

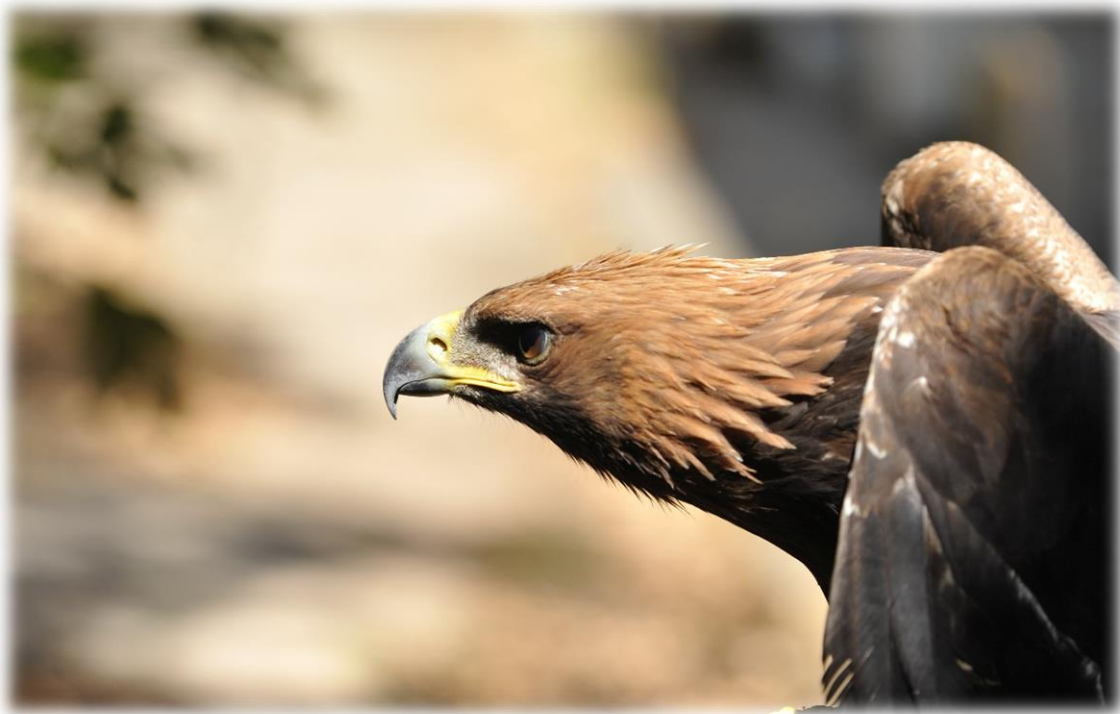


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ: «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»

**Χωρική προσέγγιση της αναπαραγωγικής οικολογίας  
του χρυσαετού (*Aquila chrysaetos*) στην Κρήτη:  
φέρουσα ικανότητα και παράγοντες που επηρεάζουν την  
επιλογή του βιοτόπου φωλεοποίησης**

Μεταπτυχιακή διατριβή



ΣΟΛΑΝΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2018





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ: «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»

**ΧΩΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ  
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΑΕΤΟΥ (*Aquila chrysaetos*)  
ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ: ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ  
ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΟΤΟΠΟΥ ΦΩΛΕΟΠΟΙΗΣΗΣ**

ΣΟΛΑΝΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΥΛΩΝΑΣ ΜΩΥΣΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΜΥΛΩΝΑΣ ΜΩΥΣΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΟΥΛΑΚΑΚΗΣ ΝΙΚΟΣ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΓΙΑΝΝΟΥΛΑΚΗ ΜΑΡΙΑΝΝΑ, Δρ.

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2018



UNIVERSITY OF CRETE  
DEPARTMENT OF BIOLOGY

MSc: MANAGEMENT OF TERRESTRIAL AND MARINE RESOURCES

**A SPATIAL APPROACH TO THE NESTING  
ECOLOGY OF GOLDEN EAGLE (*Aquila chrysaetos*)  
ON THE ISLAND OF CRETE: CARRYING  
CAPACITY AND FACTORS THAT AFFECT NEST-  
SITE SELECTION**

SOLANOU MARIA

COORDINATOR: Prof. MYLONAS MOYSIS

EXAMINERS:

MYLONAS MOYSIS, PROFESSOR

POULAKAKIS NIKOS, ASSOCIATE PROFESSOR

GIANNOULAKI MARIANNA, ASSOCIATE RESEARCHER

HERAKLION 2018

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή οφείλεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στην ανιδιοτελή προσφορά ενός μεγάλου αριθμού ανθρώπων. Πρώτον απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ξηρουχάκη Σταύρο, καθότι ήταν ο άνθρωπος που μου έδωσε την κεντρική ιδέα όταν του εμπιστεύτηκα ότι θέλω να μάθω GIS και να ασχοληθώ με τα μοντέλα κατανομής των ειδών. Επιπλέον, μου παραχώρησε τα δεδομένα και υπήρξε δίπλα μου σε κάθε στάδιο αυτής της πορείας, ενώ με βοήθησε να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου γύρω από το θέμα με την παρακολούθηση θερινού σχολείου στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου σχετικά με την ανάλυση δεδομένων και την παρακολούθηση μαθήματος στο ITC της Ολλανδίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Μυλωνά Μωυσή, Πουλακάκη Νίκο και Γιαννουλάκη Μαριάννα που δέχτηκαν να αποτελέσουν την εξεταστική μου επιτροπή, αναλαμβάνοντας το έργο της αξιολόγησής μου.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Γεωργοπούλου Ελισάβετ που με αυτοθυσία σχεδόν με βοήθησε στα πρώτα μου βήματα στον κόσμο των μοντέλων και με κατηύθυνε στα διάφορα στάδια της πορείας της εργασίας με τις συμβουλές, τις διορθώσεις και την εύστοχη κριτική της. Το ίδιο σημαντική υπήρξε και η συμβολή του Νικολακάκη Μανώλη σε διάφορα θέματα και κυρίως σε ότι αφορά τον απαιτητικό κόσμο του GIS. Ακόμη, να ευχαριστήσω τον Πουρσανίδη Δημήτρη για τις συμβουλές και τη βοήθειά του.

Ευχαριστώ πάρα πολύ το Κοινωνικό Ίδρυμα Αλέξανδρος Σ. Ωνάσης για τη χορήγηση υποτροφίας που υπήρξε τεράστια βοήθεια και επιβράβευση των προσπαθειών μου και μου έδωσε τη δυνατότητα να αφοσιωθώ στην έρευνα και να ολοκληρώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές!

Επιπλέον, δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τον Bert Toxoreus που με καλωσόρισε στο ITC και με εισήγαγε στον μαγικό κόσμο των μοντέλων κατανομής των ειδών. Ακόμη, τους υπόλοιπους διδάσκοντες του μαθήματος στο ITC: τον Thomas Groen, τον Valentijn Venus, τον Willem Nieuwenhuis και τον Andrew Skidmore, αλλά και όλους τους συμφοιτητές μου εκεί που αναπτύξαμε μεταξύ μας μεγάλη φιλία και συντροφικότητα.

Δεν θα ήθελα να παραλείψω και το υπόλοιπο προσωπικό – φοιτητές και εργαζόμενους - του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Κρήτης, καθώς ο καθένας έχει συμβάλει με τον τρόπο του στη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής. Ιδιαίτερες ευχαριστίες να δώσω στην Τριγάλη Μίνα για την βοήθειά της στην εύρεση της βιβλιογραφίας και τη συνεισφορά της σε θέματα αισθητικής, όπως η επεξεργασία των εικόνων της παρουσίασης. Επίσης, στον Τριχά Αποστόλη για την παραχώρηση της φωτογραφίας του εξωφύλλου.

Τέλος, την εργασία αυτή θα ήθελα να την αφιερώσω στους ανθρώπους που χρόνια τώρα βρίσκονται στο πλάι μου. Στην οικογένειά μου που μου δίδαξε πόσο σημαντικό είναι να ακολουθείς στη ζωή αυτό που αγαπάς. Στους φίλους μου που διασχίσαμε μαζί αυτή τη διαδρομή και μου χαρίζουν καθημερινά το μεγαλύτερο δώρο, εκείνο της συντροφικότητας: την Ελεάνα, τον Άγγελο, τη Δανάη, την Κατερίνα, αλλά και φίλους που βρίσκονται μακριά και είναι σημαντικοί για εμένα όπως τον Στέφανο, τη Μαριάννα, την Κλειώ, την Τζίνα και την Αλίκη. Σας ευχαριστώ!

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Μοντέλα Κατανομής των Ειδών (Species Distribution Models - SDMs).....	1
1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΣΠ/Geographic Information Systems – GIS).....	2
1.3 Χρυσαιτός ( <i>Aquila chrysaetos</i> ).....	3
1.4 Η επιλογή του χρυσαιτού ως είδος μελέτης.....	6
1.5 Στόχος.....	6
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	8
2.1 Περιοχή μελέτης.....	8
2.2 Δεδομένα φωλεοποίησης.....	8
2.3 Περιβαλλοντικές παράμετροι .....	9
2.3.1 Βιοκλιματικές μεταβλητές.....	10
2.3.2 Τοπογραφικές μεταβλητές και μεταβλητές τοπίου .....	11
2.3.3 Μεταβλητές σχετιζόμενες με την ανθρώπινη όχληση.....	13
2.4 Χωρική Πρόβλεψη Επικρατειών Χρυσαιτού (Predicting <i>Aquila</i> Territories).....	13
2.5 Μοντέλα Κατανομής των Ειδών .....	17
2.5.1 Διερευνητική Στατιστική.....	17
2.5.1.1 Εξερεύνηση δεδομένων .....	17
2.5.1.2 Χωρική αυτοσυσχέτιση .....	18
2.5.2 Ανάπτυξη Μοντέλων.....	18
2.5.2.1 Λογιστική Παλινδρόμηση .....	18
2.5.2.2 Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας (MaxEnt) .....	20
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	24
3.1 Αποτελέσματα ΡΑΤ.....	24
3.2.2.1 Βιοκλιματικές μεταβλητές.....	29
3.2.2.2. Μεταβλητές ανθρώπινης όχλησης.....	32
3.2.2.3 Τοπογραφικές μεταβλητές.....	34
3.2.2.4 Σύνολο μεταβλητών.....	37
3.3 Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας .....	39
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	54

4.1 Βιοκλιματικές μεταβλητές.....	54
4.2 Μεταβλητές όχλησης.....	56
4.3 Τοπογραφικές μεταβλητές.....	58
4.4 Σύνολο μεταβλητών .....	61
4.5 Μοντέλο ΡΑΤ και ζητήματα στην κλίμακα της επικράτειας .....	63
4.6 Άλλα ζητήματα και περαιτέρω προτάσεις.....	66
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	68
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	78

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή: (α) μελετήθηκαν οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη μέσω της μεθόδου της λογιστικής παλινδρόμησης, (β) δημιουργήθηκαν χάρτες πρόβλεψης της παρουσίας των φωλιών του είδους μέσω της μεθόδου της μεγίστης εντροπίας και (γ) επιχειρήθηκε η εύρεση των σημαντικών περιοχών για το είδος βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων εγγύτητας από τη φωλιά καθώς και από βραχώδεις εξάρσεις κατάλληλες για παθητική πτήση. Επιπλέον, εκτιμήθηκε η φέρουσα ικανότητα του νησιού και βρέθηκαν τα ποσοστά επικάλυψης των επικρατειών τόσο με τις περιοχές προστασίας του δικτύου NATURA 2000 όσο και με τα αγροσυστήματα ελαιώνων που αποτελούν τον βασικό τύπο χρήσης γης στην Κρήτη. Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν με τη συνέργεια των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και σύγχρονων στατιστικών μεθόδων και λογισμικών πακέτων. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ως σημαντικότερες παραμέτρους για την επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του είδους την κλίση του εδάφους, ενώ ο χάρτης που προέκυψε από το υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών προέβλεψε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις θέσεις φωλεοποίησης του είδους σύμφωνα με τα μέτρα εκτίμησης της προσαρμογής των μοντέλων. Αντιθέτως, τα υποσύνολα των βιοκλιματικών μεταβλητών και των μεταβλητών ανθρώπινες όχλησης δεν προέβλεψαν με επαρκή ακρίβεια τις θέσεις αναπαραγωγής. Το ποσοστό επικάλυψης των επικρατειών με το δίκτυο NATURA 2000 φτάνει το 60%, ενώ οι ελαιώνες αποτελούν το 5,31 % της συνολικής έκτασης των επικρατειών. Δεδομένα τηλεμετρίας για τις κινήσεις του είδους, μεταβλητές που σχετίζονται με τη λεία και αφορούν τις περιοχές τροφοληψίας και παρακολούθηση των τάσεων και της βιωσιμότητας του τοπικού πληθυσμού μπορούν να αποτελέσουν ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη διατύπωση μελλοντικών προτάσεων διαχείρισης.

**Λέξεις – κλειδιά:** χρυσαετός, Κρήτη, επικράτεια, φωλεοποίηση, μοντέλα κατανομής των ειδών, χρήσεις γης



## ABSTRACT

At the current thesis: (a) factors that determine the selection of nest-sites of *Aquila chrysaetos* in Crete were explored via logistic regression, (b) prediction maps of the spatial distribution of the nests were constructed via maximum entropy and (c) detection of important areas for the species was attempted based on the proximity to the nest and rugged topography, namely steep cliffs that are suitable for gaining height when soaring. Additionally, Crete's carrying capacity was evaluated and the overlap between territories and both areas of the NATURA 2000 sites network and olive groves – that is the expanding land cover type on the species' territories on the island - were calculated. Data analysis was undertaken with up-to-date tools, like Geographic Information Systems (GIS) and modern statistical technics and software. We concluded that slope was the most determinant variable, while the map represented by the subset of topographic variables was able to predict nest-site of the species with highest accuracy according to the evaluation of the models' fitting. In contrast, the subsets of bioclimatic variables and variables of human disturbance failed to predict the nest-sites' positions with adequate accuracy. The overlap between territories and NATURA 2000 network only reaches 60%, while olive groves constitute 5,31 % of the species' territories. Other metrics such as: telemetry data on the specie's movements within their territories, variables related to specie's prey and foraging land, monitoring of the tendencies and viability of the local population are necessary and would constitute a very useful tool for future conservation plans and proposals.

**Keywords:** Golden eagle, Crete, territory, nesting, species distribution models, land use

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Μοντέλα Κατανομής των Ειδών (Species Distribution Models - SDMs)

Τα Μοντέλα Κατανομής των Ειδών (SDMs) συνδέουν δεδομένα παρουσίας ή αφθονίας των ειδών με επεξηγηματικές, περιβαλλοντικές παραμέτρους και δίνουν τη δυνατότητα παραγωγής χαρτών πρόβλεψης και έλεγχο της καταλληλότητας του ενδιαιτήματος ενός είδους. Με άλλα λόγια, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα SDMs προβλέπουν την πιθανότητα παρουσίας ενός είδους σε μια τοποθεσία, μέσω της ποσοτικοποίησης των σχέσεων ειδών-περιβάλλοντος. Η διαδικασία αυτή αποτελεί και τον πυρήνα των γεωγραφικών μοντέλων πρόβλεψης στην οικολογία (Guisan & Zimmermann 2000). Στον τομέα των SDMs έχει συμβάλει η ανάπτυξη σύγχρονων μέσων συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων, όπως η δορυφορική τηλεπισκόπηση, τα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΣΠ/GIS) και οι σύγχρονες στατιστικές μέθοδοι (Franklin, 2010).

Η ορολογία που χρησιμοποιείται είναι σημαντικά διαφορετική από μελέτη σε μελέτη, με αποτέλεσμα η περιγραφή της μεθόδου να είναι περίπλοκη. Σε γενικές γραμμές, και παρά την πληθώρα των διαφορετικών όρων που έχουν χρησιμοποιηθεί, τα SDMs μπορούν, ανάλογα με τους σκοπούς της εκάστοτε έρευνας, να χρησιμοποιηθούν: (α) για να περιγράψουν τον οικολογικό θώκο του είδους, τον θεμελιώδη (fundamental) ή τον πραγματωμένο (actual), ή (β) για να περιγράψουν την καταλληλότητα του ενδιαιτήματος (Franklin 2010). Υπάρχουν συγγραφείς που διαχωρίζουν μεταξύ (α) των μοντέλων που περιγράφουν τον θεμελιώδη θώκο, κατατάσσοντάς τα στην κατηγορία των «Μοντέλων Οικολογικών Θώκων» (Ecological Niche Models), και (β) μοντέλων της πραγματωμένης κατανομής των ειδών, τα οποία κατηγοριοποιούνται ως «Μοντέλα Κατανομής των Ειδών» (Species Distribution Models) (Peterson et al. 2008). Παρά ταύτα, οι περισσότεροι τείνουν να χρησιμοποιούν αδιάκριτα τον όρο SDM και για τις δύο αυτές περιπτώσεις, με τα συμπεράσματα και τις παραδοχές να διαφοροποιούνται, ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων και το αντικείμενο της εκάστοτε έρευνας. Μια ενδελεχής ανάλυση της ορολογίας και της εξέλιξης του όρου βρίσκεται στο βιβλίο της Franklin (2010): “Mapping Species Distributions”.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι μέσω των SDMs προσπαθούμε πρωτίστως να κατανοήσουμε τις σχέσεις που διέπουν την κατανομή των ειδών με το βιοτικό και το

αβιοτικό τους περιβάλλον μέσω παρατηρήσεων παρουσίας/απουσίας ή και αφθονίας τους στο χώρο. Επιπλέον, μας δίνεται η δυνατότητα να παρεμβάλλουμε (interpolate) ή να προεκβάλλουμε (extrapolate) σημειακές παρατηρήσεις στο χώρο, καθιστώντας έτσι δυνατή την πρόβλεψη σε τοποθεσίες που στερούνται ανάλογων δεδομένων (Franklin 2010). Η δυνατότητα αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική, δεδομένης της δυσκολίας, τόσο χρονικά όσο και οικονομικά, της συνεχούς περιβαλλοντικής παρακολούθησης (monitoring) σε ευρεία κλίμακα. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει και μια από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές των μοντέλων αυτών, η δυνατότητα παραγωγής χαρτών πρόβλεψης: τα SDMs, εάν εφαρμοστούν πάνω σε χάρτες περιβαλλοντικών παραμέτρων, μπορούν να απεικονίσουν τα γεωγραφικά πρότυπα της κατανομής των ειδών. Έτσι, εξοικονομώντας τεράστια κεφάλαια σε (πολύτιμο) χρόνο και (πεπερασμένο) χρήμα, τα SDMs μας δίνουν τη δυνατότητα έγκυρων προβλέψεων και την λήψη έγκαιρων στρατηγικών, διαχειριστικών μέτρων και αποφάσεων. Πλέον, η εφαρμογή τους εξαπλώνεται σε ένα τεράστιο φάσμα πεδίων της επιστήμης της οικολογίας, όπως η διαχείριση της άγριας πανίδας, η επανεισαγωγή ειδών, η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η εκτίμηση κινδύνων (risk assessment), η οικολογική αποκατάσταση, η εισαγωγή ξενικών ειδών, τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής κ.α. Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντανακλά τον τύπο των δεδομένων που διαθέτουμε και την διαθεσιμότητα των παραμέτρων!

## **1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΣΠ/Geographic Information Systems – GIS)**

Στη σύγχρονη επιστημονική έρευνα, τα SDMs έχουν βρει έναν πολύτιμο σύμμαχο στο πεδίο των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα απόκτησης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων και περιβαλλοντικών παραμέτρων από οποιοδήποτε σημείο της Γης. Άλλωστε, η χωρική αλληλοεπικάλυψη των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο γεωγραφικό χώρο προκειμένου να εξεταστεί η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος αποτέλεσε την απαρχή της επιστήμης της Γεωγραφικής Πληροφόρησης (McHarg & Mumford 1969).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών έχουν δώσει ώθηση στις μελέτες προσφέροντας τη δυνατότητα απόκτησης και επεξεργασίας πληθώρας περιβαλλοντικών δεδομένων μεγάλης ακρίβειας, διαθέσιμων σε ψηφιακή μορφή για οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη, εκμηδενίζοντας αφενός το κόστος συλλογής πρωτογενών δεδομένων στο

πεδίο και αφετέρου ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους κατά τη διαχείριση και ανάλυσή τους (Bustamante & Seoane 2004). Η συνεισφορά τους είναι μεγάλη αφού, σε συνδυασμό με τις σύγχρονες στατιστικές μεθόδους, συμβάλλουν στην έγκαιρη λήψη μέτρων διαχείρισης και διατήρησης των απειλούμενων ειδών και διευκολύνουν τον σχεδιασμό προστατευόμενων περιοχών (Poirazidis et al. 2004; López-López et al. 2007). Ακόμη, βοηθούν στην πρόγνωση των συνεπειών της αλλαγής των κλιματικών συνθηκών και της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατανομή και τους πληθυσμούς των ειδών (Hijmans & Graham 2006; Moran-López et al. 2006; Beaumont et al. 2007). Μερικές έρευνες έχουν αποδείξει ότι καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν από μεθόδους που ενσωματώνουν μοντέλα και ψηφιακά δεδομένα για την πρόβλεψη της κατανομής των ειδών, σε σχέση με προϋπάρχοντες χάρτες κατανομής τους (Bustamante & Seoane 2004). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, επιτρέποντας τη δυνατότητα παραγωγής χαρτών πρόβλεψης ακριβείας με την εφαρμογή ελάχιστης εργασίας πεδίου.

### 1.3 Χρυσαιτός (*Aquila chrysaetos*)

Ο χρυσαιτός [*Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758)] είναι ένα μεγάλο, μακρόβιο αρπακτικό πτηνό που φτάνει σε μήκος τα 80-93 εκ. και διαθέτει άνοιγμα φτερούγων (wingspan) που κυμαίνεται στα 187-219 εκ. (Forsman et al. unpublished). Πρόκειται για ένα είδος με ευρεία εξάπλωση σε όλο το βόρειο ημισφαίριο, τόσο στην Παλαιαρκτική όσο και τη Νεαρκτική βιογεωγραφική ζώνη και προσαρμοσμένο σε ένα μεγάλο φάσμα ενδιαιτημάτων, απουσιάζει ωστόσο από το νότιο ημισφαίριο (Watson 1997) (Εικόνα 1). Διατηρεί μεγάλες και αποκλειστικές επικράτειες και χαρακτηρίζεται από μικρή παραγωγικότητα (συνήθως <1/ζευγάρι/έτος, Watson 1997). Οι περιοχές αναζήτησης τροφής αποτελούνται κυρίως από ανοιχτές εκτάσεις με χαμηλή και διάσπαρτη βλάστηση



**Εικόνα 1:** Χάρτης παγκόσμιας εξάπλωσης του είδους *Aquila chrysaetos*. Επεξήγηση χρωματισμών: Κίτρινος = Αυτόχθονοι πληθυσμοί αναπαραγωγής. Κυανός = Αυτόχθονοι πληθυσμοί μη αναπαραγόμενοι. Πράσινος = Αυτόχθονοι μόνιμοι πληθυσμοί. Πηγή: <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/golden-eagle-aquila-chrysaetos/distribution>

(McGrady 1997; Watson 1997), όπως τα χαρακτηριστικά φρύγανα και η μακκία βλάστηση της Μεσογείου.

Η διαίτα του χρυσαετού εμφανίζει μεγάλη πλαστικότητα και καθορίζεται από την διαθεσιμότητα της λείας (Fernández & Donazar 1991; Watson 1997; Seguin et al. 2001; Takeuchi et al. 2006). Η προτιμώμενη λεία μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά από μέρος σε μέρος, ακόμα και από ζευγάρι σε ζευγάρι (Marzluff et al. 1997). Αποτελείται κυρίως από μικρού ή μεσαίου μεγέθους πτηνά και θηλαστικά, ενώ μπορεί να περιλαμβάνει ακόμη και κουφάρια κτηνοτροφικών ζώων κατά τους χειμερινούς μήνες (Handrinos & Akriotis 1997; Χιρouchakis 2001). Επιπλέον, στις άνυδρες εκτάσεις της ανατολικής Μεσογείου τα ερπετά, και κυρίως οι χερσαίες χελώνες, αποτελούν σημαντικό μέρος της διαίτας του χρυσαετού (Watson 1997). Από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης αλλά και η προτίμηση περιοχών εντός των επικρατειών βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη δυνατότητα αναζήτησης και εύρεσης τροφής.

Τα ενήλικα, αναπαραγωγικά άτομα είναι χωροκρατικά, δηλαδή ενδημούν σε επικράτειες τις οποίες υπερασπίζονται ενεργά από άλλα άτομα του ίδιου είδους και εντός των οποίων αναπαράγονται και αναζητούν την τροφή τους (Marzluff et al 1997). Σε κάποιες, λίγες περιπτώσεις της παγκόσμιας εξάπλωσής του έχει διαπιστωθεί φόλιασμα του είδους σε ψηλά δέντρα (Watson 1997). Ωστόσο, ορεινές περιοχές με απότομες κλίσεις και απόκρημνα βράχια αποτελούν ιδανικά περιβάλλοντα και, εφόσον είναι διαθέσιμες, προτιμώνται και επιλέγονται για την αναπαραγωγή στην πλειοψηφία των περιοχών εξάπλωσης του είδους (Haller 1982). Αντιθέτως, φαίνεται να αποφεύγει τις παράλιες περιοχές, ακόμη κι αν δυνητικά αποτελούν κατάλληλο ενδιαίτημα (Lopez-Lopez et al. 2007). Αυτό αποδίδεται συνήθως στη συνεργατική δράση της ανθρώπινης παρουσίας στα μέρη αυτά, της παρουσίας ανταγωνιστικών ειδών (López-López et al. 2006) και της αδυναμίας εύρεσης τροφής που έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλή αναπαραγωγική επιτυχία που παρατηρείται στις θέσεις αυτές (Carrete et al. 2002; Whitfield et al. 2004). Επίσης, αποφεύγει σε μεγάλο βαθμό τις γεωργικές εκτάσεις χαμηλών υψομέτρων και τα δάση πυκνής βλάστησης όπου με δυσκολία μπορεί να εντοπίσει τη λεία του (Watson 1997). Τέλος, έχει διαπιστωθεί σε διάφορες έρευνες η αποστροφή του χρυσαετού για περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (Gil-Sánchez et al. 1994; Carrete 2002).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο ο πληθυσμός του είδους θεωρείται σε γενικές γραμμές σταθερός με μικρής κλίμακας διακυμάνσεις (Forsman 1999). Όσον αφορά τον εθνικό πληθυσμό, μέχρι τη δεκαετία του 1960 ο χρυσαετός είχε ευρεία κατανομή σε όλα σχεδόν τα βουνά της ηπειρωτικής Ελλάδας και σε αρκετά νησιά. Ο πληθυσμός του κυμαινόταν σε 150-200 ζευγάρια τη δεκαετία του 1980 (Handrinos 1987) με τάση μείωσης, αφού το 1990 εκτιμήθηκε σε 140-180 ζευγάρια (Tucker & Heath 1994). Ωστόσο, λεπτομερής έρευνα πεδίου και αναζήτηση των διαθέσιμων αδημοσίευτων αναφορών στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας υπολόγισε τον πληθυσμό του σε 143-230 ζευγάρια (Bourdakis 2003), εκ των οποίων 60 άτομα ή 16-22 ζευγάρια εντοπίζονται στην Κρήτη (Xirouchakis 2001) και η παραγωγικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 0.51-0.59 νεοσσών/ζευγάρι/έτος. Το είδος γεννά 1-2 αυγά στις αρχές Μαρτίου, τα οποία επώαζει για 45-47 ημέρες (Xirouchakis unpublished).



Η κύρια απειλή που αντιμετωπίζει ο χρυσαετός στην Κρήτη είναι η λαθροθηρία με το 30% των ενεργών επικρατειών περίπου να καταλαμβάνεται από ανήλικα άτομα, ένα ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό (Xirouchakis 2001). Τα νεαρά σε ηλικία και περισσότερο άπειρα ζευγάρια αναμένεται να παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά και ενδέχεται να σχηματίζουν μικρότερες επικράτειες. Άλλες σημαντικές απειλές είναι τα δηλητηριασμένα δολώματα και η

**Εικόνα 2:** Εθνικός χάρτης εξάπλωσης του είδους υποβάθμιση των περιοχών κυνηγιού και *Aquila chrysaetos*. Πηγή: Red Data Book 2009

τροφοληψίας, εξαιτίας αλλαγών στη χρήση γης και υπερθήρευση των ειδών που αποτελούν την κύρια λεία του, όπως ο λαγός και η πέρδικα (Xirouchakis 2001).

Σε διεθνές επίπεδο εντάσσεται στην κατηγορία κινδύνου μειωμένου ενδιαφέροντος LC, ενώ έχει κατηγοριοποιηθεί ως Κινδυνεύον EN [C1, D] στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία του Κόκκινου Βιβλίου των Απειλούμενων Ζώων (Legakis & Maragou 2009). Επιπλέον, περιλαμβάνεται στο Παράρτημα I της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τη διατήρηση των άγριων πτηνών (Κοινοτική Οδηγία 79/409/ΕΟΚ), η οποία

προβλέπει τη διατήρηση των χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος που επιτρέπουν την επιβίωση και την αναπαραγωγή των καταγεγραμμένων ειδών.

#### **1.4 Η επιλογή του χρυσαετού ως είδος μελέτης**

Τα αρπακτικά απειλούνται σε μεγάλο βαθμό από την απώλεια των ενδιαιτημάτων και την άμεση διώξή τους από τον άνθρωπο (Bildstein et al. 2000). Καθώς βρίσκονται στην κορυφή της τροφικής πυραμίδας λειτουργούν ως «είδη-κλειδιά» (Sergio et al. 2006) και αποτελούν δείκτες της υγείας του οικοσυστήματος αλλά και της αποδοτικότητας των διαχειριστικών μέτρων που εφαρμόζονται σε αυτά (Duke 2008). Συγκεκριμένα ο χρυσαετός έχει επανειλημμένα αποδειχθεί ότι είναι ευάλωτος στην απώλεια εκτάσεων χαμηλής βλάστησης (Marquiss et al. 1985; Watson 1992; Whitfield et al. 2001), ενώ είναι ένα χωροκρατικό είδος που σχηματίζει μεγάλες επικράτειες και χρησιμοποιεί πληθώρα διαφορετικών ενδιαιτημάτων, με αποτέλεσμα τα διαχειριστικά σχέδια για την προστασία του να απαιτούν μια ολιστική προσέγγιση που θα ενσωματώνει τις διαφορετικές χρήσεις γης (Sergio et al. 2005a).

Τα αρπακτικά που βρίσκονται στην κορυφή της χερσαίας τροφικής πυραμίδας απαιτούν σταθερά, αδιατάρακτα οικοσυστήματα προκειμένου να διατηρήσουν επαρκή πληθυσμιακά μεγέθη. Η έλλειψη λεπτομερών στοιχείων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στη διατύπωση προτάσεων διαχείρισης και προστασίας των πληθυσμών για πολλά είδη αρπακτικών πουλιών στην Ελλάδα (Legakis & Maragou 2009) ενώ αναμένεται ο αναπτυξιακός σχεδιασμός σε κρίσιμους τομείς όπως η αστικοποίηση, η ανάπτυξη του οργανωμένου ορεινού τουρισμού και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) σε ορεινές περιοχές της ενδοχώρας να επιφέρουν ραγδαίες αλλαγές στις χρήσεις γης σε φυσικές περιοχές που αποτελούν τον κύριο βιότοπο του είδους στη χώρα.

#### **1.5 Στόχος**

Στόχος της παρούσας διατριβής ήταν η ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης της επιλογής των θέσεων φωλιάσματος του χρυσαετού στην Κρήτη προσδιορίζοντας τις οικολογικές απαιτήσεις του είδους. Χρησιμοποιήθηκαν η λογιστική παλινδρόμηση της οικογένειας των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων (GLMs) και το Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας (Maxent). Επιπλέον, εντοπίστηκαν οι σημαντικές για το είδος περιοχές εξάπλωσης των επικρατειών του και εξετάστηκε το ποσοστό της επικάλυψής τους με τις

περιοχές του δικτύου NATURA 2000 και τους ελαιώνες που αποτελούν τον βασικό τύπο χρήσης γης στην Κρήτη με τάσεις επέκτασης εντός της κατανομής του είδους.

Για πρώτη φορά μελετάται στην Κρήτη η επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης σε σχέση με περιβαλλοντικούς, τοπογραφικούς και παράγοντες ανθρώπινης όχλησης και επιχειρείται, βάσει των παραγόντων αυτών, η δημιουργία χαρτών πρόβλεψης με τη χρήση σύγχρονων στατιστικών εργαλείων και λογισμικών.



## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Περιοχή μελέτης

Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας, αναδυόμενη στα νοτιοανατολικά της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας (35° N 24° S). Το εμβαδό της προσεγγίζει τα 8336 km<sup>2</sup>, το μήκος της τα 260 km, ενώ το πλάτος της κυμαίνεται μεταξύ 12 και 60 km! Κατά μήκος της εκτείνονται 15 οροσειρές, τρεις από τις οποίες έχουν ύψος πάνω από 2.000 μέτρα και, ως εκ τούτου, το ανάγλυφό της χαρακτηρίζεται από απότομους γκρεμούς και βουνά που τέμνονται από ρήγματα (Rackham & Moody 1996), σχηματίζοντας πολυάριθμα φαράγγια και κρημνούς. Μεταξύ των επιβλητικών ορεινών όγκων εξαπλώνονται πεδιάδες, με την πεδιάδα της Μεσσαράς νότια του νομού Ηρακλείου να αποτελεί την παραγωγικότερη απ' όλες.

Η Κρήτη θεωρείται μια τυπική μεσογειακή περιοχή με βροχερό, ζεστό χειμώνα και άνυδρο, ξηρό καλοκαίρι. Πρέπει ωστόσο να τονιστεί ότι το κλίμα της παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις από περιοχή σε περιοχή (Rackham & Moody 1996), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολυποίκιλα μικρο-κλίματα εντός της, καθοριστικά για τη διαμόρφωση του τοπίου και τη μεγάλη βιοποικιλότητα που απαντά στο νησί. Η επικρατούσα βλάστηση είναι η μακκία και τα φρύγανα.

### 2.2 Δεδομένα φωλεοποίησης

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες από 54 φωλιές που καταγράφηκαν σε όλο το νησί κατά τη διάρκεια δεκαετίας 2000 – 2010 αποτέλεσαν τη μήτρα των δεδομένων παρουσίας για την κατασκευή των μοντέλων. Το ίδιο ζευγάρι μπορεί να κατασκευάζει, για λόγους που υπαγορεύονται από την ακαταλληλότητα του μέρους ή τη συσσώρευση παθογόνων, διαφορετικές φωλιές εντός της επικράτειάς του. Έτσι, για κάθε επικράτεια που επικυρώθηκε ως ενεργή ή προγενέστερη αναπαραγωγική επικράτεια, επιλέχθηκε η τελευταία ενεργή από τις εναλλακτικές φωλιές για να λειτουργήσει ως κέντρο της και να αναπτυχθεί το μοντέλο PAT (βλ. 2.4). Με τη διαδικασία αυτή προέκυψαν τελικά 29 φωλιές για την ανάπτυξη του PAT. Αντιθέτως, για την κατασκευή των μοντέλων λογιστικής παλινδρόμησης και μέγιστης εντροπίας, χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των 54 φωλιών που κατασκευάστηκαν στο πέρας της δεκαετίας από όλα τα αναπαραγωγικά ζευγάρια.

**Πίνακας 1:** Περιγραφή των παραμέτρων που εξετάστηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές των θέσεων φωλεοποίησης του χρυσαετού στην Κρήτη.

Επεξηγηματικές μεταβλητές	Πηγή	
<b>Βιοκλιματικές</b>		
BIO5 – Μέση Θερμοκρασία του Θερμότερου Μήνα	WorldClim- Global Climate Data ( <a href="http://www.worldclim.org/">http://www.worldclim.org/</a> )	
BIO9 – Μέση Θερμοκρασία του Ξηρότερου Τέταρτου		
BIO11 – Μέση Θερμοκρασία του Ψυχρότερου Τέταρτου		
BIO17 – Βροχόπτωση του Ξηρότερου Τέταρτου		
BIO19 – Βροχόπτωση του Ψυχρότερου Τέταρτου		
<b>Ανθρώπινης όχλησης</b>		
Απόσταση από οικισμούς	<a href="http://geodata.gov.gr/">http://geodata.gov.gr/</a>	
Απόσταση από δρόμους		
Απόσταση από πληθυσμούς		
<b>Τοπογραφικές και Τοπίου</b>		
Κλίση	DEM ( <a href="http://srtm.csi.cgiar.org/">http://srtm.csi.cgiar.org/</a> )	
Υψόμετρο		
Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορρά - Νότου		
Προσανατολισμός κατά τον άξονα Ανατολής-Δύσης		
Σκίαση		
Δείκτης Βλάστησης		
Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων		
Δείκτης καταλληλότητας χρήσεων γης		CORINE Land Cover ( <a href="https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover">https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover</a> )

### 2.3 Περιβαλλοντικές παράμετροι

Δεκαπέντε (15) μεταβλητές επιλέχθηκαν και εξετάστηκε εάν επηρεάζουν την επιλογή των θέσεων φωλιάσματος του είδους. Συγκεκριμένα: πέντε (5) βιοκλιματικές, τρεις (3) σχετιζόμενες με την ανθρώπινη δραστηριότητα και επτά (7) τοπογραφικές (Πίνακας 1). Οι μεταβλητές αυτές αναλύθηκαν πρώτα ως ξεχωριστά υποσύνολα και στη συνέχεια ενιαία. Όλα τα επίπεδα των πληροφοριών των παραμέτρων επεξεργάστηκαν ώστε να αποκτήσουν κοινό προβολικό σύστημα, μέγεθος κελιών (cell size), έκταση και να ευθυγραμμιστούν μεταξύ τους. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το

ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87 και το μέγεθος των κελιών ορίστηκε στα 400 x 400 m<sup>2</sup>. Η προετοιμασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την περαιτέρω ανάλυση και τη μοντελοποίηση και πραγματοποιήθηκε με τα εργαλεία του λογισμικού ArcGIS 10.4 (ESRI 2016).

### 2.3.1 Βιοκλιματικές μεταβλητές

Η βάση κλιματικών δεδομένων WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) έχει δημιουργήσει και διαθέσει σε μορφή αρχείων ψηφιδοπλέγματος (raster) 19 βιοκλιματικές μεταβλητές που σχετίζονται με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των ειδών. Πρόκειται για κλιματικούς δείκτες που αφορούν τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και παραγόμενες από αυτές μεταβλητές, μετρημένες σε μηνιαία βάση για ένα διάστημα 30 χρόνων (1971-2000) (Fick & Hijmans 2017). Εφόσον το ερευνητικό ερώτημα αφορά την επιλογή φωλιάσματος, επιλέχθηκαν εκείνες οι κλιματικές μεταβλητές που αφορούν τους μήνες αμέσως πριν ή μετά το φώλιασμα. Οι καιρικές συνθήκες την εποχή αμέσως πριν την αναπαραγωγή είναι ιδιαίτερα σημαντικές επηρεάζοντας τον χρυσαετό άμεσα αλλά και έμμεσα, καθορίζοντας τη διαθεσιμότητα της τροφής αλλά και την τροφοληπτική του επιτυχία (Watson 1997). Επιπλέον, οι κλιματικές συνθήκες μετά το φώλιασμα ενδέχεται να είναι καθοριστικές για την επιβίωση των νεοσσών και, συνεπακόλουθα, για την επιλεξιμότητα της φωλιάς. Εξαιτίας των παραπάνω, επιλέχθηκαν να εξεταστούν οι εξής βιοκλιματικές μεταβλητές: BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία του Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 11 – Μέση Θερμοκρασία του Ψυχρότερου Τέταρτου, BIO 17 – Μέση Βροχόπτωση του Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 19 – Μέση Βροχόπτωση του Ψυχρότερου Τέταρτου και BIO 5 – Μέγιστη Θερμοκρασία του Θερμότερου Μήνα. Να σημειωθεί εδώ ότι ως τέταρτο ορίζεται μία περίοδος ίση με το ¼ του έτους = 3 μήνες. Στην περίπτωση της Κρήτης, το ξηρότερο και το θερμότερο τέταρτο του έτους ταυτίζονται.

Λόγω κενού στη βάση δεδομένων του WORLDCLIM, παρουσιάστηκαν ελλείψεις στα πρωτογενή βιοκλιματικά δεδομένα στην περιοχή των ανατολικών Αστερουσίων. Καθώς διαθέταμε 4 φωλιές στην περιοχή αυτή και δεδομένου του μικρού μεγέθους της εξαρτημένης μεταβλητής (54 φωλιές συνολικά), ο αποκλεισμός των σημείων αυτών από την ανάλυση θα οδηγούσε σε σημαντική μείωση του δείγματος. Έτσι, δόθηκαν δευτερογενώς τιμές στα κελιά αυτά, μέσω της μεθόδου της παρεμβολής (interpolation). Η παρεμβολή αποτελεί μια μέθοδο εκτίμησης των τιμών κάποιων περιοχών βασιζόμενη στις τιμές γειτονικών κελιών (Franklin 2010). Η μέθοδος

παρεμβολής που επιλέχθηκε είναι το “kriging”, καθώς λαμβάνει υπόψιν του όχι μονάχα τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων, αλλά και την γενικότερη χωρική διευσθέτησή τους (McCoy & Johnston, ESRI 2002).

### **2.3.2 Τοπογραφικές μεταβλητές και μεταβλητές τοπίου**

Οι τοπογραφικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους, ο προσανατολισμός της φωλιάς και η σκίαση του ανάγλυφου. Συνήθως, το υψόμετρο λειτουργεί ως παράγοντας που ρυθμίζει τις υπόλοιπες παραμέτρους (π.χ. τις βιοκλιματικές) από τις οποίες, ακολούθως, εξαρτώνται οι λειτουργίες και η εξάπλωση των υπό μελέτη ειδών. Ωστόσο, στη δική μας περίπτωση, το υψόμετρο φαίνεται να αποτελεί το ίδιο μια σημαντική παράμετρο στην επιλογή φωλιάσματος, λόγω της προτίμησης των χρυσαετών (και γενικότερα των αρπακτικών) για υψηλά σημεία, απ’ όπου μπορούν να εποπτεύουν την επικράτειά τους, να κυνηγούν και να εκμεταλλεύονται τα ανοδικά ρεύματα αέρα. Επιπλέον, οι φωλιές κατασκευάζονται συνήθως σε απότομες χαράδρες, εσοχές βράχων και απόκρημνα σημεία, δηλαδή σε περιοχές με μεγάλη κλίση του εδάφους. Οι τοπογραφικές μεταβλητές εξήχθησαν από Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Λόγω της κυκλικής φύσης του «προσανατολισμού της φωλιάς», η μεταβλητή αυτή μετατράπηκε εκ νέου σε δύο ξεχωριστές γραμμικές μεταβλητές που αποτελούν δείκτες του προσανατολισμού με βάση τους άξονες Ανατολή-Δύση (eastness) και Βορρά-Νότου (northness) και εκπορεύονται από το ημίτονο και το συνημίτονο του προσανατολισμού αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, τιμές κοντά στο 1 για τον άξονα Βορά-Νότου σημαίνουν ότι ο προσανατολισμός είναι βόρειος, τιμές κοντά στο -1 σημαίνουν ότι ο προσανατολισμός είναι νότιος, ενώ τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό. Για τον άξονα Ανατολής-Δύσης ισχύουν τα αντίστοιχα με τις τιμές κοντά στο 1 να δηλώνουν ανατολικό προσανατολισμό.

**Πίνακας 2:** Κατηγοριοποίηση των διαφόρων τύπων κατά CORINE Land Cover που απαντώνται στην Κρήτη βάσει της καταλληλότητάς τους για τον χρυσαετό στην κλίμακα 1-3, όπου 1 = περιοχές πολύ κατάλληλες και 3 = περιοχές ακατάλληλες.

<b>CORINE Land Cover τύποι χρήσεων γης</b>	<b>Κωδικός CLC</b>	<b>Δείκτης καταλληλότητας</b>
Συνεχής αστικός ιστός	111	3
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	3
Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	121	3
Οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο	122	3
Λιμάνια	123	3
Αεροδρόμια	124	3
Εξόρυξη ορυκτών	131	3
Εργοτάξια	133	3
Εγκαταστάσεις άθλησης και αναψυχής	142	3
Μη-αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη	211	2
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	2
Αμπελώνες	221	2
Οπωροφόρα	222	2
Ελαιώνες	223	2
Βοσκότοποι	231	1
Σύνθετες καλλιέργειες	242	2
Πρωτίστως αγροκαλλιέργειες, με σημαντικό τμήμα φυσικής βλάστησης	243	1
Δάση πλατύφυλλων	311	3
Δάση κωνοφόρων	312	2
Μεικτά δάση	313	2
Φυσικοί λιβαδότοποι	321	1
Έλη και χερσότοποι	322	2
Σκληρόφυλλη βλάστηση	323	1
Μεταβατική ζώνη από δάσος σε θαμνότοπο	324	1
Παραλίες και αμμόλοφοι	331	3
Γυμνά βράχια	332	1
Γη με αραιή φυτοκάλυψη	333	1
Σώματα νερού	512	3

Μαζί με τις τοπογραφικές εξετάστηκαν και μερικές ακόμη μεταβλητές που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα της τροφής, αφού το είδος είναι μερικώς πτωματοφάγο κατά τους χειμερινούς μήνες αλλά και θηρευτής νεογέννητων αμμοεριφίων: ο κατά

κεφαλήν αριθμός των κτηνοτροφικών ζώων, ο Δείκτης Βλάστησης που στηρίζεται στον απλό λόγο ανάκλασης υπέρυθρης/ερυθρής ακτινοβολίας (simple infrared/red ratio) και ένας δείκτης χρήσεων γης που προέκυψε από τις κλάσεις του Corine Land Cover (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>). Οι χρήσεις γης, λόγω της κατηγορικής φύσης της μεταβλητής και του μεγάλου αριθμού των επιμέρους κατηγοριών, χρειάστηκε να ομαδοποιηθούν εκ νέου. Έτσι, όλες οι επιμέρους κατηγορίες χρήσεων γης ομαδοποιήθηκαν βάσει της καταλληλότητάς τους για τον χρυσαετό σε μια κλίμακα από το 1 (πολύ κατάλληλες) έως το 3 (ακατάλληλες) (Πίνακας 2) και η μεταβλητή αντιμετωπίστηκε ως συνεχής.

### **2.3.3 Μεταβλητές σχετιζόμενες με την ανθρώπινη όχληση**

Έχει διαπιστωθεί σε διάφορες έρευνες η αποστροφή του χρυσαετού για περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (Gil-Sanchez et al. 1994; Carrete 2002). Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκαν να εξεταστούν ως πιθανά σημαντικές παράμετροι η απόσταση των φωλιών (α) από αστικά κέντρα, (β) από μεγάλους δρόμους και (γ) από την παρουσία ανθρώπινων πληθυσμών. Λόγω της απουσίας μεγάλων υδάτινων όγκων στην Κρήτη δεν εξετάστηκε η σημασία της απόστασης των φωλιών από το νερό.

## **2.4 Χωρική Πρόβλεψη Επικρατειών Χρυσαετού (Predicting Aquila Territories)**

Αρχικά, αναπτύχθηκε το μοντέλο PAT (Predicting Aquila Territories) για την εύρεση των σημαντικών περιοχών των επικρατειών των χρυσαετών, την επικάλυψή τους με τις περιοχές προστασίας του δικτύου NATURA 2000 και τους ελαιώνες και την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του νησιού.

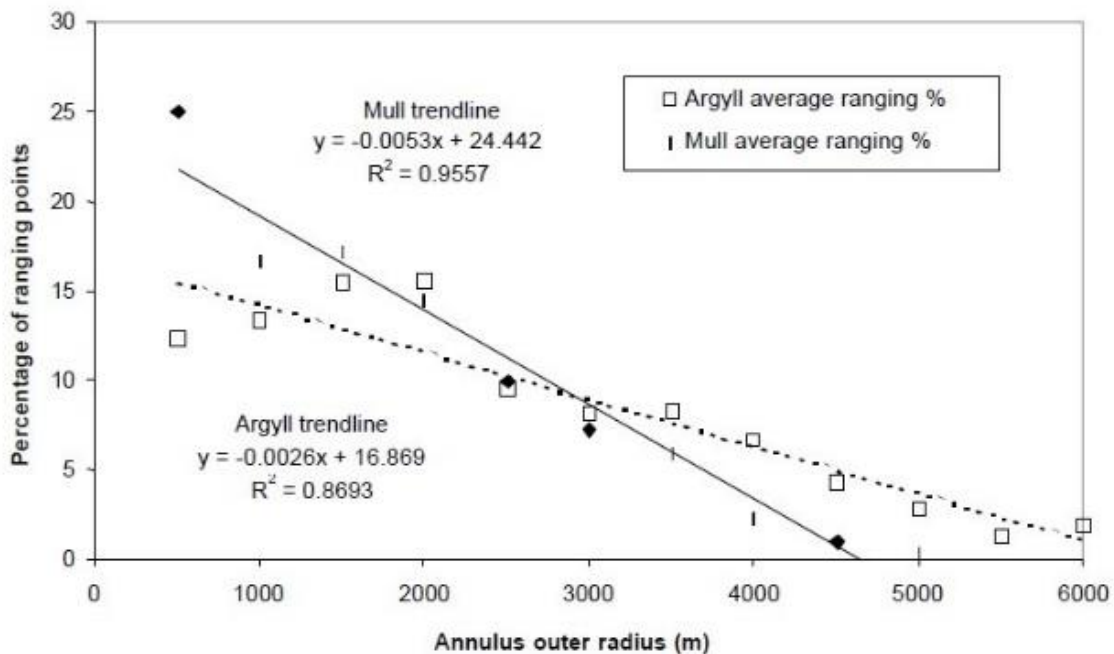
Το PAT είναι ένα μοντέλο βασισμένο σε κανόνες (rule-based model) το οποίο αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Σκωτία κατά τη δεκαετία του 2000 με σκοπό τον εντοπισμό των σημαντικών για τον τοπικό πληθυσμό του χρυσαετού περιοχών και, συνεπακόλουθα, την λήψη σωστών διαχειριστικών αποφάσεων. Βασίζεται στην παρατήρηση δεδομένων τηλεμετρίας για τον εντοπισμό των περιοχών που προτιμώνται από τους χρυσαετούς και την ποσοτικοποίηση των σχέσεων αυτών.

Αρχικά, εκτιμήθηκαν τα κέντρα των επικρατειών, επιλέγοντας μία φωλιά ανά επικράτεια για να εξυπηρετήσει τον σκοπό αυτό. Αυτό συμβαίνει επειδή το ζευγάρι που διατηρεί μια επικράτεια ενδέχεται να κατασκευάζει φωλιές σε διαφορετικά σημεία από χρονιά σε χρονιά για λόγους που υπαγορεύονται από την ακαταλληλότητα του σημείου ή

τη συσσώρευση μικροβίων. Συνολικά, 29 επικράτειες ταυτοποιήθηκαν στη χρονική διάρκεια μιας δεκαετίας (2000 – 2010) και οι γεωγραφικές συντεταγμένες της πιο πρόσφατης ενεργής φωλιάς εντός της κάθε επικράτειας αποτέλεσαν τη μήτρα των δεδομένων μας για το μοντέλο PAT.

Τα όρια κάθε επικράτειας υπολογίστηκαν με βάση τα πολύγωνα Thiessen, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει όλα εκείνα τα σημεία τα οποία βρίσκονται εγγύτερα της επικράτειας που περικλείεται στο πολύγωνο σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη. Ωστόσο, απουσία γειτονικών επικρατειών, ορίστηκε η μέγιστη απόσταση των 6 km για την οριοθέτηση των επικρατειών (McLeod et al. 2002). Με τον τρόπο αυτό ορίζονται αποκλειστικές επικράτειες καθώς γνωρίζουμε ότι, ιδιαίτερα κατά την αναπαραγωγική περίοδο, το ζευγάρι υπερασπίζεται ενεργά τον χώρο του και οι επικράτειες μόνο ελαφρώς μπορεί να επικαλύπτονται (Marzluff et al. 1997).

Έχει αποδειχθεί ότι σε γενικές γραμμές οι χρυσαετοί αποφεύγουν τις περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς επίσης και τα σώματα νερού. Ως εκ τούτου, για τους σκοπούς του μοντέλου, αποκλείστηκαν οι οικιστικές περιοχές, οι μεγάλοι δρόμοι



**Εικόνα 3:** Σχέση μεταξύ της απόστασης από το κέντρο της επικράτειας και του ποσοστού χρήσης σύμφωνα με δεδομένα τηλεμετρίας για δύο περιοχές (Argyll και Mull) στα Highlands της Σκωτίας (Από McLeod et al. 2002).

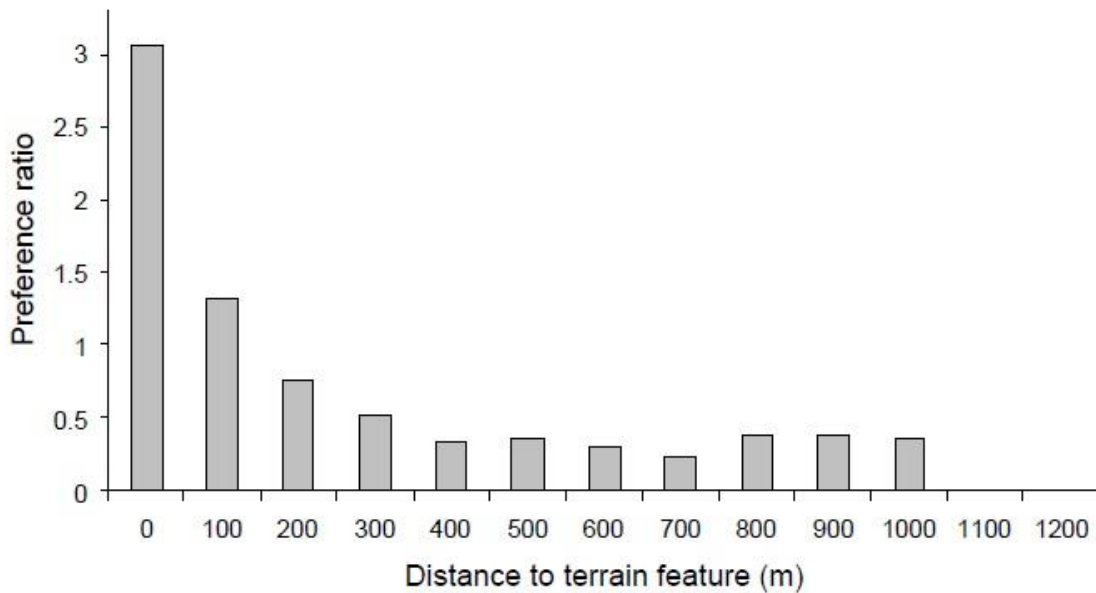
και τα σώματα νερού της Κρήτης. Στα κελιά τα οποία αντιπροσώπευαν κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες δόθηκαν τιμές μηδενικής χρήσης.

Αντιθέτως, οι χρυσαετοί φαίνεται να προτιμούν περιοχές που βρίσκονται εγγύτερα στη φωλιά, με την χρήση να μειώνεται καθώς απομακρύνονται από αυτήν (McLeod et al. 2002) (Εικόνα 3). Επομένως, κατασκευάστηκαν γύρω από το κέντρο κάθε επικράτειας ομόκεντροι δακτύλιοι, πλάτους 500 m, σε καθέναν από τους οποίους δόθηκαν τιμές χρήσης ανάλογα με την απόστασή τους από τη φωλιά. Επιπλέον, συγκεκριμένα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, όπως μεγάλοι γκρεμοί και απότομες κλίσεις προτιμώνται από το είδος, ενδεχομένως λόγω του σχηματισμού στα σημεία αυτά κατάλληλων ανοδικών ρευμάτων αέρα (orographic winds) που ευνοούν την παθητική πτήση και ανέξοδη ανύψωση των αρπακτικών (McLeod et al. 2002) (Εικόνα 4). Έτσι, το ποσοστό της χρήσης κάθε ομόκεντρου δακτυλίου που αποφασίστηκε κατά το προηγούμενο βήμα, δεν διαμοιράστηκε ισόποσα σε όλα τα κελιά, αλλά με βάση την απόστασή τους από τις απότομες κλίσεις του ανάγλυφου: τα κελιά κάθε ομόκεντρου δακτυλίου που βρίσκονταν εγγύτερα σε αυτές, έπαιρναν και μεγαλύτερες τιμές.

Στο τέλος της διαδικασίας, προέκυψε κάποιο πλεόνασμα χρήσης, λόγω των κελιών στα οποία προσδόθηκαν μηδενικές τιμές. Το ποσό αυτό διαμοιράστηκε εκ νέου σύμφωνα με τον εξής κανόνα: 25% δόθηκε στον ίδιο ομόκεντρο δακτύλιο από τον οποίο προέκυψαν οι μηδενικές τιμές, 25% μετακινήθηκε στον γειτονικό δακτύλιο προς το κέντρο της επικράτειας, 25% μετακινήθηκε μακριά από το κέντρο της επικράτειας κατά έναν δακτύλιο και το τελευταίο 25% μετακινήθηκε μακριά από το κέντρο κατά δύο δακτυλίους. Στην περίπτωση μηδενικών τιμών στο εσωτερικό ή τον εξώτατο δακτύλιο, το πλεόνασμα διαμοιράστηκε εξίσου σε όλους τους άλλους δακτυλίους (McLeod et al. 2002).

Για την προετοιμασία και την κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά: ArcGIS 10.4 (ESRI 2016) και R 3.4.3 (R Development Core Team 2017). Για το PAT χρησιμοποιήθηκε Ψηφιακό Μοντέλο Ανάγλυφου (DEM – Digital Elevation Model) της Κρήτης (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) ανάλυσης ~ 83,81 83,81 m<sup>2</sup> και, με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων του ArcGIS, εξήχθησαν οι κλίσεις του εδάφους. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά πολύγωνα που απεικόνιζαν τους οικισμούς, τους δρόμους (από φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών - ορθοφωτοχαρτών 1996-1998, πηγή: <http://labs.opengov.gr/>) και τα σώματα νερού (λίμνες, φράγματα)





**Εικόνα 4:** Ο λόγος προτίμησης (παρατηρούμενη χρήση/αναμενόμενη χρήση εάν ήταν ισοκαταμερισμένη και ανεξάρτητη από την παρουσία απότομων κλίσεων) σε σχέση με την απόσταση από χαρακτηριστικά του

([http://www.oikoskopio.gr/ygrotopio/general/list\\_files.php?category=dedomeva\\_gewbas\\_eww&lang=el\\_GR](http://www.oikoskopio.gr/ygrotopio/general/list_files.php?category=dedomeva_gewbas_eww&lang=el_GR)) της Κρήτης. Μετά την προκαταρκτική αυτή διαδικασία, το μοντέλο αναπτύχθηκε εξ ολοκλήρου στο λογισμικό R και λεπτομερή παράθεση της ακολουθίας των εντολών παρατίθεται στο Παράρτημα I. Η ανάλυση που περιγράφεται πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε επικράτεια και στο τέλος όλα τα αρχεία εισήχθησαν στο ArcGIS και ενοποιήθηκαν σε ένα ψηφιοπλεγμά (raster) για την απεικόνιση των σημαντικών περιοχών της Κρήτης. Επιπλέον, οι περιοχές του δικτύου NATURA 2000 και οι χρήσεις γης του CORINE Land Cover προστέθηκαν στο χάρτη και υπολογίστηκαν αντίστοιχα: (α) τα ποσοστά των επικρατειών που προέκυψαν από το μοντέλο και βρίσκονται εντός των ορίων των προστατευόμενων περιοχών και (β) τα ποσοστά των επικρατειών που προέκυψαν από το μοντέλο και επικαλύπτονται με ελαιώνες.

Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι, καθώς δεν διαθέταμε δεδομένα τηλεμετρίας για την εκτίμηση της χρήσης σε σχέση με την απόσταση από τις φωλιές και τις απότομες πλαγιές, για την απόδοση τιμών στα κελιά χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα, δηλαδή οι εκτιμήσεις και τα αποτελέσματα της αντίστοιχης έρευνας σε περιοχές της Σκωτίας (βλ. McLeod et al. 2002).

## 2.5 Μοντέλα Κατανομής των Ειδών

Στο στάδιο αυτό εντοπίστηκαν οι σημαντικές για την επιλογή φωλιάσματος παράμετροι, ακολουθώντας τις μεθόδους της λογιστικής παλινδρόμησης και της μεγίστης εντροπίας (βλ. 2.5.2.1 και 2.5.2.2) . Τέλος, με το Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας κατασκευάστηκαν χάρτες πρόβλεψης των θέσεων φωλεοποίησης για το είδος στο νησί.

### 2.5.1 Διερευνητική Στατιστική

#### 2.5.1.1 Εξερεύνηση δεδομένων

Αρχικά, έγινε γραφική απεικόνιση των μεταβλητών με θηκογράμματα (boxplots) και ιστογράμματα (histograms) για τον εντοπισμό πιθανών παράτυπων σημείων. Επιπλέον, ο υπολογισμός και η γραφική απεικόνιση των αποστάσεων Cook οδήγησαν στην εύρεση σημείων παρουσίας με μεγάλη επιρροή στο μοντέλο (Cook & Weisberg 1982). Στο τέλος αφαιρέθηκαν μόνο τα σημεία εκείνα για τα οποία υπήρχε βεβαιότητα ότι πρόκειται για λάθος καταγραφές.

Όσον αφορά τους επεξηγηματικούς όρους, από το σύνολο των διαθέσιμων μεταβλητών επιλέχθηκαν εκείνες που θεωρήθηκαν περισσότερο σχετικές με το οικολογικό ερώτημα της μελέτης. Ακολούθησε ο έλεγχος πολυσυγγραμμικότητας (multicollinearity) μεταξύ των μεταβλητών που επιλέχθηκαν, εφόσον η ύπαρξη ισχυρής συγγραμμικότητας μεταξύ τους επηρεάζει την εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου και οδηγεί σε λιγότερο αξιόπιστα αποτελέσματα. Ο έλεγχος αυτός έγινε αρχικά τόσο γραφικά όσο και με τον συντελεστή συσχέτισης Pearson. Τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson  $> 0,5$  ενός ζεύγους μεταβλητών αποτελούν ενδείξεις πιθανής συγγραμμικότητας μεταξύ τους.

Σε δεύτερο επίπεδο εξετάστηκε ο δείκτης VIF (Variance Inflation Factor) που δίδεται από τον τύπο:

$$VIF_i = 1/(1-R_i^2) \quad (1)$$

Δεν υπάρχει μαθηματικά τεκμηριωμένο όριο της τιμής του VIF και ο γενικά αποδεκτός κανόνας υπαγορεύει τιμές VIF  $> 10$  να είναι προβληματικές (Quinn & Keough 2002). Μετά την εξέταση των δύο αυτών δεικτών απομακρύνθηκαν οι μεταβλητές που θεωρήθηκε ότι δημιουργούσαν προβλήματα συγγραμμικότητας και ταυτόχρονα ήταν λιγότερο σχετικές με το οικολογικό ερώτημα συγκρινόμενες με τις υπόλοιπες.

### **2.5.1.2 Χωρική αυτοσυσχέτιση**

Απαραίτητο στάδιο κάθε μοντέλου κατανομής των ειδών είναι ο έλεγχος της χωρικής αυτοσυσχέτισης (spatial autocorrelation) μεταξύ των δεδομένων παρουσίας, η οποία οφείλεται στην αυτοσυσχέτιση των περιβαλλοντικών παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται το είδος στον γεωγραφικό χώρο. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι τιμές των μεταβλητών σε γειτονικές τοποθεσίες θα τείνουν να μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους σε σχέση με τις τιμές σε τοποθεσίες τυχαία κατανεμημένες στο χώρο (Legendre & Legendre 1998), γεγονός που οδηγεί σε μη τυχαία κατανεμημένα σφάλματα και, ενδεχομένως, σε υπερεκτίμηση της σημαντικότητας κάποιων μεταβλητών. Επομένως, το φαινόμενο της συνάθροισης των δεδομένων παρουσίας στον γεωγραφικό χώρο πρέπει να εξετάζεται και να αντιμετωπίζεται είτε με την σταδιακή αφαίρεση δεδομένων παρουσίας έως το σημείο όπου παύει το φαινόμενο της χωρικής αυτοσυσχέτισης είτε με την εισαγωγή κάποιου χωρικού όρου στο μοντέλο (De Frutos et al. 2007).

Η χωρική αυτοσυσχέτιση εξετάστηκε με την κατασκευή διαγραμμάτων ημιμεταβλητότητας (semivariograms) για την εύρεση της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης μεταξύ δύο σημείων παρουσίας και πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό R 3.4.3 (R Core Team 2017). Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της χωρικής αυτοσυσχέτισης επιλέχθηκε η αφαίρεση των φωλιών που βρίσκονταν μεταξύ τους εγγύτερα από την ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση που καθορίστηκε από τα διαγράμματα ημιμεταβλητότητας.

## **2.5.2 Ανάπτυξη Μοντέλων**

### **2.5.2.1 Λογιστική Παλινδρόμηση**

Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (GLMs – Generalized Linear Models) συνιστούν μια γενικευμένη εκδοχή των κλασικών μοντέλων παλινδρόμησης (regression models). Χρησιμοποιούν κάποια συνδετική συνάρτηση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και εξαρτημένων μεταβλητών των οποίων η κατανομή απέχει από την κανονική, κάτι που αποτελεί περισσότερο τον κανόνα παρά την εξαίρεση στην περίπτωση των SDMs (Franklin 2010). Από την οικογένεια των GLMs η Λογιστική Παλινδρόμηση χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις εκείνες όπου η εξαρτημένη μεταβλητή είναι δίτιμη (binomial), όπως στην περίπτωσή μας όπου μελετάται η απουσία ή παρουσία της φωλιάς του είδους (0/1 αντίστοιχα).

Για την ανάπτυξη των GLMs απαιτούνται: (α) μια εξαρτημένη μεταβλητή με μη-κανονική κατανομή, (β) ένα σύνολο επεξηγηματικών, ανεξάρτητων μεταβλητών και (γ) μια συνάρτηση που θα συνδέει τις αναμενόμενες τιμές της εξαρτημένης με την ανεξάρτητη μεταβλητή (Quinn & Keough 2002). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της Λογιστικής Παλινδρόμησης όπου η εξαρτημένη μεταβλητή είναι δίτιμη (παρουσία/απουσία φωλιών), χρησιμοποιείται η συνάρτηση “logit”, η οποία υπολογίζει τον φυσικό λογάριθμο της πιθανότητας να συμβεί ένα γεγονός προς την πιθανότητα να μην συμβεί το ίδιο γεγονός (odds ratio). Με άλλα λόγια, εάν  $\pi(x)$  είναι η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός (εδώ η παρουσία φωλιάς), τότε:

$$\ln[\pi(x)/(1-\pi(x))] = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2)$$

όπου  $\beta_0$  και  $\beta_1$  είναι οι προς εκτίμηση παράμετροι. Συγκεκριμένα, το  $\beta_0$  είναι το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα  $Y$  και δεν έχει ερμηνευτική αξία στην περίπτωση της Λογιστικής Παλινδρόμησης, ενώ το  $\beta_1$  αποτελεί τον συντελεστή παλινδρόμησης και μας πληροφορεί για το ποσοστό μεταβολής του  $\pi(x)$  για μια δεδομένη μεταβολή της μεταβλητής  $x$ . Η εξίσωση (2) παρουσιάζεται στην απλοποιημένη μορφή της, όταν μονάχα μία επεξηγηματική μεταβλητή έχει συμπεριληφθεί, ωστόσο μπορεί να γενικευτεί για τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που θέλουμε να ενσωματώσουμε στο μοντέλο μας, αντικαθιστώντας το δεξί μέρος της εξίσωσης με:  $\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$ .

Η μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης απαιτεί εκτός από τα δεδομένα παρουσίας και κάποια κελιά απουσίας του είδους. Εξαιτίας της φύσης των δεδομένων μας (γεωγραφικά στίγματα φωλιών), δεν υπήρχαν εξαρχής τέτοια δεδομένα απουσίας και, ως εκ τούτου, προήλθαν δευτερογενώς μέσω του εργαλείου: “Create Random Points” της εργαλειοθήκης του Data Management του ArcGIS. Το εργαλείο αυτό επιλέγει τυχαία σημεία του υποβάθρου στον γεωγραφικό χώρο και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αριθμό τους καθώς και την ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους, προκειμένου να αποφεύγεται το φαινόμενο της χωρικής συσχέτισης. Με τον τρόπο αυτό επιλέχθηκαν περίπου ισάριθμα κελιά απουσίας και παρουσίας με την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κελιών απουσίας να επιλέγεται στα 2.000 m.

Η ανάπτυξη μοντέλων κατανομής των ειδών απαιτεί την επιλογή του μοντέλου που καλύτερα περιγράφει την μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής καθώς και

έλεγχο της καλής προσαρμογής των αποτελεσμάτων. Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου έγινε με την προσθαφαίρεση μεταβλητών ως επεξηγηματικών όρων του μοντέλου και εξέταση του δείκτη AIC (Akaike Information Criterion) ο οποίος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$AIC = D_M + 2p\phi \quad (3)$$

όπου  $D_M$  είναι η απόκλιση των υπολοίπων (residual deviance),  $p$  ο αριθμός των μεταβλητών και  $\phi$  κάποιος συντελεστής κλίμακας (Franklin 2010). Όσο μικρότερες είναι οι τιμές του δείκτη AIC τόσο καλύτερο είναι το μοντέλο, καθώς συμπεριλαμβάνονται οι μεταβλητές εκείνες που μεγιστοποιούν τη μείωση στην απόκλιση των υπολοίπων.

Ο έλεγχος της προσαρμογής του μοντέλου έγινε με την εξέταση της απόκλισης των υπολοίπων. Κατά τη λογιστική παλινδρόμηση επιθυμούμε να μειώσουμε όσο γίνεται περισσότερο την απόκλιση των υπολοίπων, ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής που δεν ερμηνεύεται από το μοντέλο μας και οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες. Η απόκλιση των υπολοίπων της λογιστικής παλινδρόμησης αντιστοιχεί στο άθροισμα των τετραγωνικών σφαλμάτων (residual sum of squares) της απλής, γραμμικής παλινδρόμησης.

Τέλος, ελέγχθηκε η διακριτική ικανότητα του μοντέλου, εξετάζοντας την περιοχή κάτω από την καμπύλη AUC (Area Under the Curve) της καμπύλης λειτουργικών χαρακτηριστικών του δέκτη ROC (Receiver Operating Characteristics). Ο δείκτης μας πληροφορεί σχετικά με την ικανότητα του μοντέλου να διακρίνει μεταξύ περιοχών παρουσίας και περιοχών απουσίας. Συγκεκριμένα, εκτιμάει την πιθανότητα ένα τυχαίο σημείο παρουσίας να πάρει υψηλότερη τιμή σε σχέση με ένα τυχαίο σημείο απουσίας (Philips et al. 2006). Δεν υπάρχει μαθηματικά τεκμηριωμένο όριο, θεωρούμε όμως ότι τιμές του δείκτη  $> 0,75$  υποδηλώνουν ένα μοντέλο με ικανοποιητική ικανότητα διάκρισης, τιμές  $> 0,9$  υποδηλώνουν ένα μοντέλο με άριστες ικανότητες διάκρισης, ενώ τιμές κοντά στο 0,5 υποδηλώνουν ότι το μοντέλο μας διέπεται σε τέτοιο βαθμό από τυχαιότητα που δεν διαθέτει ουσιαστικά κάποια ερμηνευτική ισχύ.

#### **2.5.2.2 Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας (MaxEnt)**

Το Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας αποτελεί μια γενικού σκοπού μέθοδο πρόβλεψης με βάση την ατελή πληροφορία. Οι καταβολές της μεθόδου εντοπίζονται στο πεδίο της στατιστικής μηχανικής και ο ορισμός της δόθηκε από τον Jaynes (1957), ο

οποίος υποστήριξε ότι η καλύτερη προσέγγιση μιας άγνωστης κατανομής είναι εκείνη που εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη εντροπία, παραμένοντας ταυτόχρονα πιστή σε ένα σύνολο γνωστών περιορισμών. Η βασική ιδέα του μοντέλου, δηλαδή, είναι η εκτίμηση της κατανομής της πιθανότητας μιας μεταβλητής βρίσκοντας εκείνη την πιθανότητα για την οποία μεγιστοποιείται η εντροπία (με άλλα λόγια, την περισσότερο ομοιόμορφη), υποκείμενη ταυτόχρονα σε ένα σύνολο περιορισμών που υπαγορεύονται από την ατελή πληροφορία για την κατανομή της μεταβλητής (Phillips et al. 2006).

Οι νόμοι της θερμοδυναμικής είναι αυτοί που καθιστούν το μοντέλο της εντροπίας εφαρμόσιμο και στην περίπτωση της κατανομής των ειδών (Schneider & Kay 1994). Συγκεκριμένα, ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής ορίζει ότι σε ένα κλειστό σύστημα, οι διαδικασίες τείνουν προς την κατεύθυνση της μεγιστοποίησης της εντροπίας. Για τους σκοπούς της οικολογικής έρευνας, η άγνωστη κατανομή της πιθανότητας, την οποία συμβολίζουμε με  $\pi$ , ορίζεται σε ένα σύνολο  $X$  (το σύνολο των κελιών της περιοχής μελέτης). Η  $\pi$  αναθέτει μια πιθανότητα σε κάθε σημείο  $x$  του συνόλου  $X$ , έτσι ώστε το άθροισμα των πιθανοτήτων αυτών να ισούται με 1. Η εκτίμηση της  $\pi$  είναι και αυτή με τη σειρά της μια κατανομή πιθανότητας, την οποία συμβολίζουμε με  $\hat{\pi}$ , και της οποίας η εντροπία ορίζεται ως:

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{\chi \in X} \hat{\pi}(\chi) \ln \hat{\pi}(\chi)$$

Το μοντέλο μέγιστης εντροπίας χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα παρουσίας ενός είδους και ψευδο-απουσίες, τις οποίες εξάγει από τα σημεία του υποβάθρου, για τα οποία δεν ξέρουμε εάν το είδος είναι παρόν. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και έχει εισαγάγει νέες δυνατότητες για τα μοντέλα κατανομής των ειδών, καθώς σε πολλές περιπτώσεις τα δεδομένα απουσίας είτε δεν είναι διαθέσιμα είτε είναι αμφιβόλου εγκυρότητας (Anderson et al. 2003). Όσον αφορά την αξιοπιστία τους, τα μοντέλα που χρησιμοποιούν αποκλειστικά δεδομένα παρουσίας έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά για πολλές περιοχές και είδη μελέτης (Elith et al. 2006).

Η ανάπτυξη του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό MaxEnt v.3.3.3k (Phillips et al. 2006). Ο αριθμός των επαναλήψεων ορίστηκε στις 50 για κάθε υποσύνολο δεδομένων, ενώ επιλέχθηκε από το πρόγραμμα αυτόματα ο τύπος αλληλεπίδρασης μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών (autofeatures).

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας ενός μοντέλου απαιτεί και την ύπαρξη ενός ανεξάρτητου συνόλου δεδομένων τα οποία θα επικυρώσουν τα αποτελέσματά του. Το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την προσαρμογή του μοντέλου δεν πρέπει να χρησιμοποιείται και για την επικύρωσή του και, ιδανικά για τον σκοπό αυτό, απαιτούνται καινούργιες μετρήσεις. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό να συμβεί, χωρίζεται το αρχικό σύνολο σε δύο ομάδες, εκ των οποίων η μία χρησιμοποιείται για την προσαρμογή του μοντέλου και η άλλη για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του. Στην παρούσα μελέτη, το 80% των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για την προσαρμογή του μοντέλου και το υπόλοιπο 20% για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του, με τη μέθοδο της διασταυρούμενης επικύρωσης (cross-validation).

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η λογιστική μορφή των παραγόμενων χαρτών που παρουσιάζουν και την μεγαλύτερη ευχέρεια στην ερμηνεία τους, εφόσον κάθε κελί διαθέτει μία τιμή στην κλίμακα 0-1 που αναπαριστά και την πιθανότητα παρουσίας του είδους. Η μετατροπή των χαρτών αυτών σε χάρτες παρουσίας/απουσίας του είδους έγινε με την επιλογή του κατάλληλου ορίου (threshold), πάνω από το οποίο το είδος θεωρείται παρόν. Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτόν ήταν το μέγιστο άθροισμα της ειδικότητας και της ευαισθησίας για το σετ των δεδομένων προσαρμογής (Maximum training sensitivity plus specificity). Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται συχνά για την μετατροπή των χαρτών πιθανότητας παρουσίας σε χάρτες παρουσίας/απουσίας (Liu et al. 2005) και, σύμφωνα με πολλές έρευνες, παράγει τους περισσότερο αξιόπιστους χάρτες πρόβλεψης (Manel et al. 2001; Liu et al. 2005; Jiménez-Valverde & Lobo 2007). Ο όρος «ευαισθησία» (sensitivity) αναφέρεται στο κλάσμα των παρουσιών που προβλέπει το μοντέλο προς το σύνολο των πραγματικών παρουσιών, ενώ ο όρος «ειδικότητα» (specificity) αναφέρεται στο κλάσμα των απουσιών που προβλέπει το μοντέλο προς το σύνολο των πραγματικών απουσιών, είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και αποτελούν σημαντικά μέτρα εκτίμησης της προσαρμογής του μοντέλου (Allouche et al. 2006).

Η αξιολόγηση του μοντέλου έγινε τόσο με την καμπύλη AUC του δέκτη ROC όσο και με τον υπολογισμό του δείκτη TSS (True Skill Statistics). Ο δείκτης AUC είναι ανεξάρτητος του ορίου που επιλέχθηκε και εκφράζει την πιθανότητα ενός σημείου παρουσίας να αξιολογηθεί υψηλότερα σε σχέση με ένα τυχαίο σημείο απουσίας (Phillips et al. 2006). Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο AUC αποτελεί έναν δείκτη της ικανότητας του

μοντέλου να διακρίνει μεταξύ περιοχών παρουσίας και απουσίας. Η παραγόμενη καμπύλη απεικονίζει το κλάσμα των παρουσιών που ταξινομούνται πράγματι ως παρουσίες (sensitivity) προς το κλάσμα των απουσιών που ταξινομούνται λανθασμένα ως παρουσίες (commission error) για όλες τις δυνατές τιμές παρουσίας/απουσίας. Μια τυχαία κατάταξη θα δίνει τιμές AUC κοντά στο 0,5, ενώ η τέλεια ικανότητα διάκρισης θα πάρει την τιμή  $AUC = 1$  (βλ. επίσης 2.5.2.1 Λογιστική Παλινδρόμηση). Ο κανόνας υπαγορεύει ότι τιμές  $AUC > 0,75$  θεωρούνται ικανοποιητικές και πιθανά χρήσιμες (Elith 2000).

Με τη σειρά του, ο δείκτης TSS αποτελεί ένα μέτρο αξιολόγησης της καλής προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα και εξαρτάται από το όριο που επιλέχθηκε για την μετατροπή του χάρτη της πιθανότητας παρουσίας του είδους σε δίτιμη μεταβλητή παρουσίας/απουσίας. Υπολογίζεται από τον τύπο:

Ευαισθησία + Ειδικότητα – 1

και πολλές έρευνες έχουν καταδείξει την υπεροχή του σε σχέση με άλλες μεθόδους αξιολόγησης. Η υπεροχή του έγκειται στο ότι δεν εξαρτάται από την κυριαρχία (prevalence) του είδους ή το μέγεθος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου (Allouche et al. 2006). Ο δείκτης TSS παίρνει τιμές από -1 έως +1, όπου το +1 υποδηλώνει άψογη ικανότητα πρόβλεψης ενώ τιμές κοντά στο μηδέν ή μικρότερες υποδεικνύουν ένα φτωχό μοντέλο που διέπεται από τυχαιότητα (Allouche et al. 2006). Και σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει ένα μαθηματικά τεκμηριωμένο όριο, σύμφωνα όμως με τους Landis & Koch (1977) τιμές  $TSS > 0,9$  υποδηλώνουν άριστη προσαρμογή, ενώ  $0,4 < TSS < 0,75$  καλή και  $TSS < 0,4$  φτωχή προσαρμογή. Ο υπολογισμός του δείκτη TSS έγινε με τη χρήση του λογισμικού R 3.4.3 (R Core Team 2017).



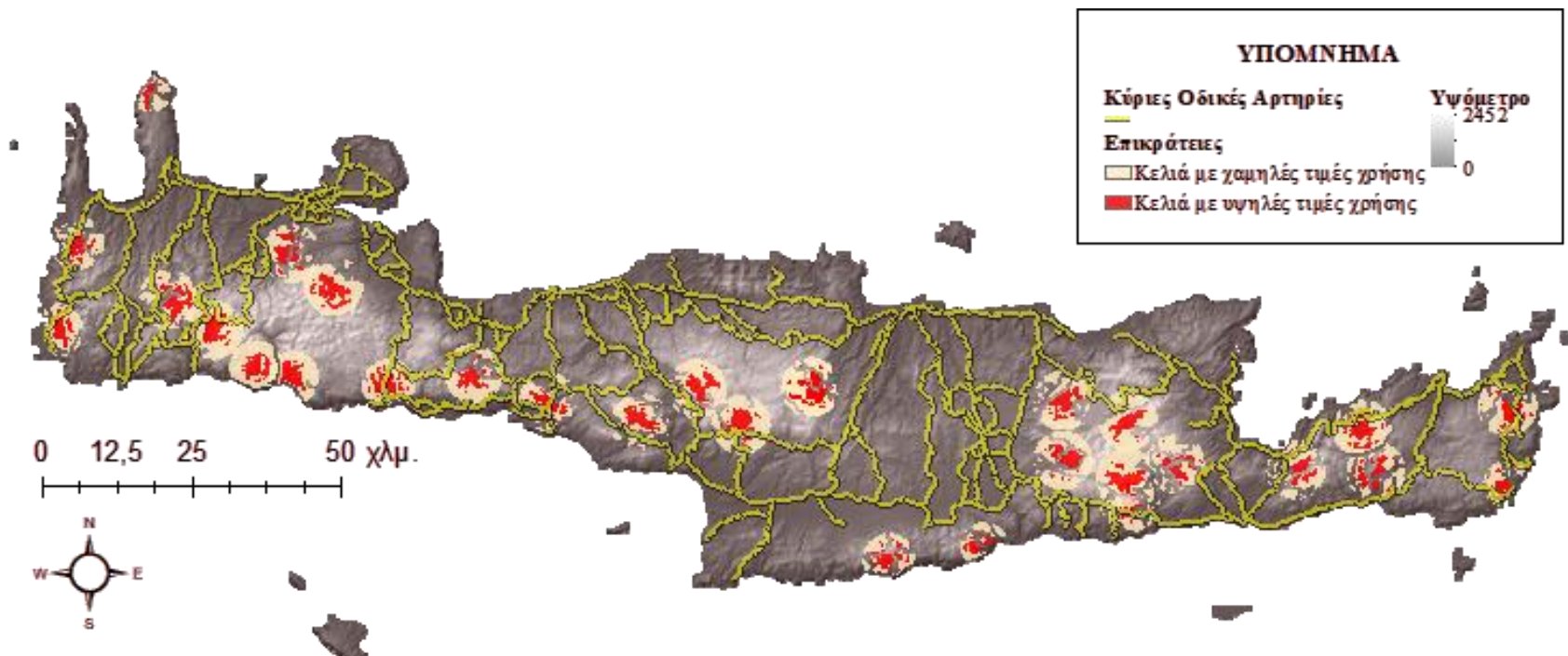
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Αποτελέσματα ΡΑΤ

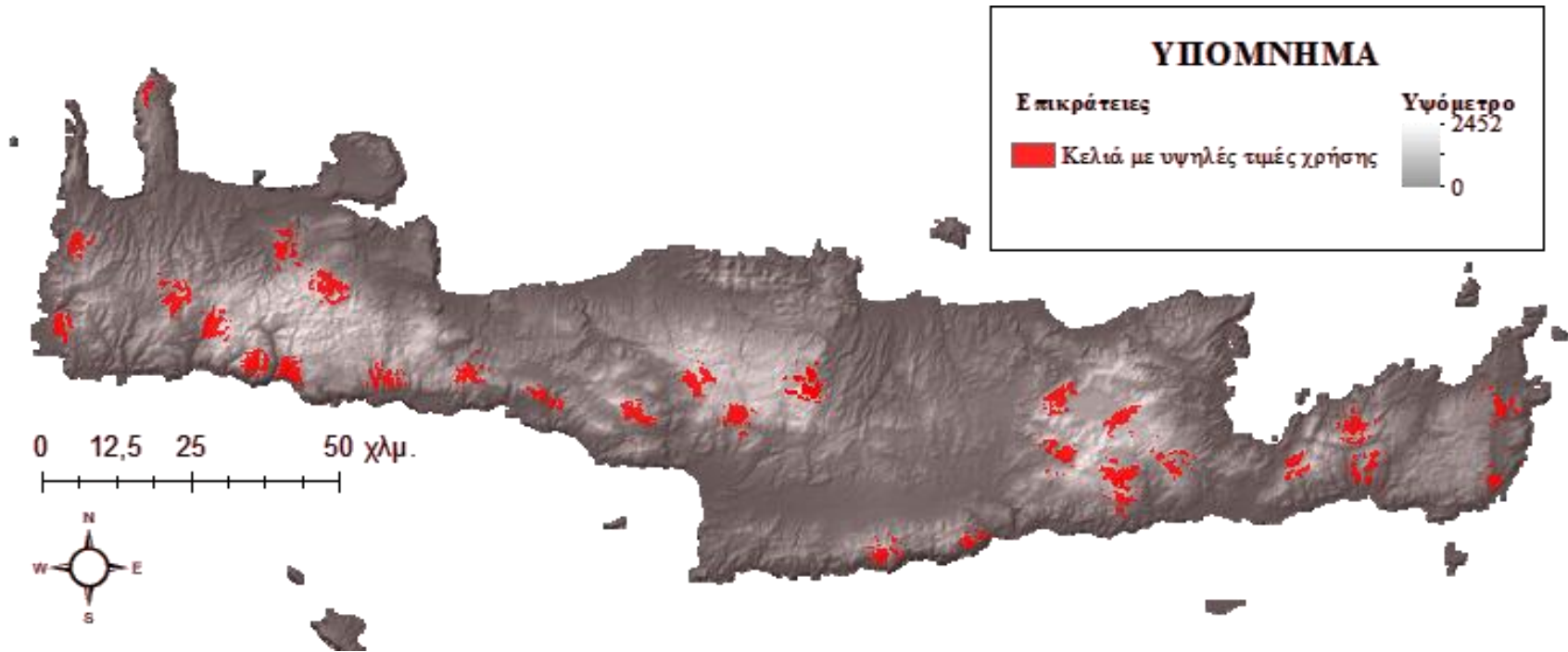
Στην Εικόνα 5 φαίνεται ο χάρτης που προέκυψε από την ανάπτυξη του μοντέλου ΡΑΤ για όλες τις επικράτειες του είδους που εξετάστηκαν. Για την απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε έντονος χρωματισμός για τα κελιά με τιμές χρήσης μεγαλύτερες του μέσου όρου και ασθενής χρωματισμός για τα κελιά με τιμές χρήσης μικρότερες του μέσου όρου. Τα σημεία που στερούνται χρωματισμού αντιπροσωπεύουν τμήματα της επικράτειας με μηδενική χρήση, δηλαδή αυτά που αποφεύγονται από τον χρυσαετό, όπως δρόμοι και οικισμοί, ενώ στον ίδιο χάρτη απεικονίζονται και οι μεγάλες οδικές αρτηρίες.

Στην Εικόνα 6 απεικονίζονται ξεχωριστά εκείνα τα κελιά της κάθε επικράτειας τα οποία έλαβαν τιμές χρήσης ίσες ή μεγαλύτερες του μέσου όρου. Το εύρος των τιμών χρήσης διαφοροποιείται από επικράτεια σε επικράτεια καθώς σχετίζεται με την έκτασή τους και με την εγγύτητά τους από κρημνούς, φαράγγια και άλλα σημεία με απότομες κλίσεις του εδάφους. Επομένως, διαφοροποιείται ανά επικράτεια και η σημασία των κελιών με υψηλές τιμές χρήσης. Παραδείγματος χάριν, στις επικράτειες όπου η έκτασή τους έχει περιοριστεί σημαντικά είτε λόγω της ύπαρξης του οδικού δικτύου και οικισμών είτε λόγω της γειτνίασής τους με άλλες επικράτειες, οι εναπομείνουσες περιοχές αποκτούν υψηλότερες τιμές χρήσης και καθίστανται κρίσιμες για την εύρεση τροφής και τη διατήρηση της επικράτειας.

Όπως φαίνεται από τις Εικόνες 5 και 6, η φέρουσα ικανότητα του αναπαραγωγικού πληθυσμού του χρυσαετού στην Κρήτη είναι οι 29 επικράτειες που απεικονίζονται.



**Εικόνα 5:** Το σύνολο των επικρατειών του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη, όπως διαμορφώθηκαν από την ανάπτυξη του μοντέλου PAT. Εντός της κάθε επικράτειας, ο έντονος χρωματισμός αντιπροσωπεύει τα κελιά που έλαβαν τιμές χρήσης μεγαλύτερες ή ίσες της μέσης τιμής, ενώ ο ασθενής χρωματισμός τα κελιά με τιμές χρήσης μικρότερης της μέσης τιμής. Τα τμήματα των επικρατειών που στερούνται χρωματισμού αντιστοιχούν σε κελιά που λαμβάνουν μηδενικές τιμές χρήσης καθώς θεωρείτε ότι δεν χρησιμοποιούνται καθόλου από τα άτομα του είδους.

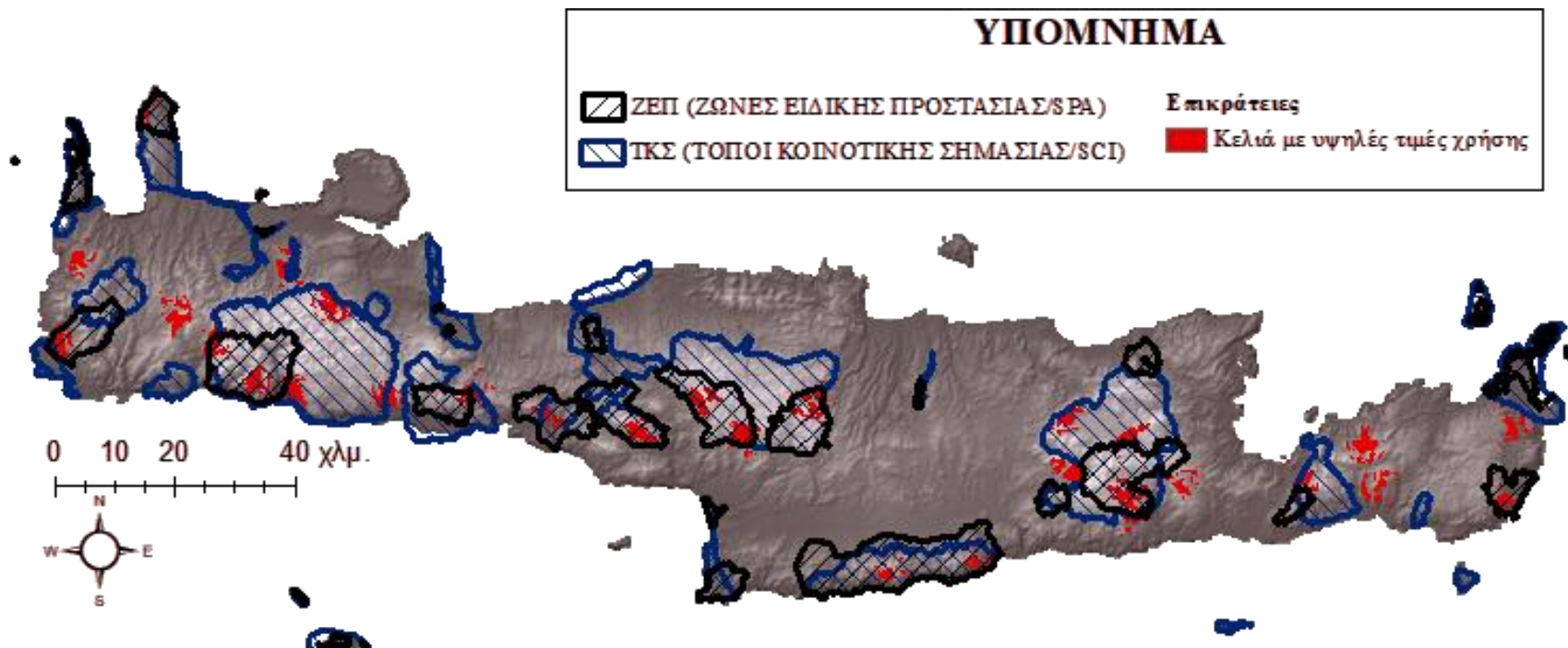


**Εικόνα 6:** Τα κελιά που πήραν τις υψηλότερες τιμές χρήσης κατά το μοντέλο PAT για όλες τις επικράτειες. Οι περιοχές αυτές υπολογίστηκαν μετά την ανάπτυξη του μοντέλου PAT και την απόδοση κάποιας τιμής χρήσης σε κάθε κελί, η οποία ήταν τόσο υψηλότερη όσο εγγύτερα βρισκόταν το εκάστοτε κελί στο κέντρο της επικράτειας και σε σημεία του ανάγλυφου με έντονες κλίσεις (βλ. και κείμενο για πλήρη επεξήγηση του μοντέλου). Οι περιοχές που απεικονίζονται στον χάρτη της εικόνας περιλαμβάνουν εκείνα τα κελιά τα οποία έλαβαν τιμές χρήσης ίσες με τον μέσο όρο ή υψηλότερες και, επομένως, χρησιμοποιούνται περισσότερο από τους χρυσαετούς.

Στην Εικόνα 7 απεικονίζονται τα κελιά που έλαβαν υψηλές τιμές χρήσης κατά ΡΑΤ στο σύνολο των επικρατειών σε συνδυασμό με τις περιοχές του δικτύου NATURA 2000 της Κρήτης.

Το 38% των επικρατειών βρίσκεται εντός των ΖΕΠ (Ζώνες Ειδικής Προστασίας) ενώ το 50% βρίσκεται εντός των ΤΚΣ (Τόποι Κοινοτικής Σημασίας) του δικτύου. Λόγω και της επικάλυψης μεταξύ των δύο αυτών ζωνών, το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των επικρατειών και όλων των περιοχών του δικτύου NATURA 2000 αγγίζει το 60% του συνόλου των επικρατειών που εξετάστηκαν. Εάν εξετάσουμε τώρα μόνο τα κελιά που έλαβαν υψηλές τιμές χρήσης, το 41% βρίσκεται εντός των ΖΕΠ και το 58% βρίσκεται εντός των ΤΚΣ. Συνολικά, το 63% των κελιών που έλαβαν υψηλές τιμές χρήσης και αποτελούν ουσιαστικά τις σπουδαιότερες περιοχές για τους χρυσαετούς, βρίσκονται εντός κάποιας περιοχής του δικτύου NATURA 2000 (ΖΕΠ ή ΤΚΣ). Τέλος, από την Εικόνα 7 φαίνεται ότι τα κελιά με υψηλές τιμές χρήσης από οχτώ επικράτειες βρίσκονται εξ ολοκλήρου εκτός κάποιας προστατευόμενης περιοχής του δικτύου NATURA 2000.

Η διαμόρφωση των επικρατειών του χρυσαετού στην Κρήτη εξετάστηκε και σε σχέση με τους ελαιώνες, οι οποίοι αποτελούν τον κύριο τύπο χρήσης γης με τάσεις επέκτασης. Έτσι, υπολογίστηκε ότι το 5,31% των επικρατειών αποτελείται από ελαιώνες, ενώ η συνολική επικάλυψη μεταξύ των ελαιώνων και των περιοχών του δικτύου NATURA 2000 αγγίζει το 6,37% της έκτασης των ελαιώνων. Στο Παράρτημα II απεικονίζονται οι τύποι χρήσεων γης που έχουν χαρακτηριστεί ως ελαιώνες κατά CORINE Land Cover 2012 στην Κρήτη και η επικάλυψή τους με τις επικράτειες του χρυσαετού.



**Εικόνα 7:** Τα κελιά με υψηλές τιμές χρήσης στο σύνολο των επικρατειών κατά ΡΑΤ σε συνδυασμό με περιοχές του δικτύου NATURA 2000. Το 63% των κελιών με υψηλές τιμές χρήσης βρίσκονται εντός κάποιας προστατευόμενης περιοχής του δικτύου, ενώ τα κελιά από οχτώ επικράτειες βρίσκονται εξ ολοκλήρου εκτός του δικτύου.

## 3.2 Λογιστική Παλινδρόμηση

### 3.2.1 Χωρική αυτοσυσχέτιση και αντιμετώπιση

Τα διαγράμματα ημιμεταβλητότητας που προέκυψαν βρίσκονται στο Παράρτημα III. Λόγω της κατασκευής διαφορετικών φωλιών από το ίδιο ζευγάρι εντός των επικρατειών τους, στα δεδομένα παρουσίας παρατηρήθηκε ένα συναθροιστικό πρότυπο κατανομής των φωλιών. Η απόσταση παύσης του φαινομένου της χωρικής αυτοσυσχέτισης, όπως φάνηκε από τα διαγράμματα ημιμεταβλητότητας, εντοπίστηκε στα 5 κελιά, οπότε και αφαιρέθηκαν οι φωλιές που απείχαν μεταξύ τους απόσταση μικρότερη από  $5 \cdot 400 = 2.000$  m. Ως εκ τούτου, το σύνολο των δεδομένων παρουσίας μειώθηκε στις 43 φωλιές, σε σχέση με τις αρχικές 54.

Ο ίδιος κανόνας εφαρμόστηκε ακολούθως και για τα σημεία απουσίας. Έτσι, κατά την επιλογή τους με την εργαλειοθήκη του ArcGIS ορίστηκαν τα 2.000 m ως η ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ δύο τυχαίων σημείων απουσίας.

### 3.2.2 Αποτελέσματα της ανάλυσης ανά σύνολο δεδομένων

#### 3.2.2.1 Βιοκλιματικές μεταβλητές

Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι τιμές των δεικτών συσχέτισης για τις βιοκλιματικές μεταβλητές που μελετήθηκαν και, όπως ήταν αναμενόμενο, διαπιστώθηκε πολύ ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από την μελέτη των τιμών του δείκτη VIF (Πίνακας 4). Ως εκ τούτου, διατηρήθηκαν για τους σκοπούς της ανάλυσης μόνο δύο από αυτές: η BIO9 – Μέση Θερμοκρασία του Ξηρότερου Τέταρτου και η BIO19 – Βροχόπτωση του Ψυχρότερου Τέταρτου, προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση των κλιματικών συνθηκών αμέσως πριν και αμέσως μετά την αναπαραγωγική περίοδο. Παρά το γεγονός ότι το ζεύγος των μεταβλητών αυτών εμφανίζει σχετικά μεγάλο συντελεστή συσχέτισης (0,69), οι τιμές του δείκτη VIF ήταν πολύ μικρές (Πίνακες 3, 4).

**Πίνακας 3:** Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των βιοκλιματικών μεταβλητών. Τιμές υψηλής θετικής (>0,5) ή αρνητικής (< -0,5) συσχέτισης εντοπίζονται μεταξύ όλων των βιοκλιματικών μεταβλητών. Επεξήγηση μεταβλητών: BIO 5 – Μέγιστη Θερμοκρασία Θερμότερου Μήνα, BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 11 – Μέση Θερμοκρασία Ψυχρότερου Τέταρτου, BIO 17 – Βροχόπτωση Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 19 – Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου

	BIO 5	BIO 19	BIO 17	BIO 11	BIO 9
BIO 5	*	*	*	*	*
BIO 19	-0,58	*	*	*	*
BIO 17	-0,78	0,92	*	*	*
BIO 11	0,95	-0,73	-0,89	*	*
BIO 9	0,97	-0,69	-0,86	0,99	*

**Πίνακας 4:** Οι τιμές του δείκτη VIF για τις βιοκλιματικές μεταβλητές για: (α) το σύνολο των μεταβλητών (δεύτερη στήλη) και (β) το υποσύνολο των μεταβλητών BIO 9 και BIO 19 που διατηρήθηκαν μετά τον έλεγχο πολυσυγγραμμικότητας (τρίτη στήλη). Επεξήγηση μεταβλητών: BIO 5 – Μέγιστη Θερμοκρασία Θερμότερου Μήνα, BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 11 – Μέση Θερμοκρασία Ψυχρότερου Τέταρτου, BIO 17 – Βροχόπτωση Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 19 – Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου

Βιοκλιματικές μεταβλητές	VIF πριν	VIF μετά
BIO 5	53,53	-
<b>BIO 9</b>	478,74	2,13
BIO 11	289,09	-
BIO 17	19,65	-
<b>BIO 19</b>	9,79	1,91

**Πίνακας 5:** Πίνακας αποτελεσμάτων της λογιστικής παλινδρόμησης του σετ των βιοκλιματικών μεταβλητών, για τις μεταβλητές που διατηρήθηκαν μετά την σταδιακή προσθαφαίρεση μεταβλητών και την εξέταση του κριτηρίου AIC. Διατηρήθηκε μόνον η μεταβλητή BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου, η οποία κρίθηκε στατιστικώς σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$

Βιοκλιματικές μεταβλητές	$\beta_1$	Τυπικό σφάλμα	z	p-value
BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου	-0,04386	0,01182	-3,71	0,000208 ***
Απόκλιση αναφοράς	142,8 σε 104 BE			
Απόκλιση υπολοίπων	126,58 σε 103 BE			
AIC	130,58 (132,11)			

Από τις βιοκλιματικές μεταβλητές που εξετάστηκαν μεγαλύτερη συνεισφορά στο μοντέλο έχει η BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία του Ξηρότερου Τέταρτου (Πίνακας 5). Όπως μας πληροφορεί ο συντελεστής συσχέτισης ( $\beta_1$ ) της μεταβλητής, αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του ξηρότερου τέταρτου κατά μία μονάδα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας απουσίας του είδους (σε σχέση με την πιθανότητα παρουσίας του). Επομένως, μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία του ξηρότερου τέταρτου συνεπάγεται και μικρότερη παρουσία του είδους. Η ανάλυση επαναλήφθηκε 10 φορές από τις οποίες προέκυψε  $AUC = 0,69 \pm 0,12$ .



### 3.2.2.2. Μεταβλητές ανθρώπινης όχλησης

Όσον αφορά τις μεταβλητές που σχετίζονται με την ανθρώπινη όχληση, αρκετά μεγάλος συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε ανάμεσα στο ζεύγος μεταβλητών Απόσταση από πόλεις και Απόσταση από πληθυσμούς (Πίνακας 6). Έτσι, διατηρήθηκαν μόνο οι μεταβλητές Απόσταση από πληθυσμούς και Απόσταση από δρόμους σε αυτό το υποσύνολο δεδομένων.

Από τις μεταβλητές αυτές, στατιστικά σημαντική συνεισφορά στο μοντέλο παρουσιάζει η μεταβλητή Απόσταση από δρόμους (Πίνακας 8). Συγκεκριμένα, μεγαλύτερη απόσταση από δρόμους συνεπάγεται μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας του είδους. Από το σύνολο των 10 επαναλήψεων, υπολογίστηκε  $AUC = 0,66 \pm 0,1$ .

**Πίνακας 6:** Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών ανθρώπινης όχλησης. Τιμές υψηλής θετικής ( $> 0,5$ ) συσχέτισης εντοπίζονται μεταξύ των μεταβλητών Απόσταση από οικισμούς και Απόσταση από πληθυσμούς

	Απόσταση από οικισμούς	Απόσταση από δρόμους	Απόσταση από πληθυσμούς
Απόσταση από οικισμούς	*	*	*
Απόσταση από δρόμους	0,35	*	*
Απόσταση από πληθυσμούς	<b>0,74</b>	0,15	*

**Πίνακας 7:** Οι τιμές του δείκτη VIF για τις μεταβλητές ανθρώπινης όγλησης για: (α) το σύνολο των μεταβλητών (δεύτερη στήλη) και (β) το υποσύνολο των μεταβλητών Απόσταση από δρόμους και Απόσταση από πληθυσμούς που διατηρήθηκαν μετά τον έλεγχο της πολυσυγγραμμικότητας (τρίτη στήλη).

Μεταβλητές ανθρώπινης όγλησης	VIF πριν	VIF μετά
Απόσταση από οικισμούς	2,55	-
<b>Απόσταση από δρόμους</b>	1,17	1,07
<b>Απόσταση από πληθυσμούς</b>	2,29	1,04

**Πίνακας 8:** Πίνακας αποτελεσμάτων της λογιστικής παλινδρόμησης του σετ των μεταβλητών ανθρώπινης όγλησης, για τις μεταβλητές που διατηρήθηκαν μετά την σταδιακή προσθαφαίρεση μεταβλητών και την εξέταση του κριτηρίου AIC. Διατηρήθηκε μόνον η μεταβλητή Απόσταση από δρόμους, η οποία κρίθηκε στατιστικώς σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$

Μεταβλητές ανθρώπινης όγλησης	$\beta_1$	Τυπικό σφάλμα	z	p-value
Απόσταση από δρόμους	0,0006913	0,0003339	2,07	<b>0,03841 *</b>
Απόκλιση αναφοράς	142,8 σε 104 BE			
Απόκλιση υπολοίπων	136,72 σε 103 BE			
AIC	140.72 (140.95)			

### 3.2.2.3 Τοπογραφικές μεταβλητές

Όσον αφορά τις τοπογραφικές μεταβλητές, ελαφρώς μεγάλη συσχέτιση εντοπίστηκε μεταξύ των μεταβλητών Υψόμετρο και Κλίση (συντελεστής συσχέτισης = 0,52), καθώς όμως οι τιμές του δείκτη VIF ήταν αρκετά χαμηλές και οι δύο αυτές μεταβλητές κρίθηκαν σημαντικές για το ερευνητικό ερώτημα, διατηρήθηκαν και οι δύο στο υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών (Πίνακες 9, 10).

**Πίνακας 9:** Οι τιμές του δείκτη VIF για το σύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών. Οι τιμές του δείκτη είναι πολύ χαμηλές για όλες τις μεταβλητές. Καμιά μεταβλητή δεν αφαιρέθηκε κατά τον προκαταρκτικό έλεγχο από το υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών

Τοπογραφικές μεταβλητές	VIF
Κλίση	1,5
Δείκτης βλάστησης	1,14
Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων	1,05
Υψόμετρο	1,45
Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορά - Νότου	1,07
Προσανατολισμός κατά τον άξονα Ανατολής - Δύσης	1,03
Χρήσεις γης	1,08

**Πίνακας 10:** Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των τοπογραφικών μεταβλητών. Τιμές σχετικά υψηλής θετικής (> 0,5) συσχέτισης εντοπίζονται μεταξύ των μεταβλητών Κλίση και Υψόμετρο.

	Κλίση	Δείκτης βλάστησης	Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων	Υψόμετρο	Προσανατολισμός Βορά - Νότου	Προσανατολισμός Ανατολής - Δύσης	Χρήσεις γης
Κλίση	*	*	*	*	*	*	*
Δείκτης βλάστησης	-0,11	*	*	*	*	*	*
Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων	0,16	0,08	*	*	*	*	*
Υψόμετρο	<b>0,52</b>	-0,06	0,1	*	*	*	*
Προσανατολισμός Βορά - Νότου	-0,02	0,26	0,03	-0,05	*	*	*
Προσανατολισμός Ανατολής - Δύσης	-0,12	-0,01	0,05	-0,14	0,03	*	*
Χρήσεις γης	0,12	0,2	0,14	0,07	0,03	-0,02	*

Σημαντικότερη μεταβλητή αποδείχθηκε η Κλίση. Μεγαλύτερες κλίσεις συνεπάγονται μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας του χρυσαετού. Άλλη σημαντική παράμετρος αποδείχθηκε ο δείκτης καταλληλότητας των Χρήσεων γης (Πίνακας 11). Σύμφωνα με τον συντελεστή συσχέτισης, πηγαίνοντας από περιοχές με δείκτη καταλληλότητας 1 (πολύ κατάλληλες) προς περιοχές με δείκτη καταλληλότητας 3 (ακατάλληλες) η πιθανότητα απουσίας του είδους αυξάνεται σε σχέση με την πιθανότητα παρουσίας του.

Το Υψόμετρο απορρίφθηκε για το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$  βρίσκεται, ωστόσο, πολύ κοντά σε αυτό, καθώς είχε  $p\text{-value} = 0,06361$ . Επομένως, παρά την μικρότερη συνεισφορά του σε σχέση με τις δύο άλλες μεταβλητές, το Υψόμετρο αποτελεί, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Λογιστικής Παλινδρόμησης, μια αρκετά σημαντική παράμετρο για την επιλογή του βιοτόπου φωλεοποίησης του χρυσαετού στην Κρήτη. Σύμφωνα με τον συντελεστή συσχέτισης της μεταβλητής, αύξηση του υψόμετρου συνεπάγεται μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας του είδους. Από το σύνολο των 10 επαναλήψεων, υπολογίστηκε  $AUC = 0,77 \pm 0,1$ .

**Πίνακας 11:** Πίνακας αποτελεσμάτων της λογιστικής παλινδρόμησης για το υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών, για τις μεταβλητές που διατηρήθηκαν μετά την σταδιακή προσθαφαίρεση μεταβλητών και την εξέταση του κριτηρίου AIC. Διατηρήθηκαν οι μεταβλητές Κλίση, Υψόμετρο και Χρήσεις γης, από τις οποίες οι μεταβλητές Κλίση και Χρήσεις γης κρίθηκαν στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$

Τοπογραφικές μεταβλητές	$\beta$ <sub>1</sub>	Τυπικό σφάλμα	z	p-value
Κλίση	0,0796764	0,0217539	3,663	<b>0,00025</b> ***
Υψόμετρο	0,0014274	0,0007696	1,855	<b>0,06361</b> .
Χρήσεις γης	-0,8070803	0,3943904	-2,046	<b>0,04072</b> *
Απόκλιση αναφοράς	140,6 σε 102 BE			
Απόκλιση υπολοίπων	104,54 σε 99 BE			
AIC	112,54 (119,64)			

### 3.2.2.4 Σύνολο μεταβλητών

Κατά την εξέταση του συνόλου των μεταβλητών, πολύ ισχυρή συσχέτιση διαπιστώθηκε επιπλέον μεταξύ του Υψομέτρου και της μεταβλητής BIO 9, με αποτέλεσμα η τελευταία να αφαιρεθεί από την ανάλυση (Πίνακες 12, 13).

**Πίνακας 12:** Οι τιμές του δείκτη VIF για: (α) το σύνολο των επεξηγηματικών μεταβλητών (δεύτερη στήλη) και (β) το σύνολο των επεξηγηματικών μεταβλητών που διατηρήθηκαν μετά τον έλεγχο πολυσυγγραμμικότητας (τρίτη στήλη). Απομακρύνθηκε μόνο η BIO 9, λόγω της πολύ ισχυρής συγγραμμικότητας με την μεταβλητή Υψόμετρο και της μέτριας συγγραμμικότητας με τις μεταβλητές BIO 19 και Κλίση

Επεξηγηματικές μεταβλητές	VIF πριν	VIF μετά
BIO 9	14,1	-
<b>Υψόμετρο</b>	13,77	2,39
<b>BIO 19</b>	2,28	2,26
<b>Κλίση</b>	1,85	1,76
<b>Απόσταση από δρόμους</b>	1,59	1,46
<b>Δείκτης βλάστησης</b>	1,25	1,25
<b>Απόσταση από πληθυσμούς</b>	1,24	1,21
<b>Προσανατολισμός Ανατολής - Δύσης</b>	1,17	1,13
<b>Προσανατολισμός Βορά - Νότου</b>	1,15	1,08
<b>Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων</b>	1,17	1,16
<b>Χρήσεις γης</b>	1,21	1,18

**Πίνακας 13:** Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ όλων των επεξηγηματικών μεταβλητών. Τιμές υψηλής θετικής συσχέτισης ( $> 0,5$ ) εντοπίζονται μεταξύ των μεταβλητών: (α) Υψόμετρο και BIO 19 και (β) Κλίση και Υψόμετρο. Τιμές υψηλής αρνητικής συσχέτισης ( $< - 0,5$ ) εντοπίζονται μεταξύ: (α) της μεταβλητής BIO 9 και των μεταβλητών BIO 19 και Υψόμετρο και (β) μεταξύ των μεταβλητών Κλίση και BIO 9. Επεξήγηση μεταβλητών: BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου, BIO 19 – Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου.

	BIO 19	Υψόμετρο	Δείκτης βλάστησης	BIO 9	Κτηνοτροφία	Κλίση	Απόσταση από δρόμους	Απόσταση από πληθυσμούς	Προσανατολισμός Βορά - Νότου	Προσανατολισμός Ανατολής - Δύσης
BIO 19	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Υψόμετρο	0,69	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Δείκτης βλάστησης	0,13	-0,06	*	*	*	*	*	*	*	*
BIO 9	-0,68	-0,95	0,02	*	*	*	*	*	*	*
Κτηνοτροφία	0,21	0,1	0,08	-0,1	*	*	*	*	*	*
Κλίση	0,46	0,55	-0,11	-0,56	0,16	*	*	*	*	*
Απόσταση από δρόμους	0,12	0,25	-0,1	-0,17	-0,03	-0,03	*	*	*	*
Απόσταση από πληθυσμούς	-0,06	0,1	-0,22	-0,1	0,14	0,09	0,2	*	*	*
Προσανατολισμός Βορά - Νότου	-0,02	-0,05	0,26	-0,03	0,03	-0,02	-0,05	-0,04	*	*
Προσανατολισμός Ανατολής - Δύσης	-0,04	-0,14	-0,006	0,2	0,05	-0,12	0,18	-0,009	0,03	*

Σημαντικότερες μεταβλητές αναδείχθηκαν η Κλίση και οι Χρήσεις γης. Ακολουθεί το Υψόμετρο. Φαίνεται, λοιπόν, ότι και κατά την εξέταση του συνόλου των μεταβλητών σε ένα κοινό σετ, συγκεκριμένες τοπογραφικές μεταβλητές διαδραματίζουν τον ισχυρότερο ρόλο. Ο Πίνακας των αποτελεσμάτων ταυτίζεται με την περίπτωση των τοπογραφικών μεταβλητών (Πίνακας 11), ενώ από το σύνολο των 10 επαναλήψεων προέκυψε  $AUC = 0,75 \pm 0,08$ .

### 3.3 Μοντέλο Μεγίστης Εντροπίας

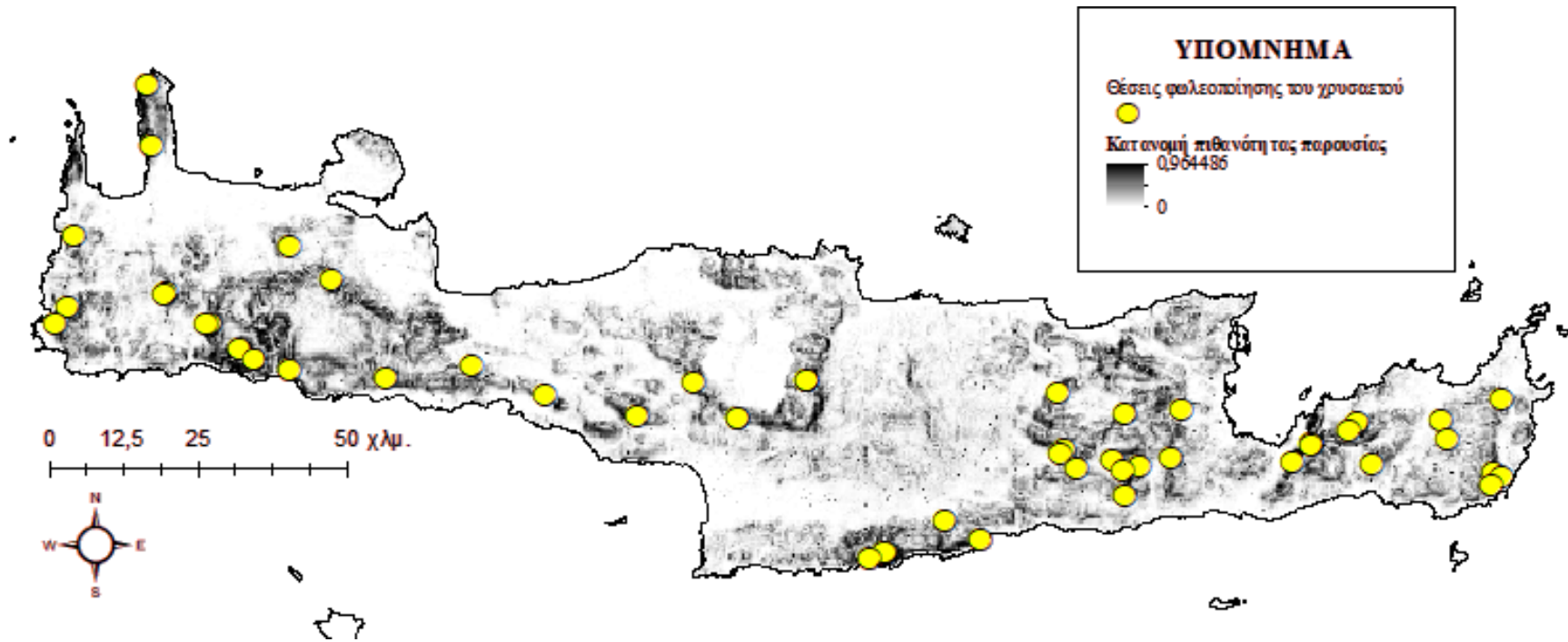
Οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν κατά την προκαταρκτική διαδικασία του ελέγχου της πολυσυγγραμμικότητας κατά τη λογιστική παλινδρόμηση χρησιμοποιήθηκαν και για την ανάπτυξη του μοντέλου μεγίστης εντροπίας.

Στην Εικόνα 8 απεικονίζεται ο χάρτης πρόβλεψης των θέσεων φωλεοποίησης του χρυσαετού για το σύνολο των μεταβλητών που εξετάστηκαν. Επιλέχθηκε η λογιστική μορφή των αποτελεσμάτων του μοντέλου, σύμφωνα με την οποία κάθε κελί παίρνει κάποια τιμή πιθανότητας παρουσίας στην κλίμακα 0-1. Παράλληλα απεικονίζονται και οι γνωστές θέσεις φωλεοποίησης του χρυσαετού.

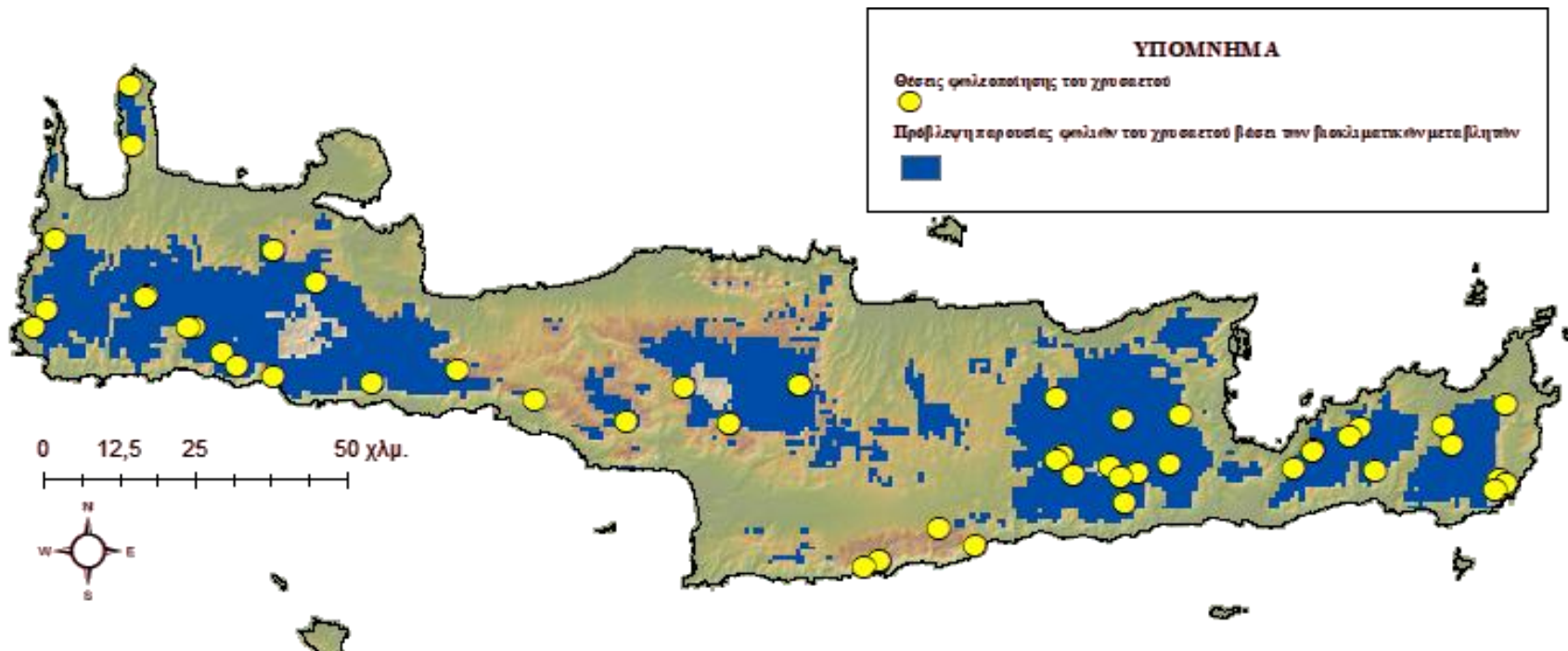
Στις Εικόνες 9, 10, 11 και 12 απεικονίζονται οι χάρτες πρόβλεψης των θέσεων φωλεοποίησης ξεχωριστά για κάθε υποσύνολο δεδομένων, μετά την εφαρμογή του ορίου και την μετατροπή της λογιστικής μορφής των χαρτών σε δίτιμους χάρτες απουσίας/παρουσίας. Παράλληλα, απεικονίζονται και οι γνωστές θέσεις φωλεοποίησης του είδους.

Μέτρο εκτίμησης της ικανότητας πρόβλεψης του μοντέλου αποτελεί ο δείκτης TSS που εξαρτάται από το όριο που επιλέχθηκε για τη μετατροπή του χάρτη πιθανότητας παρουσίας σε χάρτη παρουσίας/απουσίας του είδους. Η τιμή του δείκτη TSS υπολογίστηκε ξεχωριστά για καθένα από τα υποσύνολα των μεταβλητών (βλ. παρακάτω). Επιπλέον, υπολογίστηκε ο δείκτης AUC που πληροφορεί σχετικά με την ικανότητα διάκρισης μεταξύ περιοχών απουσίας και παρουσίας τους είδους. Στην Εικόνα 19 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη AUC για κάθε υποσύνολο μεταβλητών (αναλύεται και παρακάτω).

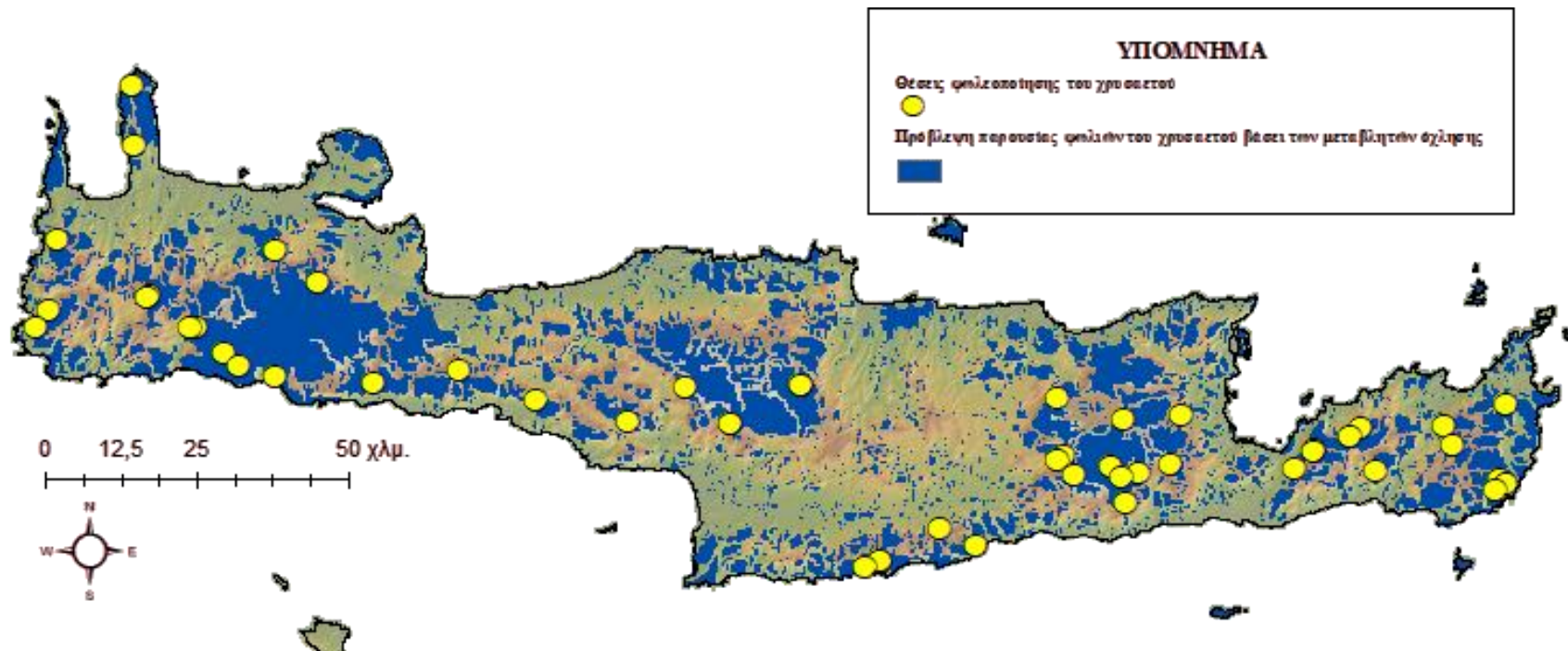




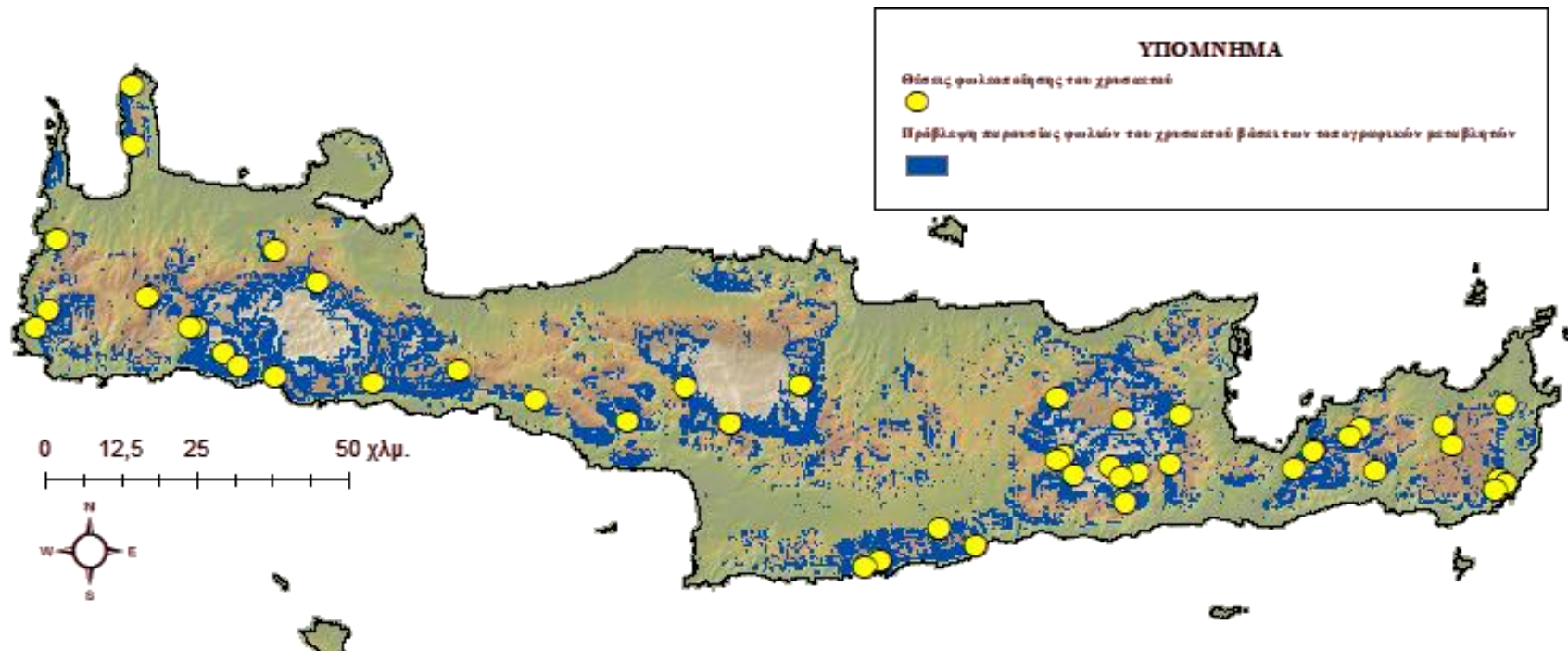
**Εικόνα 8:** Χάρτης πρόβλεψης της κατανομής πιθανότητας παρουσίας των φωλιών του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη. Απεικονίζεται η λογιστική μορφή των αποτελεσμάτων του μοντέλου μέγιστης εντροπίας βάσει του συνόλου των μεταβλητών που εξετάστηκαν.



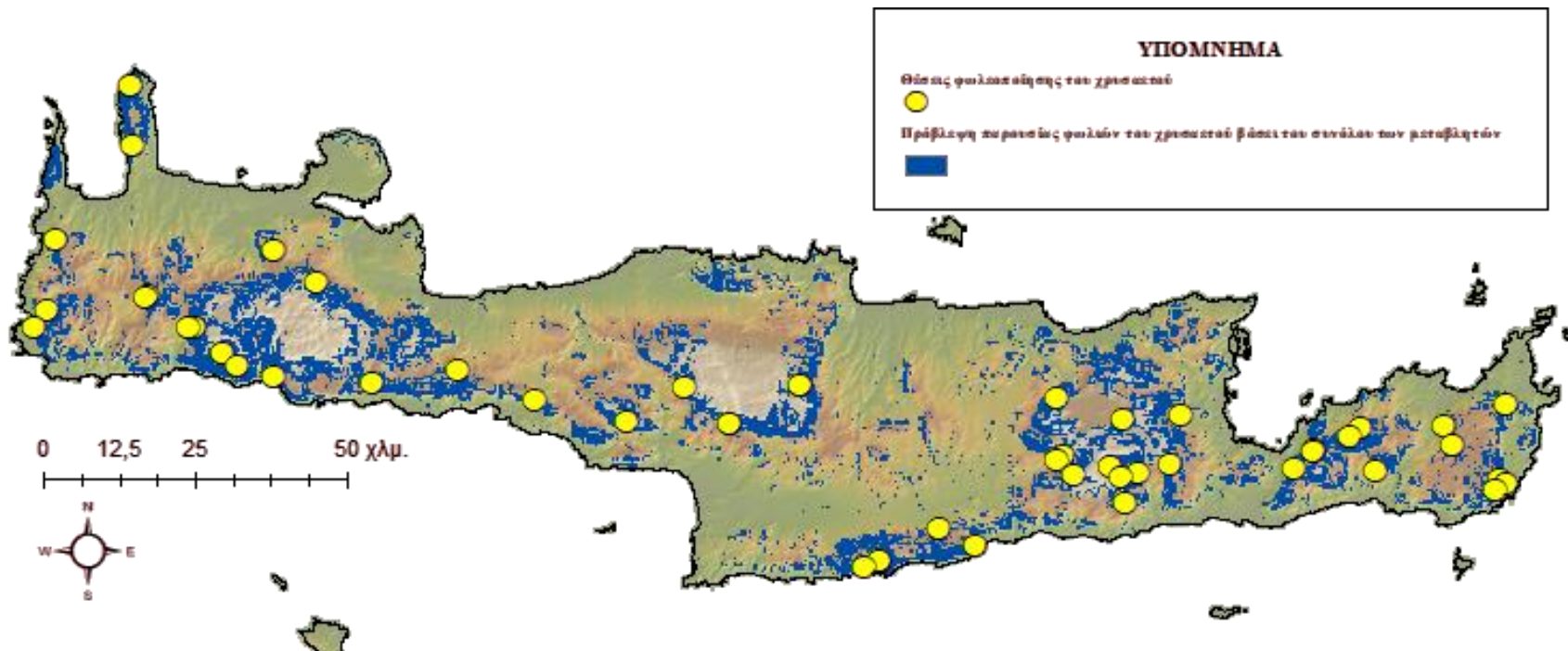
**Εικόνα 9:** Χάρτης πρόβλεψης των κελιών παρουσίας των φωλιών του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη βάσει του υποσυνόλου των βιοκλιματικών μεταβλητών.



Εικόνα 10: Χάρτης πρόβλεψης των κελιών παρουσίας των φωλιών του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη βάσει του υποσυνόλου των μεταβλητών όχλησης.

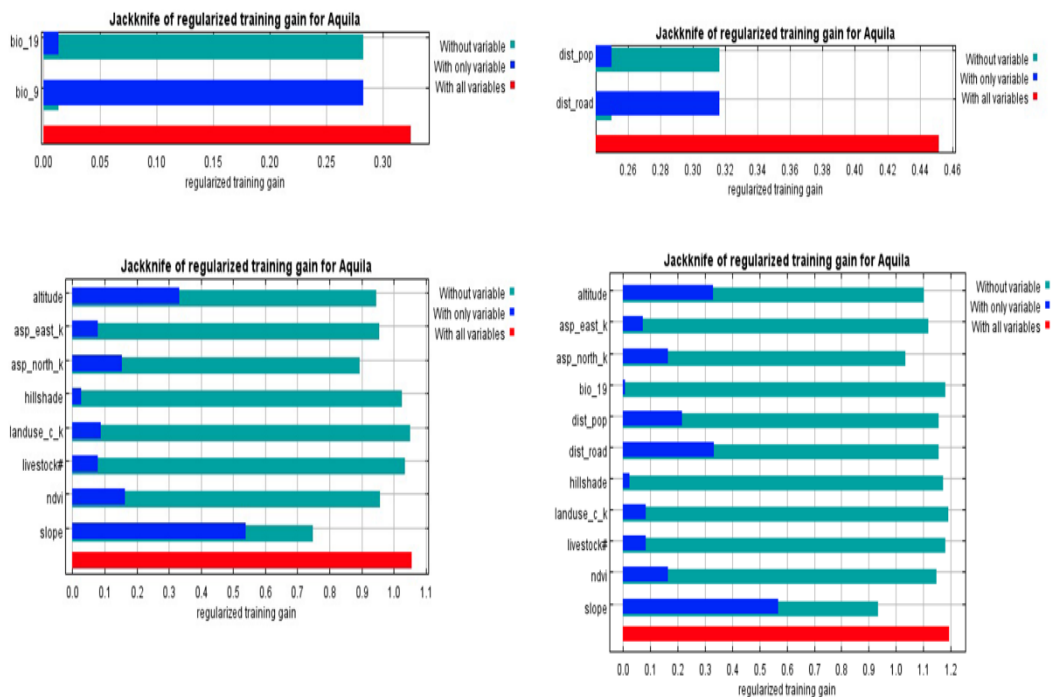


**Εικόνα 11:** Χάρτης πρόβλεψης των κελιών παρουσίας των φωλιών του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη βάσει του υποσυνόλου των τοπογραφικών μεταβλητών.

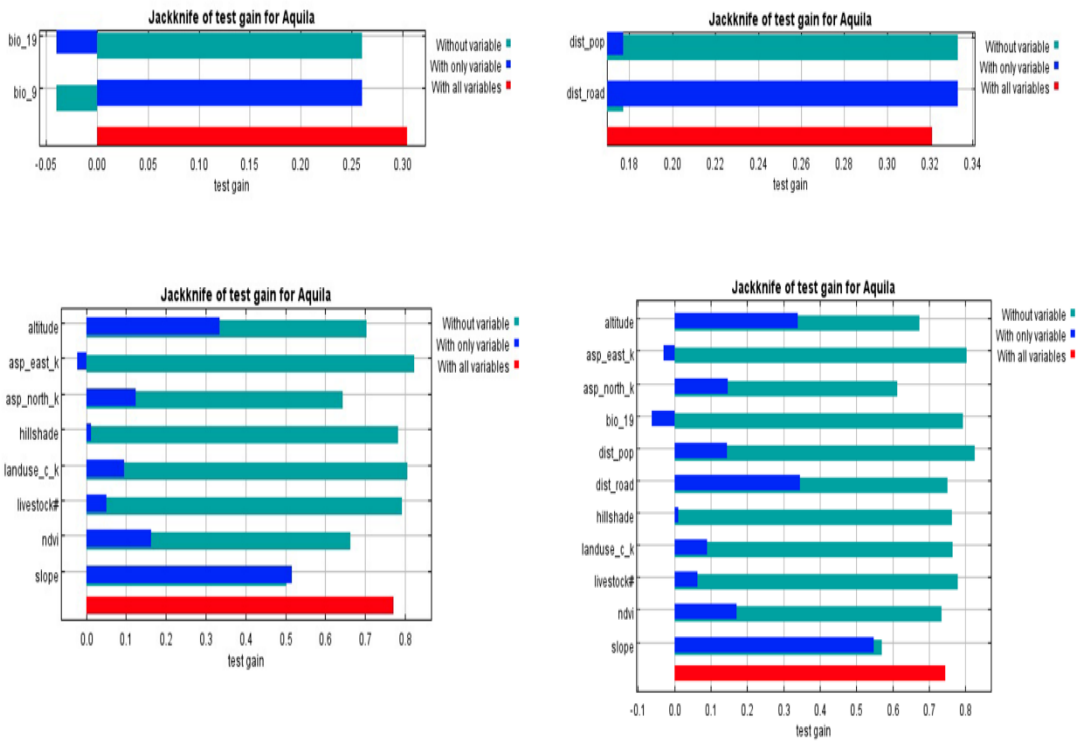


Εικόνα 12: Χάρτης πρόβλεψης των κελιών παρουσίας των φωλιών του είδους *Aquila chrysaetos* στην Κρήτη βάσει του συνόλου των μεταβλητών.

Στις Εικόνες 13 και 14 φαίνονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας “Jackknife” για τα διάφορα υποσύνολα των μεταβλητών. Η σκούρα μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει την συνεισφορά της εκάστοτε μεταβλητής όταν συμμετέχει μόνη της στο μοντέλο ενώ η ανοιχτή μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει την ερμηνευτική δεινότητα του μοντέλου όταν η μεταβλητή αυτή απομακρύνεται. Με άλλα λόγια, μεταβλητές με μεγάλης έκτασης σκούρα μπλε και μικρής έκτασης ανοιχτή μπλε γραμμή συνεισφέρουν σημαντικά στην ερμηνεία της κατανομής της εξαρτημένης μεταβλητής και η απομάκρυνσή τους οδηγεί σε σημαντική μείωση της προσαρμογής του μοντέλου. Ακολούθως, στις Εικόνες 15, 16, 17 και 18 διακρίνονται οι καμπύλες απόκρισης των επεξηγηματικών μεταβλητών.



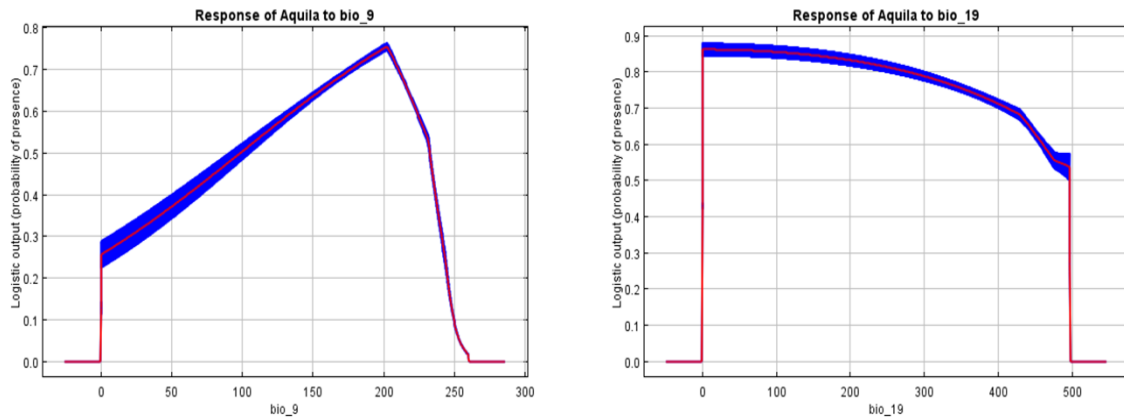
**Εικόνα 13:** Αποτελέσματα της διαδικασίας "Jackknife" για το σετ των φωλιών προσαρμογής (training dataset) του μοντέλου μέγιστης εντροπίας για τα διάφορα υποσύνολα των δεδομένων. Από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά, τα υποσύνολα είναι τα εξής: «Βιοκλιματικές μεταβλητές», «Μεταβλητές ανθρώπινης όχλησης», «Τοπογραφικές μεταβλητές» και «Σύνολο όλων των μεταβλητών». Επεξήγηση μεταβλητών: bio 19 = BIO 19 – Βρογόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου, bio 9 = BIO 9 – Μέση



**Εικόνα 14:** Αποτελέσματα της διαδικασίας "Jackknife" για το σετ των φωλιών ελέγχου της προσαρμογής (test dataset) του μοντέλου μεγίστης εντροπίας για τα διάφορα υποσύνολα των δεδομένων. Από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά, τα υποσύνολα είναι τα εξής: «Βιοκλιματικές μεταβλητές», «Μεταβλητές ανθρώπινης όχλησης», «Τοπογραφικές μεταβλητές» και «Σύνολο όλων των μεταβλητών». Για την επεξήγηση των μεταβλητών που εικονίζονται βλ παραπάνω, στη λεζάντα της Εικόνας 12.

Όσον αφορά τις βιοκλιματικές μεταβλητές, μεγαλύτερη συνεισφορά διαθέτει η BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία του Ξηρότερου Τέταρτου, όπως βλέπουμε από τη διαδικασία “Jackknife” (Εικόνες 13 και 14). Από την καμπύλη απόκρισης της μεταβλητής (Εικόνα 15) βλέπουμε ότι η πιθανότητα παρουσίας του είδους αυξάνεται έως τους 20<sup>ο</sup> C και μειώνεται απότομα μετά από το σημείο αυτό. Αντίθετα, η μεταβλητή BIO 19 – Βροχόπτωση του Ψυχρότερου Τέταρτου διαθέτει ελάχιστη χρήσιμη πληροφορία για την ερμηνεία του μοντέλου, όπως φαίνεται από την διαδικασία “Jackknife” αλλά και την καμπύλη απόκρισης (Εικόνες 13, 14 και 15). Η μέση τιμή του AUC για το σύνολο των 50 επαναλήψεων της ανάλυσης υπολογίστηκε: 0,73 ± 0,2 (Εικόνα 19), ενώ ο δείκτης TSS πήρε την τιμή 0,32. Παρατηρείται ότι η τιμή του δείκτη AUC που υπολογίστηκε με τη μέθοδο της μεγίστης εντροπίας για τις βιοκλιματικές μεταβλητές είναι ικανοποιητική

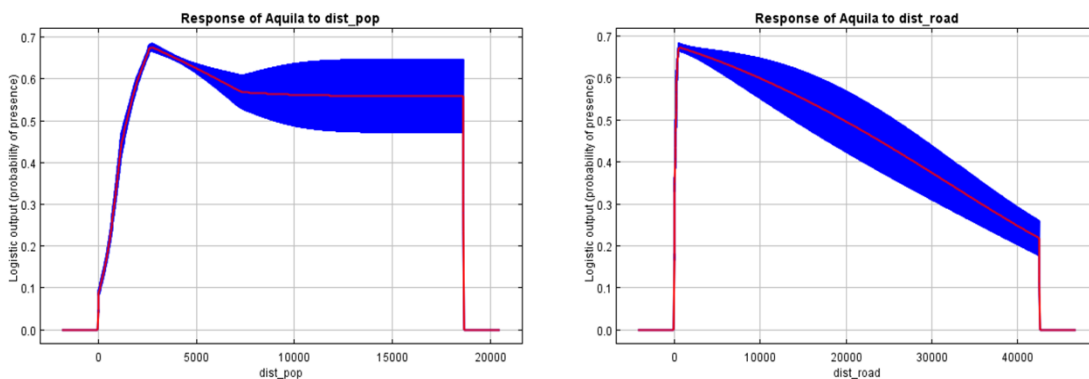
και βελτιωμένη σε σχέση με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης ( $AUC = 0,69$ , βλ. 3.2.2.1). Από την άλλη μεριά, η τιμή του δείκτη TSS είναι αρκετά μικρή και δεν μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική για μια ασφαλή πρόβλεψη. Επιπλέον, όπως φαίνεται από την Εικόνα 9, ο χάρτης πρόβλεψης που προκύπτει από τις βιοκλιματικές μεταβλητές υπερεκτιμά την παρουσία του είδους.



**Εικόνα 15:** Καμπύλες απόκρισης του υποσυνόλου των βιοκλιματικών μεταβλητών όπως προέκυψαν από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας. bio\_9 = BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου, bio\_19 = BIO 19 – Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου

Από τις μεταβλητές της ανθρώπινης όχλησης, περισσότερο σημαντική κρίθηκε η Απόσταση από δρόμους, σε αντίθεση με την μεταβλητή Απόσταση από πληθυσμούς (Εικόνες 13, 14 και 16). Όπως βλέπουμε από την καμπύλη απόκρισης (Εικόνα 16) για τη μεταβλητή Απόσταση από δρόμους, η μέγιστη εντροπία προβλέπει ότι η πιθανότητα παρουσίας του είδους μειώνεται σταθερά όσο μεγαλώνει η απόστασή του από τους δρόμους. Αντίθετα, η καμπύλη απόκρισης για τη μεταβλητή Απόσταση από πληθυσμούς είναι σχετικά παράλληλη με τον άξονα x, ενώ σύμφωνα με τη διαδικασία “Jackknife” η μεταβλητή αυτή δεν περιέχει μεγάλο μέρος της πληροφορίας για την ερμηνεία του μοντέλου. Για αυτό το υποσύνολο δεδομένων υπολογίστηκε  $AUC = 0,75 \pm 0,2$  (Εικόνα 19) και  $TSS = 0,39$ . Ο δείκτης AUC είναι και σε αυτήν την περίπτωση βελτιωμένος σε σχέση με τη λογιστική παλινδρόμηση ( $AUC = 0,66$ , βλ. 3.2.2.2), αλλά ο δείκτης TSS είναι οριακά ικανοποιητικός. Ο χάρτης παρουσίας/απουσίας που βασίζεται στις τιμές των μεταβλητών όχλησης επίσης υπερεκτιμά την παρουσία των θέσεων φωλεοποίησης, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 10.

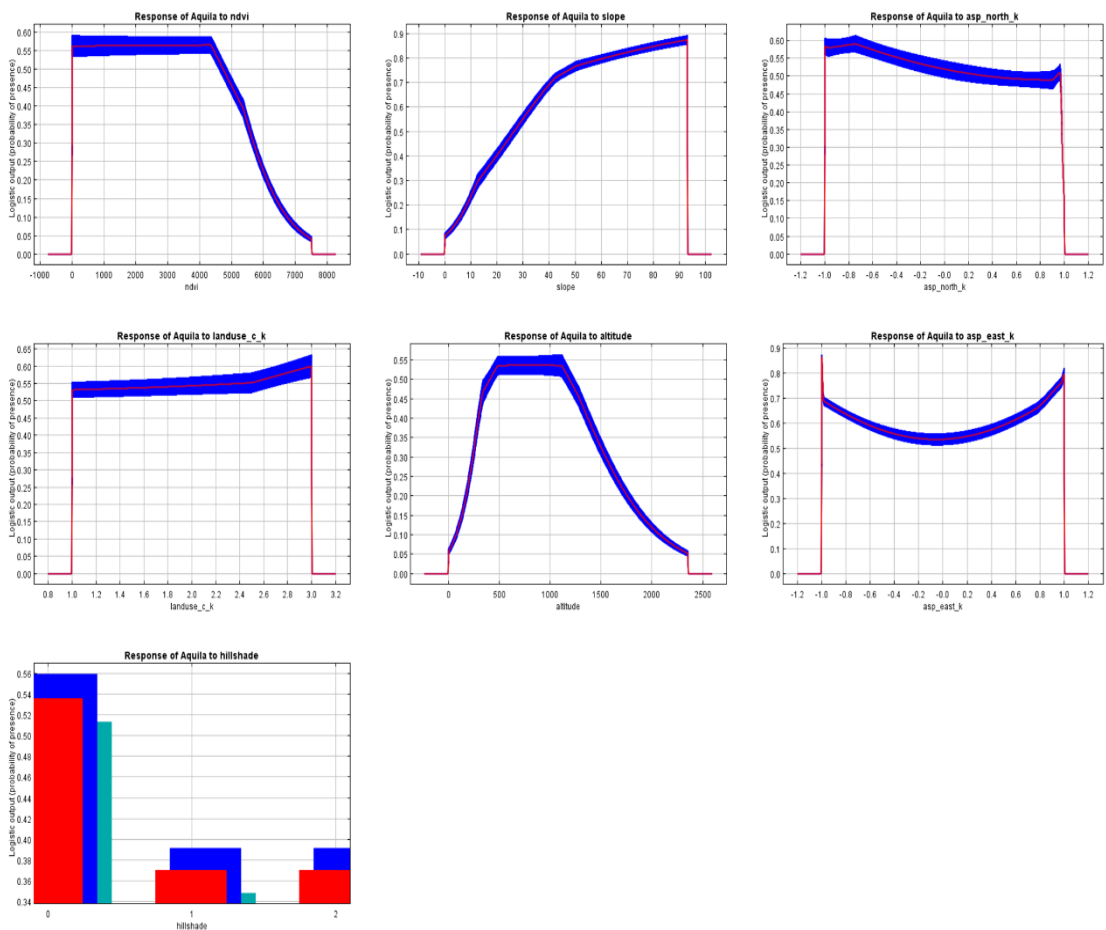




**Εικόνα 16:** Καμπύλες απόκρισης του υποσυνόλου των μεταβλητών όχλησης όπως προέκυψαν από το μοντέλο μεγίστης εντροπίας.  $dist\_pop$  = Απόσταση από πληθυσμούς,  $dist\_road$  = Απόσταση από δρόμους.

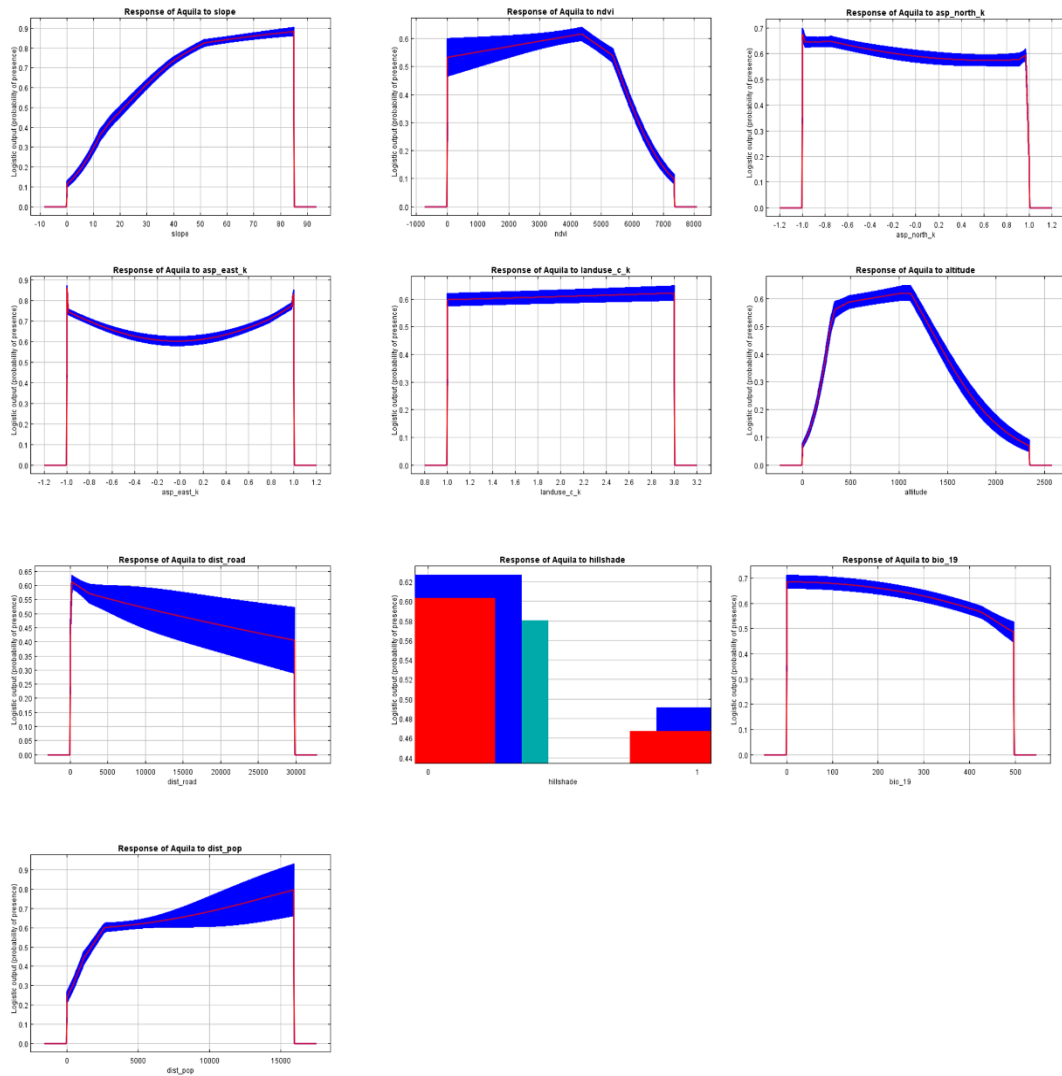
Όσον αφορά τις τοπογραφικές μεταβλητές, σημαντικότερη παράμετρος κρίθηκε η Κλίση, ακολουθούμενη από το Υψόμετρο. Από τις καμπύλες απόκρισης (Εικόνα 17) βλέπουμε ότι η πιθανότητα παρουσίας των φωλιών του χρυσαετού αυξάνεται με την αύξηση της κλίσης. Όσον αφορά το υψόμετρο, η πιθανότητα παρουσίας των φωλιών αυξάνεται απότομα έως τα 500 m. περίπου, όπου και παραμένει υψηλή μέχρι το υψόμετρο των 1.100 m. περίπου. Από εκεί και πέρα η αύξηση του υψομέτρου συνεπάγεται απότομη μείωση της πιθανότητας παρουσίας των φωλιών του είδους.

Επιπλέον, αρκετά μεγάλο μέρος της χρήσιμης πληροφορίας φαίνεται να περιλαμβάνουν και οι μεταβλητές Δείκτης βλάστησης και Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορά – Νότου (Εικόνες 14, 14 και 17). Αντιθέτως, οι μεταβλητές Προσανατολισμός κατά τον άξονα Ανατολής – Δύσης, Χρήσεις γης, Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων και Σκίαση ανάγλυφου δεν φαίνεται να περιέχουν μεγάλο μέρος χρήσιμης πληροφορίας για τις θέσεις φωλεοποίησης του χρυσαετού στην Κρήτη σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή.



**Εικόνα 17:** Καμπύλες απόκρισης του υποσυνόλου των τοπογραφικών μεταβλητών όπως προέκυψαν από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας. ndvi = Δείκτης βλάστησης, slope = Κλίση, asp\_north\_k = Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορρά – Νότου, landuse\_c\_k = Καταλληλότητα χρήσεων γης, altitude = Υψόμετρο, asp\_east\_k = Προσανατολισμός κατά τον άξονα Ανατολής – Δύσης, hillshade = Σκίαση ανάγλυφου.

Τα αποτελέσματα αυτά διαφοροποιήθηκαν ελαφρώς σε σχέση με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης, όπου η Κλίση και το Υψόμετρο κρίθηκαν σημαντικές παράμετροι, ξεχώριζε όμως επιπλέον και η μεταβλητή Χρήσεις γης, η οποία αποδείχτηκε μηδαμικής σημασίας σύμφωνα με το μοντέλο μέγιστης εντροπίας. Μετά το πέρας των 50 επαναλήψεων, υπολογίστηκαν οι δείκτες:  $AUC = 0,83 \pm 0,17$  ( Εικόνα 19) και  $TSS = 0,47$ . Ο δείκτης AUC είναι πολύ ικανοποιητικός και ενδεικτικός του γεγονότος ότι το μοντέλο μπορεί να διακρίνει με ακρίβεια μεταξύ περιοχών παρουσίας και περιοχών απουσίας. Επιπλέον, είναι βελτιωμένος σε σχέση με το μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης ( $AUC = 0,77$ , βλ. 3.2.2.3).

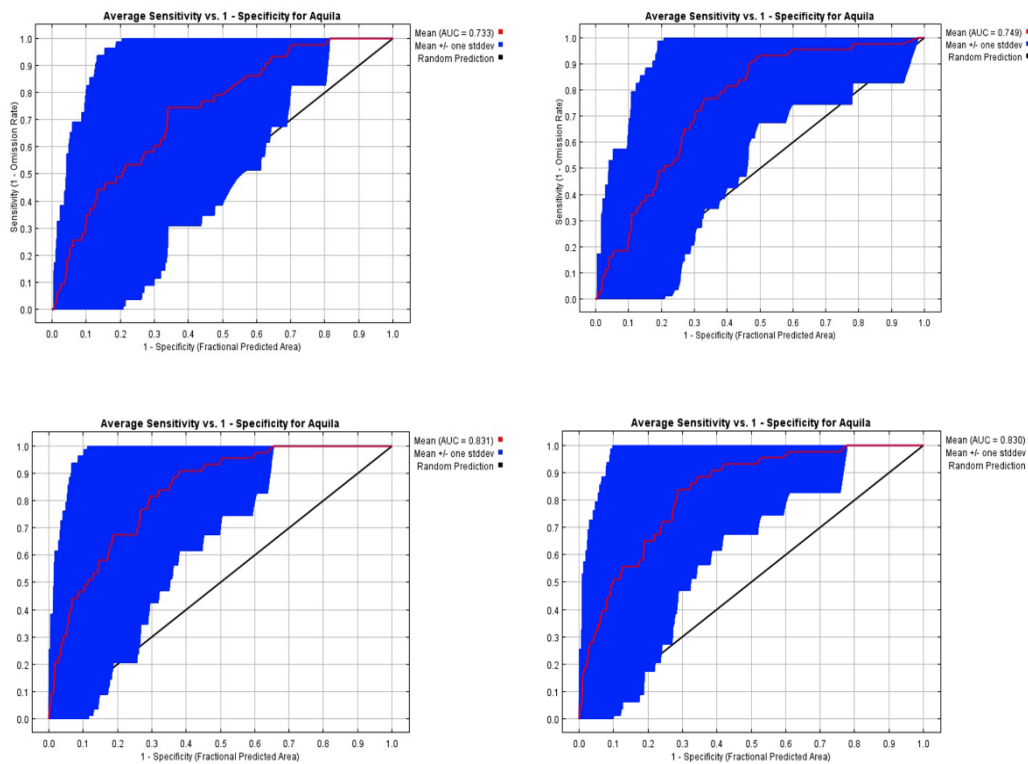


**Εικόνα 18:** Καμπύλες απόκρισης του συνόλου των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν όπως προέκυψαν από το μοντέλο μεγίστης εντροπίας. slope = Κλίση, ndvi = Δείκτης βλάστησης, asp\_north\_k = Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορρά – Νότου, asp\_east\_k = Προσανατολισμός κατά τον άξονα Ανατολής – Δύσης, landuse\_c\_k = Καταλληλότητα χρήσεων γης, altitude = Υψόμετρο, dist\_road = Απόσταση από δρόμους, hillshade = Σκίαση ανάγλυφου, bio\_19 – BIO 19 – Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου, dist\_pop = Απόσταση από πληθυσμούς.

Κατά την αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων, η πιο σημαντική παράμετρος αναδείχθηκε η Κλίση. Ακολουθούν η Απόσταση από δρόμους, το Υψόμετρο, ο Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορρά-Νότου, η Απόσταση από πληθυσμούς και ο Δείκτης βλάστησης (Εικόνες 13, 14 και 18). Οι δείκτες αξιολόγησης του μοντέλου υπολογίστηκαν ως εξής:  $AUC = 0,83 \pm 0,18$  και  $TSS = 0,46$ . Οι τιμές αυτές των δεικτών βρίσκονται πολύ κοντά στις αντίστοιχες τιμές που υπολογίστηκαν για το υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών, γεγονός που δεν προκαλεί ιδιαίτερη εντύπωση λόγω της

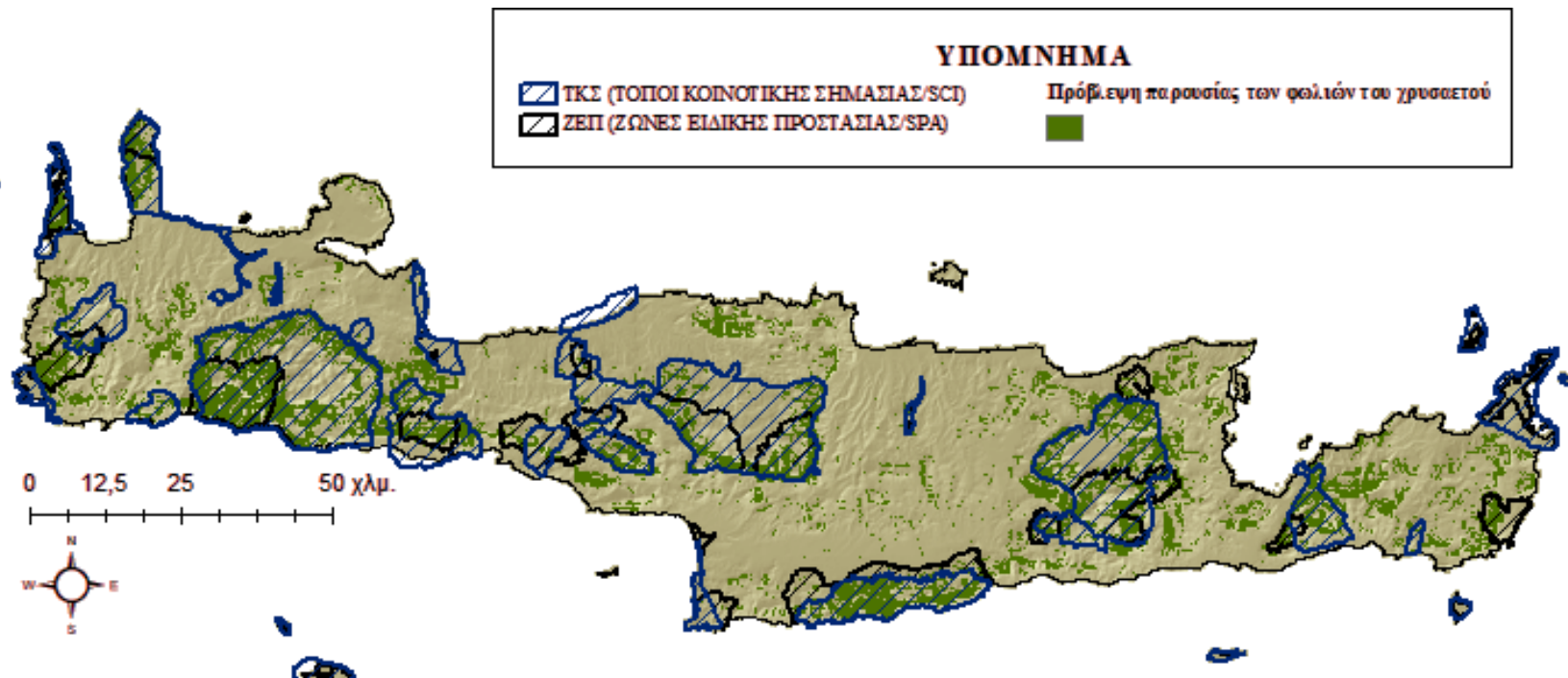
σημαντικότητας των τοπογραφικών μεταβλητών και ιδιαίτερα της Κλίσης και του Υψομέτρου και της υπεροχής τους έναντι των υπολοίπων κατά την εξέταση ολόκληρου του συνόλου των μεταβλητών μαζί. Επιπλέον, οι χάρτες πρόβλεψης που προκύπτουν τόσο από το υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών όσο και από το σύνολο όλων των μεταβλητών μαζί εμφανίζουν μεγάλη ομοιότητα (βλ. Εικόνες 11 και 12).

Στην Εικόνα 19 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαγράμματα με την καμπύλη AUC για όλα τα υποσύνολα των μεταβλητών που μελετήθηκαν. Δεχόμενοι τον γενικό κανόνα που υπαγορεύει ότι μοντέλα με τιμές  $AUC > 0,75$  διαθέτουν ικανοποιητική προβλεπτική ικανότητα παρατηρούμε ότι τα υποσύνολα των βιοκλιματικών και των μεταβλητών όχλησης διαθέτουν τιμές AUC κοντά στο 0,75 (0,733 και 0,749 αντίστοιχα) και επομένως μπορούν οριακά να θεωρηθούν ικανοποιητικές. Αντίθετα, το υποσύνολο των τοπογραφικών μεταβλητών και το ενιαίο σύνολο των μεταβλητών διαθέτουν υψηλές τιμές AUC (0,831 και 0,830 αντίστοιχα).



**Εικόνα 19:** Η περιοχή κάτω από την καμπύλη (AUC) για τα διάφορα υποσύνολα των μεταβλητών. Απεικονίζονται από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά τα εξής υποσύνολα: «Βιοκλιματικές μεταβλητές», «Μεταβλητές όχλησης», «Τοπογραφικές μεταβλητές» και «Σύνολο όλων των μεταβλητών». Η κυανή περιοχή κάθε διαγράμματος αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση.

Τέλος, στην Εικόνα 20 απεικονίζονται οι περιοχές παρουσίας των θέσεων φωλεοποίησης που προβλέπονται από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας (έχοντας χρησιμοποιήσει το σύνολο των επεξηγηματικών μεταβλητών) σε συνδυασμό με τις περιοχές του δικτύου NATURA 2000. Το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των προβλεπόμενων θέσεων φωλεοποίησης και των περιοχών του δικτύου NATURA 2000 αγγίζει το 60 % των θέσεων φωλεοποίησης και, συγκεκριμένα: το 33,7 % των κατάλληλων θέσεων βρίσκεται εντός των ΖΕΠ (Ζώνες Ειδικής Προστασίας) και το 54 % βρίσκεται εντός των ΤΚΣ (Τόποι Κοινοτικής Σημασίας).



**Εικόνα 20:** Χάρτης επικάλυψης μεταξύ των περιοχών παρουσίας που προβλέπονται από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας και των περιοχών του δικτύου NATURA 2000: των Ζωνών Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) και των Τόπων Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ). Το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των προβλεπόμενων περιοχών παρουσίας και των περιοχών του δικτύου NATURA 2000 προσεγγίζει το 60% των θέσεων φωλοποίησης που προβλέπει το Maxent.

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Βιοκλιματικές μεταβλητές

Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν ποικιλοτρόπως την οικολογία του χρυσαετού και οι ακραίες καιρικές συνθήκες ενδέχεται να επηρεάσουν την αναπαραγωγική επιτυχία του είδους. Για παράδειγμα, από την έρευνα των Phillips et al. (1990) στη Montana διαπιστώθηκε αναπαραγωγική αποτυχία σχετιζόμενη με τις άσχημες καιρικές συνθήκες. Αντίθετα, πολύ υψηλές θερμοκρασίες συνδέθηκαν με μια σειρά θανάτων νεοσσών στο Idaho των ΗΠΑ (Beecham & Kochert 1975). Οι καιρικές συνθήκες την εποχή αμέσως πριν την αναπαραγωγή είναι ιδιαίτερα σημαντικές και επηρεάζουν, εκτός των παραπάνω, και την διαθεσιμότητα της τροφής αλλά και την τροφοληπτική επιτυχία του χρυσαετού (Watson 1997). Επιπλέον, οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου: έχει, για παράδειγμα, διαπιστωθεί ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της πρώτης ωοαπόθεσης και της μέσης θερμοκρασίας του Φεβρουαρίου (Watson 1997), ενώ άλλες έρευνες κατέδειξαν την σχέση ανάμεσα σε μέρες συνεχών βροχοπτώσεων και την απόφαση των ζευγαριών να φωλιάσουν κατά την πρώιμη αναπαραγωγική περίοδο (Crandall 2013; McIntyre & Schmidt 2012). Να τονιστεί εδώ ότι – βιβλιογραφικά τουλάχιστον - στα νότια, περισσότερο άνυδρα γεωγραφικά πλάτη η βροχόπτωση και όχι η θερμοκρασία φαίνεται να έχει μεγαλύτερη επίδραση στη διαθεσιμότητα της λείας (Watson 1997).

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης κατέδειξαν ως περισσότερο σημαντική την μεταβλητή BIO 9 - Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου σε σχέση με την BIO 19 - Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου, καθιστώντας έτσι την περίοδο αμέσως μετά την αναπαραγωγή ως περισσότερο κρίσιμη για την φωλεοποίηση του χρυσαετού στην Κρήτη. Συγκεκριμένα, κελιά με υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας κατά το ξηρότερο τέταρτο του έτους, που για την Κρήτη αυτό αντιπροσωπεύεται από τους θερινούς μήνες, αντιστοιχούσαν σε μικρότερη πιθανότητα παρουσίας του είδους. Η έρευνα των Lopez-Lopez et al. (2006) επίσης κατέδειξε τις θερμοκρασίες του Ιουλίου ως σημαντικό παράγοντα για την παρουσία των φωλιών του χρυσαετού σε ένα τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου. Τέλος, άλλες μελέτες απέδειξαν την πολύ γρήγορη απόκριση του είδους στους θερμότερους χειμώνες (Paprocki et al. 2014).

Και οι δύο μέθοδοι, της λογιστικής παλινδρόμησης και της μεγίστης εντροπίας, ξεχώρισαν την BIO 9 ως την σημαντικότερη παράμετρο από το υποσύνολο των

βιοκλιματικών μεταβλητών. Ωστόσο, εξετάζοντας τους δείκτες TSS (0,32) και AUC (0,69 και 0,73) για το υποσύνολο αυτό παρατηρούμε ότι είναι αρκετά χαμηλοί, ενώ και ο χάρτης πρόβλεψης που προέκυψε από το μοντέλο της μεγίστης εντροπίας (Εικόνα 10) φαίνεται να υπερεκτιμά την παρουσία των φωλιών του είδους.

Τα αποτελέσματα αυτά τονίζουν τη σημασία της θερμοκρασίας κατά τους άνυδρους θερινούς μήνες όταν, όπως τονίστηκε παραπάνω, διακυβεύεται η επιβίωση των νεοσσών. Ωστόσο, εξαιτίας των σχετικά χαμηλών τιμών των μέτρων αξιολόγησης των μοντέλων μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το υποσύνολο των βιοκλιματικών μεταβλητών και συγκεκριμένα η BIO 9 - Μέση Θερμοκρασία του Ξηρότερου Τέταρτου που κρίθηκε σημαντική δεν θα μπορούσε από μόνη της να προβλέψει με ακρίβεια τις θέσεις φωλεοποίησης του χρυσαετού στην Κρήτη. Επιπλέον, σε σχέση με την μεταβλητή αυτή ενδιαφέρον θα παρουσίαζε, μετά την ανάδειξη της σημασίας της, η μελέτη της κάτω από ελεγχόμενες μετρήσεις που θα σκιαγραφούσαν το μικροκλίμα της φωλιάς. Ακόμα, διαφορετικού τύπου εξαρτημένες μεταβλητές θα συνέβαλαν στην καλύτερη γνώση της επίδρασης των βιοκλιματικών μεταβλητών. Για παράδειγμα, μετρήσεις της παραγωγικότητας των ζευγαριών και της βιωσιμότητας των νεοσσών της κάθε φωλιάς θα εξυπηρετούσαν την μελέτη της επίδρασης της μεταβλητής BIO 9, ενώ μετρήσεις του χρόνου του πρώτου φωλιάσματος θα εξυπηρετούσαν την μελέτη της μεταβλητής BIO 19.

Από τους χάρτες της παγκόσμιας κατανομής του είδους φαίνεται ότι η εξάπλωσή του καταρχάς είναι ευρεία, οπότε μπορεί να ανταπεξέλθει σε ένα μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών. Η αντοχή του σε ακραίες κλιματικές συνθήκες είναι αξιοσημείωτη, από το σφοδρό αρκτικό κρύο έως τις υψηλές θερμοκρασίες των άνυδρων, ερημικών εκτάσεων (Watson 1997). Επομένως, η σχετικά μειωμένη συνεισφορά των κλιματικών μεταβλητών ήταν αναμενόμενη λόγω: (α) του μικρού μεγέθους της περιοχής μελέτης που συνεπάγεται μικρής κλίμακας διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών, (β) της ευρείας εξάπλωσης του είδους που συνεπάγεται αντοχή μεγάλου φάσματος κλιματικών συνθηκών και (γ) του γεγονότος ότι μελετάμε τις φωλιές, επιμελώς κατασκευασμένες από τους ιδιοκτήτες τους εντός σχισμών και βράχων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρο-κλιματικές συνθήκες, αναμφίβολα το ίδιο, αν όχι περισσότερο, καθοριστικές από το ευρύτερο κλίμα της περιοχής.



## 4.2 Μεταβλητές όχλησης

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, έχει διαπιστωθεί σε διάφορες έρευνες η αποστροφή του χρυσαετού για περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (Gil-Sánchez et al. 1994; Carrete 2002), ενώ χρόνια όχληση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ακόμα και την εγκατάλειψη της φωλιάς (Watson 2010). Σε γενικές γραμμές ο χρυσαετός τείνει να συχνάζει σε μέρη αραιοκατοικημένα από τον άνθρωπο. Σε πρόσφατη έρευνα με εννιά διαφορετικά είδη αρπακτικών φάνηκε ότι ο χρυσαετός αποφεύγει περιοχές με έντονη αστική ανάπτυξη σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη που μελετήθηκαν (White et al. 2018), τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί και να ευνοούνται από την ετερογένεια αλλά και την αφθονία τροφής που προσφέρουν τα αστικά περιβάλλοντα (Marzluff, 2005; Chace & Walsh 2006). Συγκεκριμένα, στην έρευνα των White et al. (2018) παρατηρήθηκε για πρώτη φορά κατά τα τελευταία χρόνια εγκατάλειψη των επικρατειών στις οποίες η οικιστική ανάπτυξη είχε εισχωρήσει κατά 0,5 km. Άλλες έρευνες κατέληξαν σε παρόμοια συμπεράσματα. Στη Φινλανδία, για παράδειγμα, παρατηρήθηκε μείωση του βαθμού εποίκισης των επικρατειών σε απόκριση της αυξημένης ανθρώπινης δραστηριότητας (Kaisanlahti-Jokimaki et al. 2008), ενώ τα αποτελέσματα των μοντέλων των Pauli et al. (2016) έδειξαν ότι η ανθρώπινη διατάραξη από δραστηριότητες αναψυχής έχει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στους πληθυσμούς του είδους.

Ωστόσο, υπάρχουν και μερικές μελέτες με αντίθετα αποτελέσματα. Παραδείγματος χάριν, σε περιοχές με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα και χρόνια ανάπτυξη του αστικού ιστού παρατηρείται μια μεγαλύτερη εξοικείωση του χρυσαετού με τον ανθρώπινο παράγοντα, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη παρουσία και γειτνίαση του είδους με τον άνθρωπο. Σε κάποιες περιπτώσεις, μάλιστα, η παρουσία του ανθρώπου συμβάλλει στη βιωσιμότητα του είδους, παρέχοντας τροφή μέσω της κτηνοτροφίας σε περιόδους μειωμένης διαθεσιμότητας της λείας ή μεγάλων πυκνοτήτων των ζευγαριών (Handrinos & Akriotis 1997; Watson 1997; Xirouchakis 2001). Φαίνεται πάντως πως παρά το γεγονός ότι οι αετοί είναι σε θέση να συνηθίσουν σε κάποιο βαθμό ανθρώπινης διατάραξης, είναι εντούτοις απίθανο να εισέλθουν σε έντονα ανθρωπογενή περιβάλλοντα για να φωλιάσουν (Phillips et al. 1984; Scott 1985). Τέλος, σε άλλες έρευνες δεν διαπιστώθηκε καμιά προφανής συσχέτιση μεταξύ της ανθρώπινης παρουσίας και της ύπαρξης του είδους (π.χ. Crandall 2013).

Να τονιστεί, ωστόσο, ότι προσοχή χρειάζεται για το ενδεχόμενο μεροληπτικών δειγματοληψιών. Οι περιοχές με ανθρώπινη δραστηριότητα χαρακτηρίζονται συνήθως από μεγαλύτερη δειγματοληπτική προσπάθεια λόγω της ευκολίας πρόσβασης σε αυτές, σε αντίθεση με τις απομονωμένες και δύσβατες περιοχές, οι οποίες ωστόσο έχουν μεγάλη πιθανότητα παρουσίας ειδών όπως ο χρυσαετός. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των ερευνών που υποστηρίζει την ουδέτερη ή και θετική σχέση ανθρώπου-χρυσαιτού είναι περιορισμένος.

Τόσο η λογιστική παλινδρόμηση όσο και η μέγιστη εντροπία κατέδειξαν ως σημαντική μεταβλητή την Απόσταση από δρόμους. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ως προς το είδος της επίδρασης της μεταβλητής στην παρουσία των φωλιών του χρυσαιτού δεν συμφωνούσε. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη λογιστική παλινδρόμηση η σχέση μεταξύ της απόστασης από το οδικό δίκτυο και της παρουσίας του είδους είναι θετική, με άλλα λόγια αύξηση της απόστασης από το οδικό δίκτυο συνεπάγεται και αύξηση της πιθανότητας παρουσίας των φωλιών του είδους. Αντιθέτως, σύμφωνα με τη μέγιστη εντροπία η σχέση αυτή είναι αρνητική, δηλαδή μεγαλύτερη απόσταση από το οδικό δίκτυο συνεπάγεται μικρότερη πιθανότητα φωλεοποίησης, αποτέλεσμα μη αναμενόμενο λόγω της αποφυγής της ανθρώπινης δραστηριότητας από τον χρυσαιτό (βλ. παραπάνω).

Τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να αντιμετωπιστούν με προσοχή, καθώς η ορεινή φύση του ανάγλυφου της Κρήτης συνεπάγεται έναν μεγάλο αριθμό μικρών ορεινών δρόμων, χωματόδρομων και μονοπατιών. Ως εκ τούτου, είναι εύλογο φωλιές κτισμένες σε εσοχές βράχων ή απότομες εγχοπές, μακριά από ορατά σημεία, να βρίσκονται στην πραγματικότητα αρκετά κοντά σε μικρούς επαρχιακούς δρόμους. Επίσης, η εγγύτητα των φωλιών σε μικρούς δρόμους αλλά και σε μικρούς οικισμούς δεν θα ήταν έκπληξη σε έναν τόπο όπως η Κρήτη, όπου μεγάλο μέρος της δίαιτας του χρυσαιτού και άλλων μεγάλων αρπακτικών (π.χ. *Gyps fulvus*) στηρίζεται στα νεκρά ζώα της κτηνοτροφίας.

Και στην περίπτωση των μεταβλητών όχλησης οι τιμές των μέτρων εκτίμησης ήταν αρκετά χαμηλές: TSS = 0,39 και AUC = 0,66 και 0,75 για την λογιστική παλινδρόμηση και την μέγιστη εντροπία αντίστοιχα. Επιπλέον, ο χάρτης πρόβλεψης και για αυτό το υποσύνολο φαίνεται να υπερεκτιμά την παρουσία των φωλιών του χρυσαιτού (Εικόνα 10). Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν μπορούμε να

προβλέψουμε με ακρίβεια τις θέσεις φωλεοποίησης με βάση μόνο την απόσταση από το οδικό δίκτυο.

Για την αποτελεσματικότερη διερεύνηση της μεταβλητής αυτής προτείνεται μελλοντικά ο διαχωρισμός μεταξύ μεγάλων και μικρότερων δρόμων του οδικού δικτύου και μελέτη της επίδρασής τους στο είδος ως ξεχωριστών μεταβλητών. Ενδέχεται η επίδρασή τους να είναι αντίθετη, με τους μεγάλους δρόμους με την έντονη κινητικότητα να λειτουργούν αρνητικά για την παρουσία του είδους και τους μικρότερους δρόμους να λειτουργούν ουδέτερα ή και προωθητικά μέσω της αυξημένης ύπαρξης τροφής (δηλ. ύπαρξη ποιμνιοστασίων). Τέλος, τα έργα της οδοποιίας δεν επηρεάζουν μονάχα τις θέσεις φωλεοποίησης, αλλά και τις ευρύτερες περιοχές των επικρατειών του χρυσαετού, μέσω των αλλαγών που επιφέρουν στις περιοχές τροφοληψίας. Ήδη, οι μεγαλύτεροι δρόμοι του οδικού δικτύου αφαιρέθηκαν από τις περιοχές τροφοληψίας του είδους κατά την ανάπτυξη του μοντέλου PAT, θεωρώντας ότι δεν χρησιμοποιούνται από τον χρυσαετό. Οι αλλαγές που επιφέρουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες εντός των επικρατειών χρήζουν μεγαλύτερης διερεύνησης καθώς τροποποιούν τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, μεταβάλλουν τις χρήσεις γης και ενδέχεται να προκαλούν σωρεία άλλων επιπτώσεων, όπως κατακερματισμό του ενδιαιτήματος κτλ.

#### **4.3 Τοπογραφικές μεταβλητές**

Η Κλίση αναδείχθηκε η σημαντικότερη παράμετρος στην επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του χρυσαετού και με τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρώντας τον συντελεστή συσχέτισης της λογιστικής παλινδρόμησης και την καμπύλη απόκρισης της μεγίστης εντροπίας βλέπουμε ότι η πιθανότητα παρουσίας των φωλιών του είδους αυξάνεται με την αύξηση της κλίσης του εδάφους. Η προτίμηση του χρυσαετού για περιοχές του ανάγλυφου με ιδιαίτερα απότομες κλίσεις είναι γνωστή (Sergio et al. 2006; Di Vittorio & López-López 2014) και, μέσω της μελέτης αυτής, αποδείχθηκε ότι κυριαρχεί έναντι των υπόλοιπων μεταβλητών όσον αφορά την επιλογή της θέσης φωλιάσματος του χρυσαετού στην Κρήτη.

Το Υψόμετρο αποτέλεσε μια άλλη σημαντική μεταβλητή της πιθανότητας φωλιάσματος του χρυσαετού. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της μεγίστης εντροπίας (Εικόνα 17), η πιθανότητα παρουσίας της φωλιάς αυξάνεται με την αύξηση του υψόμετρου έως ένα σημείο πέρα από το οποίο η πιθανότητα αυτή μειώνεται απότομα. Οι καλύτερες συνθήκες εντοπίζονται σε μεγάλα μεν, όχι ακραία δε, υψόμετρα,

γύρω στα 250 – 1050 m, ενώ κάτω και πάνω από τα όρια αυτά οι πιθανότητες παρουσίας κάποιας φωλιάς μειώνονται ραγδαία και είναι πολύ μικρές. Έχει διαπιστωθεί ότι οι χρυσαετοί δεν προτιμούν τα χαμηλά υψόμετρα, τόσο επειδή δεν δημιουργούνται εκεί ευνοϊκά για αυτούς ανοδικά ρεύματα όσο και επειδή αποτελούν περιοχές έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας (Watson & Dennis 1992; González et al. 1992). Το φώλιασμα σε υψηλά, δυσπρόσιτα σημεία προστατεύει τα αβγά και τους νεοσσούς από τον κίνδυνο θήρευσης και τα προφυλάσσει από την ανθρώπινη παρουσία. Από την άλλη, το πλεονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται από τα μεγάλα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται για τη μεταφορά της λείας σε τόσο υψηλά σημεία (Watson 1997). Επομένως, η επιλογή του υψομέτρου φωλιάσματος αποτελεί έναν συμβιβασμό ανάμεσα στις αντιθετικές αυτές δυνάμεις και τα πολύ μεγάλα υψόμετρα δεν προσφέρονται για το φώλιασμα του είδους.

Ο προσανατολισμός της φωλιάς είναι ένας παράγοντας που σε πολλές περιπτώσεις διαδραματίζει ισχυρό ρόλο, όπως έχει αποδειχτεί από μελέτες που απέδειξαν συγκεκριμένες προτιμήσεις ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο (Jordano & Jordano 1981; Grubač 1988; Bahat 1991). Σε γενικές γραμμές, τα είδη των ψυχρών κλιμάτων προτιμούν περιοχές νότιου προσανατολισμού, οι οποίες απαλλάσσονται νωρίτερα από το χιόνι και οι νεοσσοί επωφελούνται από τη θερμότητα του ηλίου. Αντίθετα, σε θερμά κλίματα τα είδη τείνουν να επιλέγουν φωλιές βόρειου προσανατολισμού, όπου οι νεοσσοί αντιμετωπίζουν μειωμένο κίνδυνο υπερθέρμανσης (Watson 1997). Σύμφωνα με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης, οι θέσεις φωλιάσματος του χρυσαετού στην Κρήτη είναι ανεξάρτητες του προσανατολισμού, είτε πρόκειται για τον άξονα Βορρά-Νότου είτε πρόκειται για τον άξονα Ανατολής-Δύσης. Αντίθετα, η μέθοδος της μέγιστης εντροπίας ανέδειξε τον προσανατολισμό κατά τον άξονα Βορρά-Νότου ως μια αρκετά σημαντική παράμετρο, σύμφωνα με τη διαδικασία "Jackknife" (Εικόνες 13, 14). Συγκεκριμένα, οι περιοχές με βόρειο προσανατολισμό έχουν μικρότερη πιθανότητα παρουσίας κάποιας φωλιάς. Ωστόσο, η καμπύλη απόκρισης είναι σχετικά παράλληλη (Εικόνα 17), οπότε το αποτέλεσμα αυτό θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με προσοχή! Τέλος, και σε άλλες περιπτώσεις με αντίστοιχο ερευνητικό ερώτημα ο προσανατολισμός αποδείχτηκε μη σημαντική παράμετρος (López-López et al. 2006).

Η μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης δεν ανέδειξε τον δείκτη βλάστησης ως σημαντική παράμετρο των θέσεων φωλεοποίησης του είδους, γεγονός που πιθανότατα σχετίζεται με τη φύση της εξαρτημένης μεταβλητής. Η μέθοδος μεγίστης εντροπίας χαρακτήρισε την μεταβλητή ως σχετικά σημαντική, με την πιθανότητα παρουσίας των φωλιών να μειώνονται απότομα μετά την αύξηση του δείκτη βλάστησης πέρα από κάποιο κατώφλι (Εικόνα 17), κάτι που πιθανότατα σχετίζεται με το γεγονός ότι οι χρυσαετοί προτιμούν να φωλιάζουν σε γυμνά, απότομα βράχια χωρίς βλάστηση. Η σχετικά χαμηλή συνεισφορά της μεταβλητής στο μοντέλο πρέπει να αντιμετωπιστεί με προσοχή, καθώς ο δείκτης βλάστησης αναμένεται να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε σχέση με τις περιοχές τροφοληψίας και κυνηγιού του χρυσαετού, και όχι σε σχέση με τις θέσεις φωλεοποίησης.

Η μεταβλητή Χρήσεις γης αναδείχτηκε ως σημαντική σύμφωνα με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης, σε αντίθεση με τη μέθοδο της μεγίστης εντροπίας όπου δεν φάνηκε να έχει σημαντική συνεισφορά όπως φαίνεται από τους πίνακες της διαδικασίας “Jackknife” και την καμπύλη απόκρισης. Και σε αυτήν την περίπτωση, ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να αντιμετωπίζονται επιφυλακτικά σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή. Κι αυτό επειδή γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία ότι οι χρήσεις γης επηρεάζουν ποικιλοτρόπως τα χωροκρατικά είδη όπως ο χρυσαετός. Για παράδειγμα, ανοιχτές θαμνώδεις εκτάσεις επιλέγονται από τους χρυσαετούς ως περιοχές τροφοληψίας καθώς η δομή αυτή της βλάστησης ευνοεί τον εντοπισμό των θηραμάτων και αυξάνει την κυνηγετική επιτυχία (Marzluff et al. 1997; Ontiveros et al. 2005). Επιπλέον, τα περιβάλλοντα αυτά συχνά συντηρούν τους μεγαλύτερους πληθυσμούς της κύριας λείας του χρυσαετού (Palomares & Delibes 1997), ενώ σε πρόσφατες έρευνες (Sergio et al. 2006) διαπιστώθηκε θετική συσχέτιση ανάμεσα στην αναπαραγωγική επιτυχία του είδους και τη διαθεσιμότητα των κατάλληλων περιοχών τροφοληψίας.

Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω, οι μεταβλητές Δείκτης βλάστησης και Χρήσεις γης ενδέχεται να είναι σημαντικές υπό το πρίσμα των αλληλεπιδράσεων του είδους με τη λεία του και κάθε διαχειριστικό πλάνο θα πρέπει να εξετάζει αυτό το σενάριο πριν την εφαρμογή του.

Η κτηνοτροφία ενδέχεται να έχει επηρεάσει την παρουσία των αρπακτικών στο νησί. Χρησιμοποιήθηκε ως μεταβλητή λόγω του γεγονότος ότι στην Κρήτη μεγάλο μέρος της διαίτας του χρυσαετού έχει διαπιστωθεί ότι στηρίζεται στην κατανάλωση

μικρών ή νεκρών κτηνοτροφικών ζώων (Xirouchakis 2001). Ωστόσο, το κτηνοτροφικό κεφάλαιο δεν φαίνεται να αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επιλογή της θέσης φωλιάσματος. Το ίδιο ίσχυσε και για τη μεταβλητή Σκίαση ανάγλυφου, η οποία δεν χαρακτηρίστηκε ως σημαντική με καμία από τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Πολλές ακόμη έρευνες που χρησιμοποίησαν παρεμφερή μεθοδολογία και έθεσαν αντίστοιχα ερευνητικά ερωτήματα κατέληξαν σε παρόμοια συμπεράσματα.

Η πλειονότητα των ερευνών αυτών τονίζουν με τη σειρά τους την καθοριστική σημασία του ορεινού ανάγλυφου μεγάλων κλίσεων για το φώλιασμα του είδους (López-López et al. 2006; Sergio et al. 2006; Vittorio & López-López 2014). Ο Watson (1991) επιχειρεί και μία επιπλέον ερμηνεία: το γεγονός ότι η τοπογραφία αυτή αυξάνει τις πιθανότητες του είδους να προσεγγίσει και να επιτεθεί στη λεία του χωρίς να γίνει αντιληπτό.

#### **4.4 Σύνολο μεταβλητών**

Κατά την εξέταση του συνόλου των μεταβλητών σε ένα κοινό σετ, η Κλίση αναδείχθηκε η σημαντικότερη παράμετρος, ακολουθούμενη από το Ψψόμετρο.

Όσον αφορά τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης, τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιήθηκαν ουσιαστικά από τα αποτελέσματα του υποσυνόλου των τοπογραφικών μεταβλητών: η Κλίση και οι Χρήσεις γης ήταν οι σημαντικότερες εξ' αυτών, με το Ψψόμετρο να ακολουθεί.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του μοντέλου μεγίστης εντροπίας, για μια ακόμη φορά η Κλίση, ακολουθούμενη από το Ψψόμετρο, αναδείχθηκαν ως οι σημαντικότερες εκ των μεταβλητών. Ακολουθούν σε σημαντικότητα οι μεταβλητές που σχετίζονται με την ανθρώπινη όχληση, δηλαδή η Απόσταση από δρόμους και η Απόσταση από πληθυσμούς, οι οποίες φαίνεται να περιλαμβάνουν μεγάλο μέρος χρήσιμης πληροφορίας σύμφωνα με τη διαδικασία “Jackknife” (Εικόνες 13, 14). Ωστόσο, η ερμηνεία της συνεισφοράς των δύο αυτών μεταβλητών πρέπει να αντιμετωπιστεί με προσοχή, λόγω της μεγάλης διακύμανσης των τιμών τους, όπως φαίνεται από το μπλε διάστημα της τυπικής απόκλισης στις καμπύλες απόκρισης (Εικόνα 16).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η συμπεριφορά της μεταβλητής Προσανατολισμός κατά τον άξονα Βορρά – Νότου, επειδή κατά το “Jackknife” φαίνεται ότι η μεταβλητή αυτή και συνεισφέρει αρκετά στην ερμηνεία της εξαρτημένης μεταβλητής και μεγάλο

μέρος της χρήσιμης πληροφορίας χάνεται με την αφαίρεσή της. Ωστόσο, η καμπύλη απόκρισης δεν παρουσιάζει μεγάλες κλίσεις, που σημαίνει ότι η πιθανότητα παρουσίας δεν διαφοροποιείται πολύ με την αλλαγή των τιμών της μεταβλητής. Περαιτέρω μελέτη της μεταβλητής απαιτείται σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία της τοπογραφίας ή του κλίματος (π.χ. ισχυροί άνεμοι που πνέουν στο νησί) ώστε να διαλευκανθεί η σημασία που διαδραματίζει για τις θέσεις φωλεοποίησης του χρυσαετού.

Η μεταβλητή Δείκτης βλάστησης παρουσιάζει μια εικόνα μέτριας σημαντικότητας, όπως φαίνεται τόσο από το “Jackknife” όσο και από την καμπύλη απόκρισης. Ωστόσο, έχει ήδη συζητηθεί ότι αυτό οφείλεται μάλλον στο βραχώδες, ορεινό ανάγλυφο το οποίο οι χρυσαετοί προτιμούν για να φωλιάσουν. Επίσης, έχει ήδη αναλυθεί η ανάγκη οι μεταβλητές Δείκτης βλάστησης και Χρήσεις γης να εξεταστούν και στο σύνολο των επικρατειών των χρυσαετών.

Οι μεταβλητές Προσανατολισμός κατά τον άξονα Ανατολής – Δύσης, Σκίαση ανάγλυφου, BIO 19 – Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου και Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων εμφάνισαν φτωχή προσαρμογή στα δεδομένα και δεν φάνηκε να έχουν ερμηνευτική ισχύ ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή μας.

Εν κατακλείδι, σημαντικότερες μεταβλητές κατά την εξέταση του συνόλου των μεταβλητών σε ένα κοινό σετ αναδείχθηκαν αναμφίβολα οι τοπογραφικές και συγκεκριμένα η Κλίση και το Υψόμετρο. Η Λογιστική Παλινδρόμηση ανέδειξε επιπλέον την καταλληλότητα των χρήσεων γης ως μια σημαντική παράμετρο. Ο Lopez-Lopez και οι συνεργάτες του (2006) διαπίστωσαν και αυτοί ότι τα μοντέλα με την μεγαλύτερη ικανότητα πρόβλεψης ήταν εκείνα των τοπογραφικών παραμέτρων και στις τρεις χωρικές κλίμακες στις οποίες εργάστηκαν.

Ενδιαφέρον παρουσίασαν, επίσης, οι μεταβλητές που σχετίζονται με την ανθρώπινη όχληση αλλά χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Το ίδιο ισχύει και για τον Προσανατολισμό κατά τον άξονα Βορρά – Νότου. Η μεταβλητή BIO 9 – Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου δεν υπήρξε δυνατό να συμπεριληφθεί στο σετ αυτό λόγω της συσχέτισης με το Υψόμετρο, αξίζει εντούτοις να της δοθεί σημασία λόγω της ανάδειξής της κατά την εξέταση του υποσυνόλου των βιοκλιματικών δεδομένων και εν όψει των σεναρίων της κλιματικής αλλαγής και των επιβεβαιωμένων αποκρίσεων των

αρπακτικών σε αυτήν. Οι υπόλοιπες μεταβλητές οποιασδήποτε κατηγορίας δεν κρίθηκαν σημαντικές.

#### **4.5 Μοντέλο ΡΑΤ και ζητήματα στην κλίμακα της επικράτειας**

Η εξαγωγή συμπερασμάτων και η λήψη κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων στην κλίμακα της φωλιάς μονάχα είναι επισφαλείς για τα μεγάλα αρπακτικά, καθώς χαρακτηριστικά του μακρο-ενδιαιτήματος γύρω από αυτήν (όπως ο τύπος βλάστησης, η τοπογραφία, οι ανθρώπινες πιέσεις, η διαθεσιμότητα της λείας κ.α.) είναι σημαντικοί παράμετροι κατά την επιλογή του τόπου αναπαραγωγής (Janes 1985; Bosakowski & Speiser 1994; Sergio et al. 2004; Whitfield et al. 2006).

Όπως φαίνεται από τις Εικόνες 5 και 6, η φέρουσα ικανότητα του αναπαραγωγικού πληθυσμού του χρυσαετού στην Κρήτη είναι οι 29 επικράτειες που απεικονίζονται. Μερικές από τις επικράτειες αυτές αντιμετωπίζουν πρόβλημα λόγω της μεγάλης πυκνότητας, όπως συμβαίνει στα Λασιθιώτικα Όρη: εκεί, οι έξι εν δυνάμει επικράτειες εφάπτονται μεταξύ τους, ενώ δύο από αυτές εμφανίζουν μεγάλο βαθμό επικάλυψης! Τέσσερεις επικράτειες με τα όριά τους να εφάπτονται επικίνδυνα παρατηρούνται και στις νοτιοδυτικές παρυφές των Λευκών Ορέων. Ακόμη, κάποιες επικράτειες έχουν εν γένει περιορισμένη έκταση λόγω της γειννιάσής τους με τη θάλασσα, όπως συμβαίνει με την επικράτεια στη χερσόνησο Ροδοπού, την επικράτεια στο νοτιοδυτικό άκρο της Κρήτης κοντά στο Ελαφονήσι και την επικράτεια στο νοτιοανατολικό άκρο κοντά στον Ξερόκαμπο Λασιθίου. Τέλος, κάποια άλλα ζευγάρια διαθέτουν περιορισμένη εκμεταλλεύσιμη έκταση λόγω της εκτεταμένης παρουσίας δρόμων ή οικισμών εντός των επικρατειών τους. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται στις περιοχές όπου η θαμνώδης, χαμηλή βλάστηση αντικαθίσταται από καλλιέργειες ελιάς, ενώ συχνά τα φαινόμενα αυτά απαντούν μαζί. Με άλλα λόγια, οι επικράτειες που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ελαιώνων στο εσωτερικό τους κινδυνεύουν παράλληλα λόγω της περιορισμένης έκτασής τους, καθώς οι ανθρώπινες καλλιέργειες συνεπάγονται και τη διάνοιξη δρόμων για την πρόσβαση σε αυτές.

Μία από τις σημαντικότερες απειλές που αντιμετωπίζουν τα ζευγάρια του χρυσαετού είναι η συρρίκνωση τμημάτων των επικρατειών τους κυρίως λόγω αλλαγών των χρήσεων γης. Για παράδειγμα, έρευνες σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη έχουν καταδείξει τις εκτεταμένες αναδασώσεις εντός των επικρατειών του είδους ως ένα μεγάλο πρόβλημα καθώς τα κλειστά δάση περιορίζουν σημαντικά τις περιοχές



τροφοληψίας τους και τις δυνατότητες κυνηγιού. Το ίδιο αποτέλεσμα συνεπάγεται και η εγκατάλειψη των παραδοσιακών ποιμενικών-αγροτικών εκτάσεων και η σταδιακή, φυσική αντικατάστασή τους από δασώδεις περιοχές (Tucker & Evans 1997; Penteriani et al. 2002; Laiolo et al. 2004).

Αντιθέτως, στην Κρήτη, με το τυπικό μεσογειακό κίμα και τις χαρακτηριστικές αείφυλλες-ξηρόφυλλες διαπλάσεις να επικρατούν στο τοπίο, ο κίνδυνος αυτός δεν είναι αισθητός λόγω της απουσίας μεγάλων εκτάσεων πυκνών δασοσκεπών. Λόγω των ιδιοτήτων αυτών του τοπίου, η κρισιμότερη απειλή για τα ζευγάρια του είδους στο νησί μπορεί να θεωρηθεί η αντικατάσταση των γυμνών από βλάστηση ή φρυγανικών οικοσυστημάτων από ελαιώνες που αποτελούν την κύρια καλλιεργητική πρακτική με τάσεις επέκτασης.

Όπως αναφέρθηκε και στα αποτελέσματα, η επικάλυψη μεταξύ των ελαιώνων και των επικρατειών στην Κρήτη δεν είναι μεγάλη: το 5,31 % της συνολικής έκτασης των επικρατειών κατά PAT χαρακτηρίζεται από «ελαιώνες» κατά την κατάταξη του CORINE Land Cover 2012. Αυτό συμβαίνει επειδή το μεγαλύτερο μέρος των ελαιώνων βρίσκεται στα χαμηλά υψόμετρα των πεδιάδων, σχετικά μακριά από το έντονο ορεινό ανάγλυφο που χαρακτηρίζει τα όρια των επικρατειών. Μπορεί το νούμερο αυτό να ακούγεται μικρό, αλλά στις περιπτώσεις εκείνες όπου οι επικράτειες είναι ήδη περιορισμένες χωρικά λόγω της ύπαρξης ακατάλληλων περιοχών, όπως εκτεταμένοι δρόμοι και οικισμοί, μια πιθανή μελλοντική επέκταση των ελαιώνων θα ήταν ιδιαίτερα επιζήμια. Επιπλέον, η ύπαρξη των κατάλληλων περιοχών τροφοληψίας διαδραματίζει ισχυρότερο ρόλο από την ίδια την έκταση της επικράτειας. Αυτό υποστήριξαν και οι Marzluff et al. (1997) που έδειξαν ότι τα ζευγάρια δεν στοχεύουν απαραίτητα στη μεγιστοποίηση της επικράτειάς τους, ούτε η αναπαραγωγική τους επιτυχία εμφανίζει σημαντική συσχέτιση με την παράμετρο αυτή. Αντιθέτως, προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους ώστε να εκμεταλλεύονται στο έπακρο τα ενδιαίτημα της λείας τους όπως διαμορφώνονται σε περιοχές κοντά στη φωλιά. Ως εκ τούτου, η συρρίκνωση των περιοχών όπου ο χρυσαετός μπορεί να αναζητήσει και να πιάσει τη λεία του είναι ένα μεγάλο πρόβλημα και μπορεί να αποτελέσει την αιτία εγκατάλειψης της επικράτειας από το ζευγάρι. Έτσι, μια μελλοντική επέκταση των ελαιώνων θα είχε ως αποτέλεσμα την συρρίκνωση και, πιθανόν, την απώλεια κάποιων επικρατειών.

Προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση και απώλεια των περιοχών τροφοληψίας των χρυσαετών στην Κρήτη, οφείλουμε να στραφούμε σε εκτατικής μορφής καλλιέργειες. Υπάρχουν αρκετές έρευνες στον ευρωπαϊκό χώρο που δείχνουν την αρνητική συσχέτιση μεταξύ των εντατικών μορφών καλλιέργειας και των χρυσαετών (Marquiss et al. 1985; Carrete et al. 2002; Sanchez-Zapata et al. 2003). Αντιθέτως, η εξάσκηση ήπιας αγρο-κτηνοτροφικής δραστηριότητας δεν φαίνεται να αποτελεί πρόβλημα στις περιοχές τροφοληψίας. Σε μελέτες που διενεργήθηκαν σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από παραδοσιακές, μη εντατικές μεθόδους δεν εντοπίστηκαν αρνητικές επιπτώσεις στους τοπικούς πληθυσμούς χρυσαετού (Tapia et al. 2006).

Εξετάζοντας την Εικόνα 7 βλέπουμε ότι το ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των κελιών υψηλής χρήσης και των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου NATURA 2000 δεν ξεπερνάει το 63 % συνολικά, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ΖΕΠ (Ζώνες Ειδικής Προστασίας) όσο και τις ΤΚΣ (Τόποι Κοινοτικής Σημασίας). Πέρα από τα ποσοστά αυτά όμως, παρατηρείται ότι 7 εκ των 29 εν δυνάμει επικρατειών βρίσκονται εξ ολοκλήρου εκτός του καθεστώτος προστασίας του δικτύου NATURA 2000. Το γεγονός αυτό τις καθιστά εξαιρετικά ευάλωτες σε απώλεια ενδιαιτημάτων και σε οποιοσδήποτε αλλαγές στις χρήσεις γης. Εξετάζοντας τώρα την Εικόνα 20 παρατηρούμε ότι το ποσοστό της επικάλυψης μεταξύ των θέσεων φωλεοποίησης που προβλέπει το μοντέλο μεγίστης εντροπίας και των περιοχών του δικτύου NATURA 2000 είναι και αυτό το 60 % του συνόλου των θέσεων φωλεοποίησης που προβλέπονται.

Για να αξιολογηθούν επαρκώς τα νούμερα αυτά απαιτείται μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των περιοχών NATURA 2000 και ουσιαστική αξιολόγηση του καθεστώτος διαχείρισής τους. Όπως τονίζουν οι Vokou et al. (2014), ασυνέπειες στη χρηματοδότηση, σημαντικές καθυστερήσεις που σχετίζονται με τη μέτρηση και την προστασία της βιοποικιλότητας και ανεπαρκής φύλαξη αποτελούν τα συχνότερα προβλήματα εντός των ελληνικών προστατευόμενων περιοχών.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή πρέπει να τονιστεί η σημασία της κατά τόπους διατήρησης των επικρατειών και των διαθέσιμων, κατάλληλων θέσεων φωλιάσματος: οι χρυσαετοί έχουν να επιδείξουν ισχυρή φιλοπατρία (Watson 1997; Grant & McGrady 1999) και, ως εκ τούτου, η ταχύτητα της γεωγραφικής τους εξάπλωσης είναι μάλλον συντηρητική και αργή, όπως άλλωστε συμβαίνει και με πολλά άλλα αρπακτικά (Lensink 1997; Kenward et al. 2001). Είναι, μάλιστα, χαρακτηριστική η σταθερότητα των

αναπαραγωγικών επικρατειών, ακόμη και αν παρατηρούνται διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας της λείας τους από χρονιά σε χρονιά (Watson 1997).

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα του μοντέλου PAT καταδεικνύουν τις περιοχές που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα ζευγάρια των χρυσαετών και μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τον σχεδιασμό περαιτέρω ερευνών και τη λήψη στρατηγικών διαχείρισης.

#### **4.6 Άλλα ζητήματα και περαιτέρω προτάσεις**

Διάφορα άλλα μοντέλα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν ώστε να συνεισφέρουν σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) στις προσπάθειες αποτελεσματικής διαχείρισης, όπως για παράδειγμα: στην εποπτεία των περιοχών τροφοληψίας για την ύπαρξη δηλητηριασμένων δολωμάτων και στη μελέτη της αλληλεπίδρασης του πληθυσμού με ανεμογεννήτριες. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη δηλητηριασμένων δολωμάτων αποτελεί ένα συχνό πρόβλημα σε περιοχές με έντονη ανάπτυξη της κτηνοτροφίας και η Κρήτη δεν αποτελεί εξαίρεση στον κανόνα αυτόν. Σοβαρά προβλήματα προκαλούν επίσης τα συνεχιζόμενα (τοπικά έντονα) "αναπτυξιακά" έργα στους ορεινούς όγκους, που συνήθως υλοποιούνται χωρίς ουσιαστική μέριμνα για τα αρπακτικά πουλιά ή την άγρια ορνιθοπανίδα γενικότερα, με χαρακτηριστική την περίπτωση των αιολικών πάρκων. Στη Θράκη μάλιστα έχουν καταγραφεί και θάνατοι αρπακτικών από σύγκρουσή τους με τις ανεμογεννήτριες (Red Data Book, Handrinos & Kastritsis 2009). Λόγω του εκτεταμένου δικτύου αιολικών πάρκων που υπάρχουν στο νησί και της ύπαρξης μεγάλου αριθμού επιστημονικών ερευνών που τονίζουν τα περιστατικά σύγκρουσης ή λοιπών αρνητικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ανεμογεννητριών και αρπακτικών (Hunt 2002; Tapia et al. 2009), ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί προς την κατεύθυνση αυτήν. Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η κατασκευή αιολικών πάρκων επιδρά και στην τοπογραφία των περιοχών, προκαλώντας αλλοιώσεις του τοπίου και μεταβάλλοντας τις περιοχές τροφοληψίας.

Σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις των διαειδικών αλληλεπιδράσεων. Η γειτνίαση και, συνεπακόλουθα, ο ανταγωνισμός με κάποια άλλα είδη αρπακτικών έχει τονιστεί ως περιοριστικός παράγοντας σε διάφορες έρευνες. Για παράδειγμα, οι Gil-Sanchez et al. (1996; 2004) κατά τις μελέτες τους σε περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου διαπίστωσαν μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ της φωλεοποίησης και της αναπαραγωγικής επιτυχίας του *Aquila fasciata* (σπιζαετός, παλαιότερα: *Hieraetus fasciatus*) και της παρουσίας του

*Aquila chrysaetos*, ενώ στο ίδιο συμπέρασμα είχαν καταλήξει και προγενέστερες έρευνες (Jordano & Jordano 1981; Bahat 1989). Στα πλαίσια της ίδιας έρευνας υπήρξε από τους ερευνητές επιτόπια παρατήρηση υπεράσπισης επικράτειας και εναέριας διαμάχης μεταξύ των δύο αρπακτικών, ενώ πιθανολογείται ότι πρόκειται για συνήθεις συμπεριφορές σε περιπτώσεις γειτονικών επικρατειών των δύο ειδών. Και στην Κρήτη ο κύριος ανταγωνιστής για τις θέσεις φωλεοποίησης και τροφοληψίας του χρυσαετού είναι ο σπιζαετός. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και η διερεύνηση των οικολογικών απαιτήσεων και διαφοροποιήσεων των δύο αυτών ειδών στο νησί είναι καθοριστικές για τη λήψη των σωστών διαχειριστικών πρακτικών.

Τέλος, οι περισσότερες πρόσφατες έρευνες τονίζουν το γεγονός ότι οι διαχειριστικές στρατηγικές που εστιάζουν αποκλειστικά και μόνο στην προστασία των αναπαραγωγικών ζευγαριών είναι ελλιπείς (Real & Mañosa 1997; Penteriani et al. 2005a, b). Η δυναμική των πληθυσμών των μεγάλων αρπακτικών εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από την επιβίωση των νεαρών και των ενήλικων ατόμων, παρά από την αναπαραγωγική επιτυχία στη φωλιά (Whitfield et al. 2004a). Δυστυχώς, οι παράμετροι αυτοί είναι δύσκολο να μετρηθούν και να παρακολουθούνται.

Κλείνοντας την εργασία αυτή, ήθελα να τονίσω το γεγονός της έλλειψης πρόσφατων εργασιών που να ασχολούνται με την οικολογία του χρυσαετού στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν μερικές έρευνες στον ευρωπαϊκό χώρο που εστιάζουν στις σχέσεις του χρυσαετού με τη διαθεσιμότητα της λείας του, διάφορους κλιματικούς παράγοντες ή χαρακτηριστικά του ενδιαιτήματός του, οι περισσότερες από αυτές αριθμούν αρκετά χρόνια πίσω (βλ. Tjernberg 1984; Watson & Dennis 1992; Pedrini & Sergio 2001, 2002; McGrady et al. 2002a). Στον ελλαδικό χώρο η κατάσταση είναι ακόμα χειρότερη, με τις περισσότερες πληροφορίες να απορρέουν από προσωπικές παρατηρήσεις ερευνητών. Οι γνώσεις μας γύρω από τις πληθυσμιακές τάσεις, τις σύγχρονες απειλές και τις αλληλεπιδράσεις του είδους με το περιβάλλον του πρέπει να εμπλουτιστούν και να επικαιροποιούνται σε μόνιμη βάση ώστε να προχωρούμε σε οργανωμένες, ολιστικές και ασφαλείς προτάσεις διαχείρισης και προστασίας.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43(6), 1223-1232.
- Anderson, R. P. (2003). Real vs. artefactual absences in species distributions: tests for *Oryzomys albigularis* (Rodentia: Muridae) in Venezuela. *Journal of Biogeography*, 30(4), 591-605.
- Bahat, O. (1991). Choice of directional exposure of Golden Eagle nests in the arid areas of Israel. *Israel Journal of Zoology*, 37, 170-171.
- Beaumont, L. J., Pitman, A. J., 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), 1368-1385.
- Beecham, J. J., & Kochert, M. N. (1975). Breeding biology of the golden eagle in southwestern Idaho. *The Wilson Bulletin*, 506-513.
- Bildstein, K. L., Zalles, J., Ottinger, J., & McCarty, K. (2000). Conservation biology of the world's migratory raptors: status and strategies. *Raptors at Risk Hancock House Publishers. Blaine, WA*, 573-590.
- Bosakowski, T., & Speiser, R. (1994). Macrohabitat selection by nesting northern goshawks: implications for managing eastern forests. *Studies in Avian Biology*, 16, 46-49.
- Bourdakis, S. (2003). Localisation and mapping of breeding areas and colonies of the species: Griffon vulture. *Gyps fulvus*.
- Bustamante, J., & Seoane, J. (2004). Predicting the distribution of four species of raptors (Aves: Accipitridae) in southern Spain: statistical models work better than existing maps. *Journal of Biogeography*, 31(2), 295-306.
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J. A., Martínez, J. E., Sánchez, M. Á., & Calvo, J. F. (2002). Factors influencing the decline of a Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* population in southeastern Spain: demography, habitat or competition?. *Biodiversity & Conservation*, 11(6), 975-985.

- Chace, J. F., & Walsh, J. J. (2006). Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and urban planning*, 74(1), 46-69.
- Cook, R. D., & Weisberg, S. (1982). *Residuals and influence in regression*. New York: Chapman and Hall.
- Crandall, R. H. (2013). Identifying environmental factors influencing Golden Eagle presence and reproductive success.
- De Frutos, A., Olea, P. P., & Vera, R. (2007). Analyzing and modelling spatial distribution of summering lesser kestrel: the role of spatial autocorrelation. *Ecological Modelling*, 200(1-2), 33-44.
- Di Vittorio, M., & López-López, P. (2014). Spatial distribution and breeding performance of Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in Sicily: implications for conservation. *Acta ornithologica*, 49(1), 33-45.
- Duke, G. (2008). The EU environmental policy context for monitoring for and with raptors in Europe. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37(6), 397-400.
- Elith, J. (2000). Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. In *Quantitative methods for conservation biology* (pp. 39-58). Springer, New York, NY.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... & Li, J. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.
- Fernández, C., & Donázar, J. A. (1991). Griffon Vultures *Gyps fulvus* occupying eyries of other cliff-nesting raptors. *Bird Study*, 38(1), 42-44.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
- Forsman, D. (1999). *The raptors of Europe and the Middle East: a handbook of field identification*. London: T & AD Poyser.
- Franklin, J. (2010). *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.

- Gil-Sánchez, J. M. (1994). Parámetros reproductivos y de alimentación del Águila real (*Aquila chrysaetos*) y del Águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en la provincia de Granada. *Ardeola*, 12, 47-52.
- González, L. M., Bustamante, J., & Hiraldo, F. (1992). Nesting habitat selection by the Spanish imperial eagle *Aquila adalberti*.
- Grant, J. R., & McGrady, M. J. (1999). Dispersal of golden eagles *Aquila chrysaetos* in Scotland. *Ringing & Migration*, 19(3), 169-174.
- Grubač, B. R. (1988). *The Golden Eggle (Aquila Chrysaetos Chrysaetos) in South-Eastern Yugoslavia: Suri Orao (Aquila Chrysaetos Chrysaetos) u jugoistočnoj Jugoslaviji*. JAZU.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2-3), 147-186.
- Haller, H. (1982). Spatial organization and dynamics of a population of Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in the central Alps. *Ornithologische Beobachter*, 79, 163-211.
- Handrinos, G. (1987). The significance of Greece for wintering and migrating raptors. *Ricerche Biologia Selvaggina*, 12, 99-113.
- Handrinos, G., & Akriotis, T. (1997). *The birds of Greece*. Christopher Helm.
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*, 12(12), 2272-2281.
- Hunt, G. (2002). *Golden eagles in a perilous landscape: predicting the effects of mitigation for wind turbine blade-strike mortality*. Public Interest Energy Research, California Energy Commission.
- Janes, S. W. (1985). Habitat selection in raptorial birds. *Habitat selection in birds*. Academic Press, New York, 159-188.
- Jiménez-Valverde, A., & Lobo, J. M. (2007). Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either–or presence–absence. *Acta oecologica*, 31(3), 361-369.

- Jordano, P., & Jordano, P. (1981). Relaciones interespecíficas y coexistencia entre el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) y el Águila Perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en Sierra Morena central.
- Kaisanlahti-Jokimaki, M., Jokimaki, J., Huhta, E., Ukkola, M., Helle, P., & Ollila, T. (2008). Territory occupancy and breeding success of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) around tourist destinations in northern Finland. *Ornis Fennica*, 85(1), 2.
- Kenward, R. E., Clarke, R. T., Hodder, K. H., & Walls, S. S. (2001). Density and linkage estimators of home range: nearest-neighbor clustering defines multinuclear cores. *Ecology*, 82(7), 1905-1920.
- Laiolo, P., Dondero, F., Ciliento, E., & Rolando, A. (2004). Consequences of pastoral abandonment for the structure and diversity of the alpine avifauna. *Journal of Applied Ecology*, 41(2), 294-304.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
- Legakis, A., & Maragou, P. (2009). The Red Data Book of threatened animal species of Greece. *Hellenic Zoological Society, Athens*.
- Legendre, P., & Legendre, L. (1998). Numerical Ecology, Volume 24, (Developments in Environmental Modelling).
- Lensink, R. (1997). Range expansion of raptors in Britain and the Netherlands since the 1960s: testing an individual-based diffusion model. *Journal of Animal Ecology*, 811-826.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385-393.
- López-López, P., García-Ripollés, C., Aguilar, J. M., Garcia-López, F., & Verdejo, J. (2006). Modelling breeding habitat preferences of Bonelli's eagle (*Hieraetus fasciatus*) in relation to topography, disturbance, climate and land use at different spatial scales. *Journal of Ornithology*, 147(1), 97-106.
- López-López, P., García-Ripollés, C., Soutullo, A., Cadahía, L., & Urios, V. (2007). Identifying potentially suitable nesting habitat for golden eagles applied to 'important bird areas' design. *Animal Conservation*, 10(2), 208-218.



- Manel, S., Williams, H. C., & Ormerod, S. J. (2001). Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of applied Ecology*, 38(5), 921-931.
- Marquiss, M., Ratcliffe, D. A., & Roxburgh, R. (1985). The numbers, breeding success and diet of Golden Eagles in southern Scotland in relation to changes in land use. *Biological Conservation*, 34(2), 121-140.
- Marzluff, J. M., Knick, S. T., Vekasy, M. S., Schueck, L. S., & Zarriello, T. J. (1997). Spatial use and habitat selection of golden eagles in southwestern Idaho. *The Auk*, 673-687.
- Marzluff, J. M. (2005). Island biogeography for an urbanizing world: how extinction and colonization may determine biological diversity in human-dominated landscapes. *Urban Ecosystems*, 8(2), 157-177.
- McCoy J., & Johnston K. (2002). Using ArcGIS Spatial Analyst. ESRI press.
- McGrady, M. J. (1997). *Aquila chrysaetos* Golden eagle. *Birds of the Western Palearctic Update, 1*, 99-114.
- McHarg, I. L., & Mumford, L. (1969). *Design with nature*. New York: American Museum of Natural History.
- McIntyre, C. L., & Schmidt, J. H. (2012). Ecological and environmental correlates of territory occupancy and breeding performance of migratory Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in interior Alaska. *Ibis*, 154(1), 124-135.
- McLeod, D. R., Whitfield, D. P., & McGrady, M. J. (2002). Improving prediction of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) ranging in western Scotland using GIS and terrain modeling. *Journal of Raptor Research*, 36(1; SUPP), 70-77.
- Morán-López, R., Guzman, J. S., Borrego, E. C., & Sanchez, A. V. (2006). Nest-site selection of endangered cinereous vulture (*Aegypius monachus*) populations affected by anthropogenic disturbance: present and future conservation implications. *Animal Conservation*, 9(1), 29-37.

- Ontiveros, D., Pleguezuelos, J. M., & Caro, J. (2005). Prey density, prey detectability and food habits: the case of Bonelli's eagle and the conservation measures. *Biological Conservation*, 123(1), 19-25.
- Palomares, F., & Delibes, M. (1997). Predation upon European rabbits and their use of open and closed patches in Mediterranean habitats. *Oikos*, 407-410.
- Paprocki, N., Heath, J. A., & Novak, S. J. (2014). Regional distribution shifts help explain local changes in wintering raptor abundance: implications for interpreting population trends. *PLoS One*, 9(1), e86814.
- Pauli, B. P., Spaul, R. J., & Heath, J. A. (2017). Forecasting disturbance effects on wildlife: tolerance does not mitigate effects of increased recreation on wildlands. *Animal Conservation*, 20(3), 251-260.
- Phillips, R. L., McEneaney, T. P., & Beske, A. E. (1984). Population densities of breeding golden eagles in Wyoming. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 12(3), 269-273.
- Phillips, R. L., & Beske, A. E. (1990). Nesting ecology of Golden Eagles and other raptors in southeastern Montana and northern Wyoming.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Pedrini, P., & Sergio, F. (2001). Golden Eagle *Aquila chrysaetos* density and productivity in relation to land abandonment and forest expansion in the Alps. *Bird Study*, 48(2), 194-199.
- Penteriani, V., Gallardo, M., & Roche, P. (2002). Landscape structure and food supply affect eagle owl (*Bubo bubo*) density and breeding performance: a case of intra-population heterogeneity. *Journal of Zoology*, 257(3), 365-372.
- Penteriani, V., Otalora, F., Sergio, F., & Ferrer, M. (2005a). Environmental stochasticity in dispersal areas can explain the 'mysterious' disappearance of breeding populations. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 272(1569), 1265-1269.

- Penteriani, V., Otalora, F., & Ferrer, M. (2005b). Floater survival affects population persistence. The role of prey availability and environmental stochasticity. *Oikos*, *108*(3), 523-534.
- Peterson, A. T., Papeş, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological modelling*, *213*(1), 63-72.
- Poirazidis, K., Goutner, V., Skartsi, T., & Stamou, G. (2004). Modelling nesting habitat as a conservation tool for the Eurasian black vulture (*Aegypius monachus*) in Dadia Nature Reserve, northeastern Greece. *Biological conservation*, *118*(2), 235-248.
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press.
- Rackham, O., & Moody, J. (1996). *The making of the Cretan landscape*. Manchester University Press.
- Real, J., & Mañosa, S. (1997). Demography and conservation of western European Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* populations. *Biological Conservation*, *79*(1), 59-66.
- Sanchez-Zapata, J. A., Carrete, M., Grivilov, A., Sklyarenko, S., Ceballos, O., Donazar, J. A., & Hiraldo, F. (2003). Land use changes and raptor conservation in steppe habitats of Eastern Kazakhstan. *Biological Conservation*, *111*(1), 71-77.
- Schneider, E. D., & Kay, J. J. (1994). Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and computer modelling*, *19*(6-8), 25-48.
- Scott, T. A. (1985). *Human impacts on the golden eagle population of San Diego County from 1928 to 1981* (Master's thesis, San Diego State University).
- Seguin, J. F., Thibault, J. C., & Torre, J. (2001). The diet of young golden eagles *Aquila chrysaetos* IN. *Ardea*, *89*, 3.
- Sergio, F., Rizzolli, F., Marchesi, L., & Pedrini, P. (2004). The importance of interspecific interactions for breeding-site selection: peregrine falcons seek proximity to raven nests. *Ecography*, *27*(6), 818-826.

- Sergio, F., Blas, J., Forero, M., Fernández, N., Donázar, J. A., & Hiraldo, F. (2005). Preservation of wide-ranging top predators by site-protection: black and red kites in Doñana National Park. *Biological Conservation*, *125*(1), 11-21.
- Sergio, F., Newton, I. A. N., Marchesi, L., & Pedrini, P. (2006). Ecologically justified charisma: preservation of top predators delivers biodiversity conservation. *Journal of Applied Ecology*, *43*(6), 1049-1055.
- Sergio, F., Pedrini, P., Rizzolli, F., & Marchesi, L. (2006). Adaptive range selection by golden eagles in a changing landscape: A multiple modelling approach. *Biological Conservation*, *133*(1), 32-41.
- Takeuchi, T., Shiraki, S., Nashimoto, M., Matsuki, R., Abe, S., & Yatake, H. (2006). Regional and temporal variations in prey selected by Golden Eagles *Aquila chrysaetos* during the nestling period in Japan. *Ibis*, *148*(1), 79-87.
- Tapia, L., Domínguez, J., & Rodríguez, L. (2006). Modelling habitat use and distribution of golden eagles *Aquila chrysaetos* in a low-density area of the Iberian Peninsula. In *Biodiversity and Conservation in Europe* (pp. 317-332). Springer, Dordrecht.
- Tapia, L., Domínguez, J., & Rodríguez, L. (2009). Using probability of occurrence to assess potential interaction between wind farms and a residual population of golden eagle *Aquila chrysaetos* in NW Spain. *Biodiversity and conservation*, *18*(8), 2033.
- Tjernberg, M. (1985). Spacing of Golden Eagle *Aquila chrysaetos* nests in relation to nest site and food availability. *Ibis*, *127*(2), 250-255.
- Tucker, G. M., & Heath, M. F. (1994). *Birds in Europe: their conservation status* (No. 3). Smithsonian Inst Pr.
- Tucker, G. M., & Evans, M. I. (1997). *Habitats for birds in Europe: a conservation strategy for the wider environment* (Vol. 6). Cambridge: BirdLife International.
- Vokou, D., Dimitrakopoulos, P. G., Jones, N., Damialis, A., Monokrousos, N., Pantis, J. D., ... & Natura-2000 Committee. (2014). Ten years of co-management in Greek protected areas: an evaluation. *Biodiversity and conservation*, *23*(11), 2833-2855.
- Watson, J. (1992). Golden Eagle *Aquila chrysaetos* breeding success and afforestation in Argyll. *Bird study*, *39*(3), 203-206.

Watson, J., & Dennis, R. H. (1992). Nest-site selection by golden eagles in Scotland. *British Birds*, 85(9), 469-481.

Watson, J. (1997). *The golden eagle*. Bloomsbury Publishing.

Watson, J. (2010, 2<sup>nd</sup> edition). *The golden eagle*. Bloomsbury Publishing.

White, J. H., Smith, J. M., Bassett, S. D., Brown, J. L., & Ormsby, Z. E. (2018). Raptor nesting locations along an urban density gradient in the Great Basin, USA. *Urban Ecosystems*, 21(1), 51-60.

Whitfield, D. P., McLeod, D. R., Fielding, A. H., Broad, R. A., Evans, R. J., & Haworth, P. F. (2001). The effects of forestry on golden eagles on the island of Mull, western Scotland. *Journal of Applied Ecology*, 38(6), 1208-1220.

Whitfield, D. P., Fielding, A. H., McLeod, D. R. A., & Haworth, P. F. (2004a). The effects of persecution on age of breeding and territory occupation in golden eagles in Scotland. *Biological Conservation*, 118(2), 249-259.

Whitfield, D. P., Fielding, A. H., McLeod, D. R. A., & Haworth, P. F. (2004b). Modelling the effects of persecution on the population dynamics of golden eagles in Scotland. *Biological Conservation*, 119(3), 319-333.

Whitfield, D. P., Fielding, A. H., McLeod, D. R., Haworth, P. F., & Watson, J. (2006). A conservation framework for the golden eagle in Scotland: refining condition targets and assessment of constraint influences. *Biological conservation*, 130(4), 465-480.

Xirouchakis, S. (2001). The Golden Eagle *Aquila chrysaetos* in Crete. Distribution, population status and conservation problems. *AVOCETTA-PARMA*-, 2001, 25.2: 275-282.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

<http://www.worldclim.org/>

<http://geodata.gov.gr/>

<http://srtm.csi.cgiar.org/>

[http://www.oikoskopio.gr/ygrotopio/general/list\\_files.php?category=dedomeva\\_gewbasewv&lang=el\\_GR](http://www.oikoskopio.gr/ygrotopio/general/list_files.php?category=dedomeva_gewbasewv&lang=el_GR)

## 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

*Ακολουθία εντολών για την ανάπτυξη του μοντέλου PAT στο λογισμικό R*

(πηγή: Fielding, A.H. and Haworth, P.F. 2014. Golden eagles in the south of Scotland: an overview.

*Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 626.*)

```
#PAT model for a single range
#Load the necessary R libraries
library(raster)
library(maptools)
library(spatstat)
#USER SUPPLIED VALUES, #NOTE use / and not \ in file paths.
#These are the range specific inputs needed to generate the PAT model
#set the name of working directory
wd<-'K:/Gisdata/PATModels/'
#The Weighted Ridge Distance file as an ASC file (see Annex 2)
#The nest file has a xTABy format and a final carriage return, no headers please
#A raster file of excluded pixels (e.g. lochs, forestry) is needed - see below
#A thiesen polygon shape file of the range boundary,
#taking account of neighbouring ranges if needed
rangename<-'XYZ'
wtdist_file<-'xyzwtdist.txt'
nestfile<-'xyznest.txt'
excludefile<-'xyzexclude.txt'
rangethiessen<-'xyzthiessen.shp'
#pixel size in m - needed for some calculations
pixelsize<-50
#rinmax is the maximum radius of the RIN thiesen (range size)
rinmax<-6000
#Range centres, a pair of X Y coordinates for each range read from a text file
coords<- as.matrix(read.table(paste(wd,nestfile,sep="")))
#Number of ranges is found from number of XY coordinates
ranges<-length(coords)/2
#Create the full file path name and load the weighted distance file
wr100m_start<-raster(paste(wd,wtdist_file,sep=""))
#The exclude raster image pools all exclusion zones (e.g. water and forests).
#Exclusion regions must have values of NA with the rest being 0
excluded<-raster(paste(wd,excludefile,sep=""))
#read in the range thiesen and plot it
v<-readShapePoly(paste(wd,rangethiessen,sep=""))
plot(v)
#covert the Thiessen polygon to a raster and use it to crop a 6km nest buffer
#An extent is needed for some cropping, use pixel size and max size of RIN
#to calculate the min and max values of an extent (a Raster parameter)
xmn<-((coords[1,1]-rinmax)/%pixelsize)*pixelsize
xmx<-((coords[1,1]+rinmax)/%pixelsize)*pixelsize
ymn<-((coords[1,2]-rinmax)/%pixelsize)*pixelsize
ymx<-((coords[1,2]+rinmax)/%pixelsize)*pixelsize
ext<-extent(xmn,xmx,ymn,ymx)
#get the weighted ridge distance and crop it to the extent from above
wr100m<-crop(wr100m_start,ext)
#Initialise a rasterised version of the RIN to the same size as wr100m
```

```

rinraster<- rasterize(v, wr100m)
plot(rinraster)
#Find the nest centre and build a raster image that extends to 6000m
nest<-cbind(coords[1,1], coords[1,2])
nestraster<-rasterize(nest, wr100m)
#First the nest has to have a NA value with everything else being 0 - needed
#for the distance function
NAvalue(nestraster)<-0
nestraster[nestraster!=1]<-0

nestraster<-distance(nestraster)
nestraster[nestraster>rinmax]<-NA
nestraster[nestraster>0]<-0
plot(nestraster)
#Finally crop off any parts of the range Thiessen that are >6km from the nest
#now need to crop them
rinraster<- overlay(nestraster, rinraster, fun=function(x,y){return(x+y)})
wr100m<-overlay(rinraster,wr100m,fun=function(x,y){return(x+y)})
plot(wr100m)

#NOW BEGIN THE PAT MODELLING
#User supplied nest coordinate
centre<-c(coords[1,1],coords[1,2])
#find the extent of the rin and use it for cropping
rinextent<-extent(rinraster)
#Load the exclusion text file into a raster layer called rexclude and
#ensure that the extents match, slight offsets in origin need to be corrected
rexclude<-crop(excluded,wr100m)
rexclude<-resample(rexclude,wr100m, method='bilinear')

#PART A
#distances to the nest and number of 500 m bands - a function of RIN size
#if intermediate maps are required leave debug = T otherwise change it to F
debug<-T
#find distances from the range centre to all pixels and crop it to the
#spatial extent of the RIN
cdist<-distanceFromPoints(wr100m,centre)
cdist<-overlay(rinraster,cdist,fun=function(x,y){return(x*y)})
if (debug) plot(cdist)
#convert distances to 500m bands and remove any distances > 6000m (>12)
r500m<-floor(cdist/500)
r500m[r500m>11] <- NA
if (debug) plot(r500m)
#find the number of pixels in each band,1=0-500m, 2=500-1000m distance, etc
#pixels is a count including NA cells
pixels<-ncell(r500m)
#How many NA cells are there?
pna<-freq(r500m,value=NA)
#Find the RIN area as the number of (Extent pixels - NA pixels).
#pixel size as a proportion of 1 ha. Needed to convert pixel count ha
pixha<-pixelsize/100*0.5
rinarea<-round((pixels-pna)*pixha)
#the number of 500 m bands from the maximum distance from the range centre
#this is based on the RIN when r500 raster was masked with the rdem raster.
#this should have a max distance of 6000m because of the RIN's construction,
#otherwise it would be the max distance to the RIN boundary
#use equation from Fig 3 of the Ibis paper
bands<-round((rinarea*0.4049+2423.2)/500)
#can't be more than 12 bands for a 6000m radius RIN

```



```

if (bands>12) bands<-12
#mask out any distances beyond maximum distance
r500m[r500m>(bands-1)]<-NA

#PART B
#Construct the raw (no exclusions) PAT
#use the number of bands to find the initial percentage-use for each 500 m band.
#The calculation is a linear decay function
baseuse_pct<- (136.59 * (bands^-0.89))
#and then the rate of use decay for each subsequent band (assumes linear decay)
decayrate<-136.48 * (bands^-1.905)
#use-adjusted raster layer for distance from centre
#no account taken of ridges at this point)
baseuse<-(baseuse_pct-(r500m*decayrate))* 100000
patbasesum<-cellStats(baseuse,'sum')

#find the number of pixels in each band, 1=0-500m dist, 2=500-1000m, etc
r500m_pixs<-r500m
for (j in 1:bands) r500m_pixs[r500m_pixs==(j-1)]<-freq(r500m,value=(j-1))
#now apply the weighted distance use to the base usage raster to adjust
#use-values to combine distances to the nest and ridges
base_distwt<-wr100m*baseuse
#initialise 3 matrices with 0s to populate within the subsequent loop
origbandbase<-matrix(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0), nrow=1)
wtbandbase<-matrix(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0), nrow=1)
bandratio<-matrix(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0), nrow=1)
#now, following the ridge distance weighting, adjust the 500m distance bands
#to have the same sum as in the original baseuse map
for (j in 1:bands) {
baseuset<-baseuse
tmpadj<-base_distwt
baseuset[r500m!=(j-1)]<-NA
tmpadj[r500m!=(j-1)]<-NA
origbandbase[j]<-cellStats(baseuset,'sum')
wtbandbase[j]<-cellStats(tmpadj,'sum')
bandratio[j]<-origbandbase[j]/wtbandbase[j]
}
ratio<-r500m
for (j in 1:bands) ratio[ratio==(j-1)]<-bandratio[j]
pat<-base_distwt*ratio/r500m_pixs
patsum<-cellStats(pat,'sum')
#normalise to sum to 10,000,000 to keep precision whilst converting to integer
pat<-round((pat*10000000)/patsum)
if (debug) plot(pat)
#save the raw PAT map and tidy up
rfile<-writeRaster(pat, paste(wd,rangename,"raw.asc",sep="), datatype='INT4S',
overwrite=TRUE)
remove(baseuse,base_distwt,r500m_pixs,ratio,tmpadj,baseuset,origbandbase,wtbandbase
,bandratio)
#PART C
#Create the final PAT taking account of exclusions
#mask out excluded regions from the PAT with no exclusions
tmp<-mask(pat,rexclude)
#set the new 0 value cells to NA
tmp[tmp==0]<-NA
#tmp has the values and positions of the excluded pixels
if (debug) plot(tmp)
s3<-zonal(tmp,r500m, 'sum')
#now do the same for the pat image

```

```

s4<-zonal(pat,r500m, 'sum')
#the loss in s3 has to be partitioned using the Ibis rules
#find the use-per-band after exclusion and before redistribution of usage
s1<-s4[,2]-s3[,2]
#calculate usage redistribution categories to take account of excluded regions
#1. retain 25% in the original band
rd1<-s3[,2]*0.25
retain<-rbind(rd1)
#drop columns if needed, e.g. if there are 9 bands get rid of the outer ones.
#if (bands<12) retain<-retain[,1:(bands+1)]
#2. shift 25% out one band from the centre
colno<-NCOL(retain)
rd_out1<-matrix(nrow=1, ncol=colno)
#3. shift 25% out two bands from the centre
rd_out2<-rd_out1
#4. shift 25% in one band towards the centre
rd_in1<-rd_out1
#now do the shifting
for (j in 2:colno) rd_out1[j]<-retain[j-1]
for (j in 3:colno) rd_out2[j]<-retain[j-2]
for (j in 1:(colno-1)) rd_in1[j]<-retain[j+1]
#get rid of NAs

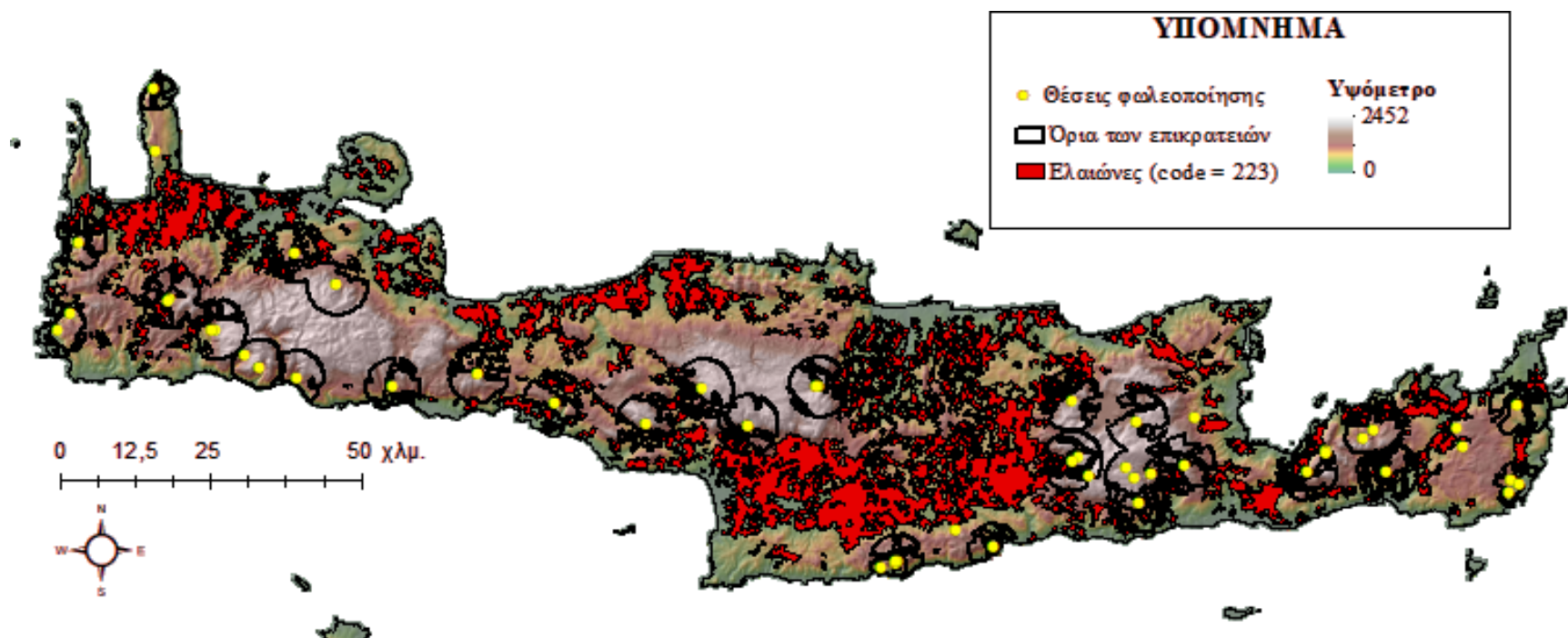
rd_out1[1]<-0
rd_out2[1:2]<-0
rd_in1[colno]<-0
#5. tidy up for usage beyond last band and movement in from central band,
#spread this equally
rd_all<-((sum(retain)-sum(rd_out1))+(sum(retain)-sum(rd_out2)))/colno
#Finally add them all together
redistribute<-retain+rd_out1+rd_out2+rd_in1+rd_all
#Add these to the pat with exclusions to get new values for the bands.
#These band-use totals now have to be partitioned amongst the
#remaining (non-excluded) pixels with a distance-to-ridge adjustment
#make a temporary copy of the 500m distance band map
redistrib0<-r500m
#assign the redistributed use to each band
for (j in 1:bands) redistrib0[redistrib0==(j-1)]<-redistribute[j]
r500m_tmp<-r500m+rexclude
#cut out the excluded regions from the pat image
pat_tmp<-pat+rexclude
#start to create the redistributed pixels
#redistrib1 has the amount of use in each band to be shared between pixels
redistrib1<-redistrib0+rexclude
r500m_pixs_tmp<-r500m_tmp
#find the number of pixels in each band, 1=0-500m dist, 2=500-1000m, etc
for (j in 1:bands) r500m_pixs_tmp[r500m_pixs_tmp==(j-1)]<-
freq(r500m_tmp,value=(j-1))
#now divide the redistributed use by the number of pixels in a band
redistrib2<-redistrib1/r500m_pixs_tmp
#now adjust for distance from a ridge
redistrib3<-wr100m*redistrib2
redistrib3[redistrib3<0]<-NA
#find the sum of pixels in the distance-weighted redistribution
patsum2<-cellStats(redistrib3,'sum')
#find the actual sum of use to be redistributed
rsum<-sum(redistribute)
#normalise to the sum of redistributed use
patadj<-round(redistrib3*rsum/patsum2)

```

```
#last step - add this to the PAT with exclusion cut out and
#readjust total use to 100% (1000000)
pat2<-patadj+pat_tmp
pat2sum<-cellStats(pat2,'sum')
pat2<-round(pat2/pat2sum*1000000)
plot(pat2)
#tidy up
remove(redistrib0, redistrib1, redistrib2, redistrib3)
#Finally write the finished PAT file
rfile<- writeRaster(pat2, paste(wd,rangename,"full.asc",sep="),
datatype='INT4S',
                                overwrite=TRUE)
```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

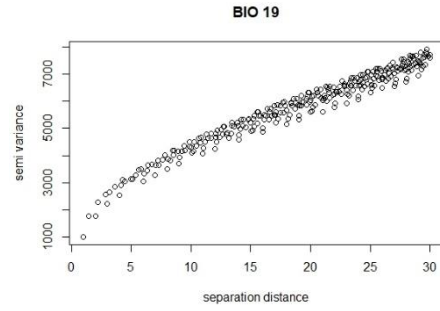
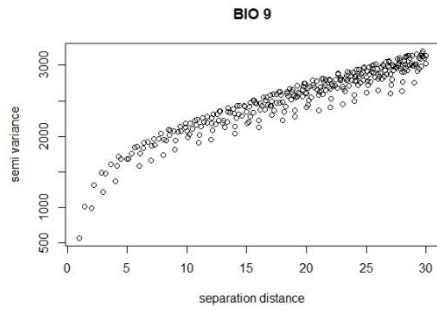
Χάρτης με τους τύπους χρήσεων γης που έχουν χαρακτηριστεί ως ελαιώνες κατά CORINE Land Cover 2012.



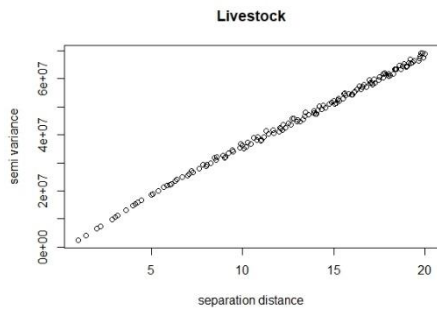
**Εικόνα:** Περιοχές που χαρακτηρίζονται ως «ελαιώνες» στην Κρήτη (code = 223) κατά Corine Land Cover (2012) (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) και η επικάλυψή τους με τις επικράτειες όπως προέκυψαν από την ανάπτυξη του κοντέλου ΡΑΤ. Με κόκκινο χρώμα διακρίνονται οι ελαιώνες και με μαύρο περίγραμμα διακρίνονται τα όρια των επικρατειών κατά ΡΑΤ. Το 3,31% της συνολικής έκτασης των ελαιώνων βρίσκεται εντός των επικρατειών, ενώ από τη συνολική έκταση των επικρατειών όλων των ζευγαριών, το 5,31% χαρακτηρίζεται από ελαιώνες.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

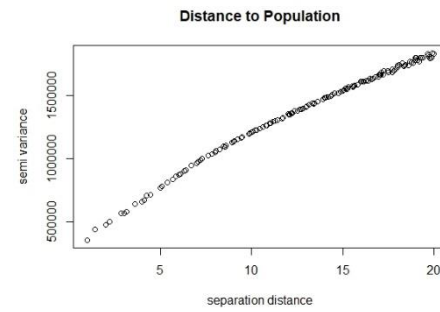
## Διαγράμματα χωρικής αυτοσυσχέτισης



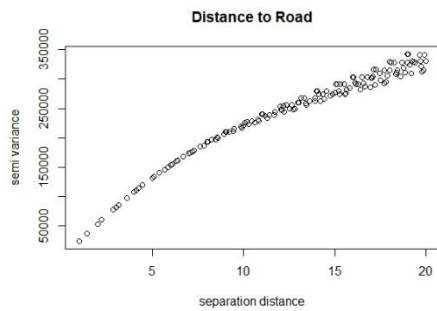
### Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τέταρτου



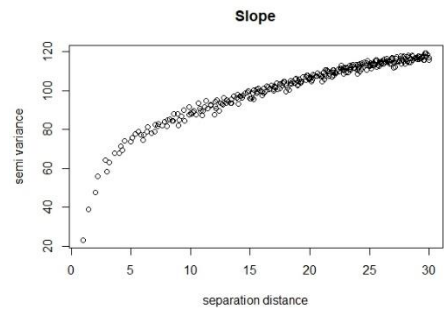
### Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τέταρτου



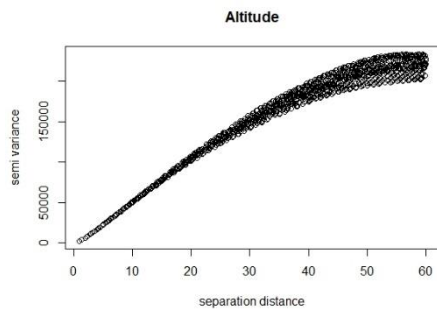
### Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων



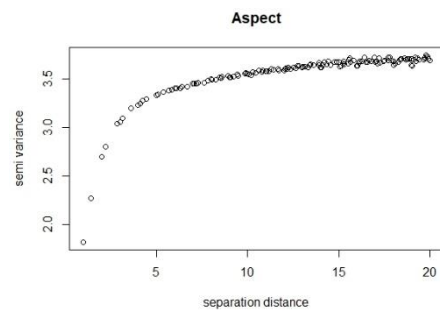
### Απόσταση από πληθυσμούς



### Απόσταση από δρόμους



### Κλίση



### Υψόμετρο

### Προσανατολισμός