



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τμήμα Φυσικής

Μεταπτυχιακό Φυσικής Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή στατιστικών μοντέλων για την πρόβλεψη της επίδρασης των βιοκλιματικών συνθηκών στην χλωρίδα της Κρήτης.

Όνομα: Ζαχαρένια

Επίθετο: Λαγωνικάκη

ΑΜ: 21203

Επιβλέπων Καθηγητής: Μελάς Δημήτριος

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Μελάς Δημήτριος, Καθηγητής

Σγαρδέλης Στέφανος, Καθηγητής

Τουρπάλη Κλεαρέτη, Αναπληρώτρια καθηγήτρια

Θεσσαλονίκη

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	6
1.1 Περιγραφή και στόχοι διπλωματικής.....	6
1.2 Πληροφορίες για την περιοχή μελέτης - Κρήτη.....	6
1.3 Κατάσταση χλωρίδας.....	9
1.4 Η χλωρίδα της Κρήτης.....	10
1.5 Αντιπροσωπευτικά φυτικά είδη.....	12
1.6 Είδη που εισήχθησαν από τον άνθρωπο.....	14
1.7 Ποικιλία βιοτόπων.....	14
1.8 Κλίμα Κρήτης.....	18
1.9 Τάση παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.....	19
1.10 Κλιματική αλλαγή και Ευρώπη.....	21
1.11 Κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο.....	21
1.12 Κλιματική αλλαγή και Κρήτη.....	25
1.13 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας – General Circulation Models (GCMs).....	26
1.14 Περιοχικά κλιματικά μοντέλα – Regional Climate Models (RCMs).....	27
1.15 Κλιματικά σενάρια.....	28
1.16 Αντιπροσωπευτικές πορείες συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs).....	29
1.17 Κλιματική αλλαγή και αλλαγές των φυτικών ειδών.....	31
1.18 Αλλαγή κλίματος και ατμοσφαιρική ρύπανση.....	37
1.19 Βιοκλιματικές συνθήκες και τροποποίηση αντίδρασης φυτών στους αέριους ρύπους.....	38
1.20 Μελέτη για επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη διανομή των φυτών στην Ευρώπη.....	39
Α. Σύντομη περιγραφή μελέτης.....	39
Β. Μέθοδοι στην υπάρχουσα μελέτη για την Ευρώπη.....	40
Γ. Αποτελέσματα μελέτης για την κατανομή των ειδών στην Ευρώπη.....	41

Κεφάλαιο 2 Μεθοδολογία

2.1 Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα και Lasso παλινδρόμηση.....	47
2.2 Δέντρα αποφάσεων.....	49
2.3 Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη.....	53

Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα

3.1 Περιγραφή δεδομένων	55
3.2 Βιοκλιματικές μεταβλητές.....	59
3.3 Διαχωρισμός κελιών πλέγματος Κρήτης.....	60
3.4 Αποτελέσματα για το <i>Myosotis Incrassata</i>	63
3.5 Αποτελέσματα για το <i>Ceterach Officinarium</i>	68
3.6 Αποτελέσματα για το <i>Coridothymus capitatus</i>	73
3.7 Μελλοντική πρόβλεψη για το σύνολο των φυτών.....	78

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα.....	83
------------------------------	----

Βιβλιογραφία	86
--------------------	----

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Τοπογραφικός χάρτης της Κρήτης με τις τρεις κύριες οροσειρές	7
Εικόνα 2 <i>Ebenus cretica</i>	15
Εικόνα 3 <i>Phoenix theoprasti</i>	17
Εικόνα 4 Πηγές αερίων του θερμοκηπίου	20
Εικόνα 5 Χωρική ανάλυση των Περιφερειακών Κλιματικών Μοντέλων - RCMs	27
Εικόνα 6 Προβλέψεις για την αύξηση α) της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας και β) της μέσης στάθμης θάλασσας, για τα διάφορα RCPs με χρήση μοντέλων CMIPs.....	30
Εικόνα 7 Ποσοστά φυτών που κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τα δύο ακραία σενάρια μετανάστευσης.....	42
Εικόνα 8 Υπέρβαση (κόκκινο χρώμα) και έλλειμμα (γκρίζο χρώμα) της απώλειας ειδών.....	44

Εικόνα 9	Χωρική ευαισθησία της ποικιλίας φυτών κατατασσόμενη από βιογεωγραφικές περιοχές.....	45
Εικόνα 10	Παράδειγμα αποτελέσματος γενικευμένου γραμμικού μοντέλου στην R.....	49
Εικόνα 11	Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων για κατηγοριοποίηση.....	51
Εικόνα 12	Παράδειγμα αποτελέσματος δέντρου αποφάσεων υπό συνθήκη.....	54
Εικόνα 13	<i>Myosotis Incrassata</i>	56
Εικόνα 14	Περιοχές ανάπτυξης του <i>Myosotis Incrassata</i>	57
Εικόνα 15	<i>Ceterach Officinatum</i>	57
Εικόνα 16	<i>Coridothymus Capitatus</i>	58
Εικόνα 17	Από αριστερά <i>Coridothymus Capitatus</i> , <i>Ceterach Officinatum</i> , <i>Myosotis Incrassata</i>	58
Εικόνα 18	Κελιά και λεκάνες απορροής.....	61
Εικόνα 19	Κελιά πλέγματος και Υπολεκάνες απορροής.....	61
Εικόνα 20	Η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο ενός χειμάρρου	62
Εικόνα 21	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με το Γενικευμένο Γραμμικό μοντέλο για το <i>Myosotis Incrassata</i>	65
Εικόνα 22	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Stepwise μέθοδο για το <i>Myosotis Incrassata</i>	66
Εικόνα 23	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Lasso παλινδρόμηση για το <i>Myosotis Incrassata</i>	66
Εικόνα 24	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά Δέντρα για το <i>Myosotis Incrassata</i>	67
Εικόνα 25	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη για το <i>Myosotis Incrassata</i>	67
Εικόνα 26	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με το Γενικευμένο Γραμμικό μοντέλο για το <i>Ceterach Officinatum</i>	70
Εικόνα 27	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Stepwise μέθοδο για το <i>Ceterach Officinatum</i>	71
Εικόνα 28	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Lasso παλινδρόμηση για το <i>Ceterach Officinatum</i>	71
Εικόνα 29	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά Δέντρα αποφάσεων για το <i>Ceterach Officinatum</i>	72

Εικόνα 30	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά Δέντρα με κλάδεμα για το <i>Ceterach Officinatum</i>	72
Εικόνα 31	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη για το <i>Ceterach Officinatum</i>	73
Εικόνα 32	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με το Γενικευμένο Γραμμικό μοντέλο για το <i>Coridothymus Capitatus</i>	76
Εικόνα 33	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Stepwise μέθοδο μοντέλο για το <i>Coridothymus Capitatus</i>	76
Εικόνα 34	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με Απλά Δέντρα αποφάσεων για το <i>Coridothymus Capitatus</i>	77
Εικόνα 35	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά Δέντρα με κλάδεμα για το <i>Coridothymus Capitatus</i>	77
Εικόνα 36	Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη για το <i>Coridothymus Capitatus</i>	78
Εικόνα 37	Κατανομή προβλέψεων από το GLM για την κατηγορία με λιγότερες από 34 παρατηρήσεις.....	79
Εικόνα 38	Κατανομή προβλέψεων από τα Δέντρα αποφάσεων για την κατηγορία με λιγότερες από 34 παρατηρήσεις.....	79
Εικόνα 39	Κατανομή προβλέψεων GLM για την κατηγορία με περισσότερες από 34 παρατηρήσεις και έως 67.....	80
Εικόνα 40	Κατανομή προβλέψεων Δέντρων αποφάσεων για την κατηγορία με περισσότερες από 34 παρατηρήσεις και έως 67.....	81
Εικόνα 41	Κατανομή προβλέψεων GLM για την κατηγορία με περισσότερες από 67 παρατηρήσεις.....	82
Εικόνα 42	Κατανομή προβλέψεων Δέντρων αποφάσεων για την κατηγορία με περισσότερες από 67 παρατηρήσεις.....	82

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1	Οι κυριότερες ταξινομικές ομάδες, οι οποίες αποτελούν τη χλωρίδα της Κρήτης.....	11
-----------	--	----

Πίνακας 2 Ο αριθμός των ενδημικών φυτών της Κρητικής χλωρίδας και το ποσοστό των ενδημικών φυτών.....	12
Πίνακας 3 Σύγκριση του αριθμού των ενδημικών φυτών στην Κρήτη σε σχέση με άλλες περιοχές με ενδιαφέρουσα χλωρίδα.....	60
Πίνακας 4 Παράδειγμα πίνακα Cross Validation από την βιβλιοθήκη Rpart.....	52
Πίνακας 5 Παράδειγμα αποτελέσματος πρόβλεψης από δέντρα απόφασης.....	52
Πίνακας 6 Τα τρία είδη φυτών, διαφορετικού αριθμού παρατηρήσεων που επιλέχθηκαν.....	56
Πίνακας 7 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην εργασία.....	60
Πίνακας 8 Αποτελέσματα πρόβλεψης για τα παροντικά δεδομένα στο φυτό <i>Myosotis Ingrassata</i>	63
Πίνακας 9 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο που αφορά το φυτό <i>Myosotis Ingrassata</i>	64
Πίνακας 10 Αριθμός των τοποθεσιών που προβλέπεται να υπάρχει το <i>Myosotis Ingrassata</i> με βάση τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα.....	65
Πίνακας 11 Αποτελέσματα πρόβλεψης για τα παροντικά δεδομένα στο φυτό <i>Ceterach Officinatum</i> ...	68
Πίνακας 12 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο που αφορά το φυτό <i>Ceterach Officinatum</i>	69
Πίνακας 13 Αριθμός των τοποθεσιών που προβλέπεται να υπάρχει το <i>Ceterach Officinatum</i> με βάση τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα.....	70
Πίνακας 14 Αποτελέσματα πρόβλεψης για τα παροντικά δεδομένα στο φυτό <i>Coridothymus Capitatus</i>	74
Πίνακας 15 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο που αφορά το φυτό <i>Coridothymus Capitatus</i>	75
Πίνακας 16 Αριθμός των τοποθεσιών που προβλέπεται να υπάρχει το <i>Coridothymus Capitatus</i> με βάση τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα.....	75
Πίνακας 17 Αποτελέσματα προβλέψεων για την κατηγορία με λιγότερες από 34 παρατηρήσεις.....	78
Πίνακας 18 Αποτελέσματα προβλέψεων για την κατηγορία από 34 έως 67 παρατηρήσεις.....	80
Πίνακας 19 Αποτελέσματα προβλέψεων για την κατηγορία με περισσότερες από 67 παρατηρήσεις.....	81

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει την ανησυχία ότι θα δούμε σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σύνθεση της χλωρίδας. Υπάρχουν, ήδη, ενδείξεις ότι κάποια φυτικά είδη μετατοπίζουν τα όρια της διανομής τους προς ανώτερα υψόμετρα και ο πληθυσμός κάποιων άλλων μεταβάλλεται. Στόχος της παρούσας μελέτης, αποτελεί η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο ένα μελλοντικό κλιματικό σενάριο, θα επηρεάσει τα όρια διανομής της χλωρίδας στην Κρήτη. Με σκοπό την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου θα πρέπει, πρώτα, να κατανοήσουμε πως εξαρτάται η διανομή τους από της κλιματικές συνθήκες του παρόντος. Εφόσον βρούμε τις κατάλληλες παραμέτρους σύνδεσης μεταξύ βιοκλιματικών συνθηκών και παρουσίας ή απουσίας των υπό μελέτη φυτικών ειδών, καθίσταται, στη συνέχεια, εφικτή, η χρήση των παραμετροποιημένων μοντέλων πρόβλεψης για την εκτίμηση των μελλοντικών εμφανίσεων των εξεταζόμενων ειδών.

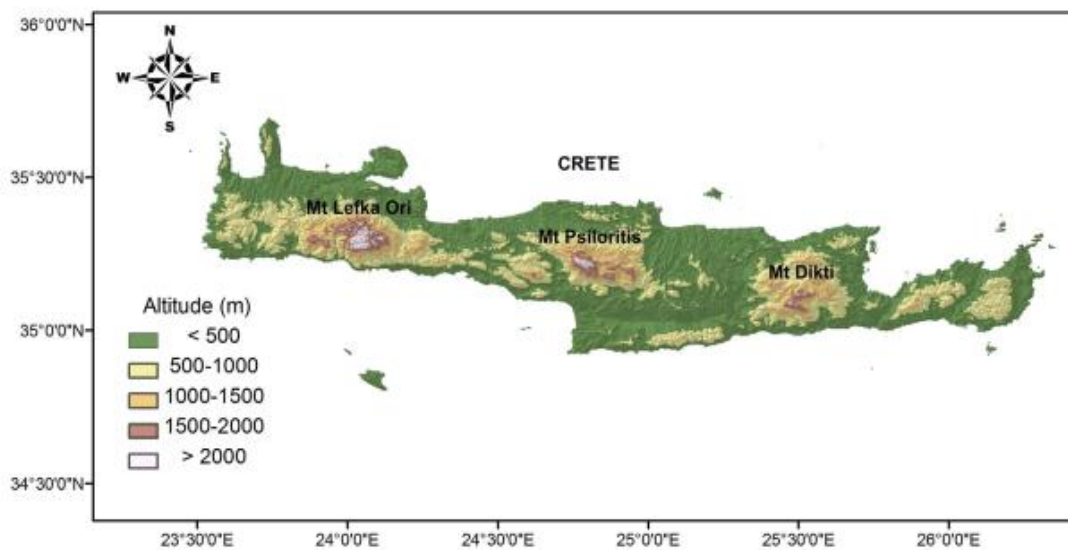
Τα δεδομένα επεξεργασίας περιλαμβάνουν την Κρήτη χωρισμένη σε 162 κελιά - τοποθεσίες, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος κάθε τοποθεσίας, τις παρουσίες χιλίων τετρακοσίων ενενήντα έξι (1496) φυτικών ειδών και υποειδών από επιτόπιες μετρήσεις σε κάθε κελί του πλέγματος και τις βιοκλιματικές συνθήκες του παρόντος και του μέλλοντος για το έτος 2050 υπό το πλαίσιο του σεναρίου της Αντιπροσωπευτικής Πορείας Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathway) RCP4.5. Το σύνολο των φυτικών ειδών χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες με βάση τον αριθμό εμφανίσεών τους και επιλέχθηκε από κάθε κατηγορία ένα φυτικό είδος. Στόχος αποτέλεσε ο σχηματισμός μιας, όσο το δυνατόν αντικειμενικής εικόνας, για την συμπεριφορά των μοντέλων σε φυτά με αρκετά μεγάλες διαφορές στην συχνότητα παρατήρησης. Από την επεξεργασία των δεδομένων, προέκυψαν μελλοντικοί χάρτες τοποθεσιών, οι σημαντικές βιοκλιματικές συνθήκες για τη διανομή των τριών αντιπροσωπευτικών φυτικών ειδών και οι προβλέψεις για τον αριθμό εμφανίσεών τους, στο μέλλον. Τέλος, έγινε μια εκτίμηση για το σύνολο των φυτικών ειδών, κάθε πληθυσμιακής κατηγορίας, με τη χρήση των μοντέλων που είχαν τη μεγαλύτερη ακρίβεια.

1.2 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΚΡΗΤΗ

Η Κρήτη είναι το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της λεκάνης της Μεσογείου και αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας με έκταση 8.336 km. Βρίσκεται στο κέντρο του τόξου του νοτίου Αιγαίου, το οποίο περιλαμβάνει την Ανατολική έως τη Δυτική Ρόδο, την Κάρπαθο, την Κάσο, τα Αντικύθηρα και τα Κύθηρα. Το νησί χαρακτηρίζεται από ορεινό

έδαφος που σχηματίζει μέτριας κλίσης πλαγιές και παράκτια επίπεδα στο βόρειο τμήμα, από νότιες πλαγιές που είναι πολύ πιο απότομες και σχηματίζουν πολλά φαράγγια και εκτεταμένα συστήματα γκρεμού. Μορφολογικά η Κρήτη μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ζώνες, την πεδινή που περιλαμβάνεται από τις ακτές μέχρι το υψόμετρο 200, την ημιορεινή που βρίσκεται ανάμεσα στα υψόμετρα 200-400 και την ορεινή που βρίσκεται πάνω από υψόμετρο 400. Η ορεινή και ημιορεινή καταλαμβάνουν τα 3/5 της ολικής έκτασης του νησιού. Στο νησί υπάρχουν τρεις οροσειρές: τα Λευκά Όρη (δυτικά) με 57 κορυφές πάνω από τα 2000 m και την ψηλότερη στα 2452 m, ο Ψηλορείτης (κεντρικά) με την ψηλότερη κορυφή στα 2456 m στο κεντρικό μέρος και ο Δίκτης ή Λασιθιώτικα Όρη (ανατολικά) με την κορυφή του στα 2148 m (Εικόνα 1).

Εικόνα 1: Τοπογραφικός χάρτης της Κρήτης με τις τρεις κύριες οροσειρές (P. Trigas et.al 2013)



Topographic map of Crete with the three main mountain massifs.

Η Κρήτη αντιπροσωπεύει, με την ορολογία του (Greuter W, 1972), ένα «υποηπειρωτικό σύστημα», "του οποίου το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελούσε μέρος μιας πολύ μεγαλύτερης ηπείρου και κατά συνέπεια έχει εξελιχθεί από μια ισορροπημένη ηπειρωτική χλωρίδα. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι τα περισσότερα είδη κρητικών ενδημικών φυτών και μερικά μη ενδημικά, είναι υπολείμματα αυτής της παλαιότερης ηπειρωτικής χλωρίδας και ο ενδημισμός οδηγήθηκε ίσως από την απώλεια ειδών στην ηπειρωτική χώρα μετά την απομόνωση του νησιού (Greuter W (1972), Cellinese N et al. (2009)). Ωστόσο, αρκετές περιπτώσεις 'in situ' ακτινοβολίας, μετά την απομόνωση του νησιού, έχουν προταθεί, ιδιαίτερα των ορεινών οικοτύπων από τα πεδινά είδη (Greuter W, 1972).

Η συμβολή της διασποράς κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων στη διαμόρφωση της σημερινής χλωρίδας της Κρήτης φαίνεται να είναι περιορισμένη (Cellinese N et al. (2009),

Bittkau C, Comes HP (2005)). Μία σημαντική εξαίρεση περιλαμβάνει φυτικά είδη που μεταφέρθηκαν στο νησί μέσω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Η ανθρώπινη παρουσία στην Κρήτη διαρκεί 9000 χρόνια, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τη χλωρίδα και τη βλάστηση του νησιού (Lyrintzis G et al(1995), Atherden MA et al(1999)). Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχαιότερη αρχαιολογική απόδειξη για τη νεολιθική οικονομία στη ΝΑ Ευρώπη χρονολογείται στο 7000 πΧ, με την ίδρυση μιας ολοκληρωμένης καλλιέργειας στην Κνωσό, στο νησί της Κρήτης (Efstratiou N, 2005). Έχει εκτιμηθεί ότι περίπου το ένα τρίτο της άγριας χλωρίδας της Κρήτης έχει εισαχθεί από τον άνθρωπο (Greuter W (1972). Επιπλέον, η ανθρώπινη εκμετάλλευση και η υπερβόσκηση άλλαξαν πιθανώς το παρόν μοτίβο κατανομής πολλών φυτικών ειδών (Lyrintzis G et. al (1995), Kyriakakis S et. al (2002)). Η παλαιογεωγραφία της περιοχής είναι αρκετά περίπλοκη. Ο σχηματισμός του τόξου του νησιού στο νότιο Αιγαίο χρονολογείται από στο μεσαίο Μυοκένιο (πρώτη γεωλογική εποχή της νεογενούς περιόδου) (Dermitzakis MD et. al(1981)). Η απομόνωση της Κρήτης από τη γειτονικές ηπειρωτικές περιοχές (ηπειρωτική Ελλάδα και Μικρά Ασία) είχε ξεκινήσει 10 εκατομμύρια χρόνια πριν και τουλάχιστον από 5.3 εκατομμύρια χρόνια πριν (πρώιμη Πλειοκίνη) η Κρήτη είναι πλήρως απομονωμένη. Η Κρήτη είναι πιο πολλά χρόνια απομονωμένη σε σχέση με πολλά ωκεάνια νησιά, π.χ. τα σημερινά υψηλά νησιά του αρχιπελάγους της Χαβάης κυμαίνονται στην ηλικία από 5,1 έως 0,5 εκατομμύρια χρόνια (Keeley SC et. al (2011)), ενώ οι Κανάριοι Νήσοι από 20 έως 1,1 εκατομμύρια χρόνια (Steibauer MJ et.al (2010)).

Το νησί έχει μια μεγάλη ποικιλία βιοτόπων και χαρακτηρίζεται από την πλούσια βιοποικιλότητα, ιδίως λόγω της ενδημικής αγγειακής χλωρίδας (Me'dail F et. al 1999). Καλυπτόμενη από τεταρτοταγούς παγετώνες και όντας απομονωμένη για πέντε εκατομμύρια χρόνια έχει μια μοναδική χλωρίδα (Phitos κ.ά., 1995). Η χλωρίδα της Κρήτης περιλαμβάνει πολλά είδη από την Ανατολική Μεσόγειο ή από ανατολικές περιοχές (π.χ. *Datisca cannabina*), μερικά είδη έχουν συγγένεια με είδη στη Βόρεια Αφρική (πχ. *Erodium crassifolium*) και πολλά Τριτογενή αποτελούν ενδημικά του Αιγαίου (π.χ. *Lomelosia minoana* ssp. *asterusica*). Η χλωρίδα περιλαμβάνει 1624 φυσικά είδη και 76 είδη που εισήχθησαν από τον άνθρωπο σε έκταση 8700 km² (Turland et. al 1993). Το ενδημικό 'taxa sensu lato' αποτελεί μέχρι και το 10% της τοπικής αγγειακής (vascular) χλωρίδας (Turland et. al 1993)

Ο πλούτος της σημερινής χλωρίδας της Κρήτης μπορεί να εξηγηθεί στο πλαίσιο του γενικού επεξηγηματικού σχεδίου βιολογικής διαφοροποίησης στη λεκάνη της Μεσογείου, ιδίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της, μέρος το οποίο συνδυάζει στοιχεία τόσο δομικών όσο και δυναμικών βιογεωγραφικών θεωριών (Turner et al., 1996) και η οποία εστιάζει σε πολλές οικολογικές διαδικασίες μετανάστευσης, εξαφάνισης, διαδικασίες διαλογής και στην περιφερειακή διαφοροποίηση (Blondel & Aronson, 1999).

1.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΛΩΡΙΔΑΣ

Υπολογίζεται ότι από τα 250,000 είδη φυτών στον κόσμο περίπου τα 25,000 απειλούνται (Καδής 1996). Η αλλαγή των κλιματικών συνθηκών, η βιομηχανική και τουριστική ανάπτυξη στα προάστια των πόλεων και η χρήση εξωτικών και μη-ενδογενών φυτών στην ανθοκομία και στην κηποτεχνία, είναι σημαντικοί παράγοντες που προκαλούν εξαφάνιση πολλών ενδημικών φυτών (Γιαννούλης 2008). Σε πολλές περιπτώσεις το φυσικό τοπίο καταστρέφεται από τους ανθρώπους για να αντικατασταθεί με είδη φυτών τα οποία μεγαλώνουν εις βάρος των τοπικών φυτών. Η διατήρηση της βιοποικιλότητας είναι ένα παγκόσμιο θέμα καθώς ένα στα δέκα φυτά κινδυνεύει (Κυπριωτάκης 1998).

Η βιοποικιλότητα της Ελλάδας σε επίπεδο φυτικών ειδών, όπως αυτή εκφράζεται από τη σχέση αριθμού ειδών και έκτασης της χώρας, είναι μεταξύ των υψηλότερων της Ευρώπης και της Μεσογείου. Η ελληνική χλωρίδα περιλαμβάνει 6.308 φυτικά τάξα (είδη και υποείδη), σύμφωνα με τα ως σήμερα στοιχεία της βάσης δεδομένων της Flora Hellenica, ενώ ο αριθμός των φυτικών ειδών υπολογίζεται ότι είναι 4.900 - 5.500 (Strid & Tan 1992). Προηγούμενες εκτιμήσεις έδιναν 5.500 φυτικά τάξα (Rechinger 1965) και 5.700 τάξα (Ιατρού 1986).

Ο αριθμός των ενδημικών ειδών της Ελλάδας ανέρχεται σε 742 σύμφωνα με τις τελευταίες δημοσιευμένες εκτιμήσεις (WWF & IUCN 1994), δηλαδή, ο ενδημισμός ανέρχεται στο 15 % της χλωρίδας. Οι φυτογεωγραφικές υποδιαιρέσεις με το μεγαλύτερο αριθμό ελληνικών ενδημικών τάξεων είναι κατά φθίνουσα σειρά η Πελοπόννησος, η Κρήτη και η Στερεά Ελλάδα, αλλά η Κρήτη έχει το μεγαλύτερο αριθμό τοπικών ενδημικών. Σε παρόμοια συμπεράσματα ως προς τον ενδημισμό των φυτογεωγραφικών υποδιαιρέσεων οδήγησε και η ανάλυση της Ορεινής Χλωρίδας της Ελλάδας (Strid 1986). Είναι φανερό ότι η νότια Ελλάδα υπερτερεί τόσο σε πλήθος ελληνικών όσο και τοπικών ενδημικών φυτών. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ενδημικών τάξεων απαντούν σε μία μόνο φυτογεωγραφική περιοχή. Ο αριθμός των ενδημικών τάξεων δεν συσχετίζεται με την έκταση των φυτογεωγραφικών περιοχών. Όταν οι φυτογεωγραφικές περιοχές συγκριθούν ως προς τον αριθμό των ενδημικών ανά μονάδα έκτασης, είναι φανερό η υπεροχή των νησιωτικών περιοχών του Αιγαίου, με την Κρητική περιοχή να υπερτερεί πάλι σε τοπικά ενδημικά είδη (Γεωργίου Κ., βάση δεδομένων Chloris). (Μυρονάκης 2006).

Η σημερινή κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος της Κρήτης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί υποφερτή, αν δεν γνωρίζαμε πως ήταν αυτή η φύση, πριν από εκατονταετίες. Πολλοί παράγοντες, μεταξύ των οποίων η αλλαγή των κλιματικών συνθηκών και η γεωργική εκμετάλλευση, όπου η ανεξέλεγκτη χρήση ζιζανιοκτόνων, εντομοκτόνων και

άλλων χημικών ουσιών εξαφανίζει τα αυτοφυή φυτά (Γιαννούλης 2008), έχουν επιφέρει αισθητές αλλαγές στα οικοσυστήματα.

1.4 Η ΧΛΩΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ο μεγάλος αριθμός των διαφορετικών φυτικών ειδών, εξηγείται από τη γεωγραφική απομόνωση του νησιού που ευνόησε την ανάπτυξη τοπικών ειδών ήδη από την αρχαιότητα. Έχει υπολογισθεί ότι στη Κρήτη υπάρχουν γύρω στα 2000 είδη ανώτερων φυτών. Ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει κάτι περισσότερο από το 1/4 του συνόλου των ειδών της ελληνικής χλωρίδας, και ακόμα πιο εντυπωσιακός είναι ο αριθμός των ενδημικών φυτών που δεν υπάρχουν αλλού στον κόσμο. Από τα 700 περίπου ενδημικά της Ελληνικής χλωρίδας γύρω στα 250 βρίσκονται και στην Κρήτη, και από αυτά τα 160 περίπου είναι αποκλειστικά ενδημικά του νησιού. Υπολογίζοντας και τα υποείδη ο αριθμός των ενδημικών φυτών της Κρήτης φτάνει περίπου τα 210 και αποτελούν το 44% όλων των ενδημικών φυτών των νησιών του Αιγαίου (Οικονομοπούλου κ.α.2009).

Ενδημικά φυτά

Ενδημικά είναι τα φυτά τα οποία είναι αυτοφυή σε μια συγκεκριμένη περιοχή και δεν φυτρώνουν πουθενά αλλού. Τα φυτά αυτά έχουν τεράστια οικολογική σημασία στην περιοχή όπου μεγαλώνουν. Επίσης ενδημικό στην οικολογία σημαίνει ότι είναι αυτοφυή σε ένα μέρος ή οικοσύστημα σε αντίθεση με άλλους όρους, "μη αυτοφυή" (π.χ. εξωτικό, ξένο, εισαγόμενο, μη αυτοφυή) και διαφέρουν από τα ενδογενή. Τα ενδημικά φυτά είναι μοναδικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή τα οποία δεν υπάρχουν πουθενά αλλού. Ένα είδος φυτού που είναι ενδογενή είναι και αυτοφυές, αλλά όχι μοναδικό γιατί είναι αυτοφυές και σε άλλες περιοχές. Γενικά τα ενδημικά φυτά φυτρώνουν σε κυρίως απομακρυσμένες περιοχές σε πολλά νησιά της Ελλάδας και όχι μόνο. Λόγω του ότι υπάρχουν σε μικρές και συγκεκριμένες περιοχές είναι εξαιρετικά ευαίσθητα σε κινδύνους που μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στο φυσικό τους περιβάλλον (για παράδειγμα είναι ευαίσθητα σε κλιματολογικές αλλαγές). Στην περιοχή της Μεσογείου υπάρχει μεγάλη ποικιλία και αριθμός ενδημικών φυτών. Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 5700 διαφορετικά είδη φυτών από τα οποία το 13% αυτών είναι ενδημικά. Αυτά περιλαμβάνουν και είδη φυτών με σημαντική 4 καλλωπιστική αξία καθώς επίσης και άλλες χρήσεις. Από αυτά τα φυτά το 30% υπάρχουν στην Κρήτη. Συνολικά από τα 1700 αυτοφυή φυτά που είναι αυτοφυή στην Κρήτη τα 167 αυτών είναι ενδημικά εκ των οποίων πολλά από αυτά είναι σπάνια ή σε υπό εξαφάνιση (Γιαννούλης 2008). Πολλά από τα ενδημικά φυτά που υπάρχουν στην Κρήτη δεν υπάρχουν πουθενά αλλού στον υπόλοιπο κόσμο και υπάρχουν περιοχές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως δυτικά και ανατολικά του νησιού, καθώς και στις ορεινές περιοχές.

Αυτοφυή φυτά είναι τα ιθαγενή φυτά, δηλαδή αυτά που φύονται χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου σε λόφους, πλαγιές, κάμπους και ακρογιαλιές. Σε κάθε τόπο ανάλογα με τις γεωγραφικές ιδιαιτερότητες, το τοπογραφικό ανάγλυφο και το μικροκλίμα του δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη ενός συνόλου φυτικών ειδών. Όσο πιο πολύπλοκο είναι το τοπίο τόσο μεγαλύτερη βιοποικιλότητα θα έχει. Στην Ελλάδα λόγω της εναλλαγής του τοπίου και ακόμα λόγω των κλιματικών και γεωγραφικών ιδιαιτεροτήτων υπάρχει μεγάλη βιοποικιλότητα, ένας πραγματικός πλούτος φυτικών ειδών (Μυρονάκης 2006).

Ένα από τα πιο σημαντικά πράγματα που κάνουν την χλωρίδα της Κρήτης να ξεχωρίζει είναι ο αριθμός των φυτών που περιλαμβάνει. Η αύξηση και η μείωση των αριθμών των φυτών που περιλαμβάνει μια περιοχή με ιδιαίτερο γεωγραφικό και γεωμορφολογικό ενδιαφέρον δεν είναι περίεργη καθώς ολοένα και αλλάζει ο αριθμός των φυτών με τη συχνότητα των ερευνών και λόγω των διαφορετικών σε κάποιες περιπτώσεις ονομάτων που δίνονται από τους ερευνητές. Ο πλούτος και η ομορφιά της Κρητικής χλωρίδας μπορεί να γίνει ποιο κατανοητή σκεπτόμενοι ότι σε μια περιοχή 8305 km², που είναι περίπου το 6% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας, η Κρήτη έχει περίπου το 28% των οικογενειών της Ελληνικής χλωρίδας. Ο αριθμός των ταξινομικών ομάδων της χλωρίδας (πίνακας 3) της Κρήτης είναι αρκετά παρόμοιος με αυτόν της Μεγάλης Βρετανίας, μια χώρα μεγαλύτερη περίπου 30 φορές από την Κρήτη (Γιαννούλης 2008, Οικονομοπούλου κ.α.2009).

Πίνακας 1 : Οι κυριότερες ταξινομικές ομάδες , οι οποίες αποτελούν την χλωρίδα της Κρήτης (Turland et al 1993)

Συστηματικές ομάδες	Οικογένειες	Ομάδες	Ποικιλίες
Πτεριδόφυτα	16	22	33
Γυμνόσπερμα	3	4	5
Αγγειόσπερμα			
α) Δικοτυλήδονα	85	456	1282
β) Μονοκοτυλήδονα	18	140	380
Σύνολο	122	622	1700

Πίνακας 2 : Ο αριθμός των ενδημικών φυτών της Κρητικής χλωρίδας και το % ποσοστό των ενδημικών φυτών (τα καλλιεργήσιμα φυτά συμπεριλαμβάνονται) (Turland et al 1993)

Σύνολο	Ενδημικά φυτά	%Ενδημικά	Πηγή
1800	172	9.5	Jahn & Shondelder 1995
1820	180	9.9	Montmolin & Iatrou 1995

Πίνακας 3 : Σύγκριση του αριθμού των ενδημικών φυτών στην Κρήτη σε σχέση με άλλες περιοχές με ενδιαφέρουσα χλωρίδα (Turland et al 1993).

Νησί	Έκταση (χλμ ²)	Φυτά	Πηγή
Κρήτη	8,306	1820	Montmolin & Iatrou 1995
Κύπρος	9,282	1651	Della & Iatrou 1996
Σικελία	25,738	3000	Brullo et.al 1995
Σαρδηνία	24,089	2054	Bocchieri 1995
Ηνωμένο Βασίλειο	229,903	2133	Webb 1978

1.5 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΑ ΦΥΤΙΚΑ ΕΙΔΗ

Από τα 2.400 φυτικά είδη του νησιού, πάνω από 200 είναι ενδημικά και από τα 450 είδη, που απαντώνται στο φαράγγι της Σαμαριάς και στον Εθνικό Δρυμό των Λευκών Ορέων, τα 70 είναι ενδημικά. Μερικά από τα σημαντικότερα ενδημικά φυτικά είδη που απαντώνται στο φαράγγι της Σαμαριάς είναι τα παρακάτω:

α. Ο **κρητικός δίκταμος** ή σταμόχορτο (*Amaracus dictamnus* Benth ή *Origanum dictamnus*). Ενδημικό, πολυετές, αρωματικό μικρό φρύγανο, γνωστό για τις πολύτιμες θεραπευτικές του ιδιότητες. Το ρόφημα από δίκταμο είναι τονωτικό και έχει σπασμολυτικές ιδιότητες. Σταματά την αιμορραγία των πληγωμένων ζώων και διευκολύνει την κυκλοφορία του αίματος. Χρησιμοποιείται κατά των εσωτερικών παθήσεων καθώς και στη βιομηχανία των αρωματικών ποτών. Απαντάται στα νότια παράλια της Κρήτης και στη Σαμαριά, σε βραχώδη και απόκρημνα μέρη, γι' αυτό και η συλλογή του είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

β. Ο **κρητικός έβενος** (*Ebenus cretica* L.). Μικρός θάμνος.

γ. Η **αμπελίτσα** (*Zelkova cretica* ή *Abelicea cretica* Sm.). Ενδημικό δενδρύλλιο που φθάνει τα 10 μ. ύψος. Απαντάται ιδιαίτερα στην περιοχή του ομαλού στα ορεινά και πετρώδη μέρη. Τα φύλλα της έχουν ένα χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα και δίνουν ένα ωραίο τόνο σ' όλο το οροπέδιο. Εικόνα 6.5: «Έβενος»

δ. Η **τραχεία πεύκη** η κρητική (*Pinus brutia* Ten. var. *cretica*). Πεύκο

ε. Το **βούπλευρο** (*Bupleurum kakiskalae*) στ. Το ελίχρυσο (*Helichrysum heldreichii*)

ζ. Η **μυοσότις** (*Myosotis refracta refracta*)

η. Η **ονοβρυχίς** (*Onobrychis sphaciotica*)

θ. Το **κεφαλάνθηρο** (*Cephalanthera cucculata*)

ι. Η **κρητική παιώνια** (*Paeonia clusii*)

κ. Η **πετρομαρούλα** (*Petromarula pinnata*)

λ. Η **δενδρώδης σταιχελίνα**

μ. Η **λυγιά** ή λυγαριά (*Vitex agnus castus* L.) Αρωματικός θάμνος

ν. Ο **ασφένταμος** ή σφεντάμι (*Acer sempervirens*) Γνωστό δέντρο που απαντάται και σε θαμνώδη μορφή. Από το ξύλο του φτιάχνουν μικροαντικείμενα καθημερινής χρήσης.

ξ. *Asplenium creticum*

ο. Η **μαλοτήρα** (*Sideritis syriaca*)

π. Η **ματζουράνα** (*Origanum majorana*)

ρ. Η **φασκομηλιά** (*Salvia officinalis*)

σ. Το **σταμναγκάθι** (*Corium spinosum*)

τ. Η **λουτσιά** ή αλουτσιά (*Berberis cretica* L.) θάμνος ύψους 30-80 εκατ. Απαντάται σε υποαλπικά βραχώδη μέρη.

υ. Η **αλαδανιά** (*Cistus creticus boiss*) θάμνος ύψους 1 μ. Απαντάται σε μέρη ασβεστούχων θαμνότοπων.

φ. Ο **πρίνος** (*Quercus coccifera*) και ιδιαίτερα το υποείδος κατσοπρίνι που είναι δέντρο αειθαλές με φύλλα αγκαθωτά και χρώμα σταχτοπράσινο.

χ. Τα **κυπαρίσσια** (*Cupressus sempervirens*). Υπάρχουν δυο ποικιλίες: τα οριζοντόκλαδα ή θηλυκά (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*) και τα ορθόκλαδα ή

αρσενικά (*Cupressus semperviens* var. *pyramidalis* Targ Tozz) που φτάνουν μέχρι και 30 μ. ύψος. (Μαλαμίδης, 1996) (Πηγή: Χατζημαρκάκη 2003)

1.6 ΕΙΔΗ ΠΟΥ ΕΙΣΗΧΘΗΣΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Ένας σημαντικός παραμορφωτικός παράγοντας σε όλες τις νησιωτικές βιογεωγραφικές μελέτες είναι ο αριθμός των ειδών που έχουν εισαχθεί από τον άνθρωπο. Ειδικά για νησιά με μακρά περίοδο ανθρώπινης κατοίκησης θα υπάρχουν πάντα αβεβαιότητες σχετικά με το εάν έχουν εισαχθεί τα υπάρχοντα είδη από τον άνθρωπο και εάν οι δραστηριότητες των ανθρώπων έχουν οδηγήσει στην εξαφάνιση των τοπικών ιθαγενών ειδών (Willerslev E et. al 2002). Τα φυτικά είδη που έχουν εισαχθεί σε προϊστορικούς ή πρώιμους ιστορικούς χρόνους μπορεί να είναι τέλεια ενσωματωμένα στις εγγενείς φυτικές κοινότητες και μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο ή και αδύνατο να διακριθούν τα πραγματικά αυτόχθονα (Greuter W et al 1971). Η αποδεδειγμένα εισερχόμενη μέσω ανθρώπου, χλωρίδα της Κρήτης περιλαμβάνει 245 είδη (Dal Cin D'Agata C et al (2009)).

1.7 ΠΟΙΚΙΛΙΑ ΒΙΟΤΟΠΩΝ

Η Κρήτη είναι ουσιαστικά μια αλυσίδα από βουνά, που προβάλλει μέσα από τα βόρεια της Αν. Μεσογείου. Η μεγάλη υψομετρική διαφορά, από τις πανύψηλες κορυφές των βουνών ως τη θάλασσα, η ύπαρξη πολλών φαραγγιών και χαραδρών, η επίδραση των βόρειων ανέμων, που έρχονται από το ανοιχτό Αιγαίο, αλλά και των 3 θερμών ανέμων, που ανεβαίνουν προς το βορρά από τη Β. Αφρική, είναι παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα της Κρήτης και δημιουργούν ποικίλους βιότοπους. Αυτή η ποικιλότητα των βιότοπων, με το πολύ διαφορετικό μικροκλίμα, δεν αφήνει φυσικά ανεπηρέαστη την πανίδα και τη χλωρίδα της κάθε περιοχής. Ιδιαίτερα τα φυτά επηρεάζονται περισσότερο, γιατί, καθώς δεν έχουν την ικανότητα της μετατόπισης, είναι υποχρεωμένα να προσαρμοσθούν στις τοπικές κλιματικές συνθήκες, για να επιζήσουν.

Τα κυριότερα είδη βιοτόπων της Κρήτης είναι οκτώ. Η πεδινή, η ημιορεινή, η ορεινή, η υποαλπική, και η αλπική ζώνη έχουν σχέση κυρίως με το υψόμετρο και τη διάφορα θερμοκρασίας. Η παραθαλάσσια ζώνη είναι αυτή που βρίσκεται κοντά στη θάλασσα και επηρεάζεται άμεσα από αυτήν. Ιδιαίτερο τύπο βιοτόπου αποτελούν οι υγρότοποι, ανεξάρτητα από το υψόμετρο και τη γεινίαση τους με τη θάλασσα, όπως και τα πάμπολλα φαράγγια του νησιού, όπου δημιουργούνται εντελώς ιδιαίτερες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτισμού.

Επειδή η ανάπτυξη της χλωρίδας του νησιού εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη μορφολογία του εδάφους και η κατάταξή τους γίνεται με βάση το υψόμετρο που επηρεάζει τους παράγοντες αυτούς, αναφέρονται οι κυριότερες ζώνες (βιότοποι) και οι κύριοι φυτικοί εκπρόσωποι τους.

Παραθαλάσσια ζώνη

Τα φυτά που ζουν στη ζώνη αυτή έχουν λίγο-πολύ, άμεση εξάρτηση από τη θαλασσινή αλμύρα και υγρασία. Έτσι, στην παραθαλάσσια ζώνη μπορεί να συναντήσει κανείς το κρινάκι της θάλασσας (*Pancratium maritimum*) και τα αλμυρίκια (*Tamarix cretica*) καθώς και τον Κρητικό φοίνικα του Θεόφραστου (*Phoenix theophrastii*).

Πεδινή ζώνη

Αρχίζει στο σημείο που τελειώνει η παραθαλάσσια ζώνη και σταματά σε ύψος γύρω στα 300μ. Όπου η μηχανική καλλιέργεια, τα ζιζανιοκτόνα και τα εντομοκτόνα δεν έχουν καταστρέψει το φυσικό περιβάλλον, μπορεί να βρει κανείς πολλά και ενδιαφέροντα φυτά. Στην πεδινή ζώνη φύονται οι θάμνοι της Μεσογειακής μακίας, όπως το *Pistacia lentiscus* και το *Quercus coccifera* καθώς και το *Nerium oleander*, το *Vitex agnus-castus*, το *Chamomilla recutita*, η *Mentha spicata*, η *Myrtus communis*, τα *Erica*, το *Alcea pallida*, η *Paraver rhoeas*, και ο *Ebenus cretica*.



Εικόνα 2: *Ebenus Cretica* (Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης)

Ημιορεινή ζώνη

Αμέσως πάνω από την πεδινή ζώνη αρχίζει η ημιορεινή ζώνη, που φτάνει ως το ύψος των 800μ. περίπου. Είναι οι χαμηλές πλαγιές των βουνών, όπου κυριαρχούν οι θάμνοι και τα φρύγανα της Μεσογειακής μακίας, όπως το *Quercus coccifera*, το *Pistacia lentiscus*, το *Thymus capitatus*, ο *Arbutus unedo*, ο *Phlomis cretica*, η *Bryonia cretica* και άλλα., αγριολούλουδα όπως το *Cyclamen creticum*, η *Iris 5 cretica*, η *Tulipa orphanidea*, το *Muscari commosun*, διάφορα είδη της Κρητικής ορχιδέας και δέντρα όπως η *Ceratonia siliqua*, και η Βελανιδιά (*Quercus*).

Ορεινή ζώνη

Αρχίζει γύρω στα 800μ. μέχρι τα 1.800μ. περίπου. Στη ζώνη αυτή υπάγονται και τα τρία μεγάλα οροπέδια των Κρητικών βουνών όπου ευδοκούν ο *Quercus coccifera* και το *Acer sempervirens* καθώς και ποώδη και γεώφυτα όπως το *Erysimum creticum*, η *Tulipa cretica*, η *Achillea cretica*, η *Viola cretica*, ο *Crocus oreocreticus* κ.ά..

Υποαλπική ζώνη

Η ζώνη αυτή αρχίζει από τα 1.800μ. περίπου και φτάνει στα 2.200μ. Στη ζώνη αυτή φυτρώνουν ένα πλήθος από ποώδη ή βολβώδη φυτά και μικρούς θάμνους, κατάλληλα προσαρμοσμένα στο ψυχρό κλίμα, όπως ο *Crocus sieberi*, η *Chionodoxa nana*, η *Anchusa caespitosa*, η *Arabis alpine*, ο *Astragalus angustifolius*, η *Corydalis rutifolia*, ο *Prunus prostrate*, η *Viola fragrans*, κ.ά. Εδώ συναντάμε άλλωστε και πολλά είδη από την ορεινή και αλπική ζώνη.

Αλπική ζώνη

Αυτή αρχίζει στα 2.200μ. περίπου και φτάνει ως τις ψιλότερες κορυφές. Αλπική ζώνη υπάρχει φυσικά μόνο στα μεγαλύτερα βουνά της Κρήτης, στον Ψηλορείτη (Ιδη) και στα Λευκά Όρη, που οι κορυφές τους ξεπερνούν το όριο των 2.200μ. Στην αλπική ζώνη φυτρώνουν τα 6 περισσότερα φυτά της υποαλπικής ζώνης, όπως και ορισμένα άλλα, περισσότερο ψυχρόβια, σαν τον *Acantholimon androsaceum*, τη *Veronica thymifolia*, τη *Draba cretica*, τον *Thymus leucotrichus* – υποείδος *creticus*, το *Cynoglossum sphacioticum*, τον *Dianthus sphacioticus*, κ.ά.

Φαράγγια, ορθοπλαγιές και κάστρα

Ένα χαρακτηριστικό του ανάγλυφου της Κρήτης, εκτός από τα μεγάλα βουνά της, έχει και τα πολλά φαράγγια, που τη διασχίζουν συνήθως κάθετα, από το βορρά προς το νότο, όπως το φαράγγι της Σαμαριάς, το Ιμπριώτικο, το Κουρταλιώτικο, κλπ. Τα φαράγγια αυτά, που ξεκινούν από την ορεινή και ημιορεινή ζώνη και καταλήγουν συνήθως κοντά στη θάλασσα, προσφέρουν ιδανικό καταφύγιο σε πλήθος από βραχύφυλλα φυτά (χασμόφυτα) όπως η *Campanula pelviformis*, η *Campanula tubulosa*, η *Petromarula pinnata*, το *Verbascum arcturus*, η *Symphandra cretica*, η *Stachelina fruticosa*, η *Stachelina arborea*,

το *Linum arboreum*, η *Centaurea argentea*, η *Scabiosa minoana*, η *Ebenus cretica*, η *Nepeta melissifolia*, η *Scutellaria sieberi*, κ.ά.

Ανάλογη χλωρίδα βρίσκουμε και σε όλες τις βραχώδεις ορθοπλαγιές όπως και στα τείχη των κάστρων του νησιού, ανεξάρτητα από το υψόμετρο που βρίσκονται. Υπάρχουν όμως και είδη που προτιμούν σχεδόν αποκλειστικά τα αρχαία τείχη ή ακόμα και τις απλές μάντρες, όπως *Erysimum candidum* και ο *Hyoscyamus aureus*.

Υγρότοποι

Αν εξετάσουμε τη λίμνη Κουρνά, του Νομού Χανίων, τη μοναδική λίμνη του νησιού, οι υγρότοποι της Κρήτης περιορίζονται σε μικρά, παραθαλάσσια έλη, στις εκβολές των μικρών ποταμών, οι περισσότεροι από τους οποίους το καλοκαίρι στερεύουν, στις όχθες των ίδιων ποταμών και σε διάφορα μικρά τέλματα. Παρόλα αυτά, οι μικρές αυτές υγρές εκτάσεις παρουσιάζουν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για τη χλωρίδα τους. Από τα φυτά συναντάμε εδώ την *Iris pseudacorus*, την *Oenanthe pimpinelloides*, την *Oenanthe prolifera*, το *Erilobium hirsutum*, διάφορα είδη του γένους *Lythrum* και του γένους *Tamarix*, κ.ά. Στις όχθες των υγρότοπων, ιδιαίτερα σ' αυτούς που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα ζει και ο σπάνιος Κρητικός φοίνικας (*Phoenix theophrasti*) ένα ενδημικό δένδρο του νησιού.



Εικόνα3: *Phoenix theophrasti* (wikipedia)

Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος χώροι για την πλούσια χλωρίδα τους είναι τα φαράγγια που αποτελούν πραγματικούς παράδεισους με αγριολούλουδα και θάμνους, πολλά από τα οποία μάλιστα είναι ενδημικά, αυτοφυή και σπάνια., καθώς εκεί η αγριάδα και το δυσπρόσιτο του περιβάλλοντος τα προστατεύουν από τον ανθρώπινο παράγοντα. Στην πραγματικότητα μπορεί να

δει κανείς φυτά όλων των ειδών, όλα εκείνα που περιλαμβάνονται στις παραπάνω ζώνες, μια και τα φαράγγια ξεκινούν από ορεινές ή ημιορεινές περιοχές και καταλήγουν στη θάλασσα.

Φυτά με καλλωπιστικό ενδιαφέρον

Μέσα στο σύνολο των αυτοφυών φυτών της Κρήτης κάποια ανώτερα φυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο καλλωπιστικό ενδιαφέρον. Η καλλωπιστική τους αξία οφείλεται στο χρώμα των ανθέων, το άρωμα των φύλλων ή των ανθέων, το σχήμα και το χρώμα των φύλλων, το χρώμα ή σχήμα των καρπών τους, τον τρόπο ανάπτυξης, τη μορφή τους, το μέγεθός τους κ.ά.

(Πηγή: Οικονομοπούλου κ.α. 2008)

1.8 ΚΛΙΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ένας από τους σπουδαιότερους παράγοντες που επιδρούν πάνω στην βλάστηση και τη σύνθεσή της, είναι το κλίμα. Τα στοιχεία του κλίματος: φως, θερμοκρασία, κατακρημνίσματα, άνεμος σε συνδυασμό με την τοπογραφία κάποιας περιοχής, διαμορφώνουν περιβάλλοντα που δίνουν ένα συγκεκριμένο τύπο βλάστησης.

Το κλίμα της Κρήτης είναι Εύκρατο Μεσογειακό και θεωρείται από τα πιο ήπια της Ευρώπης. (Χατζημαρκάκη, 2003). Είναι τυπικό μεσογειακό με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες. Από το Χάρτη των ισοϋετωδών καμπυλών, συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο ύψος κατακρημνισμάτων δέχεται ο ορεινός όγκος των Λευκών ορέων (περισσότερο από 2.200 mm) ακολουθεί η Ίδη (1.800-2.000 mm) ενώ η ποσότητα των κατακρημνισμάτων ελαττώνεται αισθητά προς τ' ανατολικά καθώς επίσης και στα Βόρεια και κεντρικά παράλια της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης (400-600 mm) (Αλεξούλη 1989).

Το κλίμα της Κρήτης ποικίλει από τόπο σε τόπο γιατί επηρεάζεται αφενός από τη θάλασσα και αφετέρου από τις εσωτερικές εδαφολογικές εναλλαγές και κυρίως το υψόμετρο. Χαρακτηρίζεται από μια πολύ σύντομη άνοιξη και ένα εξαιρετικά μεγάλο καλοκαίρι. Έτσι η άνοιξη ξεκινά από τα τέλη του Μάρτη και διαρκεί έως τον Μάιο και η μέση θερμοκρασία αυτήν την εποχή κυμαίνεται από 14-24° C. Το καλοκαίρι αρχίζει τον Ιούνιο και διαρκεί μέχρι τέλος Σεπτεμβρίου, με τους πιο ζεστούς μήνες να αποτελούν τον Ιούλιο και τον Αύγουστο όπου η μέση θερμοκρασία είναι 25.5° C. Την εποχή αυτή πνέουν μελτέμια, (βόρειοι άνεμοι που μετριάζουν τις υψηλές θερμοκρασίες). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι βροχές είναι σπάνιες.

Το φθινόπωρο αρχίζει τον Οκτώβρη και διαρκεί έως τις αρχές του Δεκέμβρη. Χαρακτηρίζεται από συχνές βροχές, με μέση θερμοκρασία 20,1° C τον Οκτώβρη, 17,9 °C τον Νοέμβρη και 14,6 °C τον Δεκέμβρη. Τέλος, ο χειμώνας ξεκινά αρχές Δεκέμβρη και διαρκεί μέχρι τέλη Μάρτη, όπου η μέση θερμοκρασία βρίσκεται στους 12,7 °C τον Ιανουάριο, 12,2 °C

τον Φεβρουάριο και 14 °C τον μήνα Μάρτιο. υψηλότερες, όμως, θερμοκρασίες παρουσιάζουν οι νότιες περιοχές της Κρήτης. Οι μέρες βροχής κυμαίνονται από 71 μέχρι 130 το χρόνο, ενώ οι χιονοπτώσεις είναι σπάνιες εκτός από τους ορεινούς όγκους των Λευκών Ορέων, της Δίκτης και της Ίδης.

Η σχετική υγρασία σημειώνει τις μικρότερες τιμές το καλοκαίρι (Ιούλιο) και τις μεγαλύτερες το χειμώνα (Δεκέμβριο), ενώ οι βροχοπτώσεις ξεκινούν από τα τέλη του Σεπτεμβρίου και κορυφώνονται τον Δεκέμβριο και η έντασή τους πέφτει μέχρι τον Απρίλιο. Το ύψος και η συχνότητα των βροχοπτώσεων μειώνεται από τη δυτική προς την ανατολική πλευρά του νησιού. Το μέσο ύψος των βροχοπτώσεων κυμαίνεται μεταξύ 500 και 1200mm ενώ αυξάνεται όσο προχωρούμε από τις ακτές προς τις ορεινές περιοχές της ενδοχώρας.

Οι χιονοπτώσεις σπανίζουν στην Κρήτη και ιδιαίτερα στην νότια πλευρά όπου η θερμοκρασία σπάνια κατεβαίνει κάτω από 0 °C. Στην δυτική Κρήτη η χιονοπτώσεις είναι συχνότερες και σε υψόμετρα 700 - 900 μέτρα το έδαφος καλύπτεται από χιόνι τουλάχιστον 30 ημέρες το χρόνο.

Οι άνεμοι χαρακτηρίζονται ισχυροί κυρίως στην νότια πλευρά του νησιού. Πνέουν κυρίως βόρειο και βορειοδυτικοί κατά την διάρκεια του Ιουλίου Αυγούστου τα λεγόμενα μελτέμια. Όταν σταματούν τα μελτέμια, πνέουν στις θαλάσσιες περιοχές οι αύρες, κατά το φθινόπωρο πνέουν νότιοι ζεστοί άνεμοι, ενώ το χειμώνα επικρατούν κυρίως βόρειοι άνεμοι.

Ηλιοφάνεια υπάρχει αρκετή καθ όλη τη διάρκεια του χρόνου ενώ οι νεφώσεις είναι λίγες. Οι πυκνότερες νεφώσεις εμφανίζονται τον Ιανουάριο και οι αραιότερες τον Ιούλιο. Γενικότερα οι ακτές παρουσιάζουν λιγότερες νεφώσεις καθώς και η νότια πλευρά έχει πολύ λιγότερες από την βόρεια (Μυριδάκης 2013).

1.9 ΤΑΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Σύμφωνα με τη UNFCCC (Σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές μεταβολές), **κλιματική αλλαγή** είναι η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται στην παγκόσμια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας όλου του πλανήτη. Η αυξημένη θερμοκρασία προκαλεί μία αλυσίδα αλλαγών στις περισσότερες βιοκλιματικές παραμέτρους λόγω της σύνδεσης των φαινομένων (Μυριδάκης, 2003).

Η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (Fourth Assessment Report, Solomon et al., 2007) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on

Climate Change, IPCC) παρέχει πιο έγκυρες προβλέψεις για τη μελλοντική κλιματική αλλαγή, με νέα ευρήματα και πρόοδο στην κατανόηση των αιτιών της κλιματικής αλλαγής, των διεργασιών και των προβλεπόμενων μελλοντικών τάσεων. Σήμερα, είμαστε πρακτικά σίγουροι ότι η παγκόσμια θέρμανση μετά το 1750 οφείλεται αποκλειστικά στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής εποχής παρατηρήθηκε ο μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10.000 χρόνων (Pedro Regato 2008).

Συνολικά, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 0,76°C (από 0,57 έως 0,95°C) από το 1850, και 11 από τα 12 τελευταία έτη (1995-2006) βρίσκονται στα 12 πιο θερμά έτη από την ίδια χρονιά (Kettunen et al., 2007). Η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC προβλέπει θέρμανση κατά περίπου 0,2°C ανά δεκαετία για τις επόμενες δύο δεκαετίες, ενώ τα περισσότερα σενάρια δείχνουν αυξήσεις μεγαλύτερες των 2°C στη μέση ετήσια θερμοκρασία μέχρι το 2080, σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1960-1990 (Lindner, 2006).

Αέρια του θερμοκηπίου	Συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα	Ρυθμός αύξησης	Κύρια πηγή
Διοξείδιο του άνθρακα	Υπερβαίνει κατά πολύ τα φυσικά όρια διακύμανσης των τελευταίων 650.000 ετών, όπως προκύπτουν από πυρήνες πάγου	Μεγαλύτερος ετήσιος ρυθμός αύξησης την τελευταία δεκαετία	Χρήση ορυκτών καυσίμων και, σε μικρότερο βαθμό, οι αλλαγές χρήσεων γης
Μεθάνιο	Σημαντικά αυξημένη από την προ-βιομηχανική συγκέντρωση	Σταθερός ρυθμός αύξησης από το 1980	Γεωργία/ κτηνοτροφία και ορυκτά καύσιμα, χωρίς ωστόσο να είναι απολύτως γνωστή η σχετική συνεισφορά κάθε πηγής
Υποξείδιο του αζώτου	Σημαντικά αυξημένη από την προ-βιομηχανική συγκέντρωση	Σταθερός ρυθμός αύξησης από το 1980	Περισσότερο από το 1/3 των συνολικών εκπομπών N ₂ O οφείλονται στη γεωργία/ κτηνοτροφία

Εικόνα 4: Πηγές αερίων του θερμοκηπίου (Pedro Regato 2008)

Όσον αφορά στα κατακρημνίσματα, παρά το γεγονός ότι έχουν παρατηρηθεί μορφώματα αλλαγών, υπάρχει ακόμη σημαντική χωρική και εποχιακή διακύμανση μεταξύ των προβλέψεων των διαφόρων μοντέλων, με αποτέλεσμα τον μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Υπάρχει μια τάση, υγρές περιοχές να γίνουν πιο υγρές και ξηρές περιοχές να γίνουν πιο ξηρές (Lindner, 2006). Η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC αναφέρει τις κύριες μακροπρόθεσμες αλλαγές που παρατηρούνται:

- Αλλαγές στη θερμοκρασία και στους πάγους στις αρκτικές περιοχές.
- Εκτεταμένες αλλαγές στην ποσότητα των κατακρημνισμάτων, με τάση ξήρανσης στην περιοχή Σαχέλ, στη Μεσόγειο, στη νότια Αφρική και στη νότια Ασία.
- Αλλαγές στην αλατότητα των ωκεανών.
- Αλλαγές στα μορφώματα των ανέμων, με ενδυνάμωση των δυτικών ανέμων στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και των δύο ημισφαιρίων.
- Ακραίες αλλαγές του καιρού οι οποίες περιλαμβάνουν εντονότερες και μακρύτερες περιόδους ξηρασίας σε πιο εκτεταμένες περιοχές σε σχέση με το 1970, πιο συχνές καταιγίδες σε περισσότερες περιοχές, πιο συχνούς καύσωνες και μεγαλύτερης έντασης τροπικούς κυκλώνες.

1.10 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΗ

Η κλιματική αλλαγή πρόκειται να διαφέρει ανάλογα με τις περιοχές της Ευρώπης και τη διαθεσιμότητα φυσικών πόρων (Μεσιμέρης). Οι αρνητικές επιπτώσεις θα περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο στιγμιαίων και συχνότερων πλημμυρών στο εσωτερικό της Ευρώπης, καθώς και αυξημένη διάβρωση λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας. Οι ορεινές περιοχές θα αντιμετωπίσουν υποχώρηση των παγετώνων, μείωση της κάλυψης χιονιού και εκτεταμένες απώλειες ή αλλαγές ειδών. Στη Νότια Ευρώπη, οι κλιματικές αλλαγές αναμένεται να επιδεινώσουν τις συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία) σε μια περιοχή ήδη ευάλωτη στις κλιματικές διακυμάνσεις, να επιφέρουν περεταίρω μείωση της διαθεσιμότητας νερού με τις όποιες επακόλουθες συνέπειες.

1.11 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

Η λεκάνη της μεσογείου είναι μια από τις πιο ευπαθείς περιοχές του πλανήτη στη κλιματική αλλαγή. Όσο αφορά την αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, η μεσόγειος φαίνεται να ακολουθεί την εξέλιξη της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας τα τελευταία 100 έτη με χαμηλότερα επίπεδα ανόδου την περίοδο 1955 - 1975 και σημαντική άνοδο την δεκαετία του 1980. Στον αιώνα που διανύουμε, ανάλογα με τα διάφορα κλιματικά σενάρια, αναμένεται η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στη μεσόγειο κατά 2 μέχρι 4 βαθμούς κελσίου μέχρι το 2100. Τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα δείχνουν μεγαλύτερη αύξηση των χειμερινών θερμοκρασιών των μεσογειακών περιοχών σε σχέση με τις περιοχές της βόρειας Ευρώπης.

Η περιοχή της Μεσογείου έχει ήπιο τύπο κλίματος με θερμό και ξηρό καλοκαίρι. Βρίσκεται σε μια μεταβατική ζώνη μεταξύ δύο σημαντικά διαφορετικών ζωνών (την υγρή/κρύα εύκρατη ζώνη και τη ζεστή ζώνη της ερήμου) και, κατά συνέπεια, είναι πολύ ευαίσθητη σε περιβαλλοντικές αλλαγές. Πράγματι, αλλαγές στην κλιματική ζώνη μόνο κατά λίγους βαθμούς κατά γεωγραφικό πλάτος προς το βορρά ή το νότο μπορεί να προκαλέσουν δραματικές αλλαγές, όπως απερήμωση περιοχών που προηγουμένως είχαν υγρό κλίμα (Ortolani & Pagliuca, 2006).

Εκτιμήσεις από την IPCC (Solomon et al., 2007) και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος διαπιστώνουν ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή ήδη έχει σημαντική δυσμενή επίπτωση σε είδη και ενδιαιτήματα σε όλον τον κόσμο, και πιθανόν είναι η πιο σημαντική απειλή στην παγκόσμια βιοποικιλότητα. Οι προβλεπόμενες αλλαγές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις των ανθρωπογενών διαταραχών του παρελθόντος, του παρόντος και του μέλλοντος στα φυσικά οικοσυστήματα, οι οποίες έχουν μειώσει σημαντικά τη δυνατότητα προσαρμογής τους στις κλιματικές αλλαγές (Pedro Regato 2008) .

Η χρηματοδούμενη από το WWF μελέτη «Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στη Μεσόγειο από την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2°C» (Giannakopoulos et al., 2005) παρουσιάζει στοιχεία για την κλιματική αλλαγή κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, που καταδεικνύουν θέρμανση σε πολλές περιοχές της Μεσογείου, τόσο τους καλοκαιρινούς όσο και τους χειμερινούς μήνες, και μια στατιστικά σημαντική μείωση των κατακρημνισμάτων. Οι τάσεις αυτές διαφέρουν, ωστόσο, μεταξύ περιοχών και εποχών. Αναφέρουμε τα σημαντικότερα ευρήματα:

- Αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά 0,75°C τον 20ό αιώνα, με ελαφρά υψηλότερες τιμές το χειμώνα και το καλοκαίρι (Giorgi, 2002).

- Μια ξεκάθαρη διαφοροποίηση μεταξύ ανατολής και δύσης: η τάση αύξησης των καλοκαιρινών θερμοκρασιών είναι μεγαλύτερη στο δυτικό τμήμα (μέχρι 3°C/50 έτη), εμφανιζόμενη σε δύο φάσεις: από τα μέσα της δεκαετίας του 1920 μέχρι το 1959 και από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 και ύστερα (Brunet et al., 2002· Galan et al., 2001).

- Την περίοδο 1900-2005 παρατηρήθηκε τάση μείωσης των χειμερινών κατακρημνισμάτων (κατά 20% περίπου, κυρίως μετά το 1970) στη λεκάνη της Μεσογείου, μια περιοχή όπου οι βροχοπτώσεις είναι κύριος περιοριστικός παράγοντας για τους οργανισμούς (Solomon et al., 2007, Petit et al., 2005, Giorgi, 2002). Ο Jacobeit (2003) έδειξε πως τις τελευταίες τρεις δεκαετίες υπήρχαν κάποιες αυξήσεις στις φθινοπωρινές βροχοπτώσεις (δυτική Ιβηρική και Τουρκία), επικρατούν, ωστόσο, οι μειώσεις το χειμώνα και την άνοιξη.

- Τάση μείωσης των ημερών με βροχή και τάση για πιο έντονες βροχοπτώσεις σε ορισμένες παράκτιες περιοχές της Μεσογείου, και κυρίως στην Ισπανία και στην Ιταλία.

- Αύξηση στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας: οι μέγιστες θερμοκρασίες αυξήθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό από τις ελάχιστες.

Είναι πολύ πιθανό μια σειρά από καιρικές ανωμαλίες και περιβαλλοντικές αλλαγές που συμβαίνουν στη Μεσόγειο τις τελευταίες δεκαετίες να οφείλονται στην παγκόσμια θέρμανση. Θα παρουσιάσουμε μερικά σημαντικά ευρήματα που επηρεάζουν τα χερσαία συστήματα της Μεσογείου, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ανθρωπογενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Κύματα καύσωνα

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, οι καταγραφές της θερμοκρασίας επιβεβαιώνουν αύξηση στην ένταση και τη συχνότητα καλοκαιρινών κυμάτων καύσωνα (μικρές περιόδους με πολύ ζεστές ημέρες, πολύ χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία και συχνά με τη συνοδεία δυνατών ανέμων) και μείωση στη συχνότητα των περιόδων με πολύ κρύες ημέρες. Τα κύματα καύσωνα αποτελούν τοπικό φαινόμενο το οποίο δεν εμφανίζεται την ίδια στιγμή, αλλά ούτε και κατά το ίδιο έτος, στα διαφορετικά μέρη της Μεσογείου.

Ξηρασία

Η ξηρασία είναι ένα φυσικό φαινόμενο στην περιοχή της Μεσογείου, κυρίως λόγω του ακανόνιστου κλίματος με περιοδική παράταση των τυπικά χαμηλών καλοκαιρινών κατακρημνισμάτων για μεγαλύτερες περιόδους. Στη δυτική Μεσόγειο, οι περίοδοι ξηρασίας σχετίζονται με την επίδραση του υποτροπικού μετώπου υψηλής πίεσης του βορείου Ατλαντικού, το οποίο αποτρέπει τα πολικά μέτωπα να φτάσουν στην Ιβηρική χερσόνησο.

Ωστόσο, η συχνότητα και η ένταση της ξηρασίας έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες και προβλέπεται ότι το φαινόμενο θα επιδεινωθεί περισσότερο με τις κλιματικές αλλαγές, την αύξηση των θερμοκρασιών και τη μείωση των κατακρημνισμάτων. Η ξηρασία του 2005 ήταν πολύ έντονη σε διάφορα τμήματα της βορειοδυτικής Ευρώπης (π.χ. σε μεγάλα τμήματα του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γαλλίας), αλλά ήταν ακόμα χειρότερη στην περιοχή της Μεσογείου, επηρεάζοντας σχεδόν ολόκληρη την Πορτογαλία, τη Συρία, την Αίγυπτο και τη Λιβύη, καθώς επίσης και μεγάλες εκτάσεις της νότιας και ανατολικής Ισπανίας, της βόρειας Ιταλίας, της κεντρικής Ανατολίας και του ανατολικού Μαρόκο (Isendahl & Schmidt, 2006). Σύμφωνα με την Τέταρτη Εθνική Έκθεση της Πορτογαλίας προς τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (Fourth National Communication to the UNFCCC), η ξηρασία ήταν περισσότερο έντονη τα έτη 1991/1992, 1992/1993, 1994/1995, 1998/1999, 1999/2000 και 2004/2005. Τον Ιανουάριο του 2005, στα κεντρικά και νοτιότερα τμήματα της χώρας οι τιμές των κατακρημνισμάτων ήταν χαμηλότερες από τις ελάχιστες τιμές που έχουν καταγραφεί τα τελευταία 100 χρόνια.

Δυνατές καταιγίδες

Ένας άλλος τύπος καταιγίδας έκανε την πρώτη του εμφάνιση στην Ιβηρική χερσόνησο το 2005: ο πρώτος τυφώνας της Ευρώπης, ο τυφώνας Vince, έπληξε τη

νοτιοδυτική ακτή της Ισπανίας τον Οκτώβριο. Ήταν η μεγαλύτερη βορειοανατολική τροπική καταιγίδα που είχε δημιουργηθεί ποτέ στον Ατλαντικό και δημιουργήθηκε πάνω από νερά που θεωρούνται πολύ παγωμένα για τη δημιουργία τροπικής καταιγίδας. Ακολουθώντας τον τυφώνα Vince, η τροπική καταιγίδα Delta έπληξε τα Κανάρια νησιά και τη Μαδέρα το Νοέμβριο του 2005, αφήνοντας πίσω σοβαρές καταστροφές, διακοπές ρεύματος και θανάτους. Ωστόσο, οι επιστήμονες δεν μπορούν να πουν ακόμα εάν υπάρχει σχέση μεταξύ τέτοιων ασυνήθιστων καταιγίδων και της κλιματικής αλλαγής (WWF, 2006).

Προβλεπόμενες τάσεις αλλαγής του κλίματος στη Μεσόγειο

Παρά την αβεβαιότητα για τις προβλεπόμενες κλιματικές αλλαγές σε επίπεδο περιφέρειας, υπάρχει ευρεία ομοφωνία για κάποιες γενικές τάσεις στην Ευρώπη και τη λεκάνη της Μεσογείου στο σύνολό της, μια περιοχή που αναμένεται να είναι περισσότερο επηρεασμένη από την κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα περισσότερα άλλα μέρη του πλανήτη (McCarthy et al, 2001). Στην πραγματικότητα, όλες οι περιοχές με Μεσογειακό κλίμα αναμένεται να υποστούν σημαντική αύξηση στη θερμοκρασία και την ξηρασία σε σχέση με άλλες περιοχές (McCarthy et al., 2001).

Θερμοκρασία

Η συμφωνία μεταξύ των μοντέλων σχετικά με τις τάσεις αλλαγής της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη για τις χειμερινές θερμοκρασίες στη νότια Ευρώπη, ενώ η ασυμφωνία είναι μεγαλύτερη για τις καλοκαιρινές θερμοκρασίες. Ωστόσο, όλα τα μοντέλα παρουσιάζουν μια γενική τάση θέρμανσης στο σύνολο της Ευρώπης και για όλες τις εποχές.

Κατακρημνίσματα

Αν και υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των προβλέψεων των μοντέλων σε σχέση με αλλαγές στα κατακρημνίσματα, η Έκθεση για τις Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ευρώπη (EEA, 2004) έχει προβλέψει ετήσια ελάττωση των κατακρημνισμάτων ως 1% και μείωση της καλοκαιρινής βροχόπτωσης ως 5% ανά δεκαετία στη νότια Ευρώπη. Ο χειμώνας ενδέχεται να γίνει πιο υγρός στην Ευρώπη, με εξαίρεση τα Βαλκάνια και την Τουρκία όπου θα γίνει ξηρότερος (Kettunen et al., 2007). Παρόλο που υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες για τις μεταβολές στα κατακρημνίσματα, αναμένεται σημαντική αύξηση στο υδατικό έλλειμμα, η οποία οφείλεται περισσότερο στην αύξηση των θερμοκρασιών, παρά στα μειωμένα κατακρημνίσματα (Ohlemüller et al., 2006).

Ακραία καιρικά φαινόμενα

Πολλοί ειδικοί συμφωνούν πως τα ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν, πιθανώς, τις πιο σημαντικές δυνάμεις μεταβολής των οικοσυστημάτων (Lindner, 2006). Οι Kettunen et al. (2007) συνοψίζουν τις παρακάτω προβλέψεις για την Ευρώπη:

- Είναι πολύ πιθανό ότι η συχνότητα και η ένταση των καλοκαιρινών κυμάτων καύσωνα θα αυξηθούν σε ολόκληρη την Ευρώπη και στη Μεσόγειο.
- Φαινόμενα ισχυρών κατακρημνισμάτων θα αυξηθούν σε συχνότητα, ειδικά το χειμώνα.
- Ο κίνδυνος της καλοκαιρινής ξηρασίας θα αυξηθεί στη νότια Ευρώπη. Οι Γιαννακόπουλος et al. (2005) προβλέπουν τις παρακάτω αλλαγές:
 - Τρεις έως πέντε πρόσθετες εβδομάδες με καύσωνα θα εμφανιστούν στην Ισπανία, τη Μέση Ανατολή, την Τουρκία, τα Βαλκάνια, τη Βόρεια Αφρική και τη βόρεια Ιταλία, τέσσερις επιπλέον εβδομάδες στα νησιά του βόρειου Αιγαίου και μέτρια επίδραση ή καμία σημαντική αλλαγή στα υπόλοιπα νησιά, στη νότια Ιταλία και στην Πελοπόννησο.
 - Μεγαλύτερες περίοδοι ξηρασίας θα είναι συχνές, με αύξηση κατά δύο έως τέσσερις εβδομάδες στη νότια Ιταλία, την Πελοπόννησο, το νοτιότερο τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου, το Μαρόκο και τη Λιβύη, ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής και στην Αλγερία δεν αναμένονται αλλαγές. Παράταση περίπου τριών εβδομάδων της ξηρής περιόδου προς την άνοιξη αναμένεται στη νότια Γαλλία και στην κεντρική Ισπανία, ενώ μετακίνηση δύο με τεσσάρων εβδομάδων προς το φθινόπωρο αναμένεται στα κεντρικά και ανατολικά τμήματα της περιοχής, ενώ καμία αλλαγή δεν αναμένεται στη νοτιότερη Ιταλία/Σικελία. Αντιφατικά μορφώματα προέκυψαν από τα σενάρια για τη νότια Ισπανία, την περιοχή Μαγκρέμπ και την ηπειρωτική Ελλάδα.

1.12 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΚΡΗΤΗ

Η αναμενόμενη αλλαγή στις βιοκλιματικές συνθήκες αναμένεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα πιο ακανόνιστες και καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις, ξηρότερα καλοκαίρια και λειψυδρία (Μυριδάκης 2013), συνθήκες που επηρεάζουν ποικιλοτρόπως τα φυτικά είδη.

Από την πληθώρα κλιματικών μοντέλων και σεναρίων για το μέλλον που έχουν αναπτυχθεί για την κατανόηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις μετεωρολογικές και υδρολογικές παραμέτρους, στην παρούσα εργασία έχει χρησιμοποιηθεί το Περιφερειακό Κλιματικό Μοντέλο (RCMs) σε ένα αντιπροσωπευτικό μονοπάτι συγκέντρωσης το RCP 4.5.

Οι τιμές βιοκλιματικών συνθηκών που χρησιμοποιήθηκαν για τις μελλοντικές προβλέψεις, βασίστηκαν στο σενάριο εκπομπών RCP 4.5 και αποτελούν πρόβλεψη για το έτος 2050. Παρακάτω δίνονται πληροφορίες για να γίνει κατανοητό το πλαίσιο του κλιματικού σεναρίου συγκέντρωσης RCP 4.5.

1.13 ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ – General Circulation Models (GCMs)

Με δεδομένη την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής έγιναν πολυάριθμες προσπάθειες μέσω επιστημονικής έρευνας τόσο να κατανοηθούν εκείνοι οι παράγοντες, οι μηχανισμοί και οι διαδικασίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και την μεταβολή του, όσο και να μοντελοποιηθεί το κλίμα αναφερόμενο σε μια παγκόσμια κλίμακα. Η επίτευξη αυτών έγινε μέσα από τη δημιουργία των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας ή, κατά έναν πιο πρόσφατο όρο, των Παγκόσμιων Κλιματικών Μοντέλων.

Πρόκειται ουσιαστικά για εργαλεία που προσομοιώνουν την κλιματική πραγματικότητα και αλλαγή και περιγράφουν κάποιους από τους μηχανισμούς του κλίματος όπως είναι η λευκαύγεια του πάγου, οι κύκλοι κινήσεως των αερίων του θερμοκηπίου, η ωκεάνια κυκλοφορία, η ανάδραση του συστήματος ατμόσφαιρας – ωκεανών και εδάφους – ατμόσφαιρας. Κύριο χαρακτηριστικό των μοντέλων αυτών είναι η δυνατότητα να αναπαράγουν μεγάλης κλίμακας κατανομές των κλιματικών μεταβλητών, θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, βροχόπτωσης και των ροών θερμότητας στο σύστημα επιφάνειας και βάθος ωκεανού. (Κάσσιου, 2015)

Ως προς τον τρόπο απεικόνισης των εκτιμήσεων, τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιούν έναν παγκόσμιας κλίμακας τρισδιάστατο κάνναβο με οριζόντια ανάλυση που κυμαίνεται από 250 έως 600 χιλιόμετρα, με 10 έως 20 κάθετα επίπεδα για την ατμόσφαιρα και έως 30 για τον ωκεανό (IPCC, 2013).

Όπως αναφέρθηκε, τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιούν διάφορα στοιχεία του κλίματος για να πραγματοποιήσουν μελλοντικές προσομοιώσεις. Αναφορικά με αυτούς τους παράγοντες τα GCMs διαχωρίζονται σε δυο τύπους, τα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmospheric GCMs – AGCMs) και τα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Oceanic GCMs - OGCMs). Συχνά, αυτοί οι δυο τύποι μοντέλων συνδυάζονται και προκύπτουν τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά – Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmosphere – Ocean Coupled General Circulation Model - CGCM or AOGCM).

Τα τελευταία θεωρούνται ως τα πιο πλήρη μοντέλα που χρησιμοποιούνται για μελλοντικές προβλέψεις της κλιματικής αλλαγής, ενώ παράλληλα, με τη χρήση τιμών θαλάσσιου πάγου και εξατμισοδιαπνοής το αποτέλεσμα είναι ένα πλήρες κλιματικό μοντέλο.

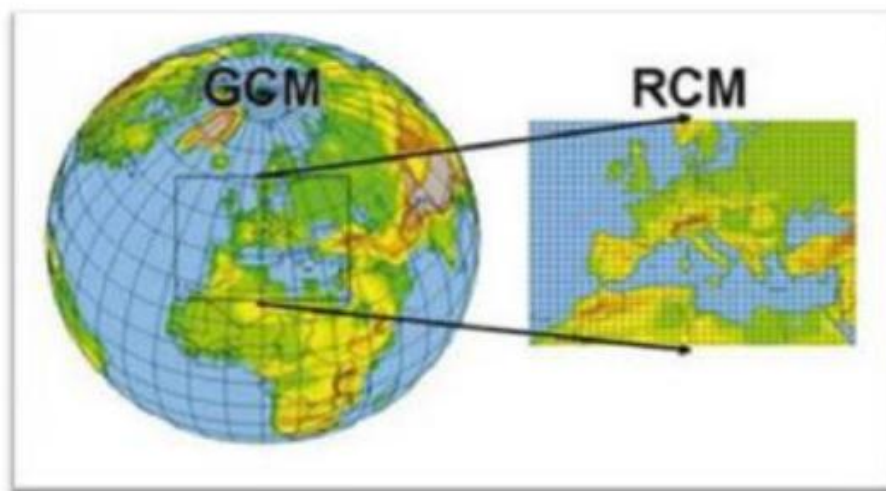
Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας δεν μπορούν να αποδώσουν λεπτομερή χαρακτηριστικά σε κλίμακα μικρότερη του ορισμένου κάνναβου, αλλά χονδρικό αποτέλεσμα 2ο έως 3ο , ενώ σε τοπική κλίμακα είναι αναγκαία η υψηλότερη ανάλυση. Επίσης, λόγω της (χαμηλής) ανάλυσης αυτής αρκετές εκτιμήσεις και φυσικές διεργασίες που απαιτούν καλύτερη ανάλυση όπως η επίδραση των σύννεφων, των υδρατμών ή της ωκεάνιας κυκλοφορίας είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθούν επαρκώς (IPCC, 2013).

1.14 ΠΕΡΙΟΧΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – Regional Climate Models (RCMs)

Μία συμπληρωματική στα παγκόσμια μοντέλα μέθοδος προσομοίωσης αποτελούν τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (Regional climate models – RCMs), τα οποία επιτρέπουν τη λεπτομερέστερη μελέτη των διαδικασιών προσομοίωσης των τοπικών συνθηκών.

Η τοπική αλλαγή του κλίματος επηρεάζεται πολύ από τοπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως η ορειογραφία, τα οποία δεν προσομοιώνονται ικανοποιητικά στα παγκόσμια μοντέλα λόγω της μικρότερης χωρικής ανάλυσής τους. Χάρη στην εξέλιξη των μοντέλων και την καλύτερη κατανόηση των φυσικών διαδικασιών του κλιματικού συστήματος είναι πλέον δυνατή η εκτίμηση της τοπικής κλιματικής αλλαγής σε πολλές περιοχές του κόσμου (www.metoffice.gov.uk).

Χρησιμοποιώντας ως βάση τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας για την απόκτηση πιο λεπτομερειακών δεδομένων. Οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας χωρίζονται σε δυναμικές, χρησιμοποιώντας τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), και σε στατιστικές-εμπειρικές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούν τις παρατηρούμενες σχέσεις ανάμεσα στη μεγάλη κλίμακας κυκλοφορία (ανεξάρτητες μεταβλητές) και στο τοπικό κλίμα (εξαρτημένες μεταβλητές). (Χατζηπαραδείση, 2008).



Εικόνα 5: Χωρική ανάλυση των Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων - RCMs (World Meteorological Organization)

Βασικό πλεονέκτημα των RCMs είναι ότι περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπως την ορειογραφία, την κατανομή ξηράς και θάλασσας και

τη χρήση της γης, τα οποία δεν είναι δυνατό να παρασταθούν ακόμα στις προσομοιώσεις των GCMs επειδή οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από τις διαστάσεις του πλέγματος του GCM. Επιπροσθέτως, η αυξημένη χωρική ανάλυση των RCMs επιτρέπει να αναλύονται φαινόμενα μικρότερης χωρικής κλίμακας που δεν αναλύονται από τα GCMs. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία μηχανισμών ανάδρασης που δρουν σε περιοχική κλίμακα. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι αν τα αποτελέσματα του GCM που παρέχει τις οριακές συνθήκες είναι εσφαλμένα το ίδιο θα ισχύσει και για τα αποτελέσματα του RCM. Αυτό το μειονέκτημα ισχύει για όλες τις τεχνικές υποκλιμάκωσης. Επίσης, μειονέκτημα αποτελεί η έλλειψη της δυνατότητας αλληλεπίδρασης με το GCM. Η ανάγκη ρύθμισης τους, είναι ένα ακόμα μειονέκτημα διότι μπορεί να αποδειχτεί διαδικασία χρονοβόρα και επίπονη. (Παναγέα, 2013)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτίμηση των κλιματικών συνθηκών που θα επικρατήσουν στο μέλλον σε ένα τόπο εμπεριέχει πολλούς παράγοντες αβεβαιότητας οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

1. Η επιλογή του σεναρίου εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου βάσει του οποίου γίνεται η προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος
2. Η επιλογή του GCM με το οποίο θα διεξαχθούν οι κλιματικές προσομοιώσεις
3. Η επιλογή του RCM στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεθοδολογία δυναμικής υποκλιμάκωσης και
4. Η επιλογή των αρχικών συνθηκών της κλιματικής προσομοίωσης του GCM, δεδομένα του οποίου χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου του RCM.

Μια συνήθης πρακτική, που χρησιμοποιείται προκειμένου να μειωθούν οι αβεβαιότητες που οφείλονται στις διαφορετικές παραμετροποιήσεις και τους διαφορετικούς δυναμικούς κώδικες που χρησιμοποιούνται από τα διαφορετικά κλιματικά μοντέλα αλλά και στην αβεβαιότητα των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον, είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων ενός συνόλου από προσομοιώσεις διαφορετικών κλιματικών μοντέλων και για διάφορα σενάρια εκπομπών (Παναγέα, 2013).

1.15 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Τα σενάρια εκπομπών είναι ένα κεντρικό συστατικό οποιασδήποτε αξιολόγησης της αλλαγής κλίματος. Τα σενάρια διευκολύνουν την αξιολόγηση των μελλοντικών εξελίξεων στα πολυσύνθετα συστήματα που είναι είτε εγγενώς απρόβλεπτα είτε έχουν επιστημονικές αβεβαιότητες, και η αξιολόγηση των μελλοντικών εκπομπών είναι ένα ουσιαστικό συστατικό της γενικής αξιολόγησης της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος από την IPCC.

Στα πλαίσια της μελέτης των προβλεπόμενων ανθρωπογενών κλιματικών αλλαγών, βασικός παράγοντας των προσομοιώσεων του μελλοντικού κλίματος είναι η εξέλιξη των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου, (CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, SF₆, HFCs, NO_x, CO, VOC, SO₂, BC, OC). Ο ρυθμός με τον οποίο θα εξελιχθούν στο μέλλον οι εκπομπές και κατά συνέπεια και οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) στην ατμόσφαιρα, δεν μπορεί να προσδιορισθεί επακριβώς.

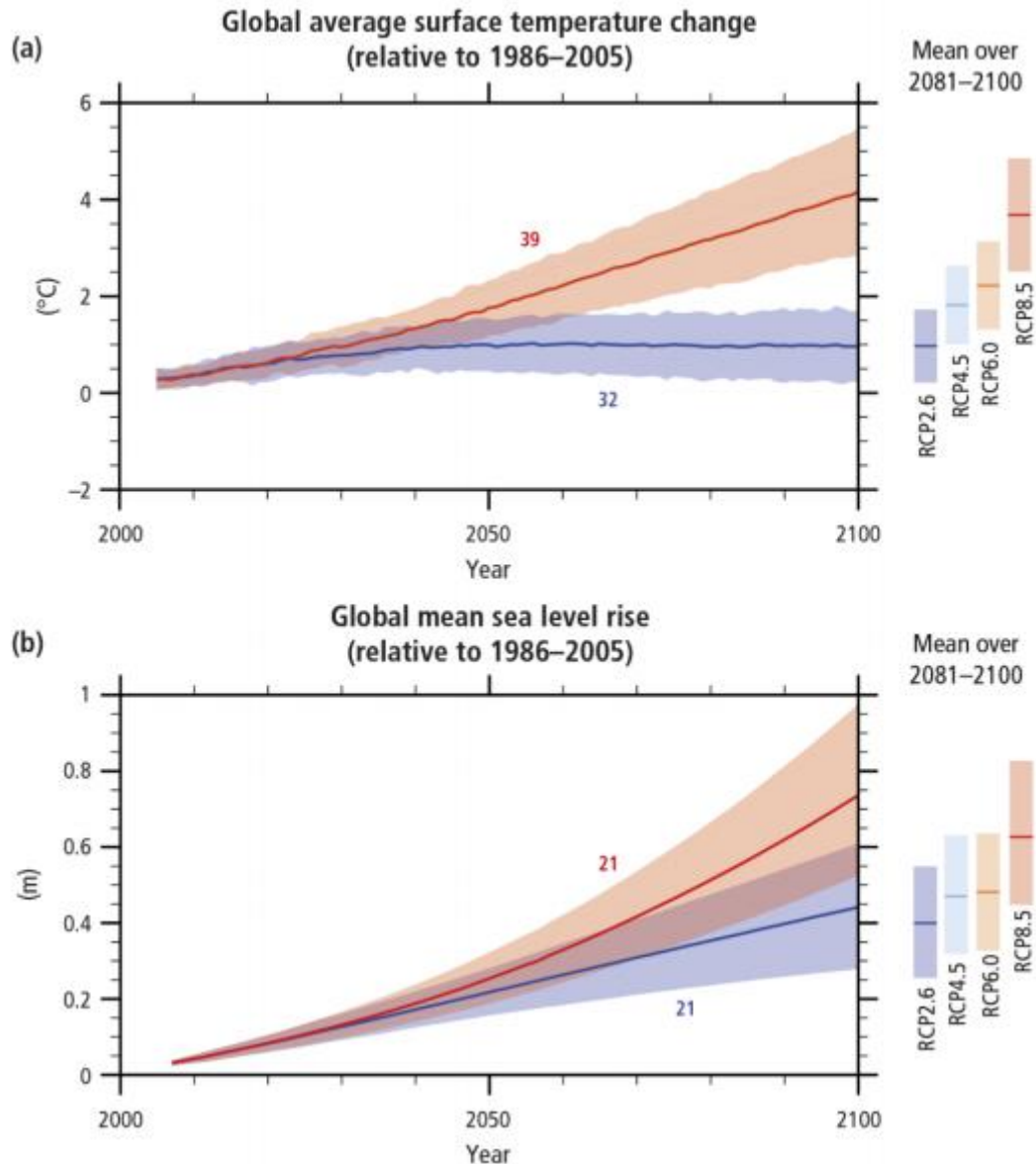
Στα πλαίσια της Τρίτης Έκθεσης (Third Assessment Report – TAR) του 2001, διαμορφώθηκε ένας μεγάλος αριθμός σεναρίων (40 σεναρία) σχετικών με τη μελλοντική εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Special Report on Emissions Scenarios, SRES) (Nakicenovic et al., 2000) από τέσσερα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης (Integrated Assessment Models – IAMs) με τα πλέον αντιπροσωπευτικά να είναι τα A1B, A1T, A1F1, A2, B1, B2 (IPCC, 2001).

Η διαμόρφωση των συγκεκριμένων σεναρίων στηρίχτηκε σε ορισμένους βασικούς άξονες που σχετίζονται με τα δημογραφικά στοιχεία, την κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη, τις πολιτικές που θα ακολουθηθούν γύρω από θέματα ενέργειας, τη μελλοντική τεχνολογική ανάπτυξη καθώς και το κατά πόσο οι αποφάσεις γύρω από οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα λαμβάνονται σε τοπικό ή διεθνές επίπεδο (Παναγέα, 2013). Τα ίδια σεναρία υιοθετούνται και στην Τέταρτη Έκθεση (Assessment Report 4 – AR4).

1.16 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΠΟΡΕΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

(Representative Concentration Pathways – RCPs)

Στην τελευταία και πλέον σύγχρονη έκθεση, Πέμπτη Έκθεση (Assessment Report 5 – AR5) το 2014, έγιναν επιστημονικές προτάσεις που οδήγησαν στην κατασκευή νέων σεναρίων που ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs) που χρησιμοποιούν αναβαθμισμένα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης και στόχο έχουν να αποδώσουν μια ευέλικτη, διαδραστικό και επαναληπτική προσέγγιση των σεναρίων κλιματικής αλλαγής (Moss et al., 2010). Τα ονόματα των επιμέρους σεναρίων (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, και RCP8.5) καθορίστηκαν από την πιθανή μεταβολή στην επιβαλλόμενη ακτινοβολία (radiative forcing) με τιμές αναφοράς τις τιμές του έτους 2100, σε σύγκριση με αυτές της προ - βιομηχανικής περιόδου (+2.6, +4.5, +6.0 και +8.5 W/m² αντίστοιχα).



Εικόνα 6: Προβλέψεις για την αύξηση α) της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας και β) της μέσης στάθμης θάλασσας, για τα διάφορα RCPs με χρήση μοντέλων CMIP5 (IPCC-A5)

Τα σενάρια αυτά συμπεριλαμβάνουν αρκετά αξιόπιστες προβλέψεις για τις μελλοντικές ανθρωπογενής εκπομπές των θερμοκηπιακών αερίων (Βάσκου, 2015) και περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με μία σειρά από παράγοντες πέρα από τις συγκεντρώσεις και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, όπως τη χρήση γης, τις κοινωνικό-οικονομικές καταστάσεις και τις πολιτικές για το περιβάλλον που ακολουθούνται (Παναγέα, 2013).

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται ένα από αυτά τα σενάρια το RCP4.5 και οι βιοκλιματικές παράμετροι της περιοχής της Κρήτης.

1.17 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Οικολογικές αλλαγές στα εύρη κατανομής, τη φαινολογία και τις σχέσεις μεταξύ των ειδών, συμβαίνουν σε όλες τις υδρόβιες και χερσαίες ομάδες ειδών προς την κατεύθυνση που προβλέπεται από την παγκόσμια θέρμανση και συνδέονται με τοπικές ή περιφερειακές κλιματικές αλλαγές (Parmesan, 2006).

Για κάποια είδη και περιοχές στην Ευρώπη, η απώλεια κατάλληλων, από πλευράς κλιματικών συνθηκών, περιοχών όπως προβλέπεται από σενάρια μελλοντικά αλλαγής του κλίματος, είναι πιθανό να οδηγήσει σε απώλεια ενδιαιτημάτων και οικοσυστημάτων (Saxon et al., 2005) και στην εξαφάνιση ειδών της χλωρίδας (Bakkenes et al., 2002, Thomas et al., 2004, Thuiller et al., 2005). Ο κίνδυνος απώλειας βιοποικιλότητας είναι μεγαλύτερος, αν οι εναπομείνουσες, στο μέλλον, περιοχές με κατάλληλο κλίμα για κάποια είδη είναι πολύ μακριά από τη σημερινή γεωγραφική κατανομή τους, δημιουργώντας ένα επιπλέον πρόβλημα σε λιγότερο ευμετακίνητα είδη (Ohlemüller et al., 2006). Θα πρέπει να δοθεί προσοχή κατά την ερμηνεία αυτών των προβλέψεων, δεδομένων των αβεβαιοτήτων των υπεραπλουστευμένων μοντέλων στα οποία βασίζονται αυτές οι προβλέψεις, καθώς και της μεγάλης ετερογένειας των Μεσογειακών οικοσυστημάτων, όπου είδη μπορούν να βρουν κατάλληλες κλιματικές συνθήκες σε κοντινές αποστάσεις.

Μεταβολές στα εύρη των ειδών και τα όρια των οικοσυστημάτων

Μεταβολές στην κατανομή των φυτικών ειδών ως απόκριση στη θέρμανση έχουν περιγραφεί σε προηγούμενες κλιματικές αλλαγές. Οι παρατηρήσεις μεταβολών των ορίων κατανομής, παράλληλα με την τρέχουσα κλιματική αλλαγή, είναι ιδιαίτερα άφθονες στη βόρεια Ευρώπη, όπου τα αρχεία παρατηρήσεων για πολλά πουλιά, πεταλούδες και φυτά χρονολογούνται από τα μέσα του 18ου αιώνα (Parmesan, 2006). Ενδείξεις για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα εύρη κατανομής των ειδών και στα όρια των οικοσυστημάτων έχουν παρατηρηθεί και στη Μεσογειακή βλάστηση, ωστόσο τα αναφερθέντα στοιχεία είναι ακόμα λιγοστά:

- Οι υψομετρικές ζώνες βλάστησης φαίνεται να έχουν μετατοπιστεί κάπως προς τα πάνω και ξηρότερες και θερμότερες συνθήκες χαρακτηρίζουν τώρα περιοχές που χαρακτηρίζονταν από ψυχρότερα και πιο υγρά κλίματα.

Υπάρχει ένας αριθμός ζητημάτων τα οποία θα έπρεπε να εξεταστούν προκειμένου να κατανοηθούν οι επιπτώσεις της μετατόπισης των ειδών και των μέτρων προστασίας:

- Τα όρια κατανομής των ειδών συχνά επεκτείνονται ως αποτέλεσμα της προς τα πάνω μετατόπισης σε υψόμετρο ή γεωγραφικό πλάτος του ανώτερου άκρου του εύρους

κατανομής τους (ενώ το κατώτερο άκρο συνήθως παραμένει το ίδιο). Αυτό είναι ένα σημαντικό γεγονός το οποίο απαιτεί προσεκτική παρακολούθηση καθώς μπορεί να αποτελεί ένα θετικό αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής ή απλά μια χρονική υστέρηση στην απόκριση ενός είδους καθώς αποσύρεται από το κατώτερο όριο του εύρους κατανομής του.

- Η χρήση των χωρικών ορίων ως δεικτών της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να προσεγγισθεί με προσοχή: Παρόλο που τα όρια θεωρείται ότι ρυθμίζονται από τη θερμοκρασία, ιστορικοί (π.χ. η μετατροπή εκτάσεων σε βοσκοτόπια) και βιοτικοί παράγοντες (π.χ. η αύξηση της δραστηριότητας των φυτοφάγων ζώων λόγω της μείωσης των περισσότερων φυσικών θηρευτών) μπορεί να ανατρέψουν τις ερμηνείες μας για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην προς τα πάνω εξάπλωση, φαινομενικά ισχυροποιώντας ή ελαχιστοποιώντας τις αναμενόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Cairns & Moen, 2004).

- Τα σύγχρονα όρια κατανομής των ειδών μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετικά από το δυνητικό «κλιματικό θύλακα» των ειδών. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι ένας σημαντικός αριθμός ειδών ίσως να έχει μεγαλύτερα περιθώρια για *in situ* προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή πριν φτάσει στο κατώφλι της μετανάστευσης.

Μετανάστευση των ειδών

Η μεταναστευτική ικανότητα των ειδών εξαρτάται από την παραγωγή σπερμάτων και τις στρατηγικές διασποράς κάθε είδους. Ωστόσο, η πρόβλεψη της απόστασης την οποία τα σπέρματα μπορούν να διανύσουν δεν είναι εύκολη, καθώς εξαρτάται από μια μεγάλη ποικιλία διεργασιών (Higgings et al., 2003).

Η ελλιπής γνώση για τους πιθανούς μεταναστευτικούς ρυθμούς των ειδών περιορίζει την ικανότητά μας να προβλέψουμε τις επιπτώσεις της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής στη μελλοντική γεωγραφική κατανομή των ειδών, το μέγεθος του εύρους κατανομής τους και την πιθανή τρωτότητά τους στην εξαφάνιση (Midgley et al., 2007). Η μετανάστευση των φυτικών ειδών αποτελεί μια σημαντικότερη αβεβαιότητα στην πρόβλεψη της απόκρισης της βλάστησης στην κλιματική αλλαγή, εξαιτίας μιας σειράς αιτιών (Midgley et al., 2007):

- Τα τρέχοντα γεωγραφικά εύρη των ειδών ενδεχομένως να ελέγχονται από άλλους παράγοντες εκτός του κλίματος, όπως διαταραχές, ανθρωπογενή ενόχληση ή/και ισχυρές δια-ειδικές αλληλεπιδράσεις.

- Η δυναμική των αλλαγών στα εύρη των ειδών μπορεί να προβλεφθεί πολύ δύσκολα, λόγω της χρονικής υστέρησης στη θνησιμότητα των ενήλικων ατόμων και των μηχανισμών αυτο-ρύθμισης των δασικών πληθυσμών που δημιουργούν αντίδραση στη συρρίκνωση των ορίων.

- Η διπλή όψη των ανθρώπινων επιδράσεων που μπορεί από τη μία πλευρά να δημιουργούν φραγμούς και φίλτρα στη διασπορά αποτρέποντας ή επιβραδύνοντας τους

ρυθμούς της μετανάστευσης, και από την άλλη πλευρά να επιταχύνουν τους ρυθμούς εξάπλωσης μέσω της εισαγωγής ξενικών ειδών.

Αλλαγές στη Φαινολογία

Οι αλλαγές στη φαινολογία ενδέχεται να επιφέρουν σοβαρές συνέπειες στα είδη, ειδικά όταν η εμφάνιση των επικονιαστών δεν συμπίπτει με την εποχή της άνθισης. Κάποιες επιπτώσεις που έχουν ήδη παρατηρηθεί είναι οι εξής:

- Η Άνοιξη έχει μετακινηθεί δύο εβδομάδες νωρίτερα στην Ισπανία και έχει περισσότερες ζεστές ημέρες από ό,τι 30 χρόνια πριν (π.χ. η αμυγδαλιά, που συνήθως άνθιζε στα τέλη του Φεβρουαρίου/αρχές Μαρτίου, τώρα ανθίζει στα τέλη του Ιανουαρίου).

- Οι αλλαγές στη βροχόπτωση και στη διαθεσιμότητα νερού αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα που οδηγεί σε σημαντικές φαινολογικές αλλαγές στα Μεσογειακά είδη θάμνων (π.χ. *Erica multiflora* και *Globularia alypum* στην Καταλονία) με επακόλουθες αλλαγές στη δομή, τη σύνθεση και τη λειτουργία των κοινοτήτων τους (Peñuelas et al., 2003).

- Οι φαινολογικές αλλαγές που σχετίζονται με τις θερμότερες κλιματικές συνθήκες μπορεί να μειώσουν την ανταγωνιστική ικανότητα των ορεινών κωνοφόρων (π.χ. τα διαφορετικά Μεσογειακά υποείδη του *Pinus nigra*), που είναι καλά προσαρμοσμένα σε ακραίες καιρικές συνθήκες (π.χ. όψιμοι παγετοί και χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες), ωφελώντας πλατύφυλλα είδη (π.χ. φυλλοβόλα είδη δρυός), τα οποία μπορεί να επεκτείνουν την αυξητική τους περίοδο που προηγουμένως περιοριζόταν στους ανεπαρκείς σε νερό καλοκαιρινούς μήνες, λόγω των παγετών της Άνοιξης και του Φθινοπώρου.

Ρυθμοί εξαφάνισης

Η κλιματική αλλαγή όχι μόνο θα μετατοπίσει τις ορεινές ζώνες βλάστησης προς τα πάνω, αλλά θα επηρεάσει, επίσης, τον ανταγωνισμό μεταξύ των ειδών, λόγω της μεταναστευτικής ικανότητας και της ταχύτητας του κάθε είδους. Τα φυτικά είδη μπορεί να μην είναι δυνατό να μεταναστεύσουν αρκετά γρήγορα και οι δυνατότητες μετανάστευσής τους μπορεί να περιορίζονται από παράγοντες όπως ο τύπος εδάφους, η διαθεσιμότητα νερού και ανθρωπογενείς φραγμούς στη μετανάστευση (Beniston, 2003). Επιπλέον, η μείωση του διαθέσιμου χώρου για κάποια είδη στις ανώτερες περιοχές των βουνών και η απουσία ορισμένων προϋποθέσεων σε σχέση με το ενδιαίτημα, μπορούν επίσης να μειώσουν τις μεταναστευτικές ευκαιρίες για πολλά είδη. Αυτό μπορεί να συμβεί στα πολυάριθμα ενδημικά Μεσογειακά φυτικά είδη με στενά εύρη κατανομής, τα οποία αποτελούν την κυρίαρχη ενδημική ομάδα στην περιοχή και αντιπροσωπεύουν το θεμέλιο λίθο της Μεσογειακής βιοποικιλότητας, ιδιαίτερα στα βουνά και τα νησιά (Thompson, 2005).

Η γενική εικόνα από αρκετά σενάρια παγκόσμιας αλλαγής (Thuiller et al., 2004) είναι ότι σοβαρότατες εξαφανίσεις φυτικών ειδών/κοινοτήτων των ψηλών βουνών και σημαντική απώλεια βιολογικής ποικιλότητας είναι δυνατό να συμβούν στα Μεσογειακά βουνά, λόγω προβλημάτων στη μετανάστευση και του ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών. Οι Thuiller et al. (2004) προβλέπουν σοβαρές εξαφανίσεις πολυάριθμων ορεινών περιοχών στην Ευρώπη, συμπεριλαμβάνοντας σημαντικές Μεσογειακές περιοχές (τα κεντρικά Πυρηναία, Sistema Central, Sistema Ibérico, Montes de Toledo και τα ανατολικά Betic Mountains στην Ισπανία, τα Γαλλικά Cevennes, την Κορσική και τις Maritime Alps, τα βόρεια και κεντρικά Απέννινα, τη βόρεια Σαρδηνία και τη Σικελική Etna/Nebrodi στην Ιταλία, τις Δυναρικές Άλπεις στα Βαλκάνια, την οροσειρά της Πίνδου στην Ελλάδα). Αυτό θα επηρεάσει πολλά ενδημικά είδη σε κάθε μία από τις κύριες οροσειρές της Μεσογείου. Οι Ohlemüller et al. (2006) προβλέπουν ότι οι ορεινές περιοχές στο Μεσογειακό τμήμα της Ευρώπης είναι πιο επιρρεπείς στην απώλεια βιοποικιλότητας, κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στην ενδημική πανίδα και χλωρίδα των κεντρικών και βόρειων Ιβηρικών οροσειρών για τις οποίες προβλέπεται ότι στο μέλλον δεν θα υπάρχουν κλιματικά ανάλογες περιοχές στην Ευρώπη. Οι Thuiller et al. (2004) προβλέπουν μικρότερη απώλεια ειδών στις πιο νότιες Μεσογειακές περιοχές της Ευρώπης, που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ειδών που είναι καλά προσαρμοσμένα στη ζέστη και την ξηρασία, κάτι που θα τους επιτρέψει να αντέξουν στις μελλοντικές συνθήκες. Παρόμοια συμπεράσματα δίνονται και από τους Ohlemüller et al. (2006) για τη νότια και νοτιοανατολική Ευρώπη, που είναι πιθανό να βιώσει ανάλογες κλιματικές συνθήκες με τις σημερινές.

Περισσότερη έρευνα χρειάζεται για να προσδιοριστεί κάτω από ποιες συνθήκες συνέβησαν στο παρελθόν οι περισσότερες εξαφανίσεις ειδών (Petit et al., 2005). Τα αποτελέσματα διαφορετικών αναλύσεων είναι σε μεγάλο βαθμό διφορούμενα σχετικά με τις αντιδράσεις διαφόρων ταξινομικών μονάδων δέντρων στο κλίμα, ιδιαίτερα όσον αφορά στα κατακρημνίσματα. Ένας σημαντικός αριθμός παλαιοβοτανικών μελετών συσχετίζει τις αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και το καθεστώς κατακρημνισμάτων με την τοπική εξαφάνιση ή την απότομη μείωση πληθυσμών ειδών. Δυστυχώς, τα κατακρημνίσματα είναι ανεπαρκώς κατανοητά στα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Ένα σχετικό ερώτημα είναι το πόση αδράνεια στην κλιματική αλλαγή υπάρχει στα Μεσογειακά οικοσυστήματα (Petit et al., 2005): τα αποτελέσματα από διαφορετικές αναλύσεις είναι αντικρουόμενα.

Μεταβολικές και φυσιολογικές αλλαγές

Οι φυσιολογικές αλλαγές, ως αποτέλεσμα ενός μεταβαλλόμενου κλίματος, σχετίζονται με κυτταρικές διεργασίες που ελέγχουν τη χρήση και ανταλλαγή ύλης και ενέργειας. Σύμφωνα με εργαστηριακές μελέτες, αλλαγές στο καθεστώς της βροχόπτωσης, στη θερμοκρασία και στη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις διεργασίες αυτές. Παρόλο που οι αποκρίσεις εξαρτώνται από τα υπό μελέτη είδη, γενικότερα, όλα τα είδη φυτών θα βιώσουν μεταβολικές και φυσιολογικές

αλλαγές ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι αλλαγές θα εμφανιστούν τόσο βραχυπρόθεσμα (μεταβολές στην παραγωγικότητα και την εξατμισοδιαπνοή), όσο και μακροπρόθεσμα (μεταβολές των αποθεμάτων σε θρεπτικά και νέες φυτικές κοινότητες προσαρμοσμένες στις νέες συνθήκες) (Robledo & Forner, 2005).

Είδη εισβολείς

Η κλιματική αλλαγή είναι βέβαιο πως θα αυξήσει την ικανότητα εισβολής των ξενικών ειδών. Αποτελέσματα πειραμάτων δείχνουν ότι σε υψηλά επίπεδα CO₂ τα ξενικά είδη κάνουν πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου νερού και έτσι γίνονται πιο αποτελεσματικά από τα αυτόχθονα είδη. Η αύξηση στη λίπανση αζώτου ωφελεί, επίσης, τα ξενικά είδη έναντι των αυτοχθόνων ειδών (Lloret et al., 2004). Ο αριθμός των ξενικών ειδών στην περιοχή της Μεσογείου έχει αυξηθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών.

Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με τους Spittlehouse & Stewart (2003), η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή συνίσταται στις ρυθμίσεις σε οικολογικά, κοινωνικά και οικονομικά συστήματα, ως απόκριση στις συνέπειες της αλλαγής του κλίματος. Όσον αφορά στα τρωτά οικοσυστήματα, η προσαρμογή απαιτεί ευέλικτες πρακτικές διαχείρισης που θα προάγουν την έμφυτη προσαρμοστικότητα των ειδών και ενδιαιτημάτων και θα μειώσουν τις ανθρωπογενείς πιέσεις που αυξάνουν την τρωτότητα στην κλιματική διακύμανση και αλλαγή (Hulme, 2005).

Η φύση, γενικά, και τα φυτικά οικοσυστήματα θα προσαρμοστούν αυτόνομα στην κλιματική αλλαγή όπως έχουν κάνει κατά τη διάρκεια των περασμένων χιλιετιών. Ωστόσο, εμείς ίσως επιθυμούμε να επηρεάσουμε τα όρια, την κατεύθυνση και το χρόνο αυτής της προσαρμογής, έτσι ώστε να αμβλύνουμε το κοινωνικο-οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος των διεργασιών της διαταραχής που επιτείνεται από την κλιματική αλλαγή και να διατηρήσουμε αξίες για την κοινωνία των σημερινών οικονομικών και οικολογικών συστημάτων (Pedro Regato 2008).

Θεωρώντας ότι ενδείξεις για την κλιματική αλλαγή έχουν ήδη παρατηρηθεί τις τελευταίες δεκαετίες, οι δράσεις προσαρμογής δεν αποτελούν απλά κάτι που θα πρέπει να εφαρμοστεί στο μέλλον, αλλά μια επείγουσα αναγκαιότητα για το παρόν.

Τα φυτικά οικοσυστήματα βρίσκονται σε μια συνεχή διαδικασία αλλαγής και αναδιάρθρωσης στο χώρο και το χρόνο, και σε διαφορετικές κλίμακες. Αυτό είναι γνωστό ως οικολογική διαδοχή, μια διαδικασία η οποία περιλαμβάνει

- Την εσωτερική δυναμική των ειδών: διαφορετικοί τύποι αλληλεπιδράσεων των ειδών και δυνατοτήτων για διευκόλυνση, αναστολή ή ανοχή άλλων ειδών, όταν ανταγωνίζονται για περιορισμένους πόρους (όπως θρεπτικά, νερό και χώρος).

- Την τροποποίηση του περιβάλλοντος: διαμόρφωση εδάφους, μικροκλιματικές συνθήκες κ.λπ.

- Την ύπαρξη εξωτερικών δυνάμεων ή διαταραχών, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών αλλαγών οι οποίες κάνουν τους πόρους διαθέσιμους ξανά, αλλάζουν τη δεξαμενή των ειδών μέσα στο χρόνο και αδιάκοπα ξανασηματίζουν φυτικές κοινότητες.

Κάτω από μία τέτοια δυναμική προσέγγιση, η ανθεκτικότητα των ειδών συνίσταται στις συνθήκες που επιτρέπουν σε ένα δασικό οικοσύστημα να απορροφά τις αλλαγές στο περιβάλλον και να παραμένει σταθερό (Holling, 1973). Οι αλλαγές στο κλίμα συμβαίνουν ταυτόχρονα με αλλαγές στις χρήσεις γης, την απόθεση αζώτου και τη ρύπανση του αέρα, με αποτέλεσμα οι επιλογές προσαρμογής να απαιτούν ρυθμίσεις για την αύξηση της ανθεκτικότητας των ειδών απέναντι σε ένα πιο σύνθετο συνδυασμό αλλαγών.

Κάποια χαρακτηριστικά των φυτικών οικοσυστημάτων που επηρεάζουν την τρωτότητά τους απέναντι στην κλιματική αλλαγή:

- Παρουσία ευαίσθητων τύπων οικοσυστημάτων
- Παρουσία ειδών/οικοσυστημάτων κοντά στα άκρα των ορίων κατανομής τους
- Παρουσία ειδών/οικοσυστημάτων που έχουν περιορισμένες γεωγραφικές κατανομές
- Τοπογραφική και γεωμορφολογική ομοιομορφία
- Μικρό μέγεθος και υψηλή αναλογία περιμέτρου/μεγέθους περιοχής
- Κατακερματισμός πληθυσμών και οικοσυστημάτων που οφείλεται στον άνθρωπο
- Παρουσία φυσικών κοινοτήτων που εξαρτώνται σε μία ή περισσότερες διαδικασίες ή είδη κλειδιά.
- Υφιστάμενες ανθρωπογενείς πιέσεις εντός και κοντά στα όρια της περιοχής

(Pedro Regato 2008)

1.18 ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η αλλαγή του κλίματος συμβαίνει ήδη και αντιπροσωπεύει μια από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές απειλές που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Η κλιματική αλλαγή στη γη οδηγείται από την εκπομπή αέριων ρύπων ως αποτέλεσμα της καύσης λιθανθράκων για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της κοινωνίας για ενέργεια, μεταφορές και παραγωγή αγαθών.

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα συνολικά οδήγησε τα τελευταία 60 χρόνια σε αλματώδη αύξηση των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τα επίπεδα ρύπανσης στην Ευρώπη υπερβαίνουν συχνά, σε αστικές και αγροτικές περιοχές, τα όρια που έχουν τεθεί από την UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) για μη αντιστρεπτές μεταβολές σε οργανισμούς και υλικά. Τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Κρήτη, όπως έχουν καταγραφεί στο σταθμό της Φοινοκαλιάς (βρίσκεται στο βόρειο άξονα της Κρήτης ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, 35° 20' Β, 25° 40' Α), από το εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Χημικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Κρήτης, είναι αρκετά υψηλά για να προκαλέσουν μη αντιστρεπτές μεταβολές στους οργανισμούς αποδέκτες (Gerasopoulos et al., 2006, Goumenaki et al., 2007). Η αλλαγή κλίματος στον πλανήτη, που προκαλείται από τις αυξανόμενες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται από τις συνδυασμένες επιδράσεις πολλών αλλαγών (π.χ. θερμοκρασία, κατακρημνίσματα, διοξείδιο του άνθρακα, όζον).

Η κλιματική αλλαγή και η ρύπανση της ατμόσφαιρας συνδέονται πολύ στενά. Μέχρι σήμερα η επιστημονική έρευνα αλλά και οι πολιτικές διαπραγματεύσεις είχαν διαχωριστεί κατά ένα μεγάλο μέρος. Σχετικά πρόσφατες επιστημονικές προσεγγίσεις και καινοτόμα επιστημονική έρευνα έχουν συντελέσει στην αλλαγή αυτής της κατάστασης (Swart et al., 2004). Διάφοροι τύποι δεσμών μπορούν να διακριθούν όπως: (α) πολλοί ατμοσφαιρικοί ρύποι και αέρια θερμοκηπίου έχουν κοινές πηγές, (β) υπάρχουν χημικές και φυσικές αλληλεπιδράσεις στην ατμόσφαιρα, και (γ) προκαλούν συνδυασμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα.

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα, ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς στα οικοσυστήματα και στα ανόργανα υλικά.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση τα τελευταία 30 χρόνια έχει αναπτύξει παραπάνω από 300 νομοθετικές πράξεις όπου συμπεριλαμβάνονται κυρίως οδηγίες αλλά και κανονισμοί, αποφάσεις και συστάσεις (European Union Legislation about Air Pollution, 2008).

1.19 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΦΥΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ

Η αρνητική επίδραση των ρύπων στα φυτά προκύπτει είτε από την εναπόθεση των ρύπων πάνω στα φυτά είτε κυρίως από την είσοδο των ρύπων στο εσωτερικό των φύλλων και την επίδραση στη λειτουργία των βιολογικών συστημάτων των φυτών. Αποτελέσματα αυτών των επιδράσεων μπορεί να είναι ορατά συμπτώματα (χλωρώσεις και ξηράνσεις στα φύλλα ή ανάσχεση της ανάπτυξης και της παραγωγής, επιταχυνόμενη γήρανση ή ακόμη και ο θάνατος. Οι αέριοι ρύποι περνούν στο εσωτερικό του φύλλου από τα στομάτια. Η ευκολία της εισαγωγής εκφράζεται από την στοματική αγωγιμότητα και η ροή προς το εσωτερικό είναι ανάλογη της στοματικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης του ρύπου. Η αντίδραση των φυτών εξαρτάται από κλιματικούς, γενετικούς και εδαφικούς παράγοντες.

Η βλάστηση, η ανάπτυξη και η δυνατότητα αναπαραγωγής των φυτών σχετίζονται στενά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η περίσσεια ή η έλλειψη παραγόντων όπως το φως, το νερό και η θρέψη προκαλούν αντίδραση 'stress' στα φυτά (μεταχρωματισμούς των φύλλων, μειωμένη ανάπτυξη και καρπώπωση). Οι συνθήκες που ένα φυτό ζει επηρεάζουν την απορρόφηση των αέριων ρύπων από τα στόματα και τη δυνατότητα του φυτού να αποτοξινωθεί και να αποκαταστήσει τις ζημιές που τυχόν έχουν προκληθεί.

Όσον αφορά στην κίνηση των ρύπων προς το εσωτερικό του φυτού είναι γνωστό ότι κάποιες περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλούν κλείσιμο των στοματίων και συνεπώς προστασία του φυτού από αέριους ρύπους ενώ άλλες καταστρέφουν το μηχανισμό κλεισίματος και συνεπώς αυξάνουν την πρόσληψη των ρύπων. Οι συνθήκες που ευνοούν το άνοιγμα των στοματίων και συνεπώς τη μέγιστη ροή των ρύπων στο εσωτερικό των φυτών είναι: υψηλή σχετική υγρασία, μη περιοριστική υγρασία εδάφους, κορεσμένα επίπεδα φωτός, Θερμοκρασία 20 - 32°C, μέτρια ταχύτητα ανέμου

Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν την αντίδραση των φυτών με έμμεσο τρόπο, επηρεάζοντας την ανάπτυξη και τη διαθέσιμη ενέργεια για την ενεργοποίηση των μηχανισμών αποκατάστασης της ζημιάς.

Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει το ρυθμό των μεταβολικών διαδικασιών στα φυτά όπως τη φωτοσύνθεση, την αναπνοή, τη βλάστηση και τη ροή των ρύπων προς το εσωτερικό των φυτών. Η επίδραση εξαρτάται από το φυτικό είδος και από τον ρύπο.

Η σχετική υγρασία έχει κυρίαρχο αποτέλεσμα στη στοματική αγωγιμότητα και συνεπώς στη ροή των ρύπων. Στο πρόγραμμα ICP-Vegetation έχει καταγραφεί η ίδια ζημιά από το 1/3 της ποσότητας του O₃ όταν η VPD ήταν χαμηλή (υψηλή σχετική υγρασία).

Η ένταση και η διάρκεια του φωτός επηρεάζει την αντίδραση στους ρύπους μέσω παροδικών επιδράσεων στη στοματική αγωγιμότητα και στη φωτοσύνθεση ή μονιμότερων επιδράσεων στη βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών. Σε μερικές περιπτώσεις π.χ. τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε σκιά ήταν περισσότερο ευαίσθητα στο O₃.

Η πρωταρχική επίδραση της ταχύτητας του ανέμου οφείλεται στο ότι η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει τη διάχυση των ρύπων μεταξύ ατμόσφαιρας και επιφάνειας των φύλλων (boundary layer resistance).

Η χαμηλή εδαφική υγρασία επηρεάζει τους μηχανισμούς που μειώνουν την απώλεια του νερού και διαδοχικά την ανάπτυξη του φυτού. Είναι σήμερα γνωστό ότι το κλείσιμο των στοματίων (μερικό ή ολικό) και ο μειωμένος ρυθμός ανάπτυξης των νέων φύλλων ενεργοποιούνται στα φύλλα από την έλλειψη εδαφικής υγρασίας στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ως αποτέλεσμα της σηματοδότησης ριζών-βλαστών από ορμόνες (κυρίως ABA). Σε μελέτες που αναφέρονται στην αλληλεπίδραση της εδαφικής υγρασίας και των ατμοσφαιρικών ρύπων έχει βρεθεί π.χ. ότι η ζημιά από O_3 μειώθηκε σε συνθήκες μειωμένης εδαφικής υγρασίας στη διάρκεια φωτοχημικών επεισοδίων. Επίσης στη διάρκεια ολόκληρης καλλιεργητικής περιόδου η έκθεση σε O_3 συντέλεσε στην απώλεια περισσότερου νερού και περισσότερης ενέργειας σε δένδρα που αναπτύχθηκαν σε ξηρές συνθήκες σε σύγκριση με δένδρα που ποτιζόταν (Θαλασινάκη 2009).

1.20 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (Thuiler 2005)

1.20 Α. ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η αλλαγή του κλίματος έχει ήδη προκαλέσει αλλαγές στη διανομή ειδών σε πολλά μέρη του κόσμου. Αυξημένες επιπτώσεις αναμένονται για το μέλλον, αλλά λίγες μελέτες έχουν στόχο τη γενική κατανόηση της περιφερειακής βάσης για την ευπάθεια των ειδών. Στην μελέτη που παρουσιάζεται παρακάτω, έγινε πρόβλεψη για τις διανομές 1.350 ευρωπαϊκών φυτών, στα τέλη του 21ου αιώνα με βάση επτά σενάρια κλιματικής αλλαγής. Χρησιμοποιώντας τέσσερα αντιπροσωπευτικά σενάρια και τρία διαφορετικά κλιματικά μοντέλα (HadCM3, CGCM2, και CSIRO2), καθώς και μια σειρά εξειδικευμένων μοντέλων με βάση τις εξειδικευμένες τεχνικές που εφαρμόζονται στο BIOMOD, αναπτύχθηκαν προβλέψεις των πιθανών συνεπειών για τα 1.350 φυτικά είδη. Το «μελλοντικό κλίμα» αντιπαραβάλλεται με το σημερινό κλίμα (κατά μέσον όρο από το 1961 έως το 1990) είναι ο προβλεπόμενος μέσος όρος για την περίοδο από 2051 έως 2080.

Η εφαρμογή των κριτηρίων της (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Red List) Διεθνούς Ένωσης για τη Διατήρηση της Φύσης και των Φυσικών Πόρων στις προβλέψεις της μελέτης δείχνει ότι πολλά ευρωπαϊκά είδη φυτών θα μπορούσαν να απειληθούν σοβαρά. Περισσότερο από το ήμισυ των ειδών που μελετήθηκαν θα μπορούσαν να είναι ευάλωτα ή απειλούμενα από το 2080. Η αναμενόμενη απώλεια ειδών και η ανατροπή των ειδών ανά εικονοστοιχείο αποδείχτηκαν ιδιαίτερα μεταβαλλόμενα στα σενάρια Η κατάσταση της απώλειας και του κύκλου ζωής των ειδών εξαρτάται έντονα από

τον βαθμό μεταβολής σε δύο μόλις κλιματικές μεταβλητές, τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα είδη από τα βουνά θα μπορούσαν να θεωρηθούν δυσανάλογα ευαίσθητα στις κλιματικές αλλαγές ($\approx 60\%$ απώλεια ειδών). Η βόρεια περιοχή αναμένεται να χάσει λίγα είδη, αν και κερδίζει πολλά άλλα από τη μετανάστευση. Οι μεγαλύτερες αλλαγές αναμένονται κατά τη μετάβαση μεταξύ των μεσογειακών και ευρω-σιβηρικών περιοχών. Διαπιστώθηκε ότι οι κίνδυνοι εξαφάνισης των ευρωπαϊκών φυτών μπορεί να είναι μεγάλοι, ακόμη και σε μέτρια σενάρια κλιματικής αλλαγής και παρά τη μεταβλητότητα μεταξύ των μοντέλων.

Για να αξιολογηθεί η ευαισθησία των μελλοντικών προβολών στην πιο κρίσιμη από αυτές τις υποθέσεις, θεωρήθηκαν δύο αντίθετες υποθέσεις σχετικά με τη μεταναστευτική ικανότητα (Thuiller, W. (2004)): είτε τα είδη δεν είναι σε θέση να διασκορπιστούν καθόλου στην εξεταζόμενη χρονική κλίμακα (χωρίς μετανάστευση), ή δεν έχουν περιορισμούς στη διασπορά και την εγκατάσταση (καθολική μετανάστευση). Η πραγματικότητα για τα περισσότερα είδη είναι πιθανό να πέσει μεταξύ αυτών των δύο άκρων, ανάλογα με την ικανότητά τους να μεταναστεύσουν κατά μήκος κατακερματισμένων τοπίων (Higgins, S et al 2003). Υπολογίστηκαν οι απώλειες σε κλιματικά κατάλληλες περιοχές («απώλεια ειδών») υποθέτοντας καθόλου μετανάστευση και κέρδη («ωφέλεια ειδών») και ανατροπές («αλλαγές ειδών») υποθέτοντας καθολική μετανάστευση.

1.20 Β. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η μοντελοποίηση διεξήχθη χρησιμοποιώντας διαθέσιμα δεδομένα για την Ευρώπη σε πλέγμα (grid) 50*50 km. Η χαρτογραφηθείσα περιοχή περιλαμβάνει τη δυτική, βόρεια και νότια Ευρώπη, αλλά αποκλείει το μεγαλύτερο μέρος των χωρών της Ανατολικής Ευρώπης όπου η προσπάθεια καταγραφής ήταν τόσο λιγότερο ομοιόμορφη και όσο και λιγότερο εντατική (Williams, P. et al (2000)). Το δείγμα των 1350 φυτών, υποτέθηκε ότι μπορεί να ληφθεί ως αντιπροσωπευτικό για τις αποκρίσεις των Ευρωπαϊκών φυτικών ειδών στην αλλαγή του κλίματος, διότι περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των μορφών ζωής και των φυτογεωγραφικών προτύπων που βρέθηκαν μεταξύ των φυτικών ειδών στην Ευρώπη.

Τα στοιχεία για το κλίμα, για την μελέτη στην Ευρώπη, ελήφθησαν από τη μονάδα κλιματικής έρευνας (Climatic Research Unit) (www.cru.uea.ac.uk) και περιελάμβανε μέση ετήσια, χειμερινή και καλοκαιρινή βροχόπτωση, μέση ετήσια θερμοκρασία και ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (MTC), αυξανόμενη θερμοκρασία ημερών βαθμού ($>5^\circ$) και δείκτη υγρασίας (Gerten, D. et al (2004)). Αυτές οι μεταβλητές επιλέχθηκαν λόγω της ισχυρής τους σχέσης με τη φυσιολογία και την ανάπτυξη φυτικών ειδών (Prentice, I. et al 1992). Τα στοιχεία για το κλίμα ήταν κατά μέσο όρο για την περίοδο 1961-1990.

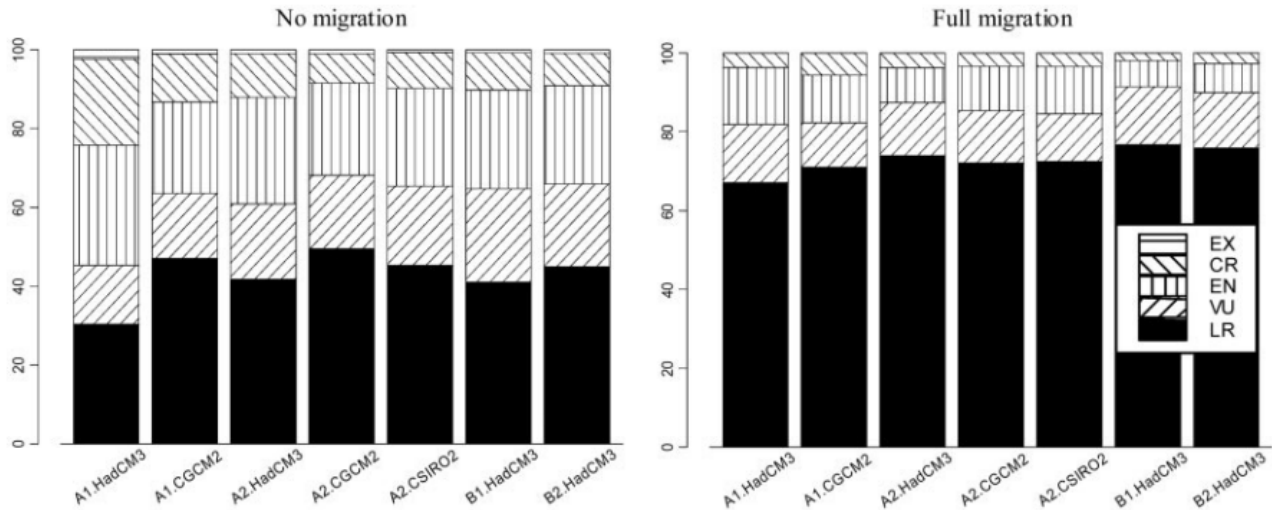
1.20 Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Για κάθε ένα από τα σενάρια αλλαγής του κλίματος, μοντέλα που σχετίζουν την κατανομή των ειδών με τις επτά βιοκλιματικές μεταβλητές, προσαρμόστηκαν χρησιμοποιώντας το BIOMOD και έκαναν πρόβλεψη για το μέλλον.

Εξαφανισμένο θεωρήθηκε ένα είδος με προβλεπόμενη απώλεια εύρους 100% σε 50 ή 80 χρόνια, κρίσιμα απειλούμενο εκείνο που έχει προβάλλει απώλεια εύρους 80%, το απειλούμενο έχει προβλεπόμενη απώλεια εύρους 50% και τα ευάλωτα έχουν προβλεπόμενη απώλεια εύρους ζώνης 30%. Παρόλο που αυτή η προσέγγιση είναι απλοϊκή και εξετάζει μόνο τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής, παρέχει μια σύνθετη σφαιρική εικόνα και επισκόπηση απειλούμενων ειδών, που οφείλονται στην αλλαγή του κλίματος.

Πολλά ευρωπαϊκά είδη θα μπορούσαν να απειληθούν από την αλλαγή του μελλοντικού κλίματος (εικόνα 7). Υπό την υπόθεση ότι δεν υπάρχει μετανάστευση, περισσότερα από το ήμισυ των φυτικών ειδών που λήφθηκαν υπόψη, γίνονται ευάλωτα ή δεσμεύονται να εξαφανιστούν μέχρι το 2080. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι, φυσικά, λιγότερες με βάση την καθολική μετανάστευση εξαιτίας της δυνατότητας μετακίνησης των ειδών κατά μήκος τοπίων. Σύμφωνα με την υπόθεση της μη μετανάστευσης και το σενάριο με τη σοβαρότερη κλιματική αλλαγή (A1-HadCM3), το 22% των ειδών γίνεται κρίσιμα απειλούμενο (80% απώλεια εύρους) και ενώ το 2% έχει εξαφανιστεί μέχρι το 2080. Αυτά τα ραγδαία νούμερα αποτελεσμάτων, μειώνονται για τα άλλα σενάρια και τα κλιματικά μοντέλα. Σύμφωνα με την υπόθεση της καθολικής μετανάστευσης, τα αποτελέσματα είναι, ως αναμένονται, λιγότερο σοβαρά. Με βάση το κλιματικό σενάριο tA1-HadCM3, το 67% των ειδών θα ταξινομούσαν ως χαμηλού κινδύνου, ενώ με βάση το B1-HadCM3, το 76% των ειδών θα είναι σε χαμηλό κίνδυνο. Τα αποτελέσματά αυτά συμπίπτουν με την κατεύθυνση των προβλέψεων του Thomas et al. (2004), αν και το μέγεθος του κινδύνου που προβλέφθηκε είναι μικρότερο από αυτό που προβλέφθηκε από τον Thomas [και να σημειωθεί ότι η πρόβλεψη στην πρώτη περίπτωση έγινε για μέχρι το 2080, στη δεύτερη προβλέφθηκε μόνο μέχρι το 2050].

Εικόνα 7: Ποσοστά των φυτών που κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τα δύο ακραία σενάρια μετανάστευσης. EX. εξαφάνιση, CR. κρίσιμου κινδύνου, EN. σε κίνδυνο, VU. ευάλωτα, LR. χαμηλού κινδύνου (Wilfried Thuiller, 2005)



Proportion of species classified according to the IUCN Red List assessment under two extremes assumptions about species migration. EX, extinct; CR, critically endangered; EN, endangered; VU, vulnerable; LR, lower risk.

Η μοντελοποίηση δεν αναδεικνύει τις εγγενείς αιτίες της εξάλειψης των ειδών. Ωστόσο, οποιαδήποτε μείωση του δυναμικού γεωγραφικού εύρους ενός είδους είναι πιθανό να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο της τοπικής εξαφάνισης του (Thomas et al, 2004). Αυτό το συμπέρασμα είναι, στην πραγματικότητα, το σκεπτικό για την κατασκευή των κόκκινων λιστών της IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2001)). Μείωση του μεγέθους της περιοχής σημαίνει ότι τα μικρότερα στοχαστικά γεγονότα επηρεάζουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού πληθυσμού του είδους, ιδίως σε κατακερματισμένα - μη συνεχή τοπία. Εάν ένα είδος περιορίζεται σε λίγες τοποθεσίες, τότε τοπικά καταστροφικά γεγονότα (όπως η ξηρασία ή η εμφάνιση ασθενειών) ή μία αύξηση της μεταβολής της γης από τους ανθρώπους θα μπορούσε εύκολα να προκαλέσει την εξαφάνιση αυτού του είδους.

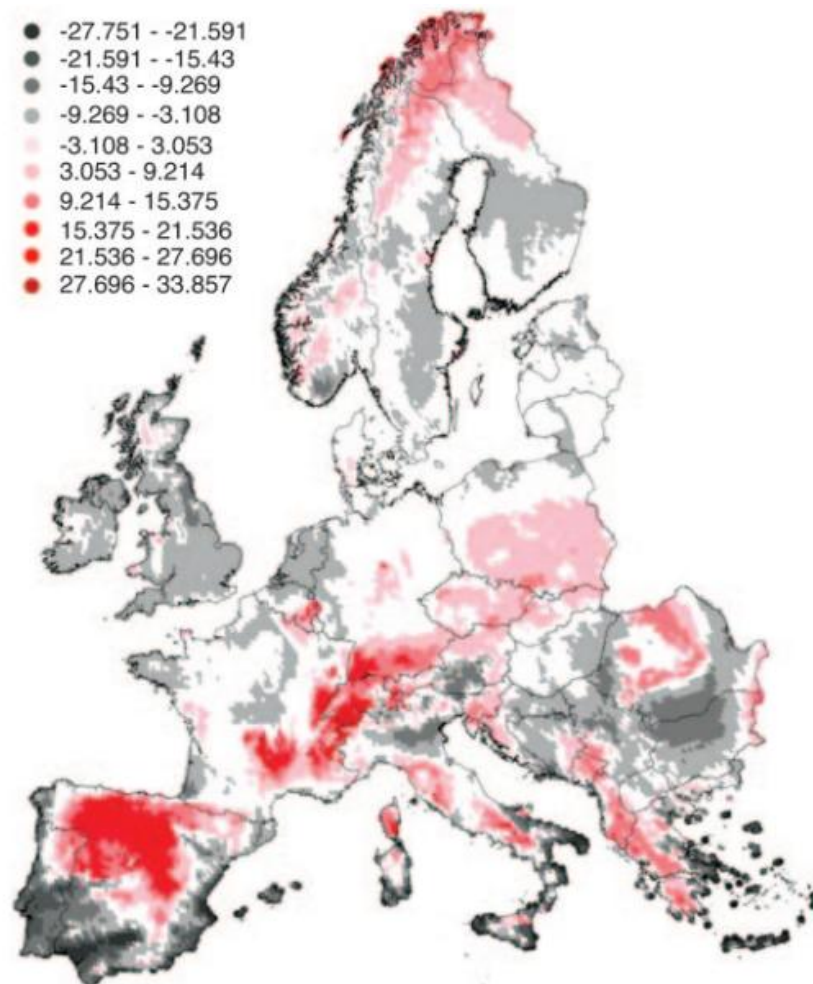
Οι ρυθμοί απώλειας και οι μεταβολές των ειδών παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές για τα διαφορετικά σενάρια. Στο A1-HadCM3, η μέση ευρωπαϊκή θερμοκρασία αυξάνεται έως και 4,4 K, οδηγώντας σε μια μέση απώλεια των ειδών 42% και αλλαγή των ειδών κατά 63%. Αυτό το σενάριο παρέχει το μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης σε όλη την Ευρώπη τόσο για την απώλεια ειδών (2,5 - 86%) όσο και για τις αλλαγές των ειδών (22-90%). Το ποσοστό της απώλειας ειδών μπορεί να υπερβεί το 80% σε ορισμένες περιοχές, όπως η βόρεια κεντρική Ισπανία και η Ισπανία το Cevennes και το Massif Central στη Γαλλία. Το B1-HadCM3 δίνει το χαμηλότερο αναμενόμενο μέσο ποσοστό απώλειας ειδών (27%), αντανakλώντας το

γεγονός ότι το σενάριο αυτό έχει το χαμηλότερο ποσοστό αύξησης του CO₂ και της θερμοκρασίας έως το 2080 (μέσος όρος ευρωπαϊκής αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2,7 K). Άλλα σενάρια παρουσιάζουν ενδιάμεσο μέσο ρυθμό απώλειας (30%) και αλλαγής των ειδών (50%).

Η σχέση μεταξύ των απωλειών των ειδών που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα και οι ανωμαλίες των δύο πιο συσχετιζόμενων βιοκλιματικών μεταβλητών, οι ημέρες αύξησης της θερμοκρασίας (που αντιπροσωπεύουν τη συσσωρευμένη ζεστασιά) και η διαθεσιμότητα του δείκτη υγρασίας αποκαλύπτουν τις πιθανές αιτίες των αποκλίσεων στις προβλεπόμενες αλλαγές, στην ποικιλομορφία των φυτών σε περιοχές εντός και μεταξύ των σεναρίων.

Οι περιφερειακές αποκλίσεις από τη συναγόμενη σχέση (θετικά και αρνητικά υπόλοιπα) μπορούν να ερμηνευθούν ως ενδείξεις της ιδιαίτερα υψηλής ή χαμηλής ευπάθειας των ειδών, εξαιτίας των οικολογικών και ιστορικών χαρακτηριστικών της χλωρίδας και / ή των ειδικών περιβαλλοντικών συνθηκών (εικ.8). Μια υπέρβαση της απώλειας ειδών (κόκκινο χρώμα) εμφανίζεται για τις ορεινές περιοχές (Άλπεις μεσαίου υψομέτρου, Πυρηναία, κεντρική Ισπανία, Γαλλικά Cevennes, Βαλκάνια, Καρπάθια). Βαριές κλιματολογικές συνθήκες σημειώθηκαν στα βουνά κατά τη διάρκεια της εξελικτικής περιόδου, προάγοντας υψηλώς ειδικευμένα είδη με ισχυρή προσαρμογή σε περιορισμένες δυνατότητες ανάπτυξης και επιβίωσης (Korner, C. (1999)). Οι περιορισμένες ανοχές της ορεινής χλωρίδας όσο αφορά την περιοχή ευδοκίμησής της, σε συνδυασμό με ανάλογους περιορισμούς άλλων ειδών, είναι πιθανό για πολλούς να οδηγήσουν σε υψηλότερα ποσοστά απώλειας τα είδη σε παρόμοια κλιματική ανωμαλία, σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέρος της Ευρώπης (Thuiller, W., (2005)). Αντίθετα, η νότια Μεσόγειος και το μέρος των Σκανδιναβικών χωρών έχει αρνητικό υπόλοιπο για την απώλεια ειδών (γκρίζο χρώμα). Και οι δύο περιοχές χαρακτηρίζονται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και καταλαμβάνονται από είδη που ανέχονται ισχυρή θερμότητα και ξηρασία. Σύμφωνα με τα σενάρια που χρησιμοποιούνται εδώ, αυτά τα είδη είναι πιθανά να συνεχίσουν να είναι καλά προσαρμοσμένα στις μελλοντικές συνθήκες.

Εικόνα 8: Το κόκκινο χρώμα δείχνει υπέρβαση της απώλειας ειδών. Το γκριζο χρώμα δείχνει έλλειμα.

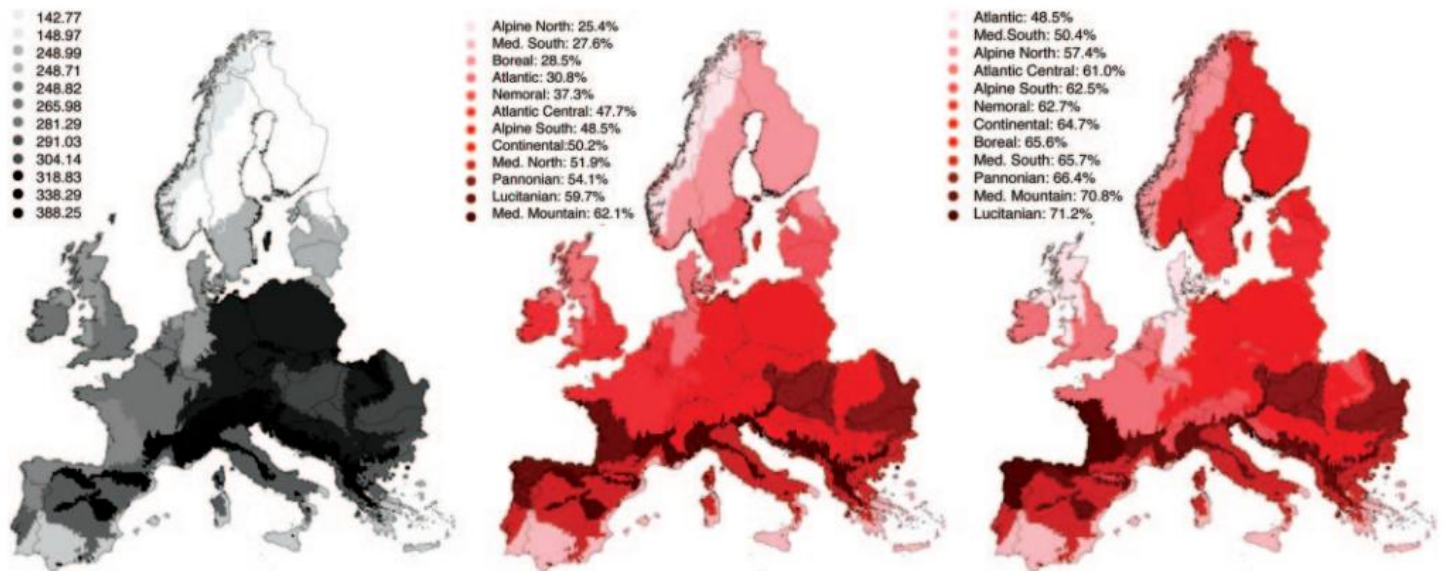


Regional projections of the residuals from the multiple regression of species loss against growing-degree days and moisture availability. Red colors indicate an excess of species loss; gray colors indicate a deficit.

Παρουσιάζονται παρακάτω οι μέσοι όροι των ποσοστών απώλειας ειδών και των αλλαγών από περιβαλλοντικές ζώνες (M. Metzger, αδημοσίευτα δεδομένα) με το σενάριο A1-HadCM3 της μέγιστης αλλαγής να απεικονίζει καλύτερα τα χωρικά πρότυπα (Εικόνα 12). Τα μεγάλα χωρικά πρότυπα είναι παρόμοια σε όλα τα σενάρια. Η βόρεια Μεσόγειος (52%), η Λουσιτανία (60%) και το βουνό της Μεσογείου (62%) είναι οι πιο ευαίσθητες - ευάλωτες περιοχές · η περιοχή Boreal (29%), το βόρειο αλπικό (25%) και ο Ατλαντικός (31%) είναι σταθερά λιγότερο ευαίσθητες περιοχές. Η αλλαγή των ειδών δείχνει κάπως διαφορετικό πρότυπο. Η περιοχή των Boreal θα μπορούσε κατ'αρχήν να κερδίσει πολλά είδη από το νότο, οδηγούμενη σε υψηλά επίπεδα αλλαγών (66%). Η περιοχή της Σκανδιναβίας θα μπορούσε θεωρητικά, επίσης, να κερδίσει είδη της Ανατολικής Μεσογείου

και να έχει υπολογιζόμενες αλλαγές στο 66%. Έτσι, αυτές οι περιοχές σταματούν να χάνουν σημαντικό μέρος των ποικιλόμορφων φυτικών ειδών τους και (σε βάθος χρόνου) επιδεικνύουν μια σημαντική αλλαγή στη σύνθεση του ανθοκομικού τους τομέα. Οι προβλεπόμενες αλλαγές των ειδών κυμαίνονται κατά τη μετάβαση μεταξύ της μεσογειακής και της ηπειρωτικής περιοχής (εικ. 9) με την εξαφάνιση των ευρω-σιβηρικών ειδών και την επέκταση των ειδών της Μεσογείου ή του Ατλαντικού. Η νότια Fennoscandia είναι επίσης μία περιοχή με υψηλή δυναμικότητα αλλαγών με απώλεια βόρειων ειδών και κέρδος των ευρω-σιβηρικών ειδών.

Εικόνα 9: χωρική ευαισθησία της ποικιλίας φυτών κατατασόμενη από βιογεωγραφικές περιοχές. Μέσο ποσοστό σημερινού πλούτου ειδών (αριστερά), απώλεια ειδών (μέση) και αλλαγή (δεξιά) με βάση το σενάριο A1-HadCM3.



Spatial sensitivity of plant diversity in Europe ranked by biogeographic regions. Mean percentage of current species richness (Left) and species loss (Center) and turnover (Right) by environmental zones under the A1-HadCM3 scenario.

Αυτά τα αποτελέσματα δεν μπορούν να ληφθούν ως ακριβείς προβλέψεις δεδομένου των αβεβαιοτήτων σχετικά με τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, της γενικής ανάλυσης και βλέψης των χωρικών εκτάσεων (η γενική χωρική ανάλυση των εκτάσεων) (Weaver, A. J. et al (2000)) και των αβεβαιοτήτων στις χρησιμοποιούμενες τεχνικές μοντελοποίησης (Thuiller, W et al (2004)). Το σχετικά χονδροειδές κλίμακας πλέγμα της μελέτης, μπορεί να αποκρύψει πιθανά καταφύγια για τα είδη και περιβαλλοντική ετερογένεια που θα μπορούσε να ενισχύσει την επιβίωση των ειδών, ειδικά στις ορεινές περιοχές όπου η εκτίμηση για τον κίνδυνο εξαφάνισεων θα μπορούσε να υπερεκτιμηθεί. Από την άλλη μεριά, ο κατακερματισμός (απομονώσεις και διαχωρισμοί) του τοπίου θα μπορούσε να αυξήσει την ευπάθεια του αυτών των καταφυγίων σε πυρκαγιά ή άλλες διαταραχές, οι

οποίες σε συνδυασμό με την έλλειψη ροής πολλαπλασιασμού, θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την επιβίωση των υπόλοιπων πληθυσμών. Υπάρχουν επίσης σημαντικές αβεβαιότητες λόγω των καθυστερήσεων που σχετίζονται με τις βιοτικές διαδικασίες. Οι αναγνωρισμένες χρονικές κλίμακες για την ταξινόμηση των ειδών σε κατηγορίες δεν είναι κατάλληλες για την αξιολόγηση των συνεπειών των βραδέων αλλά διαρκών απειλών. Η έκταση των απολεσθέντων ειδών μπορεί να υπερεκτιμηθεί, γιατί η προσαρμοστικότητα των ειδών και η ικανότητα επιβίωσης των ειδών σε ευνοϊκούς μικροβιοτόπους και μικροοικοσυστήματα δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη. Ωστόσο, ακόμα κι αν οι αριθμοί είναι υπερεκτιμημένοι, τα πρότυπα σε διάφορες περιοχές μπορούν να παραμείνουν (π.χ., κατάταξη της περιοχής από άποψη της ευπάθειας σε απώλεια). Η απώλεια ειδών δεν συνεπάγεται αναγκαστικά την άμεση απώλεια ενός είδους από ένα χώρο, αλλά μπορεί να συνεπάγεται πιθανή έλλειψη της αναπαραγωγικής επιτυχίας που θα οδηγήσει σε εξαφάνιση σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα (36). Τα ποσοστά μετανάστευσης είναι πιθανόν να είναι εξειδικευμένα για το κάθε είδος και οι προκύπτουσες βιοτικές αλληλεπιδράσεις στα " μη αναλογικά " συναθροίσματα ειδών, μπορούν να αλλάξουν τα εξειδικευμένα είδη των φυτικών ειδών.

Η χρήση της γης και ο κατακερματισμός των βιοτόπων είναι πιθανό γενικά να αναστείλουν τα ποσοστά μετανάστευσης (Higgins, I. et.al (2003)). Επιπλέον, οι μελλοντικές κατανομές ειδών πιθανόν να επηρεαστούν από άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και όχι από το μεταβαλλόμενο κλίμα. Η σημερινή ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO₂ ξεπερνά κάθε τιμή που γνωρίζουμε τα τελευταία 20 εκατομμύρια χρόνια (Intergovernmental Panel on Climate Change (2001)). Οι φυσιολογικές ανταποκρίσεις των φυτών, συμπεριλαμβανομένης της ανταπόκρισης της ανάπτυξης σε αυξημένο ατμοσφαιρικό CO₂ και οι αλλαγές στην αποδοτικότητα της χρήσης νερού, αναμένεται να βελτιώσουν την ανταπόκριση ορισμένων φυτικών λειτουργιών στην κλιματική αλλαγή (Sitch, S. et al (2003)). Από την άλλη μεριά, η εναπόθεση αζώτου, το αυξημένη περίπτωση εισβολής εξωτικών ειδών ή η προώθηση ανταγωνιστικότερων ντόπιων ειδών μπορούν να αλλάξουν τις ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις στις φυτικές κοινότητες, αποδίδοντας νέα πρότυπα κυριαρχίας και λειτουργίας του οικοσυστήματος (Craine, J. et al. (2003)).

Παρά τις αβεβαιότητες, τα ευρήματά μας παρέχουν απεικόνιση της πιθανής σημασίας και της πιθανής κατεύθυνσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Από μια συντηρητική οπτική γωνία, ένα ποσοστό των ευρωπαϊκών φυτικών ειδών θα μπορούσε να γίνει ευάλωτο. Ο δυνατή θετική σχέση μεταξύ της προβλεπόμενης απώλειας ειδών και των αλλαγών με τις βιοκλιματικές μεταβλητές συνεπάγεται ότι η δράση για τη μείωση του θερμοκηπίου και των εκπομπών αερίων θα αμβλύνουν επίσης τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ποικιλία των φυτών. Ωστόσο, ακόμη και με βάση το λιγότερο σοβαρό σενάριο, οι κίνδυνοι για τη βιοποικιλότητα φαίνεται να είναι σημαντικοί. Οι διαφορετικές περιοχές αναμένεται να ανταποκριθούν διαφορετικά στην κλιματική αλλαγή, με την μεγαλύτερη ευπάθεια στις ορεινές περιοχές και τις λιγότερες επιπτώσεις στις νότιες μεσογειακές και τις Σκανδιναβικές περιοχές.

Κεφάλαιο 2 Μεθοδολογία

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά οι στατιστικές τεχνικές καθώς και η συνοπτική επεξήγηση της εξαγόμενης πληροφορίας που δίνεται από τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των δεδομένων. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα στατιστικού προγραμματισμού R (R Core Team, 2013) και πιο συγκεκριμένα υλοποιήθηκαν γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (Generalized Linear Models), γενικευμένα γραμμικά μοντέλα με κανονικοποίηση lasso, δέντρα αποφάσεων για κατηγοριοποίηση (Decision Trees) και δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη (conditional inference trees).

2.1 Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα και Lasso παλινδρόμηση

Στην περίπτωση ενός απλού γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης, εξετάζουμε την σχέση ανάμεσα σε κάποια μεταβλητή y που ονομάζεται μεταβλητή απόκρισης ή εξαρτημένη μεταβλητή με κάποιες άλλες μεταβλητές x_{ni} οι οποίες ονομάζονται ανεξάρτητες ή πρόβλεψης και οι οποίες θεωρούμε ότι επηρεάζουν την τιμή της y . Αυτό μπορεί να γραφεί σε μορφή τύπου ως εξής:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e_i$$

όπου οι συντελεστές β ονομάζονται παράμετροι του μοντέλου και το e είναι μια μεταβλητή που αντιστοιχεί στο σφάλμα του μοντέλου. Μια από τις προϋποθέσεις για να εφαρμοστεί η απλή γραμμική παλινδρόμηση είναι, η εξαρτημένη μεταβλητή να έχει συνεχείς τιμές σε κάποιο διάστημα.

Στην περίπτωση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει διακριτές τιμές 0 και 1 ανάλογα με την απουσία ή παρουσία του φυτού οπότε και δεν είναι δυνατή η χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Για την μοντελοποίηση τέτοιων δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα θεωρώντας ότι τα δεδομένα περιγράφονται με διωνυμική κατανομή.

Στην διωνυμική κατανομή περιγράφονται δεδομένα με δύο πιθανά αποτελέσματα πχ. ύπαρξη ή μη ύπαρξη ενός φυτού. Η πιθανότητα να έχουμε k εμφανίσεις ενός φυτού σε n διαφορετικές τοποθεσίες με πιθανότητα επιτυχίας p κάθε φορά είναι:

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

ενώ η μέση τιμή είναι $E(Y) = np$ και η συνδιακύμανση είναι $\text{var}(Y) = np(1 - p)$.

Σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο της παλινδρόμησης γίνεται:

$$g(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e_i$$

όπου η συνάρτηση $g(p)$ ονομάζεται συνάρτηση σύνδεσης (link function).

Μια παραλλαγή είναι η χρήση της stepwise επιλογής ενός υποσυνόλου ανεξάρτητων μεταβλητών από όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιούμε το λεγόμενο κριτήριο Akaike το οποίο λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα εμφάνισης και τον αριθμό παρατηρήσεων και ένα μοντέλο με μικρότερο σκορ όσο αφορά το κριτήριο Akaike θεωρείται καλύτερο. Ξεκινώντας από μια μεταβλητή, προσθέτουμε μια μια τις υπόλοιπες μεταβλητές για να καταλήξουμε στο μοντέλο με το χαμηλότερο σκορ Akaike και τις μεταβλητές με στατιστική σημαντικότητα. Η διαδικασία απαιτεί πάρα πολλούς υπολογισμούς οπότε και γίνεται αυτόματα με χρήση στατιστικών πακέτων.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου όπως δίνονται από την R παρουσιάζονται στην εικόνα 10. Αρχικά παρουσιάζεται η φόρμουλα του μοντέλου: Στο αριστερό σκέλος υπάρχει η (εξαρτημένη) μεταβλητή που περιγράφει την ύπαρξη ή μη ενός φυτού ενώ στο δεξί σκέλος υπάρχουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές που περιγράφουν κάποιες βιοκλιματικές συνθήκες στην περιοχή που συλλέχθηκε το δείγμα. Ακόμη παρουσιάζεται η κατανομή που εκτιμούμε ότι περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα μας δηλαδή η διωνυμική, λόγω του ότι έχουμε τιμές 0 ή 1 στην περίπτωση αυτή. Προχωρώντας στα αποτελέσματα, στην πρώτη στήλη (estimate) έχουμε τις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου, που συμβολίσαμε β_i παραπάνω, το τυπικό σφάλμα (standard error) που μας δείχνει την μέση διασπορά των τιμών γύρω από τη μεταβλητή σε σχέση με την πρόβλεψη και το στατιστικό Z-value το οποίο συνοδεύεται από μια τιμή p-value: Σε περίπτωση που έχουμε p-value < 0.05 λέμε ότι το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$.

```

##
## Call:
## glm(formula = Plant ~ bio1 + bio2 + bio3, family = binomial(),
##      data = dataset)
##
## Coefficients:
##              Estimate      Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)   -50.20820     118.88402  -0.422   0.6728
## bio1         -3975215.92738  2249704.76148  -1.767   0.0772 .
## bio2           3975214.74991  2249704.15287   1.767   0.0772 .
## bio3            -0.11262         0.04547  -2.477   0.0133 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Εικόνα 10 Παράδειγμα αποτελέσματος γενικευμένου γραμμικού μοντέλου στην R

Στην περίπτωση που έχουμε πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες μπορεί να συσχετίζονται μεταξύ τους, ενδεχομένως το μοντέλο να μην έχει τόσο καλά αποτελέσματα. Μια προσέγγιση για να αποφευχθεί αυτό προτάθηκε από τον Tibshirani (1996) και ονομάζεται lasso παλινδρόμηση. Σε αυτή βρίσκουμε τις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου, έστω β_k , ελαχιστοποιώντας την ποσότητα

$$\sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{k=1}^p \beta_k x_{ik} \right)^2 + \lambda \sum_{k=1}^p |\beta_k|$$

Το δεύτερο άθροισμα ονομάζεται τελεστής συρρίκνωσης (shrinkage operator) και το λ είναι μια μεταβλητή μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός. Το μοντέλο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε τιμές του β ίσες με το μηδέν, σε αντίθεση με το μοντέλο της γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή κάποιες μεταβλητές να μην συμπεριλαμβάνονται καθόλου στο τελικό μοντέλο.

2.2 Δέντρα αποφάσεων

Τα Δέντρα αποφάσεων για κατηγοριοποίηση είναι μαθηματικά μοντέλα, στα οποία εσωτερικοί κόμβοι αντιστοιχούν σε κάποιο γνώρισμα – μεταβλητή: Όταν ένας κόμβος (parent node) συνδέεται με έναν ή δύο άλλους (children nodes), το ονομάζουμε διαχωρισμό (split). Οι τελικοί κόμβοι-φύλλα του δέντρου αντιστοιχούν σε κλάσεις. Οι πληροφορίες για τα δέντρα αποφάσεων, αντλήθηκαν από τα βιβλία των James et. al (2013) και Rokach &

Maimon (2015). Για την δημιουργία των δέντρων χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη rpart (Therneau, Atkinson & Ripley, 2017).

Ο διαχωρισμός γίνεται με δείκτες ανομοιογένειας (impurity measures) Οι δείκτες αυτοί έχουν τις παρακάτω ιδιότητες. Δοσμένης τυχαίας μεταβλητής χ με k διακριτές τιμές, κατανεμημένες σύμφωνα με πιθανότητα $P=(p_1, p_2, \dots, p_k)$, δείκτης ανομοιογένειας είναι μια συνάρτηση $\phi: [0,1]^k \rightarrow \mathbf{R}$ για την οποία ισχύουν οι παρακάτω ιδιότητες:

- $\phi(P) \geq 0$
- $\phi(P)$ ελάχιστη αν $\exists i$, τ.ω. $P_i=1$
- $\phi(P)$ μέγιστη αν $\exists i$, τ.ω. $\forall i, 1 \leq i \leq k, p_i = 1/k$.
- $\phi(P)$ συμμετρική σε σχέση με τις τιμές του συνόλου P

Αν S ένα σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του μοντέλου, το σύνολο των πιθανοτήτων που αφορούν μεταβλητή y είναι:

$$P_y(S) = \left(\frac{|\sigma_{y=c_1} S|}{|S|}, \dots, \frac{|\sigma_{y=c_{|dom(y)|}} S|}{|S|} \right)$$

Κριτήριο καλού διαχωρισμού για μια μεταβλητή a_i αποτελεί η μείωση της ανομοιογένειάς της y μετά από διαχωρισμό του S για τιμές $v_{i,j} \in dom(a_i)$:

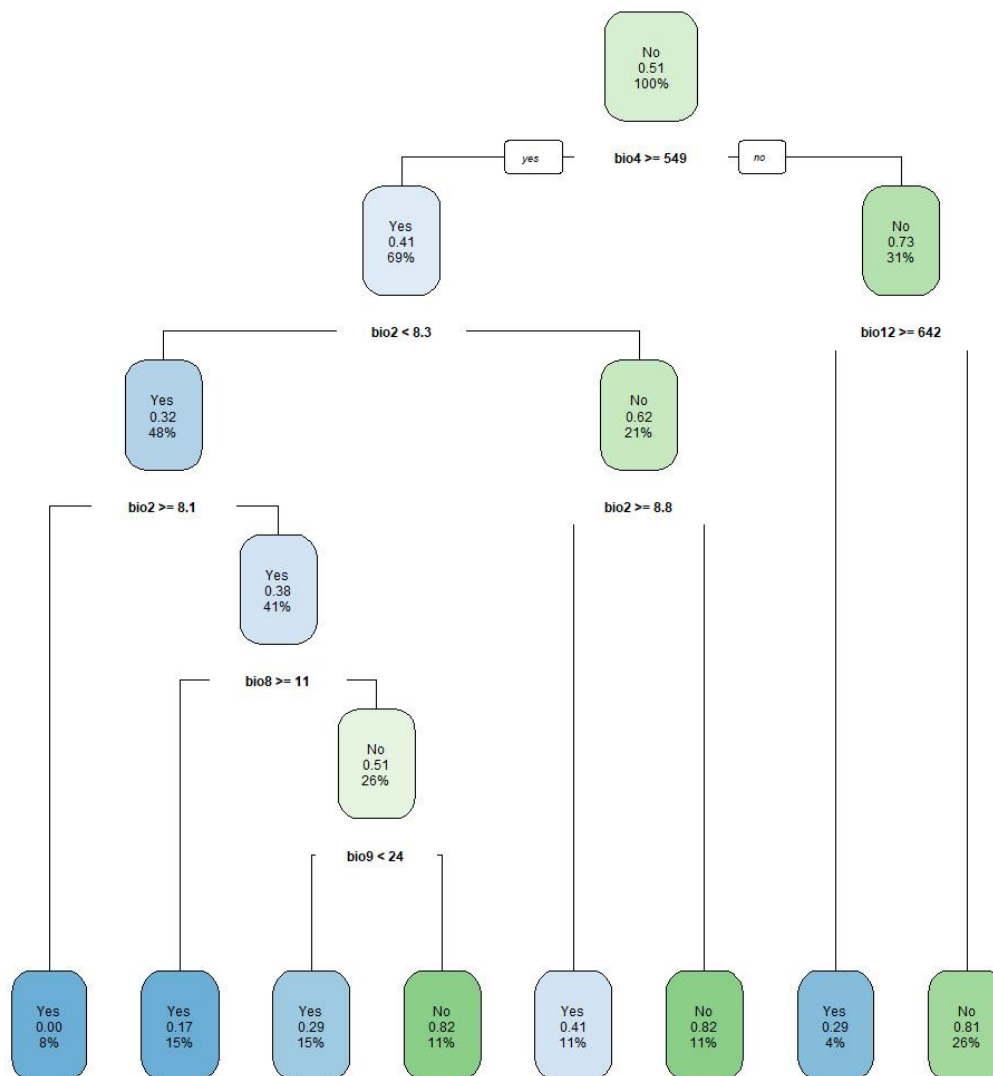
$$\Delta\Phi(a_i, S) = \phi(P_y(S)) - \sum_{j=1}^{|dom(a_i)|} \frac{|\sigma_{a_i=v_{i,j}} S|}{|S|} \cdot \phi(P_y(\sigma_{a_i=v_{i,j}} S)).$$

Ως κριτήριο διαχωρισμού επιλέχθηκε το Gini Impurity.

$$Gini(y, S) = 1 - \sum_{c_j \in dom(y)} \left(\frac{|\sigma_{y=c_j} S|}{|S|} \right)^2.$$

Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου δέντρου φαίνεται στην εικόνα 11 όπου απεικονίζονται τα αποτελέσματα για την κατηγοριοποίηση κάποιου φυτού από τα δεδομένα μας με βάση δύο κλάσεις, την ύπαρξη ή όχι ενός φυτού. Κάθε κόμβος δίνει την κλάση που προβλέπεται δηλαδή εάν την ύπαρξη του φυτού, την πιθανότητα ένα φυτό να μην υπάρχει και το ποσοστό των παρατηρήσεων που εμπεριέχεται σε κάθε κόμβο. Στο παράδειγμα, στον πρώτο κόμβο προβλέπεται πως το φυτό δεν υπάρχει με πιθανότητα 0.86 σε όλο το δείγμα.

Αυτό αντιστοιχεί στην πιθανότητα που παρατηρείται το φυτό σε όλο το δείγμα. Προχωρώντας, το μοντέλο βρίσκει ότι το δείγμα μπορεί να διαχωριστεί με βάση την τιμή του δείκτη bio3 δηλαδή με βάση την τιμή του δείκτη ανομοιογένειας, εάν ο δείκτη έχει τιμή μικρότερη του 30, έχουμε πιθανότητα 0.25 το φυτό να υπάρχει.



Εικόνα 11 Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων για κατηγοριοποίηση

Το ζήτημα που προκύπτει είναι η επιλογή του σημείου στο οποίο θα σταματήσει η ανάπτυξη του δέντρου ώστε να υπάρχουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Μια συνήθης τακτική, αποτελεί η χρήση της τεχνικής του k-fold cross validation όπου το δείγμα χωρίζεται σε **k** κομμάτια. Το μοντέλο χρησιμοποιεί κάθε φορά **k-1** κομμάτια για την εκπαίδευση του

(training) και το εναπομένον από τα κομμάτια για έλεγχο (testing). Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν $k = 5$ κομμάτια, που είναι μια συχνή εμπειρική επιλογή για σετ δεδομένων που δεν είναι πολύ μεγάλα (Rokach & Maimon, 2015).

Η επιλογή του αριθμού των διαχωρισμών με βάση το cross validation γίνεται με βάση τις πληροφορίες που μας παρέχει η βιβλιοθήκη rpart. Στον πίνακα 4 απεικονίζεται ένα τέτοιο παράδειγμα, στο οποίο βλέπουμε:

- Την τιμή του δείκτη ανομοιογένειας – CP
- Τον αριθμό των διαχωρισμών που γίνονται στο δέντρο – nsplit
- Το σφάλμα που έχει το μοντέλο στο στάδιο της εκπαίδευσης – rel error
- Το σφάλμα που έχει το μοντέλο στο στάδιο του cross validation – xerror
- Την τυπική απόκλιση του σφάλματος του μοντέλου στο στάδιο της εκπαίδευσης – xstd

Η τελική επιλογή μπορεί να γίνει είτε κρατώντας την περίπτωση όπου α) παρουσιάζεται το μικρότερο σφάλμα στο στάδιο της εκπαίδευσης (xerror) είτε β) βρίσκοντας την πρώτη περίπτωση όπου ισχύει $rel_error + xstd < xerror$. Επιλέγοντας τον πρώτο τρόπο, θα κρατούσαμε ένα δέντρο με έναν κόμβο καθώς το ελάχιστο $xerror = 1$. Αντίστοιχα με τον δεύτερο τρόπο, καταλήγουμε σε δέντρο με έναν διαχωρισμό καθώς $0.9130435 + 0.2361224 < 1.695652$.

Πίνακας 4 Παράδειγμα πίνακα cross validation από την βιβλιοθήκη Rpart

CP	nsplit	rel error	xerror	xstd
0.0869565	0	1.0000000	1.000000	0.1929463
0.0543478	1	0.9130435	1.695652	0.2361224
0.0100000	6	0.6086957	1.913043	0.2455656

Από την στιγμή που επιλεχθεί το μοντέλο με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, εφαρμόζεται στο σετ δεδομένων με την πρόβλεψη για τους βιοκλιματικούς δείκτες ώστε να εξαχθεί η πρόβλεψη για το εάν συνεχίσει να υπάρχει ένα φυτό. Παράδειγμα αυτού, απεικονίζεται στον πίνακα 5, όπου το μοντέλο προβλέπει ότι το φυτό θα υπάρχει σε 113 θέσεις ενώ σε 40 όχι.

Πίνακας 5 Παράδειγμα αποτελέσματος πρόβλεψης από δέντρα απόφασης

Υπαρξη φυτού	Συχνότητα
Όχι	40
Ναι	113

2.3 Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη

Τα δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη, αναπτύχθηκαν από τους Hothorn, Hornik και Zeileis (2006) και είναι διαθέσιμα στην R μέσω της βιβλιοθήκης partykit. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο αλγόριθμος είναι όμοιος με αυτόν που περιγράφεται στα δέντρα αποφάσεων, με την διαφορά να υπάρχει στον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο διαχωρισμός στους κόμβους των δέντρων. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείτε ένας μη-παραμετρικός έλεγχος ανεξαρτησίας ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Στον έλεγχο αυτό εξετάζεται η ανεξαρτησία ανάμεσα σε κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή και την εξαρτημένη, με βάση την μηδενική υπόθεση H_0 όπου:

H_0 : Οι δύο μεταβλητές είναι εξαρτημένες

H_1 : Οι δύο μεταβλητές είναι ανεξάρτητες.

Η αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται με βάση κάποιο επίπεδο σημαντικότητας α , το οποίο καθορίζεται από τον ερευνητή. Στην συνέχεια στον εκάστοτε έλεγχο υπολογίζεται κάποιο στατιστικό μέτρο και υπολογίζεται η τιμή σημαντικότητας (p -value). Αυτή ορίζεται ως η πιθανότητα της απόκτησης κάποιου αποτελέσματος ίσου ή "πιο ακραίου" από ό,τι ήταν στην πραγματικότητα παρατηρήσιμο, όταν η μηδενική υπόθεση είναι αληθής. Για παράδειγμα εάν επιλέξουμε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$, θα πρέπει να βρούμε $p - value \leq 0.05$, ώστε να μην απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση. Το στατιστικό μέτρο το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της εξάρτησης, ορίζεται και παρουσιάζεται εκτενώς στην εργασία των Hothorn, Hornik και Zeileis (2006). Βασίζεται στην εκτίμηση της δεσμευμένης πιθανότητας της ανεξάρτητης μεταβλητής σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή και από το γεγονός αυτό προκύπτει το όνομα του αλγορίθμου.

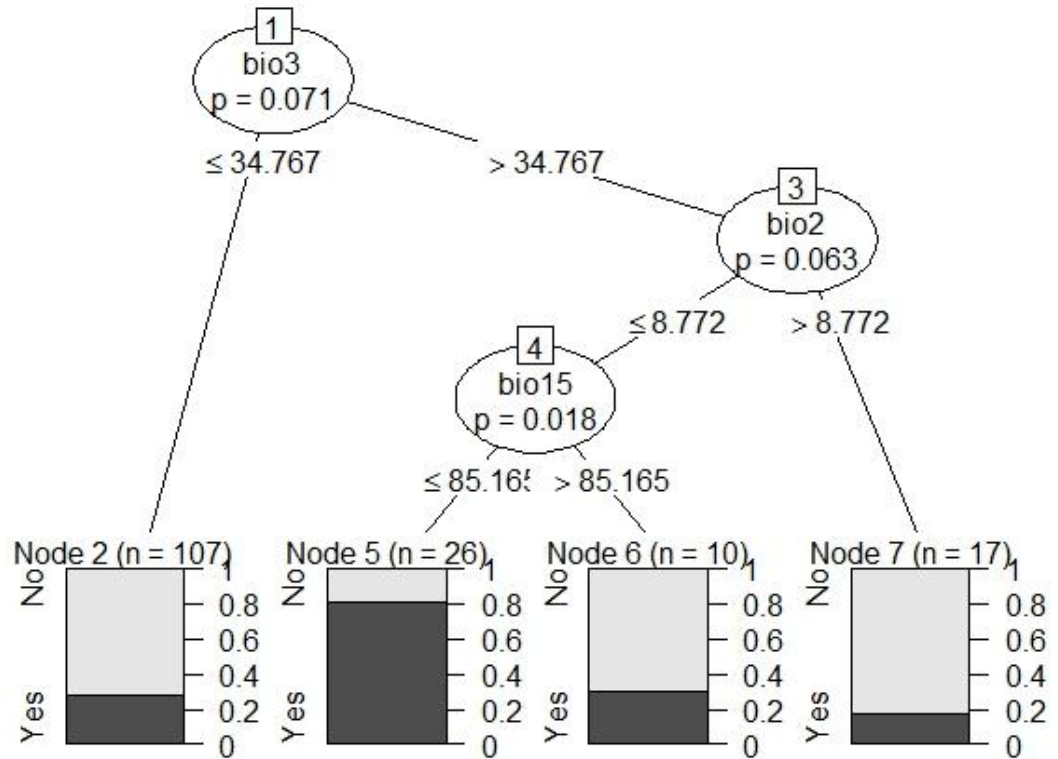
Επιστρέφοντας στον αλγόριθμο, αφού πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι υπάρχουν δύο ενδεχόμενα:

- Δεν βρέθηκε καμία μεταβλητή για την οποία $p - value \leq \alpha$, οπότε θεωρείτε ότι οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες και ο αλγόριθμος σταματά
- Βρέθηκαν κάποιες μεταβλητές για τις οποίες είναι $p - value \leq \alpha$. Από αυτές επιλέγεται για τον διαχωρισμό, η μεταβλητή για την οποία προέκυψε η μικρότερη p -value.

Αφού επιλεγεί η μεταβλητή διαχωρισμού, το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε δύο υποσύνολα με βάση την ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του στατιστικού που ήδη αναφέραμε καθώς και της μέσης τιμής και της συνδιακύμανσης των πιθανών υποσυνόλων.

Στην εικόνα 12 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός τέτοιου μοντέλου, στο οποίο τέθηκε $\alpha = 0.1$ δηλαδή το κατώφλι για την τιμή του p -value είναι 0.1. Το σύνολο δεδομένων βρέθηκε να μπορεί να διαχωριστεί τρεις φορές, με βάση τις μεταβλητές bio3, bio2, bio15. Τα τελικά «φύλλα» του δέντρου φανερώνουν την πιθανότητα ύπαρξης του φυτού. Η μορφή

του αποτελέσματος της τελικής πρόβλεψης είναι η ίδια με αυτή των απλών δέντρων απόφασεων.



Εικόνα 12: Παράδειγμα αποτελέσματος δέντρου αποφάσεων υπό συνθήκη

Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας. Αρχικά περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δηλαδή η πληροφορία για την ύπαρξη φυτών σε κάποιες τοποθεσίες καθώς και κάποιες βιοκλιματικές μεταβλητές στις τοποθεσίες αυτές. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν κάποια μοντέλα για την πρόβλεψη της ύπαρξης των φυτών και μετέπειτα αυτά εφαρμόζονται με στόχο την μελλοντική πρόβλεψη ύπαρξης των φυτών.

3.1 Περιγραφή δεδομένων

Τα δεδομένα τα οποία εξετάζονται, αφορούν τις μετρήσεις σχετικά με δεκαεννέα (19) βιοκλιματικές μεταβλητές οι οποίες είναι ποσοτικές και συνεχείς, σε εκατόνεξήντα (160) διαφορετικές τοποθεσίες στην Κρήτη καθώς και παρατηρήσεις για την παρουσία ή την απουσία χιλίων τετρακοσίων ενενήντα έξι διαφορετικών ειδών φυτών σε αυτές. Για κάθε τοποθεσία υπάρχουν διαθέσιμα και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

Λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού φυτών έγινε τυχαία επιλογή τριών από τα φυτά αυτά με κριτήριο να υπάρχουν τουλάχιστον α) λιγότερες από τριαντατέσσερες (34) παρατηρήσεις δηλαδή χίλια-τριακόσια ογδοντατέσσερα 1384 φυτά, β) από τριαντατέσσερες (34) έως και εξηντάεξι (66) παρατηρήσεις δηλαδή εννενήντατέσσερα 94 φυτά και γ) παραπάνω από εξηντάεξι παρατηρήσεις δηλαδή δεκαοκτώ (18) ώστε να σχηματίσουμε μια όσο το δυνατόν αντικειμενική εικόνα για την συμπεριφορά των μοντέλων σε φυτά με αρκετά μεγάλες διαφορές στην συχνότητα παρατήρησης. Από την διαδικασία αυτή προέκυψαν τα φυτά *Coridothymus capitatus*, *Ceterach officinarum*, *Myosotis incassata*. Το *Coridothymus capitatus* παρατηρήθηκε να υπάρχει σε ογδόνταδυο (82) τοποθεσίες, το *Ceterach officinarum* σε σαράντατρεις (43) τοποθεσίες και το *Myosotis incassata* σε έντεκα (11) τοποθεσίες.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αποτελούν πρόβλεψη για τις τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών σε ? χρόνια. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται ώστε με την χρήση των μοντέλων που αναπτύσσονται να προβλέψουμε σε ποιες τοποθεσίες θα υπάρχουν τα τρία φυτά που εξετάζουμε.

Τα 3 είδη φυτών που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6: Τα τρία είδη, φυτών διαφορετικού αριθμού παρατηρήσεων, που επιλέχθηκαν

A/A	Είδος
1	Myosotis Incrassata
2	Ceterach Officinarum
3	Coridothymus capitatus

Myosotis Incrassata

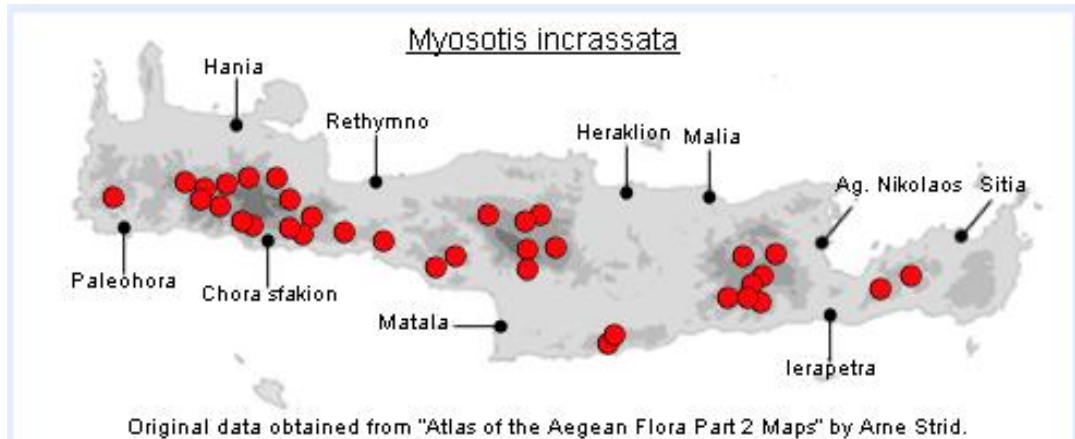
Ανήκει στην οικογένεια των 'BORAGINACEAE', δεν αποτελεί ενδημικό είδος χαρακτηρίζεται από ευρεία κατανομή, είναι ετήσιο και συναντάται στην Κρήτη, στη λίμνη Κορώνεια και στο Σέιχ Σου στη Θεσσαλονίκη.

(<https://www.greekflora.gr/el/flowers/3752/Myosotis-incrassata>).

Εικόνα 13: Myosotis Incrassata (<https://floraionica.univie.ac.at>)



Εικόνα 14: Περιοχές ανάπτυξης του *Myosotis Incrassata*



(πηγή Cretanflora.com)

Ceterach Officinarum

Ανήκει στην οικογένεια των Polypodiaceae (Πολυποδίδων). Πολυετής πόα ύψους 10-20cm, με λογχοειδή, πράσινα φύλλα και σπόρους, που βρίσκονται στο εσωτερικό μικρών σάκων. Η δημιουργία των φύλλων γίνεται τον χειμώνα, ενώ οι σπόροι βγαίνουν από τον Μάιο έως τον Ιούνιο. Η συγκομιδή γίνεται όλο το χρόνο, αλλά κυρίως από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο. Συναντάται κυρίως στην Ήπειρο και στην Κρήτη. Έχει αντιβηχική, καταπραϋντική, εφιδρωτική, αποχρεμπτική, αντιδιαρροϊκή, ανθελμινθική και διουρητική δράση. Χρησιμοποιείται επίσης, σε παθήσεις του ουροποιητικού και κυρίως σε νεφρολιθιάσεις.

Εικόνα 15 : *Ceterach Officinarum*

(http://mediplantepirus.med.uoi.gr/pharmacology/plant_details.php?id=3)



Coridothymus capitatus

Εικόνα 16 *Coridothymus capitatus* (www.nhmc.uoc.gr)



Είναι ένα από τα τυπικά αρωματικά φυτά της νησιώτικης χλωρίδας της Ελλάδας και ένα ευρέως μελισσοκομικό φυτό. Ανθίζει στο τέλος του καλοκαιριού και είναι πολύ ανεκτικό στην καλοκαιρινή ξηρασία.

(<https://www.nhmc.uoc.gr/en/museum/photo-archive/selection/images/nhmc.image.36772#prettyPhoto>)

Η παρουσία των φυτικών ειδών αντλήθηκε από την Turland et al. Τα δεδομένα ήταν σε μορφή χαρτών διανομής ειδών σε κελιά μεγέθους 2.8723 x 2.8723 km και συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 162 κελιά.



Εικόνα 17 Από αριστερά *Coridothymus capitatus*, *Ceterach officinarum*, *Myosotis incarnassata*
[πηγή: <https://commons.wikimedia.org>]

3.2 Βιοκλιματικές μεταβλητές

Για κάθε τοποθεσία συγκεντρώθηκαν δεκαεννέα βιοκλιματικές μεταβλητές. Οι βιοκλιματικές μεταβλητές προέρχονται από τις μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης προκειμένου να δημιουργηθούν περισσότερες βιολογικά σημαντικές μεταβλητές. Αυτές χρησιμοποιούνται συχνά στη μοντελοποίηση της διανομής ειδών και στις σχετικές τεχνικές οικολογικής μοντελοποίησης. Οι βιοκλιματικές μεταβλητές αντιπροσωπεύουν ετήσιες τάσεις (π.χ. μέση ετήσια θερμοκρασία, ετήσια βροχόπτωση) εποχικότητα (π.χ. ετήσια κλίμακα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης) και ακραίες ή περιοριστικές περιβαλλοντικές παραμέτρους (π.χ. θερμοκρασία του ψυχρότερου και θερμότερου μήνα και κατακρημνίσεις των υγρών και ξηρών τετάρτων). Το ένα τέταρτο είναι μια περίοδος τριών μηνών (1/4 του έτους).

Πιο συγκεκριμένα:

- Η BIO3 υπολογίζεται από το μέσο μηναίο όρο της μέγιστης μείον της ελάχιστης θερμοκρασίας
- Η BIO4 πολλαπλασιάζοντας την τυπική απόκλιση των θερμοκρασιών επί 100
- Η BIO7 αφαιρώντας την BIO6 από την BIO5
- Η BIO15 υπολογίζοντας τον συντελεστή μεταβλητότητας (coefficient of variation) για την βροχόπτωση

Είναι κωδικοποιημένες ως ακολούθως:

Μεταβλητή	Σημασία
BIO1	Μέση ετήσια θερμοκρασία
BIO2	Μέση ημερήσια θερμοκρασία με βάση το εύρος
BIO3	Ισοθερμικότητα
BIO4	Εποχικότητα της θερμοκρασίας
BIO5	Μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα
BIO6	Ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα
BIO7	Ετήσιο εύρος θερμοκρασίας
BIO8	Μέση θερμοκρασία του τετραμήνου με την μεγαλύτερη υγρασία
BIO9	Μέση θερμοκρασία του τετραμήνου με την μικρότερη υγρασία
BIO10	Μέση θερμοκρασία του θερμότερου τετραμήνου
BIO11	Μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τετραμήνου

BIO12	Ετήσια βροχόπτωση
BIO13	Βροχόπτωση του μήνα με την μεγαλύτερη υγρασία
BIO14	Βροχόπτωση του μήνα με την μικρότερη υγρασία
BIO15	Εποχικότητα της βροχόπτωσης
BIO16	Βροχόπτωση του τετραμήνου με την μεγαλύτερη υγρασία
BIO17	Βροχόπτωση του τετραμήνου με την μικρότερη υγρασία
BIO18	Βροχόπτωση του θερμότερου τετραμήνου
BIO19	Βροχόπτωση του ψυχρότερου τετραμήνου

Πίνακας 7 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην εργασία(Πηγή: <https://www.worldclim.org/bioclim>)

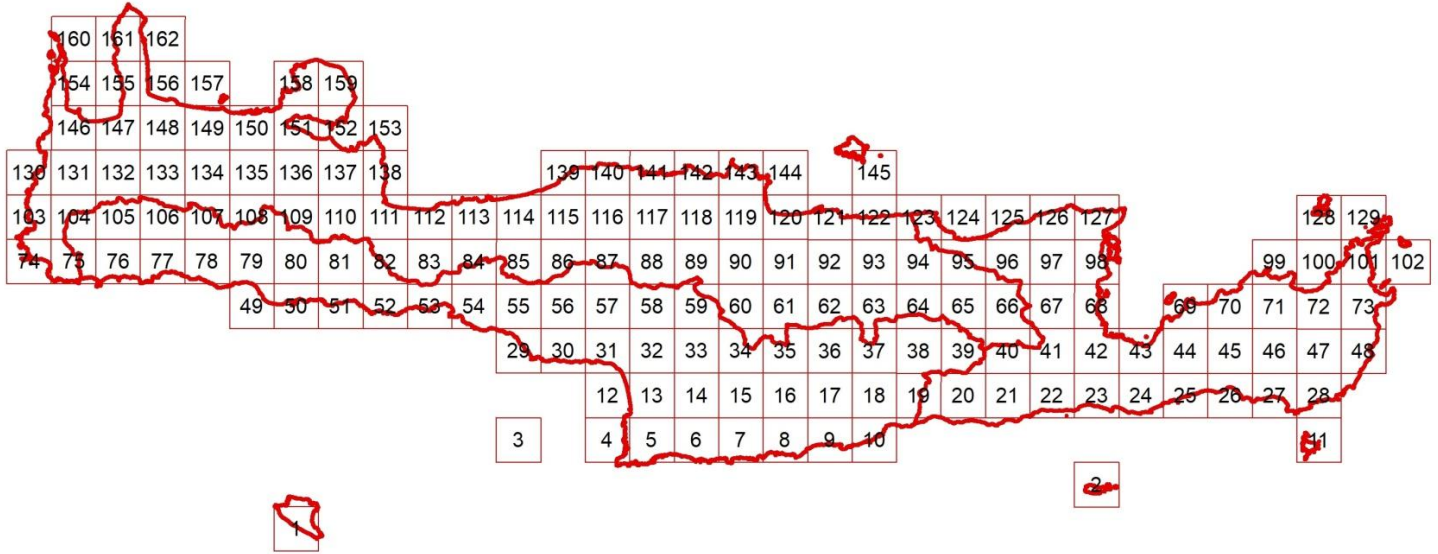
3.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΕΛΙΩΝ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ

Το κύριο νησί της Κρήτης, τα γύρω νησιά και οι νησίδες χωρίστηκαν σε 162 κελιά διάστασης 8,25 km. Χάρτες διανομής μεμονωμένων φυτικών ειδών και υποειδών, σύμφωνα με τα στοιχεία σε Turland et al. (1993), χρησιμοποιήθηκαν ως βασικές πληροφορίες στην παρούσα μελέτη. Δημοσιευμένες πληροφορίες για τη βλάστηση (Zohary & Orshan, 1965), τις χρήσεις γης (ΕΟΠ, 2000), ειδικές προστατευόμενες περιοχές (Dafis et al., 1996) και την εξέλιξη του τοπίου (Grove & Rackham, 2001) χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσθετες πηγές για να περιγράψουν τους βιοτόπους της Κρήτης. Οι προσαρμογές των κελιών του πλέγματος έγιναν στις ακόλουθες περιπτώσεις: (1) όταν η γη που περιέχεται σε μία παράκτια κυψέλη του πλέγματος ήταν μικρότερη από 10%: στην περίπτωση αυτή η κυψέλη συγχωνεύθηκε με τη γειτονική. (2) μικρά νησιά και νησίδες κοντά στην ακτή ενσωματώθηκαν στο παρακείμενο παράκτιο τετράγωνο · (3) νησιά απόμακρα από την ακτή συμπεριλήφθηκαν σε μεμονωμένα τετράγωνα με όρια προσαρμοσμένα έτσι ώστε κάθε νησί να πέσει σε ένα τετράγωνο (Turland et al., 1993)

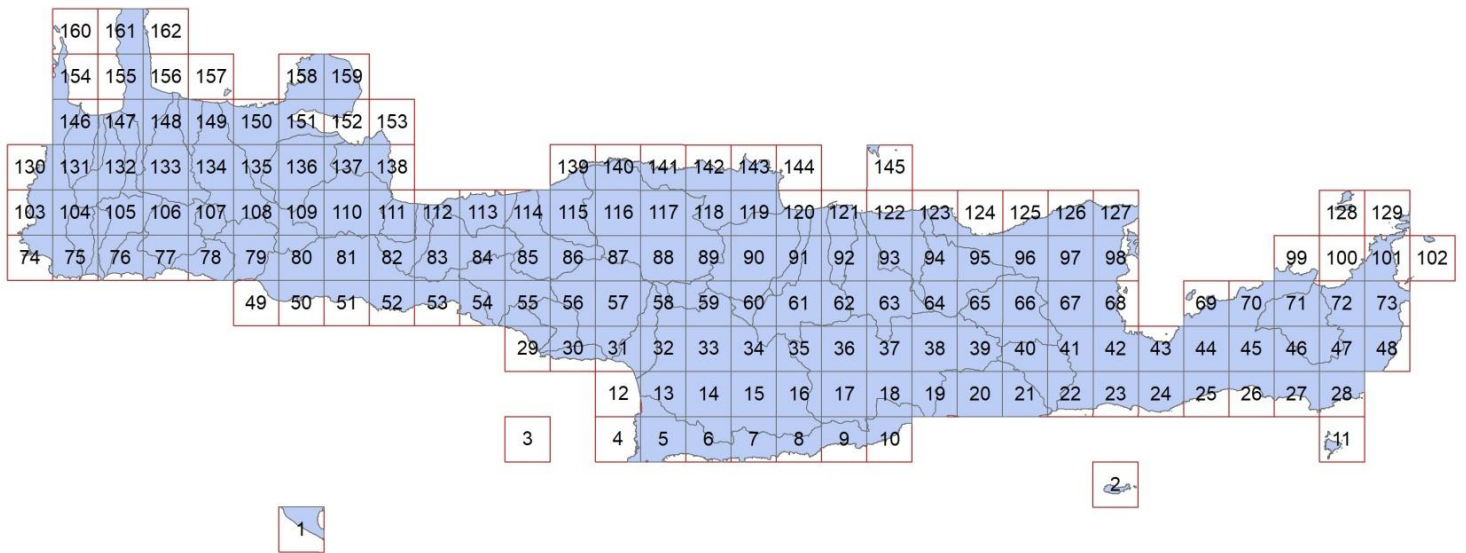
Σε κάθε κελί του κάναβου εκτιμήθηκε το μέσο υψόμετρο και οι μέσες τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών. Για την εκτίμηση του υψόμετρου χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος GMES/Copernicus (Copernicus land monitoring services 2018). Για την εκτίμηση των

βιοκλιματικών μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε το WorldClim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005) χρησιμοποιώντας την υψηλότερη ανάλυση (30 arc-seconds, ~1 km)

Εικόνα 18: Κελιά και Λεκάνες απορροής



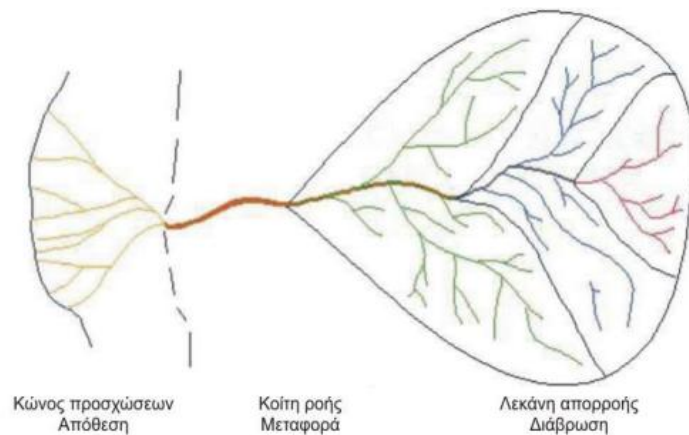
Εικόνα 19: Κελιά πλέγματος και Υπολεκάνες απορροής



Υδρολογική λεκάνη ή λεκάνη απορροής Υδρολογική λεκάνη ονομάζεται μία καλά καθορισμένη τοπογραφική και υδρολογική ενότητα, η οποία αποτελεί τη στοιχειώδη χωρική μονάδα της αποστράγγισης της επιφάνειας της χέρσου. Οι πλαγιές και οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου αποτελούν τα βασικά μορφολογικά στοιχεία της. Δηλαδή είναι η περιοχή που αποστραγγίζεται από ένα δίκτυο υδατορευμάτων. Η ποτάμια διεργασία που επικρατεί είναι αυτή της διάβρωσης.

Η κοίτη ροής ενός ποταμού είναι μια στενή αύλακα που διοχετεύει τη ροή της υδάτινης μάζας του ποταμού προς τα κατάντη. Διαμορφώνεται από 3 τις δυνάμεις του τρεχούμενου νερού με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφέρει όσο το δυνατόν καλύτερα προς τα κατάντη, εκτός από τη μάζα του νερού και τις φερτές ύλες που αποτελούν προϊόντα της ποτάμιας διάβρωσης. Το μέγεθος της κοίτης ενός ποταμού ποικίλει από λίγα μέτρα έως χιλιόμετρα. Η διαδικασία που επικρατεί είναι αυτή της μεταφοράς. Κώνος προσχώσεων Κώνος προσχώσεων ονομάζεται η περιοχή των εκβολών του χειμάρρου στην οποία αποτίθενται κυρίως τα υλικά μεταφοράς με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας κωνικής ζώνης αποθέσεων. Η διαδικασία που επικρατεί είναι αυτή της απόθεσης (www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/pdf/askisi1.pdf).

Εικόνα 20: Η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο ενός χειμάρρου (<http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/pdf/askisi1.pdf>)



Α. Η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο ενός χειμάρρου. Β. Οι ποτάμιες διεργασίες στη λεκάνη απορροής του.

Υδροκριτική γραμμή – υδροκρίτης Για να οριστούν τα όρια μιας λεκάνης απορροής που αποστραγγίζεται διάμεσου ενός υδρογραφικού δικτύου πρέπει πρώτα να κατασκευαστεί ο υδροκρίτης του δικτύου. Με τον όρο Υδροκριτική γραμμή ή Υδροκρίτης ονομάζεται η νοητή

γραμμή που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας της Γης (λόφοι, βουνοκορφές) και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων.

3.4 Αποτελέσματα για το *Myosotis Incrassata*

Στα δεδομένα που αφορούν το *Myosotis Incrassata* εφαρμόσαμε τα μοντέλα που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων στα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για την δημιουργία τους. Όλα παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά επιτυχίας όπως φαίνεται και στην στήλη με την ακρίβεια, όμως το μοντέλο που χρησιμοποιεί απλά δέντρα αποφάσεων είχε 100% επιτυχία στις προβλέψεις του. Εξάιρεση αποτελεί το μοντέλο της Lasso παλινδρόμησης που είχε πάρα πολύ χαμηλά ποσοστά επιτυχίας.

Μοντέλο				
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	2	0	0.9438
	Όχι	9	149	
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection)	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	2	0	0.9438
	Όχι	9	149	
Lasso Παλινδρόμηση	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	11	149	0.0688
	Όχι	0	0	
Απλά Δέντρα	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	11	0	1
	Όχι	0	149	
Απλά Δέντρα με κλάδεμα	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	6	0	0.9688
	Όχι	5	149	
Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	4	3	0.9375
	Όχι	7	146	

Πίνακας 8 Αποτελέσματα πρόβλεψης για τα παροντικά δεδομένα στο φυτό *Myosotis Incrassata*

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβλητές που προέκυψαν να είναι σημαντικές, δηλαδή είτε να παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα είτε όντως να χρησιμοποιούνται στο μοντέλο για το φυτό *Myosotis Incrassata*. Παρατηρούμε ότι οι μεταβλητές BIO6 έως BIO8 (Ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα, Ετήσιο εύρος θερμοκρασίας, Μέση θερμοκρασία του τετραμήνου με την μεγαλύτερη υγρασία), BIO11 (Μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τετραμήνου) και BIO12 (Ετήσια βροχόπτωση) δεν χρησιμοποιήθηκαν ή δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε κανένα μοντέλο.

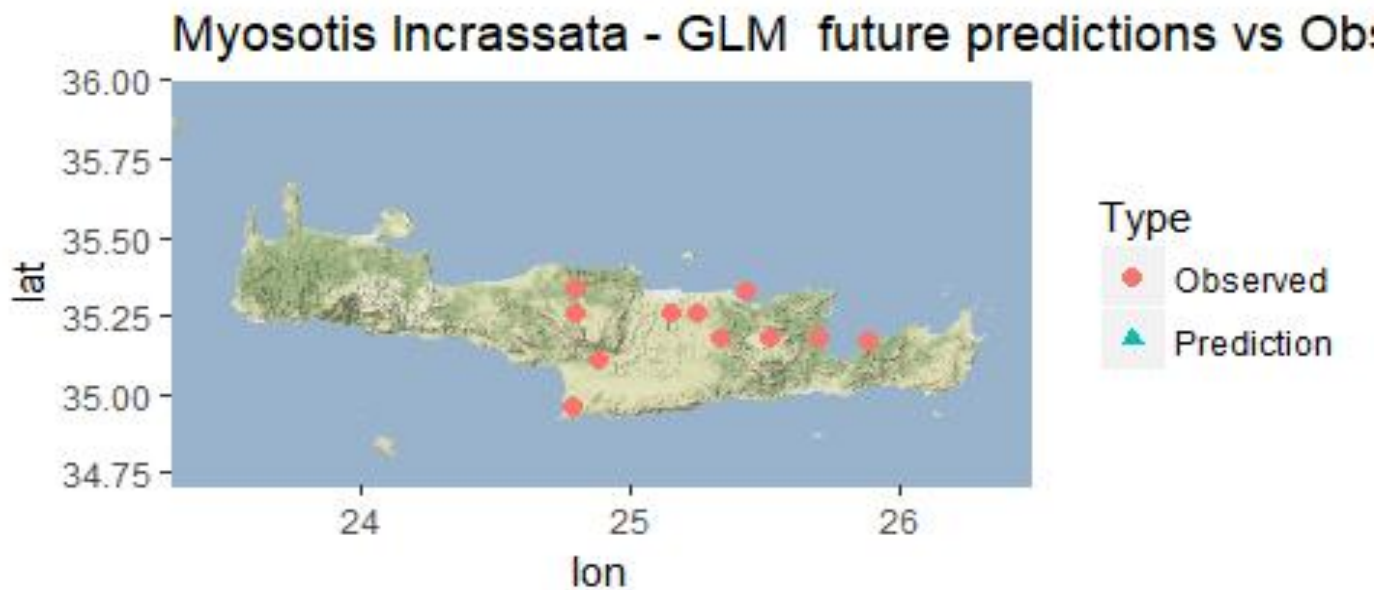
Μεταβλητή	Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο	Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο (stepwise)	Lasso Παλινδρόμηση	Δέντρα αποφάσεων	Δέντρα αποφάσεων με κλάδεμα	Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη
BIO1				X	X	
BIO2			X		X	
BIO3		X	X	X	X	X
BIO4				X	X	
BIO5			X	X		
BIO6						
BIO7						
BIO8						
BIO9		X				
BIO10		X				
BIO11						
BIO12						
BIO13				X		
BIO14			X			
BIO15			X	X	X	X
BIO16		X	X			
BIO17			X			
BIO18		X				
BIO19	X	X	X			

Πίνακας 9 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο που αφορά το φυτό *Myosotis Incrassata*

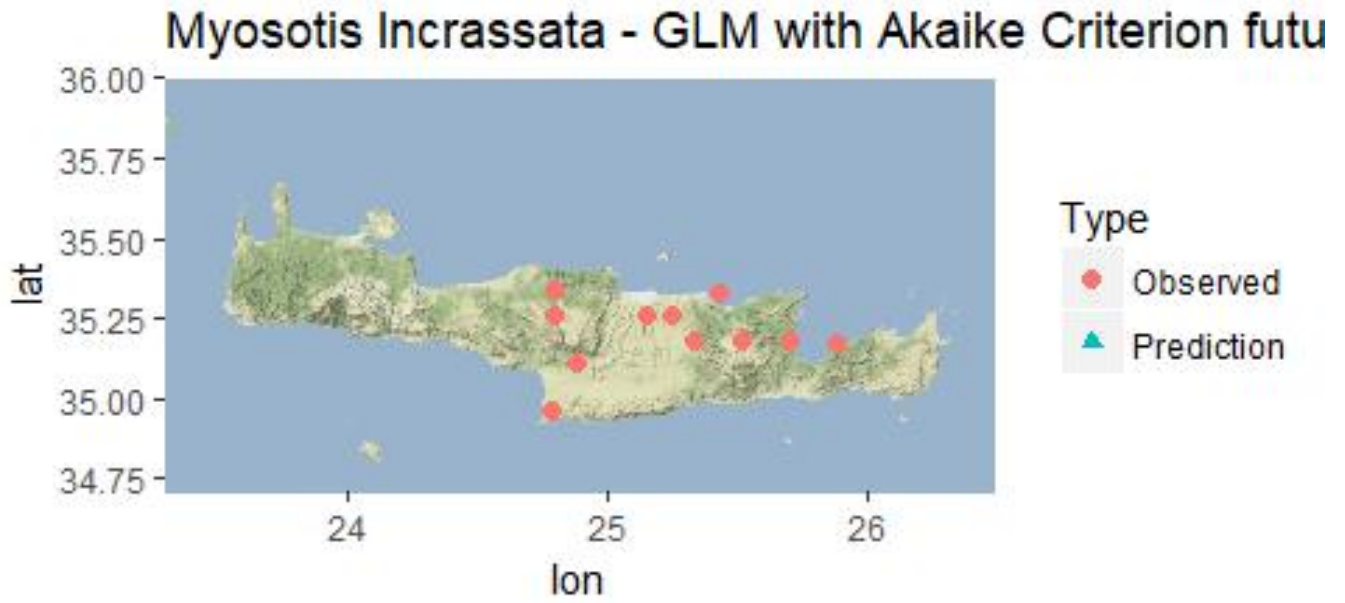
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλέψεις όλων των μοντέλων για το 2050, για συγκεκριμένο φυτό, εκτός από το μοντέλο της Lasso παλινδρόμησης που είχε τα χειρότερα αποτελέσματα σε όλα τα φυτά.

Μοντέλο	Προβλεπόμενος αριθμός τοποθεσιών με <i>Myositis Incrassata</i>
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο	0
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection)	0
Απλά Δέντρα	1
Απλά Δέντρα με κλάδεμα	0
Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη	0

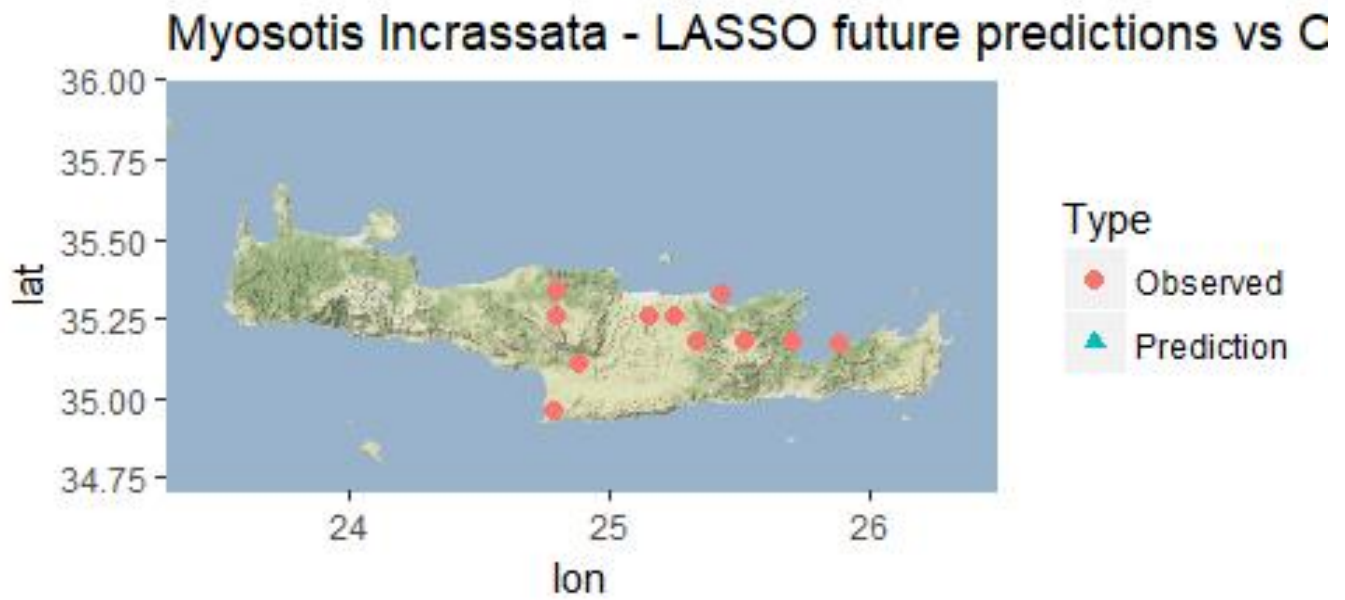
Πίνακας 10 Αριθμός των τοποθεσιών που προβλέπεται να υπάρχει το *Myositis Incrassata* με βάση τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα



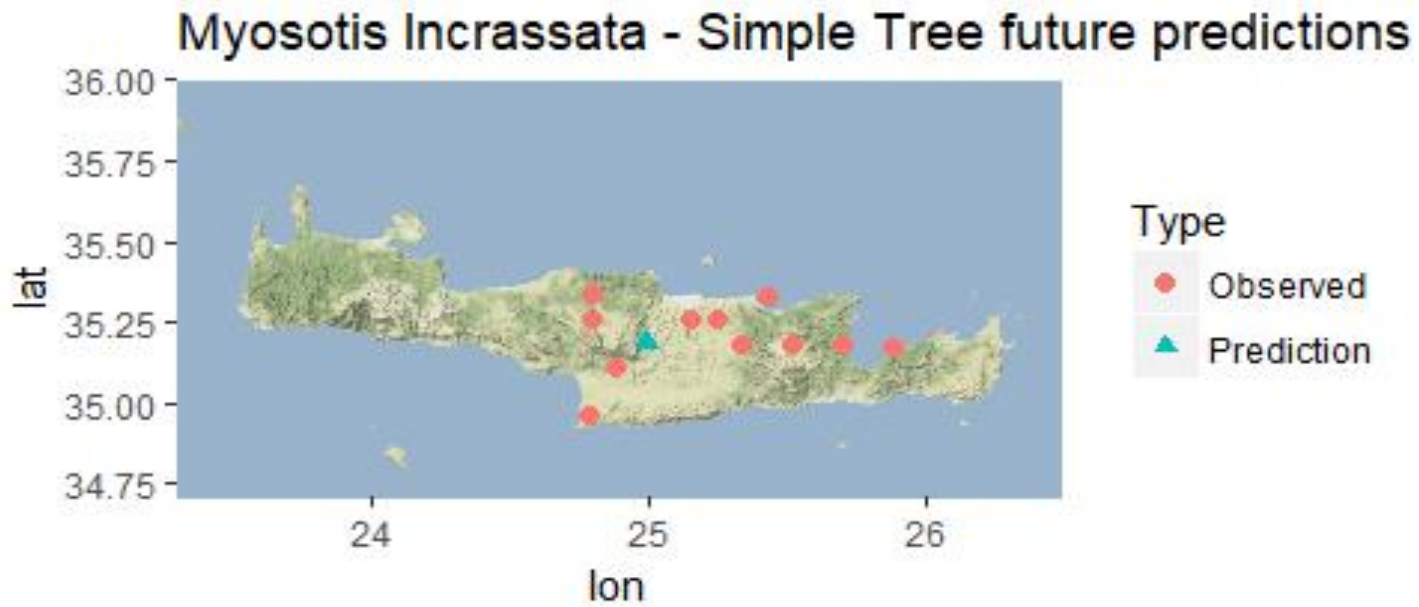
Εικόνα 21: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με το Γενικευμένο Γραμμικό μοντέλο για το *Myositis Incrassata*



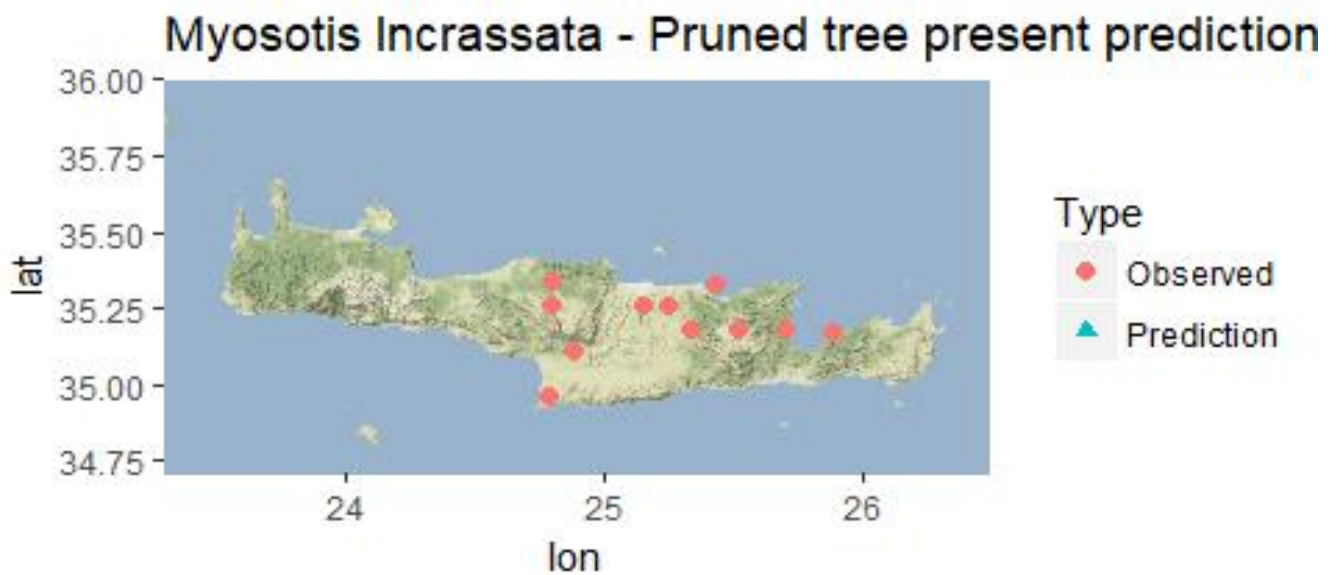
Εικόνα 22: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με την Stepwise μέθοδο για το *Myosotis Incrassata*



Εικόνα 23: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Lasso παλινδρόμηση για το *Myosotis Incrassata*



Εικόνα 24: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά Δέντρα για το *Myosotis Incrassata*



Εικόνα 25 : Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Δέντρα Αποφάσεων υπό συνθήκη για το για το *Myosotis Incrassata*

3.5 Αποτελέσματα για το Ceterach Officinarum

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για το φυτό Ceterach Officinarum, η μεγαλύτερη ακρίβεια των μοντέλων στις προβλέψεις προέρχεται από την εφαρμογή απλών δέντρων αποφάσεων και δέντρων με κλάδεμα (89.38% επιτυχία) . Τα χειρότερα αποτελέσματα παρουσιάζονται πάλι στην χρήση της Lasso παλινδρόμησης (26.88% επιτυχία).

Μοντέλο				
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	19	9	0.7934
	Όχι	24	108	
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection)	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	21	8	0.8125
	Όχι	22	109	
Lasso Παλινδρόμηση	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	43	117	0.2688
	Όχι	0	0	
Απλά Δέντρα	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	34	8	0.8938
	Όχι	9	108	
Δέντρα αποφάσεων κλάδεμα	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	34	8	0.8938
	Όχι	9	109	
Δέντρα αποφάσεων υπο συνθήκη	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	3	29	0.7688
	Όχι	8	120	

Πίνακας 11 Αποτελέσματα πρόβλεψης για τα παροντικά δεδομένα στο φυτό Ceterach Officinarum

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβλητές που προέκυψαν να είναι σημαντικές, δηλαδή είτε να παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα είτε όντως να χρησιμοποιούνται στο μοντέλο για το φυτό Ceterach Officinarum. Παρατηρούμε ότι οι μεταβλητές BIO1 (Μέση ετήσια θερμοκρασία) , BIO8 (Μέση ετήσια θερμοκρασία) ,

BIO10, BIO11 ΚΑΙ BIO12 (Μέση θερμοκρασία του θερμότερου τετραμήνου, Μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τετραμήνου, Ετήσια βροχόπτωση) δεν χρησιμοποιήθηκαν ή δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε κανένα μοντέλο.

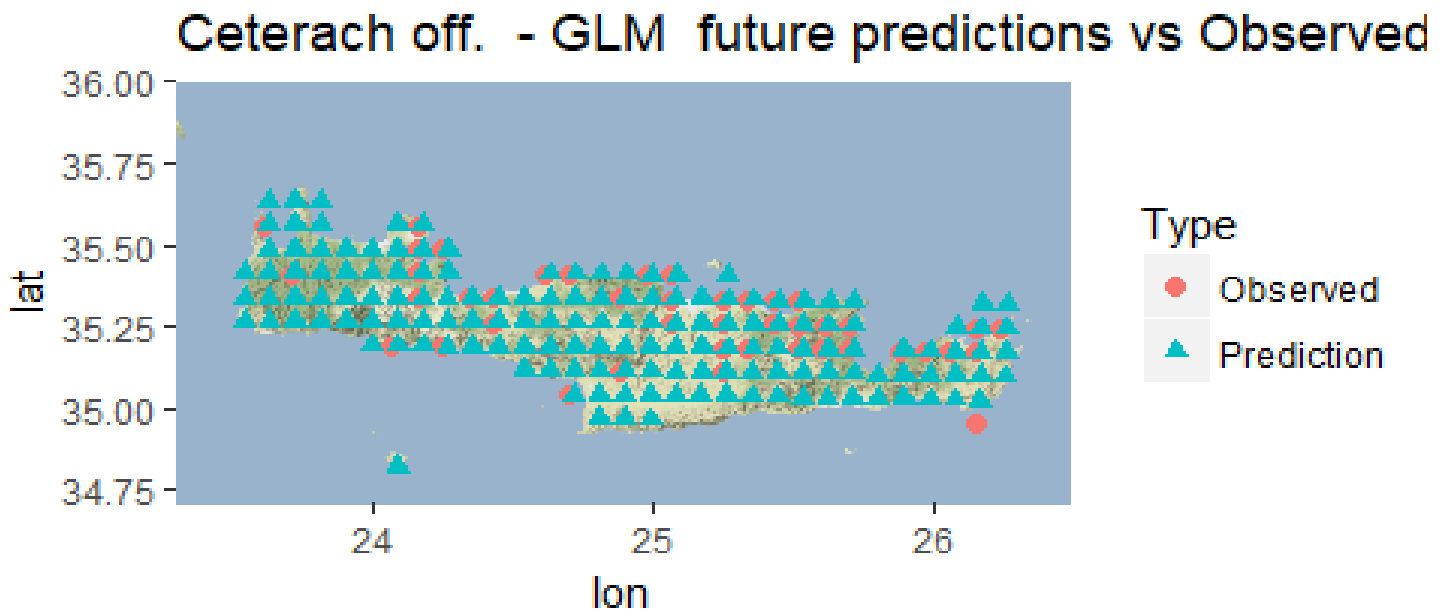
Μεταβλητή	Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο	Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο (stepwise)	Lasso Παλινδρόμηση	Δέντρα αποφάσεων	Δέντρα αποφάσεων με κλάδεμα	Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη
BIO1						
BIO2		x		x	x	x
BIO3			x	x	x	x
BIO4			x			x
BIO5			x	x		
BIO6			x			
BIO7				x	x	x
BIO8						
BIO9				x	x	
BIO10						
BIO11						
BIO12						
BIO13		x		x	x	
BIO14	x	x	x			
BIO15	x	x	x			
BIO16	x	x		x	x	
BIO17	x	x	x	x	x	
BIO18			x			
BIO19		x	x			

Πίνακας 12 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο που αφορά το *Ceterach Officinatum*

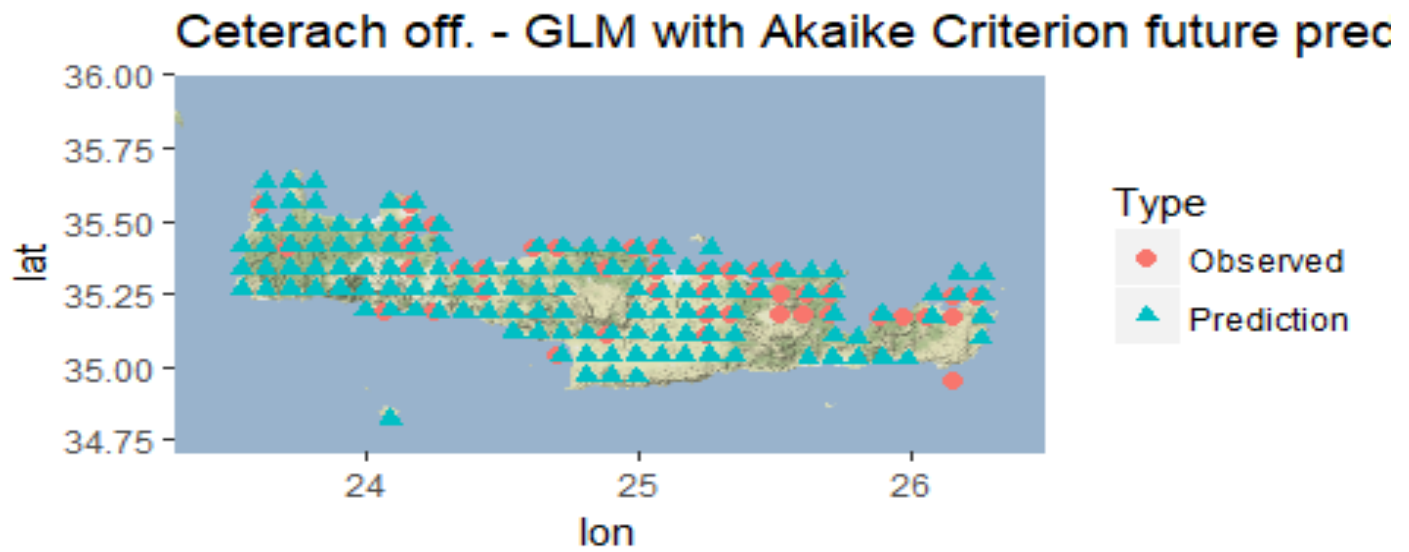
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλέψεις όλων των μοντέλων το 2050, για το συγκεκριμένο φυτό, εκτός από το μοντέλο της Lasso παλινδρόμησης που είχε τα χειρότερα αποτελέσματα σε όλα τα φυτά.

Μοντέλο	Προβλεπόμενος αριθμός τοποθεσιών με <i>Ceterach Officinatum</i>
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο	153
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection)	132
Απλά Δέντρα	104
Απλά Δέντρα με κλάδεμα	104
Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη	37

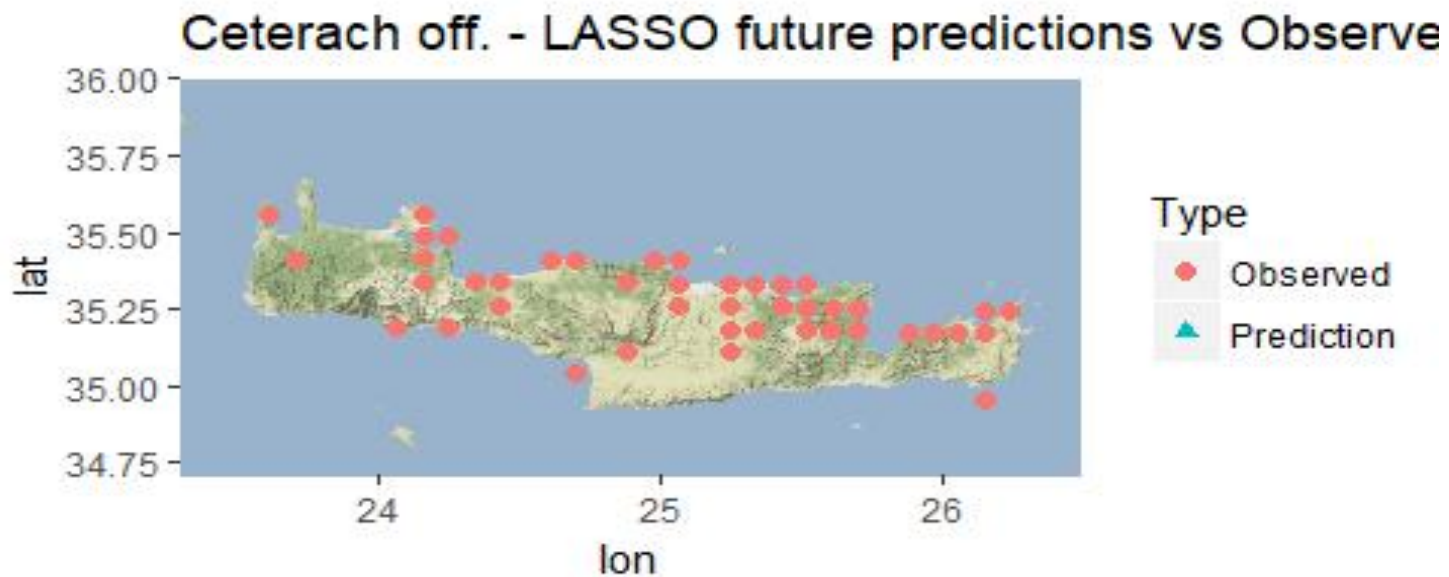
Πίνακας 13 Αριθμός των τοποθεσιών που προβλέπεται να υπάρχει το *Ceterach Officinatum* με βάση τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα



Εικόνα 26: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με το Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο για το *Ceterach Officinatum*

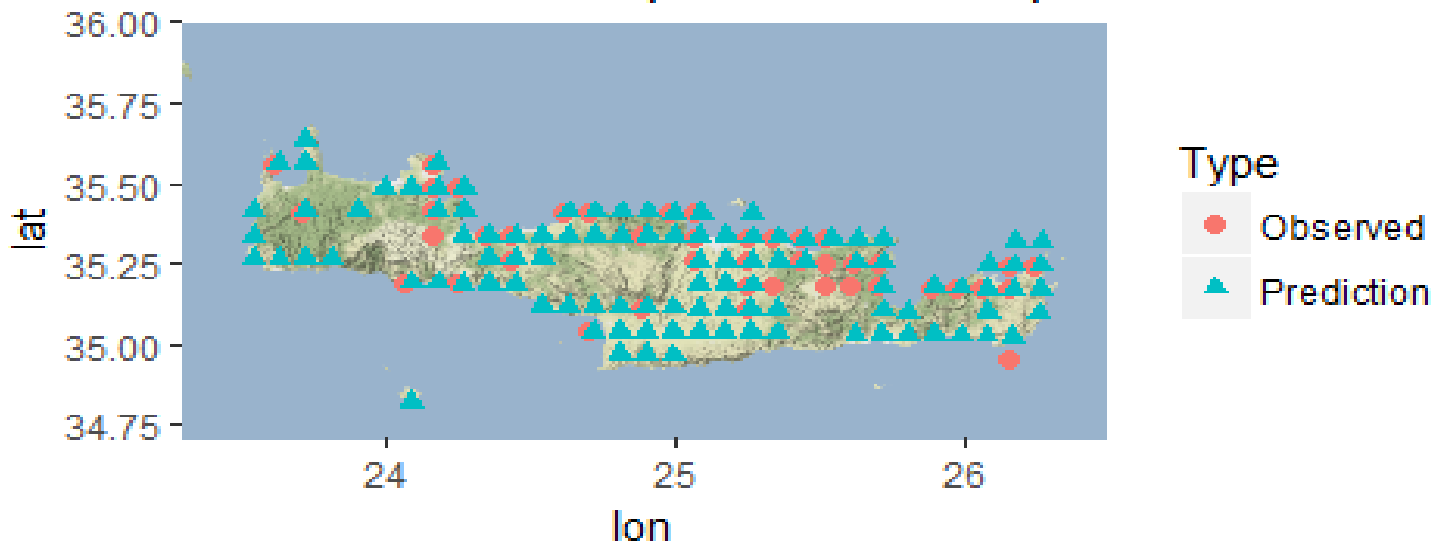


Εικόνα 27: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Stepwise μέθοδο για το *Ceterach officinarum*



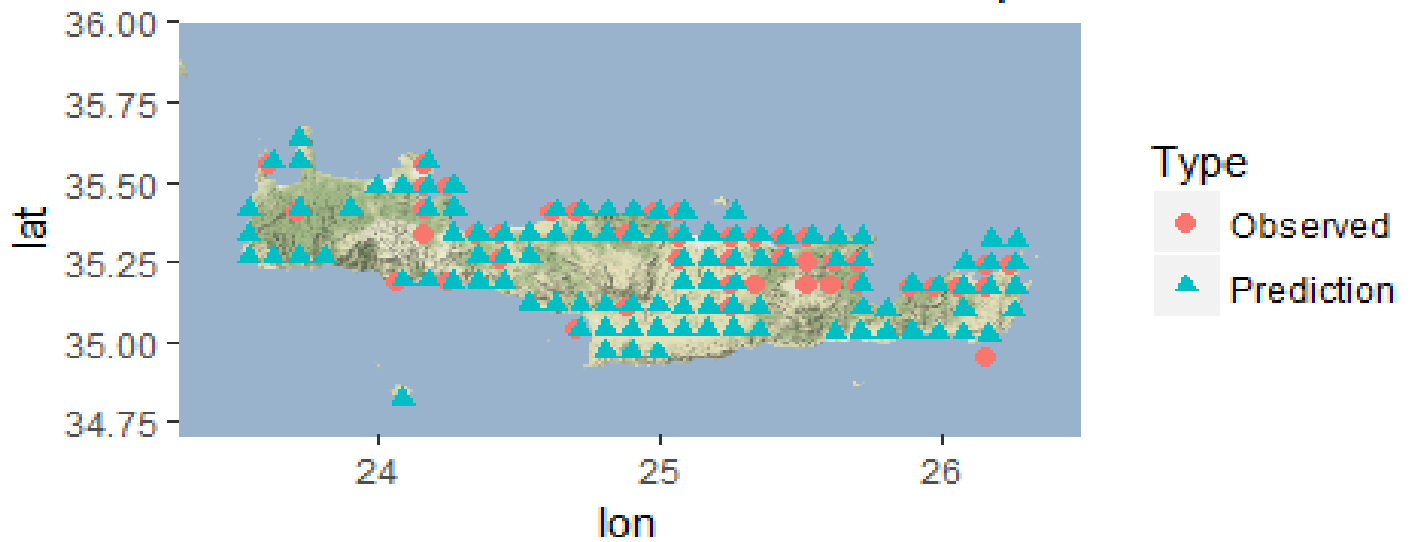
Εικόνα 28: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Lasso παλινδρόμηση για το *Ceterach officinarum*

Ceterach off. - Simple Tree future predictions vs Obs

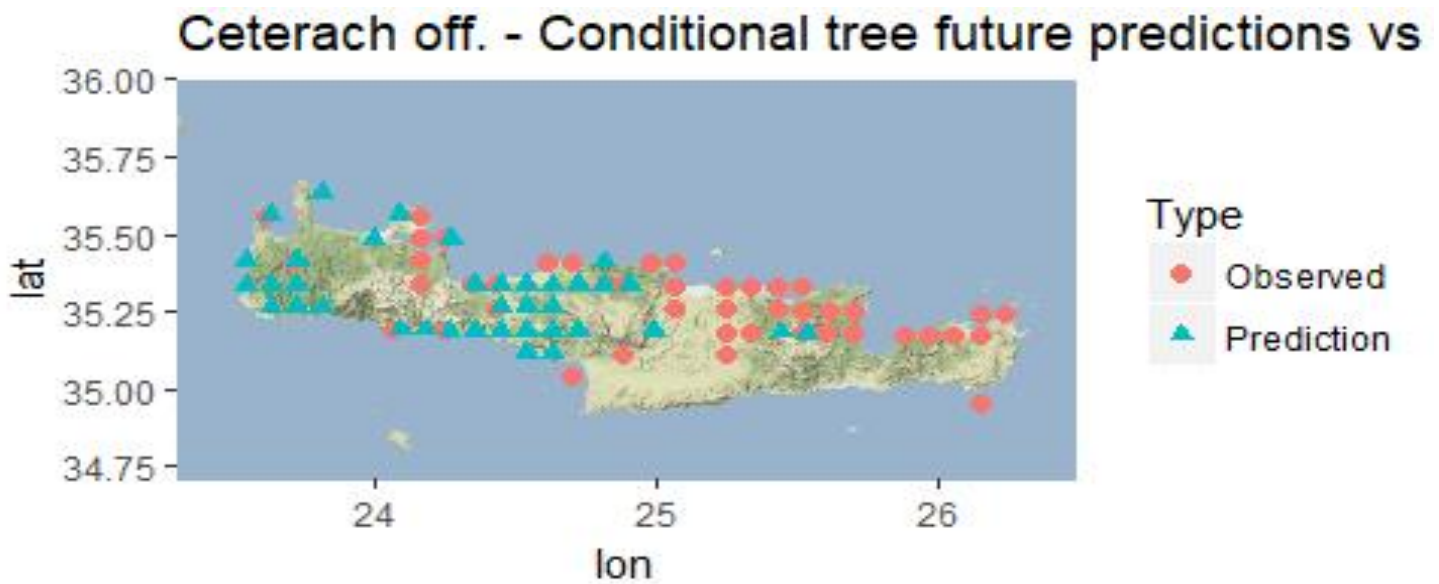


Εικόνα 29: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά Δέντρα για το *Ceterach officinarum*

Ceterach off. - Pruned tree future predictions vs Obs



Εικόνα 30: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά δέντρα με κλάδεμα για το *Ceterach officinarum*



Εικόνα 31: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη για το *Ceterach officinarum*

3.6 Αποτελέσματα για το *Coridothymus capitatus*

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για το φυτό *Coridothymus capitatus*, η μεγαλύτερη ακρίβεια των μοντέλων στις προβλέψεις προέρχεται από την εφαρμογή απλών δέντρων αποφάσεων και δέντρων με κλάδεμα (85% επιτυχία), όπως και στο προηγούμενο φυτό. Τα χειρότερα αποτελέσματα παρουσιάζονται πάλι στην χρήση της Lasso παλινδρόμησης (51.25% επιτυχία).

Μοντέλο				
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια 0.6625
	Ναι	56	28	
	Όχι	26	56	
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection)	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια 0.6562
	Ναι	53	26	
	Όχι	29	52	
Lasso	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια

Παλινδρόμηση	Ναι	82	78	0.5125
	Όχι	0	0	
Απλά Δέντρα	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	68	10	0.85
	Όχι	14	68	
Απλά δέντρα αποφάσεων - κλάδεμα	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	68	19	0.85
	Όχι	14	68	
Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη	Πρόβλεψη	Ναι	Όχι	Ακρίβεια
	Ναι	5	44	0.6875
	Όχι	6	105	

Πίνακας 14 Αποτελέσματα πρόβλεψης για τα παροντικά δεδομένα στο φυτό *Coridothymus capitatus*

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβλητές που προέκυψαν να είναι σημαντικές, δηλαδή είτε να παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα είτε όντως να χρησιμοποιούνται στο μοντέλο για το φυτό *Coridothymus capitatus*. Παρατηρούμε ότι οι μεταβλητές BIO10, BIO11 (Μέση θερμοκρασία του θερμότερου τετραμήνου, Μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τετραμήνου και από BIO16 έως BIO19 (Βροχόπτωση του τετραμήνου με την μεγαλύτερη υγρασία, βροχόπτωση του τετραμήνου με την μικρότερη υγρασία, βροχόπτωση του θερμότερου τετραμήνου, βροχόπτωση του ψυχρότερου τετραμήνου) δεν χρησιμοποιήθηκαν ή δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε κανένα μοντέλο.

Μεταβλητή	Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο	Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο (stepwise)	Lasso Παλινδρόμηση	Δέντρα αποφάσεων	Δέντρα αποφάσεων με κλάδεμα	Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη
BIO1		X				
BIO2		X		X	X	
BIO3			X	X	X	
BIO4			X	X	X	X
BIO5	X	X		X	X	
BIO6	X	X				X
BIO7	X	X				

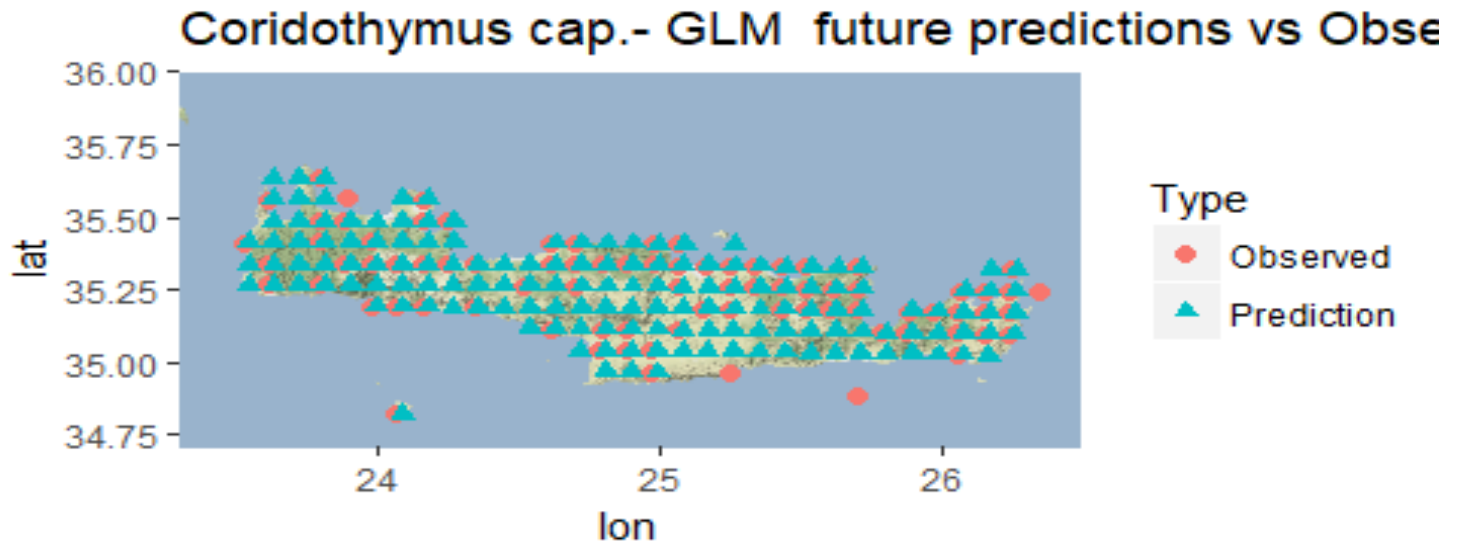
BIO8		X		X	X	
BIO9				X	X	X
BIO10						
BIO11						
BIO12				X	X	
BIO13		X		X	X	
BIO14	X	X				
BIO15		X		X	X	
BIO16						
BIO17						
BIO18						
BIO19						

Πίνακας 15 Βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο που αφορά το *Coridothymus capitatus*

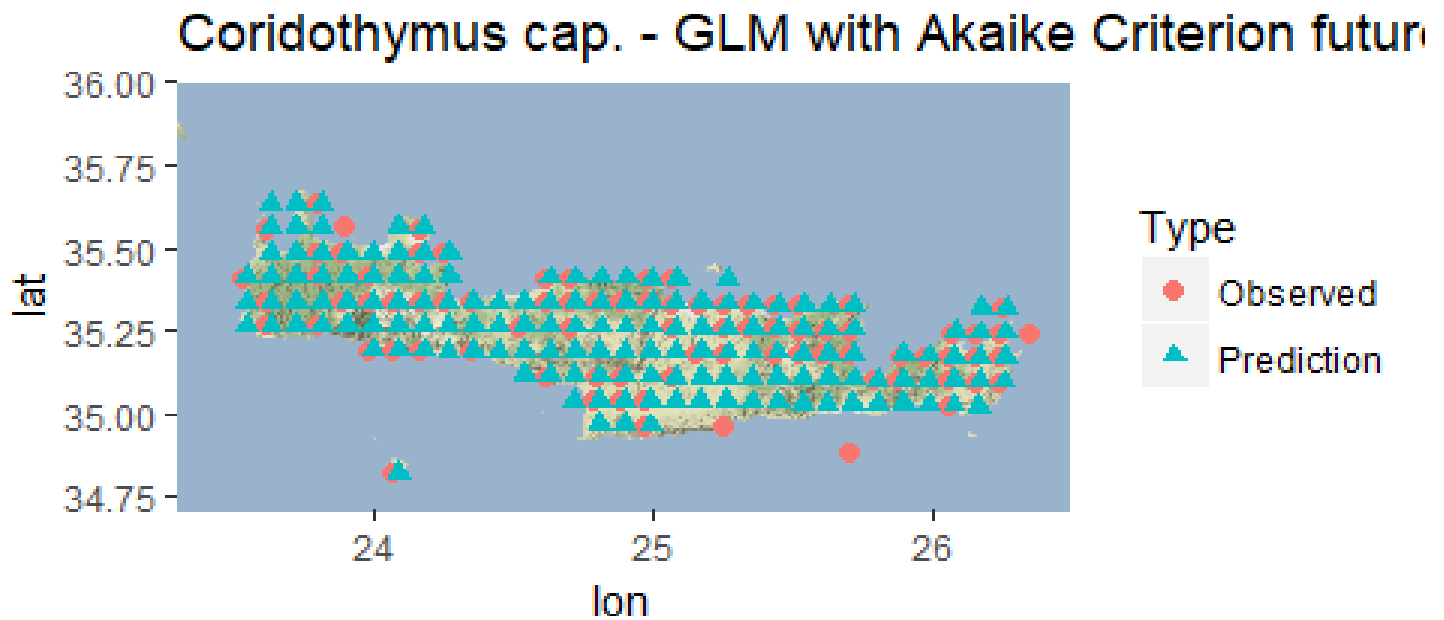
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλέψεις όλων των μοντέλων για το 2050, για το συγκεκριμένο φυτό, εκτός από το μοντέλο της Lasso παλινδρόμησης που είχε τα χειρότερα αποτελέσματα σε όλα τα φυτά.

Μοντέλο	Προβλεπόμενος αριθμός τοποθεσιών με <i>Coridothymus capitatus</i>
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο	153
Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection)	153
Απλά Δέντρα	71
Απλά Δέντρα με κλάδεμα	71
Δέντρα αποφάσεων υπό συνθήκη	136

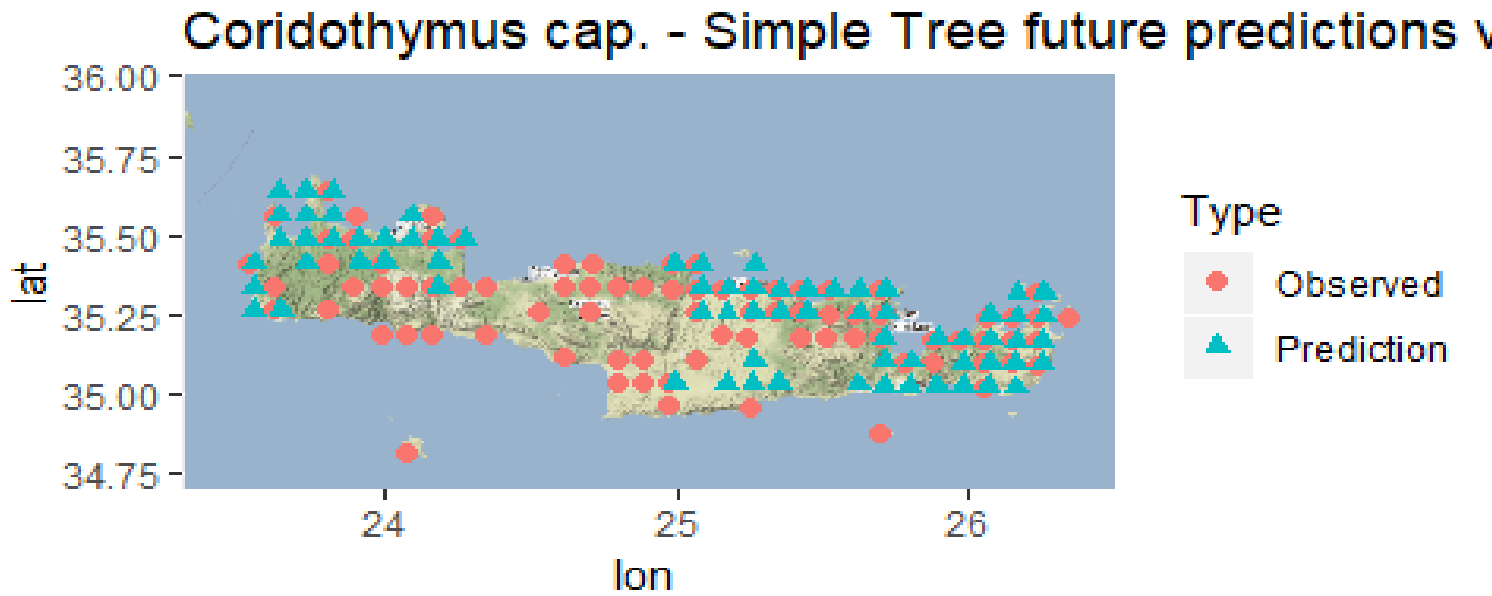
Πίνακας 16 : Αριθμός των τοποθεσιών που προβλέπεται να υπάρχει το *Coridothymus capitatus* με βάση τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα



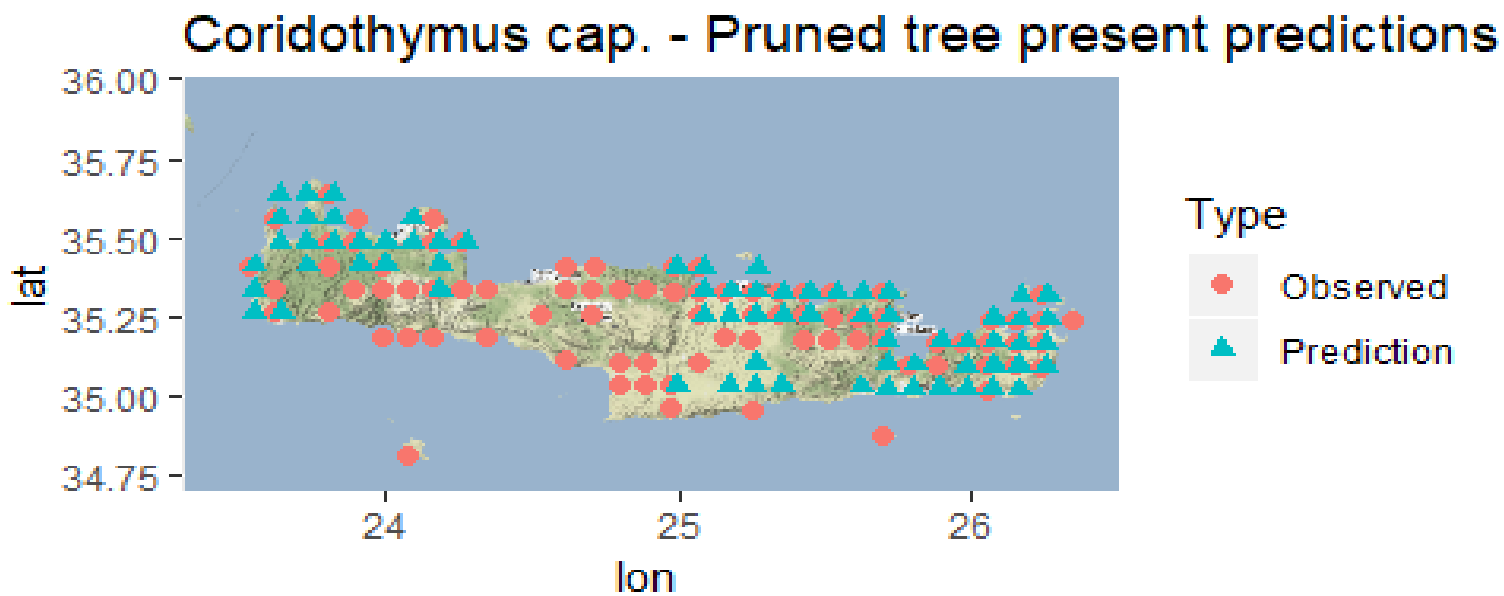
Εικόνα 32: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με το Γενικευμένο Γραμμικό μοντέλο για το *Coridothymus Capitatus*



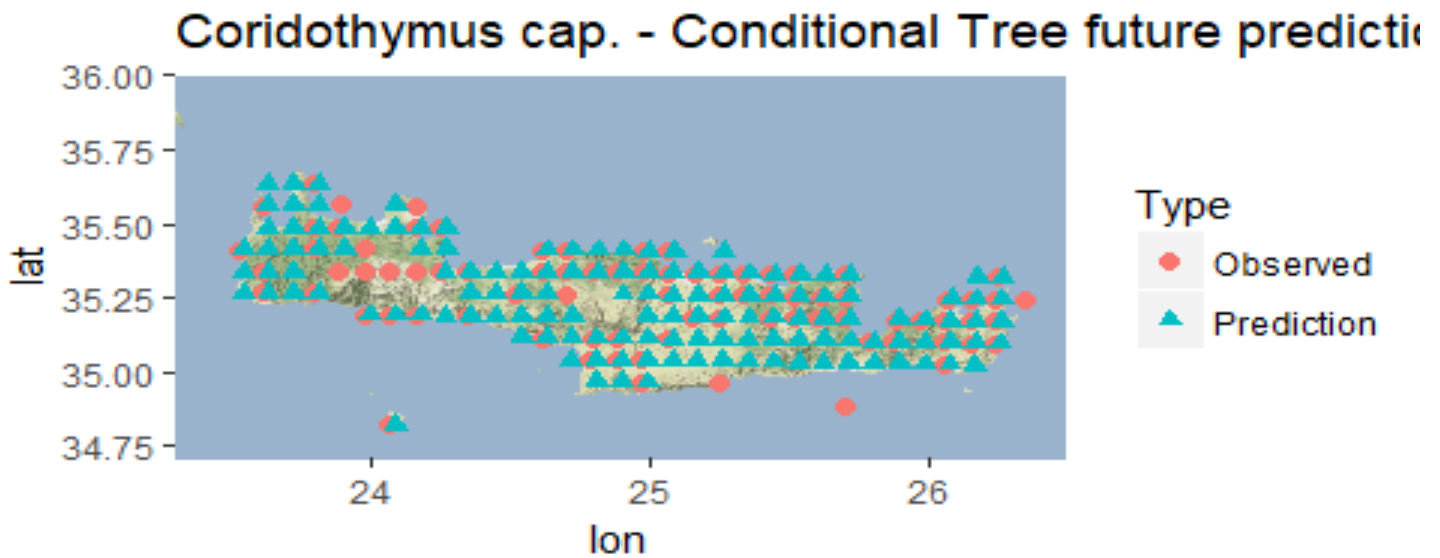
Εικόνα 33: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τη Stepwise μέθοδο για το *Coridothymus Capitatus*



Εικόνα 34: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά δέντρα αποφάσεων για το *Coridothymus Caritatus*



Εικόνα 35: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Απλά δέντρα για κλάδεμα *Coridothymus Caritatus*



Εικόνα 36: Τωρινές παρατηρούμενες και μελλοντικές προβλεπόμενες τοποθεσίες με τα Δέντρα υπό συνθήκη για το *Coridothymus Caritatus*

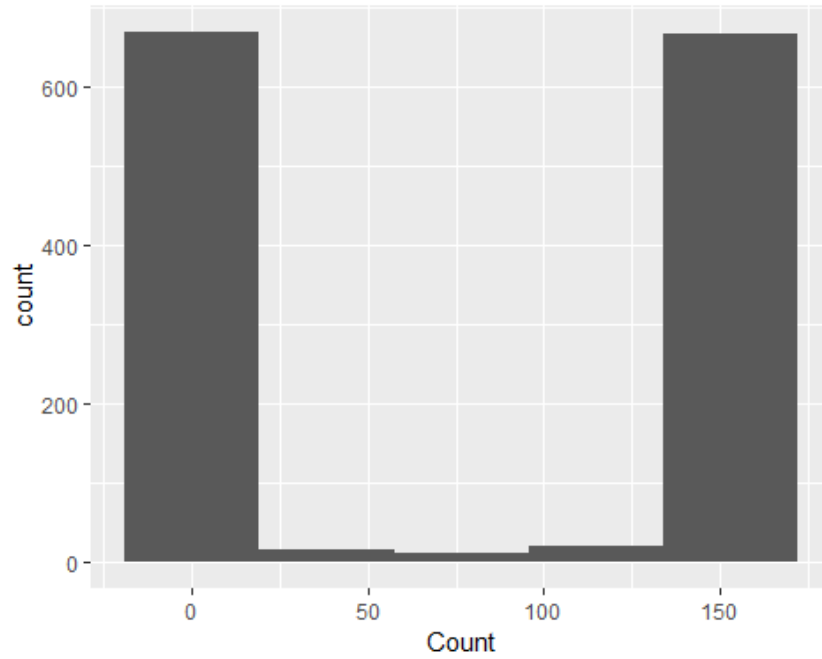
3.7 Μελλοντική πρόβλεψη για το σύνολο των φυτών

Έχοντας διερευνήσει την συμπεριφορά των μοντέλων στα τρία φυτά που πήραμε ως αντιπροσωπευτικό δείγμα, κρίθηκε πως τα μοντέλα με την καλύτερη απόδοση από πλευράς πρόβλεψης στα αρχικά δεδομένα ήταν το γενικευμένο γραμμικό μοντέλο και το μοντέλο Δέντρων αποφάσεων, στην απλή τους μορφή. Τα δύο αυτά μοντέλα εφαρμόστηκαν για καθένα από τα φυτά που υπάρχει στο σύνολο των δεδομένων μας, προκειμένου στην συνέχεια να γίνει μια προσπάθεια πρόβλεψης για τον αριθμό θέσεων στα οποία περιμένουμε να υπάρχουν τα φυτά αυτά στο μέλλον.

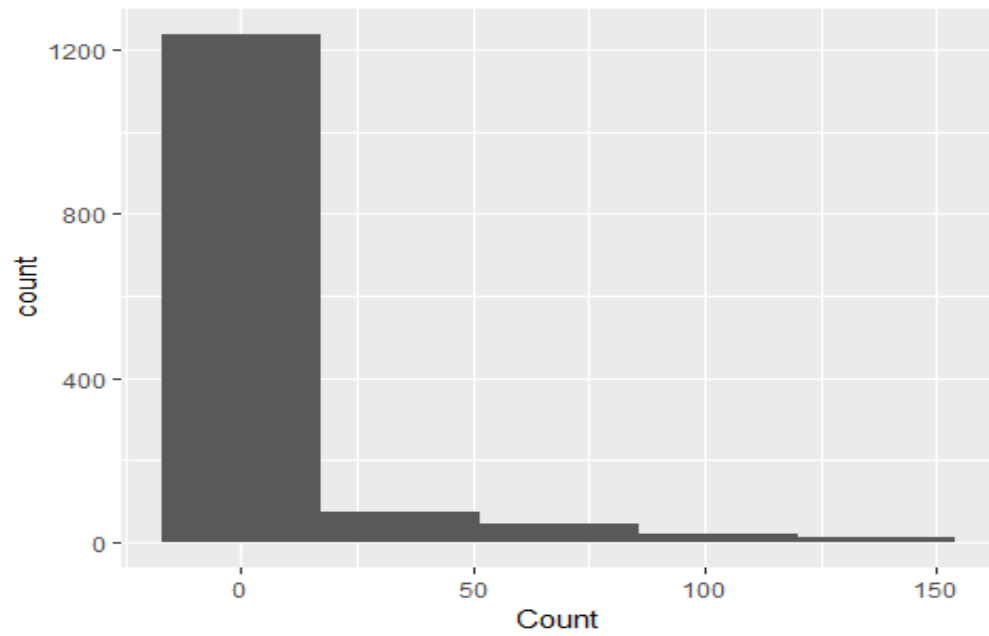
α) Στην πρώτη κατηγορία όπου τα φυτά είχαν λιγότερες από τριαντατέσσερες (34) παρατηρήσεις δηλαδή χίλια-τριακόσια ογδοντατέσσερα 1384 φυτά, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 18

Μοντέλο	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο	76	75
Δέντρα απόφασης	6.777	21.2288

Πίνακας 17: Αποτελέσματα προβλέψεων για την κατηγορία με λιγότερες από 34 παρατηρήσεις



Εικόνα 37: Κατανομή προβλέψεων από το GLM για την κατηγορία με λιγότερες από 34 παρατηρήσεις

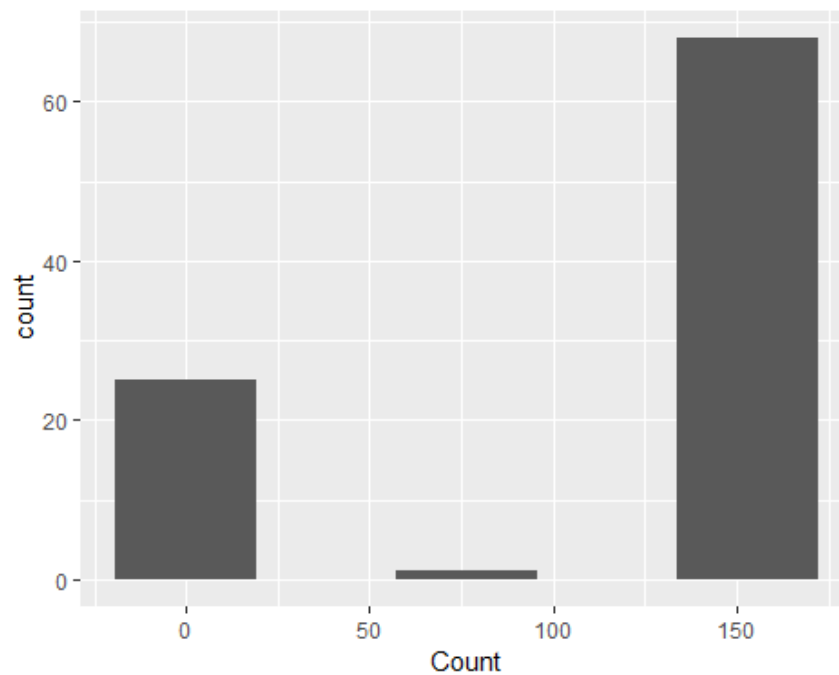


Εικόνα 38: Κατανομή προβλέψεων από τα δέντρα αποφάσεων για την κατηγορία με λιγότερες από 34 παρατηρήσεις

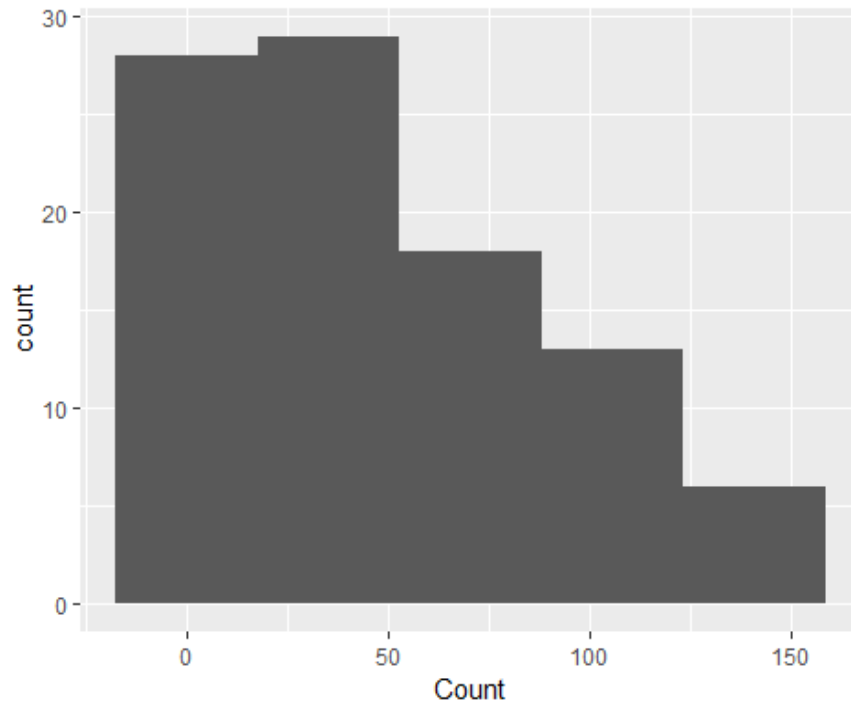
β) από τριαντατέσσερες (34) έως και εξηντάεξι (66) παρατηρήσεις δηλαδή εννεηνήντατέσσερα 94 φυτά, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 19

Μοντέλο	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο	111.659	67.14
Δέντρα απόφασης	49.0957	41.1579

Πίνακας 18 Αποτελέσματα προβλέψεων για την κατηγορία με περισσότερες από 34 παρατηρήσεις και εως 67



Εικόνα 39: Κατανομή προβλέψεων GLM για την κατηγορία με περισσότερες από 34 παρατηρήσεις και εως 67

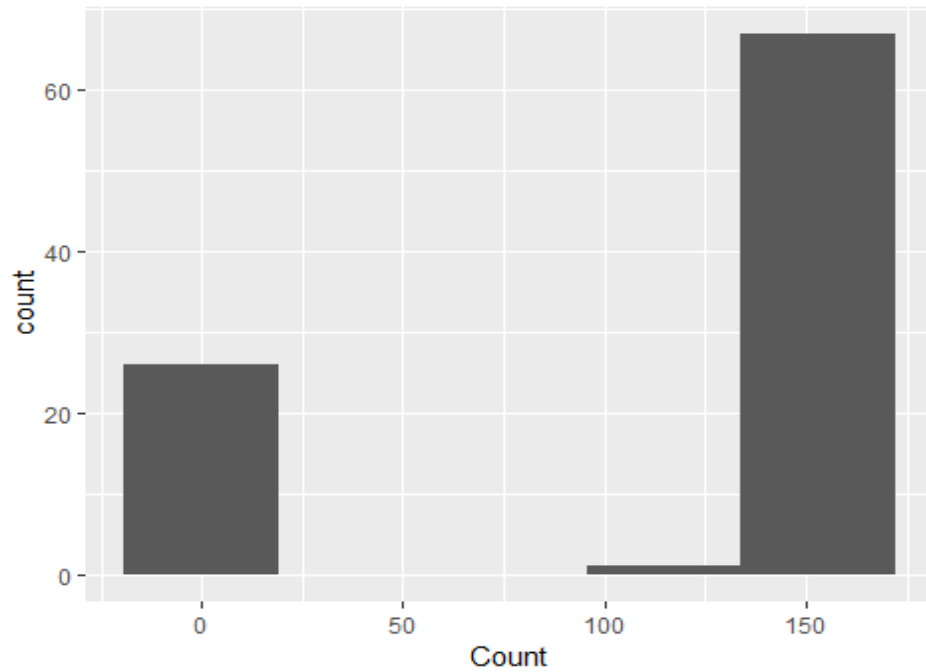


Εικόνα 40: Κατανομή προβλέψεων Δέντρων αποφάσεων για την κατηγορία με περισσότερες από 34 παρατηρήσεις και έως 67

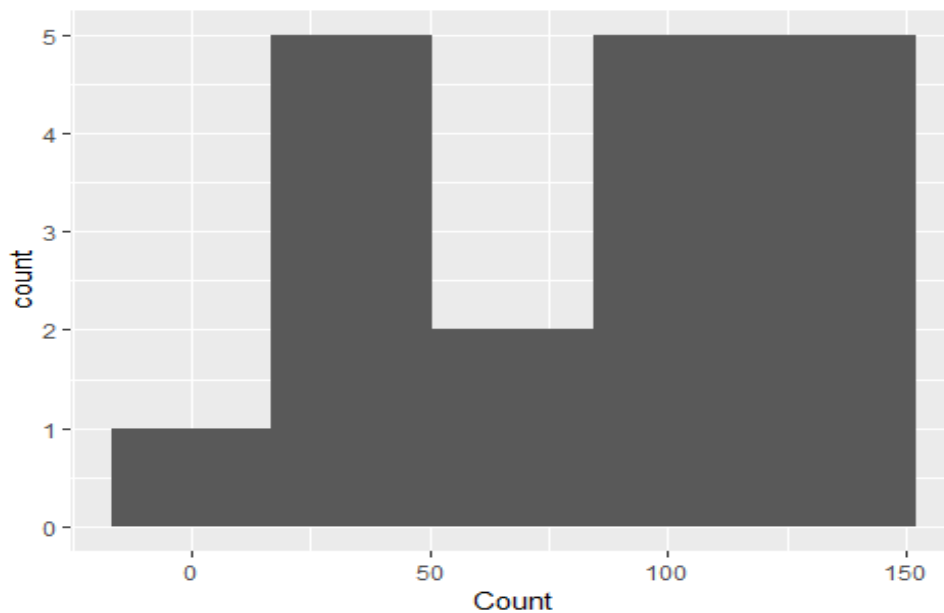
και γ) παραπάνω από εξηνταέξι παρατηρήσεις δηλαδή δεκαοκτώ (18) φυτά και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 20

Μοντέλο	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο	110.234	68.018
Δέντρα απόφασης	83.222	47.446

Πίνακας 19 Αποτελέσματα προβλέψεων για την κατηγορία με περισσότερες από 67 παρατηρήσεις



Εικόνα 41: Κατανομή προβλέψεων GLM για την κατηγορία με περισσότερες από 67 παρατηρήσεις



Εικόνα 42: Κατανομή προβλέψεων Δέντρων αποφάσεων για την κατηγορία με περισσότερες από 67 παρατηρήσεις

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να ερευνηθεί το κατά πόσο είναι κατάλληλες και επηρεάζουν οι μελλοντικές κλιματικές συνθήκες για την ύπαρξη διαφορετικών ειδών στο νησί της Κρήτης. Φυσικά, το εάν υπάρχει ή όχι ένα είδος δεν εξαρτάται από το κλίμα και μόνο αλλά και από δεκάδες άλλους παράγοντες όπως πχ. περιπτώσεις όπου έχουμε ανθρωπογενή παρέμβαση λόγω χάρη για γεωργικούς σκοπούς. Όταν αναφέρετε λοιπόν η καταλληλότητα αφορά το εάν οι θέσεις που εξετάζουμε έχουν ευνοϊκές συνθήκες από πλευράς κλίματος για την ύπαρξη μιας σειράς από φυτά.

Για να επιτευχθεί ο στόχος της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από μαθηματικά μοντέλα τα οποία εκπαιδεύτηκαν με βάση δεδομένα από επιτόπιες μετρήσεις στην Κρήτη, όσον αφορά την ύπαρξη ή μη φυτών 1496 διαφορετικών ειδών φυτών σε 160 διαφορετικές τοποθεσίες. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν με τα μοντέλα αυτά δεδομένα για τα κλίμα που προέκυψαν από προσομοιώσεις για να ελεγχθεί/προβλεφθεί η ύπαρξη των διαφορετικών φυτών στο μέλλον με βάση την κλιματική αλλαγή. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το γενικευμένο γραμμικό μοντέλο, το Lasso μοντέλο παλινδρόμησης, τα δέντρα αποφάσεων και τα δέντρα αποφάσεων κατά συνθήκη.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η εξής: Αρχικά το σύνολο των δεδομένων, χωρίστηκε σε τρία κομμάτια δηλαδή τα φυτά που εμφανίζονται **σπάνια** (λιγότερες από 34 παρατηρήσεις), αυτά με **μέση** συχνότητα εμφάνισης (35 έως και 66 παρατηρήσεις) και τέλος τα φυτά που εμφανίζονται **πολύ συχνά** (67 παρατηρήσεις και άνω) και από αυτές τις ομαδοποιήσεις διαλέχθηκε τυχαία ένα φυτό. Αυτό έγινε ώστε να σχηματίσουμε μια όσο το δυνατόν αντικειμενική εικόνα για την συμπεριφορά των μοντέλων σε φυτά με αρκετά μεγάλες διαφορές στην συχνότητα παρατήρησης. Τα φυτά που επιλέχθηκαν από κάθε κατηγορία αντίστοιχα είναι τα *Myosotis incassata*, *Ceterach officinarum*, *Coridothymus capitatus*.

Για καθένα από αυτά εφαρμόστηκαν τα μοντέλα όπου και είδαμε την εξής συμπεριφορά των μοντέλων όσον αφορά τα αποτελέσματα τους:

- Στο φυτό με την σπάνια συχνότητα εμφάνισης (*Myosotis incassata*) το καλύτερο μοντέλο είναι αυτό των Δέντρων Αποφάσεων. Από τα γραμμικά μοντέλα, ίδια αποτελέσματα βγάζουν τόσο το γενικευμένο γραμμικό μοντέλο όσο και η παραλλαγή του με *stepwise* επιλογή των μεταβλητών. Οι κλιματικές μεταβλητές που φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές (στην περίπτωση των μοντέλων παλινδρόμησης) ή να χρησιμοποιούνται στο μοντέλο στην περίπτωση των δέντρων και εμφανίζονται σε 4 τουλάχιστον μοντέλα είναι η ισοθερμία δηλαδή ο μηνιαίος μέσος όρος της διαφοράς

μέγιστης με την ελάχιστη θερμοκρασία, η εποχικότητα της βροχόπτωσης δηλαδή ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation) για την βροχόπτωση και η χειμερινή βροχόπτωση. Όσον αφορά την μελλοντική ύπαρξη του όλα τα μοντέλα προβλέπουν ότι το φυτό δεν θα συναντάται πλέον στη Κρήτη, εκτός από τα δέντρα αποφάσεων που προβλέπουν την ύπαρξη σε μία μόνο τοποθεσία στο Όρος Στρούμπουλας .

- Στο φυτό με την μέση συχνότητα εμφάνισης (*Ceterach officinarum*) τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν αυτά των απλών Δέντρων αποφάσεων και από τα μοντέλα παλινδρόμησης αυτό του γενικευμένου γραμμικού Μοντέλου με stepwise selection. Οι 'σημαντικές' κλιματικές μεταβλητές στα μοντέλα αυτά ήταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία, η ισοθερμικότητα, η βροχόπτωση του μήνα με την μικρότερη υγρασία, η εποχικότητα της βροχόπτωσης, η βροχόπτωση του τετραμήνου τόσο με την μεγαλύτερη όσο και μικρότερη υγρασία. Τα καλύτερα μοντέλα προβλέπουν αύξηση της εμφάνισης αυτού του φυτού καθώς τα Δέντρα αποφάσεων προβλέπουν την ύπαρξη του φυτού σε 104 τοποθεσίες ενώ το Γενικευμένο γραμμικό Μοντέλο (stepwise selection) σε 132.

- Τέλος για το φυτό με την μεγάλη συχνότητα εμφάνισης (*Coridothymus caritatus*), πάλι η καλύτερη «επίδοση» ανάμεσα στα μοντέλα έρχεται από τα Δέντρα αποφάσεων, αυτή την φορά με πολύ μεγάλη διαφορά στην ακρίβεια της πρόβλεψης σε σχέση με το καλύτερο μοντέλο παλινδρόμησης δηλαδή αυτό του γενικευμένου γραμμικού μοντέλου (85% και 66.25% αντίστοιχα). Οι 'σημαντικές' κλιματικές μεταβλητές στα μοντέλα αυτά είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας και η μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα. Όσον αφορά την πρόβλεψη για το μέλλον, τα δέντρα αποφάσεων προβλέπουν μείωση της συχνότητας εμφάνισης του φυτού, δηλαδή την εμφάνιση σε 73 θέσεις αντί 82 που συναντάται σήμερα ενώ το γενικευμένο γραμμικό μοντέλο προβλέπει μια τελείως διαφορετική εικόνα όπου το φυτό θα συναντάται σε όλες τις τοποθεσίες.

Συνολικά, στα μοντέλα που αφορούν και τα τρία φυτά, η τεχνική της LASSO παλινδρόμησης παρουσίασαν τα χειρότερα αποτελέσματα ενώ τα δέντρα αποφάσεων είχαν τα καλύτερα αποτελέσματα, κρίνοντας πάντα με βάση την ακρίβεια των προβλέψεων εφαρμόζοντας τα μοντέλα στα τωρινά δεδομένα. Τα διάφορα μοντέλα αποκλίνουν στις προβλέψεις τους και η διαφορά αυξάνει όσο αυξάνει και η συχνότητα εμφάνισης των φυτών. Επίσης αντιστρόφως ανάλογη σχέση φαίνεται να έχουν η η συχνότητα εμφάνισης των φυτών και η ακρίβεια των προβλέψεων των μοντέλων στα τωρινά δεδομένα.

Επίσης είναι άξιο αναφοράς ότι η βιοκλιματική μεταβλητή που μετράει την μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τετραμήνου δεν βρέθηκε να είναι στατιστικά σημαντική ή δεν χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία δέντρου απόφασης σε κανένα από τα τρία φυτά. Κρίνοντας ότι τα απλά δέντρα αποφάσεων έχουν την καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την πρόβλεψη, εφαρμόστηκαν και σε κάθε φυτό ξεχωριστά όπως επίσης έγινε και εφαρμογή

των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων. Μετά την εφαρμογή των μοντέλων σε κάθε φυτό ξεχωριστά ομαδοποιήθηκαν τα αποτελέσματα με βάση τις τρεις κατηγορίες συχνότητας εμφάνισης των φυτών. Τα δέντρα αποφάσεων φαίνεται να έχουν ρεαλιστικότερες προβλέψεις σε σχέση με τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα καθώς τα δεύτερα παράγουν ακραία αποτελέσματα. Δηλαδή και στις τρεις κατηγορίες φυτών, τα γενικευμένα μοντέλα προβλέπουν συνήθως ότι ένα φυτό είτε δεν θα υπάρχει καθόλου ή θα υπάρχει σε όλες τις τοποθεσίες.

Από την άλλη τα δέντρα αποφάσεων προβλέπουν ότι:

- τα φυτά της πρώτης κατηγορίας θα συνεχίσουν να εμφανίζονται με μικρή συχνότητα όπως φαίνεται από τον μέσο όρο εμφάνισης που είναι 6.7 με τυπική απόκλιση 21,22
- τα φυτά με «μέσαία» συχνότητα εμφάνισης (35 έως 66 παρατηρήσεις) θα έχουν πολύ μεγάλη ετερογένεια στην εμφάνιση τους όπως φαίνεται από τον μέσο όρο εμφάνισης που είναι 49.09 με τυπική απόκλιση 41,15
- στα φυτά με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης επίσης προβλέπεται ετερογένεια σε σχέση με το παρόν όπως φαίνεται από τον μέσο όρο εμφάνισης που είναι 83.22 με τυπική απόκλιση 47,44

Και στις τρεις περιπτώσεις, όπως φαίνεται και στα αντίστοιχα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα δέντρα αποφάσεων προβλέπουν ότι με βάση μόνο τις βιοκλιματικές μεταβλητές κάποια είδη φυτών θα σταματήσουν να εμφανίζονται.

Βιβλιογραφία

- Atherden MA, Hall JA (1999) Human impact on vegetation in the White Mountains of Crete since AD 500.
- Bakkenes M et al. (2002) Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biol.*, 8, 390-407.
- Beniston M. (2003) Climatic Change in Mountain Regions: a Review of Possible Impacts. *Climatic Change*, 59, 5-31. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Impression aux Pays-Bas.
- Bittkau C, Comes HP (2005) Evolutionary processes in a continental island system: molecular phylogeography of the Aegean *Nigella arvensis* alliance (Ranunculaceae) inferred from chloroplast DNA.
- Blondel, J. & Aronson, J. (1999) *Biology and wildlife of the Mediterranean region*. Oxford University Press, Oxford
- Brunet M, Aguilar E, Saladie O, Sigró J, López D. (2002) Warming phases in longterm Spanish temperature change. In : 3th Symposium on Global change and Climate Variations, Orlando 13-17 janvier 2002, American Meteorological Society, Boston, 30-32.
- Cairns DM, Moen J. (2004) Herbivory influences tree lines. *Journal of Ecology*, 92.
- Cellinese N, Smith SA, Edwards EJ, Kim ST, Haberle RC, et al. (2009) Historical biogeography of the endemic Campanulaceae of Crete. *J Biogeogr*
- Dal Cin D'Agata, C., Skoula, M. & Brundu, G. 2009. A preliminary inventory of the alien flora of Crete (Greece). - *Bocconea* 23 : 301-315.
- Davis, S.D., Heywood, V. H., & Hamilton, A. C. (1994). Centres of plant diversity. *Natural History*, 111, 01-1.
- Dermitzakis MD, Papanikolaou DI (1981) Paleogeography and geodynamics in the Aegean area during Neogene. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*.
- Dimitrakopoulos P, Dimitris Memtsas and Andreas Y. Troumbis (2004). Research Paper: Questioning the effectiveness of the Natura 2000 Special Areas of Conservation strategy: the case of Crete.
- Efstratiou N (2005) Tracing the story of the first farmers in Greece – A long and winding road. In: Lichter C, editor. *How Did Farming Reach Europe?* Istanbul: BYAZ 2, Eye Yayinlari. 143–153
- Eske Willerslev, Anders J. Hansen, Kirstine Klitgaard Nielsen and Henning Adersen *Ecography* (2002) Number of Endemic and Native Plant Species in the Galápagos Archipelago in Relation to Geographical Parameters
- Galán E, Cañada R, Fernández F, Cervera B. (2001) Annual temperature evolution in the Southern Plateau of Spain from the construction of regional climatic time series. In : Brunet, M. and López, (Eds.) *Detecting and modelling regional climate change*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, EtatsUnis 119-131.
- Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Vrekousis, M., Donoussis, C., Mihalopoulos N., and Kanakidou, M., 2006. Photochemical ozone production in the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 40, 3057-3069.

- Giannakopoulos C, Bindi M, Moriondo M, LeSager P, Tin T. (2005) Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Rapport préparé pour le WWF. Observatoire national d'Athènes, Grèce.
- Giorgi F. (2002) Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. Part I: Observations, *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-001-0204-x.
- Goumenaki, E., Fernandez I.G., Papanikolaou A., Papadopoulou D., Askianakis C., Kouvarakis G., Barnes J., 2007. Derivation of ozone flux-yield relationships for lettuce: A key horticultural crop. *Environmental Pollution* 146, 699-706.
- Greuter W (1972) The relict element of the flora of Crete and its evolutionary significance. In: Valentine DH, editor. *Taxonomy, phylogeography and evolution*. London: Academic Press.
- Hulme PE. (2005) Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42, 784-794.
- Isendahl N, Schmidt G. (2006) Drought in the Mediterranean: WWF Policy Proposals. WWF.
- Jacobbeit J, Wanner H, Luterbacher J, Beck C, Philipp A, Sturm K. (2003) Atmospheric circulation variability in the North-Atlantic-European area since the mid seventeenth century. *Clim. Dyn.*, 20, 341-352.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R* New York: Springer.
- Higgins SI et al. (2003) Forecasting plant migration rates: managing uncertainty for risk assessment. *Journal of Ecology*, 91, 341-347.
- Hijmans, R. J., Williams, E., & Vennes, C. (2015). *geosphere: Spherical Trigonometry*. R package version 1.3-11. Available at <https://CRAN.R-project.org/package=geosphere>.
- Holling CS. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- Hothorn, T., Hornik, K., & Zeileis, A. (2006). Unbiased recursive partitioning: A conditional inference framework. *Journal of Computational and Graphical statistics*, 15(3), 651-674.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kazakis G., D. Ghosn, I. N. Vogiatzakis, V. P. Papanastasis (2006). Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Lefka Ori, Crete
- Keeley SC, Funk VA (2011) Origin and evolution of Hawaiian endemics: new patterns revealed by molecular phylogenetic studies. In: Bramwell D, Caujape´ - Castells J, editors. *The biology of island floras*. Cambridge: Cambridge University Press. 57–88
- Kettunen M, Terry A, Tucker G, Jones A. (2007) Guidance on the maintenance of landscape features of major importance for wild flora and fauna - Guidance on the implementation of Article 3 of the Birds Directive (79/409/EEC) and Article 10 of the Habitats Directive (92/43/EEC). Institute for European Environmental Policy (IEEP), Bruxelles, Belgique, 114p et Annexes.

- Kypriotakis, Z. and Altelari, R. (1998). *Limonium cornarium* (Plumbaginaceae), a new species from Crete (Aegean area, Greece). *Phyton*, 38 (1), 143-147.
- Kyriakos Georghiou and Pinelopi Delipetrou (2009). Patterns and traits of the endemic plants of Greece
- Lindner M. (2006) How to adapt forest management in response to the challenges of climate change? In : IPGRI-IUFRO Workshop, Climate Change and forest genetic diversity: implications for sustainable forest management in Europe. Paris, France, 15-16 mars 2006.
- Lyrantzis G, Papanastasis V (1995) Human activities and their impact on land degradation – Psilorites Mountain in Crete: a historical perspective.
- McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (Eds.). (2001) *Climate Change 00: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC)*. Cambridge University Press, Royaume-Uni, 1000p.
- Medail, F. & Quezel, P. (1997) Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*
- Midgley GF, Thuiller W, Higgins SI. (2007) Plant Species Migration as a Key Uncertainty in Predicting Future Impacts of Climate Change on Ecosystems: Progress and Challenges. In : Canadell JG, Pataki DE, Pitelka LF (Eds.) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World, Global Change -The IGBP Series*. Springer Berlin Heidelberg.
- Mills, G., 2002. Modification of plant response by environmental conditions. In: Bell, J.N.B., and Treshow M., (eds), *Air Pollution and Plant Life*, Wiley, West Sussex, pp. 343-358.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant & T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747-756.
- Ohlemüller R, Gritti ES, Sykes MT, Thomas CD. (2006) Towards European climate risk surfaces: the extent and distribution of analogous and nonanalogous climates 1931-2100. *Global Ecology and Biogeography*, 15.
- Trigas P, Maria Panitsa, Spyros Tsiftsis (2013). Elevational Gradient of Vascular Plant Species Richness and Endemism in Crete – The Effect of Post-Isolation Mountain Uplift on a Continental Island System.
- Papanastasis VP, Kyriakakis S, Kazakis G (2002) Plant diversity in relation to overgrazing and burning in mountain Mediterranean ecosystems. *J Mediterr Ecol* 3: 53–63
- Parmesan C. (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 006, 37, 637-69.
- Pedro Regato (2008.) Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή.
- Petit JP, Hampe A, Cheddadi R. (2005) Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean. *TAXON*, 54(4): 877-885.
- Phitos, D., Strid, A., Snogerup, S. & Greuter, W. (1995) *The red data book of rare and threatened plants of Greece*. WWF Hellas, Athens

Rechinger, L. 1965: Die Flora von Bad Aussee. - Graz.

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Rokach, L., & Maimon, O. (2015). Data Mining With Decision Trees - Theory and Applications.

Solomon S et al. (2007) Technical Summary. In : Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Eds.) Climate Change 007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, Etats-Unis.

Steibauer MJ, Beierkuhnlein C (2010) Characteristic pattern of species diversity on the Canary Islands. *Erdkunde* 64: 57–71

Strid, A. (1986). Mountain flora of Greece, Vol 1. Cambridge Univ. Press.

Swart, R., Amann, M., Raes, F., Tuinstra, W., 2004. A good climate for clean air: linkages between climate change and air pollution. *Climatic Change* 66, 263– 269.

Therneau, T., Atkinson, B., and Ripley, B. (2017). rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R package version

Thompson JD. (2005) Plant Evolution in the Mediterranean. Oxford Univ. Press.

Thuiller W., Brotons L, Araujo MB, Lavorel S. (2004) Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography* 27, 165-172.

Tibshirani, Robert (1996). "Regression Shrinkage and Selection via the lasso". *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (methodological)*. Wiley.

Turland, N.(1992) . C:Studies on the Cretan flora 2. The *Dianthus juniperus* complex (Caryophyllaceae). *Bull.Br.Mus.nat.Hist.*

Turland, N. J., Chilton, L., & Press, J. R. (1993). Flora of the Cretan area: annotated checklist and atlas. Natural History Museum, London.

Turland ,N., and Chilton ,L.(1994) .Studies on the Cretan flora 3. Additions to the flora of Karpathos. *Bull.Br.Mus. Nat. Hist.*

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), Oxford University Press, Oxford

Vautard R, Gobiet A, Sobolowski S, et al. (2014) The European climate under a 2 °C global warming.

Wilfried Thuiller, Sandra Lavorel, Miguel B. Araújo, Martin T. Sykes, and I. Colin Prentice (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe

Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., Λειβαδίτη Γ., Μιχμοπούλου Ι. 1989, Ποσοτική Γεωμορφολογική Μελέτη του Υδρογραφικού Δικτύου της Κρήτης

Ιατρού 1986. Συμβολή στη μελέτη του ενδημισμού της χλωρίδας της Πελοποννήσου.

Καδής, Κ. (1995). Η αναπαραγωγική βιολογία των αυστηρών προστατευόμενων φυτών της Κυπριακής χλωρίδας . Διδακτορική διατριβή. Πάτρα[The biology of the propagation of threatened plant species of the Cypriot flora. PhD thesis. Patra] .

Κάσσιου Ευγενία, 2015 «Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και συχνότητα των γεγονότων ξηρασίας στην Κρήτη», Αθήνα.

Παναγέα Ιωάννα, 2013 «Επίπτωση κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων για την Ελλάδα», Χανιά

Ρέτσα Άννα 2016, «Εκτίμηση υδατικού δυναμικού της ανατολικής Κρήτης σε σενάρια κλιματικής αλλαγής με χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ»

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο

<https://scholar.google.com>

<https://www.nhmc.uoc.gr>

<http://www.geo.auth.gr/>

<http://mediplantepirus.med.uoi.gr>

<http://www.cretanflora.com>

<https://floraionica.univie.ac.at>

<https://www.greekflora.gr>

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/956/Giannoulis.2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/956/Giannoulis.2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/561/2006Myronakis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/4508/MyridakisEmmanouil2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<http://geolib.geo.auth.gr/digeo/index.php/pgc/article/viewFile/8943/8696>

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/509/thalasinaki.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

http://www.wwf.gr/images/pdfs/gr_adapting.pdf

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/0176#page/1/mode/2up>

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/679/2003Chatzimarkaki.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climatemodels/explained>