



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΗΣ  
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ  
ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ  
ΣΠΙΖΑΕΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ  
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ  
ΜΕΘΟΔΩΝ

Αρετή Σαγιάκου, *Βιολόγος*

Αθήνα, Ιανουάριος 2021

Επιβλέπων: ΕΔΙΠ ΕΜΠ Δρ. Π. Κολοκούσης

Επιτροπή Παρακολούθησης:

ΕΔΙΠ ΕΜΠ Δρ. Π. Κολοκούσης

Καθηγητής Δ. Αργιαλάς

Καθηγήτρια Β. Καραθανάση

Περιβάλλον

και

Ανάπτυξη





Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών  
ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη  
Διπλωματική εργασία - Σαγιάκου Αρετή

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας, τον Δρ. Πολυχρόνη Κολοκούση και τον Καθηγητή Αργιαλά Δημήτρη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους και για το γενικό ενδιαφέρον τους στο κομμάτι της οικολογίας και διατήρησης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα το έργο *LIFE Bonelli EastMed*, την εταιρεία *Nature Conservation Consultant* και συγκεκριμένα τον Κο Δημαλέξη για τη διάθεση ενός ιδιαίτερα σημαντικού συνόλου δεδομένων, χωρίς το οποίο δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στην εκπόνηση μίας τέτοιας ιδέας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από την καρδιά μου, τον Θανάση μου για την έμπρακτη και πιο πολύ για την συναισθηματική στήριξη και υπομονή του σε αυτό το ταξίδι που λέγεται διπλωματική εργασία.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός περιοχών όπου υπάρχει υψηλή πιθανότητα παρατήρησης φαινομένων ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών (*Aquila fasciata*), ενός μεσαίου μεγέθους αετόμορφου πτηνού, ο πληθυσμός του οποίου παρουσίασε δραματική μείωση τις προηγούμενες δεκαετίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο με την ηλεκτροπληξία και την πρόσκρουση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης να αποτελούν δύο από τις σημαντικότερες αιτίες θνησιμότητας και επομένως μείωσης του πληθυσμού του.

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η περιοχή του Νοτίου Αιγαίου από το επίπεδο της νότιας Εύβοιας και της Σάμου έως τη Ρόδο και την Κάρπαθο. Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής οφείλεται τόσο στη διαθεσιμότητα δεδομένων, τα οποία έγιναν διαθέσιμα για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας μέσω του έργου LIFE17 NAT/GR/000514 και της εταιρείας περιβαλλοντικών συμβούλων Nature Conservation Consultants, όσο και λόγω της στρατηγικής της θέσης σε μια περιοχή που περιλαμβάνεται στο εύρος εξάπλωσης του Σπιζαετού και που παράλληλα έχει συγκεντρώσει επενδυτικό ενδιαφέρον για την ανέγερση αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και επομένως και των συνοδών ηλεκτρικών δικτύων μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας.

Ο προσδιορισμός ευαίσθητων για το είδος περιοχών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δύο τύπων στατιστικών μοντέλων πρόβλεψης. Στο πρώτο μοντέλο πρόβλεψης ως βιολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν θέσεις φωλεοποίησης του Σπιζαετού και ως επεξηγηματικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικές και κλιματικές μεταβλητές, χαρακτηριστικά του τοπίου (καλύψεις γης) και της έντασης της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στο δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης ως βιολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στίγματα GPS ανήλικου ατόμου Σπιζαετού και ως επεξηγηματικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηριστικά του τοπίου (καλύψεις γης) και οι ταχύτητες θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων, τα οποία αξιοποιούνται για τη διενέργεια παθητικής πτήσης-ανεμοπορίας από ανεμοπορούντα είδη, όπως ο Σπιζαετός.

Με έμφαση στην εξαγωγή των ταχυτήτων θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων εφαρμόστηκαν τεχνικές τηλεπισκόπησης για την ανάλυση δορυφορικών εικόνων και την εξαγωγή της επιφανειακής θερμοκρασίας του εδάφους. Η προετοιμασία των περιβαλλοντικών υποβάθρων που είχαν τον ρόλο των επεξηγηματικών μεταβλητών στην παραγωγή των μοντέλων πρόβλεψης πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και η παραγωγή των μοντέλων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R και του λογισμικού Maxent.

Από τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου πρόβλεψης παρατηρήθηκε ότι η κατανομή του Σπιζαετού στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου καθορίζεται από τοπογραφικούς παράγοντες που σχετίζονται με την ετερογένεια του εδάφους και την διαθεσιμότητα γκρεμών/πλαγιών, κλιματικούς παράγοντες που περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία και από τη διαθεσιμότητα λείας που σχετίζεται έμμεσα μέσω των καλύψεων γης, επιβεβαιώνοντας το πρότυπο που χαρακτηρίζει την κατανομή του Σπιζαετού σε ορεινές περιοχές με χαρακτηριστικά Μεσογειακού κλίματος. Από το δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης δεν παράχθηκαν αποτελέσματα που να μπορούν να συμβάλουν στον προσδιορισμό ευαίσθητων περιοχών, λόγω της υπο-αντιπροσώπευσης της πλειοψηφίας της περιοχής μελέτης όσον αφορά τις γνωστές θέσεις παρουσίας του είδους.

Τελικά, ως περιοχές εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας χαρακτηρίζονται οι περιοχές εντός ακτίνας 4km από τις γνωστές θέσεις φωλεοποίησης, όπου συγκεντρώνεται η δραστηριότητα των επικρατειακών Σπιζαετών και ως περιοχές υψηλής ευαισθησίας σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης προσδιορίστηκαν κυρίως περιοχές με ορεινό ανάγλυφο και σε παραλιακούς γκρεμούς στα νησιά του



Αιγαίου που περιλαμβάνουν περιοχές όπως ο κεντρικός ορεινός όγκος της Νάξου, η περιοχή της Νότιας Άνδρου, τα νότια παράλια της Ικαρίας, η δυτική Σάμος και η Βόρεια Κάρπαθος. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλότερες ταχύτητες ανέμων, τόσο λόγω των δυνατών ανέμων που πνέουν στην περιοχή του Αιγαίου, όσο και λόγω του μεγαλύτερου υψομέτρου τους, επομένως δύνανται να συγκεντρώσουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την τοποθέτηση αιολικών πάρκων, επομένως και των συνοδών ηλεκτρικών δικτύων, με το ζήτημα της χωροθέτησης των δικτύων να χρίζει προσοχής για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του πληθυσμού του Σπιζαετού.

**Λέξεις κλειδιά:** Σπιζαετός, *Aquila fasciata*, ανεμοπορία, αετοί, μοντελοποίηση, *Species distribution modelling*, Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα, Μέγιστη εντροπία, *Maxent*, τηλεπισκόπηση, θερμικά ανοδικά ρεύματα, ορογραφικά ρεύματα, τοπογραφικές παράμετροι, κλιματικές παράμετροι, καλύψεις γης, διαθεσιμότητα λείας



## ABSTRACT

The aim of this thesis was to identify areas where there is a high probability of observation of electrocution and/or collision phenomena of Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*), a medium-sized eagle, whose population has decreased dramatically in the recent decades at the European level with the impact on the electricity network in terms of electrocutions and collisions to be two of the most important causes of mortality and therefore population decline.

The study area was defined as the area of the South Aegean from the level of southern Evia and Samos to Rhodes and Karpathos. The choice of this area is due both to the availability of data, which became available for the preparation of this work through the project LIFE17 NAT/GR/000514 and the environmental consultancy Nature Conservation Consultants, as well as the strategic location of an area that is included in the range of Bonelli's eagle and which at the same time has gathered investment interest for the construction of wind power plants and therefore the accompanying electricity transmission networks.

The identification of species-sensitive areas was performed using two methods of statistical modelling. In the first prediction model, Bonelli's eagle nesting sites were used as biological data and topographic and climatic variables, characteristics of the landscape (land cover) and the intensity of human activity were used as explanatory variables. In the second prediction model, GPS tracks of an immature Bonelli's eagle were used as biological data and landscape characteristics (land cover) and the velocities of thermal and orographic uplifts were used as explanatory variables, which are used for soaring flight.

With emphasis to the extraction of thermal and orographic uplift velocities, remote sensing techniques were applied to analyze satellite images and extract the land surface temperature. The preparation of the environmental backgrounds that had the role of explanatory variables in the production of forecasting models was carried out in a Geographic Information Systems (GIS) environment and the production of the models was carried out using the R programming language and Maxent software.

From the results of the first predictive model, it was observed that the distribution of Bonelli's eagle in the South Aegean region is determined by topographic factors related to soil heterogeneity and cliff availability, climatic factors including solar radiation and prey availability, indirectly through land cover, confirming the pattern that characterizes the distribution of Bonelli's eagle in mountainous areas with Mediterranean climate characteristics. The second predictive model did not produce results that could contribute to the identification of sensitive areas, due to the under-representation of the majority of the study area in terms of known locations of the species.

Finally, areas characterized as extremely sensitive are these within a radius of 4km from the known nesting sites, where the activity of terrestrial eagles is concentrated and areas with high susceptibility to electrocution and/or collision phenomena were identified mainly in areas with mountainous terrain and coastal cliffs in the Aegean islands that include areas such as the central mountain range of Naxos, the area of South Andros, the southern coast of Ikaria, western Samos and northern Karpathos. These areas are characterized by higher wind speeds, both due to the strong winds that blow in the Aegean region,



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών  
ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη  
Διπλωματική εργασία - Σαγιάκου Αρετή

and due to their higher altitude, so they can concentrate more interest on the installation of wind farms, and therefore the accompanying electrical networks, with the issue of siting of the network to be of primary importance in order ensure the integrity of the population of Bonelli's Eagle.

**Keywords:** Bonelli's eagle, *Aquila fasciata*, soaring, eagles, Species Distribution Modelling, Generalized Linear Models (GLM), Maximum Entropy, Maxent, remote sensing, thermal uplifts, orographic uplifts, topographic parameters, cliff availability, climatic parameters, land cover, prey availability



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	II
ABSTRACT .....	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>14</b>
<b>2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....</b>	<b>16</b>
<b>3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....</b>	<b>18</b>
3.1. ΤΟ ΕΙΔΟΣ <i>AQUILA FASCIATA</i> .....	18
3.2. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΟΥ ΕΓΚΥΜΟΝΕΙ Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΡΝΙΘΟΠΑΝΙΔΑΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	19
3.3. ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	20
3.3.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΕΙΔΩΝ ΟΡΝΙΘΟΠΑΝΙΔΑΣ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ .....	20
3.3.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ .....	23
3.3.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ 24	
3.4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ (SPECIES DISTRIBUTION MODELLING) .....	26
3.4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ .....	26
3.4.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΔΥΝΑΝΤΑΙ ΝΑ ΚΑΘΟΡΙΣΟΥΝ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ .....	27
3.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ .....	29
<b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>31</b>
4.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	31
4.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ .....	31
4.3. ΕΞΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ .....	35
4.3.1. ΕΞΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΟΔΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ .....	36
4.3.2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ .....	39
4.4. ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ ΜΕΣΩ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	41
4.4.1. 1 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ: GENERALIZED LINEAR MODEL (GLM).....	42





4.4.2.	1 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ: MAXIMUM ENTROPY MODEL (MAXENT) .....	51
4.4.3.	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ.....	53
4.4.3.1.	ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΘΕΣΕΩΝ GPS.....	54
4.4.3.2.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΠΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΗ (FLIGHT & NON-FLIGHT).....	57
4.4.3.3.	ΤΕΛΙΚΟ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ .....	57
4.4.4.	2 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ: GENERALIZED LINEAR MODEL (GLM).....	58
4.5.	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	62
<b>5.</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>65</b>
5.1.	ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	65
5.2.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΑ .....	67
5.2.1.	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΑ.....	68
5.2.2.	ΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ.....	71
5.2.3.	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΑ.....	72
5.2.4.	ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΑΝΟΔΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ .....	74
5.2.5.	ΘΕΡΜΙΚΑ ΑΝΟΔΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ .....	76
5.3.	ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (GENERALIZED LINEAR MODELS – GLM) – 1 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	79
5.3.1.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΓΝΩΣΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ.....	79
5.3.2.	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΕΥΔΟ-ΑΠΟΥΣΙΩΝ.....	83
5.3.3.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ .....	83
5.3.4.	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ & ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	84
5.4.	ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (GENERALIZED LINEAR MODELS – GLM) – 2 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	90
5.4.1.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΓΝΩΣΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ.....	90
5.4.2.	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΕΥΔΟ-ΑΠΟΥΣΙΩΝ.....	93
5.4.3.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ .....	93
5.4.4.	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ & ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	94
5.5.	MAXIMUM ENTROPY (MAXENT) - 1 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ .....	97
5.6.	MAXIMUM ENTROPY (MAXENT) - 2 <sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ .....	100
5.7.	ΧΑΡΤΕΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	104
<b>6.</b>	<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>106</b>



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών  
ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη  
Διπλωματική εργασία - Σαγιάκου Αρετή

<b>7.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>113</b>
<b>8.</b>	<b>ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>113</b>
<b>9.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>115</b>



### Κατάλογος εικόνων:

Εικόνα 1: Παγκόσμιο εύρος εξάπλωσης του Σπιζαετού. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές όπου το είδος έχει παρατηρηθεί ότι αναπαράγεται (breeding) και με μπλε χρώμα οι περιοχές όπου έχει καταγραφεί ως επισκέπτης/μεταναστευτικό (non-breeding) (Πηγή: Birdlife International, 2021).....	18
Εικόνα 2: Επάνω: Σχεδιάγραμμα κίνησης ανεμοπορούντων ειδών σε θερμικά και ορογραφικά ανοδικά ρεύματα (Πηγή: Nourani and Yamaguchi, 2017), Κάτω: Προσομοίωση κίνησης αρπακτικών πτηνών επάνω σε θερμικά (αριστερά) και ορογραφικά (δεξιά) ρεύματα με τη χρήση πραγματικών δεδομένων GPS (Πηγή: Santos et al., 2017) .....	21
Εικόνα 3: Κίνηση ατόμου Σπιζαετού εντός της επικράτειας. Οι κόκκινες γραμμές υποδηλώνουν διαδρομές του Σπιζαετού και τα kernel την πιθανότητα κίνησης εντός αυτών με πιθανότητα 95, 80 και 50% από μέσα προς τα έξω (Πηγή: Rollan et al., 2010) .....	23
Εικόνα 4: Διατάξεις αλληλεπίδρασης του ηλεκτρικού κυκλώματος με μεγαλόσωμο αρπακτικό που μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία. Δεξιά παρουσιάζεται επαφή τύπου φάση-γείωση και αριστερά επαφή τύπου φάση-φάση (Πηγή: Real et al., 2001).....	24
Εικόνα 5: Διαγραμματική απεικόνιση του φαινομένου πρόσκρουσης πουλιών σε καλώδια υψηλής (αριστερά) και μέσης (δεξιά) τάσης (Πηγή: Real et al., 2001).....	25
Εικόνα 6: Βήματα για τη δημιουργία χάρτη πρόβλεψης της δυνητικής παρουσίας ενός είδους (Πηγή: Franklin, 2009) .....	26
Εικόνα 7: Μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή μελέτη από τους οποίους εξήχθησαν η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου για την περίοδο Μάιος – Σεπτέμβριος 2020 .....	39
Εικόνα 8: Πρακτικά βήματα δημιουργίας χάρτη πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής ενός είδους (Πηγή: Franklin, 2009) .....	41
Εικόνα 9: Κεντρικό πλαίσιο διαλόγου του λογισμικού Maxent.....	53
Εικόνα 10: Προσομοίωση του τρόπου βαθμονόμησης των εικονοστοιχείων (pixels) για την εξαγωγή του χάρτη ευαισθησίας .....	64
Εικόνα 11: Απεικόνιση του συντελεστή συσχέτισης $R^2$ ανά ζεύγος μεταβλητών.....	84
Εικόνα 12: Καμπύλη ROC για το βέλτιστο μοντέλο GLM με τιμή $AUC=0.892$ .....	88
Εικόνα 13: Απεικόνιση του συντελεστή συσχέτισης $R^2$ ανά ζεύγος μεταβλητών. Με τα αρχικά TU απεικονίζεται η ταχύτητα θερμικών ρευμάτων και με τα αρχικά OU, η ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων.. Από το διάγραμμα της εικόνας φαίνεται ότι οι επεξηγηματικές μεταβλητές δεν παρουσιάζουν συσχέτιση μεταξύ τους. ....	94
Εικόνα 14: Καμπύλη ROC για το βέλτιστο μοντέλο με τη χρήση της μεθόδου μέγιστης εντροπίας. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η καμπύλη ROC για τα δεδομένα εκπαίδευσης-training data του μοντέλου ( $AUC=0.955$ ), με μπλε χρώμα η καμπύλη ROC για τα δεδομένα επαλήθευσης-test data ( $AUC=0.924$ ) και με μαύρο χρώμα η καμπύλη ROC τυχαίας πρόβλεψης ( $AUC=0.5$ ) .....	98
Εικόνα 15: Νησιά του Νοτίου Αιγαίου όπου βάση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας παρατηρούνται περιοχές υψηλής ευαισθησίας σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης. Οι θέσεις εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας δεν παρατίθενται για λόγους προστασίας ευαίσθητων δεδομένων.....	112

### Κατάλογος πινάκων:

Πίνακας 1: Περιβαλλοντικές-επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο μοντέλο πρόβλεψης και μέθοδος ευθυγράμμισης (alignment) που χρησιμοποιήθηκε .....	44
Πίνακας 2: Περιβαλλοντικές-επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης και μέθοδος ευθυγράμμισης (alignment) που χρησιμοποιήθηκε .....	59



Πίνακας 2: Κατηγορίες- επίπεδα, οι συνδυασμοί των οποίων θα καθορίσουν τον βαθμό επικινδυνότητας που θα φέρει κάθε εικονοστοιχείο στον τελικό χάρτη ευαισθησίας.....	63
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά περιβαλλοντικών μεταβλητών: ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή εντός της περιοχής μελέτης.....	67
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικές τιμές (ελάχιστη, μέγιστη, μέση και μεσαία τιμή) των ανεξάρτητων περιβαλλοντικών μεταβλητών στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού.....	79
Πίνακας 5: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του Saturated μοντέλου.....	85
Πίνακας 6: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου μοντέλου GLM.....	86
Πίνακας 7: Κατώτατο (2.5%) και ανώτατο (97.5%) του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης του λόγου των σχετικών πιθανοτήτων (Odds ratio) και εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας για τις παραμέτρους του μοντέλου.....	87
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικές τιμές (ελάχιστη, μέγιστη, μέση και μεσαία τιμή) των ανεξάρτητων περιβαλλοντικών μεταβλητών στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού.....	90
Πίνακας 9: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του Saturated μοντέλου.....	94
Πίνακας 10: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του Saturated μοντέλου.....	95
Πίνακας 11: Κατώτατο (2.5%) και ανώτατο (97.5%) του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης του λόγου των σχετικών πιθανοτήτων (Odds ratio) και εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας για τις παραμέτρους του μοντέλου.....	96

### Κατάλογος Χαρτών:

Χάρτης 1: Περιοχή μελέτης η οποία περιλαμβάνει τη Νότια Εύβοια, τα νησιά των Κυκλάδων και τα Δωδεκάνησα (Περιφερειακή Ενότητα Νοτίου Αιγαίου), καθώς και την Ικαρία και τη Σάμο. ....	17
Χάρτης 2: Θεσεις γνωστών θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού στη περιοχή μελέτης. Απεικόνιση σε διευρυμένα buffer λόγω παρουσίας ευαίσθητων δεδομένων.....	65
Χάρτης 3: Θέσεις όπου καταγράφηκε παρουσία νεαρού ατόμου Σπιζαετού μέσω πομπού GPS.....	66
Χάρτης 4: Απεικόνιση του εύρους τιμών του υψομέτρου από την επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή μελέτης.....	68
Χάρτης 5: Απεικόνιση του εύρους τιμών του προσανατολισμού του εδάφους στην περιοχή μελέτης.....	68
Χάρτης 6: Απεικόνιση του εύρους τιμών της κλίσης του εδάφους στην περιοχή μελέτης.....	69
Χάρτης 7: Απεικόνιση του εύρους τιμών του βαθμού δημιουργίας φαραγγιών σε μέτρα στην περιοχή μελέτης ...	69
Χάρτης 8: Απεικόνιση του εύρους τιμών του δείκτη που χαρακτηρίζει την ένταση της υψομετρικής διαφοράς (TPI) στην περιοχή μελέτης.....	70
Χάρτης 9: Απεικόνιση του εύρους τιμών του δείκτη που χαρακτηρίζει την ετερογένεια του εδάφους (TRI) στην περιοχή μελέτης.....	70
Χάρτης 10: Απεικόνιση των κατηγοριών χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.....	71
Χάρτης 11: Απεικόνιση του εύρους τιμών της απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό στην περιοχή μελέτης ...	71
Χάρτης 12: Απεικόνιση του εύρους τιμών βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης.....	72
Χάρτης 13: Απεικόνιση του εύρους τιμών ηλιακής ακτινοβολίας (kJ/m <sup>2</sup> day) στην περιοχή μελέτης.....	72
Χάρτης 14: Απεικόνιση του εύρους τιμών μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης.....	73
Χάρτης 15: Απεικόνιση του εύρους τιμών μέσης θερμοκρασίας τους θερμότερους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στην περιοχή μελέτης.....	73
Χάρτης 16: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	74
Χάρτης 17: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	74



Χάρτης 18: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	75
Χάρτης 19: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	75
Χάρτης 20: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	76
Χάρτης 21: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	76
Χάρτης 22: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	77
Χάρτης 23: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	77
Χάρτης 24: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	78
Χάρτης 25: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	78
Χάρτης 26: Απεικόνιση των θέσεων ψευδο-απουσίας του είδους που δημιουργήθηκαν εντός ακτίνας 5km από τις γνωστές θέσεις παρουσίας. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η χέρσος εντός ακτίνα 5km και με πράσινο οι σημειακές θέσεις ψευδο-απουσιών. ....	83
Χάρτης 27: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων .....	89
Χάρτης 28: Απεικόνιση των θέσεων ψευδο-απουσίας του είδους που δημιουργήθηκαν εντός της περιοχής μελέτης με τυχαία δειγματοληψία. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι σημειακές θέσεις ψευδο-απουσιών.....	93
Χάρτης 29: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας .....	99
Χάρτης 30: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Μάιο .....	101
Χάρτης 31: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Ιούνιο .....	101
Χάρτης 32: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Ιούλιο .....	102
Χάρτης 33: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Αύγουστο .....	102
Χάρτης 34: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Σεπτέμβριο .....	103
Χάρτης 35: Απεικόνιση των περιοχών εντός των οποίων η παρουσία δικτύου ηλεκτροδότησης δύναται να παρουσιάζει μικρή (ροζ ανοιχτό χρώμα), μέση (πορτοκαλί χρώμα), υψηλή (κόκκινο χρώμα) και εξαιρετικά υψηλή (μωβ χρώμα) επικινδυνότητα σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών με βάση τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων πρόβλεψης .....	104
Χάρτης 36: Απεικόνιση των τμημάτων του δικτύου μέσης τάσης στο νησί της Σάμου με μέση (πορτοκαλί χρώμα) και υψηλή (κόκκινο χρώμα) επικινδυνότητα παρατήρησης φαινομένων ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών με βάση τα δεδομένα που παράχθηκαν από το ένα μοντέλο πρόβλεψης ....	105



### Κατάλογος Γραφημάτων:

Γράφημα 1: Εύρος τιμών του υψομέτρου από την επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή μελέτης.....	68
Γράφημα 2: Εύρος τιμών του προσανατολισμού του εδάφους στην περιοχή μελέτης.....	68
Γράφημα 3: Εύρος τιμών της κλίσης του εδάφους στην περιοχή μελέτης.....	69
Γράφημα 4: Εύρος τιμών του βαθμού δημιουργίας φαραγγίων σε μέτρα στην περιοχή μελέτης .....	69
Γράφημα 5: Εύρος τιμών του δείκτη που χαρακτηρίζει την ένταση της υψομετρικής διαφοράς (TPI) στην περιοχή μελέτης.....	70
Γράφημα 6: Εύρος τιμών του δείκτη που χαρακτηρίζει την ετερογένεια του εδάφους (TRI) στην περιοχή μελέτης .	70
Γράφημα 7: Εύρος των κατηγοριών χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.....	71
Γράφημα 8: Εύρος τιμών της απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό στην περιοχή μελέτης.....	71
Γράφημα 9: Εύρος τιμών βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης .....	72
Γράφημα 10: Εύρος τιμών ηλιακής ακτινοβολίας (kJ/m <sup>2</sup> day) στην περιοχή μελέτης.....	72
Γράφημα 11: Εύρος Γράφημα 35 τιμών μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης .....	73
Γράφημα 12: Εύρος τιμών μέσης θερμοκρασίας τους θερμότερους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στην περιοχή μελέτης .....	73
Γράφημα 13: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης .....	74
Γράφημα 14: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης .....	74
Γράφημα 15: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης .....	75
Γράφημα 16: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	75
Γράφημα 17: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	76
Γράφημα 18: Εύρος τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης ...	76
Γράφημα 19: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	77
Γράφημα 20: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	77
Γράφημα 21: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης .....	78
Γράφημα 22: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης.....	78
Γράφημα 23 - 24: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές Υψομέτρου σε μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (DEM - αριστερά) και Κατεύθυνσης του εδάφους σε μοίρες (Aspect - δεξιά). .....	80
Γράφημα 25 - 26: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές Κλίσης του εδάφους σε μοίρες (Slope - αριστερά) και βαθμού Εκβάθυνσης σε μέτρα (Valley depth - δεξιά). .....	80
Γράφημα 27 - 28: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές του δείκτη Topographic Position Index (TPI - αριστερά) και του δείκτη Terrain Ruggedness Index (TRI - δεξιά). .....	81
Γράφημα 29 - 30: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές Απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό σε μέτρα (Distance to settlements - αριστερά) και Κατηγοριών καλύψεων γης (Land cover - δεξιά). Οι καλύψεις γης που απεικονίζονται στο γράφημα είναι τα ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα (grasslands) και οι φρυγανότοποι (schrublands). .....	81
Γράφημα 31 - 32: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές της βροχόπτωσης (Precipitation - αριστερά) και της ηλιακής ακτινοβολίας (Solar radiation - δεξιά). .....	82



Γράφημα 33 - 34: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (Average Annual temperature - αριστερά) και της μέσης θερμοκρασίας των θερμότερων μηνών (Annual temperature of the warmest months- δεξιά). .....	82
Γράφημα 35: Εύρος των τιμών ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων (Orographic Uplift Velocity) για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο 2020 εντός της περιοχής μελέτης στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού. ....	91
Γράφημα 36: Εύρος των τιμών ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων (Thermal Uplift Velocity) για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο 2020 εντός της περιοχής μελέτης στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού. ....	91
Γράφημα 37: Εύρος των κατηγοριών χρήσεων γης (Land cover) για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο 2020 εντός της περιοχής μελέτης στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού. ....	92
Γράφημα 38: Συμβολή των επεξηγηματικών μεταβλητών στην ποιότητα του μοντέλου. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κέρδος που προσφέρει κάθε επεξηγηματική μεταβλητή όταν εισέρχονται στο μοντέλο μόνες τους (leave one out) .....	97
Γράφημα 39: Συμβολή των επεξηγηματικών μεταβλητών στην ποιότητα του μοντέλου. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κέρδος που προσφέρει κάθε επεξηγηματική μεταβλητή όταν εισέρχονται στο μοντέλο μόνες τους (leave one out) .....	98
Γράφημα 40: Συμβολή των επεξηγηματικών μεταβλητών στην ποιότητα του μοντέλου. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κέρδος που προσφέρει κάθε επεξηγηματική μεταβλητή όταν εισέρχονται στο μοντέλο μόνες τους (leave one out) .....	100



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την σκιαγράφηση μεθοδολογιών που θα συμβάλλουν στην καλύτερη εναρμόνιση της βιωσιμότητας της ορνιθοπανίδας άρα και της βιοποικιλότητας με την ανάπτυξη έργων υποδομής και συγκεκριμένα με το υφιστάμενο και υπό ανάπτυξη δίκτυο ηλεκτρισμού στην περιοχή των νησιών του Νοτίου Αιγαίου, της Ικαρίας και της Σάμου, καθώς και της Νότιας Εύβοιας (Χάρτης 1), με τη χρήση στατιστικών και τηλεπισκοπικών μεθόδων.

Η παραγωγή και μεταφορά της ενέργειας έχει υπάρξει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του ανθρώπου καθώς συνοδεύει την πλειονότητα των δραστηριοτήτων του. Παράλληλα, στο πλαίσιο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής μεγάλη προσοχή επικεντρώνεται στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και ηλιακή ενέργεια. Τέτοιου είδους έργα όπως είναι τα αιολικά πάρκα συνοδεύονται πάντα με την ανάπτυξη ηλεκτρικού δικτύου για τη διασύνδεση τους με το κυρίως ηλεκτρικό δίκτυο με στόχο τη μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας.

Τα έργα υποδομής του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία, συμπεριλαμβάνουν το δίκτυο μέσης και υψηλής τάσης. Παρότι η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από νησιά τα οποία δεν έχουν διασυνδεθεί με το κυρίως δίκτυο, επομένως δεν έχει αναπτυχθεί δίκτυο υψηλής τάσης στα νησιά αυτά, ορισμένες περιοχές έχουν διασυνδεθεί όπως αυτή της Νότιας Εύβοιας, της Άνδρου και της Τήνου, ενώ υπάρχουν παράλληλα και πολλαπλά σχέδια διασύνδεσης των νησιών λόγω του υψηλού επενδυτικού ενδιαφέροντος που έχουν συγκεντρώσει για την οικοδόμηση αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας σε αυτά.

Την ίδια στιγμή, τόσο η γραμμή παραγωγής της ενέργειας αυτή καθ' εαυτή, όσο και η ανάπτυξη του δικτύου μεταφοράς αυτής έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται με ποικίλες πιέσεις και επιπτώσεις στο περιβάλλον και συγκεκριμένα τη χλωρίδα και την πανίδα. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον ετήσιο απολογισμό του WWF (WWF, 2018), τρεις από τις συνολικά έξι πιέσεις που σχετίζονται με την απώλεια της βιοποικιλότητας αφορούν την παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.

Οι απειλές που σχετίζονται με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφορούν κυρίως φαινόμενα ηλεκτροπληξίας στους πυλώνες μέσης τάσης και προσκρούσεις σε καλώδια των ειδών που βρίσκονται σε άμεση αλληλεπίδραση με τις δομές αυτές, τα οποία δεν είναι άλλα από τα είδη ορνιθοπανίδας. Συγκεκριμένα, μεταξύ των ομάδων πτηνών που πλήττονται περισσότερο από τέτοιου είδους φαινόμενα είναι τα μεγαλόσωμα αρπακτικά που διανύουν μεγάλες αποστάσεις προς αναζήτηση τροφής ή κατά τη μετανάστευση, χρησιμοποιώντας κυρίως παθητικού τύπου πτήση αξιοποιώντας τα θερμικά και ορογραφικά ρεύματα που αναπτύσσονται κατά μήκος της χέρσου. Τέτοιο είδος είναι και ο Σπιζαετός (*Aquila fasciata*) το πλέον χαρακτηριστικό είδος αετού της Μεσογείου. Η ηλεκτροπληξία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες απειλές που αντιμετωπίζει το είδος (Real and Mañosa, 2001).

Ο Σπιζαετός συναντάται κυρίως σε μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα με αποτέλεσμα η καλή κατάσταση διατήρησης του είδους να αποτελεί παράλληλα δείκτη ποιότητας των μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η μείωση των μεσογειακών οικοσυστημάτων συνδέεται με την εγκατάλειψη των παραδοσιακών μορφών γεωργίας και κτηνοτροφίας επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικά τις





πιθανές περιοχές εξάπλωσης του Σπιζαετού. Παράλληλα, βιομηχανικού τύπου πιέσεις όπως η ολοένα αυξανόμενη ανάπτυξη αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας χωρίς τον πρότερο σχεδιασμό ορθής χωροθέτησης αυτών, συμβάλει περαιτέρω στη μείωση των διαθέσιμων περιοχών όπου το είδος δραστηριοποιείται, αναζητά την τροφή του, φωλιάζει κλπ., ένα φαινόμενο που είναι γνωστό ως απώλεια κατάλληλων ενδιαιτημάτων.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στην ανάγκη λήψης μέτρων για την προστασία του Σπιζαετού αλλά και των ειδών με παρόμοια οικολογικά χαρακτηριστικά (συνήθειες, απειλές που αντιμετωπίζουν κ.α.) όπως είναι άλλα είδη μεγάλωσμων αρπακτικών που χρησιμοποιούν ανεμοπορία, όπως ο Χρυσαιετός (*Aquila chrysaetos*) και τα διάφορα είδη γυπών που συναντώνται στην Ελλάδα (*Gyps fulvus*, *Gypaetus barbatus*, *Aegypius monachus*, *Neorhron percopterus*). Σε αυτήν την κατεύθυνση επιχειρεί να συμβάλει και η παρούσα διπλωματική εργασία.

Αξιοποιώντας σύγχρονα εργαλεία στατιστικής μοντελοποίησης και πρόβλεψης των περιοχών που πληρούν τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά εκείνα που χρειάζονται ώστε μία περιοχή να επιλεγεί από τον Σπιζαετό σαν θέση φωλιάσματος ή σαν περιοχή τροφοληψίας, παράχθηκαν δύο διακριτά μοντέλα πρόβλεψης περιοχών όπου δυνητικά το είδος μπορεί να υφίσταται τώρα ή να εγκατασταθεί στο μέλλον. Η διάκριση των δύο αυτών μοντέλων αφορά τα πρωτογενή δεδομένα καταγεγραμμένης παρουσίας του είδους τα οποία ανήκουν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά θέσεις φωλιάσματος του είδους εντός της περιοχής μελέτης και η δεύτερη θέσεις δραστηριοποίησης αυτού, οι οποίες καταγράφηκαν με τη χρήση πομπού GPS που έφερε ανήλικο άτομο Σπιζαετού. Οι αβιοτικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές κατά την μοντελοποίηση ήταν διαφορετικές για κάθε πηγή πρωτογενών δεδομένων, λόγω των διαφορετικών αναγκών του είδους στις περιπτώσεις που αναζητά θέσεις εγκατάστασης σε σχέση με αυτές οπότε βρίσκεται σε κίνηση ή/και αναζήτηση τροφής.

Επιπλέον, για κάθε ένα από τα δύο μοντέλα πρόβλεψης που παράχθηκαν εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι πρόβλεψης, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων (GLM)* και της μεθόδου *Μέγιστης Εντροπίας* διαμέσου του λογισμικού *Maxent*. Η χρήση των δύο αυτών μεθόδων, δύναται να δώσει περισσότερο έγκυρα δεδομένα τόσο ως προς τον προσδιορισμό των μεταβλητών με την μεγαλύτερη επεξηγηματική ικανότητα, καθώς και την επιβεβαίωση των περιοχών υψηλής πιθανότητας παρουσίας του Σπιζαετού και από τις δύο μεθόδους.

Παράλληλα, μεγάλο μέρος της παραγωγής των μοντέλων πρόβλεψης αποτέλεσε η προετοιμασία των κατάλληλων περιβαλλοντικών επιπέδων με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS), αξιοποιώντας με αυτόν τον τρόπο ένα ευρύ φάσμα των διαθέσιμων στατιστικών μεθόδων και μεθόδων χωρικής ανάλυσης, οι οποίες βρίσκουν σήμερα μεγάλη απήχηση στην επεξεργασία οικολογικών δεδομένων και την παραγωγή έγκυρων επιστημονικών συμπερασμάτων.



## 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα Αιγαίο αποτελεί μία περιοχή όπου ο πληθυσμός του Σπιζαετού έχει μελετηθεί πολύ λίγο και η έως σήμερα διαθέσιμη πληροφορία για τις απειλές που αντιμετωπίζουν οι πληθυσμοί του, καθώς και για τις μετακινήσεις που πραγματοποιεί αφορούν εντός χερσαίων περιοχών (Ισπανία, Ισραήλ) και σε μεγάλα και απομονωμένα νησιά όπως η Κύπρος. Σε αυτές τις περιοχές το είδος κινείται στη χέρσο, ενώ δεν έχουν παρατηρηθεί άτομα να διασχίζουν μεγάλες θαλάσσιες μάζες για να μεταφερθούν από την μία περιοχή στην άλλη.

Από τον Σεπτέμβριο του 2017 έχει ξεκινήσει μία προσπάθεια μελέτης και προστασίας του Σπιζαετού σε συνολικά 18 προστατευόμενες περιοχές του δικτύου Natura 2000 στην Ελλάδα στο πλαίσιο του έργου LIFE Bonelli EastMed «*Διαχείριση και Διατήρηση των Πληθυσμών του Σπιζαετού στην Ανατολική Μεσόγειο*» (LIFE17 NAT/GR/000514) το οποίο συντονίζεται από το Πανεπιστήμιο Κρήτης – Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης σε συνεργασία με την Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία και την εταιρεία Nature Conservation Consultants, ενώ το πρόγραμμα υλοποιείται παράλληλα και στην Κύπρο. Τα βιολογικά δεδομένα παρουσίας του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης διατέθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το έργο και συγκεκριμένα της εταιρεία Nature Conservation Consultants, η οποία είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση του έργου στην περιοχή των νησιών του Αιγαίου.

Πρώιμα δεδομένα παρακολούθησης των κινήσεων του Σπιζαετού στο Αιγαίο διαμέσου του έργου LIFE17 NAT/GR/000514 έχουν δείξει ότι η μετακίνηση ατόμων μεταξύ των νησιών του Αιγαίου διασχίζοντας τη θάλασσα δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τις μετακινήσεις του Σπιζαετού υποδεικνύοντας ότι ο πληθυσμός του είδους στα νησιά του Αιγαίου είναι ενιαίος και δεν ακολουθεί τα πρότυπα των μεγαλύτερων και πιο απομονωμένων περιοχών όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Παράλληλα, πέρα από το επιστημονικό ενδιαφέρον αποσαφήνισης της πραγματικής εξάπλωσης του είδους στην περιοχή, ο Σπιζαετός και τα άλλα είδη μεγαλόσωμων αρπακτικών χρίζουν προσοχής λόγω της επιβεβαιωμένης ευαισθησίας τους σε ογκώδεις υποδομές όπως είναι οι πυλώνες ηλεκτροδότησης και οι ανεμογεννήτριες, η αύξηση των οποίων στην Ελλάδα επομένως και στην περιοχή του Αιγαίου, την τελευταία δεκαετία παρουσιάζουν εκθετικούς ρυθμούς.

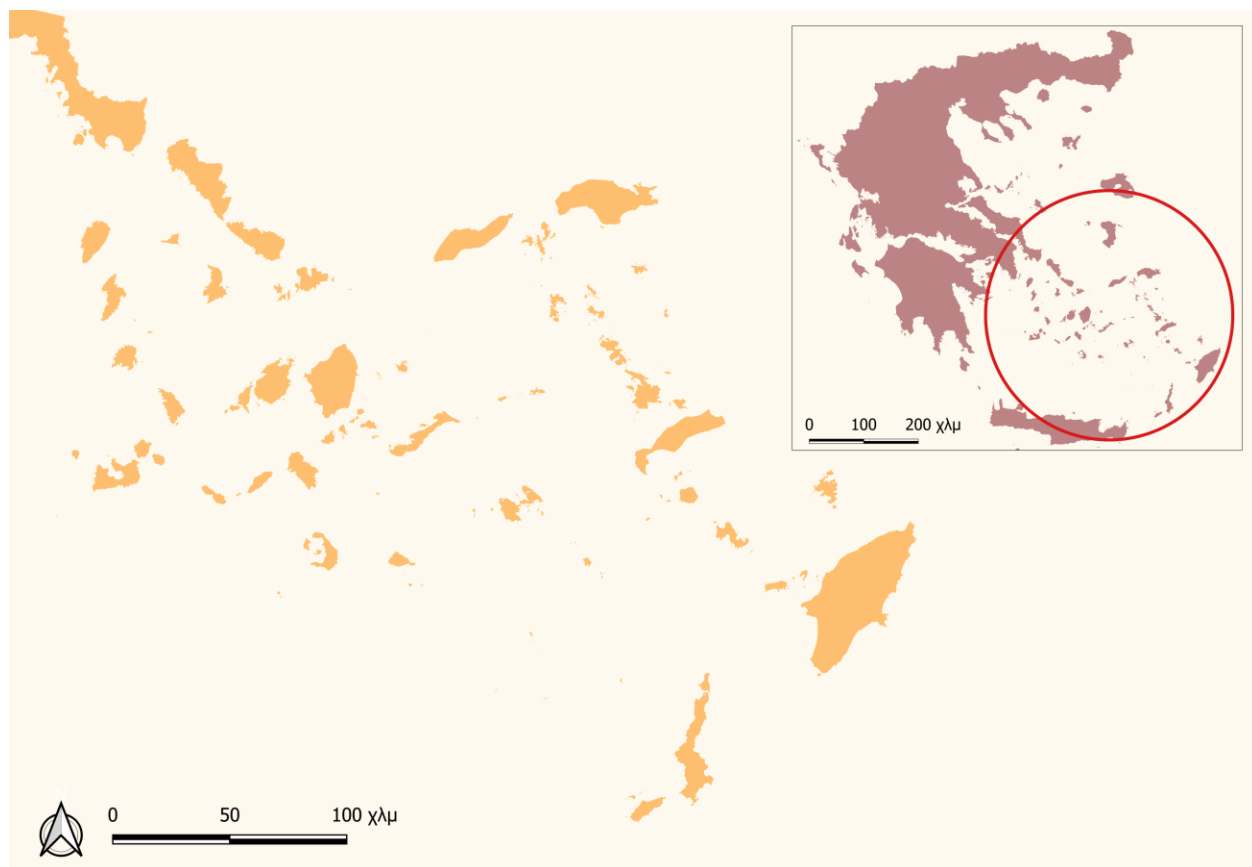
Πιο αναλυτικά, τα νησιά και οι νησίδες του Αιγαίου έχουν προσελκύσει επενδυτικό ενδιαφέρον για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, τα οποία συνεπάγονται και την ανάπτυξη και επέκταση του δικτύου υψηλής και μέσης τάσης προκειμένου να διασυνδεθούν τα πάρκα στο ηλεκτρικό δίκτυο και να διοχετευτεί η παραγόμενη ενέργεια στην υπόλοιπη χώρα ή και στο εξωτερικό προς πώληση. Ήδη βρίσκονται υπό σχεδιασμό ή/και κατασκευή σχέδια εναλλακτικών δικτύων διασύνδεσης της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα νησιά του Αιγαίου και την Εύβοια.

Παρόμοια εικόνα πίεσης λόγω της εγκατάστασης μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών και της ανάπτυξης νέων δικτύων ηλεκτρισμού παρατηρείται και στην περιοχή της Νότιας Εύβοιας, μία από τις περιοχές με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα.



Παράλληλα, εκτός των νέο-σχεδιαζόμενων δικτύων εξίσου σημαντική είναι και η ταυτοποίηση περιοχών εντός του υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου όπου λόγω της υψηλής πιθανότητας παρουσίας Σπιζαετών υπάρχει και υψηλή πιθανότητα καταγραφής φαινομένων ηλεκτροπληξίας.

Σε αυτό το πλαίσιο είναι σημαντικό να καταδειχθούν ευαίσθητες θέσεις όπου ο Σπιζαετός φωλιάζει ή δραστηριοποιείται στην περιοχή των νησιών του Νοτίου Αιγαίου, της Ικαρίας και της Σάμου, καθώς και της Νότιας Εύβοιας (Χάρτης 1) προκειμένου να αποφευχθεί η εγκατάσταση ογκωδών υποδομών όπως οι πυλώνες ηλεκτροδότησης και οι ανεμογεννήτριες οι οποίες εγείρουν υψηλό κίνδυνο πρόσκρουσης ή/και ηλεκτροπληξίας του είδους με αποτέλεσμα να τίθεται θέμα βιωσιμότητας του τοπικού πληθυσμού του είδους και παράλληλα να ληφθούν μέτρα προστασίας για το υφιστάμενο δίκτυο.



Χάρτης 1: Περιοχή μελέτης η οποία περιλαμβάνει τη Νότια Εύβοια, τα νησιά των Κυκλάδων και τα Δωδεκάνησα (Περιφερειακή Ενότητα Νοτίου Αιγαίου), καθώς και την Ικαρία και τη Σάμο.



### 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

#### 3.1. ΤΟ ΕΙΔΟΣ *Aquila fasciata*

Ο Σπιζαετός (*Aquila fasciata*) είναι ένα μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους αρπακτικό αετόμορφο της οικογένειας Accipitridae. Αποτελεί χαρακτηριστικό είδος αετού των μεσογειακών οικοσυστημάτων με Παλαιαρκτική και Ινδομαλαισιακή κατανομή, που εκτείνεται από την Ιβηρική Χερσόνησο ως τη Μέση Ανατολή, την Ινδία, την Ινδοκίνα, ενώ ένας απομονωμένος πληθυσμός του είδους έχει βρεθεί και στα νησιά Sundas της Ινδονησίας (υποείδος *A. fasciata renchii* - Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Παγκόσμιο εύρος εξάπλωσης του Σπιζαετού. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές όπου το είδος έχει παρατηρηθεί ότι αναπαράγεται (*breeding*) και με μπλε χρώμα οι περιοχές όπου έχει καταγραφεί ως επισκέπτης/μεταναστευτικό (*non-breeding*) (Πηγή: Birdlife International, 2021)

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την τελευταία ολοκληρωμένη και δημοσιευμένη αναφορά για την κατάσταση του είδους, ο πληθυσμός τους εκτιμάται σε 100-140 ζεύγη με τις περιοχές της Κρήτης, τα νησιά του Αιγαίου και της νότιας Πελοποννήσου να φιλοξενούν το μεγαλύτερο ποσοστό (Bourdakis and Xirouchakis, 2008).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο το είδος έχει χαρακτηριστεί ως Σχεδόν Απειλούμενο σύμφωνα με το IUCN, με τον ευρωπαϊκό πληθυσμό να εκτιμάται σε 1.100-1.200 ζεύγη, ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο χαρακτηρίζεται ως Μειωμένου Ενδιαφέροντος σύμφωνα με το Birdlife International, με τον παγκόσμιο πληθυσμό ωστόσο να εκτιμάται ότι έχει μειούμενη τάση (Birdlife International, 2015). Παράλληλα, αξίζει να αναφερθεί ότι ο Σπιζαετός έχει συμπεριληφθεί στο Παράρτημα I της Οδηγίας για τα Πτηνά (2009/147/EK).

Με το 80% του ευρωπαϊκού πληθυσμού του είδους να συναντάται στην Ιβηρική Χερσόνησο (Gil-Sánchez et al., 2004), η μελέτη του στις χώρες της Ισπανίας και της Γαλλίας έχει συμβάλει σημαντικά στην αποσαφήνιση των ιδιαίτερων οικολογικών αναγκών καθώς και στην προσπάθεια προστασίας του, δεδομένης και της σημαντικής μείωσης που έχει παρατηρηθεί στον πληθυσμό της περιοχής τις τελευταίες δεκαετίες (Gil-Sánchez et al., 2004), η οποία εκτιμάται σε 30% μείωση εντός 54 ετών που



αντιστοιχούν σε περίπου τρεις γενιές. Σήμερα, ο ευρωπαϊκός πληθυσμός του Σπιζαετού εκτιμάται ότι έχει σταθεροποιηθεί, το ίδιο ισχύει και για την Ελλάδα, βάσει της υφιστάμενης γνώσης για το είδος.

Το είδος θεωρείται εξαιρετικά ευάλωτο σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας και σύγκρουσης σε δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρισμού (Janss, 2000). Ενδεικτικά, σε εκτεταμένη έρευνα στην Ισπανία που περιλάμβανε 377 περιστατικά, οι ηλεκτροπληξίες και συγκρούσεις σε δίκτυα μεταφοράς ρεύματος ήταν η σημαντικότερη αιτία θνησιμότητας, ενώ δεύτερη στη σειρά ήταν η σκόπιμη θανάτωση (Real et al., 2001). Η σκόπιμη θανάτωση περιλαμβάνει πυροβολισμούς, παγίδευση και δηλητηριάσεις και αφορά κυρίως σε ενήλικα άτομα, ενώ οι ηλεκτροπληξίες/προσκρούσεις αφορούν κυρίως νεαρά άτομα. Η έκθεση σε μόλυβδο από την κατανάλωση πυροβολημένων θηραμάτων έχει επίσης αρνητικές επιπτώσεις στην αναπαραγωγή του είδους (Gil-Sánchez et al., 2018), λόγω της αντικατάστασης ενηλίκων από νεαρά σε περιοχές με υψηλή θνησιμότητα χωροκρατικών ατόμων (Martínez et al., 2008; Penteriani et al., 2003), δηλαδή ατόμων που η πλειονότητα της δραστηριότητάς τους συγκεντρώνεται εντός οριοθετημένης περιοχής η οποία καλείται επικράτεια στην οποία τα άτομα δημιουργούν τις φωλιές τους, αναζητούν την τροφή τους και αναπαράγονται.

Η επιλογή του εν λόγω είδους οφείλεται τόσο στην διαθέσιμη πληροφορία αναφορικά με τις θέσεις φωλεοποίησης ικανοποιητικού αριθμού ζευγαριών και δραστηριοποίησης στην περιοχή μελέτης (βλ. Κεφάλαιο 2), καθώς και την ανάγκης μελέτης της συγκεκριμένης απειλής, δηλαδή της απώλειας ατόμων λόγω ηλεκτροπληξίας ή πρόσκρουσης στην Ελλάδα δεδομένης της μακρόχρονης μελέτης του προβλήματος στις χώρες της δυτικής Ευρώπης και των δυσμενών για το είδος συμπερασμάτων που έχουν εξαχθεί.

### 3.2. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΟΥ ΕΓΚΥΜΟΝΕΙ Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΡΝΙΘΟΠΑΝΙΔΑΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μελέτη του προβλήματος θανάτωσης πουλιών λόγω πρόσκρουσης ή ηλεκτροπληξίας στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας χρονολογείται ήδη από το 1928 (Michener, 1928), ωστόσο μέσω πρακτικών των τελευταίων δεκαετιών, όπως οι δακτυλιώσεις και η παρακολούθηση πουλιών μέσω πομπών GPS (τηλεμετρία) έχουν αποσαφηνιστεί πολλές πτυχές του προβλήματος.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει επιπτώσεις τόσο στην οικονομία, καθώς οι εταιρίες συχνά βρίσκονται ζημιωμένες λόγω των καταστροφών στο ηλεκτρικό δίκτυο από φαινόμενα πρόσκρουσης πουλιών, ενώ έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις πυρκαγιών που πυροδοτήθηκαν με αυτόν τρόπο (Tintó et al., 2010). Ωστόσο, έχει επιπτώσεις και στην βιοποικιλότητα με πληθώρα δράσεων διατήρησης για την ανάκαμψη πληθυσμών απειλούμενων και προστατευόμενων ειδών, κυρίως σε ότι αφορά μεταναστευτικά είδη, να ανακόπτονται όταν αυτά μεταναστεύουν από την Ελλάδα στην Αφρική και θανατώνονται σε μεγάλο ποσοστό λόγω πρόσκρουσης ή ηλεκτροπληξίας (LIFE BIRDS ON POWER LINES, Egyptian Vulture - New LIFE κ.α.).

Τα δύο προβλήματα που προκύπτουν από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι η **πρόσκρουση** σε καλώδια μεταφοράς ή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και η **ηλεκτροπληξία** σε πυλώνες που υποστηρίζουν το



δίκτυο. Αμφότερα τα φαινόμενα οδηγούν σε τραυματισμό ή θανάτωση των πουλιών (Prinsen et al., 2012).

Στο επόμενο κεφάλαιο πραγματοποιείται λεπτομερής περιγραφή των σχετικών φαινομένων καθώς και των παραγόντων, βιοτικών και αβιοτικών, που καθορίζουν την πιθανότητα παρατήρησης τέτοιων φαινομένων.

### 3.3. ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 3.3.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΕΙΔΩΝ ΟΡΝΙΘΟΠΑΝΙΔΑΣ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ

Μέσα από τη μακροχρόνια μελέτη του προβλήματος που προκαλούν οι ηλεκτροπληξίες και προσκρούσεις στην ορνιθοπανίδα, ερευνητές έχουν προσπαθήσει να αποσαφηνίσουν τους παράγοντες που καθορίζουν την πιθανότητα ένα πουλί να πληγεί από πρόσκρουση ή ηλεκτροπληξία. Οι βασικοί παράγοντες συνοψίζονται σε τρεις κατηγορίες, στους βιολογικούς, τοπογραφικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες (Bevanger, 1994).

Οι **βιολογικοί** παράγοντες συνδέονται κυρίως με ανατομικά και συμπεριφορικά χαρακτηριστικά των ειδών. Τα κυριότερα ανατομικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με την πιθανότητα θανάτωσης από πρόσκρουση ή ηλεκτροπληξία είναι η ικανότητα πτήσης, η οποία εξαρτάται από το συνολικό μήκος των φτερών (άνοιγμα των φτερών) και στην αναλογία μεγέθους σώματος και φτερών. Ακόμη, σημαντικό ανατομικό χαρακτηριστικό που καθορίζει και την ικανότητα αποφυγής τέτοιων υποδομών είναι η όραση.

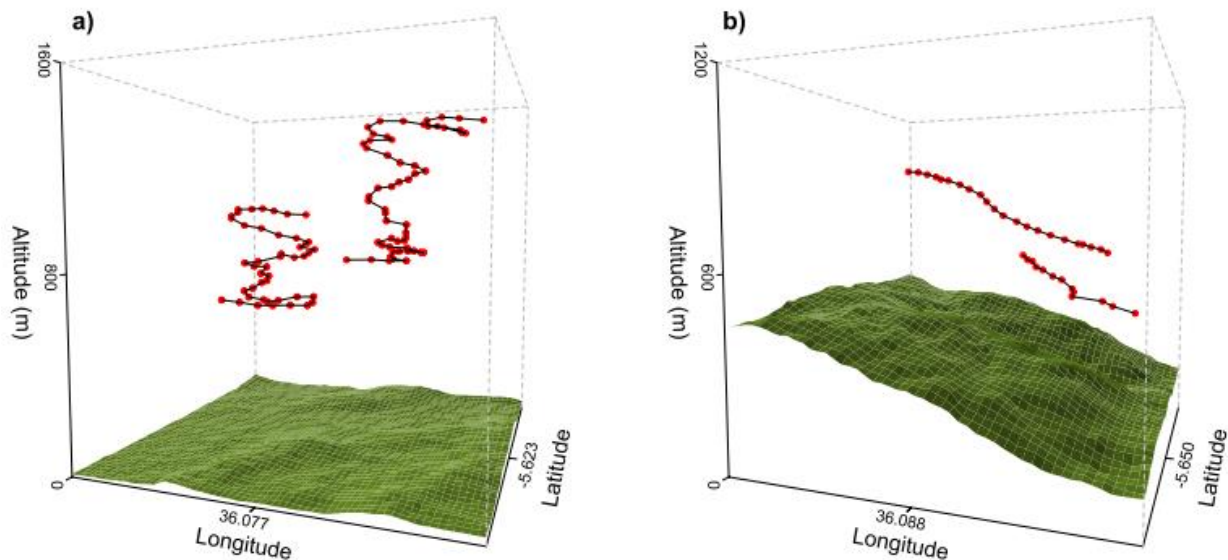
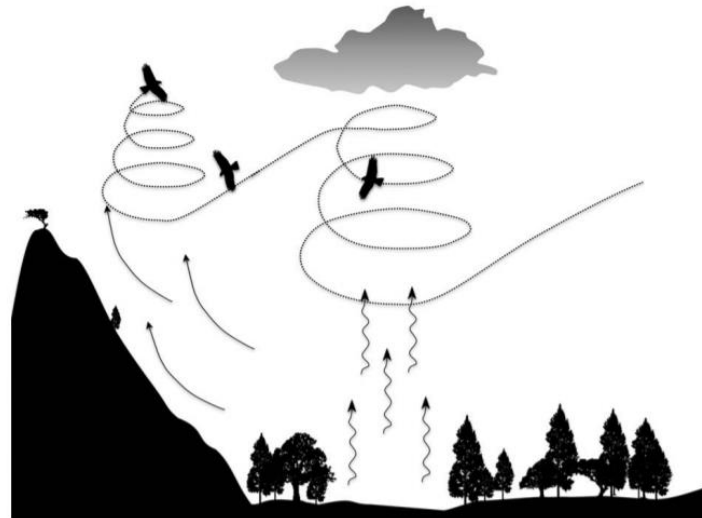
Ορισμένα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την πιθανότητα πρόσκρουσης σε υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας είναι ορισμένες ιδιαίτερες συμπεριφορές που επιδεικνύουν συγκεκριμένες ομάδες ειδών, όπως τα νυκτόβια είδη τα οποία κινούνται μετά το σούρουπο, οπότε η διάκριση ιδιαίτερα των καλωδίων χωρίς σήμανση είναι αδύνατη, οι γαμήλιες πτήσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα πριν την αναπαραγωγική περίοδο και σκοπεύουν στην προσέλκυση των θηλυκών από τα αρσενικά, η καταδίωξη της λείας από τα αρπακτικά πουλιά, οπότε τα πουλιά μπορεί να αναπτύξουν πολύ μεγάλες ταχύτητες με αποτέλεσμα να μην προλάβουν να αντιδράσουν σε πιθανό εμπόδιο και τέλος, η συλλογή τροφής από τους γονείς για τους νεοσσούς, δηλαδή τα μικρά των πουλιών, μία διαδικασία πολύ απαιτητική και αγχώδης για τους γονείς, λόγω υψηλής ευαισθησίας και θνησιμότητας των μικρών (Bevanger, 1994).

Τέλος, σημαντικός παράγοντας όχι αυτή τη φορά της πιθανότητας πρόσκρουσης, αλλά του μεγέθους των επιπτώσεων είναι το μέγεθος του πληθυσμού ενός είδους.

Οι **τοπογραφικοί** παράγοντες συνδέονται με ενδιαίτηματα που αξιοποιούνται από συγκεκριμένες ομάδες ειδών. Συγκεκριμένα οι κορυφογραμμές αξιοποιούνται ιδιαίτερα από ανεμοπορούντα είδη, τα οποία μετακινούνται με παθητική πτήση εκμεταλλευόμενα τα θερμικά και ορογραφικά ρεύματα που αναπτύσσονται σε κορυφές και πλαγιές, αντίστοιχα. Η χρήση των θερμικών ρευμάτων περιλαμβάνει την ανύψωση ακολουθώντας μία κυκλική κίνηση η οποία στη συνέχεια ακολουθείται από κατηφορική κίνηση χωρίς τη διενέργεια πεταρίσματος από το πουλί (αερογλύστριμα) ενώ αυτός ο συνδυασμός κινήσεων επαναλαμβάνεται έως ότου το πουλί φτάσει στο σημείο στόχο (Sage et al., 2019; Bohrer et al.,



2012 - Εικόνα 2). Αντίστοιχα η χρήση των ορογραφικών ρευμάτων παρατηρείται κυρίως σε πλαγιές, όταν οριζόντιοι άνεμοι βρίσκουν κάποιο φυσικό εμπόδιο όπως οι πλαγιές βουνών οπότε αποκλίνουν από την πορεία τους δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ανοδικά ρεύματα που μπορούν να αξιοποιηθούν από τα πουλιά (Sage et al., 2019; Bohrer et al., 2012 - Εικόνα 2). Δεδομένου του ιδιαίτερου τρόπου μετακίνησης αυτών των ειδών, τείνουν να πετούν σε χαμηλότερα υψόμετρα επομένως και να είναι περισσότερο ευάλωτα σε προσκρούσεις (Bevanger, 1994).



Εικόνα 2: Επάνω: Σχεδιάγραμμα κίνησης ανεμοπορούντων ειδών σε θερμικά και ορογραφικά ανοδικά ρεύματα (Πηγή: Nourani and Yamaguchi, 2017), Κάτω: Προσομοίωση κίνησης αρπακτικών πτηνών επάνω σε θερμικά (αριστερά) και ορογραφικά (δεξιά) ρεύματα με τη χρήση πραγματικών δεδομένων GPS (Πηγή: Santos et al., 2017)

Ακόμη, τα μεταναστευτικά είδη αξιοποιούν ιδιαίτερα την ακτογραμμή για να μεταφερθούν από την μία ήπειρο στην άλλη. Συγκεκριμένα για τη χώρα μας τα είδη που μεταφέρονται από την Ελλάδα προς χώρες της Αφρικής αξιοποιούν τα παράλια της Τουρκίας, μία περιοχή που καλείται Ανατολία. Επομένως,



υποδομές που απλώνονται κατά μήκος των ακτογραμμών απειλούν τέτοιες ομάδες πουλιών (Tintó et al., 2010).

Επιπλέον, σε κοιλάδες και ανοίγματα μέσα σε δασικές εκτάσεις, τα πτηνά συχνά αναζητούν την τροφή τους, πετώντας σε χαμηλότερα υψόμετρα, άρα και απειλούνται περισσότερο από υποδομές του δικτύου ηλεκτροδότησης (Jenkins et al., 2010).

Μια ακόμη ομάδα που αντιμετωπίζει υψηλή πιθανότητα πρόσκρουσης είναι τα υδρόβια είδη, καθώς οποιοσδήποτε υποδομές απλώνονται ανάμεσα σε κάποιο υγροβιότοπο και στην περιοχή όπου τα πουλιά αναζητούν την τροφή τους είναι υψηλής επικινδυνότητας (Bevanger, 1994).

Τέλος, οι **περιβαλλοντικοί** παράγοντες αφορούν κυρίως μετεωρολογικούς παράγοντες, οι οποίοι δύνανται να δυσκολέψουν τις συνθήκες στις οποίες τα πουλιά κινούνται, όπως είναι η ομίχλη, η βροχή και το χιόνι, οι οποίες δυσχεραίνουν την ορατότητα, καθώς και ο άνεμος, ο οποίος μπορεί να παρασύρει τα πουλιά (Bevanger, 1994).

Με βάση και τους παραπάνω παράγοντες οι ομάδες ειδών που απειλούνται και πλήττονται ταυτόχρονα περισσότερο από φαινόμενα πρόσκρουσης ή ηλεκτροπληξίας σε υποδομές του δικτύου ηλεκτροδότησης είναι (Jenkins et al., 2010; Bevanger, 1994):

- Οι πελεκάνοι, οι πελαργοί και άλλα μεγαλόσωμα είδη που λόγω βάρους δυσκολεύονται να πραγματοποιήσουν ελιγμούς για να αποφύγουν εμπόδια
- Τα ανεμοπορούντα είδη
- Τα μεταναστευτικά είδη
- Τα εδαφόβια είδη
- Τα παρυδάτια και υδρόβια είδη
- Τα είδη που μετακινούνται σε σμήνη, καθώς η ορατότητα μειώνεται λόγω των ατόμων που βρίσκονται στο εμπρόσθιο μέρος του σμήνους και
- Τα είδη που αναπαράγονται με χαμηλούς ρυθμούς, δηλαδή τα είδη που γεννάνε κάθε χρόνο 1 με 2 μικρά ή και κανένα και τείνουν να έχουν μικρούς πληθυσμούς.

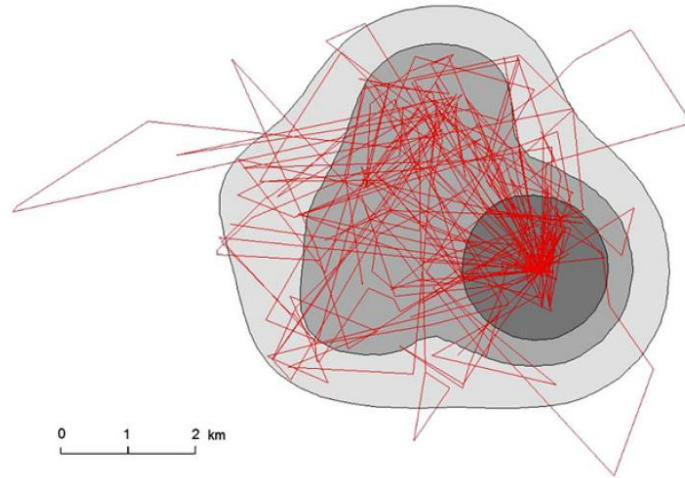
Από τις ομάδες ειδών που μελετώνται περισσότερο είναι οι αετοί και τα όρνια και αυτό διότι παρότι δεν έχουν καταγραφεί υψηλά ποσοστά γεγονότων πρόσκρουσης, εντούτοις τα είδη αυτά κατατάσσονται στην ομάδα ειδών με χαμηλούς ρυθμούς αναπαραγωγής και σε αυτή των ανεμοπορούντων ειδών, συγκεντρώνοντας έτσι την προσοχή των ερευνητών διότι οι πληθυσμοί τους παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά μείωσης λόγω ανθρωπογενών παραγόντων με μία από τις κυριότερες απειλές να αποτελεί η θανάτωση από υποδομές του δικτύου ηλεκτροδότησης, π.χ. για τον **Σπιζαετό** (*Aquila fasciata*) ο οποίος αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί την 1<sup>η</sup> πιο συνήθη αιτία θανάτωσης (Real and Mañosa, 2001) και για τον Γυπαετό (*Gypaetus barbatus*) τη 2<sup>η</sup> (Rollan et al., 2010).

Σύμφωνα με μελέτη των Rollan et al. (2010), στην οποία πραγματοποιήθηκε παρακολούθηση των κινήσεων 21 Σπιζαετών μέσω παρακολούθησης των κινήσεών τους μέσω πομπών GPS, εξέτασαν τη συσχέτιση ορισμένων παραγόντων με τα ποσοστά προσκρούσεων. Οι κυριότεροι παράγοντες που συσχετίστηκαν με τέτοιου είδους ατυχήματα ήταν:





- Το ύψος πτήσης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα ανεμοπορούντα είδη πετούν σε χαμηλότερα υψόμετρα στο επικίνδυνο προς πρόσκρουση ύψος ( $\leq 50\text{m}$ ),
- Το εύρος επικράτειας. Τα είδη αυτά είναι επικρατειακά, δηλαδή φτιάχνουν φωλιές σε μία συγκεκριμένη περιοχή και κινούνται μέσα σε αυτή για την αναζήτηση τροφής και τις λοιπές δραστηριότητες τους,
- Η διαδρομή πτήσης (εκκεντρότητα επικράτειας), οι διάδρομοι δηλαδή που επιλέγει το είδος, όπως αυτοί που επέλεξαν τα 21 άτομα που εξετάστηκαν φαίνονται στην Εικόνα 3 και τέλος,
- Ο τύπος οικοτόπου.



Εικόνα 3: Κίνηση ατόμου Σπιζαετού εντός της επικράτειας. Οι κόκκινες γραμμές υποδηλώνουν διαδρομές του Σπιζαετού και τα kernel την πιθανότητα κίνησης εντός αυτών με πιθανότητα 95, 80 και 50% από μέσα προς τα έξω (Πηγή: Rollan et al., 2010)

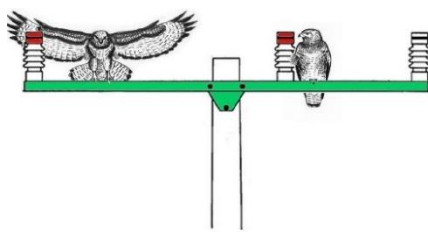
Ο Σπιζαετός ως μεγαλόσωμο αρπακτικό δεν έχει πάντα την δυνατότητα διενέργειας ελιγμών για την αποφυγή εμποδίων, ενώ παράλληλα ανήκει στα ανεμοπορούντα είδη πτηνών που προτιμούν τη διενέργεια παθητικής πτήσης. Τέλος, μία σειρά άλλων παραγόντων συμβάλουν επίσης στον καθορισμό του βαθμού τρωτότητας που παρουσιάζει ο Σπιζαετός ως προς τα φαινόμενα ηλεκτροπληξίας και πρόσκρουσης. Στα επόμενα κεφάλαια πραγματοποιείται προσπάθεια συνοπτικής παρουσίασης των συγκεκριμένων παραγόντων.

### 3.3.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ

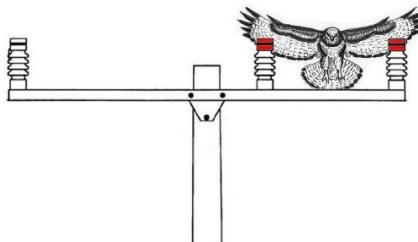
Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζονται με περιστατικά ηλεκτροπληξίας σε πυλώνες υψηλής και μεσαίας τάσης και λαμβάνουν χώρα όταν ένα άτομο ακουμπήσει δύο ηλεκτροφόρους αγωγούς (phase to phase contact) ή έναν ηλεκτροφόρο αγωγό και μία διάταξη γείωσης (phase to ground contact - Εικόνα 4). Στη Δυτική Ευρώπη η ηλεκτροπληξία, θεωρείται μία εκ των τριών σημαντικότερων αιτιών θνησιμότητας του Σπιζαετού, μαζί με τα φαινόμενα πρόσκρουσης σε εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας και την εκούσια θανάτωση από τον άνθρωπο (Hernández-Matías et al., 2015; Real et al., 2001). Αν και στο παρελθόν τέτοια περιστατικά δεν ήταν καταγεγραμμένα (Bourdakis and Xirouchakis, 2008), η συγκεκριμένη απειλή υφίσταται και στην Ελλάδα και εκτιμάται ως ιδιαίτερα σημαντική (αδημοσίευτα δεδομένα έργου LIFE17 NAT/GR/000514).



#### Επαφή τύπου φάση-γείωση



#### Επαφή τύπου φάση-φάση



Εικόνα 4: Διατάξεις αλληλεπίδρασης του ηλεκτρικού κυκλώματος με μεγαλόσωμο αρπακτικό που μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία. Αριστερά παρουσιάζεται επαφή τύπου φάση-γείωση και δεξιά επαφή τύπου φάση-φάση (Πηγή: Real et al., 2001)

Ο Σπιζαετός παρουσιάζει μεγάλη τρωτότητα σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ως μεγαλόσωμο αρπακτικό. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο άνοιγμα φτερών του, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα η απόσταση μεταξύ δύο ηλεκτροφόρων αγωγών ενός πυλώνα να είναι μικρότερη από το άνοιγμα των φτερών του Σπιζαετού, οδηγώντας σε μεγαλύτερη επικινδυνότητα πρόκλησης ηλεκτροπληξίας.

Επιπλέον, η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας αυξάνεται σε περιοχές όπου οι χρήσεις γης ευνοούν την διαθεσιμότητα υψηλών αποθεμάτων λείας για το είδος. Στις περιοχές αυτές οι αετοί φαίνεται να χρησιμοποιούν τους πυλώνες μέσης τάσης ως εποπτικά σημεία από όπου παρατηρούν τη γύρω περιοχή και εντοπίζουν τη λεία τους (Hernández-Matías et al., 2015). Όπως έχει παρατηρηθεί και στην Ισπανία από τους Real et al. (2001), υψηλά ποσοστά θνησιμότητας από ηλεκτροπληξία παρατηρούνται επίσης σε πεδιάδες, δηλαδή σε επίπεδες αγροτικές περιοχές, όπου υπάρχει μεγάλη αφθονία λείας του Σπιζαετού (π.χ. αρουραίοι) και οι πυλώνες παίζουν τον ρόλο των εποπτικών σημείων παρατήρησης λόγω έλλειψης άλλων εποπτικών θέσεων. Παρόμοια πρότυπα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλα είδη αρπακτικών (Dwyer and William Mannan, 2007).

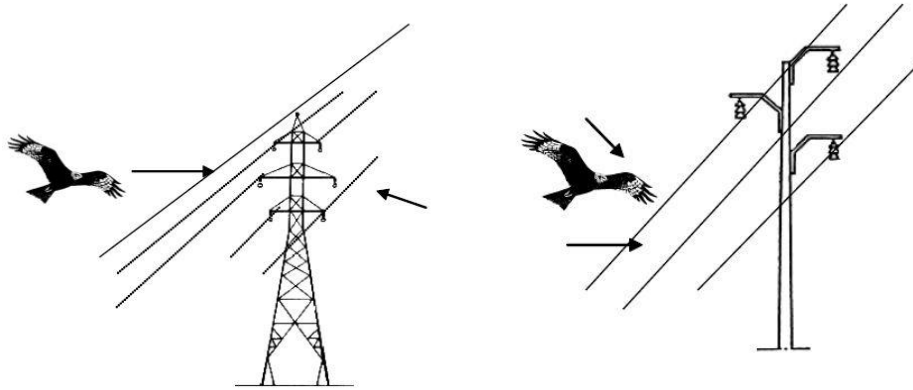
Άλλοι παράγοντες που θεωρείται ότι επηρεάζουν την πιθανότητα ηλεκτροπληξίας είναι η ηλικία και η κατάσταση του Σπιζαετού, καθώς τα νεαρά άτομα θεωρούνται πιο άπειρα σε επίπεδο πτητικής ικανότητας και αναζήτησης λείας (Bevanger, 1994), με την περίοδο Μάιος-Αύγουστος, η οποία συμπίπτει με την περίοδο αναπαραγωγής και πτέρωσης, να θεωρείται ως η πλέον επικίνδυνη σε περιστατικά ηλεκτροπληξίας (Dwyer et al., 2014).

#### 3.3.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ

Παράλληλα, ο Σπιζαετός θεωρείται επίσης ευάλωτος σε προσκρούσεις σε γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Rollan et al., 2016). Η τρωτότητα του είδους σε φαινόμενα πρόσκρουσης οφείλεται στο μεγάλο μέγεθός του και σε αυτή την περίπτωση, το οποίο δεν επιτρέπει τη διενέργεια απότομων ελιγμών δημιουργώντας προβλήματα στην αποφυγή τεχνητών εμποδίων όπως τα εναέρια καλώδια μεταφοράς ενέργειας. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου μεγέθους σώματος ο Σπιζαετός προτιμά παθητική πτήση ακολουθώντας ανεμοπορία συχνά σε υψόμετρο όμοιο με αυτό που εκτείνονται τα καλώδια. Πιο επικίνδυνο θεωρείται το δίκτυο υψηλής τάσης λόγω της κάθετης διάταξης των καλωδίων



και της παρουσίας του καλωδίου γείωσης το οποίο στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι λιγότερο ορατό, σε αντίθεση με το δίκτυο μέσης τάσης όπου τα καλώδια ακολουθούν οριζόντια διάταξη (Bernardino et al., 2018).



Εικόνα 5: Διαγραμματική απεικόνιση του φαινομένου πρόσκρουσης πουλιών σε καλώδια υψηλής (αριστερά) και μέσης (δεξιά) τάσης (Πηγή: Real et al., 2001)

Ως επικίνδυνο ύψος πτήσης σε φαινόμενα πρόσκρουσης θεωρείται το ύψος <50m από το επίπεδο του εδάφους, έχει βρεθεί συσχέτιση του ύψους πτήσης με την παρουσία εκτενών ανθρωπογενών υποδομών, όπως είναι οι αυτοκινητόδρομοι όπου παρατηρήθηκε ότι οι Σπιζαετοί πετούσαν σε χαμηλότερο ύψος κοντά στο ύψος των καλωδίων, εκθέτοντας τους σε μεγαλύτερο κίνδυνο πρόσκρουσης (Rollan et al., 2010).

Όσον αφορά την επίδραση της ηλικίας στην έκθεση στον κίνδυνο πρόσκρουσης, έχει παρατηρηθεί ότι κατά την περίοδο φροντίδας των νεοσσών, οι ανάγκες για εύρεση τροφής αυξάνονται οδηγώντας τα ενήλικα άτομα σε πιο εντατική και με διαφορετικά χωρικά πρότυπα αναζήτηση τροφής στον χώρο, γεγονός που αυξάνει την τρωτότητα σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας, ενώ λόγω μη εξοικείωσης με την περιοχή δραστηριοποίησής τους τα νεαρά άτομα είναι περισσότερο ευάλωτα κατά τους πρώτους μήνες της ζωής τους (Bernardino et al., 2018), γεγονός που ερμηνεύει και τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας των νεαρών ατόμων (Real and Mañosa, 2001).

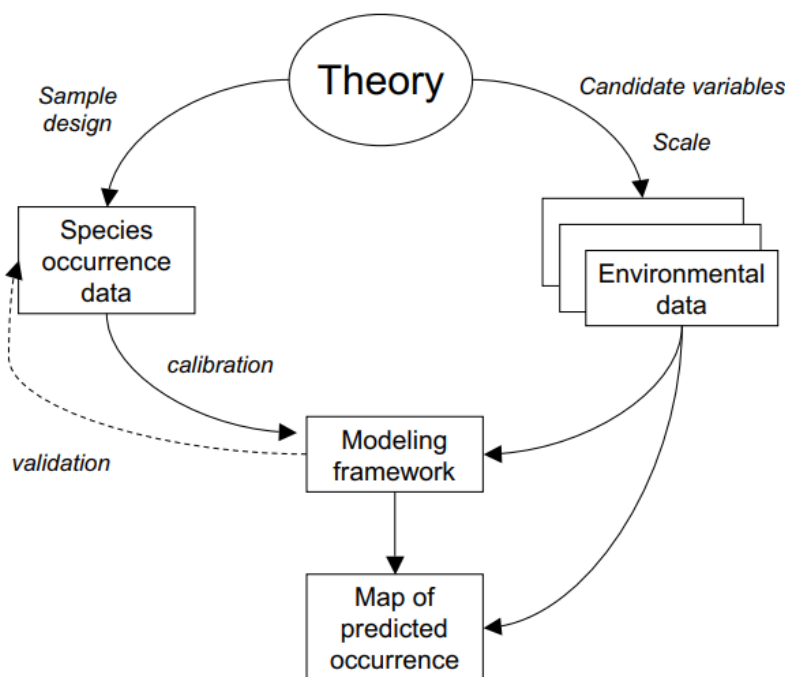


### 3.4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΙΔΩΝ (SPECIES DISTRIBUTION MODELLING)

#### 3.4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Η χρήση μοντέλων πρόβλεψης της γεωγραφικής κατανομής ενός είδους βάσει των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε θέσεις γνωστής παρουσίας του είδους αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική πρακτική στον τομέα της αναλυτικής βιολογίας με εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα κλάδων της οικολογίας, μεταξύ των οποίων και η διαχείριση (Phillips et al., 2006).

Αυτού του είδους η μοντελοποίηση αποτελεί την πλέον κοινή στρατηγική για την κατανόηση της πραγματικής (realized) ή δυνητικής (fundamental) γεωγραφικής εξάπλωσης ενός είδους διαμέσου του προσδιορισμού των βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων που ευνοούν την εγκατάσταση (π.χ. φωλεοποίηση) ή δραστηριότητα (π.χ. αναζήτηση τροφής) του και στη συνέχεια καθορισμού στον χώρο των περιοχών που πληρούν βέλτιστα τις προτιμήσεις και τους περιορισμούς αυτούς. Ως βιοτικές παράμετροι λαμβάνονται υπόψη στοιχεία όπως ο ενδοειδικός ή διαειδικός ανταγωνισμός, ο οποίος μπορεί να αποκλείσει την παρουσία ενός είδους από μια περιοχή ή η παρουσία ειδών λείας για αρπακτικά είδη (Carrascal and Seoane, 2008), και ως αβιοτικές παράμετροι καλείται ο συνδυασμός των περιβαλλοντικών παραμέτρων (π.χ. τοπογραφία, κλίμα, καλύψεις γης κλπ.) που ευνοούν της παρουσία του είδους.



Εικόνα 6: Βήματα για τη δημιουργία χάρτη πρόβλεψης της δυνητικής παρουσίας ενός είδους (Πηγή: Franklin, 2009)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, για να οδηγηθούμε στην παραγωγή ενός χάρτη πρόβλεψης προηγούνται τέσσερα ακόμη βήματα. Αρχικά απαιτείται ο προσδιορισμός των οικολογικών και βιογεωγραφικών στόχων που έχει η παραγωγή του συγκεκριμένου χάρτη πρόβλεψης, δηλαδή ο ορισμός του ερωτήματος της μελέτης, ενώ στην συνέχεια είναι απαραίτητο να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά



του είδους και οι περιβαλλοντικές παράμετροι που θα παίξουν το ρόλο των επεξηγηματικών μεταβλητών για τον προσδιορισμό της μεταβλητής πρόβλεψης, δηλαδή της δυνητικής παρουσίας (Franklin, 2009).

Παράλληλα, είναι απαραίτητη η ύπαρξη δείγματος περιοχών όπου είναι καταγεγραμμένη η παρουσία του υπό εξέταση είδους (βιολογική πληροφορία).

Έχοντας προσδιορίσει και συλλέξει τα περιβαλλοντικά υπόβαθρα και την απαραίτητη βιολογική πληροφορία, επιλέγεται η στατιστική μέθοδος ή ο συνδυασμός στατιστικών μεθόδων που θα εφαρμοστούν για τη μοντελοποίηση μέσα από μία ευρεία δεξαμενή μεθόδων (*Bioclim, GLMs, GAMs, Maxent, Random forest, SVM* κ.α.). Εκτός από την στατιστική μέθοδο που διαφέρει για κάθε μία από τις διαθέσιμες μεθόδους μοντελοποίησης, ένα χαρακτηριστικό που τις διακρίνει είναι η απαίτηση ή μη από το μοντέλο της ύπαρξης αμφότερα δεδομένων παρουσίας και απουσίας. Επειδή δεδομένα απουσίας ενός είδους από μία περιοχή δεν είναι συνήθως διαθέσιμα, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που είτε δεν χρειάζονται καθόλου δεδομένα απουσίας, είτε προσφέρουν τη δυνατότητα δημιουργίας ψευδο-απουσιών (Hijman and Elith, 2019; Phillips et al., 2006). Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις μεθόδους μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στα Κεφάλαια 4.4.1 και 4.4.2.

Στο επόμενο κεφάλαιο διερευνώνται τα οικολογικά εκείνα χαρακτηριστικά του Σπιζαετού, τα οποία θα οδηγήσουν στον καθορισμό των περιβαλλοντικών παραμέτρων που θα παίξουν το ρόλο των επεξηγηματικών μεταβλητών για τον προσδιορισμό των περιοχών δυνητικής παρουσίας του Σπιζαετού.

### 3.4.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΔΥΝΑΝΤΑΙ ΝΑ ΚΑΘΟΡΙΣΟΥΝ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ

Όσον αφορά τις προτιμήσεις που επιδεικνύει ο Σπιζαετός κατά την επιλογή των περιοχών δραστηριοποίησής του, ως γενική αρχή από την πλειοψηφία των ερευνητών που έχουν μελετήσει το είδος, θεωρείται ότι προτιμά ενδιαιτήματα που βρίσκονται σε απότομες βραχώδεις πλαγιές κατά τη φάση αναζήτησης θέσεων αναπαραγωγής (Real, Bosch, Tinto, et al., 2016; Ontiveros and Pleguezuelos, 2003) όπου σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η μέση κλίση του εδάφους, δεδομένου ότι το ορεινό ανάγλυφο ευνοεί τη δημιουργία φωλιών (Muñoz et al., 2005), ενώ προτιμά ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα (θαμνότοπους, δάση κωνοφόρων, καλλιεργούμενες εκτάσεις) ως περιοχές τροφοληψίας και λιγότερο ως περιοχές αναπαραγωγής (Real, Bosch, Tinto, et al., 2016).

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Ontiveros (1999), μια πλαγιά θεωρείται κατάλληλη για φωλεοποίηση όταν βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 10m και μικρότερο από 1500m και σε απόσταση μεγαλύτερη των 500m από αστικό κέντρο.

Επιπλέον, στην Ισπανία έχει παρατηρηθεί ότι ο Σπιζαετός προτιμά τη δημιουργία φωλιών σε πλαγιές με βορειοανατολικό προσανατολισμό (Ontiveros and Pleguezuelos, 2003; Ontiveros, 1999). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι φωλιές με βορειοανατολικό προσανατολισμό θερμαίνονται νωρίτερα τις πρωινές ώρες, καθοριστικός παράγοντας για τον Σπιζαετό, ο οποίος είναι ο πρώτος μεταξύ των αετόμορφων ειδών της Μεσογείου που αναπαράγεται (Ontiveros and Pleguezuelos, 2003).



Ακόμη, έχει εξετασθεί η συσχέτιση μετεωρολογικών παραγόντων, όπως η μέγιστη και ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία, η μέση ετήσια βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή, η υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία (Carrascal and Seoane, 2008; Ontiveros and Pleguezuelos, 2003). Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει πολύ υψηλή πιθανότητα παρουσίας (0,85) σε περιοχές με σε ετήσιο επίπεδο πάνω από το 57% των ημερών παρατηρείται ηλιοφάνεια (Carrascal and Seoane, 2008). Ενώ, σύμφωνα με μοντέλο που ανέπτυξαν οι Muñoz *et al.* (2005) σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό κατάλληλων περιοχών για τον Σπιζαετό είναι η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι (μέση θερμοκρασία κατά το μήνα Ιούλιο) και χαμηλών επιπέδων βροχόπτωσης, δηλαδή η επικράτηση Μεσογειακού κλίματος.

Ο Σπιζαετός περνά τα πρώτα έτη της ζωής του μακριά από την περιοχή όπου γεννήθηκε, ένα φαινόμενο που καλείται νεανική διασπορά. Λαμβάνοντας υπόψη την έκταση της περιοχής μελέτης που έχει οριστεί στην παρούσα διπλωματική εργασία και το γεγονός ότι προκειμένου μία θέση παρουσίας του είδους να χαρακτηριστεί ως «ταξίδι εξερεύνησης» (dispersal area) ή ως «προσωρινό καταφύγιο» (temporary settlement), η εν λόγω θέση πρέπει να απέχει τουλάχιστον 20km από τη θέση όπου γεννήθηκε (Balbontín *et al.*, 2009; Cadahía *et al.*, 2005), φαίνεται ότι εντός της περιοχής μελέτης δύνανται να υπάρχουν και περιοχές που χρησιμοποιούνται κατά τη διασπορά και όχι μόνο κατά την αναπαραγωγή και την τροφοληψία του είδους. Επομένως, κατά τη φάση καθορισμού των κατάλληλων παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν ως παράγοντες πρόβλεψης, θεωρείται σημαντική και η διερεύνηση των παραμέτρων που καθορίζουν την επιλογή ενός ενδιαιτήματος από τον Σπιζαετό, κατά τη φάση διασποράς.

Επομένως, όσον αφορά τις περιοχές διασποράς του είδους, σύμφωνα με τον Balbontín (2005), οι θέσεις που επέλεξαν οι νεαροί Σπιζαετοί για να περάσουν την περίοδο διασποράς τους, προτού επιστρέψουν στις περιοχές όπου γεννήθηκαν προς αναζήτηση κενής θέσης φωλιάσματος, είχαν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Σε αυτά περιλαμβάνεται η επικράτηση ετερογενούς ανάγλυφου, ο προσανατολισμός των πλαγιών που χρησίμευαν ως προσωρινά καταφύγια ήταν ως επί τω πλείστων βορειοανατολικός, ενώ στις περιοχές αυτές επικρατούσαν οι θαμνότοποι και τα βοσκοτόπια. Η επιλογή καλλιεργούμενων περιοχών και μη αρδεύσιμων γαιών με πτώδη βλάστηση, επιβεβαιώνεται και από τους Cadahía *et al.* (2010). Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι οι περιοχές αυτές καταλαμβάνονταν από οικοτόπους, δηλαδή περιοχές που βρίσκονται μεταξύ διακριτών οικοτόπων (π.χ. φρύγανα-βοσκοτόπια). Τέλος, παρατηρήθηκε τάση αποφυγής αστικών κέντρων και άλλων περιοχών όπου υπήρχε ανθρωπίνη παρουσία.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω προκύπτει ότι το ανάγλυφο της περιοχής και ο προσανατολισμός αποτελούν σημαντικά χαρακτηριστικά τόσο κατά την επιλογή περιοχής για φωλεοποίηση και αναπαραγωγή, όσο και κατά τη διασπορά (Balbontín, 2005), ενώ η παρουσία θαμνότοπων, καλλιεργειών και βοσκοτόπων αποτελεί επίσης θετική ένδειξη παρουσίας του Σπιζαετού (Real, Bosch, Tinto, *et al.*, 2016; Cadahía *et al.*, 2010; Balbontín, 2005). Παράλληλα, τη θέση φωλεοποίησης φαίνεται ότι επηρεάζουν και κλιματικοί παράγοντες, όπως τα κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία (Carrascal and Seoane, 2008; Muñoz *et al.*, 2005; Ontiveros and Pleguezuelos, 2003). Ο ρόλος που διαδραματίζουν οι παραπάνω περιβαλλοντικές παράμετροι θα εξεταστούν κατά την οικοδόμηση των μοντέλων πρόβλεψης περιοχών υψηλής πιθανότητας παρουσίας του Σπιζαετού.



### 3.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Η ιδέα για τη δημιουργία χαρτών ευαισθησίας για την άγρια ζωή γεννήθηκε ως απάντηση στην ολοένα και μεγαλύτερη διείσδυση έργων και υποδομών που εξυπηρετούν τον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του σε περιοχές όπου η ανθρωπογενής πίεση στην άγρια ζωή ήταν μικρή έως ανύπαρκτη.

Η κλίμακα και η ταχύτητα της «επανάστασης» των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με την επακόλουθη διασύνδεση των ενεργειακών αυτών δικτύων μέσω ανάπτυξης μεγαλύτερων και πολυπλοκότερων ηλεκτρικών δικτύων, απαιτούν στρατηγικό σχεδιασμό σε εθνικό ή ακόμη και περιφερειακό, διασυνοριακό επίπεδο. Αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει τη χωρική αξιολόγηση πιθανών συγκρούσεων με τη βιοποικιλότητα και άλλων περιβαλλοντικών στόχων στο πλαίσιο περιφερειακής ή εθνικής (ή ακόμη και υπερεθνικής) στρατηγικής περιβαλλοντικής αξιολόγησης, συμπεριλαμβανομένης της κατάλληλης αξιολόγησης για τυχόν προστατευόμενες περιοχές Natura 2000 (Allinson et al., 2020).

Μέχρι σήμερα εργασίες χαρτογράφησης ευαισθησίας έχουν πραγματοποιηθεί για πηγές ενέργειας η χωροθέτηση των οποίων είναι γενικά ευέλικτη, όπως η αιολική και ηλιακή ενέργεια. Επομένως, η διενέργεια τέτοιου είδους αναλύσεων κατά την προ-κατασκευαστική περίοδο έργων με στόχο την ορθή τους χωροθέτηση δύναται να οδηγήσει στην αποφυγή δυσμενούς αλληλεπίδρασης με ευαίσθητα στοιχεία άγριας ζωής. Οι εργασίες αυτές μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν τόσο κατά την πρώιμη φάση επιλογής κατάλληλων θέσεων ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συνοδών τους έργων, όπως είναι το ηλεκτρικό δίκτυο μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας και το οδικό δίκτυο, όσο και κατά τη φάση αδειοδότησης ενός έργου οπότε διενεργείται μελέτη Ειδικής Οικολογικής Αξιολόγησης (Allinson et al., 2020).

Οι μελέτες χαρτογράφησης ευαισθησίας περιλαμβάνουν μία σειρά βασικών βημάτων:

**1. Προσδιορισμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που πρέπει να συμπεριληφθούν στην μελέτη, καθώς και των ειδών και οικοτόπων που ενδέχεται να επηρεαστούν.** Στην παρούσα διπλωματική εργασία η υποδομή που εξετάζεται, δηλαδή το ηλεκτρικό δίκτυο μέσης και υψηλής τάσης, δεν αποτελεί αυτή καθ' εαυτή πηγή ενέργειας, ωστόσο απαιτείται για τη διασύνδεση των επιμέρους υποδομών ΑΠΕ. Όσον αφορά το είδος που δύνανται να επηρεαστεί από τις συγκεκριμένες υποδομές είναι ο Σπιζαετός (*Aquila fasciata*). Η επιλογή του συγκεκριμένου είδους πραγματοποιήθηκε βάση των οδηγιών των Allinson et al. (2020) και οφείλεται στα εξής:

- a) στο καθεστώς παρουσίας του είδους σε ευρωπαϊκό επίπεδο λόγω του χαρακτηρισμού του ως Σχεδόν Απειλούμενο σύμφωνα με το *Birdlife International* (Birdlife International, 2015),
- b) στην ευαισθησία/τρωτότητα του είδους στη συγκεκριμένη μορφή υποδομής σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης ιδίως κατά τη διάρκεια του σταδίου διασποράς των ανήλικων Σπιζαετών και κατά το στάδιο εντατικής φροντίδας των νεοσσών οπότε η αναζήτηση τροφής από τους γονείς είναι πιο εντατική και
- c) στην σύμπτωση των περιοχών που χρησιμοποιεί το είδος με αυτές όπου τοποθετούνται συνήθως οι υποδομές του ηλεκτρικού δικτύου, όπως είναι οι κορυφογραμμές όπου αναπτύσσονται θερμικά ανοδικά ρεύματα τα οποία αξιοποιούνται από τα ανεμοπορόντα είδη όπως ο



Σπιζαετός. Τα ανεμοπορούντα πουλιά αξιοποιούν τη δημιουργία ανοδικών θερμικών ρευμάτων για τις τοπικές και μεταναστευτικές τους μετακινήσεις. Η δυνατότητα εκτίμησης της κίνησης των ανεμοπορούντων πουλιών σε μια περιοχή μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ορθή χωροθέτηση ψηλών υποδομών, όπως είναι οι πυλώνες ηλεκτροδότησης. Παρόμοιο πρόβλημα χρήσης παρόμοιων περιοχών αποτελούν και τα φαράγγια που συχνά αποτελούν θέσεις τροφοληψίας και φωλιάσματος.

**2. Δημιουργία συνόλων δεδομένων (datasets) της εξάπλωσης των υπό εξέταση ειδών, οικοτόπων και άλλων συναφών παραγόντων.** Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται αναζήτηση των διαθέσιμων δεδομένων και αναζητούνται τρόποι κάλυψης γνωσιακών κενών. Αρκετά συχνά, τα διαθέσιμα δεδομένα κατανομής σε επίπεδο χωρικής πληροφορίας είναι ελλιπή. Σε αυτό το σημείο γεννάται η ανάγκη μοντελοποίησης/πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής των ειδών με βάση παράγοντες πρόβλεψης που περιλαμβάνουν τύπους ενδιαιτημάτων και τοπία, για την πρόβλεψη της κατανομής σε υποκαταγεγραμμένες περιοχές (*Species Distribution Modelling*).

**3. Δημιουργία του συστήματος βαθμονόμησης.** Στις περιπτώσεις μελετών χαρτογράφησης ευαισθησίας περισσότερων του ενός ειδών, κατά τη βαθμονόμηση των κατηγοριών επικινδυνότητας λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά των ειδών και των οικοτόπων, η δυναμική των πληθυσμών κάθε είδους, δηλαδή το μέγεθος του πληθυσμού, το ποσοστό αυτού επί του παγκόσμιου πληθυσμού του είδους και του βιολογικού κύκλου του είδους, καθώς και το καθεστώς του είδους σε εθνικό, υπερεθνικό ή παγκόσμιο επίπεδο. Στην παρούσα μελέτη, ωστόσο, εξετάζεται η ευαισθησία ενός είδους για αυτό και η βαθμονόμηση της ευαισθησίας των περιοχών θα πραγματοποιηθεί με κριτήριο α) τις περιοχές γνωστής παρουσίας του είδους και β) των αποτελεσμάτων των μοντέλων πρόβλεψης. Λεπτομερέστερη περιγραφή της μεθοδολογίας πραγματοποιείται στο Κεφάλαιο 4.5.

Τέλος, έχοντας ολοκληρώσει τα παραπάνω βήματα πραγματοποιείται η δημιουργία των χαρτών ευαισθησίας και η ερμηνεία αυτών, δηλαδή η συσχέτιση των βαθμολογιών που λαμβάνει κάθε περιοχή σε σχέση με τον δυνητικό κίνδυνο, στην προκειμένη περίπτωση τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας ή πρόσκρουσης.





## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το σύνολο των βιολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν διαθέσιμα μέσω του προγράμματος LIFE Bonelli EastMed (LIFE17 NAT/GR/000514), στο πλαίσιο του οποίου εκπονούνται δράσεις παρακολούθησης ατόμων Σπιζαετού στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου και της εταιρείας περιβαλλοντικών συμβούλων *Nature Conservation Consultants*, η οποία συμμετέχει στο συγκεκριμένο πρόγραμμα και δραστηριοποιείται στην περιοχή του Αιγαίου.

Για το πρώτο μοντέλο πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκαν βιολογικά δεδομένα φωλεοποίησης του Σπιζαετού στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου από συνολικά 35 θέσεις φωλιάσματος από 23 νησιά και νησίδες.

Για το δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκαν θέσεις πτητικής δραστηριότητας του Σπιζαετού, οι οποίες επιλέχθηκαν μέσα από ένα ευρύτερο σύνολο δεδομένων καταγεγραμμένης παρουσίας νεαρού Σπιζαετού, ο οποίος έφερε πομπό GPS για την παρακολούθηση των κινήσεών του. Ο νεαρός αυτός Σπιζαετός γεννήθηκε τον Μάιο του 2019 στην Άνδρο και βρίσκεται στο στάδιο της νεανικής διασποράς. Έπειτα από φιλτράρισμα των στιγμάτων GPS, η αναλυτική διαδικασία του οποίου παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.4.3, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 1.844 στίγματα GPS.

### 4.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ

Τα περιβαλλοντικά υπόβαθρα που συλλέχθηκαν για την παραγωγή των μοντέλων πρόβλεψης χωρίζονται σε έξι κύριες κατηγορίες:

1. Τοπογραφικά δεδομένα
2. Μετεωρολογικά δεδομένα
3. Δεδομένα χρήσεων γης
4. Δεδομένα κέντρων ανθρωπογενούς δραστηριότητας
5. Δεδομένα παρουσίας υδατοσυλλογών
6. Τηλεπισκοπικά δεδομένα

Πηγή των πρωτογενών τοπογραφικών δεδομένων και των δεδομένων χρήσεων γης αποτέλεσε το ευρωπαϊκό πρόγραμμα *Copernicus*.

Συγκεκριμένα, η παραγωγή του συνόλου των **τοπογραφικών υποβάθρων** πραγματοποιήθηκε μέσω επεξεργασίας του ευρωπαϊκού Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) σε περιβάλλον GIS αξιοποιώντας τα διαθέσιμα εργαλεία του QGIS3.4 και του SAGA. Τα τοπογραφικά υπόβαθρα που παράχθηκαν περιλαμβάνουν:

- a. DEM → αναπαράσταση της υψομετρικής απόστασης από την επιφάνεια της θάλασσας (m) (Χάρτης 4)
- b. Slope → αναπαράσταση της κλίσης του εδάφους σε μοίρες (°) (Χάρτης 6)
- c. Aspect → αναπαράσταση του προσανατολισμού του εδάφους σε μοίρες (°) (Χάρτης 5)



- d. Topographic Position Index → δείκτης αναπαράστασης του ποσοστού υψομετρικής διαφοράς, δηλαδή των βουνοκορφών και χαραδρών (Χάρτης 8)
- e. Terrain Ruggedness Index → δείκτης αναπαράστασης της ετερογένειας της τοπογραφίας της περιοχής (Χάρτης 9)
- f. Valley depth → αναπαράσταση της εκβάθυνσης πλαγιών και φαραγγιών σε μέτρα (m) (Χάρτης 7)

Τα **μετεωρολογικά δεδομένα** που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τη βάση διαχρονικών μετεωρολογικών δεδομένων σε χωρική μορφή *Worldclim* και από το *meteo.gr* για την παραγωγή του 2<sup>ου</sup> μοντέλου πρόβλεψης και την προσομοίωση ορογραφικών ρευμάτων για την παραγωγή του 3<sup>ου</sup> μοντέλου πρόβλεψης, αντίστοιχα.

Τα χωρικά μετεωρολογικά δεδομένα είναι μικρής χωρικής ανάλυσης με μέγεθος εικονοστοιχείου τα 1000m και συμπεριλαμβάνουν επίπεδα που φέρουν πληροφορία για:

- a. Τη μέση ετήσια θερμοκρασία (Χάρτης 14)
- b. Τη μέση θερμοκρασία των θερμότερων μηνών, Ιουλίου και Αυγούστου (Χάρτης 15)
- c. Τη μέση ετήσια βροχόπτωση (Χάρτης 12)
- d. Τη μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (Χάρτης 13)

Η χωρική ανάλυση των παραπάνω μετεωρολογικών υποβάθρων μειώθηκε στα 30m προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στο πρώτο μοντέλο πρόβλεψης.

Αντίστοιχα, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή ορογραφικών ρευμάτων συμπεριλαμβάνουν στοιχεία για την ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, τα οποία αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4.3.2.

Το **υποβάθρο καλύψεων γης** προέρχεται από το πρόγραμμα απογραφής των Καλύψεων Γης κατά Corine (Corine Land Cover – CLC), το οποίο υφίσταται από το 1985, ενώ η τελευταία έκδοση η οποία και χρησιμοποιήθηκε χρονολογείται το 2018. Η χωρική ανάλυση του υποβάθρου ήταν αρχικά 25m και πραγματοποιήθηκε μετατροπή σε μέγεθος εικονοστοιχείου 30m προκειμένου το σύνολο των υποβάθρων να έχει όμοια χωρική ανάλυση.

Με βάση την προτίμηση ή μη του Σπιζαετού σε συγκεκριμένους τύπους οικοσυστημάτων οι αρχικά 44 κατηγορίες χρήσεων γης του πρωτογενούς υποβάθρου συγκεντρώθηκαν τελικά σε 7 κατηγορίες (Χάρτης 10), οι οποίες είναι οι εξής:

1. Αστικές περιοχές
2. Καλλιέργειες
3. Δάση
4. Ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα
5. Θαμνότοποι
6. Γυμνό έδαφος
7. Υδατοσυλλογές

Η κατηγοριοποίηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:



Κωδικός κατηγορίας CLC 2018	Όνομασία κατηγορίας	Ενοποιημένες κατηγορίες	Κωδικός κατηγορίας CLC 2018	Όνομασία κατηγορίας	Ενοποιημένες κατηγορίες	
111	Συνεχής αστικός ιστός	Αστικές περιοχές	311	Δάσος πλατύφυλλων	Δάση	
112	Ασυνεχής αστικός ιστός		312	Δάσος κωνοφόρων		
121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες		313	Μικτό δάσος		
122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα		321	Φυσικοί βοσκότοποι		Ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα
123	Ζώνες λιμένων		322	Θάμνοι και χερσότοποι	Θαμνότοποι	
124	Αεροδρόμια		323	Σκληροφυλλική βλάστηση		
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών		324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις		
132	Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων		331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές		Γυμνό έδαφος
133	Χώροι οικοδόμησης		332	Απογυμνωμένοι βράχοι	Ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα	
141	Περιοχές αστικού πρασίνου		333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση		
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής		334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις		Γυμνό έδαφος
211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη		335	Παγετώνες και αέναο χιόνι		Υδατοσυλλογές
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη		411	Βάλτοι στην ενδοχώρα		
213	Ορυζώνες		412	Τυρφώνες		
221	Αμπελώνες	421	Παραθαλάσσιοι βάλτοι			
222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	422	Αλυκές			
223	Ελαιώνες	423	Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα			
231	Λιβάδια	511	Υδατορρεύματα			
241	Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	512	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος			
242	Σύνθετες καλλιέργειες	521	Παράκτιες λιμνοθάλασσες			
243	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	522	Εκβολές ποταμών			
244	Γεωργο-δασικές περιοχές	523	Θάλασσες και ωκεανοί			



Το **υπόβαθρο απεικόνισης κέντρων ανθρωπογενούς δραστηριότητας** συμπεριλαμβάνει τις θέσεις οικισμών (Χάρτης 11) και προέρχεται από την επίσημη ιστοσελίδα του Ελληνικού Κτηματολογίου. Το συγκεκριμένο υπόβαθρο είχε τη μορφή σημείων. Βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις συσχέτιση της κατανομής του Σπιζαετού σε σχέση με την απόσταση από τον κοντινότερο ανθρώπινο οικισμό. Για αυτόν τον λόγο θεωρήθηκε καταλληλότερη η δημιουργία ενός υποβάθρου όπου κάθε εικονοστοιχείο θα περιέχει σαν πληροφορία την απόσταση από τον πλησιέστερο οικισμό σε μέτρα. Το υπόβαθρο αυτό δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του εργαλείου *Eukclidean distance* του λογισμικού γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών ArcGIS 10.5. σε μορφή ψηφιδωτού (*raster*) με χωρική ανάλυση 30m διαμέσου της αρχικής σημειακής πληροφορίας που περιείχε το υπόβαθρο απεικόνισης οικισμών εντός της περιοχής μελέτης.

Το **υπόβαθρο παρουσίας υδατοσυλλογών** στην περιοχή μελέτης δημιουργήθηκε μέσω της εφαρμογής του δείκτη *Normalized difference water index* (NDWI) σε δορυφορικές εικόνες LANDSAT 8. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) δορυφορικές εικόνες προκειμένου να καλυφθεί το σύνολο της περιοχής μελέτης. Για τον υπολογισμό του δείκτη NDWI πραγματοποιείται η εξής πράξη μεταξύ των καναλιών 3 (Green) και 5 (Near infrared – NIR):

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{nir}}{(X_{green} + X_{nir})}$$

όπου Χ η τιμή που λαμβάνει κάθε σημείο της περιοχής μελέτης στο πράσινο και εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Στις παραγόμενες εικόνες τύπου *raster* πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προκειμένου να απομονωθεί η φασματική υπογραφή των υδατοσυλλογών σε κάθε εικόνα. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μετατροπή του επιπέδου από *Raster* σε *Vector* προκειμένου να γίνει εφαρμογή του εργαλείου *Eukclidean distance* όπως περιγράφηκε και για την εκτίμηση της απόστασης από οικισμούς με στόχο την παραγωγή ψηφιδωτού υποβάθρου όπου σε κάθε εικονοστοιχείο θα περιέχεται η πληροφορία απόστασης από την πλησιέστερη υδατοσυλλογή.

Σε περαιτέρω ανάλυση της απόστασης των θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού από τις παρακείμενες υδατοσυλλογές παρατηρήθηκε ότι αυτές βρίσκονταν σε μακρινή απόσταση από τις φωλιές, γεγονός που δεν συνάδει με τα βιβλιογραφικά στοιχεία που γνωρίζουμε για το είδος, και με παράλληλη παρατήρηση της περιοχής μελέτης συμπεραίνεται ότι μικρές και εποχιακές υδατοσυλλογές δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστούν με την παραπάνω μεθοδολογία, για αυτό και δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω χρήση του συγκεκριμένου υποβάθρου.

Τέλος, τα **τηλεπισκοπικά δεδομένα** που χρησιμοποιήθηκαν συμπεριλαμβάνουν δορυφορικές εικόνες LANDSAT 8, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους και επακόλουθα για την εξαγωγή των θερμικών ανοδικών ρευμάτων. Η λήψη των εικόνων έγινε μέσω του Earth Explorer του USGS και έχουν χωρική ανάλυση 30m.



#### 4.3. ΕΞΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την εξαγωγή θερμικών και ορογραφικών χερσαίων ρευμάτων, είναι σημαντική η διατύπωση των δύο αυτών φαινομένων.

Τα **ορογραφικά ανοδικά ρεύματα** προκύπτουν από την εκτροπή των οριζόντιων ανέμων λόγω εδαφών με μεγάλη κλίση (Bohrer et al., 2012) ή λόγω της παρουσίας φυσικών εμποδίων όπου ο αέρας βρίσκει αντίσταση και ανυψώνεται ακολουθώντας ανοδική πορεία. Η παρουσία τέτοιου είδους ρευμάτων εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από την υψομετρική διαφορά και την κλίση του εδάφους, επομένως η πρόβλεψή τους είναι δυνατή σε σταθερές συνθήκες ανέμου (Sage et al., 2019).

Η τεχνητή τροποποίηση των τοπίων από τον άνθρωπο επηρεάζει το εναέριο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της έντασης και της κατανομής των ανοδικών ορογραφικών ρευμάτων. Εάν επομένως τα ορογραφικά ρεύματα χρησιμοποιηθούν από πτηνά για διενέργεια ενεργειακά αποδοτικής παθητικής πτήσης, η τροποποίηση του τοπίου θα επηρεάσει τα απαιτούμενα ενεργειακά αποθέματα που χρειάζονται για την πτήση και ως εκ τούτου και τις διαδρομές και το εύρος των περιοχών τροφοληψίας. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα πουλιά χρησιμοποιούν τον εναέριο χώρο δύναται να παράσχει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν τις καθημερινές κινήσεις και την κατανομή τους, καθώς και τον βαθμό στον οποίο τα πουλιά μπορούν να προσαρμόσουν την πτητική τους δραστηριότητα στην ανθρωπογενή αλλοίωση του τοπίου (Sage et al., 2019).

Τα **θερμικά ανοδικά ρεύματα**, συχνά παρατηρούμενα λόγω την κυκλικών κινήσεων που κάνουν τα ανεμοπορούντα πτηνά, σχηματίζονται λόγω της θέρμανσης της επιφάνειας του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας (Bohrer et al., 2012).

Μια αξιοσημείωτη πηγή ανύψωσης σε αυτό το πλαίσιο είναι η θερμική ανύψωση, όπου τα πουλιά χρησιμοποιούν ανερχόμενα ρεύματα αέρα λόγω της επιφανειακής θέρμανσης με αποτέλεσμα να κερδίζουν ύψος. Για είδη που χρησιμοποιούν αποκλειστικά παθητική πτήση, η διαθεσιμότητα θερμικών ανοδικών ρευμάτων είναι γνωστό ότι διαμορφώνει διαδρόμους μετανάστευσης που συνδέουν απομακρυσμένες αναπαραγωγικές και μη περιοχές (Sage et al., 2019).

Οι ταχύτητες των θερμικών ανοδικών ρευμάτων μπορεί να ποικίλλουν στο χώρο και στο χρόνο, με τη μεταβλητότητα αυτή να επηρεάζεται από την τοπογραφία, την ώρα της ημέρας, την εποχή και τις συνθήκες ανέμου (Hanssen et al., 2020).

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των ταχυτήτων των θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων περιγράφηκε αρχικά από τους Bohrner et al. (2012) για τη συσχέτιση των κινήσεων Χρυσαιτών σε ορεινές περιοχές των ΗΠΑ και έκτοτε έχει εφαρμοστεί από τους Santos et al. (2017), τους Marques et al. (2020) και τους Hanssen et al. (2020) σε μια προσπάθεια συσχέτισης των κινήσεων μεγάλων αρπακτικών σε σχέση με την κατανομή των ανοδικών ρευμάτων, στην Ταρίφα της Ισπανίας στις δύο πρώτες και το νησί Χίτρα της Νορβηγίας στην τρίτη.

Σχετικά με την περίοδο που επιλέχθηκε για την εφαρμογή των επεξεργασιών, η οποία συμπεριλαμβάνει τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο του 2020, η επιλογή βασίστηκε τόσο στα διαθέσιμα δεδομένα κινήσεων του Σπιζαετού όσο και στη σχετική βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Dwyer et



α). (2014), τα περισσότερα περιστατικά ηλεκτροπληξίας καταγράφονται την περίοδο Μάιος – Αύγουστος, γεγονός που αποδίδεται στην περίοδο αναπαραγωγής και πτέρωσης, οπότε τα νεαρά άτομα κλίνονται να αντιμετωπίσουν μια σειρά απειλών χωρίς πρότερη εμπειρία, κάνοντας τα και πιο ευάλωτα σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας.

Παράλληλα, τα αξιοποιήσιμα δεδομένα τηλεμετρίας του ανήλικου Σπιζαετού που δραστηριοποιείται κυρίως στην Άνδρο και την Τήνο αλλά και σε άλλα νησιά αφορούν την περίοδο από τον Σεπτέμβριο του 2019 έως το Σεπτέμβριο του 2020. Την ίδια στιγμή περιοριστικός παράγοντας για τη λήψη δορυφορικών εικόνων αποτελεί η νεφοκάλυψη. Συγκεκριμένα, τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες το ποσοστό νεφοκάλυψης στις ζητούμενες δορυφορικές εικόνες LANDSAT 8 ήταν μεγάλο, ενώ λόγω και της ανάγκης για συσχέτιση των κινήσεων του Σπιζαετού με τις επικρατούσες συνθήκες της συγκεκριμένης περιόδου οπότε καταγράφηκαν και οι κινήσεις του, η περίοδος τελικά για την οποία πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις εξαγωγής των ταχυτήτων των θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων αφορά την χρονική περίοδο από τον Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 2020.

#### 4.3.1. ΕΞΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΟΔΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Προϋπόθεση για την εξαγωγή της ταχύτητας των θερμικών ανοδικών ρευμάτων είναι η πρότερη εξαγωγή της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους (*Land Surface Temperature*) με τη χρήση δορυφορικών εικόνων με θερμικά κανάλια. Τέτοια κανάλια διαθέτουν οι δορυφορικές εικόνες LANDSAT 8. Τα κανάλια 10 και 11 των εικόνων LANDSAT 8 αναπαριστούν το θερμικό υπέρυθρο φάσμα (*Thermal Infrared – TIRS*) με μήκος κύματος 10.6-11.19 μm και 11.50-12.51 μm, αντίστοιχα.

Για την εξαγωγή της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους πραγματοποιήθηκαν οι εξής υπολογισμοί:

##### 1) Calculation of Top of Atmospheric spectral radiance

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

όπου:

$L_{\lambda}$  = top of atmosphere spectral radiance (TOA) ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ ).

$M_L$  = band-specific multiplicative rescaling factor from the image metadata ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ ).

$A_L$  = band-specific additive rescaling factor from the image metadata ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ ).

$Q_{cal}$  = digital number (DN)

##### 2) Calculation of Brightness

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

όπου:

$T_B$  = at-satellite brightness temperature (K).

$L_{\lambda}$  = TOA spectral radiance ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ ).

$K_1$  = band-specific thermal conversion constant from the metadata ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ ).



$K_2$  = band-specific thermal conversion constant from the metadata (K).

3) Υπολογισμός του δείκτη *Normalized difference vegetation index* (NDVI)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$$

όπου:

$\rho_{NIR}$  = near infrared band reflectance.

$\rho_{RED}$  = red band reflectance.

Τα κανάλια 4 και 5 ανήκουν στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα όπου τα μήκη κύματος κυμαίνονται από 0,77 έως 0,90μm και από 1,55 έως το 1,75μm, αντίστοιχα.

4) Calculation of Fractional Vegetation Cover

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_V - NDVI_S}$$

όπου:

NDVI<sub>S</sub>: NDVI value for bare soils (γυμνά εδάφη) = 0,1

NDVI<sub>V</sub>: NDVI value for fully vegetated soils (εδάφη με βλάστηση) = 0,65

5) Calculation of Land Surface Emissivity (LSE)

$$LSE = \varepsilon_s * (1 - FVC) + (\varepsilon_V * FVC)$$

όπου:

$\varepsilon_s$ : soil emissivity = 0,93

$\varepsilon_V$ : vegetation emissivity = 0,98

6) Υπολογισμός της Θερμοκρασίας της Επιφάνειας του Εδάφους (Land Surface Temperature - LST)

$$LST = \frac{T_B}{1 + (\lambda * s * \frac{T_B}{C_2} * \ln(\varepsilon))}$$

όπου:

$\lambda$  = wavelength of the emitted radiance (11.5μm for band 10 in Landsat-8 OLI).

$C_2 = h \times c/s = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ m K}$ .

$s$  = σταθερά Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ .

$h$  = σταθερά Planck's =  $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ .

$c$  = ταχύτητα του φωτός =  $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

$\varepsilon$  = emissivity.

Στη συνέχεια, έχοντας υπολογίσει την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους, πραγματοποιήθηκε συλλογή και των υπόλοιπων χωρικών υποβάθρων που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της ταχύτητας των θερμικών ανοδικών ρευμάτων, τα οποία είναι:

- Η μέση θερμοκρασία σε ύψος 2m σε Kelvin
- Η μέση πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας σε Millibars
- Η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10m σε m/s



Το σύνολο των παραπάνω επιπέδων εξήχθη από το πρόγραμμα του *Copernicus ERA5 monthly averaged data on single levels from 1979 to present*. Για την παραγωγή των τελικών υποβάθρων πραγματοποιήθηκαν ορισμένα στάδια προετοιμασίας:

1. Μετατροπή των αρχείων από την αρχική μορφή στην οποία λήφθηκαν από NetCDF σε μορφή TIFF,
2. Μετατροπή του προβολικού συστήματος σε ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87 και περικοπή των επιπέδων στην περιοχή μελέτης,
3. Interpolation των επιπέδων σε μέγεθος εικονοστοιχείου 30m με τη βοήθεια του εργαλείου *Translate* του QGIS3.4 με τη μέθοδο *Cubic Spline* και
4. Επαν-υπολογισμός του επιπέδου μέσης πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας από Pascal που ήταν αρχικά το επίπεδο σε Millibar που απαιτούσε η μεθοδολογία (1 pascal = 0.01 millibars).

Τέλος, οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για την εξαγωγή της ταχύτητας των αναπτυσσόμενων θερμικών ανοδικών ρευμάτων (**Χάρτης 21 - Χάρτης 25**) ήταν οι εξής:

- 1) Calculation of the potential temperature ( $\theta$ )

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^K$$

όπου:

T: θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2m από την επιφάνεια της γης

$p_0$ : the sea level standard air pressure given in millibar

$p$ : the atmospheric boundary layer (ABL) air pressure at 1 km a.s.l. = 898.7457 millibar

K: the Poisson constant for dry air = 0.2854

- 2) Calculation of  $r_a$

$$r_a = \frac{\text{aerodynamic resistance for an approximated grassland surface (= 208)}}{\text{horizontal wind speed at 2m height}}$$

- 3) Calculation of the surface sensible heat flux ( $H$ )

$$H = p * c_p * \frac{T_s - T_a}{r_a}$$

όπου:

$p$ : as the sea level air density = 1.225 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$ : as the isobaric mass heat capacity = 1.0035 J/kg/K

$r_a$ : as described in Step 2

- 4) Calculation "free connectivity scaling velocity" or the Deardorff velocity ( $w^*$ )

$$w^* = \left( \frac{g * z * H}{\theta} \right)^{\frac{1}{3}}$$

όπου:





g: the gravitational acceleration =  $9.8 \text{ m/s}^2$

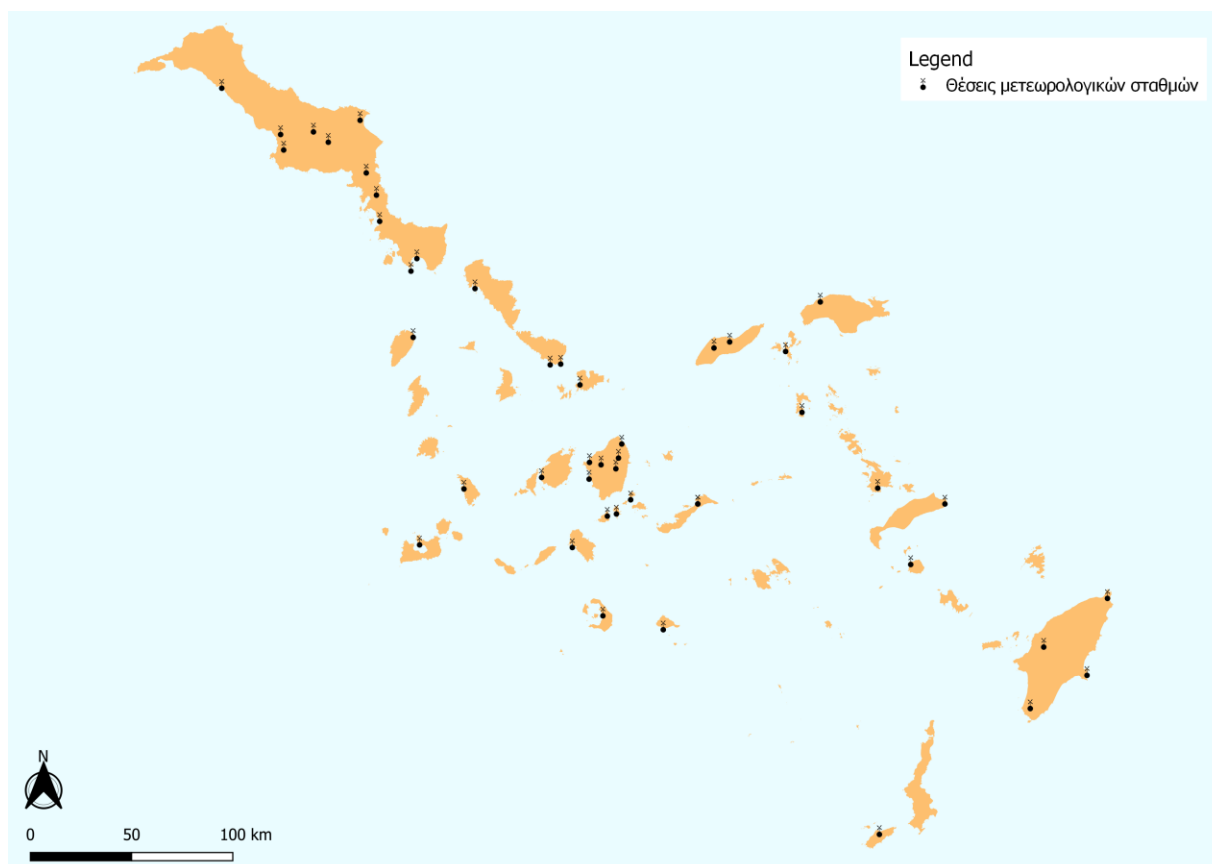
z: as the average height in meters of all GPS data obtained during active flight = 201 m a.g.l.,

H: as the surface sensible heat flux measured in  $\text{W/m}^2$

$\theta$ : as the potential temperature measured in Kelvin

#### 4.3.2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Για τον προσδιορισμό της **οριζόντιας ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου** χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από συνολικά 46 μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης, τα οποία είναι διαθέσιμα στο [meteo.gr](http://meteo.gr). Τα πρωτογενή δεδομένα λήφθηκαν από τις ιστοσελίδες που είναι διαθέσιμες για κάθε έναν από τους 46 μετεωρολογικούς σταθμούς, τα οποία είναι διαθέσιμα σε μορφή .txt.



Εικόνα 7: Μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή μελέτης από τους οποίους εξήχθησαν η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου για την περίοδο Μάιος – Σεπτέμβριος 2020

Τα πρωτογενή δεδομένα εισήχθησαν στο Microsoft Excel σε δύο φύλλα, ένα για την ταχύτητα και ένα για την κατεύθυνση ανέμου, όπου συμπεριλήφθηκαν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά και την ακριβή τοποθεσία κάθε σταθμού με τη μορφή συντεταγμένων. Ο τελικός πίνακας είχε την εξής μορφή για την επικρατούσα κατεύθυνση ανέμου:



Area	Station name	Latitude	Longitude	Altitude (m)	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Evoia	Vateri Evoias	38,77408	23,31334	130	45	45	45	45	45
Evoia	Psachna Evoias	38,56943	23,64915	50	247.5	247.5	337.5	337.5	45
Evoia	Chalkida	38,50046	23,66690	200	292.5	292.5	45	315	45
Evoia	Steni Evoias	38,58142	23,83555	450	45	45	45	45	45
Evoia	Setta Evoias	38,53556	23,91972	925	202.5	180	180	112.5	180
Evoia	Kumi	38.63315	24,10014	259	247.5	315	22.5	22.5	0
Evoia	Krieza Evoias	38,39880	24,13490	120	45	90	45	45	45
Evoia	Zarakes Evoias	38,29975	24,19209	163	225	225	22.5	45	22.5
Evoia	Styra Evoias	38,18300	24,21000	32	22.5	22.5	45	45	45
Evoia	Karystos	38,01639	24,41917	30	135	135	0	0	0
Evoia	Paximada Karystou	37,96062	24,38546	220	315	315	315	315	315
Kyklades	Andros	37,88121	24,74488	16	22.5	45	22.5	22.5	45
Kyklades	Tinos	37,53824	25,16200	20	22.5	0	0	0	0
Kyklades	Tinos Porto	37,54100	25,22100	123	225	247.5	0	0	0
Kyklades	Mykonos	37,44724	25,32698	10	0	0	0	0	0

Στη συνέχεια, τα δεδομένα εισήχθησαν στο QGIS3.4 σε μορφή αρχείου .csv με την οποία υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής της χωρικής πληροφορίας του αρχείου, δηλαδή της τοποθεσίας των σταθμών. Για τη δημιουργία ενιαίου χάρτη όπου θα παρουσιάζεται η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου σε όλη την περιοχή μελέτης σε μορφή ψηφιδωτού (raster) πραγματοποιήθηκε interpolation χρησιμοποιώντας το εργαλείο *Grid (Inverse Distance to a Power)* του QGIS3.4.

Έχοντας ολοκληρώσει την προετοιμασία των απαραίτητων υποβάθρων, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί για την εξαγωγή της ταχύτητας των ανοδικών ορογραφικών ρευμάτων (**Χάρτης 16 - Χάρτης 20**). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έχει αναπτυχθεί από τους Bohrer et al. (2012).

- 1) Υπολογισμός της σταθεράς ανόδου – updraft coefficient ( $C_a$ )

$$C_a = \text{Sin}(\theta) * \text{Cos}(\alpha - \beta)$$

όπου:

$\theta$ : η κλίση του εδάφους σε μοίρες ( $^\circ$ )

$\alpha$ : η οριζόντια κατεύθυνση του ανέμου στο επίπεδο του εδάφους ( $^\circ$ )

$\beta$ : ο προσανατολισμός του εδάφους ( $^\circ$ )

- 2) Υπολογισμός της ταχύτητας των ανοδικών ορογραφικών ρευμάτων – orographic uplift velocity ( $w_0$ )

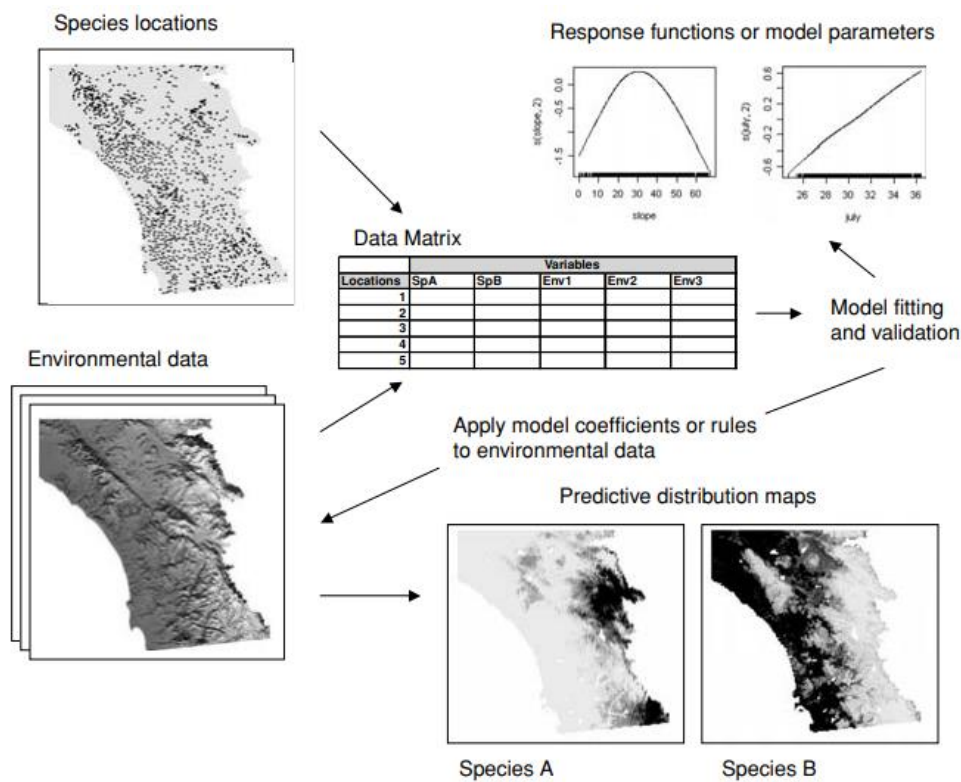
$$w_0 = v * C_a$$

όπου:

v: η οριζόντια ταχύτητα ανέμου (m/s)

#### 4.4. ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ ΜΕΣΩ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η διαδικασία μοντελοποίησης της δυνητικής κατανομής ενός είδους και η δημιουργία ενός χάρτη πρόβλεψης περιλαμβάνει μία σειρά πρακτικών βημάτων, ως συνέχεια της θεωρητικής βάσης που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3.4.1. Τα βιολογικά δεδομένα γνωστής παρουσίας του είδους φέρουν χωρική πληροφορία και με αυτόν τον τρόπο συνδέονται με χάρτες μορφής ψηφιδωτού (raster). Διαμέσου αυτής της σύνδεσης εξάγονται οι τιμές που λαμβάνουν οι επεξηγηματικές μεταβλητές στις θέσεις γνωστής παρουσίας (*Data matrix*). Στη συνέχεια, με τη χρήση μεθόδων στατιστικής ή μηχανικής μάθησης ή άλλου τύπου μοντελοποίησης, αναπτύσσεται η περιγραφική σχέση μεταξύ των θέσεων γνωστής παρουσίας και των περιβαλλοντικών δεδομένων (*Response functions or model parameters*). Η σχέση απόκρισης που παράγεται υποβάλλεται στη συνέχεια σε αξιολόγηση και τελικά οι συντελεστές που χαρακτηρίζουν κάθε περιβαλλοντική μεταβλητή (*Apply model coefficients to environmental data*) χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία χωρικών προβλέψεων (*Predictive distribution maps*; Franklin, 2009). Τα παραπάνω βήματα παρουσιάζονται συνοπτικά στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8: Πρακτικά βήματα δημιουργίας χάρτη πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής ενός είδους (Πηγή: Franklin, 2009)



Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης είναι ένα πολυ-παραγοντικό ζήτημα, το οποίο στηρίζεται κατά βάση στη μορφή των διαθέσιμων δεδομένων και στη σχέση των επεξηγηματικών μεταβλητών με τη μεταβλητή απόκρισης που στοχεύετε να εξαχθεί (Franklin, 2009). Η μορφή των διαθέσιμων βιολογικών δεδομένων συχνά διαχωρίζεται σε δεδομένα παρουσίας ή δεδομένα παρουσίας-απουσίας, με διαφορετικές στατιστικές μεθόδους να εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση.

Παρά την φαινομενική υπεροχή ορισμένων τεχνικών, η εφαρμογή μεμονωμένων πρακτικών δεν δύναται να αποδείξει την υπεροχή της μιας μεθόδου έναντι της άλλης, ενώ παράλληλα η εφαρμογή πολλαπλών μεθόδων μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή πολύ διαφορετικών προβλέψεων από τη μία τεχνική στην άλλη (Araújo and New, 2007). Σε αυτό το πλαίσιο, επιλέχθηκε η εφαρμογή συνδυασμού στατιστικών μεθόδων. Η επιλογή των μεθόδων πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν βασίζεται στις επικρατέστερες μεθόδους που εφαρμόζονται για την απάντηση όμοιων οικολογικών ερωτημάτων.

Συγκεκριμένα, οι μέθοδοι πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν τη χρήση *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων (GLM)* και της μεθόδου *Μέγιστης Εντροπίας* διαμέσου του λογισμικού *Maxent*. Η χρήση των δύο αυτών μεθόδων, δύναται να δώσει περισσότερο έγκυρα δεδομένα τόσο ως προς τον προσδιορισμό των μεταβλητών με την μεγαλύτερη επεξηγηματική ικανότητα, καθώς και την επιβεβαίωση των περιοχών υψηλής πιθανότητας παρουσίας του Σπιζαετού και από τις δύο μεθόδους. Παράλληλα, με τη χρήση των *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων* μπορεί να εξεταστεί και ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των επεξηγηματικών μεταβλητών, μία επεξεργασία που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με το *Maxent*.

Με την προϋπόθεση ότι τα δύο μοντέλα θα δώσουν παρόμοια πρόβλεψη, στην παραγωγή των τελικών χαρτών ευαισθησίας θα χρησιμοποιηθεί η πρόβλεψη μέσω της μεθόδου *Μέγιστης Εντροπίας*.

#### 4.4.1. 1<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ: GENERALIZED LINEAR MODEL (GLM)

Τα παραδοσιακά μοντέλα παλινδρόμησης συσχετίζουν μια μεταβλητή απόκρισης (response variable) (π.χ. παρουσία-απουσία, αφθονία, βιομάζα) με ένα σύνολο προκαθορισμένων περιβαλλοντικών παραμέτρων πρόβλεψης (predictors - π.χ. κλίμα, χρήσεις γης, πόροι). Οι παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μη μετασχηματισμένες περιβαλλοντικές μεταβλητές ή, προκειμένου να αποφευχθεί η πολυ-συγγραμικότητα (multi-collinearity) στα δεδομένα, ως συστατικά (orthogonal components) που προέρχονται από τις περιβαλλοντικές μεταβλητές μέσω πολυ-μεταβλητών αναλύσεων.

Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (GLMs) αποτελούν μια πιο ευέλικτη οικογένεια μοντέλων παλινδρόμησης, τα οποία επιτρέπουν τη μοντελοποίηση μη-σταθερών συναρτήσεων (non-constant variance functions) με τη χρήση μεταβλητών απόκρισης που ακολουθούν διαφορετική κατανομή, όπως συχνά ακολουθούν οικολογικά δεδομένα (Guisan et al., 2002).

Στα GLM, ο συνδυασμός των παραμέτρων πρόβλεψης σχετίζεται με τον μέσο όρο της εξαρτημένης μεταβλητής  $\mu = E(Y)$  μέσω μιας συνάρτησης σύνδεσης (*link function* -  $g(E(Y))$ ). Η χρήση τέτοιων συναρτήσεων σύνδεσης καθιστά δυνατό τόσο τον μετασχηματισμό της εξαρτημένης μεταβλητής σε



γραμμική (*linear*) όσο και τη διατήρηση των προβλεπόμενων τιμών εντός του αρχικού εύρους τιμών που προβλέπονται για τη μεταβλητή απόκρισης εξαρτημένης μεταβλητής. Με αυτόν τον τρόπο, τα GLM μπορούν να χειριστούν μεταβλητές με διωνυμική κατανομή (π.χ. παρουσία-απουσία) με λειτουργίες σύνδεσης ρυθμισμένες σε *logit* όπου  $g(\mu) = \log \left[ \frac{\mu}{1-\mu} \right]$  (Agresti, 2019; Guisan et al., 2002, 2013).

Πιο αναλυτικά, οι μεταβλητές πρόβλεψης  $X_j$  ( $j = 1, \dots, p$ ) συνδυάζονται με τρόπο ώστε να δημιουργηθεί μία γραμμική πρόβλεψη  $LP$  ( $LP = \text{linear predictor}$ ), η οποία σχετίζεται με την αναμενόμενη τιμή  $\mu = E(Y)$  της εξαρτημένης μεταβλητής (*response variable*)  $Y$  διαμέσου μιας συνάρτησης σύνδεσης (*link function*)  $g()$ , σύμφωνα με τη συνάρτηση (Guisan et al., 2002):

$$g(E(Y)) = LP = a + X^t \beta$$

όπου:

$a$ : σταθερά που καλείται *intercept*

$X = (X_1, \dots, X_p)$ : διάνυσμα που αποτελείται από  $p$  μεταβλητές πρόβλεψης

$\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_p\}$ : διάνυσμα που αποτελείται από  $p$  σταθερές παλινδρόμησης (μία για κάθε μεταβλητή πρόβλεψης)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν για την παραγωγή της προβλεπόμενης κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με τη χρήση Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων (GLM). Ο κώδικας που παρουσιάζεται βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις οδηγίες των Hijman and Elith (2019).

A. Η προετοιμασία των ψηφιδωτών επιπέδων (*raster*) που χρησιμοποιήθηκαν πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS3.4. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μετατροπή της μορφής των επιπέδων από TIFF σε ASCII. Τα αρχεία ASCII είναι απαραίτητα για την χρήση του λογισμικού Maxent, ενώ μπορεί και να χρησιμοποιηθεί και από την γλώσσα προγραμματισμού *R*.

Συνολικά, τα επίπεδα που προστέθηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές περιλαμβάνουν τις τοπογραφικές παραμέτρους προσανατολισμού (*Aspect*), κλίσης (*Slope*), ετερογένειας (*Terrain Ruggedness Index – TRI*) του εδάφους, της εκβάθυνσης πλαγιών και φαραγγιών (*Valley depth*), του υψομέτρου (*DEM*) και του δείκτη διαφοράς υψομέτρου (*Topographic Position Index - TPI*), των μετεωρολογικών παραμέτρων μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (*Average temperature*), μέσης θερμοκρασίας των θερμότερων μηνών, δηλαδή του Ιουλίου και του Αυγούστου (*Average temp in the warmest months*), της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (*Precipitation*) και της μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (*Solar radiation*), των καλύψεων γης (*Land cover*) και τέλος, της απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό (*Settlements*) (Πίνακας 1).



Πίνακας 1: Περιβαλλοντικές-επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο μοντέλο πρόβλεψης και μέθοδος ευθυγράμμισης (alignment) που χρησιμοποιήθηκε

Όνομασία περιβαλλοντικής-επεξηγηματικής μεταβλητής	Μέθοδος ευθυγράμμισης - Alignment
<b>Τοπογραφικές παράμετροι</b>	
Aspect	Bilinear
Slope	Bilinear
Terrain Ruggdeness Index – TRI	Bilinear
Valley depth	Bilinear
DEM	Bilinear
Topographic Position Index - TPI	Bilinear
<b>Μετεωρολογικές παράμετροι</b>	
Average temperature – avrg_temp	Bilinear
Average temp in the warmest months – avrg_temp_warm_months	Bilinear
Precipitation	Bilinear
Solar radiation	Bilinear
<b>Καλύψεις γης – Ανθρωπογενής παρουσία</b>	
Land cover	Nearest neighbor
Settlements	Nearest neighbor

Τα επόμενα στάδια επεξεργασίας πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R σε περιβάλλον RStudio. Αρχικά, προστέθηκαν τα βιολογικά δεδομένα (occ\_bonelli.csv) και τα περιβαλλοντικά υπόβαθρα (asc\_files), ενώ φορτώθηκαν και οι βιβλιοθήκες της R που χρησιμοποιήθηκαν για την πλειοψηφία των διαδικασιών.

```
Library(dismo)
Library(raster)
Library(ggplot2)
# Set working directory
setwd("C:/Users/.../Maxent/30m")
### Data preparation
# Read occurrence data and set variable name (file)
file <- "C:/Users/.../Maxent/30m/occ_bonelli.csv"
bonelli <- read.table(file, header=TRUE, sep=",")
# Read predictive raster variables
# ASCII files have been prepared using QGIS software through Raster > Conversion >
Translate (Convert format) of original TIF files
path <- file.path("C:/Users/.../Maxent/30m/asc_files", 'new')
asc_files <- list.files(path, pattern='asc$', full.names=TRUE )
```



B. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ευθυγράμμιση (alignment) των επιπέδων που χρησιμοποιήθηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές στην ίδια έκταση. Για τις περιβαλλοντικές μεταβλητές που αφορούν ποσοτικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος resampling η μέθοδος *Bilinear* ("*bilinear*"), ενώ για τις μεταβλητές που αφορούν κατηγορικές μεταβλητές ή αποστάσεις χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος *Nearest Neighbor* ("*ngb*") (Πίνακας 1).

```
# Align rasters to the same extent
sub_1 <- asc_files[c(1,2,3,4,6,8,9,10,11,12)]
sub_2 <- asc_files[c(5,7)]
for (i in 1:length(sub_1)){
  asc_2 <- raster(sub_1[i])
  asc_3 <- resample(asc_2, raster(sub_1[2]), "bilinear")
  writeRaster(asc_3,
              filename = sub_1[i],
              format="ascii",
              na.value=-9999, overwrite=TRUE)
}
for (i in 1:length(sub_2)){
  asc_2 <- raster(sub_2[i])
  asc_3 <- resample(asc_2, raster(sub_1[2]), "ngb")
  writeRaster(asc_3,
              filename = sub_2[i],
              format="ascii",
              na.value=-9999, overwrite=TRUE)
}
```

C. Δημιουργία *Raster stack*, όπου «στοιβάζονται» όλες οι επεξηγηματικές μεταβλητές σε μία. Για να γίνει αυτό πρέπει όλα τα επίπεδα (layers) να έχουν ίδιο μέγεθος εικονοστοιχείου και να αφορούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Οι επεξεργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν πρωτίτερα με resample με μέγεθος εικονοστοιχείου 30m για όλα τα επίπεδα στο QGIS3.4 και ευθυγράμμιση (βήμα B - Πίνακας 1).

```
# Create stack of raster files
predictors <- stack(asc_files)
# Set same value for Not Available (NA) data for all predictive layers
NAvalue(predictors) <- -9999
# Set projection for all predictive layers
projection(predictors) <- CRS('+init=epsg:2100')
# Set layer names
names(predictors) <- c('aspect', 'avrg_temp', 'avrg_temp_warm_months', 'dem',
'land_cover', 'precipitation', 'settlements', 'slope', 'solar_radiation', 'TPI',
'TRI', 'valley_depth')
```

D. Δημιουργία διαγραμμάτων για την στατιστική παρατήρηση του εύρους των τιμών κάθε μεταβλητής (Γράφημα 1 - Γράφημα 12). Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν διαφορετική για τις συνεχείς



μεταβλητές και για την μοναδική κατηγορική μεταβλητή (Καλήψεις γης – Land cover) του συνόλου των δεδομένων.

```
# Create histograms for explanatory continuous variables
# Convert the raster layer to a vector in order to decrease computation time
v <- getValues(predictors$valley_depth)
# Ggplot library uses data frame object thus it is needed to convert the vector
object to a data frame
v2 <- as.data.frame(v)
# Create histogram using ggplot
p <- ggplot(v2, aes(v)) + geom_histogram()
# Change axis titles
p + ggtitle("Distribution of valley depth values throughout the survey area") +
  xlab("Valley depth") + ylab("Values")
```

```
# Create bar plot for the only explanatory categorical variable: Land cover
# Convert the raster layer to a vector in order to decrease computation time
v <- getValues(predictors$land_cover)
# Convert the land cover variable into a factor
v2 <- factor(v, levels = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7),
  labels = c("water bodies", "cultivations", "forests", "grasslands",
  "schrublands", "soil", "urban area"))
# Sort land cover categories to appear decreasing
v3 <- sort(v2, descending=TRUE)
# Ggplot library uses data frame object thus it is needed to convert the vector
object to a data frame
v3 = as.data.frame(v3)
v4 <- within(v4,
  v3 <- factor(v3, levels=names(sort(table(v3), decreasing = TRUE))))
# Create bar plot using ggplot
p <- ggplot(v3, aes(v3), col = 'black', fill = 'blue', width = 0.4)
  + geom_bar()
# Change axis titles
p + ggtitle("Distribution of Land cover categories throughout the study area")
  + xlab("Land cover categories") + ylab("Values")
```

E. Εξαγωγή των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές πρόβλεψης (*Predictive variables*) στις θέσεις επιβεβαιωμένης παρουσίας του είδους

```
# Extract predictive variables values from occurrence data
presvals <- extract(predictors, bonelli[2:3])
```

F. Δημιουργία διαγραμμάτων για τις τιμές των μεταβλητών πρόβλεψης στις θέσεις επιβεβαιωμένης παρουσίας του είδους (**Γράφημα 23 - Γράφημα 33**)





```
# Create histograms for the explanatory variables occurring in the sample data
# GGplot library uses data frame object thus it is needed to convert the vector
object to a data frame
pv <- as.data.frame(presvals)
# Create histograms for the continuous variables
p <- ggplot(data = pv, stat= density, aes(avrg_temp_warm_mo))
  + geom_histogram(bins = 11 , col = "black", fill = "blue")
p + ggtitle("Distribution of values for Distance to Water bodies explanatory variable
occurring inside the occurrence data")
  + xlab("Distance to Water bodies") + ylab("Values")

# Create barplot for the categorical variable
p2 <- factor(pv$land_cover, levels = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7),
  Labels = c("water bodies", "cultivations", "forests", "grasslands",
"schrublands", "soil", "urban area"))
# Sort land cover categories to appear decreasing
p3 <- sort(p2, decreasing = TRUE)
# GGplot library uses data frame object thus it is needed to convert the vector
object to a data frame
p3 <- as.data.frame(p3)
# Create bar plot using ggplot
p <- ggplot(p3, aes(p3)) +
  geom_bar(width = 0.3, col = "black", fill = "blue")
# Change axis titles
p + ggtitle("Distribution of Land cover categories occurring inside the occurrence
data")
  + xlab("Land cover categories") + ylab("Values")
```

#### G. Δημιουργία ψευδο – απουσιών

Δημιουργία **background points / pseudo-absences**: υποκαθιστούν τις θέσεις επιβεβαιωμένης απουσίας του είδους όταν αυτά δεν είναι διαθέσιμα.

Στην πλειοψηφία τους τα διαθέσιμα δεδομένα για την εξάπλωση ειδών αφορούν στοιχεία παρουσίας (π.χ. μουσειακές καταγραφές, αποθετήρια δεδομένων από επαγγελματίες και ερασιτέχνες).

Ταυτόχρονα, οι διαθέσιμες στατιστικές μέθοδοι πρόβλεψης της πιθανότητας παρουσίας ενός είδους και ειδικότερα αυτές που παράγουν αποτελέσματα τα οποία μπορούν να πλησιάσουν την πραγματική κατανομή ενός είδους, χρησιμοποιούν τόσο δεδομένα παρουσίας όσο και απουσίας.

Για τους παραπάνω λόγους, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι παραγωγής θέσεων όπου θεωρείται ότι το είδος απουσιάζει. Η απλούστερη μέθοδος περιλαμβάνει την τυχαία παραγωγή σημείων απουσίας εντός της περιοχής μελέτης.

Ωστόσο, θεωρείται περισσότερο ορθή ως μέθοδος, η δημιουργία σημείων σε συγκεκριμένη απόσταση (min dist & max dist) από τις θέσεις παρουσίας όπου θεωρείται περισσότερο πιθανή η παρουσία



ακατάλληλων βιοτικών και αβιοτικών συνθηκών για την εγκατάσταση ή/και δραστηριοποίηση του είδους λόγω ανταγωνισμού ή διότι εάν υπήρχαν οι κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες πλησίον των θέσεων γνωστής παρουσίας θα ήταν επίσης γνωστό.

Λόγω της νησιωτικότητας που παρουσιάζει η περιοχή μελέτης χρειάστηκε η δημιουργία ενός mask με βάση την περιοχή μελέτης και τις περιοχές που καθορίστηκαν διαμέσου της δημιουργίας buffer 5km από τα σημεία γνωστής παρουσίας του είδους.

```
## Sampling pseudo-absences from a specified area (polygon) at 5km from the presences
Library(rgeos)
# Set coordinate columns from bonelli dataset and CRS
coordinates(bonelli) <- ~Longitude+Latitude
projection(bonelli) <- CRS('+init=epsg:2100')
# circles with a radius of 5 km
z <- circles(bonelli, d=5000, LonLat=FALSE)
# Create merged polygon from circles object
pol <- polygons(z)
# Create mask to extract points that have non-NA values below
mask <- mask(predictors[[1]], pol)
mask_b <- rasterToPolygons(mask)
# Save samp1 polygon object in shapefile format
shapefile(mask_b,
           "C:/Users/.../Maxent/30m/R_results/mask_polygon_backgr_points.shp")
# Random sample of pseudo-absences from the created mask
samp1 <- spsample(mask_b, 50, type='random', iter=25)
# Get unique cells
cells <- cellFromXY(mask, samp1)
cells <- unique(cells)
xy <- xyFromCell(mask, cells)
# Plot background points
plot(pol, axes=TRUE)
points(xy, cex=0.3, pch=10, col='blue')
```

H. Εξαγωγή των τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών στα background points (absvals)

```
# Extracting predictive variables values from background points
absvals <- extract(predictors, samp1)
```

I. Δημιουργία ενός διανύσματος με τον αριθμό 1 τόσες φορές όσες και τα στοιχεία παρουσίας (occurrence data) και τον αριθμό 0 τόσες φορές όσες και τα στοιχεία απουσίας (background data), το οποίο και αντιπροσωπεύει την εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου πρόβλεψης (pb).

```
pb <- c(rep(1, nrow(presvals)), rep(0, nrow(absvals)))
```



J. Δημιουργία ενός *Data frame* όπου παρουσιάζονται τα *Occurrence data*, τα *Background data* και το διάνυσμα *pb*

```
sdmdata <- data.frame(cbind(pb, rbind(presvals[,2:13], absvals)))  
sdmdata <- na.omit(sdmdata)
```

K. Έλεγχος της συσχέτισης μεταξύ των επεξηγηματικών μεταβλητών

Ο προσδιορισμός της συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική, καθώς έχει παρατηρηθεί σε πολλές περιπτώσεις η επιρροή δύο ή περισσότερων μεταβλητών να προκύπτει ως μη σημαντική λόγω της συγγραμικότητας των μεταβλητών, ενώ κάθε μοναδική μεταβλητή παρατηρείται ότι μπορεί να επεξηγήσει σημαντικό ποσοστό της προβλεπόμενης κατανομής (Guisan et al., 2002). Σε αυτό το πλαίσιο από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι η εκτίμηση του *Variance Inflation Factor (VIF)* προσδιορίζοντας τη συγγραμικότητα μεταξύ των μεταβλητών (Guisan et al., 2002) και του συντελεστή συσχέτισης  $R^2$ .

ΜΕΘΟΔΟΣ A: Variance inflation factor (VIF)

```
### Estimating correalation between environmental predictive variables  
(multicollinearity)  
# Variance inflation factor (VIF)  
library(usdm)  
vif1 <- vifstep(sdmdata[,2:13], th=4)  
vif1  
vif2 <- vifcor(sdmdata[,2:13], th=0.9)  
vif2
```

ΜΕΘΟΔΟΣ B: Correlation coefficient

```
## Visualize the correlation between variables in the form of pair plots &  
Computation of correlation coefficient for each pair  
library(corrplot)  
r <- cor(sdmdata[,2:13], use = 'pairwise.complete.obs')  
corrpdf <- corrplot(r, method = "number", type = "lower",  
diag = F, tl.cex = 1, cl.cex = 1)
```

L. Παραγωγή του μοντέλου πρόβλεψης με τη μέθοδο των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων και εύρεση του βέλτιστου μοντέλου.

Το μέτρο AIC (Akaike Information Criterion) χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας ενός μοντέλου, δηλαδή της ικανότητάς του να προβλέψει τις ζητούμενες τιμές, αξιολογώντας την επίδραση κάθε μεταβλητής και απορρίπτοντας εκείνες που δεν ελαχιστοποιούν την τιμή του εν λόγω μέτρου (Guisan et al., 2002).



Στην R η συνάρτηση που προσαρμόζει ένα γενικευμένο γραμμικό μοντέλο είναι η `glm` κι έχει τη μορφή: `glm(formula, family, data)`. Με τον όρο `formula` ορίζονται οι μεταβλητές απόκρισης και οι επεξηγηματικές μεταβλητές στο γενικευμένο γραμμικό μοντέλο. Στην υπόδειξη `family` δηλώνεται η κατανομή που ακολουθούν οι παρατηρήσεις της μεταβλητής απόκρισης. Στον όρο `data` δηλώνεται το πλαίσιο δεδομένων που δημιουργήθηκε στο βήμα J. Η μεταβλητή απόκρισης παίρνει τιμές 1=παρουσία και 0=απουσία, για αυτό και δηλώνεται ως κατανομή: `family=binomial`. Ως συνάρτηση σύνδεσης λαμβάνεται η λογιστική: `link = logit` (Νταϊλιάνας, 2012).

```
### Model fitting
# Create saturated model
m1 <- glm(pb ~ ., data=sdmdata, family = binomial(link = "logit"))

# StepAIC procedure runs all possible combinations of predictor models in order to
# result on the one model that produces the smallest AIC
library(MASS)
stepAIC(m1)
# Creation of the best fitted model
m2 <- glm(pb ~ avrg_temp_warm_months + precipitation + solar_radiation + TRI +
          valley_depth, family = binomial(link = "logit"), data=sdmdata)

# Compute the odds ratio and the confidence interval for each predictive variable
stats_m2 <- exp(cbind(oddsRatio = coef(m2), confint(m2)))
```

#### M. Αξιολόγηση του μοντέλου πρόβλεψης

```
### Model evaluation
# Create presence and background data
pres <- sdmdata[sdmdata[,1] == 1, 1:13]
back <- sdmdata[sdmdata[,1] == 0, 1:13]
# Quick evaluation
evaluate(pres, back, m2)
# Split to Train/test set
# Partition the data
k <- 5
group <- kfold(pres, k)
group[1:10]
unique(group)
# Fit and test the model
e <- list()
for (i in 1:k) {
  train <- pres[group != i,]
  test <- pres[group == i,]
  m2 <- glm(pb ~ TRI + slope + valley_depth + water_bodies,
            data=train, family = binomial(link = "logit"))
  e[[i]] <- evaluate( p=test, a=back, m2)
```



```
}  
e  
auc <- sapply(e, function(x){x@auc})
```

N. Παραγωγή του χάρτη πρόβλεψης και αξιολόγηση της ικανότητας πρόβλεψης του μοντέλου

```
### Model prediction  
library(pROC)  
predpr <- predict(predictors, m3,type=c("response"))  
plot(predpr)  
writeRaster(predpr, filename="C:/Users/.../Maxent/30m/R_results/GLM1_M2.tif",  
format="GTiff")  
# Create ROC curve  
library(pROC)  
pb2 <- sdmdata[[1]]  
roccurve <- roc(pb2 ~ predpr)  
plot(roccurve)
```

#### 4.4.2. 1<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ: MAXIMUM ENTROPY MODEL (MAXENT)

Η μέθοδος της *Μέγιστης Εντροπίας (Maximum Entropy)* αποτελεί μία μέθοδο πρόβλεψης δεδομένων μεγάλων διαστάσεων, δηλαδή όταν οι πιθανές συνθέσεις-καταστάσεις (number of possible configurations) στην περιοχή μελέτης είναι πολύ περισσότερες σε ποσότητα σε σχέση με το υφιστάμενο-γνωστό σύνολο δεδομένων (amount of data). Η χρήση της μεθόδου της μέγιστης εντροπίας για τον προσδιορισμό της πιθανής γεωγραφικής κατανομής ενός είδους, βασίζεται στην πρόβλεψη περιοχών που πληρούν τις συνθήκες του θεμελιώδους θώκου του είδους (fundamental niche) και τελικά προσεγγίζουν τη δυνητική εξάπλωση του. Οι περιβαλλοντικές αυτές συνθήκες εξάγονται από τις θέσεις γνωστής παρουσίας τους είδους (occurrence localities), οι οποίες προέρχονται μέσα από δείγμα της πραγματικής κατανομής του (realized niche). Όσο πιο μεγάλη είναι η περιοχή μελέτης, τόσο περισσότερο ο θεμελιώδης θώκος προσεγγίζει την πραγματική κατανομή του είδους (Phillips et al., 2006).

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, σε συστήματα όπου δεν υφίστανται εξωγενείς επιρροές, οι λειτουργίες του συστήματος τείνουν προς μία κατεύθυνση όπου μεγιστοποιείται η εντροπία. Σε αυτό το πλαίσιο και η μέθοδος μοντελοποίησης μεγιστοποίησης της εντροπίας (*Maximum entropy*), απουσία εξωτερικών επιρροών εκτός του συνόλου των περιορισμών που έχει οριστεί στο μοντέλο, η γεωγραφική κατανομή ενός είδους θα τείνει προς την κατανομή με τη μέγιστη εντροπία (Phillips et al., 2006). Η κατανομή αυτή βασίζεται στην αρχή της πιθανής κατανομής του Gibbs, η οποία δίνεται από την εξίσωση:

$$q_{\lambda}(x) = e^{\lambda * f(x)}$$

όπου:

- λ: διάνυσμα συντελεστών που αντιπροσωπεύει τα βάρη των στοιχείων
- x: το σύνολο των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης



$f(x)$ : διάνυσμα που αποτελείται από όλα τα στοιχεία-features

Η λογική πίσω από τη μέθοδο της μέγιστης εντροπίας περιλαμβάνει την πρόβλεψη μίας κατανομής-στόχου μέσω της εκτίμησης της κατανομής της μέγιστης εντροπίας, η οποία είναι περισσότερο απλωμένη ή προσεγγίζει την ομοιόμορφη κατανομή, η οποία υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών που αναπαριστούν την ελλιπή πληροφορία που έχουμε για την κατανομή-στόχο. Η διαθέσιμη πληροφορία για την κατανομή-στόχο απαρτίζεται από ένα σύνολο πραγματικών μεταβλητών, οι οποίες καλούνται στοιχεία (features) και οι περιορισμοί αφορούν το γεγονός ότι η αναμενόμενη τιμή κάθε στοιχείου πρέπει να ανταποκρίνεται στον εμπειρικό μέσο όρο, δηλαδή στη μέση τιμή ενός συνόλου δειγματοληπτικών σημείων (θέσεις γνωστής παρουσίας) από το σύνολο της κατανομής στόχου (Phillips et al., 2006).

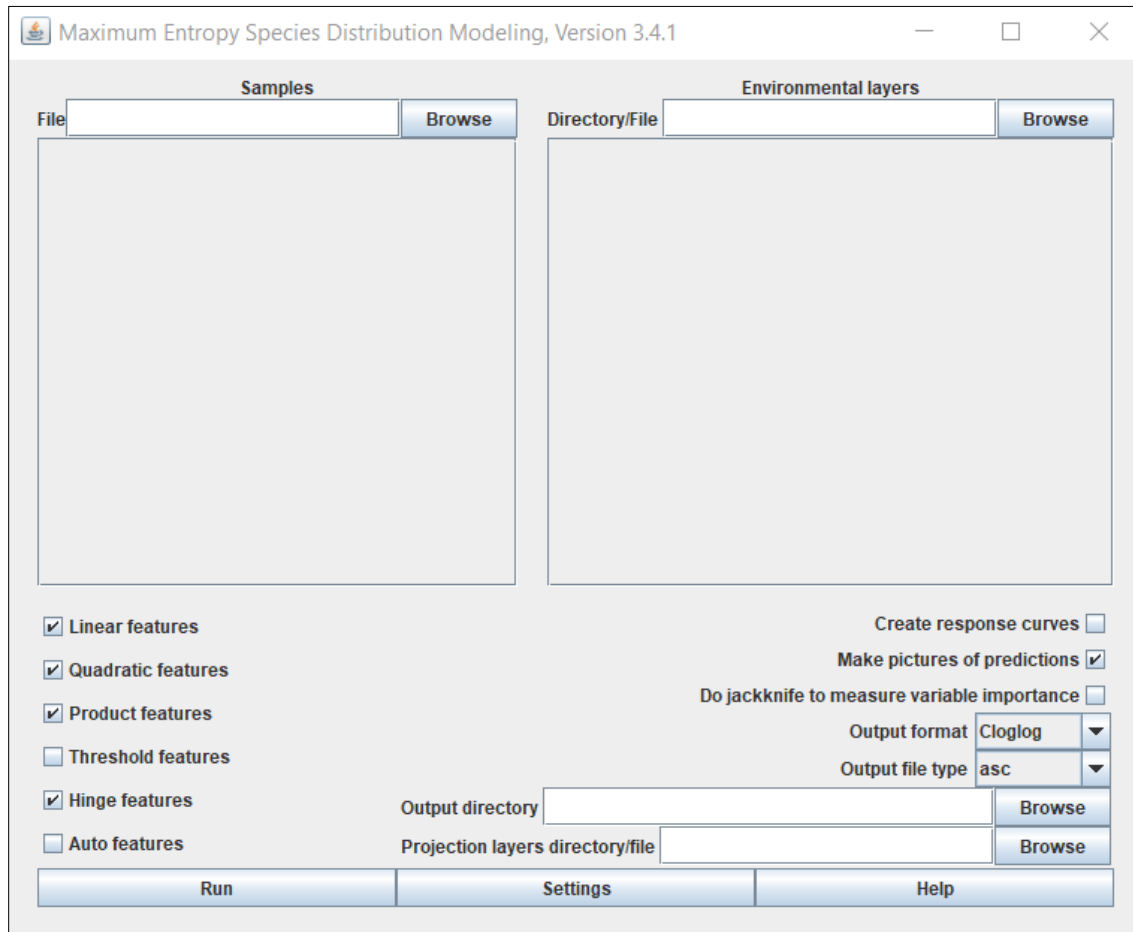
Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που ξεχωρίζουν τη μοντελοποίηση μέγιστης εντροπίας από άλλες διαθέσιμες μεθόδους είναι:

1. Δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της πιθανής κατανομής με τη χρήση μόνο δεδομένων παρουσίας, χωρίς την ανάγκη δεδομένων απουσίας, τα οποία είναι συνήθως δυσεύρετα,
2. Τα στοιχεία (features) μπορούν να είναι πέντε διαφορετικών τύπων: *linear*, *quadratic*, *product*, *threshold* και *binary*, με το λογισμικό να δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, και
3. Η χρήση μίας παραμέτρου στάθμισης  $\beta$  (*regularization parameter*), η οποία καθορίζει το πόσο απλωμένη θα είναι η κατανομή, ωθώντας το λογισμικό να επικεντρωθεί στα πιο σημαντικά στοιχεία, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το *overfitting* του μοντέλου (Phillips et al., 2006).

Το λογισμικό *Maxent* μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε η δημιουργία των μοντέλων πρόβλεψης με τη μέθοδο της *Μέγιστης Εντροπίας*, αποτελεί αυτοτελές λογισμικό γραμμένο σε γλώσσα *Java*, ελεύθερα προσβάσιμο από το Κέντρο Βιοποικιλότητας και Διατήρησης (CBC) του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Αμερικής (Phillips et al., 2006), ενώ πρόσφατα έγινε διαθέσιμος και ο κώδικας που τρέχει στο υπόβαθρό του λογισμικού (Phillips et al., 2017).

Το κυρίως πλαίσιο διαλόγου του λογισμικού περιλαμβάνει δύο βασικές θέσεις εισαγωγής των βιολογικών δεδομένων και των περιβαλλοντικών δεδομένων (Εικόνα 9). Παράλληλα, το λογισμικό περιλαμβάνει επιπλέον ρυθμίσεις:

- επιλογής της παραμέτρου στάθμισης  $\beta$  (*regularization parameter*), η οποία έλαβε την τιμή 1
- διαχωρισμού του συνόλου δεδομένων σε δεδομένα εκπαίδευσης (*training data*) και δεδομένα επαλήθευσης (*test data*). Στην προκειμένη περίπτωση το 20% των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα επαλήθευσης.
- επιλογής των διαφορετικών τύπων στοιχείων (*features*) που θα χρησιμοποιηθούν, η οποία ρυθμίστηκε στην αυτόματη επιλογή (*Auto features*).
- επιλογής εξαγωγής γραφημάτων αξιολόγησης του παραγόμενου μοντέλου
- επιλογής της διενέργειας στατιστικών δοκιμών αξιολόγησης των εξηγηματικών παραμέτρων (*Jackknife*) κ.α.



Εικόνα 9: Κεντρικό πλαίσιο διαλόγου του λογισμικού Maxent

#### 4.4.3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ

Για τη διενέργεια του δεύτερου μοντέλου πρόβλεψης περιοχών όπου υπάρχει υψηλή πιθανότητα παρουσίας του Σπιζαετού, χρειάστηκε η πρότερη επεξεργασία του διαθέσιμου δείγματος δεδομένων καταγεγραμμένης παρουσίας, το οποίο διαφέρει από το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο μοντέλο. Όπως ήδη έχει αναφερθεί τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το 2<sup>ο</sup> μοντέλο πρόβλεψης αποτελούν προϊόν τηλεμετρίας, δηλαδή έχουν ληφθεί μέσω ψηφιακής πλατφόρμας όπου αποστέλλονται τα δεδομένα όπως αυτά καταγράφονται επί τόπου από ανήλικο άτομο Σπιζαετού που φέρει δορυφορικό πομπό τύπου GPS-GSM φορεμένο σαν σακίδιο.

Ο πομπός GPS που τοποθετήθηκε στον Σπιζαετό είναι της εταιρίας Ornitela, λιθουανικής προέλευσης και το μοντέλο του πομπού είναι το OrniTrack-30. Ο αριθμός του μοντέλου υποδηλώνει τα γραμμάτια που ζυγίζει ο πομπός. Ως γενικός κανόνας θεωρείται ότι ο πομπός που τοποθετείται στο εκάστοτε ζώο πρέπει να έχει απαραίτητα βάρος μικρότερο του 5% του ζώου προκειμένου να μην το επιβαρύνει. Η παρακολούθηση των κινήσεων του Σπιζαετού, καθώς και η λήψη των δεδομένων τηλεμετρίας



πραγματοποιήθηκαν μέσω της πλατφόρμας OrniTrack της ίδιας εταιρίας, όπου τα δεδομένα είναι διαθέσιμα προς λήψη τόσο σε μορφή .kml, όσο και σε μορφή GPS στιγμάτων σε αρχείο τύπου .csv.

Κάθε θέση GPS περιλαμβάνει την πληροφορία για τη θέση του Σπιζαετού σε μορφή συντεταγμένων, ενώ περιλαμβάνει και μια σειρά άλλων μεγεθών που δύνανται να χαρακτηρίσουν τη συμπεριφορά του πουλιού στην συγκεκριμένη θέση, καθώς και την ποιότητα της θέσης GPS που λαμβάνεται. Τα μεγέθη που περιλαμβάνονται:

1. device\_id – unique identification number of OrniTrack device
2. UTC\_datetime – UTC date & time
3. UTC\_date – UTC date
4. UTC\_time – UTC time
5. **satcount – number of satellites during GPS fix**
6. U\_bat\_mV – battery voltage in millivolts (mV)
7. bat\_soc\_pct – battery charge in percent
8. solar\_I\_mA – battery charging current by solar panel in milliamperes (mA)
9. **hdop – horizontal dilution of precision of GPS fix**
10. **Latitude – Latitude in decimal degrees**
11. **Longitude – Longitude in decimal degrees**
12. **Altitude\_m – GPS measured altitude above mean sea level in meters**
13. **speed\_km\_h – GPS measured ground speed in kilometres per hour**
14. direction\_deg – GPS measured movement direction in degrees
15. temperature\_C – transmitter internal temperature in degrees Celsius
16. light – light intensity (0–2047, unitless)
17. mag\_x – magnetometer X-axis measurement
18. mag\_y – magnetometer Y-axis measurement
19. mag\_z – magnetometer Z-axis measurement
20. acc\_x – accelerometer X-axis measurement
21. acc\_y – accelerometer Y-axis measurement
22. acc\_z – accelerometer Z-axis measurement

Η επεξεργασία των δεδομένων τηλεμετρίας για τον παρόν ερευνητικό σκοπό πραγματεύεται κυρίως δύο αντικείμενα: α) την ελαχιστοποίηση του σφάλματος και β) την απομόνωση της δραστηριότητας του Σπιζαετού όσο βρίσκεται σε πτήση η οποία στοχεύει να προσομοιάσει τις δραστηριότητες αναζήτησης τροφής και αξιοποίησης των ανοδικών ρευμάτων, αφαιρώντας από το σύνολο δεδομένων τις θέσεις στατικής δραστηριότητας.

#### 4.4.3.1. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΘΕΣΕΩΝ GPS

Λόγω της ιδιαίτερης ανάπτυξης του τομέα της μελέτης των κινήσεων των ζώων (animal movement) με τη χρήση τηλεμετρίας έχει αναπτυχθεί παράλληλα και η ανάγκη μελέτης της εκτίμησης του σφάλματος της θέσης GPS (location error) και το υψόμετρο που εκτιμάται με βάση αυτή τη θέση. Ως σφάλμα της θέσης





θεωρείται η διαφορά μεταξύ της καταγεγραμμένης θέσης και της πραγματικής θέσης του ζώου (Bjørneraas et al., 2010). Το σφάλμα εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων οι οποίοι περιλαμβάνουν:

1. τον αριθμό των δορυφόρων από όπου η μονάδα GPS λαμβάνει σήμα,
2. την κατανομή των δορυφόρων στο χώρο (τη γεωμετρία τους),
3. τις περιβαλλοντικές συνθήκες και
4. τα χαρακτηριστικά του ζώου.

Ο αριθμός των δορυφόρων για το συγκεκριμένο τύπο συσκευής GPS δίνεται από το μέτρο **satcount**. Για την εκτίμηση της γεωμετρίας των δορυφόρων χρησιμοποιείται ένα μέτρο χωρίς μονάδα μέτρησης που καλείται *Dilution of precision* (DOP). Για την παρούσα μελέτη είναι διαθέσιμο το μέτρο **hdop (Horizontal dilution of precision)**. Όσο μικρότερη η τιμή του DOP, τόσο καλύτερη η ακρίβεια της θέσης GPS λόγω μεγαλύτερου γωνιακού διαχωρισμού μεταξύ των δορυφόρων (Bjørneraas et al., 2010).

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του εκτιμώμενου σφάλματος. Η πρώτη περιλαμβάνει την επιτόπια παρατήρηση των κινήσεων του ζώου και η αντιπαραβολή αυτών με τα δεδομένα που δίνει η συσκευή GPS για τις συγκεκριμένες κινήσεις, μία μορφή μοντελοποίησης που καλείται *state-space modelling* (Bjørneraas et al., 2010).

Εναλλακτικά, υπολογισμός του εκτιμώμενου σφάλματος μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω συλλογής δεδομένων μέσω προσομοίωσης τοποθετώντας τις συσκευές GPS σε σταθερά σημεία (Fleming et al., 2020; Péron et al., 2019). Σύμφωνα με τους Fleming et al. (2020), οι οποίοι εξέτασαν την αξία των τιμών *dop* ως προς την εκτίμηση της ποιότητας του στίγματος σε πομπούς διαφόρων εταιριών και μοντέλων, μεταξύ των οποίων και πομπούς Ornitela-20 και Ornitela-25, συμπέραναν για τους συγκεκριμένους πομπούς ότι η δοθείσα τιμή *hdop* δεν πρόσδιδε σημαντική πληροφορία ως προς την εκτίμηση του σφάλματος.

Τέτοιου τύπου αναλύσεις όπως αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας λόγω της ιδιαίτερα απαιτητικής υπολογιστικής δουλειάς, η οποία ξεφεύγει του σκοπού της εργασίας. Όπως αναφέρουν και οι Bjørneraas et al. (2010) στις περιπτώσεις όπου η εξαγωγή μοντέλου κίνησης δεν περιλαμβάνεται στους σκοπούς της έρευνας, το φιλτράρισμα των δεδομένων βάση κατωφλίων και η αφαίρεση των σφαλμάτων θεωρείται επαρκής. Τα μέτρα που χρησιμοποιούνται συνήθως για το φιλτράρισμα και τελικά την απόρριψη των κακής ποιότητας δεδομένων περιλαμβάνουν τον αριθμό των διαθέσιμων δορυφόρων (*satcount*) και την τιμή *dop* που χαρακτηρίζει κάθε θέση GPS.

Όσον αφορά τον αριθμό των διαθέσιμων δορυφόρων κατά την λήψη κάθε θέσης GPS, σύμφωνα με τους Bjørneraas et al. (2010), θέσεις GPS χάνονται όταν η συσκευή GPS λαμβάνει σήμα από λιγότερο από 3 δορυφόρους, ενώ οι Péron et al. (2017) χρησιμοποίησαν τις εγγραφές εκείνες που είχαν ληφθεί όταν πάνω από 6 δορυφόροι ήταν διαθέσιμοι. Όσον αφορά την τιμή του *hdop*, σύμφωνα με τους Roessel et al. (2018), για σήματα GPS που χαρακτηρίζονται από τιμές *hdop* άνω του 5, το σφάλμα είναι πάνω από 15m από την πραγματική θέση.



Παράλληλα, συχνά στα σύνολα δεδομένων από πομπούς GPS παρατηρείται μεγάλος αριθμός αρνητικών τιμών υψομέτρου, οι οποίες δεν μπορούν απλά να αφαιρεθούν από τα δεδομένα αφού κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε μείωση των διαθέσιμων δεδομένων και αλλοίωση του εύρους των τιμών υψομέτρου (Péron et al., 2017).

Το ύψος πτήσης για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων, υπολογίστηκε ως η διαφορά του εκτιμώμενου από τη θέση GPS υψομέτρου, το οποίο υπολογίζεται από την επιφάνεια της θάλασσας, και το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας όπως αυτή εξάγεται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM). Βάση παρόμοιων υπολογισμών, εκτιμάται ότι προκύπτουν τεσσάρων τύπων σφάλματα: (i) σφάλμα των συντεταγμένων της θέσης GPS, (ii) σφάλματα του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM), (iii) σφάλμα λόγω της αναδόμησης (resampling) του DEM και (iv) σφάλμα του υπολογισμένου μέσω GPS ύψους πτήσης εξαιτίας της αποχής μεταξύ του γεωειδούς από το ελλειψοειδές αναφοράς, το οποίο είναι ελαφρά διαφορετικό από το ύψος πτήσης από την επιφάνεια της θάλασσας (Péron et al., 2017).

Από τα παραπάνω γίνεται έκδηλο ότι λόγω των πολλαπλών πηγών σφάλματος οδηγούμαστε σε μεγάλα ποσοστά σφάλματος ύψους πτήσης (Péron et al., 2017) και ο υπολογισμός του προϋποθέτει την εκτίμηση των επιμέρους σφαλμάτων που αναφέρθηκαν (Roessel et al., 2018). Οι Katzner et al. (2012) αφαίρεσαν τα ύψη πτήσης που ήταν μικρότερα από -50m από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς περίπου τόσο εκτιμάται το άθροισμα του σφάλματος GPS (15m), του σφάλματος στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (3m) και του σφάλματος λόγω παρεμβολής-interpolation (30m).

Εντούτοις, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η αφαίρεση τιμών από το συνολικό εύρος τιμών του ύψους πτήσης χωρίς την ταυτόχρονη διαχείριση και των υπόλοιπων τιμών εγείρει κινδύνους. Ενός τέτοιου επιπέδου ανάλυση θα ξέφευγε από τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεδομένου ότι το ύψος πτήσης δεν λαμβάνεται υπόψη για τη διενέργεια του 2<sup>ου</sup> μοντέλου πρόβλεψης, ενώ η μέση τιμή του ύψους πτήσης η οποία και χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή της ταχύτητας των θερμικών ανοδικών ρευμάτων δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή κατά τον υπολογισμό της με και χωρίς τις αρνητικές τιμές ύψους πτήσης. Για τους παραπάνω λόγους δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία των τιμών ύψους πτήσης και δεν αφαιρέθηκαν οι αρνητικές τιμές, οι οποίες με βάση τα υπόλοιπα μέτρα που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του στίγματος GPS κατηγοριοποιήθηκαν ως ικανοποιητικά.

Τέλος, προκειμένου το διαθέσιμο σύνολο δεδομένων κινήσεων ενός ζώου να προσομοιάζει τις πραγματικές συνήθειες αυτού, πρέπει η συλλογή του δείγματος να πραγματοποιείται βάση συγκεκριμένου πρωτοκόλλου. Συγκεκριμένα, τα διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών θέσεων GPS που λαμβάνονται δεν πρέπει να ξεπερνούν ένα όριο, ενώ και το εύρος του αριθμού θέσεων ανά ημέρα που λαμβάνονται πρέπει να είναι περιορισμένο, διότι διαφορετικά ενέχει ο κίνδυνος υπερ-αντιπροσώπευσης ορισμένων ενδιαιτημάτων όπου λήφθηκαν περισσότερα στίγματα GPS με αποτέλεσμα την αλλοίωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των δεδομένων και την εξαγωγή εσφαλμένων συμπερασμάτων σε σχέση με τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις του ζώου. Οι Sage et al. (2019) σε μελέτη που πραγματοποίησαν για τη χρήση ορογραφικών ρευμάτων από θαλασσοπούλια με τη χρήση δεδομένων τηλεμετρίας, αφαίρεσαν από το σύνολο των δεδομένων διαδοχικά στίγματα που είχαν χρονική απόσταση παραπάνω από 30 λεπτά, ενώ σε μελέτη των Khosravifard et al. (2018) όπου στόχος ήταν η διάκριση γραμμικών και



μη-γραμμικών κινήσεων κατά μήκος ανοδικών ρευμάτων χρησιμοποιήθηκαν μόνο στίγματα τα οποία είχαν απόσταση μεταξύ τους 3 δευτερόλεπτα.

#### 4.4.3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΠΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΗ (FLIGHT & NON-FLIGHT)

Η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις κινήσεις των πουλιών μέσω της ανάλυσης δεδομένων τηλεμετρίας έχει συγκεντρώσει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον την τελευταία δεκαετία, κυρίως λόγω της βελτίωσης των πομπών παρακολούθησης. Το πρώτο βήμα για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των ειδών είναι η κατηγοριοποίηση των κινήσεων σε στατικές και σε πτήσεις. Τα χαρακτηριστικά των κινήσεων που χρησιμοποιούνται για τη διάκριση αυτών περιλαμβάνουν συνήθως την ταχύτητα κίνησης, την χρονική και πραγματική οριζόντια απόσταση μεταξύ των διαδοχικών θέσεων GPS, το ύψος πτήσης σε διαδοχικές θέσεις, την απόσταση από την αποικία/θέση φωλιάσματος και την ώρα της ημέρας (Hanssen et al., 2020; Sage et al., 2019; Khosravifard et al., 2018; Poessel et al., 2018; Péron et al., 2017). Όσον αφορά την ταχύτητα κίνησης, η ταχύτητα που χρησιμοποιείται για τη διάκριση των στατικών θέσεων από τις κινήσεις πτήσης ποικίλει από 0km/h (Hanssen et al., 2020) έως 4km/h (Khosravifard et al., 2018; Poessel et al., 2018). Το ύψος της θέσης από την επιφάνεια του εδάφους εκτιμάται είτε κατά τη διάρκεια διαδοχικών θέσεων όπου εάν αυξάνεται τότε θεωρείται ότι το πουλί κινείται κάθετα αξιοποιώντας κάποιο θερμικό, ενώ εάν μειώνεται υποδεικνύει κίνηση αερογλυστρίματος δηλαδή σπειροειδούς καταφορικής κίνησης που ακολουθεί μεταξύ διαδοχικών θερμικών (Khosravifard et al., 2018), είτε εξετάζεται σε αντιπαραβολή με την οριζόντια απόσταση που διανύει το εκάστοτε άτομο, προκειμένου να εξακριβωθεί εάν πρόκειται για πτητική δραστηριότητα ή για αναζήτηση τροφής από εποπτικό σημείο που βρίσκεται σε απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους. Για είδη αετών ως κατώφλι ακινησίας όσον αφορά την οριζόντια μετατόπιση έχουν ληφθεί τα 15m (Poessel et al., 2018; Péron et al., 2017). Λόγω των μοναδικών οικολογικών χαρακτηριστικών των ανεμοπορούντων αρπακτικών ειδών που εξετάζονται συνήθως σε έρευνες όπου μελετώνται οι κινήσεις των πουλιών, μεταξύ των βέλτιστων πρακτικών κατανόησης της φύσης των κινήσεων συμπεριλαμβάνεται η κατανόηση της φυσικής ιστορίας του υπό εξέταση είδους, καθώς και η δημιουργία διαγραμμάτων και η παρατήρηση της συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών ή και της κατανομής των τιμών μιας μεταβλητής και άρα την δημιουργία υποθέσεων που μπορεί να οδηγήσουν σε ικανό φιλτράρισμα του συνόλου δεδομένων (Poessel et al., 2018).

#### 4.4.3.3. ΤΕΛΙΚΟ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ

Συνολικά, αναλύθηκε σύνολο δεδομένων 46.729 στιγμάτων GPS, δηλαδή θέσεων του Σπιζαετού, η οποία αφορά την περίοδο από 27/05/2019 έως 18/09/2020. Με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, όπως αυτή παρατέθηκε παραπάνω σχετικά με την αφαίρεση κακής ποιότητας στιγμάτων GPS και την απομόνωση των κινήσεων εκείνων του Σπιζαετού που περιλαμβάνουν πτητική δραστηριότητα, πραγματοποιήθηκε παρατήρηση του εύρους τιμών των μεγεθών μέσω διαγραμμάτων:

- a. *hdop*
- b. Χρονική απόσταση σε ώρες μεταξύ διαδοχικών στιγμάτων GPS



- c. Ύψος πτήσης
- d. Απόσταση σε μέτρα που διανύθηκε μεταξύ διαδοχικών στιγμάτων GPS
- e. Ταχύτητα σε m/s

Συμπερασματικά, πραγματοποιήθηκε φιλτράρισμα του συνόλου δεδομένων, το οποίο βασίστηκε στα μοναδικά χαρακτηριστικά αυτού βάση των διαγραμμάτων που πραγματοποιήθηκαν για τις προαναφερθείσες τιμές και της διαθέσιμης βιβλιογραφίας όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω. Τελικά αφαιρέθηκαν διαδοχικά σε βήματα, από το σύνολο των δεδομένων τηλεμετρίας των θέσεων GPS, τα δεδομένα που είχαν τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Θέσεις όπου η ταχύτητα κίνησης ήταν μικρότερη από 1m/s. Συνολικά αφαιρέθηκαν 36.554 τα οποία αποτελούσαν στατικές θέσεις.
2. Θέσεις με χρονική απόσταση από το επόμενο στίγμα πάνω από 30min. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο κατώφλι, διότι το 95,6% των πρωτογενών δεδομένων είχαν χρονική απόσταση από το επόμενο στίγμα λιγότερο από 30min. Συνολικά αφαιρέθηκαν 738 στίγματα.
3. Θέσεις οι οποίες τοποθετούνταν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι θέσεις αυτές δεν μπορούν να χαρακτηριστούν βάση του υποβάθρου τους και επομένως δεν είναι χρήσιμες για τη διενέργεια του μοντέλου πρόβλεψης και μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Συνολικά αφαιρέθηκαν 8.518 στίγματα.
4. Θέσεις με  $hdop > 2$ . Μόλις το 2,87% των καταγεγραμμένων θέσεων είχαν  $hdop > 2$ . Συνολικά αφαιρέθηκαν 42 στίγματα.
5. Θέσεις όπου η ταχύτητα κίνησης ήταν μικρότερη από 4m/s, η απόσταση που διανύθηκε από την προηγούμενη θέση μικρότερη από 15m και το ύψος πτήσης μικρότερο από 100m. Σε αυτό το στάδιο οι θέσεις που αφαιρέθηκαν κάλυπταν και τα τρία χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν και στόχος ήταν η αφαίρεση από το σύνολο των δεδομένων των θέσεων εκείνων οπότε ο Σπιζαετός χρησιμοποιούσε ανυψωμένα σημεία που του δίνουν την δυνατότητα εποπτείας της γύρω περιοχής προς ανεύρεση της τροφής του. Συνολικά αφαιρέθηκαν 545 στίγματα.

Μετά από το φιλτράρισμα (screening), το σύνολο των δεδομένων μειώθηκε κατά 96% με τις τελικές εγγραφές να φτάνουν τις 1.844. Περί το 80% των απωλειών οφείλονται στην αφαίρεση των στατικών θέσεων κατά το πρώτο βήμα του φιλτραρίσματος.

#### 4.4.4. 2<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ: GENERALIZED LINEAR MODEL (GLM)

Το 2<sup>ο</sup> μοντέλο πρόβλεψης με τη χρήση Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων (GLM) ακολουθεί τις ίδιες αρχές με αυτές που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4.4.1, ωστόσο περιλαμβάνει διαφορετική μεταβλητή απόκρισης (Y) και διαφορετικές επεξηγηματικές μεταβλητές (x). Ως μεταβλητή απόκρισης ορίζονται οι δυνητικές θέσεις πτητικής δραστηριότητας του Σπιζαετού ή θέσεις όπου επιδεικνύει δραστηριότητα τροφοληψίας και ως επεξηγηματικές μεταβλητές χρησιμοποιείται ο βαθμός αξιοποίησης θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων σε μορφή ταχυτήτων και των χρήσεων γης. Η επιλογή των συγκεκριμένων μεταβλητών βασίζεται στη σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση του Κεφαλαίου 3.4.2.



Λόγω της μορφής των διαθέσιμων δεδομένων για τη δημιουργία των ψηφιδωτών επιπέδων (raster) απεικόνισης των εξηγηματικών μεταβλητών και συγκεκριμένα των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους (LST), οι οποίες επιλέχθηκε να έχουν μηνιαία αντιπροσώπευση, η επεξεργασία του διαθέσιμου συνόλου δεδομένων γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού και ψευδο-απουσίας πραγματοποιήθηκε σε μηνιαία βάση.

Λόγω της ομοιότητας της μεθοδολογίας με αυτή του 1<sup>ου</sup> μοντέλου πρόβλεψης του Κεφαλαίου 4.4.1, η παρουσίαση ορισμένων σταδίων επεξεργασίας παραλείπονται από την παρουσία του κώδικα που αναπτύχθηκε για το 2<sup>ο</sup> μοντέλο πρόβλεψης. Πιο αναλυτικά, τα αρχικά στάδια προετοιμασίας των ψηφιδωτών επιπέδων σε μορφή ASCII στο QGIS3.4 και της μετέπειτα ευθυγράμμισης τους στην R (στάδια A. και B. στο Κεφάλαιο 4.4.1 - Πίνακας 2), το στάδιο δημιουργίας διαγραμμάτων συχνότητας για τις εξηγηματικές μεταβλητές στην περιοχή μελέτης (στάδιο D.) (Γράφημα 13 - Γράφημα 22) και στις γνωστές θέσεις παρουσίας (στάδιο F.) (Γράφημα 35 - Γράφημα 40), η δημιουργία του διανύσματος *rb* (στάδιο J.) και ο έλεγχος συσχέτισης μεταξύ των εξηγηματικών μεταβλητών (στάδιο K.) παραλήφθηκαν.

Συνολικά, τα επίπεδα που προστέθηκαν ως εξηγηματικές μεταβλητές περιλαμβάνουν τις ταχύτητες θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων για τους μήνες Μάιος – Σεπτέμβριος 2020 και τις καλύψεις γης (Land cover) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Περιβαλλοντικές-εξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης και μέθοδος ευθυγράμμισης (alignment) που χρησιμοποιήθηκε

Ονομασία περιβαλλοντικής-εξηγηματικής μεταβλητής	Μέθοδος ευθυγράμμισης - Alignment
<b>Θερμικά ρεύματα</b>	
Ταχύτητα θερμικών ρευμάτων για τον Μάιο 2020	Billinear
Ταχύτητα θερμικών ρευμάτων για τον Ιούνιο 2020	Billinear
Ταχύτητα θερμικών ρευμάτων για τον Ιούλιο 2020	Billinear
Ταχύτητα θερμικών ρευμάτων για τον Αύγουστο 2020	Billinear
Ταχύτητα θερμικών ρευμάτων για τον Σεπτέμβριο 2020	Billinear
<b>Ορογραφικά ρεύματα</b>	
Ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων για τον Μάιο 2020	Billinear
Ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων για τον Ιούλιο 2020	Billinear
Ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων για τον Ιούνιο 2020	Billinear
Ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων για τον Αύγουστο 2020	Billinear
Ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων για τον Σεπτέμβριο 2020	Billinear
<b>Καλύψεις γης – Ανθρωπογενής παρουσία</b>	
Land cover	Nearest neighbor

```
library(dismo)
library(raster)
library(ggplot2)
```



```
# Set working directory
setwd("C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model")

### Data preparation
# Read occurrence data and set variable name (file)
file_1 <- "C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model/BEX747_activity_filtered_202005.csv"
bonelli_05 <- read.table(file_1, header=TRUE, sep=";")
file_2 <- "C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model/BEX747_activity_filtered_202006.csv"
bonelli_06 <- read.table(file_2, header=TRUE, sep=";")
file_3 <- "C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model/BEX747_activity_filtered_202007.csv"
bonelli_07 <- read.table(file_3, header=TRUE, sep=";")
file_4 <- "C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model/BEX747_activity_filtered_202008.csv"
bonelli_08 <- read.table(file_4, header=TRUE, sep=";")
file_5 <- "C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model/BEX747_activity_filtered_202009.csv"
bonelli_09 <- read.table(file_5, header=TRUE, sep=";")

# Read predictive raster variables
# ASCII files have been prepared using QGIS software through Raster > Conversion >
Translate (Convert format) of original TIF files
path <- file.path("C:/Users/areti/Maxent/telemetry_model", 'asc_files')
asc_files <- list.files(path, pattern='asc$', full.names=TRUE )
```

A. Δημιουργία *Raster stack*, όπου «στοιβάζονται» όλες οι επεξηγηματικές μεταβλητές σε μία. Για να γίνει αυτό πρέπει όλα τα επίπεδα (layers) να έχουν ίδιο μέγεθος εικονοστοιχείου και να αφορούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Οι επεξεργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν πρωτίτερα με *resample* με μέγεθος εικονοστοιχείου 30 μέτρα για όλα τα επίπεδα στο QGIS3.4 και ευθυγράμμιση.

```
# Create stack of raster files for each month (procedure for May only presented, same
functions used for the other four months)
predictors_05 <- stack(asc_files[c(1,2,13)])
NAvalue(predictors_05) <- -9999
projection(predictors_05) <- CRS('+init=epsg:2100')
names(predictors_05) <- c('OU_202005', 'TU_202005', 'Land_cover')
names(predictors_09) <- c('OU_202009', 'TU_202009', 'Land_cover')
```

B. Εξαγωγή των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές πρόβλεψης (*Predictive variables*) στις θέσεις επιβεβαιωμένης παρουσίας του είδους

```
### Model preparation
# Extract predictive variables values from occurrence data
presvals_05 <- extract(predictors_05, bonelli_05[28:29])
presvals_06 <- extract(predictors_06, bonelli_06[28:29])
presvals_07 <- extract(predictors_07, bonelli_07[28:29])
presvals_08 <- extract(predictors_08, bonelli_08[28:29])
presvals_09 <- extract(predictors_09, bonelli_09[28:29])
```



```
# Creation of a column in each data frame containing the month represented (procedure
for May only presented, same functions used for the other four months)
rep_May <- rep("May", nrow(presvals_05))
presvals_05 <- data.frame(cbind(rep_May, presvals_05))

# Change of column names for the orographic and thermal velocities and the column
representing the month for the upcoming merge of the data frames (procedure for May
only presented, same functions used for the other four months)
colnames(presvals_05)[which(colnames(presvals_05) == "OU_202005")] = "OU"
colnames(presvals_05)[which(colnames(presvals_05) == "TU_202005")] = "TU"
colnames(presvals_05)[which(colnames(presvals_05) == "rep_May")] = "month"

# Merge of the five data frames containing the predictive variables for the
occurrence data for each month from May to September 2020
presvals <- data.frame(rbind(presvals_05, presvals_06, presvals_07, presvals_08,
presvals_09))
```

### C. Δημιουργία ψευδο – απουσιών

Στο συγκεκριμένο μοντέλο πρόβλεψης, η δημιουργία των ψευδο-απουσιών πραγματοποιήθηκε με τυχαία δειγματοληψία 1000 σημείων εντός της περιοχής μελέτης.

```
# Generating random set of background points
# Read project area polygon shapefile
library(sf)
pol <- st_read("I:/Diplomatiki/_GIS/project_area/project_area_coastline_EGSA_2.shp")
# Convert sf object to polygon object
pol <- as_Spatial(pol)
# Random sample of pseudo-absences from the created mask
samp1 <- spsample(pol, 1000, type='random', iter=25)
plot(pol, axes=TRUE)
points(samp1, cex=0.3, pch=10, col='blue')
```

D. Εξαγωγή των τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών στα background points (absvals). Στο συγκεκριμένο στάδιο το σύνολο των ψευδο-απουσιών χωρίστηκε σε 5 ισότιμα μέρη τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αντιπροσώπευση κάθε μήνα στο σύνολο των δεδομένων.

```
# Extracting predictive variables values from background points
absvals_05 <- extract(predictors_05, samp1[1:200])
absvals_06 <- extract(predictors_06, samp1[201:400])
absvals_07 <- extract(predictors_07, samp1[401:600])
absvals_08 <- extract(predictors_08, samp1[601:800])
absvals_09 <- extract(predictors_09, samp1[801:1000])
```



```
# Creation of a column in each data frame containing the month represented and change  
of column names for the orographic and thermal velocities and the column representing  
the month for the upcoming merge of the data frames (script as used in step B)  
# Merge of the five data frames containing the predictive variables for the pseudo-  
absence data for each month from May to September 2020  
absvals <- data.frame(rbind(absvals_05, absvals_06, absvals_07, absvals_08,  
absvals_09))
```

E. Δημιουργία ενός *Data frame* όπου παρουσιάζονται τα *Occurrence data*, τα *Background data* και το διάλυμα *pb*

```
sdmdata <- data.frame(cbind(pb, rbind(presvals[2:4], absvals[2:4])))  
sdmdata <- na.omit(sdmdata)  
sdmdata$OU <- as.numeric(sdmdata$OU)  
sdmdata$TU <- as.numeric(sdmdata$TU)  
sdmdata$Land_cover <- as.numeric(sdmdata$Land_cover)  
  
# Convert categorical predictive variables to factors  
sdmdata[, 'Land_cover'] = as.factor(sdmdata[, 'Land_cover'])  
levels(sdmdata$Land_cover) = c("water bodies", "cultivations", "forests",  
"grasslands", "schrublands", "soil", "urban area")
```

F. Παραγωγή του μοντέλου πρόβλεψης με τη μέθοδο των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων και εύρεση του βέλτιστου μοντέλου.

```
### Model fitting  
# Create saturated model  
m1 <- glm(pb ~ ., data=sdmdata, family = binomial(link = "logit"))  
  
# Create the best fitted model  
m2 <- glm(pb ~ OU + TU, data=sdmdata, family = binomial(link = "logit"))  
# Compute the odds ratio and the confidence interval for each predictive variable  
stats_m2 <- exp(cbind(oddsRatio = coef(m2), confint(m2)))
```

#### 4.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Στόχος της διενέργειας Χαρτογράφησης Ευαισθησίας εντός της περιοχής εξάπλωσης του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης, είναι ο χωρικός προσδιορισμός των πλέον ευαίσθητων περιοχών σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης, όπου οι ασκούμενες πιέσεις-απειλές μπορούν να υποβαθμίσουν την κατάσταση διατήρησής του.

Έχοντας συλλέξει τα δεδομένα δυνητικής εξάπλωσης του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης μέσω των δύο μοντέλων πρόβλεψης, τα δεδομένα αυτά θα ληφθούν υπόψη, παράλληλα με τις γνωστές περιοχές φωλιάσματος του Σπιζαετού. Τα αποτελέσματα κάθε μοντέλου πρόβλεψης χωρίζονται βάση κατωφλιών





σε Υψηλή, Μέση και Χαμηλή πιθανότητα παρουσίας με αποτέλεσμα τη δημιουργία έξι κατηγοριών πιθανότητας παρουσίας βάση κάθε μοντέλου πρόβλεψης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε συνένωση των αντίστοιχων κατηγοριών (*Merge*) από τα δύο μοντέλα προκειμένου να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος επομένως από τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης προκύπτουν τρεις (3) κατηγορίες. Βάση της παρουσίας γνωστών επικρατειών (δηλ. 4km από γνωστές θέσεις φωλιάσματος) δημιουργήθηκε ακόμη μία (1) κατηγορία. Τελικά, προκύπτουν τέσσερις (4) κατηγορίες με την βαθμονόμηση κάθε κατηγορίας να είναι ως εξής:

Πίνακας 3: Κατηγορίες-επίπεδα, οι συνδυασμοί των οποίων θα καθορίσουν τον βαθμό επικινδυνότητας που θα φέρει κάθε εικονοστοιχείο (*pixel*) στον τελικό χάρτη ευαισθησίας

Κατηγορίες	Βαθμοί
Low Probability of Occurrence	1
Medium Probability of Occurrence	2
High Probability of Occurrence	4
Bonelli territory	8

Επομένως, προκύπτουν 16 πιθανοί συνδυασμοί με το εύρος βαθμονόμησης να είναι από 1 έως 12. Βάση της πιθανής βαθμονόμησης ορίζονται τέσσερις (4) κατηγορίες με αύξουσα επικινδυνότητα:

1. **LOW SENSITIVITY** → 1 βαθμός
2. **MEDIUM SENSITIVITY** → 2-3 βαθμοί
3. **HIGH SENSITIVITY** → 4-7 βαθμοί
4. **EXTREMELY HIGH SENSITIVITY** → 9-12 βαθμοί

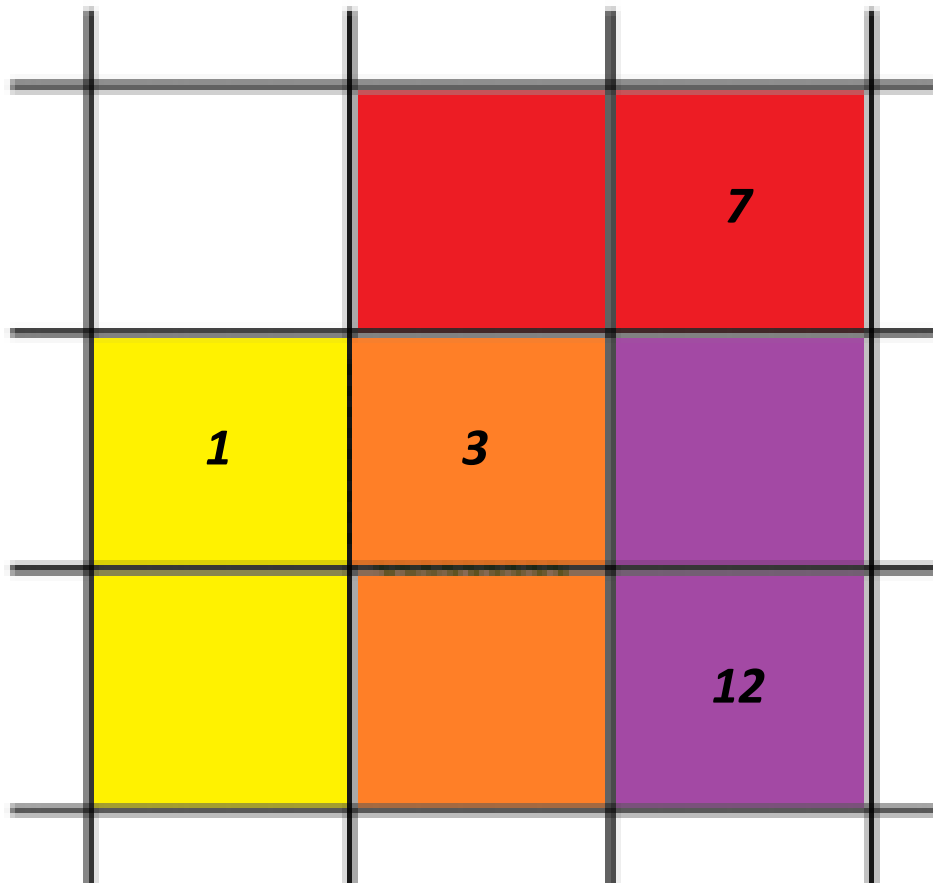
Σε χωρική μορφή η παραπάνω πληροφορία ανατίθεται σε κάθε ένα εικονοστοιχείο (*pixel*) και το αποτέλεσμα παίρνει τη μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 10.

Η χωρική επεξεργασία των ψηφιδωτών επιπέδων (*rasters*) πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον QGIS3.4 με τη βοήθεια των εργαλείων *Raster Calculator* και *Build Virtual Raster*. Το εργαλείο *Raster Calculator* χρησιμοποιήθηκε κατά το πρώτο στάδιο επεξεργασίας οπότε με βάση τα κατώφλια 0.333 και 0.666 από τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων πρόβλεψης με τη χρήση της μεθόδου **Μέγιστης Εντροπίας μέσω του λογισμικού *Maxent***, προέκυψαν τα επίπεδα χαμηλής, μέσης και υψηλής πιθανότητας παρουσίας Σπιζαετών. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν *Virtual raster* επίπεδα, τα οποία περιείχαν ως ξεχωριστά κανάλια (*bands*) κάθε επίπεδο που βαθμονομήθηκε για την εξαγωγή της τελικής επικινδυνότητας κάθε *pixel* (Πίνακας 3). Κάθε επίπεδο στο εικονικό ψηφιδωτό επίπεδο (*Virtual raster*) μπορούσε να πάρει την τιμή 1 ή 0 ανάλογα με το αν απαντάται ή όχι, αντίστοιχα, στο εκάστοτε εικονοστοιχείο. Τέλος, ξανά με τη βοήθεια του *Raster Calculator* δημιουργήθηκαν τελικά τα επίπεδα επικινδυνότητας, δημιουργώντας συνδυασμούς των καναλιών του *Virtual raster* που είχαν την εξής μορφή υπολογισμών:

$$\text{"Virtual@4"} = 1 \text{ AND } \text{"Virtual@1"} = 1$$



Με τον παραπάνω υπολογισμό δημιουργείται ένα ψηφιδωτό επίπεδο που απαρτίζεται από τις περιοχές που συναντάται ο συνδυασμός του Band 4 (γνωστή επικράτεια Σπιζαετού) με βαθμολογία 8 και του Band1 (θέσεις με υψηλή πιθανότητα να καταγραφεί Σπιζαετός σύμφωνα με τα μοντέλα πρόβλεψης) με βαθμολογία 4, οπότε τα εικονοστοιχεία της περιοχής που καλύπτεται από το παραγόμενο επίπεδο λαμβάνουν την μέγιστη βαθμολογία 12 και αντιπροσωπεύουν περιοχές με εξαιρετικά υψηλή επικινδυνότητα για φαινόμενα ηλεκτροπληξία ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετού.



Εικόνα 10: Προσομοίωση του τρόπου βαθμονόμησης των εικονοστοιχείων (pixels) για την εξαγωγή του χάρτη ευαισθησίας



## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1. ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

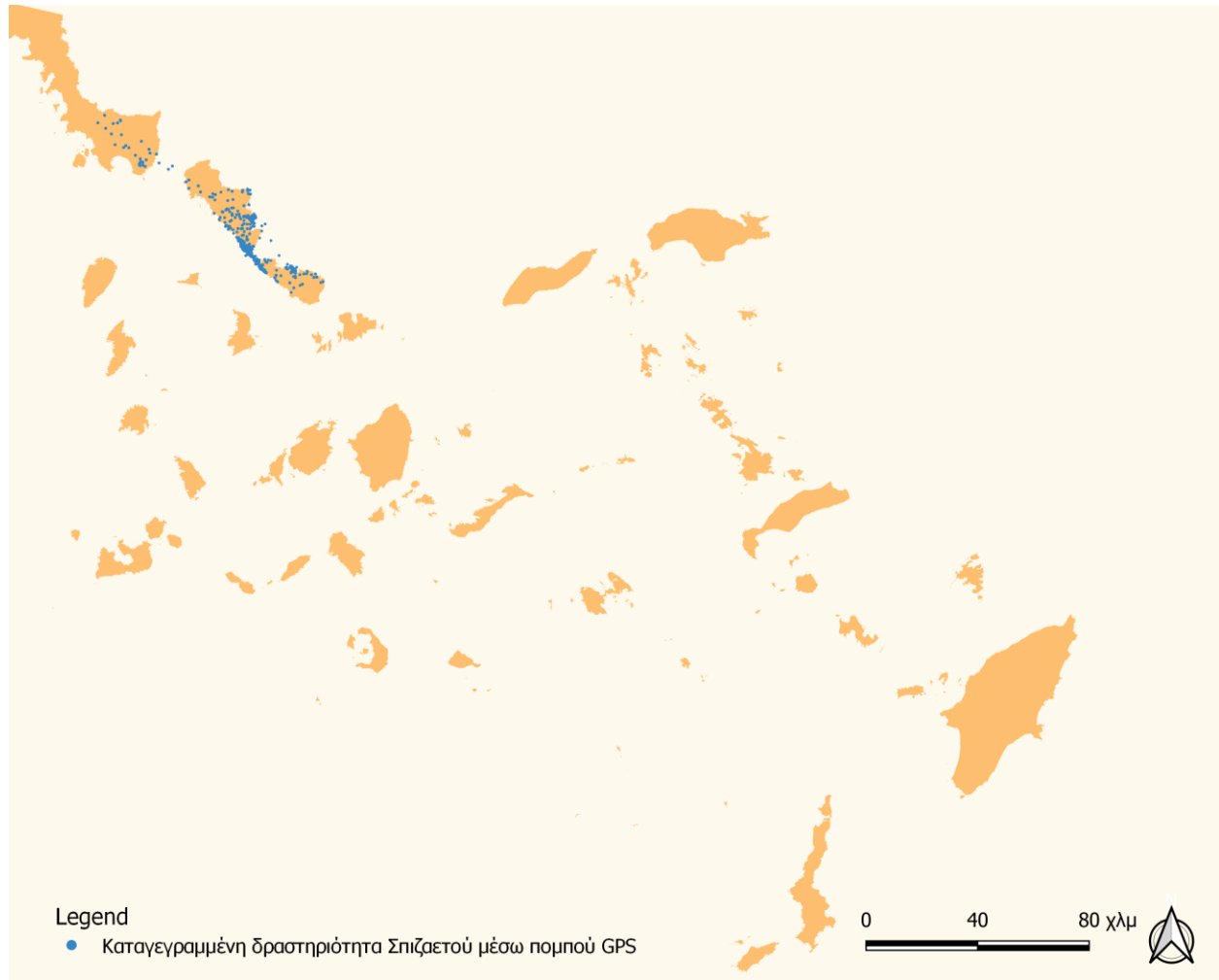
*Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βιολογικά δεδομένα φωλεοποίησης και πτητικής δραστηριότητας (*

*(ο Χάρτης 2 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)*

*Χάρτης 2 και Χάρτης 3) που χρησιμοποιήθηκαν ως θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού για την παραγωγή των δύο μοντέλων πρόβλεψης.*

*(ο Χάρτης 2 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)*

*Χάρτης 2: Θέσεις γνωστών θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού στη περιοχή μελέτης. Απεικόνιση σε διευρυμένα buffer λόγω παρουσίασης ευαίσθητων δεδομένων.*



Χάρτης 3: Θέσεις όπου καταγράφηκε παρουσία νεαρού ατόμου Σπιζαετού μέσω πομπού GPS το διάστημα Μάιος – Σεπτέμβριος 2020



## 5.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των περιβαλλοντικών παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν ως επεξηγηματικές μεταβλητές για την πρόβλεψη της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού (μεταβλητή απόκρισης) με τη χρήση *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων* και μοντέλων *Μέγιστης Εντροπίας*. Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4) παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές κάθε μεταβλητής, καθώς και ο διάμεσος, ενώ στη συνέχεια παρατίθεται το εύρος τιμών κάθε μεταβλητής σε μορφή γραφήματος και σε μορφή χάρτη (Χάρτης 4 έως Χάρτης 25 και Γράφημα 1 έως Γράφημα 22).

Η εξερεύνηση των διαθέσιμων δεδομένων αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι κάθε μελέτης δίνοντας πληροφορίες σχετικές με το εύρος τιμών κάθε μεταβλητής και τις πιθανές ακραίες τιμές τους, την ποσότητα των μηδενικών ή άγνωστων τιμών (NAs), την ομογένεια των δεδομένων και τις πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών, την κατανομή που ακολουθούν, το βαθμό συσχέτισης και την ανεξαρτησία κάθε μεταβλητής (Zuur and Ieno, 2016).

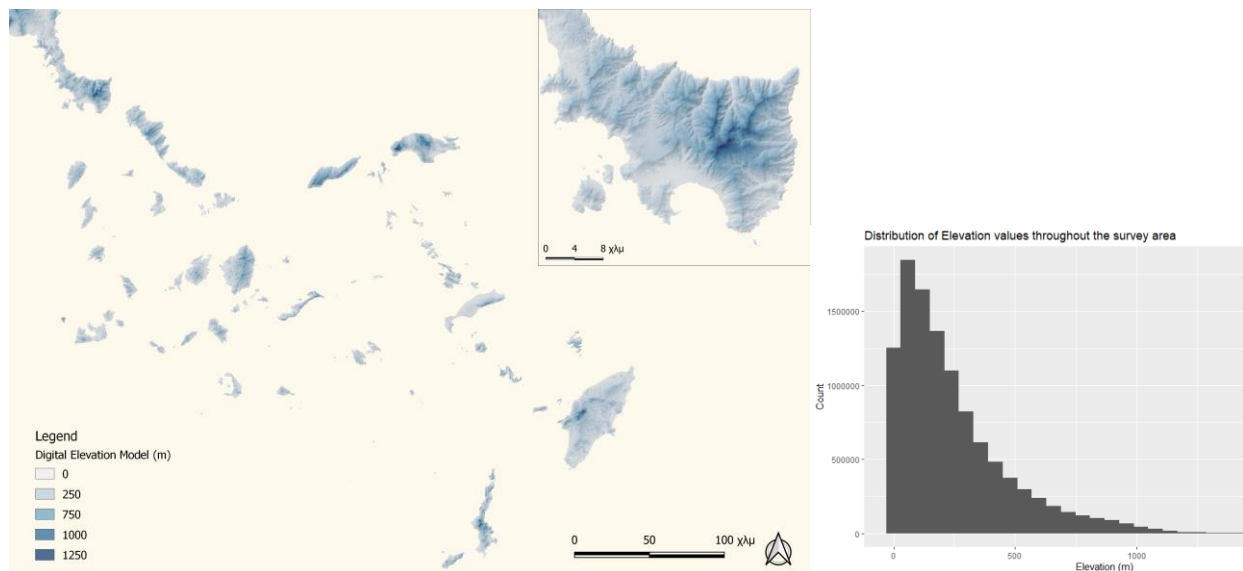
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά περιβαλλοντικών μεταβλητών: ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή εντός της περιοχής μελέτης

		Study Area		
		Min	Median	Max
MODEL A	Aspect	-1.00	178.29	357.56
	DEM	-1.75	177.30	1626.41
	Land Cover	1	4	7
	Dist. to settlements	0.00	1581.14	17707.70
	Slope	0.00	11.96	65.96
	TPI	-14.30	0.00	15.36
	TRI	0.00	5.00	42.39
	Valley Depth	0.00	70.26	395.35
	Annual Precipitation	31.75	44.58	71.62
	Annual Solar Radiation	14825.48	16070.01	17936.86
Average Annual Temperature		10.74	16.87	19.58
Average Temperature in the warmest months		20.43	25.14	28.07
MODEL B	Orographic Uplift Velocity in May 2020	0.0	0.72	4.18
	Orographic Uplift Velocity in June 2020	0.0	0.77	4.95
	Orographic Uplift Velocity in July 2020	0.0	1.05	10.95
	Orographic Uplift Velocity in August 2020	0.0	0.93	7.14
	Orographic Uplift Velocity in September 2020	0.0	0.96	7.01
	Thermal Uplift Velocity in May 2020	$6.04 \cdot 10^{-5}$	0.23	1.03
	Thermal Uplift Velocity in June 2020	$2.28 \cdot 10^{-5}$	0.21	1.03
	Thermal Uplift Velocity in July 2020	$2.67 \cdot 10^{-6}$	0.30	1.29
	Thermal Uplift Velocity in August 2020	$8.68 \cdot 10^{-6}$	0.18	1.03
	Thermal Uplift Velocity in September 2020	$6.57 \cdot 10^{-5}$	0.24	1.18
Land Cover		1	4	7



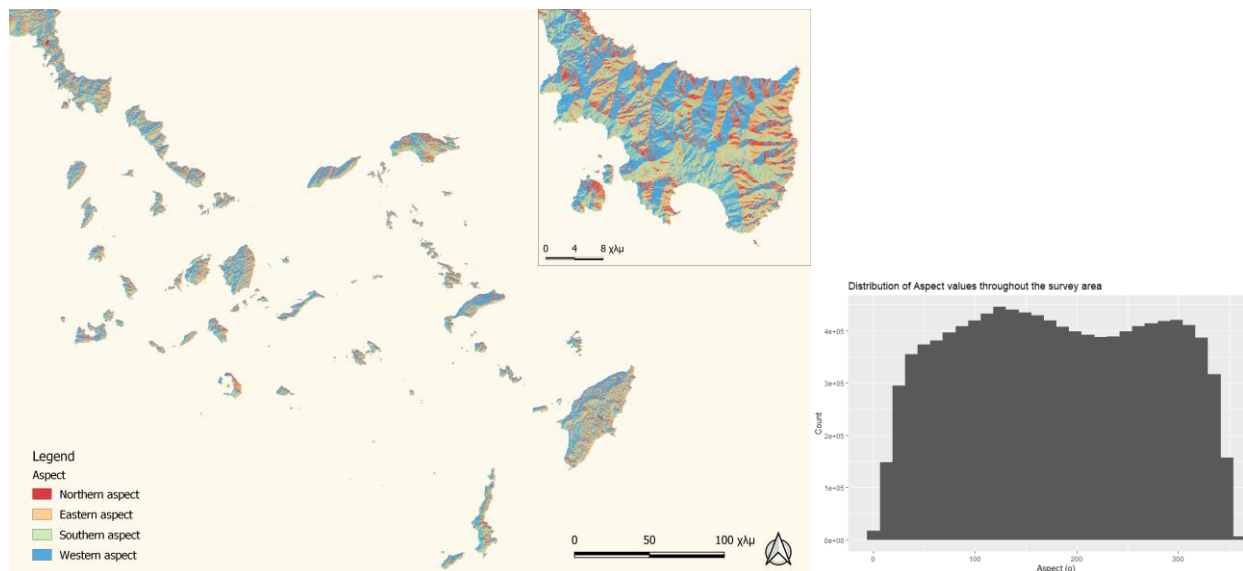
### 5.2.1. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι επεξηγηματικές μεταβλητές που αφορούν τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και πιο συγκεκριμένα το υψόμετρο, τον προσανατολισμό και την κλίση του εδάφους, την παρουσία φαραγγιών και τους δείκτες TPI και TRI.



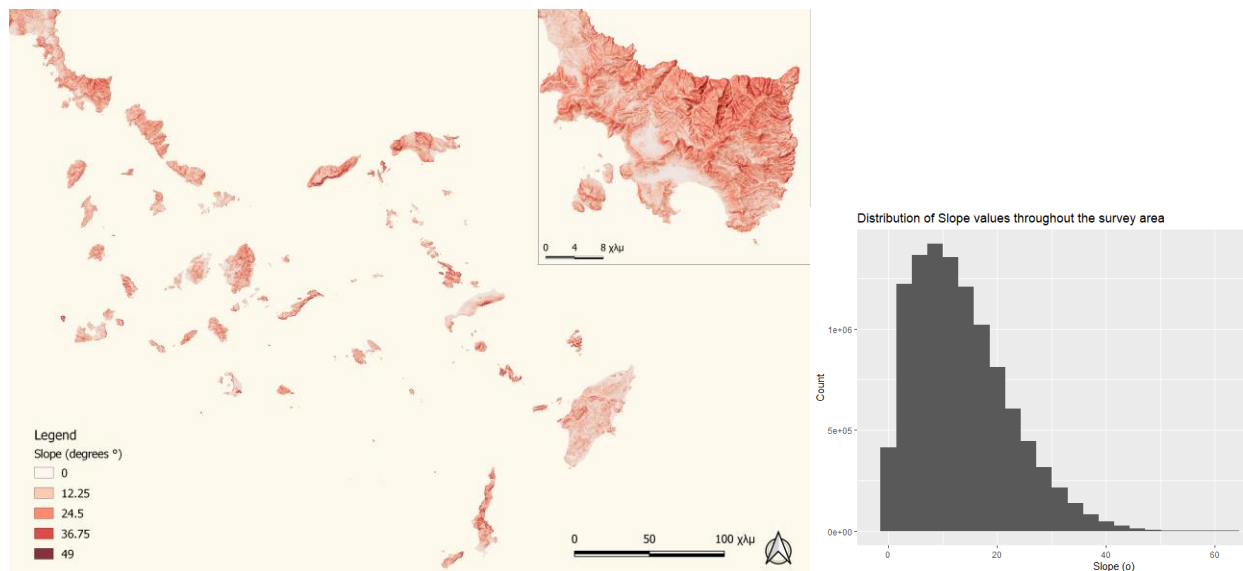
Χάρτης 4: Απεικόνιση του εύρους τιμών του υψομέτρου από την επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 1: Εύρος τιμών του υψομέτρου από την επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή μελέτης



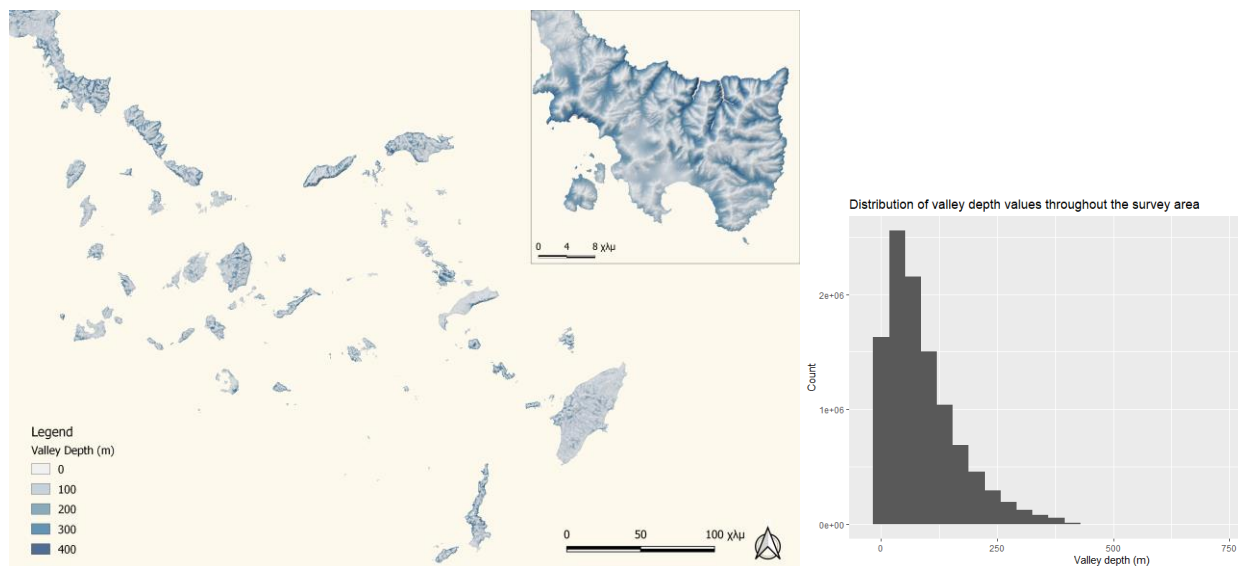
Χάρτης 5: Απεικόνιση του εύρους τιμών του προσανατολισμού του εδάφους στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 2: Εύρος τιμών του προσανατολισμού του εδάφους στην περιοχή μελέτης



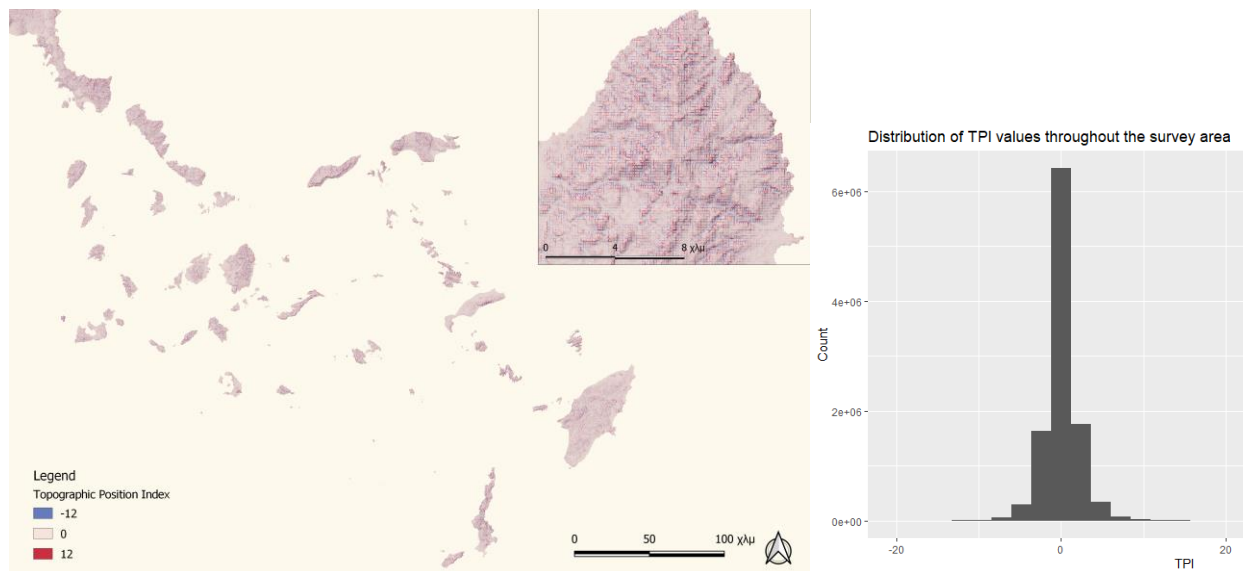
Χάρτης 6: Απεικόνιση του εύρους τιμών της κλίσης του εδάφους στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 3: Εύρος τιμών της κλίσης του εδάφους στην περιοχή μελέτης

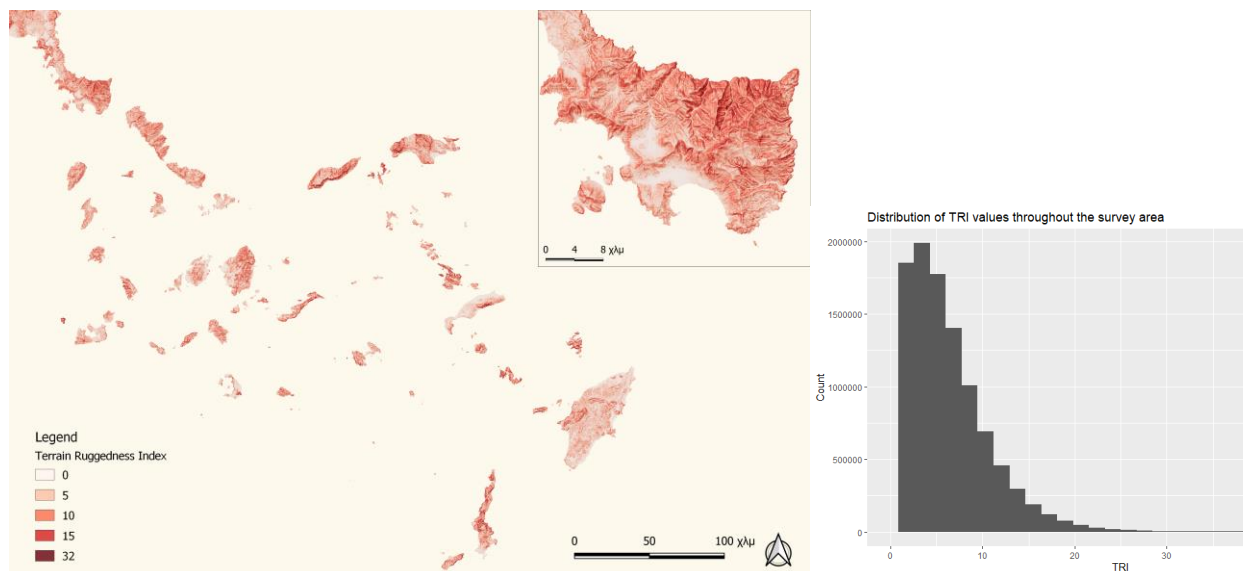


Χάρτης 7: Απεικόνιση του εύρους τιμών του βαθμού δημιουργίας φαραγγιών σε μέτρα στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 4: Εύρος τιμών του βαθμού δημιουργίας φαραγγιών σε μέτρα στην περιοχή μελέτης



Χάρτης 8: Απεικόνιση του εύρους τιμών του δείκτη έντασης της υψομετρικής διαφοράς (TPI) στην περιοχή μελέτης  
Γράφημα 5: Εύρος τιμών του δείκτη που χαρακτηρίζει την ένταση της υψομετρικής διαφοράς (TPI) στην περιοχή μελέτης

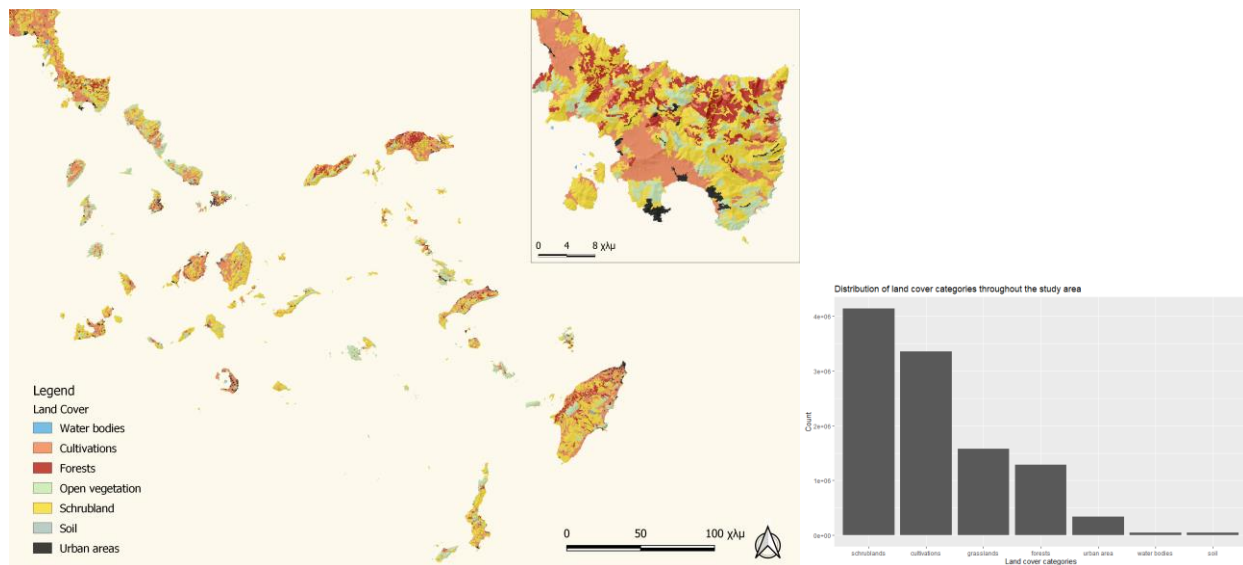


Χάρτης 9: Απεικόνιση του εύρους τιμών του δείκτη ετερογένειας του εδάφους (TRI) στην περιοχή μελέτης  
Γράφημα 6: Εύρος τιμών του δείκτη ετερογένειας του εδάφους (TRI) στην περιοχή μελέτης



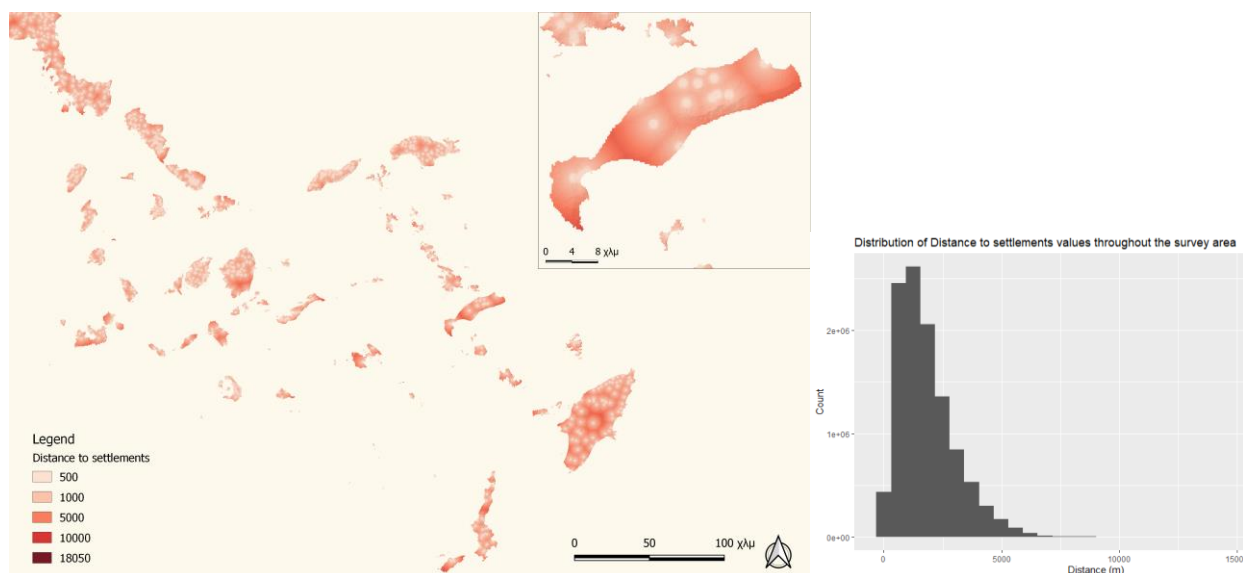
### 5.2.2. ΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο απεικονίζεται το εύρος τιμών της κατηγορικής μεταβλητής των καλύψεων γης και της ποσοτικής μεταβλητής απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό που αποτελεί υπόδειξη ανθρώπινης παρουσίας σε χαρτογραφική απεικόνιση και μορφή γραφήματος.



Χάρτης 10: Απεικόνιση των κατηγοριών χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 7: Εύρος των κατηγοριών χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης



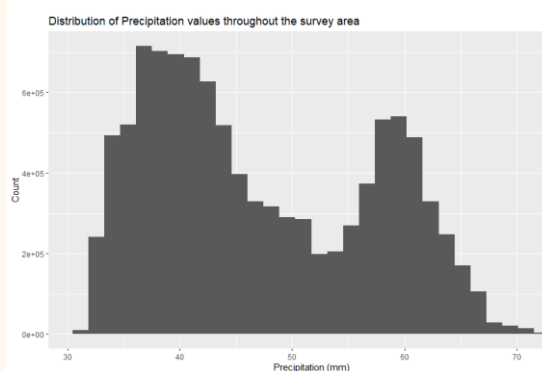
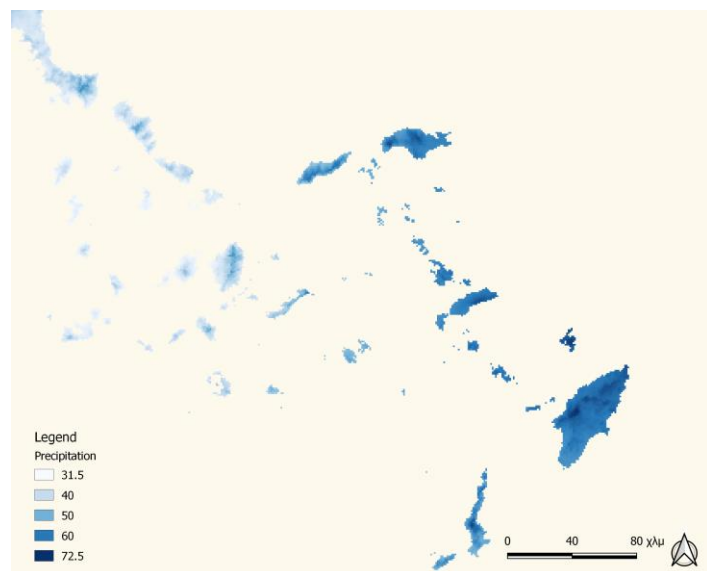
Χάρτης 11: Απεικόνιση του εύρους τιμών της απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 8: Εύρος τιμών της απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό στην περιοχή μελέτης



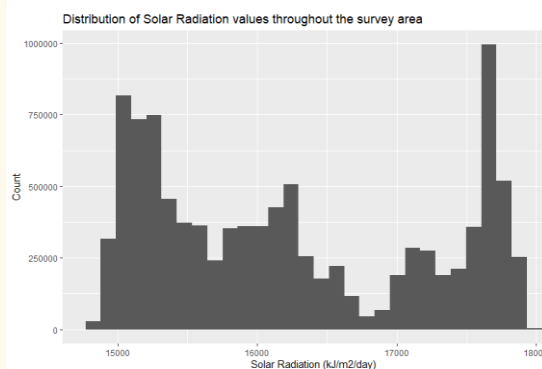
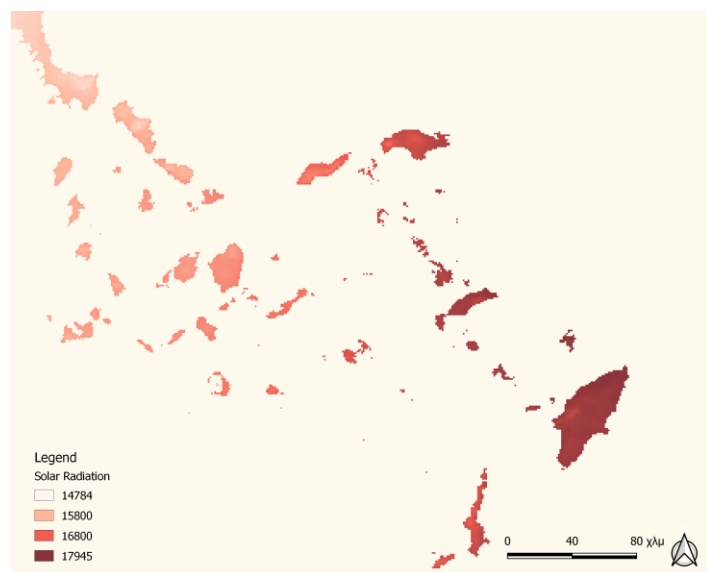
### 5.2.3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΑ

Στο παρόν κεφάλαιο απεικονίζεται το εύρος τιμών που λαμβάνουν οι μετεωρολογικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές στο μοντέλο πρόβλεψης και συγκεκριμένα η βροχόπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία, η μέση ετήσια θερμοκρασία και η μέση θερμοκρασία των θερμότερων μηνών, δηλαδή του Ιουλίου και του Αυγούστου.



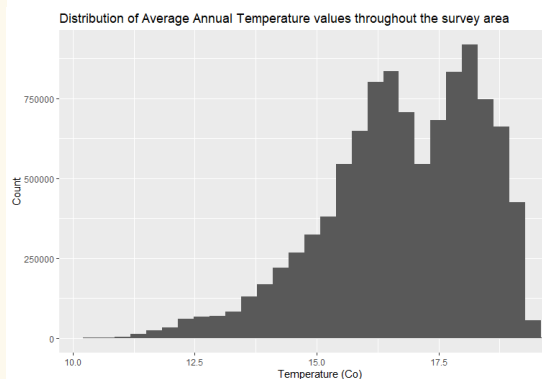
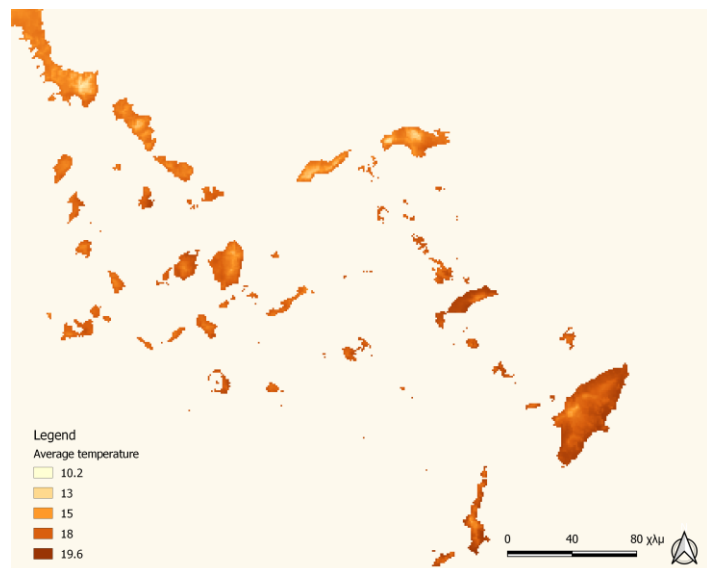
Χάρτης 12: Απεικόνιση του εύρους τιμών βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 9: Εύρος τιμών βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης



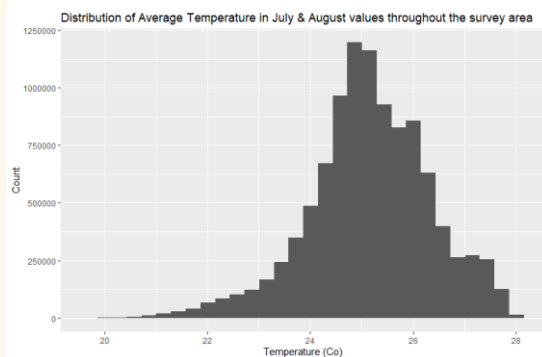
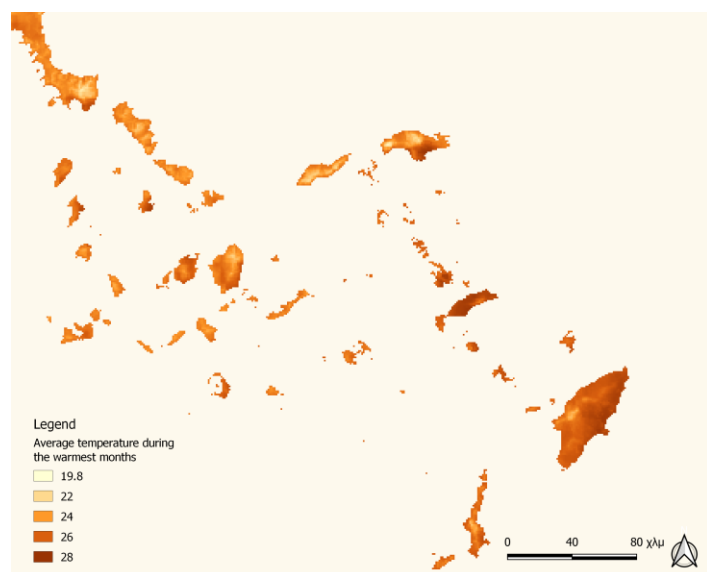
Χάρτης 13: Απεικόνιση του εύρους τιμών ηλιακής ακτινοβολίας ( $\text{kJ/m}^2 \text{ day}$ ) στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 10: Εύρος τιμών ηλιακής ακτινοβολίας ( $\text{kJ/m}^2 \text{ day}$ ) στην περιοχή μελέτης



Χάρτης 14: Απεικόνιση του εύρους τιμών μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 11: ΕύροςΓράφημα 35 τιμών μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης



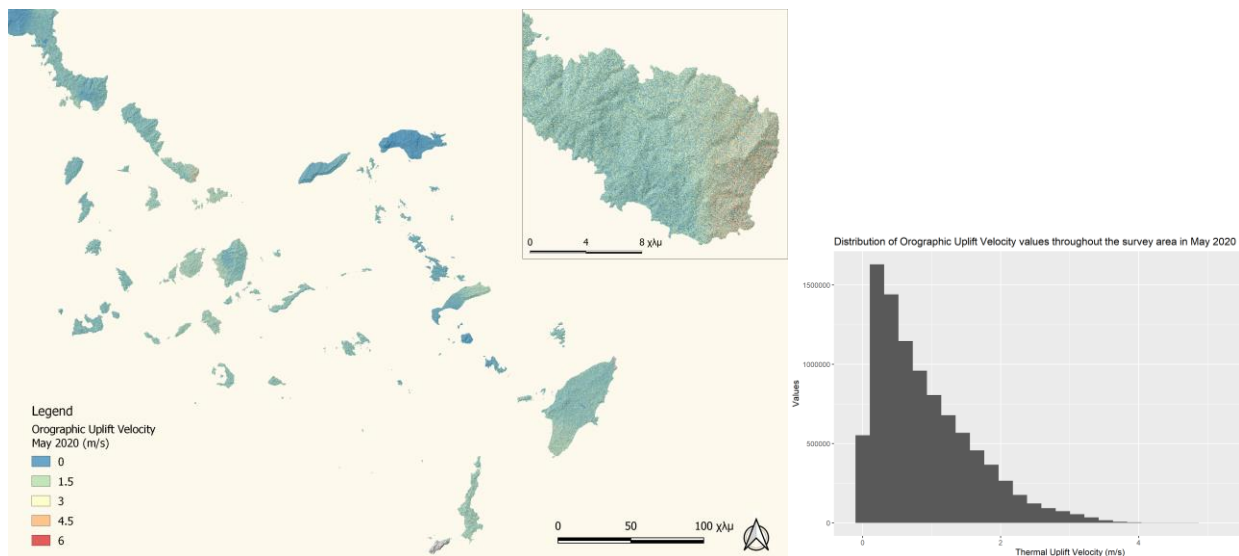
Χάρτης 15: Απεικόνιση του εύρους τιμών μέσης θερμοκρασίας τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 12: Εύρος τιμών μέσης θερμοκρασίας τους θερμότερους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στην περιοχή μελέτης



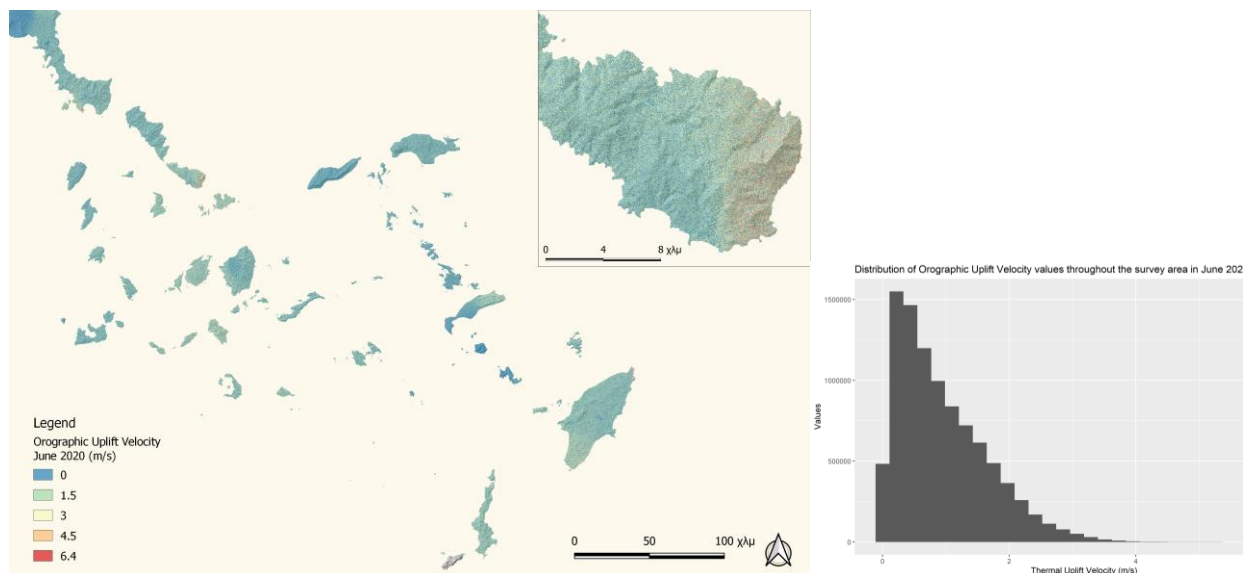
#### 5.2.4. ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΑΝΟΔΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4.3.2 για την εξαγωγή της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων για τους μήνες Μάιο με Σεπτέμβριο του 2020 και ως εκ τούτου το εύρος τιμών στην περιοχή μελέτης.



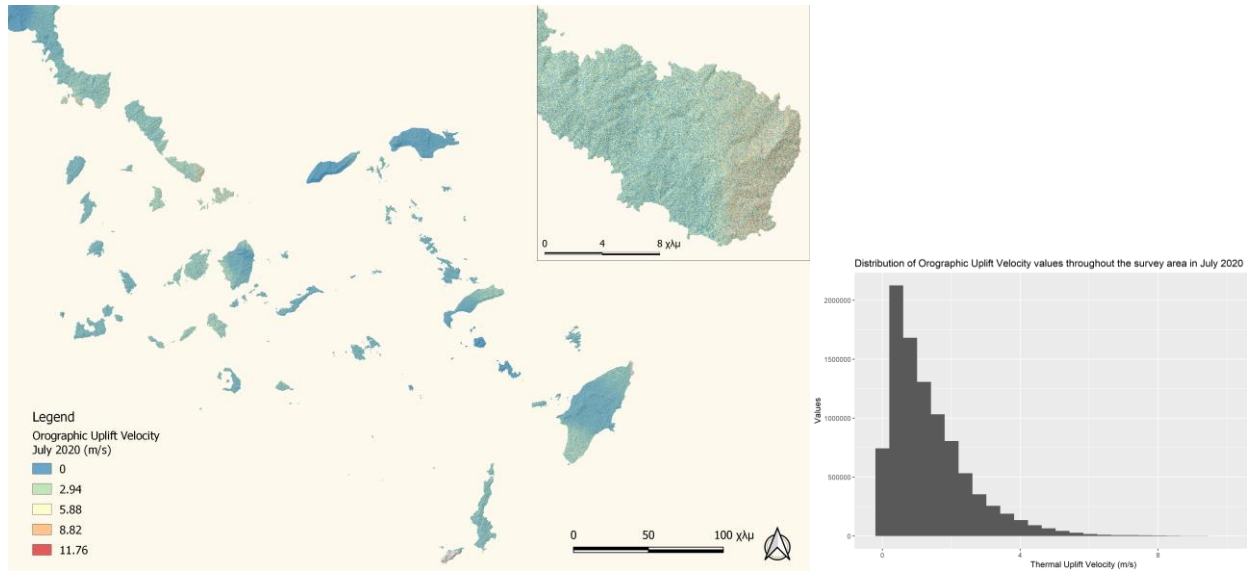
Χάρτης 16: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 13: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης



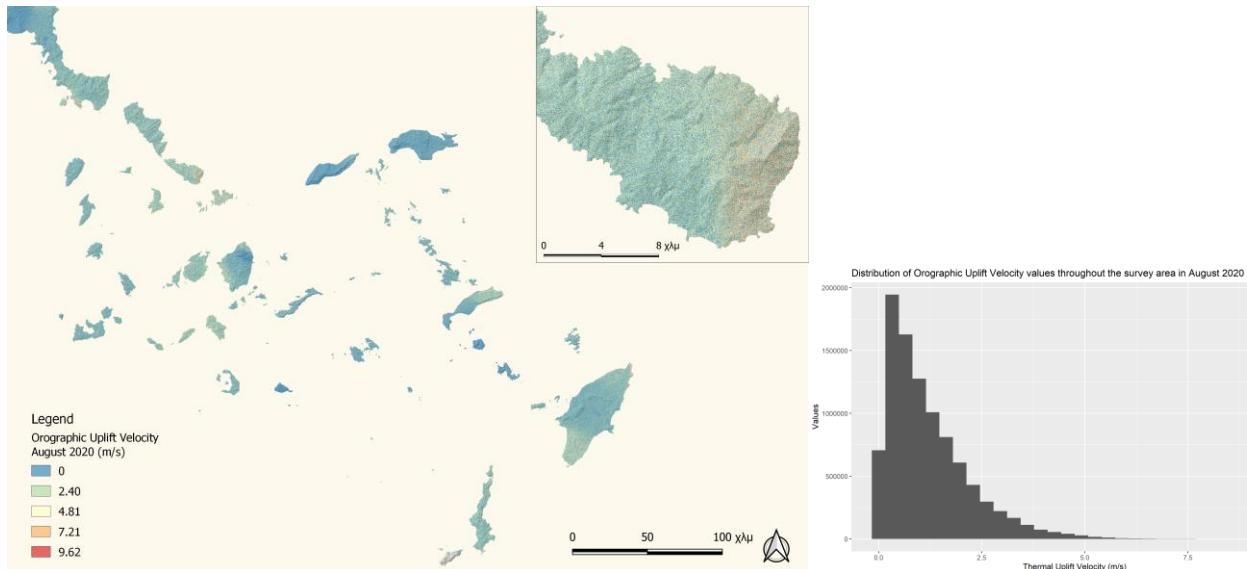
Χάρτης 17: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 14: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης



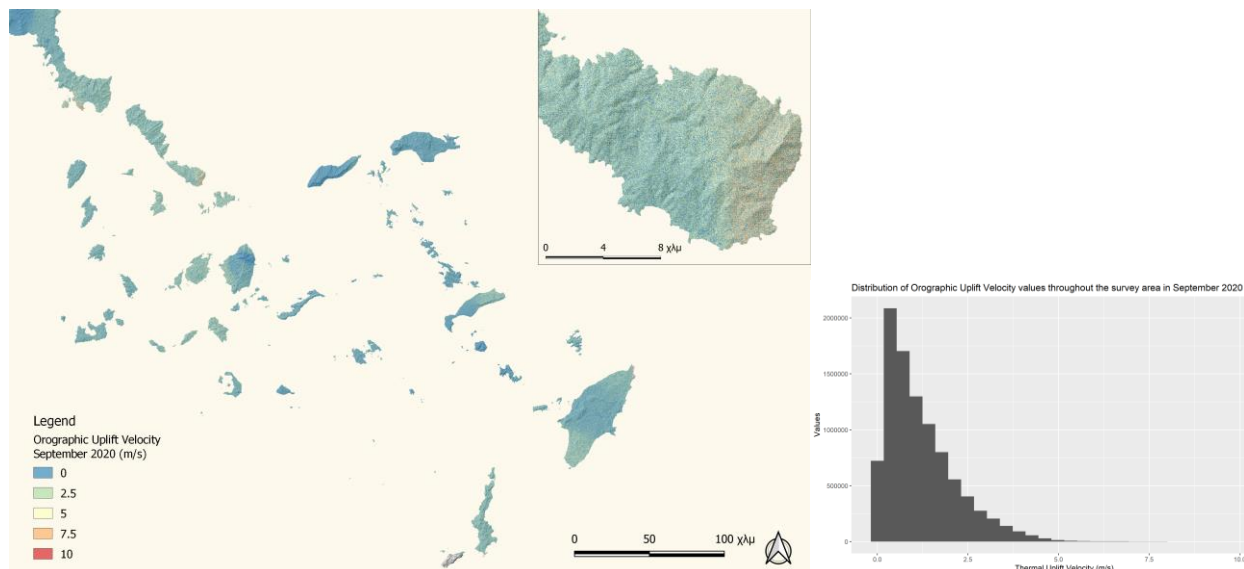
Χάρτης 18: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 15: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης



Χάρτης 19: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 16: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης

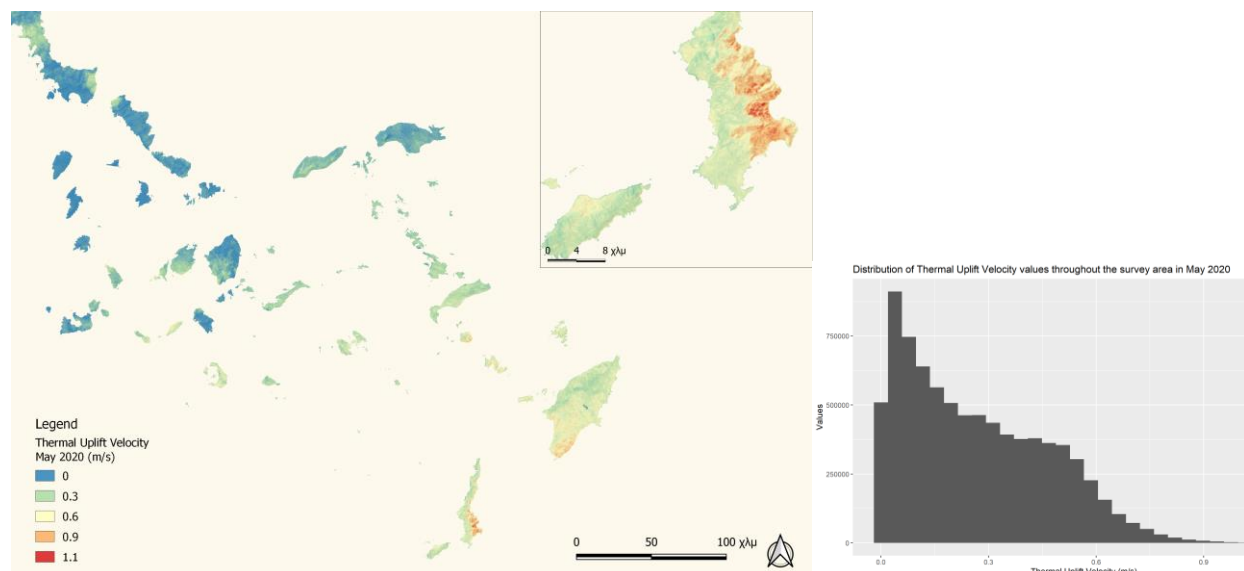


Χάρτης 20: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 17: Εύρος τιμών της ταχύτητας ορογραφικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης

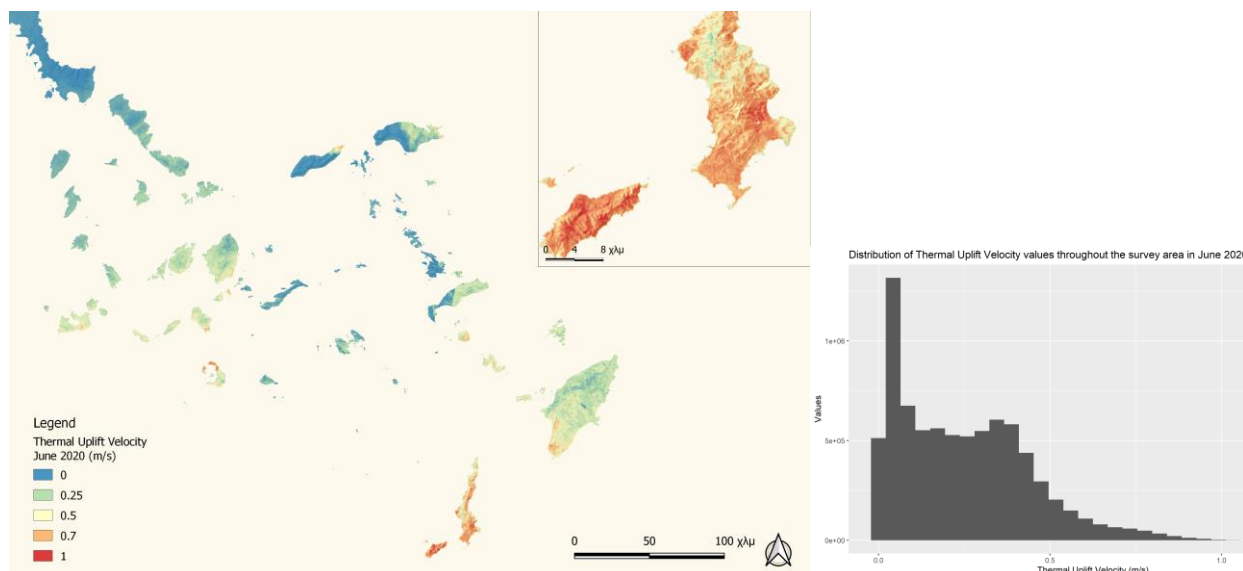
#### 5.2.5. ΘΕΡΜΙΚΑ ΑΝΟΔΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4.3.1 για την εξαγωγή της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων για τους μήνες Μάιο με Σεπτέμβριο του 2020 και ως εκ τούτου το εύρος τιμών στην περιοχή μελέτης.



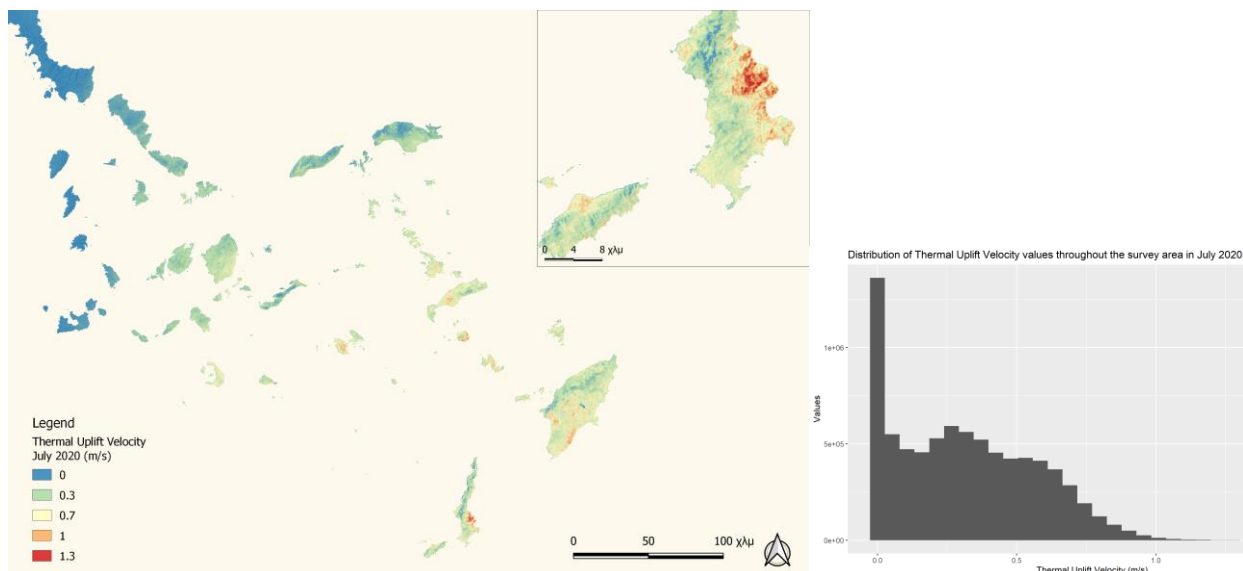
Χάρτης 21: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 18: Εύρος τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Μάιο 2020 στην περιοχή μελέτης



Χάρτης 22: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης

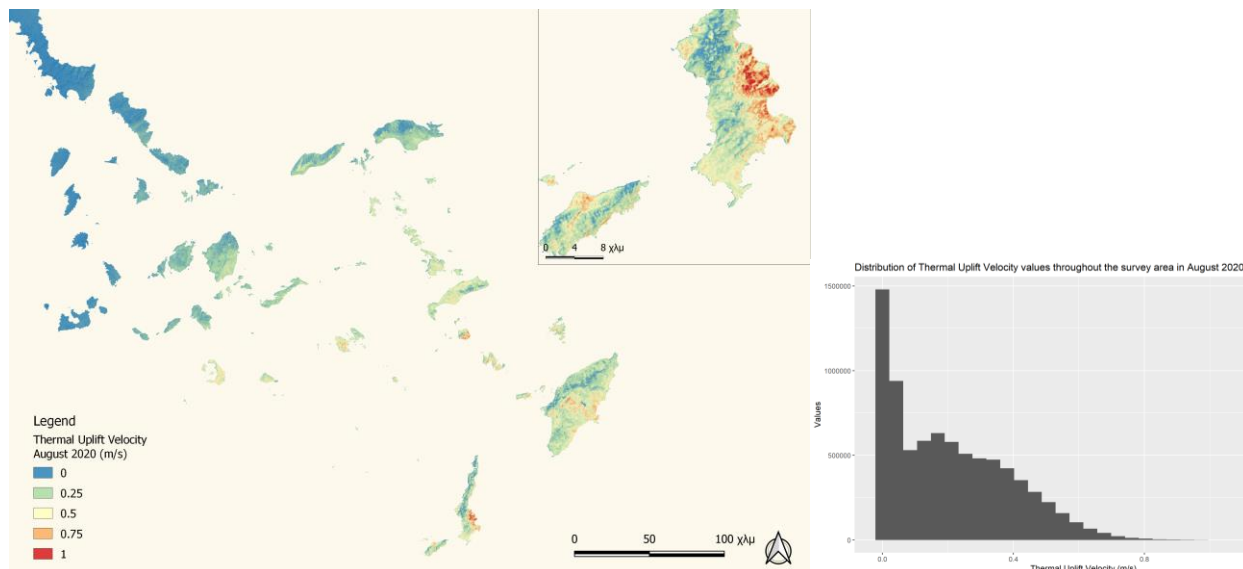
Γράφημα 19: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούνιο 2020 στην περιοχή μελέτης



Χάρτης 23: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης

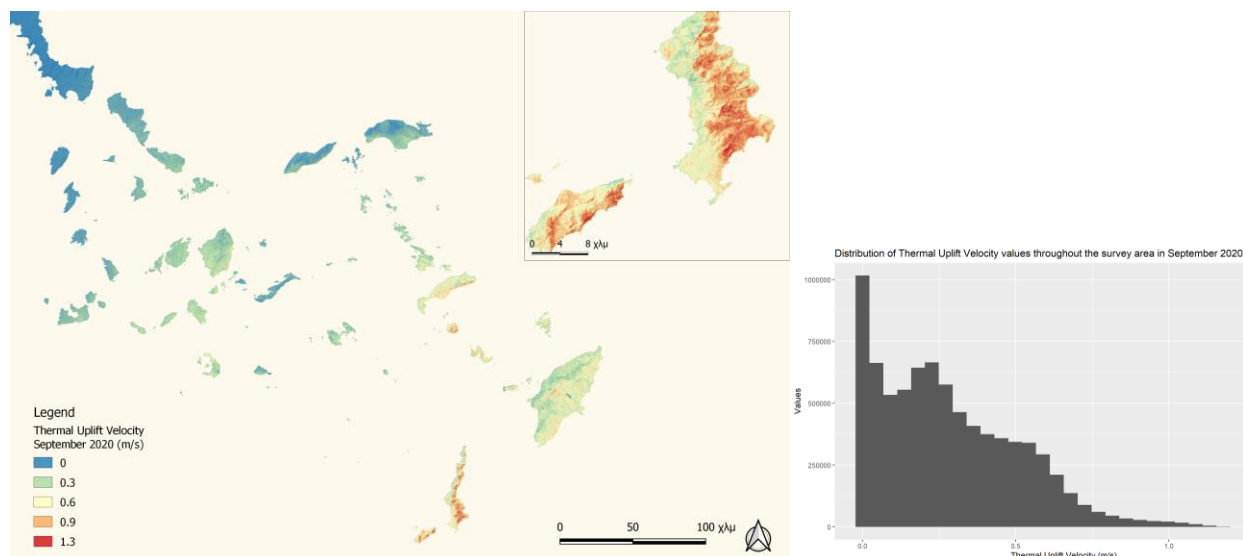
Γράφημα 20: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Ιούλιο 2020 στην περιοχή μελέτης





Χάρτης 24: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 21: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων τον Αύγουστο 2020 στην περιοχή μελέτης



Χάρτης 25: Απεικόνιση του εύρους τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης

Γράφημα 22: τιμών της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων το Σεπτέμβριο 2020 στην περιοχή μελέτης





### 5.3. ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (GENERALIZED LINEAR MODELS – GLM) – 1<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

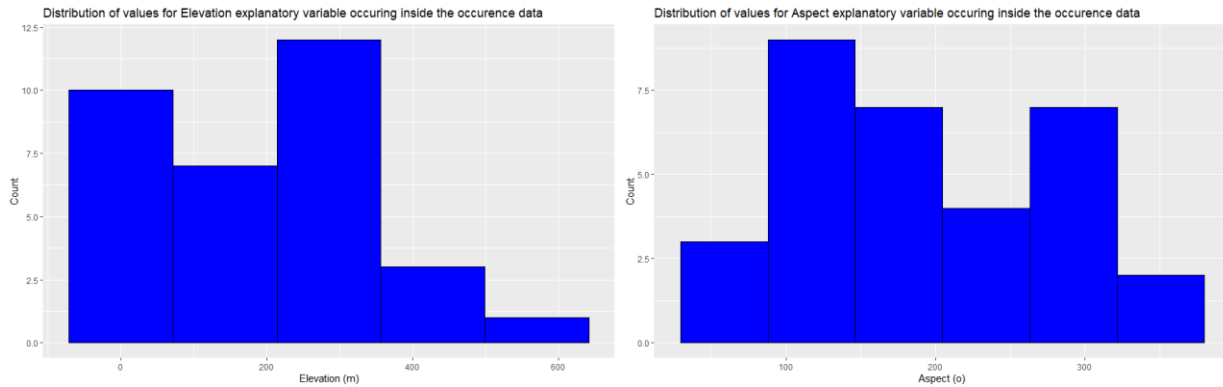
#### 5.3.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΓΝΩΣΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται το εύρος τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του πρώτου κατά σειρά μοντέλου πρόβλεψης με τη χρήση *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων*, στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού. Είναι χαρακτηριστικό ότι, από τις τιμές που λαμβάνουν οι επεξηγηματικές μεταβλητές στις συγκεκριμένες θέσεις θα προκύψουν και οι θέσεις με μεγάλη πιθανότητα παρουσίας του είδους.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικές τιμές (ελάχιστη, μέγιστη, μέση και μεσαία τιμή) των ανεξάρτητων περιβαλλοντικών μεταβλητών στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού.

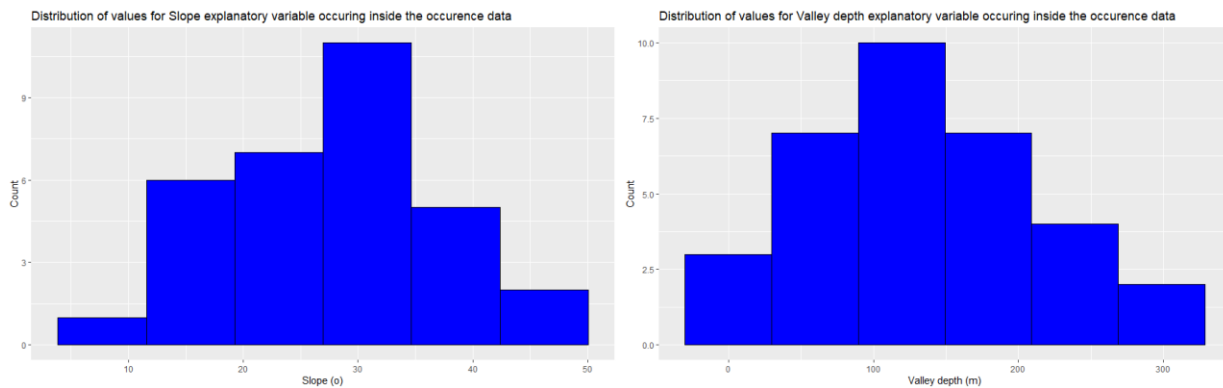
Explanatory variables	Occurrence Localities			
	Min	Median	Mean	Max
Aspect	45.83	180.88	<b>195.53</b>	343.73
DEM	0.0	215.4	<b>199.7</b>	580.6
Land Cover	4	-	-	5
Dist. to settlements	559	2126	<b>2225</b>	4366
Slope	6.97	29.76	<b>28.28</b>	44.96
TPI	-7.69	0.46	<b>1.81</b>	23.98
TRI	3.04	11.26	<b>13.01</b>	32.12
Valley Depth	2.22	125.28	<b>134.94</b>	304.80
Annual Precipitation	32.33	42.62	<b>46.10</b>	66.92
Annual Solar Radiation	15803	16341	<b>16548</b>	17629
Average Annual Temperature	15.67	17.26	<b>17.15</b>	18.26
Average Temperature in the warmest months	23.65	25.30	<b>25.02</b>	26.25

Επομένως, από τις τιμές που λαμβάνουν οι επεξηγηματικές μεταβλητές στις θέσεις γνωστής παρουσίας (Πίνακας 5), φαίνεται ότι ο Σπιζαετός επιλέγει πλαγιές με κλίση κατά μέσο όρο 30° και κατεύθυνση που ποικίλει, αλλά πιο συχνά έχει ΝΔ προσανατολισμό, ενώ φωλιές μπορεί παρατηρήθηκαν από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι υψόμετρα που στην προκειμένη περίπτωση φτάνουν μέχρι τα 580m από την επιφάνεια του εδάφους (above ground level - a.g.l.), ενώ κατά μέσο όρο παρατηρούνται σε υψόμετρα περί τα 200m a.g.l.



Γράφημα 23 - 24: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές Υψομέτρου σε μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (DEM - αριστερά) και Κατεύθυνσης του εδάφους σε μοίρες (Aspect - δεξιά).

Όσον αφορά την προτίμηση φωλεοποίησης των Σπιζαετών σε φαράγγια και απότομες πλαγιές μεγάλου βάθους, βάση των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι η πλειονότητα των φωλιών παρατηρήθηκε σε θέσεις με υψηλές τιμές βάθους (*valley depth*) που φτάνουν κατά μέσο όρο τα 135m, ενώ το μέγιστο βάθος των φαραγγιών που παρατηρήθηκαν είχαν βάθος περί τα 305m.



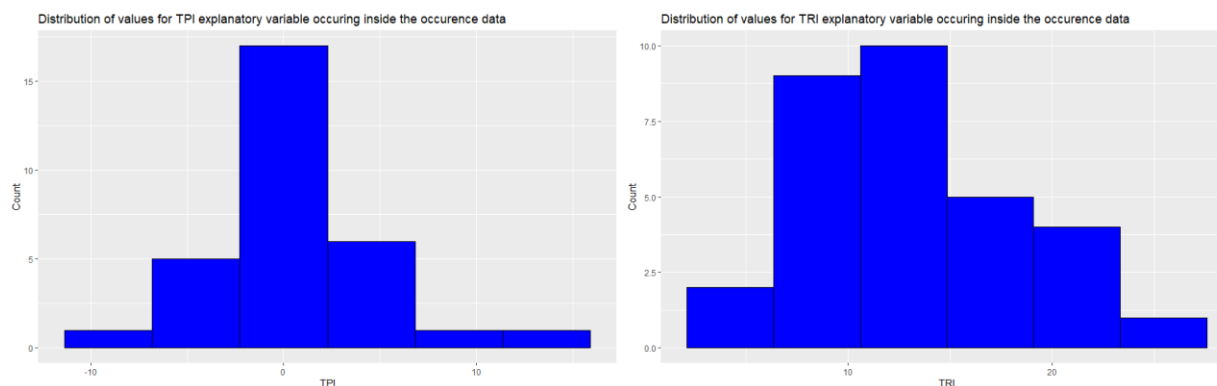
Γράφημα 25 - 26: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές Κλίσης του εδάφους σε μοίρες (Slope - αριστερά) και βαθμού Εκβάθυνσης σε μέτρα (Valley depth - δεξιά).

Ο δείκτης *TPI* (*Topographic Position Index*), απεικονίζει την υψομετρική διαφορά του εκάστοτε κεντρικού εικονοστοιχείου από το μέσο όρο των γειτονικών εικονοστοιχείων. Μεγαλύτερες τιμές του *TPI* παρατηρούνται σε κορυφές βουνών και απότομες πλαγιές και χαμηλότερες σε φαράγγια και βαθιές χαράδρες (Mokarram et al., 2015). Στην περίπτωση των φωλιών Σπιζαετού, παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των τιμών *TPI* προσεγγίζει το χαμηλότερο όριο του εύρους τιμών του δείκτη στην περιοχή μελέτης (Πίνακας 4), επομένως ο Σπιζαετός προτιμά θέσεις για την δημιουργία φωλιών που βρίσκονται μέσα σε πλαγιές και χαράδρες.

Ο δείκτης *TRI* (*Terrain Ruggedness Index*) αντιπροσωπεύει την ετερογένεια του εδάφους και εκφράζεται από το βαθμό διαφοροποίησης του υψομέτρου μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων (Riley et al., 1999). Οι φωλιές Σπιζαετών δεν παρατηρούνται βάση των αποτελεσμάτων σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο,

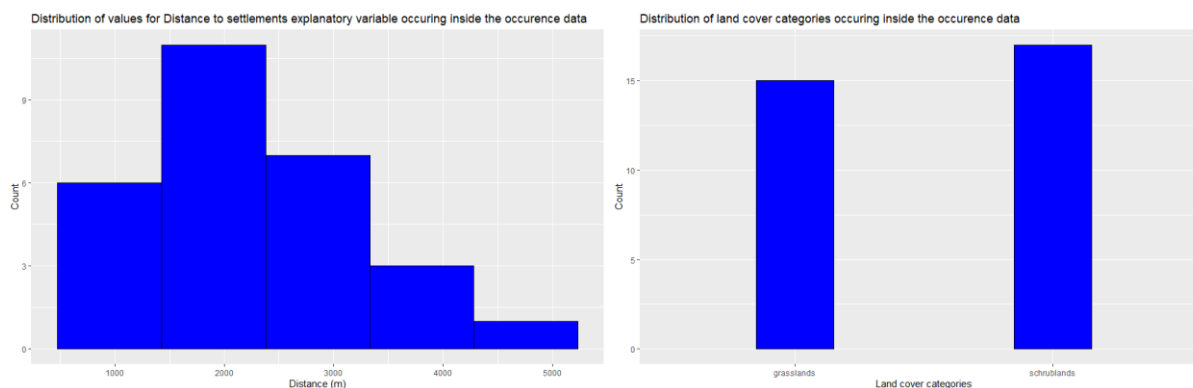


δεδομένου ότι και στην περιοχή μελέτης δεν παρατηρούνται έντονες εναλλαγές του υψομέτρου στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, επομένως και ιδιαίτερα ετερογενές ανάγλυφο.



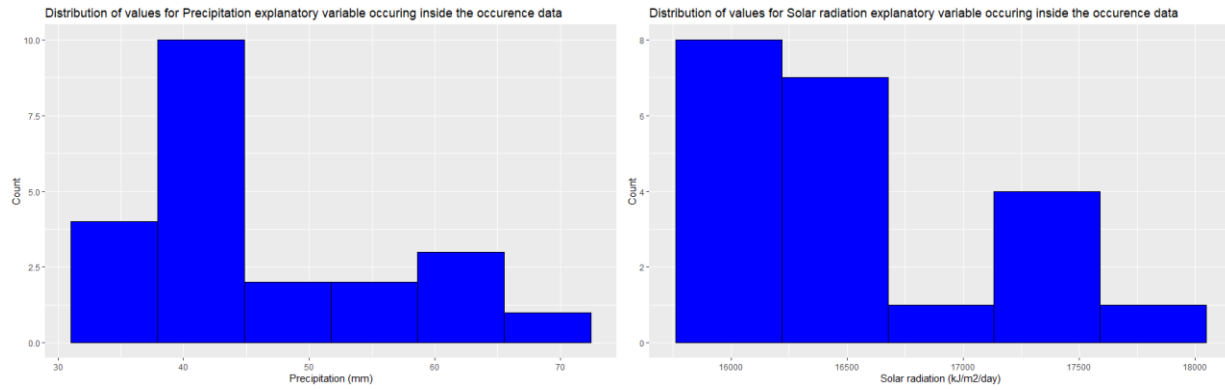
Γράφημα 27 - 28: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές του δείκτη Topographic Position Index (TPI - αριστερά) και του δείκτη Terrain Ruggedness Index (TRI - δεξιά).

Παράλληλα, οι γνωστές φωλιές Σπιζαετών παρατηρήθηκε ότι βρίσκονταν κατ'ελάχιστον 500m από τον πλησιέστερο οικισμό και κατά μέσο όρο πάνω από 2km. Όσον αφορά τις χρήσεις γης, οι περισσότερες φωλιές βρίσκονταν σε φρυγανότοπους, οι οποίοι καλύπτουν και την πλειοψηφία της περιοχής, ενώ αμέσως μετά ήταν τα ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα (λιβάδια, βοσκοτόπια κλπ.).

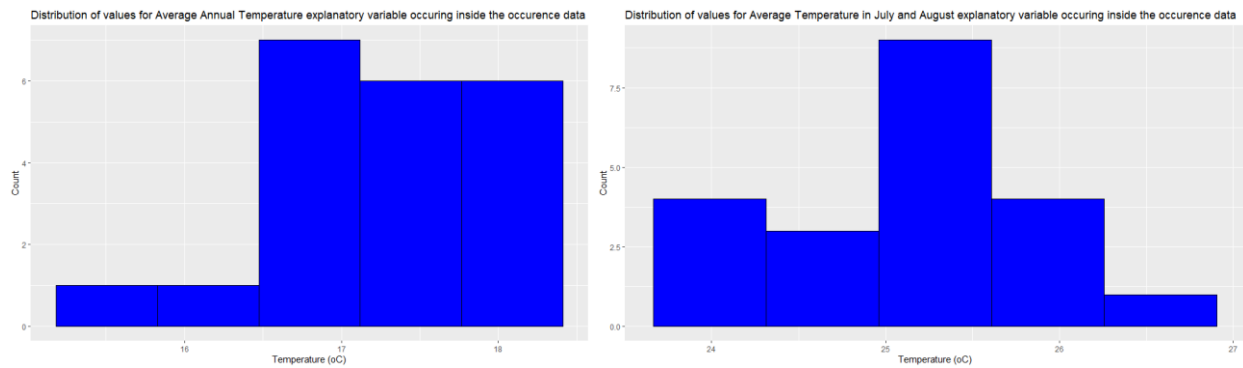


Γράφημα 29 - 30: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές Απόστασης από τον πλησιέστερο οικισμό σε μέτρα (Distance to settlements - αριστερά) και Κατηγοριών καλύψεων γης (Land cover - δεξιά). Οι καλύψεις γης που απεικονίζονται στο γράφημα είναι τα ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα (grasslands) και οι φρυγανότοποι (shrublands).

Όσον αφορά τις μεταβλητές που αφορούν μετεωρολογικά δεδομένα, παρατηρείται ότι υπάρχει τάση προτίμησης θέσεων με χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης και ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το αντίθετο πρότυπο παρατηρείται σε σχέση με την μέση ετήσια θερμοκρασία και τη μέση θερμοκρασία των θερμότερων μηνών, δηλαδή του Ιουλίου και του Αυγούστου, όπου φαίνεται να προτιμώνται θέσεις με θερμοκρασία κατά μέσο όρο 17°C και 25°C, αντίστοιχα.



Γράφημα 31 - 32: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές της βροχόπτωσης (Precipitation - αριστερά) και της ηλιακής ακτινοβολίας (Solar radiation - δεξιά).



Γράφημα 33 - 34: Εύρος των τιμών που λαμβάνουν οι περιβαλλοντικές/επεξηγηματικές μεταβλητές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (Average Annual temperature - αριστερά) και της μέσης θερμοκρασίας των θερμότερων μηνών (Annual temperature of the warmest months- δεξιά).



### 5.3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΕΥΔΟ-ΑΠΟΥΣΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο απεικονίζονται οι θέσεις ψευδο-απουσιών (

(ο Χάρτης 26 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)

Χάρτης 26) που δημιουργήθηκαν με βάση την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4.4.1.

(ο Χάρτης 26 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)

*Χάρτης 26: Απεικόνιση των θέσεων ψευδο-απουσίας του είδους που δημιουργήθηκαν εντός ακτίνας 5km από τις γνωστές θέσεις παρουσίας. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η χέρσος εντός ακτίνα 5km και με πράσινο οι σημειακές θέσεις ψευδο-απουσιών.*

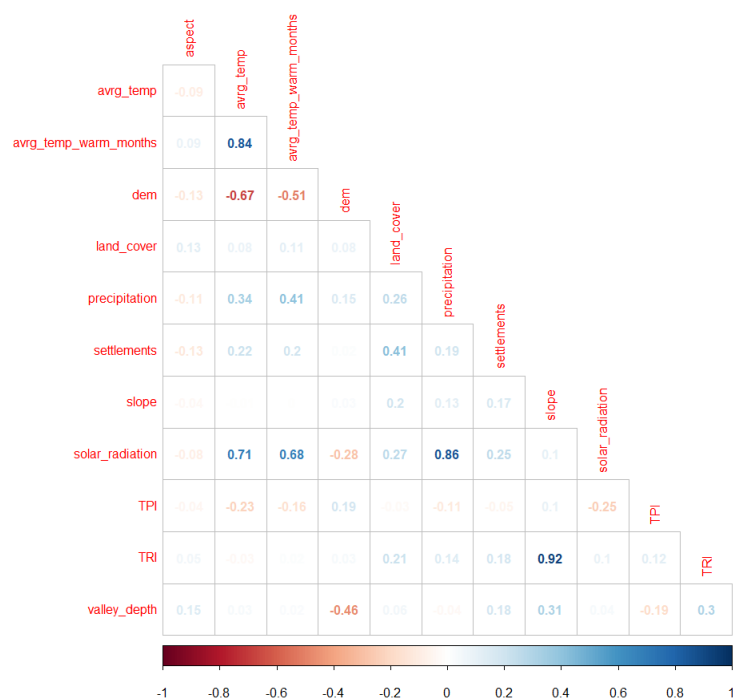
### 5.3.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Από τη διαδικασία προσδιορισμού μεταβλητών που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συγγραμικότητας με τη βοήθεια του *Variation Inflation Factor (VIF)*, τέσσερις από τις 12 συνολικά μεταβλητές παρουσίασαν πρόβλημα συγγραμικότητας, η ετερογένεια της τοπογραφίας της περιοχής *Terrain Ruggedness Index (TRI)*, η μέση ετήσια θερμοκρασία (*Average annual temperature*) και η ηλιακή ακτινοβολία (*Solar radiation*). Η εξαγωγή μεταβλητών με πρόβλημα συγγραμικότητας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δύο διαφορετικών κατωφλίων του δείκτη *VIF*. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι του δείκτη η τιμή 4, δηλαδή οι μεταβλητές με  $VIF > 4$  αποκλείονταν από το dataset, με αποτέλεσμα να αποκλειστούν από το σύνολο δεδομένων οι τρεις προαναφερόμενες μεταβλητές με τις μεταβλητές που απέμειναν να παρουσιάζουν συντελεστές συγγραμικότητας από -0.0088 έως -0.4568. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι η τιμή 0.9, οπότε μία μεταβλητή αποκλείστηκε για λόγους συγγραμικότητας, η μεταβλητή *TRI* που αποκλείστηκε και με τη χρήση του κατωφλιού 4, ενώ τα ζευγάρια των μεταβλητών είχαν συντελεστές συγγραμικότητας από -0.0088 έως 0.8670.

Στην Εικόνα 11 απεικονίζεται ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ , που παίρνει τιμές από -1 (αρνητική συσχέτιση) έως 1 (θετική συσχέτιση) για τις επεξηγηματικές μεταβλητές ανά ζεύγη, όπου φαίνεται ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία σχετίζεται σημαντικά ( $R^2 = 0.84$ ) με τη μέση θερμοκρασία των θερμότερων μηνών, δηλαδή του Ιουλίου και του Αυγούστου, γεγονός που οφείλεται στο ότι αποτελούν όμοια μεγέθη. Παράλληλα, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τις λοιπές μετεωρολογικές παραμέτρους (μέση ετήσια θερμοκρασία, μέση θερμοκρασία των θερμότερων μηνών, μέση ετήσια βροχόπτωση) με τιμές  $R^2$  που κυμαίνονται από 0.68 έως 0.86. Ακόμη, αρνητική συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ του υψομέτρου (*dem*) και των μετεωρολογικών μεταβλητών μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και μέσης θερμοκρασίας των θερμότερων μηνών με  $R^2 = -0.67$  και  $R^2 = -0.51$ , αντίστοιχα, γεγονός που υποδεικνύει ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο μειώνεται η μέση θερμοκρασία.



Τέλος, ο βαθμός ετερογένειας του εδάφους (*TRI*) της περιοχής μελέτης συσχετίζεται σημαντικά με την κλίση του εδάφους (*slope* -  $R^2 = 0.92$ ). Η ίδια μεταβλητή *TRI* βρέθηκε να δημιουργεί πρόβλημα συγγραμμικότητας και με τη χρήση του δείκτη *VIF*. Είναι σύνηθες γενικά, υπόβαθρα που έχουν δημιουργηθεί από κοινό μητρικό υπόβαθρο, όπως η μεταβλητή *TRI* και κλίση του εδάφους που αμφότερες αποτελούν παράγωγα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (*DEM*), να παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά συσχέτισης.



Εικόνα 11: Απεικόνιση του συντελεστή συσχέτισης  $R^2$  ανά ζεύγος μεταβλητών

#### 5.3.4. ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ & ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4.4.1, για την εξαγωγή του βέλτιστου μοντέλου αξιοποιήθηκαν δύο μέτρα αξιολόγησης της ποιότητας του παραγόμενου μοντέλου. Το πρώτο μέτρο περιλάμβανε χρήση του εργαλείου *stepAIC* της βιβλιοθήκης *MASS*, με το οποίο δημιουργούνται συνδυασμοί μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών έως ότου παραχθεί το μοντέλο εκείνο που δεν είναι δυνατή περαιτέρω μείωση του *Akaike's Information Criterion*. Το κριτήριο *AIC* αποτελεί κριτήριο επιλογής του βέλτιστου μοντέλου με όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό παραμέτρων. Το κριτήριο ορίζεται από τη σχέση  $AIC = 2d - 2\log L$ , όπου  $L$  η μεγιστοποιημένη τιμή της συνάρτησης πιθανοφάνειας για το εκτιμημένο μοντέλο και  $d$  ο αριθμός παραμέτρων του μοντέλου. Από τα υποψήφια μοντέλα ως βέλτιστο θεωρείται αυτό με την μικρότερη τιμή *AIC* (Παναγιωτοπούλου, 2013).

Το δεύτερο μέτρο περιλάμβανε τη χρήση της καμπύλης *AUCROC* (*Area Under the Receiver Operator Curve*). Το μέτρο *AUC* αποτελεί μέτρο αξιολόγησης μοντέλων ταξινόμησης, στην προκειμένη περίπτωση ταξινόμησης περιοχών παρουσίας και απουσίας του Σπιζαετού. Σε αμερόληπτα (unbiased) δεδομένα, υψηλή τιμή *AUC* υποδεικνύει ότι περιοχές με υψηλές τιμές προβλεπόμενης καταλληλότητας τείνουν να είναι περιοχές γνωστής παρουσίας και τοποθεσίες με χαμηλότερες τιμές πρόβλεψης τείνουν να είναι



περιοχές όπου το είδος δεν είναι γνωστό ότι υπάρχει (απουσιάζει ή ένα τυχαίο σημείο). Τιμή *AUC* που ισούται με 0.5 σημαίνει ότι το μοντέλο είναι τόσο καλό όσο μια τυχαία εικασία (Hijman and Elith, 2019). Όσο η τιμή *AUC* προσεγγίζει τη μονάδα, τόσο καλύτερη είναι η ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει τις θέσεις πιθανής παρουσίας και απουσίας ορθά. Στο διάγραμμα ROC στον οριζόντιο άξονα, απεικονίζεται η ευαισθησία του μοντέλου (*Sensitivity*), δηλαδή οι θέσεις εκείνες που προβλέφθηκαν ορθά ως θέσεις παρουσίας (*True positive*) και στον κάθετο άξονα οι θέσεις εκείνες που εσφαλμένα εκτιμήθηκαν ως θέσεις παρουσίας (*False positive*) και αντιπροσωπεύουν την μονάδα μείον τον βαθμό ακρίβειας του μοντέλου ( $1 - Specificity$ ).

Με βάση τα ανωτέρω, αρχικά πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση του *Saturated model*, δηλαδή του μοντέλου που περιλαμβάνει το σύνολο των μεταβλητών. Το *Saturated model* αποτελεί το πιο σύνθετο μοντέλο που μπορεί να παραχθεί με τη βέλτιστη δυνατή προσαρμογή των δεδομένων (*perfect fit to the data*). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε μεταβλητή που περιλαμβάνει το μοντέλο, καθώς και τα μεγέθη που συμβάλλουν στην αξιολόγηση του μοντέλου (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του *Saturated* μοντέλου

	Estimate	Std.error	z value	P-value
(Intercept)	-184.501	2418.91	-0.07627	0.93920
aspect	0.00164	0.00674	0.24341	0.80769
avrg_temp	-6.49603	3.52210	-1.84436	0.06513
avrg_temp_warm_months	2.56910	1.83620	1.39915	0.16177
dem	-0.00077	0.00996	-0.07737	0.93833
land_cover3	6.74475	11022.29	0.00061	0.99951
land_cover4	17.3119	2417.025	0.00716	0.99429
land_cover5	15.8146	2417.025	0.00654	0.99478
land_cover7	-1.18258	11022.29	-0.00011	0.99991
precipitation	-0.81091	0.45674	-1.77545	0.07582
settlements	0.00081	0.00059	1.36706	0.17161
slope	0.02229	0.16626	0.13406	0.89336
solar_radiation	0.01499	0.00794	1.88821	0.05900
TPI	0.19593	0.16539	1.18468	0.23614
TRI	0.38416	0.34175	1.12411	0.26097

**Deviance Residuals:**

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.7465	-0.5918	-0.1349	0.5202	1.8022

**Null deviance:** 95.072 on 72 degrees of freedom

**Residual deviance:** 57.406 on 64 degrees of freedom

Για την εξαγωγή του βέλτιστου μοντέλου GLM λήφθηκαν υπόψη οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που παρατηρήθηκαν (Κεφάλαιο 5.3.3), καθώς και τα αποτελέσματα της εντολής *StepAIC*, ενώ στη συνέχεια για τα μοντέλα εκείνα που ικανοποιούσαν τα δύο πρώτα κριτήρια πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της επίδρασης της κάθε περιβαλλοντικής μεταβλητής με τη μορφή του *Odds ratio* και του



95% Confidence interval και της στατιστικής σημαντικότητας της επίδρασης αυτής. Τέλος, πραγματοποιήθηκε επίσης αξιολόγηση του μοντέλου ως προς την ευαισθησία και την ακρίβεια του μέσω των τιμών *AUC* και της καμπύλης *ROC*.

Το μοντέλο που ικανοποιεί βέλτιστα τα παραπάνω κριτήρια περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση (1), ενώ υψώνοντας τα αποτελέσματα εις την *e* για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων προκύπτει η εξίσωση (2).

$$\text{logit}[P(y = 1)] = -57.660 + 0.263 * AT07\_08 - 0.222 * PR + 0.003 * SR + 0.417 * TRI - 0.017 * VD \quad (1)$$

$$P(y = 1) = -9,09e^{-26} + 1.301 * AT07\_08 + 0.801 * PR + 1.003 * SR + 1.517 * TRI + 0.983 * VD \quad (2)$$

όπου:

*AT07\_08*: η μέση θερμοκρασία τους θερμότερους μήνες του έτους, Ιούλιο και Αύγουστο

*PR*: η μέση ετήσια βροχόπτωση

*SR*: η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία

*TRI*: ο δείκτης ετερογένειας του εδάφους

*VD*: η εκβάθυνση του εδάφους – παρουσία φαραγγιών

Παρακάτω, παρατίθενται κάποια περιγραφικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου μοντέλου GLM (Πίνακας 7), συγκεκριμένα για τα υπόλοιπα deviance (*Deviance residuals*), δηλαδή την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή, τη διάμεσο και το πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο, οι εκτιμήσεις των παραμέτρων (*Estimate*) του μοντέλου, τα τυπικά σφάλματα τους (*Std. error*), οι τιμές των ελέγχων Wald για τους συντελεστές του μοντέλου (*z value*) και οι αντίστοιχες *p*-τιμές των ελέγχων (*P-value*). Τέλος, παρουσιάζονται κάποιοι δείκτες καλής προσαρμογής για το μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή της στατιστικής συνάρτησης deviance για το βέλτιστο μοντέλο στο οποίο προσαρμόζονται τα δεδομένα (*Residual deviance*) και για το μοντέλο, που περιλαμβάνει μόνο το σταθερό όρο *Intercept* (*Null deviance*), καθώς και η τιμή του δείκτη *AIC*. Τέλος, περιλαμβάνεται και η τιμή του μέτρου *AUC*.

Παράλληλα, παρουσιάζεται επίσης το 95% διαστήματα εμπιστοσύνης και οι εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας για τις παραμέτρους του μοντέλου (Πίνακας 8). Τέλος, στην Εικόνα 12 απεικονίζεται η καμπύλη *ROC* του βέλτιστου μοντέλου πρόβλεψης με μέση τιμή *AUC*=0.892.

Πίνακας 7: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου μοντέλου GLM

	Estimate	Std.error	z value	P-value
(Intercept)	-57.6602	24.42295	-2.3609	0.01823
avrg_temp_warm_months	0.26300	0.64465	0.40797	0.68330
precipitation	-0.22233	0.11308	-1.96609	0.04929
solar_radiation	0.00347	0.00180	1.93698	0.05274
TRI	0.41685	0.12010	3.47093	0.00051
valley_depth	-0.01718	0.00725	-2.36991	0.01779





**Deviance Residuals:**

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.5457	-0.5567	-0.2737	0.5864	2.1425

**Null deviance:** 71.097 on 56 degrees of freedom

**Residual deviance:** 45.627 on 69 degrees of freedom

**AIC:** 57.627

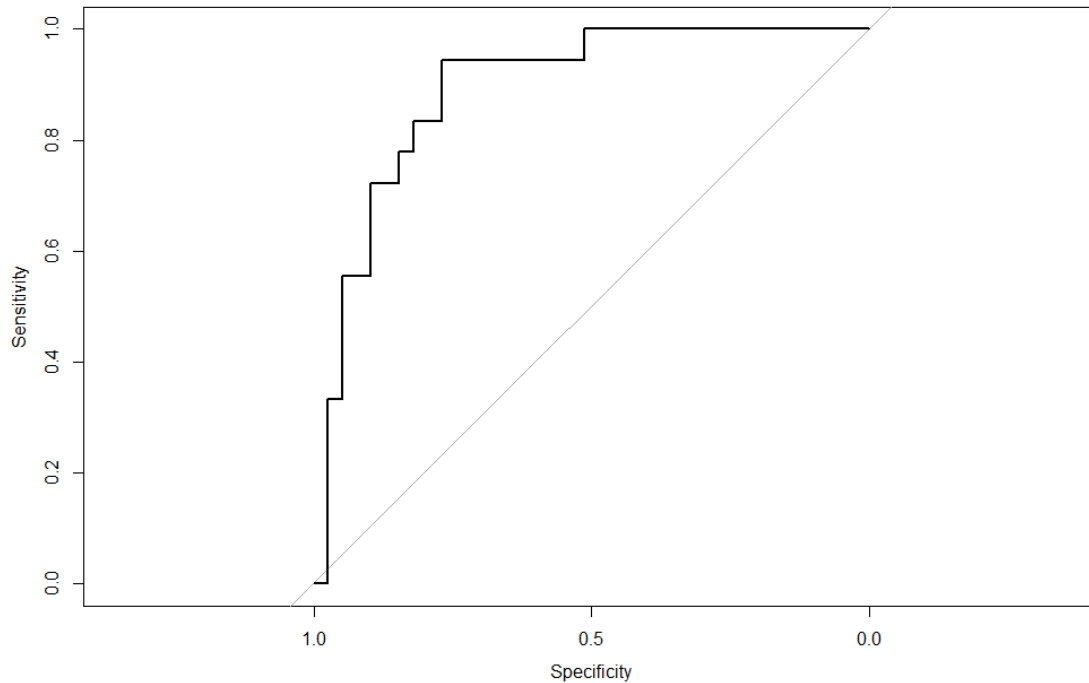
**AUC:** 0.846 – 0.949 *M.O.* = 0.892

Πίνακας 8: Κατώτατο (2.5%) και ανώτατο (97.5%) του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης του λόγου των σχετικών πιθανοτήτων (Odds ratio) και εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας για τις παραμέτρους του μοντέλου

	Lower confidence band (2.5%)	Odds ratio	Upper confidence band (97.5%)
(Intercept)	1.48E-49	9,09E-26	1.66E-07
avrg_temp_warm_months	0.36646	1,300824	4.84795
precipitation	0.62292	0,800654	0.97943
solar_radiation	1.00019	1,00348	1.00745
TRI	1.24162	1,517168	2.00778
valley_depth	0.96710	0,982963	0.99564

Από τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν (Πίνακας 8) προκύπτει ότι:

- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα παρουσίας Σπιζαετού είναι 30% μεγαλύτερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης της μέσης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των θερμότερων μηνών, υποδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο την προτίμηση θέσεων φωλεοποίησης όπου η θερμοκρασία αυξάνεται περισσότερο τους θερμότερους μήνες του καλοκαιριού.
- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα παρουσίας Σπιζαετού είναι 20% μικρότερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, επομένως ο Σπιζαετός προτιμάει θέσεις με μικρότερα ποσοστά βροχόπτωσης.
- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα παρουσίας Σπιζαετού είναι 0.03% μεγαλύτερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης της μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός που υποδεικνύει ότι η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας ευνοεί αμυδρά την επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού.
- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα παρουσίας Σπιζαετού είναι 52% μεγαλύτερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης του δείκτη ετερογένειας του εδάφους *TRI*, επομένως η παρουσία ετερογενών ενδιαιτημάτων διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού.
- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα παρουσίας Σπιζαετού είναι 2% μικρότερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης της εκβάθυνσης του εδάφους, η οποία υποδεικνύει ότι η παρουσία φαραγγιού έχει μικρή αλλά υπαρκτή σημαντικότητα για στην επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού.



Εικόνα 12: Καμπύλη ROC για το βέλτιστο μοντέλο GLM με τιμή AUC=0.892

Με βάση την καμπύλη της Εικόνα 12, παρατηρείται ότι η τιμή AUC που λαμβάνεται είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική. Στον Χάρτη 27 παρουσιάζεται ο τελικός χάρτης πρόβλεψης που παράχθηκε από το μοντέλο που περιγράφεται από την εξίσωση (2).



Χάρτης 27: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων



#### 5.4. ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (GENERALIZED LINEAR MODELS – GLM) – 2<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

##### 5.4.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΓΝΩΣΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΠΙΖΑΕΤΟΥ

Στο δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης διαφέρουν τα βιολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και ως εκ τούτου διαφέρουν και οι περιβαλλοντικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ως εξηγηματικές μεταβλητές. Τα βιολογικά δεδομένα αφορούν θέσεις όπου καταγράφηκε δραστηριότητα νεαρού Σπιζαετού, στα οποία πραγματοποιήθηκε φιλτράρισμα προκειμένου να απομονωθούν οι θέσεις εκείνες που αφορούσαν πτητική δραστηριότητα αξιοποίησης ανοδικών ρευμάτων ή/και τροφοληψία (Κεφάλαιο 4.4.3). Στόχος του δεύτερου μοντέλου είναι η παρατήρηση της συσχέτισης της πτητικής δραστηριότητας του Σπιζαετού με την ένταση της ταχύτητας των θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων και τις χρήσεις γης όπου συγκεντρώνεται η δραστηριότητά του.

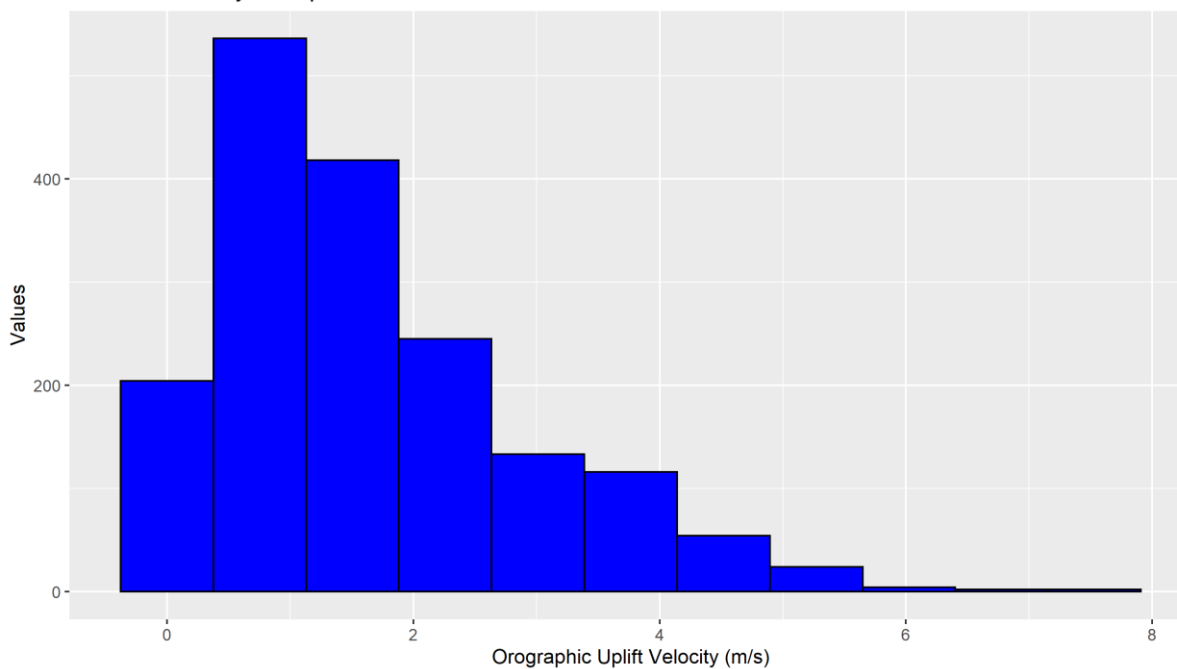
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικές τιμές (ελάχιστη, μέγιστη, μέση και μεσαία τιμή) των ανεξάρτητων περιβαλλοντικών μεταβλητών στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού

Explanatory variables	Occurrence Localities			
	Min	Median	Mean	Max
Orographic Uplift Velocity in May 2020	0.04	1.08	1.21	3.54
Orographic Uplift Velocity in June 2020	0.08	0.88	1.02	3.31
Orographic Uplift Velocity in July 2020	0.10	2.73	2.69	7.56
Orographic Uplift Velocity in August 2020	0.03	2.07	2.14	4.72
Orographic Uplift Velocity in September 2020	0.10	1.41	1.75	5.01
Thermal Uplift Velocity in May 2020	0.00	0.10	0.10	0.30
Thermal Uplift Velocity in June 2020	0.01	0.13	0.12	0.24
Thermal Uplift Velocity in July 2020	0.09	0.19	0.19	0.34
Thermal Uplift Velocity in August 2020	0.00	0.10	0.10	0.21
Thermal Uplift Velocity in September 2020	0.11	0.17	0.17	0.24
Land cover	4	-	-	5

Η μεγαλύτερη ταχύτητα ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων σε m/s στην περιοχή μελέτης για το διάστημα Μάιος-Σεπτέμβριος 2020, οπότε και καταγράφηκαν οι κινήσεις του Σπιζαετού, ήταν 7.56 m/s και καταγράφηκε τον μήνα Ιούλιο, ενώ η ελάχιστη ήταν 0.03 m/s τον μήνα Αύγουστο (Πίνακας 9). Κατά μέσο όρο καταγράφηκαν *Ορογραφικά ανοδικά ρεύματα* μικρής ταχύτητας 1.65 m/s στις θέσεις όπου δραστηριοποιήθηκε ο νεαρός Σπιζαετός την περίοδο Μάιος – Σεπτέμβριος 2020 (Γράφημα 35). Υψηλότερες ταχύτητες ανοδικών ορογραφικών ρευμάτων αξιοποιήθηκαν από τον Σπιζαετό τους μήνες Ιούλιος – Σεπτέμβριος 2020, οπότε στην περιοχή μελέτης πνέουν έντονοι άνεμοι λόγω του μελτεμιού.

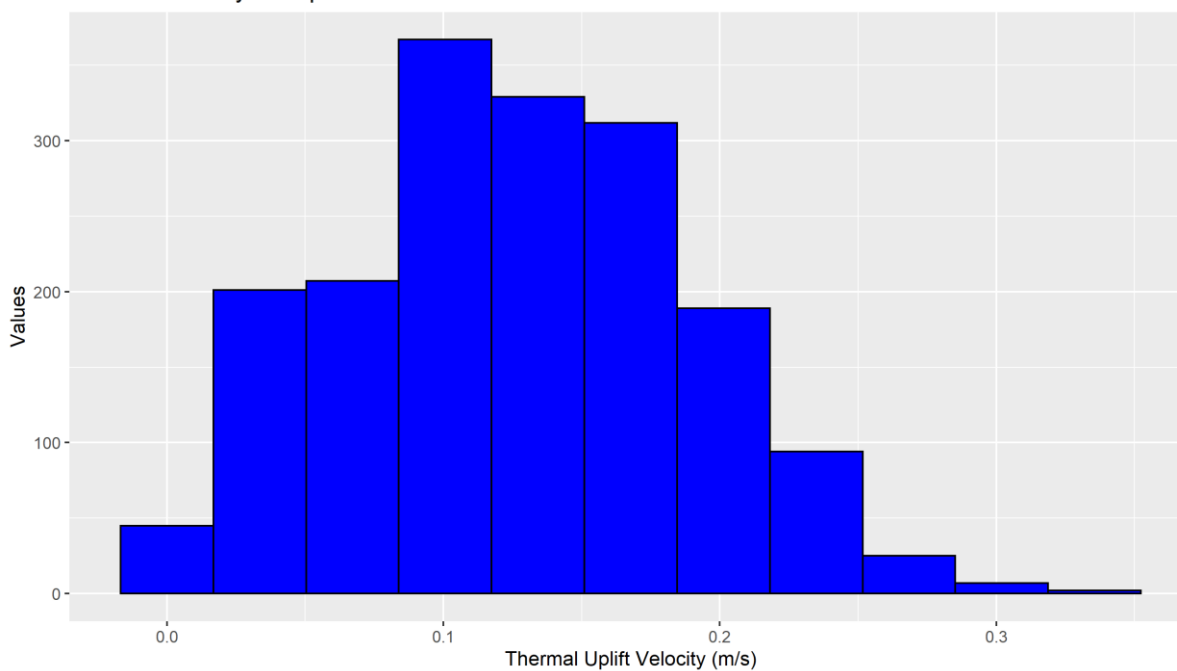


Distribution of values of Orographic Uplift Velocity throughout the survey area from May to September 2020 inside the occurrence data



Γράφημα 35: Εύρος των τιμών ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων (Orographic Uplift Velocity) για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο 2020 εντός της περιοχής μελέτης στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού.

Distribution of values of Thermal Uplift Velocity throughout the survey area from May to September 2020 inside the occurrence data

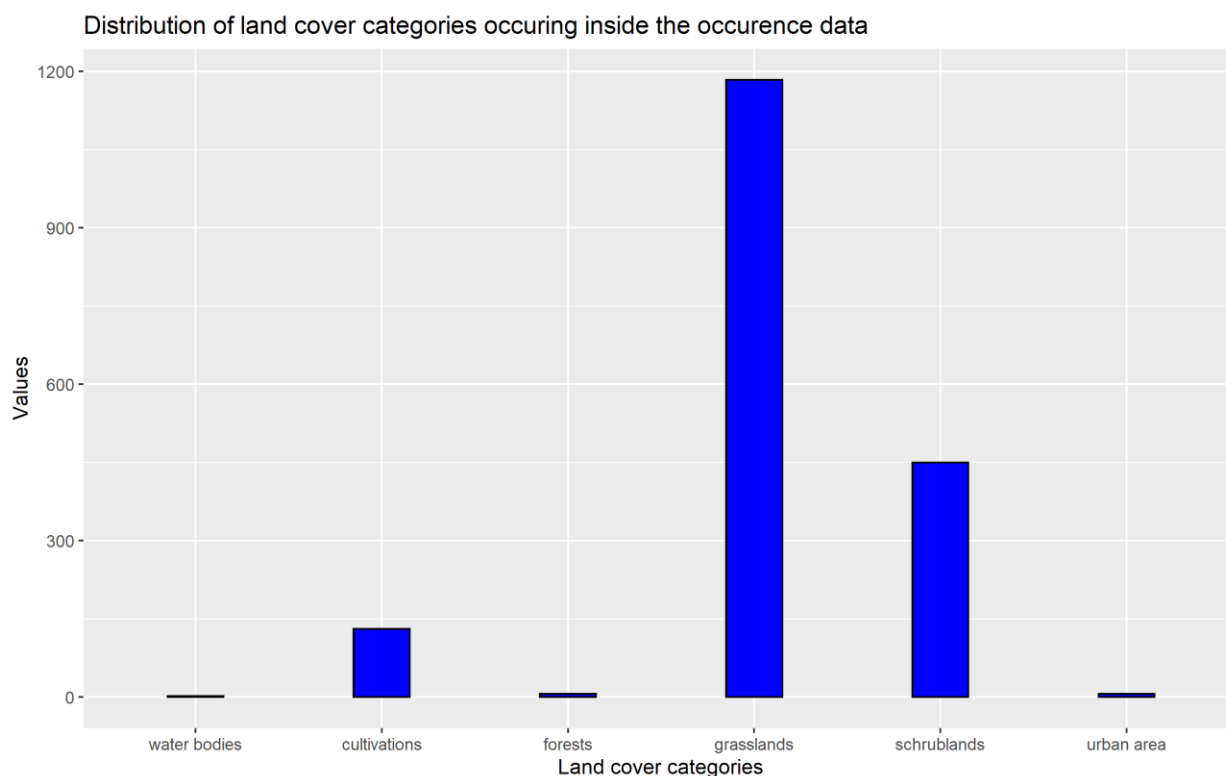


Γράφημα 36: Εύρος των τιμών ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων (Thermal Uplift Velocity) για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο 2020 εντός της περιοχής μελέτης στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού.



Όσον αφορά την ταχύτητα των θερμικών ανοδικών ρευμάτων, η οποία εξαρτάται κατά βάση από την θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους, γενικά καταγράφηκαν μικρής ταχύτητας *Θερμικά ανοδικά ρεύματα* με μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των μηνών από 0 έως 0.34 m/s, με τον Ιούλιο να παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων (Γράφημα 36).

Τέλος, όσον αφορά τις κατηγορίες χρήσεων γης όπου παρατηρήθηκε το μεγαλύτερο ποσοστό της δραστηριότητας του νεαρού Σπιζαετού, η πλειοψηφία των κινήσεων του παρατηρήθηκε σε τρεις τύπους χρήσεων γης, σε ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα-λιβάδια, θαμνότοπους και σε μεγαλύτερη κλίμακα σε καλλιέργειες (Γράφημα 37). Η επιλογή των συγκεκριμένων τύπων χρήσεων γης επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία, ενώ **παρατηρείται ότι σε αντίθεση με τις θέσεις φωλιάσματος, οι οποίες βρίσκονταν ως επί το πλείστον σε θαμνότοπους**, στην περίπτωση πτητικής δραστηριότητας ή/και αναζήτησης τροφής προτιμώνται τα ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα.

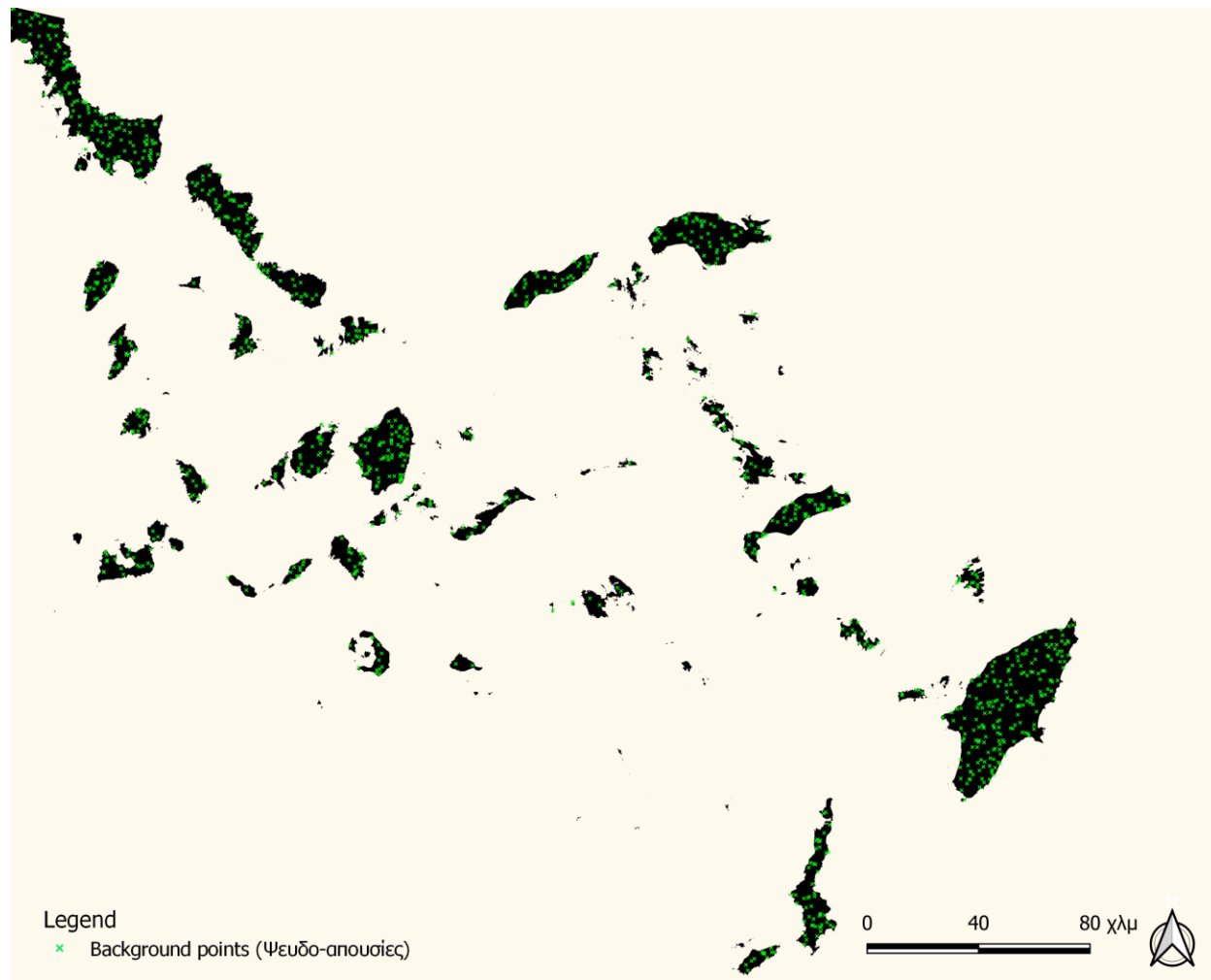


Γράφημα 37: Εύρος των κατηγοριών χρήσεων γης (Land cover) για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο 2020 εντός της περιοχής μελέτης στις θέσεις γνωστής παρουσίας του Σπιζαετού.



#### 5.4.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΕΥΔΟ-ΑΠΟΥΣΙΩΝ

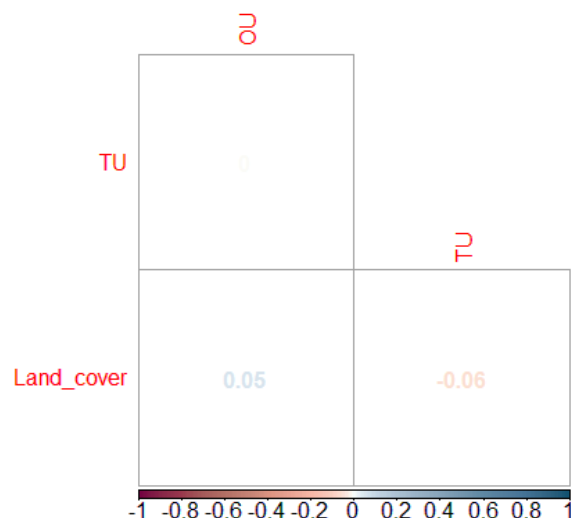
Στο παρόν κεφάλαιο απεικονίζονται οι θέσεις ψευδο-απουσιών (Χάρτης 28) που δημιουργήθηκαν με βάση την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4.4.1.



Χάρτης 28: Απεικόνιση των θέσεων ψευδο-απουσίας του είδους που δημιουργήθηκαν εντός της περιοχής μελέτης με τυχαία δειγματοληψία. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι σημειακές θέσεις ψευδο-απουσιών

#### 5.4.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Λόγω του μικρού αριθμού εξηγηματικών μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για το δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση των μεταβλητών, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 13 όπου απεικονίζεται ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ , που παίρνει τιμές από -1 (αρνητική συσχέτιση) έως 1 (θετική συσχέτιση) για τις εξηγηματικές μεταβλητές ανά ζεύγη.



Εικόνα 13: Απεικόνιση του συντελεστή συσχέτισης  $R^2$  ανά ζεύγος μεταβλητών. Με τα αρχικά TU απεικονίζεται η ταχύτητα θερμικών ρευμάτων και με τα αρχικά OU, η ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων. Από το διάγραμμα της εικόνας φαίνεται ότι οι επεξηγηματικές μεταβλητές δεν παρουσιάζουν συσχέτιση μεταξύ τους.

#### 5.4.4. ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ & ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5.3.4, αρχικά πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του *Saturated model*, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των επεξηγηματικών μεταβλητών και αποτελεί το πιο σύνθετο μοντέλο που μπορεί να παραχθεί με τη βέλτιστη δυνατή προσαρμογή των δεδομένων (*perfect fit to the data*). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε μεταβλητή που περιλαμβάνει το μοντέλο, καθώς και τα μεγέθη που συμβάλλουν στην αξιολόγηση του μοντέλου (Πίνακας 10).

Πίνακας 10: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του *Saturated* μοντέλου

	Estimate	Std. error	z value	P-value
(Intercept)	-14,224	616,9529	-0,02306	0,981606
Orographic Uplift Velocity	0,40685	0,049561	8,209091	2,23E-16
Thermal Uplift Velocity	-7,89242	0,464914	-16,9761	1,23E-64
Land cover: cultivations	14,29848	616,9529	0,02318	0,98151
Land cover: forests	12,51453	616,953	0,02028	0,98382
Land cover: grasslands	16,83048	616,9529	0,02728	0,97824
Land cover: schrublands	15,08248	616,9529	0,024447	0,98050
Land cover: soil	0,66884	768,4424	0,00087	0,99931
Land cover: urban area	13,48662	616,9531	0,02186	0,98256

#### Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.8000	-0.5261	0.3882	0.6431	1.9758

**Null deviance:** 3501.2 on 2688 degrees of freedom

**Residual deviance:** 2317.0 on 2680 degrees of freedom

**AIC:** 2335





Από τα παραπάνω αποτελέσματα του μοντέλου όπου συμπεριλαμβάνεται το σύνολο των επεξηγηματικών μεταβλητών, δηλαδή των περιβαλλοντικών παραμέτρων που επιχειρούν να ερμηνεύσουν και προβλέψουν τις δυνητικές θέσεις δραστηριότητας και τροφοληψίας του Σπιζαετού, βάση του *P-value* παρατηρείται ότι μόνο οι ταχύτητες θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων είναι στατιστικά σημαντικές δηλαδή συμβάλουν στην επεξήγηση της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού, σε αντίθεση με τις χρήσεις γης οι οποίες δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα. Οι χρήσεις γης γενικά παρουσιάζουν ομοιογένεια στο σύνολο της περιοχής μελέτης με τους θαμνότοπους και τα ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής, επομένως παρότι παρατηρείται προτίμηση του Σπιζαετού σε συγκεκριμένες χρήσεις γης, η επεξηγηματική τους ικανότητα είναι μικρή λόγω της απουσίας σημαντικής ετερογένειας στην περιοχή μελέτης.

Έχοντας εξετάσει τις πιθανές συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών, τα αποτελέσματα της εντολής *StepAIC*, την επίδραση της κάθε περιβαλλοντικής μεταβλητής με τη μορφή του *Odds ratio* και του *95% Confidence interval* και της στατιστικής σημαντικότητας της επίδρασης αυτής και τέλος, τις τιμές *AUC* για κάθε μοντέλο παράγεται το βέλτιστο μοντέλο.

Το μοντέλο που ικανοποιεί βέλτιστα τα προαναφερόμενα κριτήρια περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση (1), ενώ υψώνοντας τα αποτελέσματα εις την *e* για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων προκύπτει η εξίσωση (2).

$$\text{logit}[P(y = 1)] = -1.389 + 0.410 * OU - 7.799 * TU \quad (1)$$

$$P(y = 1) = 4.009 + 1.506 * OU + 0.0004 * TU \quad (2)$$

όπου *OU*: η ταχύτητα ανοδικών ορογραφικών ρευμάτων και *TU*: η ταχύτητα θερμικών ανοδικών ρευμάτων.

Παρακάτω, συνοψίζονται τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου μοντέλου (Πίνακας 11) και η συμβολή κάθε επεξηγηματικής μεταβλητής μέσα από το 95% διαστήματος εμπιστοσύνης και τις εκτιμήτριες τιμές μέγιστης πιθανοφάνειας για τις παραμέτρους του μοντέλου (Πίνακας 12).

Πίνακας 11: Περιγραφικά χαρακτηριστικά του *Saturated* μοντέλου

	Estimate	Std. error	z value	P-value
(Intercept)	1,388556	0,096123	14,44562	2,67E-47
Orographic Uplift Velocity	0,409504	0,04447	9,208467	3,31E-20
Thermal Uplift Velocity	-7,79916	0,411295	-18,9624	3,49E-80

**Deviance Residuals:**

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.3536	-0.7720	0.6206	0.8298	1.5357

**Null deviance:** 3501.2 on 2688 degrees of freedom

**Residual deviance:** 2838.2 on 2686 degrees of freedom

**AIC:** 2844.2



AUC: 0.713 – 0.726 M.O. = 0.720

Πίνακας 12: Κατώτατο (2.5%) και ανώτατο (97.5%) του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης του λόγου των σχετικών πιθανοτήτων (Odds ratio) και εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας για τις παραμέτρους του μοντέλου

	Lower confidence band (2.5%)	Odds ratio	Upper confidence band (97.5%)
(Intercept)	3,326326	4,009058	4,849157
Orographic Uplift Velocity	1,382209	1,506071	1,645559
Thermal Uplift Velocity	0,00018	0,00041	0,000902

Από τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν (Πίνακας 12), συμπεραίνεται ότι:

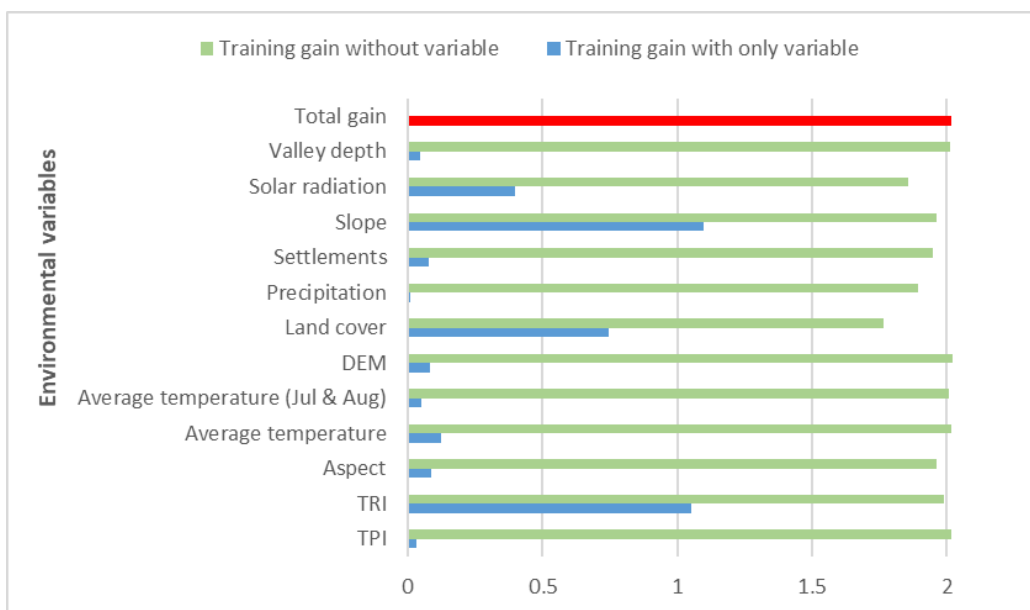
- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα πτητικής δραστηριότητα ή/και τροφοληψίας του Σπιζαετού είναι 50% μεγαλύτερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης της ταχύτητας ανοδικών ορογραφικών ρευμάτων, επομένως ο Σπιζαετός αξιοποιεί σε μεγάλο βαθμό τα διαθέσιμα ορογραφικά ρεύματα για τη διενέργεια παθητικής πτήσης.
- Σε κάθε τυχαία θέση της περιοχής μελέτης η πιθανότητα πτητικής δραστηριότητα ή/και τροφοληψίας του Σπιζαετού είναι 99,0006% μικρότερη από το να απουσιάζει για κάθε μονάδα αύξησης της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων, γεγονός που υποδεικνύει ότι η επίδραση της παρουσίας θερμικών ανοδικών ρευμάτων στις κινήσεις του Σπιζαετού είναι απειροελάχιστη.



### 5.5. MAXIMUM ENTROPY (MAXENT) - 1<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Η διαδικασία επιλογής του βέλτιστου μοντέλου με τη χρήση μοντελοποίησης *Μέγιστης Εντροπίας* ακολούθησε παρόμοια βήματα με αυτή που ακολουθήθηκε για τα *Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα*. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε αρχικά παραγωγή ενός μοντέλου στο οποίο συμπεριλήφθηκε το σύνολο των περιβαλλοντικών/επεξηγηματικών μεταβλητών. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της ποιότητας του μοντέλου και της επιρροής των επιμέρους επεξηγηματικών μεταβλητών, με βάση μία σειρά μέτρων αξιολόγησης που παράγονται από το μοντέλο. Παράλληλα, λήφθηκαν υπόψη και τα αποτελέσματα συσχέτισης μεταξύ των επεξηγηματικών μεταβλητών που εξήχθησαν με τη χρήση των GLM.

Αξιολογώντας το Γράφημα 38, όπου παρατίθεται η συμβολή κάθε μεταβλητής στην παραγωγή του μοντέλου με τη μέθοδο *Jackknife (leave one out)* όταν κάθε μεταβλητή εισάγεται αυτοτελώς για την παραγωγή του μοντέλου, παρατηρείται ότι οι επεξηγηματικές μεταβλητές που συμβάλλουν περισσότερο στην παραγωγή του μοντέλου με φθίνουσα σειρά είναι η κλίση του εδάφους (*Slope*), ο βαθμός ετερογένειας του εδάφους (*TRI*), οι χρήσεις γης (*Land cover*) και η ηλιακή ακτινοβολία (*Solar radiation*). Η φύση των μεταβλητών με την μεγαλύτερη επιρροή στην παραγωγή της πρόβλεψης παρατηρείται ότι ομοιάζει σημαντικά με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με τη χρήση *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων*.



Γράφημα 38: Συμβολή των επεξηγηματικών μεταβλητών στην ποιότητα του μοντέλου. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κέρδος που προσφέρει κάθε επεξηγηματική μεταβλητή όταν εισέρχονται στο μοντέλο μόνες τους (*leave one out*)

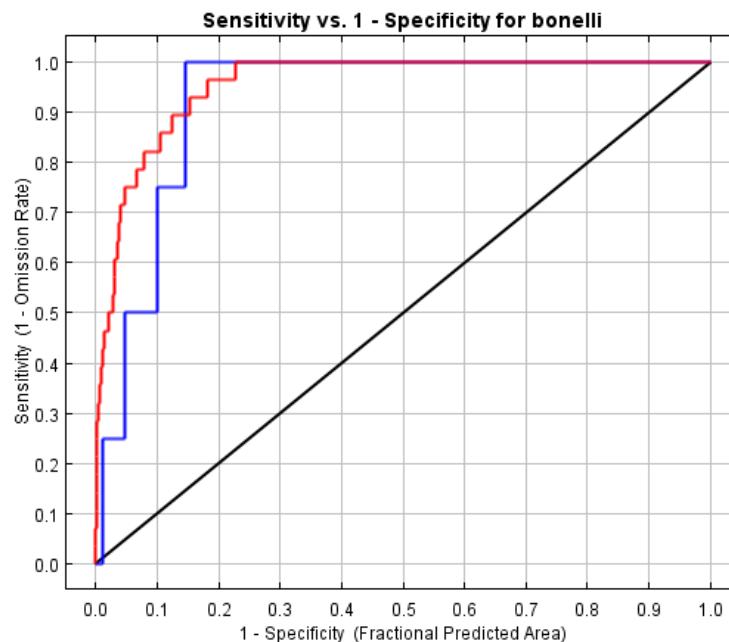
Η τιμή *AUC* για το μοντέλο πρόβλεψης όπου συμπεριλαμβάνεται το σύνολο των επεξηγηματικών μεταβλητών είναι 0.975.

Στη συνέχεια, παράχθηκε το τελικό μοντέλο πρόβλεψης με τη χρήση της μεθόδου της *Μέγιστης Εντροπίας*, συμπεριλαμβάνοντας τις μεταβλητές που βρέθηκε ότι συμβάλλουν περισσότερο στην πρόβλεψη της δυνητικής κατανομής.

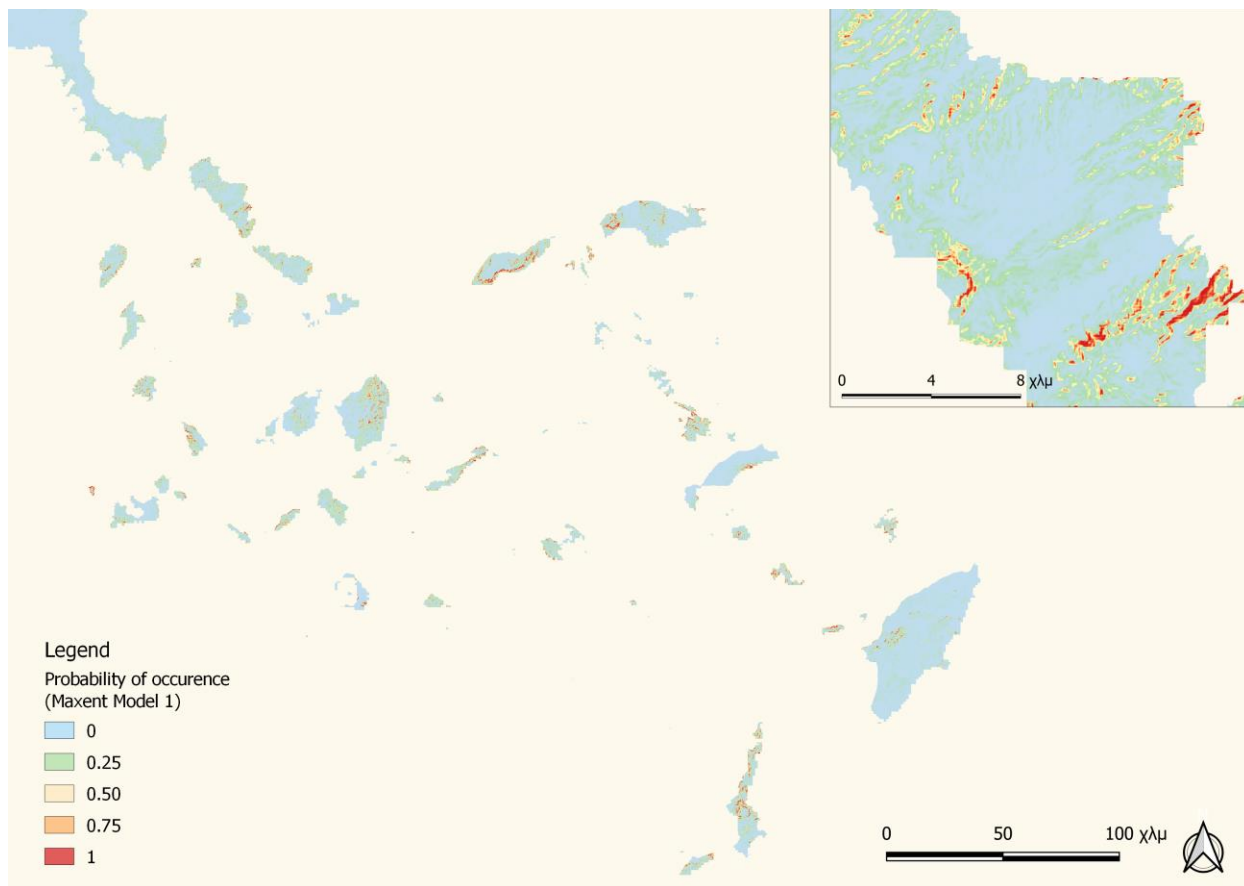


Γράφημα 39: Συμβολή των επεξηγηματικών μεταβλητών στην ποιότητα του μοντέλου. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κέρδος που προσφέρει κάθε επεξηγηματική μεταβλητή όταν εισέρχονται στο μοντέλο μόνες τους (leave one out)

Από το Γράφημα 39, παρατηρείται ότι η κλίση του εδάφους (Slope) συμβάλει περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες περιβαλλοντικές μεταβλητές στην παραγωγή του μοντέλου πρόβλεψης, καθώς μόνο με τη χρήση αυτής της μεταβλητής το μοντέλο έχει το μεγαλύτερο κέρδος με μία μόνο μεταβλητή (training gain with only variable), ενώ παράλληλα έχει το μικρότερο κέρδος όταν είναι η μοναδική μεταβλητή που δεν συμπεριλαμβάνεται (training gain without variable). Μικρότερη φαίνεται να είναι η συμβολή της μεταβλητής της ηλιακής ακτινοβολίας (Solar radiation) στο συνολικό κέρδος του μοντέλου, των χρήσεων γης (Land cover) και του δείκτη ετερογένειας του εδάφους (TRI). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η καμπύλη ROC του παραγόμενου μοντέλου με  $AUC=0.955$  (Εικόνα 14), και ο τελικός χάρτης πρόβλεψης (Χάρτης 29), που θα χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή του τελικού χάρτη ευαισθησίας.



Εικόνα 14: Καμπύλη ROC για το βέλτιστο μοντέλο με τη χρήση της μεθόδου μέγιστης εντροπίας. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η καμπύλη ROC για τα δεδομένα εκπαίδευσης-training data του μοντέλου ( $AUC=0.955$ ), με μπλε χρώμα η καμπύλη ROC για τα δεδομένα επαλήθευσης-test data ( $AUC=0.924$ ) και με μαύρο χρώμα η καμπύλη ROC τυχαίας πρόβλεψης ( $AUC=0.5$ )

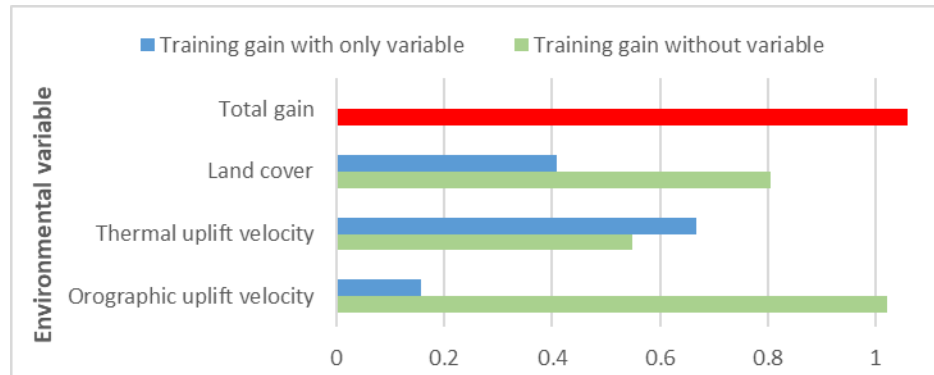


Χάρτης 29: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας



## 5.6. MAXIMUM ENTROPY (MAXENT) - 2<sup>ο</sup> ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Όπως πραγματοποιήθηκε και στην περίπτωση των *Γενικευμένων Γραμμικών μοντέλων*, έτσι και στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου πρόβλεψης με τη χρήση της μεθόδου *Μέγιστης Εντροπίας* πραγματοποιήθηκε μηνιαία ανάλυση του συνόλου δεδομένων.



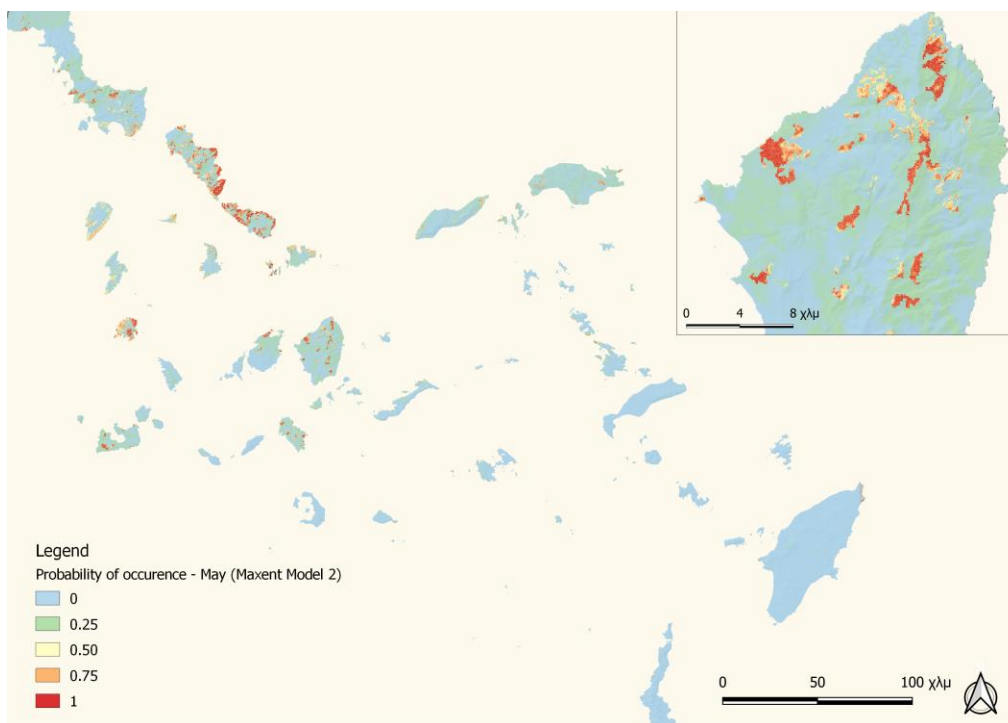
Γράφημα 40: Συμβολή των επεξηγηματικών μεταβλητών στην ποιότητα του μοντέλου. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κέρδος που προσφέρει κάθε επεξηγηματική μεταβλητή όταν εισέρχονται στο μοντέλο μόνες τους (*leave one out*)

Για την παρατήρηση της συμβολής κάθε μεταβλητής στη δημιουργία του μοντέλου, δημιουργήθηκε ενιαίο διάγραμμα και για τους πέντε μήνες, όπου παρατίθεται η κατά μέσο όρο συμβολή κάθε μεταβλητής όταν εισήχθη στο μοντέλο ως μοναδική μεταβλητή (*training gain with only variable*), καθώς και όταν ήταν η μόνη που εξαιρέθηκε από το μοντέλο (*training gain without variable*). Από το Γράφημα 40 παρατηρείται ότι η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη συμβολή στο μοντέλο είναι αυτή της ταχύτητας θερμικών ανοδικών ρευμάτων, ενώ η μεταβλητή με τη μικρότερη συμβολή είναι αυτή της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων. Όσον αφορά τις χρήσεις γης, φαίνεται ότι χωρίς την εισαγωγή της μεταβλητής το κέρδος (*gain*) είναι ικανοποιητικό, ωστόσο η μοναδική συμβολή της μεταβλητής δείχνει ότι δύναται να επεξηγήσει σημαντικό ποσοστό της προβλεπόμενης κατανομής.

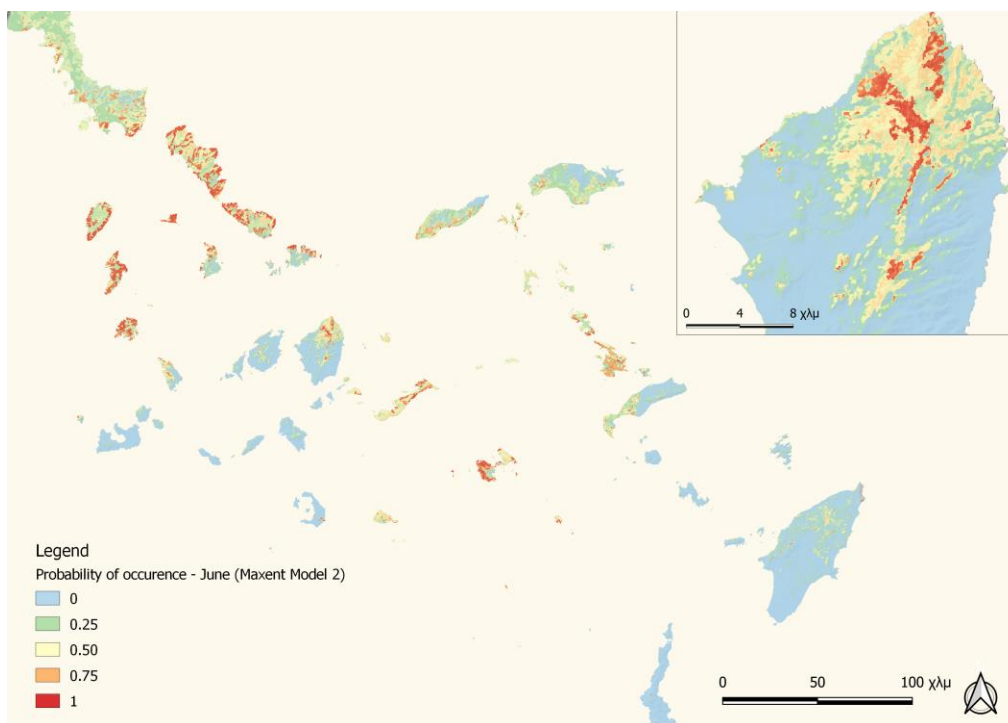
Τα παραπάνω αποτελέσματα για τη συμβολή των ταχυτήτων θερμικών και ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων, **έρχονται σε αντίθεση** με αυτά των *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων*, όπου παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη συμβολή στην πρόβλεψη της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού είχε η επεξηγηματική μεταβλητής της ταχύτητας ορογραφικών ανοδικών ρευμάτων.

Από τις καμπύλες ROC για τα πέντε μοντέλα που παράχθηκαν με τη χρήση της μεθόδου μέγιστης εντροπίας για τους μήνες Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος, παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα ικανοποιητικές βαθμολογίες του κριτηρίου AUC (Μάιος: AUC=0.928, Ιούνιος: AUC=0.855, Ιούλιος: AUC=0.932, Αύγουστος: AUC=0.884, Σεπτέμβριος: AUC=0.924), ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δεδομένων εκπαίδευσης και των δεδομένων επαλήθευσης.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο (Χάρτης 30 - Χάρτης 34).

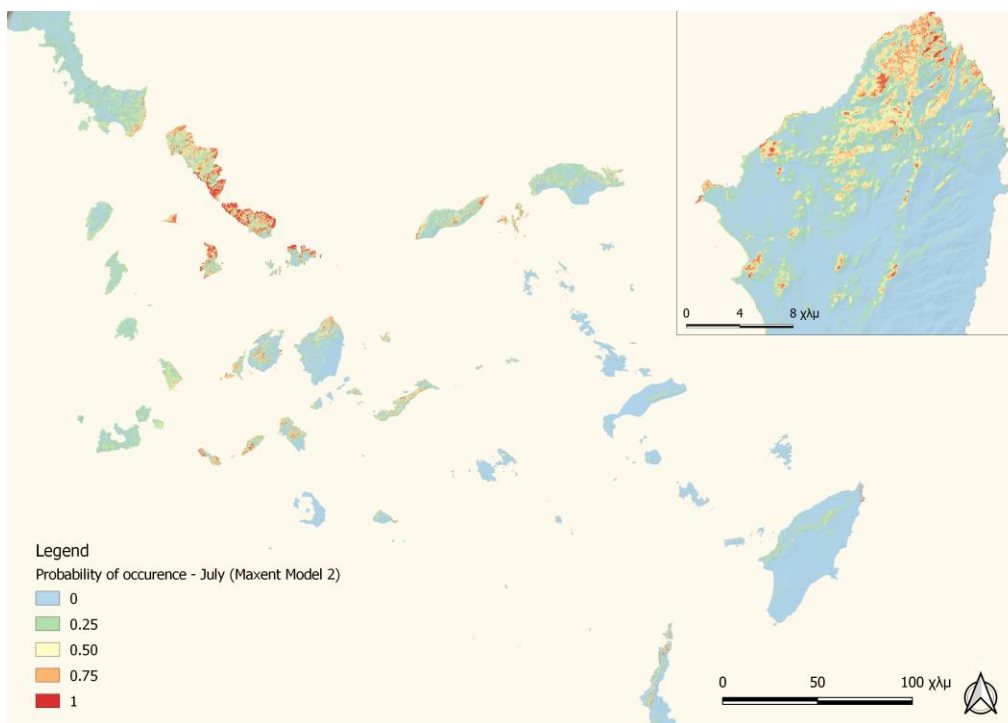


Χάρτης 30: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαιετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Μάιο

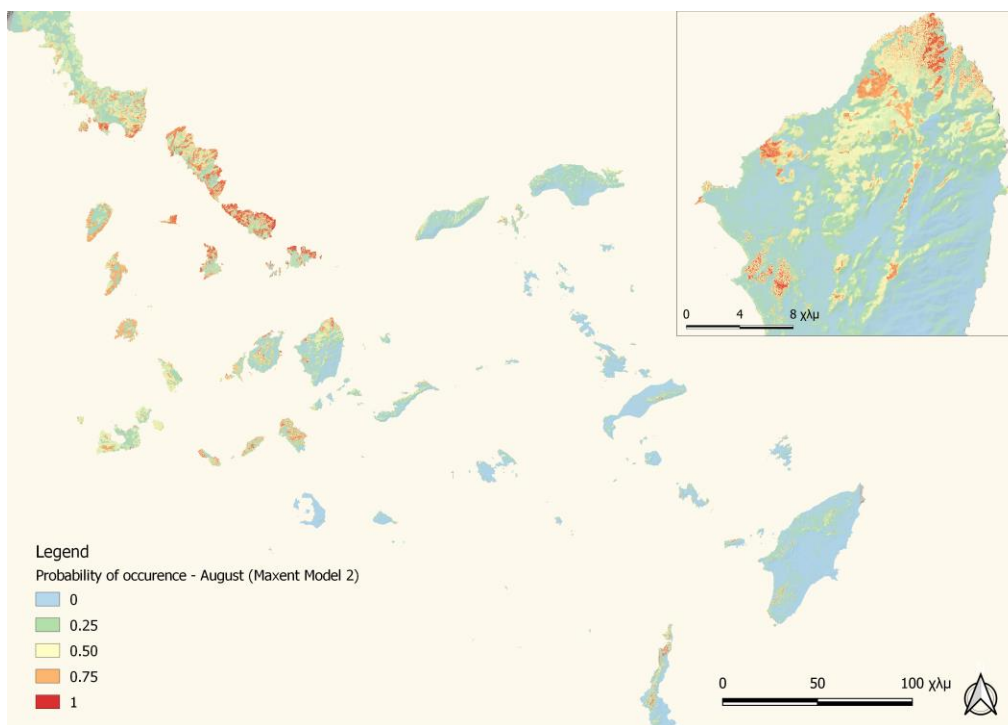


Χάρτης 31: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαιετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Ιούνιο



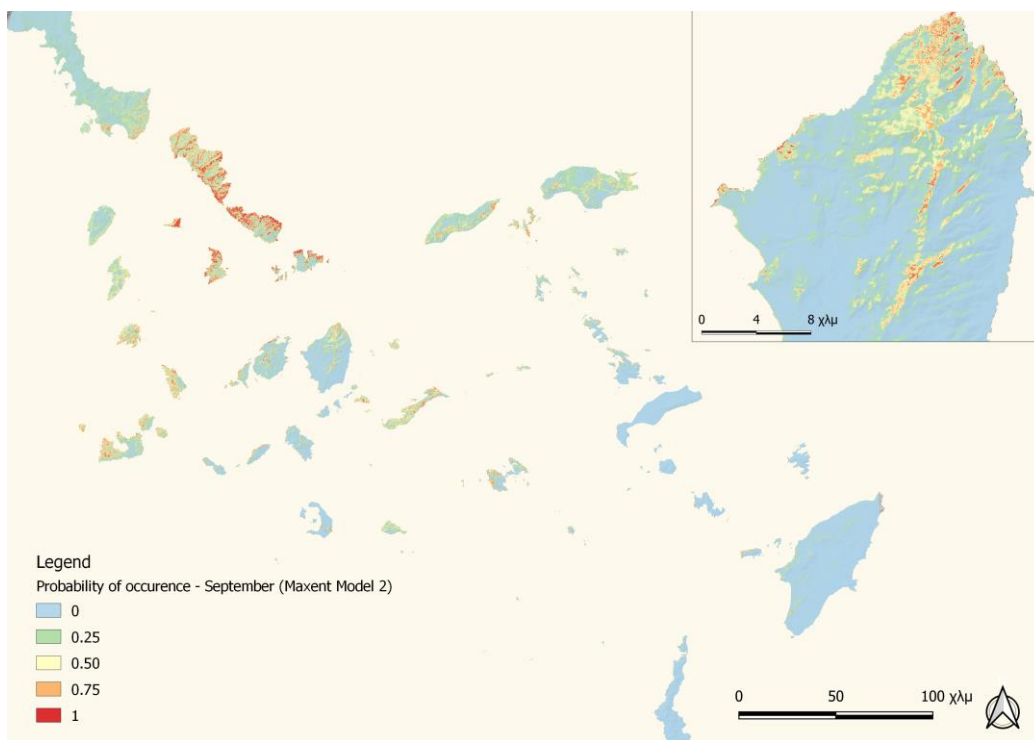


Χάρτης 32: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαιτού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Ιούλιο



Χάρτης 33: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαιτού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Αύγουστο





Χάρτης 34: Χάρτης πρόβλεψης της δυνητικής κατανομής του Σπιζαετού στην περιοχή μελέτης με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου Μέγιστης Εντροπίας για τον μήνα Σεπτέμβριο



### 5.7. ΧΑΡΤΕΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

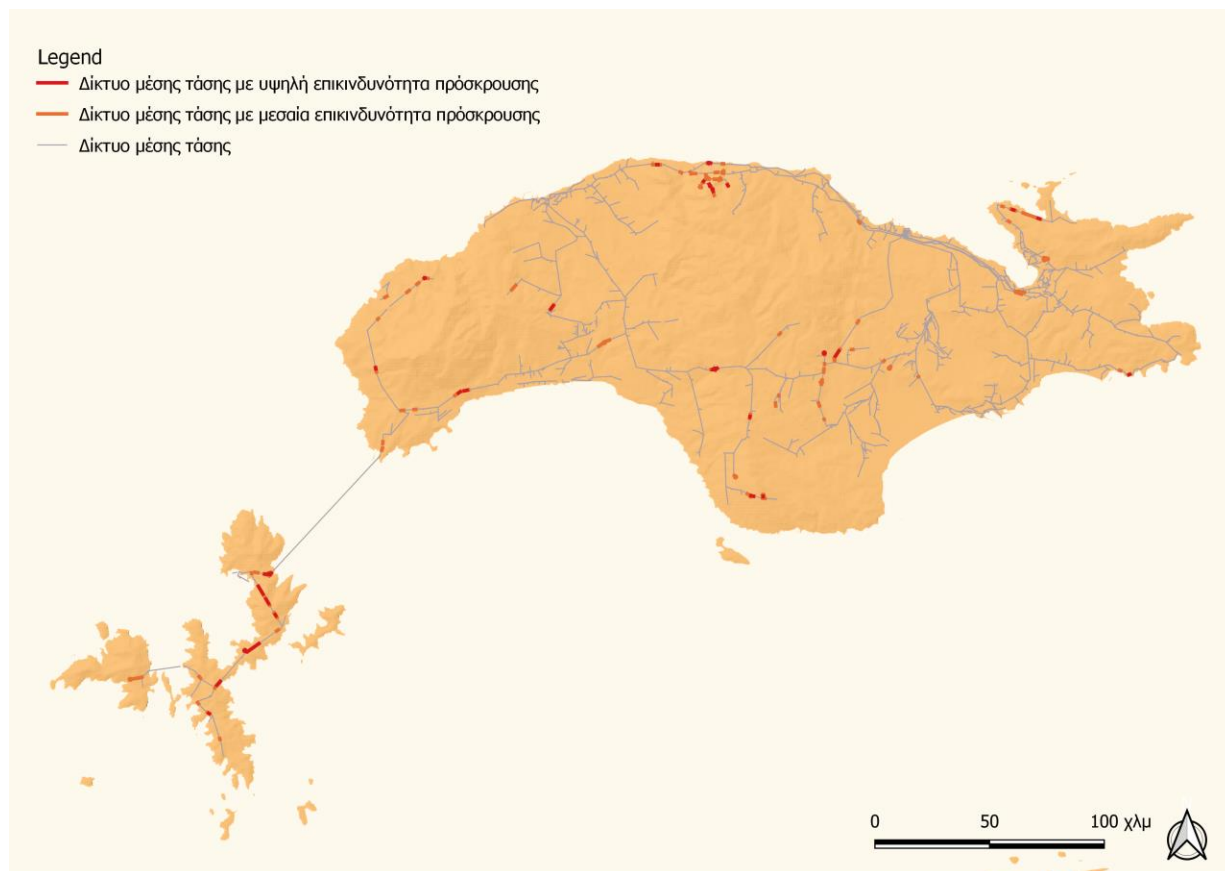
Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν και τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4.5, δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης ευαισθησίας όπου απεικονίζονται οι περιοχές που φέρουν μικρή έως εξαιρετικά υψηλή επικινδυνότητα σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών, ενώ πραγματοποιήθηκε και προσομοίωση των αποτελεσμάτων σε κομμάτι του πραγματικού δικτύου μέσης τάσης για το νησί της Σάμου (Χάρτης 36), το οποίο έγινε διαθέσιμο ύστερα από επικοινωνία με τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ).

Λόγω των διαφορούμενων αποτελεσμάτων του δεύτερου μοντέλου πρόβλεψης, κρίθηκε ως πιο επιστημονικά ορθό, να μην χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα του δεύτερου μοντέλου πρόβλεψης για την παραγωγή του χάρτη ευαισθησίας ((ο Χάρτης 35 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)

Χάρτης 35), προκειμένου τα παραγόμενα αποτελέσματα να χρίζουν έμπρακτης αξιοποίησης για τη διαχείριση του είδους στην περιοχή μελέτης. Παράλληλα, για την παραγωγή του τελικού χάρτη πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του λογισμικού Maxent.

(ο Χάρτης 35 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)

*Χάρτης 35: Απεικόνιση των περιοχών εντός των οποίων η παρουσία δικτύου ηλεκτροδότησης δύναται να παρουσιάζει μικρή (ροζ ανοιχτό χρώμα), μέση (πορτοκαλί χρώμα), υψηλή (κόκκινο χρώμα) και εξαιρετικά υψηλή (μωβ χρώμα) επικινδυνότητα σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών με βάση τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων πρόβλεψης*



Χάρτης 36: Απεικόνιση των τμημάτων του δικτύου μέσης τάσης στο νησί της Σάμου με μέση (πορτοκαλί χρώμα) και υψηλή (κόκκινο χρώμα) επικινδυνότητα παρατήρησης φαινομένων ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών με βάση τα δεδομένα που παράχθηκαν από το ένα μοντέλο πρόβλεψης



## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι δύο βασικότερες μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνουν τη χρήση μοντέλων πρόβλεψης και την προσομοίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών που σχετίζονται με την πτητική δραστηριότητα πτηνών που χρησιμοποιούν ανεμοπορία με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων. Η επιλογή των τεχνικών αυτών για τον προσδιορισμό των περιοχών εκείνων όπου εκτιμάται η παρουσία υψηλού κινδύνου παρατήρησης φαινομένων ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών δεν είναι φυσικά τυχαία. Τέτοιες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον για την εκτίμηση της επίπτωσης αιολικών πάρκων στα ανεμοπορούντα είδη κυρίως όσον αφορά τον κίνδυνο πρόσκρουσης αλλά και την απώλεια κατάλληλων ενδιαιτημάτων (Hanssen et al., 2020; Marques et al., 2020; Santos et al., 2017).

Λόγω της παρατηρούμενης ευαισθησίας του Σπιζαετού σε φαινόμενα που οφείλονται στην αλληλεπίδραση του με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, επιλέχθηκε η χρήση των προαναφερόμενων μεθόδων, αυτή τη φορά τις **υποδομές που απαρτίζουν το ηλεκτρικό δίκτυο, δηλαδή του πυλώνες και τα καλώδια**. Ωστόσο, η μελέτη του κινδύνου που αντιμετωπίζει ο Σπιζαετός στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου λόγω της αλληλεπίδρασής του με το ηλεκτρικό δίκτυο σχετίζεται άμεσα με την ανέγερση αιολικών πάρκων. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, η περιοχή έχει συγκεντρώσει, λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού που παρατηρείται, υψηλό επενδυτικό ενδιαφέρον για την ανέγερση αιολικών πάρκων. **Φυσικά, κάθε σχεδιαζόμενο πάρκο συνοδεύεται και από μια σειρά συνοδών έργων, μεταξύ αυτών και το ηλεκτρικό δίκτυο για τη μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας**. Επομένως, η εκτίμηση της επίπτωσης λόγω των συγκεκριμένων υποδομών δεν πρέπει να παραλείπεται, ιδιαίτερα όταν στη συγκεκριμένη περιοχή συγκεντρώνεται σημαντικό ποσοστό του εθνικού πληθυσμού του χαρακτηριστικότερου είδους αετού των Μεσογειακών οικοσυστημάτων, του Σπιζαετού.

Οι τεχνικές μοντελοποίησης και προσομοίωσης των θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων για τη μελέτη των κινήσεων ανεμοπορούντων ειδών και την εκτίμηση της επίπτωσης λόγω της ανέγερσης αιολικών πάρκων έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών για δύο λόγους. Πρώτον, είναι γεγονός ότι οι θέσεις που ευνοούν την τοποθέτηση ανεμογεννητριών, δηλαδή όπου παρατηρείται υψηλό αιολικό δυναμικό, συμπίπτουν με τις περιοχές όπου αναπτύσσονται λόγω των χαρακτηριστικών του ανάγλυφου, ανοδικά ρεύματα (θερμικά και ορογραφικά) και οι οποίες αξιοποιούνται από ανεμοπορούντα είδη, όπως οι αετοί και οι γύπες. Τα είδη αυτά έχουν συγκεντρώσει και το μεγαλύτερο μελετητικό ενδιαφέρον σε Ευρώπη (Marques et al., 2020; Santos et al., 2017), Αμερική (Bohrer et al., 2012) και Αφρική (Murgatroyd et al., 2021), τα οποία πέφτουν και πιο συχνά θύματα προσκρούσεων με ανεμογεννήτριες.

Δεύτερον, με στόχο την απανθρακοποίηση, δηλαδή την απεξάρτηση από τις πηγές ενέργειας που προέρχονται από τον άνθρακα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α.) τόσο σε ευρωπαϊκό επίπεδο με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2030, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έχει συγκεντρώσει την προσοχή των κρατών αλλά και των επενδυτών, με την αιολική ενέργεια μέχρι σήμερα να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Σε αυτό το πλαίσιο, η ανέγερση αιολικών πάρκων τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει πολλαπλασιαστεί, επομένως



και των υποδομών ηλεκτροδότησης που τα συνοδεύουν, με αποτέλεσμα να εγείρονται προβληματισμοί για το μέλλον της βιοποικιλότητας σε πολλές περιοχές της Ελλάδας και της Ευρώπης.

Η εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών για την ορθή χωροθέτηση των συνοδών δικτύων μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ δύναται να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων για παραγωγή «πράσινης» ενέργειας και την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων από την εγκατάσταση των ΑΠΕ, στη βιοποικιλότητα. Σε αυτή την κατεύθυνση στοχεύει να συμβάλει και η παρούσα διπλωματική εργασία. Στη συνέχεια πραγματοποιείται συζήτηση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων πρόβλεψης και της μεθοδολογίας με την οποία εξήχθησαν οι ταχύτητες θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων. Συνολικά για την παραγωγή των μοντέλων πρόβλεψης εφαρμόστηκε μοντελοποίηση με τη μέθοδο των *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων* και με τη μέθοδο της *Μέγιστης Εντροπίας*.

Σύμφωνα με τους Muñoz et al. (2005) οι περιοχές υψηλής καταλληλότητας για το είδος είναι οι ορεινές περιοχές με Μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζονται από θερμά καλοκαίρια και χαμηλές βροχοπτώσεις. Στην παραπάνω πρόταση συνοψίζεται έντονη ερευνητική προσπάθεια πληθώρας ερευνητών επάνω στα τοπογραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά καθώς και τα χαρακτηριστικά του τοπίου που επιλέγονται από τους Σπιζαετούς. Συχνά παρατηρούνται έντονες ή και λιγότερο σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των ομάδων χαρακτηριστικών, όπως η συσχέτιση της τοπογραφίας με την έκθεση σε ηλιότερες καιρικές συνθήκες (Carrascal and Seoane, 2008; Gil-Sánchez et al., 2004), η συσχέτιση της τοπογραφίας με την ανάπτυξη ρευμάτων που ευνοούν τις κινήσεις του Σπιζαετού και άλλων ανεμοπορούντων αρπακτικών (Fielding et al., 2020; Balbontín, 2005) και τέλος η συσχέτιση των χρήσεων γης με την διαθεσιμότητα λείας (Real, Bosch, Tintó, et al., 2016; Carrascal and Seoane, 2008; Gil-Sánchez et al., 2004). Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές εξετάστηκε και η συσχέτιση των θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου σε σχέση με τρεις κατηγορίες περιβαλλοντικών μεταβλητών, αυτές που εκφράζουν την τοπογραφία, το κλίμα και τα χαρακτηριστικά του τοπίου που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα λείας και την ανθρώπινη παρουσία.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο μοντέλο πρόβλεψης εξετάστηκε η συσχέτιση τοπογραφικών, κλιματικών μεταβλητών και μεταβλητών που χαρακτηρίζουν το τοπίο και την ανθρώπινη παρουσία με την παρουσία θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού. Τα αποτελέσματα των δύο στατιστικών μεθόδων πρόβλεψης της δυνητικής εξάπλωσης του Σπιζαετού στο Νότιο Αιγαίο που εφαρμόστηκαν (*Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα και Μέθοδος Μέγιστης Εντροπίας*) παρουσίασαν σε μεγάλο βαθμό ομοιομορφία ως προς τις μεταβλητές με τη μέγιστη επεξηγηματική ισχύ και τις περιοχές υψηλής δυνητικής πιθανότητας παρουσίας του Σπιζαετού. **Ο συνδυασμός των μεταβλητών που παρατηρήθηκε ότι είχε τη δυνατότητα εξήγησης της δυνητικής εξάπλωσης του Σπιζαετού περιλάμβανε μεταβλητές που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα γκρεμών (*Valley depth* και *Slope*), τον βαθμό ετερογένειας του εδάφους, τις καλύψεις γης, την ηλιακή ακτινοβολία και την μέση ετήσια βροχόπτωση.**

Τα βραχώδη οικοσυστήματα με έντονα ετερογενές ανάγλυφο και υψηλή διαθεσιμότητα γκρεμών, αποτελούν χαρακτηριστικά τα οποία συχνά προτιμώνται από μεγάλωσα είδη αρπακτικών (Fielding et al., 2020). Έτσι και στην περίπτωση του Σπιζαετού, ο οποίος φωλιάζει κατά κύριο λόγο σε γκρεμούς και δευτερευόντως έχει παρατηρηθεί σε πολύ μικρότερο ποσοστό και σε περιοχές με μικρή διαθεσιμότητα γκρεμών να φωλιάζει και σε δέντρα (Ισπανία, Κύπρος). Στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου ο Σπιζαετός



παρατηρήθηκε ότι επιλέγει θέσεις φωλεοποίησης που βρίσκονται σε γκρεμούς με μέση κλίση περί τις  $30^\circ$  και βάθος μέχρι και 305m. Η συσχέτιση του βάθους των γκρεμών επιλέχθηκε λόγω της ικανότητας του μεγέθους να χαρακτηρίζει σχηματισμούς όπως φαράγγια και γκρεμούς στις παραλιακές περιοχές. Τα δύο μεγέθη, δηλαδή η κλίση του εδάφους και το βάθος των χαραδρών εμφάνισαν επεξηγηματική ισχύ ως προς την πρόβλεψη περιοχών δυνητικής παρουσίας του Σπιζαετού, ενώ η κατανομή των τιμών τους στην περιοχή μελέτης παρουσιάζει ομοιομορφία. Περιοχές με μέγιστες τιμές κλίσης που φτάνουν τις  $66^\circ$  και μέγιστο βάθος που φτάνει τα 400m παρατηρούνται στα παράλια νησιών όπως η Ικαρία, η Αμοργός και η Κάρπαθος και σε περιοχές με ορεινό ανάγλυφο όπως η Νότια Εύβοια (Όρος Όχη), η Σάμος, η Άνδρος, η Τήνος, η Νάξος, η Κάλυμνος και η Τήλος. Η κλίση και το βάθος των χαραδρών μπορεί να χαρακτηρίσει την διαθεσιμότητα γκρεμών σε μια περιοχή (cliff availability), η οποία έχει παρατηρηθεί ότι προσδίδει πλεονέκτημα επιβίωσης και αναπαραγωγής στο είδος, το οποίο έχει τη δυνατότητα εναλλαγής φωλιών λόγω της υψηλής διαθεσιμότητας γκρεμών, οπότε σε περίπτωση όχλησης ή ανταγωνισμού ή ακόμη και στην περίπτωση που η πρώτη αναπαραγωγική προσπάθεια δεν είναι επιτυχημένη, τα άτομα έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης σε εναλλακτικές φωλιές (Ontiveros and J. M. Pleguezuelos, 2003).

Επεξηγηματική ισχύ επέδειξε επίσης ο δείκτης ετερογένειας του εδάφους, ο οποίος σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα γκρεμών (Ontiveros and Pleguezuelos, 2003). Στην περιοχή μελέτης ο δείκτης ετερογένειας λαμβάνει στην πλειονότητα της περιοχής τιμές από 0 έως 10 που υποδηλώνουν χαμηλή ετερογένεια, όπως παρατηρήθηκε και με άλλα τοπογραφικά μεγέθη, ωστόσο παρατηρούνται περιοχές με μεγαλύτερη ετερογένεια, όπως οι ορεινές περιοχές που αναφέρθηκαν και παραπάνω.

Η επιλογή θέσεων φωλεοποίησης σε σχέση με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες έχει συσχετιστεί με την επικράτηση ζεστών καλοκαιριών και χαμηλών επιπέδων βροχόπτωσης (Muñoz et al., 2005) και με υψηλά επίπεδα ηλιοφάνειας, δηλαδή έκθεσης σε υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας (Carrascal and Seoane, 2008). Στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου επικρατούν γενικά θερμοκρασίες άνω των  $15^\circ\text{C}$  σε ετήσιο επίπεδο (Γράφημα 11), ενώ όσον αφορά τους θερμότερους μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, η θερμοκρασία στην περιοχή είναι κατ' ελάχιστον  $20^\circ\text{C}$  (Γράφημα 12), ικανοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τις συνθήκες θερμοκρασίας που προτιμάει ο Σπιζαετός. Παράλληλα, οι γνωστές θέσεις φωλεοποίησης του Σπιζαετού παρατηρήθηκαν σε θέσεις με γενικά χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης και υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλές θερμοκρασίες, όπως αναμένεται και βάσει της βιβλιογραφίας για το είδος.

Στην περίπτωση των *Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων*, η μέση ετήσια βροχόπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία των θερμότερων μηνών παρουσίασαν από αμελητέα έως σημαντική επεξηγηματική ισχύ με έως και 30% αύξηση της πιθανότητας παρουσίας του είδους για κάθε μονάδα αύξησης της θερμοκρασίας κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Στην περίπτωση της *Μεθόδου Μέγιστης Εντροπίας* επεξηγηματική αξία για την πρόβλεψη της δυνητικής παρουσίας του Σπιζαετού είχε μόνο η **ηλιακή ακτινοβολία**, η οποία και συμπεριλήφθηκε στο τελικό μοντέλο πρόβλεψης.

Η σημασία της ηλιακής ακτινοβολίας έχει συσχετιστεί και με τον προσανατολισμό των θέσεων φωλεοποίησης που επιλέγει ο Σπιζαετός, με προτίμηση σε γκρεμούς με νότιο ή νοτιοδυτικό προσανατολισμό, λόγω της μεγαλύτερης τους έκθεσης στον ήλιο (Gil-Sánchez et al., 2004; Ontiveros and



Pleguezuelos, 2003). Η επιλογή τέτοιων θέσεων έχει συσχετιστεί θετικά με το επίπεδο βιωσιμότητας (Gil-Sánchez et al., 2004). Παρόμοιο πρότυπο επιλογής γκρεμών με ΝΔ προσανατολισμό, παρατηρήθηκε και στην περίπτωση του πληθυσμού του Σπιζαετού στο Νότιο Αιγαίο, ωστόσο ο προσανατολισμός ως εξηγηματική μεταβλητή δεν παρουσίασε σημαντική ικανότητα πρόβλεψης της δυναμικής παρουσίας του Σπιζαετού με καμία από τις δύο στατιστικές μεθόδους. Παρόλ'αυτά **ο προσανατολισμός ως εξηγηματική μεταβλητή δύναται να συσχετιστεί έμμεσα μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, η εξηγηματική ισχύς της οποίας αναδείχθηκε και από τις δύο μεθόδους μοντελοποίησης.**

Όσον αφορά το ρόλο που διαδραματίζει η ανθρώπινη παρουσία στην επιλογή των θέσεων φωλεοποίησης του Σπιζαετού, με τη μορφή των ανθρώπινων οικισμών που εκτείνονται στην περιοχή μελέτης, δεν παρατηρήθηκε κάποιου είδους συσχέτιση, με τις γνωστές φωλιές Σπιζαετού να εκτείνονται από περίπου 500m έως 4,5km από υφιστάμενο ανθρώπινο οικισμό. Είναι γνωστό ότι, ο Σπιζαετός έχει επιδείξει ορισμένο βαθμό ανοχής στην ανθρώπινη παρουσία (Carrete et al., 2002). Στην περίπτωση της περιοχής του Νοτίου Αιγαίου, λόγω γενικά των μικρών πληθυσμών που κατοικούν στα νησιά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους μπορεί να εξηγηθεί η απουσία αρνητικής συσχέτισης με την παρουσία των οικισμών. Η ανθρωπογενής όχληση στην περιοχή μελέτης μπορεί να συσχετιστεί με τις τουριστικές δραστηριότητες και τις δραστηριότητες αναψυχής όπως η πεζοπορία και η αναρρίχηση, οι οποίες ωστόσο δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με την παρουσία των οικισμών.

Όσον αφορά τις χρήσεις γης, έχει παρατηρηθεί ότι ο Σπιζαετός δραστηριοποιείται κυρίως σε καλλιέργειες και σε ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα με αραιή βλάστηση όπως οι θαμνότοποι και τα λιβάδια. Παρόμοιο πρότυπο παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της περιοχής του Νοτίου Αιγαίου με τις γνωστές θέσεις φωλεοποίησης του είδους να παρατηρούνται μόνο σε ανοιχτού τύπου ενδιαιτήματα και θαμνότοπους με την επιλογή θαμνότοπων να υπερισχύει ελαφρώς. Η προτίμηση αυτή έχει παρατηρηθεί τόσο κατά την επιλογή της θέσης φωλεοποίησης, όσο και τη δραστηριοποίηση ενήλικων και ανήλικων ατόμων και σχετίζεται άμεσα με την εύρεση τροφής, καθώς σε τέτοιου τύπου ενδιαιτήματα συναντώνται τα κύρια είδη λείας του Σπιζαετού που είναι τα λαγόμορφα και οι πέρδικες (Real, Bosch, Tintó, et al., 2016; Carrascal and Seoane, 2008; Gil-Sánchez et al., 2004).

Για την παραγωγή του δεύτερου μοντέλου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τηλεμετρίας ανήλικου Σπιζαετού που γεννήθηκε τον Μάιο του 2019 και η δραστηριότητα του συγκεντρώνεται στα νησιά της Άνδρου και της Τήνου, ενώ περιοδικά έχει πραγματοποιήσει εξερευνητικά ταξίδια και σε άλλα νησιά όπως η Μύκονος και η Ικαρία. Ως εξηγηματικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι ταχύτητες θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων που επικρατούσαν στην περιοχή μελέτης από τον Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 2020. Στην ίδια περίοδο αντιστοιχεί και το σύνολο δεδομένων τηλεμετρίας.

Έχει παρατηρηθεί ότι τα είδη αετών περνάνε πάνω από το 50% της ημέρας τους σε σταθερά σημεία (Régon et al., 2017). Από το σύνολο των δεδομένων τηλεμετρίας, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα εκείνα που αφορούν πτητική δραστηριότητα, η οποία και δύναται να συσχετιστεί με την παρουσία θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων, αφήνοντας εκτός πάνω από το 90% των διαθέσιμων δεδομένων, τα οποία αφορούσαν στατική δραστηριότητα.



Η επιλογή χερσαίων ενδιαιτημάτων που παρέχουν ανοδικά ρεύματα θερμικών και ορογραφικών ανέμων με στόχο την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους από τα ανεμοπορούντα είδη αρπακτικών μέσω της συσχέτισης των κινήσεών τους με τοπογραφικά χαρακτηριστικά (Fielding et al., 2020) αλλά και μέσω προσομοίωσης των ίδιων των ρευμάτων (Marques et al., 2020; Bohrer et al., 2012). Για αυτό και επιλέχθηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές οι ταχύτητες θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν και οι καλύψεις γης, οι οποίες δύνανται να συσχετιστούν με δραστηριότητα τροφοληψίας του Σπιζαετού, δεδομένου ότι οι καλύψεις γης έχουν συσχετιστεί άμεσα με τη διαθεσιμότητα λείας του Σπιζαετού (Real, Bosch, Tinto, et al., 2016).

Από τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης των θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων για την περιοχή μελέτης, παρατηρήθηκαν γενικά χαμηλής ταχύτητας θερμικά ανοδικά ρεύματα από 0 έως περίπου 1,3m/s και μεγαλύτερης ταχύτητας ορογραφικά ρεύματα που έφταναν μέχρι και τα 11m/s. Ίδια πρότυπα μεγαλύτερων ταχυτήτων ορογραφικών ρευμάτων και μικρότερης ταχύτητας θερμικών ρευμάτων παρατηρήθηκαν και στις προηγούμενες εφαρμογές της συγκεκριμένης μεθοδολογίας (Hanssen et al., 2020; Marques et al., 2020; Santos et al., 2017).

Μέγιστες τιμές ορογραφικών ρευμάτων παρατηρήθηκαν χρονικά τον μήνα Ιούλιο και χωρικά η περιοχή που παρουσίασε τις μέγιστες τιμές ορογραφικών ρευμάτων ήταν αυτή της Νότιας Τήνου, ενώ παράλληλα υψηλές ταχύτητες ορογραφικών ρευμάτων παρουσίασαν και οι περιοχές της Νότιας Εύβοιας, της Νότιας Ρόδου και της Ανατολικής Καλύμνου.

Όσον αφορά τα θερμικά ρεύματα, γενικά υψηλής έντασης θερμικά ρεύματα θεωρούνται τα ρεύματα ταχύτητας άνω των περίπου 2m/s (Bohrer et al., 2012). Παρόμοιας έντασης θερμικά ρεύματα της τάξης των 2m/s, καταγράφηκαν και στην περιοχή της Νότιας Ισπανίας, στην περιοχή της Ταρίφας τους καλοκαιρινούς μήνες (Santos et al., 2017). Στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου, μέγιστες τιμές θερμικών ρευμάτων παρατηρήθηκαν στο νοτιότερο όριο της περιοχής στην νότια Κάρπαθο.

Τα αποτελέσματα του δεύτερου μοντέλου πρόβλεψης με τη χρήση των δύο στατιστικών μεθόδων μοντελοποίησης δεν παρουσίασαν ομοιόμορφα αποτελέσματα. Με τη χρήση *Γενικευμένων Γραμμικών Ρευμάτων*, παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων έχει τη μέγιστη ικανότητα πρόβλεψης κατάλληλων περιοχών για την πτητική δραστηριότητα Σπιζαετών, ενώ η ταχύτητα θερμικών ρευμάτων είχε σχεδόν μηδενική επεξηγηματική ισχύ. Με τη χρήση της *Μεθόδου Μέγιστης Εντροπίας*, τη μέγιστη επεξηγηματική ισχύ είχε η ταχύτητα θερμικών ρευμάτων και την ελάχιστη η ταχύτητα ορογραφικών ρευμάτων, ενώ στο μοντέλο συμπεριλήφθηκαν και οι χρήσεις γης.

Σύμφωνα με τους Real et al. (2016), η πτητική δραστηριότητα του Σπιζαετού σχετίζεται με κινήσεις σε ενδιαιτήματα με έντονο ανάγλυφο (γκρεμούς κλπ.), αποδίδοντας τη σχέση αυτή στη χρήση θερμικών ρευμάτων, για ανεμοπορία από την περιοχή αναπαραγωγής στην περιοχή τροφοληψίας. Ωστόσο, έως σήμερα δεν έχει παρατηρηθεί προτίμηση του Σπιζαετού στην αξιοποίηση θερμικών ή ορογραφικών ρευμάτων, μία συσχέτιση που έχει διατυπωθεί για την πτητική δραστηριότητα άλλων ανεμοπορούντων ειδών τα οποία παρουσίασαν προτίμηση στη χρήση ορογραφικών ρευμάτων (Santos et al., 2017; Bohrer et al., 2012).



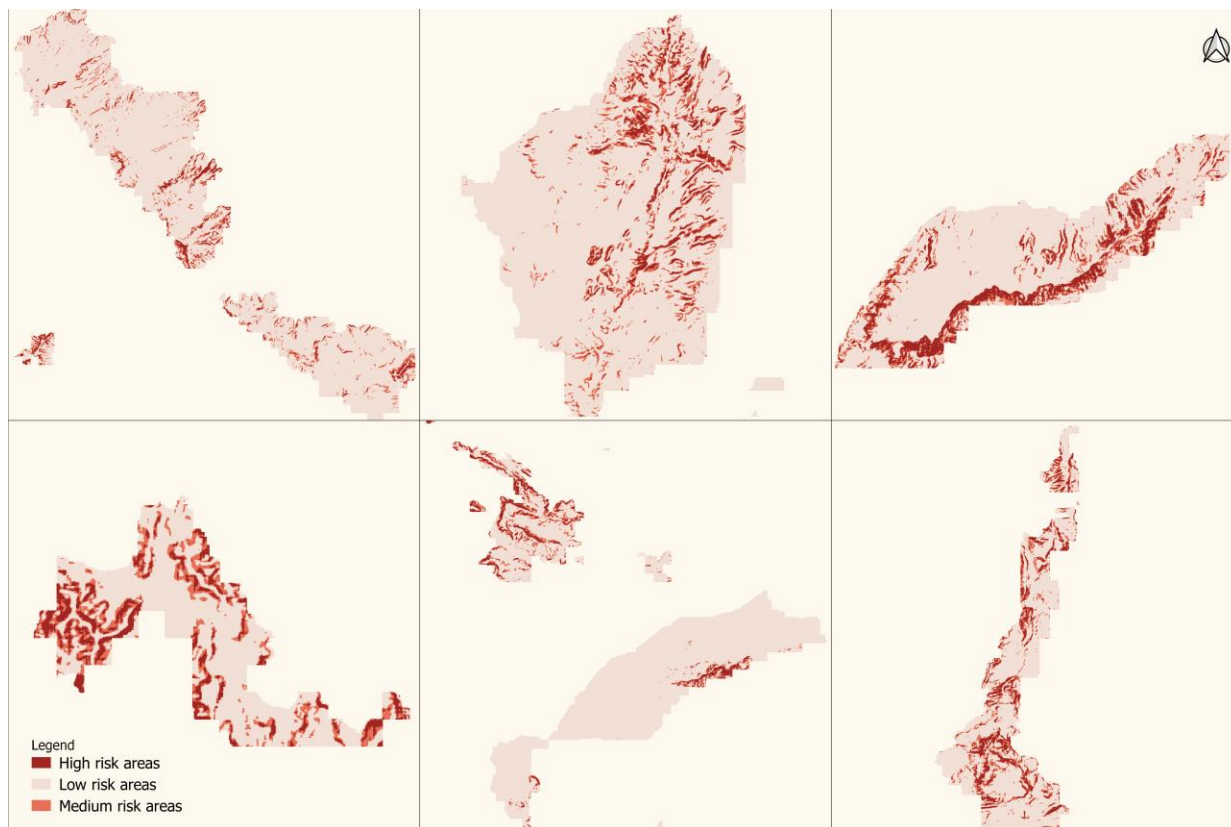


Η αδυναμία αυτή παραγωγής σαφούς συσχέτισης της πτητικής δραστηριότητας του Σπιζαετού με έναν τύπο ρευμάτων σε ανταπόκριση με τις αρχικές εκτιμήσεις που προκύπτουν από τη βιβλιογραφία, θεωρείται ότι οφείλεται στην χωρική συγκέντρωση των διαθέσιμων βιολογικών δεδομένων σε περιορισμένη περιοχή (Άνδρος, Τήνος), με αποτέλεσμα στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης να μην υπάρχει αντιπροσώπευση, η οποία οδήγησε και στην αδυναμία δημιουργίας έγκυρης πρόβλεψης και συσχέτισης. Η προσπάθεια ωστόσο δεν λαμβάνεται ως αποτυχία της μεθοδολογίας, καθώς δημιουργεί την επιτακτική ανάγκη συλλογής περισσότερων δεδομένων για την πτητική δραστηριότητα του Σπιζαετού, δίνοντας το έναυσμα για μελλοντική έρευνα.

**Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα μόνο του πρώτου μοντέλου πρόβλεψης που παράχθηκε με τη μέθοδο της Μέγιστης Εντροπίας (Maxent), παράχθηκε ο τελικός χάρτης ευαισθησίας.** Ως θέσεις εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας στον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης Σπιζαετών στο εναέριο δίκτυο ηλεκτρισμού, θεωρούνται οι επικράτειες του είδους, οι οποίες εντοπίζονται εντός ακτίνας 4km από τις θέσεις φωλεοποίησης, δεδομένου ότι σε αυτές τις περιοχές συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό της δραστηριότητας των ατόμων. Ως θέσεις υψηλής ευαισθησίας στον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης χαρακτηρίστηκαν οι περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα παρουσίας του Σπιζαετού, βάση των αποτελεσμάτων του πρώτου μοντέλου πρόβλεψης, ενώ με τον ίδιο τρόπο χαρακτηρίστηκαν και οι περιοχές μέσης και χαμηλής ευαισθησίας.

Από τα αποτελέσματα του χάρτη ευαισθησίας ((ο Χάρτης 35 δεν παρατίθεται λόγω προστασίας ευαίσθητων βιολογικών δεδομένων, για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου χάρτη, παρακαλώ επικοινωνήστε με τη συγγραφέα)

Χάρτης 35), παρατηρήθηκε ότι περιοχές υψηλής ευαισθησίας παρατηρούνται σε ορεινές περιοχές και γκρεμούς. Ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές, οι οποίες και επιλέγονται για την ανέγερση αιολικών πάρκων λόγω της μεγαλύτερης έκθεσης τους σε μεγάλης ταχύτητας ανέμους, η χωροθέτηση των συνοδών έργων σε περιοχές υψηλής ευαισθησίας, όπως ο κεντρικός ορεινός όγκος της Νάξου, η περιοχή της Νότιας Άνδρου, τα νότια παράλια της Ικαρίας, η δυτική Σάμος και η Βόρεια Κάρπαθος (Εικόνα 15) θα πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη τις κατάλληλες περιοχές για την εξάπλωση του Σπιζαετού, του τελευταίου είδους αετού που συναντάται στα νησιά του Αιγαίου.



Εικόνα 15: Νησιά του Νοτίου Αιγαίου όπου βάση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας παρατηρούνται περιοχές υψηλής ευαισθησίας σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης. Οι θέσεις εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας δεν παρατίθενται για λόγους προστασίας ευαίσθητων δεδομένων.



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συμπεραίνεται ότι:

- Η κατανομή του Σπιζαετού στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου καθορίζεται, μεταξύ άλλων, από τοπογραφικούς παράγοντες που σχετίζονται με την ετερογένεια του εδάφους και την διαθεσιμότητα γκρεμών/πλαγιών, κλιματικούς παράγοντες που περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία και από τη διαθεσιμότητα λείας που σχετίζεται έμμεσα μέσω των καλύψεων γης, επιβεβαιώνοντας το πρότυπο που χαρακτηρίζει την κατανομή του Σπιζαετού σε ορεινές περιοχές με χαρακτηριστικά Μεσογειακού κλίματος.
- Η συλλογή δεδομένων τηλεμετρίας δύναται να διαλευκάνει την προτίμηση του Σπιζαετού σε συγκεκριμένη πηγή ανοδικών ρευμάτων (θερμικών ή ορογραφικών) κατά την πτητική του δραστηριότητα και τον προσδιορισμό θέσεων υψηλής πιθανότητας παρουσίας Σπιζαετών.
- Η προσομοίωση των θερμικών και ορογραφικών ρευμάτων δύναται να δώσει πολύτιμα δεδομένα σε σχέση με τις περιοχές δραστηριοποίησης των ανεμοπορούντων ειδών και την αλληλεπίδρασή τους με ογκώδεις υποδομές όπως οι πυλώνες ηλεκτροδότησης και οι ανεμογεννήτριες.
- Ως περιοχές εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας χαρακτηρίζονται οι περιοχές εντός ακτίνας 4km από τις γνωστές θέσεις φωλεοποίησης, όπου συγκεντρώνεται η δραστηριότητα των επικρατεικών Σπιζαετών.
- Ως περιοχές υψηλής ευαισθησίας σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή/και πρόσκρουσης προσδιορίστηκαν κυρίως περιοχές με ορεινό ανάγλυφο και σε παραλιακούς γκρεμούς στα νησιά του Αιγαίου που περιλαμβάνουν περιοχές όπως ο κεντρικός ορεινός όγκος της Νάξου, η περιοχή της Νότιας Άνδρου, τα νότια παράλια της Ικαρίας, η δυτική Σάμος και η Βόρεια Κάρπαθος. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλότερες ταχύτητες ανέμων, τόσο λόγω των δυνατών ανέμων που πνέουν στην περιοχή του Αιγαίου, όσο και λόγω του μεγαλύτερου υψομέτρου τους, επομένως δύναται να συγκεντρώσουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την τοποθέτηση αιολικών πάρκων, επομένως και των συνοδών ηλεκτρικών δικτύων, με το ζήτημα της χωροθέτησης των δικτύων να χρίζει προσοχής.

## 8. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η συλλογή μεγαλύτερου όγκου δεδομένων τηλεμετρίας από όλη την περιοχή του Νοτίου Αιγαίου θα συμβάλει καθοριστικά στον καθορισμό των προτύπων πτητικής δραστηριότητας του Σπιζαετού στην περιοχή διαμέσου εφαρμογής των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία σε μελλοντική έρευνα για το είδος.

Παράλληλα, δεδομένης της παρουσίας των ανεμοπορούντων ειδών για μεγάλο ποσοστό της ημέρας σε στατικά σημεία, μπορούν να διερευνηθούν επίσης οι θέσεις που χρησιμοποιούνται ως προσωρινά καταφύγια (temporary settlements) τόσο όσον αφορά τις αβιοτικές και βιοτικές παραμέτρους που τις χαρακτηρίζουν, όσο και σε σχέση με τους ανθρωπογενείς κινδύνους που δύναται να συναντήσουν εκεί.



Επιπλέον, ως μελλοντικό αντικείμενο διερεύνησης θα μπορούσαν να προσδιοριστούν σε αντιπαράβολή με τις αβιοτικές συνθήκες και οι βιοτικές εκείνες παράμετροι που επηρεάζουν την κατανομή του Σπιζαετού. Οι βιοτικές παράμετροι που έχει εξετασθεί ότι καθορίζουν την κατανομή του Σπιζαετού περιλαμβάνουν την παρουσία άλλων επικρατειών του ίδιου είδους ή άλλων ειδών αρπακτικών που φωλιάζουν σε βράχια, όπως ο Χρυσαιτός και την παρουσία των ειδών λείας του Σπιζαετού, όπως η πέρδικα και τα λαγόμορφα, οι αρουραίοι, οι γλάροι κ.α. (Carrascal and Seoane, 2009).

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε και η μελέτη των αβιοτικών συνθηκών που επιλέγονται προκειμένου να πραγματοποιηθεί ένα απαιτητικό ταξίδι, όπως αυτό της μετακίνησης από ένα νησί σε άλλο (island hopping) και η παρατήρηση των περιοχών που επιλέγονται και οι συνθήκες ανοδικών ρευμάτων που επικρατούν, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κάποιο πρότυπο προτίμησης.



## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agresti, A. (2019) *An introduction to categorical data analysis*, Third edit., John Wiley & Sons, Inc. Edition.
- Allinson, T., Jobson, B., Crowe, O., Lammerant, J., Van Den Bossche, W. and Badoz, L. (2020) *The Wildlife Sensitivity Mapping Manual: Practical guidance for renewable energy planning in the European Union. Final report for the European Commission (DG ENV) (Project 07.027733/2017/768654/SER/ENV.D.3)*,.
- Araújo, M. B. and New, M. (2007) 'Ensemble forecasting of species distributions', *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 22, no. 1, pp. 42–47 [Online]. DOI: 10.1016/j.tree.2006.09.010.
- Balbontín, J. (2005) 'Identifying suitable habitat for dispersal in Bonelli's eagle: An important issue in halting its decline in Europe', *Biological Conservation*, vol. 126, no. 1, pp. 74–83 [Online]. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.04.023.
- Balbontín, J., Ferrer, M., Balbontín, J. and Ferrer, M. (2009) 'Movements of juvenile Bonelli's Eagles Aquila fasciata during dispersal', vol. 3657 [Online]. DOI: 10.1080/00063650802648374.
- Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J. F., Marques, A. T., Martins, R. C., Shaw, J. M., Silva, J. P. and Moreira, F. (2018) 'Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research', *Biological Conservation*, Elsevier, vol. 222, no. February, pp. 1–13 [Online]. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.02.029.
- Bevanger, K. (1994) 'Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures', *Ibis*, vol. 136, no. 4, pp. 412–425 [Online]. DOI: 10.1111/j.1474-919X.1994.tb01116.x.
- Birdlife International (2015) 'European Red List of Birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.',.
- Bjørneraas, K., Van Moorter, B., Rolandsen, C. M. and Herfindal, I. (2010) 'Screening Global Positioning System Location Data for Errors Using Animal Movement Characteristics', *Journal of Wildlife Management*, vol. 74, no. 6, pp. 1361–1366 [Online]. DOI: 10.2193/2009-405.
- Bohrer, G., Brandes, D., Mandel, J. T., Bildstein, K. L., Miller, T. A., Lanzone, M., Katzner, T., Maisonneuve, C. and Tremblay, J. A. (2012) 'Estimating updraft velocity components over large spatial scales: Contrasting migration strategies of golden eagles and turkey vultures', *Ecology Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 96–103 [Online]. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01713.x.
- Bourdakis, S. and Xirouchakis, S. M. (2008) 'The Bonelli's eagle ( *Hieraaetus fasciatus* ) in Greece', *Natural History*, vol. 2, pp. 1–6.
- Cadahía, L., López-López, P. and Urios, V. (2010) 'Satellite telemetry reveals individual variation in juvenile Bonelli's eagle dispersal areas', pp. 923–930 [Online]. DOI: 10.1007/s10344-010-0391-z.
- Cadahía, L., Urios, V. and Negro, J. J. (2005) 'Survival and movements of satellite-tracked Bonelli's Eagles *Hieraaetus fasciatus* during their first winter', no. December 2002, pp. 415–419.
- Carrascal, L. M. and Seoane, A. J. (2008) 'Factors affecting large-scale distribution of the Bonelli's eagle *Aquila fasciata* in Spain', no. June 2014 [Online]. DOI: 10.1007/s11284-008-0527-8.
- Carrascal, L. M. and Seoane, J. (2009) 'Factors affecting large-scale distribution of the Bonelli's eagle *Aquila fasciata* in Spain', *Ecological Research*, vol. 24, no. 3, pp. 565–573 [Online]. DOI: 10.1007/s11284-008-



0527-8.

Carrete, M., Sánchez-Zapata, J. A., Martínez, J. E., Sánchez, M. Á. and Calvo, J. F. (2002) 'Factors influencing the decline of a Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* population in southeastern Spain: Demography, habitat or competition?', *Biodiversity and Conservation*, vol. 11, no. 6, pp. 975–985 [Online]. DOI: 10.1023/A:1015856924451.

Dwyer, J. F., Harness, R. E. and Donohue, K. (2014) 'Predictive Model of Avian Electrocutation Risk on Overhead Power Lines', *Conservation Biology*, vol. 28, no. 1, pp. 159–168 [Online]. DOI: 10.1111/cobi.12145.

Dwyer, J. F. and William Mannan, R. (2007) 'Preventing Raptor Electrocutations in an Urban Environment', *Journal of Raptor Research*, vol. 41, no. 4, pp. 259–267 [Online]. DOI: 10.3356/0892-1016(2007)41[259:preiau]2.0.co;2.

Fielding, A. H., Haworth, P. F., Anderson, D., Benn, S., Dennis, R., Weston, E. and Whitfield, D. P. (2020) 'A simple topographical model to predict Golden Eagle *Aquila chrysaetos* space use during dispersal', *Ibis*, vol. 162, no. 2, pp. 400–415 [Online]. DOI: 10.1111/ibi.12718.

Fleming, C. H., Drescher-Lehman, J., Noonan, M. J., Akre, T. S., Brown, D. J., Cochrane, M. M. and Gould, N. P. (2020) 'A comprehensive framework for handling location error in animal tracking data', [Online]. DOI: 10.1101/2020.06.12.130195.

Franklin, J. (2009) *Mapping Species Distribution: Spatial Inference and Prediction*, Cambridge University Press [Online]. Available at <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.

Gil-Sánchez, J. M., Moleón, M., Otero, M. and Bautista, J. (2004) 'A nine-year study of successful breeding in a Bonelli's eagle population in southeast Spain: A basis for conservation', *Biological Conservation*, vol. 118, no. 5, pp. 685–694 [Online]. DOI: 10.1016/j.biocon.2003.10.017.

Gil-Sánchez, J. M., Molleda, S., Sánchez-Zapata, J. A., Bautista, J., Navas, I., Godinho, R., García-Fernández, A. J. and Moleón, M. (2018) 'From sport hunting to breeding success: Patterns of lead ammunition ingestion and its effects on an endangered raptor', *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., vol. 613–614, no. September, pp. 483–491 [Online]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.069.

Guisan, A., Edwards, T. C. and Hastie, T. (2002) 'Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene', *Ecological Modelling*, vol. 157, no. 2–3, pp. 89–100 [Online]. DOI: 10.1016/S0304-3800(02)00204-1.

Guisan, A., Thuiller, W. and Zimmermann, N. E. (2013) *Habitat Suitability and Distribution Models*, *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9.

Hanssen, F., May, R. and Nygård, T. (2020) 'High-Resolution Modeling of Uplift Landscapes can Inform Micrositing of Wind Turbines for Soaring Raptors', *Environmental Management*, Springer US, vol. 66, no. 3, pp. 319–332 [Online]. DOI: 10.1007/s00267-020-01318-0.

Hernández-Matías, A., Real, J., Parés, F. and Pradel, R. (2015) 'Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe', *Biological Conservation*, Elsevier B.V., vol. 191, pp. 110–116 [Online]. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.06.028.

Hijman, R. J. and Elith, J. (2019) *Spatial Distribution Models*, *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set* [Online]. DOI: 10.1016/B978-008045405-4.00677-7.

Janss, G. F. E. (2000) 'Avian mortality from power lines: A morphologic approach of a species-specific



mortality', *Biological Conservation*, vol. 95, no. 3, pp. 353–359 [Online]. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00021-5.

Jenkins, A. R., Smallie, J. J. and Diamond, M. (2010) 'Avian collisions with power lines: A global review of causes and mitigation with a South African perspective', *Bird Conservation International*, vol. 20, no. 3, pp. 263–278 [Online]. DOI: 10.1017/S0959270910000122.

Katzner, T. E., Brandes, D., Miller, T., Lanzone, M., Maisonneuve, C., Tremblay, J. A., Mulvihill, R. and Merovich, G. T. (2012) 'Topography drives migratory flight altitude of golden eagles: Implications for on-shore wind energy development', *Journal of Applied Ecology*, vol. 49, no. 5, pp. 1178–1186 [Online]. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02185.x.

Khosravifard, S., Venus, V., Skidmore, A. K., Bouten, W., Muñoz, A. R. and Toxopeus, A. G. (2018) 'Identification of Griffon Vulture's Flight Types Using High-Resolution Tracking Data', *International Journal of Environmental Research*, vol. 12, no. 3, pp. 313–325 [Online]. DOI: 10.1007/s41742-018-0093-z.

Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A. R., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M. and Silva, J. P. (2020) 'Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds', *Journal of Animal Ecology*, vol. 89, no. 1, pp. 93–103 [Online]. DOI: 10.1111/1365-2656.12961.

Martínez, J. A., Calvo, J. F., Martínez, J. E., Zuberogitia, I., Zabala, J. and Redpath, S. M. (2008) 'Breeding performance, age effects and territory occupancy in a Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* population', *Ibis*, vol. 150, no. 2, pp. 223–233 [Online]. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2007.00774.x.

Mokarram, M., Roshan, G. and Negahban, S. (2015) 'Landform classification using topography position index ( case study : salt dome of Korsia-Darab plain , Iran )', *Modeling Earth Systems and Environment*, Springer International Publishing, vol. 1, no. 4, pp. 1–7 [Online]. DOI: 10.1007/s40808-015-0055-9.

Muñoz, A. R., Real, R., Barbosa, A. M. and Vargas, J. M. (2005) 'Modelling the distribution of Bonelli's eagle in Spain: implications for conservation planning', pp. 477–486 [Online]. DOI: 10.1111/j.1366-9516.2005.00188.x.

Muñoz, R., Real, R., Barbosa, M. and Vargas, M. (2005) 'Modelling the distribution of Bonelli's eagle in Spain: Implications for conservation planning', *Diversity and Distributions*, vol. 11, no. 6, pp. 477–486 [Online]. DOI: 10.1111/j.1366-9516.2005.00188.x.

Murgatroyd, M., Bouten, W. and Amar, A. (2021) 'A predictive model for improving placement of wind turbines to minimise collision risk potential for a large soaring raptor', *Journal of Applied Ecology*, no. August, pp. 1365-2664.13799 [Online]. DOI: 10.1111/1365-2664.13799.

Nourani, E. and Yamaguchi, N. M. (2017) 'The effects of atmospheric currents on the migratory behavior of soaring birds: A review', *Ornithological Science*, vol. 16, no. 1, pp. 5–15 [Online]. DOI: 10.2326/osj.16.5.

Νταϊλιάνας, Χ. (2012) 'Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα με Χρήση του Στατιστικού Πακέτου R', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ontiveros, D. (1999) 'Selection of nest cliffs by Bonelli's Eagle (*Hieraetus fasciatus*) in southeastern Spain', *Journal of Raptor Research*, vol. 33, no. 2, pp. 110–116.

Ontiveros, D. and Pleguezuelos, J. (2003) 'Physical, environmental and human factors influencing productivity in Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* in Granada (SE Spain)', *Biodiversity and Conservation*, vol. 12, no. 6, pp. 1193–1203 [Online]. DOI: 10.1023/A:1023056102216.

Ontiveros, D. and Pleguezuelos, J. M. (2003) 'Physical , environmental and human factors influencing



- productivity in Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* in Granada ( SE Spain )', vol. 1990, no. Rocamora 1994.
- Penteriani, V., Balbontin, J. and Ferrer, M. (2003) 'Simultaneous effects of age and territory quality on fecundity in Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus*', *Ibis*, vol. 145, pp. E77–E72.
- Péron, G., Calabrese, J. M., Duriez, O., Fleming, C. H., García-Jiménez, R., Johnston, A., Lambertucci, S., Safi, K. and Shepard, E. L. C. (2019) 'The challenges of estimating the distribution of flight heights from telemetry or altimetry data', *bioRxiv*, no. September [Online]. DOI: 10.1101/751271.
- Péron, G., Fleming, C. H., Duriez, O., Fluhr, J., Itty, C., Lambertucci, S., Safi, K., Shepard, E. L. C. and Calabrese, J. M. (2017) 'The energy landscape predicts flight height and wind turbine collision hazard in three species of large soaring raptor', *Journal of Applied Ecology*, vol. 54, no. 6, pp. 1895–1906 [Online]. DOI: 10.1111/1365-2664.12909.
- Phillips, S. B., Anderson, R. P. and Schapire, R. E. (2006) 'Maximum entropy modeling of species geographic distributions', *Ecological Modelling*, vol. 190, pp. 231–259 [Online]. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E. and Blair, M. E. (2017) 'Opening the black box: an open-source release of Maxent', *Ecography*, vol. 40, no. 7, pp. 887–893 [Online]. DOI: 10.1111/ecog.03049.
- Poessel, S. A., Duerr, A. E., Hall, J. C., Braham, M. A. and Katzner, T. E. (2018) 'Improving estimation of flight altitude in wildlife telemetry studies', *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, no. 4, pp. 2064–2070 [Online]. DOI: 10.1111/1365-2664.13135.
- Prinsen, H. A. M., Smallie, J. J., Boere, G. C. and Pires, N. (2012) 'Guidelines on how to avoid or mitigate impact of electricity power grids on migratory birds in the African-Eurasian region.', *CMS Technical Series No. 29, AEW Technical Series No. 50, CMS Raptors MOU Technical Series No. 3.*, vol. 9, no. UNEP/CMS/Conf.10.30/Rev.2, pp. 1–43 [Online]. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2006.00968.x.
- Real, J., Bosch, R., Tinto, A. and Hernandez-matias, A. (2016) 'Identifying key habitats for the conservation of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* using radio-tracking Identifying key habitats for the conservation of', no. March [Online]. DOI: 10.1111/ibi.12372.
- Real, J., Bosch, R., Tintó, A. and Hernández-Matías, A. (2016) 'Identifying key habitats for the conservation of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* using radiotracking', *Ibis*, vol. 158, no. 3, pp. 556–568 [Online]. DOI: 10.1111/ibi.12372.
- Real, J., Grande, J. M., Mañosa, S. and Sánchez-Zapata, J. A. (2001) 'Causes of death in different areas for bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* in Spain', *Bird Study*, vol. 48, no. 2, pp. 221–228 [Online]. DOI: 10.1080/00063650109461221.
- Real, J. and Mañosa, S. (2001) 'Dispersal of juvenile and immature Bonelli's eagles in northeastern Spain', *Journal of Raptor Research*, vol. 35, no. 1, pp. 9–14.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D. and Elliot, R. (1999) 'A Terrain Ruggedness Index that quantifies topographic heterogeneity', *J of Intermountain Science*, vol. 5, no. 1–4, pp. 23–27.
- Rollan, À., Hernández-Matías, A. and Real, J. (2016) *Guidelines for the Conservation of Bonelli's eagle populations*, no. February.
- Rollan, À., Real, J., Bosch, R., Tintó, A. and Hernández-Matías, A. (2010) 'Modelling the risk of collision with power lines in Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* and its conservation implications', *Bird Conservation*





*International*, vol. 20, no. 3, pp. 279–294 [Online]. DOI: 10.1017/S0959270910000250.

Sage, E., Bouten, W., Hoekstra, B., Camphuysen, K. C. J. and Shamoun-Baranes, J. (2019) 'Orographic lift shapes flight routes of gulls in virtually flat landscapes', *Scientific Reports*, Springer US, vol. 9, no. 1, pp. 1–10 [Online]. DOI: 10.1038/s41598-019-46017-x.

Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A. R., Onrubia, A., Wikelski, M., May, R. and Silva, J. P. (2017) 'Match between soaring modes of black kites and the fine-scale distribution of updrafts', *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10 [Online]. DOI: 10.1038/s41598-017-05319-8.

Tintó, A., Real, J. and Mañosa, S. (2010) 'Predicting and Correcting Electrocutation of Birds in Mediterranean Areas', *Journal of Wildlife Management*, vol. 74, no. 8, pp. 1852–1862 [Online]. DOI: 10.2193/2009-521.

WWF (2018) *Living Planet Report - 2018: Aiming higher.*, *Environmental Conservation*, vol. 26, no. 04.

Zuur, A. F. and Ieno, E. N. (2016) 'A protocol for conducting and presenting results of regression-type analyses', *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 7, no. 6, pp. 636–645 [Online]. DOI: 10.1111/2041-210X.12577.

Παναγιωτοπούλου, Μ.-Ε. (2013) 'Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα με εφαρμογές στο στατιστικό πακέτο R', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

### R packages:

Adrian Dragulescu and Cole Arendt (2020). xlsx: Read, Write, Format Excel 2007 and Excel 97/2000/XP/2003 Files. R package version 0.6.5. <https://CRAN.R-project.org/package=xlsx>

H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

Hadley Wickham, Jim Hester and Winston Chang (2020). devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier. R package version 2.3.2. <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>

Naimi B, Hamm Na, Groen TA, Skidmore AK, Toxopeus AG (2014). "Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling." *Ecography*, \*37\*, 191-203. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>).

Robert J. Hijmans (2020). raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.4-5. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

Robert J. Hijmans, Steven Phillips, John Leathwick and Jane Elith (2020). dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>

Roger Bivand and Colin Rundel (2020). rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source ('GEOS'). R package version 0.5-5. <https://CRAN.R-project.org/package=rgeos>

Taiyun Wei and Viliam Simko (2017). R package "corrplot": Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84). Available from <https://github.com/taiyun/corrplot>

Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών  
ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη  
Διπλωματική εργασία - Σαγιάκου Αρετή

Xavier Robin, Natacha Turck, Alexandre Hainard, Natalia Tiberti, Frédérique Lisacek, Jean-Charles Sanchez and Markus Müller (2011). pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. BMC Bioinformatics, 12, p. 77. DOI: 10.1186/1471-2105-12-77  
<<http://www.biomedcentral.com/1471-2105/12/77/>>