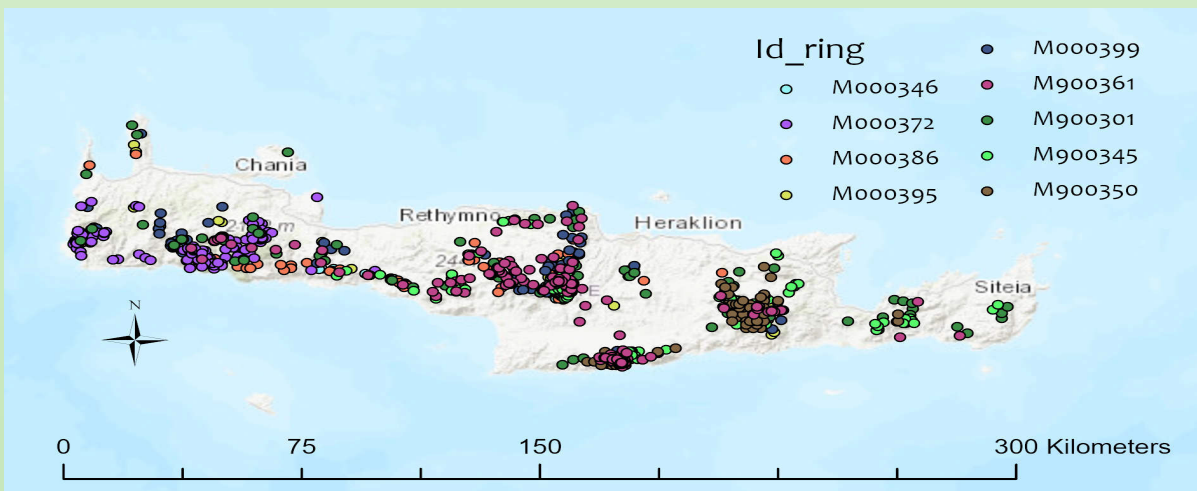


Εισαγωγή

Ο γυπαετός (*Gyraetus barbatus*, Linnaeus, 1758) είναι ένα ημερόβιο, μοναχικό, αρπακτικό πτηνό. Στον Ελλαδικό χώρο απαντάται πλέον μόνο στην Κρήτη, που αριθμεί 7-8 ζευγάρια, που αποτελούν και το μοναδικό αναπαραγωγικό πληθυσμό της νοτιοανατολικής Ευρώπης, πλην της Τουρκίας. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το πρότυπο της γενέθλιας διασποράς και της χρήσης ενδιαιτήματος νεαρών ατόμων του είδους μετά την πτέρωση. Υπό εξέταση ερωτήματα:

1. Ποιος είναι ο ζωτικός χώρος μετακινήσεων των νεαρών ατόμων του είδους (home range) και ποιες είναι οι περιοχές πυρήνες (core areas);
2. Ποιοι παράγοντες καθορίζουν την επιλογή των θέσεων εγκατάστασης; - μέσω προτύπων λογιστικής παλινδρόμησης
3. Ποιες είναι οι κατάλληλες περιοχές όπου προβλέπεται (με την χρήση προτύπων κατανομής ειδών με το λογισμικό MaxEnt) η παρουσία του είδους στη συγκεκριμένη φάση του κύκλου της ζωής τους;
4. Ποιο είναι το ποσοστό επικάλυψης των θέσεων εντοπισμού που προβλέπεται από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας με τις περιοχές προστασίας του δικτύου NATURA 2000 και με τις σημαντικές περιοχές για πουλιά (Important Bird Areas :IBA);



Χάρτης 1 Δεδομένα παρουσίας στο νησί της Κρήτης



Εικόνα 1 : Gyraetus barbatus, είδος μελέτης

Πίνακας 1 : Επεξηγηματικές μεταβλητές υπό μελέτη

Επεξηγηματικές Μεταβλητές	Πηγή
Βιοκλιματικές	
ΒΙΟ1 Μέση ετήσια θερμοκρασία	
ΒΙΟ2 Μέσο ημερήσιο εύρος θερμοκρασίας	
ΒΙΟ4 Εποχικότητα θερμοκρασίας (τυπική απόκλιση x 100)	
ΒΙΟ7 Ετήσιο εύρος θερμοκρασίας (ΒΙΟ5-ΒΙΟ6)	WorldClim (http://www.worldclim.org/), έκδοση 2.1, Ιανουάριο 2020
ΒΙΟ12 Ετήσια βροχόπτωση	
ΒΙΟ15 Εποχικότητα βροχόπτωσης (Συντελεστής Διακύμανσης)	
Μέση ταχύτητα Αέρα (m s ⁻¹)	
Τοπογραφίας και Τοπίο	
Υψόμετρο	Γεωγραφική Υψηλότερη Στρατού (https://www.gvs.gr/)
Κλίση εδάφους	MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI) (https://modis.gsfc.nasa.gov/)
Δείκτης βλάστησης (NDVI)	CORINE Land Cover (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover)
Δείκτης καταλληλότητας χρήσεων γης	WWF, island wetlands (https://www.wwf.gr/en/areas/island-wetlands)
Απόσταση από υδάτινες μάζες	Κατά κεφαλήν αριθμός κτηνοτροφικών ζώων
Διαθεσιμότητα τροφής	
Ανθρώπινη πίεση	
Δείκτης ανθρωπογενούς πίεσης HII (Human Influence Index: HII)	Last of the Wild Project, Έκδοση 2, 2005, (https://sedac.ciesin.columbia.edu)

Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχής Μελέτης: Κρήτη, μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας (εμβαδό 8.336 km²)

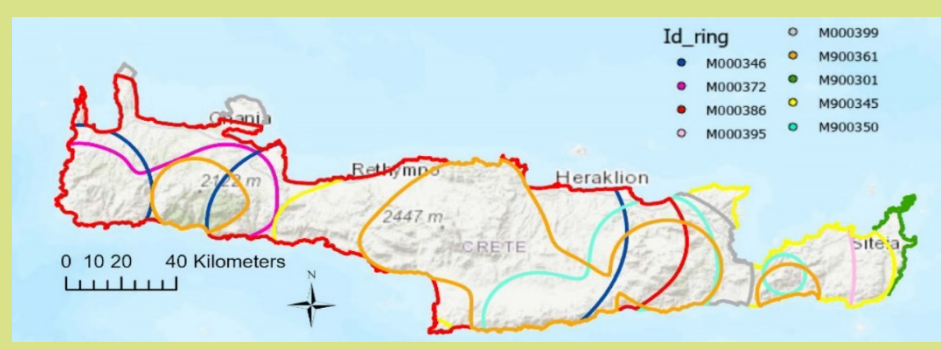
Δεδομένα παρουσίας: Ραδιοεντοπισμοί (VHF telemetry) 9 ατόμων που συλλήφθηκαν στην φωλιά την περίοδο 2001-2015 και ραδιομαρκαρίστηκαν 20 ημέρες πριν την πτέρωση τους (Χάρτης 1)

- Υπολογισμός Ζωτικού χώρου (*home range*) και περιοχής πυρήνα (*core areas*) με ελάχιστο κυρτό πολύγωνο (MCP) και Εκτιμητή πυκνότητας πυρήνα (KDE)
- Συλλογή και διερεύνηση δεκατεσσάρων επεξηγηματικών μεταβλητών (Πίνακας 1)
- Αναλύσεις με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ArcGIS), στατιστικές μεθόδους και λογισμικά πακέτα στην R¹ καθώς και με το λογισμικό MaxEnt².
- Έλεγχος πολυσυγγραμμικότητας μεταβλητών (Variance Inflation Factor: VIF)
- Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο (παρουσία/ απουσία)
- Διακριτική ικανότητα μοντέλου με την καμπύλης λειτουργικών χαρακτηριστικών του δείκτη ROC-AUC. Τιμές > 0,9 υποδηλώνουν ένα μοντέλο με άριστες ικανότητες διάκρισης.
- Δείκτης TSS, μέτρο αξιολόγησης της καλής προσαρμογής του μοντέλου μέγιστης εντροπίας στα δεδομένα. Τιμές TSS > 0,9 υποδηλώνουν άριστη προσαρμογή, ενώ 0,4 < TSS < 0,75 καλή

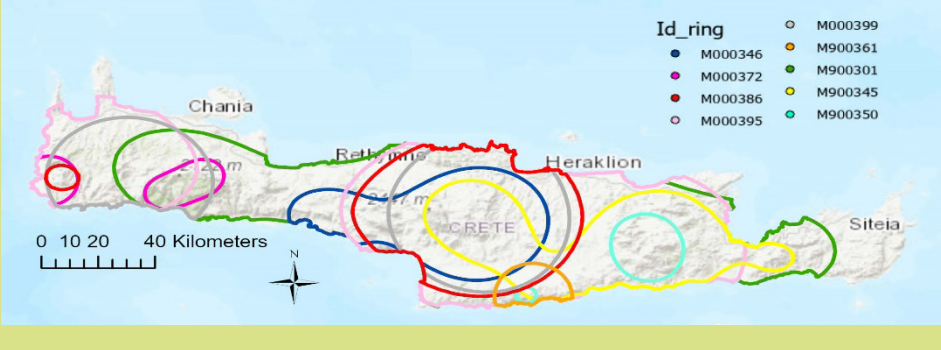
Αποτελέσματα

- Αποτελέσματα χωρικής κατανομής (Πίνακας 2, Χάρτης 2 & 3)
- Απουσία εποχικής διαφοροποίησης στην έκταση του ζωτικού χώρου και της περιοχής πυρήνα
- Ετήσια βροχόπτωση, κλίση του εδάφους και ανθρώπινη όχληση ως τις σημαντικότερες παραμέτρους στα δύο μοντέλα κατανομής (GLM, MaxEnt).
- Μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης (Πίνακας 3 & Χάρτης 4). Οι βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες για το είδος είναι οι ορεινοί όγκοι της Κρήτης με μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας στο δυτικό τμήμα του νησιού.
- Μοντέλο μέγιστης εντροπίας συμπεριλαμβάνει επιπλέον δυο βιοκλιματικές μεταβλητές (εποχικότητα θερμοκρασίας, εποχικότητα βροχόπτωσης)(Εικόνα 2). Δίτμος χάρτης πρόβλεψης παρουσίας (Χάρτης 5), απεικονίζει τις κατάλληλες περιοχές για το είδος (όριο πιθανότητας το μέγιστο άθροισμα ευαισθησίας και ειδικότητας).
- Ικανοποιητική διακριτική ικανότητα μοντέλου AUC = 0,89 και AUC = 0,846 ± 0,016 (Μ.Ο. δέκα επαναλήψεων), για το μοντέλο της λογιστικής και της μέγιστης εντροπίας αντίστοιχα.
- Καλή ικανότητα πρόβλεψης παρουσίας, δείκτη TSS = 0,55 (Μ.Ο. δέκα επαναλήψεων).
- Ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των προβλεπόμενων θέσεων παρουσίας και των περιοχών του δικτύου Natura αγγίζει το 72,3 και το 79.5 % βρίσκονται εντός των Σημαντικών Περιοχών για τα Πουλιά (Χάρτης 6).

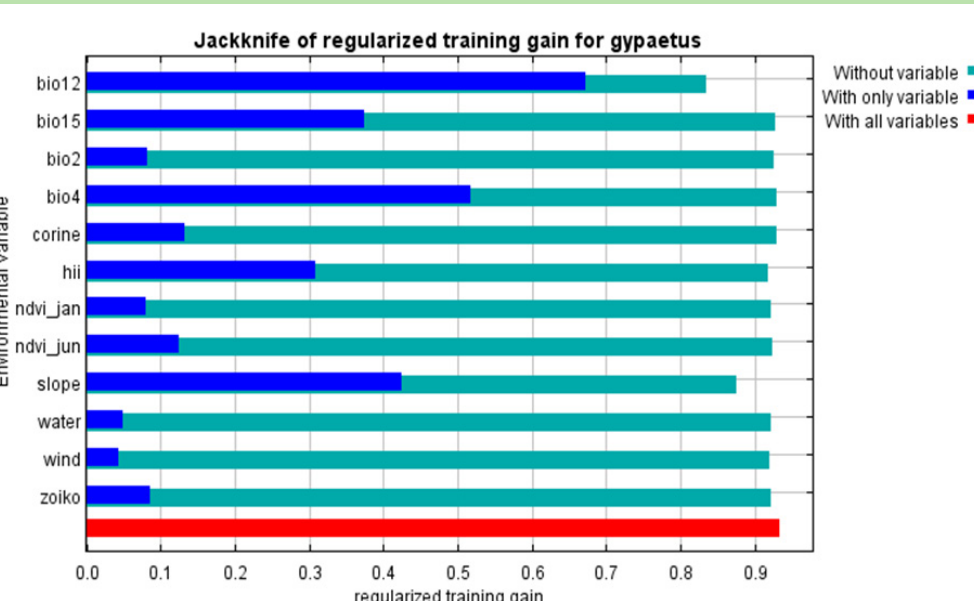
ID	Kernel 95% (km ²)	Kernel 50%(km ²)	MCP 100%(km ²)
M000346	4.995,7	1.729,1	1.522,8
M000372	1.447,4	404,0	1.511,2
M000386	6.541,6	2.524,5	3.653,4
M000395	7.912,6	5.787,2	3.687,9
M000399	7.263,1	3.198,7	5.462,6
M900361	3.809,3	237,2	5.212,7
M900301	8.264,6	6.418,1	7.156,5
M900345	5.849,8	2.309,8	4.002,4
M900350	1.764,8	397,8	1.094,7
Mean ± SD	5.316,6 ± 2.524	2.556,3 ± 2.268,8	3.700,5 ± 2.054,1
Pooled data	7.650,4	2.506,7	7.399,8



Χάρτης 2: Ζωτικού χώρου (95% KDE) με τον εκτιμητή πυρήνα

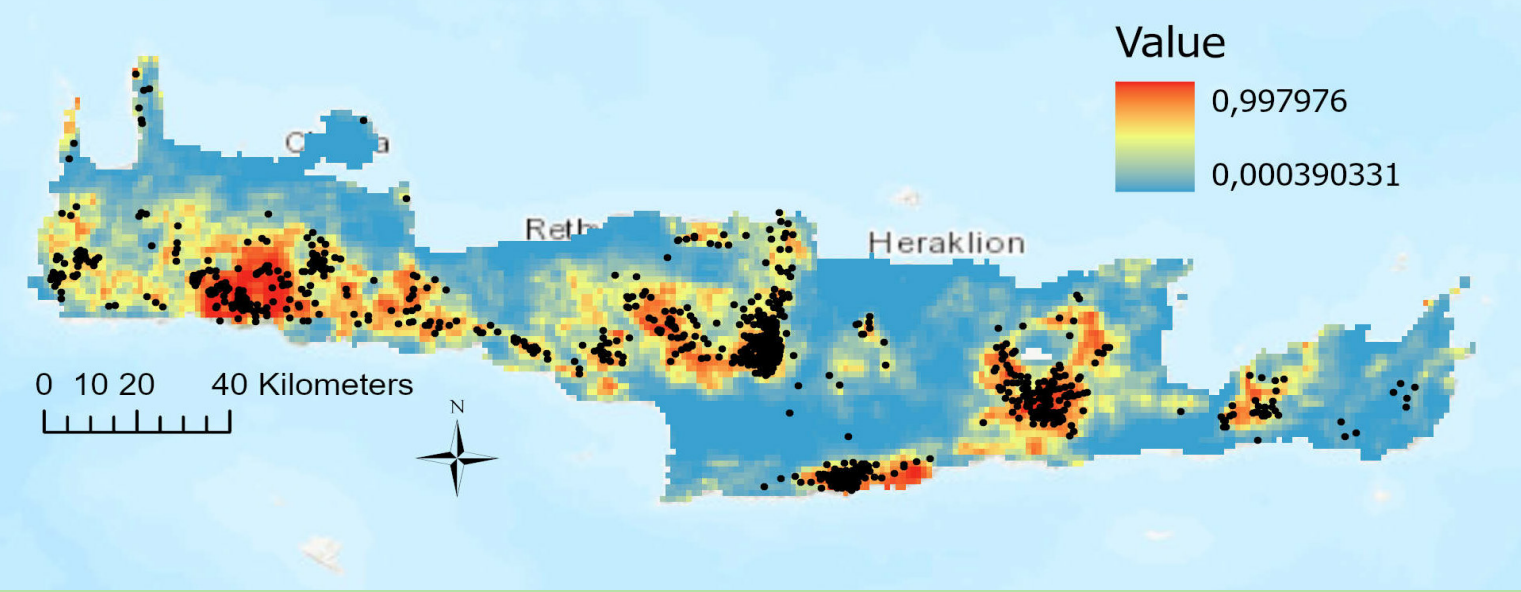


Χάρτης 3 : Περιοχή πυρήνα (50% KDE) με τον εκτιμητή πυρήνα

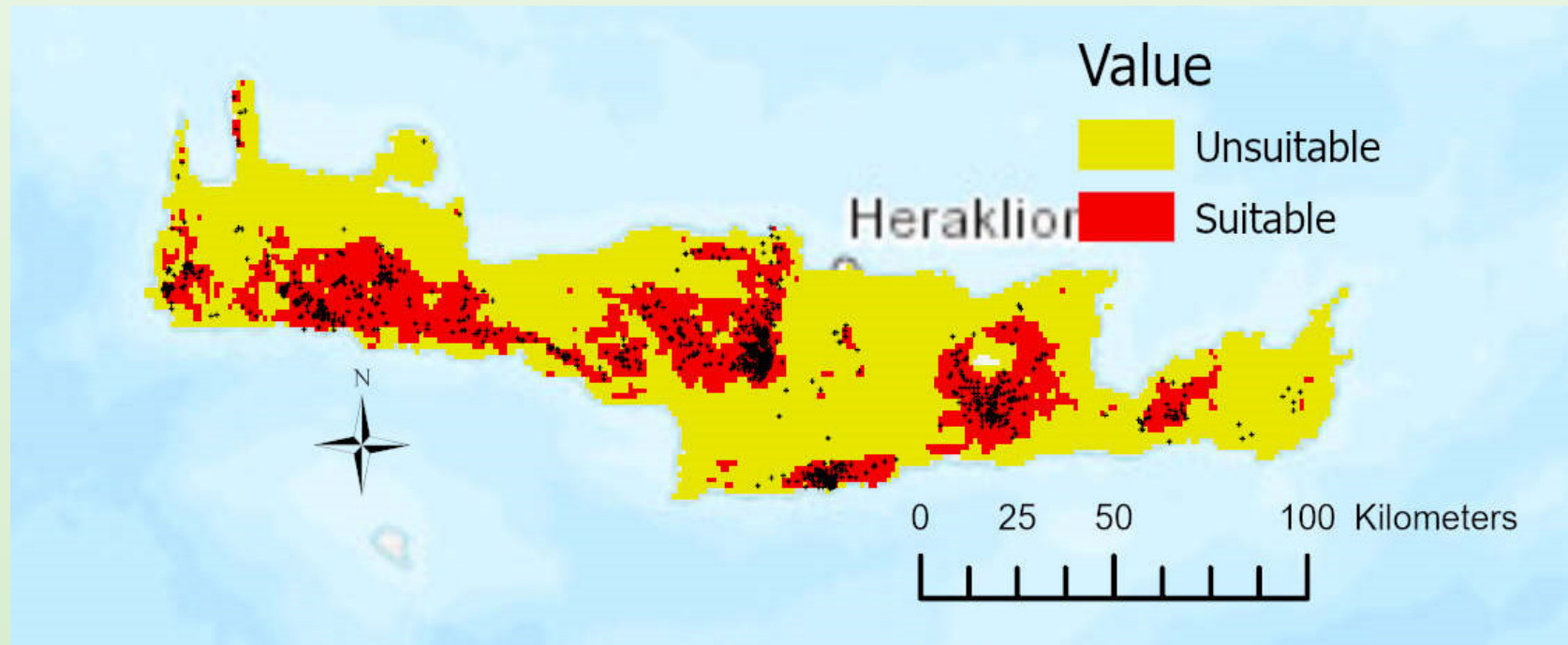


Εικόνα 1 : Αποτελέσματα της διαδικασίας "Jackknife" για τα δεδομένα προσαρμογής (training dataset) του μοντέλου μέγιστης εντροπίας

Μεταβλητές	Estimate	Τυπικό σφάλμα	z	p-value
(Intercept) - β1	3,1546	6,5132	0,48	0,6281
Εποχικότητα θερμοκρασίας	-0,0125	0,0072	-1,74	0,0826 .
Ετήσια βροχόπτωση	0,0072	0,0008	8,62	< 2e-16 ***
Εποχικότητα βροχόπτωσης	-0,1079	0,0441	-2,45	0,0144 *
Μέση ταχύτητα αέρα	1,4126	0,2480	5,70	1,22e-08 ***
Απόσταση από Νερό	-0,0001	0,0000	-5,92	3,18e-09 ***
Ανθρώπινη όχληση	-0,1206	0,0186	-6,50	8,26e-11 ***
Κλίση εδάφους	0,1546	0,0129	12,01	< 2e-16 ***
Δείκτης βλάστησης NDVI Ιουνίου	0,0110	0,0015	7,46	8,80e-14 ***
Απόκλιση αναφοράς		2918,5 σε 2106 βαθμούς ελευθερίας		
Απόκλιση υπολοίπων		1750,3 σε 2098 βαθμούς ελευθερίας		
AIC		1768,3		



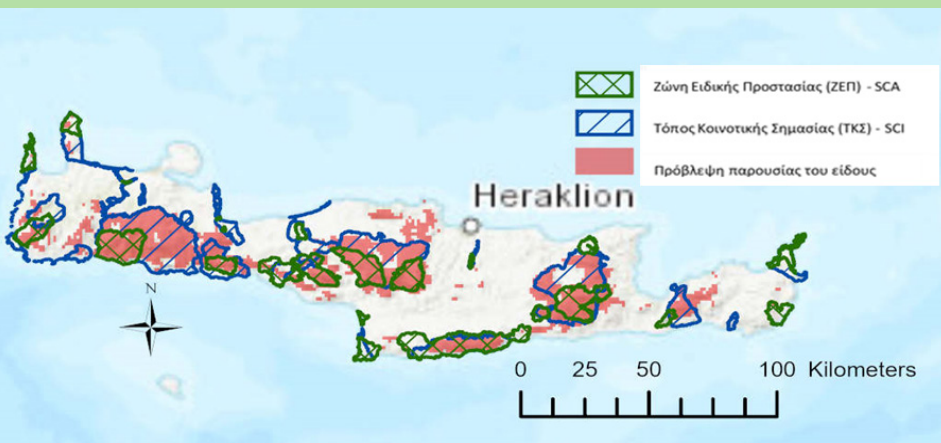
Χάρτης 4 : Χάρτης Λογιστικής Παλινδρόμησης του είδους Gyraetus barbatus, με τις μαύρες κουκίδες απεικονίζονται τα δεδομένα παρουσίας



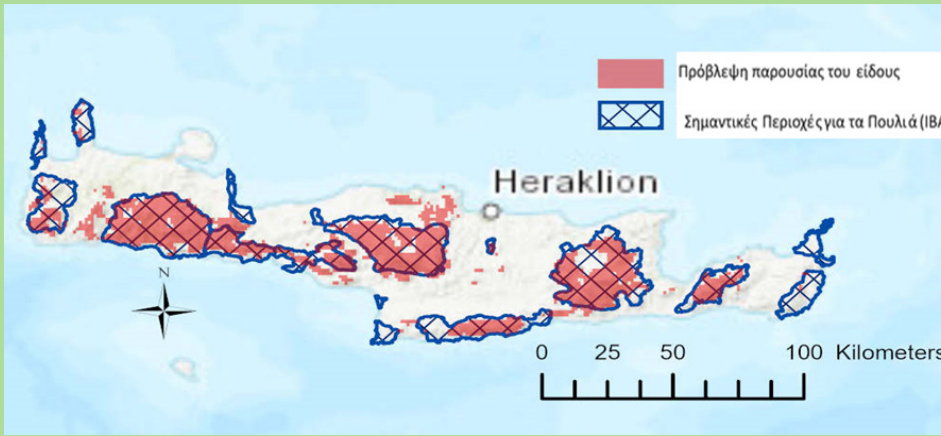
Χάρτης 5 : Χάρτης πρόβλεψης παρουσίας/ απουσίας του είδους Gyraetus barbatus στην Κρήτη

Συζήτηση - Συμπεράσματα

- Η έκταση του ζωτικού χώρου του είδους είναι συγκριτικά αρκετά μικρότερη από άλλες περιοχές^{3,4,5}, γεγονός που εξηγείται λόγω της νησιωτικότητας του πληθυσμού.
- Η έκταση της εν δυνάμει γενέθλιας διασποράς του είδους είναι μεγαλύτερη από την επιφάνεια της κατανομής του στην Κρήτη.
- Το ενδιαίτημα που επιλέγουν οι νεαροί γυπαετοί κατά την φάση της γενέθλιας διασποράς, εξαρτάται από την ετήσια βροχόπτωση, την κλίση του εδάφους, την ανθρώπινη πίεση, την ταχύτητα του αέρα και την απόσταση από το νερό.
- Η σημαντικότητα της ετήσια βροχόπτωσης μπορεί να εξηγηθεί έμμεσα μέσω της συσχέτισης της με το υψόμετρο, το οποίο απουσιάζει από τα μοντέλα.
- Η επιλογή της κλίσης του εδάφους εξηγείται ως προς την διαθεσιμότητα κατάλληλων περιοχών για την προετοιμασία της τροφής (σπάσιμο οστών), την παρουσία βραχών προεξοχών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θέσεις κουρνιάσματος και την ύπαρξη ευνοϊκών θέσεων για την δημιουργία αέριων ρευμάτων.
- Η μέση ταχύτητα του αέρα, σχετίζεται κυρίως με την χρήση κυρίως θερμικών ανοδικών ρευμάτων σε αντίθεση με την χρήση ορογραφικών.
- Οι νεαροί γυπαετοί δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν (λόγω μορφομετρίας και απειρίας) τα ορογραφικά ρεύματα αέρα με αποτέλεσμα να κατανέμονται περισσότερο περιφερειακά των ορεινών όγκων εκτός των περιοχών που επιλέγουν τα ενήλικα.
- Το μεγάλο ποσοστό επικάλυψης περιοχών παρουσίας και προστατευόμενων μπορεί να βοηθήσει αρκετά στην προστασία του είδους.



Χάρτης 6 : Χάρτης επικάλυψης μεταξύ των περιοχών παρουσίας που προβλέπονται από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας και των περιοχών του δικτύου NATURA 2000: των Σημαντικών Προστασίας (ΖΕΠ) και των Τόπων Κοινωνικής Σημασίας (ΤΚΣ).



Χάρτης 7 : Χάρτης επικάλυψης μεταξύ των περιοχών παρουσίας που προβλέπονται από το μοντέλο μέγιστης εντροπίας και των Σημαντικών Περιοχών για τα Πουλιά (ΖΕΠ/ Important Bird Areas :IBA)

1. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
2. Phillips, Steven, Robert Anderson, and Robert Schapire. 2006. "Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions." Ecological Modelling. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
3. Margalida, Antoni, Juan Manuel Pérez-García, Ivan Afonso, and Rubén Moreno-Opo. 2016. "Spatial and Temporal Movements in Pyrenean Bearded Vultures (Gyraetus Barbatus): Integrating Movement Ecology into Conservation Practice." Scientific Reports 6 (October): 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep35746>.
4. Krüger, Sonia, and Arjun Amar. 2017. "Insights into Post-Fledging Dispersal of Bearded Vultures Gyraetus Barbatus in Southern Africa from GPS Satellite Telemetry." Bird Study 64 (2): 125–31. <https://doi.org/10.1080/00063657.2017.1295019>.
5. Subedi, Tulsi R., Juan M. Pérez-García, Shahrul A.M. Sah, Sandesh Gurung, Hem S. Baral, Lakman P. Poudyal, Hansoo Lee, Simon Thomsett, Munir Z. Virani, and José D. Anadón. 2019. "Spatial and Temporal Movement of the Bearded Vulture Using GPS Telemetry in the Himalayas of Nepal." Ibis, 1–9. <https://doi.org/10.1111/ibi.12799>