



ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

*Αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της
αλλαγής χρήσεων γης στην κατανομή δύο ενδημικών φυτών
της Κύπρου με τη χρήση χωρικής μοντελοποίησης*

Μαριάννα Λουκά

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Ιωάννης Βογιατζάκης

Φεβρουάριος, 2014

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

*Αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της αλλαγής
χρήσεων γης στην κατανομή δύο ενδημικών φυτών της Κύπρου με τη χρήση
χωρικής μοντελοποίησης*

Μαριάννα Λουκά

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Ιωάννης Βογιατζάκης

Φεβρουάριος, 2014

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Abstract	iv
Κατάλογος Εικόνων	v
Κατάλογος Πινάκων	viii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Σκοπός και στόχοι	2
1.2 Ερευνητικά ερωτήματα	3
1.3 Ερευνητική προσέγγιση	4
1.4 Αναμενόμενα αποτελέσματα	5
1.5 Δομή της μεταπτυχιακής διατριβής	6
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	7
2.1 Κλιματική αλλαγή	7
2.1.1 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα	8
2.1.2 Κλιματικά μοντέλα	9
2.1.3 Σενάρια εκπομπών	9
2.1.4 Προβλέψεις για τη Μεσόγειο και την Κύπρο	12
2.2 Αλλαγές χρήσεων γης	13
2.2.1 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα	13
2.2.2 Μοντελοποίηση αλλαγών χρήσεων γης	14
2.3 Μοντελοποίηση κατανομής ειδών	15
2.3.1 Εισαγωγή	15
2.3.2 Βιοκλιματική μοντελοποίηση και κλιματική αλλαγή	23
2.3.3 Μοντελοποίηση κατανομής ειδών και αλλαγή χρήσεων γης	27
2.3.4 Μοντελοποίηση κατανομής ειδών με συνδυασμό κλιματικής αλλαγής και αλλαγής χρήσεων γης	28
2.3.5 Ανασκόπηση υφιστάμενων ευρημάτων της διεθνούς βιβλιογραφίας	29
2.4 Συμπεράσματα	34
3 Μεθοδολογία	35
3.1 Περιοχή και είδη μελέτης	35
3.1.1 Περιοχή μελέτης	35
3.1.2 Είδη μελέτης	39

3.2	Δεδομένα.....	44
3.2.1	Δεδομένα κατανομής των ειδών.....	44
3.2.2	Βιοκλιματικά δεδομένα.....	45
3.2.3	Μελλοντικά βιοκλιματικά δεδομένα.....	49
3.2.4	Δεδομένα χρήσεων γης.....	50
3.2.5	Δεδομένα υψομέτρου και τύπου εδαφών.....	53
3.2.6	Χάρτης περιοχών Natura 2000 εντός κρατικής γης.....	54
3.3	Μέθοδοι.....	55
3.3.1	Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.....	55
3.3.2	Μεθοδολογικές παραδοχές.....	58
3.3.3	Μεθοδολογικά βήματα.....	59
4	Αποτελέσματα.....	67
4.1	<i>Crocus cyprius</i>	67
4.1.1	Δυνητικό ενδιαίτημα.....	67
4.1.2	Θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας.....	68
4.1.3	Δέντρο Ταξινόμησης.....	68
4.1.4	Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο.....	73
4.1.5	Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.....	76
4.1.6	Μελλοντικές χρήσεις γης.....	79
4.1.7	Μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.....	83
4.1.8	Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.....	84
4.1.9	Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή και λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.....	86
4.2	<i>Ophrys kotschyi</i>	88
4.2.1	Δυνητικό ενδιαίτημα.....	88
4.2.2	Θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας.....	89
4.2.3	Δέντρο Ταξινόμησης.....	89
4.2.4	Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο.....	94
4.2.5	Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.....	97
4.2.6	Μελλοντικές χρήσεις γης.....	100

4.2.7	Μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.....	103
4.2.8	Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.....	104
4.2.9	Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή και με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης	106
5	Συζήτηση –Συμπεράσματα – Εισηγήσεις.....	108
5.1	Συζήτηση.....	108
5.1.1	Συζήτηση σε σχέση με τους στόχους.....	108
5.1.2	Σύγκριση με παρόμοιες μελέτες	116
5.2	Περιορισμοί.....	117
5.2.1	Περιορισμοί εξαιτίας των δεδομένων	117
5.2.2	Περιορισμοί από τη μεθοδολογία	119
5.3	Συμπεράσματα	125
5.4	Εισηγήσεις.....	128
	Βιβλιογραφία	129

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» της Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, την περίοδο Οκτωβρίου 2012 - Φεβρουαρίου 2014.

Η ανάθεση του θέματος της διατριβής έγινε από τον ακαδημαϊκό υπεύθυνο του προγράμματος Δρ. Ιωάννη Βογιατζάκη, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και για την επιστημονική καθοδήγηση και συμπαράσταση σε όλη τη διάρκεια διεξαγωγής και συγγραφής της διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλη Τρίγκα, για την πολύτιμη βοήθειά του σε ότι αφορά το λογισμικό ArcGIS και σε όλα τα θέματα τεχνικής φύσης.

Ευχαριστίες οφείλω ακόμα στο Τμήμα Δασών, για την παροχή των δεδομένων κατανομής των ειδών.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου, που με στηρίζουν με κάθε δυνατό τρόπο.

Περίληψη

Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή και η αλλαγή των χρήσεων γης αποτελούν δύο από τις κυριότερες αιτίες απώλειας της βιοποικιλότητας παγκόσμια. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή επιχειρεί να μελετήσει τις συνδυασμένες επιπτώσεις των δύο αυτών παραμέτρων στην κατανομή δύο ενδημικών ειδών της κυπριακής χλωρίδας, των *Crocus cyprius* και *Ophrys kotschyi*. Συγκεκριμένα, στόχοι της διατριβής είναι η πρόβλεψη της δυνητικής κατανομής των υπό μελέτη ειδών το 2050 με τη δημιουργία στατιστικού βιοκλιματικού μοντέλου, καθώς και η διερεύνηση της ύπαρξης συνέργειας μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της αλλαγής χρήσεων γης στην κατανομή αυτή.

Για την επίτευξη των στόχων της διατριβής, χρησιμοποιήθηκε Δέντρο Ταξινόμησης για τον καθορισμό του βιοκλιματικού φακέλου κάθε είδους και Αλυσίδα Μαρκόφ και Κυτταρικά Αυτόματα για την πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης. Τα βιοκλιματικά δεδομένα λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων Worldclim και τα μελλοντικό κλίμα στηρίχθηκε στα σενάρια SRES A1B, A2, B1 και B2A της IPCC (2000) του κλιματικού μοντέλου HadCM3. Έγινε πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή, στη συνέχεια ενσωματώθηκε η προβλεπόμενη αλλαγή των χρήσεων γης και τέλος, έγινε σύγκριση μεταξύ της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή και αυτής που προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.

Τα αποτελέσματα για το *Crocus cyprius* δείχνουν ότι η μελλοντική δυνητική κατανομή του μειώνεται ή αυξάνεται ανάλογα με το σενάριο κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις προβλέπεται μετακίνησή της, ώστε πολλές από τις σημερινές θέσεις εμφάνισης του είδους να είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής. Η συμπερίληψη των αλλαγών χρήσεων γης δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές. Για το *Ophrys kotschyi*, η μελλοντική δυνητική κατανομή προβλέπεται να μειωθεί σε όλα τα σενάρια, ενώ επιπλέον η μετακίνηση και διάσπασή της προκαλεί εξαφάνιση των περισσότερων από τις σημερινές θέσεις του είδους. Η συμπερίληψη των αλλαγών χρήσεων γης προκαλεί επιπρόσθετη μείωση της δυνητικής κατανομής, που αναμένεται να προκαλέσει ολική εξαφάνιση των σημερινών θέσεων του είδους στο σενάριο B1 και παραμονή μιας ή δύο θέσεων στα υπόλοιπα σενάρια.

Συμπερασματικά, η προβλεπόμενη δυνητική κατανομή των ειδών διαφέρει ανάλογα με το είδος και το σενάριο που χρησιμοποιείται, αλλά πολλές ή και όλες οι σημερινές θέσεις

εμφάνισης των μελετώμενων ειδών προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής τους. Η συμπερίληψη της αλλαγής των χρήσεων γης επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη δυνητική κατανομή μόνο όταν οι τύποι των χρήσεων γης που είναι κατάλληλες για το είδος αλλάζουν, όπως στην περίπτωση του *Ophrys kotschyi*. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η λήψη κατάλληλων μέτρων για την προστασία των υπό μελέτη ειδών και κυρίως του *Ophrys kotschyi*, του οποίου σχεδόν όλες οι σημερινές θέσεις εμφάνισης αναμένεται να καταστούν ακατάλληλες στο μέλλον.

Abstract

Climate change and land use change are two of the main causes of biodiversity loss worldwide. This master thesis attempts to investigate the combined effects of these two factors on the distribution of two endemic species of Cyprus, *Crocus cyprius* and *Ophrys kotschyi*. Specifically, the objectives of this thesis are to predict the potential distribution of the target species in 2050 using statistical bioclimatic modeling, and to investigate the existence of synergies between climate change and land use change on the predicted distribution.

To achieve the objectives of the thesis, Classification Trees were used to define the bioclimatic envelope of each species and Markov Chain and Cellular Automata were used to predict future land use. The bioclimatic data were obtained from Worldclim database and the future climate was based on A1B, A2, B1 and B2A scenarios of HadCM3. Future potential distribution was predicted considering only climate change, then the projected land use change was incorporated and finally, a comparison was made between the future potential distribution considering only climate change and the one considering climate change as well as land use change.

The results for *Crocus cyprius* suggest that its potential distribution appears either reduced or increased in the future, depending on the climate change scenario considered. However, all scenarios predict shifting, so that many of the sites where the species is currently present are not included in the future potential distribution. The inclusion of land use change does not cause significant changes. In the case of *Ophrys kotschyi*, potential distribution is projected to decrease in all scenarios, while additionally shifting and fragmentation contribute to the disappearance of most of the species' current sites. The inclusion of land use change causes additional reduction, resulting in the total eradication of the species' current sites in scenario B1 and the persistence of one or two sites in all other scenarios.

In conclusion, future potential distribution varies depending on the species and scenario considered, however many or all of the species' current sites are expected to be outside their projected potential distribution. The inclusion of land use change has a significant effect only when the species' suitable land use types change. Therefore, it is essential to take appropriate measures to protect the two target species, especially *Ophrys kotschyi*, for which almost all current sites are expected to become unsuitable in the future.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση των σεναρίων της SRES (IPCC, 2000).....	10
Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση των τεσσάρων οικογενειών σεναρίων SRES της IPCC, όπου φαίνονται τα δύο κύρια είδη τάσεων που τις διαχωρίζουν (Nakicenovic & Swart, 2000).	11
Εικόνα 3.1 Δορυφορικός χάρτης της Κύπρου (ESRI, 2013).	35
Εικόνα 3.2 Απλοποιημένος χάρτης των τύπων εδαφοκάλυψης CORINE στην Κύπρο	37
Εικόνα 3.3 <i>Crocus cyprius</i> (Τμήμα Δασών, 2010).	42
Εικόνα 3.4 <i>Ophrys kotschyi</i> (Τμήμα Δασών, 2010).	43
Εικόνα 3.5 Κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> (Tsintides, et al., 2007).....	44
Εικόνα 3.6 Κατανομή του <i>Ophrys kotschyi</i> (Tsintides, et al., 2007).....	44
Εικόνα 3.7 Οι βιοκλιματικές μεταβλητές bio1 – bio10 για την Κύπρο.....	47
Εικόνα 3.8 Οι βιοκλιματικές μεταβλητές bio11 – bio19 για την Κύπρο.....	48
Εικόνα 3.9 Ο χάρτης CORINE Land Cover 2000 για την Κύπρο.....	51
Εικόνα 3.10 Χάρτης CORINE Land Cover 2006 για την Κύπρο.....	51
Εικόνα 3.11 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της Κύπρου.....	53
Εικόνα 3.12 Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης)	53
Εικόνα 3.13 Οι περιοχές Natura 2000 που βρίσκονται εντός κρατικής γης.....	54
Εικόνα 3.14 Τα κυριότερα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.	60
Εικόνα 4.1 Χάρτης του δυνητικού ενδιαίτηματος του <i>Crocus cyprius</i>	67
Εικόνα 4.2 Τα θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας του <i>Crocus cyprius</i>	68
Εικόνα 4.3 Το Δέντρο Ταξινόμησης που δημιουργήθηκε για το <i>Crocus cyprius</i>	69
Εικόνα 4.4 Η καμπύλη Gain για την κατηγορία-στόχο presence για το <i>Crocus cyprius</i>	70
Εικόνα 4.5 Η καμπύλη ROC που δημιουργήθηκε από το Δέντρο Ταξινόμησης του <i>Crocus cyprius</i>	72
Εικόνα 4.6 Η μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του <i>Crocus cyprius</i> , σύμφωνα με τα σεναρία A1B, A2, B1 και B2A.	73
Εικόνα 4.7 Η σημερινή δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του <i>Crocus cyprius</i>	74
Εικόνα 4.8 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Crocus cyprius</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο με την πραγματική κατανομή του σήμερα.	75

Εικόνα 4.9 Η δυνητική κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> το 2050 με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.....	76
Εικόνα 4.10 Η σημερινή δυνητική κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα.....	77
Εικόνα 4.11 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Crocus cyprius</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα με την πραγματική κατανομή του σήμερα. .	78
Εικόνα 4.12 Οι χάρτες CORINE 2000 και CORINE 2006 μετά την επαναταξινόμηση για το <i>Crocus cyprius</i>	79
Εικόνα 4.13 Χάρτης των περιοχών Natura εντός κρατικής γης που χρησιμοποιήθηκε ως περιοριστικός παράγοντας στην εντολή MCE.....	80
Εικόνα 4.14 Χάρτης των τεχνητών επιφανειών που χρησιμοποιήθηκε ως περιοριστικός παράγοντας στην εντολή MCE.....	80
Εικόνα 4.15 Ο χάρτης καταλληλότητας που δημιουργήθηκε από την εντολή MCE.....	80
Εικόνα 4.16 Οι προβλεπόμενες χρήσεις γης για το 2050, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV για το <i>Crocus cyprius</i>	81
Εικόνα 4.17 Χάρτης του δυνητικού ενδιαίτηματος του <i>Crocus cyprius</i> το 2050.....	83
Εικόνα 4.18 Η δυνητική κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> το 2050 λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A και την αλλαγή χρήσεων γης.....	84
Εικόνα 4.19 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Crocus cyprius</i> λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης με την πραγματική κατανομή του σήμερα.....	85
Εικόνα 4.20 Χάρτες που δημιουργήθηκαν από την αφαίρεση του χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Crocus cyprius</i> με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης από το χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.....	87
Εικόνα 4.21 Χάρτης του δυνητικού ενδιαίτηματος του <i>Ophrys kotschyi</i>	88
Εικόνα 4.22 Τα θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας του <i>Ophrys kotschyi</i>	89
Εικόνα 4.23 Το Δέντρο Ταξινόμησης που δημιουργήθηκε για το <i>Ophrys kotschyi</i>	90
Εικόνα 4.24 Η καμπύλη Gain για την κατηγορία-στόχο presence για το <i>Ophrys kotschyi</i>	91
Εικόνα 4.25 Η καμπύλη ROC που δημιουργήθηκε από το Δέντρο Ταξινόμησης του <i>Ophrys kotschyi</i>	93

Εικόνα 4.26 Η μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του <i>Ophrys kotschyi</i> , σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.	94
Εικόνα 4.27 Η σημερινή δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του <i>Ophrys kotschyi</i>	95
Εικόνα 4.28 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Ophrys kotschyi</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο με την πραγματική κατανομή του σήμερα.....	96
Εικόνα 4.29 Η δυνητική κατανομή του <i>Ophrys kotschyi</i> το 2050 λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.....	97
Εικόνα 4.30 Η σημερινή δυνητική κατανομή του <i>Ophrys kotschyi</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.	98
Εικόνα 4.31 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Ophrys kotschyi</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα με την πραγματική κατανομή του σήμερα.	99
Εικόνα 4.32 Οι χάρτες CORINE 2000 και CORINE 2006 μετά την επαναταξινόμηση για το <i>Ophrys kotschyi</i>	100
Εικόνα 4.33 Οι προβλεπόμενες χρήσεις γης για το 2050, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV για το <i>Ophrys kotschyi</i>	101
Εικόνα 4.34 Χάρτης του δυνητικού ενδιαίτηματος του <i>Ophrys kotschyi</i> το 2050.....	103
Εικόνα 4.35 Η δυνητική κατανομή του <i>Ophrys kotschyi</i> το 2050 λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.	104
Εικόνα 4.36 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Ophrys kotschyi</i> λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης με την πραγματική κατανομή του σήμερα.	105
Εικόνα 4.37 Χάρτες που δημιουργήθηκαν από την αφαίρεση του χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής του <i>Ophrys kotschyi</i> με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης από το χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.	107

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Αλλαγές στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στα νησιά της Μεσογείου σε σχέση με την περίοδο 1961-1990, σύμφωνα με τα σενάρια A1FI, A2, B1 και B2 (Mimura, et al., 2007).	12
Πίνακας 2.2: Παραδείγματα προσεγγίσεων μοντελοποίησης αλλαγών χρήσεων γης (Schaldach & Priess, 2008; Agarwal, et al., 2002).	14
Πίνακας 2.3: Κυριότεροι παράγοντες που προκαλούν υπέρ- ή υπό- εκτίμηση του εύρους κατανομής των ειδών	21
Πίνακας 2.4: Πιθανές χρήσεις των μοντέλων κατανομής ειδών στην οικολογία και τη βιολογία διατήρησης (Guisan & Thuiller, 2005; Araujo & Peterson, 2012).	22
Πίνακας 2.5: Μεθοδολογικές προσεγγίσεις και παραδείγματα στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη βιοκλιματική μοντελοποίηση (Heikkinen, et al., 2006; Guisan & Thuiller, 2005; Schröder, 2008).	25
Πίνακας 3.1 Οι κατηγορίες κινδύνου εξαφάνισης της IUCN.	40
Πίνακας 3.2 Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης των φυτών με βάση τα κριτήρια της IUCN (Tsintides, et al., 2007).	41
Πίνακας 3.3 Οι χρησιμοποιούμενες βιοκλιματικές μεταβλητές και η κωδικοποίησή τους (Hijmans, et al., 2005).	46
Πίνακας 3.4 Το σύστημα ταξινόμησης της εδαφοκάλυψης CORINE, με το χρώμα εμφάνισης κάθε κλάσης στο χάρτη.	52
Πίνακας 3.5: Ακρίβεια μοντέλου ανάλογα με την τιμή του Kappa (Landis & Koch, 1977) ..	56
Πίνακας 3.6: Ακρίβεια μοντέλου ανάλογα με τις τιμές της AUC (Swets, 1988).	57
Πίνακας 3.7 Το δυνητικό ενδιαίτημα που καθορίστηκε για τα <i>Crocus cyprius</i> και <i>Ophrys kotschyi</i>	61
Πίνακας 3.8 Οι νέες κλάσεις χρήσεων γης μετά την επαναταξινόμηση για χρήση στην εντολή MARKOV. Οι κλάσεις που λείπουν δεν εμφανίζονται στην Κύπρο.	64
Πίνακας 4.1 Η εκτίμηση ρίσκου και το τυπικό της σφάλμα για το Δέντρο Ταξινόμησης του <i>Crocus cyprius</i>	71
Πίνακας 4.2 Πίνακας ταξινόμησης για το Δέντρο Ταξινόμησης του <i>Crocus cyprius</i>	71
Πίνακας 4.3 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου με το Cohen's Kappa	72
Πίνακας 4.4 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ROC για το <i>Crocus cyprius</i>	72

Πίνακας 4.5 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο.	74
Πίνακας 4.6 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής του <i>Crocus cyprius</i> που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο.	75
Πίνακας 4.7 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντα υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.	77
Πίνακας 4.8 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.	78
Πίνακας 4.9 Οι αλλαγές σε αριθμό κελιών και το ποσοστό αλλαγής κάθε κλάσης χρήσεων γης από το 2006 μέχρι το 2050 για το <i>Crocus cyprius</i>	82
Πίνακας 4.10 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.	85
Πίνακας 4.11 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.	86
Πίνακας 4.12 Αριθμός κελιών που παίρνουν τις τιμές 0, -1 και 1 για το <i>Crocus cyprius</i>	87
Πίνακας 4.13 Η εκτίμηση ρίσκου και το τυπικό της σφάλμα για το Δέντρο Ταξινόμησης του <i>Ophrys kotschyi</i>	91
Πίνακας 4.14 Πίνακας ταξινόμησης για το Δέντρο Ταξινόμησης του <i>Ophrys kotschyi</i>	92
Πίνακας 4.15 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου με το Cohen's Kappa.	92
Πίνακας 4.16 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ROC για το <i>Ophrys kotschyi</i>	93
Πίνακας 4.17 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του <i>Ophrys kotschyi</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο.	95
Πίνακας 4.18 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο.	96
Πίνακας 4.19 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του <i>Ophrys kotschyi</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.	98
Πίνακας 4.20 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.	99

Πίνακας 4.21 Οι αλλαγές σε αριθμό κελιών και το ποσοστό αλλαγής κάθε κλάσης χρήσεων γης από το 2006 μέχρι το 2050 για το <i>Ophrys kotschy</i>	102
Πίνακας 4.22 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του <i>Ophrys kotschy</i> με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.	105
Πίνακας 4.23 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.	106
Πίνακας 4.24 Αριθμός κελιών που παίρνουν τις τιμές 0, -1 και 1 για το <i>Ophrys kotschy</i> ...	107
Πίνακας 5.1 Προβλεπόμενες τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών που καθορίζουν την κατανομή του <i>Crocus cyprius</i> (WorldClim, 2013).....	111
Πίνακας 5.2 Προβλεπόμενες τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών που καθορίζουν την κατανομή του <i>Ophrys kotschy</i> (WorldClim, 2013)	112

1 Εισαγωγή

Ο πλανήτης μας βιώνει σήμερα την έκτη μαζική εξαφάνιση ειδών, με καθημερινές εξαφανίσεις φυτών και ζώων μέχρι και χίλιες φορές πάνω από το φυσιολογικό ρυθμό (IUCN, 2010). Μεταξύ των κυριότερων αιτιών που ευθύνονται για τις εξαφανίσεις περιλαμβάνονται η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή, καθώς και η απώλεια και υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων (IUCN, 2010).

Η υφιστάμενη κλιματική αλλαγή έχει ήδη αλλάξει την κατανομή, την αφθονία, τη φαινολογία και της αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών, ενώ η επιδείνωσή της στο μέλλον αναμένεται να επιφέρει ακόμα σημαντικότερες αλλαγές στη βιοποικιλότητα (Rosenzweig, et al., 2007). Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σημαντική αναδιάταξη των χρήσεων γης παγκόσμια. Η καταστροφή, ο κατακερματισμός και η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων εξαιτίας των αλλαγών στις χρήσεις γης είναι ανάμεσα στις πιο δυνατές πιέσεις προς τη βιοποικιλότητα, ενώ οι συνδυασμένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της αλλαγής χρήσεων μπορεί να έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο από ότι θα είχε η κάθε αλλαγή από μόνη της (Chazal & Rounsevell, 2009).

Η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα η Κύπρος αναμένεται να επηρεαστεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή, με αύξηση της συχνότητας και έντασης των ξηρασιών και των ζεστών κλιματικών συνθηκών, αυξανόμενες ακραίες ψηλές θερμοκρασίες και μειωμένες βροχοπτώσεις (Lelieveld, et al., 2012; Lelieveld, et al., 2013). Παράλληλα, οι αυξημένες πιέσεις για αστική και τουριστική ανάπτυξη στην Κύπρο οδηγούν σε σημαντικές αλλαγές στις χρήσεις της γης (Eurostat, 2012).

Σύμφωνα με τον Coore (2004), όταν ένα είδος έρχεται αντιμέτωπο με μεγάλες κλιματικές αλλαγές έχει τρεις επιλογές: (α) να εξαφανιστεί, (β) να εξελιχθεί μέσω της φυσικής επιλογής ώστε να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες και (γ) να μετακινηθεί αλλάζοντας το γεωγραφικό του εύρος σε πιο ευνοϊκές συνθήκες. Ωστόσο, ο ρυθμός με τον οποίο συμβαίνει η κλιματική αλλαγή σήμερα είναι πιο γρήγορος από την ικανότητα πολλών ειδών για διασπορά ή προσαρμογή, ενώ άλλοι παράγοντες, όπως η αλλαγή χρήσεων γης και ο κατακερματισμός

των ενδιαιτημάτων, τα εμποδίζουν να μετακινηθούν σε κατάλληλες περιοχές (Thuiller, et al., 2005; Thomas, 2011).

Τα μοντέλα κατανομής ειδών, και ειδικότερα τα στατιστικά μοντέλα βιοκλιματικών φακέλων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για την πρόβλεψη των περιοχών που θα πληρούν τις κατάλληλες συνθήκες για την επιβίωση των ειδών στο μέλλον. Τα μοντέλα αυτά συσχετίζουν την υφιστάμενη κατανομή των ειδών με κλιματικές παραμέτρους, επιτρέποντας έτσι την πρόβλεψη δυνητικά κατάλληλων περιοχών για ένα είδος σε διαφορετικό χρόνο ή χώρο. Φυσικά, εκτός των κλιματικών παραμέτρων, και άλλοι αβιοτικοί παράγοντες επηρεάζουν την κατανομή των ειδών, όπως οι χρήσεις γης, η τοπογραφία και οι ιδιότητες του εδάφους. Η συμπερίληψη τέτοιων μεταβλητών έχει διαπιστωθεί ότι αυξάνει την ακρίβεια των βιοκλιματικών μοντέλων (Luoto, et al., 2005; Jetz, et al., 2007; Pompe, et al., 2008).

Έτσι, τα βιοκλιματικά μοντέλα μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στη βιοποικιλότητα, καθώς και στον κατάλληλο σχεδιασμό και στη λήψη αποφάσεων για μετριασμό των εξαφανίσεων εξαιτίας της αδυναμίας ή της καθυστερημένης διασποράς των ειδών.

1.1 Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής είναι να εξετάσει ποιες θα είναι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην κατανομή δύο ενδημικών ειδών χλωρίδας της Κύπρου, καθώς και αν η παράλληλη αλλαγή των χρήσεων γης θα επιδεινώσει ή θα μετριάσει τις επιπτώσεις αυτές.

Τα είδη μελέτης είναι τα *Crocus cyprius* Boiss. & Kotschy και *Ophrys kotschyi* H. Fleischm. & Sofí. Και τα δύο είδη είναι ενδημικά της Κύπρου, είναι απειλούμενα και έχουν καταταχθεί στα εύρωτα είδη, σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007). Περιλαμβάνονται τόσο στο Παράρτημα II της Οδηγίας των Οικοτόπων (92/43/ΕΟΚ), όσο και στο Παράρτημα I της Σύμβασης της Βέρνης για τη Διατήρηση της Άγριας Ζωής και του Φυσικού Περιβάλλοντος της Ευρώπης.

Επιμέρους στόχοι της μεταπτυχιακής διατριβής είναι:

1. η δημιουργία στατιστικού βιοκλιματικού μοντέλου που να καθορίζει το βιοκλιματικό χώρο του κάθε υπό μελέτη είδους.

2. η πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών με βάση το βιοκλιματικό χώρο και κάτω από συγκεκριμένα σενάρια κλιματικής αλλαγής.
3. Η πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών με βάση τόσο το βιοκλιματικό χώρο, όσο και τις κατάλληλες χρήσεις γης, τον τύπο των εδαφών και το υψόμετρο.
4. η διερεύνηση της ύπαρξης συνέργειας μεταξύ αλλαγής χρήσεων γης και κλιματικής αλλαγής στη μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, ως βιοκλιματικός χώρος των ειδών ορίζεται το εύρος των κλιματικών συνθηκών που επιτρέπει τη μακροπρόθεσμη επιβίωσή τους και αποτελεί την κλιματική συνιστώσα της θεμελιώδους οικόθεσης. Ως δυνητική κατανομή των ειδών ορίζεται η γεωγραφική περιοχή που ικανοποιεί όλες τις συνιστώσες της θεμελιώδους οικόθεσης, όπως ο βιοκλιματικός χώρος, οι χρήσεις γης, ο τύπος των εδαφών και το υψόμετρο.

1.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν από τους παραπάνω στόχους είναι:

1. Ποιο είναι το βέλτιστο βιοκλιματικό μοντέλο που να καθορίζει το βιοκλιματικό χώρο των υπό μελέτη ειδών;
2. Ποια είναι η μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών, με βάση αποκλειστικά το βιοκλιματικό χώρο των ειδών και κάτω από συγκεκριμένα σενάρια κλιματικής αλλαγής;
3. Ποια είναι η μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών με βάση τόσο το βιοκλιματικό χώρο των ειδών, όσο και τις κατάλληλες χρήσεις γης, τον τύπο των εδαφών και το υψόμετρο;
4. Υπάρχει αλλαγή της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών όταν ληφθεί υπόψη εκτός της κλιματικής αλλαγής και η μελλοντική αλλαγή στις χρήσεις γης;

1.3 Ερευνητική προσέγγιση

Για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων θα ακολουθηθεί η εξής διαδικασία:

1. Για την απάντηση του 1^{ου} ερωτήματος θα εξαχθούν οι τιμές βιοκλιματικών παραμέτρων στα σημεία παρουσίας και απουσίας του κάθε είδους και θα βρεθεί το καλύτερο στατιστικό μοντέλο που να προβλέπει την παρουσία του είδους με βάση τις βιοκλιματικές παραμέτρους, με χρήση Δέντρου Ταξινόμησης.
2. Για την απάντηση του 2^{ου} ερωτήματος θα χαρτογραφηθεί σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών η περιοχή που προκύπτει από την εφαρμογή του στατιστικού μοντέλου του 1^{ου} ερωτήματος σε μελλοντικές βιοκλιματικές μεταβλητές.
3. Για την απάντηση του 3^{ου} ερωτήματος θα γίνει συνδυασμός των χαρτών δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο του 2^{ου} ερωτήματος με χάρτη του δυνητικού ενδιαίτηματος του κάθε είδους. Το δυνητικό ενδιαίτημα ορίζεται ως ο συνδυασμός κατάλληλου υψομέτρου, τύπου εδαφών και χρήσεων γης. Ο χάρτης που θα προκύψει θα αντιπροσωπεύει τη μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.
4. Για την απάντηση του 4^{ου} ερωτήματος θα δημιουργηθεί χάρτης με τις μελλοντικές χρήσεις γης και θα συνδυαστεί με τους χάρτες κατάλληλου υψομέτρου και τύπου εδαφών, ώστε να βρεθεί το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα. Το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα θα συνδυαστεί ακολούθως με το χάρτη δυνητικής κατανομής του 2^{ου} ερωτήματος, ώστε να δημιουργηθεί ο χάρτης με τη μελλοντική δυνητική κατανομή του είδους λαμβάνοντας υπόψη τόσο την κλιματική αλλαγή όσο και την αλλαγή χρήσεων γης. Στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση των χαρτών δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή και με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης, ώστε να εντοπιστούν τυχόν διαφορές μεταξύ τους.

1.4 Αναμενόμενα αποτελέσματα

Με το πέρας της μεταπτυχιακής διατριβής αναμένεται να παραχθούν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

1. Προσδιορισμός του Δέντρου Ταξινόμησης που καθορίζει το βιοκλιματικό χώρο κάθε είδους.
2. Χωρικός προσδιορισμός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής κάθε είδους για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής, με βάση αποκλειστικά το βιοκλιματικό χώρο.
3. Χωρικός προσδιορισμός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής κάθε είδους για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής, με βάση τόσο το βιοκλιματικό χώρο όσο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.
4. Χωρικός προσδιορισμός των μελλοντικών χρήσεων γης.
5. Χωρικός προσδιορισμός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής κάθε είδους για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής, με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα και λαμβάνοντας υπόψη τόσο την κλιματική αλλαγή όσο και την αλλαγή χρήσεων γης.
6. Χωρικός προσδιορισμός των διαφορών μεταξύ της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή και της δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.

1.5 Δομή της μεταπτυχιακής διατριβής

Η διατριβή ακολουθεί την παρακάτω δομή:

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά στη μοντελοποίηση κατανομής ειδών για την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης, καθώς και στην ανασκόπηση των μέχρι σήμερα ευρημάτων από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται η περιοχή και τα είδη μελέτης, καθώς και τα δεδομένα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια, γίνεται επεξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε είδος μελέτης.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται συζήτηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, κριτική αξιολόγηση της μεθοδολογίας και των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και των πιθανών περιορισμών που προέκυψαν από την εφαρμογή τους. Τέλος, συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διατριβή και διατυπώνονται εισηγήσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Κλιματική αλλαγή

Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη στατιστικά σημαντική μεταβολή στη μέση κατάσταση ή στη διακύμανση του κλίματος, που παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα και η οποία μπορεί να οφείλεται σε φυσικά ή σε ανθρωπογενή αίτια (VijayaVenkata Raman, et al., 2012).

Τα πιο σημαντικά φυσικά αίτια αλλαγής του κλίματος είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα και η ηλιακή ακτινοβολία, ωστόσο δεν μπορούν να εξηγήσουν τη θέρμανση που παρατηρείται στον πλανήτη τις τελευταίες δεκαετίες (Crowley, 2000; Karl, et al., 2009). Οι περισσότεροι επιστήμονες συμφωνούν ότι κύρια αιτία της τάσης αυτής είναι η ανθρωπογενής επέκταση του «φαινομένου του θερμοκηπίου», δηλαδή της αύξησης της θερμοκρασίας που προκύπτει όταν κάποια αέρια της ατμόσφαιρας δεσμεύουν θερμότητα από μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που αντανακλάται στην επιφάνεια της Γης πριν διαφύγει προς το διάστημα. Τα κυριότερα από τα αέρια αυτά είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το οξείδιο του νατρίου, οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), το όζον και οι υδρατμοί (IPCC, 2007; IPCC, 2013).

Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η χρήση ορυκτών καυσίμων, η γεωργία, η κτηνοτροφία, η χρήση λιπασμάτων και CFCs, οδήγησαν στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα με συνεπακόλουθο την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης (Karl, et al., 2009). Επιπρόσθετα, η εκτεταμένη χρήση CFCs στο παρελθόν δημιούργησε την τρύπα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, με αποτέλεσμα αλλαγές στα πρότυπα των ανέμων και των περιφερειακών κλιμάτων της περιοχής (Karl, et al., 2009). Τέλος, αλλαγές στις χρήσεις γης, όπως η καταστροφή των δασών, η μετατροπή περιοχών φυσικής βλάστησης σε γεωργικές και οικιστικές και η μεγάλης κλίμακας άρδευση προκαλούν τοπικά αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας (Karl, et al., 2009).

2.1.1 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα

Το κλίμα επηρεάζει περισσότερο από κάθε άλλο παράγοντα την κατανομή των ειδών (Sykes, 2009). Οι κλιματικές αλλαγές του παρελθόντος έχουν αποδεδειγμένα επηρεάσει την κατανομή και την εξέλιξη των ειδών, ενώ υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι η υφιστάμενη κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει την κατανομή και τη φαινολογία τους (Hughes, 2000; Hannah, 2010; Parmesan & Yohe, 2003; Sykes, 2009). Η 4^η έκθεση του IPCC (Rosenzweig, et al., 2007) αναφέρει τέσσερις τύπους αλλαγών που έχουν ήδη παρατηρηθεί εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής:

- 1) Αλλαγή του εύρους κατανομής φυτών και ζώων προς μεγαλύτερα υψόμετρα και γεωγραφικά πλάτη.
- 2) Αλλαγή στην αφθονία πολλών ειδών και ζώων, είτε με αύξηση είτε με μείωση του αριθμού τους.
- 3) Αλλαγές στη φαινολογία πολλών ειδών, με χρονική μετατόπιση γεγονότων του κύκλου ζωής τους, όπως η άνθηση, η μετανάστευση και η μεταμόρφωση των εντόμων, πιο νωρίς την άνοιξη και πιο αργά το φθινόπωρο.
- 4) Αποσύνδεση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ειδών εξαιτίας της διαφορετικής ταχύτητας και κατεύθυνσης με την οποία συμβαίνουν οι αλλαγές σε κάθε είδος.

Η επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον αναμένεται να έχει δραματικές συνέπειες για τα είδη, είτε γιατί η διασπορά ή η προσαρμογή τους συμβαίνει πιο αργά από την κλιματική αλλαγή, είτε γιατί άλλοι παράγοντες, όπως η αλλαγή χρήσεων γης και ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων, τα εμποδίζουν να μετακινηθούν σε κατάλληλες περιοχές (Thuiller, et al., 2005; Thomas, 2011). Τα κατάλληλα διαχειριστικά μέτρα μπορούν να μετριάσουν τις συνέπειες αυτές, ωστόσο απαιτούν επαρκείς πληροφορίες για τις μελλοντικές συνθήκες. Οι γνώσεις μας για το μέλλον εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα μοντέλα και από την ικανότητά τους να προβλέπουν σωστά τόσο τις μελλοντικές περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και τις αποκρίσεις των ειδών σε αυτές.

2.1.2 Κλιματικά μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα επιτρέπουν την προσομοίωση της αλλαγής του κλίματος εξαιτίας της συσσώρευσης αερίων του θερμοκηπίου, βασιζόμενα στη σημερινή κατανόηση της ατμοσφαιρικής φυσικής και χημείας (Hannah, 2010).

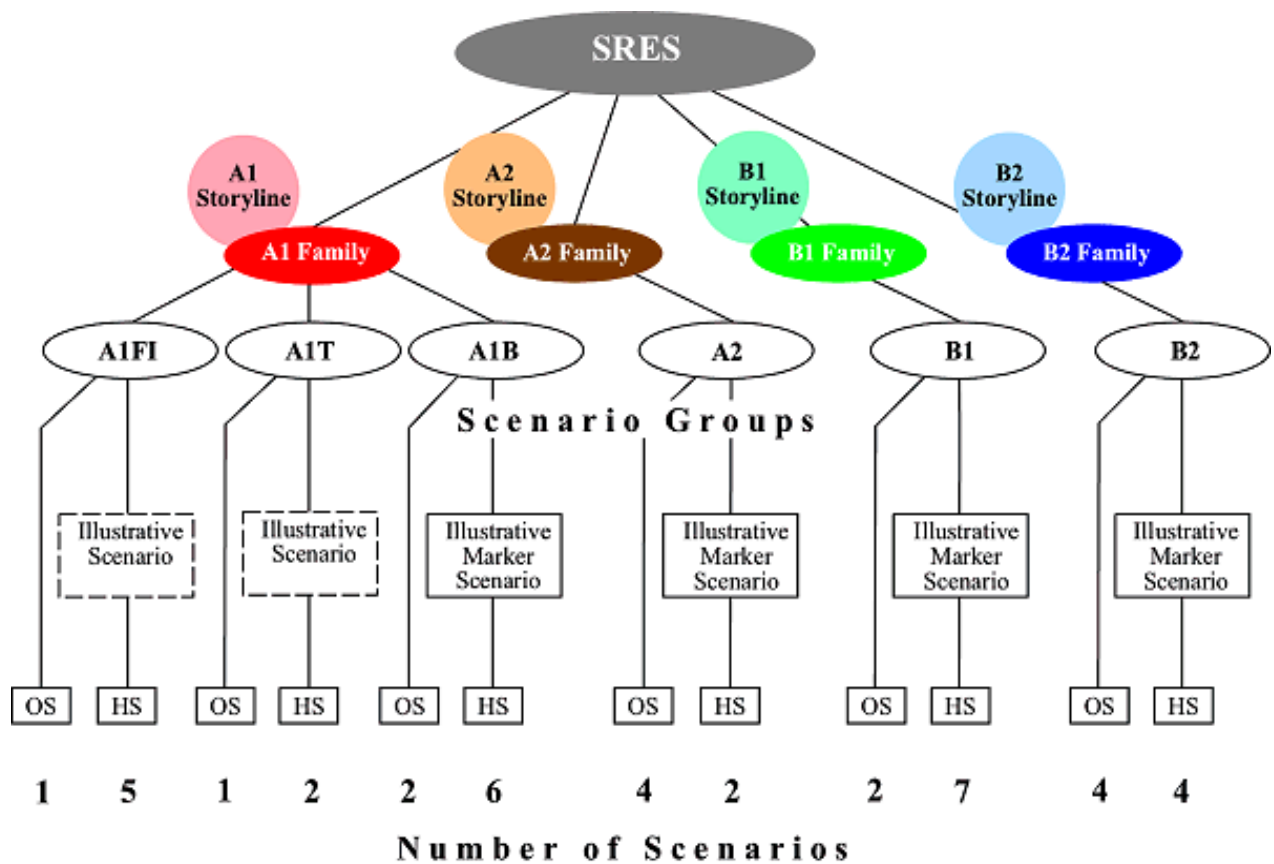
Τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα ή μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Models, GCMs) προβλέπουν την κλιματική αλλαγή σε ολόκληρο τον πλανήτη, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα μαθηματικών εξισώσεων που προσομοιώνει την κίνηση μάζας και ενέργειας από το ένα μέρος της ατμόσφαιρας στο άλλο (Hannah, 2010). Η τυπική οριζόντια ανάλυση ενός παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου φτάνει τα 100 – 200 Km. Οι πιο εξελιγμένες μορφές των κλιματικών μοντέλων περιλαμβάνουν συνδυασμό των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων με τρισδιάστατες απεικονίσεις των ωκεανών (Atmospheric Ocean GCMs, AOGCMs), ή επιπλέον και με τρισδιάστατα μοντέλα της χερσαίας βιόσφαιρας (Viner, 2000). Τα μοντέλα που περιλαμβάνονται στην 5^η Έκθεση της IPCC έχουν εξελιχθεί περαιτέρω σε Μοντέλα Γήινου Συστήματος (Earth System Models, ESMs), με τη συμπερίληψη αναπαραστάσεων των βιογεωχημικών κύκλων (IPCC, 2013).

Τα περιφερειακά κλιματικά μοντέλα (RCMs) λειτουργούν σε πολύ πιο μεγάλη ανάλυση από τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (10 – 50 Km) αλλά σε μικρότερη έκταση. Ωστόσο, για τη μελέτη των βιολογικών φαινομένων απαιτούνται ακόμα πιο λεπτομερείς κλίμακες (από 1 Km μέχρι κάποια μέτρα). Η επίλυση του προβλήματος αυτού επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση και παρεμβολή των κλιματικών δεδομένων (Hannah, 2010).

2.1.3 Σενάρια εκπομπών

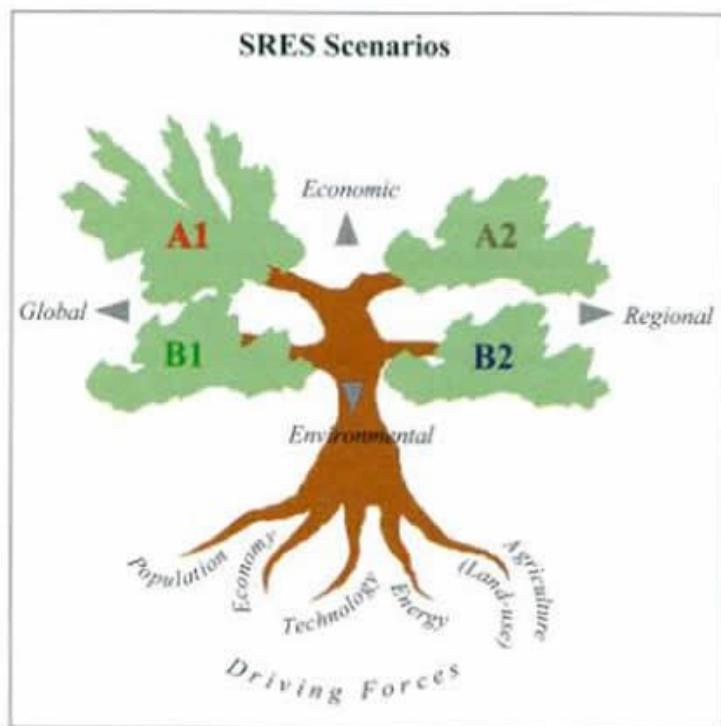
Ο ρυθμός έκλυσης αερίων του θερμοκηπίου από τους ανθρώπους καθορίζει το ρυθμό και τον τρόπο με τον οποίο θα αλλάξει το κλίμα και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη δημιουργία των κλιματικών μοντέλων (Hannah, 2010). Οι μελλοντικές εκλύσεις αερίων του θερμοκηπίου καθορίζονται από πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, όπως η δημογραφική ανάπτυξη, η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική αλλαγή (IPCC, 2000). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) δημιούργησε μια σειρά από σενάρια εκπομπών για χρήση στα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα, που περιγράφονται από την Ειδική Έκθεση για τα Σενάρια Εκπομπών (Special Report on Emissions Scenarios, SRES). Κάθε σενάριο στηρίζεται σε μια

συγκεκριμένη «ιστορία» (storyline) που προβλέπει διαφορετικές δημογραφικές, κοινωνικές, οικονομικές, τεχνολογικές και περιβαλλοντικές εξελίξεις (Nakicenovic & Swart, 2000). Η IPCC έχει αναπτύξει τέσσερις διαφορετικές «ιστοριογραμμές» (A1, A2, B1 και B2) και μια σειρά από σενάρια για κάθε μια από αυτές (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση των σεναρίων της SRES (IPCC, 2000).

Οι τέσσερις οικογένειες σεναρίων χαρακτηρίζονται από δύο διαφορετικές τάσεις: δυνατότερες οικονομικές ή περιβαλλοντικές αξίες και αύξηση της παγκοσμιοποίησης ή αύξηση της περιφερειοποίησης του μελλοντικού κόσμου (Εικόνα 2.2). Στις οικογένειες σεναρίων A1 και A2 δίνεται έμφαση στις οικονομικές αξίες, ενώ στις οικογένειες B1 και B2 στην οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική αειφορία (IPCC, 2000). Παράλληλα, στις οικογένειες A1 και B1 ο μελλοντικός κόσμος κατευθύνεται προς την παγκοσμιοποίηση, ενώ στις οικογένειες A2 και B2 προς την περιφερειοποίηση (IPCC, 2000).



Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση των τεσσάρων οικογενειών σεναρίων SRES της IPCC, όπου φαίνονται τα δύο κύρια είδη τάσεων που τις διαχωρίζουν (Nakicenovic & Swart, 2000).

Στην 5^η Έκθεση της IPCC χρησιμοποιείται μια καινούργια διαδικασία για τη δημιουργία των σεναρίων, τα οποία ονομάζονται Αντιπροσωπευτικά Μονοπάτια Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways, RCPs). Τα μονοπάτια αυτά δε χρησιμοποιούν κοινωνικό-οικονομικά σενάρια ως σημεία έναρξης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλά αντίθετα ξεκινούν με εναλλακτικές συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου, χωρίς να συνδέονται με κάποιο κοινωνικό-οικονομικό σενάριο (IPCC, 2013). Η αλλαγή αυτή έγινε με στόχο να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων σεναρίων, αλλά και για να εξασφαλιστεί η καλύτερη ενσωμάτωση των κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων, των αλλαγών στο κλιματικό σύστημα και της τρωτότητας των φυσικών και ανθρώπινων συστημάτων (IPCC, 2013). Έχουν αναπτυχθεί τέσσερα RCPs, τα RCP2.6, RCP4.5, RCP6 και RCP8.5, τα οποία παίρνουν το όνομά τους ανάλογα με την τιμή της πίεσης ακτινοβολίας (Radiative Forcing, RF) που προβλέπουν για το έτος 2100 (IPCC, 2013). Η ολοκληρωμένη 5^η Έκθεση της IPCC με την εφαρμογή των RCPs αναμένεται να δημοσιευτεί μέσα στο 2014.

2.1.4 Προβλέψεις για τη Μεσόγειο και την Κύπρο

Σύμφωνα με τα σενάρια της IPCC, η Μεσόγειος θα παρουσιάσει αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, με μεγαλύτερη αύξηση το καλοκαίρι (Christensen, et al., 2007). Επίσης, προβλέπεται μείωση των βροχοπτώσεων με αύξηση του κινδύνου θερινής ξηρασίας αλλά και αύξηση της πιθανότητας ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης (Christensen, et al., 2007; Nunes, et al., 2011). Στην ανατολική Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή, προβλέπεται αύξηση της συχνότητας και έντασης των ξηρασιών και των ζεστών κλιματικών συνθηκών, με αυξανόμενες ακραίες ψηλές θερμοκρασίες και μειωμένες βροχοπτώσεις (Lelieveld, et al., 2012; Lelieveld, et al., 2013). Οι προβλεπόμενες αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα και τη βροχόπτωση στα νησιά της Μεσογείου σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 φαίνονται στον Πίνακα 2.1 (Mimura, et al., 2007).

Πίνακας 2.1: Αλλαγές στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στα νησιά της Μεσογείου σε σχέση με την περίοδο 1961-1990, σύμφωνα με τα σενάρια A1FI, A2, B1 και B2 (Mimura, et al., 2007).

Χρονική περίοδος	2010–2039	2040–2069	2070–2099
Αύξηση θερμοκρασίας (°C)	0.60 - 2.19	0.81 - 3.85	1.20 - 7.07
Αλλαγή βροχόπτωσης (%)	-35.6 - +55.1	-52.6 - +38.3	-61.0 - +6.2

Σε ότι αφορά την Κύπρο, οι Hadjinicolaou, et al. (2011) χρησιμοποιώντας το σενάριο A1B της IPCC και με σημείο αναφοράς την περίοδο 1976–2000, προβλέπουν για την περίοδο 2026–2050 μετάβαση του κλίματος του νησιού σε μια πιο θερμή κατάσταση. Συγκεκριμένα, τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη θερμοκρασία προβλέπεται να αυξηθούν κατά 1°C το χειμώνα μέχρι 2 °C το καλοκαίρι (Hadjinicolaou, et al., 2011). Η βροχόπτωση πιθανό να μειωθεί κατά 2-8% ενώ η συχνότητα των βροχοπτώσεων φαίνεται να μειώνεται στο εσωτερικό και στα παράλια αλλά να αυξάνεται στα ορεινά (Hadjinicolaou, et al., 2011). Επιπλέον, αναμένεται αύξηση σε όλο το νησί του αριθμού των πολύ ζεστών ημερών κατά περισσότερο από 2 εβδομάδες/χρόνο και του αριθμού των τροπικών βραδιών κατά ένα μήνα/χρόνο, ενώ για τη Λεμεσό αναμένεται επίσης αύξηση του ετήσιου αριθμού των συνεχόμενων ξηρών ημερών κατά 9 μέρες (Hadjinicolaou, et al., 2011).

2.2 Αλλαγές χρήσεων γης

Οι αλλαγές χρήσεων γης είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ ανθρωπογενών και περιβαλλοντικών παραγόντων και περιλαμβάνουν είτε την μετατροπή μιας χρήσης σε άλλη, είτε την εντατικοποίηση της ίδιας χρήσης (Chazal & Rounsevell, 2009; Schaldach & Priess, 2008).

Οι αλλαγές των χρήσεων γης επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία του γήινου συστήματος, με επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος, στη μείωση της βιοποικιλότητας, την υποβάθμιση των εδαφών και την ικανότητα των βιολογικών συστημάτων να υποστηρίζουν τις ανθρώπινες ανάγκες (Lambin, et al., 2006). Επιπλέον, οι αλλαγές των χρήσεων γης καθορίζουν, ως ένα βαθμό, την τρωτότητα τόπων και ανθρώπων σε κλιματικές, οικονομικές και κοινωνικοπολιτικές διαταραχές (Lambin, et al., 2006).

Οι παράγοντες που προκαλούν τις αλλαγές στις χρήσεις γης διαχωρίζονται σε άμεσους και έμμεσους (Geist, et al., 2006). Οι άμεσοι παράγοντες δρουν τοπικά και περιλαμβάνουν φυσικές δράσεις, όπως η επέκταση της γεωργίας, η αποψίλωση των δασών και η επέκταση των οικιστικών δομών. Οι έμμεσοι παράγοντες αποτελούν τις πρωταρχικές αιτίες που υποβοηθούν στη δημιουργία των άμεσων παραγόντων και δρουν σε παγκόσμιο ή σε περιφερειακό επίπεδο. Περιλαμβάνουν τους τεχνολογικούς, οικονομικούς, πολιτικούς, θεσμικούς, δημογραφικούς και κοινωνικούς- πολιτιστικούς παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης των οικοσυστημικών υπηρεσιών και άρα ελέγχουν τη χρήση της γης και των πόρων. Η αλλαγή σε ένα έμμεσο παράγοντα προκαλεί αλλαγές σε ένα ή περισσότερους άμεσους παράγοντες, με αποτέλεσμα τις αλλαγές στις χρήσεις γης (Geist, et al., 2006).

2.2.1 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα

Σύμφωνα με τους Sala, et al. (2000), η αλλαγή χρήσεων γης αποτελεί την πιο σοβαρή αιτία αλλαγών στην βιοποικιλότητα. Η καταστροφή, ο κατακερματισμός και η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων εξαιτίας των αλλαγών στις χρήσεις γης είναι ανάμεσα στις πιο δυνατές πιέσεις προς τη βιοποικιλότητα, ενώ η μετατροπή μιας χρήσης γης σε άλλη ή η εντατικοποίηση της χρήσης της γης επηρεάζουν την κατάσταση ειδών και ενδιαιτημάτων (EEA, 2010).

Επιπρόσθετα, η σημερινή τάση για συγκέντρωση και εξειδίκευση και η εγκατάλειψη της γης, οδηγούν σε πόλωση των τοπίων και σε μείωση της ποικιλότητας και της πολυλειτουργικότητάς τους (EEA, 2010). Τα εδάφη που βελτιστοποιούν μια συγκεκριμένη λειτουργία, όπως η γεωργική παραγωγή, σε βάρος άλλων λειτουργιών, είναι σταθερά μόνο σε ένα μικρό εύρος συνθηκών και άρα πιο ευάλωτα σε απειλές όπως η κλιματική αλλαγή, οι ασθένειες και τα είδη εισβολείς (EEA, 2010). Σημαντικές είναι ακόμα οι συνεργιστικές επιπτώσεις των αλλαγών χρήσεων γης με την κλιματική αλλαγή στην απώλεια της βιοποικιλότητας (Brook, et al., 2008; Chazal & Rounsevell, 2009).

2.2.2 Μοντελοποίηση αλλαγών χρήσεων γης

Τις τελευταίες δεκαετίες ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων για την αλλαγή χρήσεων γης έχει δημιουργηθεί, με στόχο τόσο την καλύτερη διαχείριση γαιών, όσο και την αξιολόγηση και προβολή του μελλοντικού ρόλου της αλλαγής των χρήσεων γης στη λειτουργία του γήινου συστήματος (Veldkamp & Lambin, 2001). Τα μοντέλα χρήσεων γης αντιπροσωπεύουν ένα μέρος της πολυπλοκότητας των συστημάτων χρήσεων γης και απαντούν στο πού είναι πιθανό να γίνουν οι αλλαγές και στο ποιο είναι το πιθανό ποσοστό των αλλαγών (Trisurat, et al., 2011; Veldkamp & Lambin, 2001). Οι προσεγγίσεις μοντελοποίησης κυμαίνονται από απλές αναπαραστάσεις του συστήματος, μέχρι ολοκληρωμένα μοντέλα για τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της μελλοντικής ανάπτυξης των χρήσεων γης, που βασίζονται σε εις βάθος κατανόηση των ειδικών αλληλεπιδράσεων μεγάλου αριθμού παραγόντων (Trisurat, et al., 2011). Παραδείγματα προσεγγίσεων μοντελοποίησης χρήσεων γης φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Παραδείγματα προσεγγίσεων μοντελοποίησης αλλαγών χρήσεων γης (Schaldach & Priess, 2008; Agarwal, et al., 2002).

Μοντέλο	Βιβλιογραφική πηγή
CLUE Model (Conversion of Land Use and Its Effects)	Veldkamp and Fresco (1996)
Spatial dynamic model	Gilruth et al. (1995)
Spatial Markov model	Wood et al. (1997)
LUCAS (Land Use Change Analysis System)	Berry et al. (1996)
Cellular automata model	Clarke et al. (1998), Kirtland et al. (2000)
IMAGE	Alcamo et al. (1998), MNP (2006)
ITE ² M	Frede et al. (2002)
LANDSHIFT	Alcamo and Schaldach (2006), Schaldach et al. (2006)

2.3 Μοντελοποίηση κατανομής ειδών

2.3.1 Εισαγωγή

Η κατανόηση της σχέσης που συνδέει την κατανομή φυτών και ζώων με τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελεί ένα κεντρικό θέμα της Οικολογίας (Guisan & Zimmermann, 2000). Τα Μοντέλα Κατανομής Ειδών (Species Distribution Models, SDMs) επιχειρούν να δώσουν απάντηση στο ερώτημα αυτό, ποσοτικοποιώντας τη σχέση των ειδών με το περιβάλλον. Τα μοντέλα αυτά παρέχουν τη βάση για την ενοποίηση της κλασικής θεωρίας των οικοθέσεων με χωρικές διεργασίες, ώστε να εξετάσουν τους παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή των ειδών (Schröder, 2008).

Ορισμός και βασικές αρχές

Τα μοντέλα κατανομής ειδών είναι εμπειρικά μοντέλα που συσχετίζουν τη γεωγραφική κατανομή ειδών ή κοινοτήτων με περιβαλλοντικές μεταβλητές πρόβλεψης, βασισμένα σε επιφάνειες απόκρισης που προκύπτουν στατιστικά ή θεωρητικά (Guisan & Thuiller, 2005). Χρησιμοποιούν πληροφορίες για τις θέσεις των ειδών και τις αντίστοιχες τιμές περιβαλλοντικών παραμέτρων για να δημιουργήσουν στατιστικές συναρτήσεις (Brotons, et al., 2004). Οι συναρτήσεις αυτές μπορούν να προβληθούν σε περιοχές ή σε χρόνους όπου οι περιβαλλοντικές παράμετροι είναι γνωστές αλλά η κατανομή των ειδών είναι άγνωστη, παρέχοντας προβλέψεις για δυνητικά κατάλληλες περιοχές (Brotons, et al., 2004). Έτσι, τα μοντέλα κατανομής ειδών μπορούν να εφαρμοστούν τόσο για την κατανόηση της οικολογίας και της εξέλιξης των ειδών, όσο και για την πρόβλεψη της κατανομής τους σε διαφορετικό χώρο και χρόνο (Elith & Leathwick, 2009).

Τα δεδομένα κατανομής των ειδών μπορεί να είναι απλά δεδομένα παρουσίας, δεδομένα παρουσίας – απουσίας ή δεδομένα αφθονίας (Guisan & Thuiller, 2005). Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές πρόβλεψης μπορεί να επιδρούν άμεσα ή έμμεσα στα είδη και αντιπροσωπεύουν τα τρία είδη περιβαλλοντικών επιδράσεων: (α) περιοριστικούς παράγοντες ή ρυθμιστές (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, σύσταση εδάφους) (β) διαταραχές φυσικές ή ανθρωπογενείς (π.χ. ακραία φαινόμενα) και (γ) πόρους (π.χ. ενέργεια, νερό) (Guisan & Thuiller, 2005). Τα προϊόντα που μπορεί να προκύψουν από ένα μοντέλο είναι δύο τύπων: (α) δυαδικές ταξινομήσεις, όπου οι θέσεις κατατάσσονται εντός ή εκτός της κατανομής του είδους και (β)

συνεχή ή πιθανολογικά, όπου σε κάθε θέση αποδίδεται μια τιμή ή πιθανότητα παρουσίας του είδους (Sinclair, et al., 2010).

Ιστορική αναδρομή

Η συσχέτιση της κατανομής των ειδών με το περιβάλλον έχει μεγάλη ιστορία και ξεκινά πολύ πριν την ανάπτυξη των υπολογιστών και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems, GIS) (Guisan & Zimmermann, 2000). Οι οικολογικές ρίζες των μοντέλων κατανομής ειδών ξεκινούν από τις πρώτες μελέτες που περιγράφουν βιολογικά χωρικά πρότυπα ως προς τη σχέση τους με γεωγραφικές ή και περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως αυτές των Grinnell (1904), Murray (1866) και Schimper (1903) (Elith & Leathwick, 2009).

Τα πρώτα παραδείγματα μελετών που σχετίζουν την κατανομή των ειδών με το κλίμα είναι αυτά των Johnston (1924), που προβλέπει την εξάπλωση ενός εισβλητικού είδους κάκτου στην Αυστραλία και του Hittinka (1963), που αξιολογεί τους κλιματικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή αρκετών ευρωπαϊκών ειδών (Pearson & Dawson, 2003).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 αναπτύσσονται τα πρώτα μοντέλα πρόβλεψης της κατανομής ειδών σε υπολογιστές, τα οποία ακολουθούνται στη δεκαετία του 1980 από τις πρωτοποριακές προσομοιώσεις κατανομής ειδών του Ferrier (1984) (Guisan & Thuiller, 2005; Ferrier, et al., 2002).

Δύο μεγάλα ρεύματα ερευνητικής δράσης ενώθηκαν την εποχή αυτή, με αποτέλεσμα τη γέννηση της μοντέρνας ποσοτικής μοντελοποίησης και χαρτογράφησης κατανομής ειδών (Elith & Leathwick, 2009). Από τη μια, η μεγάλη ανάπτυξη της επιστήμης των υπολογιστών και της στατιστικής, με τη δημιουργία νέων μεθόδων όπως τα Γενικά Γραμμικά Μοντέλα (GLMs), επέτρεψε τη δημιουργία πιο εκλεπτυσμένων και ρεαλιστικών μοντέλων (Elith & Leathwick, 2009; Guisan & Thuiller, 2005). Από την άλλη, οι εξελίξεις στις μεθόδους της φυσικής γεωγραφίας, όπως η κατασκευή λεπτομερών ψηφιακών μοντέλων εδάφους, η παρεμβολή κλιματικών παραμέτρων και η τηλεπισκόπηση επέτρεψαν τη συλλογή πληθώρας δεδομένων που πριν δεν ήταν διαθέσιμα. Παράλληλα η ανάπτυξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών παρείχε σημαντικά εργαλεία για την αποθήκευση και επεξεργασία τους (Foody, 2008). Τα μοντέλα κατανομής ειδών όπως τα ξέρουμε σήμερα

προέκυψαν όταν οι νέες στατιστικές προσεγγίσεις συνδυάστηκαν με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Elith & Leathwick, 2009).

Σήμερα, η μοντελοποίηση κατανομής ειδών έχει καταστεί ένα όλο και σημαντικότερο εργαλείο για την επίλυση θεμάτων στην οικολογία, τη βιογεωγραφία, την εξέλιξη, την βιολογία διατήρησης και την έρευνα για την κλιματική αλλαγή (Guisan & Thuiller, 2005; Guisan & Zimmermann, 2000).

Θεωρία, Παραδοχές και Περιορισμοί

Ένας αριθμός οικολογικών θεωριών και παραδοχών στηρίζει αναπόφευκτα τα περισσότερα μοντέλα κατανομής ειδών (Sinclair, et al., 2010). Κάποιες από αυτές υποστηρίζονται από την οικολογική και εξελικτική θεωρία, ενώ άλλες αποτελούν απλοποιήσεις που απαιτούνται για τη δημιουργία του μοντέλου (Araujo & Peterson, 2012). Οι παραδοχές αυτές έχουν διάφορες επιδράσεις στη μοντελοποίηση, προκαλώντας είτε υπερεκτίμηση είτε υποεκτίμηση της κατανομής των ειδών (Πίνακας 2.3). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πιο συνηθισμένες παραδοχές και οι περιορισμοί που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.

Η έννοια της Οικόθεσης (Niche concept) και το Αξίωμα της Ισορροπίας (Equilibrium postulate)

Τα περισσότερα Μοντέλα Κατανομής Ειδών στηρίζονται στη Θεωρία των Οικοθέσεων (Hutchinson, 1957). Σύμφωνα με αυτή, κάθε είδος εξαρτάται από τη ύπαρξη ενός συγκεκριμένου συνδυασμού περιβαλλοντικών παραμέτρων για τη μακροπρόθεσμη επιβίωσή του, ο οποίος αντιπροσωπεύει τη θεμελιώδη οικόθεσή του (fundamental niche). Ωστόσο, ο περιβαλλοντικός χώρος που καταλαμβάνει στην πραγματικότητα το είδος (πραγματοποιούμενη οικόθεση, realized niche) περιορίζεται από βιοτικές παραμέτρους, όπως ο ανταγωνισμός, η θήρευση και η διασπορά (Jackson & Overpeck, 2000; Phillips, et al., 2006). Οι γεωγραφικές περιοχές που ικανοποιούν τη θεμελιώδη οικόθεση αποτελούν τη δυνητική κατανομή ενός είδους, ενώ οι γεωγραφικές περιοχές που καταλαμβάνει στην πραγματικότητα αποτελούν την πραγματοποιούμενη κατανομή του.

Η πιο συνηθισμένη παραδοχή στα μοντέλα κατανομής ειδών είναι ότι, αφού οι παρατηρούμενες κατανομές ήδη περιορίζονται από βιοτικές αλληλεπιδράσεις και

περιοριστικούς παράγοντες, τα μοντέλα εκ των πραγμάτων ποσοτικοποιούν την πραγματοποιούμενη οικόθεση (Guisan & Thuiller, 2005). Μια άλλη συνήθης παραδοχή, που συνδέεται με αυτή της πραγματοποιούμενης οικόθεσης, είναι ότι τα μελετώμενα είδη βρίσκονται σε ισορροπία με το περιβάλλον, δηλαδή ανά πάσα στιγμή παρουσιάζονται σε όλες τις κατάλληλες περιοχές και απουσιάζουν από όλες τις ακατάλληλες (Hutchinson, 1957). Υπάρχουν ενδείξεις ότι για πολλά είδη δεν ισχύει αυτό, αφού υπάρχει διαφορά χρόνου μεταξύ των αλλαγών στο περιβάλλον και των αλλαγών στην κατανομή των ειδών (Pulliam, 2000; Araujo & Peterson, 2012).

Για παράδειγμα, ένας πληθυσμός μπορεί να μετακινείται, οπότε να είναι παρόν σε ενδιαιτήματα εκτός της οικόθεσής του, ή να απουσιάζει από την οικόθεσή του λόγω περιορισμένης διασποράς (Pulliam, 2000). Παράλληλα, ένα είδος μπορεί να εμφανίζεται σε ενδιαιτήματα – δεξαμενές, όπου ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού του είναι κάτω από 1 και άρα θα εξαφανιζόταν χωρίς συνεχή μετανάστευση από ενδιαιτήματα – πηγές. Παραδείγματα αποτελούν είδη με μεγάλους χρόνους ζωής που παραμένουν σε περιοχές όπου οι συνθήκες δεν είναι πλέον κατάλληλες για νεαρά άτομα, είδη που μπορεί να παραμένουν σε τμήματα ενδιαιτημάτων που είναι πολύ μικρά ή υποβαθμισμένα για να διατηρήσουν βιώσιμους πληθυσμούς ή είδη που να βρίσκονται εκτός της πραγματοποιούμενης οικόθεσης αλλά εντός της θεμελιώδους οικόθεσής τους εξαιτίας αλλαγής των κλιματικών συνθηκών. Τα είδη αυτά παρουσιάζουν «χρέος εξαφάνισης», δηλαδή μακροπρόθεσμα είναι πολύ πιθανό να εξαφανιστούν (Sinclair, et al., 2010; Malanson, 2008).

Η ατελής κατάληψη της πραγματοποιούμενης οικόθεσης σημαίνει ότι τα μοντέλα που δημιουργούνται με βάση της παρατηρούμενες παρουσίες δεν υπολογίζουν τις περιοχές όπου τα είδη θα μπορούσαν να επιβιώσουν αλλά δεν κατάφεραν να διασπαρθούν τη δεδομένη χρονική περίοδο, δηλαδή υποεκτιμάται το εύρος του είδους (Guisan & Thuiller, 2005; Sinclair, et al., 2010). Αντίθετα, στις περιπτώσεις που τα είδη καταλαμβάνουν περιοχές εκτός της πραγματοποιούμενης οικόθεσης, το μοντέλο αγνοεί το «χρέος εξαφάνισης» και θεωρεί το ενδιαιτήμα κατάλληλο, με αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση του εύρους του είδους (Sinclair, et al., 2010).

Ωστόσο, τα μειονεκτήματα των παραδοχών αυτών αντισταθμίζονται από τα πλεονεκτήματά τους, όπως η απλοποίηση της διαδικασίας μοντελοποίησης σε μεγάλο βαθμό, η δυνατότητα προβλέψεων μεγάλης κλίμακας με μικρό κόπο και το γεγονός ότι καμία λεπτομερής γνώση

της φυσιολογίας και της συμπεριφοράς των υπό μελέτη ειδών δεν είναι απαραίτητη (Guisan & Zimmermann, 2000).

Βιοτικές αλληλεπιδράσεις

Ένας επιπλέον περιορισμός που προκύπτει όταν ένα μοντέλο δημιουργείται με δεδομένα κατανομής από την πραγματοποιούμενη οικόθεση, είναι ότι όλες οι βιοτικές αλληλεπιδράσεις ενυπάρχουν στο μοντέλο και θεωρείται, λανθασμένα, ότι παραμένουν οι ίδιες όταν αυτό προβληθεί σε διαφορετικό χρόνο ή χώρο (Jeschke & Strayer, 2008). Αν θεωρήσουμε ότι οι αρνητικές αλληλεπιδράσεις ξεπερνούν τις θετικές, τότε όλα τα μελετώμενα είδη προβλέπονται πάντα σε μειονεκτικότερη θέση από την πραγματική (Sinclair, et al., 2010; Guisan & Thuiller, 2005).

Κάποιοι ερευνητές, αναγνωρίζοντας τον περιορισμό αυτό, προσπάθησαν να ενσωματώσουν βιοτικές αλληλεπιδράσεις στα μοντέλα τους, είτε με χρήση απλών στατιστικών μοντέλων, είτε με ενσωμάτωση μηχανιστικών (Heikkinen, et al., 2007; Araujo & Luoto, 2007; Keith, et al., 2008; Sutherst, et al., 2007). Όμως, η δημιουργία τέτοιου είδους μοντέλων είναι δύσκολο να γίνει συστηματικά, αφού απαιτεί εκ των προτέρων αναγνώριση των σημαντικών αλληλεπιδράσεων, οι οποίες για τα περισσότερα είδη είναι άγνωστες ή δεν υποστηρίζονται από χωρικά δεδομένα (Sinclair, et al., 2010).

Ικανότητα διασποράς

Τα μοντέλα κατανομής ειδών προβλέπουν δυνητικά κατάλληλα ενδιαιτήματα σε νέες συνθήκες, χωρίς όμως να υπολογίζουν την ικανότητα των ειδών να μετακινηθούν σε αυτά (Pearson & Dawson, 2003). Η ικανότητα μετακίνησης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της διασποράς του κάθε είδους, καθώς και από τη δομή του τοπίου στο οποίο απαιτείται να πραγματοποιηθεί η διασπορά (Pearson & Dawson, 2003).

Τα περισσότερα μοντέλα είτε δεν υπολογίζουν την ικανότητα διασποράς των ειδών, είτε χρησιμοποιούν απλές παραδοχές, όπως πλήρης διασπορά ή μηδενική διασπορά (Buse & Griebeler, 2011; Sinclair, et al., 2010; Guisan & Thuiller, 2005; Araujo & Peterson, 2012; Barbet-Massin, et al., 2012). Στην περίπτωση της πλήρους διασποράς, θεωρείται ότι τα είδη θα μπορέσουν να καταλάβουν όλο το δυνητικά κατάλληλο ενδιαιτήμα τους, ενώ στην περίπτωση μηδενικής διασποράς τα είδη θα καταλάβουν μόνο τις περιοχές που

καταλαμβάνουν σήμερα και που παραμένουν κατάλληλες και σε μελλοντικές συνθήκες. Και οι δύο περιπτώσεις είναι μη ρεαλιστικές για τα περισσότερα είδη και μπορούν να οδηγήσουν είτε σε υπερεκτίμηση (στην περίπτωση της πλήρους διασποράς) είτε σε υποεκτίμηση (στην περίπτωση της μηδενικής διασποράς) του μελλοντικού εύρους των ειδών (Buse & Griebeler, 2011; Engler & Guisan, 2009).

Ένας λόγος εφαρμογής των παραδοχών αυτών είναι ότι η ικανότητα διασποράς πολλών ειδών δεν είναι γνωστή (Buse & Griebeler, 2011). Σε ιδανικές συνθήκες μοντελοποίησης, θα απαιτούνταν λεπτομερείς πληροφορίες για την ικανότητα διασποράς, όπως αποστάσεις στις οποίες μπορούν να διασπαρθούν τα είδη, μέσα και συχνότητα διασποράς και πώς αυτά σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού. Οι πληροφορίες αυτές είναι γνωστές για ένα πολύ μικρό αριθμό ειδών (Sinclair, et al., 2010).

Εξέλιξη και προσαρμογή

Μια σημαντική παραδοχή των μοντέλων κατανομής ειδών είναι ότι η αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών δεν επιφέρει γενετικές ή φαινοτυπικές αλλαγές στα είδη (Jeschke & Strayer, 2008). Ωστόσο, είναι πολύ πιθανό ότι ένας αριθμός ειδών μπορεί να καταφέρει να εξελιχθεί αρκετά γρήγορα, ώστε να αλλάξει τις περιβαλλοντικές του ανάγκες όσο αλλάζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες, ειδικά όταν πρόκειται για είδη με μικρούς χρόνους αναπαραγωγής και μεγάλη παρακαταθήκη γονιδίων (Pearson & Dawson, 2003; Sinclair, et al., 2010). Τα είδη τείνουν να εξελίσσονται γρήγορα όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν, ενώ οι φαινοτυπικές αλλαγές συμβαίνουν πολύ πιο γρήγορα από τις γενετικές (Jeschke & Strayer, 2008). Επιπλέον, διαφορετικοί πληθυσμοί ενός είδους μπορεί να είναι προσαρμοσμένοι στις τοπικές τους συνθήκες και να διαφέρουν γενετικά παρόλο που ανήκουν στο ίδιο είδος (Sinclair, et al., 2010; Pearson & Dawson, 2003).

Τα μοντέλα κατανομής των ειδών που πραγματοποιούν προβλέψεις σε μελλοντικές κλιματικές συνθήκες, αδυνατούν να συμπεριλάβουν τη φαινοτυπική πλαστικότητα και τη διαφορετική ικανότητα των ειδών για εξέλιξη, κυρίως λόγω της απουσίας γνώσεων μας γι' αυτή (Sinclair, et al., 2010; Jeschke & Strayer, 2008). Ως αποτέλεσμα, τα μοντέλα υποεκτιμούν το μελλοντικό εύρος κατανομής των ειδών (Sinclair, et al., 2010).

Πίνακας 2.3: Κυριότεροι παράγοντες που προκαλούν υπέρ- ή υπό- εκτίμηση του εύρους κατανομής των ειδών

Συστηματική υπερεκτίμηση	Συστηματική υποεκτίμηση
Δυναμική πηγής-δεξαμενής - Χρέος εξαφάνισης	Κατάσταση περιορισμένης διασποράς
	Είδος εντός θεμελιώδους αλλά εκτός πραγματοποιούμενης οικόθεσης
	Μη συμπερίληψη βιοτικών αλληλεπιδράσεων
Παραδοχή πλήρους διασποράς	Παραδοχή μηδενικής διασποράς
	Εξέλιξη και προσαρμογή

Εφαρμογές

Η μοντελοποίηση κατανομής ειδών έχει δύο πιθανές εφαρμογές: (α) την κατανόηση ή επεξήγηση και (β) την πρόβλεψη (Schröder, 2008).

Η επεξηγηματική μοντελοποίηση έχει ως σκοπό την κατανόηση της επιλογής του ενδιαιτήματος ή του εύρους ενός είδους, ελέγχοντας υποθέσεις για τη σημαντικότητα πιθανών μεταβλητών πρόβλεψης, την επίδραση των αλληλεπιδράσεων με άλλα είδη ή τις βέλτιστες συνθήκες εντός του περιβαλλοντικού χώρου (Schröder, 2008).

Η προβλεπτική μοντελοποίηση σκοπεύει στην πρόβλεψη της πραγματοποιούμενης οικόθεσης, της δυνητικής κατανομής ή της βιοποικιλότητας καθώς και της επίδρασης των περιβαλλοντικών αλλαγών στα είδη (Schröder, 2008). Τα αποτελέσματά της συνήθως παρουσιάζονται με τη μορφή χωρικών προβλέψεων της πιθανότητας παρουσίας των ειδών, που ονομάζονται χάρτες καταλληλότητας ενδιαιτήματος (Schröder, 2008). Οι χάρτες αυτοί βρίσκουν πολλές εφαρμογές στο σχεδιασμό και τη διαχείριση προστατευόμενων περιοχών ή την επιλογή θέσεων επανεισαγωγής ειδών (Schröder, 2008). Στον Πίνακα 2.4 φαίνονται πιθανές χρήσεις των μοντέλων κατανομής ειδών στην οικολογία και τη βιολογία διατήρησης (Guisan & Thuiller, 2005).

Πίνακας 2.4: Πιθανές χρήσεις των μοντέλων κατανομής ειδών στην οικολογία και τη βιολογία διατήρησης (Guisan & Thuiller, 2005; Araujo & Peterson, 2012).

Χρήση	Βιβλιογραφικές αναφορές
Ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής οικόθεσης των ειδών	Austin, et al., (1990), Vetaas (2002)
Έλεγχος βιογεωγραφικών, οικολογικών και εξελικτικών υποθέσεων	Graham, et al. (2004)
Αξιολόγηση της ικανότητας εισβολής και διάδοσης ειδών και ασθενειών	Villemant, et al.(2011), Gritti, et al. (2006)
Αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, της αλλαγής χρήσεων γης και άλλων περιβαλλοντικών αλλαγών στην κατανομή των ειδών και τη φυλογενετική ποικιλότητα	Thuiller (2004), Thuiller, et al. (2005), Araujo, et al. (2006), Huntley et al., (2008), Barbet-Massin, et al. (2011)
Εισήγηση ανεξερεύνητων περιοχών με υψηλή πιθανότητα παρουσίας σπάνιων ειδών	Engler, et al. (2004), Guisan, et al. (2006)
Υποστήριξη κατάλληλων διαχειριστικών σχεδίων για την ανάκαμψη ειδών και χαρτογράφηση κατάλληλων περιοχών για επανεισαγωγή ειδών	Pearce & Lindenmayer (1998)
Υποστήριξη του σχεδιασμού διατήρησης και επιλογής προστατευόμενων περιοχών	Araújo, et al. (2011), Seoane, et al. (2006)

2.3.2 Βιοκλιματική μοντελοποίηση και κλιματική αλλαγή

Μια από τις εφαρμογές των μοντέλων κατανομής ειδών είναι η πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην κατανομή των ειδών. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για να γίνει αυτό, η πιο δημοφιλής από τις οποίες είναι τα στατιστικά μοντέλα βιοκλιματικών φακέλων.

Βασικές αρχές

Τα μοντέλα κλιματικών ή βιοκλιματικών φακέλων συσχετίζουν τη σημερινή κατανομή των ειδών με κλιματικές μεταβλητές, επιτρέποντας έτσι την πρόβλεψη της μελλοντικής κατανομής τους κάτω από δεδομένα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Heikkinen, et al., 2006).

Οι βασικές παραδοχές των μοντέλων αυτών, πέραν των παραδοχών που υποστηρίζουν όλα τα μοντέλα κατανομής ειδών, είναι ότι το μακρό-κλίμα παίζει κυρίαρχο ρόλο στον περιορισμό της κατανομής των ειδών (Beaumont, et al., 2007; Pearson & Dawson, 2003; Luoto, et al., 2005; Araujo & Peterson, 2012) και ότι η υφιστάμενη σχέση ειδών – κλίματος παραμένει σταθερή σε διαφορετικούς χρόνους (Watling, et al., 2012).

Σκοπός των βιοκλιματικών μοντέλων είναι να καθορίσουν το «βιοκλιματικό φάκελο» ή «βιοκλιματικό χώρο» του είδους (Beaumont, et al., 2007). Ο βιοκλιματικός φάκελος μπορεί να οριστεί ως η κλιματική συνιστώσα της θεμελιώδους οικόθεσης, ή «κλιματική οικόθεση» (Pearson & Dawson, 2003). Έτσι, στην καθαρότερη μορφή τους, τα βιοκλιματικά μοντέλα περιλαμβάνουν μόνο κλιματικές μεταβλητές και όχι άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες που πιθανό να επηρεάζουν την κατανομή των ειδών, όπως ο τύπος του εδάφους ή η εδαφοκάλυψη, αλλά ούτε και βιοτικές αλληλεπιδράσεις, όπως ο ανταγωνισμός (Pearson & Dawson, 2003).

Τα μοντέλα κλιματικών φακέλων δημιουργούνται με δύο τύπους ανεξάρτητων μεταβλητών: είτε κλιματικές μεταβλητές, που περιγράφουν το μηνιαίο κλίμα (π.χ. μέση μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση), είτε βιοκλιματικές μεταβλητές, που προκύπτουν από εποχικές σχέσεις μεταξύ της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης (π.χ. μέση θερμοκρασία του πιο υγρού ή πιο ξηρού τετραμήνου, βροχόπτωση του ξηρότερου ή υγρότερου μήνα κλπ.) (Watling, et al., 2012). Γενικά, πιστεύεται ότι τα μοντέλα που δημιουργούνται με βιοκλιματικές μεταβλητές είναι πιο ισχυρά, αφού οι βιοκλιματικές μεταβλητές επηρεάζουν τα είδη πιο άμεσα απ' ό,τι οι μηνιαίες κλιματικές μεταβλητές (Watling, et al., 2012).

Όπως σε όλα τα μοντέλα, η διαδικασία κατασκευής ενός βιοκλιματικού μοντέλου απαιτεί τη λήψη μιας σειράς αποφάσεων, οι οποίες συνεισφέρουν στη συνολική αβεβαιότητα (Beaumont, et al., 2007; Heikkinen, et al., 2007). Κυριότερες πηγές αβεβαιότητας αποτελούν η δειγματοληψία και η ποιότητα των δεδομένων, το μέγεθος του δείγματος, η επιλογή της κατάλληλης χωρικής κλίμακας, η επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών, η πολυσυγραμμικότητα και χωρική αυτοσυσχέτιση των μεταβλητών και η επιλογή του μοντέλου και σεναρίου κλιματικής αλλαγής (Beaumont, et al., 2007; Heikkinen, et al., 2006; Phillips, et al., 2006; Segurado, et al., 2006).

Παρά την ευρεία εφαρμογή τους, τα βιοκλιματικά μοντέλα δεν παύουν να δέχονται και αρνητική κριτική. Αυτή οφείλεται κυρίως στο ότι εκτός των κλιματικών παραμέτρων, και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την κατανομή των ειδών, ειδικά σε πιο λεπτομερείς κλίμακες (Luoto, et al., 2005; Pearson & Dawson, 2003; Heikkinen, et al., 2006; Buse & Griebeler, 2011). Τέτοιοι παράγοντες είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών, η ικανότητα μετανάστευσης, οι εξελικτικές αλλαγές, οι χρήσεις γης, η τοπογραφία και οι ιδιότητες του εδάφους (Luoto, et al., 2005; Martin, et al., 2013; Pearson & Dawson, 2003). Η συμπερίληψη τέτοιων μεταβλητών έχει αρχίσει να εφαρμόζεται από αρκετούς ερευνητές και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ακρίβειας των μοντέλων (Luoto, et al., 2005; Jetz, et al., 2007; Pompe, et al., 2008).

Μέθοδοι Μοντελοποίησης

Διάφορες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο στα μοντέλα κατανομής ειδών γενικότερα, όσο και ειδικά στα μοντέλα βιοκλιματικών φακέλων (Πίνακας 2.5). Γενικά οι μέθοδοι μοντελοποίησης ανήκουν σε μια από τις πιο κάτω προσεγγίσεις (Schröder, 2008):

- (α) μοντέλα κλιματικών φακέλων
- (β) στατιστικές προσεγγίσεις
- (γ) μέθοδοι μηχανικής μάθησης
- (δ) πολυμεταβλητές επεκτάσεις για μοντελοποίηση κοινοτήτων
- (ε) τεχνικές πολυμεταβλητής πρόβλεψης

Η κατάλληλη στατιστική μέθοδος για ένα μοντέλο επιλέγεται ανάλογα με το εύρος της οικολογικής γνώσης, τον τύπο της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών, τη χωρική και χρονική κλίμακα, τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται και το επιθυμητό προϊόν (Brotons, et al., 2004; Guisan & Thuiller, 2005; Heikkinen, et al., 2006).

Πίνακας 2.5: Μεθοδολογικές προσεγγίσεις και παραδείγματα στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη βιοκλιματική μοντελοποίηση (Heikkinen, et al., 2006; Guisan & Thuiller, 2005; Schröder, 2008).

Μεθοδολογική προσέγγιση	Μέθοδος/ εργαλείο μοντελοποίησης	Βιβλιογραφική αναφορά
Τεχνικές κλιματικών φακέλων (Climate envelope techniques, CE)	BIOCLIM	Busby (1991)
	DOMAIN	Carpenter, et al. (1993)
	HABITAT	Walker & Cocks (1991)
	STASH	Sykes, et al. (1996)
Στατιστικές προσεγγίσεις	Γενικά Γραμμικά Μοντέλα (GLM)	Guisan & Theurillat (2000)
	Γενικά Προσθετικά Μοντέλα (GAM)	Leathwick, et al. (1996)
	Τοπικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (local regression/loess)	Beerling, et al. (1995)
	Μοντέλα Bayes	Aspinall (1992)
Μέθοδοι μηχανικής μάθησης	Δέντρα Ταξινόμησης και Παλινδρόμησης (CTA / CART / RTA)	Iverson & Prasad (1998)
	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN) - SPECIES	Pearson, et al. (2002)
	Μοντελοποίηση Μέγιστης Εντροπίας (MAXENT)	Phillips, et al. (2006)
	Γενετικοί αλγόριθμοι για πρόβλεψη με σύνολο κανόνων (GARP)	Peterson (2001)
	Πολυμεταβλητά προσαρμοστικά splines παλινδρόμησης (MARS)	Prasad & Iverson, (2000)
Πολυμεταβλητές επεκτάσεις για μοντελοποίηση κοινοτήτων	Γενικά Μοντέλα Ανομοιότητας (GDM)	Ferrier, et al. (2002)
	Πολυπαραγοντικά δέντρα ταξινόμησης	De'ath (2002)
Τεχνικές πολυμεταβλητής πρόβλεψης	Παραγοντική ανάλυση περιβαλλοντικής οικόθεσης (ENFA)	Hirzel, et al. (2002)

Μοντελοποίηση με δεδομένα παρουσίας μόνο

Οι περισσότερες μέθοδοι βιοκλιματικής μοντελοποίησης απαιτούν τόσο δεδομένα παρουσίας, όσο και δεδομένα απουσίας. Παρόλο που υπάρχει πληθώρα δεδομένων παρουσίας για τα είδη, τα δεδομένα απουσίας είναι σπάνια και ακόμα και στην περίπτωση που υπάρχουν, η αξία τους είναι αμφισβητήσιμη (Phillips, et al., 2006).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού υπάρχουν δύο προσεγγίσεις: είτε χρησιμοποιούνται στατιστικές προσεγγίσεις που να απαιτούν δεδομένα παρουσίας μόνο, όπως τα μοντέλα κλιματικών φακέλων BIOCLIM και DOMAIN, είτε χρησιμοποιούνται δεδομένα «ψευδό-απουσίας» ή δεδομένα «υποβάθρου», ώστε να μιμηθούν τα δεδομένα απουσίας. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι που κανονικά απαιτούν δεδομένα παρουσίας-απουσίας, αλλά στη θέση των απουσιών χρησιμοποιούνται τυχαία σημεία από την περιοχή μελέτης (Phillips, et al., 2006). Σύμφωνα με τους Phillips, et al. (2009), τα δεδομένα «ψευδό-απουσίας» ή «υποβάθρου» δε συνιστούν πραγματικές απουσίες του είδους από τα σημεία αυτά, αλλά παρέχουν ένα δείγμα των συνθηκών που είναι διαθέσιμες στο είδος στην περιοχή αυτή.

Η σύγκριση μοντέλων κατανομής ειδών δείχνει ότι οι μέθοδοι παρουσίας-απουσίας είναι καλύτερες από τις μεθόδους παρουσίας μόνο, έτσι όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται μέθοδοι παρουσίας-απουσίας με τη δημιουργία τεχνητών δεδομένων απουσίας (Barbet-Massin, et al., 2012). Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμα συμφωνία για τον τρόπο και το χώρο δημιουργίας των δεδομένων ψευδό-απουσίας, ούτε και για τον αριθμό τους (Barbet-Massin, et al., 2012). Οι κυριότεροι τρόποι δημιουργίας ψευδό-απουσιών είναι (Lobo & Tognelli, 2011; Mateo, et al., 2010; Barbet-Massin, et al., 2012):

(α) με χρήση δεδομένων υποβάθρου τυχαία από όλη την περιοχή μελέτης (Stockwell & Peters, 1999)

(β) με χρήση δεδομένων υποβάθρου από τμήματα εντός της περιοχής μελέτης με περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των επιβεβαιωμένων παρουσιών (Zaniewski, et al., 2002),

(γ) με χρήση δεδομένων ψευδό-απουσίας εκτός του περιβαλλοντικού τομέα που είναι ευνοϊκός για το είδος (Engler, et al., 2004; Lobo & Tognelli, 2011)

(δ) με τη χρήση δεδομένων από «βοηθητικά» είδη με παρόμοιες απαιτήσεις με το είδος μελέτης, όπου οι παρούσα των ειδών αυτών θεωρείται ως απουσία του είδους μελέτης (Mateo, et al., 2010; Guisan, et al., 2006).

Σε όλες τις περιπτώσεις, τα δεδομένα μπορεί να «σταθμιστούν» (case weighting) ώστε να προσομοιωθεί επικράτηση 0.5, δηλαδή το συνολικό βάρος των παρουσιών να ισούται με το συνολικό βάρος των απουσιών (Ferrier, et al., 2002; Guisan, et al., 2006; Gibson, et al., 2007).

2.3.3 Μοντελοποίηση κατανομής ειδών και αλλαγή χρήσεων γης

Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο κατακερματισμός και η απομόνωση των ενδιαιτημάτων εξαιτίας των αλλαγών χρήσεων γης αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες οικοσυστημικών αλλαγών παγκόσμια σήμερα και στο μέλλον, ενώ οι αλλαγές των χρήσεων γης θα έχουν πιθανότατα τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα στα επόμενα εκατό χρόνια (Martin, et al., 2013; Jetz, et al., 2007; Sala, et al., 2000; Valeccillo, et al., 2009).

Ωστόσο, η χρήση αποκλειστικά δεδομένων χρήσεων γης για την πρόβλεψη της κατανομής των ειδών έχει πολύ μικρή εφαρμογή στη μοντελοποίηση κατανομής ειδών, σε σχέση με τη χρήση κλιματικών δεδομένων (Chazal & Rounsevell, 2009). Αυτό πιθανό να οφείλεται στο ότι τα μοντέλα κατανομής ειδών που χρησιμοποιούν μόνο κλιματικές μεταβλητές έχουν καλύτερη προβλεπτική ικανότητα από αυτά που χρησιμοποιούν μόνο μεταβλητές ενδιαίτηματος, σε μεγάλες χωρικές κλίμακες (Barbet-Massin, et al., 2012). Στις λίγες περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά δεδομένα χρήσεων γης για την πρόβλεψη της κατανομής ειδών, αυτό γίνεται σε πολύ λεπτομερείς κλίμακες, κάτω του 1 Km, όπου οι κλιματικές παράμετροι είτε δεν είναι διαθέσιμες, είτε έχουν πολύ μικρότερη σημασία απ' ότι, για παράδειγμα, δεδομένα τηλεπισκόπησης μεγάλης ανάλυσης (König, et al., 2007).

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή της βιοκλιματικής μοντελοποίησης. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιούνται δεδομένα χρήσεων γης ή εδαφοκάλυψης που προκύπτουν είτε από δορυφορικές εικόνες, είτε από κατηγορικούς χάρτες χρήσεων γης (Cord, et al., 2012). Ως εξαρτημένη μεταβλητή χρησιμοποιείται η υφιστάμενη κατανομή των ειδών και για την πρόβλεψη των αλλαγών χρησιμοποιούνται δεδομένα από μοντέλα αλλαγών χρήσεων γης.

2.3.4 Μοντελοποίηση κατανομής ειδών με συνδυασμό κλιματικής αλλαγής και αλλαγής χρήσεων γης

Η κλιματική αλλαγή και η αλλαγή χρήσεων γης αποτελούν δύο από τις πιο σοβαρές απειλές για τη βιοποικιλότητα, ενώ οι συνδυασμένες επιπτώσεις τους μπορεί να αποβούν καταστροφικές (Pearson, et al., 2004; Jetz, et al., 2007; Chazal & Rounsevell, 2009). Παρά το γεγονός αυτό, τα περισσότερα μοντέλα που συνδυάζουν κλιματικές μεταβλητές με μεταβλητές χρήσεων γης, χρησιμοποιούν δυναμικές μεταβλητές μόνο για το κλίμα ενώ οι χρήσεις γης θεωρείται ότι μένουν σταθερές (Martin, et al., 2013). Η παραδοχή αυτή γίνεται είτε γιατί η κλιματική αλλαγή αναμένεται να είναι πολύ πιο γρήγορη και σοβαρή από την αλλαγή χρήσεων γης, είτε γιατί οι μεταβλητές χρήσεων γης είναι μη αξιόπιστες ή μη διαθέσιμες (Barbet-Massin, et al., 2012).

Ωστόσο, την τελευταία δεκαετία έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός σεναρίων αλλαγής χρήσεων γης, σε διαφορετικές κλίμακες και χρονικά πλαίσια (Martin, et al., 2013). Τα σεναρία αυτά επιτρέπουν τη δημιουργία δυναμικών μεταβλητών χρήσης γης και την ενσωμάτωσή τους σε βιοκλιματικά μοντέλα με δυναμικές κλιματικές μεταβλητές. Η ενσωμάτωση δυναμικών μεταβλητών χρήσεων γης και κλίματος στο ίδιο μοντέλο μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την επεξηγηματική και προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου σε λεπτομερείς κλίμακες (Thuiller, et al., 2004; Luoto, et al., 2007; Heikkinen, et al., 2007; Martin, et al., 2013; Tingley & Herman, 2009).

Είναι γνωστό ότι το κλίμα καθορίζει την κατανομή των ειδών σε ευρείες κλίμακες, ενώ η εδαφοκάλυψη και η χωρική κατανομή των κατάλληλων ενδιαιτημάτων σε πιο λεπτομερείς κλίμακες (Luoto, et al., 2007; Pearson, et al., 2004). Ως επακόλουθο, οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν ότι η συμπερίληψη στα μοντέλα μεταβλητών χρήσεων γης σε ευρείες κλίμακες (π.χ. 50 km) δεν αυξάνει την προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου, ενώ η συμπερίληψη σε πιο λεπτομερείς κλίμακες (π.χ. 10-20 km) προκαλεί σημαντική αύξηση της προβλεπτικής ικανότητας (Luoto, et al., 2007; Pearson, et al., 2004; Thuiller, et al., 2004; Hill, et al., 1999).

Πρέπει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι κάθε επιπλέον στοιχείο που προστίθεται στο μοντέλο εισάγει μια νέα πηγή αβεβαιότητας, μέσα από τις διαφορετικές παραμέτρους και παραδοχές που συνεπάγεται (Conlisk, et al., 2013). Ο συνδυασμός όλων των πηγών αβεβαιότητας μπορεί να επιδεινώσει δραματικά τη συνολική αβεβαιότητα του μοντέλου και να μειώσει τη χρησιμότητά του (Conlisk, et al., 2013).

2.3.5 Ανασκόπηση υφιστάμενων ευρημάτων της διεθνούς βιβλιογραφίας

Εφαρμογές βιοκλιματικής μοντελοποίησης για την πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Πολλές μελέτες διεθνώς έχουν ασχοληθεί με την πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη μελλοντική κατανομή των ειδών με χρήση βιοκλιματικών μοντέλων. Τα μοντέλα χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους και κλιματικά σενάρια και εστιάζουν σε ένα μέχρι και σε χιλιάδες είδη.

Για παράδειγμα, οι Thuiller, et al. (2005), χρησιμοποιώντας το πλαίσιο BIOMOD, που συνδυάζει διάφορες τεχνικές στατιστικής βιοκλιματικής μοντελοποίησης, προβλέπουν την κατανομή 1.350 ευρωπαϊκών φυτικών ειδών στο τέλος του 21ου αιώνα, κάτω από 7 σενάρια κλιματικής αλλαγής. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι πολλά από τα μελετώμενα είδη μπορεί να καταστούν σοβαρά απειλούμενα, ανάλογα με το κλιματικό σενάριο και την περιοχή μοντελοποίησης. Σύμφωνα με τους ίδιους, οι απώλειες και αλλαγές ειδών εξαρτώνται ισχυρά από δύο κλιματικούς παράγοντες που περιγράφουν τη θερμοκρασία και την υγρασία, ενώ ιδιαίτερα ευαίσθητα φαίνεται να είναι τα είδη των βουνών και οι μεταβατικές περιοχές της Μεσογείου και της Ευρω-Σιβηρίας.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το πρόγραμμα MONARCH (Walmsley, et al., 2007), που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του UKCIP (United Kingdom Climate Impacts Program), μελετά τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους φυσικούς πόρους του Ηνωμένου Βασιλείου και της Ιρλανδίας. Οι προβλέψεις έγιναν σε 3 φάσεις, χρησιμοποιώντας το μοντέλο SPECIES (Pearson, et al., 2002). Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι κάποια είδη απειλούνται από την κλιματική αλλαγή ενώ κάποια άλλα ευνοούνται, ενώ συνολικά υπάρχει μια βόρεια μετατόπιση του κατάλληλου κλιματικού χώρου για πολλά είδη.

Οι Ogawa-Onishi, et al. (2010), δημιούργησαν μοντέλα για 25 είδη κωνοφόρων της Ιαπωνίας, χρησιμοποιώντας μια σύνθεση μοντέλων βασισμένη σε γενικά γραμμικά μοντέλα, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, γενικά ενισχυμένα μοντέλα και random forests. Τα αποτελέσματά τους προβλέπουν μείωση των κατάλληλων περιοχών για το 80% των ειδών μέχρι το 2100 καθώς και μετακίνηση προς ψηλότερα υψόμετρα, με αποτέλεσμα τα αλπικά και υπό-αλπικά είδη να αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο τοπικής εξαφάνισης.

Πιο πρόσφατα, οι Flower, et al. (2013), μοντελοποίησαν την κατανομή των δασών ερυθρελάτης στη Βρετανική Κολούμπια του Καναδά, χρησιμοποιώντας 9 παγκόσμια

κλιματικά μοντέλα και τρία σενάρια εκπομπών (A1B, A2, B1). Οι προβλέψεις τους δείχνουν γρήγορη μετακίνηση των δασών προς ψηλότερα υψόμετρα και γεωγραφικά πλάτη, αλλά με σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των διαφορετικών μοντέλων (Flower, et al., 2013).

Άλλες εφαρμογές πρόβλεψης της κατανομής της βλάστησης με βιοκλιματική μοντελοποίηση περιλαμβάνουν αυτές των Barney & DiTomaso (2010) για το βιοκαύσιμο switchgrass στη Β. Αμερική, των Gallego-Sala, et al. (2010) για τους τυρφώνες της Μ. Βρετανίας, των McKenney, et al. (2007) για 130 είδη δέντρων της Β. Αμερικής, των Midgley, et al. (2002) για τα Fynbos της Ν. Αφρικής, των Attorrea, et al. (2007) για το είδος *Dracaena cinnabari* στην Υεμένη, των Zonneveld, et al. (2009) για τα *Pinus patula* και *Pinus tecunumanii* στο Μεξικό και την Κεντρική Αμερική και των Khanum, et al. (2013) για τρία είδη φαρμακευτικών φυτών στο Πακιστάν.

Εκτός από τη βλάστηση, έχουν μελετηθεί εκτενώς και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην κατανομή ζωικών ειδών και εντόμων. Παραδείγματα αποτελούν οι μελέτες των Beaumont & Hughes (2002) για τη μελλοντική κατανομή ειδών αυστραλιανών πεταλούδων, των Huntley, et al. (2008) για την κατανομή ειδών πτηνών της Ευρώπης, των Araujo, et al. (2006) για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην κατανομή ερπετών και αμφιβίων, των Torres, et al. (2013) για το χαιτοφόρο λύκο *Chrysocyon brachyurus*, των Zimbres, et al. (2012) για τρία είδη μυρμηγκοφάγων και τρία είδη αρμαντίλο και του Carroll (2010) για την κουκουβάγια *Strix occidentalis caurina* της Β. Αμερικής.

Άλλοι ερευνητές προσπαθούν να εντοπίσουν παράγοντες που να επηρεάζουν την απόδοση των βιοκλιματικών μοντέλων, όπως η γεωγραφική κατανομή των ειδών (Luoto, et al., 2005), τα χαρακτηριστικά των ειδών (Hanspach, et al., 2010), οι κλιματικές ή βιοκλιματικές μεταβλητές πρόβλεψης (Watling, et al., 2012), το εύρος των περιβαλλοντικών συνθηκών που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση (Thuiller, et al., 2004), η συμπερίληψη μεταβλητών όπως το υψόμετρο (Luoto & Heikkinen, 2008) και το κατώφλι που επιλέγεται για την μετατροπή των πιθανοτήτων παρουσίας που δημιουργεί το μοντέλο σε δυαδικές προβλέψεις παρουσίας ή απουσίας (Nenzéna & Araújo, 2011).

Πολλές μελέτες έχουν ασχοληθεί με τη σύγκριση διαφόρων μεθόδων βιοκλιματικής μοντελοποίησης. Παραδείγματα αποτελούν οι μελέτες των Thuiller, et al. (2003), που αναδुकνεύουν τη μέθοδο GAM ως την πιο ακριβή σε διαφορετικές κλίμακες σε σχέση με τις GLM και CT και των Munoz & Felicísimo (2004), που αναφέρουν τις MARS και Regression Tree Analysis ως πιο ακριβείς σε σχέση με τις Logistic Multiple Regression και Principal

Component Regression. Οι Heikkinen, et al. (2006) και Hijmans & Graham (2006) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι όλες οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η καλύτερη μέθοδος θα πρέπει να επιλέγεται με βάση την οικολογική γνώση, τα διαθέσιμα δεδομένα, τη χωρική και χρονική κλίμακα και τους σκοπούς της μοντελοποίησης.

Τέλος, ένα μεγάλο μέρος της σχετικής βιβλιογραφίας αφορά κριτικές ανασκοπήσεις για διάφορα θέματα της βιοκλιματικής μοντελοποίησης. Παραδείγματα αποτελούν οι δημοσιεύσεις των Guisan & Thuiller (2005), Araujo & Guisan (2006) Araujo & New (2007) Austin (2007) Thuiller, et al. (2008), Elith & Leathwick (2009) Huntley, et al. (2010) και Araujo & Peterson (2012).

Εφαρμογές μοντελοποίησης κατανομής ειδών με αλλαγές χρήσεων γης

Ο αριθμός των δημοσιεύσεων που αφορούν προβλέψεις κατανομής ειδών βασιζόμενες αποκλειστικά σε δεδομένα χρήσεων γης είναι μικρός και αφορά κυρίως ζωικά είδη. Μια τέτοια μελέτη είναι αυτή των Ficetola, et al. (2010), οι οποίοι χρησιμοποιούν ιστορικά και σημερινά δεδομένα χρήσεων γης από κατηγορικούς χάρτες και με τη μέθοδο MAXENT προσπαθούν να εκτιμήσουν αν οι αλλαγές χρήσεων γης μπορούν να εξηγήσουν την εισβολή του αμερικανικού βατράχου *Rana catesbeiana* στη Β. Ιταλία. Στη συνέχεια χρησιμοποιούν τα πέντε μελλοντικά σενάρια χρήσεων γης του έργου ALARM για να προβλέψουν τη μελλοντική καταλληλότητα για το είδος, η οποία φαίνεται να παραμένει αναλλοίωτη μέχρι το 2020.

Οι Brambilla, et al. (2010), μελετούν τις επιπτώσεις της εγκατάλειψης γης στο απειλούμενο πτηνό αετομάχος. Το μοντέλο δημιουργήθηκε με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης με βάση σημερινές χρήσεις γης και στη συνέχεια προβλήθηκε σε παρελθοντικούς και μελλοντικούς χρόνους, με σενάρια για εγκατάλειψη της γης που κατασκεύασαν οι ερευνητές μέχρι το 2027. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν μείωση του κατάλληλου ενδιαίτηματος για το είδος σε κάτω από το μισό από το 1950 μέχρι σήμερα, ενώ μέχρι το 2030 προβλέπεται εξαφάνιση του αετομάχου αν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Άλλες εφαρμογές μοντελοποίησης κατανομής ειδών με δεδομένα χρήσεων γης δεν ασχολούνται με προβλέψεις για το μέλλον, αλλά επιχειρούν να εντοπίσουν τη δυνητική κατανομή των ειδών με βάση τις χρήσεις γης σήμερα, ώστε να βοηθήσουν στη διαχείριση

και διατήρηση των ειδών. Παράδειγμα αποτελούν οι μελέτες των König, et al., (2007) και Seoane, et al. (2006).

Εφαρμογές που συνδυάζουν την κλιματική αλλαγή με την αλλαγή χρήσεων γης

Ο συνδυασμός δεδομένων χρήσεων γης και κλιματικών μεταβλητών στη βιοκλιματική μοντελοποίηση αποτελεί πλέον συχνό φαινόμενο, αφού έχει διαπιστωθεί ότι η συμπερίληψη μεταβλητών χρήσεων γης στα μοντέλα αυξάνει την προβλεπτική τους ικανότητα σε λεπτομερείς κλίμακες (Thuiller, et al., 2004; Luoto, et al., 2007; Heikkinen, et al., 2007; Martin, et al., 2013; Tingley & Herman, 2009).

Οι αλλαγές χρήσεων γης ενσωματώνονται στο μοντέλο με διάφορους τρόπους, είτε ως στατικές μεταβλητές που δεν αλλάζουν στη διάρκεια του χρόνου (Hill, et al., 1999; Iverson & Prasad, 1998; Iverson & Prasad, 2002), είτε ως δυναμικές μεταβλητές που αλλάζουν σύμφωνα με διάφορα σενάρια (Bomhard, et al., 2005; Dirnbock, et al., 2003; Jetz, et al., 2007; Pompe, et al., 2008; Schweiger, et al., 2012), είτε απλά με υπέρθεση των χαρτών χρήσεων γης με χάρτες της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών (Esteve-Selma, et al., 2012).

Πρόσφατο παράδειγμα μοντέλου που χρησιμοποιεί δυναμικές μεταβλητές τόσο για το κλίμα όσο και για τις χρήσεις γης είναι αυτό των Heubes, et al. (2013), οι οποίοι προσομοίωσαν τις συνεργιστικές επιπτώσεις των αλλαγών κλίματος και χρήσεων γης στη φυτική βιοποικιλότητα της Μπουρκίνα Φάσο της Δ. Αφρικής, χρησιμοποιώντας το μοντέλο LandSHIFT για τη δημιουργία των προσομοιώσεων χρήσεων γης. Τα αποτελέσματά τους προβλέπουν αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, ενώ η κλιματική αλλαγή φαίνεται να παίζει σημαντικότερο ρόλο σε σχέση με τις αλλαγές των χρήσεων γης.

Επίσης, οι Pompe, et al. (2010), χρησιμοποίησαν τα σενάρια του έργου ALARM και ένα συνδυασμό τριών στατιστικών μεθόδων μοντελοποίησης για να αναλύσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της αλλαγής χρήσεων γης σε 474 ευρωπαϊκά είδη φυτών.

Άλλοι ερευνητές προσπαθούν να διαπιστώσουν και να περιορίσουν τις σημαντικότερες πηγές αβεβαιότητας (Conlisk, et al., 2013) ή να ελέγξουν και να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία μοντελοποίησης (Luoto, et al., 2007; Pearson, et al., 2004; Thuiller, et al., 2004).

Οι Tingley & Herman (2009), έλεγξαν κατά πόσο η συμπερίληψη χρήσεων γης βελτιώνει τα βιοκλιματικά μοντέλα για έντεκα είδη άνυρων και χελωνών, με θετικά αποτελέσματα. Ωστόσο, οι ίδιοι σημειώνουν ότι η συμπερίληψη χρήσεων γης αυξάνει την αβεβαιότητα των προβλέψεων και θα πρέπει να ελεγχθεί αν η αύξηση της επεξηγηματικής και προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου αντισταθμίζει την αύξηση της αβεβαιότητάς του.

Εφαρμογές στη Μεσόγειο και στην Κύπρο

Η μοντελοποίηση της μελλοντικής κατανομής των ειδών είναι θεμελιώδους σημασίας για τη μεσογειακή λεκάνη, τόσο εξαιτίας της μεγάλης και σημαντικής βιοποικιλότητας που τη χαρακτηρίζει, όσο και λόγω των σημαντικών κλιματικών αλλαγών που προβλέπονται γι' αυτή στα επόμενα χρόνια (Keenan, et al., 2011; Vennetier & Ripert, 2009).

Παράδειγμα μελέτης που έχει πραγματοποιηθεί για την περιοχή της Μεσογείου είναι αυτό των Esteve-Selma, et al. (2012), που εκτίμησαν την πιθανή κατανομή του φυτικού είδους *Tetraclinis articulata* στην νοτιοανατολική Ισπανία για την περίοδο 2020-2050. Οι προβλέψεις έγιναν σύμφωνα με τα σενάρια B2 και A2 της SRES, χρησιμοποιώντας γενικά γραμμικά μοντέλα (GLMs) και συγκρίνοντας με χάρτες υφιστάμενων χρήσεων γης. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων, με διεύρυνση του κατάλληλου χώρου για το είδος στο σενάριο B2 και εξαφάνιση στο σενάριο A2.

Επίσης, οι Vennetier & Ripert (2009), αξιολόγησαν την αλλαγή στη χλωρίδα εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή Provence της νοτιοανατολικής Γαλλίας, σύμφωνα με διάφορα κλιματικά σενάρια. Οι προβλέψεις τους δείχνουν ότι οι περισσότερες περιοχές με μεγάλη αφθονία ειδών θα εξαφανιστούν μέχρι το 2050, χωρίς τη λήψη μέτρων διαχείρισης.

Άλλες εφαρμογές που αφορούν τη Μεσόγειο περιλαμβάνουν αυτές των Brotons, et al. (2012), των Brambilla, et al. (2010), των Keenan, et al. (2011), των Rathgeber, et al. (2005), των Estrada-Peña & Venzal (2007), των Lisón & Calvo (2013) και των Gritti, et al. (2006).

Συγκεκριμένα στην Κύπρο, δεν εντοπίστηκε καμιά δημοσίευση στη βιβλιογραφία που να αφορά βιοκλιματική μοντελοποίηση ή γενικότερα μοντελοποίηση κατανομής ειδών.

2.4 Συμπεράσματα

Η κατανομή των ειδών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα, ενώ σε πιο λεπτομερείς κλίμακες σημαντικό ρόλο παίζουν οι χρήσεις γης και οι βιοτικές αλληλεπιδράσεις. Η παγκόσμια αλλαγή, τόσο σε επίπεδο κλιματικής αλλαγής όσο και σε επίπεδο αλλαγής χρήσεων γης, έχει επηρεάσει είδη και αναμένεται να επηρεάσει σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό την κατανομή των ειδών, ιδιαίτερα στη λεκάνη και τα νησιά της Μεσογείου. Οι μεγάλες αλλαγές που προβλέπονται για την περιοχή της Κύπρου, καθώς και η απουσία παραδειγμάτων μοντελοποίησης κατανομής ειδών στο νησί, καταδεικνύουν την αναγκαιότητα διεξαγωγής τέτοιου τύπου μελετών, ώστε να προβλεφθούν πιθανές επιπτώσεις στην κατανομή των ειδών της Κύπρου και να ληφθούν, όπου είναι δυνατό, τα κατάλληλα μέτρα για μετριασμό τους.

Παρά τις παραδοχές και τις αβεβαιότητες που εμπεριέχουν, τα βιοκλιματικά μοντέλα αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο πρόβλεψης της κατανομής των ειδών. Τα μέχρι σήμερα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας προβλέπουν αλλαγή των κατάλληλων περιοχών για πολλά είδη, με περισσότερα τα είδη να απειλούνται παρά να ευνοούνται από την κλιματική αλλαγή. Η ενσωμάτωση στα μοντέλα δυναμικών μεταβλητών χρήσεων γης εκτός από τις κλιματικές μεταβλητές, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επεξηγηματικής και προβλεπτικής τους ικανότητας, αλλά αναπόφευκτα αυξάνει και την αβεβαιότητα. Η γνώση της θεωρίας στην οποία στηρίζεται το μοντέλο καθώς και η αναγνώριση όλων των παραδοχών και των περιορισμών που εμπεριέχει, είναι απαραίτητες προϋποθέσεις τόσο για το σωστό σχεδιασμό του αλλά και για την ορθή εφαρμογή του στη λήψη αποφάσεων.

3 Μεθοδολογία

3.1 Περιοχή και είδη μελέτης

3.1.1 Περιοχή μελέτης

Περιοχή μελέτης αποτελεί το νησί της Κύπρου (Εικόνα 3.1). Η Κύπρος είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου, με έκταση 9251 Km². Βρίσκεται στο ανατολικότερο άκρο της μεσογειακής λεκάνης, σε γεωγραφικά πλάτη 34^ο με 36^ο N και γεωγραφικά μήκη 32^ο με 35^ο E. Γειτνιάζει με την Ελλάδα στα δυτικά, την Τουρκία στα βόρεια, τη Συρία, το Ισραήλ και το Λίβανο στα ανατολικά και την Αίγυπτο στα νότια.

Γεωμορφολογία

Τα κύρια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Κύπρου είναι η οροσειρά του Τροόδους στα νοτιοδυτικά, η οροσειρά του Πενταδακτύλου στα βόρεια, η πεδιάδα της Μεσαορίας στα κεντρικά και ανατολικά και η παραλιακή ζώνη (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Δορυφορικός χάρτης της Κύπρου (ESRI, 2013).

Η οροσειρά του Τροόδους έχει μέγιστο υψόμετρο τα 1952 m και αποτελείται από πυριγενή πετρώματα. Το ανάγλυφό της χαρακτηρίζεται από απότομες πλαγιές, μεγάλου μήκους κορυφογραμμές, βαθιές ρεματιές και απόκρημνες επιφάνειες, ενώ καλύπτεται από πυκνό δίκτυο ρυακιών, χειμάρρων και ποταμών (Tsintides, et al., 2007; Encyclopædia Britannica, 2014).

Η οροσειρά του Πενταδακτύλου φτάνει μέχρι τα 1020 m και αποτελείται από σκληρούς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους που περιβάλλονται από ιζηματογενή πετρώματα. Σε πλάτος σπάνια υπερβαίνει τα 5 Km.. Χαρακτηρίζεται από κάθετους γκρεμούς, απότομες πλαγιές, φαράγγια και βαθιές κοιλάδες (Tsintides, et al., 2007; Χατζηχαμπής & Δέλλα, 2007).

Η πεδιάδα της Μεσαορίας καταλαμβάνει έκταση μήκους 92 Km και χαρακτηρίζεται από αλλουβιακές πεδιάδες και χαμηλούς τραπεζοειδής και κωνικούς λόφους, με υψόμετρο από 0 ως 300 m (Tsintides, et al., 2007; Χατζηχαμπής & Δέλλα, 2007).

Η παραλιακή ζώνη περιβάλλει το νησί και αποτελείται κυρίως από βραχώδεις και χαλικώδεις παραλίες και μικρούς αμμώδεις κόλπους. Γενικά έχει χαμηλό υψόμετρο, με ελάχιστες εξαιρέσεις (Tsintides, et al., 2007).

Κλίμα

Το κλίμα της Κύπρου είναι μεσογειακό, με κυριότερα χαρακτηριστικά το ζεστό και ξηρό καλοκαίρι από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο, ο βροχερός αλλά ήπιος χειμώνας από το Νοέμβριο μέχρι το Μάρτιο και οι δύο σύντομες μεταβατικές εποχές, το φθινόπωρο και η άνοιξη (Encyclopædia Britannica, 2014).

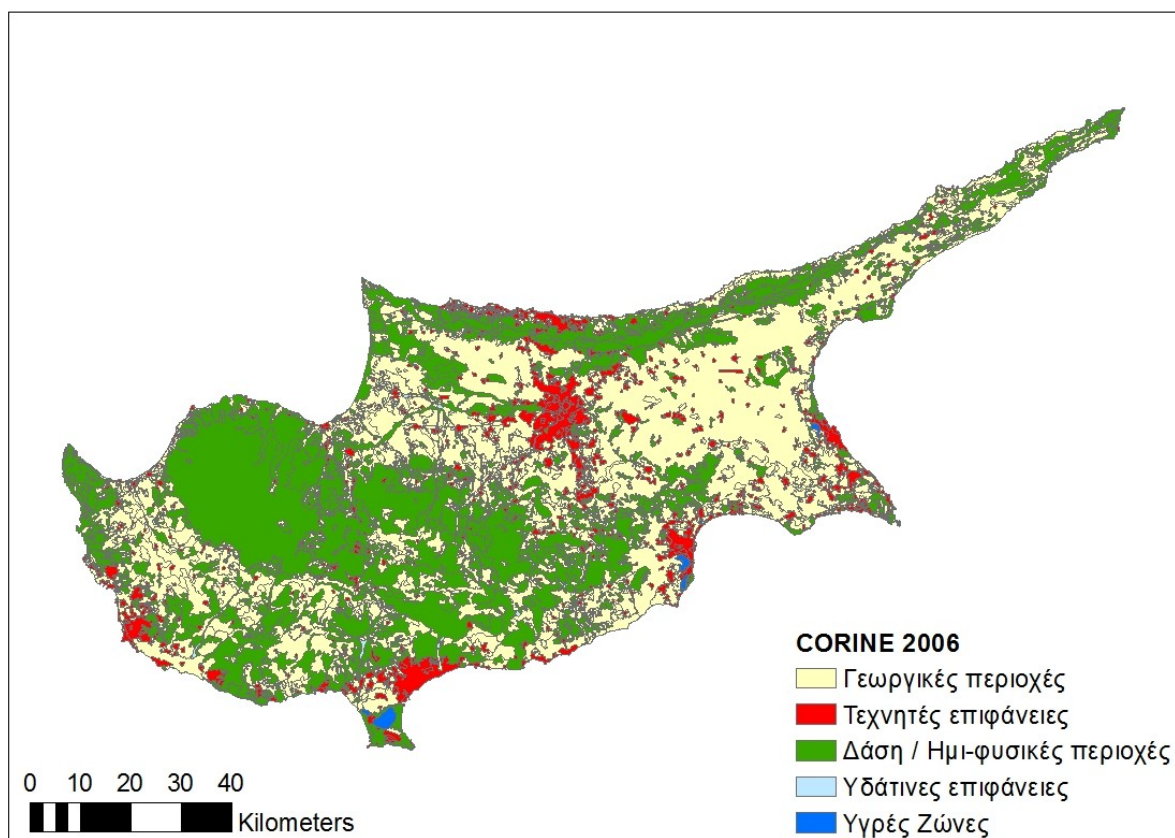
Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 480 mm, με σημαντικές χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις εξαιτίας των διαφορών στο ανάγλυφο και την τοπογραφία. Η μέγιστη βροχόπτωση παρατηρείται στην κορυφή του Τροόδους (1100 mm) και η ελάχιστη στην πεδιάδα της Μεσαορίας (300-350 mm). Χιονόπτωση παρατηρείται συνήθως κάθε χειμώνα σε περιοχές της οροσειράς του Τροόδους με υψόμετρο πάνω από 1000 m (Meteorological Service, 2006-2013).

Η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται ανάλογα με το ανάγλυφο και την απόσταση από τη θάλασσα. Το καλοκαίρι οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 29 °C στην

κεντρική πεδιάδα και 22 °C στις ψηλότερες κορυφές του Τροόδου, ενώ το χειμώνα μεταξύ 10 °C στην κεντρική πεδιάδα και 3 °C στις ψηλότερες κορυφές του Τροόδου. Οι διαφορές μεταξύ της ψηλότερης θερμοκρασίας ημέρας και της χαμηλότερης θερμοκρασίας νύχτας είναι επίσης μεγάλες και φτάνουν το καλοκαίρι μέχρι τους 16 °C στην κεντρική πεδιάδα (Meteorological Service, 2006-2013).

Εδαφοκάλυψη και φυσικοί οικότοποι

Οι κυριότεροι τύποι εδαφοκάλυψης της Κύπρου φαίνονται στην Εικόνα 3.2. Οι οροσειρές του Τροόδου και του Πενταδακτύλου καλύπτονται κυρίως από δασικές εκτάσεις, ενώ στους χαμηλότερους λόφους επικρατούν θαμνώνες που εναλλάσσονται με καλλιέργειες και οικισμούς. Η πεδιάδα της Μεσαορίας και η παράκτια ζώνη καλύπτονται κυρίως από καλλιέργειες και οικισμούς, αλλά τοπικά διατηρούνται κάποια τμήματα φυσικής ή ημι-φυσικής βλάστησης.



Εικόνα 3.2 Απλοποιημένος χάρτης των τύπων εδαφοκάλυψης CORINE στην Κύπρο (European Environmental Agency , 2012)

Οι διάφοροι τύποι βλάστησης, φυσικοί ή όχι, αντιστοιχούν σε τύπους ενδιαιτημάτων ή οικοτόπων. Οι περισσότεροι φυσικοί τύποι οικοτόπων που απαντούν στην Κύπρο τελούν υπό καθεστώς προστασίας. Συγκεκριμένα, στην Κύπρο εμφανίζονται 49 τύποι οικοτόπων του Παραρτήματος I της Οδηγίας των Οικοτόπων (92/43/ΕΟΚ), από τους οποίους οι πέντε εμφανίζονται αποκλειστικά στο νησί και οι τρεις από αυτούς θεωρούνται οικότοποι προτεραιότητας.

Χλωρίδα

Η Κύπρος περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία ειδών χλωρίδας, που αναπτύχθηκε από την αλληλεπίδραση ενός συνδυασμού παραγόντων, όπως γεωγραφική θέση, το μέγεθος, το κλίμα, η απομόνωση, καθώς και η ύπαρξη ποικιλίας γεωλογικών σχηματισμών και οικοτόπων. Επιπλέον, η μακρόχρονη επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, που χρονολογούνται από το 8200 π.Χ., διαμόρφωσαν την εξέλιξη του τοπίου, των ενδιαιτημάτων και της βιοποικιλότητας της Κύπρου.

Η ιθαγενής χλωρίδα της Κύπρου περιλαμβάνει 1738 taxa σε επίπεδο ποικιλίας, ενώ η επιγενής χλωρίδα 238 taxa (Tsintides, et al., 2007). Από αυτά, 143 taxa είναι ενδημικά της Κύπρου σε επίπεδο ποικιλίας. Τα περισσότερα συναντώνται στις οροσειρές του Τροόδους (94 ενδημικά taxa) και του Πενταδακτύλου (56 taxa), καθώς και στη χερσόνησο του Ακάμα (44 ενδημικά taxa). Δεκαοκτώ από τα κυπριακά φυτικά taxa περιλαμβάνονται στο Παράρτημα II της Οδηγίας των Οικοτόπων (92/46/ΕΟΚ), από τα οποία τα 9 θεωρούνται ως είδη προτεραιότητας.

3.1.2 Είδη μελέτης

Ως είδη μελέτης επιλέχθηκαν τα *Crocus cyprius* Boiss. & Kotschy και *Ophrys kotschyi* H. Fleischm. & Sofi. Τα κριτήρια στα οποία βασίστηκε η επιλογή αυτή ήταν:

1. ο ψηλός κίνδυνος εξαφάνισής των ειδών, με βάση το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007)
2. η ενδημικότητά τους
3. η αφθονία σημείων παρουσίας τους σε σχέση με τα υπόλοιπα διαθέσιμα είδη
4. οι διαφορές στην περιοχή κατανομή τους, αφού το *Crocus cyprius* εμφανίζεται μόνο στην οροσειρά του Τροόδους, ενώ το *Ophrys kotschyi* σχεδόν σε όλη την Κύπρο εκτός από την οροσειρά Τροόδους.

Οι κατηγορίες κινδύνου της Διεθνούς Ένωσης Διατήρησης της Φύσης (IUCN)

Η Κόκκινη Λίστα των Απειλούμενων ειδών της IUCN είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως η πιο ολοκληρωμένη, αντικειμενική και συνολική προσέγγιση για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης των φυτικών και ζωικών ειδών. Οι κατηγορίες και τα κριτήρια της Κόκκινης Λίστας της IUCN σκοπεύουν στην παροχή ενός εύκολου και ευρέως κατανοητού συστήματος για την ταξινόμηση των ειδών με ψηλό κίνδυνο παγκόσμιας εξαφάνισης (IUCN, 2012).

Οι κατηγορίες κινδύνου εξαφάνισης στις οποίες ταξινομούνται τα taxa φαίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Οι κατηγορίες κινδύνου εξαφάνισης της IUCN

<u>Εξαφανισθέν</u> (Extinct, EX)	Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι και το τελευταίο άτομο του taxon έχει εκλείψει.
<u>Εξαφανισθέν στη Φύση</u> (Extinct in the Wild, EW)	Άτομα του taxon επιβιώνουν μόνο στην αιχμαλωσία, ή ως εισηγμένος στη φύση πληθυσμός έξω από την ιστορική του κατανομή.
<u>Κρισίμως Κινδυνεύον</u> (Critically Endangered, CR)	Το taxon αντιμετωπίζει εξαιρετικά μεγάλο κίνδυνο εξαφάνισης στη φύση.
<u>Κινδυνεύον</u> (Endangered, EN)	Το taxon αντιμετωπίζει πολύ μεγάλο κίνδυνο εξαφάνισης στη φύση.
<u>Εύτρωτο</u> (Vulnerable, VU)	Το taxon αντιμετωπίζει μεγάλο κίνδυνο εξαφάνισης στη φύση.
<u>Εγγύς Απειλούμενο</u> (Near Threatened, NT)	Το taxon δεν πληροί τα κριτήρια για την κατάταξη ως απειλούμενο, αλλά είναι πολύ κοντά ή είναι πιθανό να τα πληροί στο άμεσο μέλλον.
<u>Ελάχιστα Ανησυχητικό</u> (Least Concern, LC)	Το taxon δεν πληροί τα κριτήρια για την κατάταξη ως απειλούμενο ούτε ως εγγύς απειλούμενο. Αφορά taxa με μεγάλους πληθυσμούς και ευρεία εξάπλωση.
<u>Ανεπαρκώς Γνωστό</u> (Data Deficient, DD)	Δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα ώστε να γίνει, άμεσα ή έμμεσα, αποτίμηση του κινδύνου εξαφάνισης.
<u>Μη Αξιολογημένο</u> (Not Evaluated, NE)	Το taxon δεν έχει ακόμη αποτιμηθεί με βάση τα κριτήρια της IUCN.

Στα πλαίσια της Κόκκινης Λίστας της IUCN, ο επίσημος όρος «Απειλούμενα» αναφέρεται στις κατηγορίες: Κρισίμως Κινδυνεύοντα, Κινδυνεύοντα και Εύτρωτα.

Για τη κατάταξη των φυτών στις παραπάνω κατηγορίες, χρησιμοποιούνται καθορισμένα κριτήρια (A, B, C, D1, D2, E). Τα κριτήρια αφορούν ποσοτικές παραμέτρους, όπως το μέγεθος του πληθυσμού, ο αριθμός των θέσεων και η έκταση που καταλαμβάνει ένα taxon, καθώς και η ενδεχόμενη μείωση των παραμέτρων αυτών λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως η υποβάθμιση του ενδιαιτήματος, η μείωση του αριθμού των ώριμων ατόμων, η δυσκολία στην αναπαραγωγή και η υπερεκμετάλλευση. Για την εφαρμογή των κριτηρίων έχει αναπτυχθεί το ειδικό λογισμικό RAMAS, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κλείδα ακολουθώντας τις σχετικές οδηγίες της IUCN.

Για την αξιολόγηση σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο εφαρμόζονται τα ίδια κριτήρια, με την προϋπόθεση ότι οι πληθυσμοί είναι απομονωμένοι από πληθυσμούς άλλων χωρών. Στις περιπτώσεις αυτές η κατηγορίες Εξαφανισθέν (EX) και Εξαφανισθέν στη Φύση (EW)

διατηρούνται μόνο για τα ενδημικά taxa, ενώ για τα υπόλοιπα αυτές αντικαθίστανται από την κατηγορία Τοπικά Εξαφανισθέν (Regionally Extinct, RE).

Σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007) και με βάση τα κριτήρια της IUCN, από τα 328 taxa της κυπριακής χλωρίδας που αξιολογήθηκαν, τα 23 χαρακτηρίζονται ως τοπικά εξαφανισθέντα (RE), τα 46 ως κρισίμως κινδυνεύοντα (CR), τα 64 ως κινδυνεύοντα (EN), τα 128 ως εύτρωτα (VU), τα 45 ως ανεπαρκώς γνωστά (DD), τα 15 ως εγγύς απειλούμενα (NT) και τα 7 ως χαμηλού κινδύνου (LC) (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης των φυτών με βάση τα κριτήρια της IUCN (Tsintides, et al., 2007).

Κατηγορία IUCN	Αριθμός Φυτών	Αθροιστικό Σύνολο	Ποσοστό (%)
Τοπικά εξαφανισθέντα (RE)	23	23	7
Κρισίμως κινδυνεύοντα (CR)	46	69	14
Κινδυνεύοντα (EN)	64	133	19,5
Εύτρωτα (VU)	128	261	39
Ανεπαρκώς γνωστά (DD)	45	306	13,7
Εγγύς απειλούμενα (NT)	15	321	4,6
Χαμηλού κινδύνου (LC)	7	328	2,2
Σύνολο αξιολογηθέντων φυτών	328	328	100

Περιγραφή των υπό μελέτη ειδών

Crocus cyprius Boiss. & Kotschy



Εικόνα 3.3 *Crocus cyprius* (Τμήμα Δασών, 2010).

με πάνω από 10,000 άτομα, ενώ έχει εντοπιστεί επίσης στο Δάσος Αδελφοί (1,000 άτομα) και στο Δάσος Μαχαιρά (500 άτομα) (Tsintides, et al., 2007).

Το ενδιαίτημά του περιλαμβάνει πυριγενείς σχηματισμούς, ανοίγματα σε πευκοδάση *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* και *P. brutia*, θαμνώνες με *Juniperus foetidissima* και όρια τυρφώνων, σε υψόμετρα από 1050 μέχρι 1950 m. Το είδος ανθίζει μεταξύ Φεβρουαρίου και Μαρτίου, ενώ η καρποφορία συμβαίνει συνήθως τον Απρίλιο (Tsintides, et al., 2007).

Οι κυριότερες απειλές για το είδος είναι το ποδοπάτημα και τα κατασκευαστικά έργα, οι οποίες όμως είναι ελεγχόμενες (IUCN, 2013). Άλλες επικείμενες απειλές αποτελούν οι φυσικές πυρκαγιές, η κλιματική αλλαγή και οι στρατιωτικές κατασκευές (IUCN, 2013).

Όλοι οι υποπληθυσμοί του κρόκου βρίσκονται εντός προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura 2000 (Tsintides, et al., 2007).

Ο κυπριακός κρόκος είναι πολυετής πόα, ύψους 5 -10 εκατοστών (Εικόνα 3.3). Είναι ενδημικό φυτό της Κύπρου που έχει καταταχθεί στα εύρωτα είδη (VU:D2), σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007). Το είδος περιλαμβάνεται τόσο στο Παράρτημα II της Οδηγίας των Οικοτόπων (92/43/ΕΟΚ), όσο και στο Παράρτημα I της Σύμβασης της Βέρνης για τη Διατήρηση της Άγριας Ζωής και του Φυσικού Περιβάλλοντος της Ευρώπης.

Ο κρόκος είναι σχετικά άφθονος στα μεγαλύτερα υψόμετρα του Εθνικού Δασικού Πάρκου Τροόδους,

Ophrys kotschyi H. Fleischm. & Sofi



Εικόνα 3.4 *Ophrys kotschyi* (Τμήμα Δασών, 2010).

Η «Οφρύς η κοτσίεια» ή «μελισσάκι» είναι πολυετής ορχιδέα, με ύψος 10 – 30 εκατοστά (Εικόνα 3.4). Το είδος είναι ενδημικό της Κύπρου και έχει καταταχθεί στα εύρωτα (VU:C2a(i)) σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007). Η *Ophrys kotschyi* αναφέρεται επίσης ως είδος προτεραιότητας στο Παράρτημα II της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ και ως αυστηρώς προστατευόμενο είδος στο Παράρτημα I της Σύμβασης της Βέρνης. Το είδος έχει εντοπιστεί σε τουλάχιστον 30 θέσεις σε όλο το νησί, συνήθως σχηματίζοντας μικρές αποικίες 10 ως 100 ατόμων.

Ο μεγαλύτερος πληθυσμός βρίσκεται στο Μάμμαρι, στην επαρχία Λευκωσίας, με περίπου 500 φυτά σε 2 θέσεις, ενώ σημαντικοί πληθυσμοί υπάρχουν και μεταξύ Μιτσερού και Κάτω Μονής (200 περίπου φυτά), κοντά στην Αλάμπρα (200 περίπου φυτά) και στη χερσόνησο του Ακρωτηρίου (300-400 φυτά) (Tsintides, et al., 2007).

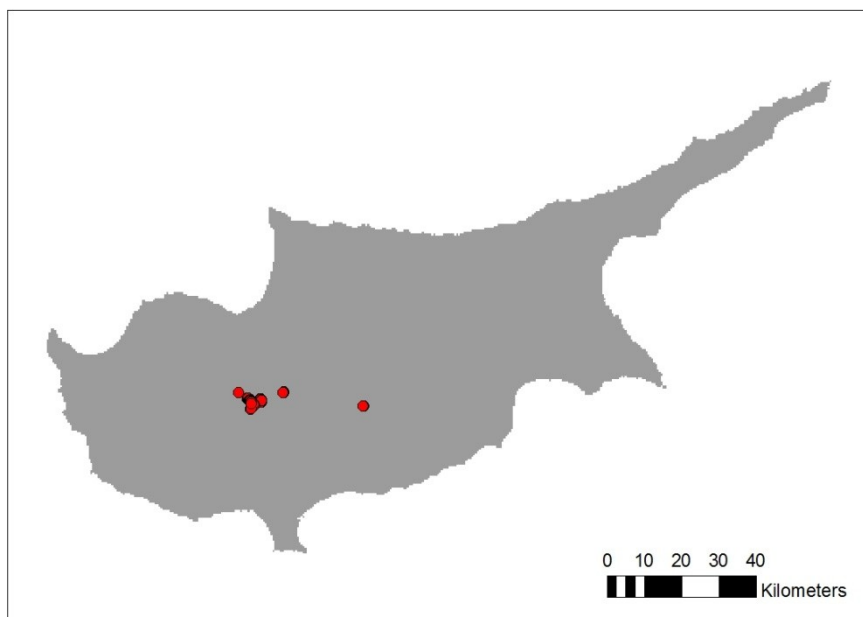
Το ενδιαίτημά του είδους περιλαμβάνει ασβεστολιθικά πετρώματα με υψόμετρο μέχρι τα 900 m, σε φρυγανότοπους και θαμνώνες, λιβάδια, αραιά πευκοδάση, όρια αγρών και υγρές θέσεις (Tsintides, et al., 2007). Ανθίζει μεταξύ Μαρτίου και Απριλίου και καρποφορεί το Μάιο.

Εξαιτίας της παρουσίας του είδους κοντά σε κατοικημένες περιοχές, ο πληθυσμός του έχει μειωθεί ή υποβαθμιστεί, κυρίως στις περιοχές μείζονος Λευκωσίας, Μεσαορίας και Λάρνακας-Λεμεσού. Κυριότερες απειλές αποτελούν η τουριστική και οικιστική ανάπτυξη, η κατασκευή δρόμων, οι εκχερσώσεις, η υπερσυλλογή από ερευνητές και η αδυναμία εγγενούς αναπαραγωγής (Tsintides, et al., 2007). Οι θέσεις στο Εθνικό Δασικό Πάρκο Αθαλάσσας, μία θέση στην Κόση και μέρος του υποπληθυσμού στο Ακρωτήρι βρίσκονται σε κρατική δασική γη και οι υποπληθυσμοί στις περιοχές Μάμμαρι, Μιτσερό, Άγιος Σωζόμενος και Αλυκή Λάρνακας βρίσκονται σε περιοχές του δικτύου Natura 2000.

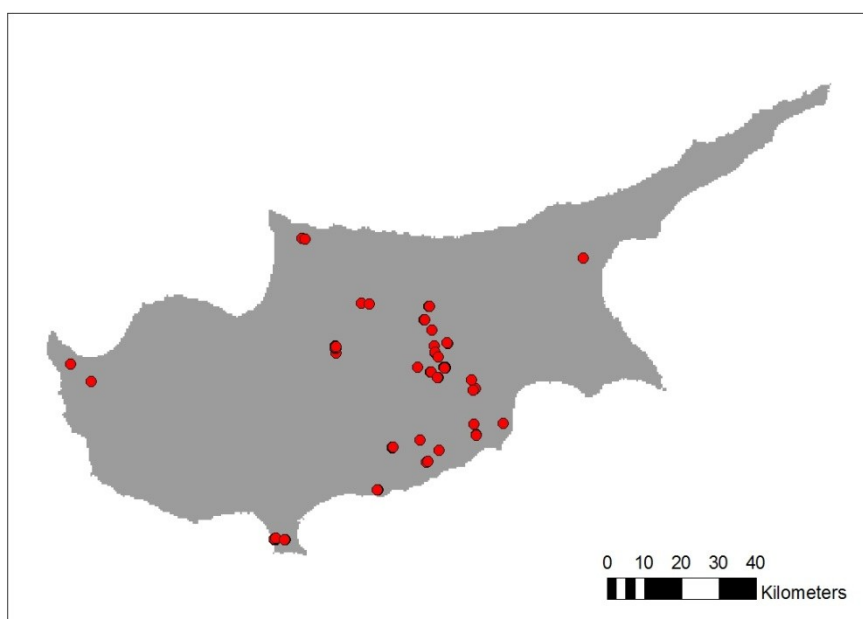
3.2 Δεδομένα

3.2.1 Δεδομένα κατανομής των ειδών

Τα δεδομένα κατανομής των ειδών λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων που συνοδεύει το Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007). Αφορούν σημειακά δεδομένα παρουσίας, με τη μορφή διανυσματικών αρχείων shapefile σε προβολικό σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N (Εικόνες 3.5 και 3.6). Η κατανομή του *Crocus cyprius* αποτελείται από 102 σημεία και του *Ophrys kotschy* από 117.



Εικόνα 3.5 Κατανομή του *Crocus cyprius* (Tsintides, et al., 2007)



Εικόνα 3.6 Κατανομή του *Ophrys kotschy* (Tsintides, et al., 2007)

Τα δεδομένα απουσίας δημιουργήθηκαν τεχνητά. Δημιουργήθηκαν δεδομένα υποβάθρου από όλο το δυνητικό ενδιαίτημα του κάθε είδους, δηλαδή όλη την περιοχή με κατάλληλο υψόμετρο, τύπο εδαφών και χρήσεων γης για κάθε είδος. Στη συνέχεια έγινε στάθμιση (weighting), ώστε να προσομοιωθεί επικράτηση 0.5, δηλαδή το συνολικό βάρος των παρουσιών να ισούται με το συνολικό βάρος των απουσιών.

3.2.2 Βιοκλιματικά δεδομένα

Τα βιοκλιματικά δεδομένα λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων Worldclim, Version 1.4 (release 3), που είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα www.worldclim.org (Hijmans, et al., 2005).

Η βάση δεδομένων Worldclim δημιουργήθηκε από τους Hijmans, et al., (2005) και αποτελείται από ένα σύνολο παγκόσμιων κλιματικών δεδομένων, με τη μορφή ψηφιδωτών στρωμάτων δεδομένων, που μπορούν να εισαχθούν σε ένα σύστημα GIS. Τα στρώματα δεδομένων δημιουργήθηκαν με παρεμβολή μηνιαίων κλιματικών δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς, σε ανάλυση περίπου 1km². Χρησιμοποιήθηκαν ως μεταβλητές η μηνιαία συνολική βροχόπτωση, η μηνιαία μέση, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία καθώς και 19 βιοκλιματικές μεταβλητές που προέκυψαν από αυτές, για την περίοδο 1950 με 2000. Μετά την αφαίρεση των μετεωρολογικών σταθμών που περιείχαν σφάλματα, η βάση δεδομένων του Worldclim αποτελείται από δεδομένα βροχόπτωσης από 47,554 τοποθεσίες, δεδομένα μέσης θερμοκρασίας από 24,542 τοποθεσίες και δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας από 14,835 τοποθεσίες.

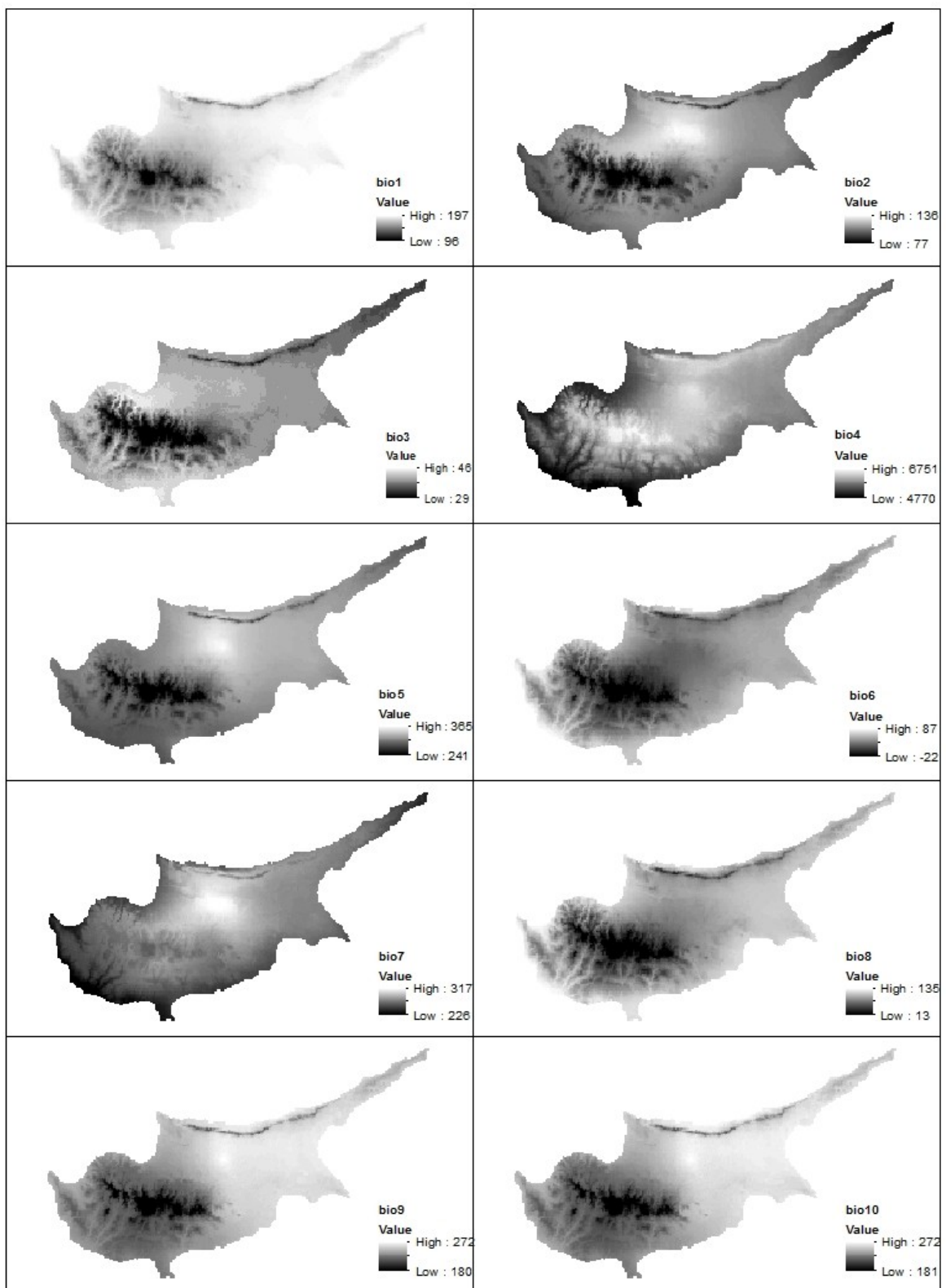
Οι βιοκλιματικές μεταβλητές δημιουργήθηκαν από της μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης ώστε να παράγουν πιο βιολογικά σημαντικές μεταβλητές. Αντιπροσωπεύουν ετήσιες τάσεις (π.χ. μέση ετήσια θερμοκρασία, ετήσια βροχόπτωση), εποχικότητα (π.χ. ετήσιο εύρος θερμοκρασίας και βροχόπτωσης) και ακραίους ή περιοριστικούς παράγοντες (π.χ. θερμοκρασία του θερμότερου ή ψυχρότερου μήνα, βροχόπτωση του πιο υγρού ή πιο ξηρού τριμήνου).

Παρά τα πλεονεκτήματα του Worldclim σε σχέση με άλλες κλιματικές βάσεις δεδομένων, η χαμηλή πυκνότητα των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών δεν επιτρέπει τη σύλληψη όλης της διακύμανσης που μπορεί να εμφανίζεται σε ανάλυση 1 Km, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τη βροχόπτωση σε ορεινές περιοχές (Hijmans, et al., 2005).

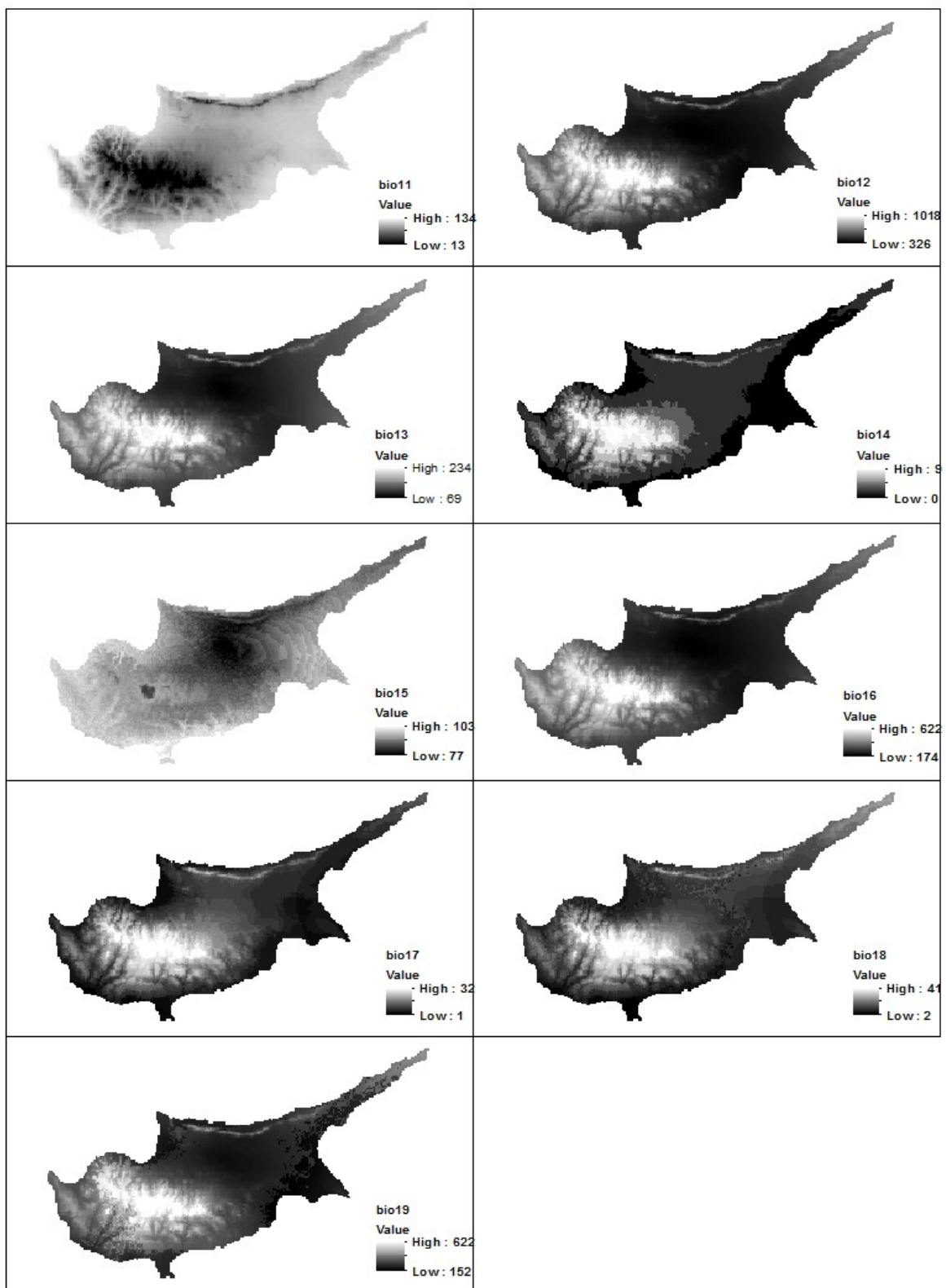
Οι βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και η κωδικοποίησή τους φαίνονται στον Πίνακα 3.3. Οι χάρτες των βιοκλιματικών μεταβλητών για την περιοχή της Κύπρου παρουσιάζονται στις Εικόνες 3.7 και 3.8. Η χωρική ανάλυση είναι $(0,844 * 0,844) = 0,71 \text{ Km}^2$. Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα για όλη την περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης σε προβολικό σύστημα WGS 1984. Στη συνέχεια κόπηκε μόνο η περιοχή της Κύπρου και έγινε προβολή στο σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N.

Πίνακας 3.3 Οι χρησιμοποιούμενες βιοκλιματικές μεταβλητές και η κωδικοποίησή τους (Hijmans, et al., 2005)

Κωδικός	Μεταβλητή
BIO1	Μέση ετήσια θερμοκρασία
BIO2	Μέσο ημερήσιο εύρος (Μέση μηνιαία (μέγιστη θερμοκρασία – ελάχιστη θερμοκρασία))
BIO3	Ισοθερμικότητα (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Εποχικότητα θερμοκρασίας (τυπική απόκλιση *100)
BIO5	Μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα
BIO6	Ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα
BIO7	Ετήσιο εύρος θερμοκρασίας (BIO5-BIO6)
BIO8	Μέση θερμοκρασία πιο υγρού τριμήνου
BIO9	Μέση θερμοκρασία πιο ξηρού τριμήνου
BIO10	Μέση θερμοκρασία θερμότερου τριμήνου
BIO11	Μέση θερμοκρασία ψυχρότερου τριμήνου
BIO12	Ετήσια βροχόπτωση
BIO13	Βροχόπτωση πιο υγρού μήνα
BIO14	Βροχόπτωση πιο ξηρού μήνα
BIO15	Εποχικότητα βροχόπτωσης (Συντελεστής διακύμανσης)
BIO16	Βροχόπτωση πιο υγρού τριμήνου
BIO17	Βροχόπτωση πιο ξηρού τριμήνου
BIO18	Βροχόπτωση θερμότερου τριμήνου
BIO19	Βροχόπτωση ψυχρότερου τριμήνου



Εικόνα 3.7 Οι βιοκλιματικές μεταβλητές bio1 – bio10 για την Κύπρο



Εικόνα 3.8 Οι βιοκλιματικές μεταβλητές bio11 – bio19 για την Κύπρο

3.2.3 Μελλοντικά βιοκλιματικά δεδομένα

Τα μελλοντικά βιοκλιματικά δεδομένα λήφθηκαν επίσης από τη βάση δεδομένων Worldclim. Επιλέχθηκαν τα δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, Version 3), ενός από τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα. Πρόκειται για ένα Συζευγμένο Ατμοσφαιρικό - Ωκεάνιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation Model, AOGCM), το οποίο αναπτύχθηκε από το Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HCCPR) του Ηνωμένου Βασιλείου.

Τα δεδομένα έχουν υποστεί υποβιβασμό κλίμακας (downscaling) από τη βάση δεδομένων Worldclim. Αρχικά έγινε παρεμβολή των προβλεπόμενων από το μοντέλο αλλαγών στις κλιματικές μεταβλητές σε ένα πλέγμα ψηλής ανάλυσης (1 km) και στη συνέχεια έγινε εφαρμογή των αλλαγών αυτών στα σημερινά δεδομένα ψηλής ανάλυσης του Worldclim. Η κυριότερη παραδοχή της διαδικασίας αυτής είναι ότι η αλλαγή του κλίματος είναι σχετικά σταθερή στο χώρο, δηλαδή παρουσιάζει ψηλή χωρική αυτοσυσχέτιση (Hijmans, et al., 2005).

Λήφθηκαν οι προβλέψεις του μοντέλου για τα σενάρια εκπομπών SRES A1B, A2, B1 και B2A για το 2050, σε χωρική ανάλυση 30 seconds, που αντιστοιχεί σε ανάλυση 0,86 Km² στον ισημερινό και 0,71 Km² στην περιοχή της Κύπρου. Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα σε παγκόσμια κλίμακα, σε προβολικό σύστημα WGS 1984. Στη συνέχεια αποκόπηκε μόνο η περιοχή της Κύπρου και έγινε προβολή στο σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N.

3.2.4 Δεδομένα χρήσεων γης

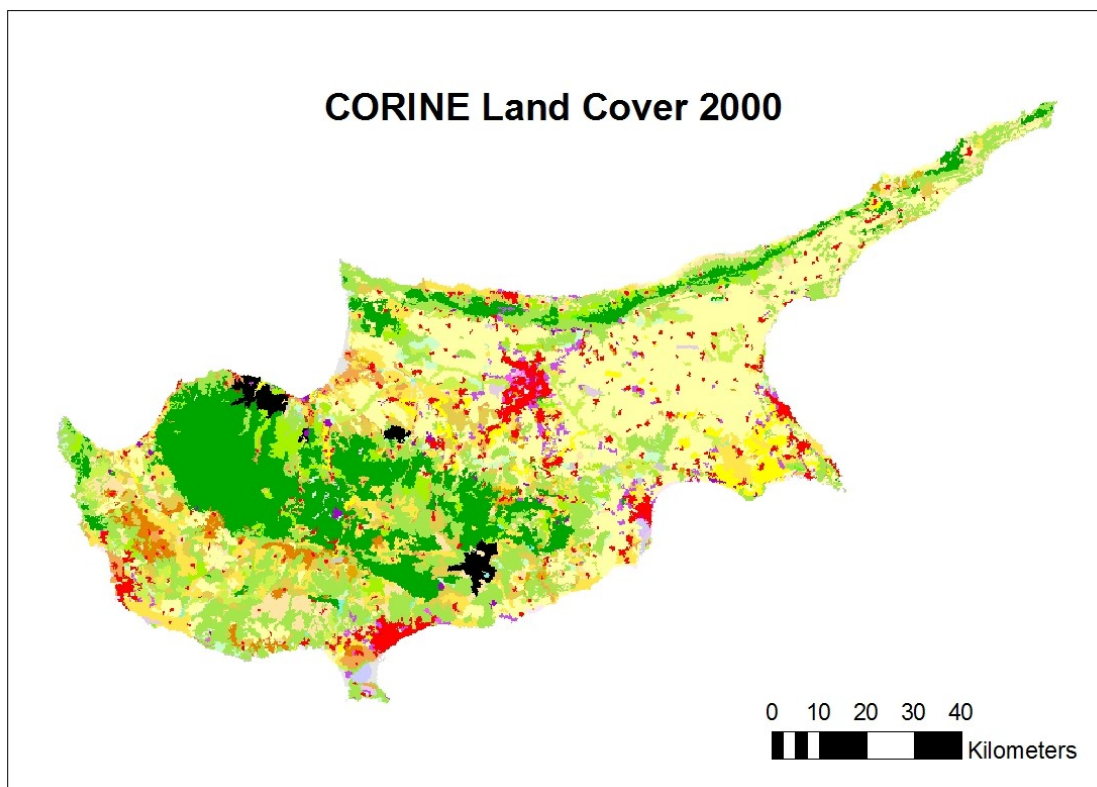
Τα δεδομένα χρήσεων γης λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων CORINE. Το πρόγραμμα CORINE (Coordination of information on the environment) είναι ένα πειραματικό έργο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που δημιουργήθηκε το 1985. Στόχος του είναι η συλλογή, ο συντονισμός και η εξασφάλιση της συνοχής των πληροφοριών για την κατάσταση του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Commission of the European Communities, 1995).

Στα πλαίσια αυτά δημιουργήθηκε το Έργο Εδαφοκάλυψης CORINE (CORINE Land Cover project, CLC), το οποίο στοχεύει στην παροχή γεωγραφικών πληροφοριών για την εδαφοκάλυψη των κρατών μελών της Ε.Ε. σε τοπικό επίπεδο (Commission of the European Communities, 1995). Η χαρτογράφηση των χρήσεων γης και εδαφοκάλυψης έγινε με βάση δορυφορικές εικόνες σε κλίμακα 1:100,000. Η πρώτη βάση δεδομένων CLC1990 δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1990 και παρείχε πληροφορίες για 44 κλάσεις εδαφοκάλυψης. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι ενημερωμένες βάσεις δεδομένων CLC2000 και CLC2006, ενώ προετοιμάζεται και η ενημέρωση του 2012.

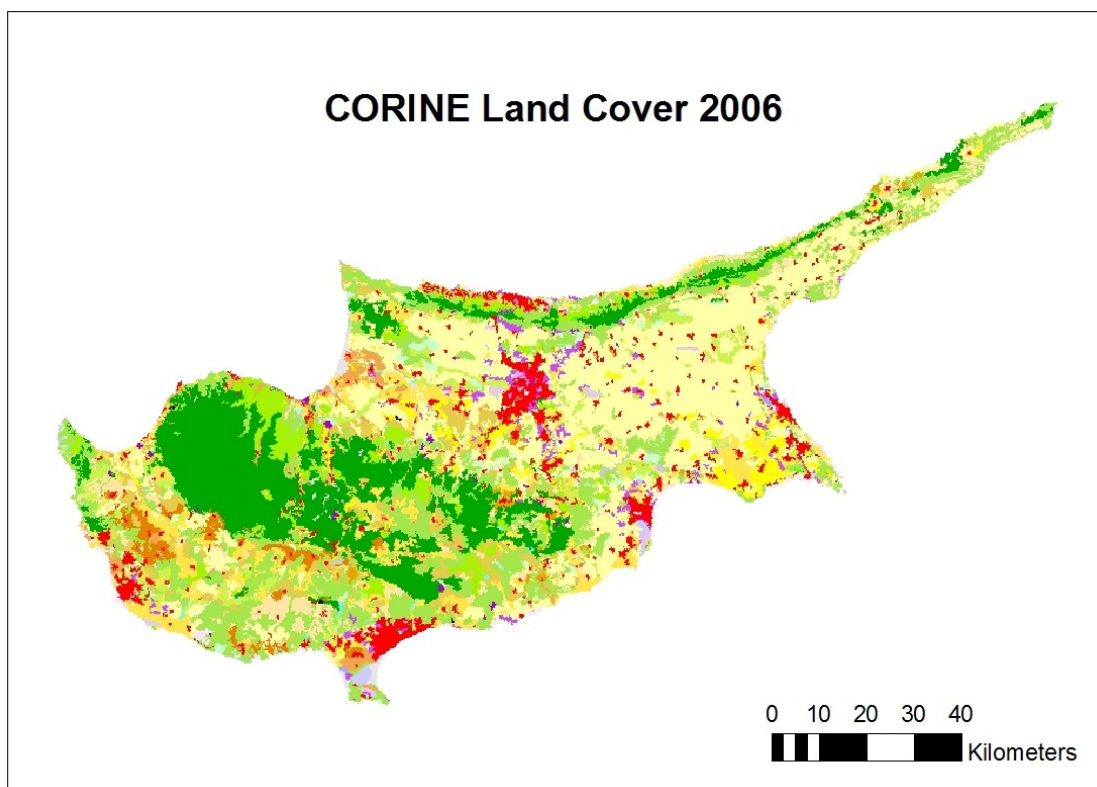
Το σύστημα ταξινόμησης της εδαφοκάλυψης CORINE αποτελείται από τρία ιεραρχικά επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αποτελείται από 5 κλάσεις, το δεύτερο επίπεδο από 15 κλάσεις και το τρίτο από 44 (Πίνακας 3.4).

Τα δεδομένα εδαφοκάλυψης CORINE διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο, από την ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Υπηρεσία Περιβάλλοντος (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>). Είναι διαθέσιμα σε διανυσματική και ψηφιδωτή μορφή για ολόκληρη την Ευρώπη, σε ανάλυση 100 και 250 m και προβολικό σύστημα ETRS 1989 LAEA.

Λήφθηκαν τα δεδομένα σε διανυσματική μορφή για το 2006 και σε ψηφιδωτή μορφή με ανάλυση 250 m για το 2000 και 2006 (Εικόνες 3.9 και 3.10). Σε όλα τα δεδομένα αποκόπηκε η περιοχή της Κύπρου και έγινε προβολή στο σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N. Τα διανυσματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στην εύρεση του δυνητικού ενδιαιτήματος των ειδών και τα ψηφιδωτά δεδομένα στην τεχνική CA_MARKOV.



Εικόνα 3.9 Ο χάρτης CORINE Land Cover 2000 για την Κύπρο (European Environmental Agency, 2012)



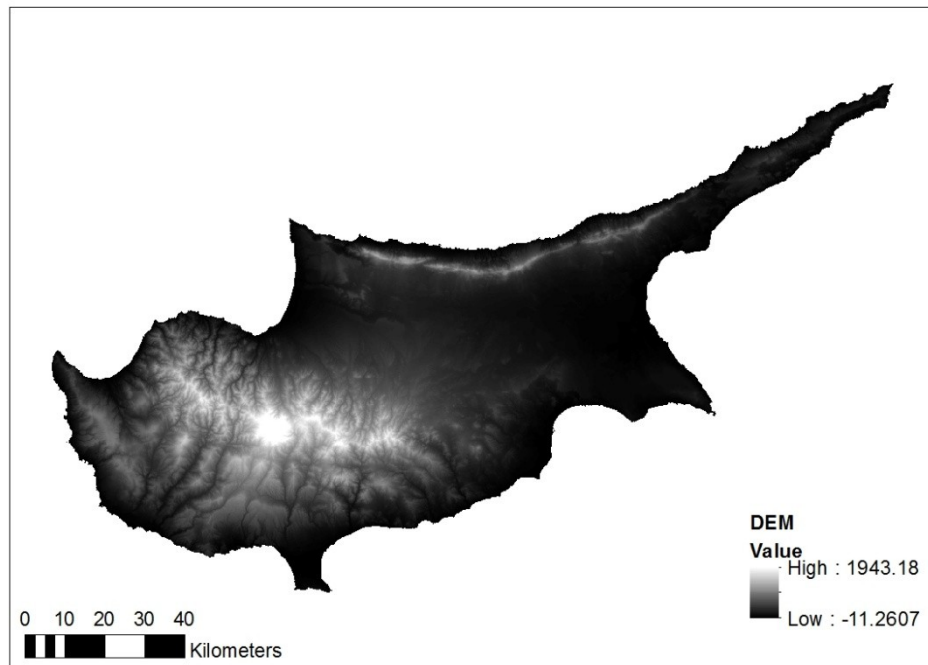
Εικόνα 3.10 Χάρτης CORINE Land Cover 2006 για την Κύπρο (European Environmental Agency , 2012)

Πίνακας 3.4 Το σύστημα ταξινόμησης της εδαφοκάλυψης CORINE, με το χρώμα εμφάνισης κάθε κλάσης στο χάρτη.

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Χρώμα
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστική οικοδόμηση	1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση	
		1.1.2 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	
		1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	
		1.2.3 Ζώνες λιμένων	
		1.2.4 Αεροδρόμια	
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών	
		1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων	
		1.3.3 Χώροι οικοδόμησης	
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου	
1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής			
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη	
		2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη	
		2.1.3 Ορυζώνες	
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες	
		2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	
		2.2.3 Ελαιώνες	
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια	
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	
		2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	
		2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	
2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές			
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων	
		3.1.2 Δάσος κωνοφόρων	
		3.1.3 Μικτό δάσος	
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι	
		3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι	
		3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση	
		3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	
		3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι	
		3.3.3 Εκτάσεις με αραυή βλάστηση	
3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις			
3.3.5 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι			
4. Υγρές ζώνες	4.1 Εσωτερικές υγρές ζώνες	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα	
		4.1.2 Τυρφώνες	
	4.2 Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι	
4.2.2 Αλυκές			
4.2.3 Παλιρροιακά επίπεδα			
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων	
		5.1.2 Συλλογές υδάτων	
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	
		5.2.2 Εκβολές ποταμών	
		5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός	

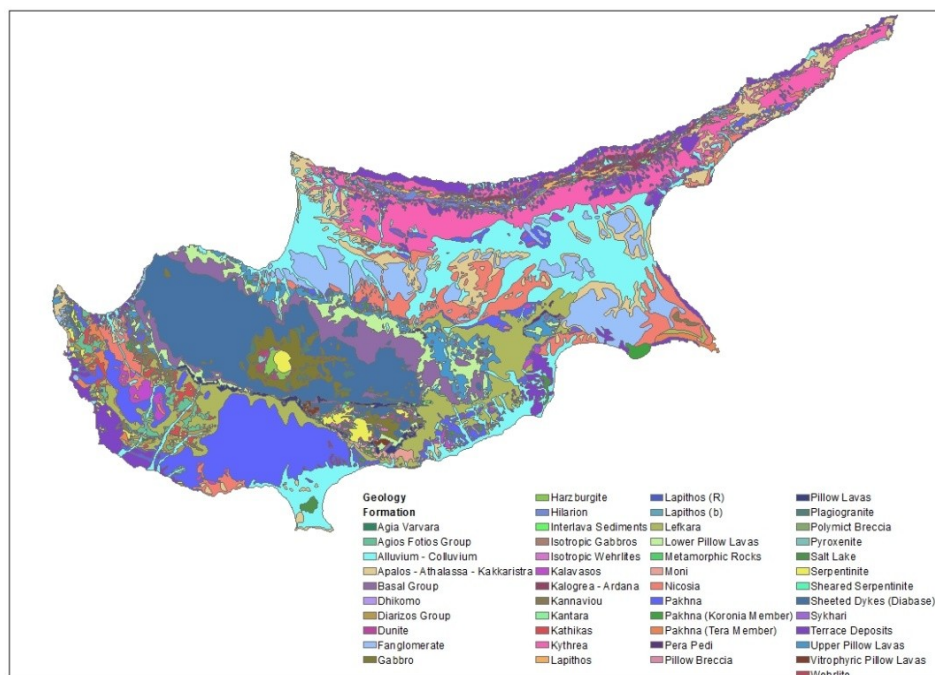
3.2.5 Δεδομένα υψομέτρου και τύπου εδαφών

Τα δεδομένα υψομέτρου λήφθηκαν από ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), σε ανάλυση 25 m και προβολικό σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της Κύπρου

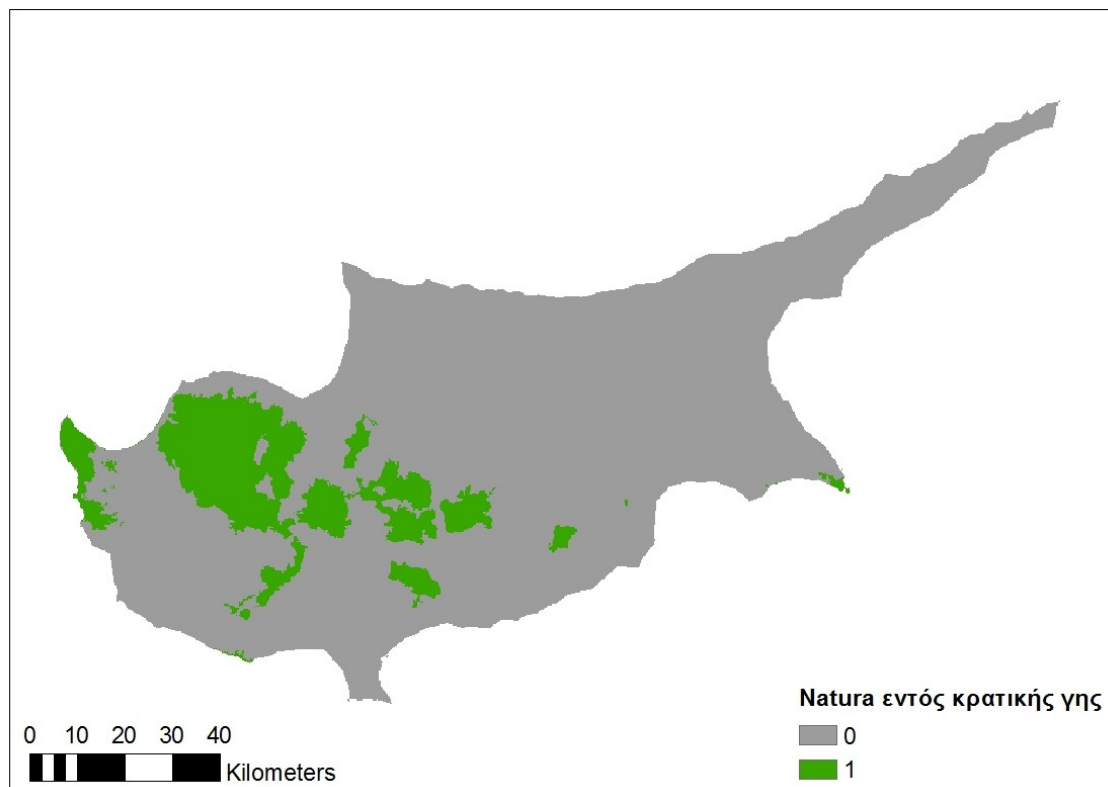
Ο τύπος των εδαφών εξάχθηκε από γεωλογικό χάρτη της Κύπρου σε μορφή shapefile και προβολικό σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12 Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, n.d.)

3.2.6 Χάρτης περιοχών Natura 2000 εντός κρατικής γης

Ο χάρτης με τις περιοχές Natura 2000 λήφθηκε από την ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Υπηρεσία Περιβάλλοντος (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>) για ολόκληρη την Ευρώπη σε μορφή διανυσματικού αρχείου σε προβολικό σύστημα ETRS 1989 LAEA. Στη συνέχεια αποκόπηκε η περιοχή της Κύπρου και επιλέχθηκαν μόνο οι περιοχές Natura που ανήκουν σε κρατική γη, δηλαδή τα Εθνικά Δασικά Πάρκα και τα κρατικά δάση. Τέλος έγινε προβολή σε σύστημα WGS 1984 UTM Zone 36N και μετατροπή σε ψηφιδωτό αρχείο, με ανάλυση 250 m (Εικόνα 3.13).



Εικόνα 3.13 Οι περιοχές Natura 2000 που βρίσκονται εντός κρατικής γης.

3.3 Μέθοδοι

3.3.1 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν

Δέντρα Ταξινόμησης (Classification Trees, CT)

Τα Δέντρα Ταξινόμησης είναι μια μέθοδος μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης. Η μέθοδος προβλέπει την τιμή μιας εξαρτημένης μεταβλητής με πεπερασμένο σύνολο τιμών (κλάσεις), από τις τιμές ενός συνόλου ανεξάρτητων μεταβλητών (ιδιότητες) (Sadeghi, et al., 2012).

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν έχει καμιά απαίτηση ως προς τα δεδομένα, που μπορούν να είναι ποσοτικά, ονομαστικά ή κατηγορικά, ούτε προϋποθέτει να ακολουθούν κάποια στατιστική κατανομή. Είναι ωστόσο απαραίτητο να είναι εκ των προτέρων γνωστές οι κλάσεις της εξαρτημένης μεταβλητής καθώς και το επίπεδο μέτρησης όλων των μεταβλητών.

Κύρια παραδοχή της μεθόδου είναι ότι η λειτουργική εξάρτηση μεταξύ της εξαρτημένης και των ιδιοτήτων δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το σύνολο των δεδομένων, αλλά μπορεί να προσεγγιστεί ως ομοιόμορφη σε μικρότερα υποσύνολα.

Η διαδικασία βασίζεται στην επαναληπτική διαίρεση των αρχικών δεδομένων (ρίζα) σε υποσύνολα (κόμβους). Κριτήριο τεμαχισμού αποτελεί η μεγιστοποίηση της ομοιογένειας μέσα σε κάθε κόμβο που δημιουργείται. Κάθε φορά επιλέγεται η ιδιότητα με το μεγαλύτερο φορτίο πληροφορίας και το σύνολο των δεδομένων διαιρείται ανάλογα με αυτή (Sadeghi, et al., 2012). Αν η ιδιότητα είναι κατηγορική, δημιουργείται ένα κλαδί για κάθε τιμή της. Αν η ιδιότητα είναι συνεχής, τότε δημιουργείται ένας κανόνας με βάση μια τιμή-κατώφλι και τα δύο κλαδιά χωρίζονται σύμφωνα με τον κανόνα αυτό. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι στο τέλος να δημιουργηθεί ένα σύνολο τελικών κόμβων (τελικά φύλλα) τα οποία περιέχουν την ίδια τιμή εξαρτημένης ή μέχρι να ικανοποιηθεί κάποιος κανόνας που να εμποδίζει την περαιτέρω διαίρεση.

Η επαλήθευση του μοντέλου γίνεται είτε με διασταυρωμένη επικύρωση (crossvalidation), είτε με διαχωρισμό των αρχικών δεδομένων (split-sample validation). Η διασταυρωμένη επικύρωση χωρίζει το δείγμα σε υποσύνολα (folds). Κάθε φορά ένα υποσύνολο αποκλείεται από τη δημιουργία του δέντρου και χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εύρεση του ρίσκου εσφαλμένης ταξινόμησης (misclassification risk). Στο τέλος δημιουργείται ένα δέντρο με

ρίσκο εσφαλμένης ταξινόμησης το μέσο όρο των ρίσκων όλων των δέντρων. Στο διαχωρισμό των αρχικών δεδομένων, τα αρχικά δεδομένα χωρίζονται σε δεδομένα εκπαίδευσης, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του μοντέλου, και δεδομένα ελέγχου, που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση του μοντέλου.

Η αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου μπορεί να μετρηθεί με πολλούς τρόπους, αλλά οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι είναι το K στατιστικό (Cohen's Kappa) και η «περιοχή κάτω από την καμπύλη» (Area Under Curve, AUC) μιας καμπύλης χαρακτηριστικού λειτουργικού δέκτη (Receiver Operating Characteristic plot, ROC plot) (Heikkinen, et al., 2006).

Ο συντελεστής Kappa μετρά την αναλογία σωστής κατάταξης, δηλαδή το ποσοστό των σωστά καταταγμένων παρουσιών και απουσιών, μετά την αφαίρεση της πιθανότητας τυχαίας συμφωνίας (Heikkinen, et al., 2006). Ανάλογα με την τιμή του Kappa το μοντέλο κατατάσσεται σε μια από τις κατηγορίες που φαίνονται στον Πίνακα 3.5 (Landis & Koch, 1977).

Πίνακας 3.5: Ακρίβεια μοντέλου ανάλογα με την τιμή του Kappa (Landis & Koch, 1977)

Τιμή Kappa	Ακρίβεια μοντέλου
0.81-1.00	Σχεδόν τέλεια
0.61-0.80	Σημαντική
0.41-0.60	Μέτρια
0.21-0.40	Ικανοποιητική
0.00-0.20	Αποτυχία

Η «περιοχή κάτω από την καμπύλη» (AUC) συσχετίζει τις σχετικές αναλογίες των σωστά καταταγμένων (αληθώς θετικά) και λάθος καταταγμένων (ψευδώς θετικά) κελιών σε ένα μεγάλο και συνεχές εύρος τιμών κατωφλιού (Heikkinen, et al., 2006). Ανάλογα με την τιμή της AUC το μοντέλο κατατάσσεται σε μια από τις κατηγορίες που φαίνονται στον Πίνακα 3.6 (Swets, 1988). Τιμές της AUC κάτω από 0.5 δείχνουν ότι το μοντέλο τείνει να προβλέπει παρουσία σε περιοχές όπου το είδος είναι στην πραγματικότητα απόν (Heikkinen, et al., 2006).

Πίνακας 3.6: Ακρίβεια μοντέλου ανάλογα με τις τιμές της AUC (Swets, 1988)

Τιμή AUC	Ακρίβεια Μοντέλου
0.90–1.00	Εξαιρετική
0.80–0.90	Καλή
0.70–0.80	Ικανοποιητική
0.60–0.70	Φτωχή
0.50–0.60	Αποτυχία

Αλυσίδα Μαρκόφ (Markov chain) και Κυτταρικά Αυτόματα (Cellular automata)

Η αλυσίδα Μαρκόφ ή μαρκοβιανή αλυσίδα είναι μια τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην πρόβλεψη αλλαγών στη βλάστηση και η οποία προβλέπει τις μελλοντικές αλλαγές με βάση τα ποσοστά των προηγούμενων αλλαγών (Sang, et al., 2011; Balzter, 2000; Wijanarto, 2006).

Η αλυσίδα αντιπροσωπεύει ένα σύστημα στοιχείων που μεταβαίνει μεταξύ αμοιβαίως αποκλειόμενων και πεπερασμένων σταδίων στη διάρκεια του χρόνου (Balzter, 2000). Η τεχνική υπολογίζει τις πιθανότητες μετάβασης από ένα στάδιο σε ένα άλλο για προηγούμενες αλλαγές και στη συνέχεια τις εφαρμόζει για να προβλέψει μελλοντικές αλλαγές (Wijanarto, 2006). Η τάξη της αλυσίδας δείχνει τον αριθμό των χρονικών βημάτων του παρελθόντος που επηρεάζουν την κατανομή πιθανοτήτων του σημερινού σταδίου (Balzter, 2000).

Η βασική παραδοχή της αλυσίδας Μαρκόφ στην πρόβλεψη των χρήσεων γης είναι ότι οι χρήσεις γης και η εδαφοκάλυψη θεωρούνται ως στοχαστικές διαδικασίες και οι διαφορετικές κλάσεις τους αποτελούν αμοιβαίως αποκλειόμενα και πεπερασμένα στάδια μιας αλυσίδας. Επίσης, θεωρείται ότι η αλυσίδα είναι πρώτης τάξης (Aaviksoo, 1993), δηλαδή μόνο το πιο πρόσφατο στάδιο της αλυσίδας επηρεάζει τη μετάβαση στο επόμενο, ανεξάρτητα από τα προηγούμενα στάδια (Guan, et al., 2011). Ο χρόνος θεωρείται σαν διακριτή παράμετρος με ίσα διαστήματα από το ένα βήμα στο άλλο και οι πιθανότητες μετάβασης από το ένα στάδιο στο άλλο θεωρούνται σταθερές στη διάρκεια του χρόνου (Balzter, 2000).

Το πρόβλημα της αλυσίδας Μαρκόφ είναι η πλήρης έλλειψη της χωρικής διάστασης, δηλαδή παρόλο που δίνει ακριβείς πληροφορίες για τις πιθανότητες μετάβασης κάθε κατηγορίας

χρήσης γης σε άλλη, δεν παρέχει καμιά πληροφορία για τη χωρική κατανομή των αλλαγών (Eastman, 2003). Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με το συνδυασμό της αλυσίδας Μαρκόφ με Κυτταρικά Αυτόματα.

Τα κυτταρικά ή ψηφιακά αυτόματα είναι ψηφιακές οντότητες που έχουν την ικανότητα να αλλάζουν την κατάστασή τους βασισμένα στην προηγούμενη κατάσταση των ιδίων και των γειτονικών τους ψηφιακών οντοτήτων, σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο κανόνα (Eastman, 2003). Η διαφορά των κυτταρικών αυτόματων από τις αλυσίδες Μαρκόφ είναι ότι ο κανόνας μετάβασης εξαρτάται όχι μόνο από την προηγούμενη κατάσταση αλλά και από την κατάσταση των γειτονικών κελιών, γεγονός που προσθέτει χωρική διάσταση στην πρόβλεψη.

3.3.2 Μεθοδολογικές παραδοχές

Πέραν των παραδοχών που διέπουν τα βιοκλιματικά μοντέλα κατανομής ειδών, τα δεδομένα Worldclim, τα δέντρα ταξινόμησης, την αλυσίδα Μαρκόφ και τα κυτταρικά αυτόματα, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε βασίστηκε στις ακόλουθες παραδοχές:

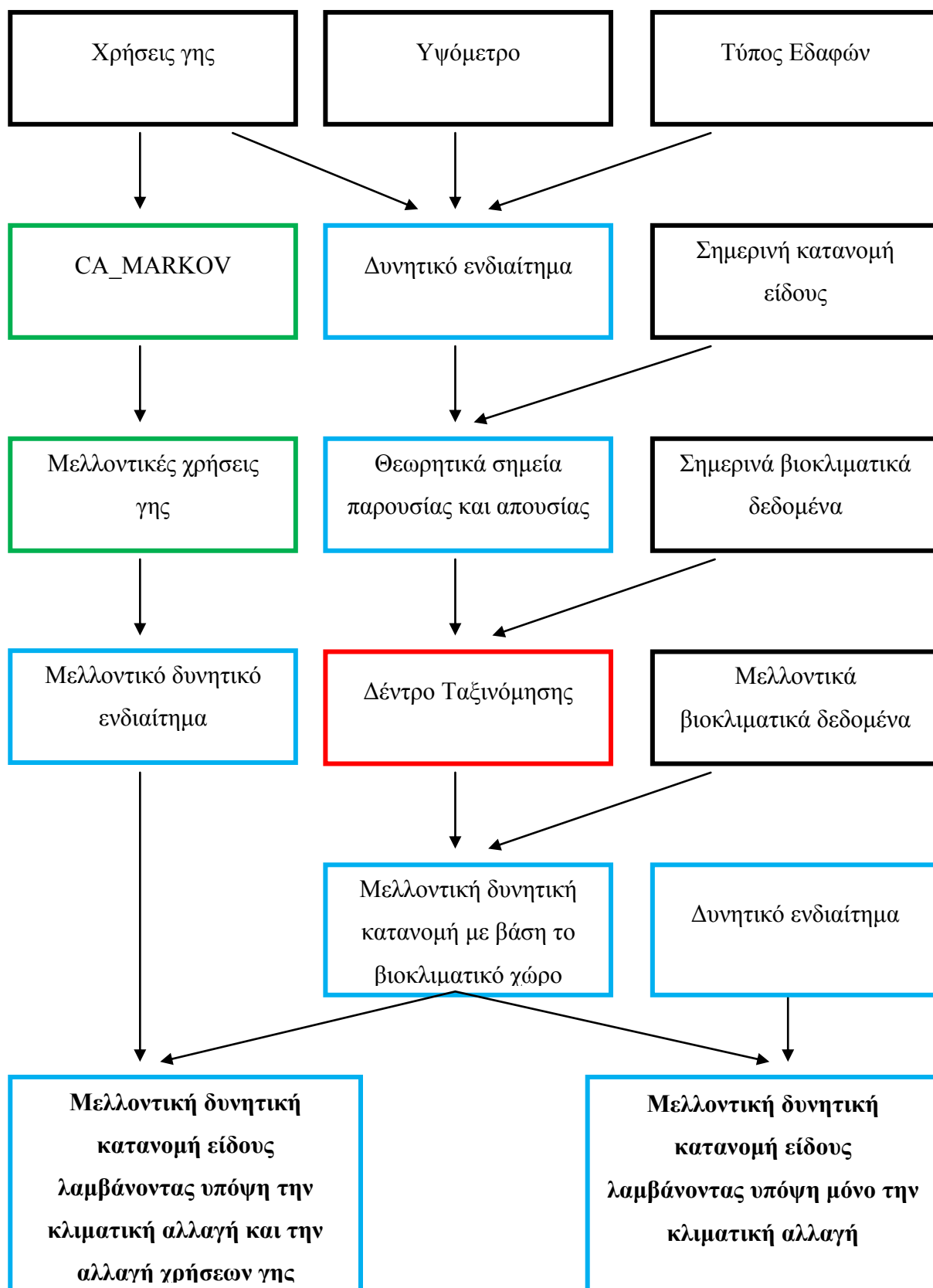
1. Ως δυνητική κατανομή των ειδών ορίζεται η γεωγραφική περιοχή που ικανοποιεί μια ή περισσότερες συνιστώσες της θεμελιώδους οικότητας, όπως ο βιοκλιματικός χώρος οι κατάλληλες χρήσεις γης, ο τύπος των εδαφών και το υψόμετρο.
2. Ως δυνητικό ενδιαίτημα των ειδών ορίζεται η γεωγραφική περιοχή που αποτελείται από τις κατάλληλες χρήσεις γης, το κατάλληλο υψόμετρο και τον κατάλληλο τύπο εδαφών για τα υπό μελέτη είδη.
3. Ως μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα ορίζεται η γεωγραφική περιοχή που αποτελείται από τις μελλοντικές κατάλληλες χρήσεις γης, το κατάλληλο υψόμετρο και τον κατάλληλο τύπο εδαφών.
4. Η κατανομή των ειδών που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση αντιπροσωπεύει την πραγματική κατανομή των ειδών και τα αντίστοιχα σημεία παρουσίας αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά σημεία παρουσίας των ειδών.
5. Ως θεωρητικό σημείο παρουσίας του είδους θεωρείται το κέντρο κάθε κελιού χωρικής ανάλυσης 0,844 Km * 0,844 Km εντός του δυνητικού ενδιαιτήματος, μέσα στο οποίο έχει καταγραφεί τουλάχιστον μια πραγματική παρουσία.

6. Ως θεωρητικό σημείο απουσίας του είδους θεωρείται το κέντρο κάθε κελιού χωρικής ανάλυσης 0,844 Km * 0,844 Km εντός του δυνητικού ενδιαιτήματος, μέσα στο οποίο δεν έχει καταγραφεί ούτε και μια πραγματική παρουσία.

3.3.3 Μεθοδολογικά βήματα

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα βήματα (Εικόνα 3.14):

1. Αρχική επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό ArcGIS.
2. Εύρεση του δυνητικού ενδιαιτήματος των ειδών.
3. Εύρεση των θεωρητικών σημείων παρουσίας και απουσίας των ειδών και εξαγωγή των τιμών των βιοκλιματικών παραμέτρων στα σημεία αυτά.
4. Δημιουργία και αξιολόγηση του Δέντρου Ταξινόμησης για κάθε είδος με το λογισμικό SPSS.
5. Πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών, με βάση το βιοκλιματικό χώρο που ορίζεται από το Δέντρο Ταξινόμησης και μελλοντικά βιοκλιματικά δεδομένα.
6. Συνδυασμός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών με βάση το βιοκλιματικό χώρο με το χάρτη του δυνητικού ενδιαιτήματος, για εύρεση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.
7. Πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης με βάση τους χάρτες CORINE και με χρήση της τεχνικής CA-MARKOV στο λογισμικό IDRISI Selva.
8. Εύρεση του μελλοντικού δυνητικού ενδιαιτήματος.
9. Συνδυασμός του χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και του χάρτη μελλοντικού δυνητικού ενδιαιτήματος για υπολογισμό της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών λαμβάνοντας υπόψη τόσο την κλιματική αλλαγή όσο και την αλλαγή χρήσεων γης.
10. Σύγκριση των χαρτών μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή και με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.



Εικόνα 3.14 Τα κυριότερα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Με γαλάζιο φαίνονται τα βήματα που έγιναν στο ArcGIS, με πράσινο τα βήματα που έγιναν στο IDRISI Selva, με κόκκινο αυτά που έγιναν στο SPSS και με μαύρο τα αρχικά δεδομένα

1. Αρχική επεξεργασία δεδομένων

Όλα τα δεδομένα εισήχθησαν στο λογισμικό ArcGIS, όπου έγινε προ-επεξεργασία για αλλαγή του προβολικού τους συστήματος σε WGS 1984 UTM Zone 36N και της χωρικής ανάλυσης σε μέγεθος κελιού 844 m * 844 m, ώστε να υπάρχει ένα προς ένα αντιστοιχία των κελιών όλων των στρωμάτων δεδομένων μεταξύ τους.

2. Εύρεση του δυνητικού ενδιαιτήματος των ειδών

Για τον υπολογισμό του δυνητικού ενδιαιτήματος χρησιμοποιήθηκαν οι πληροφορίες του Κόκκινου Βιβλίου της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007). Το δυνητικό ενδιαίτημα καθορίστηκε ως η περιοχή που διαθέτει το κατάλληλο υψόμετρο, τύπο εδαφών και χρήσεις γης (Πίνακας 3.7). Για τη συμπερίληψη στο δυνητικό ενδιαίτημα πρέπει να πληρούνται όλες οι συνθήκες για κάθε είδος (υψόμετρο, τύπος εδαφών και χρήσεις γης).

Πίνακας 3.7 Το δυνητικό ενδιαίτημα που καθορίστηκε για τα *Crocus cyprius* και *Ophrys kotschy*.

	<i>Crocus cyprius</i>	<i>Ophrys kotschy</i>
Υψόμετρο	1050 - 1950 m	0- 900 m
Τύπος εδαφών	Πυριγενή πετρώματα	Ασβεστολιθικά πετρώματα
Χρήσεις γης	Δάση κωνοφόρων (κωδικός CLC:312)	Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη (κωδικός 211) Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (κωδικός 243) Δάση κωνοφόρων (κωδικός CLC: 312) Φυσικοί βοσκότοποι (Κωδικός 321) Σκληροφυλλική βλάστηση (κωδικός 323) Μεταβατικές δασώδεις – θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324) Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές (κωδικός 331) Εκτάσεις με αραιή βλάστηση (κωδικός 333) Βάλτοι στην ενδοχώρα (κωδικός 411) Παραθαλάσσιοι βάλτοι (κωδικός 421)

3. Εύρεση των θεωρητικών σημείων παρουσίας και απουσίας των ειδών

Για την εύρεση των θεωρητικών σημείων παρουσίας δημιουργήθηκε ένα διανυσματικό στρώμα δεδομένων που αποτελείται από όλα τα ορθογώνια κελιά μεγέθους 844 m * 844 m που ανήκουν στο δυνητικό ενδιαίτημα του κάθε είδους, καθώς και ένα διανυσματικό στρώμα που αποτελείται από τα σημεία που βρίσκονται στο κέντρο του κάθε κελιού.

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν μόνο τα κελιά που περιείχαν έστω και μια πραγματική παρουσία του είδους και ακολούθως τα σημεία που βρίσκονταν στο κέντρο των κελιών αυτών. Τα επιλεγμένα σημεία εξάχθηκαν σε νέο διανυσματικό αρχείο, το οποίο περιέχει τα θεωρητικά σημεία παρουσίας του είδους. Από τα 102 σημεία πραγματικής παρουσίας δημιουργήθηκαν 11 θεωρητικά σημεία παρουσίας για το *Crocus cyprius* και από τα 117 σημεία πραγματικής παρουσίας δημιουργήθηκαν 27 θεωρητικά σημεία παρουσίας για το *Ophrys kotschyi*.

Για την δημιουργία των σημείων θεωρητικής απουσίας αφαιρέθηκαν τα σημεία θεωρητικής παρουσίας από το διανυσματικό αρχείο με όλα τα σημεία του δυνητικού ενδιαίτηματος. Δημιουργήθηκαν 224 σημεία απουσίας για το *Crocus cyprius* και 6245 σημεία για το *Ophrys kotschyi*.

Τέλος, εξάχθηκαν οι τιμές των 19 βιοκλιματικών μεταβλητών στα σημεία παρουσίας και απουσίας των δύο ειδών σε αρχείο Excel.

4. Δημιουργία του Δέντρου Ταξινόμησης και χαρτογράφηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή

Για τη δημιουργία του Δέντρου Ταξινόμησης, οι πίνακες με τις τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών στα σημεία παρουσίας και απουσίας κάθε είδους εισάχθηκαν στο λογισμικό SPSS. Οι βιοκλιματικές μεταβλητές κωδικοποιήθηκαν με τα ονόματα BIO1 – BIO19. Η μεταβλητή παρουσίας ή απουσίας του είδους πήρε το όνομα presence και δόθηκε η τιμή 1 σε όλα τα σημεία παρουσίας και η τιμή 0 σε όλα τα σημεία απουσίας. Οι μεταβλητές BIO1-BIO19 καθορίστηκαν ως ποσοτικές μεταβλητές (scale variables) και η μεταβλητή presence ως ονομαστική μεταβλητή (nominal variable), με τιμές (values) 1= presence και 0 = absence.

Στη συνέχεια τα δεδομένα «σταθμίστηκαν» (case weighting) ώστε να προσομοιωθεί επικράτηση 0.5, δηλαδή το συνολικό βάρος των παρουσιών να ισούται με το συνολικό βάρος των απουσιών (Ferrier, et al., 2002; Guisan, et al., 2006; Gibson, et al., 2007). Για το σκοπό

αυτό στο *Crocus cyprius* δόθηκε βάρος 20.36 (224/11) στις παρουσίες και 1 στις απουσίες και στο *Ophrys kotschyi* δόθηκε βάρος 231.30 (6245/27) στις παρουσίες και 1 στις απουσίες.

Ως εξαρτημένη μεταβλητή του Δέντρου Ταξινόμησης επιλέχθηκε το presence και ως ανεξάρτητες οι BIO1-19. Αφού δόθηκαν κατηγορίες στην ανεξάρτητη μεταβλητή, με κατηγορία-στόχο την παρουσία, εφαρμόστηκαν διάφοροι συνδυασμοί μεθόδων ανάπτυξης, κριτηρίων και μεθόδων επικύρωσης, μέχρι να αναγνωρισθεί το καλύτερο δυνατό δέντρο.

Το καλύτερο δυνατό δέντρο επιλέχθηκε με βάση τις τιμές του ρίσκου εσφαλμένης ταξινόμησης (risk estimate) στις διαφορετικές μεθόδους επικύρωσης, τις τιμές του πίνακα ταξινόμησης (classification table) και τις καμπύλες Gains, Index και Response.

Μετά τη δημιουργία του Δέντρου Ταξινόμησης αξιολογήθηκε η ικανότητα πρόβλεψης του μοντέλου με μέτρα το K στατιστικό (Cohen's Kappa) και την «περιοχή κάτω από την καμπύλη» (Area Under Curve, AUC) της καμπύλης ROC.

Για τη χαρτογράφηση της προβλεπόμενης μελλοντικής κατανομής χρησιμοποιήθηκαν τα μελλοντικά βιοκλιματικά δεδομένα από τα τέσσερα σενάρια κλιματικής αλλαγής και το Δέντρο Ταξινόμησης. Για κάθε σενάριο δημιουργήθηκε ένας χάρτης για κάθε κόμβο του Δέντρου, με τιμή 1 για τα κελιά όπου ισχύει ο κανόνας του κόμβου και 0 σε αυτά που δεν ισχύει. Στη συνέχεια όλοι οι κόμβοι που ανήκουν σε κλαδιά που καταλήγουν σε παρουσία συνδυάστηκαν, ώστε να δημιουργηθεί ένας τελικός χάρτης με τη μελλοντική δυνητική κατανομή του είδους με βάση το βιοκλιματικό χώρο.

Για την εύρεση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα έγινε πολλαπλασιασμός των χαρτών σημερινού δυνητικού ενδιαίτηματος και μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο. Ο χάρτης που προέκυψε αντιπροσωπεύει τη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή.

5. Πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης και χαρτογράφηση του μελλοντικού δυνητικού ενδιαίτηματος

Για την πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες CORINE 2000 και 2006 σε ψηφιδωτή μορφή και ο χάρτης με τις περιοχές Natura 2000 εντός κρατικής γης.

Αρχικά έγινε επεξεργασία των χαρτών στο ArcGIS ώστε να μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό IDRISI Selva. Στη συνέχεια έγινε επαναταξινόμηση των χαρτών CORINE 2000 και 2006, ώστε οι δύο χάρτες να έχουν πανομοιότυπες κλάσεις αλλά και για να μειωθεί ο αριθμός των κλάσεων, χωρίς όμως να χάνεται η πληροφορία για τις χρήσεις γης που αφορούν κάθε είδος. Για το σκοπό αυτό για το *Crocus cyprius* οι χάρτες CORINE επαναταξινομήθηκαν σε 14 κλάσεις και για το *Ophrys kotschy* σε 23 κλάσεις (Πίνακας 3.8).

Πίνακας 3.8 Οι νέες κλάσεις χρήσεων γης μετά την επαναταξινόμηση για χρήση στην εντολή MARKOV. Οι κλάσεις που λείπουν δεν εμφανίζονται στην Κύπρο.

Κωδικός CLC	Αριθμός κλάσης CLC	Αριθμός κλάσης <i>Crocus cyprius</i>	Αριθμός κλάσης <i>Ophrys kotschy</i>
111	1	1	1
112	2	1	1
121	3	1	1
122	4	1	1
123	5	1	1
124	6	1	1
131	7	1	1
132	8	1	1
133	9	1	1
141	10	1	1
142	11	1	1
211	12	2	2
212	13	2	3
221	15	2	4
222	16	2	5
223	17	2	6
231	18	2	7
241	19	2	8
242	20	2	9
243	21	2	10
311	23	3	11
312	24	4	12
313	25	5	13
321	26	6	14
323	28	7	15
324	29	8	16
331	30	9	17
332	31	10	18
333	32	11	19
334	33	12	20
411	35	13	21
421	37	13	22
511	40	14	23
512	41	14	23
523	44	14	23

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η εντολή MARKOV με χρήση των νέων χαρτών CORINE 2000 και 2006, για πρόβλεψη στο έτος 2050. Προέκυψαν τρία προϊόντα:

1. Πίνακας transition area matrix, με τη συνολική περιοχή σε κελιά που αναμένεται να αλλάξει το 2050.
2. Πίνακας transition probability matrix, που δείχνει την πιθανότητα ένα κελί μιας κλάσης να αλλάξει σε οποιαδήποτε άλλη ή να μείνει το ίδιο το 2050.
3. Ένας χάρτης conditional probability για κάθε κλάση, που δείχνει την πιθανότητα κάθε κελί να ανήκει στη συγκεκριμένη κλάση το 2050.

Ακολούθως, εφαρμόστηκε η μέθοδος MCE (Multi-Criteria Evaluation) (Voogd, 1983; Carver, 1991), ώστε να παραχθεί ένα σύνολο χαρτών καταλληλότητας (suitability maps), που δείχνουν την καταλληλότητα μιας περιοχής για μια συγκεκριμένη κλάση. Εφαρμόστηκε η μέθοδος Boolean intersection και χρησιμοποιήθηκαν μόνο περιοριστικοί παράγοντες (constraints).

Ως περιοριστικοί παράγοντες επιλέχθηκαν οι περιοχές Natura που βρίσκονται εντός κρατικής γης και οι τεχνητές επιφάνειες. Ο λόγος που επιλέχθηκαν μόνο οι περιοχές Natura που ανήκουν σε κρατική γη είναι γιατί οι περιοχές αυτές είναι πολύ λιγότερο πιθανό να αλλάξουν προς άλλες χρήσεις γης σε σχέση με τις περιοχές Natura σε ιδιωτική γη. Οι τεχνητές επιφάνειες επιλέχθηκαν ως περιοριστικός παράγοντας γιατί θεωρήθηκε απίθανη η μετατροπή τους σε οποιαδήποτε άλλη κλάση στα επόμενα 44 χρόνια.

Με την εφαρμογή της MCE παράχθηκε ένας χάρτης καταλληλότητας, ο οποίος παίρνει την τιμή 0 στα κελιά όπου η πιθανότητα αλλαγής είναι μηδενική και την τιμή 1 στα κελιά όπου η πιθανότητα αλλαγής είναι μέγιστη. Ο χάρτης αυτός αντιγράφηκε 14 φορές για το *Crocus cypricus* και 23 φορές για το *Ophrys kotschyi*, ώστε να αντιστοιχεί ένας χάρτης καταλληλότητας σε κάθε κλάση του χάρτη CORINE.

Τέλος, οι χάρτες καταλληλότητας, ο πίνακας transition area matrix και ο χάρτης CORINE 2006 χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV, με τελικό αποτέλεσμα ένα χάρτη μελλοντικών χρήσεων γης για κάθε είδος.

Το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα υπολογίστηκε στο ArcGIS με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και το σημερινό δυνητικό ενδιαίτημα, αλλά οι σημερινές χρήσεις γης αντικαταστάθηκαν με τις μελλοντικές.

6. Πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης και σύγκριση με τη μελλοντική δυνητική κατανομή λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή

Έγινε πολλαπλασιασμός του χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και του χάρτη μελλοντικού δυνητικού ενδιαιτήματος, με αποτέλεσμα τη χαρτογράφηση της δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης.

Στη συνέχεια, έγινε οπτική σύγκριση των χαρτών μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης και μελλοντικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή, καθώς και αφαίρεση των δύο χαρτών για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής, ώστε να προσδιοριστούν χωρικά και ποσοτικά οι διαφορές μεταξύ των δύο δυνητικών κατανομών.

Κεφάλαιο Τέταρτο

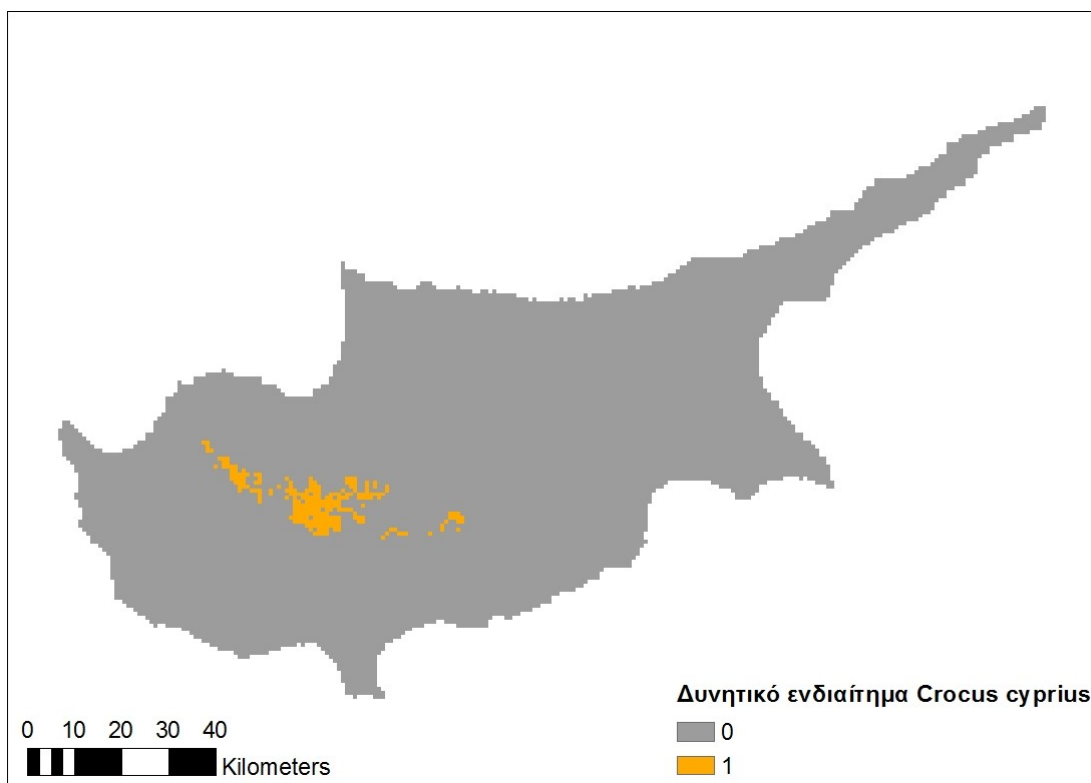
4 Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για το είδος *Crocus cypricus* και ακολούθως για το είδος *Ophrys kotschyi*.

4.1 *Crocus cypricus*

4.1.1 Δυνητικό ενδιαίτημα

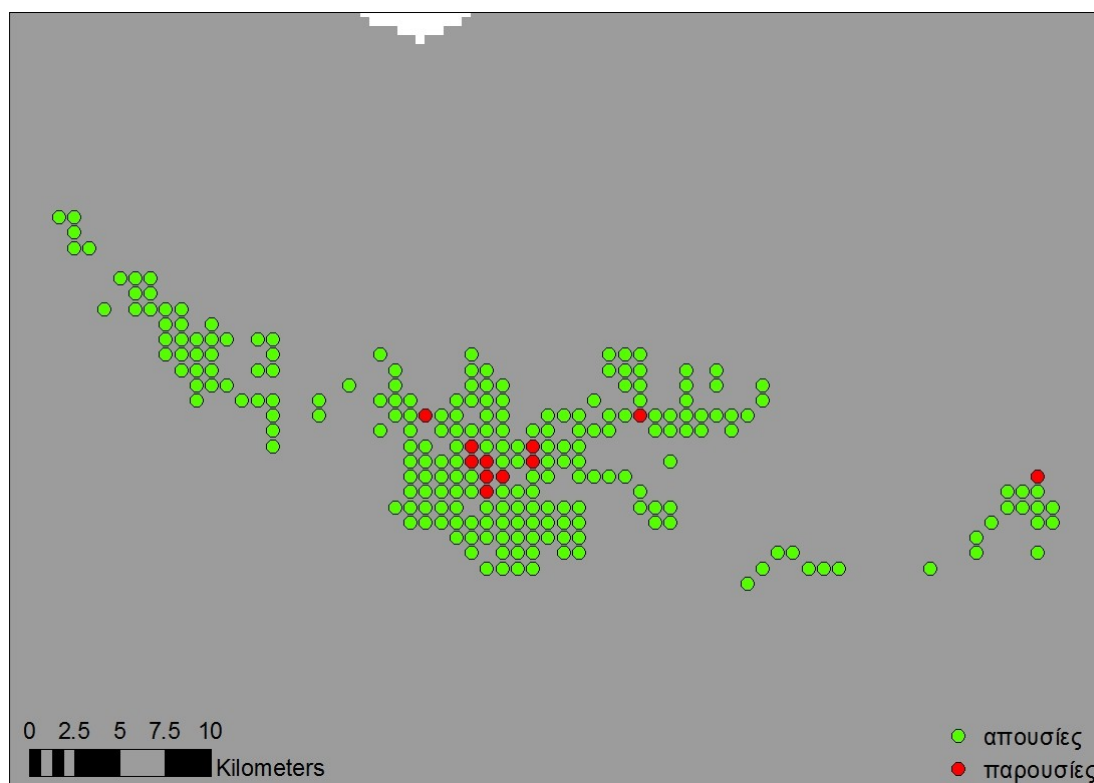
Το δυνητικό ενδιαίτημα του *Crocus cypricus* φαίνεται στο χάρτη της Εικόνας 4.1. Αποτελείται από 235 κελιά με χωρική ανάλυση 0,844 Km * 0,844 Km το καθένα.



Εικόνα 4.1 Χάρτης του δυνητικού ενδιαιτήματος του *Crocus cypricus*. Η τιμή 1 δίδεται στα κελιά που ανήκουν στο δυνητικό ενδιαίτημα και η τιμή 0 στα υπόλοιπα.

4.1.2 Θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας

Τα θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας για το *Crocus cyprius* φαίνονται στην Εικόνα 4.2. Δημιουργήθηκαν συνολικά 11 θεωρητικά σημεία παρουσίας και 224 θεωρητικά σημεία απουσίας.



Εικόνα 4.2 Τα θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας του *Crocus cyprius*

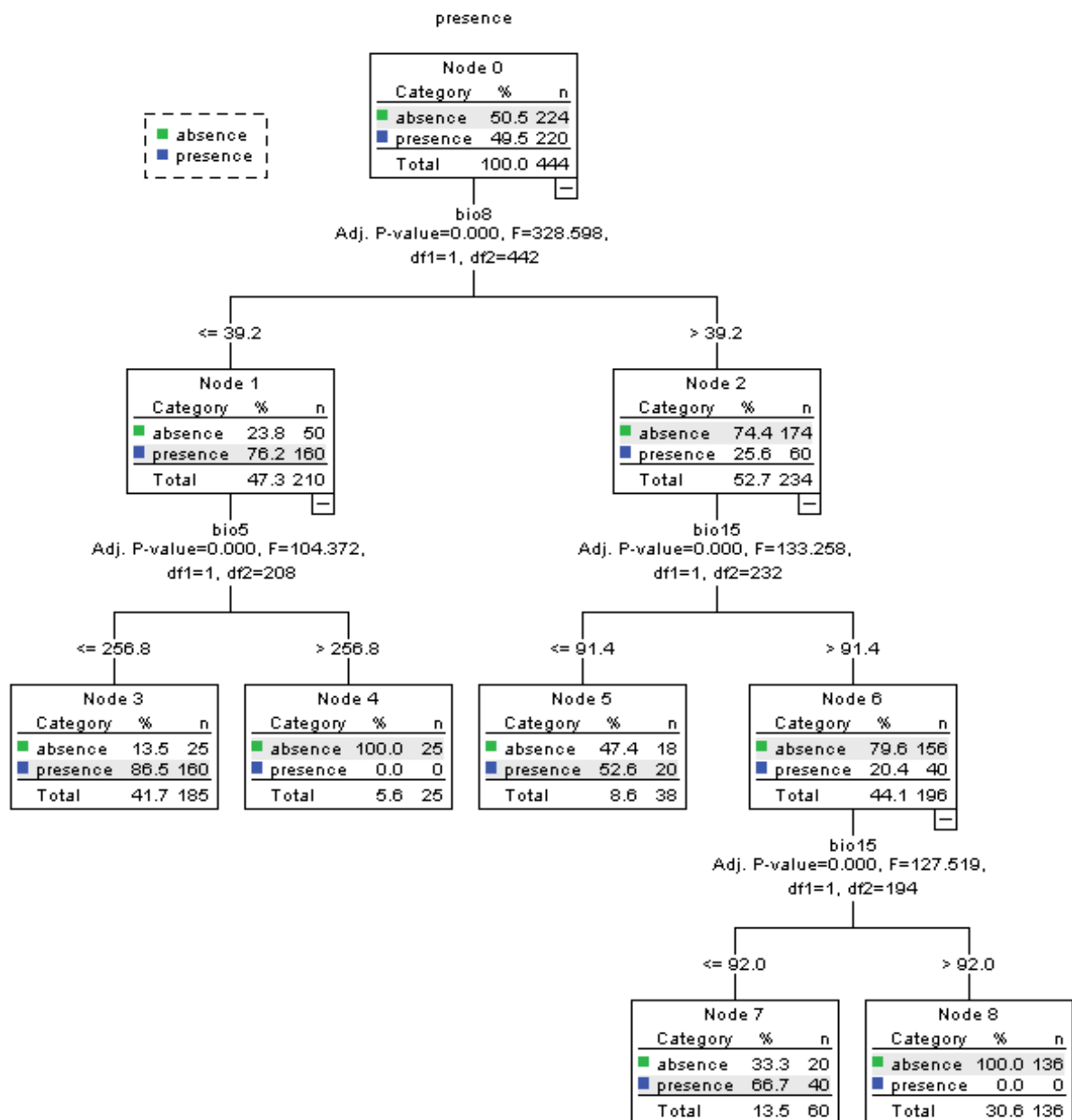
4.1.3 Δέντρο Ταξινόμησης

Για τη δημιουργία του Δέντρου Ταξινόμησης του *Crocus cyprius* επιλέχθηκε η μέθοδος QUEST, γιατί ελαχιστοποιούσε την απόκλιση μεταξύ διασταυρωμένης επικύρωσης (crossvalidation) και επικύρωσης με διαχωρισμό των αρχικών δεδομένων (split-sample validation). Επιλέχθηκε ως ελάχιστος αριθμός περιπτώσεων το 50 για το μητρικό κόμβο και το 25 για το θυγατρικό. Ως επίπεδο σημαντικότητας για το διαχωρισμό των κόμβων επιλέχθηκε το 0.05. Το Δέντρο που επιλέχθηκε εμφανίζεται στην Εικόνα 4.3.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που καθορίζουν το βιοκλιματικό χώρο του *Crocus cyprius* είναι οι BIO8 (Μέση θερμοκρασία πιο υγρού τριμήνου), BIO5 (Μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα) και BIO15 (Εποχικότητα βροχόπτωσης). Η σημαντικότερη μεταβλητή πρόβλεψης σύμφωνα με το δέντρο είναι η μέση θερμοκρασία του πιο υγρού τριμήνου. Όταν η

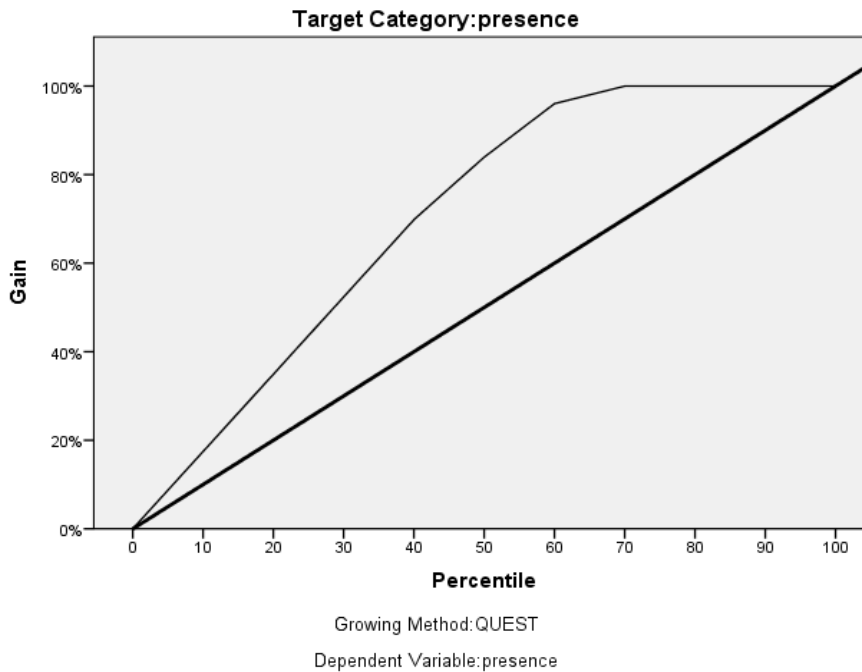
θερμοκρασία αυτή είναι κάτω από τους 3,92 °C, τότε το σημαντικότερο ρόλο για την κατανομή του *Crocus cypricus* παίζει η μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα. Το είδος εμφανίζεται μόνο όταν η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές κάτω από 25,68 °C.

Όταν η μέση θερμοκρασία του υγρότερου τριμήνου είναι πάνω από 3,92 °C, η κατανομή του κρόκου καθορίζεται από την εποχικότητα της βροχόπτωσης. Το είδος εμφανίζεται μόνο όταν εποχικότητα της βροχόπτωσης παίρνει τιμές κάτω από 92%.



Εικόνα 4.3 Το Δέντρο Ταξινόμησης που δημιουργήθηκε για το *Crocus cypricus*

Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται η καμπύλη συνόψισης κέρδους (gain), που δείχνει το αθροιστικό ποσοστό των περιπτώσεων που ανήκουν στην κατηγορία-στόχο (παρουσία) σε κάθε κόμβο. Η καμπύλη δείχνει ότι το μοντέλο είναι αρκετά καλό, αφού αυξάνεται απότομα προς το 100% και στη συνέχεια σταθεροποιείται (IBM, 2011).



Εικόνα 4.4 Η καμπύλη Gain για την κατηγορία-στόχο presence για το *Crocus cyprius*

Στον Πίνακα 4.1 φαίνεται η εκτίμηση ρίσκου (risk estimate) και το τυπικό της σφάλμα. Η εκτίμηση ρίσκου είναι μέτρο της ακρίβειας του μοντέλου και δείχνει το ποσοστό των περιπτώσεων που έχουν ταξινομηθεί εσφαλμένα. Για τον υπολογισμό του resubstitution risk estimate χρησιμοποιείται το ίδιο σύνολο δεδομένων με αυτό που χρησιμοποιείται για να αυξηθεί το δέντρο, ενώ για το crossvalidation risk estimate υπολογίζεται ο μέσος όρος των ρίσκων όλων των δέντρων της διασταυρωμένης επικύρωσης. Το resubstitution risk estimate δε θεωρείται τόσο αξιόπιστο γιατί τείνει να δίνει υπεραισιόδοξες εκτιμήσεις (Heikkinen, et al., 2006; Munoz & Felicísimo, 2004; Araujo, et al., 2005; Thuiller, 2004; Thuiller, 2003). Στην περίπτωση αυτή το resubstitution risk estimate είναι 0.142, δηλαδή το 14,2% των περιπτώσεων έχει ταξινομηθεί λανθασμένα, ενώ το crossvalidation risk estimate είναι 0.207, δηλαδή το 20,7% των περιπτώσεων έχει ταξινομηθεί λανθασμένα.

Πίνακας 4.1 Η εκτίμηση ρίσκου και το τυπικό της σφάλμα για το Δέντρο Ταξινόμησης του *Crocus cyprius*.

Risk		
Method	Estimate	Std. Error
Resubstitution	.142	.017
Cross-Validation	.207	.019

Ο πίνακας ταξινόμησης (Πίνακας 4.2) δείχνει τον αριθμό των περιπτώσεων που έχουν ταξινομηθεί σωστά ή λάθος για κάθε κατηγορία της εξαρτημένης μεταβλητής. Τα αποτελέσματα στον πίνακα ταξινόμησης είναι σύμφωνα με την εκτίμηση του resubstitution risk, αφού δείχνουν ότι το μοντέλο κατατάσσει περίπου το 85.8% των περιπτώσεων σωστά. Συγκεκριμένα, το 71.9% των απουσιών και το 100% των παρουσιών έχουν καταταχθεί σωστά από το μοντέλο.

Πίνακας 4.2 Πίνακας ταξινόμησης για το Δέντρο Ταξινόμησης του *Crocus cyprius*.

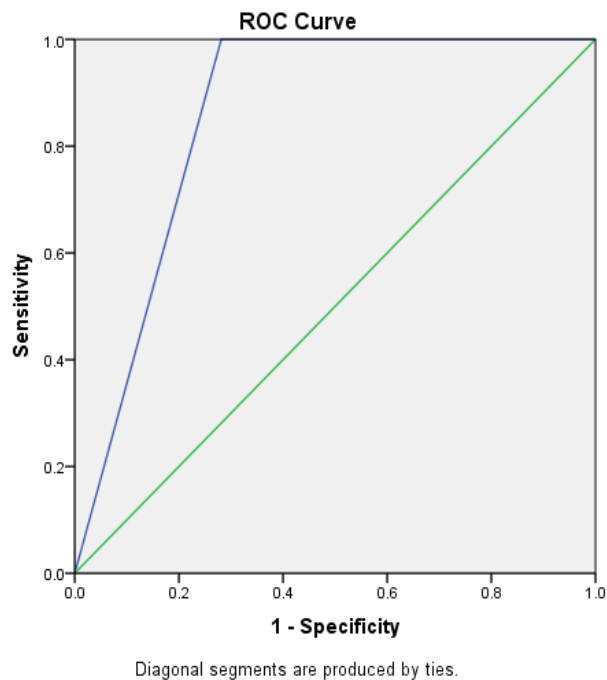
Classification			
Observed	Predicted		
	absence	presence	Percent Correct
absence	161	63	71.9%
presence	0	220	100.0%
Overall Percentage	36.3%	63.7%	85.8%

Στον Πίνακα 4.3 φαίνονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της προβλεπτικής ικανότητας με το Cohen's Kappa. Η τιμή του k είναι 0.719, άρα η ακρίβεια του μοντέλου χαρακτηρίζεται ως «σημαντική», σύμφωνα με τους Landis & Koch (1977).

Πίνακας 4.3 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου με το Cohen's Kappa

Symmetric Measures					
		Value	Asymp. Std. Error ^a	Approx. T ^b	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.719	.032	15.853	.000
N of Valid Cases		448			

Στην Εικόνα 4.5 και στον Πίνακα 4.4 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ROC. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη ROC παίρνει την τιμή 0.859, άρα η ακρίβεια του μοντέλου κατατάσσεται ως «καλή», σύμφωνα με τον Swets (1988).



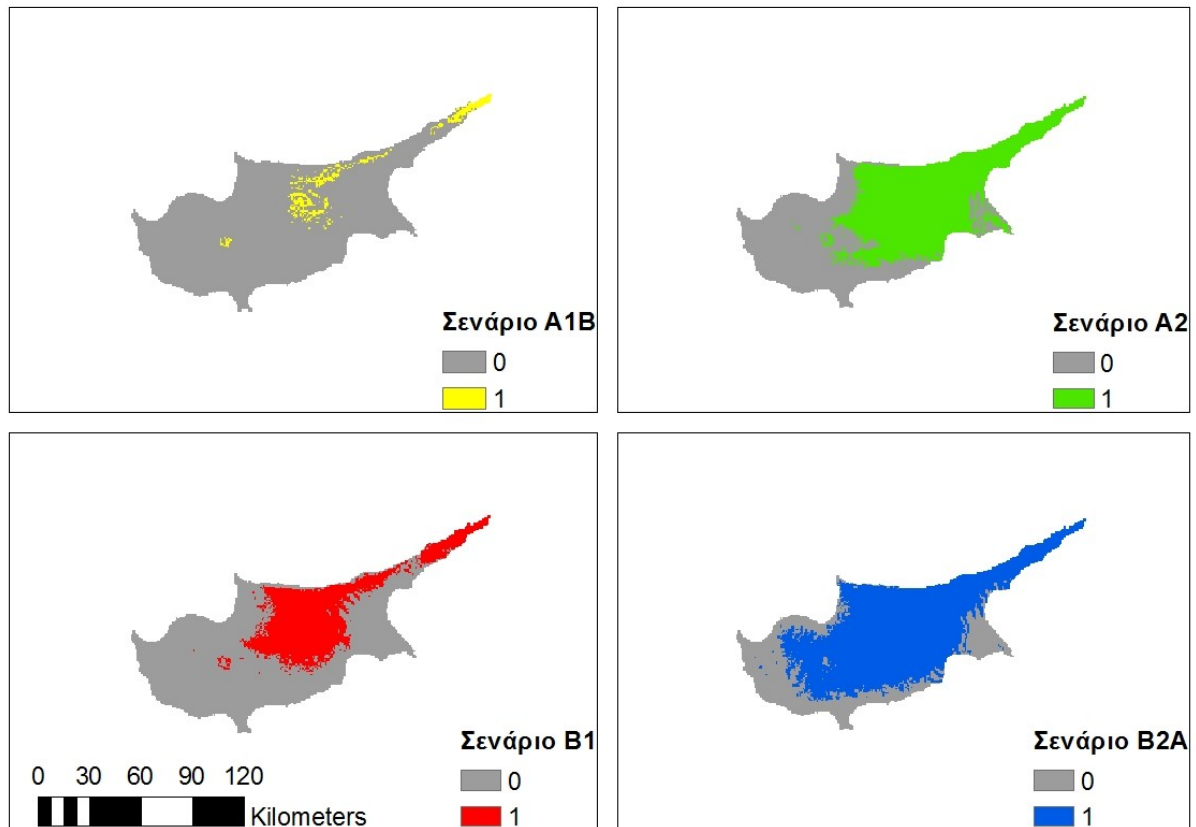
Εικόνα 4.5 Η καμπύλη ROC που δημιουργήθηκε από το Δέντρο Ταξινόμησης του *Crocus cyprius*.

Πίνακας 4.4 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ROC για το *Crocus cyprius*.

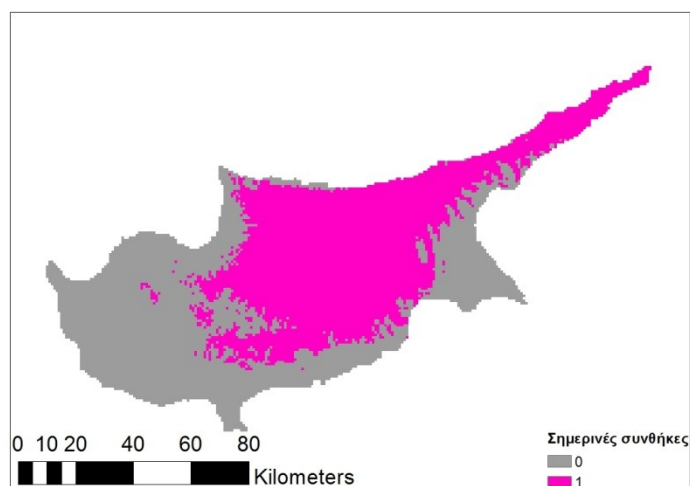
Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
.859	.031	.000	.799	.920

4.1.4 Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο

Η μελλοντική δυνητική κατανομή που προέκυψε με βάση το επιλεγμένο Δέντρο Ταξινόμησης για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής φαίνεται στην Εικόνα 4.6, ενώ η σημερινή δυνητική κατανομή με βάση το δέντρο ταξινόμησης φαίνεται στην Εικόνα 4.7. Ο αριθμός των κελιών που ανήκουν στη δυνητική κατανομή σε κάθε σενάριο και στις σημερινές συνθήκες, στον Πίνακα 4.5.



Εικόνα 4.6 Η μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του *Crocus cyrius*, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.

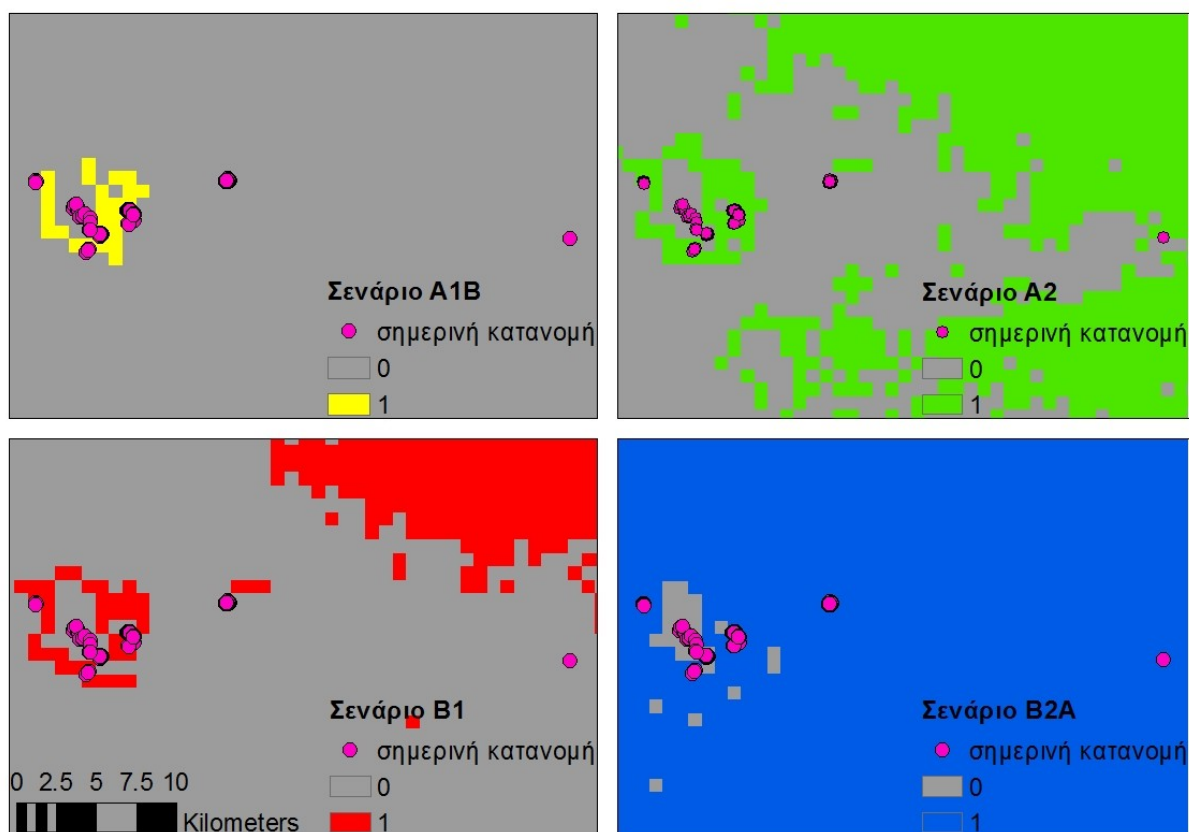


Εικόνα 4.7 Η σημερινή δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του *Crocus cyrius*.

Πίνακας 4.5 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του *Crocus cyrius* με βάση το βιοκλιματικό χώρο.

Σενάριο	Αριθμός κελιών
A1B	610
A2	6933
B1	3726
B2A	8872
Σημερινές συνθήκες	6398

Στην Εικόνα 4.8 γίνεται σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με τη σημερινή πραγματική κατανομή του *Crocus cyrius* και στον Πίνακα 4.6 φαίνεται ο αριθμός των θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής, με βάση το βιοκλιματικό χώρο.



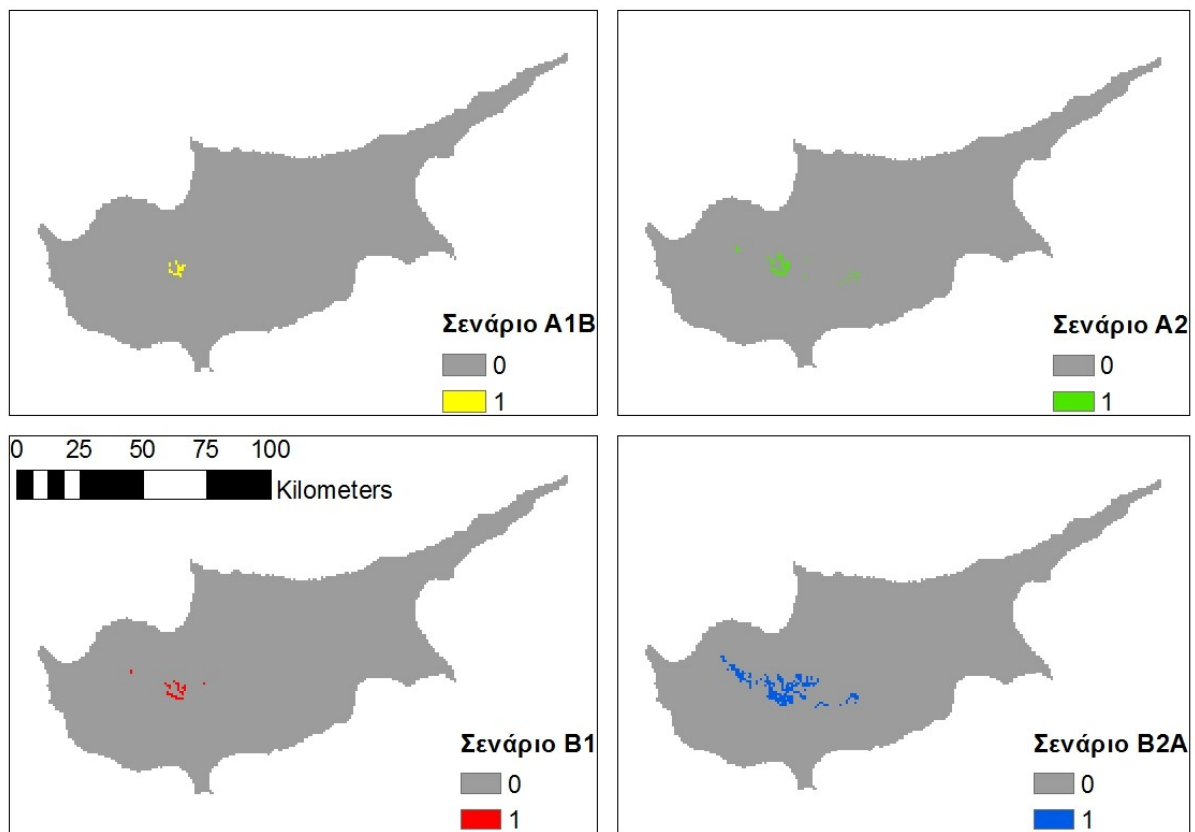
Εικόνα 4.8 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Crocus cypricus* με βάση το βιοκλιματικό χώρο με την πραγματική κατανομή του σήμερα.

Πίνακας 4.6 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής του *Crocus cypricus* που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο.

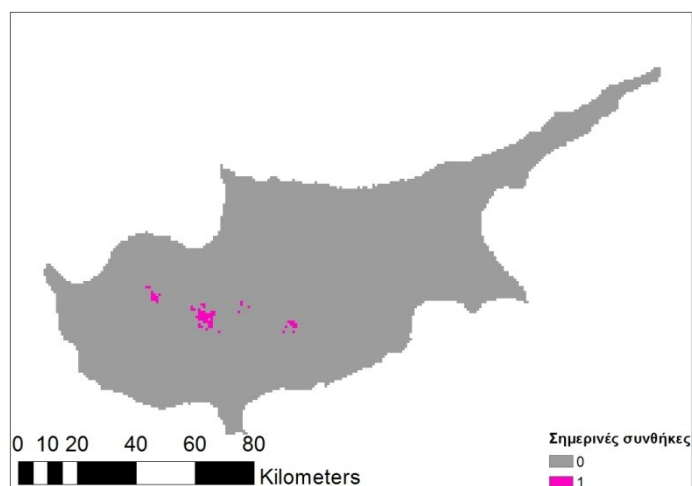
Σενάριο	Αριθμός θέσεων σημερινής κατανομής εκτός της μελλοντικής
A1B	34
A2	47
B1	67
B2A	36

4.1.5 Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή

Η μελλοντική δυνητική κατανομή του *Crocus cyprius* λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή φαίνεται στην Εικόνα 4.9. Η σημερινή δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα φαίνεται στην Εικόνα 4.10. Η τιμή 1 δείχνει τα κελιά που είναι κατάλληλα τόσο ως προς το υφιστάμενο ενδιαίτημα όσο και ως προς τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες, άρα αντιπροσωπεύουν τη μελλοντική δυνητική κατανομή του είδους. Στον Πίνακα 4.7 φαίνεται ο αριθμός των κελιών που ανήκουν στη δυνητική κατανομή σε κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής και στις σημερινές συνθήκες.



Εικόνα 4.9 Η δυνητική κατανομή του *Crocus cyprius* το 2050 με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.

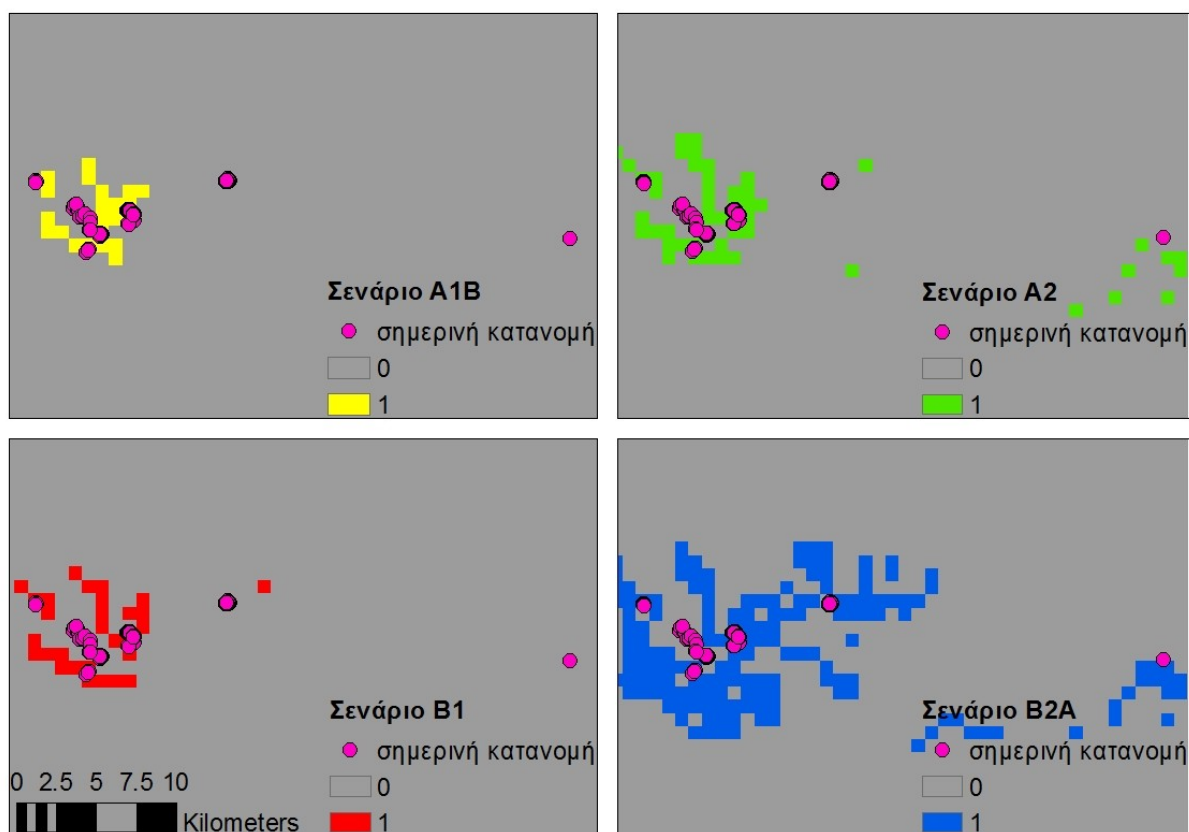


Εικόνα 4.10 Η σημερινή δυνητική κατανομή του *Crocus cyrius* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα.

Πίνακας 4.7 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του *Crocus cyrius* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντα υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.

Σενάριο	Αριθμός κελιών
A1B	22
A2	53
B1	31
B2A	212
Σημερινές συνθήκες	72

Στην Εικόνα 4.11 γίνεται σύγκριση της σημερινής πραγματικής κατανομής του *Crocus cyrius* με τη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα. Στον Πίνακα 4.8 φαίνεται ο αριθμός των θέσεων της σημερινής κατανομής που προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής.



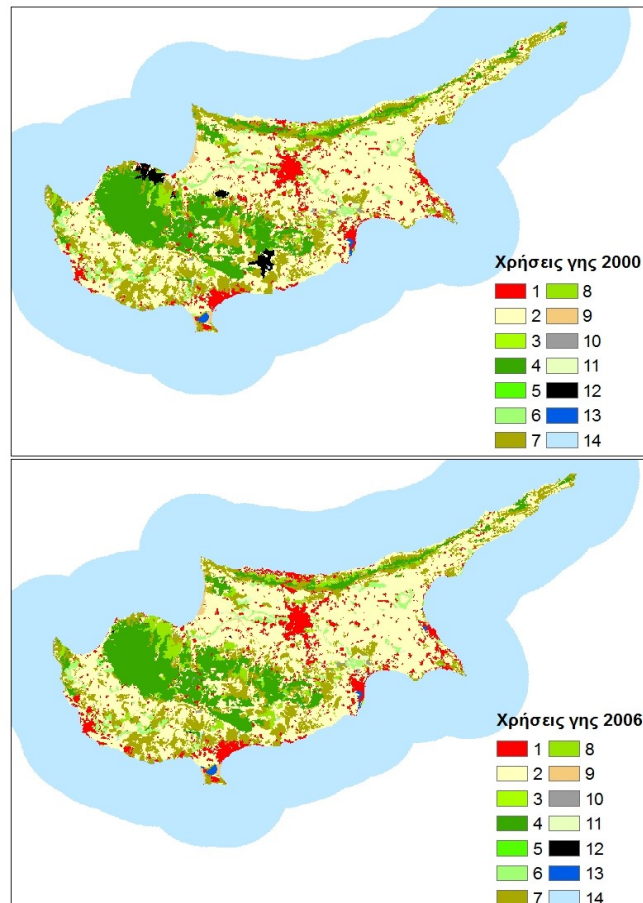
Εικόνα 4.11 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Crocus cyprius* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα με την πραγματική κατανομή του σήμερα.

Πίνακας 4.8 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.

Σενάριο	Αριθμός θέσεων σημερινής κατανομής εκτός της μελλοντικής
A1B	34
A2	49
B1	68
B2A	49

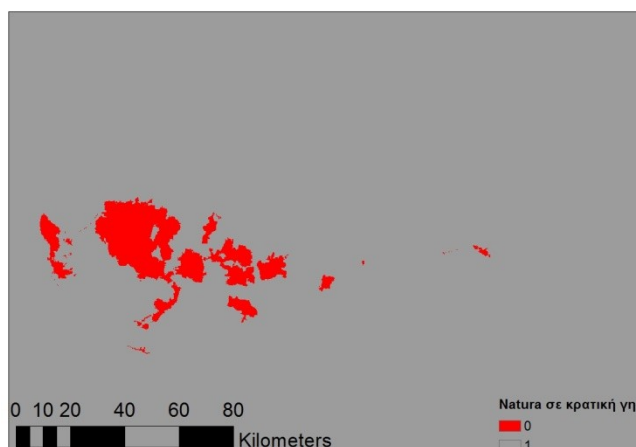
4.1.6 Μελλοντικές χρήσεις γης

Στην Εικόνα 4.12 φαίνονται οι χάρτες CORINE 2000 και 2006 μετά την επαναταξινόμηση για χρήση στην εντολή MARKOV.

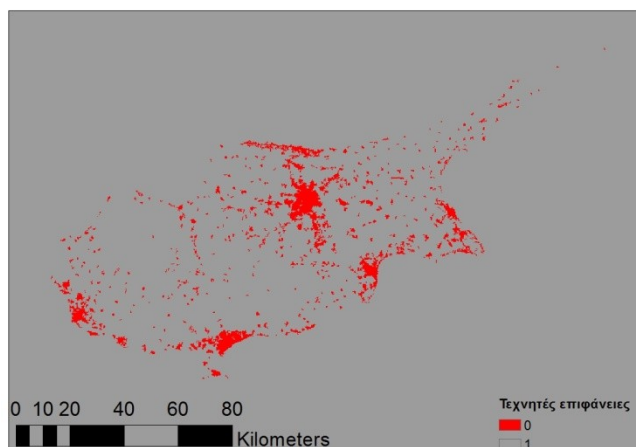


Εικόνα 4.12 Οι χάρτες CORINE 2000 και CORINE 2006 μετά την επαναταξινόμηση για το *Crocus cyprius*.

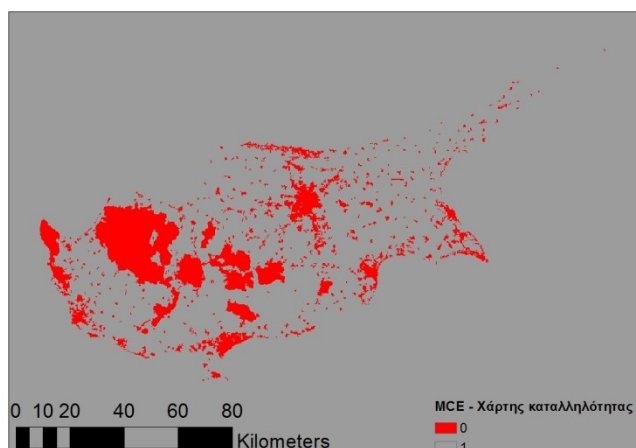
Στις Εικόνες 4.13 και 4.14 παρουσιάζονται οι χάρτες των περιοριστικών παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν στην εντολή MCE. Στην Εικόνα 4.13 φαίνεται ο χάρτης των περιοχών Natura εντός κρατικής γης μετά από επαναταξινόμηση, ώστε τα κελιά εντός Natura και κρατικής γης να πάρουν την τιμή 0 και όλα τα υπόλοιπα να πάρουν την τιμή 1. Στην Εικόνα 4.14 φαίνεται ο χάρτης των τεχνητών επιφανειών που δημιουργήθηκε με επαναταξινόμηση του χάρτη CORINE 2006, ώστε οι τεχνητές επιφάνειες να έχουν τιμή 0 και όλα τα υπόλοιπα κελιά να έχουν τιμή 1. Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζεται ο χάρτης καταλληλότητας που δημιουργήθηκε από την MCE. Ο χάρτης παίρνει την τιμή 0 στα κελιά όπου η πιθανότητα αλλαγής είναι μηδενική και την τιμή 1 στα κελιά όπου η πιθανότητα αλλαγής είναι μέγιστη.



Εικόνα 4.13 Χάρτης των περιοχών Natura εντός κρατικής γης που χρησιμοποιήθηκε ως περιοριστικός παράγοντας στην εντολή MCE.

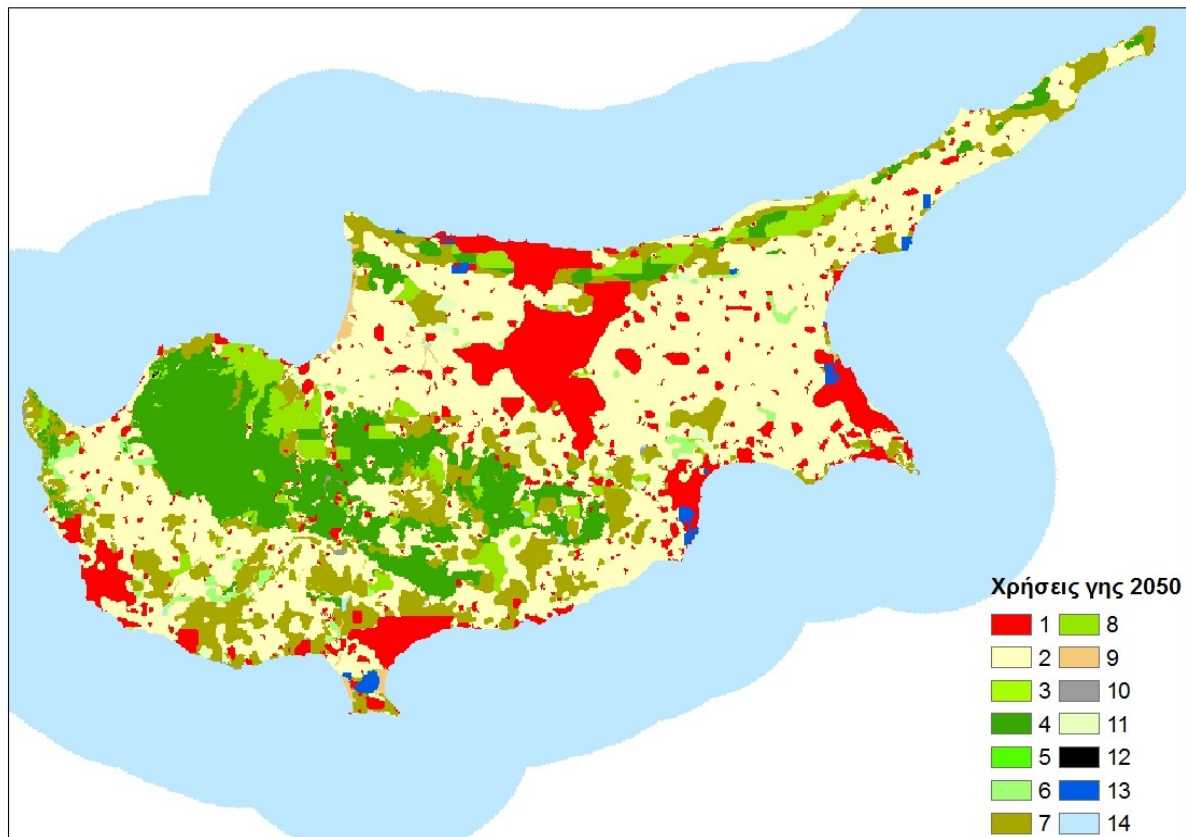


Εικόνα 4.14 Χάρτης των τεχνητών επιφανειών που χρησιμοποιήθηκε ως περιοριστικός παράγοντας στην εντολή MCE.



Εικόνα 4.15 Ο χάρτης καταλληλότητας που δημιουργήθηκε από την εντολή MCE.

Ο χάρτης μελλοντικών χρήσεων γης που προέκυψε από την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV φαίνεται στην Εικόνα 4.16.



Εικόνα 4.16 Οι προβλεπόμενες χρήσεις γης για το 2050, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV για το *Crocus cyprius*.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.9, οι μεγαλύτερες αλλαγές σε σχέση με το 2006 ως προς τον αριθμό κελιών παρατηρούνται στην κλάση 1, που αντιστοιχεί στις τεχνητές επιφάνειες. Οι κλάσεις 6 (Φυσικοί βοσκότοποι) και 7 (Σκληροφυλλική βλάστηση) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μείωση ως προς τον αριθμό κελιών. Ως προς το ποσοστό της αλλαγής, τη μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάζουν η κλάση 13 (Υγρές Ζώνες) και η κλάση 1 (Τεχνητές επιφάνειες), ενώ τη μεγαλύτερη μείωση η κλάση 12 (Αποτεφρωμένες εκτάσεις), η κλάση 10 (Απογυμνωμένοι βράχοι) και η κλάση 6 (Φυσικοί βοσκότοποι). Οι μικρότερες αλλαγές προβλέπονται για τις κλάσεις 3 (Δάσος πλατύφυλλων) και 5 (Μικτό δάσος).

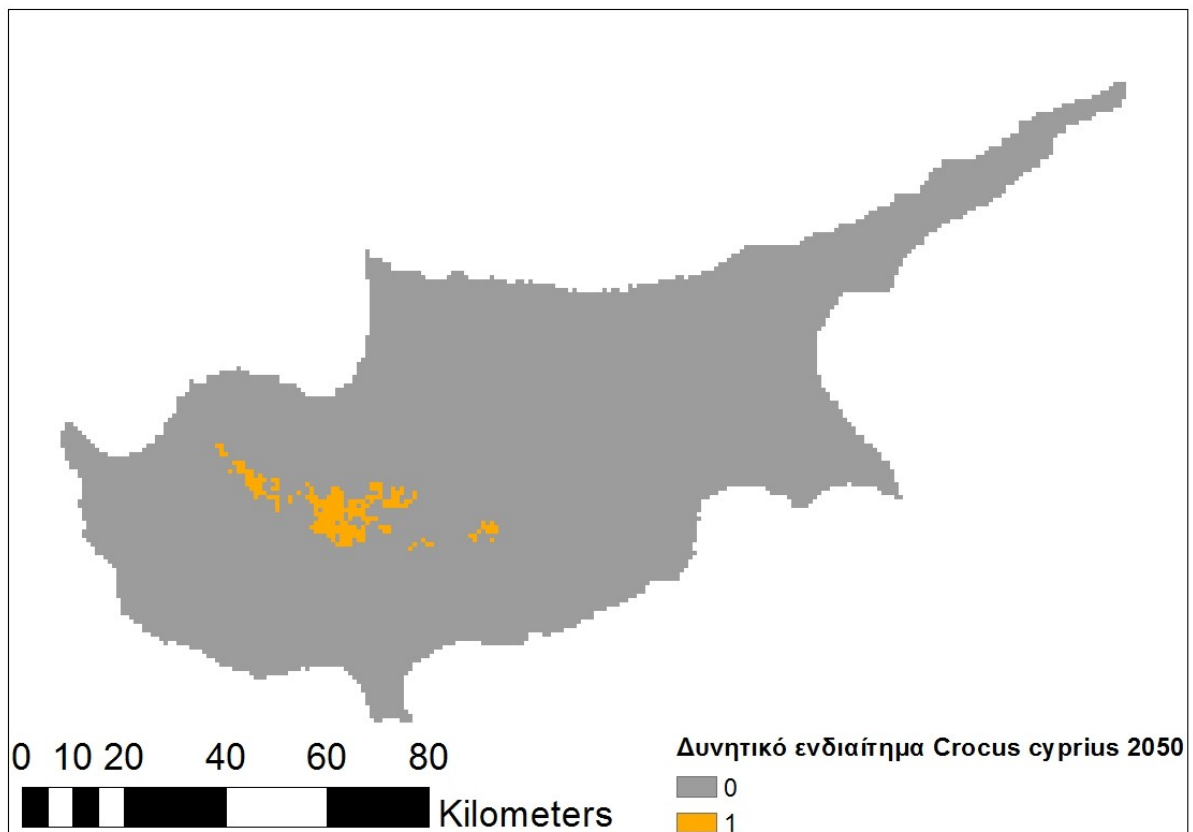
Πίνακας 4.9 Οι αλλαγές σε αριθμό κελιών και το ποσοστό αλλαγής κάθε κλάσης χρήσεων γης από το 2006 μέχρι το 2050 για το *Crocus cyprius*.

Κλάση	Χρήσεις γης 2006	Χρήσεις γης 2050	Αλλαγή	% Αλλαγής
1	12554	20399	7845	62.5
2	70650	69241	-1409	-2.0
3	119	119	0	0.0
4	24565	22717	-1848	-7.5
5	57	57	0	0.0
6	4516	1832	-2684	-59.4
7	25252	22436	-2816	-11.2
8	6315	7136	821	13.0
9	815	727	-88	-10.8
10	408	144	-264	-64.7
11	1899	1503	-396	-20.9
12	39	11	-28	-71.8
13	393	877	484	123.2
14	290209	290693	484	0.2

Με πράσινο φαίνονται οι κλάσεις με τη μεγαλύτερη αύξηση, με κίτρινο οι κλάσεις με τη μεγαλύτερη μείωση και με γκρι οι κλάσεις με τις μικρότερες αλλαγές.

4.1.7 Μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα

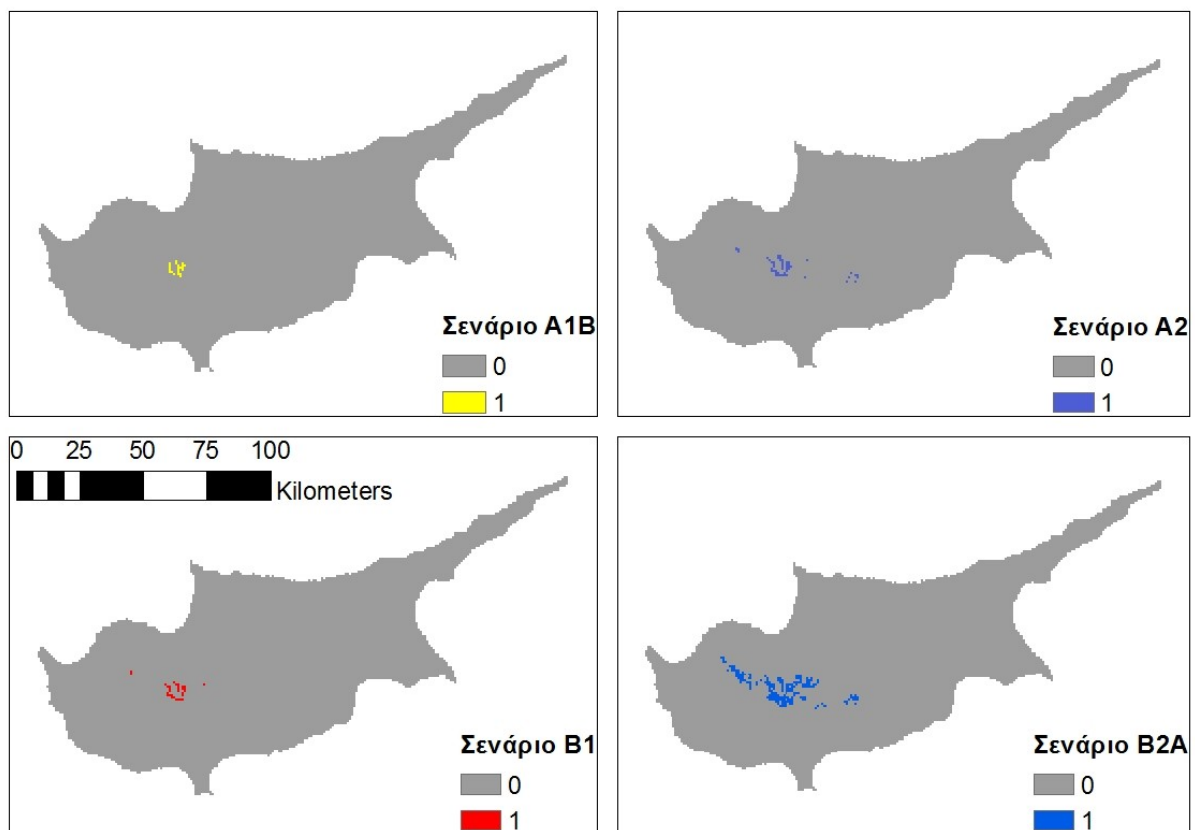
Το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα για το *Crocus cypricus* παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.17. Αποτελείται από 226 κελιά χωρικής ανάλυσης 0,844 Km * 0,844 Km. Υπάρχει μείωση κατά 9 κελιά ή 6,4 Km² σε σχέση με το σημερινό δυνητικό ενδιαίτημα, που αντιστοιχεί σε μείωση 3.8% από το 2006 μέχρι το 2050.



Εικόνα 4.17 Χάρτης του δυνητικού ενδιαιτήματος του *Crocus cypricus* το 2050.

4.1.8 Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης

Η μελλοντική δυνητική κατανομή του *Crocus cyprius* λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης φαίνεται στην Εικόνα 4.18. Στον Πίνακα 4.10 φαίνεται ο αριθμός των κελιών που ανήκουν στη δυνητική κατανομή σε κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής.

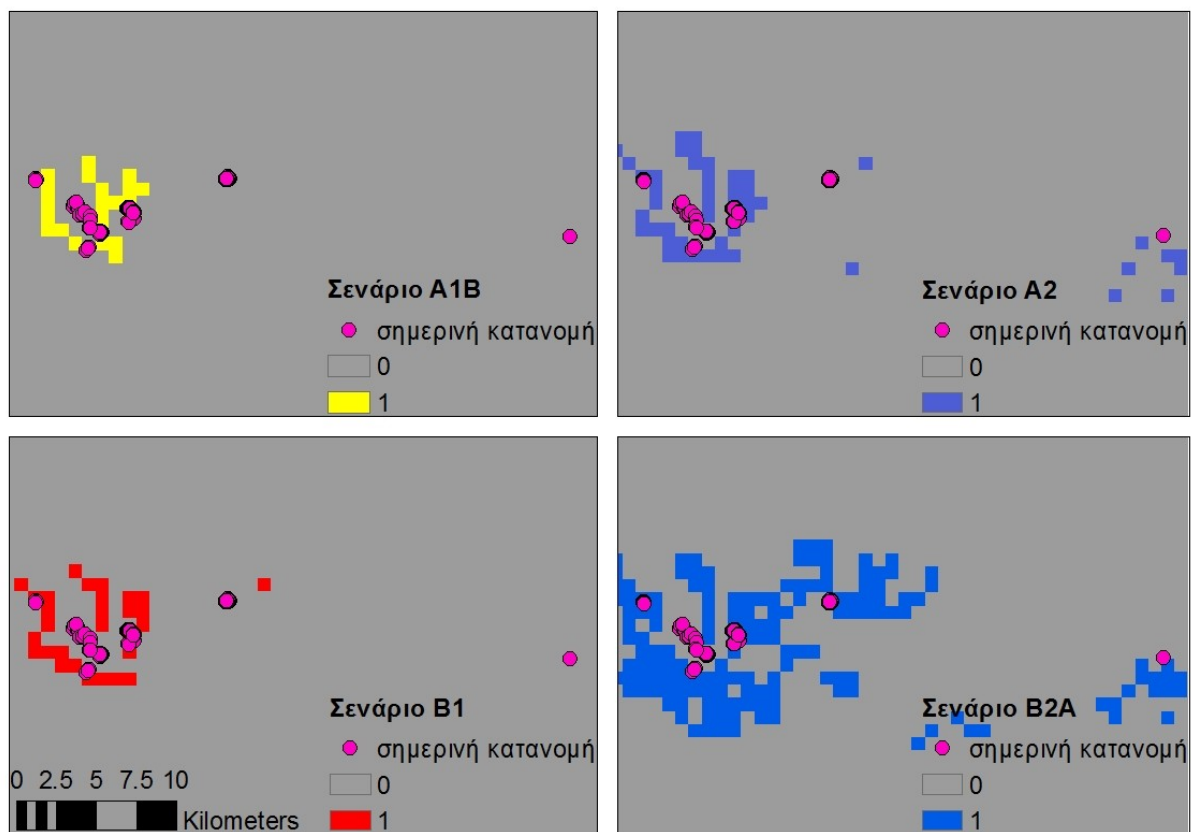


Εικόνα 4.18 Η δυνητική κατανομή του *Crocus cyprius* το 2050 λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A και την αλλαγή χρήσεων γης.

Πίνακας 4.10 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του *Crocus cyprius* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα

Σενάριο	Αριθμός κελιών
A1B	22
A2	52
B1	31
B2A	204

Στην Εικόνα 4.19 γίνεται σύγκριση της σημερινής πραγματικής κατανομής του *Crocus cyprius* με τη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα. Στον Πίνακα 4.11 φαίνεται ο αριθμός των θέσεων της σημερινής κατανομής που προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής.



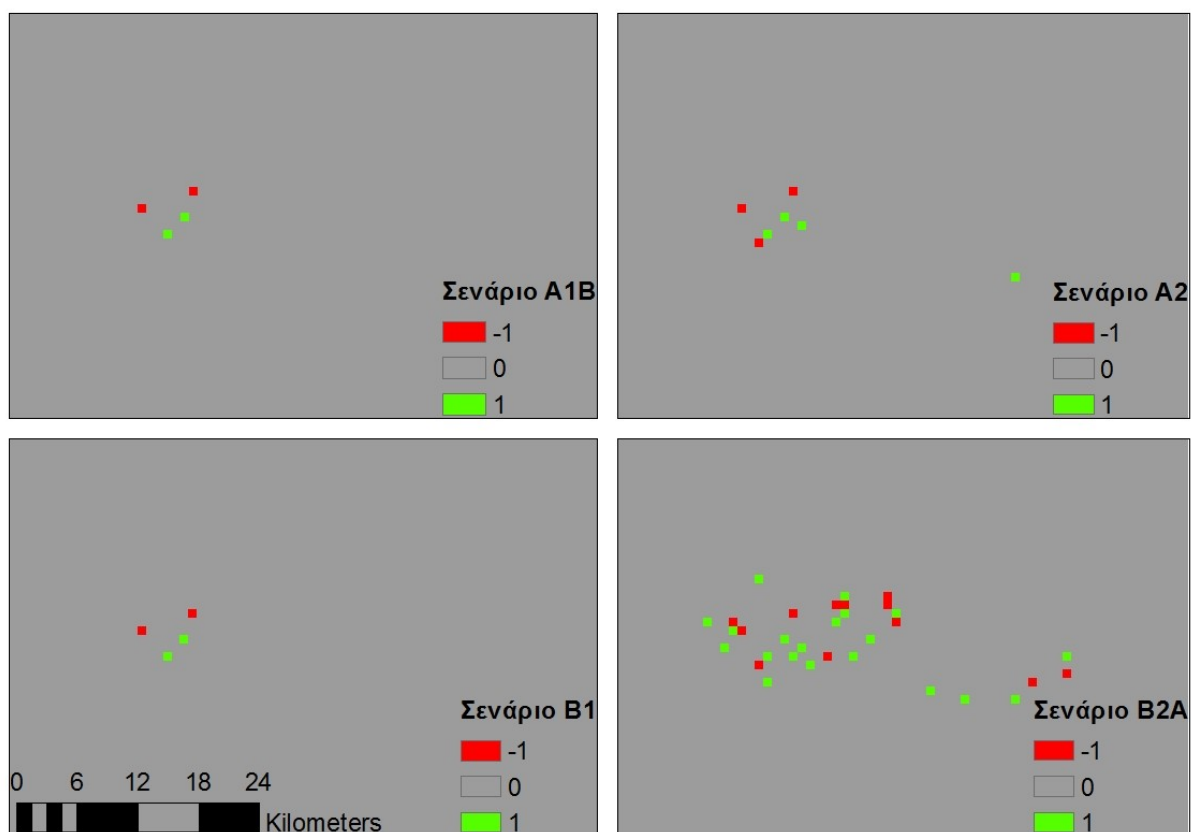
Εικόνα 4.19 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Crocus cyprius* λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης με την πραγματική κατανομή του σήμερα.

Πίνακας 4.11 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.

Σενάριο	Αριθμός θέσεων σημερινής κατανομής εκτός της μελλοντικής
A1B	38
A2	53
B1	71
B2A	53

4.1.9 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή και λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης

Στην Εικόνα 4.20 φαίνονται οι χάρτες που προέκυψαν από την αφαίρεση των δύο κατανομών για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής. Η τιμή 0 αντιπροσωπεύει τα κελιά που είναι ίδια και στους δύο χάρτες. Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει τα κελιά που ανήκουν μόνο στη δυνητική κατανομή με βάση την κλιματική αλλαγή, άρα δείχνουν μείωση της δυνητικής κατανομής με συμπερίληψη των αλλαγών χρήσεων γης. Η τιμή -1 αντιπροσωπεύει τα κελιά που ανήκουν μόνο στη δυνητική κατανομή με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης, άρα δείχνουν αύξηση της κατανομής με συμπερίληψη των αλλαγών χρήσεων γης. Ο αριθμός των κελιών που παίρνουν τις τιμές 0, -1 και 1 φαίνεται στον Πίνακα 4.12.



Εικόνα 4.20 Χάρτες που δημιουργήθηκαν από την αφαίρεση του χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Crocus cyrius* με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης από το χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.

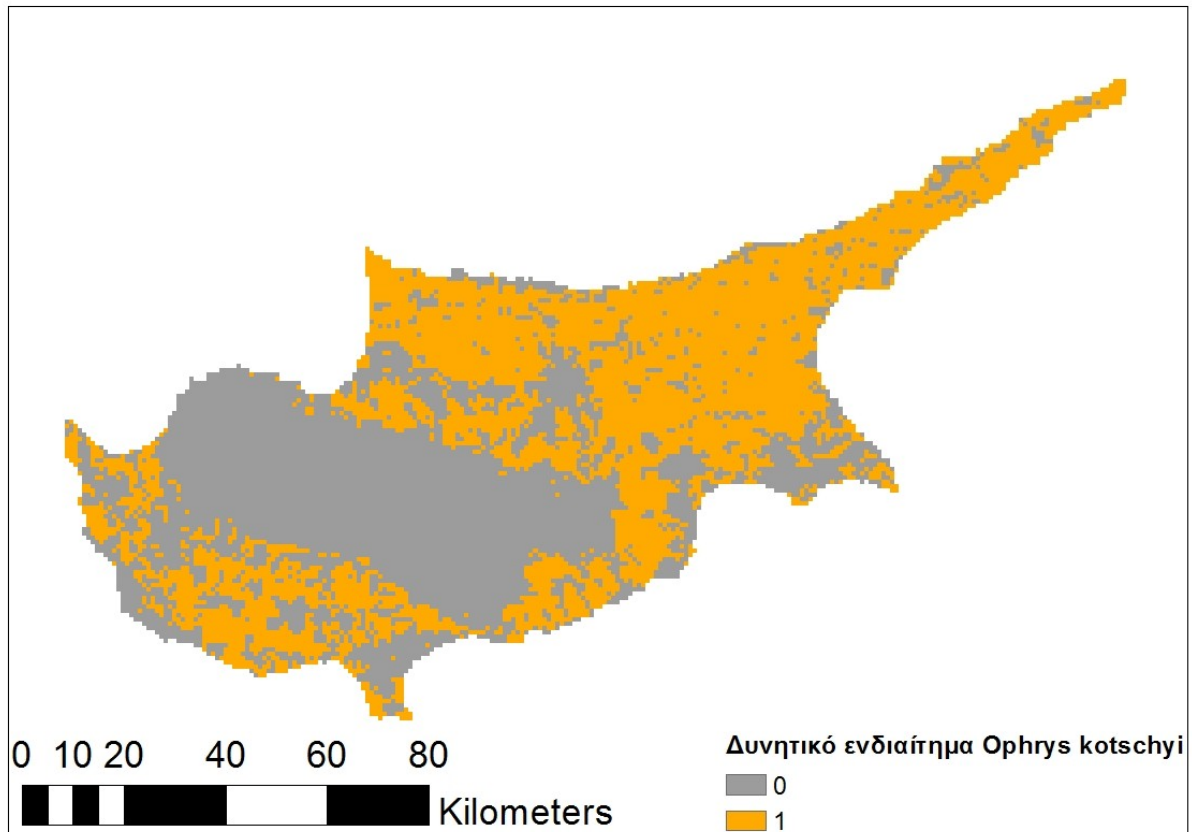
Πίνακας 4.12 Αριθμός κελιών που παίρνουν τις τιμές 0, -1 και 1 για το *Crocus cyrius*

Σενάριο	Τιμή 0	Τιμή -1	Τιμή 1
A1B	12569	2	2
A2	12609	3	4
B1	12612	2	2
B2A	12584	12	20

4.2 *Ophrys kotschy*

4.2.1 Δυνητικό ενδιαίτημα

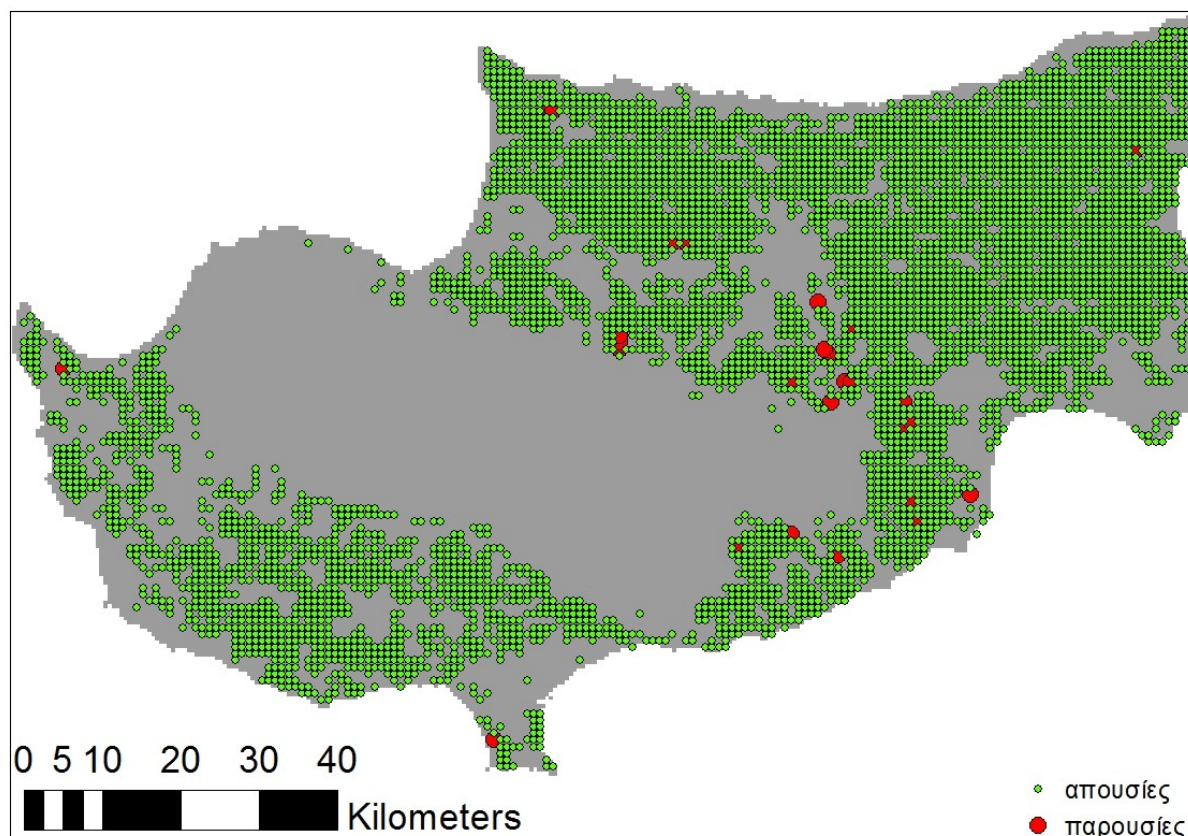
Το δυνητικό ενδιαίτημα του *Ophrys kotschy* φαίνεται στο χάρτη της Εικόνας 4.21. Αποτελείται από 6358 κελιά εμβαδού χωρικής ανάλυσης 0,844 Km * 0,844 Km.



Εικόνα 4.21 Χάρτης του δυνητικού ενδιαίτηματος του *Ophrys kotschy*. Η τιμή 1 δίδεται στα κελιά που ανήκουν στο δυνητικό ενδιαίτημα και η τιμή 0 στα υπόλοιπα.

4.2.2 Θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας

Τα θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας φαίνονται στην Εικόνα 4.22. Δημιουργήθηκαν 27 θεωρητικά σημεία παρουσίας και 6245 θεωρητικά σημεία απουσίας για το *Ophrys kotschyi*.



Εικόνα 4.22 Τα θεωρητικά σημεία παρουσίας και απουσίας του *Ophrys kotschyi*.

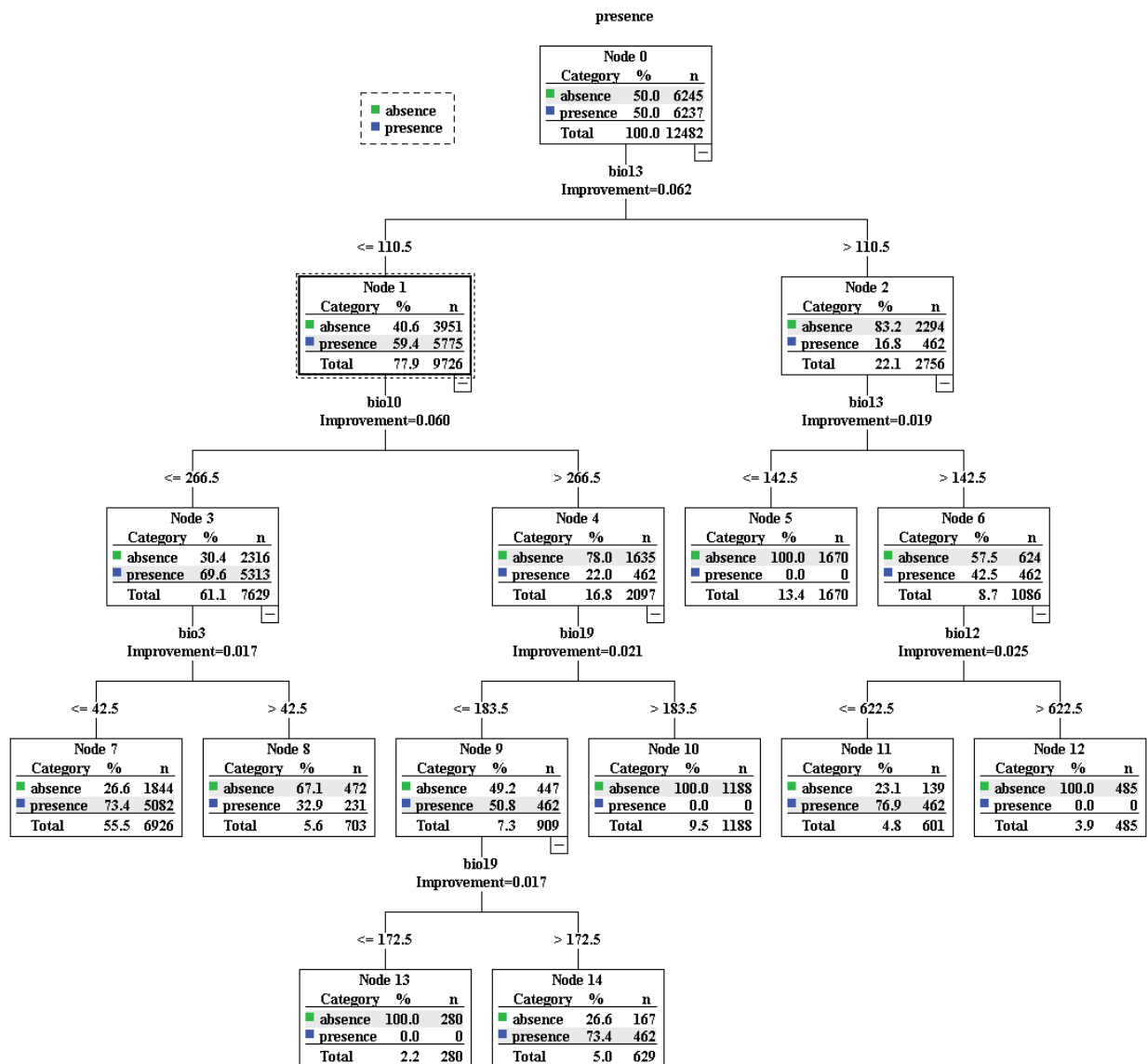
4.2.3 Δέντρο Ταξινόμησης

Για τη δημιουργία του Δέντρου Ταξινόμησης του *Ophrys kotschyi* επιλέχθηκε η μέθοδος CRT με GINI ως μέτρο ανομοιογένειας (impurity measure), ελάχιστο αριθμό περιπτώσεων 500 για το μητρικό κόμβο και 250 για το θυγατρικό και ελάχιστη αλλαγή στη βελτίωση 0.0001. Το Δέντρο που επιλέχθηκε φαίνεται στην Εικόνα 4.23.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που καθορίζουν το βιοκλιματικό χώρο του *Ophrys kotschyi* είναι οι BIO13 (Βροχόπτωση πιο υγρού μήνα), BIO10 (Μέση θερμοκρασία θερμότερου τριμήνου), BIO3 (Ισοθερμικότητα), BIO19 (Βροχόπτωση ψυχρότερου τριμήνου) και BIO12 (Ετήσια βροχόπτωση). Η σημαντικότερη μεταβλητή πρόβλεψης είναι η βροχόπτωση του πιο υγρού μήνα. Όταν η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές κάτω από 110,5 mm, η παρουσία του

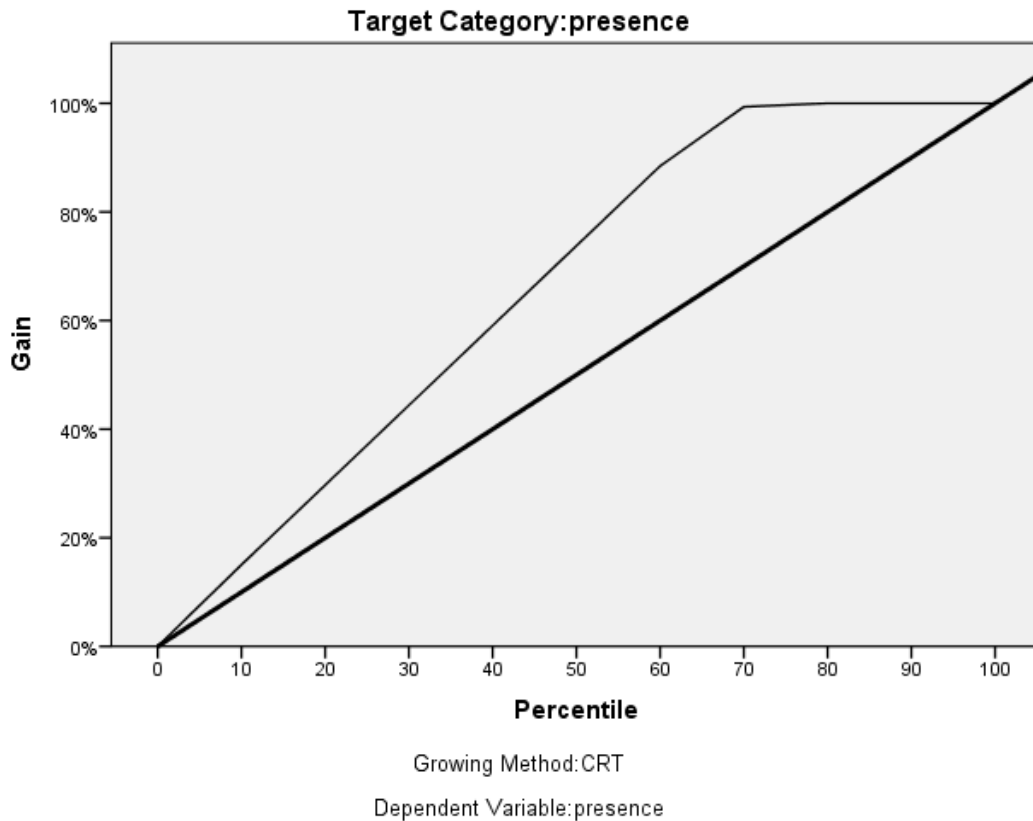
είδους καθορίζεται από τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου. Όταν η θερμοκρασία αυτή είναι κάτω από τους 26,65 °C, το είδος παρουσιάζεται μόνο όταν η ισοθερμικότητα είναι κάτω από 42,5. Όταν η μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου είναι πάνω από 26,65 °C, τότε το είδος παρουσιάζεται μόνο αν η βροχόπτωση του ψυχρότερου τριμήνου είναι μεταξύ 172,5 και 183,5 mm.

Όταν η βροχόπτωση του πιο υγρού μήνα είναι πάνω από 110,5 mm, τότε το είδος παρουσιάζεται μόνο αν η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές πάνω από 142,5 mm και η ετήσια βροχόπτωση είναι χαμηλότερη από 622,5 mm. Όταν η βροχόπτωση του πιο υγρού μήνα είναι πάνω από 110,5 mm και κάτω από 142,5 mm, το είδος δεν εμφανίζεται σε καμία περίπτωση.



Εικόνα 4.23 Το Δέντρο Ταξινόμησης που δημιουργήθηκε για το *Ophrys kotschy*.

Στην Εικόνα 4.24 παρουσιάζεται η καμπύλη συνόψισης κέρδους (gain). Το μοντέλο φαίνεται να είναι αρκετά καλό, αφού η καμπύλη αυξάνεται απότομα προς το 100% και στη συνέχεια σταθεροποιείται (IBM, 2011).



Εικόνα 4.24 Η καμπύλη Gain για την κατηγορία-στόχο presence για το *Ophrys kotschy*.

Στον Πίνακα 4.13 φαίνεται η εκτίμηση ρίσκου (risk estimate) και το τυπικό της σφάλμα. Το resubstitution risk estimate είναι 0.191, που σημαίνει ότι το 19.1% των περιπτώσεων έχει ταξινομηθεί λανθασμένα. Το cross-validation risk estimate είναι 0.213, δηλαδή το 21.3% των περιπτώσεων έχει ταξινομηθεί λανθασμένα.

Πίνακας 4.13 Η εκτίμηση ρίσκου και το τυπικό της σφάλμα για το Δέντρο Ταξινόμησης του *Ophrys kotschy*

Risk		
Method	Estimate	Std. Error
Resubstitution	.191	.004
Cross-Validation	.213	.004

Ο πίνακας ταξινόμησης (Πίνακας 4.14) είναι σύμφωνος με την εκτίμηση του resubstitution risk, αφού δείχνει ότι το μοντέλο κατατάσσει περίπου το 80.9% των περιπτώσεων σωστά. Ωστόσο, παρόλο που το 96.3% των παρουσιών έχει καταταχθεί σωστά από το μοντέλο, μόνο για το 65.6% των απουσιών ισχύει αυτό. Αυτό σημαίνει ότι το 34.4% των περιπτώσεων που είναι στην πραγματικότητα απουσίες, κατατάσσονται από το μοντέλο ως παρουσίες.

Πίνακας 4.14 Πίνακας ταξινόμησης για το Δέντρο Ταξινόμησης του *Ophrys kotschy*

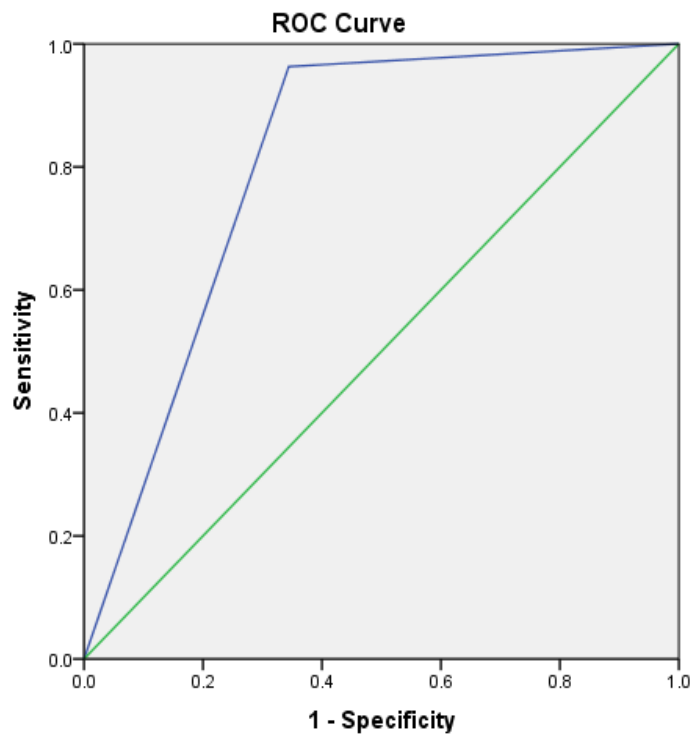
Classification			
Observed	Predicted		
	absence	presence	Percent Correct
absence	4095	2150	65.6%
presence	231	6006	96.3%
Overall Percentage	34.7%	65.3%	80.9%

Στον Πίνακα 4.15 φαίνονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της προβλεπτικής ικανότητας με το Cohen's Kappa. Η τιμή του k είναι 0.619, άρα η ακρίβεια του μοντέλου χαρακτηρίζεται ως «σημαντική», σύμφωνα με τους Landis & Koch (1977).

Πίνακας 4.15 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου με το Cohen's Kappa

Symmetric Measures					
		Value	Asymp. Std. Error ^a	Approx. T ^b	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.619	.007	72.665	.000
N of Valid Cases		12490			

Στην Εικόνα 4.25 και στον Πίνακα 4.16 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ROC. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη ROC παίρνει την τιμή 0.809, άρα η ακρίβεια του μοντέλου κατατάσσεται ως «καλή», σύμφωνα με τον Swets (1988).



Diagonal segments are produced by ties.

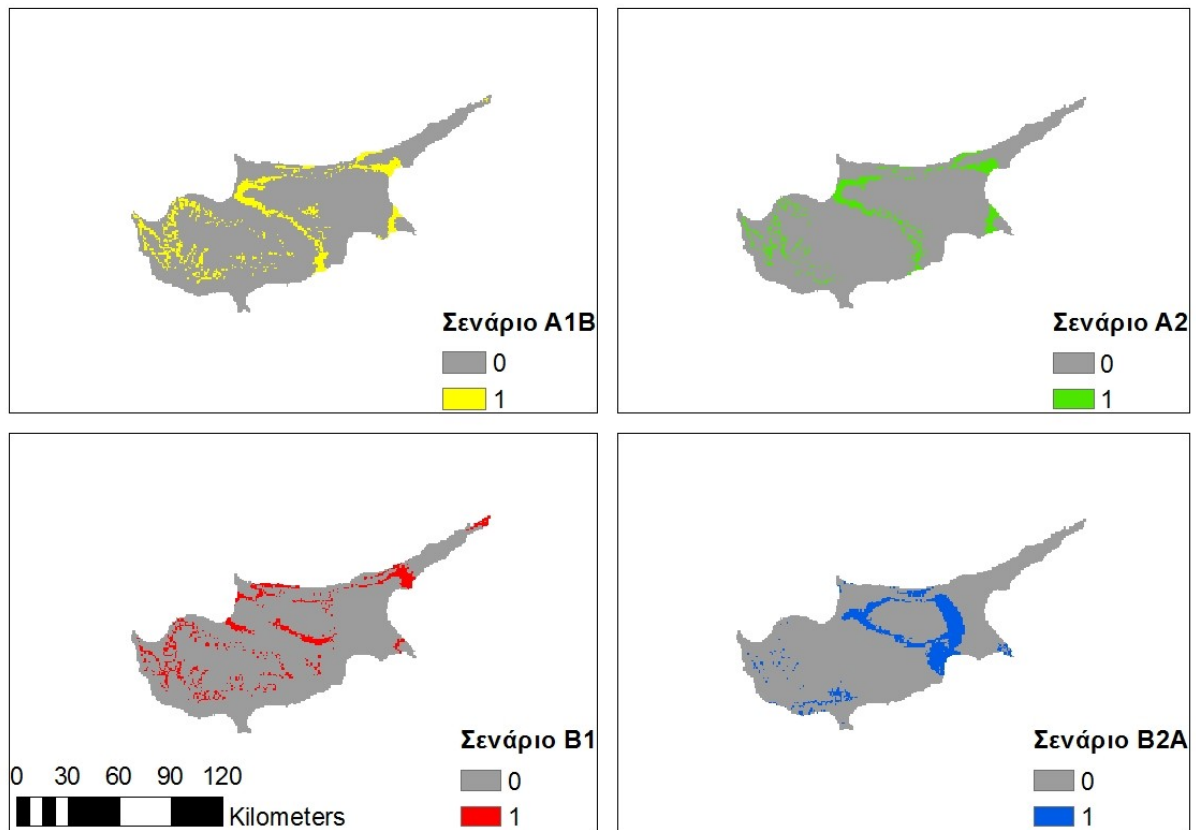
Εικόνα 4.25 Η καμπύλη ROC που δημιουργήθηκε από το Δέντρο Ταξινόμησης του *Ophrys kotschyi*.

Πίνακας 4.16 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ROC για το *Ophrys kotschyi*.

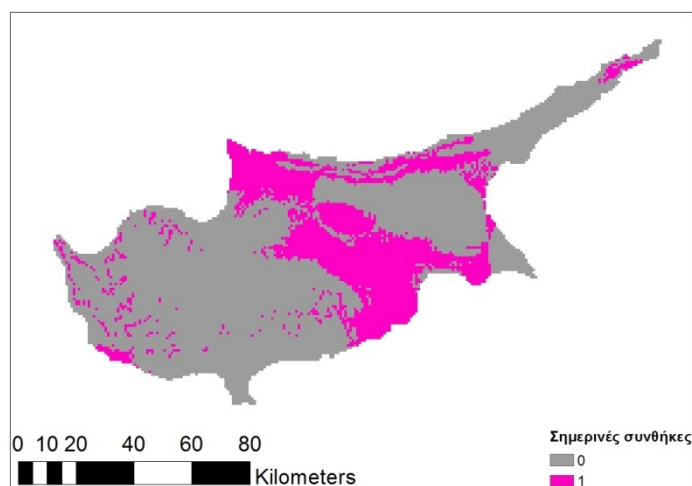
Area Under the Curve				
Test Result Variable(s): Predicted Value				
Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
.809	.027	.000	.756	.863

4.2.4 Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο

Η μελλοντική δυνητική κατανομή που προέκυψε με βάση το επιλεγμένο Δέντρο Ταξινόμησης για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής φαίνεται στην Εικόνα 4.26 και η σημερινή κατανομή στην Εικόνα 4.27. Ο αριθμός των κελιών που ανήκουν στη δυνητική κατανομή σε κάθε σενάριο και στις σημερινές συνθήκες φαίνεται στον Πίνακα 4.17.



Εικόνα 4.26 Η μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του *Ophiros kotschi*, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.

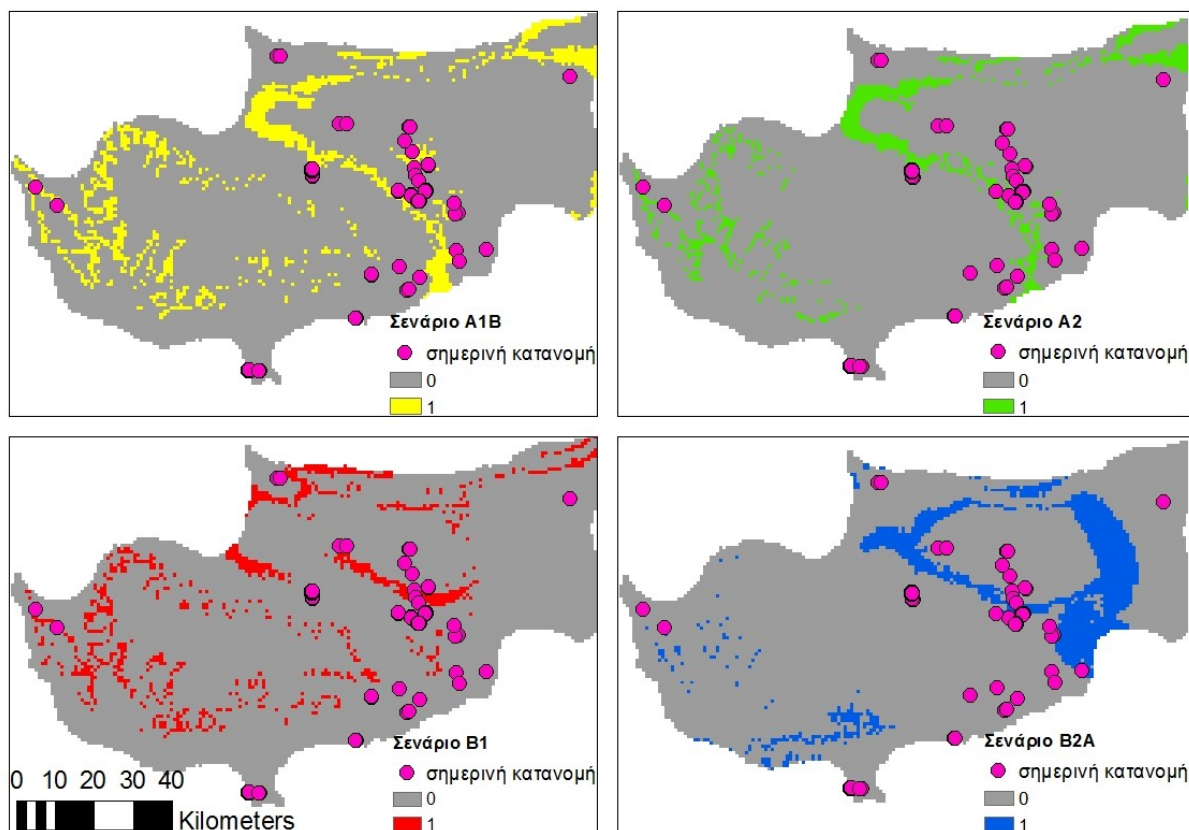


Εικόνα 4.27 Η σημερινή δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο του του *Ophrys kotschyi*.

Πίνακας 4.17 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* με βάση το βιοκλιματικό χώρο.

Σενάριο	Αριθμός κελιών
A1B	1494
A2	1147
B1	1201
B2A	1472
Σημερινές συνθήκες	3614

Στην Εικόνα 4.28 γίνεται σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με τη σημερινή πραγματική κατανομή του *Ophrys kotschyi* και στον Πίνακα 4.18 φαίνεται ο αριθμός των θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής, με βάση το βιοκλιματικό χώρο.



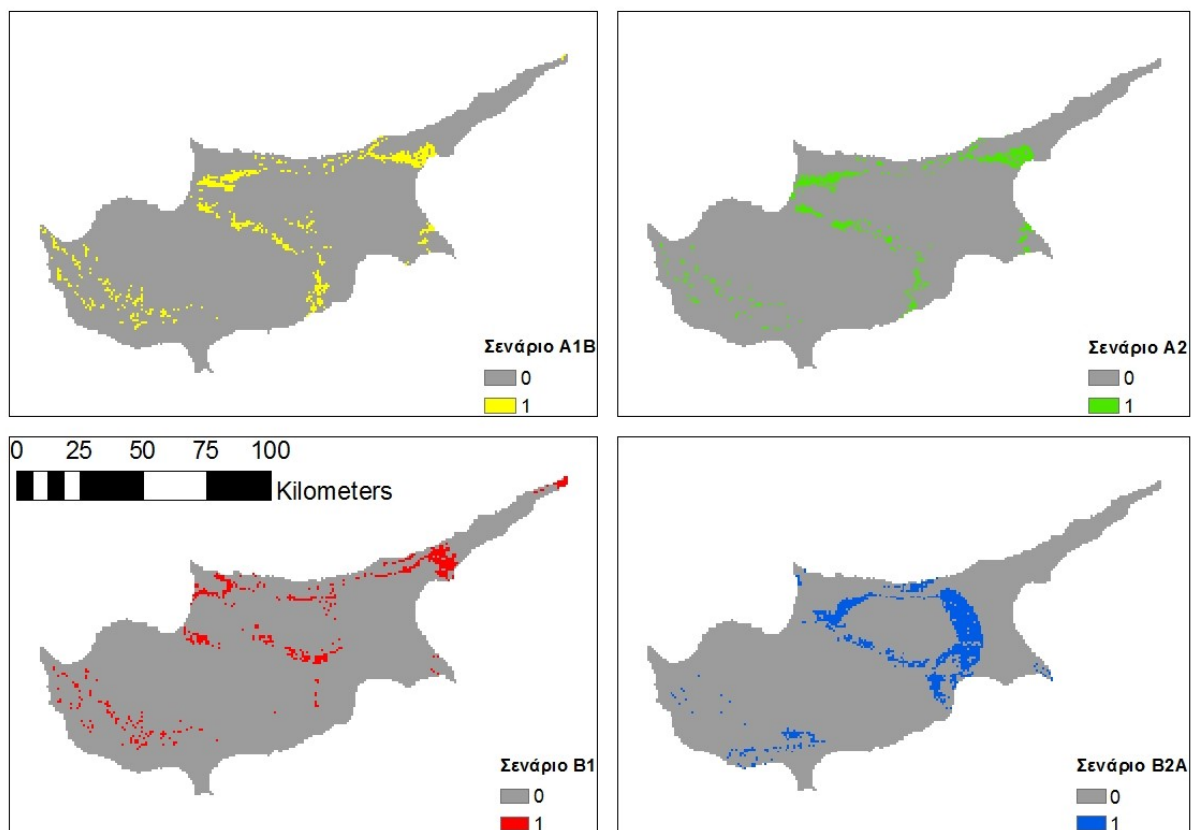
Εικόνα 4.28 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Ophrys kotschyi* με βάση το βιοκλιματικό χώρο με την πραγματική κατανομή του σήμερα.

Πίνακας 4.18 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο.

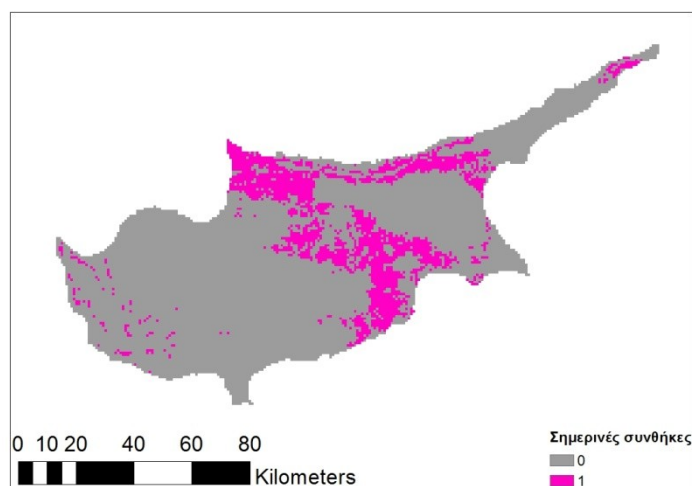
Σενάριο	Αριθμός θέσεων σημερινής κατανομής εκτός της μελλοντικής
A1B	105
A2	114
B1	109
B2A	111

4.2.5 Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή

Η μελλοντική δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi*, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή φαίνεται στην Εικόνα 4.29 και η σημερινή δυνητική κατανομή στην Εικόνα 4.30. Στον Πίνακα 4.19 φαίνεται ο αριθμός των κελιών που ανήκουν στη δυνητική κατανομή σε κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής και στις σημερινές συνθήκες.



Εικόνα 4.29 Η δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* το 2050 λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.

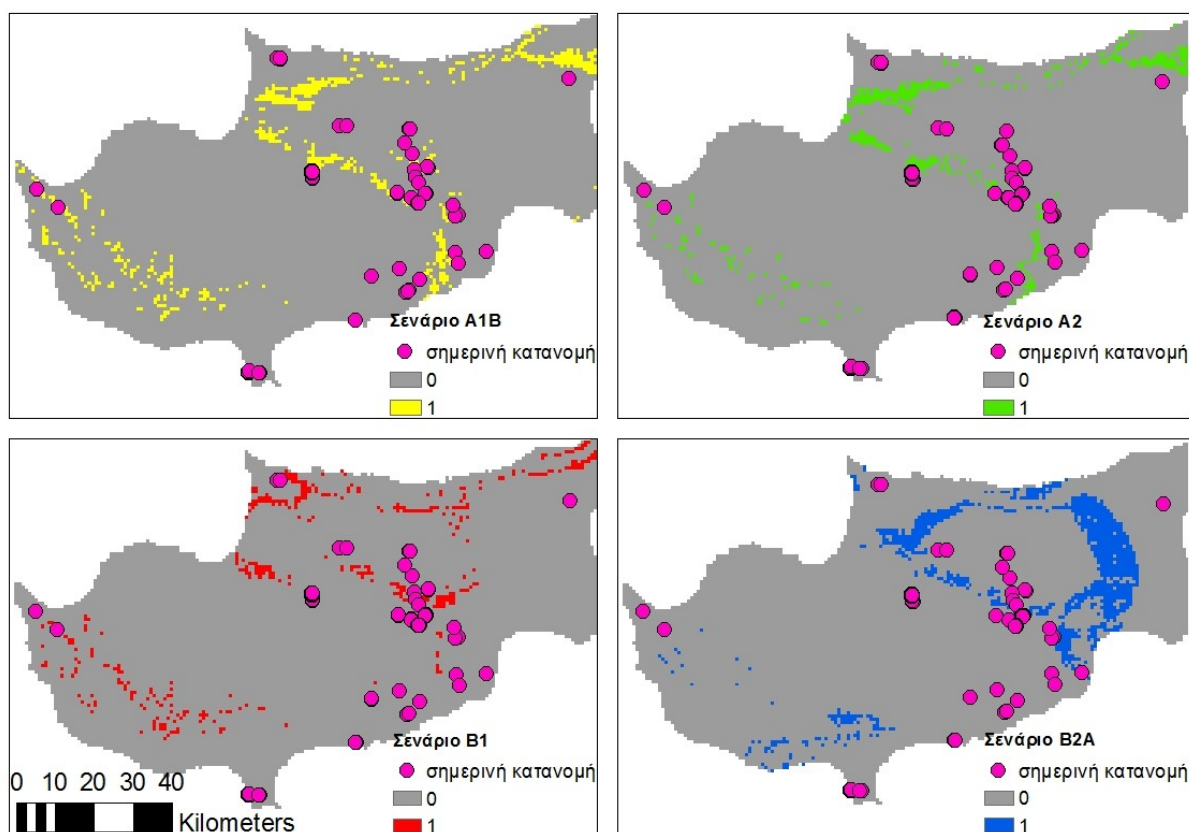


Εικόνα 4.30 Η σημερινή δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.

Πίνακας 4.19 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.

Σενάριο	Αριθμός κελιών
A1B	690
A2	580
B1	569
B2A	974
Σημερινές συνθήκες	2205

Στην Εικόνα 4.31 γίνεται σύγκριση της σημερινής πραγματικής κατανομής του *Ophrys kotschyi* με τη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα. Στον Πίνακα 4.20 φαίνεται ο αριθμός των θέσεων της σημερινής κατανομής που προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής.



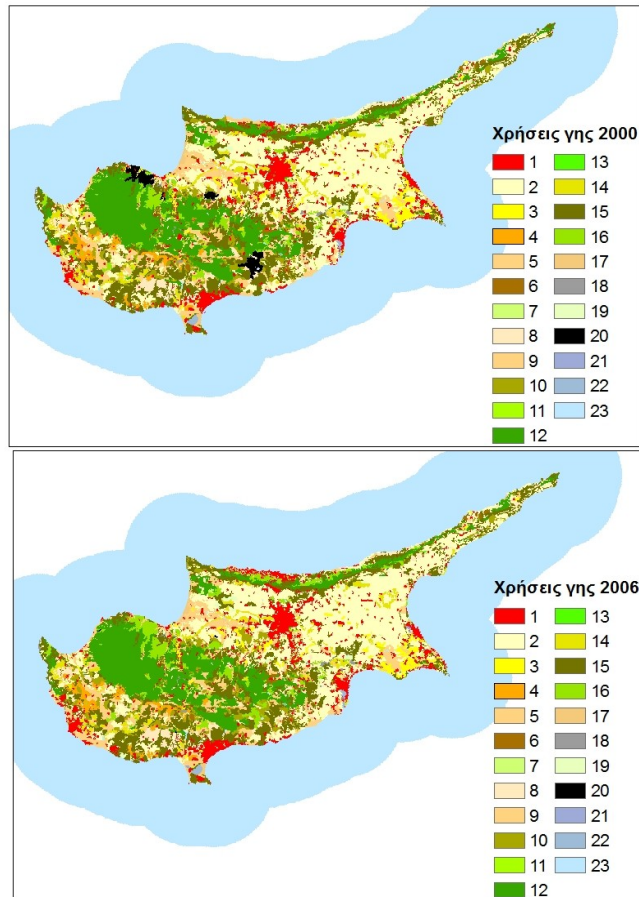
Εικόνα 4.31 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Ophrys kotschyi* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα με την πραγματική κατανομή του σήμερα.

Πίνακας 4.20 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.

Σενάριο	Αριθμός θέσεων σημερινής κατανομής εκτός της μελλοντικής
A1B	111
A2	116
B1	112
B2A	111

4.2.6 Μελλοντικές χρήσεις γης

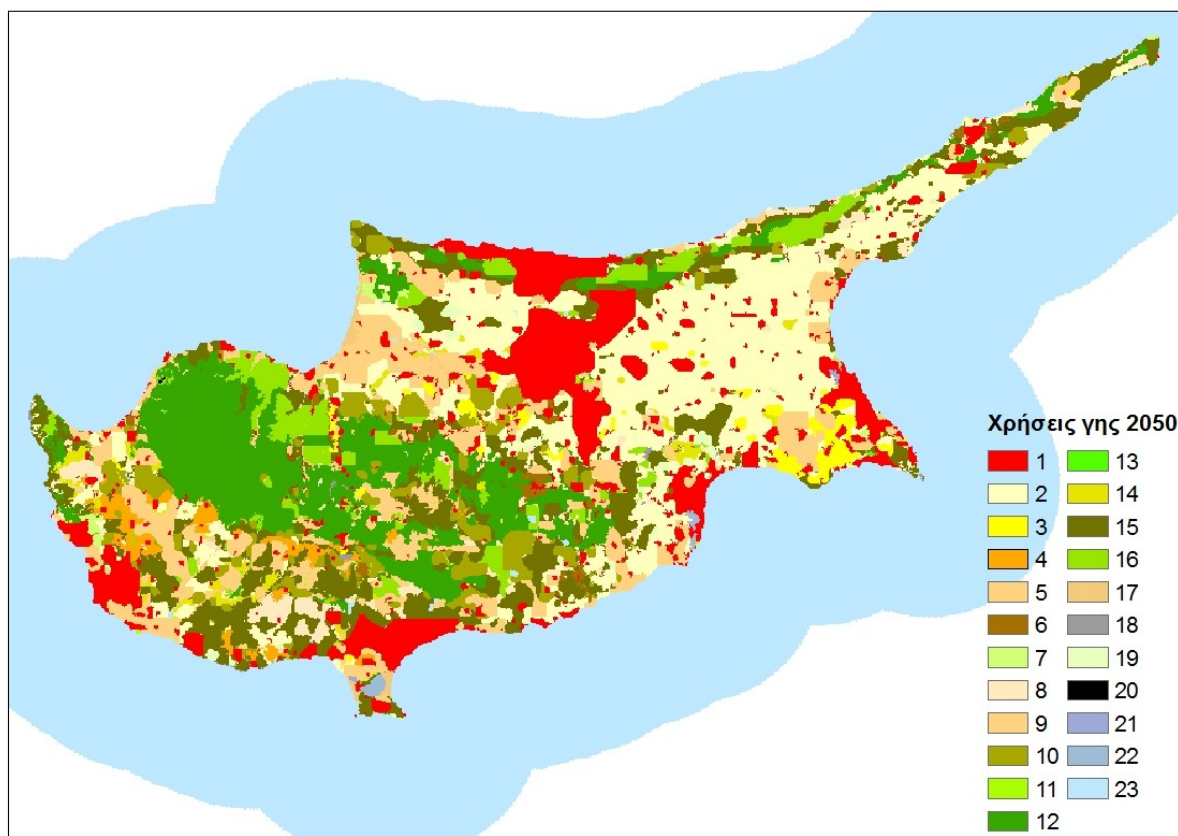
Στην Εικόνα 4.32 φαίνονται οι χάρτες CORINE 2000 και 2006 μετά την επαναταξινόμηση για χρήση στην εντολή MARKOV.



Εικόνα 4.32 Οι χάρτες CORINE 2000 και CORINE 2006 μετά την επαναταξινόμηση για το *Ophrys kotschy*

Ο χάρτης καταλληλότητας που χρησιμοποιήθηκε στην εντολή CA_MARKOV είναι ο ίδιος με αυτό που δημιουργήθηκε για το *Crocus cyprius* και φαίνεται στην Εικόνα 4.15.

Ο χάρτης μελλοντικών χρήσεων γης που προέκυψε από την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV φαίνεται στην Εικόνα 4.33.



Εικόνα 4.33 Οι προβλεπόμενες χρήσεις γης για το 2050, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της εντολής CA_MARKOV για το *Ophrys kotschyi*.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.21, οι μεγαλύτερες αλλαγές σε σχέση με το 2006 ως προς τον αριθμό κελιών παρατηρούνται στην κλάση 1, που αντιστοιχεί στις τεχνητές επιφάνειες. Σημαντική αύξηση παρουσιάζουν επίσης οι κλάσεις 9 (Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας), 10 (Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης) και 5 (Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς). Η κλάση 2, που αντιστοιχεί στη Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση, ενώ σημαντική μείωση παρουσιάζουν επίσης οι κλάσεις 15 (Σκληροφυλλική βλάστηση) και 14 (Φυσικοί βοσκότοποι).

Ως προς το ποσοστό της αλλαγής, τη μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάζουν η κλάση 7 (Λιβάδια) και η κλάση 1 (Τεχνητές επιφάνειες), ενώ τη μεγαλύτερη μείωση η κλάση 20 (Αποτεφρωμένες εκτάσεις), η κλάση 14 (Φυσικοί βοσκότοποι) και η κλάση 18 (Απογυμνωμένοι βράχοι). Οι μικρότερες αλλαγές προβλέπονται για τις κλάσεις 11 (Δάσος

πλατύφυλλων), 13 (Μικτό δάσος), 21 (Βάλτοι στην ενδοχώρα) και 22 (Παραθαλάσσιοι βάλτοι).

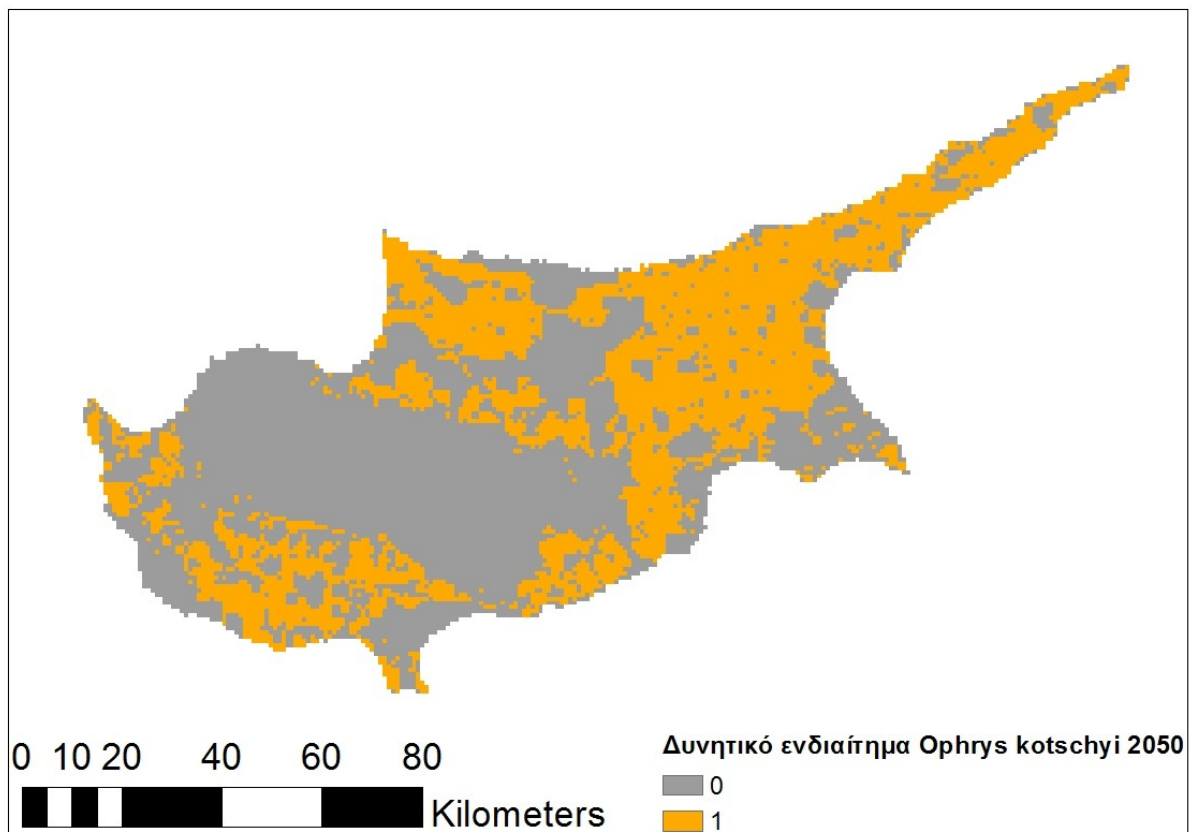
Πίνακας 4.21 Οι αλλαγές σε αριθμό κελιών και το ποσοστό αλλαγής κάθε κλάσης χρήσεων γης από το 2006 μέχρι το 2050 για το *Ophrys kotschyi*.

Κλάση	Χρήσεις γης 2006	Χρήσεις γης 2050	Αλλαγή	% Αλλαγής
1	12554	20968	8414	67.0
2	38109	31992	-6117	-16.1
3	3023	2715	-308	-10.2
4	2248	2336	88	3.9
5	2478	3578	1100	44.4
6	1004	1092	88	8.8
7	186	494	308	165.6
8	5127	3939	-1188	-23.2
9	11760	14796	3036	25.8
10	6715	8299	1584	23.6
11	119	119	0	0.0
12	24565	22673	-1892	-7.7
13	57	57	0	0.0
14	4516	1744	-2772	-61.4
15	25252	22392	-2860	-11.3
16	6315	7136	821	13.0
17	815	727	-88	-10.8
18	408	188	-220	-53.9
19	1899	1503	-396	-20.9
20	39	11	-28	-71.8
21	81	81	0	0.0
22	312	312	0	0.0
23	290209	290737	528	0.2

Με πράσινο φαίνονται οι κλάσεις με τη μεγαλύτερη αύξηση, με κίτρινο οι κλάσεις με τη μεγαλύτερη μείωση και με γκρίζο οι κλάσεις με τις μικρότερες αλλαγές.

4.2.7 Μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα

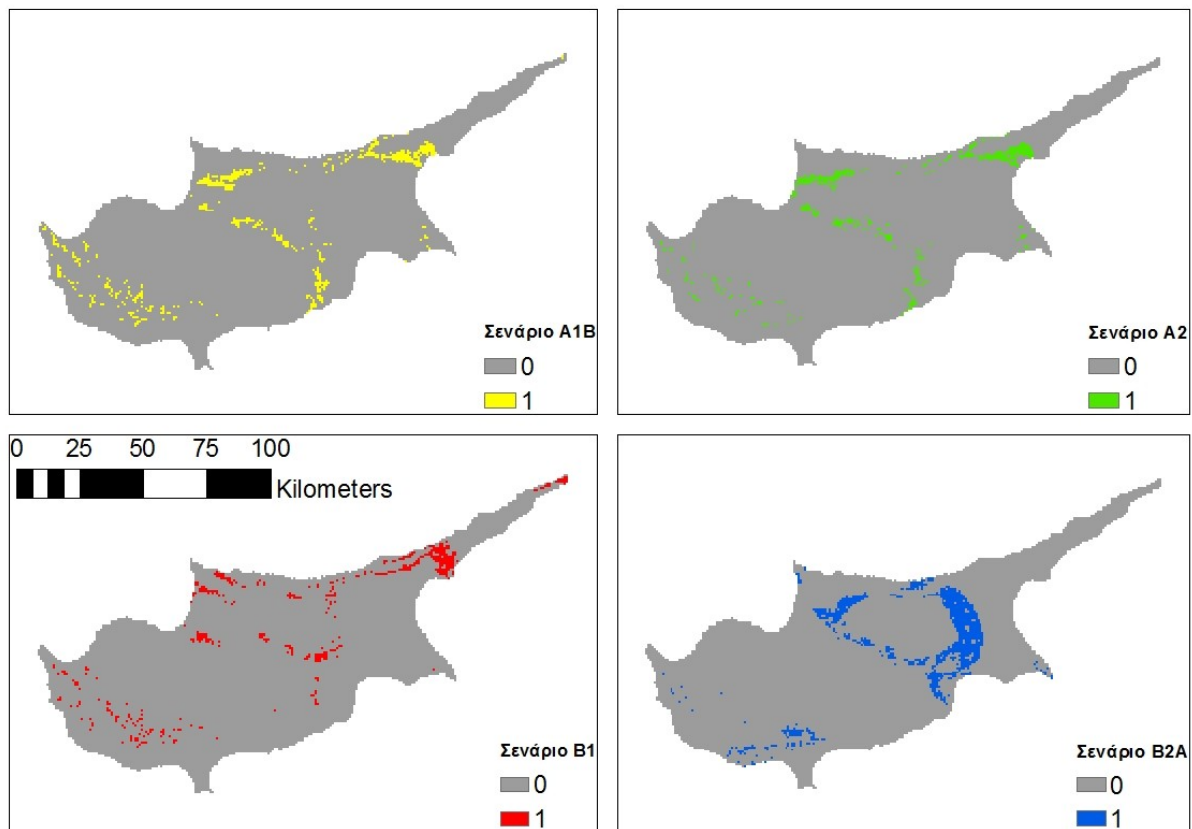
Το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα για το *Ophrys kotschy* παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.34. Αποτελείται από 5430 κελιά χωρικής ανάλυσης 0,844 Km * 0,844 Km, δηλαδή παρουσιάζει μείωση κατά 928 κελιά ή 658.9 Km σε σχέση με το σημερινό δυνητικό ενδιαίτημα. Η έκταση αυτή αντιστοιχεί σε μείωση κατά 14.6% από το 2006 μέχρι το 2050.



Εικόνα 4.34 Χάρτης του δυνητικού ενδιαίτηματος του *Ophrys kotschy* το 2050.

4.2.8 Μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα, λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης

Η μελλοντική δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης φαίνεται στο χάρτη της Εικόνας 4.35. Στον Πίνακα 4.22 φαίνεται ο αριθμός των κελιών που ανήκουν στη δυνητική κατανομή σε κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής.

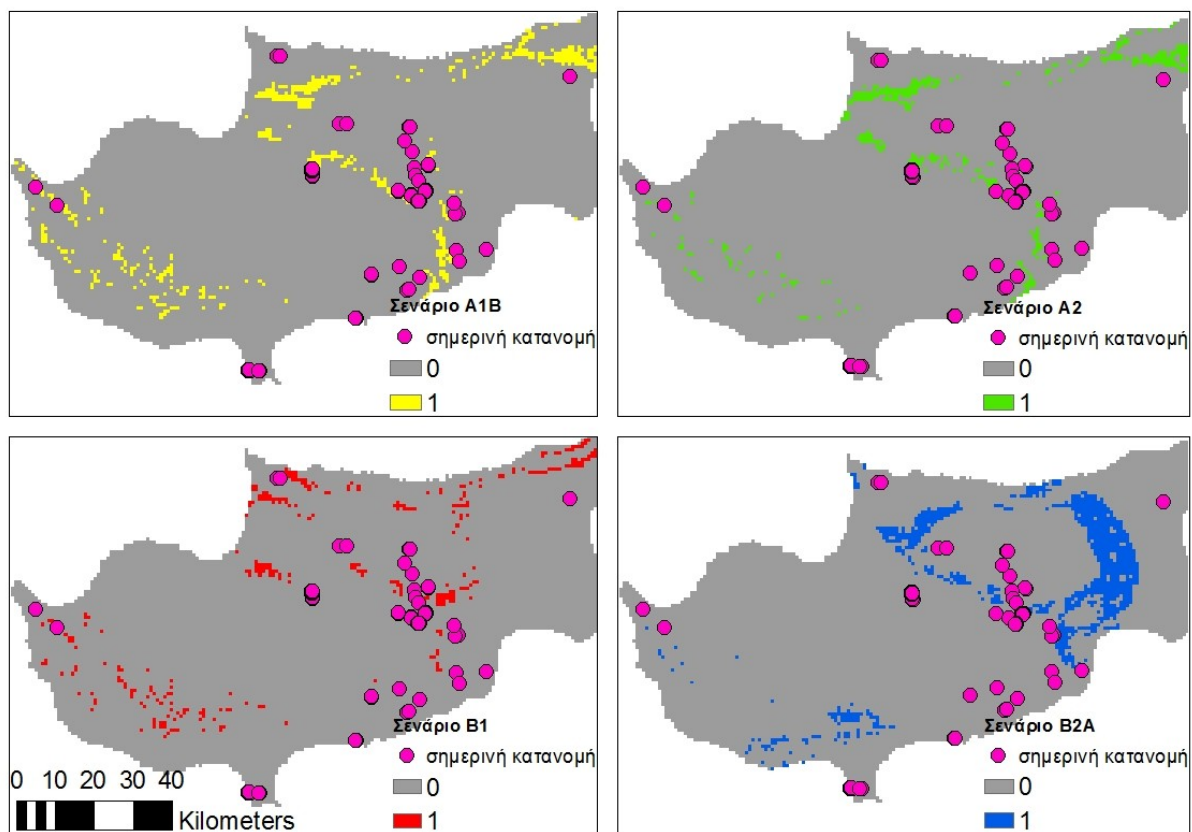


Εικόνα 4.35 Η δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* το 2050 λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A και την αλλαγή χρήσεων γης.

Πίνακας 4.22 Αριθμός κελιών που ανήκουν στη μελλοντική δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschy* με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το κατάλληλο ενδιαίτημα.

Σενάριο	Αριθμός κελιών
A1B	573
A2	479
B1	477
B2A	906

Στην Εικόνα 4.36 γίνεται σύγκριση της σημερινής πραγματικής κατανομής του *Ophrys kotschy* με τη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα. Στον Πίνακα 4.23 φαίνεται ο αριθμός των θέσεων της σημερινής κατανομής που προβλέπεται να είναι εκτός της μελλοντικής.



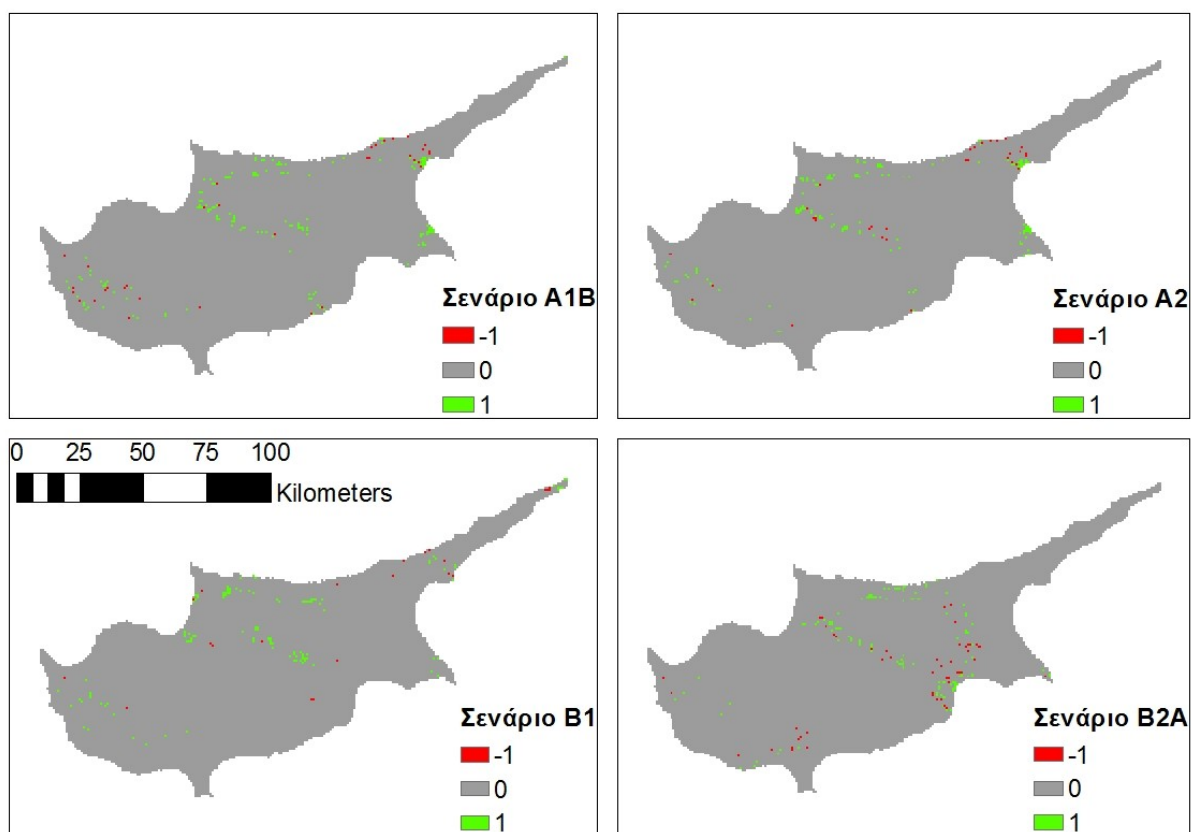
Εικόνα 4.36 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Ophrys kotschy* λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης με την πραγματική κατανομή του σήμερα.

Πίνακας 4.23 Αριθμός θέσεων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το μελλοντικό δυνητικό ενδιαίτημα.

Σενάριο	Αριθμός θέσεων σημερινής κατανομής εκτός της μελλοντικής
A1B	115
A2	116
B1	117
B2A	116

4.2.9 Σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή και με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης

Στην Εικόνα 4.37 φαίνεται ο χάρτης που προέκυψε από την αφαίρεση των δύο κατανομών, για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής. Η τιμή 0 αντιπροσωπεύει τα κελιά που είναι ίδια και στους δύο χάρτες. Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει τα κελιά που ανήκουν μόνο στη δυνητική κατανομή με βάση την κλιματική αλλαγή, άρα δείχνουν μείωση της δυνητικής κατανομής με συμπερίληψη των αλλαγών χρήσεων γης. Η τιμή -1 αντιπροσωπεύει τα κελιά που ανήκουν μόνο στη δυνητική κατανομή με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης, άρα δείχνουν αύξηση της κατανομής με συμπερίληψη των αλλαγών χρήσεων γης. Ο αριθμός των κελιών που παίρνουν τις τιμές 0, -1 και 1 φαίνεται στον Πίνακα 4.24.



Εικόνα 4.37 Χάρτες που δημιουργήθηκαν από την αφαίρεση του χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής του *Ophrys kotschyi* με βάση την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης από το χάρτη μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα σενάρια A1B, A2, B1 και B2A.

Πίνακας 4.24 Αριθμός κελιών που παίρνουν τις τιμές 0, -1 και 1 για το *Ophrys kotschyi*

Σενάριο	Τιμή 0	Τιμή -1	Τιμή 1
A1B	12278	34	151
A2	12436	33	134
B1	12467	22	114
B2A	12437	49	117

5 Συζήτηση – Συμπεράσματα – Εισηγήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανασκόπηση και συζήτηση των ευρημάτων της μεταπτυχιακής διατριβής σε σχέση με τους στόχους που τέθηκαν, καθώς και σύντομη σύγκριση με παρόμοιες μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας. Στη συνέχεια γίνεται κριτική αξιολόγηση της μεθοδολογίας και των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και αναφέρονται οι κυριότεροι περιορισμοί που προέκυψαν από την εφαρμογή τους. Τέλος, συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγονται από τα αποτελέσματα της διατριβής και αναφέρονται εισηγήσεις για μελλοντική έρευνα.

5.1 Συζήτηση

5.1.1 Συζήτηση σε σχέση με τους στόχους

Στόχος 1: Δημιουργία στατιστικού βιοκλιματικού μοντέλου που να καθορίζει το βιοκλιματικό χώρο των υπό μελέτη ειδών

Η χρήση Δέντρων Ταξινόμησης για τη μοντελοποίηση της κατανομής των *Crocus cyprius* και *Ophrys kotschy* με βιοκλιματικές μεταβλητές πρόβλεψης είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αξιόπιστων μοντέλων και για τα δύο είδη, με βάση τα δύο κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν (k και AUC). Στις περισσότερες μελέτες από τη διεθνή βιβλιογραφία, μοντέλα με τιμές AUC πάνω από 0,7 και k πάνω από 0,4 θεωρείται ότι δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα (Araújo, et al., 2011; Sadeghi, et al., 2012). Στην περίπτωση του *Crocus cyprius* το k ήταν 0.719 και η AUC 0.859 και στην περίπτωση του *Ophrys kotschy* το k ήταν 0.619 και η AUC 0.809. Η ικανότητα πρόβλεψης των μοντέλων χαρακτηρίζεται ως «σημαντική» σύμφωνα με το Cohen's Kappa και ως «καλή» σύμφωνα με την AUC της καμπύλης ROC.

Για το *Crocus cyprius*, η δυνητική κατανομή μπορεί να προβλεφθεί με μόνο τρεις βιοκλιματικές μεταβλητές που αφορούν τη μέση θερμοκρασία του πιο υγρού τριμήνου, τη

μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα και την εποχικότητα της βροχόπτωσης. Σύμφωνα με το μοντέλο, το είδος προτιμά περιοχές που συνδυάζουν:

α) χαμηλή μέση θερμοκρασία στους υγρούς μήνες (κάτω από 3,92 °C), χωρίς ακραίες ψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι (κάτω από 25,68 °C) ή

β) ψηλή μέση θερμοκρασία του υγρότερου τριμήνου (πάνω από 3,92°C) αλλά χαμηλή διακύμανση της βροχόπτωσης (κάτω από 92%).

Οι συνθήκες αυτές είναι λογικές, αφού είναι γνωστό ότι το είδος σήμερα εμφανίζεται μόνο στις ορεινές περιοχές του Τροόδου, άρα είναι προσαρμοσμένο σε χαμηλές θερμοκρασίες και δε μπορεί να επιβιώσει στις ακραίες ψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στο υπόλοιπο νησί το καλοκαίρι. Επιπλέον, οι περιοχές που εμφανίζουν χαμηλή διακύμανση βροχόπτωσης στην Κύπρο είναι μόνο οι ορεινές, αφού στα χαμηλά υψόμετρα υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ χειμερινής και καλοκαιρινής βροχόπτωσης (Meteorological Service, 2006-2013). Γενικά, οι συνθήκες που περιγράφει το μοντέλο αντιπροσωπεύουν ένα είδος προσαρμοσμένο σε χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλή διακύμανση βροχόπτωσης.

Για το *Ophrys kotschyi*, η δυνητική κατανομή προβλέπεται από πέντε βιοκλιματικές μεταβλητές, οι οποίες αφορούν τη βροχόπτωση του πιο υγρού μήνα, τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου, την ισοθεμικότητα, τη βροχόπτωση του ψυχρότερου τριμήνου και την ετήσια βροχόπτωση. Σύμφωνα με το μοντέλο η βροχόπτωση είναι σημαντικότερη για την κατανομή του είδους σε σχέση με τη θερμοκρασία. Το είδος προτιμά περιοχές που συνδυάζουν:

α) χαμηλή βροχόπτωση στους υγρούς μήνες (κάτω από 110,5 mm), χαμηλή μέση θερμοκρασία το καλοκαίρι (κάτω από 26,65 °C) και χαμηλότερη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας σε σχέση με την ετήσια διακύμανση (ισοθεμικότητα κάτω από 42,5%) ή

β) χαμηλή βροχόπτωση στους υγρούς μήνες (κάτω από 110,5 mm), ψηλή θερμοκρασία το καλοκαίρι (πάνω από 26,65 °C) και χαμηλές αλλά όχι ακραία χαμηλές τιμές βροχόπτωσης το χειμώνα (μεταξύ 172,5 και 183,5 mm) ή

γ) πολύ ψηλή βροχόπτωση στους υγρούς μήνες (πάνω από 142,5 mm) αλλά χαμηλή συνολικά σε όλο το έτος (κάτω από 622,5 mm).

Οι συνθήκες αυτές είναι επίσης λογικές. Το είδος είναι προσαρμοσμένο σε χαμηλές βροχοπτώσεις ή σε πολύ ψηλές βροχοπτώσεις μόνο το χειμώνα και χαμηλές τον υπόλοιπο

χρόνο. Η δεύτερη περίπτωση μπορεί να αναφέρεται σε περιοχές με συχνές καταιγίδες το χειμώνα αλλά χαμηλή βροχόπτωση γενικότερα. Ωστόσο, το είδος δε μπορεί να επιβιώσει σε πολύ ψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες, ή αν υπάρχουν ψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, το είδος μπορεί να επιβιώσει μόνο αν η βροχόπτωση δεν παίρνει ακραία χαμηλές τιμές. Γενικά, οι συνθήκες που περιγράφει το μοντέλο αντιπροσωπεύουν ένα είδος προσαρμοσμένο σε χαμηλές βροχοπτώσεις και σχετικά ψηλές θερμοκρασίες, αλλά όχι σε ξηρικές συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές αντιπροσωπεύουν τις ημιορεινές περιοχές και την κεντρική πεδιάδα της Κύπρου, όπου όντως εμφανίζεται το είδος σήμερα.

Στόχος 2: Πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών με βάση το βιοκλιματικό χώρο

Η μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο τόσο του *Crocus cyprius* όσο και του *Ophrys kotschyi* διαφέρει ανάλογα με το σενάριο εκπομπών που χρησιμοποιείται. Για το *Crocus cyprius*, η μεγαλύτερη προβλεπόμενη κατανομή προκύπτει σύμφωνα με το σενάριο B2A, ακολουθούν τα A2 και B1, ενώ η μικρότερη δυνητική κατανομή προβλέπεται από το σενάριο A1B. Στα σενάρια A1B και B1 η μελλοντική δυνητική κατανομή είναι μικρότερη από τη σημερινή και περιορίζεται στα ψηλότερα ορεινά και σε τμήμα της πεδιάδας της Μεσαορίας. Συγκεκριμένα, στο σενάριο A1B εξαφανίζεται περίπου το 90% της σημερινής δυνητικής κατανομής και στο B1 το 42%. Αντίθετα, στα σενάρια A2 και B2A προβλέπεται αύξηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής σε σχέση με σήμερα, σε ποσοστά σχεδόν 40% στο B2A και 8% στο A2, με επέκτασή της προς τα νοτιοανατολικά στο σενάριο A2 και προς τα δυτικά στο B2A.

Οι διαφορές που παρατηρούνται στα διαφορετικά σενάρια οφείλονται στις αλλαγές των τιμών των βιοκλιματικών παραμέτρων που καθορίζουν την κατανομή του είδους (Πίνακας 5.1). Σε όλα τα σενάρια προβλέπεται αύξηση σε σχέση με σήμερα στη μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα και στην εποχικότητα της βροχόπτωσης, αλλά στα σενάρια A1B και B1 προβλέπεται η μεγαλύτερη αύξηση. Παράλληλα, η εποχικότητα της βροχόπτωσης προβλέπεται να αυξηθεί στα σενάρια A1B και B1, ενώ στα A2 και B2A προβλέπεται να παραμείνει στα ίδια επίπεδα με σήμερα.

Πίνακας 5.1 Προβλεπόμενες τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών που καθορίζουν την κατανομή του *Crocus cyprius* (WorldClim, 2013)

	Μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα (°C)	Μέση θερμοκρασία πιο υγρού τριμήνου (°C)	Εποχικότητα βροχόπτωσης (%)
Σημερινές συνθήκες	24,1-36,5	1,3-13,5	77-103
A1B	27,3-39,9	3,1-15,3	88-109
A2	26,9-39,4	2,9-15,1	77-105
B1	27,2-39,7	2,7-14,9	82-108
B2A	26,3-38,9	2,9-15,9	75-103

Σε όλα τα σενάρια, ωστόσο, προβλέπεται εξαφάνιση της κεντρικής περιοχής εμφάνισης του κρόκου στα ψηλότερα ορεινά του Τροόδους, με αποτέλεσμα την εξαφάνιση πολλών από τις σημερινές θέσεις εμφάνισής του. Η εξαφάνιση της περιοχής αυτής οφείλεται στην αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα, η οποία σε όλα τα σενάρια υπερβαίνει τους 25,68 °C, που είναι το ανώτερο όριο για εμφάνιση του είδους σύμφωνα με το Δέντρο Ταξινόμησης.

Συνεπώς, η αύξηση της έκτασης της προβλεπόμενης δυνητικής κατανομής δε σημαίνει ότι δεν υπάρχει μετακίνηση ή εξαφάνιση του είδους από τις σημερινές του θέσεις. Η αλλαγή γίνεται εμφανής όταν γίνει σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με τη σημερινή πραγματική κατανομή του είδους. Παρόλο που το σενάριο A1B προβλέπει τη μικρότερη δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο, οι περισσότερες από τις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται σήμερα το είδος δεν επηρεάζονται και άρα δε συνεπάγεται σημαντική μετακίνηση ή εξαφάνισή του. Αντίθετα στο σενάριο B1, παρόλο που η δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο προβλέπεται να είναι μεγαλύτερη από αυτή του A1B, οι περισσότερες από τις θέσεις όπου εμφανίζεται σήμερα το είδος δεν περιλαμβάνονται σε αυτή, συνεπώς το είδος θα πρέπει να μετακινηθεί ή θα εξαφανιστεί από τις περιοχές αυτές.

Για το *Ophrys kotschyi* η μεγαλύτερη κατανομή προβλέπεται από το σενάριο A1B, ακολουθούν τα B2A και B1, ενώ η μικρότερη δυνητική κατανομή προβλέπεται από το σενάριο A2. Σε όλες τις περιπτώσεις η μελλοντική κατανομή είναι σημαντικά μικρότερη από τη σημερινή, με εξαφάνιση από το 59% της σημερινής δυνητικής κατανομής στο σενάριο A1B μέχρι και το 68% στο A2. Παράλληλα, προβλέπεται μετακίνηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής σε σχέση με σήμερα, κυρίως στα σενάρια B1 και B2A, καθώς και

διάσπαση της δυνητικής κατανομής σε μικρά κομμάτια, κυρίως στα σενάρια A1B, A2 και B1.

Η μείωση της προβλεπόμενης κατανομής σε όλα τα σενάρια οφείλεται στις αλλαγές των βιοκλιματικών παραμέτρων που καθορίζουν την κατανομή του *O. kotschy* (Πίνακας 5.2). Η μείωση της βροχόπτωσης του πιο υγρού μήνα, σε συνδυασμό με την αύξηση στη μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου και τη μείωση στη βροχόπτωση του ψυχρότερου τριμήνου σε όλα τα σενάρια, είναι υπεύθυνες για τη μείωση στη δυνητική κατανομή του είδους, που προτιμά μεν χαμηλές βροχοπτώσεις και ψηλές θερμοκρασίες, αλλά δε μπορεί να επιβιώσει σε εξαιρετικά χαμηλές τιμές βροχόπτωσης. Στο σενάριο A2, που είναι το πιο απαισιόδοξο για το είδος, προβλέπεται η μεγαλύτερη μείωση στη βροχόπτωση του πιο υγρού μήνα, που αποτελεί τη σημαντικότερη μεταβλητή πρόβλεψης της κατανομής του είδους, σύμφωνα με το Δέντρο Ταξινόμησης.

Πίνακας 5.2 Προβλεπόμενες τιμές των βιοκλιματικών μεταβλητών που καθορίζουν την κατανομή του *Ophrys kotschy* στην Κύπρο (WorldClim, 2013)

	Ισοθερμικότητα (%)	Μέση θερμοκρασία θερμότερου τριμήνου (°C)	Βροχόπτωση πιο υγρού μήνα (mm)	Βροχόπτωση ψυχρότερου τριμήνου (mm)	Ετήσια βροχόπτωση (mm)
Σημερινές συνθήκες	29 - 46	18,1 - 27,2	69 - 234	152 - 622	326 - 1018
A1B	27 - 43	21,5 - 30,6	61 - 226	136 - 608	272 - 961
A2	28 - 44	20,8 - 29,9	47 - 213	132 - 581	260 - 947
B1	29 - 45	20,9 - 29,9	63 - 226	126 - 597	272 - 961
B2A	28 - 44	20,6 - 29,8	58 - 197	137 - 528	284 - 893

Η μείωση, η μετακίνηση και ο κατακερματισμός της δυνητικής κατανομής του *Ophrys* φαίνεται ότι θα έχουν καταστροφικές επιπτώσεις για το είδος, αφού η συντριπτική πλειοψηφία των θέσεων όπου εμφανίζεται σήμερα δεν περιλαμβάνονται στη μελλοντική δυνητική κατανομή σε κανένα από τα τέσσερα σενάρια.

Στόχος 3: Πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής των ειδών με βάση τόσο το βιοκλιματικό χώρο, όσο και το υφιστάμενο δυνητικό ενδιαίτημα

Η μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο και το δυνητικό ενδιαίτημα είναι πολύ μικρότερη από τη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση μόνο το βιοκλιματικό χώρο και για τα δύο είδη. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού σε αυτή την περίπτωση η δυνητική κατανομή περιορίζεται τόσο από τις ακατάλληλες κλιματικές συνθήκες, όσο και από τον ακατάλληλο τύπο εδαφών, χρήσεων γης και το υψόμετρο. Ωστόσο, για το *Crocus cyprius* η αλλαγή αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με το *Ophrys kotschyi*. Στο *Crocus cyprius* η δυνητική κατανομή μειώνεται μέχρι και 120 φορές όταν ληφθεί υπόψη εκτός του βιοκλιματικού χώρου και το σημερινό δυνητικό ενδιαίτημα, ενώ το *Ophrys kotschyi*, η δυνητική κατανομή υφίσταται μόνο μέχρι 2 φορές μείωση.

Η διαφορά αυτή οφείλεται στη μεγαλύτερη εξειδίκευση του κρόκου ως προς το δυνητικό ενδιαίτημα σε σχέση με το *Ophrys*. Στην περίπτωση του κρόκου η δυνητική κατανομή περιορίζεται μόνο στην περιοχή του Τροόδους σε όλα τα σενάρια, αφού το υψόμετρο, ο τύπος των εδαφών και οι χρήσεις γης δεν επιτρέπουν την εξάπλωσή του σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή. Στην περίπτωση του *Ophrys*, η δυνητική κατανομή μειώνεται κυρίως στα βορειοδυτικά, εξαιτίας της παρουσίας ακατάλληλου τύπου εδαφών.

Για το *Crocus cyprius*, η επιλογή διαφορετικού σεναρίου έχει την ίδια επίδραση με αυτή που είχε στη μελλοντική δυνητική κατανομή με βάση το βιοκλιματικό χώρο. Πιο αισιόδοξα ως προς την έκταση είναι τα σενάρια B2A και A2 και πιο απαισιόδοξα τα B1 και A1B, όμως σε αυτή την περίπτωση μόνο το σενάριο B2A προβλέπει δυνητική κατανομή μεγαλύτερη από τη σημερινή. Επιπρόσθετα, όταν ληφθεί υπόψη η υφιστάμενη πραγματική κατανομή του είδους, οι προβλέψεις αντιστρέφονται. Το A1B είναι το πιο αισιόδοξο σενάριο, προβλέποντας εξαφάνιση των 34 από τις 102 θέσεις όπου εμφανίζεται σήμερα το είδος, ενώ το σενάριο B1 είναι το πιο απαισιόδοξο, προβλέποντας εξαφάνιση των 68 από τις 102 θέσεις που εμφανίζεται σήμερα το είδος.

Για το *Ophrys kotschyi*, πιο αισιόδοξο σενάριο από άποψη έκτασης της δυνητικής κατανομής σε αυτή την περίπτωση είναι το B2A, με τα A1B, A2 και B1 να ακολουθούν. Η αλλαγή στη σειρά των μοντέλων σε σχέση με αυτή που προβλέπεται με βάση μόνο το βιοκλιματικό χώρο παρατηρείται γιατί ένα μεγάλο μέρος της δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο σύμφωνα με τα σενάρια A1B και B1 είναι εκτός του σημερινού δυνητικού ενδιαίτηματος, άρα αφαιρείται όταν αυτό ληφθεί υπόψη. Αντίθετα, η δυνητική κατανομή

σύμφωνα με τα B2A και A2 είναι εντός του σημερινού δυνητικού ενδιαίτηματος, άρα παραμένει και στις δύο περιπτώσεις.

Σε όλα τα σενάρια η δυνητική κατανομή είναι μικρότερη από τη σημερινή, σε ποσοστά από 59% στο σενάριο B2A μέχρι και 74% στο B1. Όταν γίνει σύγκριση με τη σημερινή πραγματική κατανομή, ο αριθμός των σημερινών θέσεων του είδους που είναι εκτός μελλοντικής δυνητικής κατανομής σε όλα τα σενάρια αυξάνεται σε σχέση με τη δυνητική κατανομή με βάση μόνο το βιοκλιματικό χώρο.

Στόχος 4: Διερεύνηση της ύπαρξης συνέργειας μεταξύ αλλαγής χρήσεων γης και κλιματικής αλλαγής στη μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών

Για τη διερεύνηση της συνέργειας μεταξύ κλιματικής αλλαγής και αλλαγής χρήσεων γης ακολουθήθηκαν τρία βήματα. Αρχικά έπρεπε να γίνει πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης. Στη συνέχεια βρέθηκε το δυνητικό ενδιαίτημα με βάση τις νέες χρήσεις γης και τέλος έγινε σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής όταν ληφθεί υπόψη η αλλαγή των χρήσεων γης και όταν αυτή δε ληφθεί υπόψη.

Οι κυριότερες αλλαγές στις χρήσεις γης από το 2006 στο 2050, όπως προβλέφθηκαν και για τα δύο είδη, συνοψίζονται ως ακολούθως:

1. Σημαντική αύξηση στις τεχνητές επιφάνειες
2. Μείωση στη Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη, στη Σκληροφυλλική βλάστηση και στους Φυσικούς βοσκότοπους.
3. Καμιά αλλαγή στα Δάση πλατύφυλλων και Μικτά δάση.

Το δυνητικό ενδιαίτημα για το *Crocus cyprius* παρουσιάζει πολύ μικρή μείωση (3,8%), ενώ για το *Ophrys kotschyi* η μείωση είναι σημαντικότερη (14.6%).

Η σύγκριση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή και λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης για το *Crocus cyprius* δείχνει ότι η συμπερίληψη της αλλαγής των χρήσεων γης δεν επιφέρει σημαντική αλλαγή στη μελλοντική δυνητική κατανομή. Στο σενάριο B2A, που εμφανίζει τις μεγαλύτερες διαφορές, όταν ληφθεί υπόψη η αλλαγή χρήσεων γης παρουσιάζεται ταυτόχρονα μείωση της δυνητικής κατανομής κατά 20 κελιά (14,2 Km) και αύξηση κατά 12

κελιά (8,5 Km). Δηλαδή, η μελλοντική δυνητική κατανομή που υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή και την αλλαγή χρήσεων γης είναι συνολικά κατά 3,8% μικρότερη σε σχέση με τη μελλοντική δυνητική κατανομή που υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή. Στα υπόλοιπα σενάρια οι διαφορές είναι μικρότερες, με καμιά καθαρή διαφορά στα σενάρια A1B και B1 και μείωση κατά 1,9% στο σενάριο A2. Η συμπερίληψη της αλλαγής των χρήσεων γης δεν επιφέρει αλλαγή στη σειρά αισιοδοξίας των σεναρίων.

Σε όλα τα σενάρια εμφανίζεται μικρή αύξηση των σημείων της σημερινής πραγματικής κατανομής που είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική και την αλλαγή χρήσεων γης, σε σχέση με τη δυνητική κατανομή λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κλιματική αλλαγή.

Οι διαφορές μεταξύ των δύο κατανομών για το *Ophrys kotschyi* είναι σημαντικότερες σε σχέση με το *Crocus cypricus* και είναι παρόμοιες σε όλα τα σενάρια εκπομπών. Αφορούν μείωση της δυνητικής κατανομής όταν ληφθεί υπόψη η αλλαγή χρήσεων γης, που κυμαίνεται από 16,2% στο σενάριο B1 μέχρι 17,0% στο A1B. Η μείωση δεν εστιάζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή αλλά είναι διάσπαρτη σε όλη την έκταση της δυνητικής κατανομής. Η συμπερίληψη της αλλαγής των χρήσεων γης δεν επιφέρει αλλαγή στη σειρά των σεναρίων, με πιο αισιόδοξο να είναι το σενάριο B2A και πιο απαισιόδοξο το B1.

Επιπλέον, όταν ληφθεί υπόψη η αλλαγή χρήσεων γης, σχεδόν όλες οι θέσεις όπου εμφανίζεται σήμερα το είδος δεν περιλαμβάνονται στη μελλοντική δυνητική κατανομή, με εξαφάνιση όλων των θέσεων στο σενάριο B1 και με μια ή δύο θέσεις να παραμένουν στα υπόλοιπα σενάρια.

Ο διαφορετικός ρόλος που παίζει η αλλαγή των χρήσεων γης στα δύο είδη οφείλεται στις διαφορετικές απαιτήσεις τους ως προς τις χρήσεις γης. Για το *Crocus cypricus* οι κατάλληλες χρήσεις γης αποτελούνται μόνο από Δάση κωνοφόρων, τα οποία εξαιτίας της παρουσίας τους κυρίως σε περιοχές Natura και σε κρατική γη, δεν αναμένεται να υποστούν σημαντική μείωση στο μέλλον. Αντίθετα, για το *Ophrys kotschyi* οι κατάλληλες χρήσεις γης αποτελούνται από 10 διαφορετικές κλάσεις, οι κυριότερες από τις οποίες (Μη αρδευσιμη-αρδύσιμη γη, Σκληροφυλλική βλάστηση, Φυσικοί βοσκότοποι) αναμένεται να υποστούν τη σημαντικότερη μείωση μέχρι το 2050.

Ένα ακόμα θέμα που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι τα δύο μελετώμενα είδη είναι απειλούμενα. Στην περίπτωση του κρόκου, το κριτήριο κατάταξης του στα εύρωτα είδη ήταν η μικρή έκταση κατάληψης (Area of Occurancy, AOO), κάτω από 20 Km², ενώ οι κυριότερες απειλές που αντιμετωπίζει είναι ανθρωπογενείς αλλά ελεγχόμενες (Tsintides, et al., 2007). Η μείωση της δυνητικής κατανομής του είδους που προβλέπεται από το μοντέλο εξαιτίας κυρίως της κλιματικής πιθανό να οδηγήσει σε περεταίρω μείωση της έκτασης κατάληψής του, με δυσμενείς επιπτώσεις στην κατάσταση διατήρησής του.

Στην περίπτωση του *O. kotschyi*, κριτήριο κατάταξης στα εύρωτα είδη ήταν ο μικρός αριθμός ώριμων ατόμων στο μεγαλύτερο υποπληθυσμό (<1000) (Tsintides, et al., 2007). Οι κυριότερες ανθρωπογενείς απειλές που αναφέρονται αφορούν αλλαγές χρήσεων γης (τουριστική και οικιστική ανάπτυξη, κατασκευή δρόμων, εκχερσώσεις) ενώ επιπλέον απειλή αποτελεί η αδυναμία εγγενούς αναπαραγωγής. Το μοντέλο προβλέπει σημαντική μείωση της δυνητικής κατανομής του είδους, τόσο λόγω της κλιματικής αλλαγής αλλά και εξαιτίας της αλλαγής χρήσεων γης, που αναγνωρίζεται ήδη ως σημαντική απειλή.

5.1.2 Σύγκριση με παρόμοιες μελέτες

Κατά την περίοδο συγγραφής της διατριβής δεν εντοπίστηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία μελέτες που να αφορούν μοντελοποίηση της κατανομής ειδών που να ανήκουν στα ίδια γένη με τα είδη μελέτης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της διατριβής συμφωνούν με άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Μεσογείου. Συγκεκριμένα, οι Esteve-Selma, et al. (2012), προβλέπουν αύξηση ή μείωση της δυνητικής κατανομής του δέντρου *Tetraclinis articulata* στη Νοτιοανατολική Ισπανία, ανάλογα με το σενάριο εκπομπών που λαμβάνεται υπόψη. Στην περίπτωση του *T. articulata*, η δυνητική κατανομή αυξάνεται στο σενάριο B2 και περιορίζεται σημαντικά στο σενάριο A2. Επιπλέον, οι χρήσεις γης που βρίσκονται εντός δυνητικής κατανομής στο σενάριο B2 είναι κατάλληλες για το είδος, ενώ στο σενάριο A2 η δυνητική κατανομή περιλαμβάνει πολύ μικρή περιοχή κατάλληλων χρήσεων γης. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αποτελέσματα της διατριβής στην περίπτωση του κρόκου, όπου προβλέπεται επίσης αύξηση της δυνητικής κατανομής στο σενάριο B2A και μείωση στο A2, αλλά δε συμφωνούν με αυτά του *O. kotschyi*, για το οποίο προβλέπεται μείωση της δυνητικής κατανομής σε όλα τα σενάρια. Παράλληλα, τα αποτελέσματα συμφωνούν με αυτά των Vennetier & Ripert (2009), οι οποίοι προβλέπουν εξαφάνιση των

περισσότερων δασικών περιοχών με μεγάλη αφθονία ειδών μέχρι το 2050 με χρήση βιοκλιματικής μοντελοποίησης στη Νοτιοανατολική Γαλλία.

Ο προβλεπόμενος περιορισμός της δυνητικής κατανομής του κρόκου σε ψηλότερα υψόμετρα συμφωνεί με τις προβλέψεις των Parmesan (2006), Thuiller, et al. (2005) και Ogawa-Onishi, et al. (2010), ενώ η αλληλεπίδραση της κλιματικής αλλαγής και της αλλαγής των χρήσεων γης στην επιδείνωση των προβλέψεων για το *Ophrys kotschyi* είναι σε συμφωνία με τις προβλέψεις των Pearson, et al. (2004), Jetz, et al., (2007), Bomhard, et al. (2005) και Chazal & Rounsevell (2009).

5.2 Περιορισμοί

5.2.1 Περιορισμοί εξαιτίας των δεδομένων

Οι κυριότεροι περιορισμοί που προέκυψαν εξαιτίας των δεδομένων που ήταν διαθέσιμα για τη διεξαγωγή της μεταπτυχιακής διατριβής συνοψίζονται πιο κάτω.

Καταρχήν, τα διαθέσιμα δεδομένα κατανομής των ειδών ήταν σε διαφορετική κλίμακα από τα διαθέσιμα βιοκλιματικά δεδομένα. Το πρόβλημα αυτό είναι συχνό σε μοντέλα πρόβλεψης της μελλοντικής κατανομής ειδών με βάση σενάρια κλιματικής αλλαγής, αφού τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα που δημιουργούνται από μοντέλα GCMs, συνήθως είναι διαθέσιμα σε πολύ πιο χαμηλή ανάλυση από τα δεδομένα κατανομής των ειδών (Guisan & Thuiller, 2005; Sinclair, et al., 2010). Στην περίπτωση αυτή, η διαφορετική ανάλυση δεδομένων κατανομής και βιοκλιματικών δεδομένων οδήγησε σε μείωση του αριθμού των θεωρητικών σημείων παρουσίας σε σχέση με τα πραγματικά, αφού πολλά από τα πραγματικά σημεία παρουσίας βρίσκονταν σε μικρότερη απόσταση από την ανάλυση των βιοκλιματικών δεδομένων και άρα θεωρούνταν ως ένα σημείο. Έτσι, από τα 102 πραγματικά σημεία παρουσίας δημιουργήθηκαν μόνο 11 θεωρητικά σημεία παρουσίας για το *Crocus cyprius* και από τα 117 πραγματικά σημεία παρουσίας δημιουργήθηκαν μόνο 27 θεωρητικά σημεία παρουσίας για το *Ophrys kotschyi*.

Ως αποτέλεσμα, το μέγεθος του δείγματος μειώθηκε σημαντικά. Το μέγεθος του δείγματος επηρεάζει τη μέθοδο μοντελοποίησης που θα επιλεγεί αλλά και την ικανότητα πρόβλεψης του μοντέλου (Heikkinen, et al., 2006). Γενικά, όσο περισσότερα δεδομένα είναι διαθέσιμα τόσο πιο ισχυρό είναι το μοντέλο, με τα μοντέλα με κάτω από εκατό σημεία δεδομένων να

είναι τα λιγότερο ισχυρά (Heikkinen, et al., 2006). Ωστόσο, πολύ μεγάλοι αριθμοί δεδομένων μπορεί να προκαλέσουν μείωση των τιμών σημαντικότητας (p-value), με αποτέλεσμα ανεξάρτητες μεταβλητές που συνεισφέρουν λίγο στη διακύμανση της ανεξάρτητης θεωρούνται σημαντικές (Heikkinen, et al., 2006). Συνολικά, τα μοντέλα δημιουργήθηκαν με 235 σημεία παρουσίας και απουσίας για το *Crocus cyprius* και με 6272 σημεία για το *Ophrys kotschyi*. οπότε το μέγεθος του δείγματος είναι ικανοποιητικό και στις δύο περιπτώσεις εξαιτίας της προσθήκης των τεχνητών δεδομένων απουσίας.

Η διαδικασία δειγματοληψίας των δεδομένων κατανομής των ειδών περιγράφεται επακριβώς στο Κόκκινο Βιβλίο της Χλωρίδας της Κύπρου (Tsintides, et al., 2007). Ωστόσο, πολλές φορές, τα δεδομένα κατανομής μπορεί να παρουσιάζουν συστηματικά σφάλματα εξαιτίας του τρόπου που έγινε η δειγματοληψία. Για παράδειγμα, συχνά σχετίζονται με την παρουσία δρόμων, ποταμών ή άλλων μέσων πρόσβασης καθώς και μεταξύ τους (Phillips, et al., 2006). Ακόμα, μπορεί η ένταση και οι μέθοδοι δειγματοληψίας να διαφέρουν κατά μήκος της περιοχής μελέτης (Phillips, et al., 2006). Αν το δείγμα είναι μη αντιπροσωπευτικό, τότε κατάλληλες περιοχές μπορεί να παραληφθούν ή να μην αναγνωριστούν, με αποτέλεσμα να γίνει υποεκτίμηση του εύρους του είδους (Sinclair, et al., 2010).

Επιπρόσθετα, μια πιθανή πηγή αβεβαιότητας είναι η απουσία πλήρους χρονικής αντιστοιχίας μεταξύ των βιοκλιματικών παραμέτρων και των δεδομένων κατανομής των ειδών. Τα δεδομένα κατανομής συλλέχθηκαν μεταξύ του 2003 και 2007 (Tsintides, et al., 2007), ενώ τα βιοκλιματικά δεδομένα αφορούν την περίοδο 1950 με 2000 (Hijmans, et al., 2005).

Μια επιπλέον πιθανή επιπλοκή αφορά την ποιότητα των βιοκλιματικών δεδομένων του Worldclim, τα οποία περιορίζονται από τη συχνότητα των κλιματικών δεδομένων και τις τεχνικές παρεμβολής που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία συνεχών κλιματικών επιφανειών (Guisan & Thuiller, 2005).

Επίσης, τα μελλοντικά βιοκλιματικά δεδομένα αποτελούν σημαντική πηγή αβεβαιότητας, τόσο εξαιτίας του υποβιβασμού κλίμακας που εφαρμόστηκε, όσο και γιατί είναι αδύνατο να προβλεφθεί με ακρίβεια το μελλοντικό κλίμα. Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας που προκύπτει εξαιτίας των διαφορετικών προβλέψεων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης από τα διαφορετικά σενάρια και κλιματικά μοντέλα, οι περισσότεροι ερευνητές προτείνουν τη χρήση πάνω από ενός σεναρίου και πάνω από ενός κλιματικού μοντέλου στη βιοκλιματική μοντελοποίηση (Beaumont, et al., 2007; Diniz-Filho, et al., 2009). Στην παρούσα διατριβή, για να μειωθεί η αβεβαιότητα εξαιτίας των μελλοντικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν

τέσσερα διαφορετικά σενάρια εκπομπών από ένα κλιματικό μοντέλο, αφού θεωρήθηκε ότι η χρήση περισσότερων κλιματικών μοντέλων θα περιέπλεκε τα αποτελέσματα και την ερμηνεία τους.

Τα δεδομένα χρήσεων γης CORINE, παρόλο που είναι εύκολα προσβάσιμα και σε σχετικά καλή ανάλυση για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, έχουν υποστεί σημαντική κριτική ως προς την ποιότητά τους (Jiménez-Valverde, et al., 2008). Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν σφάλματα στην ταξινόμηση των κλάσεων, δηλαδή ένα κελί μπορεί να παρουσιάζεται ότι ανήκει σε μια κλάση, ενώ ανήκει στην πραγματικότητα σε άλλη (Jiménez-Valverde, et al., 2008). Προβλήματα παρουσιάζονται επίσης γιατί κάποιες από τις κλάσεις που αναφέρονται στη λεζάντα είναι στην ουσία οι ίδιες ή δε μπορούν να διαχωριστούν στη δεδομένη κλίμακα (Jiménez-Valverde, et al., 2008). Εξαιτίας των προβλημάτων αυτών στα δεδομένα χρήσεων γης, κάποια από τα πραγματικά σημεία παρουσίας των ειδών εμφανίζονταν εκτός των κατάλληλων για τα είδη χρήσεων γης. Ως αποτέλεσμα, τα σημεία αυτά προσμετρήθηκαν στο μοντέλο ως απουσίες αντί για παρουσίες, με εξαίρεση 2 σημεία της κατανομής του *Crocus cyrius* που προστέθηκαν εκ των υστέρων στο μοντέλο. Η καταγραφή σημείων παρουσίας ως σημεία απουσίας οδηγεί το μοντέλο σε υποεκτίμηση της δυνητικής κατανομής των ειδών, αφού θεωρεί τις βιοκλιματικές συνθήκες στα σημεία αυτά ως ακατάλληλες, ενώ είναι στην πραγματικότητα κατάλληλες.

5.2.2 Περιορισμοί από τη μεθοδολογία

Η επιλεγμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε με στόχο να προβλέψει τη μελλοντική κατανομή των ειδών με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια με τα διαθέσιμα μέσα και δεδομένα. Ωστόσο, βασίστηκε σε αρκετές παραδοχές και απλοποιήσεις, που συνεισφέρουν στη συνολική αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων.

Καταρχήν, η μεθοδολογία βασίστηκε στις παραδοχές που διέπουν τα περισσότερα μοντέλα κατανομής ειδών. Θεωρείται ότι το μοντέλο ποσοτικοποιεί την πραγματοποιούμενη οικόθεση, καθώς και ότι τα μελετώμενα είδη βρίσκονται σε ισορροπία με το περιβάλλον. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Austin (2002), ένα στατιστικό μοντέλο μπορεί να μην αντιπροσωπεύει την πραγματοποιούμενη οικόθεση, αλλά ένα κράμα της πραγματοποιούμενης οικόθεσης και περιοχών – δεξαμενών. Στις περιπτώσεις όπου το είδος παρουσιάζεται σε περιοχές εκτός της πραγματοποιούμενης οικόθεσης, το μοντέλο

υπερεκτιμά το εύρος του, αφού θεωρεί τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις περιοχές αυτές κατάλληλες, ενώ όταν το είδος αποκλείεται από κατάλληλες περιοχές εξαιτίας περιορισμένης διασποράς το μοντέλο υποεκτιμά το εύρος του, αφού θεωρεί τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις περιοχές αυτές ακατάλληλες (Sinclair, et al., 2010).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κάποια από τα πραγματικά σημεία παρουσίας των ειδών εμφανίζονταν εκτός των κατάλληλων χρήσεων γης και άρα εκτός του δυνητικού ενδιαίτηματος των ειδών. Είναι πιθανό αυτό να οφείλεται είτε σε σφάλματα στα δεδομένα χρήσεων γης, είτε στην παρουσία των ειδών σε περιοχές εκτός της πραγματοποιούμενης οικόθεσής τους. Ωστόσο, αφού τα σημεία αυτά δε χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση, αποφεύχθηκε η υπερεκτίμηση της δυνητικής κατανομής των ειδών.

Επίσης, το μοντέλο αγνοεί τις βιοτικές αλληλεπιδράσεις και θεωρεί ότι αυτές ενυπάρχουν στο μοντέλο και δεν αλλάζουν στον προβαλλόμενο χρόνο, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση της δυνητικής κατανομής των ειδών (Sinclair, et al., 2010; Guisan & Thuiller, 2005). Επιπλέον, η διασπορά των ειδών θεωρείται πλήρης, γεγονός που δεν ισχύει για κανένα από τα μελετώμενα είδη και οδηγεί σε υπερεκτίμηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής τους. Το μοντέλο αγνοεί επιπλέον τις εξελικτικές και φαινοτυπικές αλλαγές που μπορεί να προκύψουν στα είδη στην περίοδο προβολής του μοντέλου, με αποτέλεσμα πιθανή υποεκτίμηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής.

Μια άλλη πιθανή επιπλοκή είναι ότι το μοντέλο δημιουργήθηκε από τους συνδυασμούς βιοκλιματικών συνθηκών που υφίστανται σήμερα στη φύση, δηλαδή από το πραγματοποιούμενο περιβάλλον. Ωστόσο, όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν, είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν νέοι συνδυασμοί βιοκλιματικών παραμέτρων οι οποίοι είναι εκτός των δεδομένων εκπαίδευσης του μοντέλου. Ως αποτέλεσμα, η κατανομή του είδους μπορεί να υπο- ή υπέρ- εκτιμάται ανάλογα με τον αλγόριθμο μοντελοποίησης (Sinclair, et al., 2010).

Θεωρείται ότι η δυνητική κατανομή που προβλέπεται από το μοντέλο αποτελεί τη γεωγραφική περιοχή που ικανοποιεί μια ή περισσότερες συνιστώσες της θεμελιώδους οικόθεσης. Ωστόσο, η πραγματική δυνητική κατανομή των ειδών περιλαμβάνει τις γεωγραφικές περιοχές που ικανοποιούν ολόκληρη τη θεμελιώδη οικόθεση, δηλαδή το συνολικό εύρος των περιβαλλοντικών συνθηκών που επιτρέπει τη μακροπρόθεσμη επιβίωση ενός είδους (Phillips, et al., 2006). Ως αποτέλεσμα, η πραγματική μελλοντική δυνητική κατανομή πιθανό να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη, ανάλογα με το

μελλοντικό εύρος των παραγόντων που δε λήφθηκαν υπόψη. Η απλοποίηση αυτή ήταν απαραίτητη, αφού ήταν αδύνατο να περιληφθούν όλοι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την κατανομή των ειδών. Δεδομένου όμως ότι το κλίμα αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που επηρεάζει την κατανομή των ειδών (Sykes, 2009), η προβλεπόμενη κατανομή αναμένεται να είναι πολύ κοντά στην πραγματική.

Τα μελετώμενα είδη είναι απειλούμενα και έχουν καταταχθεί στα εύρωτα (Tsintides, et al., 2007). Σύμφωνα με τους Engler, et al. (2004), η προβλεπτική μοντελοποίηση δεν είχε ευρεία εφαρμογή σε επαιλούμενα και σπάνια είδη, παρόλα τα πιθανά οφέλη στη διατήρησή τους. Αίτια του μικρού αριθμού εφαρμογών αποτελούν ο μικρός αριθμός θέσεων παρουσίας, που δεν επιτρέπει τη χρήση στατιστικής μοντελοποίησης, η απουσία χωρικής ακρίβειας των δεδομένων και κυρίως η απουσία δεδομένων απουσίας των ειδών. Μια σημαντική πηγή αβεβαιότητας στην παρούσα διατριβή ήταν η δημιουργία τεχνητών σημείων απουσίας ή «ψευδο-απουσιών», αφού δεν ήταν διαθέσιμα πραγματικά δεδομένα απουσιών.

Τα σημεία δημιουργήθηκαν από όλο το δυνητικό ενδιαίτημα των ειδών. Με αυτό τον τρόπο συμπεριλήφθηκε στο μοντέλο όλο το εύρος των συνθηκών που είναι διαθέσιμο στα είδη (Phillips, et al., 2009). Υπάρχουν διάφοροι άλλοι τρόποι δημιουργίας ψευδών δεδομένων απουσίας, κάθε μια από τις οποίες διαθέτει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν τυχαία από όλη την περιοχή μελέτης ή από περιοχές με παρόμοιες συνθήκες με αυτές των παρουσιών, από περιοχές εκτός του περιβαλλοντικού τομέα που είναι ευνοϊκός για τα είδη ή από δεδομένα κατανομής άλλων ειδών με παρόμοιες απαιτήσεις με τα είδη μελέτης. Σύμφωνα με τους Barbet-Massin, et al. (2012) και τους Lobo & Tognelli (2011), στην περίπτωση των μεθόδων μηχανικής μάθησης, ο τρόπος δημιουργίας των ψευδών-απουσιών δεν έχει μεγάλη σημασία, αν και είναι καλύτερη η απόκλιση των σημείων που βρίσκονται γεωγραφικά πολύ κοντά στις παρουσίες, όταν τα δεδομένα απουσίας είναι λίγα. Σύμφωνα με τους Mateo, et al. (2010) και Phillips, et al. (2009) τα μοντέλα που δημιουργούνται με απουσίες σε σημεία όπου άλλα παρόμοια είδη έχουν καταγραφεί είναι καλύτερα από αυτά που δημιουργούνται με τυχαίες ψευδών-απουσίες. Τέλος, οι Lobo & Tognelli (2011) και Thuiller et al. (2004), προτείνουν τη συμπερίληψη μεγάλου μέρους των περιβαλλοντικών συνδυασμών όπου τα είδη είτε εμφανίζονται είτε όχι, αφού ο περιορισμός των απουσιών μόνο στην περιοχή εμφάνισης του είδους και όχι πέραν αυτής μειώνει τη δυνατότητα εφαρμογής του μοντέλου για πρόβλεψη.

Η δημιουργία των θεωρητικών σημείων παρουσίας και απουσίας είναι σε μεγάλο βαθμό απλουστευμένη και αποτελεί πιθανή πηγή σφάλματος για το μοντέλο. Θεωρούνται ως παρουσίες μόνο τα κέντρα των κελιών μέσα στο οποίο έχει καταγραφεί τουλάχιστον μια πραγματική παρουσία και ως απουσίες τα κέντρα όλων των υπόλοιπων κελιών του δυνητικού ενδιαφέροντος. Η μέθοδος αυτή όχι μόνο μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον αριθμό των θεωρητικών σημείων παρουσίας σε σχέση με την πραγματική κατανομή, αλλά επιπλέον μειώνει σημαντικά την αναλογία σημείων παρουσίας/ απουσίας, αφού τα σημεία απουσίας είναι πολύ περισσότερα από τα σημεία παρουσίας. Ως αποτέλεσμα χρειάστηκε να γίνει στάθμιση των δεδομένων, ώστε το συνολικό βάρος των απουσιών να ισούται με αυτό των παρουσιών.

Ο μεγάλος αριθμός απουσιών σε σχέση με τις παρουσίες θεωρείται θετικός στη μοντελοποίηση (Barbet-Massin, et al., 2012; Lobo & Tognelli, 2011), αφού αυξάνει το μέγεθος του δείγματος. Οι Lobo & Tognelli (2011) προτείνουν την επιλογή 100 φορές περισσότερων απουσιών σε σχέσεις με τις παρουσίες. Σύμφωνα με τους Barbet-Massin et al. (2012), στα Δέντρα Ταξινόμησης η προβλεπτική ακρίβεια είναι καλύτερη όταν τα σημεία παρουσίας ισούνται με τα σημεία απουσίας, ωστόσο όταν αυτό δε συμβαίνει τότε η ποιότητα πρόβλεψης είναι καλύτερη όταν τα δεδομένα σταθμίζονται ώστε το συνολικό βάρος των παρουσιών να ισούται με το συνολικό βάρος των απουσιών. Σύμφωνα με τους ίδιους, όταν χρησιμοποιούνται μέθοδοι παλινδρόμησης είναι καλύτερη η τυχαία επιλογή μεγάλου αριθμού ψευδό-απουσιών και η στάθμιση παρουσιών-απουσιών σε επικράτηση 0,5. Αντίθετα, για μεθόδους μηχανικής μάθησης είναι καλύτερη η τυχαία αλλά γεωγραφικά και περιβαλλοντικά στρωματοποιημένη επιλογή ίδιου αριθμού ψευδό-απουσιών με αυτό των διαθέσιμων παρουσιών και η χρήση του μέσου όρου πολλών δοκιμών (Barbet-Massin, et al., 2012).

Μια επιπρόσθετη πηγή σφαλμάτων προκύπτει κατά την επεξεργασία των δεδομένων ώστε να είναι σε ίδια χωρική ανάλυση και προβολικό σύστημα, καθώς και κατά τη μετατροπή από ένα τύπο αρχείου σε άλλο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικά λογισμικά (ArcGIS, Idrisi).

Έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση διαφορετικών μεθόδων μοντελοποίησης αποφέρει διαφορετικά αποτελέσματα, ακόμα και αν οι εξαρτημένες και ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι ίδιες (Araujo & Guisan, 2006; Thuiller, et al., 2003; Brotons, et al., 2004; Elith, et al., 2006; Pearson, et al., 2006; Segurado & Araujo, 2004). Αυτό

διαπιστώθηκε και στην παρούσα διατριβή, αφού η επιλογή διαφορετικής μεθόδου ανάπτυξης του μοντέλου ή ακόμα και διαφορετικών κριτηρίων ή μεθόδου επικύρωσης με την ίδια μέθοδο ανάπτυξης έδινε διαφορετικά αποτελέσματα.

Ως εκ τούτου, αρκετοί ερευνητές προτείνουν τη χρήση ενός εύρους τεχνικών μοντελοποίησης ή ακόμα και διαφορετικών εφαρμογών της ίδιας τεχνικής ώστε να μειωθεί και να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα της πρόβλεψης (Araujo & Guisan, 2006; Pearson, et al., 2006). Η χρήση διαφορετικών τεχνικών μπορεί να γίνει είτε ώστε να επιλεγεί η πιο ακριβής από αυτές μετά από αξιολόγηση, είτε με το συνδυασμό τους ώστε να προκύψει ένα τελικό αποτέλεσμα που να αντιπροσωπεύει την κεντρική τάση όλων των εξεταζόμενων μοντέλων (Heikkinen, et al., 2006; Araujo & New, 2007; Thuiller, et al., 2009). Στην παρούσα διατριβή επιλέγηκε μετά από αξιολόγηση η καλύτερη δυνατή μέθοδος εφαρμογής Δέντρου Ταξινόμησης, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Θα μπορούσε ωστόσο να γίνει σύγκριση και με άλλες μεθόδους, όπως τα Γενικά Γραμμικά Μοντέλα, ώστε να μειωθεί περαιτέρω η αβεβαιότητα.

Η επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι ένα επίσης σημαντικό θέμα στη δημιουργία του μοντέλου. Η επιλογή των μεταβλητών πρόβλεψης επηρεάζει τη γενικότητα του μοντέλου, δηλαδή κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός της περιοχής μελέτης ή σε άλλες χρονικές περιόδους, κάτι πολύ σημαντικό όταν μελετώνται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Phillips, et al., 2006). Για παράδειγμα, μεταβλητές όπως το γεωγραφικό πλάτος ή το υψόμετρο δε μπορούν να εφαρμοστούν σε άλλες συνθήκες γιατί, παρόλο που σχετίζονται με μεταβλητές που έχουν βιοφυσικό αντίκτυπο στα είδη, αυτές οι συσχετίσεις διαφέρουν στο χώρο και το χρόνο (Phillips, et al., 2006). Αντίθετα, οι βιοκλιματικές μεταβλητές καθώς και ο τύπος των εδαφών αφορούν πόρους, όπως το φως, το νερό και τα θρεπτικά, και γι' αυτό οι επιπτώσεις τους μπορούν να γενικευθούν και εκτός της περιοχής ή του χρόνου μελέτης (Phillips, et al., 2006).

Η χρήση μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων μεταβλητών μπορεί να οδηγήσει σε υπέρ-προσαρμογή του μοντέλου (overfitting). Η υπέρ-προσαρμογή συμβαίνει όταν εισάγεται πολύ μεγάλος αριθμός μεταβλητών στο μοντέλο, με αποτέλεσμα τη συμπερίληψη «θορύβου», δηλαδή μεταβλητών χωρίς ουσιαστική σημασία στην κατανομή του είδους. Παρόλο που ένα πιο πολύπλοκο μοντέλο παρουσιάζει καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα, η προβλεπτική του ικανότητα είναι μικρότερη (Heikkinen, et al., 2006). Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με την επιλογή των μεταβλητών με βάση κριτήρια, όπως στη βηματική (stepwise)

προς τα εμπρός (forward) ή προς τα πίσω (backwards) διαδικασία (Heikkinen, et al., 2006), ή στα Δέντρα ταξινόμησης με το κλάδεμα (pruning) του Δέντρου. Στην παρούσα διατριβή εισήχθησαν στο μοντέλο 19 μεταβλητές από τις οποίες επιλέγηκαν οι τρεις στην περίπτωση του *Crocus cyprius* και οι πέντε στην περίπτωση του *Ophrys kotschyi*. Η εφαρμογή κλαδέματος δεν επέφερε καμιά αλλαγή στην επιλογή των μεταβλητών.

Η πολυσυγγραμμικότητα (multicollinearity) είναι η συσχέτιση δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους. Αποτελεί πιθανή πηγή αβεβαιότητας γιατί μπορεί να προκαλέσει αποκλεισμό από το μοντέλο μεταβλητών που είναι οικολογικά πιο σημαντικές, αλλά δε μπορούν να εξηγήσουν τη διακύμανση της ανεξάρτητης μεταβλητής με στατιστικούς όρους τόσο καλά όσο άλλες μεταβλητές με τις οποίες συσχετίζονται (Heikkinen, et al., 2006). Παράλληλα, η χωρική αυτοσυσχέτιση (spatial autocorrelation) προκαλεί την εμφάνιση μεγαλύτερης ομοιότητας μεταξύ τιμών μεταβλητών σε γειτονικά σημεία απ' ότι θα υπήρχε σε ένα τυχαίο σύνολο παρατηρήσεων (Heikkinen, et al., 2006). Η αυτοσυσχέτιση μπορεί να παρεμποδίσει τον προσδιορισμό πιθανών σχέσεων μεταξύ της κατανομής των ειδών και των ανεξάρτητων μεταβλητών και να προκαλέσει υπερεκτίμηση της ικανότητας των μοντέλων για ρεαλιστικές προβλέψεις στο χώρο και το χρόνο (Segurado, et al., 2006).

Ένας σημαντικός περιορισμός της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε είναι η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης. Η τεχνική CA_MARKOV απαιτεί τη δημιουργία ενός χάρτη καταλληλότητας για κάθε κλάση χρήσεων γης, που να δείχνει την πιθανότητα αλλαγής ενός κελιού του χάρτη προς τη συγκεκριμένη κλάση. Ωστόσο, για απλοποίηση της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος χάρτης καταλληλότητας για όλες τις κλάσεις, θεωρώντας ότι η πιθανότητα αλλαγής προς όλες τις κλάσεις ήταν ίδια. Επιπρόσθετα, για τη δημιουργία των χαρτών καταλληλότητας χρησιμοποιήθηκαν μόνο δύο περιοριστικοί παράγοντες, οι περιοχές Natura που βρίσκονται εντός κρατικής γης και οι τεχνητές επιφάνειες, χωρίς να χρησιμοποιηθεί κανένας παράγοντας που να αλλάζει την καταλληλότητα σε σχέση με την απόσταση. Οι παραδοχές αυτές δεν ισχύουν στην πραγματικότητα, αλλά απλοποιούν σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία πρόβλεψης. Το αποτέλεσμα που προέκυψε από τη διαδικασία είναι ικανοποιητικό για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, που δεν εστιάζει στην πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων γης αλλά στο κατά πόσο η συμπερίληψη των πιθανών αλλαγών χρήσεων γης στο βιοκλιματικό μοντέλο επηρεάζει τη μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών.

Τέλος, η προσθήκη τόσο της κλιματικής όσο και της αλλαγής χρήσεων γης αυξάνει την αβεβαιότητα του μοντέλου περισσότερο παρά αν εξεταζόταν η κάθε αλλαγή ξεχωριστά (Tingley & Herman, 2009). Κάθε επιπλέον στοιχείο που προστίθεται στο μοντέλο αυξάνει την αβεβαιότητα, μέσα από τις διαφορετικές παραμέτρους και παραδοχές που συνεπάγεται (Conlisk, et al., 2013). Ως αποτέλεσμα, είναι αβέβαιο αν η αύξηση της επεξηγηματικής και προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου αντισταθμίζει την αύξηση της αβεβαιότητάς που συνεπάγεται η προσθήκη κάθε στοιχείου (Tingley & Herman, 2009).

5.3 Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή και η αλλαγή χρήσεων γης αποτελούν δύο από τις σημαντικότερες αιτίες εξαφάνισης των ειδών σήμερα. Η βιοκλιματική μοντελοποίηση, παρά τους περιορισμούς που εμπεριέχει, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο πρόβλεψης της μελλοντικής κατανομής των ειδών και μπορεί να συμβάλει στον κατάλληλο σχεδιασμό και στη λήψη αποφάσεων για μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής και αλλαγής χρήσεων γης. Το νησί της Κύπρου αποτελεί μια ιδανική περιοχή εφαρμογής της βιοκλιματικής μοντελοποίησης, λόγω των μεγάλων κλιματικών και αλλαγών χρήσεων γης που προβλέπονται, λόγω της παρουσίας πληθώρας ενδημικών ειδών που χαρακτηρίζονται ως απειλούμενα σύμφωνα με τα κριτήρια της Κόκκινης Λίστας της IUCN, αλλά και λόγω της απουσίας παρόμοιων μελετών στην περιοχή μέχρι σήμερα.

Κύριος σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην κατανομή δύο ενδημικών ειδών της Κύπρου, των *Crocus cyprius* και *Ophrys kotschyi*, με τη χρήση στατιστικού βιοκλιματικού μοντέλου, καθώς και η διερεύνηση της ύπαρξης συνέργειας μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της αλλαγής χρήσεων γης στη μελλοντική δυνητική κατανομή τους.

Ο σκοπός αυτός επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση Δέντρων Ταξινόμησης. Δημιουργήθηκαν αξιόπιστα μοντέλα και για τα δύο είδη μελέτης, τα οποία προβλέπουν τη δυνητική κατανομή των ειδών με βάση βιοκλιματικές παραμέτρους. Σημαντικότερη μεταβλητή πρόβλεψης για το *Crocus cyprius* είναι η μέση θερμοκρασία του πιο υγρού τριμήνου και για το *Ophrys kotschyi* η βροχόπτωση του πιο υγρού μήνα. Σύμφωνα με τα μοντέλα το *Crocus cyprius*, προτιμά χαμηλές θερμοκρασίες (μέση θερμοκρασία πιο υγρού τριμήνου κάτω από 3.92 °C και μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα κάτω από 25.68 °C)

και χαμηλή διακύμανση βροχόπτωσης (κάτω από 92%), ενώ το *Ophrys kotschyi* χαμηλές βροχοπτώσεις (βροχόπτωση πιο υγρού μήνα κάτω από 110,5 mm ή ετήσια βροχόπτωση κάτω από 622,5 mm) και σχετικά ψηλές θερμοκρασίες (θερμοκρασία θερμότερου τριμήνου πάνω από 26,65 °C ή ισοθερμικότητα κάτω από 42,5) αλλά όχι ξηρικές συνθήκες (βροχόπτωση ψυχρότερου τριμήνου μεταξύ 172,5 και 183,5 mm).

Για το *Crocus cypricus* προβλέπεται ότι η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει αύξηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο στα σενάρια B2A και A2 και μείωσή της στα σενάρια A1B και B1, με πιο αισιόδοξο το σενάριο B2A και πιο απαισιόδοξο το A1B. Ωστόσο, σε όλα τα σενάρια προβλέπεται μετακίνηση της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με βάση το βιοκλιματικό χώρο, ώστε πολλές από τις σημερινές θέσεις εμφάνισης του είδους να είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής. Όταν ληφθούν υπόψη εκτός του βιοκλιματικού χώρου και οι χρήσεις γης, ο τύπος των εδαφών και το υψόμετρο, η δυνητική κατανομή του *Crocus cypricus* μειώνεται μέχρι και 120 φορές και μόνο στο σενάριο B2A παραμένει μεγαλύτερη από τη σημερινή. Όταν εκτός της κλιματικής αλλαγής ληφθεί υπόψη και η αλλαγή χρήσεων γης, προβλέπεται μικρή μείωση της δυνητικής κατανομής σε σχέση με τη δυνητική κατανομή με βάση μόνο την κλιματική αλλαγή.

Για το *Ophrys kotschyi*, προβλέπεται μείωση της δυνητικής κατανομής σε όλα τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, με πιο αισιόδοξο το σενάριο A1B και πιο απαισιόδοξο το A2. Επιπλέον, προβλέπεται μετακίνηση και διάσπαση της δυνητικής κατανομής, με αποτέλεσμα σχεδόν όλες οι σημερινές θέσεις εμφάνισης του είδους να είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής σε όλα τα σενάρια. Όταν ληφθούν υπόψη εκτός του βιοκλιματικού χώρου και οι χρήσεις γης, ο τύπος των εδαφών και το υψόμετρο, η δυνητική κατανομή του *Ophrys kotschyi* γίνεται περίπου η μισή και πιο αισιόδοξο παρουσιάζεται το σενάριο B2A. Όταν, επιπλέον, ληφθεί υπόψη η αλλαγή χρήσεων γης, προβλέπεται επιπρόσθετη μείωση της δυνητικής κατανομής του είδους κατά 16,2% – 17%, κυρίως εξαιτίας της μείωσης στη μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη, τη σκληροφυλλική βλάστηση και τους φυσικούς βοσκότοπους. Η μείωση αυτή προβλέπεται να προκαλέσει ολική εξαφάνιση των σημερινών θέσεων του είδους στο σενάριο B1 και παραμονή μιας ή δύο θέσεων στα υπόλοιπα σενάρια.

Περιορισμοί προέκυψαν τόσο εξαιτίας της ποιότητας των διαθέσιμων δεδομένων όσο και λόγω των παραδοχών και απλοποιήσεων της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε. Ωστόσο, παρά τους περιορισμούς, τα βιοκλιματικά μοντέλα έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα και

αποτελούν ένα καλό τρόπο κατανόησης και απεικόνισης των τάσεων μεταβολής στην κατανομή των ειδών εξαιτίας της κλιματικής και της αλλαγής χρήσεων γης.

Συμπερασματικά, η χρήση Δέντρων Ταξινόμησης ως μέθοδος βιοκλιματικής μοντελοποίησης, παρά τους περιορισμούς και τις αβεβαιότητες που περιλαμβάνει, κρίνεται ως ικανοποιητική. Η μελλοντική δυνητική κατανομή των ειδών διαφέρει ανάλογα με το είδος και το σενάριο που χρησιμοποιείται, ωστόσο σε όλες τις περιπτώσεις προβλέπεται ότι πολλές ή και όλες οι σημερινές θέσεις εμφάνισης των μελετώμενων ειδών θα είναι εκτός της μελλοντικής δυνητικής κατανομής τους. Η συμπερίληψη της αλλαγής των χρήσεων γης, εκτός της κλιματικής, επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη δυνητική κατανομή των ειδών μόνο όταν οι τύποι των χρήσεων γης που είναι κατάλληλες για το είδος αναμένεται να αλλάξουν, όπως στην περίπτωση του *Ophrys kotschyi*. Σε αυτή την περίπτωση η συνέργεια κλιματικής και αλλαγή χρήσεων γης μπορεί να αποβεί καταστροφική και να οδηγήσει το είδος σε πλήρη εξαφάνιση. Ο κίνδυνος είναι άμεσος και για τα δύο μελετώμενα είδη, αφού ήδη έχουν χαρακτηριστεί ως απειλούμενα Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η λήψη κατάλληλων μέτρων για την προστασία των δύο υπό μελέτη ειδών και κυρίως του *Ophrys kotschyi*, του οποίου σχεδόν όλες οι σημερινές θέσεις εμφάνισης αναμένεται να καταστούν ακατάλληλες στο μέλλον.

5.4 Εισηγήσεις

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα μπορούσε να βελτιωθεί με την εφαρμογή των ακόλουθων βελτιώσεων:

1. Χρήση βιοκλιματικών δεδομένων μεγαλύτερης ανάλυσης
2. Χρήση δεδομένων χρήσεων γης καλύτερης ποιότητας και εφαρμογή πιο αξιόπιστης μεθόδου πρόβλεψης των μελλοντικών χρήσεων γης
3. Πρόβλεψη της μελλοντικής δυνητικής κατανομής με τα κλιματικά μοντέλα και τα RCPs της 5^{ης} Έκθεσης της IPCC
4. Χρήση πραγματικών δεδομένων απουσίας ή δημιουργία δεδομένων ψευδο-απουσίας ώστε οι παρουσίες να ισούνται με τις απουσίες
5. Συμπερίληψη των βιοτικών αλληλεπιδράσεων και της ικανότητας διασποράς των ειδών στο μοντέλο
6. Μοντελοποίηση των ίδιων δεδομένων με διαφορετικές μεθόδους (π.χ. GLM, Maxent) και σύγκριση με τα αποτελέσματα της διατριβής
7. Συμπερίληψη των χρήσεων γης, του τύπου των εδαφών και του υψομέτρου ως μεταβλητές στη μοντελοποίηση και όχι εκ των υστέρων
8. Συμπερίληψη περισσότερων μεταβλητών στο μοντέλο εκτός των βιοκλιματικών (π.χ. ηλιακή ακτινοβολία, NDVI)
9. Μοντελοποίηση της κατανομής περισσότερων ειδών της Κύπρου, ενδημιών και μη, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και να εξαχθούν πιο ολοκληρωμένα συμπεράσματα για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της συνέργειας με την αλλαγή χρήσεων γης στη μελλοντική κατανομή των ειδών στην Κύπρο και στη Μεσόγειο.

Βιβλιογραφία

- Aaviksoo, K., 1993. Changes of plant cover and land use types (1950's to 1980's) in three mire reserves and their neighbourhood in Estonia. *Landscape Ecology*, 8(4), pp. 287-301.
- Agarwal, C. και συν., 2002. *A Review and Assessment of Land-Use Change Models. Dynamics of Space, Time, and Human Choice*, Newton Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station.
- Araújo, M. B. και συν., 2011. Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14(5), p. 484–492.
- Araujo, M. & Luoto, M., 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(6), pp. 743-743.
- Araujo, M. & New, M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(1), pp. 42-47.
- Araujo, M., Pearson, R., Thuiller, W. & Erhard, M., 2005. Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9), pp. 1504-1513.
- Araujo, M. & Peterson, A., 2012. Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93(7), pp. 1527-1539.
- Araujo, M. & Guisan, A., 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(10), pp. 1677-1688.
- Austin, M., 2007. Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1-2), pp. 1-19.
- Balzter, H., 2000. Markov Chain Models for Vegetation Dynamics. *Ecological Modelling*, 126(2-3), pp. 139-154.
- Barbet-Massin, M., Thuiller, W. & Jiguet, F., 2012. The fate of European breeding birds under climate, land-use and dispersal scenarios. *Global Change Biology*, 18(3), pp. 881-890.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. & Thuiller, W., 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many?. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), pp. 327-338.

- Beaumont, L., Pitman, A., Poulsen, M. & Hughes, L., 2007. Where will species go? Incorporating new advances in climate modelling into projections of species distributions. *Global Change Biology*, 13(7), pp. 1368-1385.
- Bomhard, B. και συν., 2005. Potential impacts of future land use and climate change on the Red List status of the Proteaceae in the Cape Floristic Region, South Africa. *Global Change Biology*, 11(9), pp. 1452-1468.
- Brook, B. W., Sodhi, N. S. & Bradshaw, C. J., 2008. Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(8), pp. 453-460.
- Brotons, L., Thuiller, W., Araujo, M. & Hirzel, A., 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27(4), pp. 437-448.
- Buse, J. & Griebeler, E., 2011. Incorporating classified dispersal assumptions in predictive distribution models – A case study with grasshoppers and bush-crickets. *Ecological Modelling*, 222(13), pp. 2130-2141.
- Carver, S., 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), pp. 321-339.
- Chazal, J. d. & Rounsevell, M. D., 2009. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: A review. *Global Environmental Change*, 19(2), pp. 306-315.
- Christensen, J. και συν., 2007. Regional Climate Projections. Στο: S. Solomon, και συν. επιμ. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Commission of the European Communities, 1995. *CORINE Land Cover*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> [Πρόσβαση 04 12 2013].
- Conlisk, E. και συν., 2013. Uncertainty in assessing the impacts of global change with coupled dynamic species distribution and population models. *Global Change Biology*, 19(3), pp. 858-869.

Cord, A., Klein, D., Mora, F. & Dech, S., 2012. *Suitability of land cover and remote sensing data for modelling species distributions*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://www.iemss.org/sites/iemss2012//proceedings/G1_1_0345_Cord_et_al.pdf
[Πρόσβαση 07 09 2013].

Crowley, T., 2000. Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. *Science*, Τόμος 289, pp. 270-277.

Diniz-Filho, J. και συν., 2009. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography*, 32(6), pp. 897-906.

Dirnbock, T., Dullinger, S. & Grabherr, G., 2003. A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30(3), pp. 401-417.

Eastman, J. R., 2003. *IDRISI Kilimanjaro Tutorial*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://gisgeek.pdx.edu/G424-GIS/KilimanjaroTutorial.pdf>
[Πρόσβαση 16 09 2013].

EEA, 2010. *The European environment (state and outlook 2010). Land use*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Elith, J. και συν., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), pp. 129-151.

Elith, J. & Leathwick, J., 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Τόμος 40, pp. 677-697.

Encyclopædia Britannica, 2014. *Cyprus*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/148573/Cyprus>
[Πρόσβαση 20 3 2014].

Engler, R. & Guisan, A., 2009. MIGCLIM: Predicting plant distribution and dispersal in a changing climate. *Diversity and Distributions*, 15(4), pp. 590-601.

Engler, R., Guisan, A. & Rechsteiner, L., 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41(2), pp. 263-274.

ESRI, 2013. *World Imagery*. Redlands(California): ESRI.

Esteve-Selma, M. A. και συν., 2012. Potential effects of climatic change on the distribution of *Tetraclinis articulata*, an endemic tree from arid Mediterranean ecosystems. *Climatic Change*, 113(3-4), pp. 663-678.

European Environmental Agency , 2012. *Corine Land Cover 2006 raster data*.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2>

[Πρόσβαση 15 12 2013].

European Environmental Agency, 2012. *Corine Land Cover 2000 raster data*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-raster-2>

[Πρόσβαση 15 12 2013].

Eurostat, 2012. *Agri-environmental indicator - land use change*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_land_use_change#Further_information

[Πρόσβαση 20 12 2013].

Ferrier, S., Watson, G., Pearce, J. & Drielsma, M., 2002. Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New SouthWales.I. Species-level modelling. *Biodiversity and Conservation*, 11(12), pp. 2275-2307.

Flower, A., Murdock, T., Taylor, S. & Zwiers, F., 2013. Using an ensemble of downscaled climate model projections to assess impacts of climate change on the potential distribution of spruce and Douglas-fir forests in British Columbia. *Environmental Science and Policy*, Τόμος 26, pp. 63-74.

Foody, G., 2008. GIS: biodiversity applications. *Progress in Physical Geography*, 32(2), pp. 223-235.

Geist, H. και συν., 2006. Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. Στο: E. F. Lambin & H. Geist, επιμ. *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Berlin, New York: Springer.

- Gibson, L., Barrett, B. & Burbidge, A., 2007. Dealing with uncertain absences in habitat modelling: a case study of a rare ground-dwelling parrot. *Diversity and Distributions*, 13(6), pp. 704-713.
- Guan, D. και συν., 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222(20-22), pp. 3761-3772.
- Guisan, A. και συν., 2006. Using Niche-Based Models to Improve the Sampling of Rare Species. *Conservation Biology*, 20(2), pp. 501-511.
- Guisan, A. & Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), pp. 993-1009.
- Guisan, A. & Zimmermann, N., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), pp. 147-186.
- Hadjinicolaou, P. και συν., 2011. Mid-21st century climate and weather extremes in Cyprus as projected by six regional climate models. *Regional Environmental Change*, 11(3), pp. 441-457.
- Hannah, L., 2010. *Climate change biology*. Burlington: Academic Press.
- Hanspach, J., Kuhn, I., Pompe, S. & Klotz, S., 2010. Predictive performance of plant species distribution models depends on species traits. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 12(3), pp. 219-225.
- Heikkinen, R. και συν., 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, Τόμος 30, pp. 751-777.
- Heikkinen, R. και συν., 2007. Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, 16(6), pp. 754-763.
- Hijmans, R. και συν., 2005. *Downscaling future and past climate data*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://worldclim.org/downscaling> [Πρόσβαση 19 December 2013].
- Hijmans, R. και συν., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), pp. 1965-1978.

Hill, J., Thomas, C. & Huntley, B., 1999. Climate and habitat availability determine 20th century changes in a butterfly's range margin. *Proceedings of the Royal Society B*, Τόμος 266, pp. 1197-1206.

Hughes, L., 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. *Trends in Ecology and Evolution*, 15(2), pp. 56-61.

Hutchinson, G., 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, Τόμος 22, pp. 145-159.

IBM, 2011. *IBM SPSS Decision Trees 20*, USA: IBM.

IPCC, 2000. *IPCC Special Report: Emissions Scenarios - Summary for Policymakers*. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.

IPCC, 2013. *SCENARIO PROCESS FOR AR5*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/index.html
[Πρόσβαση 26 12 2013].

IPCC, 2013. Summary for Policymakers. Στο: T. Stocker, και συν. επιμ. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.

IUCN, 2010. *Why is biodiversity in crisis?*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://www.iucn.org/iyb/about/biodiversity_crisis/
[Πρόσβαση 19 12 2013].

IUCN, 2012. *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1.*. Second edition επιμ. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN.

IUCN, 2013. *Crocus cyprius*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.iucnredlist.org/details/162216/0>
[Πρόσβαση 16 10 2013].

- Iverson, L. & Prasad, A., 1998. Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the Eastern United States. *Ecological Monographs*, 68(4), p. 465–485.
- Iverson, L. R. & Prasad, A. M., 2002. Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US. *Forest Ecology and Management*, 155(1-3), pp. 205-222.
- Jackson, S. & Overpeck, J., 2000. Responses of Plant Populations and Communities to Environmental Changes of the Late Quaternary. *Paleobiology*, Τόμος 26, pp. 194-220.
- Jeschke, J. & Strayer, D., 2008. Usefulness of Bioclimatic Models for Studying Climate Change and Invasive Species. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Τόμος 1134, p. 1–24.
- Jetz, W., Wilcove, D. & Dobson, A., 2007. Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *PLoS Biology*, 5(6).
- Jiménez-Valverde, A. και συν., 2008. Challenging species distribution models: the case of *Maculinea nausithous* in the Iberian Peninsula. *Annales Zoologici Fennici*, 45(3), pp. 200-210.
- Karl, T., Melillo, J. & Peterson, T. επιμ., 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keenan, T. και συν., 2011. Predicting the future of forests in the Mediterranean under climate change, with niche- and process-based models: CO₂ matters!. *Global Change Biology*, 17(1), pp. 565-579.
- Keith, D. και συν., 2008. Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models. *Biology Letters*, Τόμος 4, pp. 560-563.
- König, K. και συν., 2007. The impact of land use on species distribution changes in North Benin. Στο: J. Runge, επιμ. *Dynamics of Forest Ecosystems in Central Africa During the Holocene: Past - Present - Future: Palaeoecology of Africa, An International Yearbook of Landscape Evolution and Palaeoenvironments, Volume 28*. London; New York: Taylor & Francis, pp. 199-226.

- Lambin, E. F., Geist, H. & Rindfuss, R. R., 2006. Introduction: Local Processes with Global Impacts. Στο: E. F. Lambin & H. Geist, επιμ. *Land-use and land-cover change : local processes and global impacts*. Berlin, New York: Springer.
- Landis, J. R. & Koch, G. G., 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, Τόμος 33, pp. 159-174.
- Lelieveld, J. και συν., 2012. Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change*, 114(3-4), pp. 667-687.
- Lelieveld, J. και συν., 2013. Model projected heat extremes and air pollution in the eastern mediterranean and middle east in the twenty-first century. *Regional Environmental Change*.
- Lobo, J. & Tognelli, M., 2011. Exploring the effects of quantity and location of pseudo-absences and sampling biases on the performance of distribution models with limited point occurrence data. *Journal for Nature Conservation*, 19(1), pp. 1-7.
- Luoto, M. & Heikkinen, R., 2008. Disregarding topographical heterogeneity biases species turnover assessments based on bioclimatic models. *Global Change Biology*, 14(3), pp. 483-494.
- Luoto, M., Virkkala, R. & Heikkinen, R., 2007. The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), pp. 34-42.
- Luoto, M., Pöyry, J., Heikkinen, R. & Saarinen, K., 2005. Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. *Global Ecology and Biogeography*, 14(6), p. 575–584.
- Malanson, G., 2008. Extinction debt: origins, developments, and applications of a biogeographical trope. *Progress in Physical Geography*, Τόμος 32, pp. 277-291.
- Martin, Y., Van Dyck, H., Dendoncker, N. & Titeux, N., 2013. Testing instead of assuming the importance of land use change scenarios to model species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 22(11), pp. 1204-1216.
- Mateo, R., Croat, T., Felicísimo, A. & Muñoz, J., 2010. Profile or group discriminative techniques? Generating reliable species distribution models using pseudo-absences and target-group absences from natural history collections. *Diversity and Distributions*, 16(1), pp. 84-94.

Meteorological Service, 2006-2013. *The climate of Cyprus*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

http://www.moa.gov.cy/moa/MS/MS.nsf/DMLcyclimate_en/DMLcyclimate_en?opendocument

[Πρόσβαση 3 10 2013].

Mimura, N. και συν., 2007. Small islands. Στο: M. Parry, και συν. επιμ. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 687-716.

Munoz, J. & Felicísimo, A., 2004. Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15(2), pp. 285-292.

Nakicenovic, N. & Swart, R. επιμ., 2000. *Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.

Nenzéna, H. & Araújo, M., 2011. Choice of threshold alters projections of species range shifts under climate change. *Ecological Modelling*, 222(18), pp. 3346-3354.

Nunes, J., Seixas, J. & Keizer, J., 2011. Modeling the response of within-storm runoff and erosion dynamics to climate change in two Mediterranean watersheds: A multi-model, multi-scale approach to scenario design and analysis. *Catena*, Τόμος 102, pp. 27-39.

Ogawa-Onishi, Y., Berry, P. M. & Tanaka, N., 2010. Assessing the potential impacts of climate change and their conservation implications in Japan: A case study of conifers. *Biological Conservation*, Τόμος 143, p. 1728–1736.

Parmesan, C., 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Τόμος 37, pp. 637-669.

Parmesan, C. & Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, Τόμος 421, pp. 37-42.

Pearson, R. & Dawson, T., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology & Biogeography*, 12(5), pp. 361-371.

- Pearson, R., Dawson, T., Berry, P. & Harrison, P., 2002. SPECIES: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species. *Ecological Modelling*, 154(3), pp. 289-300.
- Pearson, R., Dawson, T. & Liu, C., 2004. Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography*, 27(3), pp. 285-298.
- Pearson, R. και συν., 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10), pp. 1704-1711.
- Phillips, S., Anderson, R. & Schapire, R., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), pp. 231-259.
- Phillips, S. και συν., 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19(1), pp. 181-197.
- Pompe, S. και συν., 2008. Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters*, 4(5), pp. 564-567.
- Pompe, S. και συν., 2008. Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters*, 4(5), p. 564-567.
- Pulliam, H., 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3(4), pp. 349-361.
- Rosenzweig, C. και συν., 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Στο: M. Parry, και συν. επιμ. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 79-131.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K. & Damme, P. V., 2012. Application of classification trees to model the distribution pattern of a new exotic species *Azolla filiculoides* (Lam.) at Selkeh Wildlife Refuge, Anzali wetland, Iran. *Ecological Modelling*, Τόμος 243, pp. 8-17.
- Sala, O. και συν., 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, Τόμος 287, pp. 1770-1774.

- Sang, L. και συν., 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), pp. 938-943.
- Schaldach, R. & Priess, J. A., 2008. Integrated Models of the Land System: A Review of Modelling Approaches on the Regional to Global Scale. *Living Reviews in Landscape Research*, 2(1), pp. 1863-7329.
- Schröder, B., 2008. Challenges of species distribution modeling belowground. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(3), pp. 325-337.
- Schweiger, O. και συν., 2012. Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics. *Global Ecology and Biogeography*, 21(1), pp. 88-99.
- Segurado, P. & Araujo, M., 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography*, 31(10), pp. 1555-1568.
- Segurado, P., Araujo, M. & Kunin, W., 2006. Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models. *Journal of Applied Ecology*, 43(3), pp. 433-444.
- Sinclair, S., White, M. & Newell, G., 2010. How Useful Are Species Distribution Models for Managing Biodiversity Under Future Climates?. *Ecology and Society*, 15(1).
- Stockwell, D. & Peters, D., 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2), pp. 143-158.
- Sutherst, R., Maywald, G. & Bourne, A., 2007. Including species interactions in risk assessments for global change. *Global Change Biology*, 13(9), pp. 1-17.
- Swets, J., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, Τόμος 240, pp. 1285-1293.
- Sykes, M. T., 2009. Climate Change Impacts: Vegetation. *Encyclopedia of Life Sciences*.
- Thomas, C. D., 2011. Translocation of species, climate change, and the end of trying to recreate past ecological communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 26(5), pp. 216-221.
- Thuiller, W., 2003. BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9(10), pp. 1353-1362.

- Thuiller, W., 2004. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10(12), pp. 2020-2027.
- Thuiller, W., Araújo, M. & Lavorel, S., 2003. Generalized models vs. classification tree analysis: Predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*, 14(5), pp. 669-680.
- Thuiller, W., Araujo, M. & Lavorel, S., 2004. Do we need land-cover data to model species distributions in Europe?. *Journal of Biogeography*, 31(3), pp. 353-361.
- Thuiller, W., Brotons, L., Araujo, M. B. & Lavorel, S., 2004. Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography*, 27(2), pp. 165-172.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. & Araujo, M., 2009. BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), pp. 369-373.
- Thuiller, W. και συν., 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *PNAS*, Τόμος 102, pp. 8245-8250.
- Tingley, R. & Herman, T., 2009. Land-cover data improve bioclimatic models for anurans and turtles at a regional scale. *Journal of Biogeography*, 36(9), pp. 1656-1672.
- Trisurat, Y., Shrestha, R. P. & Alkemade, R., 2011. Linkage between Biodiversity, Land Use Informatics and Climate Change. Στο: Y. Trisurat, R. P. Shrestha & R. Alkemade, επιμ. *Land use, climate change and biodiversity modeling: perspectives and applications*. Hershey: Information Science Reference.
- Tsintides, T., Christodoulou, C., Delipetrou, P. & Georghiou, K. επιμ., 2007. *The red data book of the flora of Cyprus*. Nicosia: Cyprus Forestry Association.
- Valeccillo, S., Brotons, L. & Thuiller, W., 2009. Dangers of predicting bird species distributions in response to land-cover changes. *Ecological Applications*, 19(2), pp. 538-549.
- Veldkamp, A. & Lambin, E., 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1-3), pp. 1-6.

- Vennetier, M. & Ripert, C., 2009. Forest flora turnover with climate change in the Mediterranean region: A case study in Southeastern France. *Forest Ecology and Management*, Τόμος 258S , pp. S56-S63.
- VijayaVenkata Raman, S., Iniyar, S. & Goic, R., 2012. A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), pp. 878-897.
- Viner, D., 2000. *8: Modelling Climate Change*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
<http://www.cru.uea.ac.uk/documents/421974/1295957/Info+sheet+%238.pdf/a5a16591-36da-42f0-8c23-6e35e549d92e>
[Πρόσβαση 05 09 2013].
- Voogd, H., 1983. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion.
- Walmsley, C. και συν. επιμ., 2007. *MONARCH - Modeling Natural Resource Responses to Climate Change - a synthesis for biodiversity conservation*. Oxford: UKCIP.
- Watling, J. και συν., 2012. Do bioclimate variables improve performance of climate envelope models?. *Ecological Modelling*, Τόμος 246, pp. 79-85.
- Wijanarto, A. B., 2006. Application of Markov chain detection technique for detecting Landsat ETM derived land cover change over Banten Bay. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, Τόμος 12.
- WorldClim, 2013. *WorldClim - Global Climate Data*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.worldclim.org/>
[Πρόσβαση 16 12 2013].
- Zaniewski, A., Lehmann, A. & Overton, J., 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling*, 157(2-3), pp. 261-280.
- Μονάδα διατήρησης της Φύσης, Πανεπιστήμιο Frederick, n.d. *Εικονικό μουσείο βιοποικιλότητας της Κύπρου*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.naturemuseum.org.cy/introduction.html>
[Πρόσβαση 25 2 2014].

Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, n.d. *Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου*. Λευκωσία: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης.

Τμήμα Δασών, 2010. *4.3.1 Χλωρίδα - Ενδημικά φυτά*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/All/490E3B8F8D52AE32C22577A7002B66B8?OpenDocument>

[Πρόσβαση 15 10 2013].

Χατζηχαμπής, Α. & Δέλλα, Α., 2007. *Οικολογία απειλούμενων παράκτιων οικοσυστημάτων της Κύπρου*. Λευκωσία: Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών, Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας.