

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΜΠΙΖΑ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΦΑΡΑΣΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΛΑΡΙΣΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

ΕΥΧΑΡΗΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ.Ιωάννη Φαρασλή, καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και επιβλέπων της παρούσας πτυχιακής, για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια του.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ.Ηλιόπουλο Γεώργιο (Βιολόγος) και τους επιστημονικούς υπεύθυνους του προγράμματος LIFE Bear-Smart Corridors (LIFE20NAT/NL/001107) της Περιβαλλοντικής Οργάνωσης για την άγρια ζωή και τη φύση, ΚΑΛΛΙΣΤΩ: Μερτζάνης Γιώργος Δρ. Βιολόγος Ομάδα εργασιών πεδίου και συλλογής δεδομένων: Στέφανος Κυριακίδης, Λαζάρου Γεώργιος, Καταχώρηση δεδομένων: Στέφανος Κυριακίδης, Δασολόγος Msc, για την ευγενική παραχώρηση των 46 σημείων τεκμηριωμένης παρουσίας λύκου, χωρίς τα οποία η παρούσα πτυχιακή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε και μου έδωσε δύναμη όχι μόνο κατά την διάρκεια υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής, αλλά και γενικότερα σε όλο το διάστημα των σπουδών μου, και ιδιαίτερα την μητέρα μου για την ηθική υποστήριξη της. Τέλος θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Κωνσταντίνο Λαφαζάνη, που μου στάθηκε και μοιράστηκε την αγωνία μου σε αυτήν την απαιτητική περίοδο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή διερευνά την κατανομή του είδους *Canis lupus* (λύκος) στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων κάνοντας χρήση Μοντέλων Κατανομής Ειδών (Species Distribution Models -SDMs). Μέσα από την συγκεκριμένη μελέτη, αναδείχθηκε η χρησιμότητα των Μοντέλων Κατανομής Ειδών, ως ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση και ανάλυση της κατανομής των ειδών στο περιβάλλον και την δημιουργία οικολογικών μελετών. Ακόμη, επιτρέπουν την πρόβλεψη των περιοχών που είναι κατάλληλες για την παρουσία ενός είδους, συνδυάζοντας γεωγραφικά και περιβαλλοντικά δεδομένα. Χρησιμοποιώντας αλγορίθμους όπως το MaxEnt, τα SDMs εντοπίζουν σημαντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η κάλυψη γης, οι οποίοι επηρεάζουν τη βιωσιμότητα και εξάπλωση ενός είδους. Βασικά ευρήματα της μελέτης ήταν ο εντοπισμών των σημείων μεγαλύτερης καταλληλότητας ενδιαιτήματος (>70%) εντός της περιοχής μελέτης καθώς και η ανάδειξη της επιρροής των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο στην καταλληλότητα του ενδιαιτήματος του *Canis lupus*. Αναλυτικότερα, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της βροχόπτωσης βελτιώνει την καταλληλότητα του ενδιαιτήματος για το είδος, καθώς ενισχύει τη βλάστηση και τη διαθεσιμότητα θηραμάτων. Επίσης, εντοπίστηκε ότι το είδος προτιμάει μέτρια έως υψηλή θερμοκρασία και υψόμετρα από 500-1250 μέτρα. Η βλάστηση και η απόσταση από οικισμούς επηρεάζουν την καταλληλότητα, με τις υψηλότερες καταλληλότητες να παρατηρούνται σε περιοχές με φυσική βλάστηση μεγάλης πυκνότητας και απομακρυσμένες από οδικούς δρόμους περιοχές. Συνολικά, τα αποτελέσματα της μελέτης υπογραμμίζουν την σπουδαιότητα των Μοντέλων Κατανομής Ειδών, τα οποία παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη σχεδίαση στρατηγικών προστασίας και διαχείρισης της βιοποικιλότητας, βοηθώντας τη λήψη αποφάσεων για τη διατήρηση και προστασία των ειδών σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

ABSTRACT

This thesis investigates the distribution of the species *Canis lupus* (wolf) in the wider area of the Antichasia Mountains in the Trikala Regional Unit using Species Distribution Models (SDMs). Through this specific study, the usefulness of Species Distribution Models was highlighted, as a valuable tool for understanding and analyzing the distribution of species in the environment and creating ecological studies. Furthermore, they allow the prediction of areas that are suitable for the presence of a species, combining geographical and environmental data. Using algorithms such as MaxEnt, SDMs identify important factors such as temperature, precipitation, and land cover that affect a species' viability and distribution. Key findings of the study were the identification of the points of greater habitat suitability (>70%) within the study area as well as the highlighting of the influence of the variables used in the model on the suitability of the *Canis lupus* habitat. More specifically, increased rainfall was found to improve habitat suitability for the species by enhancing vegetation and prey availability. They were also found to prefer moderate to high temperature and altitudes from 500-1250 meters. Vegetation and distance from settlements affect suitability, with the highest suitability observed in areas with dense natural vegetation and areas remote from roads. Overall, the results of the study highlight the importance of Species Distribution Models, which provide valuable information for the design of biodiversity conservation and management strategies, helping decision-making to conserve and protect species in a changing environment.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ: ΆΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ, ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ	2
2.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΑΓΡΙΑΣ ΠΑΝΙΔΑΣ	2
2.1.1 Η ΑΞΙΑ ΤΗΣ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ ΣΤΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	3
2.1.2 ΛΥΚΟΣ (CANIS LUPUS) – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	5
2.2 ΆΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	10
2.2.1 Ο ΛΥΚΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	12
2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ – SPECIES DISTRIBUTION MODELS (SDMS)	13
2.3.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	14
2.3.2 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	16
2.3.3. ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	17
2.3.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ	18
2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ	20
2.4.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ	21
2.4.2 ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ	21
2.4.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΙΣΒΟΛΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ.....	22
3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	22
3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	24
3.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	24
3.2.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	26
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	27
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	39
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1 Βασικά Φαινοτυπικά και Ανατομικά χαρακτηριστικά του <i>Canis lupus</i>	9
Εικόνα 2 Σημεία που παρατηρήθηκε <i>Canis lupus</i> στην περιοχή μελέτης.....	28
Εικόνα 3 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Θερμοκρασίας στο QGIS σε μορφή ASC.....	29
Εικόνα 4 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Βροχόπτωσης στο QGIS σε μορφή ASC.....	29
Εικόνα 5 Επεξεργασμένη Μεταβλητή DEM στο QGIS σε μορφή ASC.....	30
Εικόνα 6 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Land Cover στο QGIS σε μορφή ASC.....	30
Εικόνα 7 Επεξεργασμένη Μεταβλητή NDVI index στο QGIS σε μορφή ASC.....	30
Εικόνα 8 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Οικισμών στο QGIS σε μορφή ASC.....	31
Εικόνα 9 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Οδικού Δικτύου στο QGIS σε μορφή ASC.....	31
Εικόνα 10 Στιγμιότυπο από την Επεξεργασία των δεδομένων στο QGIS.....	31
Εικόνα 11 Στιγμιότυπο από το λογισμικό Maxent.....	32
Εικόνα 12 Παρατηρήσεις από την Επαλήθευση με Διασταυρούμενη Επικύρωση.....	33
Χάρτης 1 Περιοχή Μελέτης.....	24
Χάρτης 2 Χάρτης Κατανομής <i>Canis lupus</i> στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών για το 2024.....	35
Χάρτης 3 Περιοχές >70% Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος <i>Canis lupus</i>	36
Διάγραμμα 1 Καμπύλη Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δέκτη (ROC).....	34
Διάγραμμα 2 Καμπύλες απόκρισης (response curve) των μεταβλητών του μοντέλου.....	37
Διάγραμμα 3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Jackknife στο Maxent.....	38
Πίνακας 1 Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο Maxent.....	32



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στα Μοντέλα Κατανομής Ειδών – Species Distribution Models (SMDs). Πρόκειται για ένα ιδιαίτερο εργαλείο στην επιστήμη της Γεωπληροφορικής που έχει διαδοθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια μέσω της ανάδειξης νέων τεχνικών και λογισμικών όπως το Maxent, και προσφέρεται για πολυάριθμες εφαρμογές στην αξιολόγηση της βιοποικιλότητας και την δημιουργία στρατηγικών διατήρησης, στην γεωργία και την δασοκομία, την διαχείριση εισβολικών ειδών κ.α. Το Maxent είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα (open-source) που διατίθεται υπό την άδεια ανοιχτού κώδικα του MIT, που φιλοξενείται από το Αμερικανικό Μουσείο Φυσικής Ιστορίας. Χρησιμοποιεί δεδομένα παρουσίας (occurrence data) του είδους στην περιοχή μελέτης και δεδομένα για περιβαλλοντικές μεταβλητές στην περιοχή αυτή. Χρησιμοποιεί την μέθοδο Μέγιστης Εντροπίας (Maximum Entropy - MaxEnt) που υπάγεται στα Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Models). Τα SDMs αποτελούνται από μια πληθώρα μοντέλων και μεθόδων όπως η Στατιστική Προσέγγιση με Μοντέλα Παλινδρόμησης, που περιλαμβάνει τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Generalized Linear Models- GLM) και τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (Generalized Additive Models - GAM). Επίσης, υπάρχουν τα Βιοκλιματικά Μοντέλα, μια απλούστερη μορφή μοντέλων ιδανικά για εκτιμήσεις μεγάλης κλίμακας μέσα από μεθόδους Περιβαλλοντικών Φακέλων (Environmental Envelopes) και Περιβαλλοντικών Αποστάσεων (Environmental Distance), καθώς και τα Μηχανιστικά Μοντέλα που είναι ιδιαίτερα δημοφιλή λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες οικολογικές παραμέτρους σε αντίθεση με απλούστερες μεθόδους. Τέλος, υπάρχουν τα Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Models) τα οποία βασίζονται στην χρήση δεδομένων και αλγορίθμων για την αναγνώριση μοτίβων μεταξύ των σημείων εμφάνισης ενός είδους και των περιβαλλοντικών συνθηκών στα συγκεκριμένα σημεία. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees), τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) και η Μέγιστη Εντροπία (Maximum Entropy - MaxEnt). Η τελευταία (Μέγιστη Εντροπία), θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη μιας Μελέτης Περίπτωσης στην οποία θα δημιουργηθεί ένα Μοντέλο Κατανομής του είδους *Canis lupus* (λύκος) στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσεων Ορών στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων. Χρησιμοποιώντας περιβαλλοντικές μεταβλητές για την βροχόπτωση, την θερμοκρασία, την κάλυψη εδάφους, το υψόμετρο, την βλάστηση, την πυκνότητα των οικισμών και την πυκνότητα του οδικού δικτύου, θα παραχθεί χάρτης κατανομής του είδους στην περιοχή μελέτης και συμπεράσματα για τις περιβαλλοντικές μεταβλητές. Για την δημιουργία του μοντέλου θα γίνει χρήση των λογισμικών Maxent και QGIS



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

(Quantum Geographic Information System). Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί περιλαμβάνει την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, την εκτέλεση του μοντέλου μέσω του λογισμικού Maxent, την επαλήθευση (validation) των αποτελεσμάτων και την δημιουργία χάρτη κατανομής μέσω του λογισμικού QGIS. Στόχοι της παρούσας πτυχιακής είναι:

- Η δημιουργία χαρτών κατανομής του *Canis lupus*, συμβάλλοντας στην κατανόηση των οικολογικών συνθηκών που ευνοούν την παρουσία του είδους.
- Η ανάδειξη της επιρροής των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο στην καταλληλότητα του ενδιαιτήματος του *Canis lupus*, και η τεκμηρίωση της επιρροής αυτής.
- Η ανάδειξη των Μοντέλων Κατανομής Ειδών (Species Distribution Models) ως ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση και ανάλυση της κατανομής των ειδών στο περιβάλλον και την δημιουργία οικολογικών μελετών.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ: ΆΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ, ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ

2.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΑΓΡΙΑΣ ΠΑΝΙΔΑΣ

Η άγρια πανίδα αποτελεί βασικό στοιχείο του οικολογικού συστήματος της Γήινης βιόσφαιρας και μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις ανθρώπινες δραστηριότητες και κοινωνίες, με την επίδραση της να αγγίζει τους τομείς της οικονομίας, της διατροφής, της οικολογίας, τον κοινωνικοοικονομικό τομέα κ.α. Για την βέλτιστη κατανόηση όμως, της άγριας πανίδας και της συμβολής της στις προς ανάλυση διαστάσεις της ανθρώπινης κοινωνίας, ζωής, και του περιβάλλοντος, είναι σημαντικό να ορισθεί η έννοια της άγριας ζωής. Οι αρχικοί ορισμοί της άγριας ζωής έκαναν αναφορά σε άγρια, μη εξημερωμένα ζώα που περιφέρονταν ελεύθερα και μπορούσαν να κυνηγηθούν είτε για την κάλυψη διατροφικών αναγκών του ανθρώπου, είτε ως μια αθλητική/ψυχαγωγική δραστηριότητα (Yarrow, 2009). Μέσω αυτών των πρώιμων ορισμών, γίνεται σαφές ότι πρόκειται σε σπονδυλωτά ζώα, δηλαδή οργανισμούς που φέρουν σπονδυλική στήλη. Ωστόσο, καθώς οι επιστήμες της βιολογίας και της οικολογίας εξελίχθηκαν, μαζί τους θεσπίστηκαν και νέοι, ακριβέστεροι ορισμοί. Σύμφωνα, λοιπόν, με τις νεωτεριστικές αυτές προσεγγίσεις, ως άγρια ζωή θεωρείται μη εξαιρετέος κάθε άτομο του ζωικού βασιλείου, όπως θηλαστικά, πουλιά, ψάρια, αμφίβια, ερπετά, μαλάκια, καρκινοειδή, αρθρόποδα ή άλλα



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

ασπόνδυλα (ζώα χωρίς σπονδυλική στήλη) (NOAA Fisheries, 1973). Παρόλα αυτά, η έννοια της άγριας ζωής είναι συνετό να καλύπτει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς που δεν υπόκεινται υπό τον έλεγχο του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένων των άγριων φυτών και ζώων που δεν έχουν εξημερωθεί ή καλλιεργηθεί (Yarrow, 2009).

2.1.1 Η ΑΞΙΑ ΤΗΣ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ ΣΤΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Ο αριθμός των ζωντανών οργανισμών στη Γη εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 5 έως πάνω από 50 εκατομμύρια είδη, αν και μόνο περίπου 1,4 εκατομμύρια έχουν αποτυπωθεί και ονομαστεί μέχρι στιγμής. Η ποικιλομορφία των οικοσυστημάτων αφορά το εύρος των οικοτόπων, τις βιοτικές κοινότητες και τις οικολογικές διεργασίες στη βιόσφαιρα (McNeely et al., 1990). Περιλαμβάνει επίσης την τεράστια ποικιλομορφία εντός των οικοσυστημάτων όσον αφορά τις παραλλαγές των οικοτόπων και το πλήθος των οικολογικών διεργασιών.

Η αξία της άγριας ζωής είναι πολύπλευρη και αποτελείται από οικονομικές, διατροφικές, οικολογικές και κοινωνικο-πολιτιστικές πτυχές.

Οικονομική σημασία: Η άγρια ζωή συμβάλλει καθοριστικά στις οικονομίες των σύγχρονων κοινωνιών, μέσω καταναλωτικών αλλά και μη καταναλωτικών χρήσεων. Στις καταναλωτικές χρήσεις υπάγονται δραστηριότητες όπως το κυνήγι και το ψάρεμα, όπου η άγρια ζωή χρησιμοποιείται άμεσα. Αυτές οι δραστηριότητες δεν παρέχουν μόνο κρέας και άλλα προϊόντα, αλλά και άδειες και εξοπλισμό που αγοράζονται από τους συμμετέχοντες, ενισχύοντας οικονομικά τις τοπικές και εθνικές αγορές. Η παρακολούθηση άγριας ζωής και η φωτογραφία, αποτελούν δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα μη καταναλωτικής χρήσης, που αποφέρουν κέρδος δίχως να εκτοπίζουν την άγρια πανίδα από τα φυσικά της ενδιαίτηματα. Μέσω αυτών των δραστηριοτήτων ενισχύεται ο τουρισμός και κατά συνέπεια δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας ενισχύοντας την τοπική οικονομία των περιοχών (Chardonnet et al., 2002). Η οικονομική συμβολή της άγριας ζωής είναι εμφανής στο ακαθάριστο εθνικό προϊόν (ΑΕΠ) διαφόρων χωρών, με πρωταγωνιστή τον τουρισμό άγριας ζωής σε μέρη όπως η Τανζανία και η Κένυα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα εθνικά πάρκα και τα καταφύγια άγριας ζωής της Τανζανίας, που αποτελούν πόλο έλξης για πολλούς επισκέπτες ετησίως, δημιουργώντας σημαντικά έσοδα στους επαγγελματίες της περιοχής.

Διατροφική αξία: Η άγρια ζωή αποτελεί σημαντική πηγή τροφής, ειδικά στις αγροτικές κοινότητες. Ενδεικτικά το Bushmeat, κρέας προερχόμενο από μέλη της άγριας πανίδας



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

(οποιοδήποτε άγριο χερσαίο θηλαστικό, πουλί, ερπετό ή αμφίβιο) που συλλέγεται για κατανάλωση ή εμπορική χρήση, είναι πλούσιο σε πρωτεΐνη και αποτελεί βασική πηγή της για πολλούς πληθυσμούς (Cawthorn et al., 2015). Η άγρια ζωή δεν είναι μόνο μια άμεση πηγή διατροφής, αλλά παίζει επίσης ζωτικό ρόλο στην επισιτιστική ασφάλεια, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι γεωργικές αποδόσεις μπορεί να είναι απρόβλεπτες ή ανεπαρκείς. Η δυνατότητα πρόσβασης σε πηγές άγριας ζωής μπορεί να λειτουργήσει ως δίκτυ ασφαλείας για τις κοινότητες κατά τη διάρκεια περιόδων έλλειψης τροφίμων ή οικονομικών δυσκολιών. Επιπλέον, η αειφορική διαχείριση της άγριας ζωής μπορεί να διασφαλίσει τη συνεχή παροχή αυτών των πολύτιμων πόρων για τις μελλοντικές γενιές, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και την αυτάρκεια των κοινοτήτων. Αυτή η διατροφική πτυχή υπογραμμίζει τα άμεσα οφέλη της άγριας ζωής στη διατροφή και την υγεία του ανθρώπου, καθώς και τη σημασία της για την κοινωνική και οικονομική σταθερότητα των αγροτικών περιοχών (Chardonnet et al., 2002).

Οικολογικός Ρόλος: Η άγρια ζωή παίζει ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και της βιοποικιλότητας. Διαφορετικά είδη συμβάλλουν σε διάφορες οικολογικές διεργασίες, όπως η επικονίαση, η διασπορά των σπόρων και ο έλεγχος παρασίτων. Η παρουσία μεγάλης ποικιλίας άγριας ζωής διασφαλίζει τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων (Chardonnet et al., 2002). Απειλές της άγριας πανίδας μπορούν να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον όπως το ξέρουμε. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πιθανός αφανισμός των κορυφαίων αρπακτικών. Ο πλανήτης Γη έχει πολυάριθμες φορές περάσει από φάσεις μαζικών εξαφανίσεων, και περνάει ακόμα μια στο παρόν χρονικό διάστημα. Από τα τέλη του Πληστόκαινου έως και την σημερινή εποχή, ο πλανήτης μας διανύει τα μέσα της έκτης μαζικής εξάλειψης που αφορά άγρια ζώα μεγαλύτερου μεγέθους και συγκεκριμένα της ανώτερης τάξης της τροφικής αλυσίδας, τα υπεραρπακτικά. Η υφιστάμενη εξάλειψη, ως άμεσο αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας, έχει την ικανότητα να αποφέρει σημαντικές και εκτεταμένες συνέπειες σε διάφορους τομείς όπως επιρροή στους βιογεωχημικούς κύκλους του περιβάλλοντος, την αυξανόμενη πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιών, την δέσμευση άνθρακα κ.α., οδηγώντας σε μια γενικότερη περιβαλλοντική υποβάθμιση. Επίσης, η εξάλειψη των υπεραρπακτικών, μικραίνει την τροφική αλυσίδα, αλλοιώνοντας την αθρόνεια και την δομή της χλωρίδας. Τέτοιες διακυμάνσεις γίνονται συνήθως με ξαφνικό τρόπο, είναι μη-αντιστρεπτές και οδηγούν σε θεμελιωδώς διαφορετικά πρότυπα και κατευθύνσεις για την κατανάλωση ενέργειας και υλικών (Estes, et al., 2011). Καθοριστικό οικολογικό ρόλο διαδραματίζει όχι μόνο η πιθανή απουσία διαφόρων ειδών άγριας πανίδας, αλλά και η ίδια η παρουσία τους που μπορεί μέσω των



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

χαρακτηριστικών ενός οργανισμού να επηρεάσει και μεταβάλει τις ιδιότητες τόσο των χερσαίων όσο και των υδάτινων οικοσυστημάτων (Hooper, et al., 2005).

Κοινωνικο-πολιτισμική σημασία: Η άγρια ζωή διαθέτει μεγάλη πολιτιστική σημασία για πολλές κοινωνίες. Συχνά είναι αναπόσπαστο μέρος των παραδόσεων, των θρησκευτικών πρακτικών και των κοινοτικών ταυτοτήτων. Η κοινωνικοπολιτισμική σύνδεση με την άγρια ζωή ενθαρρύνει την αίσθηση της διαχείρισης και της διατήρησης μεταξύ των τοπικών πληθυσμών (Chardonnet et al., 2002).

2.1.2 ΛΥΚΟΣ (CANIS LUPUS) – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Ο λύκος (*Canis lupus*), αποτελεί το επικρατέστερο μεγάλο σαρκοφάγο στην Ευρώπη, που στο παρελθόν ζούσε σε ένα μεγάλο εύρος ενδιαιτημάτων σε πολλά μέρη της ηπείρου. Όμως, μεταξύ του 18^{ου} και 19^{ου} αιώνα το είδος σχεδόν εξαλείφθηκε από την Δυτική Ευρώπη και μπορούσε πλέον να παρατηρηθεί σε διασπαρμένους πληθυσμούς ανά την Ιβηρική Χερσόνησο και την Ιταλία. Μέσω της θέσπισης κατάλληλων νομικών μέτρων για την προστασία και διαφύλαξη σημαντικών και ευάλωτων περιοχών, τις μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον και την κοινωνία αλλά και την ανάκαμψη πληθυσμών οπληφόρων ζώων (θηλαστικά ζώα με οπλές) έγινε δυνατή η επαναφορά των ιδανικών συνθηκών για την φυσική εξάπλωση του λύκου. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Ιταλίας, όπου σε σύντομο χρονικό διάστημα, το 1992 οι λύκοι αποίκισαν ξανά μεγάλο μέρος της ιστορικής τους εμβέλειας από τα Απέννινα Όρη έως τις γαλλικές Άλπεις. Στην Φιλανδία μερικά μεταναστευτικά άτομα του είδους, κατάφεραν να ξαναδημιουργήσουν νέους πληθυσμούς, αλλάζοντας τα δεδομένα της Σκανδιναβίας όπου το είδος είχε εξαλειφθεί έως τα μισά του 20^{ου} αιώνα. Προς το παρόν, η Ευρώπη φιλοξενεί περίπου 18.000-20.000 λύκους (Randi, 2011). Εμφανίζουν ένα μοναδικό συνδυασμό αναπαραγωγικών και κοινωνικών συμπεριφορών, ασυνήθιστο στον κόσμο των θηλαστικών, όπως αποκλειστικά μονογαμικές σχέσεις με ενεργή συμμετοχή των αρσενικών στη φροντίδα των νεαρών, παρατεταμένη παραμονή των νεαρών ατόμων εντός της ομάδας μετά την ενηλικίωση, αναπαραγωγή με άτομα εκτός της ομάδας, καθυστερημένη έναρξη της αναπαραγωγής σε ορισμένα μέλη της ομάδας, περιορισμένο οίστρο και ισχυρούς κοινωνικούς δεσμούς (Castelló, 2018).



Περιγραφή και Χαρακτηριστικά είδους

Στην σύγχρονη εποχή η του ανθρώπου με τον λύκο δεν είναι συχνή. Ωστόσο, ο άνθρωπος τακτικά αλληλοεπιδράει με τον «καλύτερο φίλο του» και συνάμα τον ευρέως διαδεδομένο άμεσο απόγονο του λύκου, τον σκύλο (*Canis familiaris*), τον οποίο έχει καταφέρει να εξημερώσει. Παρά την εξιγρίανση αυτή του είδους περίπου 14.000 χρόνια πριν, σύμφωνα με τους αρχαιολόγους, αλλά και τα εξαιρετικά όμοια γενετικά χαρακτηριστικά μεταξύ των λύκων και των σκύλων, οι φαινοτυπικές διαφορές τους και οι διαφορές στις συμπεριφορές τους δεν παύουν να είναι αρκετές (Morell, 1997). Τα θηλυκά άτομα του είδους *Canis lupus*, μπορούν να ζυγίζουν από 18 έως και 55 κιλά, ενώ η διακύμανση στο βάρος των αρσενικών μπορεί να είναι από 20 έως και 80 κιλά! Τα θηλυκά άτομα παρατηρούνται από 1,37 έως 1,52 μέτρα μήκος σώματος ενώ τα αρσενικά από 1,27 έως 1,64 μέτρα. Το κρανίο τους έχει ένα μακρύ και στενό σχήμα που καταλήγει σε ένα μακρύ, μυτερό ρύγχος, δίνοντας στο κεφάλι μια επιμήκη εμφάνιση. Διαθέτουν κατάλληλα νύχια για να πιάνουν και να τρώνε τα θηράματα τους (Castelló, 2018). Τα άκρα του λύκου είναι μεσαίου μήκους με τα μπροστινά πόδια του (τα οποία φαινομενικά μοιάζουν να πιέζουν το στενό στήθος) να έχουν πέντε δάκτυλα εκ των οποίων το ένα, η λεγόμενη "περικνημίδα" ή "πίσχη", είναι μικρότερο σε μέγεθος (Mech, 1974). Σε συνέπεια με διαφορετικά σαρκοφάγα του ίδιου μεγέθους, οι λύκοι έχουν 7 αυχενικούς, 13-14 θωρακικούς, 6-8 οσφυϊκούς και 3-4 ιερούς σπονδύλους. Η μεγαλύτερη διακύμανση της σπονδυλικής στήλης εμφανίζεται στην περιοχή της ουράς, που κυμαίνεται από 14-23 συνολικά σπονδύλους. Ο λαιμός έχει ισχυρούς μυϊκούς συνδέσμους, προσαρμόζοντας έτσι το θήραμα κατά το τρέξιμο (Castelló, 2018).

Είναι ευρέως γνωστό ότι οι λύκοι όπως γενικότερα τα ζώα της οικογένειας Κυνίδες (*Canidae*), έχουν πολύ καλή νυχτερινή όραση. Οι λύκοι έχουν ιδιαίτερα ενισχυμένη την ικανότητα αυτή, μέσω ενός ειδικού φωτο-ανακλαστικού στρώματος πίσω από τον αμφιβληστροειδή τους που ονομάζεται *tapetum lucidum* ("φωτεινό χαλί"), το οποίο αντανακλά το φως πίσω μέσω του αμφιβληστροειδούς. Αυτή η δομή προσδίδει και την χαρακτηριστική λάμψη όταν προσπίπτει φως στα μάτια τους την νύχτα. Ωστόσο, παρά το μεγάλο οπτικό εύρος τους και την καλή περιφερειακή όραση τους, υπολείπονται οπτικής ευκρίνειας και οξύτητας σε σχέση με τους ανθρώπους. Ο εντοπισμός των αντικειμένων γίνεται κυρίως μέσω της ανίχνευσης κίνησης. Επιπλέον, έχουν δυσχρωματοψία, που τους επιτρέπει να βλέπουν κυρίως μπλε και κίτρινα χρώματα, ενώ δεν μπορούν να διακρίνουν τις αποχρώσεις του κόκκινου και του πράσινου, οι οποίες τους φαίνονται ως αποχρώσεις του γκρι (Wolf Conservation Center, 2020).

Εντυπωσιακή είναι η ικανότητα ακοής των λύκων, έχοντας ένα ιδιαίτερο εύρος ανίχνευσης ήχου συχνοτήτων 25 έως 80.000 Hz. Αυτό τους επιτρέπει να αντιλαμβάνονται την ύπαρξη



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

πιθανών θηραμάτων σε ακτίνα έως και 10 – 16 χιλιομέτρων, δίνοντας τους ένα σημαντικό κυνηγητικό πλεονέκτημα. Ακόμη, λόγω της εξαιρετικής τους ακουστικής οξύτητας μπορούν να ξεχωρίσουν διάφορες παραλλαγές στην συχνότητα των κραυγών και των φωνών μεταξύ των ατόμων του είδους, που αποτελούν έναν τρόπο επικοινωνίας. Επιπλέον, η δομή των αυτιών τους είναι εξαιρετικά εύκαμπτη και ευλύγιστη, παρέχοντας του μεγάλη ευκινησία για τον καλύτερο εντοπισμό άλλων άγριων ζώων και τροφής (Farrar, 2021).

Βασικό φαινοτυπικό χαρακτηριστικό των λύκων είναι το τρίχωμα τους, το οποίο είναι μακρύ και μπορεί να παρατηρηθεί σε μια ευρεία γκάμα χρώματος, από ανοιχτό λευκό έως σκούρο καφέ, γκρι και μαύρο. Το τρίχωμα μπορεί να παρέχει μεγάλη θερμοπροστασία στο είδος, κάνοντας το ικανό να επιβιώσει σε έως και -40 C°. Το μήκος του τριχώματος ανάλογα την περιοχή του σώματος μπορεί να κυμανθεί από 60 έως 100 χιλιοστά, ενώ οι τρίχες που φύονται στην περιοχή του αυχένα είναι μακρύτερες με μήκος από 120 έως 150 χιλιοστά, σχηματίζοντας μια προστατευτική χαίτη (Mech, 1974). Το είδος *Canis lupus* μπορεί να παρατηρηθεί σε πολλά μέρη του κόσμου με ποικίλες κλιματικές συνθήκες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα, την θερμομονωτική ικανότητα και τον χρωματισμό του τριχώματος. Οι λύκοι που παρατηρούνται στην Ευρώπη παρουσιάζουν μια έντονη διαβάθμιση στην χρωματική τους παλέτα, με κυρίαρχο χρώμα το καφέ με κίτρινους θερμούς υποτόνους στο μπροστινό μέρος του σώματος τους, στην ουρά και στα πόδια. Το χρώμα αυτό φαίνεται να σκουραίνει στις περιοχές της ράχης, στα χαμηλότερα σημεία της χαίτης, τα αυτιά και το ακρώμιο ("οροφή" του ώμου), που σχηματίζει χαρακτηριστικό σχήμα V. Αντιθέτως, στην κοιλιακή περιοχή, τον λαιμό, τον θώρακα, το εσωτερικό των πατουσών και τα χαμηλότερα μέρη του σώματος το χρώμα γίνεται λευκό ή υπόλευκο και η υφή της τρίχα απαλότερη. Επιπλέον, παρατηρούνται διακυμάνσεις στο χρώμα του τριχώματος ανά τις εποχές του χρόνου και την ηλικία του λύκου, όπου τον χειμώνα στα πιο ηλικιωμένα άτομα του είδους επικρατούν πιο σταχτιές, γκρι αποχρώσεις με μαύρο τελείωμα στην τρίχα, και σκληρότερες πιο μακριές τρίχες στην πλάτη. Από την άλλη το καλοκαίρι υπερισχύουν στους ηλικιωμένους λύκους οι πιο ανοιχτοί τόνοι, ιδιαίτερα στην ζώνη της ωμοπλάτης και πίσω από τα αυτιά, όπου το τρίχωμα έχει φωτεινό κιτρινωπό καφέ χρώμα. Τα νεαρά άτομα του είδους έχουν γενικότερα πιο έντονα, σκούρα χρώματα κατά μήκος του σώματος και σταχτιές αντί για άσπρες κοιλιές (Yildiz et al., 2023).

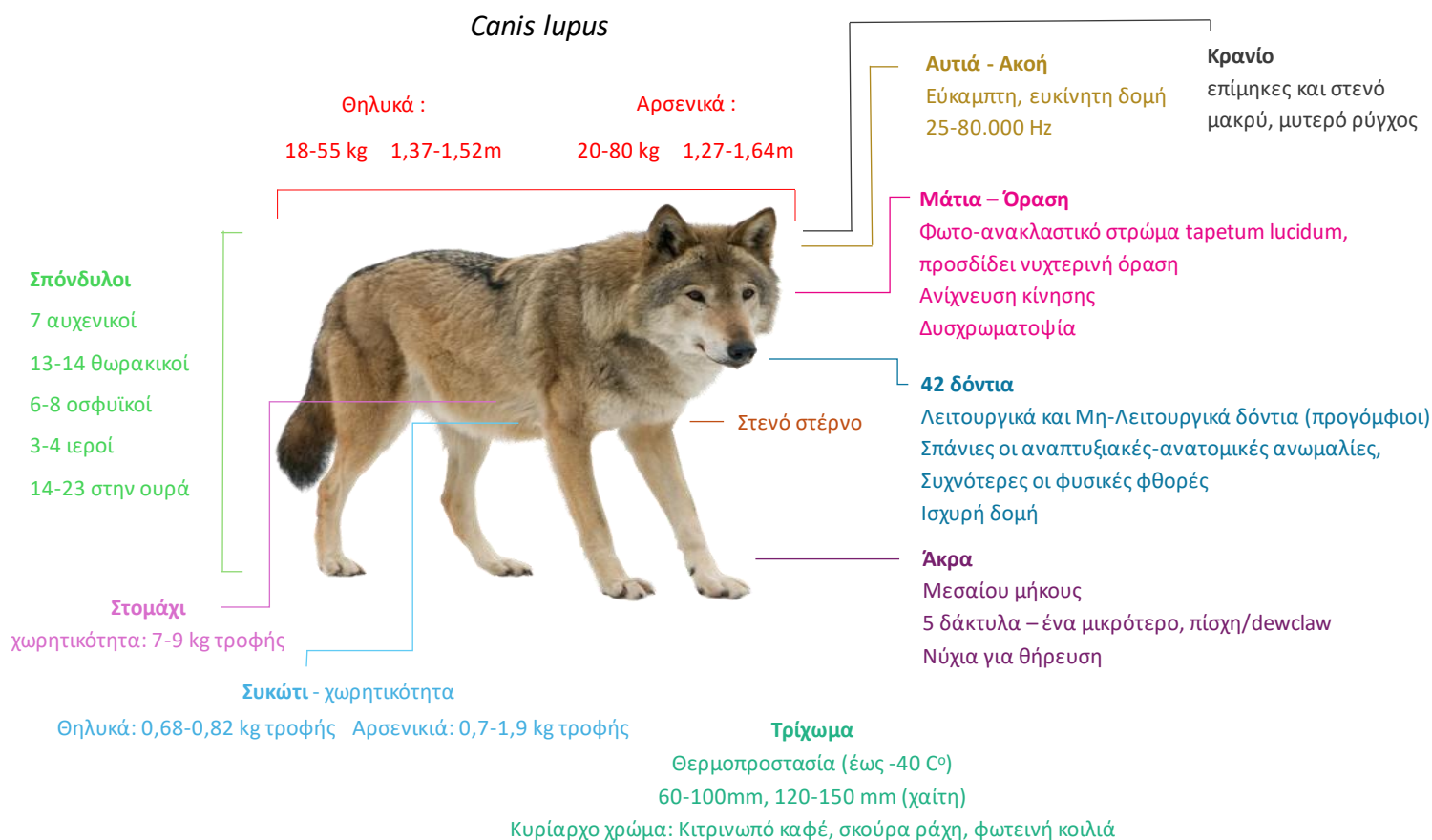
Τα 42 δόντια των λύκων δεν έχουν όλα λειτουργικό χαρακτήρα. Για παράδειγμα, οι προγόνφοι λόγω του μικρού τους μεγέθους και των αδύναμων ριζών δεν έχουν την ικανότητα να συγκρατήσουν ακίνητο το θήραμα και να το μετακινήσουν. Η παρουσία ανατομικών ή/και αναπτυξιακών ανωμαλιών όπως η έλλειψη δοντιών (εκ γενετής), μειωμένη σκληρότητα της αδαμαντίνης, δυσλειτουργία των γναθικών αρθρώσεων, αφύσικος αριθμός ριζών κ.α.

παρατηρούνται σπάνια ή και καθόλου στο είδος *Canis lupus*. Από την άλλη φυσικές φθορές λόγω τριβής, το σπάσιμο των δοντιών, λοιμώξεις των ούλων κ.λπ. είναι αρκετά συχνότερες αλλά αρκετά δύσκολο να συμβούν, αποδεικνύοντας την ισχυρή δομή της οδοντοστοιχίας των λύκων που τους επιτρέπει να αντέχει μεγάλα φορτία και πιέσεις (Döring, et al., 2018). Οι γομφίοι τους είναι πολύ δυνατοί επιτρέποντας τους να σπάνε τα οστά άλλων ζώων για να φτάσουν στον μυελό (Castelló, 2018). Οι κυνόδοντες τους μυτεροί και έχουν μήκος περίπου 26 χιλιοστά (Mech, 1974).

Ο λύκος από πάντα αποτελούσε φυσικό ανταγωνιστή του ανθρώπου, καθώς διεκδικεί και κυνηγάει άγρια θηράματα και επιπλέον, επιτίθεται στα οικόσιτα ζώα. Το *Canis lupus* μέσω της θήρευσης διεκδικεί κυρίως 8 είδη, στα οποία συγκαταλέγονται, ο τάρανδος (*Rangifer tarandus*), οι άλκες (*Alces alces*), ο ευρωπαϊκός βίσονας (*Bison bonasus*), το κόκκινο ελάφι (*Cervus elaphus*), το ζαρκάδι (*Capreolus capreolus*), το αγριογούρουνο (*Sus scrofa*), το πλατώνι (*Dama dama*) και η αντιλόπι σάιγκα (*Saiga tatarica*). Ο λύκος έχει εξελιγμένη την ικανότητα του να προσαρμόζει την διατροφή του αναλόγως με την διαθεσιμότητα της τροφής του. Σε περιπτώσεις έλλειψης θρεπτικών στοιχείων αλλά και έλλειψης των βασικών του θηραμάτων, μπορεί να τραφεί επίσης από το αγριόγιδο (*Rupicapra rupicapra*), τον αίγαγρο των Πυρηναίων (*Rupicapra pyrenaica*), τον Αλπικό αίγαρο (*Capra ibex*), την αντιλόπη του Καύκασου (*Capra caucasica*), το Ισπανικό αγριοκάτσικο (*Capra pyrenaica*) και το κοινό αγριοκάτσικο (*Capra aegagrus*) (Zlatanova et al., 2014). Το στομάχι του *Canis lupus* έχει χωρητικότητα 7-9 κιλά τροφής. Το συκώτι τους που έχει μεγάλο μέγεθος στα αρσενικά άτομα του είδους έχει χωρητικότητα 0,7-1,9 κιλά τροφής ενώ στα θηλυκά 0,68-0,82 κιλά (Mech, 1974). Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα και συγκεκριμένα στην Νότια Ευρώπη, παρατηρήθηκε μια ξεκάθαρη εξάρτηση του είδους από εκτρεφόμενα ζώα (livestock) εξαιτίας της μείωσης των άγριων θηραμάτων. Αυτό το φαινόμενο, συνδυαστικά με άλλους παράγοντες, οδήγησε στην αυξημένη σύγκρουση (conflict) του είδους με τους ανθρώπους αλλά και την εμφάνιση των «συνάνθρωπων» λύκων που διαφοροποιούντουσαν από του άγριους λύκους στις αγέλες. Από την άλλη, η κατάσταση στην Ανατολική Ευρώπη ήταν ακριβώς αντίθετη, με τους λύκους να τρέφονται κυρίως με άγρια θηράματα, με αρκετά μεγάλη ποσότητα φυτικής τροφής και ελάχιστα εκτρεφόμενα ζώα. Η στρατηγική θήρευσης των λύκων της Ευρώπης είναι αρκετά διαφορετική από αυτή των ομοειδών στην Ασία και την Βόρεια Αμερική, κάτι που οφείλεται στους κατακερματισμένους οικοτόπους και την απουσία πλήθους οπληφόρων ζώων που αποτελούν βασική πηγή τροφής (Zlatanova et al., 2014).

Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»



Εικόνα 1 Βασικά Φαινοτυπικά και Ανατομικά χαρακτηριστικά του *Canis lupus*

Κατανομή είδους

Κατά τη μετάβαση από το Μειόκαινο στο Πλιόκαινο, στη Βόρεια Αμερική εμφανίστηκαν τα πρώτα ζώα που αργότερα θα εξελίσσονταν σε λύκους, σκύλους και κογιότ. Αυτά τα αρχαία ζώα ήταν μικρότερα και κυρίως σαρκοφάγα. Από τη Βόρεια Αμερική, μετανάστευσαν στην Ευρώπη και στη συνέχεια εξαπλώθηκαν σε όλες τις ηπείρους (Castelló, 2018). Η παρουσία Κινύδων (Canids) μπορεί να παρατηρηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς πρόκειται για την μεγαλύτερη οικογένεια σαρκοφάγων. Το *Canis lupus* είναι το θηλαστικό με το μεγαλύτερο φυσικό εύρος έκτασης μετά τον άνθρωπο και παρατηρείται στην Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ασία, σε περισσότερες από 60 χώρες. Οι λύκοι διαβιούν σε πληθώρα ενδιαιτημάτων, όπως δάση, βουνά, τούνδρα και πλωτούς πάγους (Castelló, 2018). Οι λύκοι της Ευρώπης



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

μπορούν να διαχωριστούν σε δύο απλοομάδες (haplogroups). Δηλαδή, γενετικές κατατάξεις που αφορούν πληθυσμούς με κοινό πρόγονο και κατά συνέπεια κοινά γενετικά χαρακτηριστικά (Röck, et al., 2013). Όλοι οι λύκοι που ζούσαν στην αρχαία Δυτική Ευρώπη πριν από περίπου 12.000 χρόνια, ανήκαν στην απλοομάδα II, η οποία μόνο πριν μερικές χιλιετίες αντικαταστάθηκε από την απλοομάδα I. Αντίστοιχη αντικατάσταση παρατηρήθηκε και στην Βόρεια Αμερική το ίδιο διάστημα, υποδηλώνοντας αλλαγές στην κατανομή των θηραμάτων αλλά και άλλων οικολογικών παραγόντων της εποχής που οδήγησαν σε αυτήν την αλλαγή του είδους. Φυσικά, οι γενετικές διαφοροποιήσεις ανά τους πληθυσμούς του είδους παγκοσμίως είναι μικρές καθώς οι λύκοι έχουν την ικανότητα να διασχίζουν με ευκολία μεγάλο εύρος εδαφών, επιτρέποντας την διασταύρωση γονιδίων και την γεφύρωση των γενετικών διαφορών (Randi, 2011). Στο παρελθόν, οι λύκοι κατοικούσαν σε όλο το εύρος του Βορείου Ημισφαιρίου, σε όλα τα είδη οικοτόπων και επιφανειών, με εξαίρεση τις ερήμους και τις κορυφές από μεγάλου υψομέτρου όρη. Ωστόσο, η κατανομή αυτή των λύκων έχει μεταβληθεί στην σύγχρονη εποχή λόγω του έντονου ανταγωνισμού του είδους με τον άνθρωπο, μειώνοντας ιδιαίτερα την εμφάνιση του στην Ανατολική Ευρώπη, την Βόρεια Αμερική, την Σοβιετική Ένωση, την Κίνα και την Ινδία, με την πλειοψηφία των πληθυσμών να παρατηρούνται πλέον στην Ευρώπη και ειδικά την Σκανδιναβία (Mech, 1974). Η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τους πληθυσμούς των λύκων (Human-Wildlife conflict). Μέσα από το κυνήγι (ακόμα και με άδεια από την κυβέρνηση), την παράνομη λαθροθηρία κ.α. ο αριθμός των πληθυσμών του είδους έχει παρουσιάσει μεγάλη ύφεση. Για την ανάκαμψη τους απαραίτητες είναι νομικές ενέργειες για την προστασία του είδους και την διατήρηση των οικοσυστημάτων του (Salvatori, 2005).

2.2 ΆΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο Ελληνικός χώρος είναι πλούσιος σε βιολογική ποικιλότητα, εμπεριέχοντας ένα μεγάλο εύρος πανίδας και χλωρίδας που ευνοείται από την ιδιαίτερη στρωματογραφία της χώρας, χαρακτηριζόμενη από ισοπικές ζώνες που σχηματίστηκαν στο παρελθόν, καθώς και μεγάλες δομές πετρωμάτων και ορογενών ζωνών. Σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη αυτού του βιολογικού πλούτου διαδραματίζουν επίσης η ικανότητα της χώρας να προσφέρει ενδιαιτήματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, μια ποικιλία οικοτόπων, η αντοχή της απέναντι στους παγετώνες αλλά και η αλληλεπίδραση των παλαιών κλιματικών συνθηκών με αυτών της σημερινής εποχής (Legakis et al., 2018). Η ιδιαίτερη γεωγραφική θέση της Ελλάδας ως σταυροδρόμι τριών ηπείρων και το πολύπλοκο τοπίο της, είναι δύο από τους βασικούς λόγους για τους οποίους αποτελεί σπίτι για πάνω από 50.000 είδη ζώων. Μερικά από αυτά όπως



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

κάποια ισόποδα, χερσαία μαλάκια και ερπετά βρίσκονται αποκλειστικά μόνο στην Ελλάδα, καθώς υψηλό είναι και το ποσοστό ενδημισμού, περίπου 17% (Sidiropoulos et al., 2016). Παρά τις εκτεταμένες περιόδους παγετώνων από τις οποίες πέρασε η Ευρωπαϊκή ήπειρος, προκαλώντας την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά το λιώσιμο τους αλλά και διαταράσσοντας τα οικοσυστήματα, η Ελλάδα κατάφερε να ανταπεξέλθει, ξεφεύγοντας από την πλήρη ισχύ τους. Αυτό επέτρεψε σε μια ποικιλία ειδών να επιβιώσουν και τελικά να εξαπλωθούν σε όλη την ήπειρο, ενισχύοντας τη γενετική της ποικιλότητα. Στην Ελλάδα μπορούν να παρατηρηθούν τα περισσότερα ενδημικά είδη που έχουν καταγραφεί στην Ευρώπη, απασχολώντας μια πληθώρα γεωγραφικών τόπων (συγκεκριμένων για το κάθε είδος). Η ικανότητα της χώρα να παρέχει ένα τόσο μεγάλο εύρος ενδιακτημάτων παίζει καθοριστικό ρόλο στην φιλοξενία ευάλωτων πληθυσμών, όπως αυτοί των ενδημικών ζώων (Legakis et al., 2018). Η παλαιότερη αναφορά πανίδας στην Ελλάδα, προέρχεται από την ομηρική Ιλιάδα με τις επίσημες καταγραφές των διαφόρων ειδών να ξεκινάνε λίγο αργότερα το 500 π.Χ. από τους ζωολόγους της εποχής (μια επιστήμη ακόμα νέα για τα τότε δεδομένα). Σύμφωνα με καταγραφές του 15^{ου} αιώνα, στα ελληνικά νησιά μπορούσε να παρατηρηθεί μεγάλος πληθυσμός πτηνών όπως πέρδικες, φασιανοί και αετοί, και θηλαστικά όπως οι γάιδαροι και το τσακάλι στις δασώδεις εκτάσεις. Από την άλλη, στην περιοχή της Αττικής και τα γύρω όρη, έντονη ήταν η παρουσία από αρκούδες, λύκους και ελάφια, ενώ βορειότερα στην Μακεδονία υπήρχε έντονο ενδιαφέρον για τα πτηνά τα οποία πωλούνταν στο εμπόριο αλλά και κυνηγιόντουσαν στην φύση. Κατά την περίοδο αυτή χαρακτηριστική ήταν η βιοποικιλότητα στην Κρήτη, με ζώα όπως αγριόχοιρους, αλεπούδες, λαγούς, αγριόγιδες, κοράκια, κόκκινα ελάφια, ζαρκάδια (ο πληθυσμός των οποίων έχει δραματικά μειωθεί σήμερα) κ.α. να έχουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο. Του επόμενου αιώνος οι βασικότερες καταγραφές της ελληνικής πανίδας προέκυψαν από ξένους ταξιδιώτες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης. Σε αυτό το διάστημα καταγράφηκαν και αναλύθηκαν περισσότερο οι υδρόβιοι οργανισμοί. Στους διάφορους βάλτους και υδάτινα σώματα της χώρας η ποικιλομορφία των πτηνών ήταν εντυπωσιακή όπως γερανοί, πελεκάνοι, κορμοράνοι, αλλά και των ψαριών όπως χέλια, λαβράκι, κυπρίνες, γατόψαρα, καραβίδες κ.α. που ήταν ιδιαίτερα δημοφιλή αλιεύματα στις λίμνες της Παμβώτιδας και της Καστοριάς. Η πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια καταγραφής της ελληνικής πανίδας και βιοποικιλότητας, προέκυψε από τους επιστήμονες της αποστολής του Μοριά στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Είδη όπως Ευρασιατικός Λύγκας στην περιοχή της Πάρνηθας, ο αγριόχοιρος στην Αττική και η αρκούδα στην Λάρισα παρατηρήθηκαν στο διάστημα αυτό, ωστόσο δεν υπάρχουν σήμερα στις συγκεκριμένες περιοχές. Τα αγριογούρουνα, τα κόκκινα ελάφια και οι αίγες έχουν επίσης δει μειώσεις πληθυσμού και περιορισμούς της εμβέλειας τους στην Ελλάδα (Sidiropoulos, et al., 2016).



2.2.1 Ο ΛΥΚΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Περίπου 500 με 700 συνολικά άτομα του είδους *Canis lupus* είχαν καταγραφεί το 2009 στον Ελλαδικό χώρο, με τον αριθμό να αυξάνεται σε 1020 άτομα το 2016, οργανωμένα σε 189 αγέλες. Τα άτομα αυτά απασχολούν μια έκταση 40 έως 60 χιλιομέτρων. Πρόκειται για ένα απειλούμενο για την χώρα είδος. Οι πολυάριθμες απειλές τους από τον ανταγωνισμό τους με τον άνθρωπο, το παράνομο κυνήγι, την έλλειψη θηραμάτων/τροφής κ.α., αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για την επιβίωση του είδους, παρά την αυξητική τάση της κατανομής τους. Για την μεταβολή της κατάστασης αυτής, απαραίτητη είναι η εφαρμογή των νόμων αλλά και έρευνα για την καλύτερη κατανόηση των λύκων (Karamanlidis, et al., 2017). Είναι γνωστό ότι το είδος έχει την τάση να σχηματίζει αγέλες. Στην Ελλάδα κάθε αγέλη έχει παρατηρηθεί να περιέχει 5-6 ζώα ενώ σπανιότερα αποτελούνται από περισσότερα, με την μεγαλύτερη αγέλη που βρέθηκε στην χώρα το 1996 στο χωριό Δαδιά, και τον Εθνικό δρυμό Πάρνηθας, να αποτελείται από 8 μέλη. Μεγαλύτερες αγέλες υπάρχουν αλλά έχουν καταγραφεί σπάνια. Καθοριστικοί παράγοντες του μεγέθους μια αγέλης, είναι οι σχέσεις μεταξύ των μελών εντός αυτής, η επάρκεια των ζώων που καταναλώνουν και το μέγεθος αυτών. Από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα σταμάτησε να παρατηρείται ο λύκος στην Πελοπόννησο. Η εκτιμώμενη πυκνότητα πληθυσμού λύκων στην Ελλάδα κατά τη χειμερινή περίοδο κυμαίνεται μεταξύ 2 έως 3 ατόμων ανά 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα, εντάσσοντας τη χώρα μας στις μέσες τιμές πυκνότητας που παρατηρούνται σε ευρωπαϊκό επίπεδο (0,5-5 άτομα/100km²). Ωστόσο, τοπικές αποκλίσεις παρατηρούνται, με περιοχές όπως ο Εθνικός Δρυμός Πάρνηθας να παρουσιάζει υψηλότερες πυκνότητες λόγω μεγαλύτερων μεγεθών αγελών, συγκρίσιμων με εκείνες που παρατηρούνται σε περιοχές της Βόρειας Αμερικής όπου οι λύκοι θηρεύουν μεγάλα θηράματα. Οι εκτιμήσεις του πληθυσμού του είδους στην Ελλάδα υποδηλώνουν μια αύξηση της τάξης του 31-40% σε σχέση με τις απογραφές των ετών 1998-1999, συνοδευόμενη από μια επέκταση της κατανομής του είδους κατά περίπου 6.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Εντυπωσιακή είναι και η επανεμφάνιση του είδους στη Στερεά Ελλάδα (Βοιωτία, Αττική) μετά από μια περίοδο απουσίας 50-60 ετών. Αυτά τα γεγονότα ταυτίζονται και με την γενικότερα αυξητική τάση στην Ευρώπη, όπου οι πληθυσμοί του λύκου παρά την σημαντική μείωση το διάστημα 1950-1970, παρουσίασαν μια σταδιακή ανάκαμψη. Η αυξητική αυτή τάση του αριθμού των πληθυσμών των λύκων στην Ελλάδα, δικαιολογείται από την εφαρμογή νόμων για την προστασία της άγριας πανίδας και χλωρίδας, την δημιουργία περισσότερων βιοτόπων που ζουν και αναπαράγονται οι λύκοι, και την πληθυσμιακή επανάκαμψη των άγριων σπληφόρων που

αποτελούν βασική πηγή τροφής για το είδος. Ο λύκος καταλαμβάνει μια πληθώρα ενδιαιτημάτων στην χώρα, συμπεριλαμβανομένων των ορεινών δασών της Βόρειας Πίνδου, την αλπική ζώνη ξεπερνώντας τα 2000 μέτρα υψόμετρο, έως και τα όρια των πόλεων αναζητώντας πιθανή τροφή. Ωστόσο, παρά τις διεθνείς προσπάθειες για την προστασία τους και την ικανότητά τους να επιβιώνουν σε αντίξοες συνθήκες, δεν λαμβάνουν την απαραίτητη προστασία στην Ελλάδα και συνεχίζουν να σκοτώνονται σε μεγάλους αριθμούς από τον άνθρωπο (Iliopoulos, 2018).

2.3 MONTELLA KATANOMHΣ EIDΩN – SPECIES DISTRIBUTION MODELS (SDMS)

Κατά την διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες καταγραφής των διαφόρων ειδών πανίδας και χλωρίδας, καθώς και αποτύπωσης των σχέσεων μεταξύ των ειδών αλλά και των περιβαλλοντικών μεταβλητών. Τα Μοντέλα Κατανομής Ειδών ή Space Distribution Models (SDMs), αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθεια αυτή, που τα τελευταία χρόνια κατακτά όλο και μεγαλύτερο έδαφος μέσα από την εξέλιξη των επιστημών της Γεωπληροφορικής, της Βιολογίας αλλά και της τεχνολογίας. Τα SDMs χρησιμοποιούν πληθυσμιακά δεδομένα ενός είδους (σημεία που έχει παρατηρηθεί το είδος σε μια περιοχή) τα οποία συσχετίζονται με διάφορα περιβαλλοντικά δεδομένα και μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, ο τύπος εδάφους, ο τύπος βλάστησης, η κλίση, το υψόμετρο κ.α. (Elith et al., 2009). Έχουν δημιουργηθεί για μια σειρά οργανισμών σε χερσαία, γλυκά νερά και ωκεάνια περιβάλλοντα. Μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την καλύτερη κατανόηση της οικολογίας ενός τόπου και των πληθυσμών των ειδών, καθώς και προβλέψεις βασισμένες σε διάφορους προγνωστικούς παράγοντες. Υπάρχουν πολλοί τύποι τέτοιων μοντέλων όπως τα Μοντέλα Παλινδρόμησης (GLM, GAM), τα Βιοκλιματικά Μοντέλα, τα Μηχανιστικά Μοντέλα και τα Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης. Όλοι οι τύποι έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως την προστασία και διατήρηση της βιοποικιλότητας σε μια περιοχή, την τοπική επαναεισαγωγή ειδών, την διαχείριση εισβλητικών ειδών (ξενικά είδη με ζημιογόνο δράση), την πρόβλεψη αλλαγών στην κατανομή λόγω κλιματικής αλλαγής, χρήση στην έρευνα για την κατανόηση των βιολογικών και οικολογικών διεργασιών κ.α. Μέσα από την χρήση ενός μοντέλου κατανομής ειδών μπορούν να απαντηθούν ποικίλα ερωτήματα, όπως ποιες είναι οι κατάλληλες περιοχές που μπορεί να ζήσει ένα είδος, πως η κατανομή του επηρεάζεται από τα περιβαλλοντικά/κλιματικά στοιχεία, σε ποιες περιοχές είναι αυξημένος ο κίνδυνος εισβολής ξενικών ειδών, πως επηρεάζεται η βιοποικιλότητα ενός τόπου μέσω της ανάλυσης της κατανομής πολλών ειδών, και όχι μόνο.

Κάθε τύπος SDM έχει τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία του και η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται συχνά από τα διαθέσιμα δεδομένα, το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα και τα οικολογικά χαρακτηριστικά του είδους που μελετάται.

2.3.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης (regression analysis), εξετάζεται η συσχέτιση δύο (ή περισσότερων) μεταβλητών και παρατηρείται πως αλλάζει η τιμή της μιας μεταβλητής όταν αλλάζει η τιμή της άλλης. Μέσω αυτού του τρόπου μπορούν να γίνουν προβλέψεις για το πως θα αλλάξει και τι τιμές θα πάρει η μια από τις δύο όταν επηρεαστεί η άλλη με την οποία αλληλοσχετίζονται (Παπαδόπουλος, 2015).

Κατά τον σχεδιασμό μοντέλων κατανομής ειδών, γίνεται μια παραδοχή. Υποθέτεται ότι οι οργανισμοί που μελετώνται βρίσκονται σε κάποια ισορροπία με το περιβάλλον που ζουν. Το λεγόμενο pseudo-equilibrium υποστηρίζει ότι κάθε είδος προτιμάει έναν συγκεκριμένο τόπο με συγκεκριμένα κλιματικά, γεωλογικά και λοιπά χαρακτηριστικά, για την επιβίωση και τον πολλαπλασιασμό του. Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Generalized Linear Models- GLM) και τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (Generalized Additive Models - GAM) μπορούν να διαχειρίζονται ένα εύρος κατανομών που καθορίζονται από τα διάφορα περιβαλλοντικά και οικολογικά στοιχεία, που δεν βρίσκονται πάντα σε ισορροπία (Guisan *et al.*, 2002).

Τα GML ανήκουν στην κατηγορία των μοντέλων παλινδρόμησης (regression-based models). Ωστόσο, αποτελούν επέκταση της κλασσικής γραμμικής παλινδρόμησης, όπου με την χρήση μιας συγκεκριμένης συνάρτησης σύνδεσης (link function), επιτρέπεται στην εξαρτημένη μεταβλητή να συνδέεται γραμμικά με τις υπόλοιπες μεταβλητές (Σταθακοπούλου, 2018). Τα μοντέλα αυτά προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία με την προσαρμογή μη γραμμικών (non-linear) σχέσεων, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις οικολογικές μελέτες. Τρία είναι τα βασικά δομικά μέρη ενός GML (Agresti, 2015):

- I. Μια **τυχαία συνιστώσα** (random component) όπου αντιπροσωπεύει την κατανομή της μεταβλητής απόκρισης. Η μεταβλητή απόκρισης δεν είναι απαραίτητα κανονικά κατανομημένη (σε αντίθεση με την απλή γραμμική παλινδρόμηση), αλλά μπορούν να υπάρξουν και άλλες μορφές κατανομών όπως διωνυμική, Poisson, αντίστροφες-Gaussian κ.α.

- II. Μια **συστηματική συνιστώσα** (systematic component). Αυτός είναι ο γραμμικός προγνωστικός δείκτης (linear predictor), ο οποίος είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών εισόδου (ανεξάρτητες μεταβλητές), που χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν τη διακύμανση στη μεταβλητή απόκρισης.
- III. Μια **συνάρτηση σύνδεσης** (link function). Πρόκειται για ένα κρίσιμο στοιχείο που διατυπώνει τη σχέση μεταξύ της συστηματικής συνιστώσας και του μέσου όρου της τυχαίας συνιστώσας. Μετατρέπει την προσδοκώμενη τιμή της μεταβλητής απόκρισης, σε linear predictor.

Τα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (GAM), πρόκειται στην ουσία για μια επέκταση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (GML), δίνοντας την δυνατότητα συσχέτισης της μεταβλητής απόκρισης με τις μεταβλητές πρόβλεψης, μέσω συνάρτησης σύνδεσης (link function) με το επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης συναρτήσεων εξομάλυνσης (smooth functions) (Pedersen et al., 2019). Σε αντίθεση με τα GLM, τα οποία θεωρούν ότι υπάρχει μια γραμμική σύνδεση των ελεγχόμενων μεταβλητών (predictor variables) με την μεταβλητή απόκρισης (response variable), τα GAM υποθέτουν ότι η response variable μπορεί να μοντελοποιηθεί ως άθροισμα ομαλών συναρτήσεων των predictor variables (Guisan *et al.*, 2002). Πρόκειται για μοντέλα που είναι ιδανικά για την εξερεύνηση δεδομένων και την απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών, ιδιαίτερα όταν η σχέση αυτή αποκλίνει από τη γραμμικότητα (Σταθακοπούλου, 2018). Η γενική μορφή ενός GAM είναι:

$$g(\mu) = \beta_0 + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_p(X_p)$$

- $g(\mu)$ είναι η συνάρτηση σύνδεσης (όπως και στα GML), που συνδέει το αναμενόμενο αποτέλεσμα μ της εξαρτημένης μεταβλητής με την προσθετική συνάρτηση.
- β_0 είναι η σταθερά (intercept) του μοντέλου, όπου αντιπροσωπεύει την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής όταν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι μηδενικές.
- $f_1(X_1), f_2(X_2), \dots, f_p(X_p)$ είναι οι ομαλές, μη παραμετρικές συναρτήσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών, που επιτρέπουν την απεικόνιση μη γραμμικών σχέσεων.

2.3.2 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Σε αντίθεση με την Στατιστική και Μηχανιστική προσέγγιση που απαιτούν συνήθως δεδομένα για την παρουσία ενός είδους σε μια περιοχή (presence data) αλλά και δεδομένα απουσίας του (absence data), τα Βιοκλιματικά μοντέλα γνωστά και ως Climate Envelope Models, προσφέρουν μια απλούστερη προσέγγιση (Franklin, 2010). Μέσω αυτών, βρίσκεται και προβλέπεται η κατανομή ενός είδους έχοντας πληροφορίες μόνο για την παρουσία του είδους σε έναν τόπο (μόνο presence και όχι absence data), ή ακόμη και απλώς έγκυρες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των βιοτόπων όπου παρατηρούνται οι πληθυσμοί, χωρίς καθόλου γεωαναφορικά δεδομένα. Ένα από τα πρώτα εγχειρήματα μοντελοποίησης της κατανομής των ειδών που αναπτύχθηκε εννοιολογικά από τον Henry Nix το 1986, είναι η μέθοδος Bioclim, (από το λογισμικό BIOCLIM) που κάνει χρήση ενός ταξινομητή “hyper-box” που ταξινομεί τα σημεία μιας περιοχής με δυαδικό τρόπο ως «κατάλληλα» και «μη κατάλληλα» για την εμφάνιση ενός είδους (Busby, 1991). Δηλαδή, χρειάζεται μόνο δεδομένα παρουσίας ενός είδους σε μια περιοχή, τα οποία χρησιμοποιεί για να δημιουργήσει έναν πολυδιάστατο χώρο εντός του οποίου μπορεί να παρατηρηθεί. Αυτό το επιτυγχάνει βρίσκοντας τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές διαφορετικών περιβαλλοντικών παραγόντων (όπως θερμοκρασία και βροχοπτώσεις) για όλα τα μέρη όπου είναι γνωστό ότι υπάρχει το είδος. Στη συνέχεια, δημιουργεί ένα οριοθετημένο πλαίσιο γύρω από αυτές τις τιμές για να δείξει το εύρος των συνθηκών όπου αυτό μπορεί να επιβιώσει. Πρόκειται για ένα εργαλείο που μας βοηθάει στην κατανόηση του κλίματος και πως αυτό επηρεάζει την κατανομή των ειδών και επομένως λειτουργεί υποθέτοντας ότι τα είδη βρίσκονται σε μέρη με κλίματα που τους ταιριάζουν και ότι τα κλιματικά δεδομένα είναι συνήθως κατανεμημένα με προβλέψιμο τρόπο (Biosecurity Commons, 2023). Εν ολίγοις, ένα Βιοκλιματικό μοντέλο, είναι ένα μοντέλο κατανομής ειδών (SDM) που χαρτογραφεί κατάλληλους οικοτόπους για ένα είδος (environmental suitability) με βάση ορισμένα κλιματικά δεδομένα (Watling *et al.*, 2013).

Οι Μέθοδοι Περιβαλλοντικής Απόστασης (Environmental Distance Methods) αποτελούν μια πιο σύνθετη μορφή των Climate Envelope Models. Με τον όρο “απόσταση” γίνεται αναφορά στο πόσο διαφορετικά είναι τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά ανάμεσα σε δύο υπό μελέτη σημείων στο ένα εκ των οποίων έχει παρατηρηθεί το είδος. Δηλαδή σκοπός της είναι να μετρήσει πόσο απέχουν δύο παρατηρήσεις, να ποσοτικοποιήσει δηλαδή αν μοιάζουν ή όχι οι παρατηρήσεις. Η σχέση μεγέθους απόστασης και περιβαλλοντικών διαφορών στα δύο σημεία, είναι αναλογική. Όσο αυξάνεται η απόσταση τόσο αυξάνονται και οι διαφορές. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες περιβαλλοντικής απόστασης συμπεριλαμβανομένου της Ευκλείδειας Μετρικής, μια απλή αλλά αποτελεσματική μέθοδος που μετράει την ευθεία

απόσταση μεταξύ των δύο περιοχών (Watling *et al.*, 2013). Ευρέως χρησιμοποιούμενη αλλά περισσότερο σύνθετη είναι και η Απόσταση Mahalanobis, μετρά την απόσταση μεταξύ ενός σημείου (π.χ. μιας περιβαλλοντικής συνθήκης σε μια δεδομένη τοποθεσία) και του μέσου όρου μιας κατανομής (π.χ. οι μέσες περιβαλλοντικές συνθήκες όπου είναι γνωστό ότι εμφανίζεται ένα είδος) (Tsoar *et al.*, 2007). Η Απόσταση Mahalanobis χρησιμοποιείται σε πολλά μοντέλα, όπως το ENFA του λογισμικού BIOMAPPER (Guisan *et al.*, 2017). Η Απόσταση Gower, είναι μια ακόμα μέθοδος που σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες μεθόδους, μπορεί να διαχειριστεί πιο περίπλοκα δεδομένα, τόσο ποσοτικά (π.χ. θερμοκρασία, βροχόπτωση) όσο και ποιοτικά (π.χ. τύπος βλάστησης), χρησιμοποιούμενη σε μοντέλα όπως το DOMAIN.

Τα Βιοκλιματικά μοντέλα, τόσο με τους “Περιβαλλοντικούς Φακέλους” (Environmental Envelopes) όσο και με τις μεθόδους των Αποστάσεων, εξακολουθούν να είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα στη μοντελοποίηση κατανομής ειδών, ειδικά για εκτιμήσεις μεγάλης κλίμακας και για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των βιολογικών εισβολών (Franklin, 2010). Η χρησιμότητα των προσεγγίσεων αυτών επαληθεύεται εντός πολλών ακόμα εφαρμογών, όπως για τον σχεδιασμό επανεισαγωγής ειδών σε μια περιοχή, την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην βιοποικιλότητα κ.α.

2.3.3. ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Τα Μηχανιστικά μοντέλα (Mechanistic models), γνωστά και ως process-based models εμπλουτίζουν την μοντελοποίηση κατανομής ειδών, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες οικολογικές παραμέτρους σε αντίθεση με απλούστερες μεθόδους όπως τα Climate Envelope Models που κάνουν υποθέσεις για την μελλοντική κατανομή του είδους με βάση τα τωρινά κλιματικά δεδομένα (Singer *et al.*, 2015). Υπολογίζουν δηλαδή, και άλλους παράγοντες όπως η πιθανή αλληλεπίδραση του υπό μελέτη είδους με ένα νέο ξενικό είδος, την ικανότητα μετακίνησης του ή ακόμα και την συμπεριφορά του, καθώς και την συμβολή αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων στο σύστημα. Για αυτούς τους λόγους, τα Μηχανιστικά μοντέλα θεωρούνται από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους για την πρόβλεψη μελλοντικών (αλλά και παρελθοντικών) κατανομών του είδους, καθώς και την αναζήτηση των αιτίων πίσω από την κατανομή τους (Kearney *et al.*, 2009), απαντώντας στο ερώτημα «γιατί η κατανομή αυτών των ειδών είναι όπως είναι;». Η ρεαλιστική δομή που προσφέρει η προσέγγιση αυτή στο μοντέλο, αυξάνει την ακρίβεια του στις προβλέψεις (projection accuracy). Ωστόσο, οι υψηλές απαιτήσεις λεπτομερών δεδομένων για την φυσιολογία του είδους, τις αντιδράσεις του στις



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

μεταβολές περιβαλλοντικών συνθηκών κ.λπ. για την εφαρμογή του μοντέλου, το κάνουν ακατάλληλο για την μελέτη νέων ειδών ή ειδών για τα οποία δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα.

2.3.4 MONTELA ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Τα Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Models) βασίζονται στην χρήση δεδομένων και αλγορίθμων για την αναγνώριση μοτίβων μεταξύ των σημείων εμφάνισης ενός είδους και των περιβαλλοντικών συνθηκών στα συγκεκριμένα σημεία, με σκοπό την πρόβλεψη της κατανομής τους. Σε αντίθεση με τα Μηχανιστικά μοντέλα δεν απαιτούν λεπτομερή φυσιολογικά και συμπεριφορικά δεδομένα για το είδος, αλλά χρειάζονται μεγάλες βάσεις δεδομένων διαφόρων τύπων όπως presence σε συνδυασμό με absence data, presence-only data κ.λπ, προσπαθώντας να βρουν την στατιστική συσχέτιση τους με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις μέσω των οποίων μπορούν να εφαρμοστούν τα μοντέλα αυτά, σε αυτήν την ενότητα όμως θα γίνει αναφορά στις βασικότερες που χρησιμοποιούνται στην μοντελοποίηση κατανομής ειδών. Δηλαδή, τα Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees), τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) και την Μέγιστη Εντροπία (Maximum Entropy - MaxEnt).

Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees)

Τα Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees) είναι μια κατηγορία αλγορίθμων στην μοντελοποίηση με Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης, ευρέως χρησιμοποιούμενα για την κατηγοριοποίηση δεδομένων αλλά και την παλινδρόμηση προβλημάτων (Franklin, 2010). Η διαδικασία αφορά τη συνεχή κατάτμηση ενός συνόλου δεδομένων σε μικρότερα τμήματα, με σκοπό τη διαμόρφωση αποφάσεων ή την παραγωγή προβλέψεων. Η δομή του Δέντρου ξεκινάει από την Ρίζα (Root Node), που είναι ο πρώτος κόμβος και εκφράζει όλο το σύνολο των δεδομένων (Safavian *et al.*, 1991). Ο αρχικός αυτός Ριζικός Κόμβος στην συνέχεια διασπάται βάση κάποιας συνθήκης διαχωρισμού και ξεκινάει η διαδικασία κατάτμησης. Η Ρίζα διασπάται σε Εσωτερικούς Κόμβους ή αλλιώς Κόμβους Αποφάσεων (Internal Nodes ή Decision Nodes) όπου μια συγκεκριμένη μεταβλητή χρησιμοποιείται για να χωρίσει το σύνολο δεδομένων σε δύο ή περισσότερα υποσύνολα. Οι Κόμβοι μεταξύ τους ενώνονται με γραμμές που ονομάζονται Κλαδιά (Branches) και συμβολίζουν μια απόφαση που λαμβάνεται με βάση τη μεταβλητή του κόμβου. Στο τέλος του δέντρου βρίσκονται τα λεγόμενα Φύλλα (Leaf Nodes ή Terminal Nodes), δηλαδή οι τελευταίοι κόμβοι που αντιπροσωπεύουν όλα τα δυνατά αποτελέσματα που μπορούν να προκύψουν από το σύνολο των δεδομένων. Τα Δέντρα Αποφάσεων αποτελούν

μια διαδεδομένη επιλογή στην μοντελοποίηση μέσω μηχανικής μάθησης, καθώς μπορούν διαχειριστούν μεγάλες βάσεις δεδομένων, είναι απλά χωρίς μεγάλες απαιτήσεις στατιστικών γνώσεων, δεν χρειάζεται ιδιαίτερη προεπεξεργασία των δεδομένων, μπορούν να μοντελοποιήσουν ιεραρχικές και μη γραμμικές σχέσεις, και αποδίδουν το αποτέλεσμα με κατανοητό και απλό τρόπο (Franklin, 2010). Ένας ακόμη σημαντικός αλγόριθμος στην κατηγορία αυτή είναι ο Random Forest, που έχει την ικανότητα να συνδυάζει πολλά Decision Trees. Μέσα από αυτόν τον αλγόριθμο το κάθε δέντρο που χτίζεται βασίζεται σε μια διαφορετική τυχαία μεταβλητή, και για το τελικό αποτέλεσμα το Random Forest επιλέγει την πιο συχνή πρόβλεψη ανάμεσα στα δέντρα (Breiman, 2001). Τα Ενισχυμένα Δέντρα Παλινδρόμησης (Boosted Regression Trees) επεκτείνουν την συγκεκριμένη προσέγγιση, συνδυάζοντας δέντρα απόφασης με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε νέο δέντρο να διορθώνει τα λάθη του προηγούμενου.

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks – ANNs)

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANNs), είναι μια προσέγγιση μηχανικής μάθησης εμπνευσμένη από τον ανθρώπινο εγκέφαλο και τον τρόπο που μαθαίνουν οι βιολογικοί οργανισμοί (Franklin, 2010). Κάθε τεχνητός νευρώνας (artificial neuron) στις αλληλένδετες υπολογιστικές μονάδες του δικτύου, λαμβάνει ένα σταθμισμένο input το οποίο μέσω κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων οδηγεί σε ένα output. Το input σταθμίζεται από τα λεγόμενα «βάρη» (weights). Δηλαδή, όταν ένας τεχνητός νευρώνας λαμβάνει ένα input, τότε αυτό πολλαπλασιάζεται από το αντίστοιχο βάρος αλλάζοντας κατάλληλα την τιμή του (Charu, 2024). Μέσα από τα δεδομένα εισόδου και την διαδικασία προσαρμογής των βαρών, το μοντέλο μπορεί να μαθαίνει και να εκπαιδεύεται βελτιώνοντας έτσι τις προγνωστικές του ικανότητες. Παρά τον αρχικό τους σκοπό να μοντελοποιούν βιολογικές διεργασίες, τα ANNs έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμα και στις οικολογικές μελέτες (Lek, 1999) καθώς μπορούν να αποτυπώσουν περίπλοκες, μη-γραμμικές σχέσεις όπως αυτή των περιβαλλοντικών μεταβλητών και της αφθονίας ενός είδους, και να διαχειριστούν μεγάλο όγκο δεδομένων που μπορεί να έχουν θόρυβο (επιπλέον ανούσια ή εσφαλμένα πληροφορία).

Μέγιστη Εντροπία (Maximum Entropy - MaxEnt)

Το MaxEnt είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα στην μέθοδο της μηχανικής μάθησης, που χαρακτηρίζεται από την χρήση μόνο δεδομένων παρουσίας (presence data) χωρίς να απαιτούνται δεδομένα απουσίας (absence data), τα οποία συχνά είναι μη διαθέσιμα ή αναξιόπιστα (Franklin, 2010). Χρησιμοποιώντας δεδομένα για τα σημεία που έχει παρατηρηθεί το είδος, μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές του απαιτήσεις. Το MaxEnt προσπαθεί να βρει την σχέση μεταξύ του περιβάλλοντος των περιοχών που έχει παρατηρηθεί το είδος, και του γενικότερου περιβάλλοντος της περιοχής. Επίσης προσπαθεί να αποδώσει την πιθανή κατανομή με την μεγαλύτερη εντροπία, δηλαδή την πιο “απλωμένη” και ομοιόμορφη κατανομή. Πρόκειται δηλαδή για ένα μοντέλο βασισμένο στην οικοθέση του είδους (niche-based) που παρότι δηλώνει την καταλληλότητα στον φυσικό οικολογικό χώρο, το κάνουμε project στον γεωγραφικό χώρο (Phillips *et al.*, 2006). Τόσο αριθμητικά όσο και κατηγορικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λειτουργία του μοντέλου, καθώς επίσης μπορεί να προσμετρήσει και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών. Οι πληροφορίες που δίνει το μοντέλο για την κατανομή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία χαρτών καταλληλότητας που δείχνουν που το είδος είναι πιθανότερο να παρατηρηθεί σε έναν ορισμένο τόπο.

2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ

Τα Μοντέλα Κατανομής Ειδών (όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη ενότητα) εμπεριέχουν ένα μεγάλο φάσμα μεθόδων, αλλά ένα ακόμα πιο εκτεταμένο εύρος εφαρμογών. Πρόκειται για ένα πολύτιμο εργαλείο στις οικολογικές μελέτες που μπορεί να βοηθήσει στην λήψη κατάλληλων αποφάσεων και στρατηγικών διατήρησης και προστασίας της άγριας ζωής, στην καλύτερη κατανόηση των περιβαλλοντικών αναγκών των διαφόρων ειδών, στην αποτελεσματική εφαρμογή αγροτικού σχεδιασμού και διαχείριση των καλλιεργειών, καθώς και στην καλύτερη διαχείριση των εισβολικών ειδών. Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθούν μερικές από αυτές τις εφαρμογές αξιοποιώντας παραδείγματα μελετών και βιβλιογραφίας, για καλύτερη εμπέδωση.



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

2.4.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

Ο εντοπισμός της καταλληλότητας των οικοτόπων ενός είδους (habitat suitability) μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμος στον σχεδιασμό στρατηγικών διατήρησης του, που αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα για την προστασία της γενικότερης βιοποικιλότητας. Δηλαδή, μπορεί να συμβάλει στην προστασία σημαντικών φυσικών οικοτόπων μέσω της ίδρυσης εθνικών πάρκων, καταφυγίων άγριας ζωής και προστατευόμενων περιοχών, την αποκατάσταση κατεστραμμένων οικοτόπων μέσω αναδασώσεων, δημιουργίας φραγμάτων κ.α., καθώς και την διαχείριση εξωγενών ειδών, απομακρύνοντας τα εισβλητικά είδη. Παράδειγμα αποτελεί το μωβ χελιδόνι ή αλλιώς *Progne subis* στην μελέτη του Heather M. Williams το 2020, στην οποία εξετάζεται η περιοχή αναπαραγωγής, η καταλληλότητα ενδιαιτημάτων, η γονιμότητα και η αφθονία του είδους στην Βόρεια Αμερική. Για την διεξαγωγή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν βάσεις δεδομένων από eBird, PMCA Survey και MartinWatch, καθώς και το λογισμικό MaxEnt στην έκδοση 3.4.1. Μέσα από την παραπάνω έρευνα εξακριβώθηκε ότι η αφθονία του μωβ χελιδονιού γενικά αυξάνεται σε περιοχές όπου το ενδιαίτημα θεωρείται πιο κατάλληλο, ενώ σε τοπικό επίπεδο, δεν υπήρχε σημαντική σχέση μεταξύ της καταλληλότητας του οικοτόπου και του αριθμού των ατόμων του είδους ή της αναπαραγωγής του. Αυτό υποδηλώνει ότι άλλοι παράγοντες παίζουν σημαντικότερο ρόλο στον προσδιορισμό των τοπικών πληθυσμών. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία στρατηγικών διατήρησης τους είδους, εντοπίζοντας τις περιοχές όπου αυτές οι στρατηγικές θα ήταν πιο αποτελεσματικές, δηλαδή τις περιοχές όπου η καταλληλότητα του οικοτόπου ήταν μεγαλύτερη.

2.4.2 ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ

Τα Μοντέλα Κατανομής Ειδών μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στον τομέα της Γεωργίας και της Δασοκομίας, προβλέποντας την πιθανή κατανομή διαφόρων παρασίτων που αποτελούν κίνδυνο για την υγεία των καλλιεργειών με σκοπό την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων απεντόμωσης πιο στοχευμένα και αποτελεσματικά. Ακόμη οι διάφοροι τύποι SDMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατανομής των καλλιεργειών με βάση αλλαγές στο κλίμα και τις διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές, δίνοντας στους επαγγελματίες του χώρου την δυνατότητα για πιο ολοκληρωμένο αγροτικό σχεδιασμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη του Kriticos D.J., De Villiers M. *et al*, το 2015 αναφορικά με το ζημιογόνο για τις καλλιέργειες παράσιτο, *Bactrocera dorsalis*



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

(μύγα των φρούτων) στην Αφρική. Η συγκεκριμένη μελέτη δεν χρησιμοποιεί απλά δεδομένα εμφάνισης του είδους για την δημιουργία του μοντέλου, αλλά και μεταβλητές όπως η εποχιακή φαινολογία του είδους και η επίδραση της άρδευσης. Με την χρήση των μοντέλων GARP και CLIMEX, μπόρεσε να προσδιοριστεί η κατανομή και το εύρος του *B.dorsalis* καθώς και η δυνατότητα πληθυσμιακής αύξησης του είδους. Μέσω των πληροφοριών αυτών, μπορούν να εφαρμοστούν αποδοτικότερες μέθοδοι απεντόμωσης και διαχείρισης των καλλιεργειών, αποφεύγοντας την προσβολή τους από το συγκεκριμένο παράσιτο το οποίο έχει επιφέρει μεγάλη οικονομική ζημιά σε περίπου 40 χώρες της ηπείρου.

2.4.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΙΣΒΟΛΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Με τον όρο εισβολικά είδη αναφέρονται τα είδη που έχουν εισέλθει σε ένα οικοσύστημα που δεν παρατηρούνται φυσικά, προκαλώντας διάφορα προβλήματα όπως εκτοπισμός των αυτόχθονων ειδών, διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας κ.α. Τα SDMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν την πιθανή κατανομή των εισβολικών ειδών, επιτρέποντας την έγκαιρη πρόληψη των αρνητικών επιπτώσεων τους μέσω κατάλληλων στρατηγικών διαχείρισης, καθώς επίσης βοηθάνε στην παρακολούθηση της προόδου και αποτελεσματικότητας των στρατηγικών αυτών.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Περιοχή Μελέτης στην παρούσα Μελέτη Περίπτωσης, είναι η ευρύτερη περιοχή γύρω από τα Αντιχάσια Όρη, και φτάνει μέχρι τον Κόζιακα (ή Κερκέτιο όρος) δυτικά της πόλης των Τρικάλων. Τα Αντιχάσια Όρη πρόκειται για μια οροσειρά που παρατηρείται στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας και συγκεκριμένα στο νοτιοανατολικό τμήμα του Νομού Τρικάλων. Συνδέονται στα βόρεια με τα Χάσια και τα Καμβούνια όρη ενώ νότια καταλήγουν στον Θεσσαλικό κάμπο. Αποτελούν τμήμα της ευρύτερης οροσειράς της Πίνδου και σχηματίζουν φυσικό σύνορο ανάμεσα στη Θεσσαλία και τη Δυτική Μακεδονία. Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία από διάφορες περιόδους μαρτυρούν τη μακραίωνη ιστορία της περιοχής, η οποία αποτέλεσε κομβικό σημείο ανάμεσα στη Θεσσαλία και τη Μακεδονία. Αποτελούνται από πληθώρα

κορυφών με μεγαλύτερη την κορυφή Τσιούμα στα 1.425 μέτρα υψόμετρο. Συνορεύουν μαζί με τα Μετέωρα, έναν τόπο μεγάλης σπουδαιότητας για την χώρα λόγω του εντυπωσιακού γεωλογικού του φαινομένου και της θρησκευτικής σημασίας του, που έχει αναγνωριστεί και διεθνώς ως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO. Μαζί με τα Μετέωρα τα Αντιχάσια υπάγονται στις Προστατευόμενες Περιοχές Natura 2000 (GR1440005 SCI : Αντιχάσια Όρη – Μετέωρα). Είναι περιοχές, δηλαδή, που έχουν επιλεγεί για την προστασία των φυσικών οικοτόπων και των ειδών χλωρίδας και πανίδας σε αυτές, που είναι σημαντικά σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η χαμηλή ανθρώπινη παρέμβαση στον τόπο αυτό, ως συνέπεια της ένταξης του στις προστατευόμενες περιοχές, έχει συμβάλει ώστε τα ορεινά Τρίκαλα αλλά και η ευρύτερη περιοχή να διατηρήσουν το φυσικό τους κάλος και το ιδιαίτερο τοπίο τους. Στις πλαγιές των Αντιχασίων μπορεί κανείς να συναντήσει πολυάριθμους γραφικούς οικισμούς και χωριά με το υψηλότερο από όλα να είναι το Μαυρέλι στα 1.130 μέτρα υψόμετρο με μόνιμους 137 κατοίκους. Στην περιοχή απλώνονται επίσης και το Καλοχώρι (πληθυσμός: 89), η Αχελινάδα (πληθυσμός: 72), το Γερακάρι (πληθυσμός: 85), το Φωτεινό (πληθυσμός: 193), το Λογγά (πληθυσμός: 114), η Αγία Τριάδα (πληθυσμός: 11), το Φλαμπουρέσι (πληθυσμός: 89), η Νέα Ζωή (πληθυσμός: 80), το Κονισκό (πληθυσμός: 96) κ.α. Τα οικοσυστήματα στα Αντιχάσια Όρη φιλοξενούν ένα μεγάλο εύρος χλωρίδας και πανίδας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πλούσια ποικιλία βλάστησης, που περιλαμβάνει δάση δρυός, με κύρια είδη τα *Quercus frainetto*, *Q. cerris* και *Q. petraea*. Επιπλέον, υπάρχουν προλίβαδα, θαμνώνες, καθώς και αζωνικά δάση κατά μήκος των ρεμάτων, όπου κυριαρχούν είδη όπως ο *Platanus orientalis*, η *Salix alba* και η *Alnus glutinosa*. Τα Αντιχάσια Όρη υποστηρίζουν μια πληθώρα οικοτόπων, όπως αυτοί έχουν προσδιοριστεί σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ, γνωστή και ως Οδηγία για τους οικοτόπους που αποτελεί νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει ως στόχο τη διατήρηση της βιοποικιλότητας στα κράτη μέλη. Συγκεκριμένα:

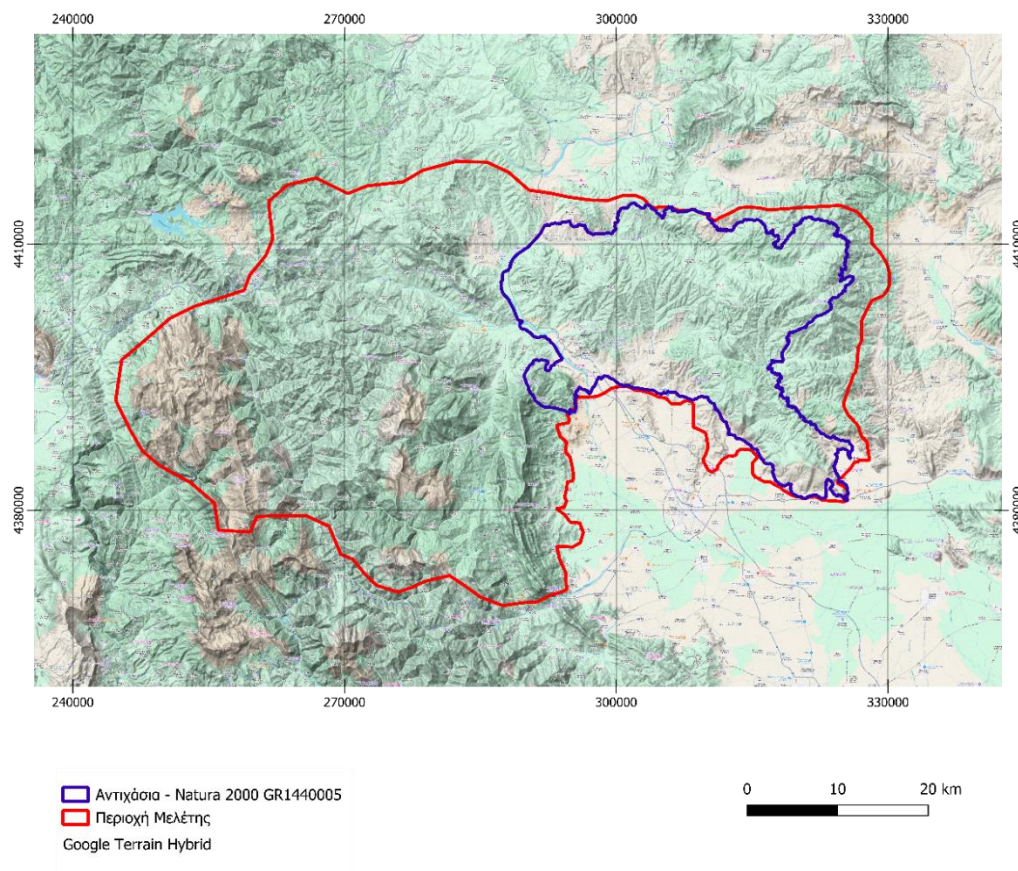
- Οικότοπος Τύπου **3280**: Ποταμοί της Μεσογείου με μόνιμη ροή του *Paspalo-Agrostidion* και πυκνή βλάστηση με μορφή παραπετάσματος από *Salix Populus alba* στις όχθες τους.
- Οικότοπος Τύπου **3290**: Ποταμοί της Μεσογείου με περιοδική ροή από *Paspalo-Agrostidion*.
- Οικότοπος Τύπου **6220**: Ψευδοστέπα με αγροστώδη και μονοετή φυτά από *Thero-Brachypodietea*.
- Οικότοπος Τύπου **9110**: Δάση οξυάς από *Luzulo-Fagetum*.
- Οικότοπος Τύπου **91M0**: Πανωνικά-βαλκανικά δάση τουρκικής δρυός — κοινής δρυός.
- Οικότοπος Τύπου **9280**: Δάση με *Quercus frainetto*.

Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

- Οικότοπος Τύπου **92C0**: Δάση *Platanus orientalis* και *Liquidambar orientalis* (*Platanion orientalis*).

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



Χάρτης 1 Περιοχή Μελέτης

3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

3.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την δημιουργία του Μοντέλου Κατανομής του *Canis lupus*, χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι δεδομένων.



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Ο πρώτος τύπος ήταν πρωτογενή **δεδομένα παρουσίας** (occurrence data) του είδους στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα παρήχθησαν 46 σημεία τεκμηριωμένης παρουσίας λύκου. Τα δεδομένα παρουσίας λύκου με την χρήση φωτογραφικών διατάξεων παρασχέθηκαν από την Περιβαλλοντική Οργάνωση για την άγρια ζωή και τη φύση, ΚΑΛΛΙΣΤΩ, και συλλέχθηκαν στο πλαίσιο υλοποίησης του προγράμματος LIFE Bear-Smart Corridors (LIFE20NAT/NL/001107). Επιστημονικός υπεύθυνος προγράμματος: Μερτζάνης Γιώργος Δρ. Βιολόγος, Ομάδα εργασιών πεδίου και συλλογής δεδομένων: Στέφανος Κυριακίδης, Λαζάρου Γεώργιος, Καταχώρηση δεδομένων: Στέφανος Κυριακίδης, Δασολόγος Msc.

Ο δεύτερος τύπος ήταν δεδομένα για διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές. Συγκεκριμένα:

Θερμοκρασία: Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για την μέση μηνιαία θερμοκρασία για κάθε μήνα το διάστημα Ιανουάριος 2019 – Ιούλιος 2024, σε ανάλυση 5 χιλιομέτρων. Τα δεδομένα αυτά ανακτήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων του Copernicus, ένα πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρακολούθηση της Γης και την παροχή δεδομένων για το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή. Η χρήση δεδομένων θερμοκρασίας ήταν απαραίτητη καθώς η μεταβλητή αυτή παίζει μεγάλο ρόλο στην ικανότητα μια περιοχής να στηρίζει πληθυσμούς του είδους (Mladenoff *et.al.*, 1997).

Βροχόπτωση: Αντίστοιχα με την μεταβλητή της θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για την μέση μηνιαία βροχόπτωση για κάθε μήνα το διάστημα Ιανουάριος 2019 – Ιούλιος 2024, σε ανάλυση 5 χιλιομέτρων. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων του Copernicus. Η αλλαγή των προτύπων βροχόπτωσης όπως και η άνοδος της θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν την διαθεσιμότητα της τροφής και των αναγκαίων πόρων για την ανάπτυξη και αναπαραγωγή του είδους (Mahoney *et. al.*, 2020).

Κάλυψη Γης (Land Cover): Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για την κάλυψη γης με έτος αναφοράς το 2018, σε ανάλυση 100 μέτρων. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων του Corine που δημιουργήθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ).

Normalised Difference Vegetation Index (NDVI): Το NDVI είναι ένα δείκτης του πρασίνου των οικοσυστημάτων. Χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI για τα έτη 2020 – 2024, σε ανάλυση 300 μέτρων. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων του Corine.

Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο - Digital Elevation Model (DEM): Ένα ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου (DEM) είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση της τοπογραφίας της επιφάνειας της

Γης, που δείχνει το υψόμετρο του εδάφους σε διαφορετικά σημεία. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα DEM με έτος αναφοράς το 2014, σε ανάλυση 100 μέτρων. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων του Earth Explorer που δημιουργήθηκε από την Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS).

Οδικό Δίκτυο: Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για το Οδικό Δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων, σε διανυσματική μορφή vector. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τις ανοιχτές βάσεις δεδομένων του Υπουργείου Ψηφιακής Διακυβέρνησης.

Οικισμοί: Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τους Οικισμούς στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων, σε διανυσματική μορφή vector. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τις ανοιχτές βάσεις δεδομένων του GEODATA.gov.gr της Hellenic Data Service.

3.2.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

Για την δημιουργία του Μοντέλου Κατανομής και την δημιουργία Χαρτών Κατανομής του είδους *Canis lupus* στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά QGIS και Maxent.

Για το λογισμικό QGIS (Quantum Geographic Information System) χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένα η έκδοση 3.36 Maidenhead. Το QGIS είναι ένα δωρεάν open-source λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για χωρική οπτικοποίηση και λήψη αποφάσεων, παρέχοντας ισχυρά εργαλεία χαρτογράφησης και ανάλυσης. Υποστηρίζει πολλές μορφές δεδομένων και πηγές, προσφέροντας πάνω από 2.000 plugin (πρόσθετα προγράμματα και εργαλεία). Το QGIS είναι συμβατό με Windows, Mac, Linux και Android και μπορεί να επεκταθεί σε πλατφόρμες ιστοχώρων και κινητών (QGIS Committee, 2024).

Για το λογισμικό Maxent χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 3.4.4. Το Maxent είναι ένα διαδεδομένο λογισμικό για την μοντελοποίηση της κατανομής διαφόρων ειδών, που χρησιμοποιεί δεδομένα παρουσίας (occurrence data) του είδους στην περιοχή μελέτης και δεδομένα για περιβαλλοντικές μεταβλητές στην περιοχή αυτή. Παρότι το λογισμικό ξεκίνησε ως κλειστού κώδικα (closed-source), δηλαδή ο χρήστης χρειαζόταν άδεια χρήσης για να το εγκαταστήσει, πλέον είναι διαθέσιμο δωρεάν υπό την άδεια ανοιχτού κώδικα (open-source) του MIT, που φιλοξενείται από το Αμερικανικό Μουσείο Φυσικής Ιστορίας (Anderson *et. al.*, 2017).

3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

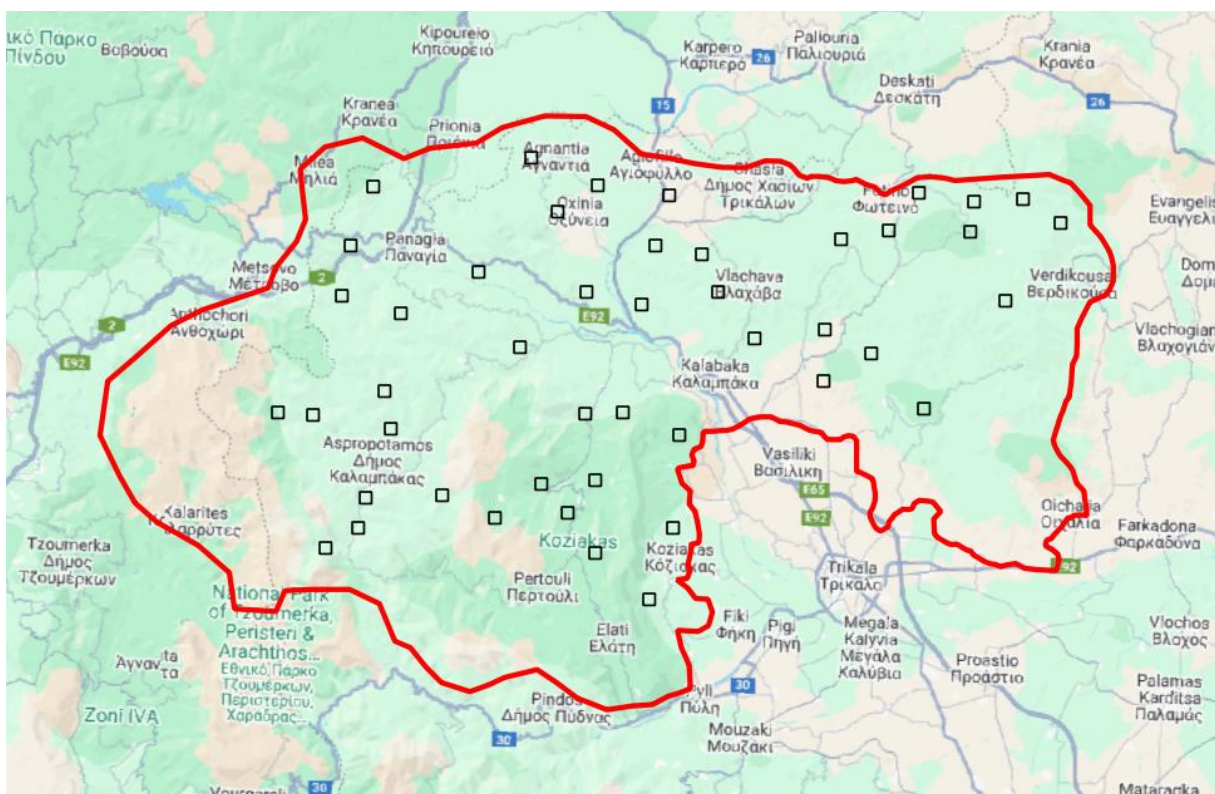
Όπως έχει προαναφερθεί, βασικός στόχος της παρούσας πτυχιακής είναι η δημιουργία ενός Μοντέλου Κατανομής (Species Distribution Model), με προς μελέτη είδος το *Canis lupus* (λύκος) και περιοχή μελέτης την ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών. Προϊόν του μοντέλου αυτού θα είναι χάρτες κατανομής που θα δείχνουν την πιθανότητα εμφάνισης του είδους στα διάφορα σημεία της περιοχής μελέτης. Για την δημιουργία του συγκεκριμένου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Μέγιστης Εντροπίας (Maximum Entropy - MaxEnt) που υπάγεται στα Μοντέλα Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Models). Πρόκειται για μια επί των πλείστων ποιοτική (qualitative) προσέγγιση, όπου αντιπροσωπεύει την καταλληλότητα διαφορετικών τοποθεσιών για το είδος, όχι τον πραγματικό αριθμό ατόμων σε αυτές τις τοποθεσίες.

Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Αρχικό βήμα για την δημιουργία του μοντέλου ήταν η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, ήταν δύο κατηγοριών. Η πρώτη κατηγορία αφορούσε πρωτογενή δεδομένα παρουσίας (occurrence data) του είδους στην περιοχή μελέτης. Τα 46 σημεία παρουσίας του λύκου, προήρθαν από την τοποθέτηση ειδικών καμερών παρακολούθησης. Την συλλογή καθώς και την προεπεξεργασία των δεδομένων, την έκαναν οι ερευνητές της ΚΑΛΛΙΣΤΩ που μας παραχώρησαν τα δεδομένα σε μορφή KML (Keyhole Markup Language). Το format αυτό χρειάστηκε να μετατραπεί σε CSV (Comma-Separated Values) καθώς αυτή είναι η μορφή που αναγνωρίζει το λογισμικό Maxent για τα occurrence data. Η μετατροπή αυτή έγινε χειροκίνητα, μέσω αρχικά της δημιουργίας ενός φύλλου Excel αποτελούμενο από τρεις στήλες. Μια με το όνομα του είδους (WOLF), μια με το γεωγραφικό μήκος (Longitude) και μια με το γεωγραφικό πλάτος (Latitude), τις συντεταγμένες δηλαδή του είδους. Το φύλλο εργασίας αυτό στην συνέχεια αποθηκεύτηκε σε μορφή CSV.

Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

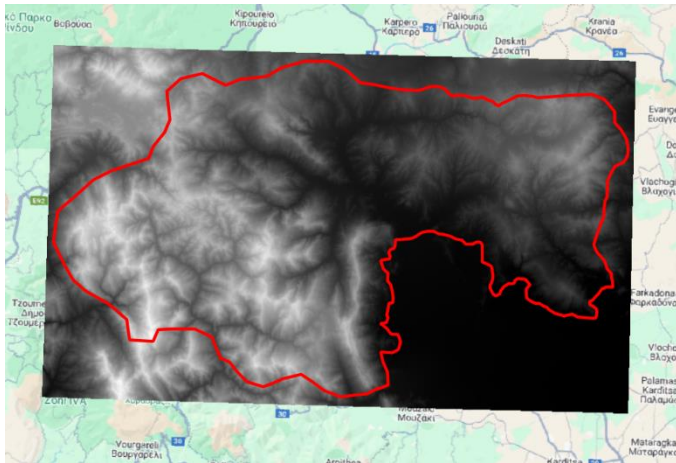


Εικόνα 2 Σημεία που παρατηρήθηκε *Canis lupus* στην περιοχή μελέτης

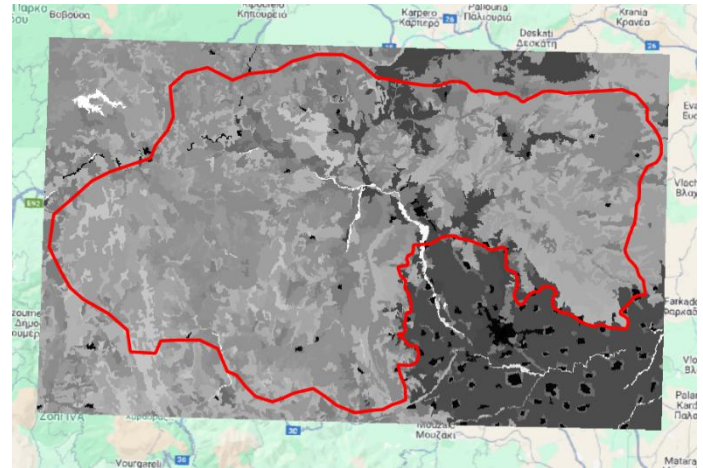
Για την δεύτερη κατηγορία δεδομένων, δηλαδή τις περιβαλλοντικές μεταβλητές, η διαδικασία ήταν πιο σύνθετη. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν Θερμοκρασία, Βροχόπτωση, Κάλυψη Γης (Land Cover), Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο - Digital Elevation Model (DEM), Οδικό Δίκτυο και Οικισμοί, λόγω της επιρροής τους στην καταλληλότητα του οικοτόπου για ανάπτυξη και αναπαραγωγή του είδους. Αυτά συλλέχθηκαν από κατάλληλες βάσεις δεδομένων, όπως Copernicus, Corine, Earth Explorer, Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης και την Hellenic Data Service. Για τα δεδομένα της Θερμοκρασίας και της Βροχόπτωσης, η επεξεργασία ακολούθησε μια πιο πολυσύνθετη ροή. Συγκεκριμένα, εγκαταστάθηκαν από το Copernicus δεδομένα για την μέση μηνιαία Θερμοκρασία και Βροχόπτωση για κάθε μήνα το διάστημα Ιανουάριος 2019 – Ιούλιος 2024, σε ανάλυση 5 χιλιομέτρων. Δηλαδή για κάθε μεταβλητή χρησιμοποιήθηκαν 6 raster αρχεία (ένα για κάθε χρόνο) τα οποία περιείχαν 12 κανάλια (bands) το κάθε ένα (εκτός του 2024 που περιείχε 7), ένα για κάθε μήνα. Μέσω του λογισμικού QGIS, έγινε συγχώνευση (merge) των μηνιαίων καναλιών του κάθε έτους σε ένα, και στην συνέχεια, έγινε συγχώνευση και των 6 ετήσιων καναλιών σε ένα αρχείο raster. Ο λόγος που έγινε αυτό είναι γιατί το αρχείο αυτό στη

Μπιζά Μαρία

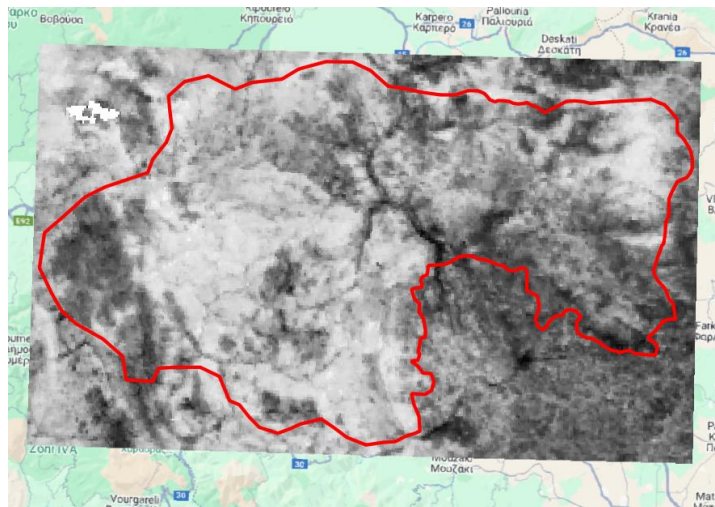
«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»



Εικόνα 5 Επεξεργασμένη Μεταβλητή DEM στο QGIS σε μορφή ASC



Εικόνα 6 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Land Cover στο QGIS σε μορφή ASC

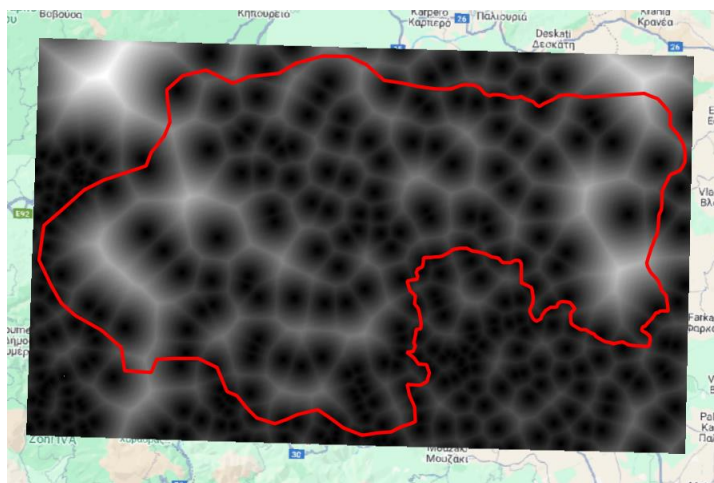


Εικόνα 7 Επεξεργασμένη Μεταβλητή NDVI index στο QGIS σε μορφή ASC

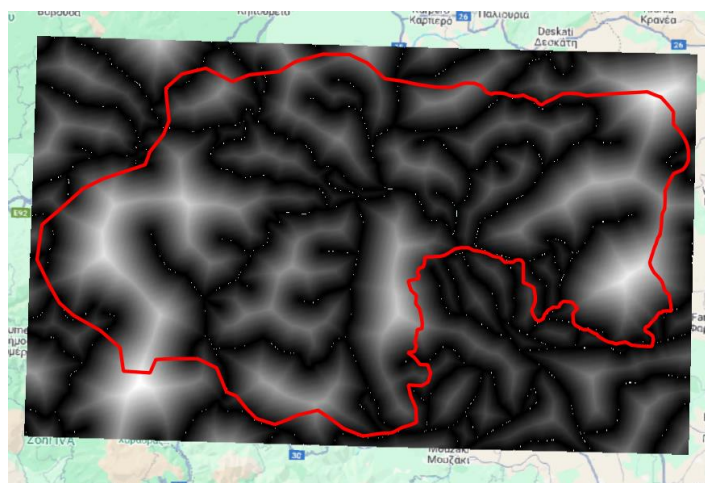
Για τους Οικισμούς και το Οδικό Δίκτυο, πριν μετατραπούν σε ASC, χρειάστηκε να γίνει μετατροπή τους σε raster αρχεία από vector, και να δημιουργηθούν με βάση αυτά proximity maps. Δηλαδή στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν αρχεία πυκνότητας του Οδικού Δικτύου και των Οικισμών.

Μπιζά Μαρία

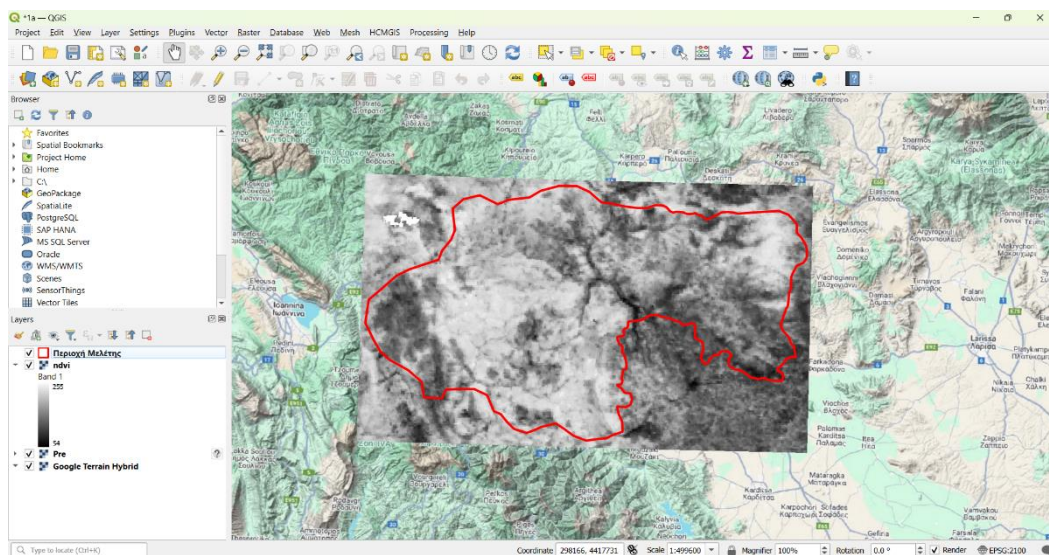
«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντικάρια Όρη»



Εικόνα 2 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Οικισμών στο QGIS σε μορφή ASC



Εικόνα 9 Επεξεργασμένη Μεταβλητή Οδικού Δικτύου στο QGIS σε μορφή ASC



Εικόνα 10 Σημειώματα από την Επεξεργασία των δεδομένων στο QGIS

Χρήση MAXENT

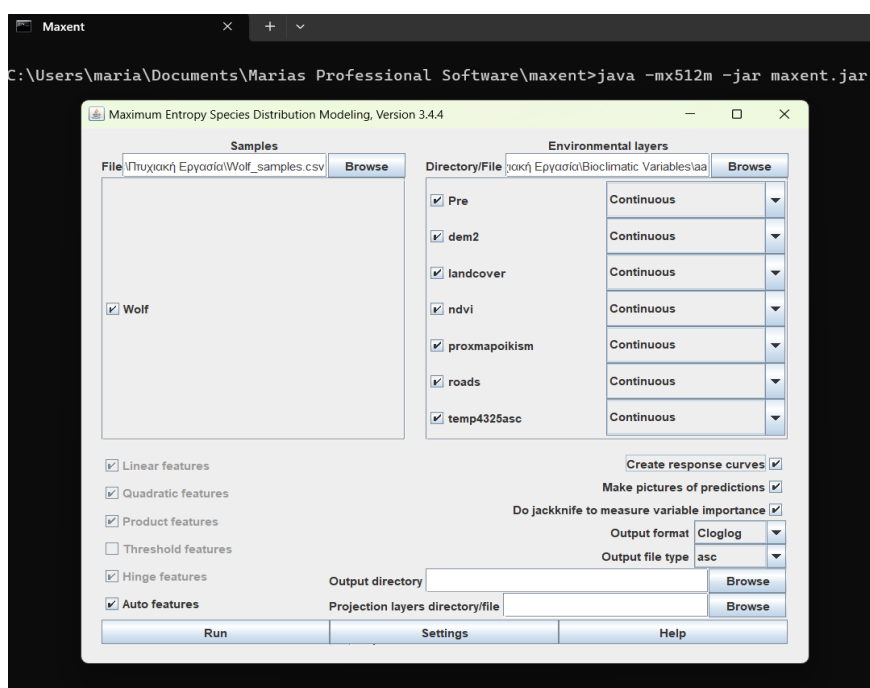
Μετά την επεξεργασία των δεδομένων παρουσίας του *Canis lupus* και των περιβαλλοντικών μεταβλητών με την βοήθεια του QGIS, έγινε χρήση του λογισμικού Maxent. Συγκεκριμένα, έγινε προσθήκη του αρχείου CSV και όλων των ASC αρχείων των περιβαλλοντικών μεταβλητών στο λογισμικό, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία αφού επιλέχθηκαν οι ιδανικές ρυθμίσεις για την παραγωγή κατάλληλων αποτελεσμάτων. Τα παράγωγα (output) μετά την λειτουργία του

Μπιζά Μαρία
«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Maxent, ήταν καμπύλες απόκρισης, εικόνα πρόβλεψης και μετρήσεις για την σημασία της κάθε μεταβλητής στην διαδικασία πρόβλεψης του μοντέλου.

Μεταβλητή	Περιγραφή Μεταβλητής
Δεδομένα παρουσίας <i>Canis lupus</i>	46 σημεία τεκμηριωμένης παρουσίας του είδους εντός της περιοχής μελέτης
Θερμοκρασία	Μέση ετήσια Θερμοκρασία για το διάστημα Ιανουάριος 2019 – Ιούλιος 2024, σε ανάλυση 5 χιλιομέτρων
Βροχόπτωση	Μέση ετήσια Βροχόπτωση για το διάστημα Ιανουάριος 2019 – Ιούλιος 2024, σε ανάλυση 5 χιλιομέτρων
Κάλυψη Γης	Κάλυψη Γης με έτος αναφοράς το 2018, σε ανάλυση 100 μέτρων
Δείκτης NDVI	Δείκτης του πρασίνου των οικοσυστημάτων για τα έτη 2020 – 2024, σε ανάλυση 300 μέτρων
Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο	Ψηφιακή αναπαράσταση της τοπογραφίας της επιφάνειας της Γης, με έτος αναφοράς το 2014, σε ανάλυση 100 μέτρων
Οικισμοί	Πυκνότητα Οικισμών
Οδικό Δίκτυο	Πυκνότητα Οδικού Δικτύου

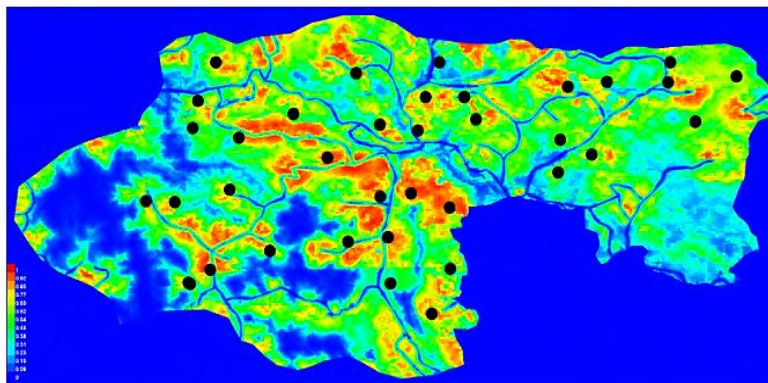
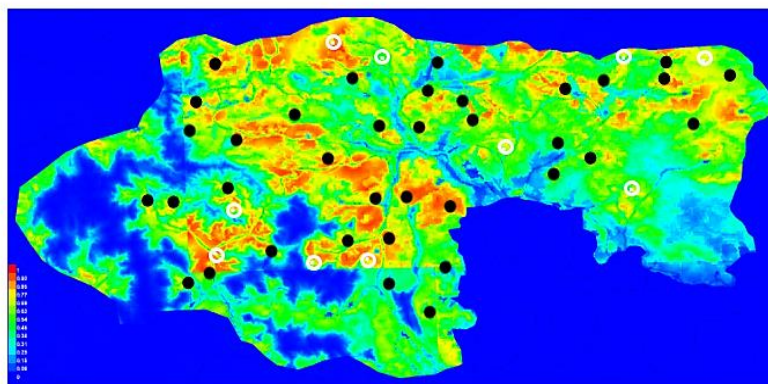
Πίνακας 1 Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο Maxent



Εικόνα 11 Στιγμιότυπο από το λογισμικό Maxent

Επαλήθευση (Validation)

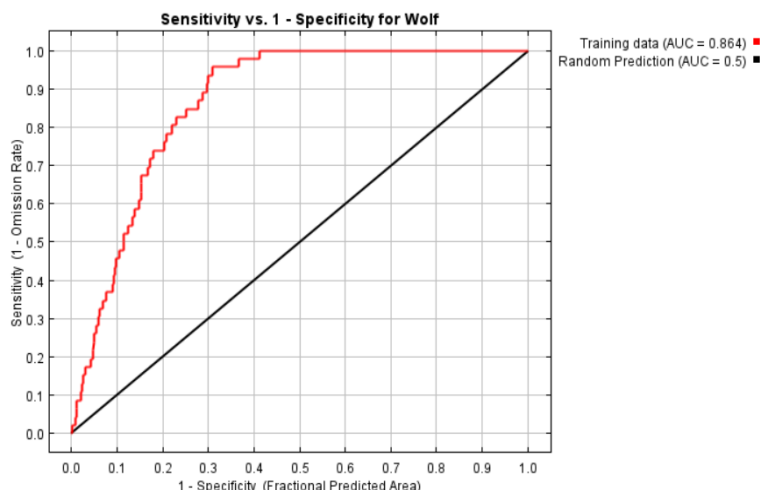
Είναι σημαντικό μετά την δημιουργία ενός μοντέλου κατανομής ειδών, να ακολουθούν δραστηριότητες επαλήθευσης (validation) των αποτελεσμάτων ώστε να επιβεβαιωθεί η ορθότητα τους. Τέτοιες μέθοδοι υπάρχουν πολλές, ωστόσο στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε χρήση της Διασταυρούμενης Επικύρωσης (cross-validation). Η διασταυρούμενη επικύρωση είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης δοκιμάζοντας το σε διαφορετικά υποσύνολα του συνόλου δεδομένων. Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε το ίδιο CSV αρχείο με occurrence data λύκου που χρησιμοποιήθηκαν και προηγουμένως (training data set), ωστόσο αφαιρέθηκαν από τα 46 σημεία τα 10 δημιουργώντας ένα test data set 36 σημείων. Από το output του Maxent βασιζόμενο στο test data set, διαπιστώνεται πως το αρχικό μοντέλο ήταν πράγματι ορθό. Αυτό γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας τις τιμές στα σημεία όπου κανονικά θα υπήρχαν δεδομένα εμφάνισης λύκου. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, τα μαύρα σημεία αντιπροσωπεύουν τα κοινά occurrence data μεταξύ του κανονικού μοντέλου και του μοντέλου επαλήθευσης, ενώ τα λευκά τα occurrence data που τυχαία αφαιρέθηκαν από το training data set. Στα συγκεκριμένα σημεία η πιθανότητα εμφάνισης κυμαίνεται από 77% έως 94%, επαληθεύοντας τα ήδη γνωστά δεδομένα εμφάνισης του είδους που είναι γνωστά από το training data set.



Μετά την διαδικασία επαλήθευσης και επιβεβαίωσης της ορθότητας των αποτελεσμάτων του Μοντέλου, έγινε εισαγωγή του ASC παραγόμενου αρχείου από το Maxent στο QGIS. Το αρχείο αυτό αποτελούσε την παραγόμενη πρόβλεψη του μοντέλου, η οποία χρησιμοποιήθηκε μέσω QGIS για την δημιουργία χαρτών κατανομής τους είδους για το παρόν (2024).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το παρακάτω διάγραμμα είναι η καμπύλη Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δέκτη - Receiver Operating Characteristic (ROC) για τα δεδομένα παρουσίας του είδους (occurrence data) αλλά και τις περιβαλλοντικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο. Δηλαδή, είναι μια γραφική παράσταση που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός μοντέλου. Είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση του πόσο καλά ένα μοντέλο διακρίνει μεταξύ δύο τάξεων, όπως η παρουσία και η απουσία ενός είδους σε ένα πλαίσιο μοντελοποίησης οικοτόπων. Η AUC (Area Under the ROC Curve) είναι μια τιμή που συνοψίζει την απόδοση ενός μοντέλου σε όλα τα πιθανά όρια. Η μέγιστη επιτεύξιμη AUC είναι μικρότερη από 1. Εάν τα δεδομένα δοκιμής αντλούνται από την ίδια την κατανομή Maxent, τότε η μέγιστη δυνατή AUC δοκιμής (test AUC) θα είναι 0,826 αντί 1. Όταν ισχύει $AUC = 1$ σημαίνει ότι το μοντέλο ήταν τέλειο (100% ευαισθησία, 0% λανθασμένες θετικές τιμές). Όταν ισχύει $AUC = 0.5$ τότε το μοντέλο δεν έχει καθόλου διακριτική ικανότητα και κάνει τυχαίες εικασίες. Ένα $AUC > 0.7$ υποδεικνύει ένα μοντέλο με λογική απόδοση. Όπως φαίνεται από το γράφημα, η τιμή AUC για το μοντέλο της παρούσας πτυχιακής είναι ίση με 0.864, αποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει υψηλή αποδοτικότητα και ικανότητα πρόβλεψης.



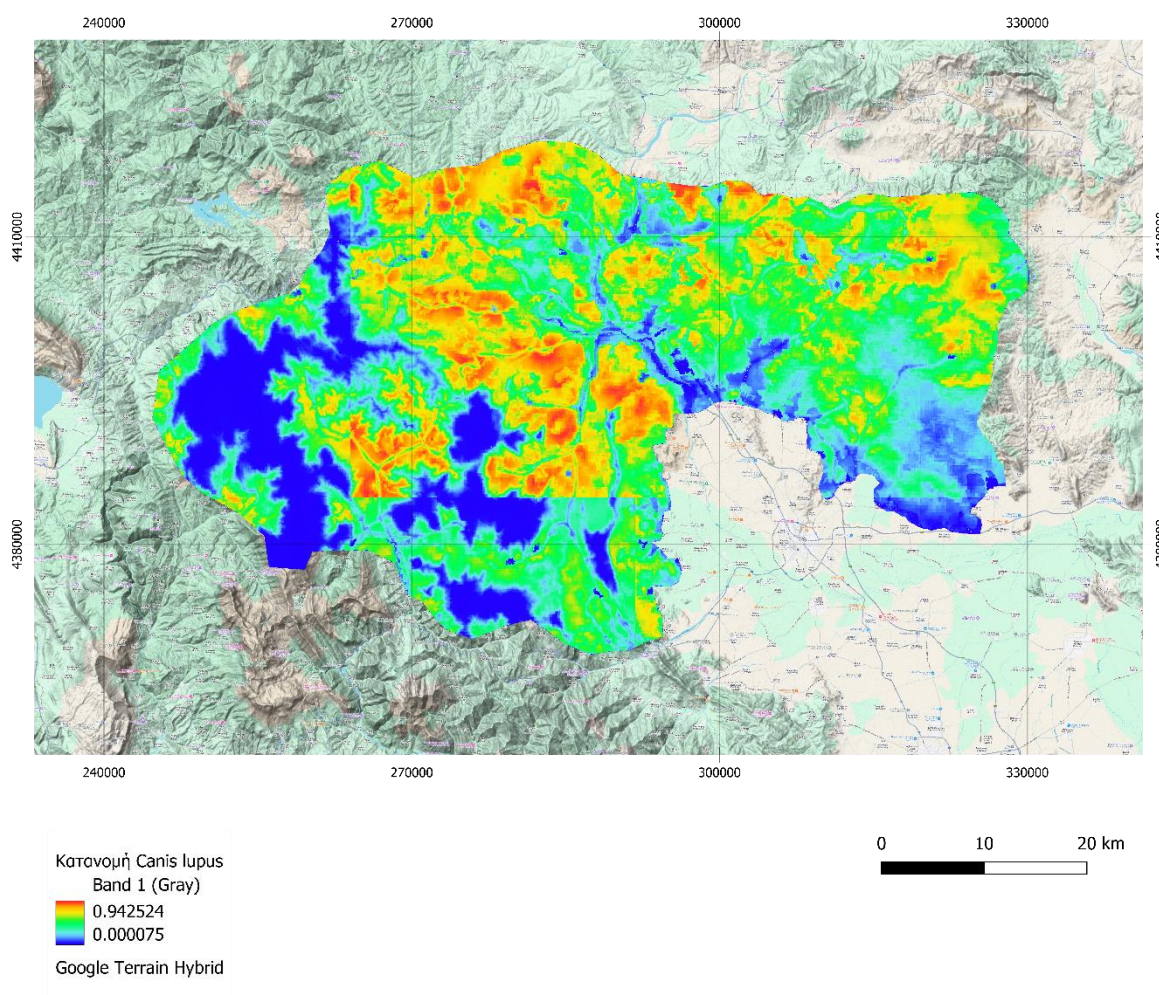
Διάγραμμα 1 Καμπύλη Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δέκτη (ROC)

Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Το παραγόμενο αποτέλεσμα (output) του Maxent, όπως αναφέρθηκε και στη ενότητα 3.1, εισαγάγει στο λογισμικό QGIS για την δημιουργία ενός χάρτη που μας δείχνει την καταλληλότητα της περιοχής για εμφάνιση του είδους *Canis lupus*. Ο χάρτης αυτός είναι ο ακόλουθος:

Κατανομή *Canis lupus* - Ευρύτερη περιοχή Αντιχάσιων Ορών 2024



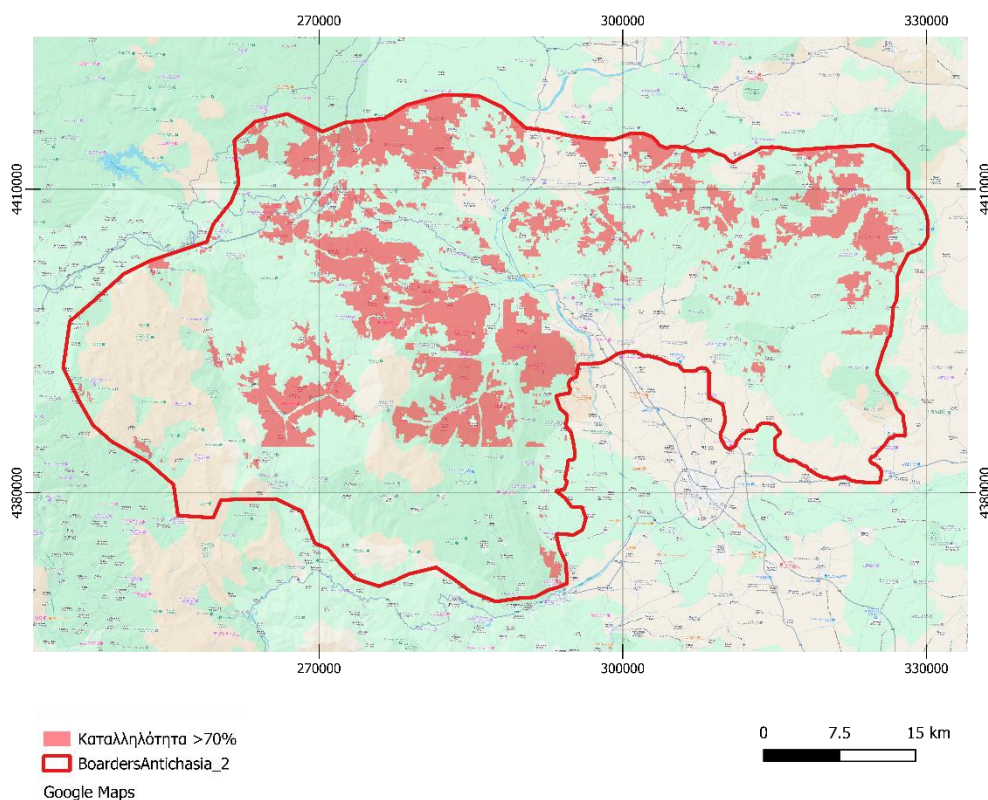
Χάρτης 2 Χάρτης Κατανομής *Canis lupus* στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών για το 2024

Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Στον παραπάνω χάρτη διακρίνεται η πιθανή κατανομή του είδους *Canis lupus* στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών για το έτος 2024 (παρόν). Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η διαβάθμιση του χρώματος σχετίζεται με την πιθανότητα εμφάνισης του είδους στην περιοχή. Συγκεκριμένα, οι περιοχές με σκούρο μπλε χρώμα υποδηλώνουν 0% πιθανότητα εμφάνισης λύκου στο σημείο αυτό, ενώ ανεβαίνοντας στην χρωματική κλίμακα οι πιθανότητες αυξάνονται με τελικό χρώμα το κόκκινο όπου στα σημεία αυτά οι πιθανότητες είναι πάρα πολύ υψηλές (έως 94%) για την εμφάνιση λύκου. Συμπερασματικά, τα πιο ζεστά χρώματα δείχνουν περιοχές με καλύτερες προβλεπόμενες συνθήκες. Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης είναι 2,658.55 km², ενώ οι περιοχές με καταλληλότητα ενδιαίτηματος >70% αντιστοιχούν σε 547.336 km².

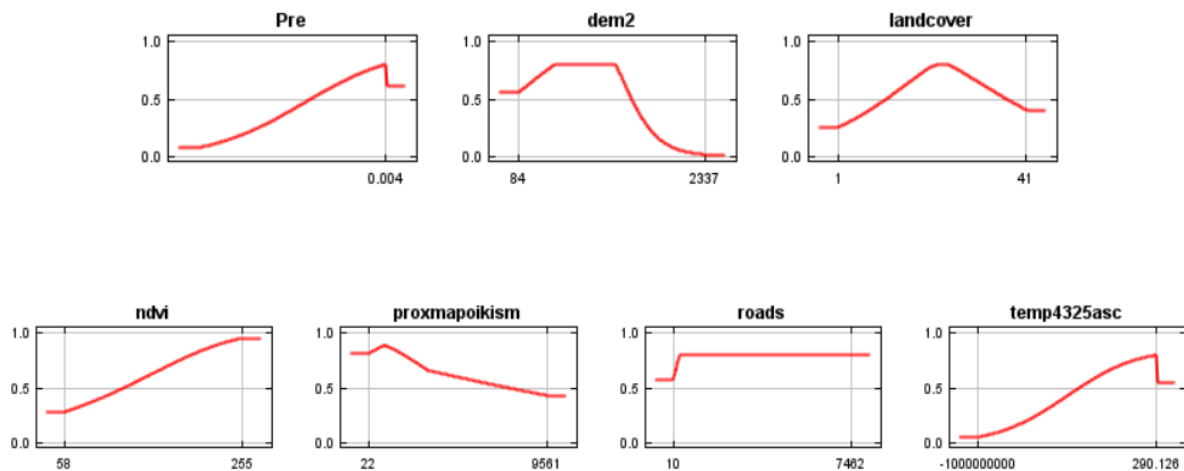
Καταλληλότητα Ενδιαίτηματος >70% για *Canis lupus*



Χάρτης 1 Περιοχές >70% Καταλληλότητας Ενδιαίτηματος *Canis lupus*

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Παρακάτω θα γίνει ανάλυση μερικών των καμπυλών απόκρισης (response curves) για τις διάφορες μεταβλητές του μοντέλου. Καθεμία από τις ακόλουθες καμπύλες αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό μοντέλο, δηλαδή, ένα μοντέλο Maxent που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας μόνο την αντίστοιχη μεταβλητή. Οι καμπύλες αυτές αντικατοπτρίζουν την εξάρτηση της προβλεπόμενης καταλληλότητας από την επιλεγμένη μεταβλητή. Δηλαδή, οι καμπύλες δείχνουν πώς κάθε περιβαλλοντική μεταβλητή επηρεάζει την προβλεπόμενη καταλληλότητα του οικοτόπου-ενδιαιτήματος του είδους.



Διάγραμμα 2 Καμπύλες απόκρισης (response curve) των μεταβλητών του μοντέλου

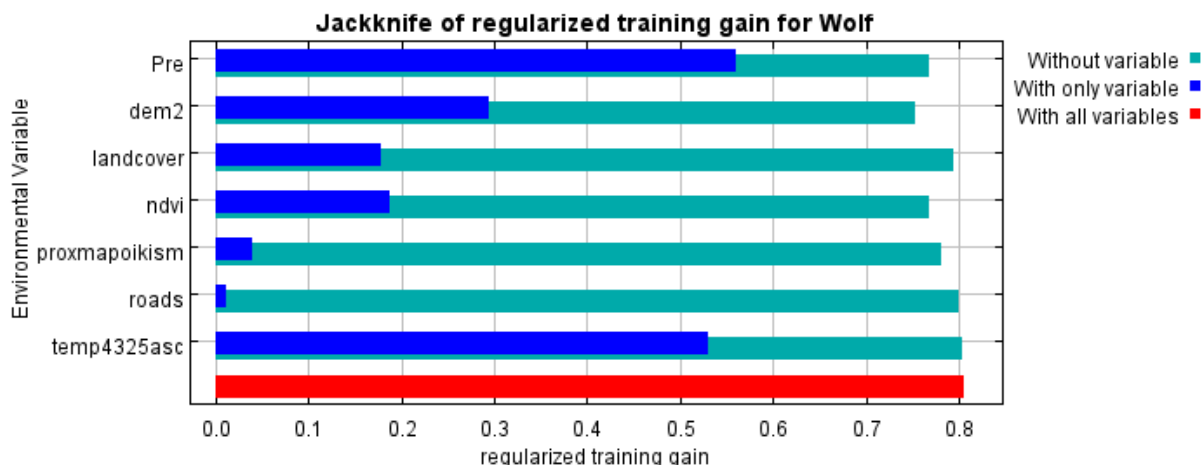
Από τις καμπύλες απόκρισης συμπεραίνεται ότι:

- Η αύξηση της βροχόπτωσης συνεπάγεται με αύξηση της καταλληλότητας του ενδιαιτήματος.
- Από το διάγραμμα για την μεταβλητή της θερμοκρασίας, συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται η τιμή της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος.
- Οι μέσες υψομετρικές τιμές (500 – 1250 μέτρα) της περιοχής μελέτης είναι ιδανικότερες για την εμφάνιση του είδους, ενώ από τα περίπου 1250 έως τα 2337 μέτρα παρατηρείται σταδιακή ελάττωση της καταλληλότητας.

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

- Από το διάγραμμα για την κάλυψη γης συμπεραίνεται ότι η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος αυξάνεται σε γεωργικές περιοχές και αγροτικές εκτάσεις με φυσική βλάστηση (agro-forestry areas).
- Από το διάγραμμα για τον Δείκτη Κανονικής Διαφοράς Βλάστησης - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), συμπεραίνεται ότι η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος αυξάνεται όσο αυξάνεται και η πυκνότητα της βλάστησης (vegetation density).
- Από το διάγραμμα για την πυκνότητα των οικισμών παρατηρείται πως η ιδανική απόσταση για εμφάνιση του είδους είναι τα περίπου 1000 μέτρα από τον οικισμό. Ωστόσο, για τις τιμές άνω των 1000 μέτρων, όσο απομακρυνόμαστε από τους οικισμούς της περιοχής, τόσο μειώνεται η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος.
- Από το διάγραμμα για την πυκνότητα του οδικού δικτύου, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η απόσταση από το οδικό δίκτυο, αυξάνεται και η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος.

Παρακάτω θα γίνει εξέταση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης Jackknife, όπως αυτή φαίνεται στο Διάγραμμα 3. Η ανάλυση Jackknife στο MaxEnt είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της σημασίας των περιβαλλοντικών μεταβλητών στο μοντέλο κατανομής ειδών. Βοηθά στον προσδιορισμό του πόσο συνεισφέρει κάθε μεταβλητή στην προγνωστική δύναμη του μοντέλου και παρέχει πληροφορίες για το ποιες μεταβλητές είναι πιο σημαντικές για την εξήγηση της παρουσίας του είδους. Ο κύριος σκοπός της ανάλυσης jackknife στο MaxEnt είναι να αξιολογήσει τη συμβολή κάθε περιβαλλοντικής μεταβλητής ξεχωριστά, τη σημασία κάθε μεταβλητής παρουσία άλλων και τον αντίκτυπο της εξαιρέσεως κάθε μεταβλητής από το μοντέλο.



Διάγραμμα 3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Jackknife στο Maxent



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Με μια πρώτη ματιά των αποτελεσμάτων της ανάλυσης Jackknife, φαίνεται η απόδοση του μοντέλου με μόνο μία μεταβλητή κάθε φορά (μπλε χρώμα). Δηλαδή, για κάθε περιβαλλοντική μεταβλητή, ένα μοντέλο δημιουργείται χρησιμοποιώντας μόνο αυτήν τη μεταβλητή, εξαιρουμένων όλων των άλλων. Από αυτό γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβλητή που παρείχε τις περισσότερες πληροφορίες στο μοντέλο, που το επηρέασε δηλαδή περισσότερο, ήταν η αυτή της Βροχόπτωσης, με ακριβώς επόμενη (με ελάχιστη διάφορα) αυτή της Θερμοκρασίας. Η μεταβλητή με την χαμηλότερη προγνωστική δύναμη στο μοντέλο είναι η Πυκνότητα του Οδικού Δικτύου.

Επίσης, από το Διάγραμμα 3, παρατηρείται το μοντέλο με εξαιρούμενη κάθε μεταβλητή (πρασινωπό χρώμα). Σε αυτήν την περίπτωση, το μοντέλο δημιουργείται χρησιμοποιώντας όλες τις μεταβλητές εκτός από αυτήν που ελέγχεται. Αυτό δείχνει πόσο η εξαιρούμενη μεταβλητή μειώνει την προγνωστική ισχύ του μοντέλου, υποδεικνύοντας έτσι τη σημασία της. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η μεταβλητή που επηρεάζει περισσότερο την πρόγνωση αν αφαιρεθεί από το μοντέλο είναι το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο - Digital Elevation Model (DEM) με αμέσως επόμενη την Βροχόπτωση, ενώ αυτή με την λιγότερη επιρροή είναι η Θερμοκρασία.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο απαντήθηκε με επιτυχία ο πρώτος στόχος της παρούσας πτυχιακής, δηλαδή: Η δημιουργία χαρτών κατανομής του *Canis lupus*, συμβάλλοντας στην κατανόηση των οικολογικών συνθηκών που ευνοούν την παρουσία του είδους.

Επίσης εξετάστηκαν τα παραγόμενα αποτελέσματα από την λειτουργία του Maxent μοντέλου για το είδος *Canis lupus*. Είναι σημαντικό να μην γίνονται μόνο απλές παρατηρήσεις για το μοντέλο και τις μεταβλητές του, αλλά να ερμηνεύονται και να εξηγούνται τα πιθανά αίτια πίσω από τα αποτελέσματα αυτά. Με αυτόν τον τρόπο απαντάται και το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της παρούσας πτυχιακής, δηλαδή η ανάδειξη της επιρροής των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο στην καταλληλότητα του ενδιαιτήματος του *Canis lupus*, και η τεκμηρίωση της επιρροής αυτής. Συγκεκριμένα:



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Ξεκινώντας με την πρώτη παρατήρηση, φάνηκε από τις καμπύλες απόκρισης του Διαγράμματος 2 ότι η αύξηση της βροχόπτωσης συνεπάγεται με αύξηση της καταλληλότητας του ενδιαιτήματος. Αυτό δικαιολογείται με πολλούς τρόπους. Η αύξηση της βροχόπτωσης συνεπάγεται την αύξηση της βλάστησης η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των φυτοφάγων ζώων που αποτελούν θηράματα για τους λύκους, όπως τα ελάφια, οι αγριόχοιροι κ.α. Βιότοποι με χαμηλή βροχόπτωση ή ξηρασία μπορεί να είναι λιγότερο κατάλληλοι για τους λύκους, λόγω των ακραίων θερμοκρασιών και της έλλειψης νερού και θηραμάτων. Ακόμη, η αυξημένη βλάστηση λόγω αύξησης της βροχόπτωσης μπορεί να αποτελέσει σημαντικό καταφύγιο για το είδος, προστατεύοντας το από φυσικούς θηρευτές και τον άνθρωπο. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα για τον Δείκτη Κανονικής Διαφοράς Βλάστησης - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Σύμφωνα με αυτό, η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος αυξάνεται όσο αυξάνεται και η πυκνότητα της βλάστησης (vegetation density). Παρατηρήθηκε επίσης ότι όσο αυξάνεται η τιμή της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η καταλληλότητα του ενδιαιτήματος. Σε γενικές γραμμές, οι λύκοι προτιμούν ψυχρότερα κλίματα και είναι καλά προσαρμοσμένοι σε εύκρατες και βόρειες περιοχές. Ωστόσο, η μείωση των ακραίων ψυχρών συνθηκών και η ύπαρξη ενός μέτριου έως υψηλού φάσματος θερμοκρασιών σε μια περιοχή, δημιουργεί ιδανικότερες συνθήκες για τα θηράματα του είδους, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερο εύρος τροφής και άρα υψηλότερες πιθανότητες επιβίωσης. Ακόμη, στα μεγάλα υψόμετρα ορεινών περιοχών όπως στην περιοχή μελέτης, είναι πιο πιθανό οι θερμοκρασίες να αγγίξουν πολύ χαμηλά νούμερα δυσκολεύοντας την ανάπτυξη των νεαρών μελών του είδους. Η μέση ετήσια θερμοκρασία για τα έτη 2019-2024 ήταν 17°C, μια τιμή που δεν θεωρείται πολύ υψηλή από μόνη της (για τα ανθρώπινα δεδομένα), ωστόσο δεν αποκλίνει ιδιαίτερα από τα Ευρωπαϊκά δεδομένα (εύρος θερμοκρασιών για τα ενδιαιτήματα λύκου 5°C – 15°C). Μια ακόμα μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο ήταν το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο - Digital Elevation Model (DEM), δηλαδή το υψόμετρο της περιοχής. Παρατηρήθηκε ότι οι μέσες υψομετρικές τιμές (500 – 1250 μέτρα) της περιοχής μελέτης είναι ιδανικότερες για την εμφάνιση του είδους, ενώ από τα περίπου 1250 έως τα 2337 μέτρα φάνηκε σταδιακή ελάττωση της καταλληλότητας. Οι ιδανικές υψομετρικές τιμές για τα ενδιαιτήματα του *Canis lupus* ποικίλλουν ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, αλλά γενικά οι λύκοι μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα υψομέτρων. Σε πιο πεδινά ή κυρίως δασικά περιβάλλοντα της Ευρώπης, οι λύκοι συχνά ζουν σε υψόμετρα από 0 έως 1.500 μέτρα. Οι δασικές αυτές περιοχές παρέχουν άφθονα θηράματα, όπως ελάφια και ζαρκάδια, καθώς και επαρκή κάλυψη από τη βλάστηση για κυνήγι και καταφύγιο, όπως φάνηκε και στις προηγούμενες μεταβλητές. Η προτίμηση του είδους για περιοχές με αυξημένη βλάστηση



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα για την κάλυψη γης όπου η καταλληλότητα του ενδιαίτηματος αυξάνεται σε γεωργικές περιοχές και αγροτικές εκτάσεις με φυσική βλάστηση (agro-forestry areas), αλλά και από τα αποτελέσματα της τιμής NDVI που αναφέρθηκε προηγουμένως. Όσον αφορά την πυκνότητα των οικισμών, παρατηρήθηκε από τα αποτελέσματα ότι όσο αυξάνεται η απόσταση από τους οικισμούς τόσο μειώνεται η καταλληλότητα, με ιδανική απόσταση για εμφάνιση του είδους τα περίπου 1000 μέτρα από τον οικισμό. Παρότι μοιάζει οξύμωρο συμπέρασμα καθώς ο άνθρωπος αποτελεί όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια την μεγαλύτερη απειλή του είδους, υπάρχουν διάφοροι λόγοι που το επιβεβαιώνουν. Οι οικισμοί της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε αγροτικό περιβάλλον, με τους ανθρώπους συχνά να ασχολούνται με αγροτικές δραστηριότητες αλλά και την εκτροφή ζώων. Ένας πιθανός, λοιπόν, λόγος θα μπορούσε να είναι η αναζήτηση τροφής κοντά σε κτηνοτροφικές μονάδες. Ακόμη, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι εδώ παίζει σημαντικό ρόλο η τοποθέτηση των κατάλληλων καμερών παρακολούθησης του είδους για την συλλογή των δεδομένων παρουσίας του (occurrence data), και πόσο κοντά αυτές ήταν στους δεδομένους οικισμούς. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η απόσταση από το οδικό δίκτυο, αυξάνεται και η καταλληλότητα του ενδιαίτηματος. Αυτό είναι λογικό, καθώς η κινητοποίηση του είδους κοντά σε δρόμους θα σήμαινε μεγαλύτερο κίνδυνο οδικών ατυχημάτων που θα οδηγούσαν στον πιθανό θάνατο του.

Με επιτυχία απαντήθηκε και το τρίτο και τελευταίο ερευνητικό ερώτημα, δηλαδή η ανάδειξη των Μοντέλων Κατανομής Ειδών (Species Distribution Models) ως ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση και ανάλυση της κατανομής των ειδών στο περιβάλλον και την δημιουργία οικολογικών μελετών. Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανέδειξε την αξία της χρήσης των Μοντέλων Κατανομής Ειδών (SDMs) και των σχετικών λογισμικών, όπως τα QGIS και Maxent, για την κατανόηση της κατανομής ειδών όπως ο λύκος (*Canis lupus*) στην ευρύτερη περιοχή των Αντιχάσιων Ορών. Η Γεωπληροφορική και τα SDMs είναι ισχυρά εργαλεία για την κατανόηση και ανάλυση της κατανομής των ειδών στο περιβάλλον. Μέσω της Γεωπληροφορικής, δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστούν γεωγραφικά δεδομένα με περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η κάλυψη γης κ.α. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη χωρική απεικόνιση των περιοχών που είναι πιο κατάλληλες για την παρουσία ενός είδους. Τα SDM χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα και εφαρμόζουν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, όπως η Μέγιστη Εντροπία (MaxEnt), για να προβλέψουν την πιθανότητα εμφάνισης ενός είδους σε διάφορες τοποθεσίες. Έτσι, γίνεται δυνατός ο εντοπισμός των παραγόντων που είναι πιο σημαντικοί για την επιβίωση και εξάπλωση ενός



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

είδους, καθώς η αξιολόγηση του τρόπου που οι αλλαγές στο κλίμα ή το περιβάλλον επηρεάζουν την κατανομή του. Επομένως, η Γεωπληροφορική και τα SDM συμβάλλουν στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ ειδών και του περιβάλλοντος, βοηθούν στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση της βιοποικιλότητας και υποστηρίζουν τη σχεδίαση στρατηγικών προστασίας σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης που διεξάχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής, επιβεβαιώνουν τη σημασία των συνθηκών ενός οικοτόπου όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, το υψόμετρο, η κάλυψη γης, η βλάστηση, η πυκνότητα των οικισμών και του οδικού δικτύου, στην καταλληλότητα του ενδιαιτήματος για το είδος. Μέσω της χρήσης αυτών των πολύτιμων εργαλείων, γίνεται δυνατή η υλοποίηση δραστηριοτήτων προστασίας της άγριας πανίδας, η οποία αποτελεί βασικό στοιχείο του οικολογικού συστήματος της Γήινης βιόσφαιρας, αλλά και θεμελιώδη παράγοντα της οικονομίας, της διατροφής, της οικολογικής ισορροπίας, των κοινωνικών και πολιτισμικών μας ταυτοτήτων. Αυτή η ανάγκη διατήρησης της άγριας ζωής τονίζεται ιδιαίτερα στον Ελλαδικό χώρο, ο οποίος φιλοξενεί έναν τεράστιο βιολογικό πλούτο, σε πολλές περιπτώσεις μοναδικό σε παγκόσμιο επίπεδο.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Τα δεδομένα παρουσίας λύκου με την χρήση φωτογραφικών διατάξεων παρασχέθηκαν από την Περιβαλλοντική Οργάνωση για την άγρια ζωή και τη φύση, ΚΑΛΛΙΣΤΩ, και συλλέχθηκαν στο πλαίσιο υλοποίησης του προγράμματος LIFE Bear-Smart Corridors (LIFE20NAT/NL/001107). Επιστημονικός υπεύθυνος προγράμματος: Μερτζάνης Γιώργος Δρ. Βιολόγος, Ομάδα εργασιών πεδίου και συλλογής δεδομένων: Στέφανος Κυριακίδης, Λαζάρου Γεώργιος, Καταχώρηση δεδομένων: Στέφανος Κυριακίδης, Δασολόγος Msc.

Γιώργος Κ. Παπαδόπουλος, (2015), *Ανάλυση Παλινδρόμησης* Εργαστήριο. Μαθηματικών & Στατιστικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο σε:

<https://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/regression9.pdf>



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Ηλιόπουλος Γιώργος, 2018. Η κατάσταση διατήρησης του λύκου στην Ελλάδα, ζητήματα σύγκρουσης και τρόποι αντιμετώπισης. σ.78. Καλλιστώ Π.Ο Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/328497612_Eliopoulos_Giorgos_2018_E_k_atastase_diatereses_tou_lykou_sten_Ellada_zetemata_synkrouses_kai_tropoi_antime_topises_Technike_anaphora_s79_Kallisto_PO_Iliopoulos_Y_2018_Conservation_status_of_the_wolf_in?enrichId=rgreq-6347ab83e9d92baf82e24e5b706d4df1-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyODQ5NzYxMjtBUzo5NTEzMzU3NDY4MjlxNDVAMTYwMzgyNzUyNTgzMw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf

Σταθακοπούλου Ε., (2018), *Αποτίμηση των Επιδράσεων της Μακροχρόνιας Έκθεσης σε Ατμοσφαιρική Ρύπανση στη Θνησιμότητα και Διερεύνηση της Τροποποιητικής Επίδρασης Γεωχωρικών Χαρακτηριστικών, ανά Δήμο στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο σε: <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2751029/theFile>

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Agresti A., (2015), *Foundations of Linear and Generalized Linear, Models*. Διαθέσιμο σε: <https://www.wiley.com/en-us/Foundations+of+Linear+and+Generalized+Linear+Models-p-9781118730034>

Anderson, Robert & Dudík, Miroslav & Schapire, Robert & Blair, Mary. (2017). *Opening the black box: An open-source release of Maxent. Ecography*. Διαθέσιμο σε: <https://sci-hub.se/https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ecog.03049>

Biosecurity Commons, (2023), *Bioclim SDM explained* [online]. Διαθέσιμο σε: <https://support.biosecuritycommons.org.au/support/solutions/articles/6000262267-bioclim-sdm-explained#:~:text=Bioclim%20is%20a%20so%2Dcalled,which%20a%20species%20can%20occur.>

Breiman, L, (2001), *Random Forests*, Machine Learning 45, 5–32. Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>

Busby, J.R., (1991), *Bioclim, a Bioclimatic Analysis and Prediction System*. In: Margules, C.R. and Austin, M.P., Eds., *Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis*, CSIRO, Canberra, 64-68. Διαθέσιμο σε: <https://caws.org.nz/PPQ567/PPQ%2006-1%20pp008-9%20Busby.pdf>



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

- Castelló, J.R. (2018). *Canids of the World*. [online] *press.princeton.edu*. Princeton University . Διαθέσιμο σε: <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691176857/canids-of-the-world>.
- Cawthorn, D.-M. and Hoffman, L.C. (2015). *The bushmeat and food security nexus: A global account of the contributions, conundrums and ethical collisions*. Food Research International, 76(4), pp.906–925. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.025>. Διαθέσιμο σε: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7126303/>
- Chardonnet, Philippe & Clers, B & Fischer, J.R. & Gerhold, Rick & Jori, Ferran and Lamarque, F. (2002). *The value of wildlife*. Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics). 21. 15-51. doi: 10.20506/rst.21.1.1323. PMID: 11974626. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/11393617_The_value_of_wildlife
- Charu C. Aggarwal, (2024), Probability and Statistics for Machine Learning, Springer Cham. Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-29642-0>
- David J. Mladenoff, Robert G. Haight, Theodore A. Sickley, Adrian P. Wydeven, 1997, *Causes and Implications of Species Restoration in Altered Ecosystems A spatial landscape projection of wolf population recovery*, *BioScience*, Volume 47, Issue 1, Pages 21–31. Διαθέσιμο σε: <https://academic.oup.com/bioscience/article/47/1/21/232433>
- De Villiers, M. *et al.*, (2016), ‘The potential distribution of *Bactrocera dorsalis*: considering phenology and irrigation patterns’, *Bulletin of Entomological Research*, 106(1), pp. 19–33. Διαθέσιμο σε: <https://www.cambridge.org/core/journals/bulletin-of-entomological-research/article/abs/potential-distribution-of-bactrocera-dorsalis-considering-phenology-and-irrigation-patterns/04E61F18EF20A299212FE0A462E2611A>
- Döring, S., Arzi, B., Winer, J.N., Kass, P.H. and Verstraete, F.J.M. (2018). *Dental and Temporomandibular Joint Pathology of the Grey Wolf (*Canis lupus*)*. Journal of Comparative Pathology, 160, pp.56–70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2018.03.001>. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002199751830001X1>
- Estes, J.A., Terborgh, J., Brashares, J.S., Power, M.E., Berger, J., Bond, W.J., Carpenter, S.R., Essington, T.E., Holt, R.D., Jackson, J.B.C., Marquis, R.J., Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R.T., Pickett, E.K., Ripple, W.J., Sandin, S.A., Scheffer, M., Schoener, T.W. and Shurin, J.B. (2011). *Trophic Downgrading of Planet Earth*. Science, 333(6040), pp.301–306. doi:<https://doi.org/10.1126/science.1205106>. Διαθέσιμο σε: https://www.zoology.ubc.ca/bdg/pdfs_bdg/2012spring/Estes_etal_2011.pdf



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

Farrar, S. (2021). *How wolves use hearing to engage with their world*. [online] International Wolf Center. Διαθέσιμο σε: <https://wolf.org/original-articles/how-wolves-use-their-sense-of-hearing-to-engage-the-world/>

Franklin J., (2010), *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press. Διαθέσιμο σε: <https://www.cambridge.org/core/books/mapping-species-distributions/58225AE5693AED8BD812F7CEBE35378A>

Guisan, A., Thuiller, W. and Zimmermann, N.E., (2017), 'Habitat Suitability and Distribution Models With Applications in R', in *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. Cambridge: Cambridge University Press (Ecology, Biodiversity and Conservation) Διαθέσιμο σε: <https://www.cambridge.org/core/books/habitat-suitability-and-distribution-models/A17F74A3418DBF9ADA191A04C35187F9>

Guisan, Antoine & Edwards, Thomas & Hastie, Trevor, (2002), *Generalized Linear and Generalized Additive Models in Studies of Species Distributions: Setting the Scene*, Ecological Modelling, 157, pp.89-100. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380002002041>

Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J. and Wardle, D.A. (2005). *EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE*. Ecological Monographs, 75(1), pp.3–35. doi:<https://doi.org/10.1890/04-0922>. Διαθέσιμο σε: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/toc/15577015/2005/75/1>

https://www.researchgate.net/publication/333702183_Hierarchical_generalized_additive_models_in_ecology_an_introduction_with_mgcv

James I. Watling, Laura A. Brandt, Frank J. Mazzotti, and Stephanie S. Románach, (2013), *Use and interpretation of climate envelope models: a practical guide*, University of Florida. Διαθέσιμο σε: <https://pubs.usgs.gov/publication/70048487>

Jane Elith and John R. Leathwick, (2009), *Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time*, Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, Vol. 40 pp. 677-697. Διαθέσιμο σε: <https://www.annualreviews.org/docserver/fulltext/ecolsys/40/1/annurev.ecolsys.110308.120159.pdf?expires=1723386234&id=id&acname=guest&checksum=C8B003EEB3D8AD9BA8C3B86C50EAB639>

Karamanlidis, Alexandros A., de Gabriel Hernando, Miguel, Georgiadis, Lazaros and Kusak, Josip., 2017, "Activity, movement, home range and habitat use of an adult gray wolf in



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

a Mediterranean landscape of northern Greece" *Mammalia*, vol. 81, no. 1, pp. 95-99. Διαθέσιμο σε: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/mammalia-2015-0091/html>

Kearney M, Porter W., (2009), *Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges*, *Ecol Lett*, 4, 334-50 Διαθέσιμο σε: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19292794/>

Legakis, Anastasios & Constantinidis, Theophanis & Petrakis, Panos V.. (2018). Biodiversity in Greece: Selected Countries in Europe. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/329617481_Biodiversity_in_Greece_Selected_Countries_in_Europe

Mahoney, Peter & Joly, Kyle & Borg, Bridget & Sorum, Mathew & Rinaldi, Todd & Saalfeld, David & Golden, Howard & Latham, Andrew & Kelly, Allicia & Mangipane, Buck & Koizumi, Catherine & Neufeld, Layla & Hebblewhite, Mark & Boelman, Natalie & Prugh, Laura. (2020). *Denning phenology and reproductive success of wolves in response to climate signals. Environmental Research Letters*. Διαθέσιμο σε: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abc0ba/pdf>

McNeely, J.A., Miller, K., Mittermeier, R.A., Reid, W.V. and Werner, T.B. (1990). *Conserving the world's biological diversity*. [online] *Iucn.org*. IUCN. Διαθέσιμο σε: <https://portals.iucn.org/library/node/5888>.

Mech, L. David, *Canis lupus*. (1974). USGS Northern Prairie Wildlife Research Center. 334. Διαθέσιμο σε: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1362&context=usgsnpwr>

Morell, V. (1997). *EVOLUTIONARY BIOLOGY: The Origin of Dogs: Running With the Wolves*. *Science*, 276(5319), 1647–1648. doi:10.1126/science.276.5319.1647 Διαθέσιμο σε: <https://sci-hub.se/https://www.science.org/doi/10.1126/science.276.5319.1647>

NOAA Fisheries (1973). *Endangered Species Act*. [online] NOAA. Διαθέσιμο σε: <https://www.fisheries.noaa.gov/national/endangered-species-conservation/endangered-species-act#section-3-definitions>.

Pedersen, Eric & Miller, David & Simpson, Gavin & Ross, Noam, (2019), *Hierarchical generalized additive models in ecology: an introduction with mgcv*, *PeerJ*. Διαθέσιμο σε: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31179172/>

QGIS Project Steering Committee (PSC), 2024, QGIS overview, Διαθέσιμο σε: <https://www.qgis.org/project/overview/>



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

- RANDI, E. (2011). *Genetics and conservation of wolves Canis lupus in Europe*. Mammal Review, [online] 41(2), pp.99–111. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2010.00176.x>. Διαθέσιμο σε: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2907.2010.00176.x>
- Röck AW, Dür A, van Oven M, Parson W., 2013, *Concept for estimating mitochondrial DNA haplogroups using a maximum likelihood approach (EMMA)*. Forensic Sci Int Genet. 7(6):601-609. Διαθέσιμο σε: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3819997/>
- S. R. Safavian and D. Landgrebe, "A survey of decision tree classifier methodology," (1991), in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 21, no. 3, pp. 660-674. Διαθέσιμο σε: <https://ieeexplore.ieee.org/document/97458>
- Salvatori V. and Linne J., 2005, *Report on the conservation status and threats for wolf (Canis lupus) in Europe*, Council of Europe, CONVENTION ON THE CONSERVATION OF EUROPEAN WILDLIFE AND NATURAL HABITATS. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/228641574_Report_on_the_Conservation_Status_and_Threats_for_Wolf_Canis_lupus_in_Europe
- Sidiropoulos, Konstantinos & Polymeni, Rosa & Legakis, Anastasios. (2016). The evolution of Greek fauna since classical times. Historical Review. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/312943252_The_evolution_of_Greek_fauna_since_classical_times
- Singer, Alexander & Johst, Karin & Banitz, Thomas & Fowler, Mike & Groeneveld, Jurgen & Gutierrez, Alvaro & Hartig, Florian & Krug, Rainer M & Liess, Matthias & Matlack, Glenn & Meyer, Katrin M. & Pe'er, Guy & Radchuk, Viktoriia & Voinopol-Sassu, Ana-Johanna & Travis, Justin, (2015), *Community dynamics under environmental change: How can next generation mechanistic models improve projections of species distributions?*. Ecological Modelling. 326. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380015005281>
- Sovan Lek, J.F. Guégan, (1999), Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction, Ecological Modelling, Volume 120, Issues 2–3, Pages 65-73. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380099000927>
- Steven J. Phillips, Robert P. Anderson, Robert E. Schapire, (2006), *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*, Ecological Modelling, Volume 190, Issues 3–4, Pages 231-259. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000500267X>



Μπιζά Μαρία

«Μοντέλα χαρτογράφησης της κατανομής των ειδών με μεθόδους τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: Μελέτη Περίπτωσης Κατανομή *Canis lupus* στα Αντιχάσια Όρη»

- Tsoar, Asaf & Kadmon, Ronen, (2007), *A comparative evaluation of presenceonly methods for modelling species distribution*, Diversity and Distributions. 13. 397-405. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/200028305_A_comparative_evaluation_of_presenceonly_methods_for_modelling_species_distribution
- Williams HM, Siegrist J, Wilson AM, (2021), *Support for a relationship between demography and modeled habitat suitability is scale dependent for the purple martin Progne subis*, J Anim Ecol, 90(2):356-366. Διαθέσιμο σε: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/1365-2656.13369>
- Wolf Conservation Center. (2020). *Why Do Wolves' Eyes Glow in the Dark?* | Wolf Conservation Center. Διαθέσιμο σε: <https://nywolf.org/2020/05/why-do-wolves-eyes-glow-in-the-dark-4/>
- Yarrow, G. (2009). *Wildlife and Wildlife Management*. [online] Clemson University. Διαθέσιμο σε: <https://dc.statelibrary.sc.gov/server/api/core/bitstreams/7070ca48-d63f-496e-aae4-58c35a537f20/content>
- Yildiz Ay, E., Albayrak, İ., & Kitchener, A.C. (2023). *Pelage coloration and hair structure of the grey wolf (Canis lupus) in Turkey*. Acta Biologica Turcica, 36(1), F2:1-6. Διαθέσιμο σε: <https://actabiologicaturcica.com/index.php/abt/article/viewFile/977/1037>
- Zlatanova, Diana & Ahmed, Atidzhe & Vlasseva, Albena & Genov, Peter. (2014). *Adaptive Diet Strategy of the Wolf (Canis lupus L.) in Europe: a Review*. Acta Zoologica Bulgarica. 66. 439-452. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/270566518_Adaptive_Diet_Strategy_of_the_Wolf_Canis_lupus_L_in_Europe_a_Review