ιστοσελίδες:

- Plants for a future. Edible, medicinal and useful plants for a healthier world (<http://www.pfaf.org/index.html>), και
- PFAF Database (http://www.ibiblio.org/pfaf/D_search.html).

Τέλος, για την ταξινόμηση κάποιων ειδών (≈ 100 στον αριθμό) που δεν εντοπίστηκαν σε καμία από τις παραπάνω πηγές, ακολούθησε εκτεταμένη ηλεκτρονική αναζήτηση στο διαδίκτυο, με τη βοήθεια της μηχανής αναζήτησης (www.google.com). Συγκεκριμένα, αναζητήθηκε κάποια αναφορά για τη βιοτική μορφή του εξεταζόμενου είδους σε μορφή εγγράφου στον Παγκόσμιο Ιστό σε συνδυασμό με απεικόνιση του είδους. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις που η μέθοδος αυτή δεν απέδωσε, αναζητήθηκαν συνώνυμα για το εξεταζόμενο είδος, και ακολούθησε η διερεύνηση της βιοτικής μορφής του ίδιου είδους (με διαφορετικό πλέον όνομα) στις παραπάνω πηγές κατά τα γνωστά.

Από την κατηγοριοποίηση αυτή προέκυψε ένας νέος κατάλογος φυτικών ειδών που περιλαμβάνει στο σύνολο μόλις **232** είδη, δηλαδή αυτά που ανήκουν στις 3 πρώτες κατηγορίες (δέντρα, θάμνοι και φρύγανα). Αν και ο συνολικός αριθμός είναι σημαντικά μικρότερος, αυτά είναι τα φυτικά είδη που τελικά λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα εργασία, γιατί θεωρήθηκε ότι αυτές οι μορφές βλάστησης είναι οι μόνες που αποτυπώνονται μέσω των δορυφορικών εικόνων στην τρέχουσα ανάλυση. Οι πίνακες των ειδών αυτών βρίσκονται στο Παράρτημα I.

Από τη διαθέσιμη πληροφορία της παρουσίας/απουσίας ειδών των 3 κατηγοριών (δέντρα, θάμνοι και φρύγανα) σε κάθε κελί, υπολογίστηκαν:

- ο συνολικός αριθμός ειδών αυτών των κατηγοριών ανά κελί
- ο συνολικός αριθμός ειδών ανά κελί για κάθε κατηγορία ξεχωριστά

2.2.2 Εκτίμηση δείκτη παραγωγικότητας NDVI με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης

Υπολογισμός δείκτη βλάστησης NDVI

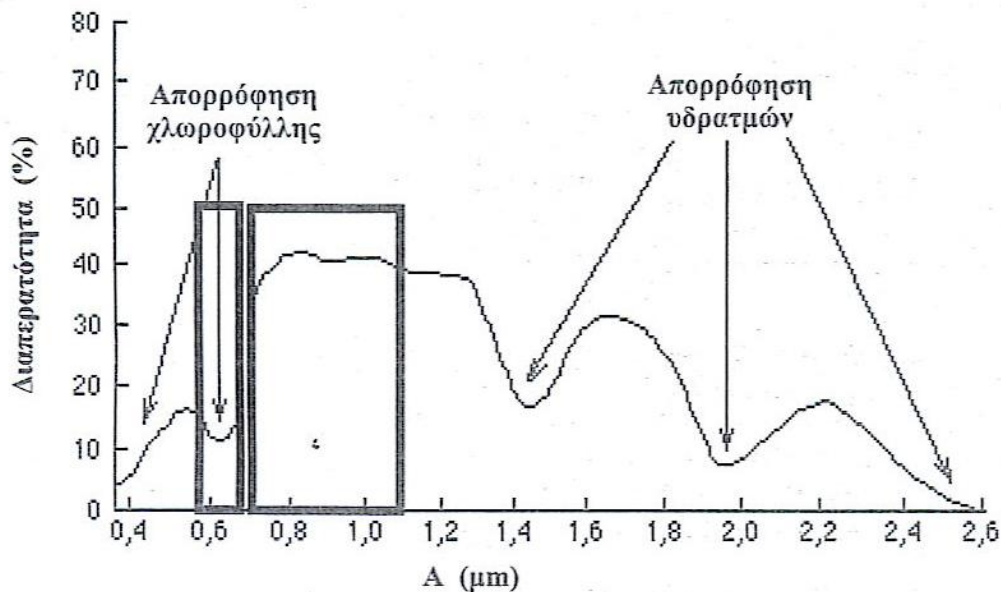
Η παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων της Κρήτης εκτιμήθηκε από δορυφορικές εικόνες κατόπιν ψηφιακής επεξεργασίας τους και συγκεκριμένα με τον υπολογισμό του **δείκτη βλάστησης NDVI**.

Οι δείκτες βλάστησης (vegetation indices) είναι μαθηματικές ποσότητες που περιγράφουν την παρουσία χλωροφύλλης. Συνήθως βασίζονται στις φασματικές ιδιότητες της χλωροφύλλης, κυρίως στο ερυθρό (μήκος κύματος 0,58-0,68 μm) και εγγύς υπέρυθρο (0,7-1,2 μm) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, για να περιγράψουν την ύπαρξη, ποσότητα και κατάσταση της βλάστησης (Hoffer, 1978 στο Αλεξανδρίδης, 2003).

Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε χρονοσειρά 50 εικόνων του πολυφασματικού σαρωτή AVHRR της σειράς δορυφόρων NOAA, οι οποίες καλύπτουν χρονικά την αυξητική περίοδο των φυτών της Κρήτης (Μάιος – Σεπτέμβριος) για τη δεκαετία 1985 - 1995. Υπήρχε δηλαδή μια δορυφορική εικόνα για κάθε έναν από τους 5 μήνες κάθε έτους. Στη μορφή που διατέθηκαν οι εικόνες αυτές, η ανάλυση ήταν τέτοια ώστε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) να αντιστοιχεί σε επιφάνεια 8 x 8 km^2 .

Με την ψηφιακή επεξεργασία αυτών των εικόνων μπορούν να παραχθούν μια σειρά από προϊόντα, τα οποία δίνουν πληροφορίες για την κάλυψη της γης. Από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI που εκτιμά το ποσοστό βλάστησης ανά εικονοστοιχείο (pixel). Προκύπτει από τον κανονικοποιημένο λόγο των καναλιών 2 (εγγύς υπέρυθρο στο διάστημα 0,72-1,1 μm) και 1 (ερυθρό, στο διάστημα 0,58-0,68 μm) του AVHRR. Η χλωροφύλλη, η χρωστική που κυριαρχεί στα υγιώς αναπτυσσόμενα πράσινα μέρη των φυτών, παρουσιάζει χαμηλή ανάκλαση (ισχυρή απορρόφηση) στο ερυθρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και υψηλή ανάκλαση (χαμηλή απορρόφηση) στο εγγύς υπέρυθρο (Hoffer, 1978 στο Αλεξανδρίδης, 2003). Κατά συνέπεια, στο ερυθρό η φασματική υπογραφή¹ της βλάστησης παρουσιάζει τοπικό ελάχιστο ενώ στο εγγύς υπέρυθρο παρουσιάζει τοπικό μέγιστο (Σχήμα 2.3).

¹ **φασματική ταυτότητα ή φασματική υπογραφή** (spectral signature) ενός αντικείμενου ή ενός φαινομένου είναι η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης αυτού σε σχέση με το μήκος κύματος λ , και είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο (Μερτίκας, 1999).



Σχήμα 2.3: Φασματική υπογραφή της βλάστησης και φασματική δειγματοληψία για τα κανάλια 1 και 2 του καταγραφικού συστήματος AVHRR. Τα βέλη υποδεικνύουν τη ζώνη απορρόφησης της χλωροφύλλης και των υδρατμών. (Πηγή: Μηλιαρέσης 2003).

Επομένως εάν θεωρήσουμε τον λόγο των καναλιών 2/1 του AVHHR τότε οι μεγάλες τιμές αντιπροσωπεύουν εικονοστοιχεία με μεγάλο ποσοστό βλάστησης ενώ αντίθετα μικρές τιμές υποδηλώνουν γυμνό έδαφος ή αστικές περιοχές.

Η ποσότητα της πράσινης βιομάζας (green biomass) επιδρά στην ανακλαστικότητα των βιολογικών υλικών. Σε πολλές περιπτώσεις τα γεωλογικά υλικά (εδάφη και πετρώματα) καλύπτονται μερικώς ή ολικώς από βλάστηση. Επομένως, τα φυσικά φασματικά χαρακτηριστικά στην εικόνα θα περιέχουν κάποια ανάμειξη που χαρακτηρίζει τη φυτική κάλυψη και το υποκείμενο έδαφος (Μερτίκας, 1999).

Για να αντιμετωπιστεί η περίπτωση ο παρονομαστής του λόγου να είναι μηδέν χρησιμοποιείται ο κανονικοποιημένος δείκτης που προκύπτει ως εξής:

Normalized Difference Vegetation Index
(Tucker, 1979)

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

NIR: είναι η ανάκλαση στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και
R: η ανάκλαση στο ερυθρό

Στο λόγο αυτό οι τιμές του δείκτη βλάστησης κυμαίνονται στο διάστημα [-1,1] και στην ψηφιακή τυποποίηση που χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα 1-km AVHRR χρησιμοποιείται ο

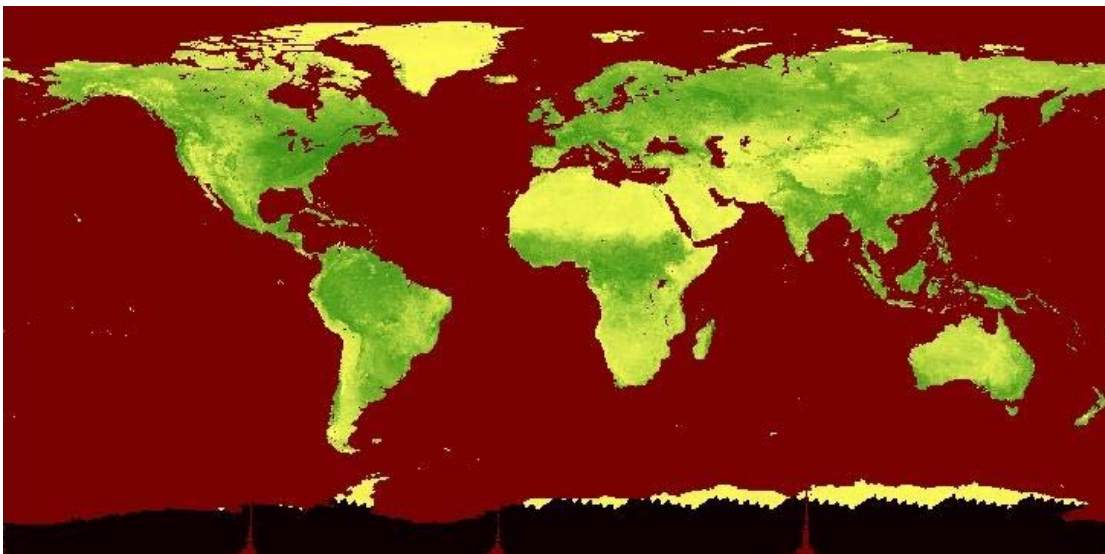
μετασχηματισμός $NDVI=155+(NDVI*100)$ έτσι ώστε οι ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων να είναι στο διάστημα [0, 255] (Μηλιαρέσης, 2003).

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI προτιμάται από τον απλό δείκτη βλάστησης ($VI= NIR - R$) για την παρακολούθηση της εξέλιξης της βλάστησης σε παγκόσμιο επίπεδο, γιατί ο δείκτης NDVI βοηθάει στην εξομάλυνση διάφορων εξωτερικών παραγόντων όπως οι αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού, η επιφανειακή κλίση και η έκθεση.

Ψηφιακή επεξεργασία δορυφορικών εικόνων

Για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Arc Gis Desktop Version 9.1 & προεκτάσεις: Spatial Analyst, 3D Analyst και ArcView Gis 3.2.

Οι δορυφορικές εικόνες διατέθηκαν από το Εργαστήριο Χωρικής Ανάλυσης, Τηλεπισκόπησης και GIS του Τμήματος Γεωγραφίας, Πανεπιστημίου Αιγαίου. Απεικονίζουν την κατάσταση της βλάστησης σε παγκόσμιο επίπεδο και είχαν τα εξής χαρακτηριστικά: κάθε κανάλι είχε χωρική διακριτική ικανότητα 1 km, είχε αναχθεί στο προβολικό σύστημα Goodes Interrupted Homolosine και αποτελούνταν από 17347 γραμμές και 40031 στήλες (Μηλιαρέσης, 2003). Επειδή οι εικόνες ήταν διαθέσιμες σε Idrisi format, το οποίο δεν αναγνωρίζεται από τα παραπάνω λογισμικά, χρειάστηκε αρχικά να γίνει μετατροπή των αρχείων σε μια συμβατή μορφή, όπως το format TIFF, οπότε τα αρχεία που προέκυψαν είχαν τη μορφή της Εικόνας 2.1.



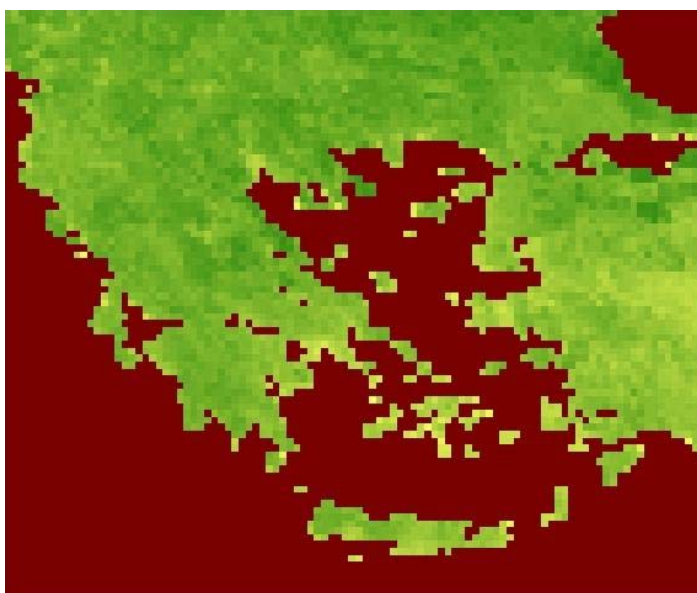
Εικόνα 2.1: Δορυφορική εικόνα σε μορφή αρχείου TIFF που απεικονίζει την παγκόσμια κατάσταση της βλάστησης το μήνα Σεπτέμβρη του 1992.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στα αρχεία αυτά η διαδικασία αποκοπής (Clip) προκειμένου να περιοριστεί ο όγκος των δεδομένων στην έκταση της Ελλάδας (σημειώνεται ότι η διαδικασία αποκοπής των αρχείων TIFF απευθείας στην έκταση της Κρήτης δεν ήταν εφικτή καθώς, εξαιτίας του μικρού αναλογικά μεγέθους της νήσου, χανόταν σημαντικό τμήμα της

πληροφορίας). Οι συντεταγμένες για τη διαδικασία της αποκοπής επιλέχθηκαν έτσι ώστε να περιλαμβάνουν τη γεωγραφική έκταση της Ελλάδας και ήταν οι εξής:

Ymax	= 42,82897665	Xmax	= 29,216234
Ymin	= 34,32897665	Xmin	= 19,016234

Μετά τη διαδικασία αποκοπής, τα θεματικά αρχεία που προέκυψαν είχαν τη μορφή ESRI-GRID όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: Δορυφορική εικόνα σε μορφή αρχείου Esri-Grid που απεικονίζει την κατάσταση της βλάστησης στην Ελλάδα το μήνα Μάιο του 1989.

Το επόμενο βήμα απαιτούσε την αλλαγή του προβολικού συστήματος των αρχείων, ούτως ώστε να αποκτήσουμε θεματικά αρχεία προσαρμοσμένα στο ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87.



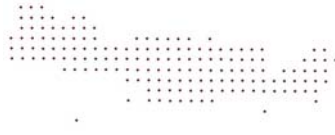
Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87) βασίζεται στο νέο Ελληνικό Datum και υλοποιήθηκε το 1987 ως προϊόν συνεργασίας του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τμήματος Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών (Ε.Μ.Π), της ΓΥΣ (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) και του ΟΚΧΕ (Οργανισμού Κτηματογράφησης και Χαρτογράφησης Ελλάδας). Χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS80, με αρχή το κεντρικό βάθρο του Διονύσου. Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια ενιαία ζώνη, με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0 = 24^\circ$ και συντελεστή κλίμακας 0.9996. Ο κεντρικός Μεσημβρινός απεικονίζεται στο επίπεδο σαν άξονας των Y, ενώ ο ισημερινός σαν άξονας των X. Για να μην υπάρχουν αρνητικές συντεταγμένες στον άξονα των X, θεωρήθηκε ότι ο κεντρικός μεσημβρινός έχει τιμή $X_0 = 500000$ μ. Οι παραμορφώσεις φτάνουν μέχρι και 1:1.000 στα άκρα της χώρας, δηλαδή 1 μέτρο σε απόσταση

1 χλμ. Η προβολή είναι εγκάρσια μερκατορική (Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης, 2003). Το σύστημα αυτό τείνει να γίνει το επίσημο προβολικό σύστημα της Ελλάδας, καθώς προσφέρει ενιαία γεωδαιτική αναφορά για το σύνολο της χώρας. Έχει ήδη υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμούς καθώς και από ιδιωτικές εταιρείες και δημόσιους οργανισμούς, πέρα του γεγονότος ότι το Εθνικό Κτηματολόγιο συντάσσεται βάσει αυτού του συστήματος (Παπαπαναγιώτου, 2005).

Επειδή η απευθείας μετατροπή του προβολικού συστήματος των αρχείων σε ΕΓΣΑ'87 δεν ήταν δυνατή, χρειάστηκε να προηγηθεί μια ενδιάμεση μετατροπή στο παγκόσμιο προβολικό σύστημα WGS'84, το οποίο χρησιμοποιεί ελλειψοειδές παράλληλο με το ελλειψοειδές GRS80 (Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης, 2003).

Μέσα από αυτήν τη διαδικασία, τα αρχεία μετατράπηκαν στην επιθυμητή μορφή και στο κατάλληλο προβολικό σύστημα, ώστε να μπορούν να συνδυαστούν με άλλα θεματικά αρχεία στο συγκεκριμένο λογισμικό και να μας δώσουν νέα πληροφορία. Κάθε ένα από τα 50 θεματικά αρχεία, στα οποία έγιναν οι απαραίτητες προσαρμογές σύμφωνα με τα παραπάνω, περιέχει στη βάση δεδομένων του όλες τις τιμές του δείκτη NDVI για κάθε εικονοστοιχείο (pixel) που καλύπτει την έκταση της Κρήτης.

Καταρχάς, χρησιμοποιήθηκαν 3 χωρικά επίπεδα πληροφορίας (shapefiles) που διατέθηκαν από το Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστημίου Αιγαίου, και περιγράφονται στον Πίνακα 2.1:

Αρχείο	Περιγραφή	Προβολικό Σύστημα
export_nomoi.shp 	σχηματικό αρχείο των νομών της Ελλάδας που περιλαμβάνει τα γεωγραφικά όρια της νήσου Κρήτης και ειδικότερα το όριο της ακτογραμμής.	ΕΓΣΑ'87
crete.shp 	σχηματικό αρχείο δικτυωτού πλέγματος με άνοιγμα 8,25x 8,25 km που καλύπτει την Κρήτη	ΕΓΣΑ'87
crete_points.shp 	διανυσματικό αρχείο που περιλαμβάνει τα κεντρώα σημεία κάθε κελιού του δικτυωτού πλέγματος	ΕΓΣΑ'87

Πίνακας 2.1: Χωρικά επίπεδα πληροφορίας (Πηγή: Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου).

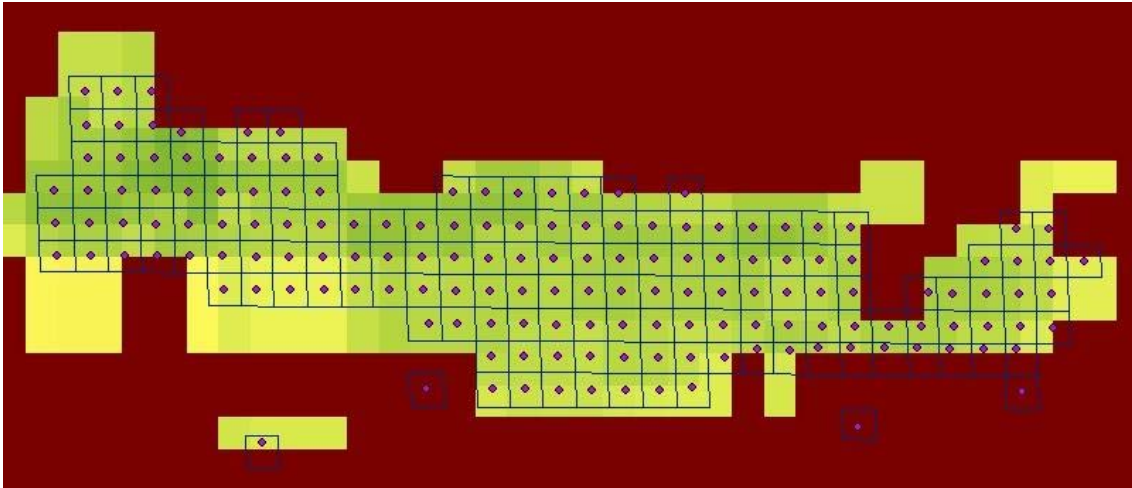
Το διανυσματικό αρχείο που περιλαμβάνει τα κεντρώα σημεία κάθε κελιού του δικτυωτού πλέγματος (crete_points.shp) είχε παραχθεί στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας του

Τζατζόγλου (2004). Στην εργασία αυτή, ακολουθώντας τη διαδικασία της χωρικής παρεμβολής, λήφθηκαν οι εκτιμήσεις για κάθε τιμή των εξής κλιματικών χαρακτηριστικών: μέση ετήσια θερμοκρασία, μέση ετήσια βροχόπτωση, μέση μέγιστη εποχικότητα θερμοκρασίας, δυνητική εξατμισοδιαπνοή, βροχόπτωση, εποχικότητα θερμοκρασίας, μέση εποχικότητα βροχόπτωσης, μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, και το κάθε κελί του καννάβου πήρε την μέση εκτιμώμενη τιμή για κάθε χαρακτηριστικό, εκπεφρασμένη σχηματικά με ένα κεντρώο σημείο (Τζατζόγλου, 2004). Η χωρική παρεμβολή (spatial interpolation) επιτρέπει τη δημιουργία μιας συνεχούς επιφάνειας από ένα σύνολο μετρήσεων που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο αριθμό σημείων. Ουσιαστικά αποτελεί τη διαδικασία εκτίμησης της τιμής ενός χαρακτηριστικού σε σημεία που δεν ανήκουν στο δείγμα (δηλ. όπου δεν έχει γίνει δειγματοληψία) με βάση τις μετρήσεις στα σημεία του δείγματος, δηλ. με τη χρήση περιορισμένου αριθμού δειγματοληπτικών παρατηρήσεων (Κουτσόπουλος, 2002).

Η εκτίμηση της τιμής του δείκτη NDVI σε κάθε κεντρώο σημείο του αρχείου `crete_points.shp`, έγινε από τις τιμές των αντίστοιχων εικονοστοιχείων των δορυφορικών φωτογραφιών για την ιδιότητα αυτή. Συνήθως, για την υπό μελέτη περιοχή κατασκευάζεται ένας κανονικός κάνναβος (στην περίπτωσή μας ο ήδη υπάρχων). Για κάθε κεντρώο σημείο κάθε κελιού του καννάβου, γίνεται μια τοπική εκτίμηση βασισμένη στο/στα εικονοστοιχεία που περιέχονται στο αντίστοιχο κελί του καννάβου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια εκτίμηση που συνήθως ανταποκρίνεται αρκετά καλά στην πραγματικότητα που προσπαθούμε να απεικονίσουμε.

Στην παρούσα εργασία, αρχικά, το επίθεμα του δικτυωτού πλέγματος της Κρήτης (αρχείο `crete.shp`) τοποθετήθηκε πάνω στο επίθεμα μιας δορυφορικής φωτογραφίας, η οποία βρίσκεται από την παραλαβή της σε ψηφιακή μορφή καννάβου. Η διαδικασία επαναλήφθηκε διαδοχικά για κάθε μια από τις δορυφορικές φωτογραφίες.

Η παραπάνω διαδικασία έχει ως σκοπό να ταυτιστούν τα κελιά του πλέγματος με τα εικονοστοιχεία (pixels) του καννάβου της κάθε φωτογραφίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω αρχεία, αν και είχαν παρόμοιο άνοιγμα καννάβου, δεν συνέπιπταν ακριβώς χωρικά. Επομένως, η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε με στόχο να δοθεί κάθε κελί του δικτυωτού πλέγματος της Κρήτης η μέση εκτιμώμενη τιμή για το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει (στην περίπτωση αυτή η τιμή του δείκτη NDVI), εκπεφρασμένη σχηματικά με ένα κεντρώο σημείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.



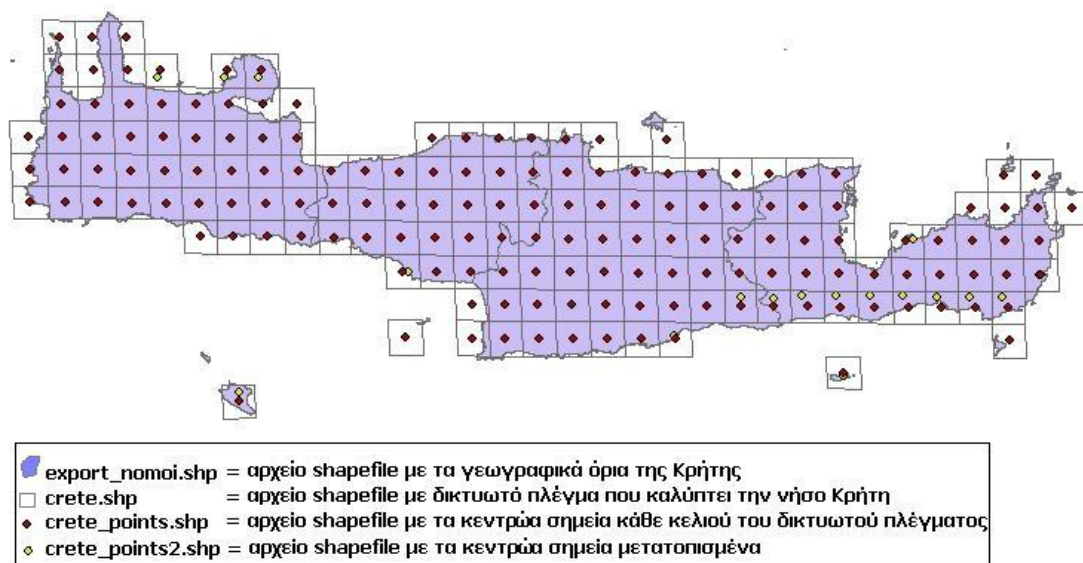
Σχήμα 2.4: Εξαγωγή των τιμών του δείκτη NDVI στα κεντρώα σημεία κάθε κελιού του πλέγματος.

Όταν το κελί του δικτυωτού πλέγματος της Κρήτης περιέχει 2 ή περισσότερα διαφορετικά εικονοστοιχεία της δορυφορικής φωτογραφίας, στο κεντρώο σημείο δινόταν η μέση τιμή των εικονοστοιχείων αυτών. Η προσέγγιση αυτή θεωρήθηκε ικανοποιητική και χωρίς σημαντικό σφάλμα, καθότι οι τιμές του δείκτη NDVI για γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν αρκετά μεγάλη πιθανότητα να είναι παραπλήσιες. Η διαδικασία επαναλήφθηκε διαδοχικά για κάθε μια από τις δορυφορικές φωτογραφίες.

Τα 50 διανυσματικά αρχεία που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία είχαν στην βάση δεδομένων τους τις τιμές του δείκτη NDVI για κάθε σημείο.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα κοινό θεματικό αρχείο που να περιλαμβάνει στη βάση δεδομένων του το σύνολο των τιμών των δεικτών NDVI για τη δεκαετία 1985-1995 και για τους μήνες Μάιο-Σεπτέμβριο για κάθε σημείο. Αυτό έγινε με εξαγωγή των τιμών κάθε διανυσματικού αρχείου σε ένα νέο διανυσματικό αρχείο (που ονομάστηκε `crete_points_all_ndvi.shp`).

Στη συνέχεια, με επικάλυψη των επιθεμάτων των 3 αρχείων του Πίνακα 2.1., παρατηρήθηκε ότι κάποια από τα σημεία του αρχείου που περιλαμβάνει τα κεντρώα σημεία κάθε κελιού του δικτυωτού πλέγματος (`crete_points.shp`) βρισκόντουσαν εκτός του πλέγματος του αρχείου δικτυωτού πλέγματος της Κρήτης (`crete.shp`), και επομένως δεν είχαν καθορισμένες τιμές. Προκειμένου να δοθεί λύση στο πρόβλημα, αποφασίστηκε να γίνει μια προσαρμογή, δηλαδή να μετατοπιστούν τα μεμονωμένα σημεία που στερούνταν τιμών εντός του πλησιέστερου κελιού. Η μετατόπιση αυτή έγινε με ψηφιοποίηση και διόρθωση της θέσης των σημείων, ενώ η νέα διάταξη των σημείων φαίνεται στο Σχήμα 2.5. και αποθηκεύτηκε σε νέο αρχείο που ονομάστηκε (`crete_points2.shp`).



Σχήμα 2.5: Μερική μετατόπιση των κεντρώων σημείων που βρισκόντουσαν εκτός του πλέγματος και δεν είχαν τιμές. Πηγή (για τα 3 πρώτα αρχεία): Dimitrakopoulos et al. 2004).

Για τις ανάγκες της εργασίας υπολογίστηκαν για κάθε κελί:

- ο μέσος όρος των τιμών NDVI για τους όμοιους μήνες της δεκαετίας 1985-1995,
- η τυπική απόκλιση των τιμών NDVI για τους όμοιους μήνες της δεκαετίας 1985-1995,
- ο μέσος όρος των NDVI όλων των μηνών της αυξητικής περιόδου για τη δεκαετία 1985-1995 και
- οι τυπικές αποκλίσεις των NDVI όλων των μηνών της αυξητικής περιόδου για τη δεκαετία 1985-1995.

Τα δεδομένα αυτά προστέθηκαν στη βάση δεδομένων του αρχείου crete_points_all_ndvi.shp με μια διαδικασία που ονομάζεται ένωση πινάκων με το σχεσιακό μοντέλο δεδομένων.

2.2.3. Εδαφολογικά στοιχεία

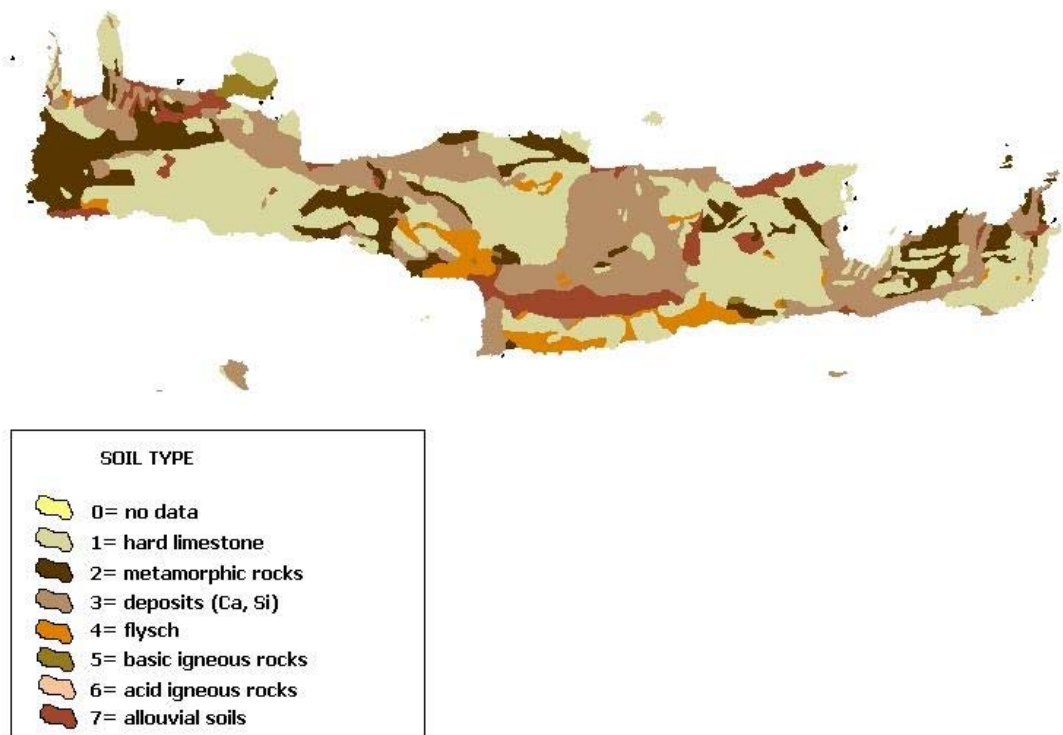
Τα εδαφολογικά δεδομένα για την Κρήτη προέκυψαν από έναν εδαφολογικό χάρτη της Ελλάδας σε ψηφιακή μορφή που διατέθηκε από το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών (Νάκος, 1979, Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδας, Αθήνα).

Σύμφωνα με τον χάρτη αυτόν, στην Κρήτη εντοπίζονται 7 διαφορετικές κατηγορίες εδαφών:

- 1) ασβεστολιθικά πετρώματα,
- 2) μεταμορφωσιγενή πετρώματα,
- 3) αποθέσεις Ca και Si,
- 4) φλύσχης,
- 5) βασικά πυριγενή πετρώματα,
- 6) όξινα πυριγενή πετρώματα και

7) αλλουβιακά εδάφη.

Η χωρική κατανομή των διαφόρων τύπων εδαφών φαίνεται στο Σχήμα 2.6:



Σχήμα 2.6: Εδαφολογικός χάρτης της Κρήτης (Πηγή: Νάκος, 1979).

Στα πλαίσια της εργασίας έγινε διερεύνηση της εδαφικής ποικιλότητας ανά κελί του δικτυωτού πλέγματος της Κρήτης που χρησιμοποιήθηκε και στις προηγούμενες εφαρμογές. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη διαδικασία του καρτεσιανού γινόμενου (cross tabulation). Ειδικότερα, από το αρχείο των εδαφών (crete_soils_categories.shp) με βάση το αρχείο του δικτυωτού πλέγματος (crete.shp) εκτιμήθηκε το εμβαδό κάθε τύπου εδαφών που περικλείεται σε κάθε κελί. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής έχει τη μορφή πίνακα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης Shannon για τα εδάφη καθώς περιγράφει ικανοποιητικά τόσο α) τον αριθμό των διαφόρων τύπων εδαφών που εμφανίζονται ανά κελί όσο και β) τη σχετική συχνότητα με την οποία συμμετέχει ένας τύπος εδάφους σε κάθε κελί.

Υπολογισμός δείκτη Shannon- Wiener

Ο δείκτης του Shannon-Wiener (H') είναι ένας από τους πλέον γνωστούς δείκτες ποικιλότητας και εμφανίζει δύο βασικές ιδιότητες που συνεισφέρουν στο να θεωρείται ο πιο προσφιλής στη μέτρηση της ποικιλότητας των ειδών: (1) Ισούται με μηδέν, αν υπάρχει μόνο ένα είδος στο δείγμα και (2) Λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του μόνο όταν όλα τα είδη αναπαριστώνται από τον ίδιο αριθμό ατόμων – δηλαδή παρουσιάζουν μία τελείως ομοιόμορφη κατανομή των αφθονιών.

Ο δείκτης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$H' = - \sum_{i=1}^a p_i \ln p_i$$

όπου p_i είναι η αναλογία της αφθονίας του είδους i στην κοινότητα a (Δημητρακόπουλος, 2006).

Στην περίπτωση που εξετάζεται καθίσταται σαφές ότι δε μιλάμε για αριθμό ειδών, αλλά για αριθμό τύπων εδαφών σε κάθε κελί.

Η στήλη με τις τιμές του δείκτη Shannon για τα εδάφη προστέθηκε στη βάση δεδομένων του `crete_points_all_ndvi.shp` με τον ίδιο τρόπο που προστέθηκαν και τα δεδομένα των NDVI (Ένωση πινάκων με το σχεσιακό μοντέλο), δημιουργώντας ένα νέο πεδίο `SHANNON_SOILS`.

2.2.4. Χρήσεις γης

Τα δεδομένα της κάλυψης των χρήσεων γης στην Κρήτη περιέχονταν σε ένα κανονικοποιημένο αρχείο ψηφιδωτής μορφής μετά από ταξινόμηση του προγράμματος Corine Land Cover (CLC90), έκδοση 12/2000, με μέγεθος ψηφίδας 250x250 μ. Το πρόγραμμα Corine (Coordination of Information on the Environment) ήταν μια προσπάθεια καταγραφής και χαρτογράφησης των χρήσεων γης στις χώρες της Ε.Ε., με στόχο τη συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους των χωρών μελών.

Το σύστημα ταξινόμησης του Corine περιλαμβάνει 3 επίπεδα.

- Το πρώτο επίπεδο υποδεικνύει τις 3 βασικές κατηγορίες χρήσης γης στον πλανήτη.
- Το δεύτερο επίπεδο, αποτελούμενο από 15 υποκατηγορίες, είναι για χρήση σε κλίμακες 1:500.000 και 1:1000000.
- Το τρίτο επίπεδο, αποτελούμενο από 44 υποκατηγορίες, χρησιμοποιήθηκε στο έργο στην κλίμακα 1:100.000.

Τα επίπεδα αυτά και οι αντίστοιχες κατηγορίες φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.2. Στο διαθέσιμο αρχείο των χρήσεων γης για την Κρήτη η ταξινόμηση που ακολουθείται ήταν η πλέον αναλυτική, δηλαδή αυτή του τρίτου επιπέδου. Ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράφηκε για τα εδαφολογικά δεδομένα, έγινε διερεύνηση της ποικιλότητας των χρήσεων γης ανά κελί του δικτυωτού πλέγματος της Κρήτης.

ΕΠΙΠΕΔΟ 1	ΕΠΙΠΕΔΟ 2	ΕΠΙΠΕΔΟ 3
Τεχνητές	Αστικές κατασκευές	Συνεχείς αστικές κατασκευές
		Ασυνεχείς αστικές κατασκευές
	Βιομηχανικές, εμπορικές και μεταφορικές μονάδες	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες
		Δρόμοι και σπηροδρομικές γραμμές και οι σχετικές εκτάσεις
		Λιμάνια
		Αεροδρόμια
	Μεταλλεία, σκουπιδότοποι και εργοτάξια	Χώροι εξόρυξης μεταλλευμάτων
		Σκουπιδότοποι
	Τεχνητές, μη αγροτικές εκτάσεις με βλάστηση	Εργοτάξια
		Αστικοί χώροι πρασίνου
Αγροτικές εκτάσεις	Οργώσιμες εκτάσεις	Μη αρδευόμενες οργώσιμες εκτάσεις
		Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις
	Μόνιμες καλλιέργειες	Ορυζώνες
		Αμπελώνες
		Οπωρώνες και φυτείες
		Ελαιώνες
	Βοσκότοποι	Βοσκότοποι
	Ετερογενείς αγροτικές εκτάσεις	Ετήσιες καλλιέργειες συνδυασμένες με μόνιμες
		Πολύπλοκα σχέδια καλλιέργειας
		Εκτάσεις που κατά κύριο λόγο καλύπτονται από αγροτικές καλλιέργειες σε συνδυασμό με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
Αγροτικές-Δασικές εκτάσεις		
Δάση και ημιφυσικές περιοχές	Δάση	Δάση πλατυφύλλων
		Κωνοφόρα δάση
		Μικτά δάση
	Θάμνοι και χορτολίβαδα	Φυσικά χορτολίβαδα
		Χέρσα γη
	Ανοιχτές περιοχές με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Σκληρόφυλλη βλάστηση
		Παραδοσιακοί ξυλώδεις θάμνοι
		Παραλίες, αμμοθίνες
		Γυμνά βράχια
		Εκτάσεις με σποραδική βλάστηση
Καμένες εκτάσεις		
Παγετώνες και αιώνια χιονοσκεπείς εκτάσεις		
Υγρότοποι	Υγρότοποι στην ενδοχώρα	Έλη της ενδοχώρας
		Εκτάσεις με τύρφη
	Παράκτιοι υγρότοποι	Αλατώδη έλη
		Αλικές
Υδάτινοι όγκοι	Υδάτινοι όγκοι της ενδοχώρας	Επίπεδα από παλίρροιας
		Υδάτινα ρεύματα
	Θαλάσσιοι και παραθαλάσσιοι υδάτινοι όγκοι	Υδάτινοι όγκοι
		Παράκτιες λιμνοθάλασσες
		Εκβολές (Δέλτα) ποταμών
	Πελάγη και ωκεανοί	

Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover (CLC90), έκδοση 12/2000.

Κατόπιν, υπολογίστηκε ο δείκτης Shannon για τις χρήσεις γης που περιγράφει ταυτόχρονα α) τον αριθμό των διαφόρων χρήσεων γης που παρατηρούνται ανά κελί και β) τη σχετική συχνότητα με την οποία συμμετέχει μια χρήση σε κάθε κελί.

Η στήλη με τις τιμές του δείκτη Shannon για τις χρήσεις γης προστέθηκε στη βάση δεδομένων του `crete_points_all_ndvi.shp` κατά τα γνωστά, δημιουργώντας ένα νέο πεδίο `SHANNON_LU`. Το αρχείο αυτό μετονομάστηκε σε `final_db.shp`, ώστε το όνομα να ανταποκρίνεται καλύτερα στα περιεχόμενα του αρχείου.

2.2.5. Κλιματικά και τοπογραφικά δεδομένα

Τέλος, όλα τα κλιματικά δεδομένα, καθώς και τα τοπογραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή προέκυψαν από την αδημοσίευτη πτυχιακή εργασία του πρώην φοιτητή του τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου Τζατζόγλου Κ.(2004) με τίτλο “Ανάλυση των σημαντικών παραγόντων που καθορίζουν τον πλούτο των ειδών σε περιφερειακό επίπεδο με τη χρήση χωρικής στατιστικής και Σ.Γ.Π.”. Αυτά τα δεδομένα υπήρχαν ήδη στη βάση δεδομένων του σχηματικού αρχείου `crete_points.shp` και προστέθηκαν με τη σειρά τους στα υπόλοιπα του αρχείου `final_db.shp`. Τα δεδομένα και οι συντομογραφίες των αντίστοιχων πεδίων στη βάση δεδομένων φαίνονται στον Πίνακα 2.3.

	Μεταβλητή	Συντομογραφία
Κλιματικά δεδομένα	Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C)	MAT
	Μέση ετήσια βροχόπτωση (°C)	MAP
	Μέση μέγιστη εποχικότητα θερμοκρασίας (°C)	MNMAXS
	Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή (°C)	PE
	Βροχόπτωση (°C)	Precip
	Ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Aver_min & Aver_max
	Μέση εποχικότητα βροχόπτωσης (mm)	Pseas_mn
	Μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Tmn_max & Tmn_min
	Εποχικότητα θερμοκρασίας (°C)	Tsmean
	Τοπογραφικά κά δεδομένα	Κλίση (μοίρες)
Υψόμετρο (μέτρα)		Elevation
Μέση απόκλιση υψόμετρου (μέτρα)		Elevation_std

Πίνακας 2.3: Κλιματικά και τοπογραφικά δεδομένα (Πηγή: Τζατζόγλου, 2004).

Αναφέρεται ότι τα αρχικά μετεωρολογικά δεδομένα: μέση θερμοκρασία, μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, μέσο ύψος υετού, μέγιστο ύψος υετού προήλθαν από το βιβλίο «Κλιματικά Στοιχεία των Σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.)» (Διεύθυνση Κλιματολογίας, Τμήμα Έλεγχου- Επεξεργασίας) και αφορούν σε μετρήσεις που έγιναν σε μετεωρολογικούς σταθμούς σ' όλη την νήσο Κρήτη (1954-1998).

Τα αρχικά τοπογραφικά δεδομένα ήταν ένα διανυσματικού αρχείο των ισοϋψών καμπυλών των 100 μ. (πηγή: Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος) από το οποίο κατασκευάστηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους για το υψόμετρο (Μέθοδος τριγωνοποίησης: Delannay, TIN-Triangulated Irregular Network) και κανονικοποιημένο αρχείο ψηφιδωτής μορφής για την κλίση του εδάφους (Τζατζόγλου, 2004).

2.3. Στατιστική Ανάλυση

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε χρήση του προγράμματος SPSS 11.5 for Windows.

Αρχικά, χρησιμοποιώντας τον αριθμό των φυτικών ειδών και την αντίστοιχη εκτίμηση της μέσης τιμής παραγωγικότητας ανά κελί του καννάβου, εξετάστηκε η ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από την ανάλυση αυτή εξαιρέθηκαν 4 κελιά που αντιστοιχούσαν σε νησιά / νησίδες περιμετρικά της Κρήτης (Γαύδος, Παξιμάδι, Χρυσή και Κουφονήσι), καθώς εμφάνιζαν “ακραίες (outliers)” τιμές παραγωγικότητας σε σχέση με το συνολικό δείγμα. Δεδομένου ότι το ποσοστό έκτασης που καλύπτουν είναι πολύ μικρό σε σχέση με τη συνολική επιφάνεια της περιοχής μελέτης, θεωρήθηκε ότι η απομάκρυνσή τους, πέραν της εξυπηρέτησης της στατιστικής ανάλυσης, δεν θα επέφερε σημαντική αλλοίωση στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

2.3.1. Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Σε μια Ανάλυση Γραμμικής Παλινδρόμησης η συνάρτηση παλινδρόμησης της Y επί της X είναι γραμμική με εξίσωση:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon.$$

Δηλαδή η τυχαία μεταβλητή εκφράζεται ως άθροισμα δυο μερών: μιας μέσης σχέσης, που εκφράζει τη μέση τιμή της εξαρτημένης ως συνάρτηση της ερμηνευτικής μεταβλητής και ενός τυχαίου όρου.

Στην εργασία αυτή εξετάζεται το **πώς η παραγωγικότητα επηρεάζει την ποικιλότητα**, που αποτελεί και την κλασική προσέγγιση της σχέσης μεταξύ των δύο παραμέτρων. Επομένως, η **εξαρτημένη μεταβλητή** είναι ο πλούτος των ειδών (SP_NUM), και η **ανεξάρτητη μεταβλητή**

η αντίστοιχη μέση τιμή του δείκτη NDVI της αυξητικής περιόδου (Μάιος-Σεπτέμβρης) της δεκαετίας 1985-1995 (AVER_NDVI).

Σε μια στοχαστική διαδικασία, όπως αυτή που εξετάζεται, επαναλαμβάνοντας τη δειγματοληψία για την ίδια τιμή του X μπορούν να παρατηρηθούν πολλές διαφορετικές τιμές του Y . Για κάθε τιμή του X υπολογίζεται ο μέσος όρος των διαφορετικών τιμών του Y . Οι μέσοι όροι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία με σταθερό όρο α και κλίση β , η οποία ονομάζεται ευθεία παλινδρόμησης. Επομένως, όλα τα σημεία πάνω στην ευθεία παλινδρόμησης αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους του Y για δεδομένες τιμές του X και όχι μια συγκεκριμένη παρατηρούμενη τιμή.

Προσαρμογή του γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης

Το πρώτο βήμα στην Ανάλυση Γραμμικής Παλινδρόμησης είναι η προσαρμογή μιας ευθείας στα δεδομένα μας, υποθέτοντας φυσικά ότι η σχέση είναι γραμμική. Για να κατασκευαστεί η ευθεία αυτή πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές α και β της εξίσωσης παλινδρόμησης. Επειδή όμως υπάρχουν πολλές ευθείες που περνούν ανάμεσα από τα δεδομένα σημεία (X_i, Y_i), το ζητούμενο είναι να βρεθεί εκείνη η ευθεία που παρουσιάζει τη βέλτιστη προσαρμογή στα δεδομένα, δηλαδή που περνάει πιο κοντά από τα σημεία. Η ευθεία αυτή είναι η **ευθεία παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων**, που σημαίνει ότι από όλες τις πιθανές ευθείες που μπορούν να σχεδιαστούν στο γράφημα, αυτή έχει το μικρότερο άθροισμα τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ των σημείων και της ευθείας. Χρησιμοποιούμε τα τετράγωνα των αποστάσεων επειδή δεν πρέπει οι θετικές και αρνητικές τιμές να αλληλοαναιρούνται. Εναλλακτικά, μπορούμε να πούμε ότι η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων έχει το μικρότερο άθροισμα των τετραγώνων των υπολειμματικών τιμών, δηλαδή των διαφορών των παρατηρούμενων από τις αναμενόμενες τιμές ($Y - \hat{Y}$), ή αλλιώς των σφαλμάτων πρόβλεψης. Το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων (Sum of Squared Errors) συμβολίζεται με SSE από τα αρχικά των αγγλικών όρων και ορίζεται ως

$$SSE = \sum \hat{\varepsilon}_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων (Least Squares Method).

Ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου. Ανάλυση διακύμανσης (Analysis Of Variation-ANOVA)

Στη συνέχεια, εξετάζεται το πόσο καλά προσαρμόζεται η ευθεία στα δεδομένα μας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson (r). Αυτός κυμαίνεται από -1 μέχρι 1 και η απόλυτη τιμή του μας δείχνει το πόσο κοντά συγκεντρώνονται τα σημεία γύρω από την ευθεία γραμμή. Συντελεστής συσχέτισης με απόλυτη τιμή 1 σημαίνει ότι όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$r = \beta \times \left(\frac{s_x}{s_y} \right)$$

όπου οι s_x και s_y είναι οι τυπικές αποκλίσεις της ανεξάρτητης και εξαρτημένης μεταβλητής αντίστοιχα.

Υψώνοντας στο τετράγωνο την τιμή του συντελεστή συσχέτισης (R^2) παίρνουμε το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που ερμηνεύεται με βάση αυτό το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης.

Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων αφήνει μεν το μικρότερο άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων, όμως το αν η τιμή του SSE δηλώνει καλή προσαρμογή της ευθείας στα δεδομένα εξαρτάται από τη διασπορά των παρατηρήσεων Y_i . Η ολική διασπορά των παρατηρήσεων Y_i χωρίς να πάρουμε υπόψιν τη X ορίζεται ως το ολικό άθροισμα τετραγώνων SST (Sum of Squares Total). Αγνοώντας την X η καλύτερη εκτίμηση για τις Y_i είναι ο αριθμητικός τους μέσος και τα σφάλματα αυτής της εκτίμησης θα είναι $Y_i - \bar{Y}$. Έτσι, το ολικό άθροισμα τετραγώνων SST υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

Το SST διασπάται σε 2 μέρη:

- Το SSE ή τη διασπορά των παρατηρήσεων Y_i που απομένει μετά την εισαγωγή της X και
- Το SSR ή τη διασπορά των παρατηρήσεων Y_i που ερμηνεύεται από την X και προκύπτει ως διαφορά ανάμεσα στο SST και το SSE.

Το SSR ονομάζεται άθροισμα τετραγώνων της παλινδρόμησης (Regression Sum Of Squares)

και ισούται με: $SSR = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$

Στον πίνακα της ανάλυσης διακύμανσης φαίνονται τα τρία άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων συνοδευόμενα από τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας που αντιστοιχούν σε ένα άθροισμα τετραγώνων είναι το πλήθος των παρατηρήσεων Y_i που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του. Έτσι έχουμε:

β.ε. (SST) = n-1 (δεν μπορούν να είναι n για να ικανοποιείται ο περιορισμός $\bar{Y} = \sum Y_i / n$)

β.ε.(SSE) = n-2 (χάνονται 2 βαθμοί ελευθερίας, για τις παραμέτρους α και β της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων)

Οι βαθμοί ελευθερίας του SSR προκύπτουν με αφαίρεση των β.ε. του SSE από τους αντίστοιχους του SST και επομένως είναι β.ε. (SSR) = (n-1)-(n-2)=1.

Αν διαιρέσουμε τα αθροίσματα των τετραγωνικών σφαλμάτων με τους αντίστοιχους β.ε. παίρνουμε τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα.

Ο λόγος F είναι το πηλίκο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος της παλινδρόμησης προς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της πρόβλεψης. Δηλαδή έχουμε:

$$F = \frac{SSR}{1} \Bigg/ \frac{SSE}{(n-2)} = (n-2) \frac{SSR}{SSE}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκειμένου να βρεθεί το ποσοστό της μεταβλητότητας της αφθονίας των ειδών που δεν ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση υπολογίζεται το πηλίκο του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων (SSE) προς το άθροισμα των τετραγώνων της παλινδρόμησης (SSR). Οπότε η αναλογία της μεταβλητότητας που καταφέρνει να ερμηνεύσει το μοντέλο παλινδρόμησης είναι 1 πλην το ποσοστό που δεν ερμηνεύεται και δίνεται από τη σχέση:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) μας δίνει την ποσοστιαία μείωση του ολικού σφάλματος που επιτυγχάνεται αν στην εκτίμηση του Y_i χρησιμοποιήσουμε αντί για τον αριθμητικό μέσο την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Για τις τιμές του συντελεστή προσδιορισμού ισχύει: $0 \leq R^2 \leq 1$

Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο συντελεστής τόσο μεγαλύτερη είναι η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου παλινδρόμησης. Ένας εναλλακτικός γρήγορος τρόπος να υπολογιστεί το ποσοστό της ερμηνεύσιμης μεταβλητότητας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι να υψώσουμε στο τετράγωνο το συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής.

Έλεγχος υποθέσεων παλινδρόμησης

Με βάση τα αποτελέσματα που παρατηρούμε στο δείγμα μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση των δύο μεταβλητών στον πληθυσμό. Στην περίπτωση που επιθυμούμε να ελέγξουμε υποθέσεις σχετικά με την ευθεία παλινδρόμησης πληθυσμού τα δεδομένα μας πρέπει να ακολουθούν κάποιες παραδοχές. Αυτές είναι οι εξής:

- Όλες οι παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες
- Η σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής στον πληθυσμό πρέπει να είναι γραμμική στον πληθυσμό. Δηλαδή οι μέσες τιμές των κατανομών της εξαρτημένης μεταβλητής πρέπει να βρίσκονται σε μια ευθεία γραμμή.
- Για κάθε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής η κατανομή των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής πρέπει να είναι κανονική
- Η διακύμανση της κατανομής της εξαρτημένης μεταβλητής πρέπει να είναι ίδια για όλες τις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής

Δεχόμαστε ότι οι παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες. Ο έλεγχος της παραδοχής της γραμμικότητας προκύπτει από τη γραφική παράσταση των δεδομένων, το διάγραμμα διασποράς, οπότε παίρνουμε μια πρώτη εικόνα της εξάρτησης της μεταβλητής species number από τη μεταβλητή Average NDVI. Μόνο εφόσον τα σημεία συγκεντρώνονται γύρω από μια ευθεία γραμμή μπορούμε να συνεχίσουμε με την προσαρμογή του γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης.

Για να εξετάσουμε αν η κατανομή της μεταβλητής species number στο δείγμα είναι κανονική και στον πληθυσμό εφαρμόζεται ένας έλεγχος που ονομάζεται Kolmogorov-Smirnov Test. Η διαδικασία εφαρμογής του ελέγχου έχει ως εξής:

Καταρχάς διατυπώνονται δύο υποθέσεις, η μηδενική H_0 και η εναλλακτική H_e , σύμφωνα με τις οποίες:

H_0 : η εξαρτημένη μεταβλητή-species number δεν εμφανίζει κανονική κατανομή

H_e : η εξαρτημένη μεταβλητή-species number εμφανίζει κανονική κατανομή

Για να ελέγξουμε τη μηδενική υπόθεση (ότι η τυχαιότητα της Y δεν περιγράφεται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή που ακολουθεί ο πληθυσμός) κάνουμε έλεγχο καλής προσαρμογής της κατανομής πληθυσμού (θεωρητική κατανομή) στην κατανομή συχνοτήτων των τιμών του δείγματος (εμπειρική κατανομή).

Έστω ότι διαθέτουμε n παρατηρήσεις από την τυχαία μεταβλητή Y , τις οποίας οι τιμές y_1, \dots, y_n επαναλαμβάνονται με αντίστοιχες συχνότητες f_1, \dots, f_n . Το ζητούμενο κριτήριο που εφαρμόζει ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (K-S Test) είναι ότι η μέγιστη απόσταση D_n των παρατηρήσεων από το μέσο της κατανομής δεν πρέπει να ξεπερνάει ένα επίπεδο σημαντικότητας, το οποίο καθορίζεται από μια περιοχή μεγέθους α και υπολογίζεται από ειδικούς πίνακες που υπάρχουν για τον έλεγχο του κριτηρίου Kolmogorov-Smirnov και θέτουν την κρίσιμη τιμή $D_{\alpha,n}$ (ανάλογα με τα n , α κάθε φορά). Είναι λογικό, όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά των συχνοτήτων f_i σε σχέση με το μέσο της κανονικής κατανομής, η πιθανότητα το

σύνολο του πληθυσμού να ξεφεύγει από το πρότυπο της κανονικής κατανομής να αυξάνει σημαντικά. Η D_n υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D_n = \max |F_n(y) - F_0(y)|$$

όπου

$F_n(y)$: η σχετική αθροιστική συχνότητα του δείγματος Y , δηλαδή $F_n(y) = \frac{1}{n}$ και

$F_0(y)$: η αθροιστική συνάρτηση της κατανομής της $f_0(y)$.

Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov προτιμάται από τον έλεγχο προσαρμογής χ^2 , γιατί θεωρείται περισσότερο κατάλληλος για μικρά δείγματα, όπως αυτό της εργασίας, και εμφανίζει συνήθως μεγαλύτερη ικανότητα απόρριψης μιας λανθασμένης υπόθεσης.

Τέλος, για να ελέγξουμε αν η διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής (species number) είναι ίδια για όλες τις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής παρατηρούμε τη γραφική παράσταση των υπολειμματικών τιμών (residuals) ως προς τις προβλεπόμενες τιμές X_i . Αν η διακύμανση είναι σταθερή δε θα υπάρχει κάποια συστηματικότητα στον τρόπο που κατανέμονται τα σημεία των δεδομένων και το μοντέλο θεωρείται ικανοποιητικό.

2.3.2. Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Όταν το απλό γραμμικό μοντέλο δεν καταφέρνει να ερμηνεύσει σημαντικό ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής Y τότε υπονοείται ότι προφανώς θα υπάρχουν και άλλες μεταβλητές που οφείλονται για την υπολειμματική παραλλακτικότητα της Y . Για το λόγο αυτό στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα δεδομένα αβιοτικών παραγόντων (π.χ. βροχόπτωση, θερμοκρασία, τύποι εδαφών, χρήσεις γης) εξετάστηκε αν η μεταβλητότητα της αφθονίας των ειδών αποδίδεται σε κάποιο άλλο παράγοντα εκτός της παραγωγικότητας (AVER NDVI).

Στην ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης η πρόβλεψη μιας εξαρτημένης μεταβλητής απαιτεί τη χρήση περισσότερων από μιας ανεξάρτητης μεταβλητής. Έτσι, η εξίσωση παλινδρόμησης σε ένα γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης με k ερμηνευτικές μεταβλητές είναι η εξής:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

όπου

β_0 ο σταθερός όρος και β_1, \dots, β_k οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης.

Στην περίπτωση μας, η μεταβλητή της αφθονίας των ειδών μπορεί να εξαρτάται από ένα πλήθος μεταβλητών πέραν της παραγωγικότητας (AVER_NDVI).

Επιλογή των ερμηνευτικών μεταβλητών

Πρωταρχικό βήμα για την κατασκευή του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης είναι η επιλογή των ερμηνευτικών μεταβλητών (X_1, \dots, X_k). Συνολικά, οι διαθέσιμες υποψήφιες ερμηνευτικές μεταβλητές φαίνονται στον Πίνακα 2.5. που ακολουθεί. Προκειμένου να αποφασιστεί ποιες από τις παρακάτω μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο, είναι απαραίτητη η διερεύνηση της συγγραμμικότητας που ενδέχεται να εμφανίζουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Γι' αυτό πραγματοποιείται έλεγχος του βαθμού συσχέτισης κατά Pearson των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους με σκοπό τον αποκλεισμό αυτής που σχετίζεται εντονότερα με τις υπόλοιπες.

Η διαδικασία που μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ δύο ή περισσότερων ζευγών μεταβλητών στο SPSS ονομάζεται Correlations (Συσχετίσεις) Θεωρούμε ότι η συσχέτιση είναι υψηλή όταν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης (Pearson) υπερβαίνει το 0,5. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε διερεύνηση συσχέτισης ξεχωριστά για τις κλιματικές και τις τοπογραφικές μεταβλητές.

	Μεταβλητή	Συντομογραφία
Κλιματικά δεδομένα	Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C)	MAT
	Μέση ετήσια βροχόπτωση (°C)	MAP_1
	Μέση μέγιστη εποχικότητα θερμοκρασίας (°C)	MAX_MESI_E
	Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή (°C)	PE
	Βροχόπτωση (°C)	PRECIPITAT
	Ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	AVER_MIN_TE & AVER_MAX_TE
	Μέση εποχικότητα βροχόπτωσης (mm)	PSEAS_MN
	Εποχικότητα θερμοκρασίας (°C)	TSEAS_MN
	Τοπογραφικά δεδομένα	Κλίση (μοίρες)
Υψόμετρο (μέτρα)		ELEVATION
Μέση απόκλιση υψομέτρου (μέτρα)		ELEV_STD
Δεδομένα ετερογένειας τοπίου	Ποικιλότητα τύπων εδαφών (Δείκτης Shannon)	SHANNON_SOILS
	Ποικιλότητα χρήσεων γης (Δείκτης Shannon)	SHANNON_LU
Παραγωγικότητα	Μέση τιμή του δείκτη NDVI	AVER_NDVI

Πίνακας 2.5: Υποψήφιες ερμηνευτικές μεταβλητές για το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης.

Κατασκευή του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης

Από το σύνολο των ερμηνευτικών μεταβλητών που επιλέγονται μπορούν να κατασκευαστούν πολλά διαφορετικά μοντέλα. Γενικά, είναι σημαντικό να στοχεύουμε στην κατασκευή ενός απλού μοντέλου που να προβλέπει καλά. Αν η αφθονία των ειδών μπορεί να προβλεφθεί καλά χρησιμοποιώντας 2 μεταβλητές αντί για 6, το απλούστερο μοντέλο είναι προτιμότερο. Κι αυτό γιατί, προσθέτοντας στο μοντέλο μεταβλητές με μικρή ικανότητα πρόβλεψης, αυξάνονται τα τυπικά σφάλματα των συντελεστών χωρίς να βελτιώνεται η πρόβλεψη.

Στην εργασία αυτή αρχικά κατασκευάστηκε ένα μοντέλο στο οποίο προστέθηκαν όλες οι επιλεγμένες ανεξάρτητες μεταβλητές (Μέθοδος προσθήκης - *Enter*). Υπάρχουν όμως και άλλες μέθοδοι που προσθέτουν ή απαλείφουν μεταβλητές από ένα μοντέλο με τη σειρά. Η απόφαση για την προσθήκη ή την απαλοιφή μιας μεταβλητής βασίζεται στο πόσο αλλάζει το πολλαπλό R^2 . Μια τέτοια μέθοδος επιλογής μεταβλητών είναι και η μέθοδος βηματικής επιλογής (*Stepwise*) που εφαρμόστηκε στην εργασία. Η μέθοδος *Enter* και η μέθοδος *Stepwise* αναλύονται στη συνέχεια.

Ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με τη μέθοδο *Enter* (Μέθοδος προσθήκης)

Στη μέθοδο αυτή στο μοντέλο προστίθενται όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επιλέχθηκαν σύμφωνα με τα παραπάνω και ακολουθεί ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. Αρχικά το μοντέλο προσαρμόζεται στα δεδομένα μας και υπολογίζεται η εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης (β_1, \dots, β_k) και ο σταθερός όρος β_0 .

Η εξέταση της καλής προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα φαίνεται από το συντελεστή συσχέτισης R μεταξύ της παρατηρούμενης τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής και της προβλεπόμενης τιμής με βάση το μοντέλο παλινδρόμησης. Όταν το $R=1$, τότε η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να προβλεφθεί τέλεια από τις ανεξάρτητες. Μια τιμή κοντά στο 0 λέει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν παρουσιάζουν γραμμική συσχέτιση με την εξαρτημένη. Όπως και στην απλή γραμμική παλινδρόμηση, υψώνοντας στο τετράγωνο την τιμή του συντελεστή συσχέτισης (R^2) παίρνουμε το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που ερμηνεύεται με βάση αυτό το μοντέλο παλινδρόμησης.

Προκειμένου να ελέγξουμε κάποιες ισοδύναμες μηδενικές υποθέσεις χρησιμοποιείται ο πίνακας ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA). Οι υποθέσεις αυτές είναι:

α) δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών στον πληθυσμό

β) όλοι οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης του πληθυσμού είναι μηδέν

γ) η τιμή του πληθυσμού για το πολλαπλό είναι 0

Ο έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης βασίζεται στο λόγο F, δηλαδή το λόγο του τετραγώνου μέσης τιμής της παλινδρόμησης προς το τετράγωνο μέσης τιμής των υπολειμματικών τιμών. αυτός ο λόγος αναφέρθηκε και παραπάνω στην ανάλυση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Είναι γνωστός και ως **συνολικός έλεγχος παλινδρόμησης F** και εφόσον είναι αρκετά μικρός (αυτό φαίνεται από το επίπεδο σημαντικότητας στον πίνακα ANOVA) μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση. Οπότε αποδεικνύεται ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών στον πληθυσμό, ότι τουλάχιστον ένας από τους συντελεστές μερικής παλινδρόμησης του πληθυσμού δεν είναι μηδέν και $R^2 \neq 0$. Το R^2 μπορεί να υπολογιστεί και από τα αθροίσματα των τετραγώνων στον πίνακα ANOVA, όπως περιγράφηκε στην απλή γραμμική παλινδρόμηση.

Ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με τη μέθοδο Stepwise (βηματικής επιλογής)

Η κατασκευή του μοντέλου στη μέθοδο αυτή ξεκινάει με ένα μοντέλο που περιέχει μόνο το σταθερό όρο β_0 . Σε κάθε βήμα προστίθεται μια ανεξάρτητη μεταβλητή, και συγκεκριμένα αυτή που δίνει τη μεγαλύτερη αύξηση του R^2 . Στόχος μας είναι, όποτε προστίθεται μια μεταβλητή στο μοντέλο, το R^2 να αυξάνει ή να παραμένει σταθερό και ποτέ να μη μειώνεται. Η μέθοδος αυτή έχει το χαρακτηριστικό ότι κάθε φορά που προστίθεται μια μεταβλητή στο μοντέλο, η σημαντικότητα των υπόλοιπων μεταβλητών που έχουν ήδη εισαχθεί ελέγχεται εκ νέου και γίνεται απαλοιφή κάθε προϋπάρχουσας μεταβλητής που δεν είναι πλέον σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης. Η κατασκευή του μοντέλου έχει ολοκληρωθεί όταν δεν υπάρχουν άλλες μεταβλητές που να ικανοποιούν το κριτήριο της προσθήκης. Το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας προεπιλέγεται και, προφανώς, αν αυξηθεί διευκολύνεται η εισαγωγή περισσότερων μεταβλητών στο μοντέλο. Σημειώνεται ότι το επίπεδο σημαντικότητας με βάση το οποίο επιτρέπεται η προσθήκη μιας μεταβλητής δεν είναι ίδιο με αυτό της απαλοιφής μιας μεταβλητής, και μάλιστα το πρώτο επιβάλλεται να είναι μικρότερο από το δεύτερο, γιατί, αλλιώς ο υπολογιστής θα καταλήξει να προσθέτει και να αφαιρεί την ίδια μεταβλητή συνέχεια.

Στην εργασία, τη διαδικασία κατασκευής του μοντέλου με τη μέθοδο *Stepwise* διαδέχτηκε η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα και ο υπολογισμός της εξίσωσης της ευθείας παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων κατά τα γνωστά. Ακολούθησαν η ερμηνεία του μοντέλου και η ανάλυση διακύμανσης με τον ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση της μεθόδου *Enter*.

Έλεγχος υποθέσεων πολλαπλής παλινδρόμησης

Για την πολλαπλή παλινδρόμηση χρειάζεται μόνο μια μικρή τροποποίηση των παραδοχών που αναφέρθηκαν στην απλή παλινδρόμηση (ανεξαρτησία, γραμμικότητα, κανονικότητα, σταθερή διακύμανση). Πρέπει να θεωρηθεί ότι η σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι γραμμική και ότι, για κάθε συνδυασμό τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών η κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής είναι κανονική με σταθερή διακύμανση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Έλεγχος κανονικότητας

Εφαρμόστηκε ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov και αποδείχτηκε ότι η κατανομή της μεταβλητής species number στο δείγμα είναι κανονική (Πίνακας 3.1). Πιο αναλυτικά, στην περίπτωση αυτή εφαρμόζοντας τον έλεγχο K-S η τιμή $D_{a,n}$ είναι ίση με 0,05. Παρατηρούμε ότι η τιμή $D_n > D_{a,n}$, οπότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται (H_0 : η εξαρτημένη μεταβλητή (αφθονία ειδών, SP NUM) δεν εμφανίζει κανονική κατανομή).

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		SP NUM
N		157
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	52,27
	Std. Deviation	38,032
Most Extreme Differences	Absolute	,086
	Positive	,086
	Negative	-,085
Kolmogorov-Smirnov Z		1,077
Asymp. Sig. (2-tailed)		,196

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Πίνακας 3.1: Εφαρμογή του One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test για έλεγχο της κανονικότητας της εξαρτημένης μεταβλητής.

Προσαρμογή του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης στα δεδομένα

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ αφθονίας ειδών και παραγωγικότητας φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Συντελεστές Παλινδρόμησης(AVER_NDVI)						
Μοντέλο		Μη τυποποιημένοι συντελεστές		Τυποποιημένοι συντελεστές	t	Σημαντικ.
		B	Τυπικό Σφάλμα	Βήτα		
1	(Σταθερά)	-126,118	59,938		-2,104	,037
	AVER_NDVI	1,052	,353	,233	2,980	,003

Πίνακας 3.2: Μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ αφθονίας ειδών και παραγωγικότητας.

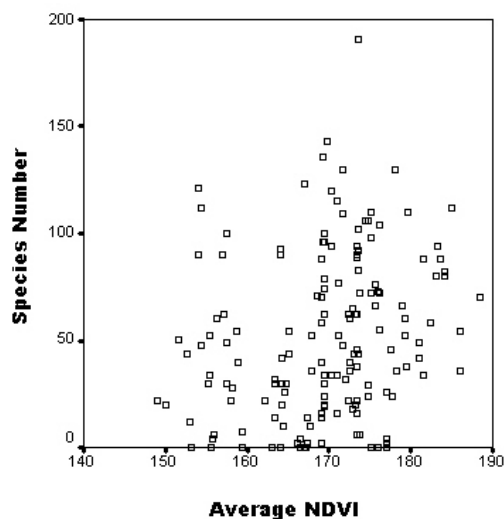
Οι τιμές της κλίσης και του σταθερού όρου από την παλινδρόμηση των ελαχίστων τετραγώνων παρουσιάζονται στη στήλη με την επικεφαλίδα Β (Πίνακας 3.2). Η εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης του απλού γραμμικού μοντέλου είναι:

$$\text{αφθονία ειδών} = -126,118 + (1,052 \times \text{μέση τιμή NDVI})$$

Στη στήλη «τυπικό σφάλμα» του Πίνακα 3.2. παρουσιάζονται τα τυπικά σφάλματα της κλίσης και του σταθερού όρου, δηλαδή οι τυπικές αποκλίσεις των κατανομών όλων των δυνατών τιμών της κλίσης και του σταθερού όρου. Οι κατανομές αυτές, εφόσον πληρούνται οι παραδοχές της παλινδρόμησης, είναι κανονικές.

Έλεγχος της γραμμικότητας

Από τη γραφική παράσταση των τιμών της αφθονίας των ειδών και της παραγωγικότητας (Σχήμα 3.1) παρατηρείται μία θετική εξάρτηση μεταξύ των δύο μεταβλητών



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα διασποράς των τιμών του δείγματος. Στον άξονα των Χ φαίνονται οι μέσες τιμές NDVI της αυξητικής περιόδου της δεκαετίας 1985-1995 σε κάθε κελί, ενώ στον άξονα των Υ οι αντίστοιχες τιμές της αφθονίας των ειδών σε κάθε κελί.

Συμπληρωματικά, ελέγχθηκε η υπόθεση της μηδενικής κλίσης χρησιμοποιώντας την κατανομή t , η οποία απορρίφθηκε ($P=0.003$, Πίνακας 3.1). Οπότε προκύπτει ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των 2 μεταβλητών.

Ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου. Σύνοψη και ανάλυση διακύμανσης (ANOVA)

Στον Πίνακα 3.3 που ακολουθεί φαίνεται η αξιοπιστία του μοντέλου της γραμμικής παλινδρόμησης. Ειδικότερα, φαίνεται ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των δυο μεταβλητών είναι $R=0,233$, ενώ το ποσοστό της ερμηνευτικής ικανότητας του μοντέλου είναι μόλις 5,4% ($R^2=0,054$).

ΣΥΝΟΨΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ(SP_NUM)				
Μοντέλο	R	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	Τυπικό σφάλμα εκτίμησης
1	,233	,054	,048	37,107

Πίνακας 3.3: Σύνοψη του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης.

Η καταχώρηση με την επικεφαλίδα Προσαρμοσμένο R^2 αποτελεί μια εκτίμηση του πόσο καλά θα προσαρμοζόταν το μοντέλο αυτό σε ένα άλλο σύνολο δεδομένων από τον ίδιο πληθυσμό. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3. η τιμή του προσαρμοσμένου R^2 είναι 0,048, λίγο μικρότερη από αυτήν του R^2 .

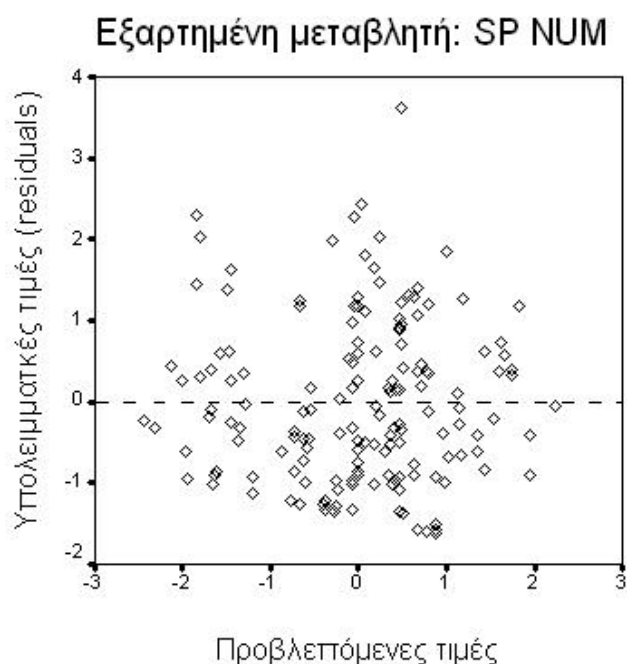
Στον Πίνακα 3.4. φαίνεται η στατιστική σημαντικότητα του προτεινόμενου μοντέλου σε όρους ανάλυσης διασποράς ($F_{1,155} = 8.879$, $P=0.003$).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ – ANOVA (SP_NUM)						
Μοντέλο		Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας (β.ε.)	Τετράγωνο μέσης τιμής	F	Σημαντ.
1	Παλινδρόμηση	12225,615	1	12225,615	8,879	,003
	Υπόλοιπο	213419,150	155	1376,898		
	Σύνολο	225644,764	156			

Πίνακας 3.4: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης.

Έλεγχος για σταθερή διακύμανση

Ο έλεγχος αυτός γίνεται με ανάλυση των υπολοίπων ή υπολειμματικών τιμών. Η διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής είναι σταθερή, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 3.2.), στο οποίο οι υπολειμματικές τιμές βρίσκονται τυχαία διεσπαρμένες γύρω από μια νοητή οριζόντια γραμμή που περνάει από το μηδέν χωρίς καμία συστηματικότητα.



Σχήμα 3.2: Έλεγχος για σταθερή διακύμανση με ανάλυση των υπολοίπων στο SPSS 11.5.

3.2. Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Επιλογή των ερμηνευτικών μεταβλητών με διερεύνηση συσχετίσεων (Correlations)

Κλιματικές μεταβλητές

Από τη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των ανεξάρτητων κλιματικών μεταβλητών, αυτές που επιλέχθηκαν για να εισαχθούν στο μοντέλο ήταν η Δυνητική Εξαμισοδιαπνοή (PE) και η Βροχόπτωση (PRECIPITAT), ενώ αποκλείστηκαν οι μεταβλητές: μέση μέγιστη εποχικότητα θερμοκρασίας (MAX_MESI_E), ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (AVER_MIN_TE & AVER_MAX_TE), μέση εποχικότητα βροχόπτωσης (PSEAS_MN), εποχικότητα θερμοκρασίας (TSEAS_MN).

Οι τελευταίες αποκλείστηκαν γιατί παρουσίαζαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους καθώς περιγράφουν με διαφορετικό τρόπο παρόμοιες κλιματικές συνθήκες. Η ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο θα οδηγούσε σε εσφαλμένα συμπεράσματα, αφού θα υπήρχε κίνδυνος υπερεκτίμησης της συμβολής των κλιματικών μεταβλητών στην ερμηνεία της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής (αφθονία των ειδών). Ο πίνακας των συσχετίσεων των κλιματικών μεταβλητών παρατίθεται στο Παράρτημα II.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή των μεταβλητών της Βροχόπτωσης και της Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής έναντι των άλλων οφείλεται και στο ότι ο συνδυασμός τους υποστηρίζει την υπόθεση του δυναμικού νερού ενέργειας που έχει διατυπωθεί από την O'Brien (2006) και είναι σκόπιμο να εξεταστεί.

Τοπογραφικές μεταβλητές

Από τη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των ανεξάρτητων τοπογραφικών μεταβλητών προέκυψε ότι και οι τρεις εμφάνιζαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους. Αυτή που επιλέχθηκε για να προστεθεί στο μοντέλο ήταν η Κλίση (SLOPE), γιατί εμφάνιζε καλύτερο βαθμό συσχέτισης με κάθε μια από τις υπόλοιπες δύο απ' ότι οι άλλες δύο μεταξύ τους. Αντίθετα, οι μεταβλητές υψόμετρο (ELEVATION) και μέση απόκλιση υψομέτρου (ELEV_STD) αποκλείστηκαν. Ο πίνακας των συσχετίσεων των τοπογραφικών μεταβλητών παρατίθεται επίσης στο Παράρτημα II.

Πέρα από τις μεταβλητές που προέκυψαν από τη διερεύνηση των συσχετίσεων επιλέχθηκαν και προστέθηκαν στο μοντέλο και οι μεταβλητές της ποικιλότητας των εδαφικών τύπων (SHANNON_SOILS) και της ποικιλότητας των χρήσεων γης (SHANNON_LU), καθώς μας δίνουν χρήσιμη πληροφορία για την ετερογένεια του τοπίου, ενώ παρέμεινε στο μοντέλο και η μεταβλητή της μέσης τιμής NDVI (AVER_NDVI) που αποτελεί αξιόπιστο δείκτη της παραγωγικότητας των οικοσυστημάτων της υπό μελέτη περιοχής.

Κατασκευή του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης

Στον Πίνακα 3.5. παρουσιάζονται οι έξι ερμηνευτικές μεταβλητές που επιλέχθηκαν ως κατάλληλες για να εισαχθούν στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης. Κάθε μια από αυτές επιλέχθηκε αφενός με βάση το βαθμό συσχέτισης κατά Pearson (με τη διαδικασία Correlations όπως περιγράφηκε παραπάνω), και αφετέρου με βάση το κριτήριο της σχετικής υπόθεσης που υποστηρίζει κάθε μεταβλητή. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την εργασία, καθώς από την προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα και την ερμηνευτική του ικανότητα προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τις υποθέσεις που υπερσχύουν στη μελέτη αυτή.

Μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο	Σχετικές υποθέσεις
Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή (PE)	Υπόθεση δυναμικού νερού-ενέργειας
Βροχόπτωση (PRECIPITAT)	
Κλίση (SLOPE)	Υπόθεση ετερογένειας τοπίου
Ποικιλότητα τύπων εδαφών (SHANNON_SOILS)	
Ποικιλότητα χρήσεων γης (SHANNON_LU)	
Μέση τιμή του δείκτη NDVI (AVER_NDVI)	Υπόθεση ενέργειας (παραγωγικότητας)

Πίνακας 3.5: Οι ερμηνευτικές μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης και οι σχετικές υποθέσεις που υποστηρίζουν.

Κατασκευή μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης με τη μέθοδο Enter

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο *Enter* εισάγουμε στο μοντέλο όλες τις μεταβλητές του Πίνακα 3.5. Η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα φαίνεται στον Πίνακα 3.6, από τον οποίο προκύπτει ότι η εκτιμώμενη εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης ορίζεται από τη σχέση:

$$SP_NUM = -307,425 + 0,66 \times AVENDVI + 0,173 \times PRECIPIT + 12,941 \times PE + 13,076 \times SHANNON_LU + 6,833 \times SHANNON_SOILS + 1,221 \times SLOPE$$

Συντελεστές παλινδρόμησης (SP NUM)						
Μοντέλο		Μη τυποποιημένοι συντελεστές		Τυποποιημένοι συντελεστές	t	Σημ.
		B	Τυπικό Σφάλμα	Βήτα		
1	(Σταθερά)	-307,425	60,625		-5,071	,000
	AVENDVI	,660	,316	,146	2,089	,038
	PRECIPITAT	,173	,080	,161	2,169	,032
	PE	12,941	1,924	,450	6,727	,000
	SHANNON_LU	13,076	7,799	,145	1,677	,096
	SHANNON_SO	6,833	8,946	,060	,764	,446
	SLOPE	1,221	,632	,155	1,931	,055

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης με τη μέθοδο Enter.

Η στήλη με την επικεφαλίδα Βήτα περιλαμβάνει τους συντελεστές Βήτα. Αυτοί είναι οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης της στήλης B μετασηματισμένοι. Πρόκειται για έναν μετασηματισμό που γίνεται με τη χρήση βαρών προκειμένου οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης να γίνουν περισσότερο συγκρίσιμοι μεταξύ τους. Διαφορετικά, ένα σύνθετες

σφάλμα στην ανάλυση παλινδρόμησης είναι η ταύτιση του μεγέθους των επιμέρους συντελεστών με τη σχετική σπουδαιότητά τους, αγνοώντας ότι το μέγεθος εξαρτάται και από τις μονάδες κάθε μεταβλητής.

Ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου (Μέθοδος Enter)

Στον Πίνακα 3.7 φαίνεται η αξιοπιστία του μοντέλου που προέκυψε με τη μέθοδο Enter. Ειδικότερα, η παρατηρούμενη τιμή του συντελεστή συσχέτισης R είναι ικανοποιητικά μεγάλη (R=0,587) ώστε να δηλώνει ότι το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης παρέχει ικανοποιητική πρόβλεψη. Το ποσοστό της ερμηνευτικής ικανότητας του μοντέλου είναι 34,5% (R²=0,345). Η τιμή του προσαρμοσμένου R² είναι 0,319, λίγο μικρότερη από αυτήν του R².

ΣΥΝΟΨΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (Μέθοδος Enter)				
Μοντέλο	R	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	Τυπικό σφάλμα εκτίμησης
1	,587(a)	,345	,319	31,386
Παράγοντες πρόβλεψης: (σταθερός όρος), SLOPE, PE, SHANNON_SO, AVER_NDVI, PRECIPITAT, SHANNON_LU				
Εξαρτημένη μεταβλητή: SP_NUM				

Πίνακας 3.7: Σύνοψη του μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Το μοντέλο έχει κατασκευαστεί με τη μέθοδο Enter.

Στον Πίνακα 3.8 της ανάλυσης διακύμανσης, φαίνεται η στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου της πολλαπλής παλινδρόμησης (P<0.001), και συνεπώς η ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ της αφθονίας των ειδών και των ανεξάρτητων μεταβλητών που εισήχθησαν στο μοντέλο.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ – ANOVA						
Μοντέλο		Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας (β.ε.)	Τετράγωνο μέσης τιμής	F	Σημ.
1	Παλινδρόμηση	77880,719	6	12980,120	13,177	,000
	Υπόλοιπο	147764,045	150	985,094		
	Σύνολο	225644,764	156			
Παράγοντες πρόβλεψης: (σταθερός όρος), SLOPE, PE, SHANNON_SO, AVER_NDVI, PRECIPITAT, SHANNON_LU						
Εξαρτημένη μεταβλητή: SP_NUM						

Πίνακας 3.8: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) του μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που προέκυψε με τη μέθοδο Enter.

Κατασκευή μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης με τη μέθοδο της βηματικής παλινδρόμησης (Stepwise regression)

Προσθήκη μεταβλητών

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για την προσθήκη μια μεταβλητής στο μοντέλο ήταν ότι το R^2 έπρεπε να αυξάνει ή να παραμένει σταθερό με επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0,05$. Όσο για το κριτήριο αποκλεισμού μιας μεταβλητής, μια μεταβλητή απαλειφόταν από το μοντέλο όταν το επίπεδο σημαντικότητας του συντελεστή της ήταν $\geq 0,1$.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που πληρούσαν το κριτήριο προσθήκης και παρέμειναν στο μοντέλο μετά την εφαρμογή της βηματικής παλινδρόμησης φαίνονται στον Πίνακα 3.9.

Μοντέλο	Μεταβλητές Προσθήκης (Εξαρτημένη μεταβλητή: SP_NUM)
1	PE
2	SHANNON_LU
3	PRECIPITAT
4	AVENDVI

Πίνακας 3.9: Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που παρέμειναν στο μοντέλο με την εφαρμογή της βηματικής παλινδρόμησης.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.9., το Μοντέλο 1 είναι το μοντέλο παλινδρόμησης μόνο με το σταθερό όρο και τη μεταβλητή PE. Το Μοντέλο 2 προκύπτει από την προσθήκη της μεταβλητής SHANNON_LU στο Μοντέλο 1. Το Μοντέλο 3 προκύπτει με την προσθήκη της μεταβλητής PRECIPITAT στο Μοντέλο 2 και, με τον ίδιο τρόπο το Μοντέλο 4 προκύπτει με προσθήκη της μεταβλητής AVENDVI στο Μοντέλο 3.

Απαλοιφή μεταβλητών

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για τον αποκλεισμό μιας μεταβλητής από το μοντέλο ήταν ότι σε κάθε βήμα της παλινδρόμησης, όταν το επίπεδο σημαντικότητας του συντελεστή μιας μεταβλητής ήταν $\geq 0,1$ η μεταβλητή απαλειφόταν από το μοντέλο.

Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία για τις μεταβλητές που δεν περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο κάθε φορά μοντέλο. Ο συντελεστής μερικής συσχέτισης ελέγχει τις ανεξάρτητες μεταβλητές που περιέχονται ήδη στο αντίστοιχο μοντέλο. Η μεταβλητή που επιλέγεται να προστεθεί στα επόμενα μοντέλα κάθε φορά έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α) το μεγαλύτερο συντελεστή μερικής παλινδρόμησης όπως αυτός φαίνεται στη στήλη με την επικεφαλίδα Βήτα εισόδου, β) τη μεγαλύτερη τιμή μερικής συσχέτισης και γ) πληρεί το κριτήριο προσθήκης (επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0,05$).

Για παράδειγμα, στο Μοντέλο 1 (που περιλαμβάνει μόνο το σταθερό όρο και τη μεταβλητή PE) η μεταβλητή που επιλέχθηκε να προστεθεί στο Μοντέλο 2 ήταν η μεταβλητή SHANNON_LU, γιατί είχε το μεγαλύτερο συντελεστή μερικής παλινδρόμησης μεταξύ των άλλων ($\beta = 0,312$), και επομένως θα έδινε τη μεγαλύτερη αύξηση του R^2 , είχε τη μεγαλύτερη τιμή μερικής συσχέτισης με την PE (μερική συσχέτιση = 0,341) και πληρούσε το κριτήριο προσθήκης (επίπεδο σημαντικότητας = 0 < 0,5) Όσο για το κριτήριο του αποκλεισμού, η μόνη μεταβλητή που το πληρούσε ήταν η SHANNON_SO με επίπεδο σημαντικότητας 0,141 > 0,1.

Η κατασκευή του μοντέλου βηματικής πολλαπλής παλινδρόμησης ολοκληρώνεται με το Μοντέλο 4, στο οποίο φαίνεται ότι η μεταβλητή SHANNON_SO απαλείφεται γιατί ισχύει: επίπεδο σημαντικότητας = 0,815 > 1, ενώ η μεταβλητή SLOPE δεν προστίθεται στο μοντέλο γιατί δεν πληροί το κριτήριο προσθήκης, αφού ισχύει γι' αυτήν: επίπεδο σημαντικότητας = 0,075 > 0,05.

Μεταβλητές απαλοιφής						
Μοντέλο	Αποκλεισμένες Μεταβλητές	Βήτα Εισόδου	t	Σημαντικ.	Μερική συσχέτιση	Στατιστικές
						συγγραμικότητας
						Ανοχή
1	AVENDVI	,260 ¹	3,663	,000	,283	,996
	PRECIPITAT	,287 ¹	4,067	,000	,311	,982
	SHANNON LU	,312 ¹	4,496	,000	,341	,999
	SHANNON_SO	,108 ¹	1,478	,141	,118	,998
	SLOPE	,305 ¹	4,375	,000	,332	,997
2	AVENDVI	,189 ²	2,670	,008	,211	,923
	PRECIPITAT	,224 ²	3,201	,002	,251	,924
	SHANNON_SO	-,038 ²	-,490	,625	-,040	,800
	SLOPE	,215 ²	2,911	,004	,229	,841
3	AVENDVI	,157 ³	2,234	,027	,178	,899
	SHANNON_SO	,013 ³	,169	,866	,014	,765
	SLOPE	,152 ³	1,957	,052	,157	,741
4	SHANNON_SO	,018 ⁴	,234	,815	,019	,764
	SLOPE	,138 ⁴	1,791	,075	,144	,735
¹ Παράγοντες πρόβλεψης: (σταθερός όρος), PE						
² Παράγοντες πρόβλεψης: (σταθερός όρος), PE, SHANNON LU						
³ Παράγοντες πρόβλεψης: (σταθερός όρος), PE, SHANNON LU, PRECIPITAT						
⁴ Παράγοντες πρόβλεψης: (σταθερός όρος), PE, SHANNON LU, PRECIPITAT, AVENDVI						
Εξαρτημένη μεταβλητή: SP NUM						

Πίνακας 3.10: Μεταβλητές που αποκλείστηκαν στα διάφορα στάδια εφαρμογής της βηματικής παλινδρόμησης (Stepwise regression).

Η προσαρμογή του μοντέλου που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της βηματικής παλινδρόμησης στα δεδομένα έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 3.11.

Συντελεστές παλινδρόμησης (SP NUM)						
Μοντέλο		Μη τυποποιημένοι συντελεστές		Τυποποιημένοι συντελεστές	t	Σημ.
		B	Τυπικό Σφάλμα	Βήτα		
1	(Σταθερός όρος)	-117,698	31,058		-3,790	,000
	PE	11,617	2,114	,404	5,495	,000
2	(Σταθερός όρος)	-162,020	30,910		-5,242	,000
	PE	11,891	1,995	,413	5,960	,000
	SHANNON_LU	28,023	6,233	,312	4,496	,000
3	(Σταθερός όρος)	-205,612	32,965		-6,237	,000
	PE	12,700	1,954	,441	6,499	,000
	SHANNON_LU	23,157	6,242	,258	3,710	,000
	PRECIPITAT	,240	,075	,224	3,201	,002
4	(Σταθερός όρος)	-318,909	60,250		-5,293	,000
	PE	12,858	1,931	,447	6,660	,000
	SHANNON_LU	19,903	6,332	,221	3,143	,002
	PRECIPITAT	,213	,075	,199	2,838	,005
	AVENDVI	,708	,317	,157	2,234	,027

Εξαρτημένη μεταβλητή: SP NUM

Πίνακας 3.11: Προσδιορισμός ευθείας παλινδρόμησης στο μοντέλο πολλαπλής βηματικής παλινδρόμησης.

Προκύπτει ότι η προτεινόμενη εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης του μοντέλου στο οποίο καταλήγει η μέθοδος της βηματικής παλινδρόμησης (Μοντέλο 4) ορίζεται από τη σχέση:

$$SP_NUM = -318,909 + 12,858 \times PE + 19,903 \times SHANNON_LU + 0,213 \times PRECIPITAT + 0,708 \times AVENDVI$$

Ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου (Μέθοδος Stepwise)

Στον Πίνακα 3.12 παρουσιάζονται οι στατιστικές σύνοψης για τα τέσσερα μοντέλα που κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της βηματικής παλινδρόμησης. Φαίνεται ότι για το Μοντέλο 1 που περιλαμβάνει μόνο το σταθερό όρο και τη μεταβλητή PE ισχύει $R^2=0,163$. Δηλαδή το Μοντέλο 1 ερμηνεύει ένα ποσοστό 16,3% της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής (αφθονία ειδών). Όταν στο μοντέλο αυτό προστίθεται η μεταβλητή SHANNON_LU η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου αυξάνεται σε 26% (Μοντέλο 2). Εάν προστεθούν και οι μεταβλητές PRECIPITAT και AVENDVI η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου αυξάνεται σε 30,7% (Μοντέλο 3) και 32,9% (Μοντέλο 4) αντίστοιχα. Συνεπώς, το Μοντέλο 4 που περιλαμβάνει το σταθερό όρο και τις μεταβλητές PE, SHANNON_LU, PRECIPITAT και AVENDVI παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ερμηνευτική ικανότητα με $R^2 = 0,329$. Με άλλα λόγια,

οι μεταβλητές αυτές καταφέρνουν να ερμηνεύσουν ένα ποσοστό $\approx 33\%$ της μεταβλητότητας της αφθονίας των ειδών.

ΣΥΝΟΨΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (Μέθοδος <i>Stepwise</i>)				
Μοντέλο	R	R²	Προσαρμοσμένο R²	Τυπικό σφάλμα εκτίμησης
1	,404 ¹	,163	,158	34,906
2	,510 ²	,260	,251	32,925
3	,554 ³	,307	,293	31,979
4	,573 ⁴	,329	,311	31,570
¹ Παράγοντες πρόβλεψης:(σταθερός όρος), PE				
² Παράγοντες πρόβλεψης:(σταθερός όρος), PE, SHANNON_LU				
³ Παράγοντες πρόβλεψης:(σταθερός όρος), PE, SHANNON_LU, PRECIPITAT				
⁴ Παράγοντες πρόβλεψης:(σταθερός όρος), PE, SHANNON_LU, PRECIPITAT, AVENDVI				

Πίνακας 3.12: Σύνοψη των μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της βηματικής παλινδρόμησης. Το Μοντέλο 4 ερμηνεύει σε μεγαλύτερο ποσοστό την εξαρτημένη μεταβλητή και επιλέγεται ως το καλύτερα δυνατά προσαρμοζόμενο στα δεδομένα.

Στους πίνακες ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) και για τα 4 Μοντέλα που προέκυψαν με τη μέθοδο της βηματικής παλινδρόμησης αποδεικνύεται η ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών στον πληθυσμό ($P < 0.001$ σε όλες τις περιπτώσεις).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα της εργασίας φαίνεται πως η σχέση μεταξύ ποικιλότητας-παραγωγικότητας που παρατηρείται στην Κρήτη είναι μια θετική γραμμική σχέση.

Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική έρευνα, η πλειοψηφία των μελετών υποστηρίζει ότι η επικρατέστερη σχέση μεταξύ των 2 μεταβλητών είναι μονοκόρυφη. Οι Mittelbach et al. (2001), μετά από ανάλυση 171 δημοσιευμένων ερευνών για τα αγγειόσπερμα φυτά σε γεωγραφική κλίμακα μικρότερη της ηπείρου, διαπιστώνουν ότι οι σχέσεις μεταξύ ποικιλότητας και παραγωγικότητας εμφανίζονται στο 41-45% των περιπτώσεων ως μονοκόρυφες. Μάλιστα, σε έρευνες φυτοποικιλότητας που χρησιμοποιούν τη φυτική βιομάζα ως μέτρο εκτίμησης της παραγωγικότητας, οι μονοκόρυφες σχέσεις εμφανίζουν ακόμα μεγαλύτερη συχνότητα (65%). Ωστόσο, σε πιο διακριτές γεωγραφικές κλίμακες (μέσα στην ίδια μεγαδιάπλαση-biome, αλλά μεταξύ κοινοτήτων), περισσότερο συγκρίσιμες με αυτήν που εξετάζεται στην εργασία, η παραπάνω σχέση δε φαίνεται να ακολουθεί κάποιο πρότυπο: η σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας μπορεί να είναι μονοκόρυφη, θετική ή και αρνητική, ή ακόμη να έχει τη μορφή καμπύλης U (Waide et al. 1999, Mittelbach et al. 2001, Gross et al. 2000). Επομένως, από την παρατηρούμενη σχέση μεταξύ των 2 παραμέτρων, δεχόμαστε ότι όσο αυξάνεται η παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων της Κρήτης αναμένεται και αύξηση του συνολικού αριθμού των φυτικών ειδών.

Το μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης που εξετάζει τη διαβάθμιση της αφθονίας των ειδών σε σχέση με την παραγωγικότητα (όπως αυτή υπολογίζεται από τη μέση τιμή του δείκτη NDVI) κατάφερε να εξηγήσει ένα ποσοστό μόλις 5,4% της παρατηρούμενης σχέσης, οδηγώντας μας στο προφανές συμπέρασμα ότι η υπολειμματική παραλλακτικότητα της αφθονίας των ειδών πρέπει να οφείλεται σε άλλες παραμέτρους πέραν της παραγωγικότητας. Κατασκευάζοντας ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου αυξήθηκε σε ποσοστό 34,5% όταν το μοντέλο περιείχε 6 ανεξάρτητες μεταβλητές (*Μέθοδος Enter*), ενώ σε 33% όταν το μοντέλο περιλάμβανε 4 ερμηνευτικές μεταβλητές (*Μέθοδος Stepwise*).

Από τα 2 πολυμεταβλητά μοντέλα που κατασκευάστηκαν θεωρείται ορθότερο το μοντέλο της μεθόδου *Stepwise*. Κι αυτό, γιατί όταν η αφθονία των ειδών μπορεί να προβλεφθεί σχεδόν εξίσου καλά χρησιμοποιώντας 4 μεταβλητές αντί για 6, το απλούστερο μοντέλο είναι προτιμότερο. Προσθέτοντας στο μοντέλο μεταβλητές με μικρή ικανότητα πρόβλεψης, αυξάνονται τα τυπικά σφάλματα των συντελεστών χωρίς να βελτιώνεται ιδιαίτερα η πρόβλεψη. Αυτό σημαίνει ότι ενώ ενδεχομένως αυξάνεται η συνολική ερμηνευτική ικανότητα του

μοντέλου, δυσχεραίνεται ο διαχωρισμός της ερμηνευτικής ισχύος κάθε επιμέρους ανεξάρτητης μεταβλητής για το μοντέλο.

Εξετάζοντας διεξοδικότερα το μοντέλο *Stepwise*, παρατηρείται ότι η μεταβλητή που ερμηνεύει καλύτερα τη διαβάθμιση της αφθονίας των ειδών είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PE). Ακολουθεί η μεταβλητή της ποικιλότητας των χρήσεων γης (SHANNON_LU) η οποία φαίνεται να ερμηνεύει ένα ποσοστό περίπου 9% της μεταβλητότητας, αν εξαιρεθεί αυτή που οφείλεται στην PE. Η μεταβλητή της βροχόπτωσης (PRECIPITAT) ευθύνεται για ένα πρόσθετο ποσοστό 4%, ενώ η μεταβλητή της μέσης τιμής παραγωγικότητας (AVER_NDVI) για περίπου 2,5% της συνολικής ερμηνευτικής ικανότητας του μοντέλου με τις 4 μεταβλητές.

Όπως επισημαίνουν οι Bokma et al. (2001), η ανάλυση των συσχετίσεων μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών στην οποία εξετάζονται οι σημαντικότεροι παράγοντες πρόβλεψης της διαβάθμισης της αφθονίας των ειδών, μπορεί να καταλήγει στον κυρίαρχο παράγοντα πρόβλεψης, αλλά δεν οδηγεί απαραίτητα στην κύρια αιτία της διαβάθμισης αυτής. Παράλληλα, η επιλογή ενός συνόλου μεταβλητών για την ερμηνεία του μοντέλου δε φανερώνει από μόνη της ότι αυτές συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο αιτιολογικό μηχανισμό (Hawkins et al. 2003b). Για να εντοπιστούν οι υποβόσκοντες μηχανισμοί είναι σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στις υπάρχουσες υποθέσεις που σχετίζονται με τις εν λόγω μεταβλητές.

4.2. Θεωρητικές υποθέσεις που πλαισιώνουν την εργασία

Σύμφωνα με τους Tognelli & Kelt (2004), όταν η περιοχή μελέτης αφορά περιφερειακή κλίμακα, τρεις είναι οι κυρίαρχες υποθέσεις που καθορίζουν την αφθονία των ειδών και επομένως είναι σκόπιμο να εξεταστούν: η *υπόθεση της ενέργειας* (σ' αυτήν ενσωματώνονται οι υποθέσεις της παραγωγικότητας, της περιβάλλουσας ατμοσφαιρικής ενέργειας και του δυναμικού νερού-ενέργειας), η *υπόθεση της ετερογένειας του ενδιαίτηματος* και η *υπόθεση της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών* (Currie 1991, Kerr & Packer 1997, Kerr et al. 2001, Rahbeck & Graves 2001).

Για την ποσοτικοποίηση της *υπόθεσης της ενέργειας* συχνά χρησιμοποιούνται μεταβλητές όπως η δυνητική και πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Potential & Actual Evapotranspiration - PET, AET), που αντιπροσωπεύουν είτε την πρωτογενή παραγωγικότητα είτε τη θερμότητα που είναι διαθέσιμη στο περιβάλλον (Currie 1991, Kerr & Packer 1997, Kerr 2001, Hawkins et al. 2003b). Στην εργασία ως μέτρο ποσοτικοποίησης της ενέργειας χρησιμοποιήθηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET), γιατί θεωρήθηκε ως πιο ρεαλιστικό μέτρο ενέργειας που καθορίζει την ανάπτυξη των φυτών μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Κι αυτό γιατί υπολογίζει ταυτόχρονα την ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της απώλειας νερού

από το έδαφος στην ατμόσφαιρα μέσω της εδαφικής εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών (O'Brien, 2000).

Στο μοντέλο που κατασκευάσαμε συμμετέχει και η μεταβλητή των κατακρημνισμάτων (PRECIPITAT), για την οποία υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι οι διακυμάνσεις της μπορεί να έχουν ισχυρή επίδραση στην ποικιλότητα μιας περιοχής, ενδεχομένως σε συνδυασμό με τα εκτιμώμενα επίπεδα παραγωγικότητας και εξατμισοδιαπνοής (Cuttie 1991, Pimm & Gittleman 1992, στο Pearson & Carrol 1998). Η ποικιλότητα των φυτών φαίνεται πως καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το δυναμικό νερού-ενέργειας, με τις μεταβλητές που αφορούν καθαρά τον παράγοντα-νερό να σχετίζονται ισχυρότερα με θερμές περιοχές, όπου το νερό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Μάλιστα, σε πρόσφατες μελέτες που αφορούσαν κυρίως ξυλώδη φυτά, δέντρα και θάμνους, το δυναμικό νερού-ενέργειας αναδεικνύεται ως ο πιο πιθανός υπαίτιος για τη διαμόρφωση των προτύπων διαβάθμισης της ποικιλότητας παγκοσμίως (Hawkins et al. 2003b). Όπως εξηγεί η O'Brien (2000), ουσιαστικά, το κλίμα είναι αυτό που τροφοδοτεί το δυναμικό νερού-ενέργειας και επομένως το δυναμικό της βιολογικής δραστηριότητας (την ένταση και τη διάρκεια αυτής), και, στο πέρας του γεωλογικού χρόνου, την ικανότητα για αλλαγές στην ποικιλότητα να προκύψουν και συσσωρευτούν.

Επομένως, συνδυάζοντας τις δύο μεταβλητές (δυναμική εξατμισοδιαπνοή και κατακρημνίσματα) στο μοντέλο, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να έχουμε ερμηνεύσει σωστά τους εμπλεκόμενους μηχανισμούς που σχετίζονται με την υπόθεση του δυναμικού νερού-ενέργειας.

Η υπόθεση της παραγωγικότητας αποτελεί την εκδοχή της υπόθεσης της ενέργειας σύμφωνα με την οποία τα όρια της ποικιλότητας τίθενται από την ποσότητα της ενέργειας που ρέει μέσα στα τροφικά δίκτυα και όχι από τη συνολική ενέργεια που εισέρχεται σε ένα οικοσύστημα (Wright et al. 1993, Huston 1994, Mittelbach et al. 2001). Μια μεταβλητή που χρησιμοποιείται συχνά στα χερσαία οικοσυστήματα για την ποσοτικοποίηση της υπόθεσης αυτής και σχετίζεται με την πρωτογενή παραγωγικότητα (Kessler 2001) είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI, που υπολογίζεται με μεθόδους τηλεπισκόπησης και εμφανίζει έντονη συσχέτιση με παράγοντες βλάστησης όπως η υπέργεια βιομάζα, η φυλλική επιφάνεια και η απορροφώμενη ενεργή ακτινοβολία με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Curran 1982, Goward et al. 1985 στο Tognelli & Kelt, 2004). Η επιλογή αυτού του μέτρου έναντι των κλιματικών μεταβλητών που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για τη μέτρηση της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας έχει το πλεονέκτημα ότι διευκολύνει το διαχωρισμό των κλιματικών επιρροών από τις επιρροές της παραγωγικότητας στην αφθονία των ειδών και την στήριξη των αντίστοιχων υποθέσεων. Η μεταβλητή αυτή στην παρούσα εργασία δεν αποδείχθηκε σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης, αναδεικνύοντας την υπόθεση της παραγωγικότητας από

μόνη της ως τη λιγότερο σημαντική. Αν όμως συνδυαστεί με την υπόθεση του δυναμικού νερού-ενέργειας μπορεί να αυξήσει την ισχύ της ευρύτερης υπόθεσης της ενέργειας.

Η ετερογένεια του ενδιαιτήματος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ως τοπογραφική διακύμανση (π.χ. υψομετρική διακύμανση/τυπική απόκλιση) ή ως πλήθος οικοσυστημάτων (ποικιλότητα χρήσεων γης = land-cover diversity) σε μια περιοχή (Tognelli & Kelt, 2004). Στην εργασία αυτή, στη μεταβλητή της ποικιλότητας των χρήσεων γης οφείλεται ένα σημαντικό ποσοστό της ερμηνευτικής ικανότητας του μοντέλου και μέσω αυτής υποστηρίζεται η υπόθεση της ετερογένειας του ενδιαιτήματος. Μεγαλύτερη ποικιλομορφία οικοσυστημάτων αντιστοιχεί σε υψηλότερα επίπεδα ποικιλότητας, αφού αυξάνεται η πιθανότητα να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης για μεγαλύτερο εύρος φυτικών ειδών, μεταξύ των οποίων και ειδών με εξειδικευμένες απαιτήσεις ενδιαιτήματος (habitat specialists) (Kerr et al. 2001).

Τέλος, για την ποσοτικοποίηση της *υπόθεσης της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών* που υποστηρίζει ότι «σταθερότερα κλίματα φιλοξενούν περισσότερα είδη», χρησιμοποιούνται κλιματικές μεταβλητές όπως η τυπική απόκλιση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και των κατακρημνισμάτων (Tognelli & Kerr 2004, Rodriguez 2005). Η υπόθεση αυτή υποστηρίζεται στην εργασία από τη μεταβλητή των κατακρημνισμάτων, αλλά η σημασία της επισκιάζεται από την ενεργειακή υπόθεση.

4.3. Σύγκριση με άλλες μελέτες

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε σ' αυτήν την εργασία βασίζονται σε συσχετίσεις και όχι σε πειραματικές αποδείξεις, καθιστώντας δύσκολο το διαχωρισμό μεταξύ των έμμεσων και άμεσων επιδράσεων των μεταβλητών στην ποικιλότητα και τον εντοπισμό των υποβοσκόντων μηχανισμών (Hawkins et al. 2003). Για το λόγο αυτό τα συμπεράσματά μας θα πρέπει να είναι επιφυλακτικά και να παίρνουν ισχύ μόνο συγκρινόμενα και με άλλες μελέτες.

Η προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών ερευνών δεν αποτελεί εύκολο εγχείρημα. Κι αυτό, γιατί οι υπάρχουσες μελέτες παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιομορφία τόσο ως προς τη γεωγραφική κλίμακα που εξετάζεται (παγκόσμια, περιφερειακή, τοπική), όσο και ως προς το μέγεθος των επιμέρους δειγματοληπτικών μονάδων της μελέτης, ενώ διαφορές μπορούν να υπάρχουν και ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση των δεδομένων (δεδομένα προέρχονται από δειγματοληψίες ή από χάρτες εξάπλωσης ειδών). Πρέπει να σημειωθεί ότι μεγάλη σύγχυση δημιουργεί η αυθαιρεσία με την οποία συχνά χρησιμοποιείται ο όρος «χωρική κλίμακα» (spatial scale), χωρίς να αποσαφηνίζεται το αν γίνεται αναφορά στη γεωγραφική έκταση της περιοχής μελέτης (focus) που μπορεί να θεωρηθεί συνώνυμο της κλίμακας, ή το αν γίνεται αναφορά στο μέγεθος ή τις διαστάσεις των συγκρινόμενων δειγματοληπτικών μονάδων (geographical extent), που από μόνες τους δε

δίνουν καμία πληροφορία για τη γεωγραφική κλίμακα της υπό εξέταση περιοχής (Whittaker et al. 2001).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται μια κλίμακα τοπίου και οι δύο συνιστώσες του όρου «χωρική κλίμακα» στις οποίες αναφερθήκαμε είναι η συνολική έκταση του νησιού της Κρήτης (focus = 8700 km²) και το μέγεθος κελιού (extent = 8,25km*8,25km). Ο εντοπισμός στη βιβλιογραφία μελετών με τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά κλίμακας αποδείχτηκε πρακτικά αδύνατος, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο. Τα δεδομένα που προσομοιάζουν καλύτερα με αυτά της παρούσας εργασίας εντοπίζονται σε μια ανάλυση των Hawkins et al. (2003b), όπου συγκρίνονται αποτελέσματα παρόμοιων μελετών για διάφορες ταξινομικές ομάδες. Από αυτές, στις 20 από τις 21 μελέτες με θέμα τη διαβάθμιση της ποικιλότητας των φυτών (σε γεωγραφική έκταση >800km), ως παράγοντες πρόβλεψης κυριαρχούν μεταβλητές που σχετίζονται με τα αποθέματα νερού. Μεταξύ των μεταβλητών αυτών ήταν η βροχόπτωση και τα κατακρημνίσματα, αλλά και μεταβλητές νερού-ενέργειας (π.χ. ΑΕΤ). Έτσι, σε μελέτη των Richerson & Lum (1980) για την πολιτεία της Καλιφόρνια η κυρίαρχη ερμηνευτική μεταβλητή είναι τα κατακρημνίσματα, ενώ ακολουθούν η ενέργεια, η τοπογραφία, η έκταση κα. Η ερμηνευτική ικανότητα του αντίστοιχου μοντέλου είναι 52%. Σε μελέτη των Ganzhorn et al. (1997) που αφορούσε την ποικιλότητα των δέντρων στη Μαδαγασκάρη, διαπιστώθηκε ότι η διαβάθμιση της ποικιλότητας ερμηνεύεται αποκλειστικά από τη βροχόπτωση (ερμηνευτική ικανότητα 50%). Σε μελέτη που διεξάχθηκε μόνο για τα ξυλώδη φυτά της νότιας Αφρικής από την O'Brien (1993), βρέθηκε ότι η βροχόπτωση είναι η ερμηνευτική μεταβλητή που ερμηνεύει καλύτερα τη διαβάθμιση της ποικιλότητας, ενώ στο μοντέλο συμπεριλαμβάνονται η ενέργεια, το δυναμικό νερού-ενέργειας, η τοπογραφία κα. Η ερμηνευτική ικανότητα αυτού του μοντέλου ήταν 60%. Τέλος, σε μελέτη της διαβάθμισης της ποικιλότητας των δέντρων της Βόρειας Αμερικής που διεξάχθηκε από τους Currie & Paquin (1987) ως σημαντικότερος παράγοντας πρόβλεψης προκύπτει η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή (ΑΕΤ), ενώ ακολουθούν η ενέργεια, το νερό η τοπογραφία κα. Η ερμηνευτική ικανότητα φτάνει το 62%.

Παρατηρείται ότι οι μελέτες αυτές συμφωνούν με την παρούσα εργασία ως προς τις ερμηνευτικές μεταβλητές που κυριαρχούν στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης. Όμως καταλήγουν σε μοντέλα που ερμηνεύουν τη μεταβλητότητα της αφθονίας των ειδών καλύτερα απ' ότι το μοντέλο που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας (33%). Ωστόσο, είναι φανερό ότι αφορούν περιοχές μελέτης που ξεπερνούν τις διαστάσεις μιας κλίμακας τοπίου, άλλοτε περισσότερο (Β Αμερική) και άλλοτε λιγότερο (Καλιφόρνια). Αν ακολουθήσουμε τη διάκριση της κλίμακα μελέτης με βάση τη γεωγραφική έκταση που εφάρμοσαν οι Mittelbach et al. (2001), η κλίμακα τοπίου ορίζεται στα 20-200km και διαφοροποιείται από την περιφερειακή κλίμακα (200-4000km). Επομένως η Κρήτη θα εντασσόταν στην κλίμακα τοπίου (άνοιγμα

256km από ανατολή σε δύση και 13-56km από βορρά σε νότο), ενώ οι συγκρινόμενες με αυτήν μελέτες στην περιφερειακή κλίμακα (όλες >800km).

Αν και η οργάνωση αυτή εμπεριέχει κάποιο βαθμό αυθαιρεσίας μας βοηθάει να ξεκαθαρίσουμε το ποιες μεταβλητές και σε ποιο βαθμό αναμένεται να εμπλέκονται στην ερμηνεία των διαβαθμίσεων της ποικιλότητας στην αντίστοιχη χωρική κλίμακα. Σύμφωνα με τον Benett (1991) στην *περιφερειακή κλίμακα* επικρατεί το δυναμικό νερού-ενέργειας σε συνδυασμό με το κλίμα και τη φυσιογραφία, καθώς και ιστορικοί παράγοντες. Πράγματι, σε όλες τις παραπάνω μελέτες η ποικιλότητα των φυτών φαίνεται πως καθορίζεται κυρίως από το δυναμικό νερού-ενέργειας και άλλους κλιματικούς παράγοντες. Σύμφωνα με τους O'Brien et al. (2000), για την *κλίμακα τοπίου* οι διαβαθμίσεις της ποικιλότητας (β- και γ-ποικιλότητα) μετρώνται ως οι διαφορές στην επικάλυψη περιοχών εξάπλωσης των ανεξάρτητων ατόμων των taxa μέσα στο εύρος της εξάπλωσής τους και μέσα στα όρια ανοχής τους. Στην περίπτωση αυτή το κλίμα δεν είναι τόσο σημαντικό, όσο άλλοι παράγοντες (αβιοτικοί και βιοτικοί) που αφορούν στην ετερογένεια του τοπίου όπως η τοπογραφία (π.χ. κλίση, έκθεση), οι χρήσεις γης, εδαφικοί περιορισμοί, και πιθανές διαταραχές (π.χ. πυρκαγιά) ή ιστορικοί παράγοντες (π.χ. εκρήξεις ηφαιστειών).

4.4. Παραδοχές και περιορισμοί της εργασίας

- Στην εργασία, ως μέτρο της ποικιλότητας των ειδών χρησιμοποιήθηκε η αφθονία των ειδών, δηλαδή ο αριθμός των φυτικών ειδών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης, την Κρήτη. Αυτό το μέτρο έχει χρησιμοποιηθεί και στις περισσότερες εμπειρικές και θεωρητικές μελέτες που διερευνούν τη σχέση παραγωγικότητας-ποικιλότητας (Abrams, 1995, Rosenzweig, 1995, από Mittelbach et al., 2001). Ωστόσο, η ποικιλότητα των ειδών σαν όρος αποτελείται από δύο συστατικά στοιχεία: τον πλούτο των ειδών (*species richness*) και την ισοδιανομή των ειδών (*equitability*). Ο πλούτος των ειδών αναφέρεται στο συνολικό αριθμό ειδών που είναι παρόντα σε μία κοινότητα. Η ισοδιανομή αναφέρεται στη σχετική αφθονία των ειδών (*species abundance*) στην εν λόγω περιοχή. Επειδή όμως ελάχιστες μελέτες αναφέρουν συγκρίσιμες μετρήσεις της ομοιομορφίας των ειδών ((Mittelbach et al. 2001) στην εργασία αυτή επιλέξαμε να ασχοληθούμε μόνο με την αφθονία των ειδών.
- Προκειμένου να εξεταστεί η σχετική σημασία των διαφορετικών περιβαλλοντικών μεταβλητών στην ερμηνεία του παρατηρούμενου προτύπου διαβάθμισης της ποικιλότητας στην Κρήτη γίνεται η παραδοχή ότι η έκταση (area) δεν έχει καμία επίδραση στα δεδομένα. Όπως υπαγορεύεται από τους Whittaker et al. (2001), ο έλεγχος της επίδρασης της έκτασης είναι ένα σημαντικό σημείο εκκίνησης στην ανάλυση των χωρικών προτύπων διαβάθμισης

της ποικιλότητας και ο πιο απλός τρόπος για να επιτευχθεί είναι η χρήση δειγματοληπτικών μονάδων ίσων διαστάσεων (π.χ. τετράγωνα, ισομεγέθη κελιά)

- Από τα διαθέσιμα δεδομένα της ποικιλότητας της χλωρίδας της Κρήτης, στην εργασία εξετάστηκαν μόνο αυτά που ανήκαν στις κατηγορίες δέντρα, θάμνοι ή φρύγανα. Αυτή η παραδοχή ήταν απαραίτητη προκειμένου να υπάρχει συνάφεια με τα δεδομένα που σχετίζονται με την παραγωγικότητα. Ειδικότερα, επειδή η ποιότητα των διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων από τις οποίες αντλήθηκαν οι τιμές του δείκτη NDVI δεν καταφέρνει να αποτυπώσει την κατάσταση της βλάστησης σε επιφάνεια μικρότερη των 8km x 8km, κρίθηκε ότι σε αυτήν την επιφάνεια αντιπροσωπεύονται μόνο τα φυτά των παραπάνω κατηγοριών. Υπάρχει όμως και η αντίθετη άποψη, που υποστηρίζει ότι τα υπόλοιπα είδη που δε λήφθηκαν υπόψιν -και αφορούν κυρίως ποώδη φυτά- καταλαμβάνουν τα κενά και τα διάκενα που δημιουργούνται σε μια επιφάνεια μεταξύ των θάμνων, δέντρων και φρυγάνων ή ότι τα ποώδη φυτά «γεμίζουν» την επιφάνεια των θάμνων όταν συμβιώνουν με αυτούς, συνεισφέροντας έτσι στη συνολική ποσότητα βιομάζας που αποτυπώνεται στις τιμές του δείκτη NDVI (Troumbis & Memtsas, 2000).
- Οι τιμές για τη μεταβλητή της συνολικής βροχόπτωσης προέκυψαν με εφαρμογή της μεθόδου χωρικής παρεμβολής από τα σημειακά δεδομένα 27 μετεωρολογικών σταθμών. Ακόμα και αν θεωρηθεί ότι το πλήθος των σημείων μπορεί να μας δώσει μια σχετικά ακριβή προσέγγιση της διαβάθμισης της ποσότητας των κατακρημνισμάτων στη συνολική επιφάνεια του νησιού, θα ήταν σκόπιμο η χωρική παρεμβολή να έχει λάβει υπόψιν και τον παράγοντα-τοπογραφικό ανάγλυφο (π.χ. υψομετρικές διαβαθμίσεις) ούτως ώστε να αποφύγουμε τα σφάλματα του τύπου να παρατηρείται μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων σε μια πεδιάδα απ' ό,τι σε έναν ορεινό όγκο.
- Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται κλασική στατιστική ανάλυση, σύμφωνα με την οποία ισχύει η παραδοχή ότι οι παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες. Ωστόσο, όταν εξετάζονται περιβαλλοντικά δεδομένα, αυτή μπορεί να παραβιάζεται, γιατί οι τιμές των περιβαλλοντικών μεταβλητών, ενδέχεται να είναι χωρικά αυτοσυσχετιζόμενες (Legendre 1993 στο Tognelli & Kelt 2004).

Η χωρική αυτοσυσχέτιση αναφέρεται στη συσχέτιση που εμφανίζει μια μεταβλητή με τον εαυτό της (συσχέτιση μεταξύ τιμών της ίδιας μεταβλητής που παρατηρούνται σε διαφορετικές θέσεις). Όταν υπάρχει χωρική αυτοσυσχέτιση, η κατανομή των τιμών μιας μεταβλητής στο χώρο δεν είναι τυχαία, αλλά η τιμή που παίρνει σε ένα σημείο εμφανίζει εξάρτηση με τις τιμές των γειτονικών της σημείων. Αυτό υποστηρίζεται και από τον Πρώτο Νόμο της Γεωγραφίας του Tobler (1970), σύμφωνα με τον οποίο «από χωρική άποψη όλα σχετίζονται μεταξύ τους, αλλά οι σχέσεις είναι ισχυρότερες όταν οι οντότητες βρίσκονται

κοντά». Θετική χωρική αυτοσυσχέτιση υποδηλώνει ότι όμοιες τιμές μιας μεταβλητής παρουσιάζουν συγκέντρωση στον χώρο, δηλαδή ότι γειτονικά σημεία έχουν παρόμοιες τιμές, ενώ αρνητική αυτοσυσχέτιση ότι διαφορετικές τιμές τείνουν να βρίσκονται σε γειτονικά σημεία.

Η έλλειψη της ανεξαρτησίας των παρατηρήσεων στον χώρο μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά τεχνικά προβλήματα, όταν χωρικά δεδομένα χρησιμοποιούνται σε μεθόδους κλασικής στατιστικής, όπως η ανάλυση παλινδρόμησης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων που χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία. Κι αυτό, γιατί η εμφάνιση χωρικής αυτοσυσχέτισης στις υπολειμματικές τιμές υποδηλώνει ότι στο μοντέλο που προέκυψε από την ανάλυση αυτή έχει γίνει συστηματική υπερεκτίμηση των παρατηρούμενων τιμών σε κάποιες περιοχές, ενώ υποεκτίμηση αυτών σε κάποιες άλλες περιοχές. Επιπρόσθετα, λαμβάνονται μη ρεαλιστικές τιμές για τη σημαντικότητα και τα διαστήματα εμπιστοσύνης των συντελεστών της παλινδρόμησης, γιατί η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων βασίζεται στην υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες. Οπότε, εάν αυτές δεν είναι ανεξάρτητες, τότε η εκτίμηση των βαθμών ελευθερίας θα είναι πολύ υψηλή και η εκτίμηση των τυπικών σφαλμάτων θα είναι πολύ χαμηλή. Αυτό μπορεί να μας οδηγήσει στην εσφαλμένη αντίληψη ότι κάποιοι συντελεστές είναι σημαντικοί, ενώ στην ουσία δεν είναι, επειδή η συγκέντρωση ίδιων τιμών μιας μεταβλητής σε μια περιοχή σημαίνει ότι στην πραγματικότητα υπάρχει μικρότερος αριθμός ανεξάρτητων παρατηρήσεων απ' ό,τι έχει θεωρηθεί. Για παράδειγμα, ο αριθμός των παρατηρήσεων που λαμβάνονται για μια μεταβλητή μπορεί να είναι $n=20$, αλλά στην ουσία ο αριθμός των ανεξάρτητων παρατηρήσεων να είναι $n=10$, αφού οι υπόλοιπες τιμές αφορούν στην ουσία την τιμή μιας παρατήρησης που παρέμεινε ίδια για 10 γειτονικά σημεία, λόγω της χωρικής αυτοσυσχέτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Σύνοψη

Συμπερασματικά, στο μοντέλο που προέκυψε από την εργασία αυτή, φαίνεται ότι υπερισχύει η υπόθεση της ενέργειας και ειδικότερα του δυναμικού νερού-ενέργειας, ενώ ακολουθεί η υπόθεση της ετερογένειας του τοπίου και τελευταία η υπόθεση της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών. Επομένως, οι μεταβλητές των κατακρημνισμάτων και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής αποτελούν το σημείο εκκίνησης σε μια top-down προσέγγιση της ερμηνείας της διαβάθμισης της ποικιλότητας στην κλίμακα τοπίου που εξετάζεται. Σε συνδυασμό με την ποικιλότητα των χρήσεων γης και την παραγωγικότητα η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου φτάνει στο 33%. Το ποσοστό αυτό, αν και σχετικά μικρό, θεωρήθηκε ικανοποιητικό συγκρινόμενο με παρόμοιες μελέτες. Άλλες μεταβλητές, που σχετίζονται με το τοπογραφικό ανάγλυφο και την ποικιλότητα του εδάφους (SLOPE, SHANNON_LU) και θα μπορούσαν να προσδώσουν ισχύ στην ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου, δεν αποδείχτηκαν στατιστικά σημαντικές στην ανάλυση. Αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι δεν εμπλέκονται στη διαμόρφωση του προτύπου διαβάθμισης της ποικιλότητας στην Κρήτη, αλλά ότι ενδεχομένως εμφανίζουν ισχυρή συγγραμμικότητα με τις κλιματικές μεταβλητές και τις μεταβλητές της ετερογένειας του τοπίου. Σύμφωνα με τη λογική της top-down προσέγγισης, για την ερμηνεία της υπολειμματικής παραλλακτικότητας πρέπει να μεταβούμε σε πιο διακριτές κλίμακες ανάλυσης, στις οποίες εξετάζονται ερευνητικά ερωτήματα εφαρμοσμένης οικολογίας (Cowling et al. 1997 στο O'Brien 2000) και στις οποίες μπορούν να παραχθούν βιογεωγραφικές υποθέσεις. Έτσι, σε επίπεδο είδους η μεταβλητότητα αυτή μπορεί να οφείλεται σε πρόσφατα γεγονότα ή παράγοντες όπως π.χ. εκρήξεις ηφαιστείων, ασθένειες, εδαφικούς περιορισμούς. Επίσης, σε τοπική πλέον κλίμακα, θα ήταν σκόπιμο να διερευνηθούν παράγοντες όπως ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών και η επίδραση των διαταραχών στα οικοσυστήματα (καθώς και οι αντίστοιχες υποθέσεις), η ετερογένεια των οποίων δεν είναι μετρήσιμη σε κλίμακα τοπίου (Currie 1991). Ο Drakare (2006) συμπληρωματικά αναφέρει ότι οι διαβαθμίσεις στην ποικιλότητα σε τοπικές κλίμακες δε συνδέονται πλέον μόνο με παράγοντες όπως ο ανταγωνισμός και η δυναμική των πληθυσμών, αλλά και με διαφορές στην αφθονία των ειδών σε ευρύτερες -περιφερειακές- χωρικές κλίμακες που προέρχονται από διαδικασίες όπως η ειδογένεση, η αποίκηση και η δυναμική των εκλείψεων των ειδών μιας περιοχής.

Η μετάβαση από τη μια κλίμακα στην άλλη χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί παρόλο που η ποικιλότητα παρουσιάζει αλληλεξάρτηση σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα, αυτές οι κλίμακες αντιπροσωπεύουν διακριτά επίπεδα βιολογικής οργάνωσης. Στην περίπτωση της τοπικής κλίμακας αναδεικνύονται οικολογικοί μηχανισμοί που λειτουργούν μέσα στις

κοινότητες, σε αντίθεση με εκείνους τους οικολογικούς και ιστορικούς μηχανισμούς που επηρεάζουν την διακίνηση των οργανισμών μεταξύ των κοινοτήτων μιας περιοχής και εντοπίζονται σε κλίμακα περιφερειακή. Έτσι, μηχανισμοί που σχετίζονται με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών (π.χ. ανταγωνισμός) ή περιορισμοί διασποράς έχουν μεγαλύτερη σημασία σε τοπικό επίπεδο, ενώ μηχανισμοί που συνδέονται με τους ρυθμούς ειδογένεσης και εξαφάνισης παίζουν σημαντικότερο ρόλο σε περιφερειακό επίπεδο (Ricklefs & Schluter 1993 στο Willig et al. 2003).

Η μελλοντική πρόκληση για την επιστήμη της οικολογίας είναι η εύρεση των συνδυαστικών μηχανισμών μεταξύ των προσεγγίσεων που αφορούν την οικολογία της κοινότητας και αυτές της οικοσυστημικής οικολογίας, που στην ουσία είναι δυο διαφορετικές όψεις της ίδιας πραγματικότητας. Το κλειδί για το σημαντικό αυτό βήμα βρίσκεται στη διερεύνηση της σχέσης της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημικών λειτουργιών, με παράλληλη μετάβαση από τις μελέτες πεδίου τοπικής κλίμακας, που σχεδόν μονοπωλούν τις θεωρητικές και πειραματικές εφαρμογές, σε μελέτες κλίμακας τοπίου, στις οποίες λαμβάνονται οι διαχειριστικές αποφάσεις.

5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μια αδυναμία της παρούσας εργασίας ήταν ότι δεν έλαβε υπόψιν τη χωρική αυτοσυσχέτιση που συνοδεύει συχνά μεταβλητές όπως είναι οι περιβαλλοντικές. Όταν διαπιστώνεται ότι οι υπολειμματικές τιμές της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων εμφανίζουν χωρική αυτοσυσχέτιση, θα πρέπει να εφαρμόζονται εναλλακτικές μέθοδοι ανάλυσης, χωρικής στατιστικής, που λαμβάνουν υπόψιν την αυτοσυσχέτιση των υπολειμμάτων. Η αδυναμία ενσωμάτωσης της χωρικής δομής των δεδομένων σε ένα μοντέλο μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των εκτιμήσεων που έχουν γίνει με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και η σχετική σημασία των μεταβλητών του μοντέλου μπορεί να είναι παραπλανητική. Προκειμένου λοιπόν να κατανοηθεί η χωρική οργάνωση των μεταβλητών που εισάχθηκαν στο μοντέλο της παρούσας εργασίας πρέπει να εφαρμοστεί χωρική στατιστική, που προτείνεται ως επόμενο αναγκαίο βήμα της εργασίας, ούτως ώστε το μοντέλο πρόβλεψης της διαβάθμισης της ποικιλότητας στην Κρήτη να γίνει πιο αξιόπιστο και ενδεχομένως να βελτιωθεί ως προς την ερμηνευτική του ικανότητα.

Άλλη μια πρόταση για την αναβάθμιση της εργασίας είναι η βελτίωση του δεδομένου της συνολικής βροχόπτωσης, έτσι ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία του μοντέλου. Αυτό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω θα επιτευχθεί εάν ληφθεί υπόψιν και το τοπογραφικό ανάγλυφο (π.χ. μέσω της κατανομής των ισοϋψών καμπυλών) στην συμπερασματική εξαγωγή τιμών της μεταβλητής των κατακρημνισμάτων για όλο το νησί με τη διαδικασία της χωρικής παρεμβολής.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εξέταση της αντίστροφης σχέσης μεταξύ της παραγωγικότητας και της ποικιλότητας στην Κρήτη, δηλαδή κατά πόσο το επίπεδο της παραγωγικότητας σε ένα οικοσύστημα μπορεί να εξαρτάται από τον αριθμό των ειδών που αυτό φιλοξενεί. Το πώς επηρεάζει η παραγωγικότητα την ποικιλότητα έχει διερευνηθεί σε μεγάλη έκταση, και αποτελεί την συνήθη προσέγγιση της σχέσης των 2 παραμέτρων. Ωστόσο, σε πρόσφατες έρευνες (Naeem et al. 1994, 1996, Tilman et al. 1996, 1997, Symstad et al. 1998, Hector et al. 1999 στο Mittelbach et al. 2001) διερευνάται και η αντίστροφη σχέση. Σύμφωνα με τους Mittelbach et al. (2001), η εξέταση των οικολογικών και εξελικτικών επιδράσεων της αφθονίας των ειδών πάνω στην παραγωγικότητα είναι ένα πεδίο έρευνας που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και πιθανότατα θα απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα την επόμενη δεκαετία, καθώς αποτελεί το κλειδί για την πληρέστερη κατανόηση των σχέσεων παραγωγικότητας-ποικιλότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Abrams, P. A. 1995. Monotonic or unimodal diversity–productivity gradients: what does competition theory predict? *Ecology*. 76: 2019-2027.
- Bates, H. W. 1862. Contributions to an insect fauna of the Amazon valley. Lepidoptera: Heliconidae. *Transactions of the Linnean Society*. 23: 495-566.
- Blamey, M. & Grey-Wilson, C. 2004, reprinted 2005. **Wild Flowers of the Mediterranean. A complete guide to the islands and coastal regions**. A&C Black. London, pp.560.
- Blondel, J. & Aronson, J. 1999. **Biology and wildlife of the Mediterranean region**. Oxford University Press, Oxford.
- Bokma, F., J. and M. Moˆnkkoˆnen. 2001. Random processes and geographic species richness patterns: why so few species in the north? *Ecography*. 24: 43-49.
- Brown, J. H. 1981. Two decades of homage to Santa Rosalia: toward a general theory of diversity. *American Zoologist*. 21: 877-888.
- Brown, J.H. & Lomolino, M.V. 1998. *Biogeography*, 2nd edn. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA.
- Cardillo, M. 2002. Body size and latitudinal gradients in regional diversity of New World birds. *Global Ecology and Biogeography* 11:59–65.
- Carson, W. P. & Barrett, G. W. 1988. Succession in old-field plant communities: effects of contrasting types of nutrient enrichment. *Ecology* 69: 984-994.
- Colwell, R. & Hurtt, G. 1994. Nonbiological gradients in species richness and spurious Rapoport effect. *American Naturalist*. 144: 570–595.
- Colwell, R.K. & Lees, D.C. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology and Evolution*, 15: 70-76.
- Connell, J. H., & E. Orias. 1964. The ecological regulation of species diversity. *American Naturalist*. 98: 399-414.
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R. et al. 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Cowling, R. M., Richardson, D. M., Schulze, R. E. et al. 1997. Species diversity at the regional scale. – In: Cowling, R. M., Richardson, D. M. & Pierce, S. M. (eds), *Vegetation of southern Africa*. Cambridge Univ. Press, pp. 447-473.
- Curran, P. J. 1982. Multispectral photographic remote-sensing of green vegetation biomass and productivity. *Photogram. Eng. Rem. Sens.* 48: 243-250.

- Currie, D. J. & Paquin, V. 1987. Large-scale biogeographical patterns of species richness of trees. *Nature*. 329: 326-327.
- Currie, D.J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *The American Naturalist*. 137: 27-49.
- Dafis, S., Papastergiadou, E., Georgiou, K., Babalonas, D., Georgiadis, T., Papageorgiou, M., Lazaridou, T. & Tsiaoussi, V. 1996. **Directive 92/43/EEC. The Greek Habitat Project NATURA 2000: an overview.** Life Contract B4–3200/84/756, Commission of the European Communities DG XI. The Goulandris Natural History Museum — Greek Biotope/Wetland Centre. Thessaloniki, Greece. pp. 932.
- Darwin, C. R. 1839. *The zoology of the voyage of H.M. Ship Beagle, under the command of Captain Fitzroy, R.N., during the years 1832 to 1836.* Smith, Elder and Co., London, UK.
- Dayton, K. 2003. The importance of natural sciences to conservation. *American Naturalist*. 162:1–12.
- Dimitrakopoulos, P.G., Memtsas, D. & Troumbis, A.Y. 2004. Questioning the effectiveness of the Natura 2000 Special Areas of Conservation strategy: the case of Crete. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 199-207.
- DiTommaso, A. & Aarssen, L. W. 1989. Resource manipulations in natural vegetation: a review. *Vegetatio* 84: 9-29.
- Drakare, S., Lennon, J. J. and Hillebrand, H. 2006. The imprint of the geographical, evolutionary and ecological context on species–area relationships. *Ecology Letters*. 9: 215–227
- Dynesius, M., & Jansson, R. 2000. Evolutionary consequences of changes in species' geographical distributions driven by Milankovitch climate oscillations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 97:9115-9120.
- Ehrlich, P.R. & Ehrlich, A.H. 1981. *Extinction. The Causes and Consequences of the Disappearance of Species.* Random House.
- Ganzhorn, J. U., Malcomber, S., Andrianantoanina, O. & Goodman, S. M. 1997. Habitat characteristics and lemur species richness in Madagascar. *Biotropica*. 29: 331-343.
- Gaston, B. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220–227.
- Gaston, K. J. and Williams, P. H. 1996. Spatial patterns in taxonomic diversity. In: Gaston, K. J. (ed.), *Biodiversity: a biology of numbers and difference.* Cambridge University Press, pp. 202-229

- Goldberg, D. E. & Miller, T. E. 1990. Effects of different resource additions on species diversity in an annual plant community. *Ecology* 71: 213-225.
- Gough, L., Osenberg, C. W., Gross, K. L. & Collins, S. L. 2000. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oikos* 89: 428-439.
- Goward, S. N., Tucker, C. J. and Dye, D. G. 1985. North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high-resolution radiometer. *Vegetatio*. 64: 3-14.
- Grime, J. P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*. 111: 1169-1194.
- Gross, K. L., Willig, M. R., Gough, L. et al. 2000. Patterns of species density and productivity at different spatial scales in herbaceous plant communities. *Oikos* 89: 417-427.
- Hawkins, B.A., Field, R., Cornell, H.V., Currie, D.J., Guégan, J.-F., Kaufman, D.M. et al. 2003b. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*. 84: 3105-3117.
- Hawkins, B.A., Porter, E.E., Diniz-Filho, J.A.F., 2003a. Productivity and history as predictors of the latitudinal diversity gradient of terrestrial birds. *Ecology*. 84, 1608-1623.
- Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C. et al. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science*. 286: 1123-1127.
- Hillebrand, H. (2004). On the Generality of the Latitudinal Diversity Gradient., the *American Naturalist* 163 no. 2: 192-211.
- Hoffer, R.M. 1978. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: P.H. Swain and S.M. Davis (eds). *Remote sensing: The quantitative approach*. McGraw-Hill Inc. p. 227-289.
- Hughes, T., D. R. Bellwood, and S. Connolly. (2002). Biodiversity hotspots, centers of endemism, and the conservation of coral reefs. *Ecology Letters* 5:775-784.
- Humboldt, A. & Bonpland, A. 1807. *Essai sur la Géographie des Plantes Accompagné d'un Tableau Physique des Régions Equinoxiales* (Reprinted 1977. Arno Press, New York).
- Huston, M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist*. 113: 81-101.

- Huston, M. A. 1994. Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hutchinson, G. E. 1959. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? *American Naturalist*. 93: 145-159.
- Johnson, K.H., Vogt, K.A., Clark, H.J., Schmitz, O.J. & Vogt, D.J. (1996) Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trend in Ecology and Evolution*. 11: 372-377
- Kerr, J. T. & Packer, L. 1997. Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high-energy regions. *Nature*. 385: 252-254.
- Kerr, J. T., Southwood, T. R. E. & Cihlar, J. 2001. Remotely sensed habitat diversity predicts butterfly species richness and community similarity in Canada. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 98: 11365-11370.
- Kessler, M. 2001. Pteridophyte species richness in Andean forests in Bolivia. *Biodiversity and Conservation*. 10:1473-1495.
- Lawton, J. 1994. What do species do in ecosystems. *Oikos*. 71: 367-374.
- Lawton, J. H. & Brown, V. K. 1993. Redundancy in ecosystems. In: Schulze, E.D. & Mooney, H. A. (eds). *Biodiversity and ecosystem function*. Springer, pp. 255–270.
- Lees, D. C., C. Kremen, and L. Andriamampianina. 1999. A null model for species richness gradients: bounded range overlap of butterflies and other rainforest endemics in Madagascar. *Biological Journal of the Linnean Society* 67:529-584.
- Legendre, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm. *Ecology*. 74: 1659-1673.
- Loreau, M. 2000. Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos*. 91: 3-17.
- MacArthur, R. 1955. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology*. 36: 533-536.
- MacArthur, R. H., and E. O. Wilson. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Medail, F. & Quezel, P. 1997. Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 84: 112-127.
- Mittelbach et al. 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology*. 82: 2381-2396.
- Mittelbach, G. G., Steiner, C. F., Scheiner, S. M., Gross, K. L., Reynolds, H. L., Waide, R. B., Willig, M. R., Dodson, S. I. & Gough, L. 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology*. 82: 2381-2396.

- Mora, C., and Robertson, R. 2005. Causes of latitudinal gradients in species richness: a test with fishes of the tropical eastern pacific. *Ecology* 86:1771-1782
- Naeem S., Hakansson K., Lawton J.H., Crawley M.J., Thompson L.J. 1996. Biodiversity and plant productivity in a model assemblage of plant species. *Oikos*. 76: 259-264.
- Naeem, S., Thompson, L. J., Lawler, S. P. et al. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*. 368: 734-737.
- Newman, E. I. 1973. Competition and diversity in herbaceous vegetation. *Nature* 244: 310-311.
- O'Brien, E. M. 1993. Climatic gradients in woody plant species richness: towards an explanation based on an analysis of southern Africa woody flora. *Journal of Biogeography*. 20:181-198.
- O'Brien, E.M. 2006. Biological relativity to water-energy dynamics. *Journal of Biogeography*. 33: 1868-1888.
- O'Brien, E.M., Field, R. & Whittaker, R. J. 2000. Climatic gradients in woody plant (tree and shrub) diversity: water-energy dynamics, residual variation, and topography. *Oikos*. 89: 3, 588-600.
- Pearson, D. L. & Carroll, S. S. 1998. Global patterns of species richness: spatial models for conservation planning using bioindicator and precipitation data. *Conservation Biology* 12:809–821.
- Phitos, D., Strid, A. & Snogerup, S. 1997. **Flora Hellenica, Volume 1**. Koeltz Scientific Books, D-6240 Koenigstein/ Federal Republic of Germany, pp.547.
- Phitos, D., Strid, A. & Snogerup, S. 2002. **Flora Hellenica, Volume 2**. A.R.G. Gantner Verlag K.G., pp.511.
- Phitos, D., Strid, A., Snogerup, S. & Greuter, W. 1995. **The red data book of rare and threatened plants of Greece**. WWF Hellas, Athens.
- Pianka, E. R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of the concepts. *American Naturalist*. 100: 33-46.
- Pimm, S. L. & Gittleman, J. L. 1992. Biological diversity: where is it? *Science*. 255: 940.
- Pratt, C. R. 1984. The response of *Solidago graminifolia* and *S. juncea* to nitrogen fertilization applications: changes in biomass allocation and implications for community structure. *Bull. Torrey Bot. Club*. 111: 469-478.
- Quezel, P. 1978. Analysis of the flora of the Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 65: 479-534.

- Quezel, P. 1985. Definition of the Mediterranean region and the origin of its flora. Pages 9-24 in C. Comez-Campo, editor. Plant conservation in the Mediterranean area. Geobotany 7. Dr. W. Junk, Dordrecht, The Netherlands.
- Rahbek, C. & Graves, G. R. 2001. Multiscale assessment of patterns of avian species richness. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 98: 4534-4539.
- Rajaniemi, T. K. 2003. Explaining productivity-diversity relationships in plants. Oikos. 101: 449-457.
- Rapoport, E.H. 1975. Areografía: Estrategias Geográficas de las Especies. Fondo de Cultura Económica.
- Richerson, P. J., & Lum, K. 1980. Patterns of plant species diversity in California: relation to weather and topography. American Naturalist. 116: 504-536.
- Ricklefs, R. E., Latham, R. E. & Qian, H. 1999. Global patterns of tree species richness in moist forests: distinguishing ecological influences and historical contingency. Oikos. 86: 369-373.
- Ritchie, M. E. & Olf, H. 1999. Spatial scaling laws yield a synthetic theory of biodiversity. Nature 400: 557-560.
- Rodriguez, M. A., Belmontes J. A. and Hawkins, B. A. 2005. Energy, water and large-scale patterns of reptile and amphibian species richness in Europe. Acta Oecologica. 28: 65-70.
- Rohde, K. 1992. Latitudinal gradients in species diversity: the search of the primary cause. Oikos 65:514–527.
- Rohde, K. 1999. Latitudinal gradients in species diversity and Rapoport's rule revisited: a review of recent work and what can parasites teach us about the causes of the gradients. Ecography. 22: 593-613.
- Rosenzweig, M. L. & Abramsky, Z. 1993. How are diversity and productivity related? In: Ricklefs, R. E. and Schluter, D. (eds), Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives. Univ. of Chicago Press, pp. 52–65.
- Rosenzweig, M. L. 1995. Species Diversity in Space and Time. Cambridge University Press, Cambridge.
- Saunders, D. A., Hobbs, R. J. & Margules, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conservation Biology. 5:18-32.
- Sfikas, G., 1987. **Wild Flowers of Crete**. P. Efstathiadis & Sons S.A, pp.310.
- Shmida, A. & Wilson. M.V. 1985. Biological determinants of species diversity. Journal of Biogeography. 12: 1-20.

- Solbrig, O. 1991. From genes to ecosystems: a research agenda for biodiversity. IUBS/SCOPE/UNESCO, New York
- Stevens, G.C. 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *American Naturalist*. 133: 240-256.
- Swingland IR. 2001. Definitions of biodiversity. See Levin 2001. *Encyclopedia of Biodiversity*. San Diego Academic. pp. 377-91.
- Symstad, A.J., Tilman, D., Wilson, J. & Knops, J.M. 1998. Species loss and ecosystem functioning: effects of species identity and community composition. *Oikos* 81: 389-397.
- Tilman, D. and Pacala, S. 1993. The maintenance of species richness in plant communities. In: Ricklefs, R. E. and Schluter, D. (eds), *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. University of Chicago Press, pp. 13-25.
- Tobler, W. 1970. A computer model simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*. 46: (2) 234-240.
- Tognelli, M. F. & Kelt, D. A. 2004. Analysis of determinants of mammalian species richness in South America using spatial autoregressive models. *Ecography*. 27: 427-436.
- Troumbis, A.Y. and Memtsas, D. 2000. Observational evidence that diversity may increase productivity in Mediterranean shrublands. *Oecologia*. 125: 101-108.
- Turland, N.J., Chilton, L. & Press, J.R. 1993. **Flora of the Cretan area: annotated checklist and atlas**. The Natural History Museum, HMSO, London.
- Turner, J. R. G., C. M. Gatehouse, and C. A. Corey. 1987. Does solar energy control organic diversity? Butterflies, moths and the British climate. *Oikos* 48: 195-205
- Turner, J. R. G., J. Lennon, and J. D. Greenwood. 1996. Does climate cause the global biodiversity gradient? Pages 199-220 *in* M. E. Hochberg, J. Clobert, and R. Barbault, editors. *Aspects of the genesis and maintenance of biological diversity*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Turner, J.R.G., Lennon, J.J. & Greenwood, J.J.D. 1996. Does climate cause the global biodiversity gradient? *Aspects of the genesis and maintenance of biodiversity* (ed. by M.E. Hochberg, J. Clobert & R. Barbault), pp. 199–220. Oxford University Press, Oxford.
- Tutin, T.G. 1964. **Flora europaea, Volume 1**. Lycopodiaceae to platanaceae. Edited by T. G. Tutin [et. al.] ; With the assistance of P. W. Ball; A. O. Chater , p.p.464.

- Tutin, T.G. 1988. **Flora europaea, Volume 2**. Rosaceae to umbelliferae. Edited by T. G. Tutin [et. al.] ; With the assistance of P. W. Ball; A. O. Chater; I. K. Ferguson, p.p. 469.
- Tutin, T.G. 1989, **Flora europaea, Volume 5**. Alismataceae to orchidaceae (Monocotyledones). Edited by T. G. Tutin [et. al.] ; With the assistance of A. O. Chater; I. B. K. Richardson, p.p. 452.
- Tutin, T.G. 1989. **Flora europaea, Volume 4**. Plantaginaceae to compositae (and rubiaceae). Edited by T. G. Tutin [et. al.] ; With the assistance of A. O. Chater [et. al.], p.p. 505.
- Tutin, T.G. 1990. **Flora europaea, Volume 3**. Diapensiaceae to myoporaceae. Edited by T. G. Tutin [et. al.] ; With the assistance of P. W. Ball [et. al.], p.p.385.
- von Humboldt, A. 1808. Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen. J. G. Cotta, Tübingen, Germany.
- Waide, R. B., Willig, M. R., Steiner, C. F. et al. 1999. The relationship between productivity and species richness. *Annu. Rev. Ecol. Sys.* 30: 257-300.
- Walker, B. 1992. Biodiversity and ecological redundancy, *Conservation Biology*. 6: 18-23.
- Wallace, A. R. 1853. On the habits of the butterflies of the Amazon valley. *Transactions of the Entomological Society of London (N.S.)*. 2:253-264.
- Wallace, A. R. 1878. *Tropical nature and other essays*. Macmillan, London, UK.
- Whittaker, R. J., & R. Field. 2000. Tree species richness modeling: an approach of global applicability? *Oikos*. 89: 399-402.
- Whittaker, R. J., Willis, K. J. & Field, R. 2001. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*. 28: 453-470.
- Williamson, M. 1988. Relationship of species number to area, distance and other variables σ : *Analytical Biogeography: an Integrated Approach to the Study of Animal and Plant Distributions* (eds. A. A. Myers & P. S. Giller) pp. 91-115. Chapman & Hall, London.
- Willig, M. R., D. M. Kaufman, & R. D. Stevens. 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 34:273–309.
- Willig, M. R., Kaufman, D. M. & Stevens, R. D. 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 34: 273-309.

- Willig, M.R. & Lyons, S.K. 1998. An analytical model of latitudinal gradients of species richness with an empirical test for marsupials and bats in the New World. *Oikos* 81: 93–98
- Wright, D. H. 1983. Species-energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos*. 41: 496-506.
- Wright, D. H., D. J. Currie, & B. A. Maurer. 1993. Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales. Pages 66–74 in R. E. Ricklefs & D. Schluter, editors. *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Yachi, S. & Loreau, M. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 96: 1463-1468.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξανδρίδης, Θ. 2003. Επίδραση κλίμακας στη μέτρηση υδατικών παραμέτρων και παραμέτρων βλάστησης με τεχνικές τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωπονίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Δημητρακόπουλος, Π. Γ. 2006. *Διαχείριση Προστατευτέων Περιοχών*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις Π.Μ.Σ. Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- Κουτσόπουλος, Κ. 2002. *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, σ.σ. 401.
- Κουτσόπουλος, Κ. & Ανδρουλακάκης, Ν. 2003. *Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού Arc GIS*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, σ.σ. 397.
- Μερτίκας, Σ. Π. 1999, *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*, Εκδόσεις “ΙΩΝ”, σ.σ. 449.
- Μηλιαρέσης, Γ. Χ. 2003. *Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση*. Εκδόσεις «ΙΩΝ». Αθήνα, σ.σ. 243.
- Παπαγεωργίου, Ν. Κ. 1995. *Οικολογία & Διαχείριση Άγριας Πανίδας*. Εκδόσεις “University Studio Press”, Θεσσαλονίκη, σ.σ. 222.

- Παπαπαναγιώτου, Ε. 2005. *Σεμινάριο στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Π.Μ.Σ. Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- Σφήκας, Γ. 1994. *Δένδρα και θάμνοι της Ελλάδας*. Efstathiadis Group A.E., σ.σ. 209.
- Τζατζόγλου Κ. 2004. Ανάλυση των σημαντικών παραγόντων που καθορίζουν τον πλούτο των ειδών σε περιφερειακό επίπεδο με τη χρήση χωρικής στατιστικής και Σ.Γ.Π. Αδημοσίευτη Πτυχιακή εργασία που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου στη Μυτιλήνη.
- Χιντήρογλου, Χ. & Βαφειδής, Δ. 2002. *Βιοποικιλότητα. Μια εισαγωγή (μετάφραση-επιμέλεια από το Biodiversity των Gaston, K. J. & Spicer, J. I. 1998. Blackwell Science), σ.σ. 175.*
-

Δικτυακοί Χώροι

- Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης - ΟΑΔΥΚ, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.oadyk.gr/content/view/33/37>, ημερομηνία επίσκεψης: 2/2/2007.
- Plants for a future. Edible, medicinal and useful plants for a healthier world. Ιστοσελίδα: <http://www.pfaf.org/index.html>, ημερομηνία επίσκεψης: 2/12/2006-20/12/2006.
- PFAF Database. Ιστοσελίδα: http://www.ibiblio.org/pfaf/D_search.html, ημερομηνία επίσκεψης: 2/12/2006-20/12/2006.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΔΕΝΤΡΑ	
ΔΕΝΤΡΑ	ΔΕΝΤΡΑ Η' ΘΑΜΝΟΙ
<i>Ailanthus altissima</i>	<i>Acer sempervirens</i>
<i>Cypressus sempervirens</i>	<i>Celtis tournefortii</i>
<i>Castanea sativa</i>	<i>Corylus avellana</i>
<i>Ceratonia siliqua</i>	<i>Crataegus azarolus</i> var. <i>aronia</i>
<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Crataegus monogyna</i> ssp <i>azarella</i>
<i>Olea europaea</i> sensu lato	<i>Ficus carica</i>
<i>Olea europaea</i> ssp <i>europaea</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i> ssp <i>macrocarpa</i>
<i>Olea europaea</i> ssp <i>oleaster</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i> ssp <i>oxycedrus</i>
<i>Phoenix theophrasti</i>	<i>Juniperus phoenicea</i> sensu lato
<i>Pinus brutia</i>	<i>Laurus nobilis</i>
<i>Platanus orientalis</i>	<i>Nicotiana glauca</i>
<i>Quercus ithaburensis</i> ssp <i>macrolepis</i>	<i>Prunus webbii</i>
<i>Quercus pubescens</i> sensu lato	<i>Pyrus spinosa</i>
<i>Salix alba</i> sensu lato	<i>Quercus coccifera</i>
<i>Sorbus aria</i> ssp <i>cretica</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Sorbus umbellata</i> ssp <i>umbellata</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>
<i>Ulmus minor</i> ssp <i>canescens</i>	<i>Tamarix parviflora</i>
	<i>Tamarix smyrnensis</i>
	<i>Zelkova abelicea</i>

Πίνακας 1: Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Δέντρα».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΘΑΜΝΟΙ			
ΜΕΓΑΛΟΙ ΘΑΜΝΟΙ		ΜΙΚΡΟΙ ΘΑΜΝΟΙ	ΑΝΑΠΠΟΜΕΝΟΙ ΘΑΜΝΟΙ
Acantholimon ulicinum	(συνέχεια...)	Andrachne telephioides sensu lato	Cionura erecta
Amelanchier ovalis ssp cretica	Medicago arborea	Artemisia herba-alba	Vitis vinifera ssp sylvestris
Anagyris foetida	Medicago strasseri	Asperula rigida	Lonicera nummulariifolia ssp nummulariifolia
Anthyllis aegaea	Myrtus communis ssp communis	Atriplex recurva	Hedera helix ssp helix
Anthyllis hermanniae	Nerium oleander ssp oleander	Chamaecytisus creticus	Clematis elisabethae-carolae
Arbutus andrachne	Ononis spinosa ssp diacantha	Convolvulus oleifolius sensu lato	
Arbutus unedo	Opuntia ficus-barbarica	Cressa cretica	
Arundo donax	Osyris alba	Dianthus fruticosus ssp amorginus	
Arundo pliniana	Periploca angustifolia	Dianthus fruticosus ssp creticus	
Asclepias fruticosa	Phillyrea latifolia	Dianthus fruticosus ssp occidentalis	
Astragalus angustifolius ssp angustifolius	Phlomis cretica	Dianthus fruticosus ssp sitiacus	
Atraphaxis billardieri	Phlomis fruticosa	Dianthus juniperinus ssp aciphyllus	
Atriplex halimus	Phlomis lanata	Dianthus juniperinus ssp bauhinorum	
Atriplex portulacoides	Phragmites australis	Dianthus juniperinus ssp heldreichii	
Berberis cretica	Pistacia lentiscus	Dianthus juniperinus ssp idaeus	
Cephalaria squamiflora ssp squamiflora	Pistacia terebinthus ssp terebinthus	Dianthus juniperinus ssp juniperinus	
Cistus creticus sensu lato	Plumbago auriculata	Dianthus juniperinus ssp kavusicus	
Cistus monspeliensis	Prasium majus	Dianthus juniperinus ssp pulviniformis	
Cistus parviflorus	Prunus prostrata	Dorycnium hirsutum	
Cistus salvifolius	Ptilostemon chamaepeuce	Dorycnium rectum	
Convolvulus argyrothamos	Ptilostemon gnaphalodes ssp pseudofrut	Erysimum candicum ssp candicum	
Convolvulus dorycnium	Punica granatum	Genista monspessulana	
Coronilla valentina	Rhus coriaria	Helianthemum stipulatum	
Cotinus coggygria	Ribes uva-crispa ssp austro-europaeum	Helichrysum microphyllum	
Cotoneaster nummularia	Rosa agrestis	Iberis sempervirens	
Daphne gnidioides	Rosa canina	Inula crithmoides	
Daphne jasminea	Rosa dumalis ssp dumalis	Leontice leontopetalum ssp leontopetalum	
Daphne oleoides ssp oleoides	Rosa pulverulenta	Lutzia cretica	
Daphne sericea	Rosa sempervirens	Lysimachia serpyllifolia	
Ebenus cretica	Rosmarinus officinalis	Odontites linkii ssp cretica	
Erica arborea	Rubus sanctus	Phagnalon graecum	
Erica manipuliflora	Ruscus hypophyllum	Phagnalon pygmaeum	
Eupatorium adenophorum	Salsola aegaea	Ricinus communis	
Euphorbia acanthothamnus	Salsola carpatha	Ruscus aculeatus	
Euphorbia dendroides	Salvia fruticosa	Ruta chalepensis ssp chalepensis	
Genista acanthoclada ssp acanthoclada	Salvia pomifera ssp pomifera	Ruta chalepensis ssp fumariifolia	
Globularia alypum	Sambucus ebulus	Sarcocornia perennis	
Hypericum aciferum	Smilax aspera	Satureja spinosa	
Hypericum aegypticum	Solanum elaeagnifolium	Stachelina fruticosa	
Hypericum hircinum sensu lato	Spartium junceum	Stachelina petiolata	
Lavandula stoechas ssp stoechas	Styrax officinalis	Teucrium cuneifolium	
Lavatera bryoniifolia	Suaeda vera	Teucrium microphyllum	
Limoniastrum monopetalum	Teucrium brevifolium	Thymbra calostachya	
Linum arboreum	Viburnum tinus	Verbascum spinosum	
Lonicera etrusca	Viscum album sensu lato	Withania somnifera	
Lycium schweinfurthii	Vitex agnus-castus	Zygophyllum album	

Πίνακας 2: Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Θάμνοι».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΦΡΥΓΑΝΑ-ΝΑΝΩΔΕΙΣ ΘΑΜΝΟΙ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ	
		ΦΤΕΡΕΣ	ΑΝΑΡΡΙΧΟΜΕΝΑ
Achillea cretica	(συνέχεια...)	Asplenium aegaeum	Myosotis solange
Anthemis abrotanifolia	Juncus nobulosa	Asplenium creticum	Cicer incisum
Arthrocnemum macrostachum	Juncus subulatus	Asplenium lepidum ssp. haussknechtii	Ononis reclinata
Asperula idaea	Lithodora hispidula ssp hispidula	Asplenium lepidum ssp. lepidum	Ononis verae
Asperula tournefortii	Ononis natrix ssp hispanica	Asplenium obovatum ssp. obovatum	Aristolochia cretica
Astracantha cretica	Origanum calcaratum	Asplenium onopteris	Aristolochia parvifolia
Calicotome villosa	Origanum dictamnus	Asplenium ruta-muraria ssp. ruta-muraria	Aristolochia sempervirens
Capparis spinosa ssp rupestris	Origanum microphyllum	Asplenium trichomanes sensu lato	Cynanchum acutum ssp acutum
Capparis spinosa ssp spinosa var. canescens	Putoria calabrica	Asplenium trichomanes ssp. inexpectans	Calystegia sepium ssp sepium
Centaurea spinosa ssp spinosa	Rhamnus lycioides ssp oleoides	Asplenium trichomanes ssp. pachyrachis	Convolvulus arvensis
Coridothymus capitatus	Rhamnus saxatilis ssp prunifolia	Asplenium trichomanes-ramosum	Convolvulus elegantissimus
Ephedra campylopoda	Sanguisorba minor sensu lato	Ceterach officinarum ssp. officinarum	Bryonia cretica ssp cretica
Fumana arabica	Sarcopoterium spinosum	Phyllitis scolopendrium ssp. scolopendrium	Clematis cirrhosa
Fumana paphlagonica ssp alpina	Satureja candica (Micromeria hispida)	Athyrium filix-femina	Tamus communis
Fumana thymifolia	Satureja juliana	Cystopteris fragilis	
Helianthemum hymettium	Satureja myrtifolia	Blechnum spicant	
Helianthemum lippii	Satureja sphaciotica (Micromeria sphaciotica)	Polypodium cambricum ssp australe	
Helichrysum barrelieri	Satureja thymbra	Pteris vittata	
Hypericum amblycalyx	Senecio gnaphalodes	Cheilanthes maderensis	
Hypericum empetrifolium sensu lato	Silene fruticosa	Cheilanthes persica	
Hypericum empetrifolium ssp empetrifolium	Telephium imperati ssp pauciflorum	Adiantum capillus-veneris	
Hypericum empetrifolium ssp oliganthum	Teucrium alpestre	Dryopteris pallida ssp. pallida	
Hypericum empetrifolium ssp tortuosum	Teucrium capitatum	Polystichum lonchitis	
Inula pseudolimonella	Teucrium gracile	Polystichum setiferum	
Juncus bufonius	Thymelaea hirsuta	Woodwardia radicans	
Juncus forsteri	Thymelaea tartonraira sensu lato	Pteridium aquilinum sensu lato	
Juncus heldreichianus ssp heldreichianus	Thymus leucotrichus ssp leucotrichus		
Juncus hybridus	Vinca major ssp major		

Πίνακας 3: Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Φρύγανα ή Νανώδεις Θάμνοι» και των φυτικών ειδών της κατηγορίας «Ποώδη Φυτά» των υποκατηγοριών «φτέρες» και «αναρριχόμενα».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣ			
	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)
Abutilon theophrasti	Amaranthus albus	Arabis cretica	Ballota acetabulosa
Acanthus spinosus	Amaranthus blitoides	Arabis verna	Ballota nigra ssp uncinata
Aceras anthropophorum	Amaranthus graecizans	Arenaria cretica	Ballota pseudodictamnus ssp pseudodictamnus
Adonis microcarpa ssp cretica	Amaranthus hypochondriacus	Arenaria filicaulis ssp graeca	Barlia robertiana
Aeluropus lagopoides	Amaranthus paniculatus	Arenaria fragillima	Bassia scoparia
Aeluropus littoralis	Amaranthus retroflexus	Arenaria guicciardii	Bellardia trixago
Aetheorhiza bulbosa ssp. microcephala	Amaranthus viridis	Arenaria muralis	Bellevalia brevipedicellata
Aethionema saxatile ssp creticum	Ammi majus	Arenaria saponarioides	Bellevalia dubia
Agave americana	Ammophila arenaria ssp arundinacea	Arenaria serpyllifolia ssp aegaea	Bellis annua ssp. annua
Agrostemma githago	Anacamptis pyramidalis	Arenaria serpyllifolia ssp leptoclados	Bellis longifolia
Agrostis gigantea ssp gigantea	Anagallis arvensis sensu lato	Arenaria serpyllifolia ssp serpyllifolia	Bellis perennis
Agrostis stolonifera	Anagallis foemina	Arisarum vulgare	Bellis sylvestris
Aira elegantissima	Anagallis tenella	Aristida caerulea	Bellium minutum
Ajuga chamaepitys ssp chia	Anchusa aegyptiaca	Arum alpinum	Beta adanensis
Ajuga iva	Anchusa cespitosa	Arum concinatum	Beta macrocarpa
Ajuga orientalis	Anchusa hybrida	Arum creticum	Beta vulgaris ssp maritima
Alcea biennis sensu lato	Anchusa italica	Arum cyrenaicum	Biarum davisii ssp davisii
Alisma lanceolatum	Anchusa variegata	Arum idaeum	Biarum tenuifolium ssp idomenaeum
Alkanna sieberi	Androcymbium rechingeri	Arum purpureospathum	Biarum tenuifolium ssp ten. var. zelebori
Alkanna tinctoria sensu lato	Andropogon distachyos	Asparagus aphyllus ssp orientalis	Bifora testiculata
Allium ampeloprasum	Anemone coronaria	Asparagus stipularis	Biscutella didyma sensu lato
Allium bourgeaui ssp creticum	Anemone hortensis ssp heldreichii	Asperula arvensis	Bituminaria bituminosa
Allium callimischon ssp haemostictum	Anethum graveolens	Asperula crassula	Blackstonia acuminata ssp acuminata
Allium chamaespathum	Anogramma leptophylla	Asperula pubescens	Blackstonia perfoliata sensu lato
Allium circinnatum ssp circinatum	Anthemis altissima	Asperula taygetea	Bolanthus creutzburgii
Allium commutatum	Anthemis ammanthus ssp ammanthus	Asphodeline aestivus	Bolboschoenus maritimus
Allium dilatatum	Anthemis ammanthus ssp paleacea	Asphodeline liburnica	Borago officinalis
Allium hirtovaginatatum	Anthemis arborescens	Asphodeline lutea	Brachypodium distachyon
Allium longanum	Anthemis arvensis sensu lato	Asphodeline fistulosus	Brachypodium retusum
Allium neapolitanum	Anthemis chia	Aster creticus	Brachypodium rupestre
Allium nigrum	Anthemis cotula	Aster squamatus	Brachypodium sylvaticum ssp creticum
Allium paniculatum	Anthemis filicaulis	Aster tripolium	Brachypodium sylvaticum ssp sylvaticum
Allium roseum	Anthemis glaberrima	Asteriscus spinosus	Brassica cretica ssp aegaea
Allium rubrovittatum	Anthemis melanolepis	Asterolinon linum-stellatum	Brassica cretica ssp cretica
Allium scorodoprasum ssp rotundum	Anthemis rigida ssp rigida	Astragalus depressus ssp depressus	Brassica nigra
Allium subhirsutum	Anthemis tomentella	Astragalus hamosus	Brassica tournefortii
Allium tardans	Anthoxanthum gracile	Astragalus nummularius	Briza maxima
Allium trifoliatum	Anthoxanthum odoratum ssp odoratum	Astragalus pelecinus	Briza minor
Alopecurus myosuroides	Anthoxanthum ovatum	Astragalus sinaicus	Bromus alopecuros
Alyssum fallacinum	Anthriscus nemorosa	Athamanta macedonica	Bromus caroli-henrici
Alyssum foliosum	Anthyllis vulneraria ssp rubriflora	Atractylis cancellata ssp. cancellata	Bromus catharticus
Alyssum fragillimum	Antirrhinum majus	Atractylis gummifera	Bromus diandrus
Alyssum idaeum	Aphanes arvensis	Atriplex patula	Bromus fasciculatus
Alyssum lassiticum	Apium graveolens	Atriplex rosea	Bromus hordaceus ssp divaricatus
Alyssum minutum	Apium nodiflorum	Aubrieta deltoidea	Bromus intermedius
Alyssum siculum	Aptenia cordifolia	Aurinina saxatilis ssp megalocarpa	Bromus madritensis
Alyssum simplex	Arabidopsis thaliana	Avena barbata	Bromus racemosus
Alyssum smyrnaeum	Arabis alpina sensu lato	Avena sterilis sensu lato	Bromus rigidus
Alyssum sphacioticum	Arabis auriculata	Avenula cycladum	Bromus rubens
Alyssum strigosum			

Πίνακας 4: Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣΣ			
(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)
Bromus scoparius	Carex flacca ssp serrulata	Cerastium brachypetalum sensu lato	Coriandrum sativum
Bromus squarrosus	Carex halleriana	Cerastium brachypetalum ssp doerfleri	Cornucopiae cucullatum
Bromus sterilis	Carex hispida	Cerastium brachypetalum ssp roeseri	Coronilla scorpioides
Bromus tectorum	Carex idaea	Cerastium comatum	Coronopus didymus
Bromus tomentellus	Carex illegitima	Cerastium dichotomum	Corrigiola litoralis ssp litoralis
Bubonium aquaticum	Carex mariscus	Cerastium glomeratum	Corydalis uniflora
Bufonia stricta ssp cecconiana	Carex otrubae	Cerastium scaposum	Corynephorus articulatus
Bufonia stricta ssp stricta	Carex pendula	Ceratophyllum demersum ssp demersum	Cosentinia vellea
Bunias erucago	Carex punctata	Cerintho major ssp major	Crassula alata
Bunium ferulaceum	Carex remota	Cerintho retorta	Crassula tillaea
Bupleurum gaudianum	Carlina barnebiana	Chaenorhinum idaeum	Crassula vaillantii
Bupleurum gracile	Carlina corymbosa ssp. curetum	Chaenorhinum rubrifolium ssp rubrifolium	Crepis auriculifolia
Bupleurum kakiskalae	Carlina corymbosa ssp. graeca	Chaerophyllum creticum	Crepis commutata
Bupleurum lancifolium	Carlina diae	Chenopodium album	Crepis cretica
Bupleurum semicompositum	Carlina lanata	Chenopodium ambrosioides	Crepis crupinastrum
Cachrys cristata	Carlina sitiensis	Chenopodium giganteum	Crepis foetida
Cakile maritima	Carrichtera annua	Chenopodium murale	Crepis fraasii sensu lato
Calendula arvensis	Carthamus boissieri	Chenopodium opulifolium	Crepis multiflora
Calepina irregularis	Carthamus dentatus ssp. ruber	Chenopodium vulvaria	Crepis pusilla
Callitriche cophocarpa	Carthamus lanatus ssp. baeticus	Chlamydomphora tridentata	Crepis rubra
Callitriche pulchra	Carthamus leucocaulos	Chondrilla juncea	Crepis sibthorpiana
Calystegia soldanella	Castellia tuberculosa	Chondrilla ramosissima	Crepis tybakiensis
Campanula aizoides	Castridium ventricosum	Christella dentata	Crepis vesicaria
Campanula cretica	Catapodium marinum	Chrozophora obliqua	Crepis zacintha
Campanula creutzburgii	Catapodium rigidum	Chrozophora tinctoria	Crithmum maritimum
Campanula erinus	Centaurea aegialophila	Chrysanthemum coronarium	Crithopsis delileana
Campanula hierapetrae	Centaurea argentea	Chrysanthemum segetum	Crocus boryi
Campanula jacquinii	Centaurea baldaccii	Cichorium intybus	Crocus cartwrightianus
Campanula laciniata	Centaurea calcitrapa ssp. calcitrapa	Cichorium pumilum	Crocus laevigatus
Campanula pelviformis	Centaurea idaea	Cichorium spinosum	Crocus oreocreticus
Campanula saxatilis ssp saxatilis	Centaurea lancifolia	Cirsium creticum ssp. creticum	Crocus sieberi ssp sieberi
Campanula spatulata ssp filicaulis	Centaurea melitensis	Cirsium creticum ssp. dictaeum	Crocus tournefortii
Campanula trichocalycina	Centaurea poculatoris	Cirsium morinifolium	Crucianella angustifolia
Campanula tubulosa	Centaurea pumilio	Cirsium vulgare	Crucianella latifolia
Capsella bursa-pastoris	Centaurea raphanina ssp raphanina	Cistanche phelypaea	Crucianella macrostachya
Cardamine graeca	Centaurea redempta	Clypeola jonthlaspi	Crypsis aculeata
Cardamine hirsuta	Centaurea solstitialis	Coix lacryma-jobi	Crypsis schoenoides
Cardaria draba ssp draba	Centaurea spruneri ssp. minoa	Colchicum cousturieri	Cuscuta atrans
Cardopodium corymbosum	Centaurium erythraea sensu lato	Colchicum cretense	Cuscuta epithimum sensu lato
Carduncellus caeruleus	Centaurium maritimum	Colchicum cupanii	Cuscuta planiflora
Carduus argentatus	Centaurium pulchellum	Colchicum macrophyllum	Cutandia maritima
Carduus pycnocephalus	Centaurium spicatum sensu lato	Colchicum pusillum	Cyclamen creticum
Carex caryophylla	Centaurium tenuiflorum sensu lato	Conium maculatum	Cyclamen graecum
Carex cretica	Centranthus calcitrapae ssp calcitrapae	Consolida ajacis	Cymbalaria longipes
Carex distachya	Centranthus ruber ssp ruber	Convolvulus althaeoides	Cymbalaria microcalyx ssp dodekanesi
Carex distans	Centranthus sieberi	Convolvulus libanoticus	Cymbalaria microcalyx ssp microcalyx
Carex divisa	Cephalanthera cucullata	Convolvulus siculus ssp siculus	Cymbalaria muralis ssp muralis
Carex divulsa	Cephalanthera damasonium	Conyza albida	Cynara cornigera
Carex extensa	Cephalanthera longifolia	Conyza canadensis	Cynodon dactylon

Πίνακας 4 (συνέχεια): Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣ			
(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)
Cynoglossum columnae	Echium plantagineum	Euphorbia helioscopia	Gagea graeca
Cynoglossum creticum	Eleocharis multicaulis	Euphorbia herniariifolia	Gagea peduncularis
Cynoglossum sphacioticum	Eleocharis palustris	Euphorbia hirsuta	Galactites tomentosa
Cynosurus echinatus	Eleocharis uniglumis	Euphorbia oblongata	Galium aparine
Cynosurus effusus	Eleusine indica	Euphorbia paralias	Galium canum ssp ovatum
Cyperus capitatus	Elymus elongatus ssp flaccidifolius	Euphorbia peplis	Galium citraceum
Cyperus fuscus	Elymus farctus	Euphorbia peplus	Galium debile
Cyperus longus	Elymus panormitanus	Euphorbia platyphyllos	Galium divaricatum
Cyperus rotundus	Elymus rechingeri	Euphorbia rechingeri	Galium extensum
Cytinus hypocistis ssp clusii	Elymus striatulus	Euphorbia sultan-hassei	Galium fruticosum
Cytinus hypocistis ssp hypocistis	Emex spinosa	Euphrasia salisburgensis ssp salisburgensis	Galium graecum ssp graecum
Dactylis glomerata ssp hackelii	Enarthrocarpus arcuatus	Fagonia cretica	Galium heldreichii
Dactylis glomerata ssp hispanica	Epilobium hirsutum	Fallopia convolvulus	Galium incanum ssp creticum
Dactylis glomerata ssp rigida	Epilobium lanceolatum	Fedia cornucopiae	Galium incurvum
Dactylorhiza romana	Epilobium parviflorum	Ferula communis sensu lato	Galium monachinii
Dasyphyrum villosum	Epipactis cretica	Ferula communis ssp communis	Galium murale
Datisca cannabina	Epipactis microphylla	Ferula communis ssp glauca	Galium peloponnesiacum
Daucus carota sensu lato	Equisetum ramosissimum	Ferulago nodosa	Galium rotundifolium
Daucus carota ssp drepanensis	Equisetum telmateia	Ferulago thyrsoflora	Galium samothracicum
Daucus guttatus ssp guttatus	Eragrostis cilianensis	Festuca arundinacea sensu lato	Galium setaceum
Daucus involucratus	Erigeron glabratus	Festuca gigantea	Galium tricorutum
Delphinium peregrinum	Erodium botrys	Festuca jeanpertia	Galium verticillatum
Delphinium staphisagria	Erodium ciconium	Festuca polita var. cretica	Gallium graecum ssp pseudocanum
Dianthus sphacioticus	Erodium cicutarium	Festuca sipylea	Garidella nigellastrum
Dianthus tripunctatus	Erodium crassifolium	Fibigia lunarioides	Garidella unguicularis
Dianthus xylorrhizus	Erodium gruinum	Filago aegea ssp aegea	Gaudinia fragilis
Didesmus aegyptius	Erodium laciniatum ssp laciniatum	Filago aegea ssp aristata	Geocaryum creticum
Digitaria ciliaris	Erodium malacoides	Filago arvensis	Geranium columbinum
Digitaria sanguinalis	Erodium moschatum	Filago contracta	Geranium dissectum
Diploaxis viminea	Erodium neuradifolium	Filago cretensis ssp cretensis	Geranium lucidum
Dittrichia graveolens	Erophila preacox	Filago eriocephala	Geranium molle ssp molle
Dittrichia viscosa ssp. viscosa	Erophila verna sensu lato	Filago gallica	Geranium purpureum
Draba cretica	Erophila verna sensu stricto	Filago pygmaea ssp pygmaea	Geranium rotundifolium
Draba muralis	ErUCA sativa sensu lato	Filago pyramidata	Geranium tuberosum ssp tuberosum
Drabopsis nuda	Erucaria hispanica	Fillago germanica	Geropogon hybridus
Dracunculus vulgaris	Eryngium amarginum	Fimbristylis sieberiana	Gladiolus italicus
Drimia maritima	Eryngium campestre	Foeniculum vulgare ssp piperitum	Glaucium corniculatum ssp corniculatum
Ecballium elaterium	Eryngium creticum	Frankenia hirsuta	Glaucium flavum
Echinaria capitata	Eryngium maritimum	Frankenia pulverulenta ssp pulverulenta	Glycyrrhiza glabra
Echinochloa colona	Eryngium ternatum	Fritillaria graeca	Gynandrisis monophylla
Echinochloa crus-galli	Erysimum creticum	Fritillaria messanensis ssp messanensis	Gynandrisis sisyriuchium
Echinophora tenuifolia ssp sibthorpiana	Erysimum mutabile	Fuirena pubescens	Gypsophilla nana
Echinops spinosissimus sensu lato	Erysimum raulinii	Fumaria macrocarpa ssp macrocarpa	Hainardia cylindrica
Echinops spinosissimus ssp bithynicus	Euphorbia chamaesyce	Fumaria officinalis ssp officinalis	Halophila stipulacea
Echinops spinosissimus ssp spinosissimus	Euphorbia characias sensu lato	Fumaria petteri ssp petteri	Hedypnois cretica
Echium angustifolium ssp angustifolium	Euphorbia deflexa	Gagea bohemica ssp bohemica	Hedysarum spinosissimum ssp spinosissimum
Echium arenarium	Euphorbia dimorphocaulon	Gagea chrysantha	Helianthemum salicifolium
Echium italicum ssp. biebersteinii	Euphorbia exigua	Gagea commutata	Helichrysum doerfleri
Echium parviflorum	Euphorbia falcata ssp falcata	Gagea fibrosa	Helichrysum heldreichii

Πίνακας 4 (συνέχεια): Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣ			
(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)
Helichrysum orientale	Iris planifolia	Lepidium hirtum ssp oxyotum	Lotus peregrinus
Heliotropium dolosum	Iris pseudacorus	Lepidium spinosum	Lunaria annua ssp pachyrhiza
Heliotropium europaeum	Iris unguicularis ssp cretensis	Lepidium virginicum	Lupinus albus ssp albus
Heliotropium hirsutissimum	Isoetes hystrix	Limodorum abortivum ssp abortivum	Lupinus angustifolius
Heliotropium supinum	Isolepis cernua	Limonium aucheri	Lupinus micranthus
Hellenocarum multiflorum	Juncellus laevigatus ssp distachyos	Limonium echioides sensu lato	Lupinus pilosus
Helminthotheca echioides	Juncus acutus ssp acutus	Limonium frederici	Lygeum spartum
Hemarthria altissima	Juncus articulatus	Limonium graecum	Lythrum borysthenticum
Hermodactylus tuberosus	Juncus capitatus	Limonium hierapetrae	Lythrum hyssopifolia
Herniaria cinerea	Juncus effusus	Limonium ocymifolium	Lythrum junceum
Herniaria hirsuta	Juncus inflexus	Limonium pigadiense	Malcolmia africana
Herniaria parnassica ssp cretica	Juncus littoralis	Limonium sieberi	Malcolmia chia
Hibiscus trionum	Juncus maritimus	Limonium sinuatum ssp sinuatum	Malcolmia flexuosa sensu lato
Hieracium schmidtii	Juncus minutulus	Limonium sitiacum	Malcolmia flexuosa ssp naxensis
Himantoglossum caprinum	Kickxia commutata ssp graeca	Limonium virgatum	Malcolmia nana
Hippocrepis biflora	Kickxia elatine ssp sieberi	Linaria chalepensis	Malva aegyptia
Hippocrepis ciliata	Kickxia spuria ssp integrifolia	Linaria pelisseriana	Malva cretica ssp cretica
Hirschfeldia incana	Knautia integrifolia sensu lato	Linaria simplex	Malva parviflora
Holosteum umbellatum ssp umbellatum	Kundmannia sicula	Linaria triphylla	Malva sylvestris
Hordeum bulbosum	Lactuca cynaroides	Linum bienne	Mandragora autumnalis
Hordeum geniculatum	Lactuca saligna	Linum corymbulosum	Marrubium vulgare
Hordeum leporinum ssp leporinum	Lactuca serriola	Linum nodiflorum	Matricaria recutita
Hordeum marinum	Lagoecia cuminoides	Linum pubescens sensu lato	Matthiola incana ssp incana
Hordeum spontaneum	Lagurus ovatus sensu lato	Linum strictum sensu lato	Matthiola sinuata sensu lato
Hornungria petraea	Lamarckia aurea	Linum trigynum	Matthiola tricuspidata
Horstrissea dolinicola	Lamium amplexicaule ssp amplexicaule	Linum usitatissimum	Medicago arabica
Hydrocotyle vulgaris	Lamium garganicum ssp striatum	Listera ovata	Medicago ciliaris
Hymenocarpus circinnatus	Lamium purpureum	Lithospermum arvense	Medicago constricta
Hymenolobus procumbens ssp procumbens	Lathyrus amphicarpos	Lithospermum incrassatum	Medicago coronata
Hymenonema graecum	Lathyrus annuus	Lolium perenne	Medicago disciformis
Hyoscyamus albus	Lathyrus aphaca	Lolium rigidum sensu lato	Medicago falcata
Hyoscyamus aureus	Lathyrus cicera	Lolium temulentum	Medicago littoralis
Hyoseris lucida	Lathyrus clymenum	Lomelosia albocincta	Medicago lupulina
Hyoseris scabra	Lathyrus hierosolymitanus	Lomelosia brachiata	Medicago marina
Hypecoum procumbens ssp procumbens	Lathyrus laxiflorus ssp laxiflorus	Lomelosia divaricata	Medicago minima
Hypericum triquetrifolium	Lathyrus neurolobus	Lomelosia minoana ssp asterusica	Medicago monspeliaca
Hypericum jovis	Lathyrus ochrus	Lomelosia minoana ssp minoana	Medicago murex
Hypericum kelleri	Lathyrus saxatilis	Lomelosia sphaciotica	Medicago orbicularis
Hypericum perforatum	Lathyrus setifolius	Lotus angustissimus	Medicago polymorpha
Hypericum perforatum sensu lato	Lathyrus sphaericus	Lotus conimbricensis	Medicago praecox
Hypericum trichocaulon	Lavatera arborea	Lotus corniculatus	Medicago rigidula
Hypochoeris achyrophorus	Lavatera cretica	Lotus cytisoides	Medicago rugosa
Hypochoeris glabra	Lecokia cretica	Lotus edulis	Medicago sativa ssp sativa
Hypochoeris radicata	Legousia hybrida	Lotus glaber	Medicago scutellata
Hypochoeris tenuiflora	Legousia pentagonia	Lotus halophilus	Medicago truncatula
Hyparrhenia hirta	Legousia speculum-veneris	Lotus ornithopodioides	Medicago tuberculata
Imperata cylindrica	Lemna minor	Lotus palustris	Melica ciliata
Inula candida	Lens ervoides	Lotus parviflorus	Melica ramosa
Ipomoea imperati	Leontodon tuberosus	Lotus pedunculatus	Melica rectiflora

Πίνακας 4 (συνέχεια): Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣ			
(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)
Melilotus graecus	Nigella fumariifolia	Orchis lactea	Parietaria lusitanica ssp lusitanica
Melilotus indicus	Nigella stricta	Orchis laxiflora ssp laxiflora	Paronychia echinulata
Melilotus italicus	Notobasis syriaca	Orchis palustris	Paronychia macrosepala
Melilotus messanensis	Oenanthe pimpinelloides	Orchis papilionacea	Paspalum dilatatum
Melilotus neapolitanus	Onobrychis aequidentata	Orchis pauciflora	Paspalum distichum
Melilotus sulcatus	Onobrychis caput-galli	Orchis prisca	Persicaria lanigera
Melissa officinalis ssp altissima	Onobrychis sphaciotica	Orchis provincialis	Persicaria salicifolia
Mentha aquatica	Ononis mitissima	Orchis quadripunctata	Petromarula pinnata
Mentha longifolia sensu lato	Ononis ornithopodioides	Orchis sancta	Petrorhagia candica
Mentha pulegium sensu lato	Ononis pubescens	Orchis simia	Petrorhagia dianthoides
Mentha spicata sensu lato	Ononis sieberi	Orchis tridentata	Petrorhagia illyrica ssp taygetea
Mercurialis annua	Ononis viscosa ssp breviflora	Origanum onites	Petrorhagia velutina
Mesembryanthemum crystallinum	Onopordum bracteatum ssp creticum	Origanum vulgare ssp hirtum	Peucedanum alpinum
Mesembryanthemum nodiflorum	Onopordum illyricum ssp cardunculus	Orlaya daucoides	Phalaris aquatica
Milium vernale ssp montianum	Onopordum majoris	Orlaya grandiflora	Phalaris minor
Minuartia globulosa	Onopordum tauricum	Ornithogalum arabicum	Phalaris paradoxa
Minuartia hybrida ssp hybrida	Onosma erectum ssp erectum	Ornithogalum creticum	Phleum crypsoides ssp crypsoides
Minuartia mediterranea	Onosma graecum	Ornithogalum divergens	Phleum exaratum ssp aegaeum
Minuartia mesogitana ssp kotschyana	Ophioglossum lusitanicum	Ornithogalum exscapum sensu lato	Phleum subulatum sensu lato
Minuartia verna ssp attica	Ophrys apifera	Ornithogalum narbonense	Phyla nodiflora
Minuartia wetsteinii	Ophrys basillisa	Ornithogalum nivale	Phytolacca americana
Misopates orontium	Ophrys bombyliflora	Ornithogalum nutans	Picnomon acarna
Moenchia graeca	Ophrys candica sensu lato	Ornithopus compressus	Picris altissima
Montia minor	Ophrys ciliata	Orobanche canescens	Picris pauciflora
Muscari dionysicum	Ophrys doerfleri	Orobanche crenata	Pimpinella cretica
Muscari commutatum	Ophrys fleischmanii	Orobanche hederac	Pimpinella peregrina
Muscari comosum	Ophrys fusca	Orobanche lavandulacea	Pimpinella tragium ssp depressa
Muscari macrocarpum	Ophrys heldreichii	Orobanche pubescens	Piptatherum coerulescens
Muscari neglectum	Ophrys holoserica sensu lato	Orobanche ramosa sensu lato	Piptatherum miliaceum ssp miliaceum
Muscari parviflorum	Ophrys holoserica ssp holoserica	Orobanche sanguinea	Piptatherum miliaceum ssp thomasii
Muscari spreitzenhoferi	Ophrys holoserica ssp maxima	Osmunda regalis	Pisum sativum ssp humile
Myosotis congesta	Ophrys iricolor	Otanthus maritimus	Pisum sativum ssp sativum
Myosotis incrassata	Ophrys lutea ssp lutea	Oxalis corniculata	Plantago afra
Myosotis ramosissima sensu lato	Ophrys lutea ssp minor	Oxalis debilis	Plantago albicans
Myosotis refracta ssp paucipilosa	Ophrys mammosa	Oxalis pes-caprae	Plantago altissima
Myosotis refracta ssp refracta	Ophrys omegaifera	Paeonia clusii ssp clusii	Plantago amplexicaulis ssp amplexicaulis
Myriophyllum spicatum	Ophrys sitiaca	Pancratium maritimum	Plantago arenaria
Narcissus serotinus	Ophrys sphegodes sensu lato	Panicum repens	Plantago bellardii sensu lato
Narcissus tazetta ssp tazetta	Ophrys sphegodes ssp cretensis	Papaver apulum	Plantago cretica
Nasturtium officinale	Ophrys sphegodes ssp gortynia	Papaver hybridum	Plantago lagopus
Neatostema apulum	Ophrys spruneri	Papaver purpureomarginatum	Plantago lanceolata
Neotinea maculata	Ophrys tenthredinifera	Papaver rhoeas	Plantago major sensu lato
Nepeta melissifolia	Opopanax hispidus	Paracaryum lithospermifolium ssp cariene	Plantago major ssp intermedia
Nepeta scordotis	Orchis anatolica sensu lato	Parapholis incurva	Plantago major ssp major
Nepeta sphaciotica	Orchis anatolica ssp sitiaca	Parapholis marginata	Plantago squarrosa
Neslia apiculata	Orchis boryi	Parentucellia latifolia ssp latifolia	Plantago weldenii ssp weldenii
Nigella arvensis ssp brevifolia	Orchis collina	Parentucellia viscosa	Poa annua
Nigella damascena	Orchis coriophora ssp fragrans	Parietaria cretica	Poa bulbosa ssp bublosa
Nigella doerfleri	Orchis italica	Parietaria judaica	Poa cenisia

Πίνακας 4 (συνέχεια): Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣ			
(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)
Poa infirma	Ranunculus lateriflorus	Salvia verbenaca	Sedum acre sensu lato
Poa palustris	Ranunculus marginatus	Salvia viridis	Sedum album sensu lato
Poa pelasgis	Ranunculus muricatus	Samolus valerandi	Sedum amplexicaule ssp tenuifolium
Poa timoleontis	Ranunculus ophioglossifolius	Sanguisorba cretica	Sedum caespitosum
Poa trivialis ssp sylvicola	Ranunculus paludosus	Sanguisorba minor ssp muricata	Sedum creticum sensu lato
Polycarpon tetraphyllum	Ranunculus peltatus sensu lato	Sanguisorba minor ssp verrucosa	Sedum delicum
Polygala monspeliaca	Ranunculus radinotrichus	Saponaria glutinosa	Sedum hispanicum
Polygala venulosa	Ranunculus sprunerianus	Satureja alpina ssp meridionalis	Sedum laconicum ssp insulare
Polygonum arenastrum	Ranunculus subhomophyllum	Satureja calamintha	Sedum litoreum
Polygonum aviculare	Ranunculus trichophyllum ssp trichophyllum	Satureja cretica (Melissa cretica)	Sedum magellense ssp olympicum
Polygonum equisetiforme	Ranunculus velutinus	Satureja graveolens (S. rotundifolia)	Sedum praesidis
Polygonum idaeum	Raphanus raphanistrum	Satureja nervosa	Sedum rubens
Polygonum longipes	Raphanus sativus	Satureja vulgaris ssp orientalis	Sedum sediforme
Polygonum maritimum	Rapistrum rugosum	Saxifraga chrysosplenifolia	Sedum tristriatum
Polypogon maritimus sensu lato	Reichardia intermedia	Saxifraga graeca	Selaginella denticulata
Polypogon monspeliensis	Reichardia orientalis	Saxifraga hederacea	Selinum silaifolium
Polypogon viridis	Reichardia picroides	Saxifraga tridactylites	Senecio fruticosus
Portulaca oleracea ssp oleracea	Reseda alba	Scaligeria halophila	Senecio gallicus
Posidonia oceanica	Reseda lutea ssp lutea	Scaligeria napiformis	Senecio squalidus
Potamogeton lucens	Reseda luteola	Scandix australis sensu lato	Senecio vulgaris
Potamogeton nodosus	Reseda odorata	Scandix australis ssp australis	Serapias bergonii
Potamogeton pectinatus	Rhagadiolus edulis	Scandix australis ssp balcanica	Serapias cordigera
Potamogeton trichoides	Rhagadiolus stellatus sensu lato	Scandix australis ssp curvirostris	Serapias lingua
Potentilla reptans	Rhagadiolus stellatus sensu stricto	Scandix brachycarpa	Serapias orientalis ssp orientalis
Potentilla speciosa	Ricotia cretica	Scandix macrorhyncha	Serapias parviflora
Primula vulgaris ssp vulgaris	Roemeria hybrida ssp hybrida	Scandix pecten-veneris	Serratula cichoracea ssp cretica
Prunella cretensis	Romulea bulbocodium	Scariola acanthifolia	Seseli gummiferum ssp crithmifolium
Prunella laciniata	Romulea ramiflora ssp ramiflora	Scariola alpestris	Sesleria doerfleri
Prunella vulgaris	Rostraria cristata	Scariola viminea	Setaria adhaerens
Pseudognaphalium luteo-album	Rosularia serrata	Schoenoplectus lacustris ssp tabernaemontani	Setaria pumila
Pseudorhiza pumila	Rubia peregrina	Schoenus nigricans	Setaria verticillata
Psilurus incurvus	Rubia tenuifolia sensu lato	Scilla autumnalis	Sherardia arvensis
Pterocephalus plumosus	Rubia tinctorum	Scilla nana	Sibthorpia europaea
Ptilostemon stellatus	Rumex acetosella ssp acetoselloides	Scirpoides holoschoenus	Sideritis curvidens
Pulicaria dysenterica	Rumex bucephalophorus ssp bucephalophorus	Scleranthus verticillatus	Sideritis syriaca ssp syriaca
Pulicaria odora	Rumex bucephalophorus ssp gallicus var. aega	Scolymus hispanicus	Silene ammophila ssp ammophila
Pycnus flavescens	Rumex conglomeratus	Scorpiurus muricatus	Silene antri-jovis
Pycnus flavidus	Rumex pulcher sensu lato	Scorzonera cretica	Silene behen
Radiola linoides	Rumex pulcher ssp pulcher	Scorzonera mollis ssp idaea	Silene bellidifolia
Ranunculus arvensis	Rumex pulcher ssp raulinii	Scrophularia auriculata	Silene cerastoides
Ranunculus asiaticus	Rumex pulcher ssp woodsii	Scrophularia heterophylla	Silene colorata ssp colorata
Ranunculus brevifolius sensu lato	Rumex tuberosus ssp creticus	Scrophularia peregrina	Silene cretica
Ranunculus bulbosus ssp aleae	Ruppia cirrhosa	Scrophularia lucida sensu lato	Silene dichotoma ssp racemosa
Ranunculus bullatus	Saccharum ravennae	Scutellaria hirta	Silene fuscata
Ranunculus chius	Sagina apetala	Scutellaria sieberi	Silene gallica
Ranunculus creticus	Sagina maritima	Securigera cretica	Silene gigantea
Ranunculus cupreus	Salicornia europaea	Securigera globosa	Silene holzmannii
Ranunculus ficaria ssp chrysocephalus	Salsola kali ssp kali	Securigera parviflora	Silene integripetala ssp greuteri
Ranunculus gracilis	Salvia pratensis sensu lato	Securigera securidaca	Silene multicaulis ssp cretica

Πίνακας 4 (συνέχεια): Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ΠΟΩΔΗ ΦΥΤΑ			
ΠΟΕΣ			
(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	(συνέχεια...)	
Silene nocturna	Stipa holosericea	Trifolium pallidum	Valerianella echinata
Silene pinetorum	Stipa parviflora	Trifolium physodes	Valerianella muricata
Silene sedoides	Streptorhamphus tuberosus	Trifolium praetermissum	Valerianella obtusiloba
Silene sieberi	Symphytum creticum	Trifolium repens	Valerianella turgida
Silene succulenta ssp succulenta	Taenatherum caput-medusae ssp crinitum	Trifolium resupinatum	Valerianella vesicaria
Silene thessalonica ssp dictaea	Tagetes minuta	Trifolium scabrum	Velezia rigida
Silene variegata	Taraxacum bithynicum	Trifolium spumosum	Ventenata subenervis
Silene vulgaris ssp macrocarpa	Taraxacum hellenicum	Trifolium stellatum	Verbascum arcturus
Silene vulgaris ssp suffrutescens	Taraxacum minimum	Trifolium subterraneum sensu lato	Verbascum macrurum
Silybum marianum	Taraxacum sect. Scariosa	Trifolium suffocatum	Verbascum sinuatum
Sinapis alba sensu lato	Teesdalia coronopifolia	Trifolium suffocatum	Verbena officinalis
Sinapis arvensis ssp arvensis	Tetragonolobus purpureus	Trifolium tenuifolium	Verbena supina
Sisymbrium officinale	Teucrium divaricatum ssp divaricatum	Trifolium tomentosum	Veronica anagallis-aquatica ssp anag.-aq.
Sisymbrium orientale	Teucrium flavum ssp gymnocalyx	Trifolium uniflorum	Veronica arvensis
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Trigonella bulbosa ssp barrelieri	Veronica beccabunga ssp beccabunga
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Trigonella balansae	Veronica cymbalaria
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Trigonella rechingeri	Veronica glauca ssp kavusica
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Trigonella spinosa	Veronica hederifolia
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triplachne nitens	Veronica persica
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tripodion tetraphyllum	Veronica polita
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum comosum ssp heldreichii	Veronica sartoriana
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum lorentii	Veronica thymifolia
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum markgrafii	Veronica triloba
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum neglectum	Vicia bithynica
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum umbellulatum	Vicia cretica
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum uniaristatum	Vicia ervilia
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Triticum vagans	Vicia hybrida
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tuberaria guttata sensu lato	Vicia lathyroides
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tulipa cretica	Vicia lutea
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tulipa doerfleri	Vicia parviflora
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tulipa goulimyi	Vicia peregrina
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tulipa saxatilis	Vicia pubescens
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tussilago farfara	Vicia sativa sensu lato
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Typha domingensis	Vicia sibthorpii
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Tyrimnus leucographus	Vicia tenuifolia ssp dalmatica
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Umbilicus horizontalis	Vicia villosa ssp microphylla
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Umbilicus luteus	Vicia villosa ssp varia
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Umbilicus parviflorus	Vincetoxicum creticum
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Umbilicus rupestris	Viola cretica
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Urospermum picroides	Viola fragrans
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Urtica dubia	Viola rauliniana
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Urtica pilulifera	Viola scorpiuroides
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Urtica urens	Vulpia ciliata ssp ciliata
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Utricularia vulgaris	Vulpia fasciculata
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Valantia aprica	Vulpia muralis
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Valantia hispida	Vulpia myuros
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Valantia muralis	Xanthium brasiliicum
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Valeriana asarifolia	Xanthium spinosum
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Valerianella coronata	Zannichellia palustris
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum	Valerianella discoidea	Zostera marina
Sisymbrium polyceratium	Teucrium flavum ssp hellenicum		

Πίνακας 4 (συνέχεια): Κατάλογος φυτικών ειδών που κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ποώδη Φυτά».

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Διερεύνηση Συσχετίσεων Κλιματικών Μεταβλητών

		PRECIPITAT	MAT	MAP_1	PE	AVERMIN_TE	AVERMAX_TE	PSEAS_MN	MAX_MESI_E	TSEAS_MN
PRECIPITAT	Pearson Correlation	1	-,150	-,150	-,133	-,199(*)	-,194(*)	,638(**)	,433(**)	-,346(**)
	Sig. (2-tailed)	.	,061	,061	,098	,012	,015	,000	,000	,000
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
MAT	Pearson Correlation	-,150	1	1,000(**)	,715(**)	,578(**)	,604(**)	-,106	-,032	,069
	Sig. (2-tailed)	,061	.	.	,000	,000	,000	,185	,691	,387
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
MAP_1	Pearson Correlation	-,150	1,000(**)	1	,715(**)	,578(**)	,604(**)	-,106	-,032	,069
	Sig. (2-tailed)	,061	.	.	,000	,000	,000	,185	,691	,387
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
PE	Pearson Correlation	-,133	,715(**)	,715(**)	1	,769(**)	,429(**)	-,183(*)	-,226(**)	,197(*)
	Sig. (2-tailed)	,098	,000	,000	.	,000	,000	,022	,004	,013
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
AVERMIN_TE	Pearson Correlation	-,199(*)	,578(**)	,578(**)	,769(**)	1	,368(**)	-,243(**)	-,242(**)	,309(**)
	Sig. (2-tailed)	,012	,000	,000	,000	.	,000	,002	,002	,000
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
AVERMAX_TE	Pearson Correlation	-,194(*)	,604(**)	,604(**)	,429(**)	,368(**)	1	,285(**)	,263(**)	-,108
	Sig. (2-tailed)	,015	,000	,000	,000	,000	.	,000	,001	,180
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
PSEAS_MN	Pearson Correlation	,638(**)	-,106	-,106	-,183(*)	-,243(**)	,285(**)	1	,562(**)	-,626(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,185	,185	,022	,002	,000	.	,000	,000
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
MAX_MESI_E	Pearson Correlation	,433(**)	-,032	-,032	-,226(**)	-,242(**)	,263(**)	,562(**)	1	-,511(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,691	,691	,004	,002	,001	,000	.	,000
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157
TSEAS_MN	Pearson Correlation	-,346(**)	,069	,069	,197(*)	,309(**)	-,108	-,626(**)	-,511(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,387	,387	,013	,000	,180	,000	,000	.
	N	157	157	157	157	157	157	157	157	157

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Πίνακας 1: Διερεύνηση συσχετίσεων (Pearson) μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών στο SPSS 11.5 for Windows.

Διερεύνηση Συσχετίσεων Κλιματικών Μεταβλητών

		SLOPE	ELEVATION	ELEV_STD
SLOPE	Pearson	1	,839(**)	,879(**)
	Correlation			
	Sig. (2-tailed)	.	,000	,000
	N	157	157	157
ELEVATION	Pearson	,839(**)	1	,768(**)
	Correlation			
	Sig. (2-tailed)	,000	.	,000
	N	157	157	157
ELEV_STD	Pearson	,879(**)	,768(**)	1
	Correlation			
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.
	N	157	157	157

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Πίνακας 2: Διερεύνηση συσχετίσεων (Pearson) μεταξύ των τοπογραφικών μεταβλητών στο SPSS 11.5 for Windows.

