ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΠΜΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη της κατανομής επιλεγμένων ειδών σαυρών της Ελλάδας των οικογενειών Lacertidae, Skincidae, Blanidae και Anguidae και συσχέτισή τους με οικολογικούς παράγοντες μέσω της χρήσης GIS και αναλυτικών μοντέλων

ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗ ΓΕΣΘΗΜΑΝΗ – ΜΥΡΤΩ

Α.Μ. 1009

Επιβλέπων καθηγητής: Πουλακάκης Νικόλαος

Υπεύθυνος: Λυμπεράκης Πέτρος

Ηράκλειο, 2022

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διϊδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) στην Περιβαλλοντική Βιολογία του τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης κατά τη χρονική περίοδο Μαΐου 2021- Μαΐου 2022.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Πανεπιστημίου Κρήτης που με φιλοξένησε θερμά και ειδικά τον Δρ. Λυμπεράκη Πέτρο που μου ανέθεσε την εργασία αυτή. Τον ευχαριστώ για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμπλακώ και να συμβάλω σε ένα ευρύτερο εγχείρημα αυτό του ψηφιακού Άτλαντα των Ερπετών και Αμφιβίων της Ελλάδας. Ακόμη, τον ευχαριστώ για την επίβλεψη, την υποστήριξη και την αμέριστη ευγένειά του που με βοήθησαν να ολοκληρώσω την εργασία αυτή και τελικά έναν ακόμα κύκλο σπουδών.

Θα ήθελα να εκφράσω επίσης τις θερμές μου ευχαριστίες στον ομότιμο καθηγητή Μυλωνά Μωυσή και στον καθηγητή Πουλακάκη Νικόλαο που με τίμησαν με την συμμετοχή τους ως μέλη της τριμελούς επιτροπής αλλά και συνολικά για τη διδασκαλία τους στα πλαίσια του προγράμματος και τις γνώσεις που μου προσέφεραν.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Κιάμο Νίκο χωρίς τον οποίο δεν θα είχε ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία. Τον ευχαριστώ που με βοήθησε σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα να εμβαθύνω σε μια πληθώρα αντικειμένων με τα οποία δεν είχα πρότερα επαφή και να φτάσω στο σημείο που βρίσκομαι σήμερα. Τον ευχαριστώ για τις αμέτρητες ώρες συζητήσεων στο εργαστήριο για τη διπλωματική εργασία αλλά και τις συζητήσεις περί ανέμων και υδάτων. Τον ευχαριστώ ξανά και ξανά για την υπομονή που έδειξε απέναντι στις ασταμάτητες απορίες μου αλλά περισσότερο τον ευχαριστώ για τον συνολικό τρόπο σκέψης που μου μετέδωσε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους/τις φίλους/φίλες μου που είναι πάντα εκεί για εμένα.

Μυρτώ

Περιεχόμενα

Περίληψη ... 1
Abstract ... 2
Συντομογραφίες ... 3
Εισαγωγή ... 4
Η ερπετοπανίδα της Ελλάδας ... 4
Οι σαύρες (Reptilia-Sauria) ως αντικείμενο μελέτης ... 5
Η κατανομή ενός είδους ... 6
Μοντέλα δυνητικής κατανομής (Species Distribution Models - SDMs) ... 7
Ορισμός και αρχή μεθόδου ... 7
Εφαρμογές SDMs ... 9
Δεδομένα παρουσίας ... 11
Κλίμακα στα SDMs ... 11
Προβολή στο μέλλον με χρήση SDMs ... 12
Σκοπός της εργασίας ... 14
Υλικά και μέθοδοι ... 15
Περιοχή μελέτης ... 15
Δεδομένα παρουσίας ... 15
Συλλογή δεδομένων παρουσίας ... 15
Επεξεργασία δεδομένων παρουσίας ... 16
Αραίωση δειγμάτων (spatial thinning) ... 18
Δεδομένα υποβάθρου και δεδομένα ψευδο-απουσίας ... 19
Περιβαλλοντικά δεδομένα ... 20
Κριτήρια επιλογής και συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων ... 20
Επεξεργασία περιβαλλοντικών δεδομένων ... 25
Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών μεταβλητών ... 28
Αλγόριθμοι μοντελοποίησης ... 30
Μοντελοποίηση ... 33
Αξιολόγηση των μοντέλων ... 34
Αποτελέσματα ... 36
***Anguis cephallonica* Werner, 1894** ... 37
***Anguis graeca* Bedriaga, 1881** ... 40
***Anguis graeca Bedriaga*, 1881 -** ... 43
***Anguis graeca Bedriaga*, 1881 -** ... 44
***Ablepharus kitaibelii* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833** ... 45
Ablepharus kitaibelii ... 46
***Algyroides nigropunctatus* Duméril & Bibron, 1839** ... 50
***Algyroides moreoticus* Bibron & Bory, 1833** ... 54
***Pseudopus apodus* Pallas 1775** ... 58

Ophiomorus punctatissimus **Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833**..... 62
Chalcides ocellatus **Forskal, 1775** 65
Blanus strauchi **Bedriaga, 1884** 70
Συζήτηση 74
Παράρτημα 85
Βιβλιογραφία..... 88

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν 13 είδη σαυρών των οικογενειών Scincidae, Anguidae, Amphisbaenidae και Lacertidae ως προς την κατανομή τους στην Ελλάδα και στην ευρύτερη περιοχή της Ευρασίας. Η πλήρης γνώση της κατανομής των ειδών είναι σημαντική για τη βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την εξάπλωση των ειδών και την παρακολούθηση των πληθυσμών.

Σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) σε συνδυασμό με την υψηλή διαθεσιμότητα περιβαλλοντικών δεδομένων από ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, δίνουν τη δυνατότητα περαιτέρω αξιοποίησης χωρικών δεδομένων για τη μελέτη της εξάπλωσης των ειδών ενδιαφέροντος. Τα δεδομένα παρουσίας των ειδών συσχετίστηκαν στατιστικά με τα περιβαλλοντικά δεδομένα ώστε να εκτιμηθεί η δυνητική κατανομή των ειδών με τη χρήση Μοντέλων Δυνητικής Κατανομής (SDMs).

Χρησιμοποιήθηκαν περιβαλλοντικά δεδομένα που σχετίζονται με περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την εξάπλωση των ερπετών όπως δείκτες βλάστησης, χρήσεις γης, η ηλιακή ακτινοβολία, τοπογραφικοί παράγοντες και το κλίμα. Οι παράγοντες αυτοί εξετάστηκαν για τη διαφορική επίδρασή τους στις διαφορετικές κλίμακες που αφορούν την Ελλάδα και την Ευρασία.

Εξετάστηκε επίσης η περίπτωση ενός κλιματικού μοντέλου και η προβολή του στο μέλλον σύμφωνα με το ακραίο σενάριο κλιματικής αλλαγής IPSL-CM6-Low Resolution/ SSP5.85 για την περίοδο 2041-2070 με σκοπό την μελέτης της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα είδη ενδιαφέροντος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα είδη που μελετήθηκαν θα μπορούσαν να υπάρχουν σε ευρύτερες περιοχές από αυτές που υποδεικνύουν οι διαθέσιμες καταγραφές.

Οι πιο σημαντικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως προέκυψε από τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου, ο NDVI Ιουνίου και η παρουσία θαμνότοπων και στο κλιματικό μοντέλο η πιο σημαντική μεταβλητή είναι η βροχόπτωση του υγρότερου τριμήνου.

Η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τα συγκεκριμένα είδη στα περισσότερα από τα οποία θα περιοριστούν τα κατάλληλα ενδιαιτήματα και άλλα θα δημιουργηθούν κατάλληλες περιοχές σε μεγαλύτερα γεωγραφικά μήκη.

Abstract

In the present study we studied the distribution of selected lizard species from Greece (Families: Scincidae, Anguidae, Amphisbaenidae and Lacertidae) in Greece and in Eurasia. The full knowledge of their distribution is essential for a deeper awareness of the mechanisms that lead their distribution and the monitoring of their populations.

State-of-the-art tools like Geographic Information Systems (GIS) combined with multiple environmental data from online databases give us the possibility of a further usage of spatial data in order to study the distribution of our species. Presence data are associated with environmental variables to estimate the potential distribution of the species using Species Distribution Models (SDMs).

We used environmental data that are related to environmental factor which affect the distribution of reptiles like normalized vegetation index (NDVI), land cover, solar radiation, topographic variables and climatic variables. They examined for their differential efficacy in the different scales of Greece and Eurasia.

We also examined the impact of climate change in our species and so we projected a climatic model in the future using the climatic scenario IPSL-CM6-Low Resolution/ SSP5.85 for the period 2041-2070.

Our results indicate that our species could be present in further localities than those that are reflected by our presence data.

The principle factors that lead the distribution of these species according to the models applied, are the solar radiation of January, the NDVI of January and the presence of shrublands, while in the climatic model the most important factor was the precipitation of the wettest quarter.

We also concluded that factors like land cover affect at local scales and in the extent of Greece they may have a principle role more than climatic factors.

Climate change will affect lizards in most of which will narrow their suitable habitats while others will find new places to expand in higher geographical latitudes.

Συντομογραφίες

AUC: Area Under Curve

BRT: Boosted Regression Trees algorithm

CORINE: Coordination of Information on the Environment

DEM: Digital Elevation Model

GIS: Geographical Information Systems

GLM: Generalized Linear Model

GLM: Generalized Linear Model

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IUCN: International Union for Conservation of Nature

MARS: Multivariate Analysis and Regression Splines algorithm

MAXENT: Maximum Entropy algorithm

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

PET: Potential EvapoTranspiration

RF: Random forest algorithm

ROC: Receiver Operating Curve

SDM: Species Distribution Modelling

srad: solar radiation

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

TSS: True Skill Statistics

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

VIF: Variance inflation factor

VIF: Variation Inflation Factor

WGS: World Geodetic System

Εισαγωγή

Η ερπετοπανίδα της Ελλάδας

Η Μεσόγειος αποτελεί ένα από τα «θερμά σημεία» για τη βιοποικιλότητα (Lymberakis et al. 2018, Sillero et al. 2014, Pafilis 2010). Η Ελλάδα συγκεκριμένα φιλοξενεί την πιο πλούσια ερπετοπανίδα στην Ευρώπη (Valakos et al. 2008). Στην Ελλάδα συναντιούνται τρία βιογεωγραφικά μονοπάτια καθένα από τα οποία συνεισφέρει ξεχωριστά στη βιοποικιλότητά της (Lymberakis & Poulakakis 2010). Πολλά από αυτά είναι κοινά είδη στα Βαλκάνια (πχ. *Ablepharus kitaibelii*, *Anguis fragilis*), στην Ασία (πχ. *Ophiomorous punctatissimus*, *Pseudopus apodus*, *Heremites auratus*) ακόμα και στην Βόρεια Αφρική (πχ. *Chalcides ocellatus*). Η γεωγραφική της θέση σε συνδυασμό με το πολύπλοκο ανάγλυφο, το κλίμα και τον υψηλό νησιωτισμό συμβάλλουν τελικά στον πλούτο του ελλαδικού χώρου σε ερπετά παρά την μικρή του έκταση αλλά και στο υψηλό ποσοστό ενδημικών ειδών (18%) (Lymberakis et al. 2018). Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι στην Πελοπόννησο συγκεντρώνεται ο μεγαλύτερος αριθμός ειδών σαυρών στην Ευρώπη (Sillero et al. 2014). Η ιστορία της περιοχής ως προς τη γεωλογία, τη βιογεωγραφία και το κλίμα έχουν ως αποτέλεσμα τον μεγάλο αριθμό ειδών μεταξύ των οποίων, ενδημικών ειδών ακόμα και γενών (Strachinis et al. 2021, Creutzburg 1963, Zachos et al. 2001).

Στην Ελλάδα συναντώνται 7 οικογένειες σαυρών (Παφίλης & Μαραγκού 2020) μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι οικογένειες Lacertidae, Anguidae, Scincidae και Blanidae που συζητούνται στην παρούσα εργασία (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Τα είδη μελέτης στην παρούσα εργασία

Οικογένεια	Είδος	Κοινή ονομασία
Lacertidae	***Algyroides nigropunctatus*** (Duméril & Bibron 1839)	Σαύρα του Ιονίου
	Algyroides moreoticus (Bibron & Bory, 1833)	Σαύρα του Μοριά
Anguidae	***Anguis graeca*** (Bedriaga 1881)	Ελληνικό κονάκι
	Anguis cephallonica (Werner, 1894)	Κεφαλλονίτικο κονάκι
	Anguis fragilis (Linnaeus, 1758)	Κονάκι
	Pseudopus apodus (Pallas 1775)	Τυφλίτης
Scincidae	***Ablepharus kitaibelii*** (Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833)	Αβλέφαρος
	Ablepharus budaki (Göcmen, Kumlutas & Tosunoglu, 1996)	Αβλέφαρος
	Ophiomorus punctatissimus (Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833)	Οφιόμορος
	Ophiomorus kardesi (Kornilios, Kumlutas, Lymberakis & Ilgaz 2018)	Ανατολικός οφιόμορος
	Chalcides ocellatus (Forskal, 1775)	Λιακόνι
	Heremites auratus (Linnaeus, 1758)	Χρυσόσαυρα
Blanidae	***Blanus strauchii*** (Bedriaga, 1884)	Αμφίσβαινα

Οι σαύρες (Reptilia-Sauria) ως αντικείμενο μελέτης

Οι σαύρες αποτελούν μια ομάδα σπονδυλωτών με καίριο ρόλο στα οικοσυστήματα καθώς λαμβάνουν ρόλους ως θηρευτές, θηράματα, βόσκουν και μεταφέρουν σπόρους (Böhm et al. 2013). Απαντώνται σχεδόν σε όλα τα οικοσυστήματα εκτός από εκείνα των πλέον ψυχρών περιοχών (Sillero et al. 2014, Böhm et al. 2013).

Ως εξώθερμοι οργανισμοί χρησιμοποιούν εξωτερικές πηγές ενέργειας για να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του σώματος τους (Smith & Ballinger 2001). Αυτό τους επιτρέπει να ενδιαιτούν και σε περιβάλλοντα απαγορευτικά για άλλες ομάδες οργανισμών, όπως τα θηλαστικά και τα πουλιά για τα οποία η επιβίωσή τους απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας (Pianka 1986). Προκειμένου να εξασφαλίσουν συνθήκες κατάλληλες για βιολογικές διαδικασίες όπως η θερμορύθμιση και η αναπαραγωγή, παρουσιάζουν ειδικές οικολογικές απαιτήσεις (Smith & Ballinger 2001). Δεδομένης

της εξάρτησης των σαυρών από το εξωτερικό περιβάλλον καθίστανται επιρρεπείς σε μεταβολές λειτουργώντας και ως βιοδείκτες για την κατάσταση του περιβάλλοντος και συχνά του μικροπεριβάλλοντος στο οποίο συναντώνται (Böhm et al. 2013). Παρουσιάζουν στενές κατανομές σε σχέση με άλλες ομάδες οργανισμών όπως τα πουλιά και τα θηλαστικά και περιορισμένες κινητικές ικανότητες που περιορίζουν την προσαρμοστικότητα σε αλλαγές μέσω μετακίνησης ή μετανάστευσης (Böhm et al. 2013, Anderson & Marcus 1992).

Τα ερπετά αναγνωρίζονται ως μία ομάδα οργανισμών ευάλωτη που εμφανίζει τάσεις μείωσης των πληθυσμών τους (Sillero et al. 2014, Gibbons et et. 2000). Οι βασικές απειλές που αντιμετωπίζουν σήμερα τα ερπετά σχετίζονται κυρίως με τις αλλαγές στις χρήσεις γης, την υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων τους, την εισαγωγή ξενικών ειδών, την περιβαλλοντική ρύπανση, τις ασθένειες και την κλιματική αλλαγή (Foufopoulos 2011, Araújo et al. 2006, Gibbons et al. 2000). Στην Ελλάδα απειλούνται επίσης από τις μεγάλης έντασης πυρκαγιές και την συνεχή τουριστική ανάπτυξη που λαμβάνει χώρα ιδίως στα νησιά (Pafilis 2010).

Η πλήρης γνώση των κατανομών τους σε συνδυασμό με την κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την εξάπλωση τους θα μας βοηθήσει να διαχειριστούμε κρίσιμες περιοχές για τη βιοποικιλότητα και να διατηρήσουμε είδη που κινδυνεύουν (Beyer & Manica 2020). Εργαλεία όπως οι Άτλαντες κατανομής και τα Μοντέλα Δυνητικής κατανομής μπορούν να συμβάλουν σημαντικά σε αυτό το σκοπό.

Η κατανομή ενός είδους

Η κατανομή ενός είδους καθορίζεται από τους παρακάτω παράγοντες καθένας από τους οποίους επιδρά άμεσα ή έμμεσα, με διαφορετική ένταση και σε διαφορετική χωρική και χρονική κλίμακα (Austin 2002)

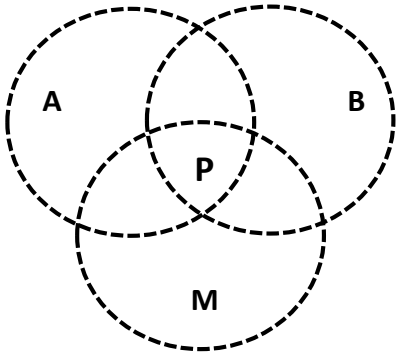
1. Αβιοτικοί παράγοντες (A), οι οποίοι συμβάλλουν στα όρια ανοχής ενός είδους και καθορίζουν την δυνατότητά του να επιβιώνει σε μια περιοχή (κλιματικοί παράγοντες, χαρακτηριστικά εδάφους κλπ.)

2. Βιοτικοί παράγοντες (B), οι αλληλεπιδράσεις δηλαδή μεταξύ των ειδών (θηρευτικές, ανταγωνιστικές, συνεργιστικές) οι οποίες περιορίζουν ή επιτρέπουν στα είδη να διατηρούν τους πληθυσμούς τους επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο και την εξάπλωσή τους

3. Η προσβασιμότητα (M) περιοχών κατάλληλων για το είδος και τα βιογεωγραφικά φράγματα τα οποία εμποδίζουν τα είδη να φτάσουν σε ενδιαιτήματα κατάλληλα για την επιβίωσή τους

4. Η εξελικτική ικανότητα των πληθυσμών να προσαρμόζονται σε νέες συνθήκες

Οι παραπάνω περιορισμοί δεν επιτρέπουν στο είδος να εκμεταλλευτεί όλες τις περιοχές που είναι κατάλληλες για την επιβίωσή του και εξηγούν την παρουσία του στις περιοχές (P) που πληρούν ταυτοχρόνως τις παραπάνω προϋποθέσεις (Soberón & Nakamura 2009, Pearson 2007, Soberón & Peterson 2005) όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1 Διάγραμμα BAM, A: περιοχή με κατάλληλες αβιοτικές συνθήκες για το είδος, B: περιοχή με βιοτικές αλληλεπιδράσεις που επιτρέπουν την επιβίωση του είδους, M: περιοχές προσβάσιμες στο είδος, P είναι η τομή των τριών θέσεων όπου πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για την επιβίωση του είδους

Μοντέλα δυνητικής κατανομής (Species Distribution Models - SDMs)

Ορισμός και αρχή μεθόδου

Για να προσεγγίσουμε την κατανομή ενός είδους είναι σκόπιμο να διερευνήσουμε τις πιθανές περιοχές όπου θα μπορούσε να εντοπίζεται σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Η πιο συνηθισμένη διαδρομή, είναι ο χαρακτηρισμός των κατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών για

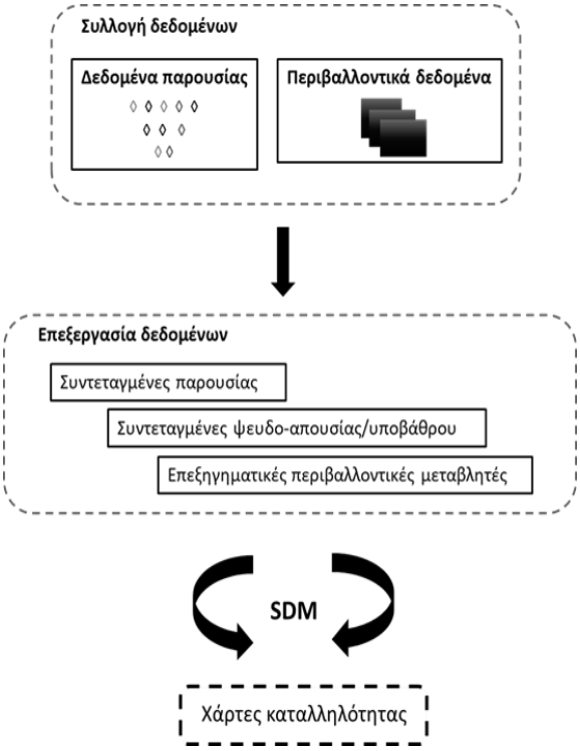
την επιβίωσή του (Guisan & Zimmerman 2000, Pearson 2007). Χρησιμοποιείται ο όρος *δυνητική* κατανομή για να περιγράψει τις περιοχές εκείνες που είναι κατάλληλες για το είδος και είναι πιθανό να υπάρχει σε αυτές (Soberón 2007).

Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο προσεγγίσεις (Peterson et al. 2011, Pearson 2007). Η πρώτη αφορά σε *μηχανιστικά μοντέλα* (mechanistic models), τα οποία απαιτούν βαθιά γνώση της φυσιολογίας του είδους και προκύπτουν μέσα από εργαστηριακά πειράματα όπου τα άτομα δοκιμάζονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες και καταγράφονται τα όρια ανοχής τους και οι βέλτιστες συνθήκες. Έχουν όμως ένα σοβαρό μειονέκτημα, καθώς η γνώση που απαιτείται είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί για λιγότερο μελετημένα είδη ή σε μελέτες πολλών ειδών (Pearson 2007).

Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί *μοντέλα συσχέτισης* (correlative models). Τα μοντέλα αυτά αποδίδονται στην ελληνική βιβλιογραφία ως **Μοντέλα Δυνητικής Κατανομής** (Μοντέλα Κατανομής Ειδών, Species Distribution Models, SDMs), καθώς ο όρος αυτός περιγράφει καλύτερα τα προϊόντα των μοντέλων αυτών (Pearson 2007).

Η αρχή στην οποία στηρίζονται τα SDMs είναι ότι συσχετίζουν γνωστές θέσεις παρουσίας του είδους με περιβαλλοντικά δεδομένα των θέσεων αυτών. Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται η παραδοχή ότι είδος βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του (Guisan & Thuiller 2005, Guisan & Zimmerman 2000).

Απαιτούν δύο κατηγορίες δεδομένων, *δεδομένα παρουσίας* και *περιβαλλοντικά δεδομένα* (ανάλογα με τη μέθοδο, απαιτούνται και δεδομένα απουσίας/δεδομένα υποβάθρου όπως θα αναλυθεί παρακάτω). Τα δεδομένα αυτά αναλύονται στατιστικά από έναν αλγόριθμο ο οποίος εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που εξηγούν τις θέσεις εμφάνισης του είδους (Elith & Leathwick 2009, Elith et al. 2006). Στη συνέχεια, προβάλλουν τις σχέσεις αυτές σε άλλες περιοχές ή άλλη χρονική στιγμή για την εύρεση εκείνων που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του είδους (Εικόνα 2). Τα μοντέλα αυτά παράγουν **χάρτες καταλληλότητας περιοχών** (Peterson et al. 2011, Franklin 2010) και προβλέπουν την πιθανή κατανομή σε περιοχές όπου η



Εικόνα 2 Τα SDMs απαιτούν δύο βασικές ομάδες δεδομένων, δεδομένα παρουσίας και περιβαλλοντικά δεδομένα. Κατάλληλοι αλγόριθμοι αναλύουν στατιστικά τις σχέσεις μεταξύ των θέσεων αυτών και των περιβαλλοντικών συνθηκών στις θέσεις αυτές και αξιολογούν τις περιοχές με βάση το αν εμφανίζουν το σύνολο των περιβαλλοντικών τιμών που εξασφαλίζουν την επιβίωση του είδους. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν χάρτες καταλληλότητας περιοχών για το είδος σύμφωνα με τα δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο.

παρουσία του είδους είναι άγνωστη. Επισημαίνεται ότι στις κατάλληλες περιοχές όπως υποδεικνύονται από το μοντέλο, το είδος ενδέχεται να υπάρχει ή να μην υπάρχει.

Εφαρμογές SDMs

Σύμφωνα με τους Araújo et al. (2019) μπορούν να διακριθούν τρεις ευρείες κατηγορίες εφαρμογών των SDMs

- Η ερμηνεία των παρατηρούμενων σχέσεων μεταξύ των κατανομών των ειδών και του περιβάλλοντός τους
- Η πρόβλεψη της πιθανής κατανομής των ειδών στην ίδια χρονική περίοδο και στην ίδια γεωγραφική περιοχή
- Η προβολή σε άλλες περιοχές ή σε άλλη χρονική κλίμακα για την εύρεση κατάλληλων περιοχών για το είδος

Η πληροφορία που προσφέρουν τα SDMs βρίσκει ολοένα και περισσότερες εφαρμογές (Πίνακας 2) με αποτέλεσμα τις τελευταίες 2 δεκαετίες να δημοσιεύονται πολλές σχετικές εργασίες (στις οποίες άλλοτε συναντώνται ως Μοντέλα Κατανομής Ειδών - Species Distribution Modelling, Μοντέλα Περιβαλλοντικού Θώκου - Environmental Niche Modelling ή Μοντέλα Καταλληλότητας Περιοχών – Habitat suitability Models (Guisan et al. 2017, Warren et al. 2010, Franklin 2010, Phillips et al. 2004) και πολλές από αυτές επικεντρώνονται και στην ερπετοπανίδα της Μεσογειακής λεκάνης (Barbosa et al. 2012).

Πίνακας 2 Παραδείγματα εφαρμογών των SDMs

Εφαρμογές των SDMs	**Παραδείγματα εφαρμογών**
Μελέτη οικολογικού θώκου	Şahin et al. (2020), Gül et al. 2015, Hosseinian Yousefkhan et al. 2013
Έλεγχος υποθέσεων (βιογεωγραφία, οικολογία, εξέλιξη)	Graham et al. (2004)
Αξιολόγηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής, της αλλαγής χρήσεων γης και άλλων μεταβολών στις κατανομές των ειδών	Rodriguez-Cordero et al. (2022), Sillero (2010), Araújo et al. (2006), Ballesteros-Barrera et al. (2007)
Χαρακτηρισμός περιοχών ως θερμά σημεία βιοποικιλότητας	Brown et al. (2016)
Διερεύνηση ανεξερεύνητων περιοχών με πιθανή παρουσία ειδών ενδιαφέροντος	Elith & Burgman (2002)
Σχεδιασμός στρατηγικών διαχείρισης περιοχών και διατήρησης ειδών	Srinivasulu et al. (2021), Araújo et al. (2004), Ferrier (2002),
Μελέτες επανεισαγωγής ειδών	Pearce & Lindenmayer (1998)
Μελέτες προβολής στο παρελθόν με παλαιοκλιματικά δεδομένα	Svenning et al. (2011)

Δεδομένα παρουσίας

Τα δεδομένα παρουσίας αντιπροσωπεύουν την γνωστή κατανομή του είδους και σύμφωνα με αυτά εξάγονται και τα αποτελέσματα για τη δυνητική κατανομή (Elith et al. 2006, Guisan & Zimmerman 2000). Για αυτό το λόγο, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των SDM πρέπει να είναι ακριβή και να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις ώστε να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τις οικολογικές απαιτήσεις του είδους και να μειώνουν την αβεβαιότητα που μπορεί να προκαλέσουν (Naimi et al. 2014, Barbosa et al. 2012, Soberón 2007, Barry and Elith 2006). Επομένως τα δεδομένα παρουσίας θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι

- Αντιστοιχούν πραγματικά στο είδος που αναφέρονται και δεν έχει γίνει λανθασμένη αναγνώριση
- Οι θέσεις εμφάνισης είναι ακριβείς ώστε να περιγράφεται σωστά το ενδιαίτημα του είδους
- Η μεροληψία των δεδομένων λόγω άνισων δειγματοληψιών μετριάζεται στο ελάχιστο
- Συνοδεύονται από πληροφορίες οι οποίες λαμβάνονται υπόψιν κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Κλίμακα στα SDMs

Μια κρίσιμη παράμετρος που καθορίζει την μοντελοποίηση είναι η επιλογή της κλίμακας (Guisan & Thuiller 2005, Jiménez-Valverde et al. 2009). Η κλίμακα που χρησιμοποιείται στα SDMs αναφέρεται σε δύο στοιχεία:

1. Στην **έκταση** (extent) της περιοχής μελέτης, αναφερόμενοι στα γεωγραφικά όρια της περιοχής μελέτης και στις οικολογικές διεργασίες που εξετάζονται
2. Στο **μέγεθος κόκκου** (grain size), δηλαδή στην δειγματοληπτική μονάδα στην οποία καταγράφονται τα δεδομένα παρουσίας και προβάλλονται τα χωρικά δεδομένα

Η κλίμακα που θα επιλεγεί καθορίζει τις περιβαλλοντικές μεταβλητές που θα ενταχθούν στο μοντέλο (Elith & Burgman 2002, Austin 2002). Οι διαφορετικές περιβαλλοντικές παράμετροι επιδρούν σε διαφορετική κλίμακα. Αυτό σημαίνει ότι σε διαφορετικές κλίμακες μπορούν να παρατηρηθούν διαφορετικά πρότυπα εξάπλωσης σύμφωνα με τις σχέσεις που διαδραματίζονται σε κάθε μια από αυτές και συχνά με ιεραρχικό τρόπο (Elith & Burgman 2002, Urban et al. 2002).

Χαρακτηριστικά, το κλίμα επιδρά σε μεγάλες κλίμακες, δεκάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων ενώ οι βιοτικές αλληλεπιδράσεις διεξάγονται σε τοπικό επίπεδο και θεωρείται ότι δεν επηρεάζουν στις μεγάλες κλίμακες (Pearson 2007, Araújo & Guisan 2006).

Η επιλογή της έκτασης της περιοχής μελέτης καθορίζεται επίσης από την περιοχή εξάπλωσης του είδους και το σκοπό της μελέτης (Barbet-Massin et al. 2012). Η επιλογή κλιματικών δεδομένων είναι κατάλληλη για μεγάλες εκτάσεις με αποτέλεσμα για είδη με στενή εξάπλωση να μην είναι σκόπιμο να συμπεριληφθούν αν το κλίμα δεν επηρεάζεται σε τόσο μικρή έκταση. Αν στόχος είναι η διαχείριση μια περιοχής, η επιλογή της έκτασης περιορίζεται και εξετάζονται περιβαλλοντικές παράμετροι που επιδρούν σε μικρότερη κλίμακα όπως είναι οι χρήσεις γης (Fourcade 2017, Pearson 2007).

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται και στα σφάλματα που εμπεριέχονται στα περιβαλλοντικά δεδομένα που προέρχονται από τηλεσκοπικά δεδομένα τα οποία προέρχονται και αυτά από μοντέλα και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την κατασκευή και ερμηνεία των SDM (Austin 2002).

Αντίστοιχα, το μέγεθος κόκκου εξαρτάται από το εύρος μετακίνησης του είδους και τον τρόπο με τον οποίο το είδος χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους (Guisan & Thuiller 2005). Μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένα συμπεράσματα κυρίως για είδη με χαμηλή διασπορά όταν για παράδειγμα, χρησιμοποιείται μεγάλο μέγεθος κόκκου σε σχέση με το εύρος μετακίνησης του είδους. Σε αυτή την περίπτωση, το μοντέλο θεωρεί μια μεγαλύτερη περιοχή ως περιοχή παρουσίας, εντός της οποίας τα ενδιαιτήματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά και στην πραγματικότητα το είδος να μην συναντάται στο σύνολο αυτής και άρα να υπερεκτιμάται η παρουσία του είδους. Όλα τα παραπάνω περιπλέκουν τα κριτήρια με τα οποία θα δημιουργηθεί ένα SDM και για αυτό δεν υπάρχουν σαφείς οδηγίες, αλλά η οικολογική γνώση και ο σκοπός είναι αυτά που καθοδηγούν τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται (Araújo et al. 2019, Araújo & Guisan 2006).

Προβολή στο μέλλον με χρήση SDMs

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια ραγδαία μείωση των πληθυσμών πολλών ειδών όπως στα αμφίβια (Gibbons et al. 2000) που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή. Το κλίμα είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εξάπλωση των ειδών σε μεγάλη κλίμακα (Soberón 2007). Η κλιματική αλλαγή σχετίζεται με άμεσες μεταβολές στο κλίμα επηρεάζοντας βασικές κλιματικές

παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Επιδρά και έμμεσα μέσα από μεταβολές στο περιβάλλον όπως η φυτοκάλυψη με αποτέλεσμα την επίδραση και στους οργανισμούς. Οι μεταβολές αυτές αφορούν και τα ερπετά λόγω της οικοφυσιολογίας τους και των περιορισμένων ικανοτήτων απόκρισης στις ραγδαίες αυτές μεταβολές του περιβάλλοντός τους(Gonçalves et al. 2014, Araújo et al. 2006, Gibbons et al. 2000).

Τα κλιματικά μοντέλα αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για την παρακολούθηση του παγκόσμιου κλίματος και την πρόβλεψη των κλιματικών συνθηκών στο μέλλον (Santini et al. 2021, Araújo et al. 2006). Η πιο διαδεδομένη χρήση των κλιματικών μοντέλων είναι η εκτίμηση της πορείας της παγκόσμιας θερμοκρασίας εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου που προκαλεί την κλιματική αλλαγή. Έτσι χρησιμοποιούνται ευρέως και στη διερεύνηση των πιθανών αποκρίσεων των ειδών στην κλιματική αλλαγή (Araújo et al. 2006, Elith & Leathwick, 2009).

Η αξιοποίηση των μοντέλων κλιματικής αλλαγής για τη διερεύνηση της απόκρισης των ειδών έχει αυξημένους περιορισμούς και χρειάζονται πιο αυστηρά κριτήρια όταν εφαρμόζονται (Santini et al. 2021, Sequeira et al. 2018). Τα κλιματικά μοντέλα έχουν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και δεν υπάρχει ιδανικό κλιματικό μοντέλο (Beaumont et al. 2008). Επιπλέον, στις περισσότερες περιπτώσεις τα κλιματικά δεδομένα διατίθενται σε μεγάλες κλίμακες (πχ. 2,5 arc min ~ 5 km) (Hijmans et al. 2005) οι οποίες δεν μπορούν να ληφθούν υπόψιν όταν στόχος είναι η διαχείριση μιας περιοχής σε τοπικό επίπεδο. Για την εφαρμογή των σεναρίων κλιματικής αλλαγής θα πρέπει τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται να είναι αντιπροσωπευτικά όλων των ενδιαιτημάτων που εντοπίζεται το είδος μελέτης (Santini et al. 2021, Soberón & Peterson 2005). Αυτό σημαίνει ότι το είδος μπορεί να αντέχει σε μεγαλύτερα εύρη κλιματικών συνθηκών αλλά να μην υπάρχουν πληθυσμοί σε αντιπροσωπευτικά περιβάλλοντα λόγο φραγμών, που οδηγεί σε μια ψευδή ανυπαρξία κατά τη πρόβλεψη της κατανομής (Soberón & Peterson 2005).

Σκοπός της εργασίας

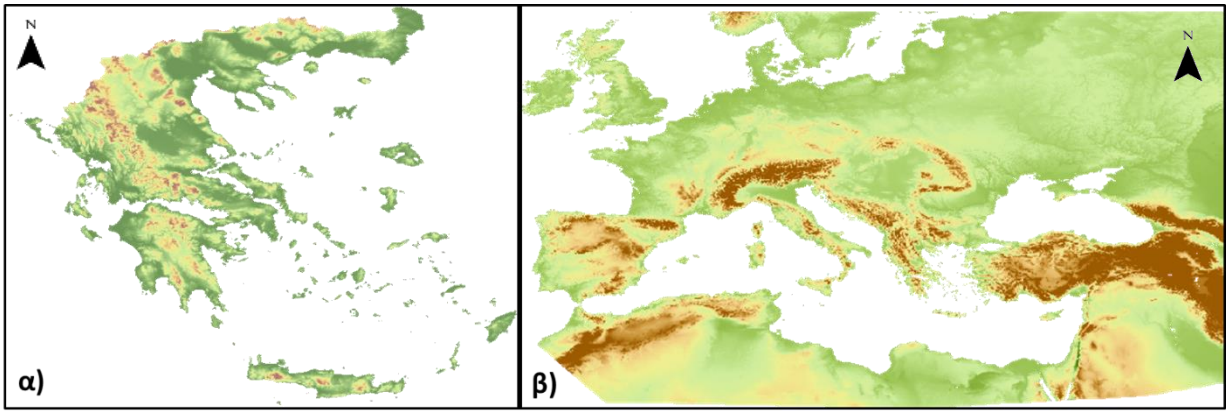
Στην παρούσα εργασία μελετώνται 12 είδη σαυρών που ανήκουν στις οικογένειες Lacertidae (*Algyroides nigropunctatus, Algyroides moreoticus*), Scincidae (*Ablepharus kitaibelii, Ablepharus budaki, Ophiomorus punctatissimus, Ophiomorus kardesi, Heremites auratus, Chalcides ocellatus*), Blanidae (*Blanus strauchii*), Anguidae (*Anguis cephallonica*, *Anguis graeca, Anguis fragilis*) και χρησιμοποιούνται SDMs προκειμένου να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα

- Ποια είναι η εξάπλωση των υπό μελέτη ειδών στην Ελλάδα;
- Ποιες περιβαλλοντικές μεταβλητές καθορίζουν την εξάπλωση των ειδών ενδιαφέροντος στην Ελλάδα και στην ευρύτερη εξάπλωσή τους στην Ευρασία;
- Πώς θα αποκριθούν τα είδη στην κλιματική αλλαγή;

Υλικά και μέθοδοι

Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Ελλάδα για τη μελέτη των προτύπων κατανομής σε τοπικό επίπεδο και η περιοχή της Ευρασίας για τη μελέτη σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η διερεύνηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα είδη έγινε σε επίπεδο Ευρασίας καθώς η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει σημαντικά τις κατανομές των ειδών και θα οδηγήσει πολλά είδη σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και μεγαλύτερα υψόμετρα (Araújo et al. 2006).



Εικόνα 3 Οι περιοχές μελέτης α) Ελλαδικός χώρος, β) Ευρασία

Δεδομένα παρουσίας

Συλλογή δεδομένων παρουσίας

Για τη συλλογή των δεδομένων παρουσίας συγκεντρώθηκαν δεδομένα από τις συλλογές του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Κρήτης (ΜΦΙΚ), τη διαθέσιμη σχετική βιβλιογραφία και δεδομένα από το Πρόγραμμα παρακολούθησης της βιοποικιλότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) που πραγματοποιήθηκε το 2014 (Μελέτη 5: Εποπτεία και Αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης ειδών αμφιβίων/ερπετών κοινοτικού ενδιαφέροντος στην Ελλάδα).

Για την περιοχή της Ευρασίας χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω δεδομένα και συμπληρώθηκαν δεδομένα παρουσίας από την ανοιχτή βάση δεδομένων, Διεθνή Διευκόλυνση Πληροφοριών για τη Βιοποικιλότητα (GBIF ή Global Biodiversity Information Facility, www.gbif.org).

Δεδομένα από την GBIF χρησιμοποιήθηκαν και για την Ελλάδα στις περιπτώσεις του *A. cephallonica* για τη δημιουργία SDMs. Για κάποια είδη προστέθηκαν ορισμένες καταγραφές από εργασίες όπως θα διευκρινιστεί παρακάτω.

Επεξεργασία δεδομένων παρουσίας

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή τα δεδομένα παρουσίας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά, ακριβή και αμερόληπτα (Guisan & Zimmerman 2000, Naimi et al. 2014) Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες επεξεργασίες των δεδομένων.

- Πραγματοποιήθηκε έλεγχος των δεδομένων σχετικά με αναθεωρήσεις στα ονόματα των ειδών (πχ. ο πληθυσμός του *O. punctatissimus* στο Καστελόριζο έχει διαχωριστεί στο διακριτό είδος *O. kardesi*).
- Στη σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνονται πληροφορίες για τις θέσεις καταγραφής είτε ως αναλυτική περιγραφή της τοποθεσίας όπου βρέθηκε το είδος είτε ως ακριβείς συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος) με χρήση GPS. Στην πρώτη περίπτωση δόθηκαν συντεταγμένες σύμφωνα με την περιγραφή της τοποθεσίας με τη χρήση του λογισμικού Google Earth Pro v. 7.3.4.8248. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν επίσης έναν κωδικό (1-4) στη βάση δεδομένων του ΜΦΙΚ για την αξιολόγηση της ακρίβειας της δοθείσας τοποθεσίας.

<u>κωδικός 1:</u> **πολύ υψηλή ακρίβεια,** αφορά ζεύγος συντεταγμένων που πάρθηκαν με GPS

<u>κωδικός 2:</u> **μέτρια ακρίβεια**, αφορά περιπτώσεις που δίνεται αναλυτική περιγραφή της τοποθεσίας, χωρίς να έχει χρησιμοποιηθεί GPS, και είναι δυνατό να δοθούν ασφαλείς συντεταγμένες μέσω Google Earth

<u>κωδικός 3:</u> **χαμηλή ακρίβεια**, η περιγραφή της τοποθεσίας στην οποία υπάρχει το είδος είναι γενική και δεν είναι δυνατό να εξαχθούν συντεταγμένες χρήσιμες για την κατασκευή μοντέλων δυνητικής κατανομής (μέγιστη απόσταση αβεβαιότητας 5 χλμ.)

<u>κωδικός 4:</u> **πολύ χαμηλή ακρίβεια**, σε επίπεδο νομού ή περιφέρειας. Δεδομένα με κωδικό 4 δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία

- Με κριτήριο την ακρίβεια των συντεταγμένων, δημιουργήθηκαν δύο ομάδες δεδομένων με βάση το σκοπό. Το πρώτο περιλαμβάνει τα δεδομένα για τον Άτλαντα κατανομής των ειδών και το δεύτερο για τα SDM. Για τον Άτλαντα χρησιμοποιήθηκαν οι κωδικοί 1,2 και 3 και για τα SDM οι κωδικοί 1 και 2. Οι κωδικοί 1 και 2 εξασφαλίζουν την υψηλή ακρίβεια των συντεταγμένων που χρειάζονται τα SDM για την περιγραφή των οικολογικών θώκων των ειδών. Η χιλιομετρική διαφορά των δοθέντων συντεταγμένων και των πραγματικών για τον κωδικό 3 μπορεί να είναι τέτοια που τα ενδιαιτήματα να διαφέρουν σημαντικά και να εισαχθούν τελικά στο μοντέλο λανθασμένες πληροφορίες για τις οικολογικές απαιτήσεις τους είδους.

- Αντίστοιχα στα δεδομένα που πάρθηκαν από την GBIF έγινε διαλογή των δεδομένων και επιλέχθηκαν εκείνα που είχαν μέχρι 1000 μέτρα αβεβαιότητα στις δοθείσες συντεταγμένες από τις πραγματικές, όσο δηλαδή είναι το μέγεθος του κόκκου.
- Ορισμένα σημεία που τοποθετούνταν ακριβώς έξω από την περιοχή μελέτης όπως ορίστηκε από τα περιβαλλοντικά δεδομένα, μετακινήθηκαν λίγα μέτρα ώστε να συμπεριληφθούν στη μελέτη. Σε αυτές τις περιπτώσεις έγινε η παραδοχή ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των δύο σημείων και είναι επιτρεπτή μια τέτοια διόρθωση.
- Αφαιρέθηκαν επίσης σημεία τα οποία στο χάρτη τοποθετούνταν στη θάλασσα καθώς άτομα των ειδών που μελετάμε δεν θα μπορούσαν να εντοπίζονται στη θάλασσα. Συχνά τέτοια λάθη προκύπτουν όταν το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος ορίζονται αντίστροφα.
- Αφαιρέθηκαν διπλότυπα δεδομένα.

Στην περίπτωση του *Anguis cephallonica* προσθέσαμε δεδομένα παρουσίας από την ψηφιακή βάση δεδομένων της GBIF (https://www.gbif.org/, 9.11.2021) ώστε να συγκεντρώσουμε έναν επαρκή αριθμό καταγραφών για την δημιουργία SDM. Οι αρχικές καταγραφές ήταν 36 και προστέθηκαν 36 από τη βάση δεδομένων. Αυτό έγινε καθώς με την αραίωση των αρχικών δειγμάτων, προέκυπταν λιγοστά σημεία που δεν επαρκούν για τη δημιουργία μοντέλων. Για την αραίωση των δειγμάτων γίνεται αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο. Στη βιβλιογραφία προτείνεται ως ελάχιστος αριθμός σημείων τα 30 ώστε το μοντέλο να είναι αξιόπιστο (Wisz et al. 2008).

Για το *Blanus strauchii* προστέθηκαν επίσης οι συντεταγμένες από τις καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία των Şahin et al. (2021). Με βάση την εργασία αυτή αφαιρέθηκαν επίσης οι καταγραφές της GBIF που δεν αντιστοιχούν στο είδος.

Για τα είδη του γένους Anguis επίσης πραγματοποιήθηκαν διορθώσεις στις καταγραφές της GBIF ακολουθώντας το πρότυπο εξάπλωσης των ειδών του γένους όπως περιγράφονται στην τελευταία εργασία των Jablonski et al. (2021).

Για το *Ablepharus kitaibelii* προστέθηκαν οι συντεταγμένες που φαίνονται στην Τουρκία και στη Σερβία σύμφωνα με τις εργασίες των Skourtanioti et al. (2016) και Tomović et al. (2014) αντίστοιχα.

Αραίωση δειγμάτων (spatial thinning)

Σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται πληθώρα καταγραφών σε μια περιοχή ενώ άλλες παρουσιάζονται πιο φτωχές χωρίς αυτό να σημαίνει ότι στις δεύτερες το είδος έχει πιο ασθενή παρουσία. Συχνά τέτοιες διαφοροποιήσεις σχετίζονται με το σκοπό της δειγματοληψίας, την προσπάθεια που δόθηκε σε κάθε περίπτωση και την προσβασιμότητα της περιοχής (Phillips et al. 2009). Η επερχόμενη μεροληψία υπέρ ορισμένων περιοχών όπως εμφανίζεται στο μοντέλο, συχνά, δεν είναι πραγματική, δεν εμφανίζεται δηλαδή το είδος περισσότερο σε αυτές, αλλά σχετίζεται αποκλειστικά με τα δεδομένα που προσφέρονται στο μοντέλο και άρα με τα διαθέσιμα στίγματα (Pearson 2009). Προκειμένου να μειωθεί αυτή η μεροληψία τα δείγματα αραιώθηκαν με χωρικό κριτήριο ανάλογα με το είδος, την κατανομή και την πυκνότητα των στιγμάτων όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Για τη χωρική αραίωση δημιουργήθηκαν με τυχαίο τρόπο 100 σετ δεδομένων για κάθε είδος και επιλέχθηκε εκείνο που διατηρεί τα περισσότερα στίγματα.

Είδος	Ελλάδα	Ευρασία
Ablepharus kitaibelii	10 χλμ	20 χλμ
Algyroides nigropunctatus	10 χλμ	15 χλμ
Algyroides moreoticus	10 χλμ	10 χλμ
Ophiomorus punctatissimus	10 χλμ	10 χλμ
Anguis graeca	10 χλμ	10 χλμ
Anguis cephallonica	10 χλμ	10 χλμ
Pseudopus apodus	10 χλμ	15 χλμ
Chalcides ocellatus	15 χλμ	20 χλμ
Blanus stauchii	-	10 χλμ

Πίνακας 3 Χωρικό κριτήριο αραίωσης για την Ελλάδα και την Ευρασία

Δεδομένα υποβάθρου και δεδομένα ψευδο-απουσίας

Με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, εκτός από τα δεδομένα παρουσίας απαιτούνται και δεδομένα απουσίας, δηλαδή συντεταγμένες περιοχών όπου γνωρίζουμε ότι το είδος δεν υπάρχει. Παρότι τα δεύτερα είναι δύσκολο να συγκεντρωθούν, είναι λίγες οι μέθοδοι που βασίζονται αποκλειστικά σε δεδομένα παρουσίας (BIOCLIM, DOMAIN, OM-GARP, Support Vector Machines, Giovanelli et al. 2010).

Ο αλγόριθμος MaxEnt λανθασμένα αναφέρεται ως τέτοια καθώς απαιτεί τη χρήση δεδομένων υποβάθρου. Ο **MaxEnt** αυξάνει την προβλεπτική του ικανότητα όταν χρησιμοποιούνται περίπου 10.000 **δεδομένα υποβάθρου** (Elith et al. 2011, Phillips & Dudik 2008, Phillips et al. 2006). Τα δεδομένα υποβάθρου (background points) δεν στοχεύουν στο να προβλέψουν τις περιοχές που δεν εμφανίζεται το είδος αλλά στο να χαρακτηρίσουν τα ενδιαιτήματα (environments) της περιοχής μελέτης (Phillips et al. 2009).

Οι μέθοδοι GLM, RF, BRT και MARS, όπως περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, χρειάζονται και τις δύο ομάδες δεδομένων (Elith et al. 2006). Για αυτές, καθώς δεν διαθέτουμε πραγματικά δεδομένα απουσίας, δημιουργήθηκαν τα δεδομένα **ψευδο-απουσιών.** Παρότι δεν υπάρχει απόλυτος κανόνας για την επιλογή του αριθμού των ψευδο-απουσιών, επιλέχθηκε ίσος αριθμός ψευδο-απουσιών με τις παρουσίες σε κάθε είδος (Barbet-Massin et al. 2012).

Η περιοχή μελέτης είναι επίσης πολύ βασική για τα SDM και η επιλογή των δεδομένων απουσίας μπορεί να επηρεαστεί ισχυρά από πολύ περιορισμένη περιοχή μελέτης ή επίσης από πολύ εκτεταμένη περιοχή σε σχέση με την πραγματική κατανομή (Barbet-Massin et al. 2012. Phillips et al. 2009). Για το σκοπό αυτό τα δεδομένα υποβάθρου και τα δεδομένα ψευδο-απουσιών δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού R (R Core Team. 2015) με το πακέτο biomod2 (Thuiller et al. 2021) ώστε να δημιουργηθούν σύμφωνα με τη στρατηγική disk. Με τη στρατηγική αυτή μπορεί να οριστεί η ελάχιστη και η μέγιστη απόσταση των δεδομένων από τις καταγραφές του είδους.

Ως μέγιστη απόσταση από τα δεδομένα παρουσίας επιλέχθηκαν τα 50 χλμ για την Ελλάδα και τα 100 χλμ για την Ευρασία και ως ελάχιστη τα χιλιόμετρα με τα οποία πραγματοποιήθηκε και η αραίωση των στιγμάτων. Η μέγιστη απόσταση ορίζει την περιοχή μελέτης και μειώνει την πιθανότητα να πάρουμε ψευδο-απουσίες από περιοχές όπου το είδος δεν θα μπορούσε να υπάρχει και άρα να τροφοδοτήσουμε το μοντέλο με λιγότερο χρήσιμα δεδομένα.

Με αυτό τον τρόπο τα δεδομένα υποβάθρου και ψευδο-απουσίας έχουν την ίδια μεροληψία με τα δεδομένα παρουσίας και μειώνεται η πιθανότητα το μοντέλο να επικεντρωθεί στη μεροληψία των δεδομένων αλλά στη διάκριση μεταξύ των ενδιαιτημάτων που εντοπίζεται το είδος και εκείνων από όπου απουσιάζει (Phillips et al. 2009).

Ορίζοντας την ελάχιστη απόσταση των ψευδο-απουσιών από τις παρουσίες μετριάζεται η πιθανότητα να δημιουργηθούν ψευδο-απουσίες εντός του οικολογικού θώκου του είδους (Barbet-Massin et al. 2012). Στον αλγόριθμο MAXENT δεν ορίστηκε ελάχιστη απόσταση καθώς τα δεδομένα υποβάθρου περιγράφουν την περιοχή μελέτης (Phillips et al. 2006).

Περιβαλλοντικά δεδομένα

Κριτήρια επιλογής και συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων

Επιλέχθηκαν περιβαλλοντικές παράμετροι οι οποίες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία επηρεάζουν άμεσα (θερμοκρασία, βροχόπτωση) ή έμμεσα (υψόμετρο, μητρικό πέτρωμα) την οικολογία των ειδών ενδιαφέροντος (Petrosyan et al. 2019, Martins et al. 2014, García-Muñoz & Carretero 2013, Austin 2007, Qian et al. 2007, Rodríguez et al. 2005, Walther et al. 2002, Smith & Ballinger 2001, Currie 1991). Παράλληλα καθορίστηκαν και από τη διαθεσιμότητα των περιβαλλοντικών δεδομένων από τις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων.

Βιοτικές αλληλεπιδράσεις δεν χρησιμοποιήθηκαν καθώς δημιουργούν πολύπλοκες σχέσεις που είναι δύσκολα κατανοητές (Gilman et al. 2010) και δρουν σε μικρότερες κλίμακες χωρίς να επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την κατανομή των ειδών στην μεγάλη κλίμακα (Peterson et al. 2011).

Βιοκλιματικά δεδομένα

Η επίδραση του κλίματος στην κατανομή των ειδών μπορεί να είναι είτε άμεση, καθώς τα άτομα μπορεί να δαπανούν μικρότερα ποσά ενέργειας για την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη, είτε έμμεση καθώς το κλίμα επηρεάζει και τη διαθεσιμότητα πόρων (resources) μέσα από την πρωτογενή παραγωγικότητα και τον επακόλουθο ανταγωνισμό (Lennon et al. 2000).

Για την μελέτη της επίδρασης του κλίματος στην κατανομή των ειδών χρησιμοποιήθηκαν βιο-κλιματικά δεδομένα τα οποία ανακτήθηκαν από την ηλεκτρονική βάση δεδομένων του WorldClim-Global Climate Data (http://worldclim.org).

Το WorldClim προσφέρει ένα δωρεάν και ανοιχτό σύνολο κλιματικών δεδομένων που προέρχονται από σταθερούς χερσαίους σταθμούς υψηλής ανάλυσης παρεμβολής (Hijmans et al. 2005). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για 19 βιοκλιματικές μεταβλητές (Πίνακας 4) v2.1 οι οποίες προέρχονται από βασικές κλιματικές παραμέτρους όπως η βροχόπτωση και η μέγιστη/ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο 1970-2000.

Συγκεντρώθηκαν επίσης δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία (srad, solar radiation) για την περίοδο 1970-2000. Επιλέχθηκε η χρήση του μέσου όρου για τους μήνες Ιανουάριος και Ιούνιος ως ενδεικτικοί μήνες για την ελάχιστη και τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Και στις δύο περιπτώσεις τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν σε ανάλυση 30 arc-seconds (έκδοση 4.1). Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ζωτικής σημασίας για τους εξώθερμους οργανισμούς καθώς χρησιμοποιούν εξωτερικές πηγές ενέργειας για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματός τους (Rodríguez et al. 2005, Qian et al. 2007).

Προβολή στο μέλλον

Για την προβολή στο μέλλον επιλέχθηκαν οι αντίστοιχες βιοκλιματικές μεταβλητές από τη βάση δεδομένων CHELSA (Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas, Karger et al. 2017) V2. Τα δεδομένα αυτά (bio1-bio19) συγκεντρώθηκαν σε ανάλυση 1 arc second από την χρονική περίοδο 1980-2010 και τα αντίστοιχα δεδομένα για την περίοδο 2041-2070 για το κλιματικό σενάριο IPSL-CM6-Low Resolution/ SSP5.85 (Boucher et al. 2020) ώστε να είναι συγκρίσιμοι οι χάρτες καταλληλότητας. Για το κλιματικό μοντέλο επιλέχθηκαν τα δεδομένα από την CHELSEA καθώς προσφέρει μελλοντικά δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης (1 arc second) σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα του WorldClim (2,5 arc minutes).

Πίνακας 4 Οι βιοκλιματικές μεταβλητές που συγκεντρώθηκαν από τις βάσεις δεδομένων WorldClim και CHELSEA

	Βιοκλιματικές μεταβλητές	**Μονάδα μέτρησης**
Bio01	Μέση Ετήσια Θερμοκρασία	◦C
Bio02	Μέσο ημερήσιο εύρος (Μέση μηνιαία τιμή (max Θ - min Θ))	◦C
Bio03	Ισοθερμικότητα (BIO2/BIO7) (*100)	-
Bio04	Εποχικότητα Θερμοκρασίας (τυπική απόκλιση *100)	C ή V
Bio05	Μέγιστη Θερμοκρασία του θερμότερου μήνα	◦C
Bio06	Ελάχιστη Θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα	◦C
Bio07	Ετήσιο εύρος Θερμοκρασίας (BIO5-BIO6)	◦C
Bio08	Μέση Θερμοκρασία του υγρότερου τριμήνου	◦C
Bio09	Μέση Θερμοκρασία του ξηρότερου τριμήνου	◦C
Bio10	Μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου	◦C
Bio11	Μέση Θερμοκρασία του ψυχρότερου τριμήνου	◦C
Bio12	Ετήσια Βροχόπτωση	mm
Bio13	Βροχόπτωση του υγρότερου μήνα	mm
Bio14	Βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα	mm
Bio15	Εποχικότητα Βροχόπτωσης (Συντελεστής Διακύμανσης)	mm
Bio16	Βροχόπτωση του υγρότερου τριμήνου	mm
Bio17	Βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου	mm
Bio18	Βροχόπτωση του θερμότερου τριμήνου	mm
Bio19	Βροχόπτωση του ψυχρότερου τριμήνου	mm

Χρήσεις γης

Τα φυσικά οικοσυστήματα έχουν κατακερματιστεί σε σημαντικό βαθμό από την ανθρώπινη δραστηριότητα και την κλιματική αλλαγή που έχουν εντατικοποιηθεί τον τελευταίο αιώνα με αποτέλεσμα την υποβάθμιση τους (Joly 2003). Οι αλλαγές στις χρήσεις γης επιδρούν άμεσα στην κατανομή και τον πλούτο των ειδών επηρεάζοντας άμεσα την ετερογένεια του τοπίου (Gonçalves et al. 2016, Martins et al. 2014).

Τα δεδομένα για την κάλυψη γης/χρήσεις γης τόσο για την Ελλάδα όσο και για την Ευρασία ανακτήθηκαν από την ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος και του προγράμματος παρατήρησης της Γης των Ηνωμένων Εθνών Copernicus όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 σε ανάλυση 100 m.

Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς NDVI

Η παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων επηρεάζει τον πλούτο των ειδών (species richness) σε ένα ενδιαίτημα (Qian et al. 2007). Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ο NDVI που δημιουργήθηκε από τον αισθητήρα MODIS (Moderate resolution Imaging Spectro-radiometer) για την περίοδο 2000-2017 σε μέγεθος κόκκου 1 km.

Ο δείκτης αυτός, όπως και οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης, βασίζεται στις φασματικές ιδιότητες της χλωροφύλλης και εκμεταλλεύεται τη διαφορά μεταξύ της ορατής και κοντά στο υπέρυθρο ακτινοβολίας που ανακλώνται από τη χλωρίδα. Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Tucker 1979) υπολογίζεται από τη σχέση

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{VIS})}{(\text{NIR} + \text{VIS})}$$

όπου NIR: εγγύς υπερύθρου ακτινοβολία, VIS: ορατή ακτινοβολία

Η ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων αυτών δίνει πληροφορίες για την κάλυψη της γης και ο δείκτης εκτιμά το ποσοστό της βλάστησης σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) (Jorcin et al. 2019).

Πιθανή εξατμισιοδιαπνοή (PET, Potential EvapoTranspiration)

Αποτελεί μέτρο της ικανότητας της ατμόσφαιρας να απομακρύνει το νερό από την επιφάνεια τόσο μέσω της εξάτμισης όσο και της διαπνοής (Kirkham 2014). Η πιθανή εξατμισιοδιαπνοή είναι πολύ σημαντική για τις διαδικασίες που σχετίζονται με την εξισορρόπηση του νερού. Για τα ερπετά είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στις σχέσεις περιβάλλοντος-πλούτου ειδών (Qian et al. 2007, Rodríguez et al. 2005) οπότε και κρίθηκε απαραίτητο να συμπεριληφθεί στις επεξηγηματικές μεταβλητές.

Συλλέχθηκαν τα δεδομένα από τον αισθητήρα MODIS για την περίοδο 2005-2015, με μετρήσεις ανά 8 ημέρες και σε ανάλυση 500 m (Πίνακας 5).

Υψόμετρο

Τοπογραφικά χαρακτηριστικά όπως το υψόμετρο επιδρούν άμεσα ή έμμεσα στη θερμοκρασία, στα χαρακτηριστικά του εδάφους ή στην ηλιακή ακτινοβολία (Miller 2010) με αποτέλεσμα να επιδρούν και στη βιολογία των ειδών οπότε και κρίθηκε απαραίτητη η εξέτασή του για τις

Πίνακας 5 Πρωτογενή χαρακτηριστικά περιβαλλοντικών δεδομένων και οι πηγές ανάκτησής τους.

Περιβαλλοντικοί παράγοντες	Περιοχή μελέτης	Πρωτογενή δεδομένα	Τιμή που χρησιμοποιήθηκε	Πηγή
Βιοκλιματικά δεδομένα (19)	Ελλάδα Ευρασία	30'' 1970-2000 WGS84	Μέσος όρος τιμών	http://www.worldclim.com/version2
	Ευρασία	30'' 1981-2010 WGS85	Μέσος όρος τιμών	https://chelsaclimate.org/
	Ελλάδα	30'' 2041-2070 WGS84	Μέσος όρος τιμών	
Ηλιακή ακτινοβολία (srad)	Ελλάδα Ευρασία	30 arc second 16day 1970-2000 WGS84	Μέση τιμή Ιανουαρίου, Μέση τιμή Ιουνίου	https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html
Πιθανή εξατμισιοδιαπνοή (PET)	Ελλάδα	500m^2 8day 2005-2015 WGS84	Μέση τιμή Ιανουαρίου Μέση τιμή Ιουνίου	https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006
Υψόμετρο (SRTM)	Ελλάδα Ευρασία	90m^2 WGS84		https://srtm.csi.cgiar.org/
Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)	Ελλάδα Ευρασία	1km WGS84	Μέση τιμή Ιανουαρίου Μέση τιμή Ιουνίου	https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13a2v006/
Χρήσεις γης (Land cover)	Ελλάδα	100m^2 ETRS89	Χτισμένες περιοχές, καλλιέργειες, δάση, θαμνώδεις_ποώδεις περιοχές, εσωτερικά ύδατα, χωρίς/αραιή_βλάστηση,	https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-land-cover Land cover 2018
	Ευρασία	100m^2 WGS84	Δάση, θαμνότοποι, ποώδης βλάστηση, υγρότοποι με ποώδη βλάστηση, χωρίς βλάστηση_αραιή βλάστηση, καλλιέργειες	https://lcviewer.vito.be/2015 (v.3.0.1)
Ανθρώπινος πληθυσμός	Ευρασία	30 '' WGS84	Μέσος όρος πληθυσμού (άνω των 24ωρών)	https://landscan.ornl.gov/lspop2017

σαύρες που επηρεάζονται από το περιβάλλον τους.

Τα υψομετρικά δεδομένα προέρχονται από την ειδική αποστολή του δορυφορικού ραντάρ SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Παρέχονται σε ψηφιακή μορφή ως ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους (Digital elevations models, DEMs) που αποτελούν μια τρισδιάστατη αντιπροσώπευση του ανάγλυφου του εδάφους (Reuter et al. 2007).

Το υψόμετρο είναι η μόνη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση της μελέτης της δυνητικής κατανομής των ειδών στο μέλλον μαζί με τα κλιματικά δεδομένα καθώς επιδρά σε σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων και δεν μεταβάλλεται σε αυτή την κλίμακα χρόνου που μελετήθηκε.

Μητρικό πέτρωμα

Ο σχηματισμός και οι ιδιότητες του εδάφους καθορίζονται από το μητρικό πέτρωμα. Καθώς εκτίθεται στην επιφάνεια της γης μετασχηματίζεται σύμφωνα με φυσικές και χημικές διαδικασίες. Πολύ συμπαγή πετρώματα δεν επιτρέπουν τη δημιουργία σχισμών και διάκενων ενώ πετρώματα όπως ο ασβεστόλιθος, ο οποίος διαβρώνεται ή αμμώδη εδάφη μπορούν να φιλοξενήσουν σαύρες και να δημιουργήσουν θέσεις φωλεοποίησης.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χάρτης raster για το μητρικό πέτρωμα (PAR-MA-DOM, parent material dominant) από την Ευρωπαϊκή Βάση Εδαφολογικών Δεδομένων (European Soil Databases), έκδοση 2.0 σε κλίμακα 1 km (Panagos et al. 2012) .

Εδαφολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μόνο στην περίπτωση της Ελλάδας.

Επεξεργασία περιβαλλοντικών δεδομένων

Όλοι οι πληροφοριακοί χάρτες συγκεντρώθηκαν με τη μορφή ψηφιδωτών (grid) αρχείων (raster) από τις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 όπου και φαίνονται και τα στοιχεία των πρωτογενών δεδομένων. Η αναγκαία επεξεργασία των raster πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος ArcGIS Pro v. 2.8.0, ώστε να έχουν όλοι τα παρακάτω χαρακτηριστικά

- Το ίδιο μέγεθος κόκκου: Το μέγεθος κόκκου στο οποίο προσαρμόστηκαν όλοι οι χάρτες ήταν τα 30 arc second (~1 km). Σε ορισμένες περιπτώσεις η πληροφορία υποβαθμίστηκε και σε άλλες αναβαθμίστηκε, καθώς τα πρωτογενή δεδομένα συγκεντρώθηκαν σε διαφορετικές κλίμακες.

- Την ίδια έκταση για την Ελλάδα και για την Ευρασία αντίστοιχα, δηλαδή να έχουν ίδιο αριθμό στηλών και γραμμών κελιών. Επιπλέον, επεξεργάστηκαν ώστε όλοι οι raster ώστε να συμπέφτουν σε επίπεδο κελιού.

- Κοινό προβολικό σύστημα: Το προβολικό σύστημα που επιλέχθηκε είναι το ελλειψοειδές Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1984 (WGS '84) το οποίο έχει ευρεία εφαρμογή και τα παραγόμενα αποτελέσματα μπορούν να εφαρμοστούν και άλλες μελέτες.

Το μέγεθος κόκκου επιλέχθηκε στα 30 arc second καθώς δεν διαθέτουμε κλιματικά δεδομένα για την Ελλάδα και την Ευρασία σε υψηλότερη ανάλυση. Για να εξασφαλιστεί η ομοιότητα στην έκταση, χρησιμοποιήθηκε ως χάρτης-βάση ο υψομετρικός χάρτης καθώς θεωρήσαμε ότι είναι πιο αντιπροσωπευτικός για την ακτογραμμή του ελλαδικού χώρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάστηκε να προστεθούν κελιά και να δοθούν σε αυτά τιμές με βάση τα γειτονικά και σε άλλες περιπτώσεις να αποκοπούν κελιά.

Για ορισμένες περιβαλλοντικές μεταβλητές (NDVI, PET, srad) πραγματοποιήθηκε μια επιπρόσθετη επεξεργασία όπως ο υπολογισμός και η χρήση των μέσων όρων για τους μήνες Ιανουάριος και Ιούνιος καθώς θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί μήνες για τις ακραίες τιμές των αντίστοιχων περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Για τις κατηγορικές μεταβλητές μητρικό πέτρωμα και χρήσεις γης πραγματοποιήθηκε αναταξινόμηση των κατηγοριών (reclassify) ώστε να μειωθεί ο αριθμός επεξηγηματικών μεταβλητών που εισήχθησαν στο μοντέλο και να αποφευχθεί η υπερπροσαρμογή (overfitting) του μοντέλου.

Συγκεκριμένα, για το μητρικό πέτρωμα, οι διαθέσιμες κλάσεις μετατράπηκαν σε τρεις με βάση την ικανότητα των πετρωμάτων να δημιουργούν διάκενα, σχισμές και δυνητικές θέσεις φωλεοποίησης (βλ. Παράρτημα). Η ταξινόμηση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του Δρ. Φασουλά Χαράλαμπου, Υπεύθυνου τμήματος Γεωποικιλότητας Μ.Φ.Ι.Κ..

Οι νέες κλάσεις που δημιουργήθηκαν είναι

0 – πολύ συμπαγή πετρώματα - δεν δημιουργούν διάκενα

1 – υπό συνθήκες μπορούν να δημιουργήσουν διάκενα

2- δημιουργούν διάκενα

Οι χρήσεις γης, μετατράπηκαν σε ποσοτικές μεταβλητές εξάγοντας το ποσοστό κάθε κατηγορίας σε κάθε κελί. Το ποσοστό αυτό αφορά στη μετάβαση από το αρχικό μέγεθος κόκκου 100μ στα 30 arc που χρησιμοποιήθηκαν. Ακολούθως, για κάθε κατηγορία από τις χρήσεις γης δημιουργήθηκε ξεχωριστός raster σε δυαδική μορφή, με τιμή 1 για τα κελιά που επικρατεί η συγκεκριμένη χρήση γης και 0 για τις υπόλοιπες. Στο μοντέλο εισήχθησαν ως ξεχωριστές περιβαλλοντικές παράμετροι.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε και στην Ελλάδα και στην περίπτωση της Ευρασίας όπως φαίνεται στους Πίνακες 6, 7. Οι κατηγορίες όπως δίνονται στο πρωτογενείς χάρτες φαίνονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 6 Κατηγορίες κάλυψης γης για την Ευρασία όπως διαμορφώθηκαν μετά την επανακατηγοριοποίηση των αρχικών κατηγοριών.

Κατηγορίες κάλυψης γης για την Ευρασία	Κωδικοποίηση
Δάση	Forests
Θαμνότοποι	Shrublands
Ποώδης βλάστηση	Herbaceous_vegetation
Υγρότοποι με ποώδη βλάστηση	Herbaceous_wetlands
Βρύα και λειχήνες	Moss_lichen
Χωρίς βλάστηση_αραιή βλάστηση	Bare_sparse_vegetation
Καλλιέργειες	Croplands
Χτισμένες περιοχές_αστικές περιοχές	Build_up
Χιόνι_πάγος	Snow_ice
Μόνιμες υδατοσυλλογές	Pernmanent_water

Πίνακας 7 Κατηγορίες κάλυψης γης για την Ελλάδα όπως διαμορφώθηκαν μετά την επανακατηγοριοποίηση των αρχικών κατηγοριών.

Κλάσεις	Κωδικοποίηση
Χτισμένες περιοχές_αστικές περιοχές	build
Καλλιέργειες	agricultural
Δάση	forests
Θαμνώδεις _ποώδεις περιοχές	shrubs
Χωρίς βλάστηση_αραιή βλάστηση	bare
Εσωτερικά ύδατα	inland
Θαλάσσια ύδατα	marine

Τέλος, όλοι οι χάρτες εισήχθησαν στο μοντέλο σε μορφή TIFF και καθένας αντιπροσωπεύει μια περιβαλλοντική παράμετρο.

Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών μεταβλητών

Γνωρίζοντας την οικολογία των ειδών και για να αποφευχθεί η υπερπροσαρμογή (overfitting), πριν από την κατασκευή των μοντέλων έγινε μια πρώτη αξιολόγηση των κλιματικών παραμέτρων. Παράμετροι με διαπιστωμένη επίδραση στην οικολογία του είδους είναι αναμενόμενο να συμβάλλουν σε ένα πιο αντιπροσωπευτικό μοντέλο (Austin 2002) και για αυτό από το σύνολο των περιβαλλοντικών παραμέτρων επιλέχθηκαν ορισμένες για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες μοντελοποίησης όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.

Ακολούθησε ο στατιστικός έλεγχος της συγγραμμικότητας τους με την ανάλυση της Διαφοράς πληθωριστικού παράγοντα (**Variance Inflation Factor ή VIF**). Η μέθοδος εξετάζει στο κάθε είδος το σύνολο των περιβαλλοντικών μεταβλητών για πολυσυγγραμμικότητα εφαρμόζοντας πολλαπλή παλινδρόμηση. Για την επίτευξη της μικρότερης συγγραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών τέθηκε ως ανώτερο όριο συγγραμμικότητας το 80%, οπότε παράμετροι με μεγαλύτερη συγγραμικότητα δεν χρησιμοποιήθηκαν (Chatterjee et al. 2006, Naimi & Araújo 2016).

Πίνακας 8 Οι περιβαλλοντικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε κατηγορία μοντελοποίησης

Μεταβλητές που επιλέχθηκαν για την Ελλάδα	**Μεταβλητές που επιλέχθηκαν για την Ευρασία**	**Μεταβλητές που επιλέχθηκαν για το κλιματικό μοντέλο και την πρόβλεψη με το ssp558**
πιθανή εξατμισιοδιαπνοή Ιανουαρίου (PETT_JAN30s), πιθανή εξατμισιοδιαπνοή Ιουνίου (PETT_JUN30s), ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN), ηλιακή ακτινοβολία Ιουνίου (srad_30s_JUN), Ετήσια μέση θερμοκρασία (WCL1_30s), Ισοθερμικότητα (WCL3_30s), Εποχικότητα θερμοκρασίας (WCL4_30s), Μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα (WCL5_30s), Ετήσια βροχόπτωση (WCL12_30s), Εποχικότητα θερμοκρασίας (WCL4_30s), Εποχικότητα θερμοκρασίας (WCL4_30s), Ετήσιο εύρος θερμοκρασίας (WCL7_3-s), Βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου (WCL17_30s), Μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου (WCL10_30s)	Ισοθερμικότητα (bio3_eu30s), Μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα (bio5_eu30s), Ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6_eu30s), Ετήσια βροχόπτωση (bio12_eu30s), Βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (bio14_eu30s), ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου(srad_1_eu30s), ηλιακή ακτινοβολία Ιουνίου (srad_6_eu30s)	Ετήσια μέση θερμοκρασία (bio1), Ισοθερμικότητα (bio3), Εποχικότητα θερμοκρασίας (bio4), Μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα (bio5), Ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6), Μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου (bio10), Μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τριμήνου (bio11), Ετήσια βροχόπτωση (bio12), Βροχόπτωση του υγρότερου τριμήνου (bio16), Βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου (bio17)
Υψόμετρο (SRTM)	Υψόμετρο (SRTM)	Υψόμετρο (SRTM)
Καλλιέργειες (agricult.ar), χτισμένες περιοχές (artificial_surf), δάση (forests),_ημι_φυσικές περιοχές (bare_herb), θαμνότοποι (shrubs)	Δάση (forests_eu30s), καλλιέργειες (croplands_eu30s) ποώδης βλάστηση (herbaceous_eu30s), χωρίς βλάστηση_αραιή βλάστηση (bare_eu30s), χτισμένες περιοχές_αστικές περιοχές (build_eu30s), θαμνότοποι (shrubs_eu30s)	
NDVI Ιουνίου (NDVI_JUN), NDVI Ιανουαρίου (NDVI_JAN),	NDVI Ιουνίου (NDVI_6_eu30s), NDVI Ιανουαρίου (NDVI_1_eu30s)	
μητρικό πέτρωμα (rocky)	(population_eu30s)	

Αλγόριθμοι μοντελοποίησης

Τα SDMs μπορούν να κατασκευαστούν με πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις που διαφέρουν στη μέθοδο να διερευνούν και να περιγράφουν τη σχέση της μεταβλητής απόκρισης με τις επεξηγηματικές μεταβλητές (Naimi & Araújo 2016, Qiao et al. 2015). Έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε δεδομένα (δεδομένα παρουσίας, δεδομένα παρουσίας/απουσίας), στη μορφή του αποτελέσματος (δυαδική ή συνεχής πρόβλεψη), στον τύπο της σχέσης που υποθέτουν (απλή γραμμική έως πολύπλοκες μη γραμμικές σχέσεις), τον τρόπο που εκτιμούν την κατανομή του είδους (παραμετρικές, μη παραμετρικές), στον τρόπο που αξιολογούν τις περιβαλλοντικές μεταβλητές και τέλος στο βαθμό που επιτρέπουν συσχετίσεις μεταξύ των τελευταίων (Elith & Leathwick 2009, Austin 2007, Elith et al. 2006, Guisan and Zimmermann 2000). Κάθε ένας εξάγει τις παραμέτρους εκείνες που εξηγούν καλύτερα την παρατηρούμενη κατανομή των θέσεων παρουσίας του είδους (Jiménez-Valverde et al. 2009). Δεν υπάρχει μέχρι σήμερα κάποια απόδειξη ότι κάποιος αλγόριθμος είναι περισσότερο αποτελεσματικός αλλά παρουσιάζουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (Qiao et al. 2015). Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλοί αλγόριθμοι και συγκεκριμένα οι MAXENT, BRT, MARS, RF, GLM.

Αλγόριθμος μέγιστης εντροπίας (MAXENT, Maximum Entropy)

Ο MAXENT είναι από τους δημοφιλέστερους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, καθώς δεν χρειάζεται δεδομένα απουσίας (Phillips et al. 2006, Phillips & Dudík 2008). Ο αλγόριθμος προβλέπει την κατανομή του είδους με βάση την αρχή της μέγιστης εντροπίας. Σύμφωνα με αυτή, η καλύτερη προσέγγιση για μια άγνωστη κατανομή είναι εκείνη που έχει τη μέγιστη εντροπία, δηλαδή πλησιάζει όσο γίνεται περισσότερο στην ομοιόμορφη. Εξασφαλίζει ότι το μοντέλο δεν θα υποθέσει τίποτα περισσότερο από τους περιορισμούς που ορίζουν τα σημεία εμφάνισης του είδους (Jaynes 1990). Η εφαρμογή της «αρχής μέγιστης εντροπίας» στην πρόβλεψη των κατανομών των ειδών υποστηρίζεται από τη εφαρμογή των θεωριών της θερμοδυναμικής σε οικολογικές διαδικασίες (Aoki 1989, Schneider and Kay 1994).

Πλεονεκτήματα: Παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα που καθιστούν εύκολη την εφαρμογή του. Από τα βασικότερα πλεονεκτήματα είναι ότι απαιτεί δύο ομάδες δεδομένων, δεδομένα παρουσίας και περιβαλλοντικά δεδομένα. Σε αντίθεση με τις τυπικές στατιστικές μεθόδους δεν απαιτεί

δεδομένα απουσίας αλλά χρειάζεται **δεδομένα υποβάθρου** (background points). Ο MAXENT φαίνεται να έχει καλά αποτελέσματα ακόμα και σε μικρό αριθμό δεδομένων (Elith et al. 2006, Pearson et al. 2007).

Ενισχυμένα δέντρα παλινδρόμησης (BRT, Boosted regression trees)

Η μέθοδος αυτή είναι μία ισχυρή μέθοδος μηχανικής μάθησης, η οποία συνδυάζει δύο τεχνικές αυτή των δέντρων παλινδρόμησης (regression trees) τα οποία συσχετίζουν τη μεταβλητή απόκρισης με τις επεξηγηματικές μεταβλητές μέσα από αναδρομικούς δυαδικούς διαχωρισμούς) και αυτήν της ενίσχυσης (boosting algorithm, μια ευέλικτη μέθοδο για το συνδυασμό πολλών μοντέλων με στόχο την καλύτερη προβλεπτική ικανότητα)(Elith et al. 2008).

Πλεονεκτήματα: Παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα των δέντρων παλινδρόμησης, δεν επηρεάζονται δηλαδή από διαφορετικές κατηγορίες επεξηγηματικών μεταβλητών και μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις μη παραμετρικών σχέσεων και να ενσωματώνουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών. Επιπλέον, ελλιπή δεδομένα (missing data) και ακραίες τιμές δεν επηρεάζουν το μοντέλο. Η χρήση πολλαπλών δέντρων προσφέρει ένα ακόμα ισχυρό πλεονέκτημα, αυτό της καλύτερης προβλεπτικής ικανότητας έναντι των μεμονωμένων δέντρων. Παρότι είναι πολύπλοκα μοντέλα, μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την οικολογία του είδους και η προβλεπτική τους ικανότητα είναι καλύτερη σε σχέση με τις τυπικές μεθόδους μοντελοποίησης (Elith et al. 2008).

Μέθοδος τυχαίων δασών (RF, Random Forest)

Ο αλγόριθμος των τυχαίων δασών προτάθηκε από τον Breiman (2001) και βασίζεται σε μια μέθοδο ιεραρχικής ταξινόμησης δέντρων (classification trees). Δημιουργεί ένα πλήθος δέντρων παλινδρόμησης (regression trees) από ένα bootstrap δείγμα των αρχικών δεδομένων. Δίνει τη δυνατότητα να μοντελοποιεί και τις μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών καθώς αποτελεί μια μη παραμετρική μέθοδο μοντελοποίησης. Τα μοντέλα από κάθε διαφορετικό υποσύνολο συνδυάζονται για την ελάχιστη διακύμανση και την εξαγωγή του τελικού μοντέλου (Drew et al 2010).

Πλεονεκτήματα: Εξαλείφει την αδυναμία της μεθόδου CART (Cassification And Regression Trees) για χαμηλή ακρίβεια όταν εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακα (Thuiller et al. 2003). Οι αλγόριθμοι RandomForest και BRT λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο (Liu et al. 2011) και συγκαταλέγονται μεταξύ των καλύτερων μεθόδων μαζί με τον MAXENT (Elith et al. 2006).

Πολυπαραγοντική προσαρμοστική παλινδρόμηση πολυωνύμων (MARS, Multivariate Adaptive Regression Splines)

Αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο παλινδρόμησης για μη γραμμικές σχέσεις που χρησιμοποιεί τμηματικά γραμμικές σχέσεις (loose functions). Η MARS είναι μία μέθοδος μη παραμετρικής παλινδρόμησης, η οποία δημιουργήθηκε για να επιλύσει προβλήματα των μεθόδων παλινδρόμησης (Friedman 1991). Είναι μια γενίκευση των δέντρων παλινδρόμησης και είναι γνωστή για περιπτώσεις στις οποίες οι μεταβλητές πρόβλεψης (στην περίπτωσή μας οι περιβαλλοντικές παράμετροι) δεν παρουσιάζουν απλές ή μονότονες σχέσεις με τις εξαρτημένες μεταβλητές. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στα ίδια τα δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι δεν εξετάζεται εξ αρχής κάποια υπόθεση. Διαχωρίζει το χώρο εισόδου σε περιοχές, κάθε μία με τη δική της εξίσωση παλινδρόμησης. Στο τέλος προκύπτει ένα μοντέλο από όπου έχουν διαγραφεί οι συναρτήσεις που προσφέρουν λιγότερο (least squares) στην εφαρμογή (fitting) του μοντέλου (Friedman 1991).

Πλεονεκτήματα: Είναι κατάλληλη για προβλήματα με υψηλότερες διαστάσεις, δηλαδή με περισσότερες από μια μεταβλητές εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να εισάγουμε δεδομένα από πολλά είδη σε ένα μοντέλο ενός είδους στόχου (Hastie et al. 1994). Επιπλέον, βρίσκουν καλή εφαρμογή σε είδη με χαμηλή συχνότητα εμφάνισης (prevalence) υποδεικνύοντας και την καταλληλότητά τους για σπάνια είδη (Leathwick et al. 2005).

Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (GLM, Generalized Linear Models)

Τα GLM αποτελούν γενίκευση της γραμμικής παλινδρόμησης. Τα μοντέλα προσαρμόζονται εκτιμώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια (maximum likelihood) και επιτρέπουν στο γραμμικό μοντέλο να συσχετίζει τη μεταβλητή απόκρισης με το γραμμικό συνδυασμό των επεξηγηματικών μεταβλητών με μια συνδετική συνάρτηση (linear function). Τα δεδομένα μπορεί να έχουν διάφορες κατανομές όπως κανονική, διωνυμική, Poisson ή κατανομή γ, πολλές από τις οποίες εφαρμόζονται

καλύτερα στις μη παραμετρικές κατανομές των σφαλμάτων των οικολογικών δεδομένων. Για αυτό το λόγο είναι χρήσιμα στην ανάλυση οικολογικών σχέσεων οι οποίες αποτυπώνονται πιο δύσκολα από τις κλασσικές κατανομές Gausse (Austin 1987, Guissan 2002).

Πλεονεκτήματα: Έχουν χρησιμοποιηθεί επανειλημμένα σε μελέτες που χρησιμοποιούν SDMs καθώς αποτελούν ισχυρά στατιστικά εργαλεία και είναι αποτελεσματικά στη μοντελοποίηση οικολογικών σχέσεων (Elith et al. 2006)

Πίνακας 9 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για τις μοντελοποιήσεις

Αλγόριθμοι	Κατηγορία	Τύπος δεδομένων
GLM	Μέθοδος παλινδρόμησης	Παρουσίας/Ψευδο-απουσίας
MARS	Μέθοδος παλινδρόμησης	Παρουσίας/Ψευδο-απουσίας
RF	Μέθοδος μηχανικής μάθησης	Παρουσίας/Ψευδο-απουσίας
BRT	Μέθοδος μηχανικής μάθησης	Παρουσίας/Ψευδο-απουσίας
MAXENT	Μέθοδος μηχανικής μάθησης	Παρουσίας/Δεδομένων υποβάθρου

Μοντελοποίηση

Για τη μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού R v. 4.1.1 (https://www.r-project.org/), η οποία προσφέρει μεγάλο αριθμό πακέτων χρήσιμων για τη δημιουργία ΜΔΚ, μέσα από το περιβάλλον του RStudio. Το κύριο πακέτο για τα SDMs που εφαρμόστηκε είναι το *sdm* package (Naimi and Araújo 2016), ένα ευέλικτο πακέτο που προσαρμόζεται ισχυρά στα δεδομένα του χρήστη και προσφέρει διαφορετικές μεθόδους μοντελοποίησης (Naimi & Araújo 2016). Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα πακέτα *rgdal, usdm, caret, dismo, mapview, bfastSpatial, biomod2* και *dplyr*.

Για κάθε αλγόριθμο (MAXENT, RF, BRT, GLM και MARS) κατασκευάστηκαν δέκα επαναλήψεις από τα οποίες προέκυψε το τελικό μοντέλο. Η εκπαίδευση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με ένα υποσύνολο των αρχικών δεδομένων (training data) και η εφαρμογή του μοντέλου ελέγχθηκε με ένα δεύτερο υποσύνολο δεδομένων (testing data) όπως περιγράφεται παρακάτω.

Οι χάρτες πρόβλεψης που προκύπτουν παρουσιάζουν την καταλληλότητα κάθε κόκκου για το είδος και κάθε κόκκος παίρνει τιμή από 0 έως 1 (Naimi & Araújo 2016).

Για τις μοντελοποιήσεις της Ευρασίας και το κλιματικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα παρουσίας για την εκπαίδευση του μοντέλου και η προβολή έγινε σε μέρος της κατανομής ώστε να δοθεί έμφαση στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την Ελλάδα.

Αξιολόγηση των μοντέλων

Ένα μοντέλο έχει καλή εφαρμογή όταν αντιστοιχεί ένα σύνολο δεδομένων παρουσίας ως περιοχή εμφάνισης και αντίστοιχα ένα σύνολο δεδομένων απουσίας ως ακατάλληλη περιοχή για το είδος. (Elith et al. 2006).

Η αρχή αυτή χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση του μοντέλου κατά την οποία δοκιμάζεται η εφαρμογή του μοντέλου σε **ανεξάρτητο σύνολο δεδομένων**, δηλαδή σε δεδομένα τα οποία δεν συμμετείχαν στατιστικά στην κατασκευή του μοντέλου (Araújo et al. 2019). Η χρήση ανεξάρτητων δεδομένων ελέγχου για την αξιολόγηση των μοντέλων έχει αποδειχθεί πολύ αξιόπιστη (Ferrier et al. 2006). Ωστόσο, δεν είναι πάντα εύκολη η συλλογή νέων δεδομένων. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος δημιουργείται ένα σετ δεδομένων ελέγχου από τα υπάρχοντα δεδομένα.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε τυχαία δειγματοληψία (subsampling) στο σύνολο των δεδομένων και σχηματίστηκαν δύο σύνολα δεδομένων. Το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης (training data) του μοντέλου και το σύνολο δεδομένων ελέγχου (testing data) για την αξιολόγηση του μοντέλου. Ως δεδομένα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε το 30% του συνόλου των δεδομένων και η διαδικασία επαναλήφθηκε 10 φορές για κάθε είδος.

Η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να αποτρέψει **φαινόμενα υπερπροσαρμογής** (data overfitting) όταν το μοντέλο είναι υπερβολικά πολύπλοκο. Σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο έχει εκπαιδευτεί ισχυρά στα δεδομένα εκπαίδευσης και δεν ενσωματώνει γενικευμένους κανόνες ευρύτερης ισχύος ώστε να μπορεί να αξιολογήσει άγνωστα σε αυτό δεδομένα, οπότε και εμφανίζει πολύ χαμηλές επιδόσεις και δεν μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο μοντέλο (Vaughan & Ormerod 2005).

Για την αξιολόγηση των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν δύο στατιστικοί δείκτες

- Εμβαδόν κάτω από την καμπύλη (**AUC:** Area under the curve). Είναι το πιο διαδεδομένο στατιστικό που χρησιμοποιείται στα SDM αν και δέχεται κριτική για τη αποτελεσματικότητά του (Lobo et al. 2008, Fourcade et al. 2014). Χρησιμοποιεί τα δεδομένα παρουσίας και

υπολογίζει την προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου σε σχέση με την τυχαία πρόβλεψη (Lobo et al. 2008, Phillips et al. 2006).

- True Skill Statistics **(TSS)** ο οποίος συνδυάζει τους δείκτες ειδικότητα και ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψη τα δύο είδη λαθών omission commission με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των ειδών στην περιοχή μελέτης και τον αριθμό των δεδομένων ελέγχου (Allouche et al. 2006) αν και αμφισβητείται (Somodi et al. 2017, Wunderlich et al. 2019).

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης φαίνονται ξεχωριστά για κάθε είδος παρακάτω. Για κάθε ένα δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες μοντέλων 1) με βάση τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιλέχθηκαν για την Ελλάδα ως περιοχή μελέτης, 2) αντίστοιχα για την Ευρασία και 3) με βάση βιοκλιματικούς παράγοντες και το υψόμετρο για την Ευρασία. Για το τελευταίο μοντέλο έγινε και η προβολή στο μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο IPSL-CM6-Low Resolution/ SSP5.85. Σε κάθε κατηγορία μοντελοποίησης εισήχθησαν οι ίδιοι περιβαλλοντικοί παράγοντες για κάθε είδος. Σε κάθε μοντέλο αφαιρέθηκαν με τη μέθοδο VIF εκείνοι που παρουσιάζουν πολυσυγγραμμικότητα μεγαλύτερη από 80%. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά σε πίνακες όπου φαίνεται το αλγόριθμος (BRT, RF, MARS, GLM) από τον οποίο επιλέχθηκε το καλύτερο μοντέλο, τα αποτελέσματα για το MAXENT, οι τιμές των δεικτών αξιολόγησης (AUC, TSS) και οι πιο σημαντικές περιβαλλοντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν σε κάθε μοντέλο με τα αντίστοιχα ποσοστά. Συνοδεύονται από συνοπτική περιγραφή κάθε είδους που προέρχεται από την IUCN και τον Άτλαντα Αμφιβίων & Ερπετών της Ελλάδας (Παφίλης και Μαραγκού 2020). Στις περισσότερες περιπτώσεις η περιοχή μελέτης έχει αποκοπεί ώστε να διακρίνεται λεπτομερέστερα ο χάρτης καταλληλότητας για κάθε είδος σύμφωνα με την κατανομή του. Για τα είδη *A. budaki*, *O. kardesi, A. fragilis* και *H. auratus* δεν συγκεντρώθηκε κατάλληλος αριθμός καταγραφών (Wisz et al. 2008) για τη δημιουργία μοντέλων δυνητικής κατανομής.

Anguis cephallonica Werner, 1894

Κοινή ονομασία Κεφαλλονίτικο κονάκι, Κονάκι του Ιονίου

Εικόνα 5 Άτομο *A. cephallonica* *https://www.gbif.org/occurrence/2611417498*

Εξάπλωση Παρουσιάζει σαφές γεωγραφικό πρότυπο και εντοπίζεται στην Πελοπόννησο και στο Ιόνιο (Κεφαλονιά, Ζάκυνθος και Ιθάκη)

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Ενδιαιτεί σε υγρές περιοχές μέσα σε λιβάδια, θαμνότοπους, ανοιχτά δάση (κωνοφόρα και φυλλοβόλα), παραποτάμιες περιοχές. Συναντάται επίσης σε κήπους στην ύπαιθρο και αγροτικές περιοχές παραδοσιακής καλλιέργειας.

Κίνδυνος K.B. (2009), IUCN (2020) Σχεδόν απειλούμενο (NT)

Απειλές Εξαιτίας της περιορισμένης κατανομής του απειλείται λόγω απώλειας ενδιαιτήματος όπως οι πυρκαγιές της Πελοποννήσου το 2007 – χωρίς να έχει υπάρξει μελέτη για τις ενδεχόμενες επιπτώσεις τους (Wolfgang & Lymberakis 2017).

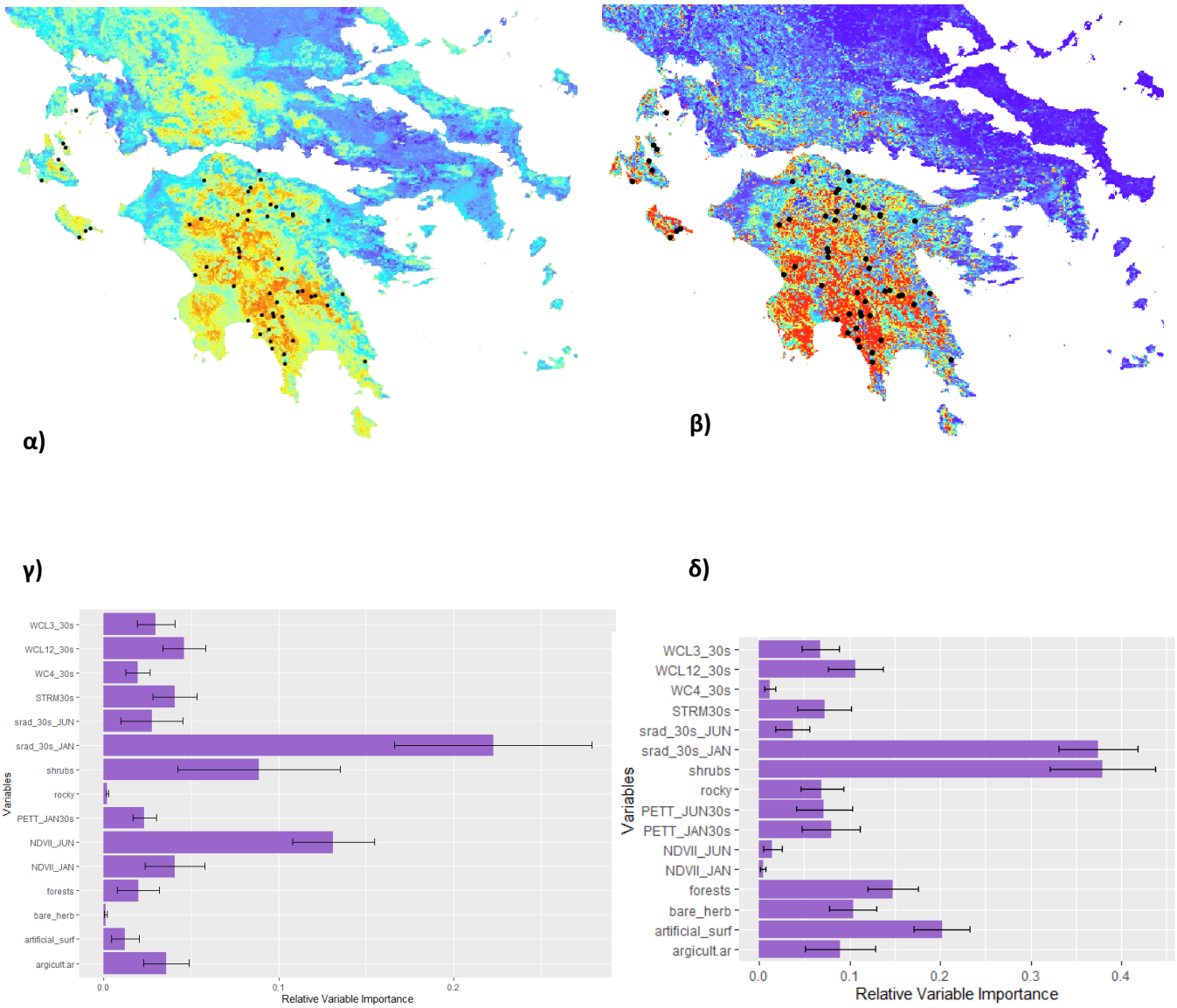
Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το *A. cephallonica* φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 10. Η κατανομή του είδους φαίνεται στις Εικόνες 6, 7. Για το είδος αυτό δεν δημιουργήθηκαν οι άλλες δυο ομάδες μοντέλων.

Πίνακας 30 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *A. cephallonica*

Ελλάδα		**Ευρασία**	
RF AUC=0,74, TSS=0,50	MAXENT AUC=0,64, TSS=0,32	**RF** AUC=0,54, TSS=0,20	MAXENT AUC=0,55, TSS=0,22
srad Ιανουαρίου (22,3%)	srad Ιανουαρίου (37,5%)	srad Ιανουαρίου (56,4%)	srad Ιανουαρίου (27,4%)
NDVI Ιουνίου (13,1%)	Παρουσία θαμνότοπων (37,9%)		Παρουσία θαμνότοπων (25,6%)
Παρουσία θαμνότοπων (8,9%)			Χτισμένες περιοχές_αστικές περιοχές (25%)
			Μέγιστη Θ θερμότερου μήνα (23,6%)

***Anguis cephallonica* Werner, 1894 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

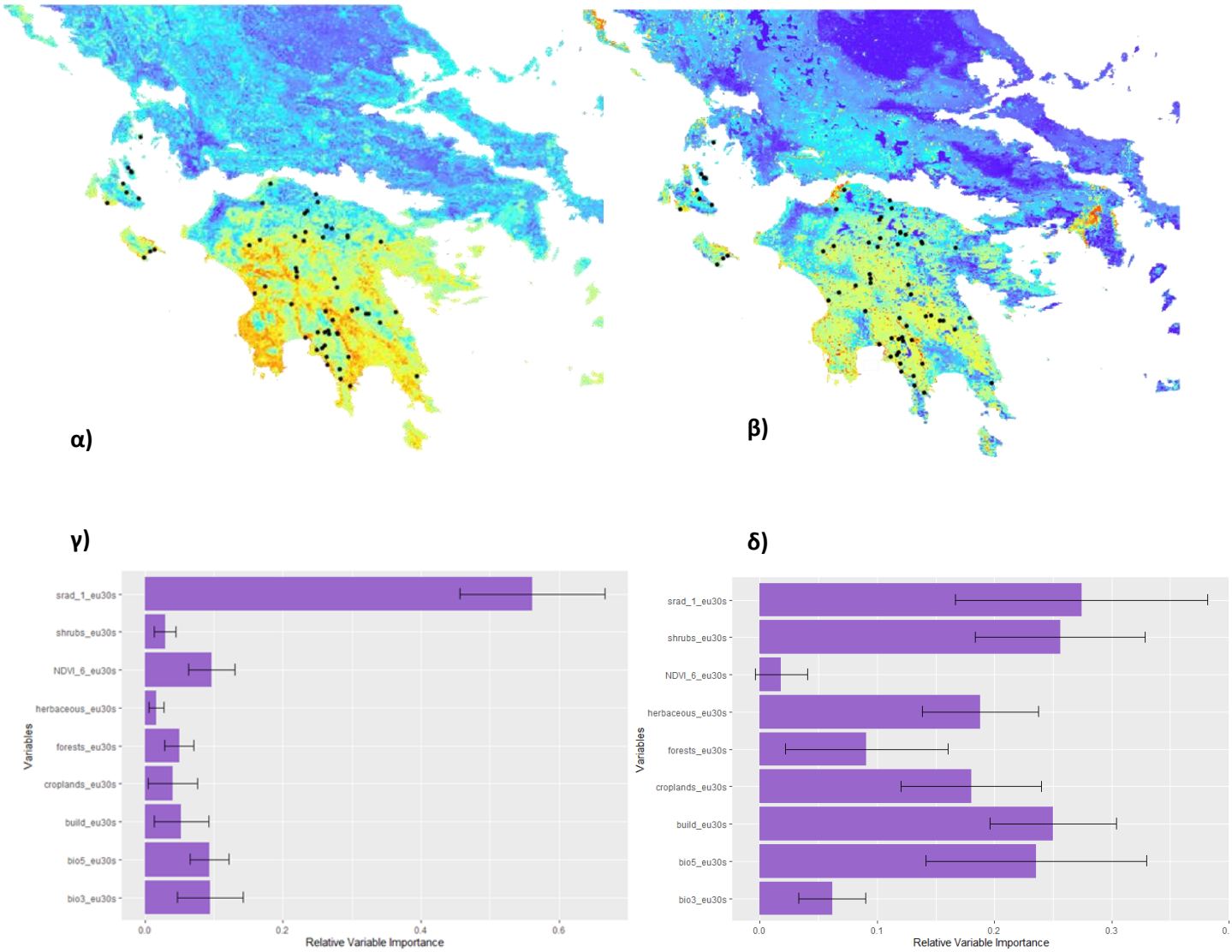
Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του RF (AUC=0,75, TSS=0,50) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_JAN30s), ο NDVI Ιουνίου (NDVII_JUN) και ακολούθως η παρουσία θαμνότοπων (shrubs). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,64, TSS=0,32), είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_JAN30s) και η παρουσία θαμνότοπων (shrubs). Τα μοντέλα παρουσιάζουν καλή και μέτρια στατιστική αξιολόγηση αντίστοιχα.



Εικόνα 6 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. cephallonica* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,75, TSS=0,50), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. cephallonica* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,64, TSS=0,32), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο του RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

***Anguis cephallonica* Werner, 1894 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του RF (AUC=0,54, TSS=0,30) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_JAN30s) και αντίστοιχα στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,64, TSS=0,32) η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_JAN30s) και η παρουσία θαμνότοπων (shrubs). Τα μοντέλα παρουσιάζουν κακή έως μέτρια στατιστική αξιολόγηση.



Εικόνα 7 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. cephallonica* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,54, TSS=0,30), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. cephallonica* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,64, TSS=0,32), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο του RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

Anguis graeca Bedriaga, 1881

Κοινή ονομασία Ελληνικό κονάκι

Εξάπλωση Συναντάται στα νότια Βαλκάνια. Στην Ελλάδα η εξάπλωση ξεκινά δυτικά του Αξιού σε όλη την ηπειρωτική Ελλάδα, στο Ιόνιο (Κέρκυρα και Λευκάδα) και στην Εύβοια.

Εικόνα 8 Άτομο *A. graeca*
https://www.gbif.org/occurrence/2832234727

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Ζει σε περιοχές με υψηλή υγρασία, ανάμεσα σε πυκνή βλάστηση όπως θαμνότοπους, λιβάδια, κήπους και δάση. Κρύβεται κάτω από βράχια ή ξύλα ή στη φυλλοστρωμνή και μέσα σε φωλιές ασπόνδυλων.

Κίνδυνος Κ.Β. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Απειλές Η απώλεια ή η υποβάθμιση ενδιαιτημάτων λόγω εντατικοποίησης της γεωργίας και της αστικοποίησης και η οδική θνησιμότητα (Παφίλης & Μαραγκού 2020)

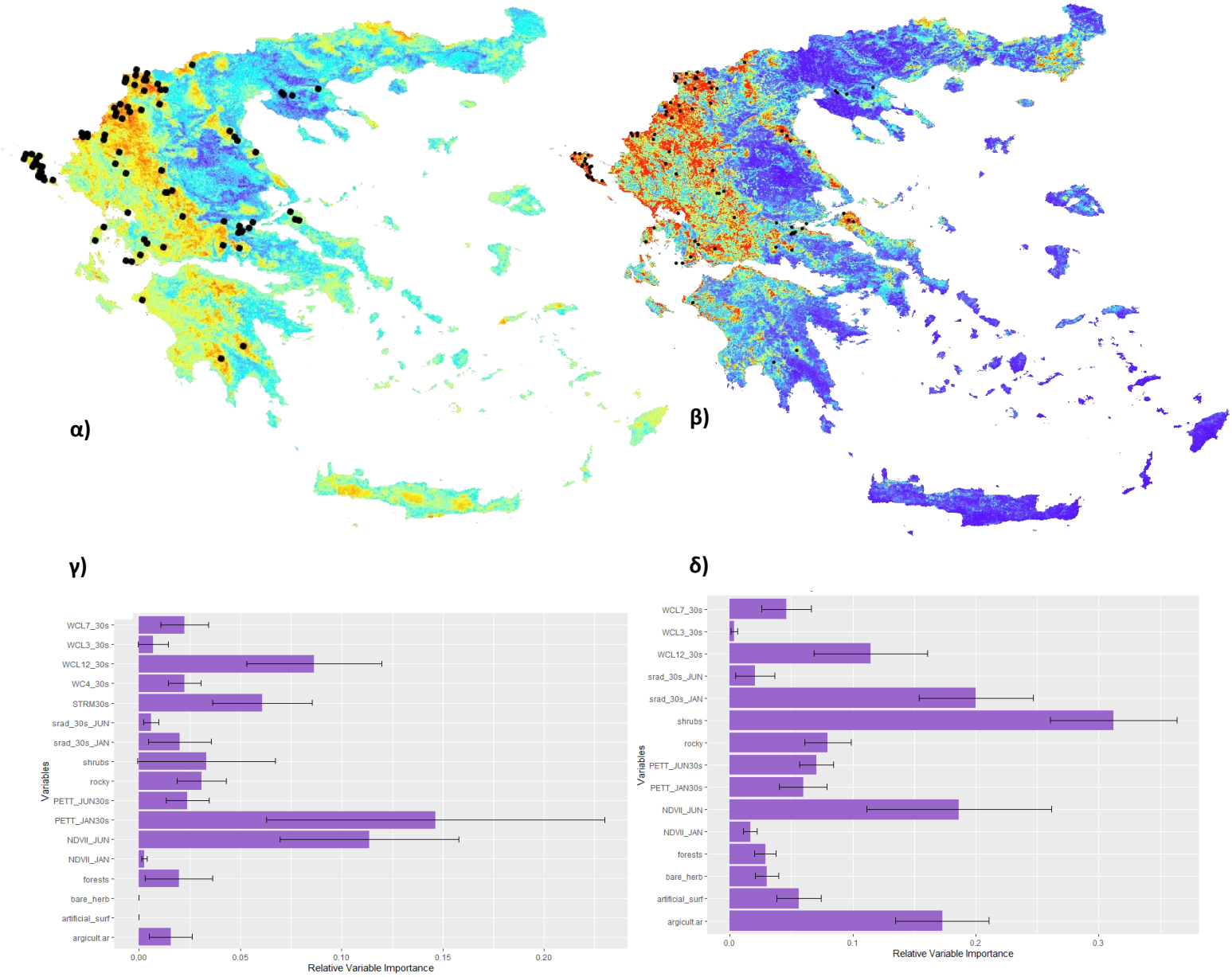
Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το *A. graeca* φαίνονται στον Πίνακα 11 όπου φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα. Η κατανομή του είδους φαίνεται στις Εικόνες 9, 10, 11, 12.

Πίνακας 11 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *A. graeca*

Ελλάδα		**Ευρασία**		**Κλιματικό μοντέλο**	
BRT AUC=0,7,TSS=0,45	MAXENT AUC=0,74,TSS=0,49	**BRT** AUC=0,73,TSS=0,47	MAXENT AUC=0,76,TSS=0,49	**BRT** AUC=0,66,TSS=0,38	MAXENT AUC=0,66,TSS=0,32
PET Ιανουαρίου (14,6%)	Παρουσία θαμνότοπων (31,2%)	srad Ιανουαρίου (63,1%)	srad Ιανουαρίου (70.6%)	Βροχόπτωση υγρότερου μήνα (35,1%)	Βροχόπτωση υγρότερου μήνα (38,2%)
NDVI Ιουνίου (11,4%)	srad Ιανουαρίου (20%)	Μέγιστη Θ θερμότερου μήνα (24%)	Παρουσία θαμνότοπων (21.8%)		Μέγιστη Θ θερμότερου μήνα (34,5%)
Ετήσια βροχόπτωση (8,6%)	NDVI Ιουνίου (18,6%)		Μέγιστη Θ θερμότερου μήνα (20.9%)		

***Anguis graeca* Bedriaga, 1881 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

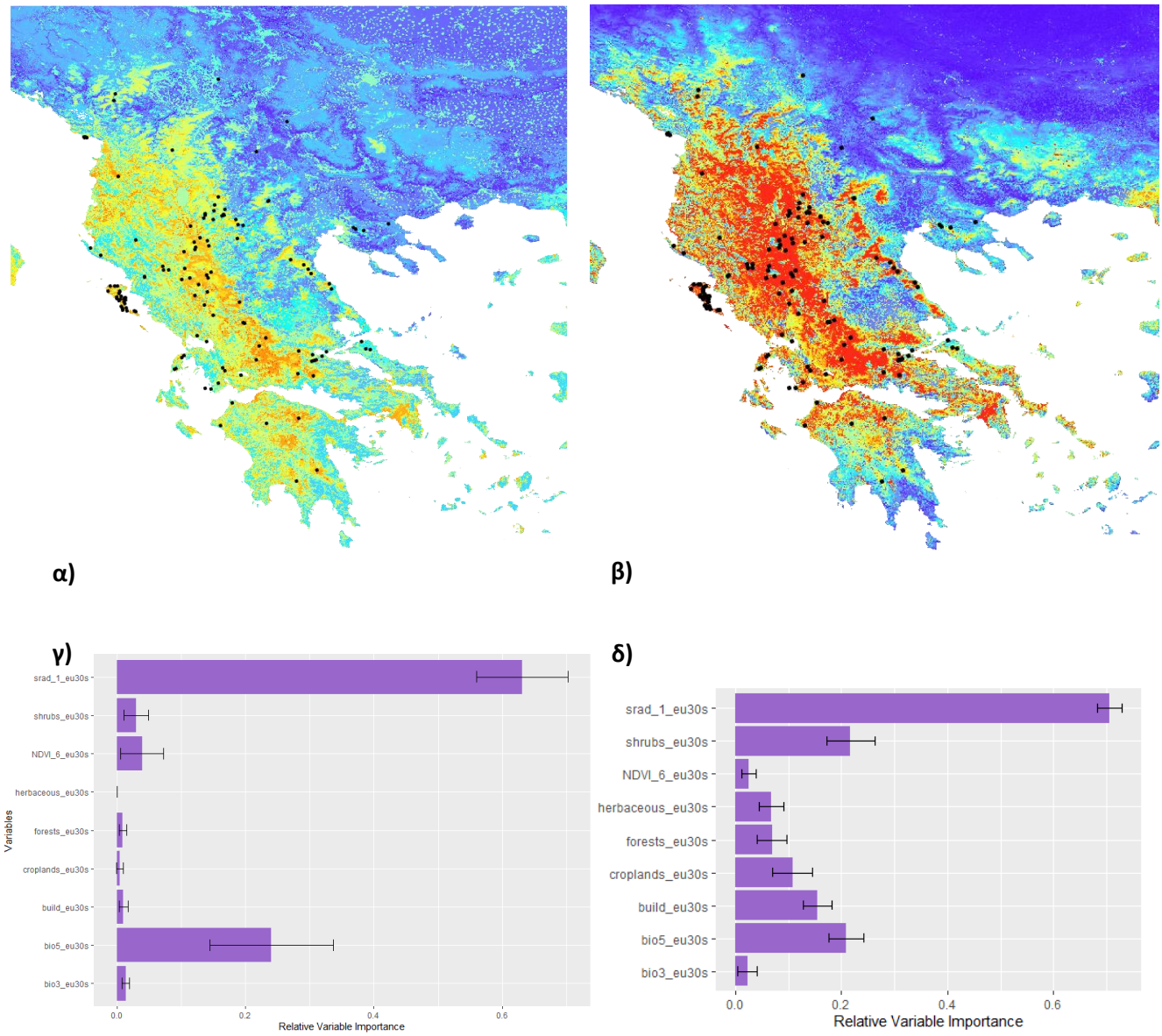
Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του BRT (AUC=0,70, TSS=0,45) είναι η πιθανή εξατμισιοδιαπνοή Ιανουαρίου (PETT_JUN30s), ο NDVI Ιουνίου (NDVII_JUN) και η ετήσια βροχόπτωση WCL_12_30s). Αντίστοιχα για το μοντέλο του MAXENT (AUC=0,74, TSS=0,49) οι πιο σημαντικές μεταβλητές είναι η παρουσία θαμνότοπων (shrubs), η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN) και ο NDVI Ιουνίου (NDVII_JUN). Τα μοντέλα παρουσιάζουν καλή στατιστική αξιολόγηση



Εικόνα 9 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. graeca* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,70, TSS=0,45), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. graeca* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,74, TSS=0,49), γ) Οι πιο σηματικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του BRT, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

***Anguis graeca* Bedriaga, 1881 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

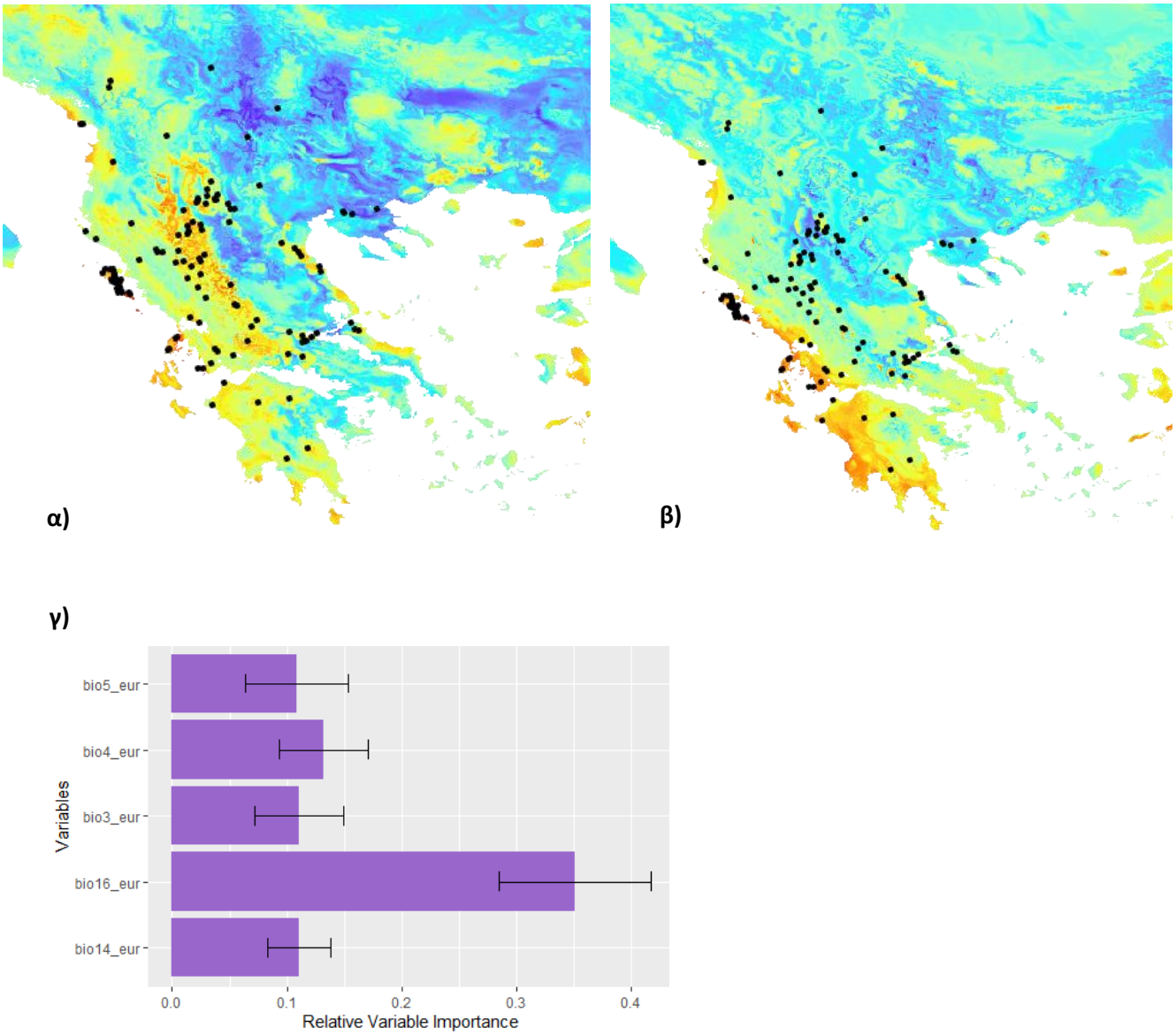
Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του BRT (AUC=0,73, TSS=0,47) η είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_30s) και η θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (bio5). Αντίστοιχα για το μοντέλο MAXENT (AUC=0,76, TSS=0,49) οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_30s), η παρουσία θαμνότοπων (shrubs) και η μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (bio5_eu30s). Τα μοντέλα παρουσιάζουν καλή στατιστική αξιολόγηση.



Εικόνα 10 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. graeca* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,73, TSS=0,47), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. graeca* για τα Βαλκάνια όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,76, TSS=0,49), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του BRT, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

***Anguis graeca Bedriaga*, 1881 - Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp585**

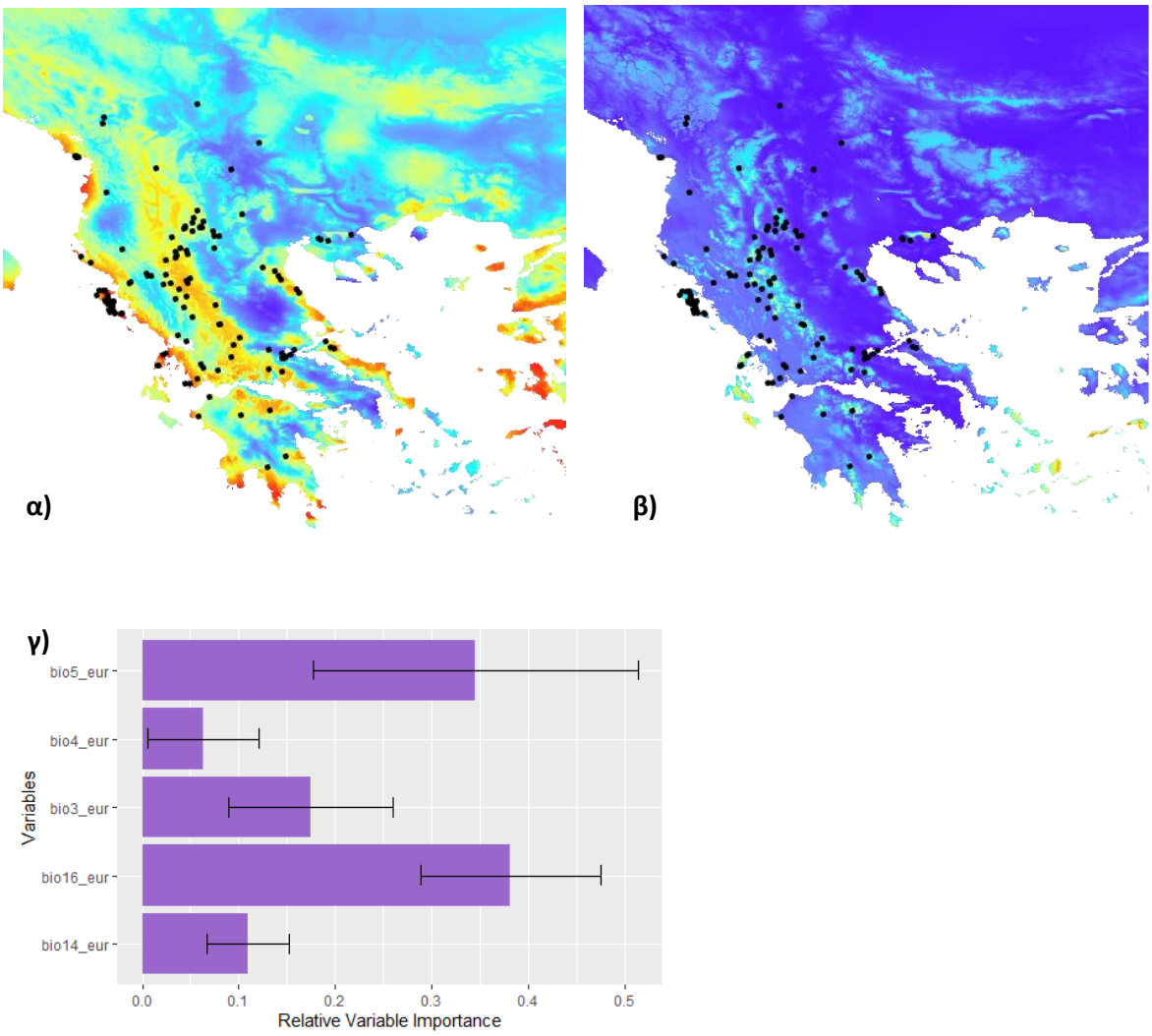
Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του RF (AUC=0,66, TSS=0,38) η πιο σημαντική μεταβλητή είναι η βροχόπτωση του υγρότερου τριμήνου (bio16_eur). Το μοντέλο παρουσιάζει μέτρια στατιστική αξιολόγηση. Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται.



Εικόνα 11 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. graeca* για την Ευρασία, χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα και το υψόμετρο ως επεξηγηματικές μεταβλητές από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,66, TSS=0,38), β) Η πρόβλεψη για την καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585, γ) Η συνεισφορά των περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως συνεισέφεραν στο κλιματικό μοντέλο.

***Anguis graeca Bedriaga*, 1881 - Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp558_MAXENT**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του MAXENT (AUC=0,66, TSS=0,32) η πιο σημαντική μεταβλητή είναι η μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (bio5_eur) και η βροχόπτωση του υγρότερου μήνα (bio16_eur). Το μοντέλο παρουσιάζει μέτρια στατιστική αξιολόγηση. Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται.



Εικόνα 12 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. graeca* για την Ευρασία χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα και το υψόμετρο ως επεξηγηματικές μεταβλητές από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,66, TSS=0,32), β) Η πρόβλεψη για την καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585, γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο κλιματικό μοντέλο.

Ablepharus kitaibelii Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833

Κοινή ονομασία Αβλέφαρος

Εξάπλωση Από τη νοτιοδυτική Ασία, την Ελλάδα μέχρι νότια της Σλοβακίας. Στην Ελλάδα έχει ευρεία εξάπλωση τόσο στα ηπειρωτικά όσο και στα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Συναντάται σε ξηρές περιοχές με λιβάδια, θαμνότοπους, ξέφωτα και δασώδεις εκτάσεις με καλά χουμοποιημένο στρώμα (Gruber 1981, Dely 1981) όπου και κρύβεται ταχύτατα όταν βρεθεί υπό απειλή. Μπορεί να ακολουθήσει το πρότυπο βλάστησης των κωνοφόρων δασών ή των πλατύφυλλων (Strijbosch et al. 1989)

Εικόνα 13 *Άτομο A. kitaibelii*
http://en.balcanica.info/2 -12155

Κίνδυνος K.B. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Απειλές Δεν φαίνεται να απειλείται σημαντικά εκτός από περιπτώσεις όπου υποβαθμίζεται ο οικότοπός του λόγω πυρκαγιών, αναδασώσεων ή αλλαγής της χρήσης γης (Böhme et al. 2017)

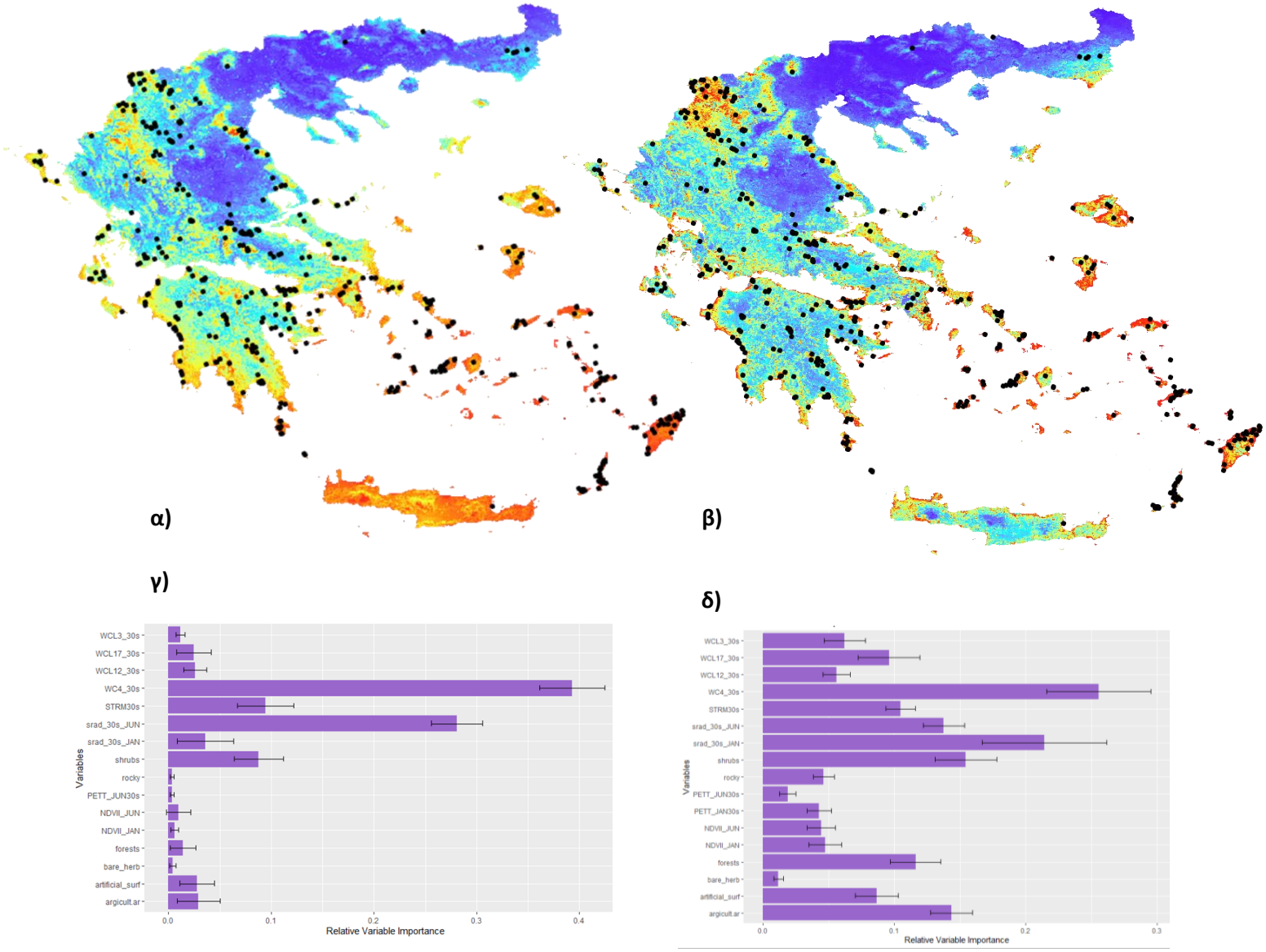
Τα αποτελέσματα για κάθε σετ μοντελοποίησης φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 12 και οι χάρτες καταλληλότητας στις Εικόνες 14, 15, 16 και 17.

Πίνακας 12 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *A. kitaibelii*

Ελλάδα		**Ευρασία**		**Κλιματικό μοντέλο**	
GLM AUC=0,82,TSS=0,49	MAXENT AUC=0,75,TSS=0,41	**MARS** AUC=0,82, TSS=0,55	MAXENT AUC=0,89, TSS=0,63	**RF** AUC= 0,89, TSS=0,66	MAXENT AUC= 0,86, TSS=0,66
Εποχικότητα της θερμοκρασίας (39.3%)	Εποχικότητα της θερμοκρασίας (25,6%)	Εποχικότητα της θερμοκρασίας (35,7%)	Βροχόπτωση ξηρότερου τριμήνου (42,8%)	Εποχικότητα της θερμοκρασίας (81,6%)	Εποχικότητα της θερμοκρασίας (95,3%)
srad Ιουνίου (28,1%)	srad Ιανουαρίου (21,4%)	srad Ιανουαρίου (14,9%)	NDVI Ιουνίου (30,5%)		
	Παρουσία θαμνότοπων (15,4%)	NDVI Ιουνίου (12,8%)	Υψόμετρο (29,2%)		

***Ablepharus kitaibelii* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

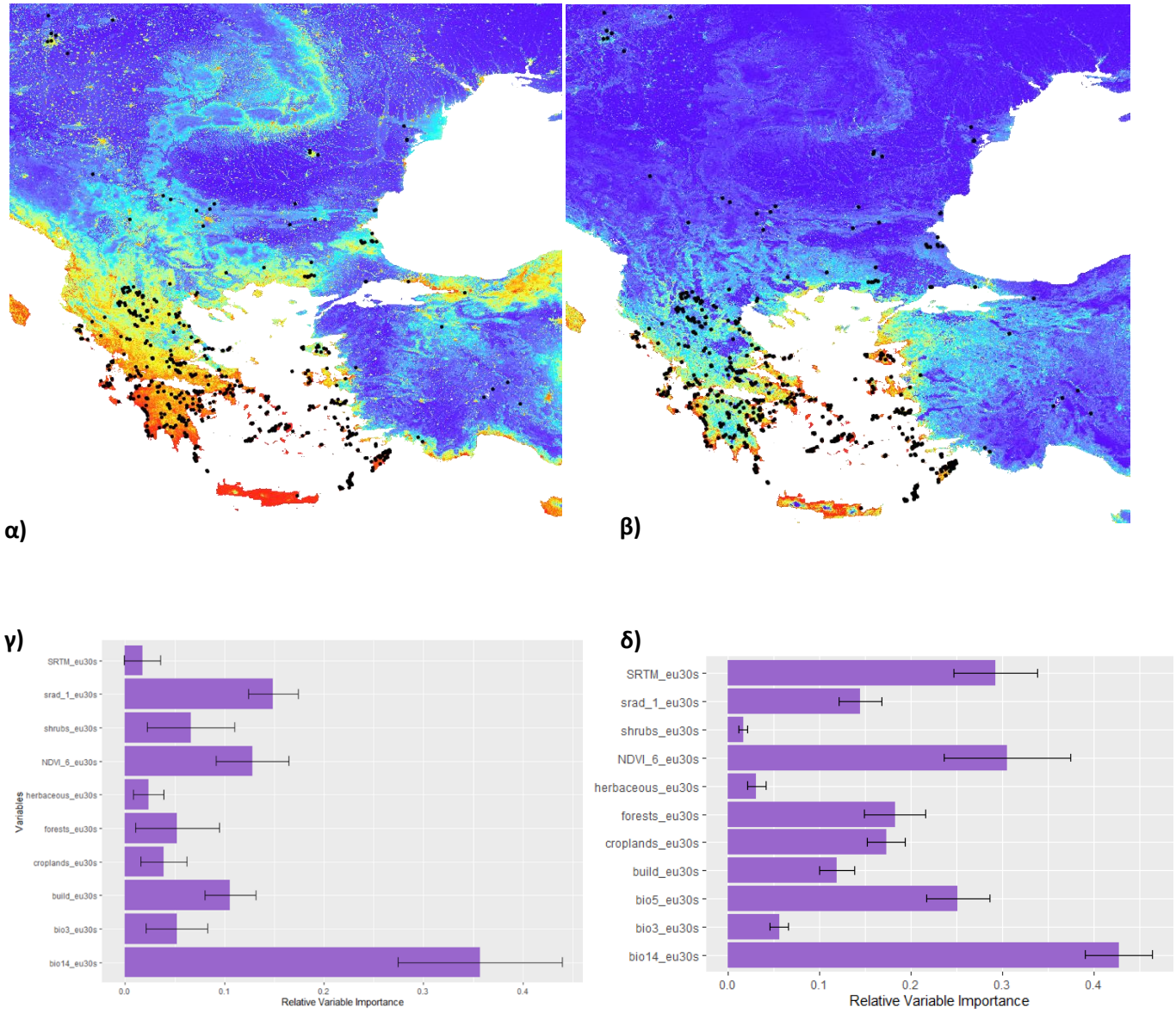
Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο GLM (AUC=0,80, TSS=0,47) η είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας (WCL4_30s) και η ηλιακή ακτινοβολία Ιουνίου (srad_30s_JUN). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT (AUC=0,75, TSS=0,41) είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας (WCL4_30s), η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN) και η παρουσία θαμνότοπων (shrubs). Τα μοντέλα παρουσιάζουν καλές στατιστικές αξιολογήσεις.



Εικόνα 14 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. kitaibelii* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο GLM (AUC=0,80, TSS=0,47), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. kitaibelii* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,75, TSS=0,41), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

***Ablepharus kitaibelii* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

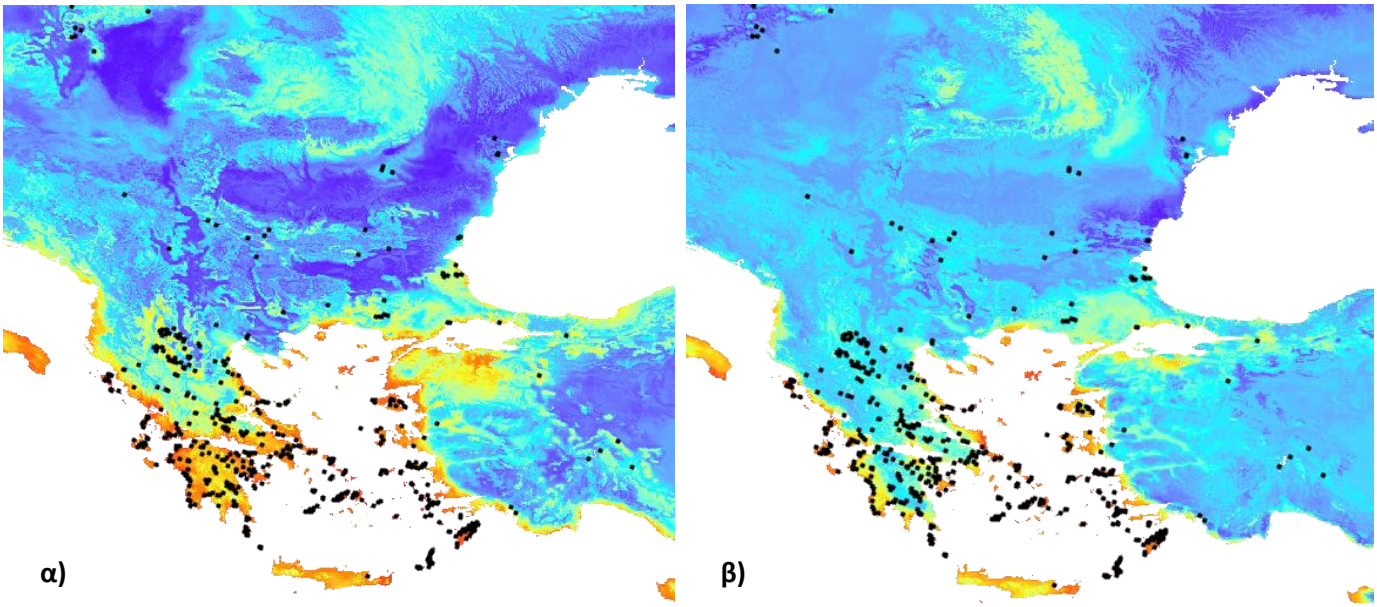
Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο από τον MARS (AUC=0,82, TSS=0,55) η είναι η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (bio14_eu30s), η εποχικότητα της θερμοκρασίας (bio4_eu30s), η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_eu30s) και ο NDVI Ιουνίου (NDVI_6_30s). Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο από τον MAXENT (AUC=0,89, TSS=0,63) είναι η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (bio14_eu30s), το υψόμετρο (SRTM30s) και ο NDVI Ιουνίου (NDVI_6_30s). Τα μοντέλα παρουσιάζουν πολύ στατιστική αξιολόγηση.

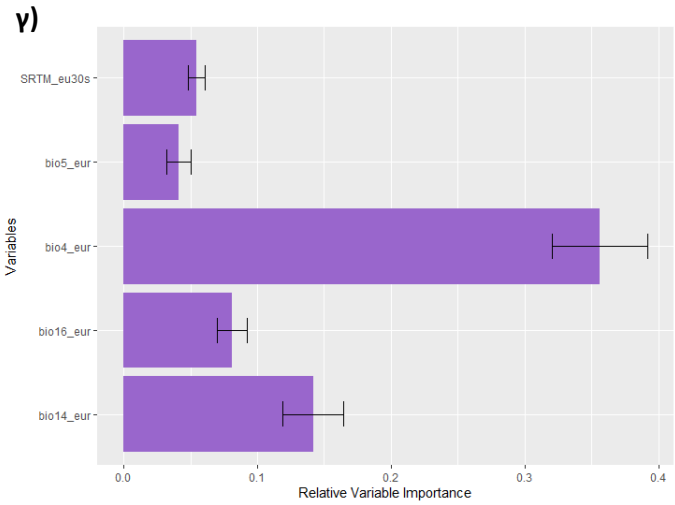


Εικόνα 15 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. kitaibelii* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MARS (AUC=0,82, TSS=0,55), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. kitaibelii* όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,89, TSS=0,63), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο από τον MARS, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο από τον MAXENT.

***Ablepharus kitaibelii* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833_Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp585**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του RF (AUC=0,89, TSS=0,66) η πιο σημαντική μεταβλητή είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας (bio4_eur). Το μοντέλο παρουσιάζει πολύ στατιστική αξιολόγηση. Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται.

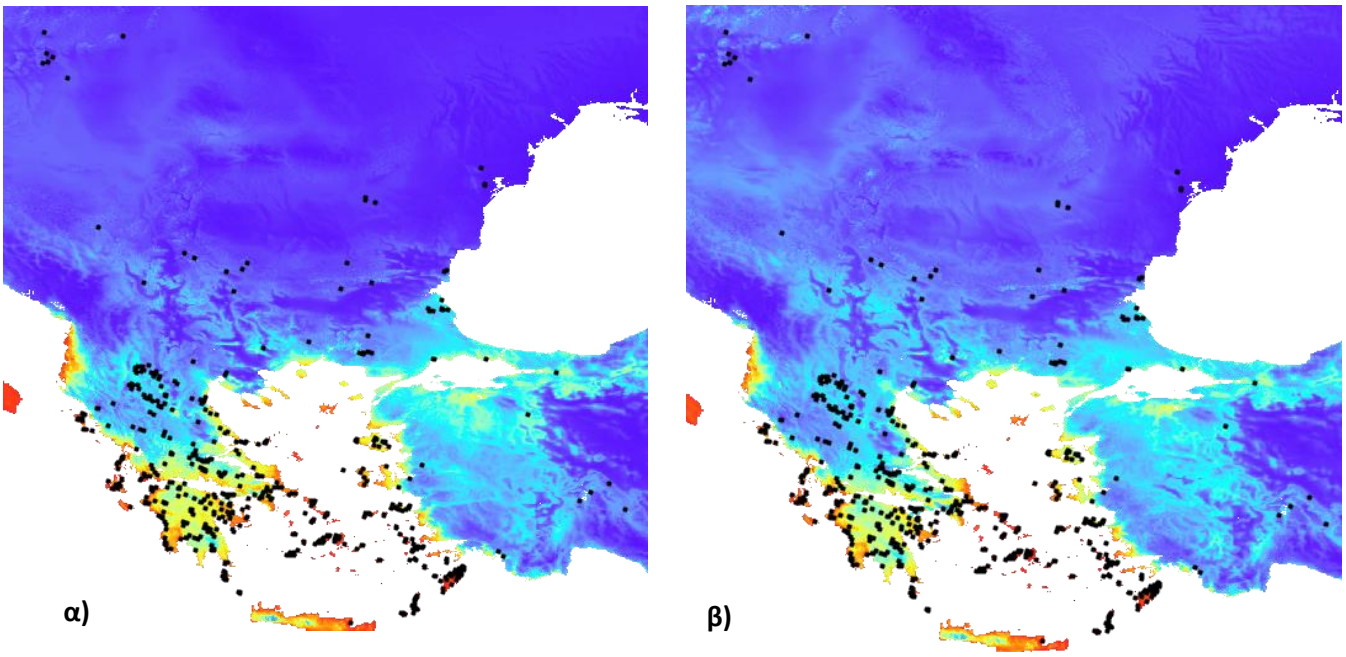


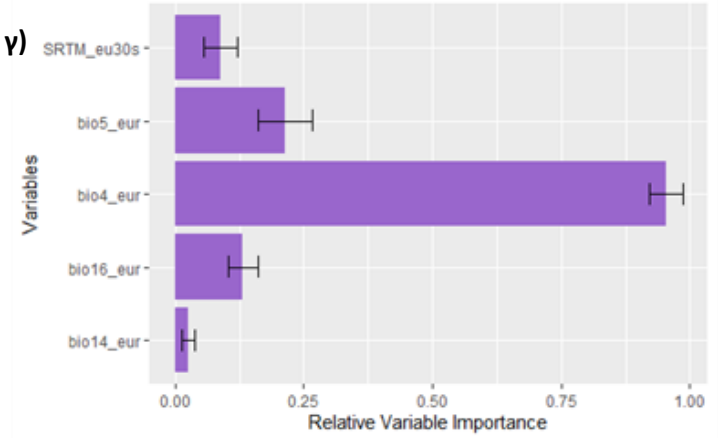


Εικόνα 16 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. kitaibelii* για την Ευρασία με χρήση των κλιματικών μεταβλητών και του υψομέτρου όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,89, TSS=0,66), β) Η πρόβλεψη για την καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585 γ) Οι κλιματικές παράμετροι όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο.

***Ablepharus kitaibelii* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833_Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp585_MAXENT**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του MAXENT (AUC=0,86, TSS=0,66) η πιο σημαντική μεταβλητή είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας (bio4_eur). Το μοντέλο παρουσιάζει πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση. Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται.





Εικόνα 17 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. kitaibelii* για την Ευρασία με χρήση των κλιματικών μεταβλητών και του υψομέτρου όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,86, TSS=0,66), β) Η πρόβλεψη για την καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585 γ) Οι κλιματικές παράμετροι όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο.

Algyroides nigropunctatus Duméril & Bibron, 1839

Εικόνα 18 Αρσενικό άτομο *A. nigropunctatus* https://greece.inaturalist.org/photos/58634876

Κοινές ονομασίες: Σαύρα του Ιονίου, σαύρα της Ρούμελης, Κερκυραϊκή σαύρα, σαύρα της Πίνδου, Γαλαζόλαιμη σαύρα,

Κατανομή Ενδημικό βαλκανικό είδος με διάσπαρτη εξάπλωση στα δυτικά παράλια της Αδριατικής. Στην Ελλάδα εντοπίζεται στη Δυτική Ελλάδα και το Ιόνιο

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας Ο τύπος της βλάστησης φαίνεται ότι είναι λιγότερο σημαντικός για το είδος σε σχέση με το υπόστρωμα. Προτιμά πλαγιές και βραχώδεις περιοχές με σωρούς από πέτρες και ξερολιθιές (Bressi 2004) και έχει βρεθεί ακόμα και σε κοιλάδες, φαράγγια και χαράδρες (Ajtić et al. 2005). Προτιμά σκιερά μέρη και συναντάται στην παραλιακή ζώνη, συχνά ακόμα και σε κατοικημένες περιοχές, σε ανοιχτά δάση, θαμνότοπους, ελαιώνες (Böhme et al. 2009).

Κατάσταση είδους: Κ.Β. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Κίνδυνοι: Δεν είναι επαρκώς μελετημένοι. Τοπικά μπορεί να απειλείται λόγω απώλειας ενδιαιτήματος εξαιτίας πυρκαγιών, αποψίλωσης των δασών, εντατικοποίησης της καλλιέργειας και της τουριστικής ανάπτυξης (Böhme et al. 2009, Bressi 2004).

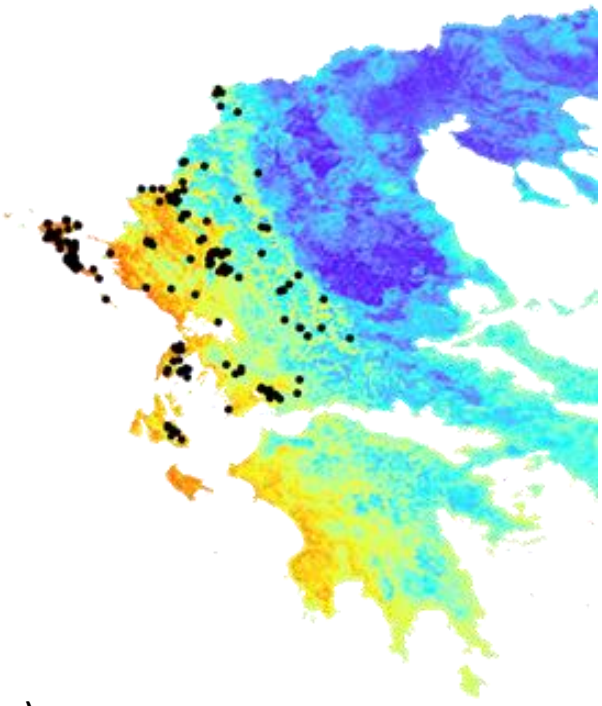
Τα αποτελέσματα για κάθε σετ μοντελοποίησης φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 4 και οι χάρτες καταλληλότητας στις Εικόνες 19,20, 21 και 22.

Πίνακας 13 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *A. nigropunctatus*

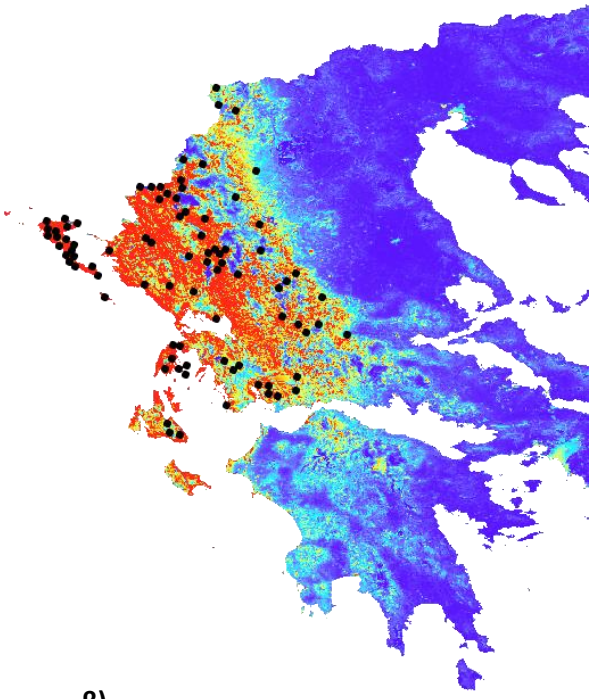
Ελλάδα		**Ευρασία**		**Κλιματικό μοντέλο**	
RF AUC=0,78, TSS=0,49	MAXENT AUC=0,74,TSS=0,43	**BRT** AUC=0,86, TSS=0,70	MAXENT AUC=0,88, TSS=0,64	**RF** AUC=0,9,TSS=0,74	MAXENT AUC=0,82,TSS=0,57
Ετήσια βροχόπτωση (29,3%)	Ετήσια βροχόπτωση (41,5%)	srad Ιανουαρίου (33%)	Παρουσία καλλιεργειών (51,2%)	Βροχόπτωση ξηρότερου τριμήνου (16,8%)	Βροχόπτωση υγρότερου τριμήνου (36,9%)
	Υψόμετρο (27,3%)	NDVI Ιουνίου (12%)	srad Ιανουαρίου (33,2%)	Βροχόπτωση υγρότερου τριμήνου (15,8%)	Υψόμετρο (26,1%)
	Παρουσία δασών (18,5%)		Υψόμετρο (29,2%)		

***Algyroides nigropunctatus* Duméril & Bibron, 1839 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

Η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο RF (AUC=0,78, TSS=0,49) είναι η ετήσια βροχόπτωση (WCL12_30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,71, TSS=0,42), είναι η ετήσια βροχόπτωση (WCL12_30s), το υψόμετρο (SRTM30s) και η παρουσία δασών (forests). Και τα δύο μοντέλα έχουν καλή στατιστική αξιολόγηση.

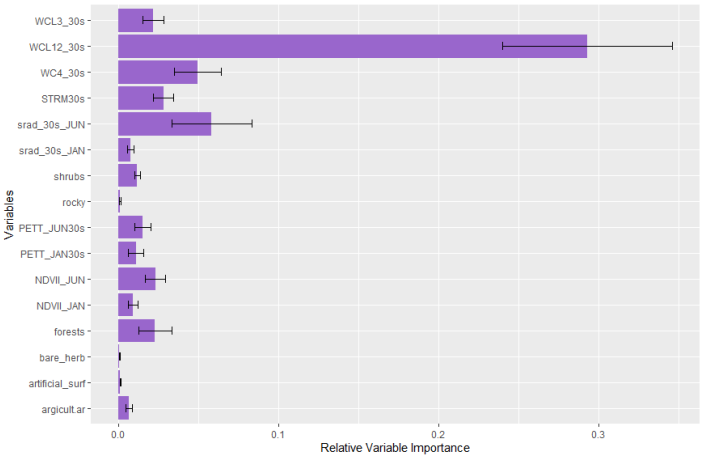


α)

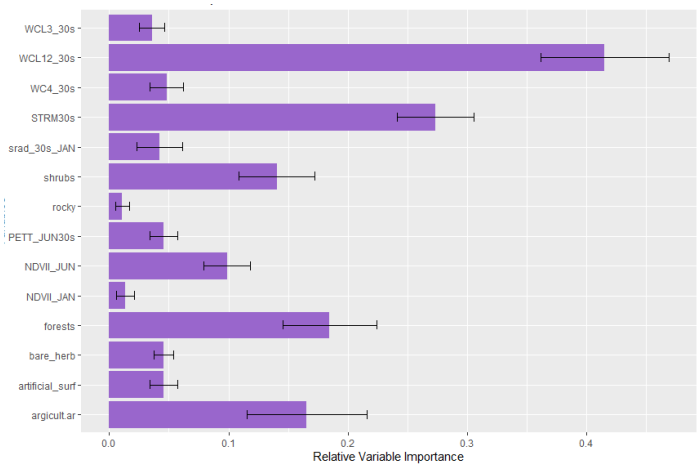


β)

γ)



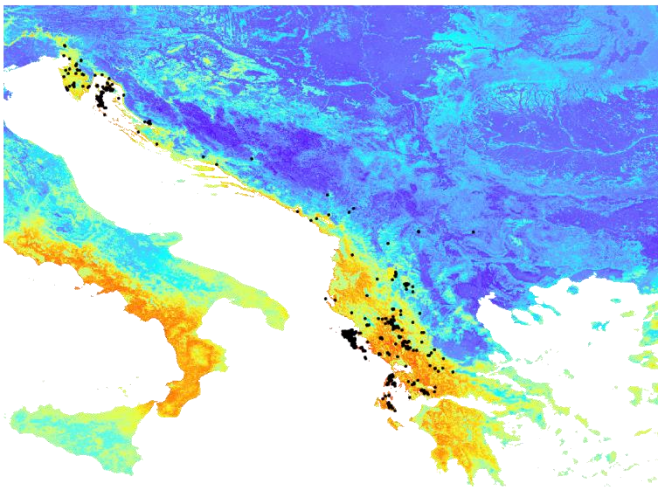
δ)



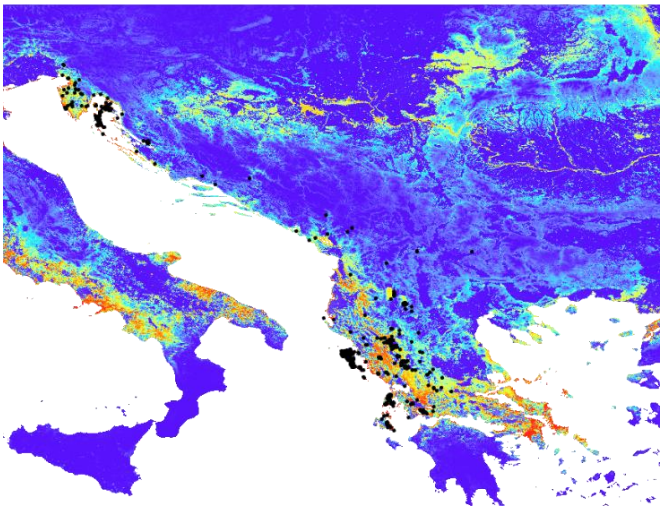
Εικόνα 19 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. nigropunctatus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,78, TSS=0,49), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. nigropunctatus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,71, TSS=0,42), γ) Η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο GLM, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

***Algyroides nigropunctatus* Duméril & Bibron, 1839 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

Η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο BRT (AUC=0,86, TSS=0,70) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_30s) και ο NDVI Ιουνίου (NDVI_6_eu30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,88, TSS=0,64) είναι η παρουσία καλλιεργειών (croplands_eu30s), η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_30s) και το υψόμετρο (SRTM30s). Τα μοντέλα παρουσιάζουν πολύ καλή αξιολόγηση.

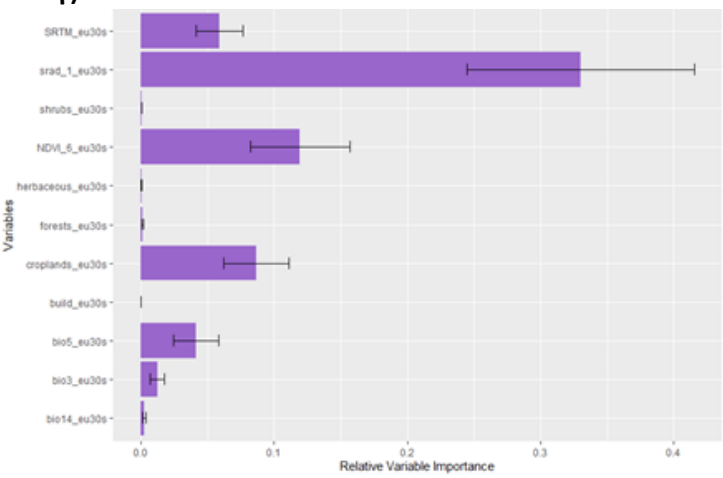


α)

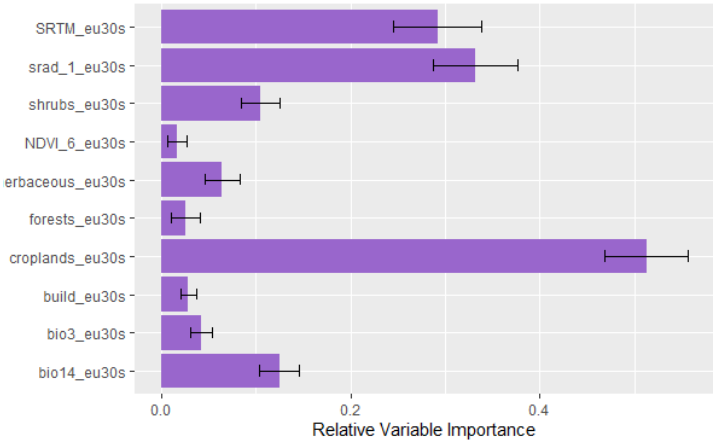


β)

γ)



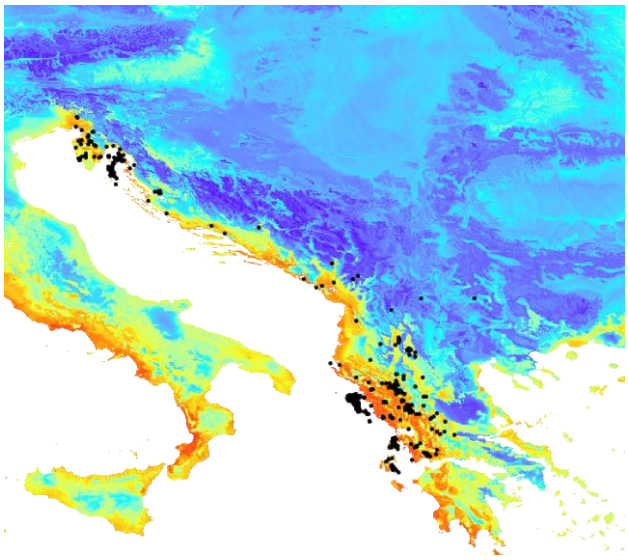
δ)



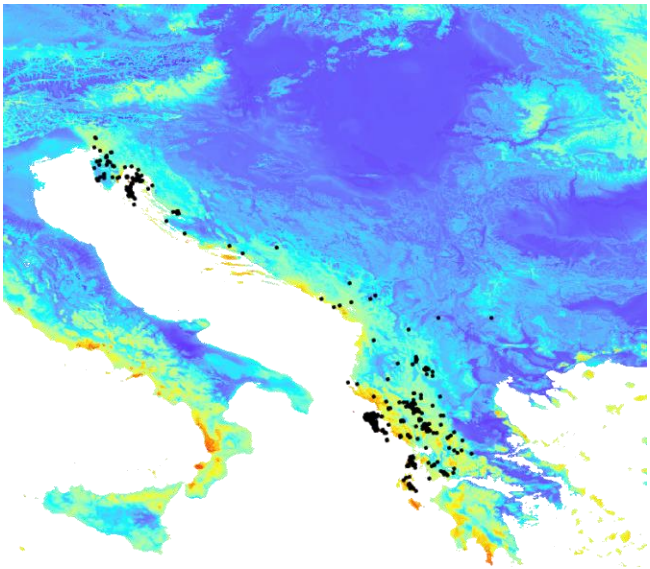
Εικόνα 20 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. nigropunctatus* για την Ευρώπη όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,86, TSS=0,70), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. nigropunctatus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,88, TSS=0,64), γ) Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο BRT, δ) Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

***Algyroides nigropunctatus* Duméril & Bibron, 1839 – Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp585**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του RF (AUC=0,9, TSS=0,74) η πιο σημαντική μεταβλητή είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας (bio4_eur). Το μοντέλο παρουσιάζει πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση. Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται.

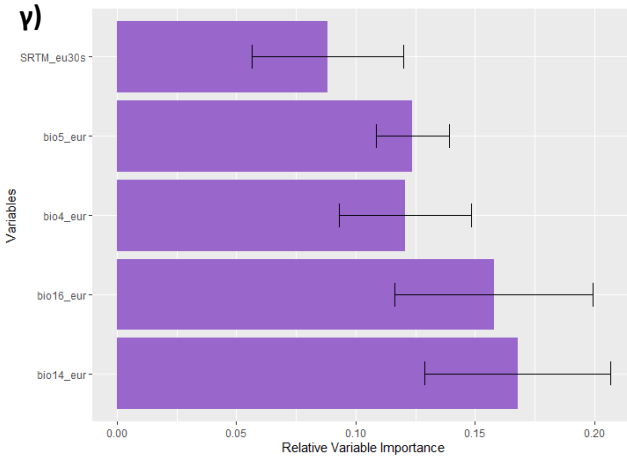


α)



β)

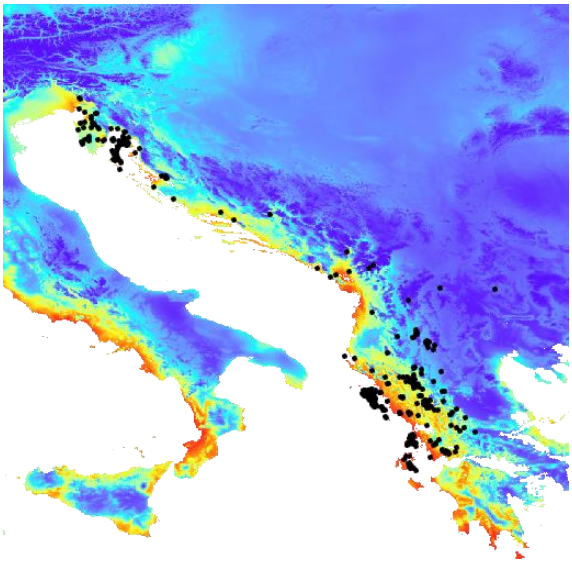
γ)



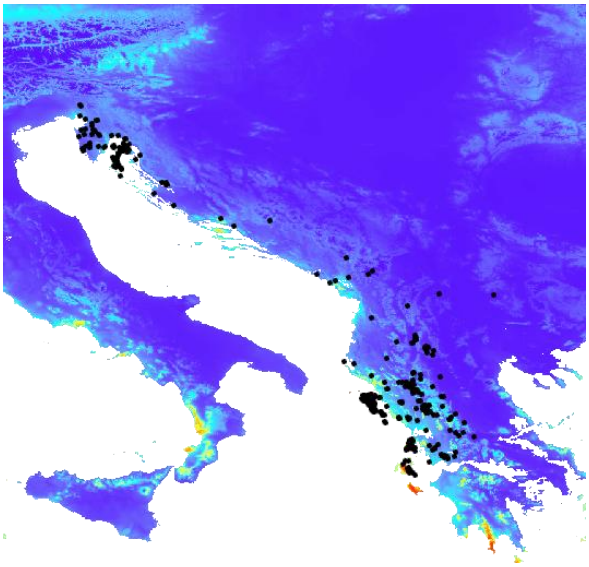
Εικόνα 21 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. nigropunctatus* για την Ευρασία, χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα και το υψόμετρο ως επεξηγηματικές μεταβλητές από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,9, TSS=0,74), β) Η πρόβλεψη για την καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585 γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο κλιματικό μοντέλο.

***Algyroides nigropunctatus* Duméril & Bibron, 1839 – Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp585_MAXENT**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του MAXENT (AUC=0,82, TSS=0,57), πιο σημαντική μεταβλητή είναι η βροχόπτωση του υγρότερου τριμήνου (bio16_eur) και το υψόμετρο (SRTM_eu30s). Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται. Το μοντέλο παρουσιάζει καλή στατιστική αξιολόγηση.

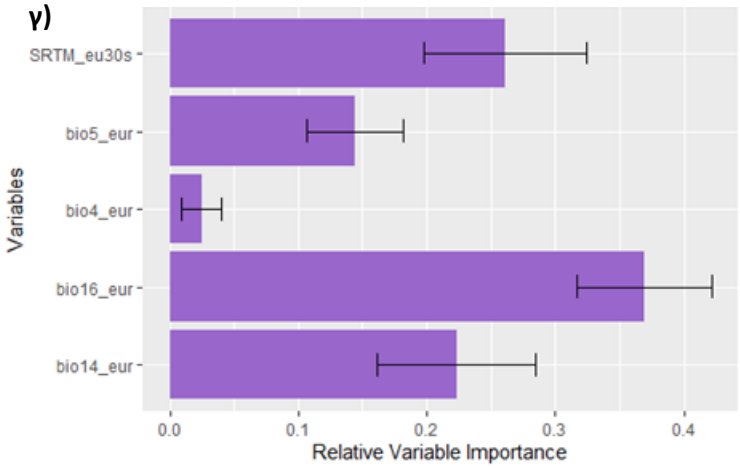


α)



β)

γ)



Εικόνα 22 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. nigropunctatus* για την Ευρασία, χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα και το υψόμετρο ως επεξηγηματικές μεταβλητές από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,82, TSS=0,57), β) Η πρόβλεψη για την καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585. γ) Οι πιο περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο κλιματικό μοντέλο.

Algyroides moreoticus Bibron & Bory, 1833

Κοινές ονομασίες: Σαύρα του Μοριά

Κατανομή: Ενδημικό είδος της Πελοποννήσου, και των Ιονίων νήσων (Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη και Στροφάδες νήσοι)

Εικόνα 23 Αρσενικό άτομο *A. moreoticus* https://www.eurolizards.com/lizards/algyroides-moreoticus

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Εξαρτάται σημαντικά από τη βλάστηση και από την υψηλή υγρασία. Συναντάται σε φρυγανικά οικοσυστήματα και καλά χουμοποιημένο στρώμα (Arnold 1973). Συναντάται σε παράκτιες περιοχές και σπάνια ενδότερα, σε χαμηλά υψόμετρα (Buttle 1988) μέχρι τα 1200 μέτρα υψόμετρο. Προτιμά σκιερά μέρη όπως κάτω από φυλλώματα.

Κατάσταση είδους: Κ.Β. (2009), IUCN (2020) Σχεδόν απειλούμενο (NT)

Κίνδυνοι: Απώλεια ενδιαιτήματος λόγω πυρκαγιών, αποψίλωσης των δασών, εντατικοποίησης της καλλιέργειας και της τουριστικής ανάπτυξης (Böhme & Lymberakis 2009).

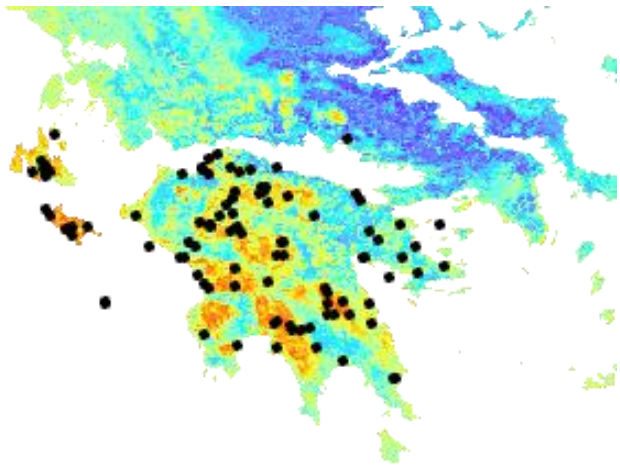
Τα αποτελέσματα για το *A. moreoticus* φαίνονται στον Πίνακα 14 και στην Εικόνες 24 και 25. Για το είδος αυτό δημιουργήθηκαν μοντέλα μόνο για το σετ των περιβαλλοντικών μεταβλητών όπως ορίστηκαν για την Ελλάδα. Για το είδος αυτό δημιουργήθηκαν οι δύο πρώτες κατηγορίες μοντελοποίησης.

Πίνακας 14 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *A. moreoticus.*

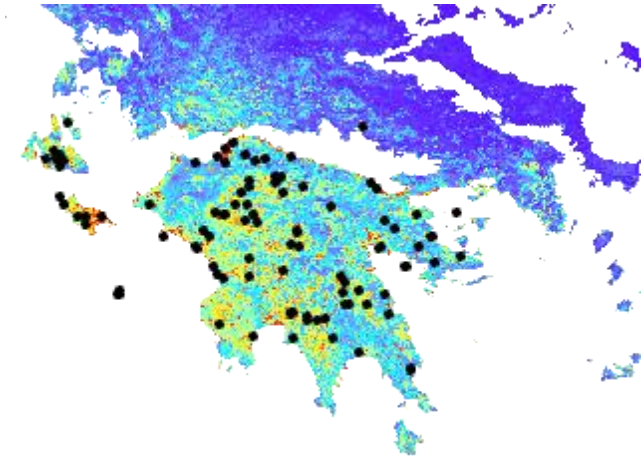
Ελλάδα		**Ευρασία**	
RF AUC=0,71,TSS=0,43	MAXENT AUC=0,63, TSS=0,31	**MARS** AUC=0,67, TSS=0,42	MAXENT AUC=0,73, TSS=0,49
srad Ιανουαρίου (19,4%)	srad Ιανουαρίου (35%)	Ισοθερμικότητα (29,4%)	Ανθρώπινος πληθυσμός (53,1%)
Ετήσια βροχόπτωση (14,8%)	Παρουσία θαμνότοπων (22,8%)	srad Ιανουαρίου (27,1%)	srad Ιανουαρίου (36,1%)
Εποχικότητα της θερμοκρασίας (14%)	Παρουσία αστικών περιοχών (21,5%)	Παρουσία αστικών περιοχών (23,7%)	
		Ανθρώπινος πληθυσμός (20,1%)	

***Algyroides moreoticus* Bibron & Bory, 1833 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο RF (AUC=0,71, TSS=0,43) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN), η ετήσια βροχόπτωση (WCL12_30s), η εποχικότητα της θερμοκρασίας (WCL4_30s) και ο NDVI Ιουνίου (NDVI_JUN). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT (AUC=0,63, TSS=0,31) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN), η παρουσία θαμνότοπων (shrubs) και η παρουσία αγροτικών περιοχών (agricult.ar). Το μοντέλο RF παρουσιάζει καλή αξιολόγηση και του MAXENT μέτρια.

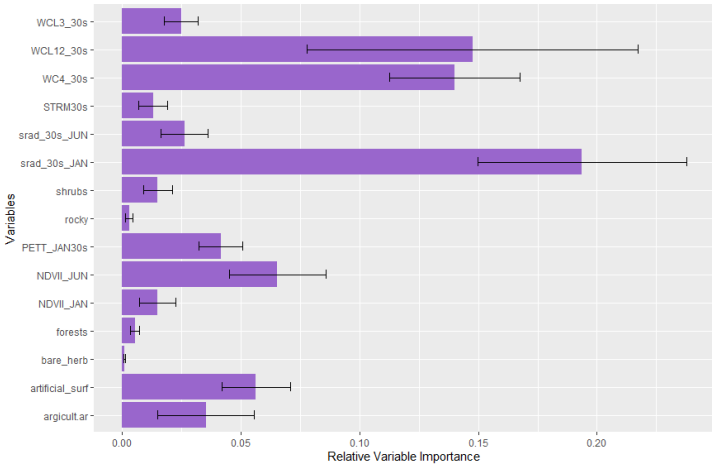


α)

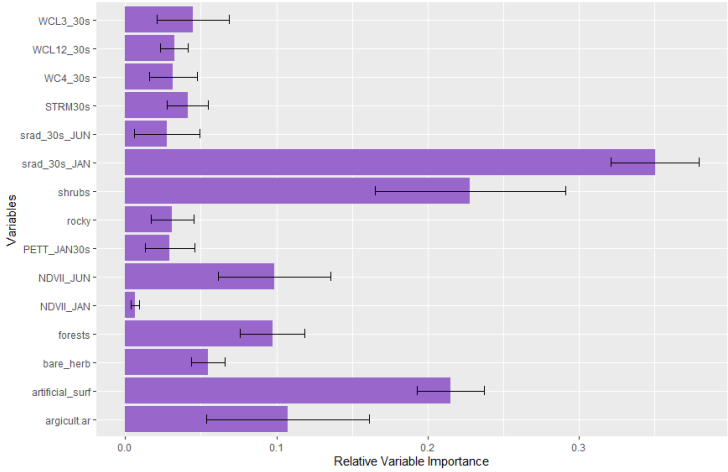


β)

γ)



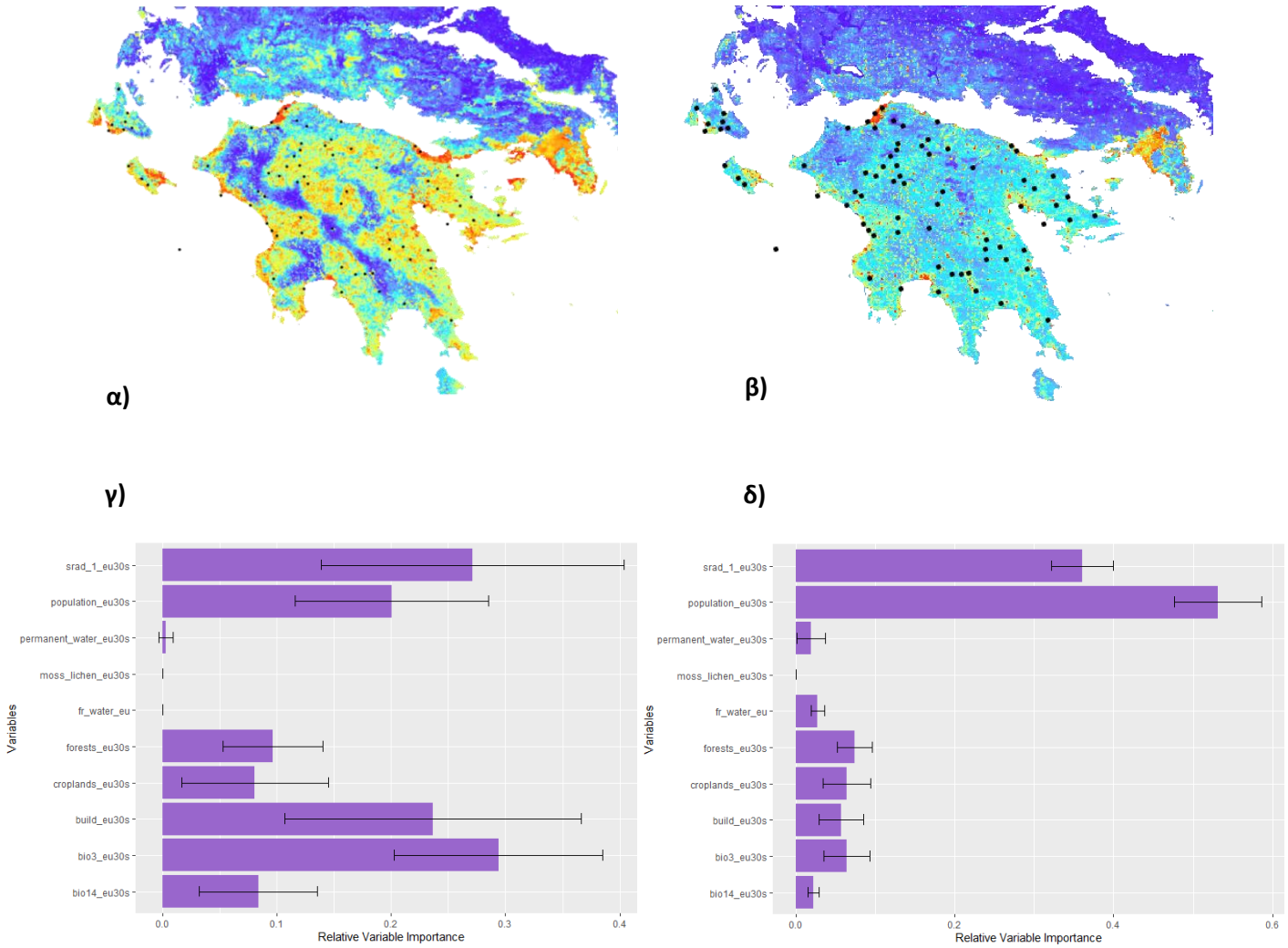
δ)



Εικόνα 24 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. moreoticus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,71, TSS=0,43) β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. moreoticus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,63, TSS=0,31), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

***Algyroides moreoticus* Bibron & Bory, 1833 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο MARS (AUC=0,67, TSS=0,42) είναι η ισοθερμικότητα (WCL3_30s), η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN), η παρουσία αστικών περιοχών (build_eu30s) και ο ανθρώπινος πληθυσμός (population_eu30s). Αντίστοιχα οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT (AUC=0,73, TSS=0,49) είναι ο ανθρώπινος πληθυσμός (population_eu30s) και η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN). Το μοντέλο MARS παρουσιάζει μέτρια αξιολόγηση και το μοντέλο από τον MAXENT καλή.



Εικόνα 25 Χάρτης καταλληλότητας για το *A. moreoticus* με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιλέχθηκαν για τη μελέτη της Ευρασίας όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MARS (AUC=0,67, TSS=0,42) β) Χάρτης καταλληλότητας για το *A. moreoticus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,73, TSS=0,49), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο MARS, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

Pseudopus apodus Pallas 1775

Κοινή ονομασία Τυφλίτης, Φιδόσαυρα, Τύφλιακας

Εξάπλωση Διάσπαρτη εξάπλωση στη νοτιοανατολική Ευρώπη και στην Κ. Ασία. Στην Ελλάδα παρουσιάζει ευρεία εξάπλωση στην ηπειρωτική Ελλάδα, την Εύβοια και την Πελοπόννησο. Συναντάται επίσης στο Ιόνιο και σε ορισμένα νησιά του ανατολικού Αιγαίου.

Εικόνα 26 Άτομο *P. apodus*
https://www.gbif.org/occurrence/3039297254

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Ευρύτοπο είδος που συναντάται από ξηρά περιβάλλοντα με ξεροφυτική βλάστηση έως εδάφη με υψηλή υγρασία. Συναντάται σε ανοιχτές περιοχές με ή χωρίς καθόλου δέντρα αλλά όπου υπάρχουν καταφύγια όπως θάμνοι ή σωροί από πέτρες όπως ξερολιθιές. Μπορεί να βρεθεί σε εγκαταλειμμένα χωριά και χέρσα εδάφη στις παρυφές καλλιεργούμενων εκτάσεων (Telenchev et al. 2014, Rifai et al. 2005, Strijbosch 1989)

Κίνδυνος Κ.Β. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Απειλές Δεν φαίνεται να απειλείται ιδιαίτερα εκτός από περιπτώσεις που συγχέεται με φίδι και θανατώνεται (Aghasyan et al. 2021).

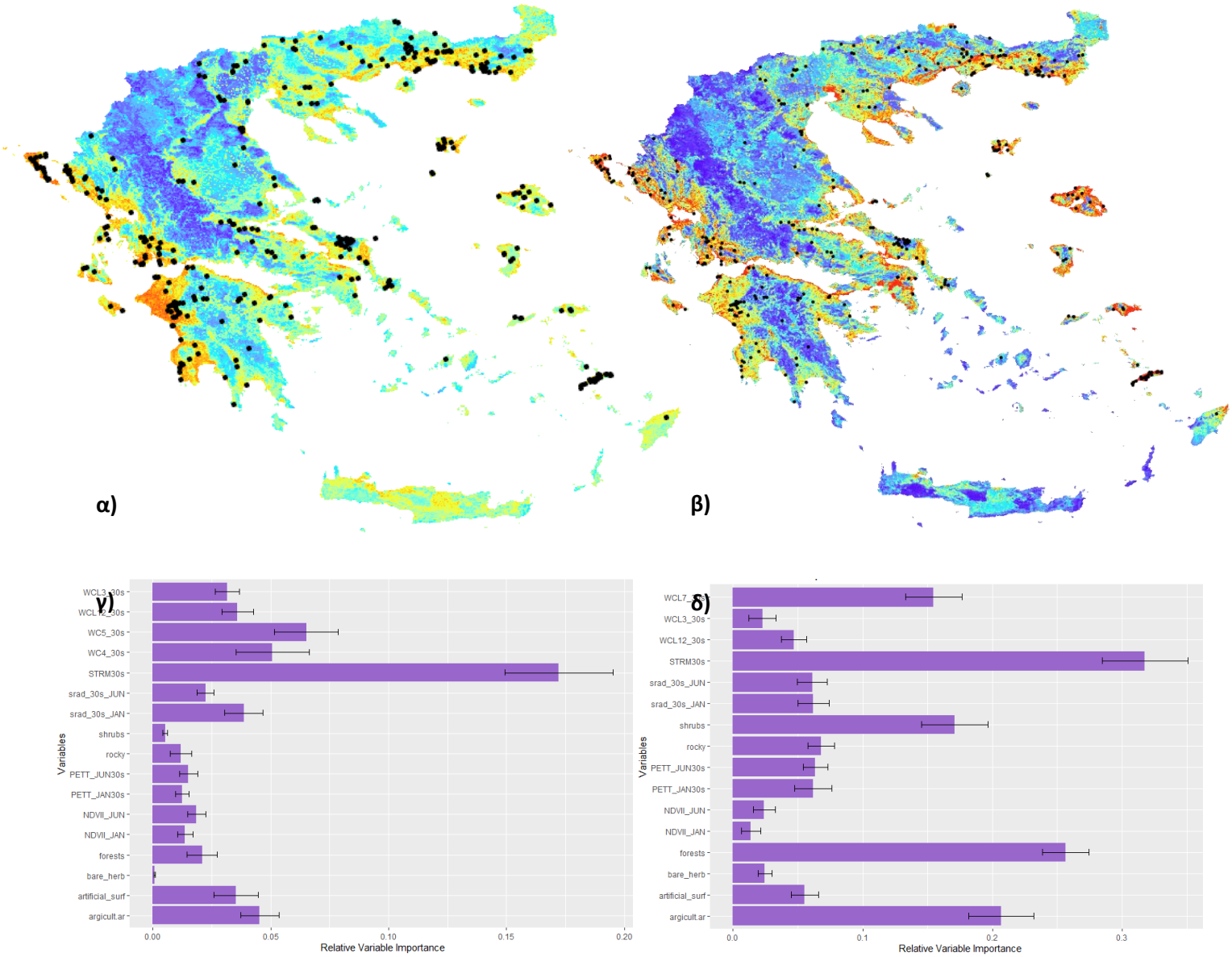
Τα αποτελέσματα για κάθε σετ μοντελοποίησης φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 15 και οι χάρτες καταλληλότητας στις Εικόνες 27,28 και 29. Για αυτό το είδος επιλέχθηκαν μοντέλα από τους αλγόριθμους RF και BRT.

Πίνακας 15 Αποτελέσματα για το *P. apodus*

Ελλάδα		**Ευρασία**		**Κλιματικό μοντέλο**	
RF AUC=0,76,TSS=0,44	MAXENT AUC=0,74,TSS=0,49	**BRT** AUC=0,81 TSS=0,51	MAXENT AUC=0,83,TSS=0,55	**BRT** AUC= 0,79,TSS=0,49	MAXENT AUC= 0,79, TSS=0,49
Υψόμετρο (17.2%)	Υψόμετρο (31.8%)	NDVI Ιουνίου (31,7%)	Υψόμετρο (23,1%)	Ελάχιστη Θ του ψυχρότερου μήνα (50,1%)	Ελάχιστη Θ του ψυχρότερου μήνα (44,4%)
	Παρουσία δασών (25,7%)	Ισοθερμικότητα (18,8%)	Παρουσία καλλιεργειών (22,8%)		
	Παρουσία καλλιεργειών (20,7%)		Παρουσία δασών (18,8%)		

***Pseudopus apodus* Pallas 1775 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο των RF (AUC=0,76, TSS=0,44) είναι το υψόμετρο (SRTM30s) και σε μικρότερο βαθμό η μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (WCL5_30s) και η εποχικότητα της θερμοκρασίας (WCL4_30s). Αντίστοιχα οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,74, TSS=0,42) είναι το υψόμετρο (SRTM30s), η παρουσία δασών (shrubs) και η παρουσία αγροτικών περιοχών (agricult.ar). Τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν καλή στατιστική αξιολόγηση.

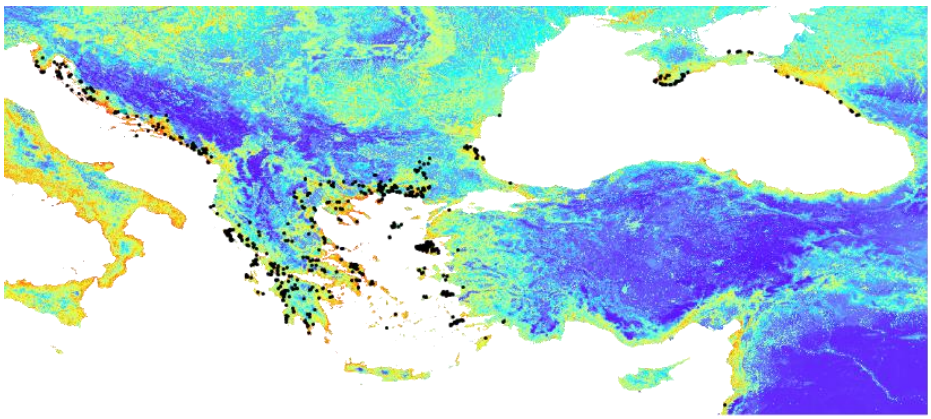


Εικόνα 27 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *P. apodus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,76, TSS=0,44) β) Χάρτης καταλληλότητας για το *P. apodus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,74, TSS=0,42*)* γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο των RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

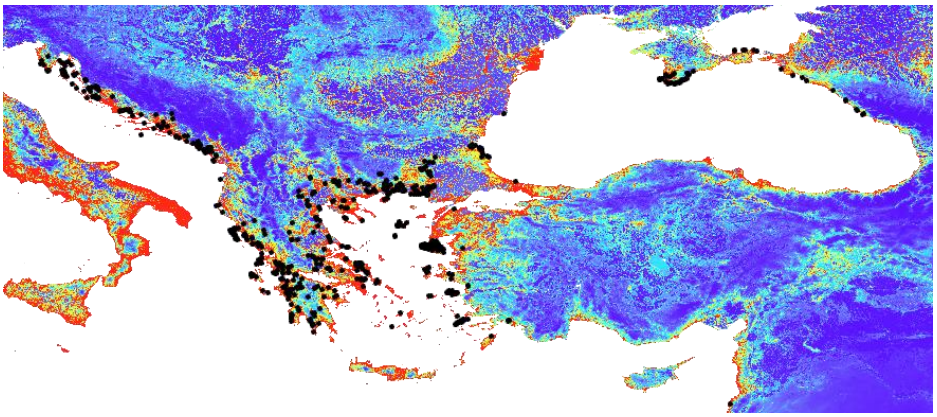
***Pseudopus apodus* Pallas 1775 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

Η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο των BRT (AUC=0,81, TSS=0,51) είναι ο NDVI Ιουνίου (NDVI_6_eu30s) και η ισοθερμικότητα (bio3_eu30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,84, TSS=0,54) είναι το υψόμετρο (SRTM_eu30s) και η παρουσία αγροτικών περιοχών (croplands) και η παρουσία δασών (forests_eu30s). Τα μοντέλα εμφανίζουν πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.

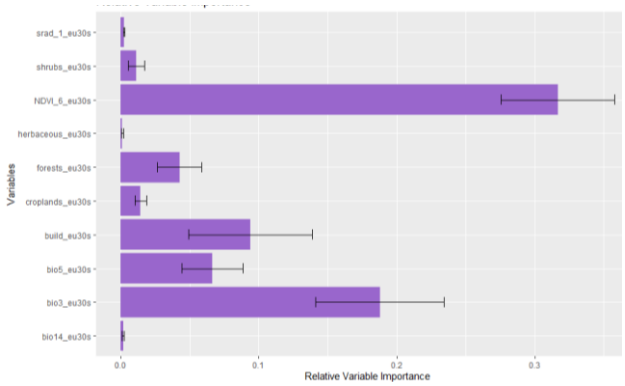
α)



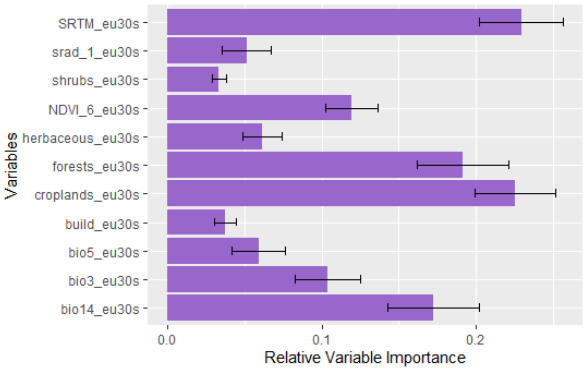
β)



γ)



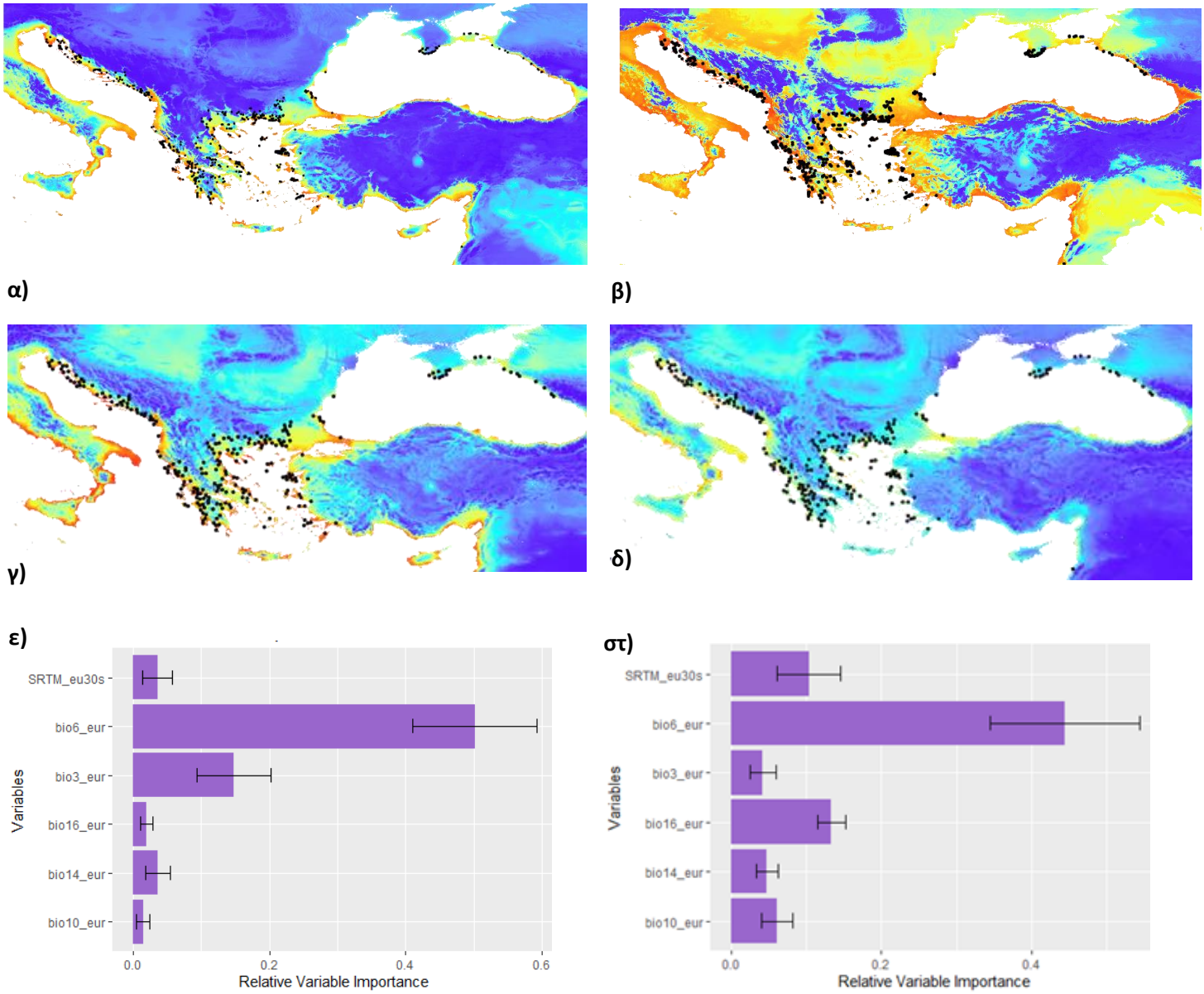
δ)



Εικόνα 28 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *P. apodus* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,81, TSS=0,51), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *P. apodus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,84, TSS=0,54), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο των BRT, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

***Pseudopus apodus* Pallas 1775 _ Αποτελέσματα για το Κλιματικό μοντέλο και πρόβλεψη με το ssp558**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του BRT (AUC=0,79, TSS=0,49) πιο σημαντική μεταβλητή είναι η ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6_eur). Οι πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο MAXENT (AUC=0,82, TSS=0,53), είναι η ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6_eur). Και τα δύο μοντέλα έχουν καλή στατιστική αξιολόγηση. Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται για τους δύο αλγόριθμους.



Εικόνα 29 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *P. apodus* με τις κλιματικές μεταβλητές όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,79, TSS=0,49), β) Η πρόβλεψη της καταλληλότητας για το *P. apodus* όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο ssp585 γ) Χάρτης καταλληλότητας για το *P. apodus* με τις κλιματικές μεταβλητές όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,82, TSS=0,53), δ) Η πρόβλεψη της καταλληλότητας για το *P. apodus* όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο ssp585, ε) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο BRT, στ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

Ophiomorus punctatissimus Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833

Κοινή ονομασία Οφιόμορος

Εξάπλωση

Συναντάται στην Πελοπόννησο, στα Κύθηρα, το Καστελόριζο και έχει εντοπιστεί και στην Ανατολική Αττική

Εικόνα 30 Άτομο *O. punctatissimus* (Camaiti et al. 2019)

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Συναντάται σε χαμηλά υψόμετρα, μέχρι 600 μέτρα. Εντοπίζεται σε ανοιχτά λιβάδια με χαμηλή βλάστηση, θαμνότοπους, ελαιώνες καθώς και κοντά σε αμμώδεις παραλίες (Buttle, 1988). Κρύβεται μέσα στο έδαφος σε φωλιές τρωκτικών, κάτω από πέτρες ή μέσα σε φυλλοστρωμνή και σπάνια εκτίθεται σε ανοιχτά μέρη (Παφίλης & Μαραγκού 2020).

Κίνδυνος K.B. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Απειλές Δεν έχει μελετηθεί επαρκώς το είδος και καθώς παρατηρείται σπάνια απαιτείται περαιτέρω έρευνα (Lymberakis et al. 2009α)

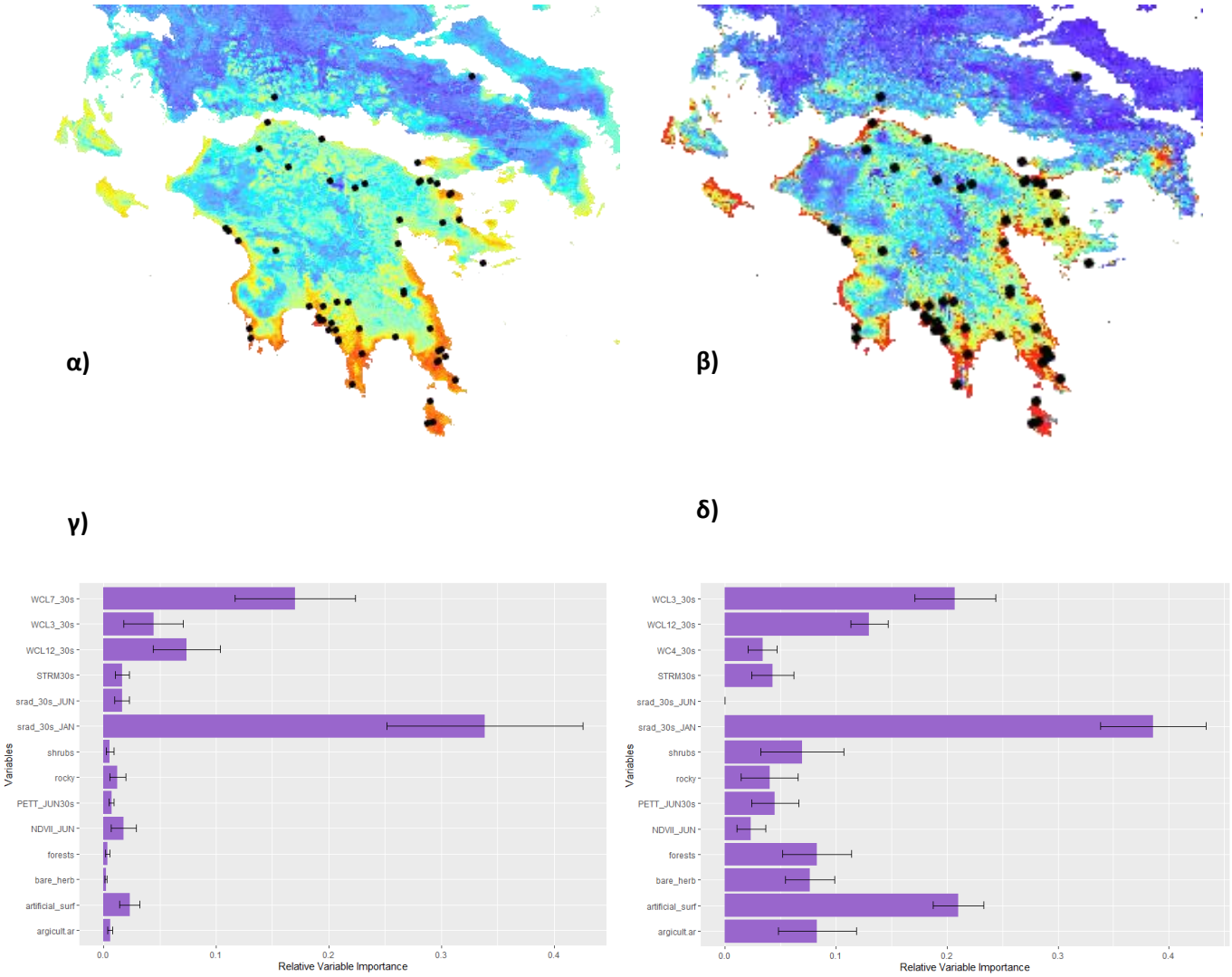
Τα αποτελέσματα για κάθε σετ μοντελοποίησης φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 16 και οι χάρτες καταλληλότητας στις Εικόνες 31 και 32. Για το είδος αυτό δημιουργήθηκαν οι δύο πρώτες κατηγορίες μοντελοποίησης.

Πίνακας 16 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *O. punctatissimus*

Ελλάδα		**Ευρασία**	
RF AUC=0,76,TSS=0,55	MAXENT AUC=0,70, TSS=0,43	**RF** AUC=0,81, TSS=0,65	MAXENT AUC=0,77, TSS=0,56
srad Ιανουαρίου (33,9%)	srad Ιανουαρίου (38,6%)	srad Ιανουαρίου (37,6%)	srad Ιανουαρίου (41,9%)
Ετήσιο εύρος Θ (17%)	Ισοθερμικότητα (20,7%)	Ισοθερμικότητα (27 %)	Ισοθερμικότητα (28,1%)
	Παρουσία χτισμένων_αστικών περιοχών (21%)	Βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (12,5%)	Παρουσία ποωδών περιοχών (27,2%)

***Ophiomorus punctatissimus* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

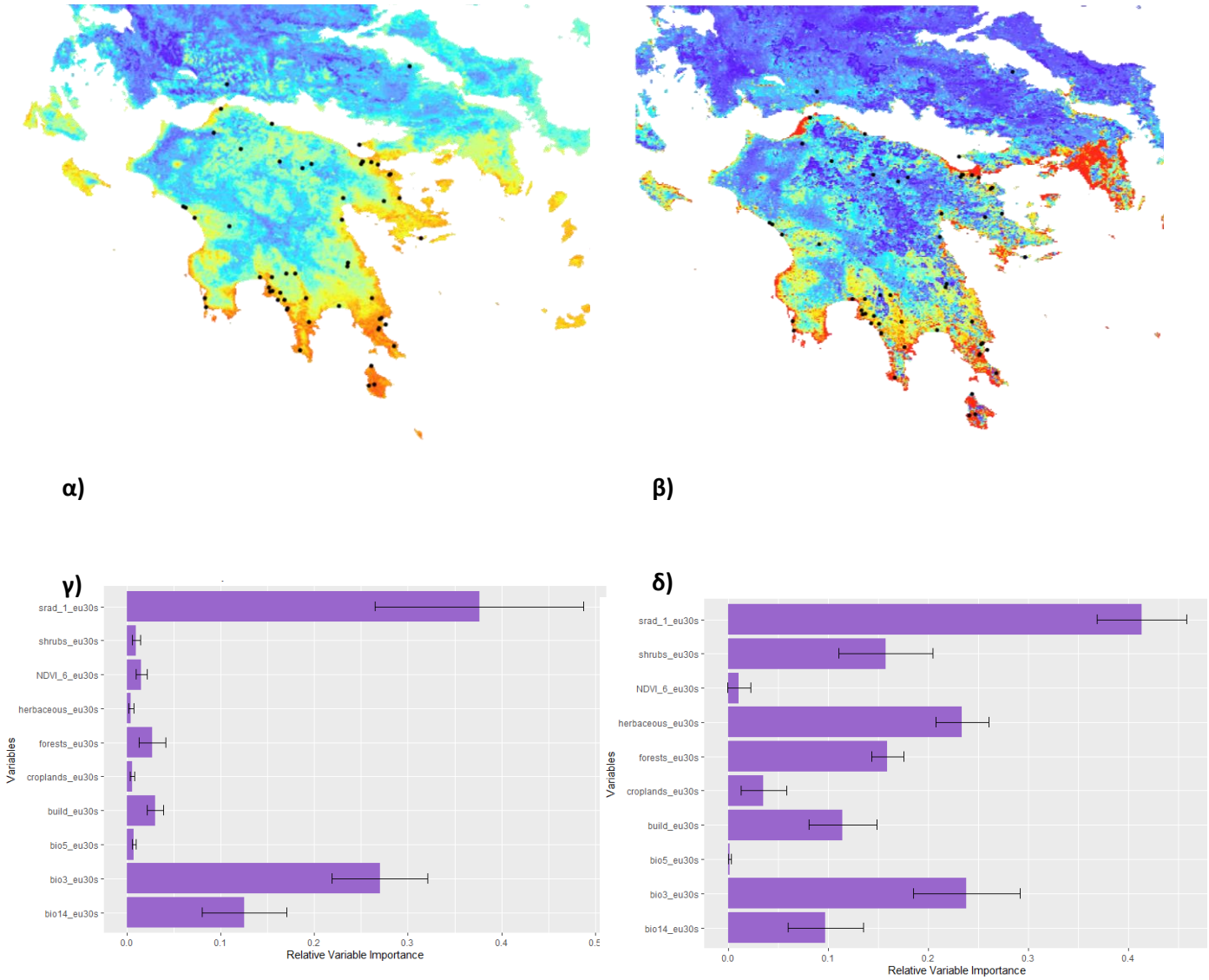
Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο RF (AUC=0,76, TSS=0,55) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN) και το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας (WC7_30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο (AUC=0,7, TSS=0,43) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_30s_JAN), η ισοθερμικότητα (WC3_30s) και η παρουσία χτισμένων_αστικών περιοχών (artificial_suf). Τα μοντέλα και από τους δύο αλγόριθμους έχουν καλή στατιστική αξιολόγηση.



Εικόνα 31 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *O. punctatissimus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,76, TSS=0,55), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *O. punctatissimus για* την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,7, TSS=0,43), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

***Ophiomorus punctatissimus* Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833 - Αποτελέσματα Ευρασίας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο RF (AUC=0,81, TSS=0,65) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_eu30s), η ισοθερμικότητα (bio3_eu30s) και η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (bio14_eu30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT (AUC=0,77, TSS=0,56) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_eu30s), η παρουσία ποωδών περιοχών (herbaceous_eu30s) και η ισοθερμικότητα (bio3_eu30s). Η αξιολόγηση και των δύο μοντέλων είναι καλή.



Εικόνα 32 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *O. punctatissimus* όπως προέκυψε από τις επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για τα μοντέλα της Ευρασίας, από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,81, TSS=0,65), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *O. punctatissimus* όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,77, TSS=0,56), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

Chalcides ocellatus Forskal, 1775

Κοινή ονομασία Λιακόνι

Εξάπλωση

Είναι το είδος με την ευρύτερη εξάπλωση στο γένος (Kapsalas et al. 2018) η οποία είναι αποτέλεσμα ανθρωπόχωρης μεταφοράς. Στην Ευρασία συναντάται στα νότια και νοτιοανατολικά παράλια της Μεσογείου. Στην Ελλάδα παρουσιάζει διάσπαρτη κατανομή και εξαπλώνεται στα ανατολικά της Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου, στην Κρήτη, στη Ρόδο, στην Κάρπαθο και στη Χίο.

Εικόνα 33 Άτομο *C. ocellatus* http://reptilescyprus.blogspot.com/2016/08/ocellated-skink-chalcides-ocellatus.html

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Εντοπίζεται κυρίως σε περιοχές με μαλακό υπόστρωμα όπως περιοχές με ποώδη βλάστηση ή φρύγανα και αμμώδη εδάφη στην παράκτια ζώνη μέχρι ανοιχτές περιοχές όπως θαμνότοποι και καλλιέργειες αλλά και σε κατοικημένες περιοχές. Προτιμά χαμηλά υψόμετρα, μέχρι τα 600 μέτρα. Ευρύτοπο είδος που μπορεί να βρεθεί από ξηρές περιοχές έως περιοχές με υψηλή υγρασία.

Κίνδυνος Κ.Β. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Απειλές Δεν υπάρχουν σημαντικές απειλές για το είδος (Wilms et al. 2021)

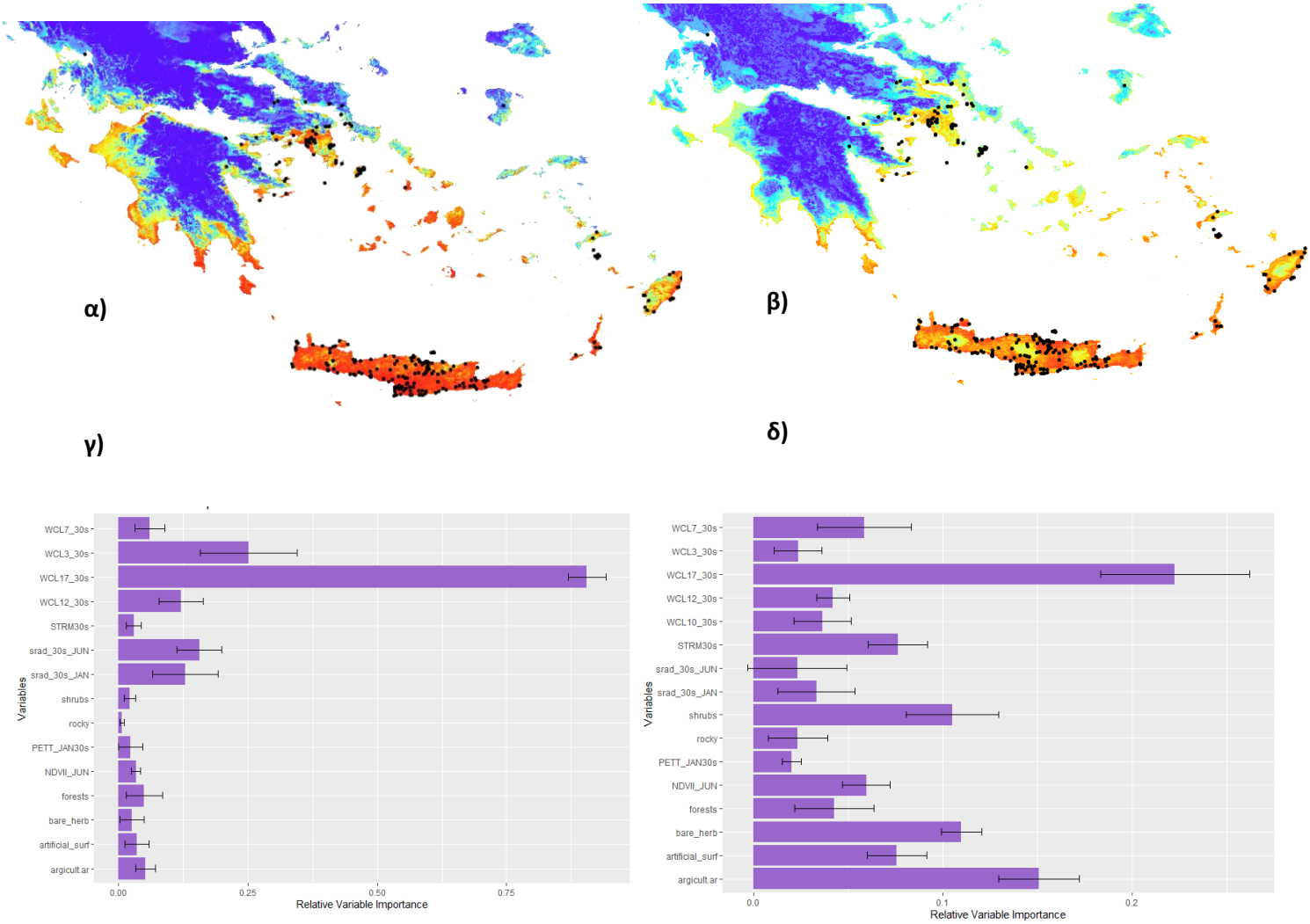
Τα αποτελέσματα για κάθε σετ μοντελοποίησης φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 16 και οι χάρτες καταλληλότητας στις Εικόνες 34, 35, 36 και 37.

Πίνακας 17 Αποτελέσματα για το *C. ocellatus*

Ελλάδα		**Ευρασία**		**Κλιματικό μοντέλο**	
RF AUC=0,87,TSS=0,68	MAXENT AUC=0,74,TSS=0,49	**RF** AUC=0,91,TSS=0,72	MAXENT AUC=0,86,TSS=0,63	**BRT** AUC=0,83,TSS=0,57	MAXENT AUC=0,83,TSS=0,56
Βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου (90,5%)	Βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου (22,2%)	Υψόμετρο (20,2%)	Βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (34,8%)	Ελάχιστη Θ του ψυχρότερου μήνα (33,8%)	Βροχόπτωση του υγρότερου μήνα (28,9%)
Ισοθερμικότητα (25,2%)	Παρουσία καλλιεργειών (12,7%)	NDVI Ιουνίου (13%)	NDVI Ιουνίου (31,9%)		Ελάχιστη Θ του ψυχρότερου μήνα (19,1%)
srad Ιουνίου (15,6%)		Παρουσία αστικών περιοχών (13%)	Υψόμετρο (28,9%)		

***Chalcides ocellatus* Forskal, 1775 - Αποτελέσματα Ελλάδας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο GLM (AUC=0,87, TSS=0,68) είναι η βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου (WC17_30s) και σε μικρότερο βαθμό η ισοθερμικότητα (WC3_30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,85, TSS=0,59) είναι η βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου (WCL17_30s) και η παρουσία καλλιεργειών (agricult.ar). Και τα δύο μοντέλα έχουν πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.

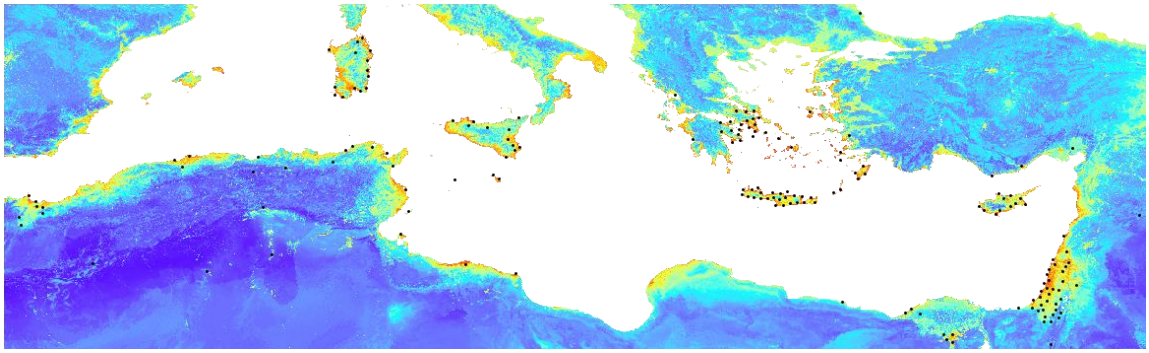


Εικόνα 34 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *C. ocellatus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο GLM (AUC=0,87, TSS=0,68), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *C. ocellatus* για την Ελλάδα όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,85, TSS=0,59), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο GLM, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

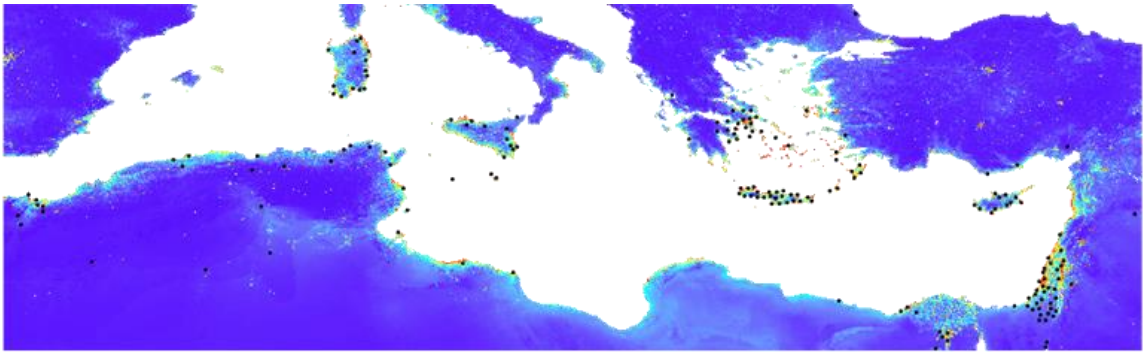
***Chalcides ocellatus* Forskal, 1775_ Αποτελέσματα Ευρασίας**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο RF (AUC=0,91, TSS=0,72), είναι το υψόμετρο (SRTM_30s), ο NDVI Ιουνίου (NDVI_6_eu30s) και η παρουσία χτισμένων περιοχών (build_eu30s). Αντίστοιχα, οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT (AUC=0,86, TSS=0,63) είναι το υψόμετρο (SRTM_30s), ο NDVI Ιουνίου (NDVI_6_eu30s) η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (bio14_eu30s). Και τα δύο μοντέλα εμφανίζουν πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.

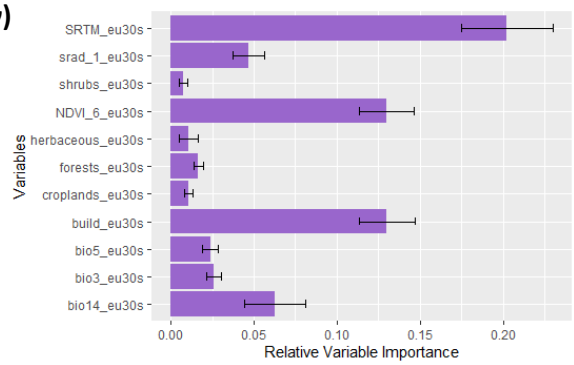
α)



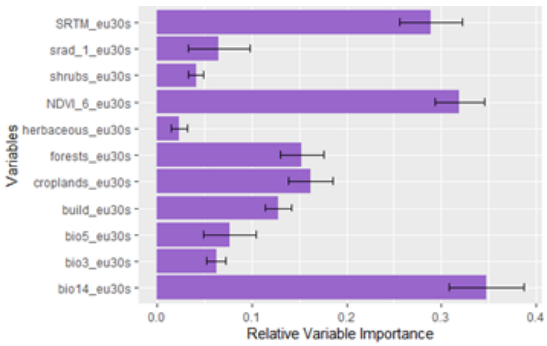
β)



γ)



δ)

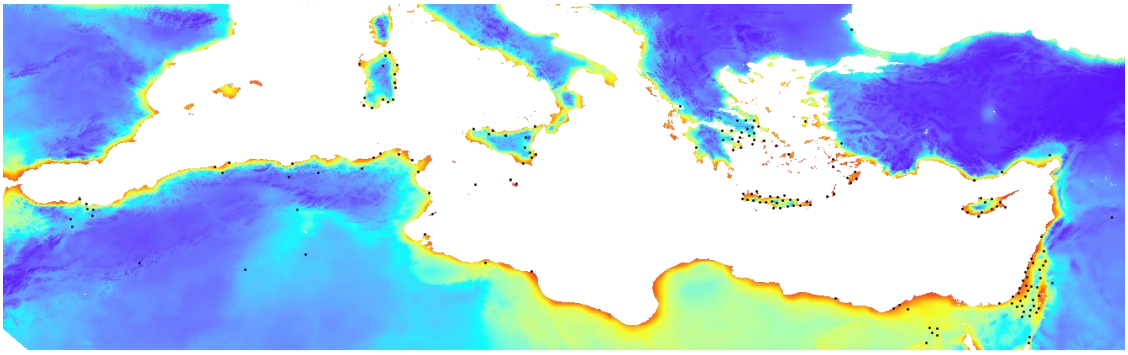


Εικόνα 35 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *C. ocellatus* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο RF (AUC=0,91, TSS=0,72), β) Χάρτης καταλληλότητας για το *C. ocellatus* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,86, TSS=0,63) όπου φαίνονται αραιωμένα τα στίγματα για το είδος, γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο RF, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο του MAXENT.

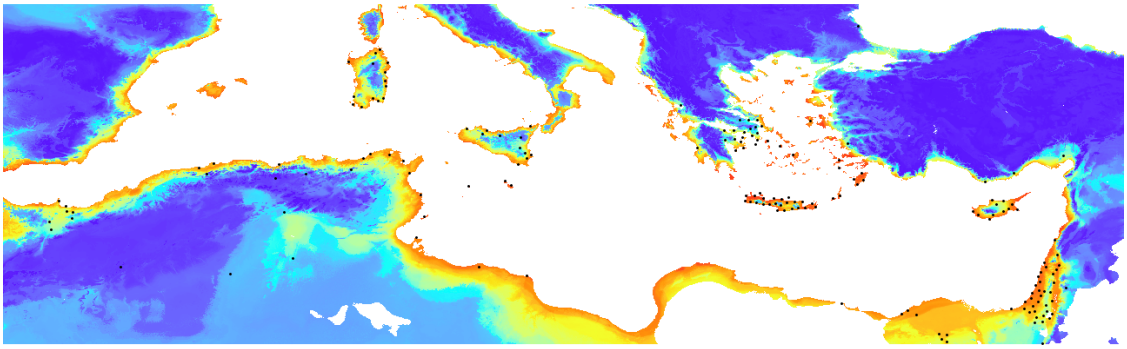
***Chalcides ocellatus* Forskal, 1775_ Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και προβολή στο κλιματικό σενάριο ssp558**

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο BRT (AUC=0,83, TSS=0,57), είναι η ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6_eur). Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται. Το μοντέλο εμφανίζει πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.

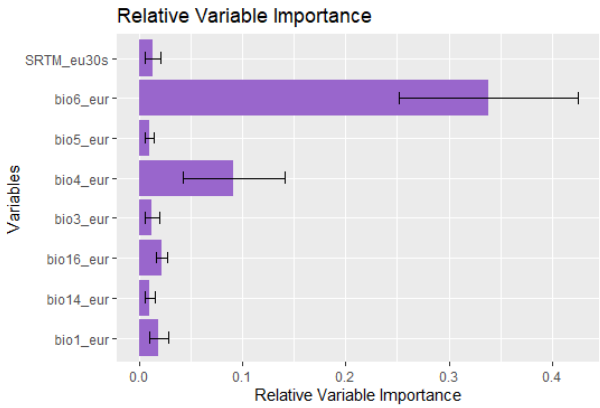
α)



β)



γ)

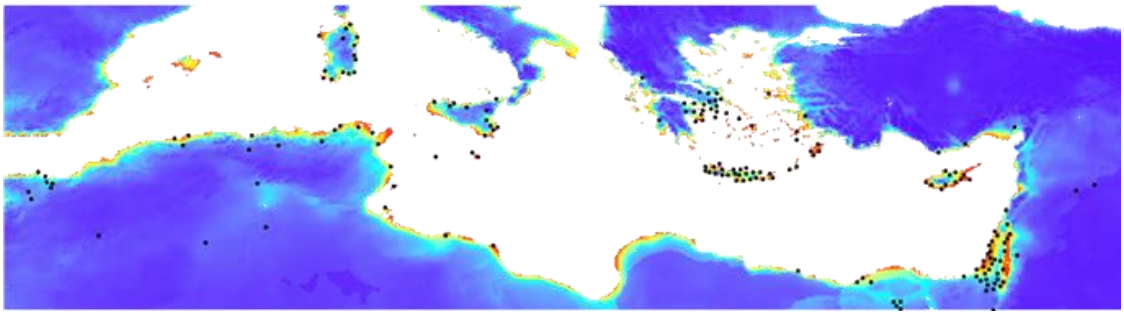


Εικόνα 36 Χάρτης καταλληλότητας για το C. ocellatus για την Ευρασία από το κλιματικό μοντέλο όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,83, TSS=0,57), β) Η προβολή του κλιματικού μοντέλου BRT για το C. ocellatus για την Ευρασία σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο ssp558 όπου φαίνονται αραιωμένα τα στίγματα για το είδος, γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο BRT.

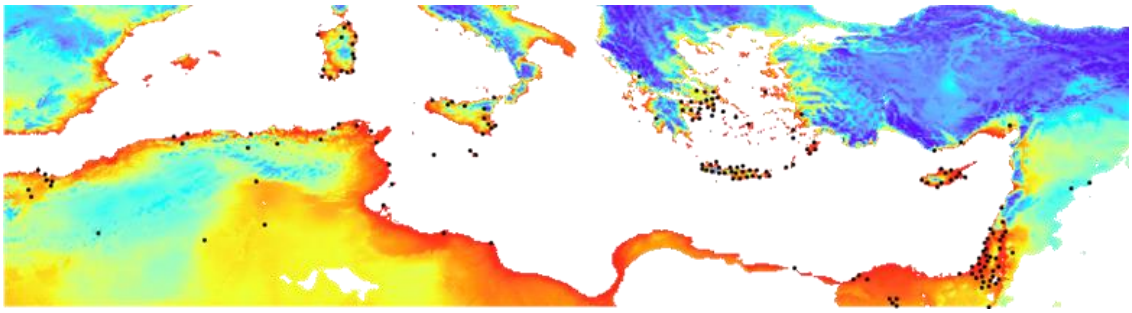
***Chalcides ocellatus* Forskal, 1775_ Αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο και προβολή στο κλιματικό σενάριο ssp558**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του MAXENT (AUC=0,83, TSS=0,56) οι πιο σημαντικές μεταβλητές είναι η βροχόπτωση του υγρότερου μήνα (bio16_eur) και η ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6_eur). Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται. Το μοντέλο εμφανίζει πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.

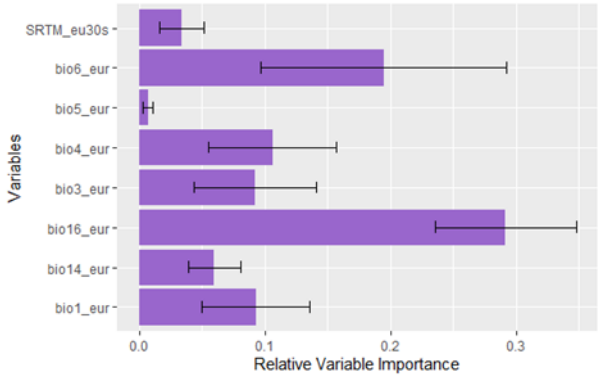
α)



β)



γ)



Εικόνα 37 Χάρτης καταλληλότητας για το *C. ocellatus* για την Ευρασία από το κλιματικό μοντέλο όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,83, TSS=0,56), β) Η προβολή του κλιματικού μοντέλου MAXENT για το *C. ocellatus* για την Ευρασία σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο ssp558 όπου φαίνονται αραιωμένα τα στίγματα για το είδος, γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

Blanus strauchi Bedriaga, 1884

Εικόνα 38 Άτομο του είδους *B. strauchii*
https://www.eurolizards.com/about-lacertids/

Κοινές ονομασίες: Αμφίσβαινα

Εξάπλωση

Εξαπλώνεται από τη νότια Τουρκία, το βόρειο Ιράκ, το Λίβανο ενδεχομένως και τη Συρία μέχρι τον ελλαδικό χώρο συμπεριλαμβανομένων της Σάμου, των Φούρνων, της Κω, της Λέρου, της Καλύμνου, της Σύμης, της Ρόδου και του Καστελόριζου.

Ενδιαίτημα και στοιχεία οικολογίας

Συναντάται σε περιοχές με αραιή βλάστηση, σε υγρά, αμμώδη ενδιαιτήματα που είναι εύκολο να σκάψουν και έχουν μεγάλες ποσότητες χούμου. Μπορεί να βρεθεί και σε γεωργικές εκτάσεις χαμηλής έντασης.

Κίνδυνος Κ.Β. (2009), IUCN (2020) Μειωμένου ενδιαφέροντος (LC)

Απειλές Δεν υπάρχουν σημαντικές απειλές για αυτό το είδος. Συχνή απειλή είναι ο άνθρωπος καθώς συγχέει τη αμφίσβαινα με φίδι (Lymberakis et al. 2009β).

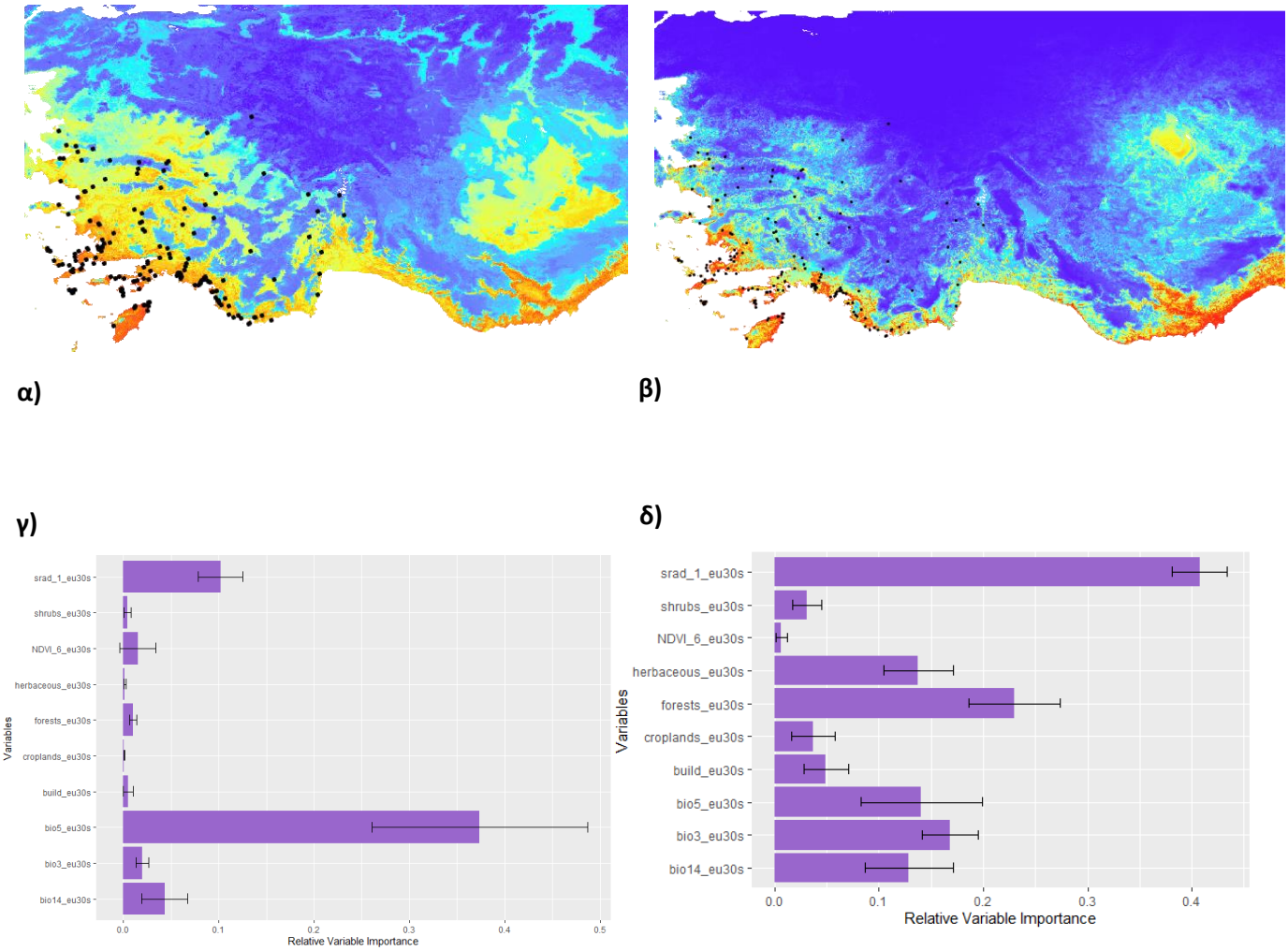
Τα αποτελέσματα για κάθε σετ μοντελοποίησης φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 18 και οι χάρτες καταλληλότητας στις Εικόνες 38 και 39.

Πίνακας 18 Αποτελέσματα μοντελοποίησης για το *B. strauchii*

Ευρασία		**Κλιματικό μοντέλο**	
BRT AUC=0,85, TSS=0,61	MAXENT AUC=0,84, TSS=0,59	**GLM** AUC= 0,86, TSS=0,62	MAXENT AUC=0,82, TSS=0,57
Μέγιστη Θ του θερμότερου μήνα (36,8%)	srad Ιανουαρίου (41,2%)	Μέση Θ του θερμότερου τριμήνου (72%)	srad Ιανουαρίου (23,6%)
	Παρουσία δασών (23,9%)		

***Blanus strauchii* Bedriaga, 1884_ Αποτελέσματα Ευρασίας**

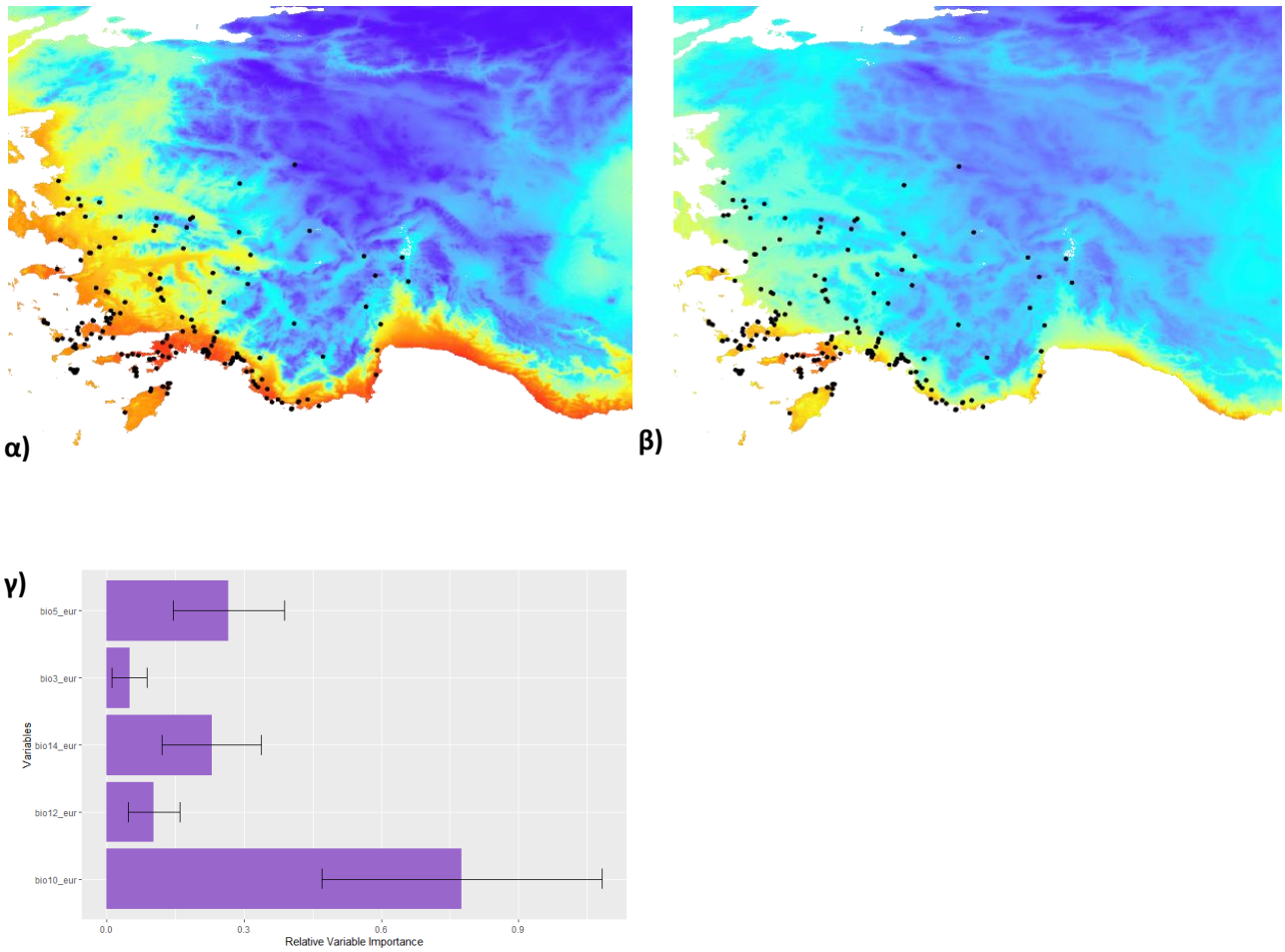
Η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο BRT (AUC=0,85, TSS=0,61) είναι η μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα. Αντίστοιχα, η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο MAXENT (AUC=0,84, TSS=0,57) είναι η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου (srad_1_eu_30s) και ακολούθως η παρουσία δασών (forests_eu30s). Τα δύο μοντέλα εμφανίζουν πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.



Εικόνα 38 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *B. strauchii* για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο BRT (AUC=0,85, TSS=0,61), β) Χάρτης καταλληλότητας για το B. strauchii για την Ευρασία όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,84, TSS=0,57), γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο μοντέλο BRT, δ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές που συνεισέφεραν στο μοντέλο MAXENT.

***Blanus strauchii* Bedriaga, 1884_ Κλιματικό μοντέλο, Πρόβλεψη με το ssp558**

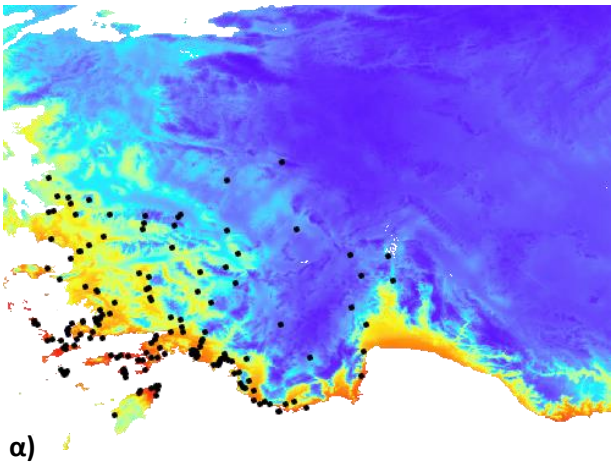
Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του GLM (AUC=0,86, TSS=0,62) η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο κλιματικό μοντέλο είναι η μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου (bio10_eu). Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται. Το μοντέλο εμφανίζει πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση.

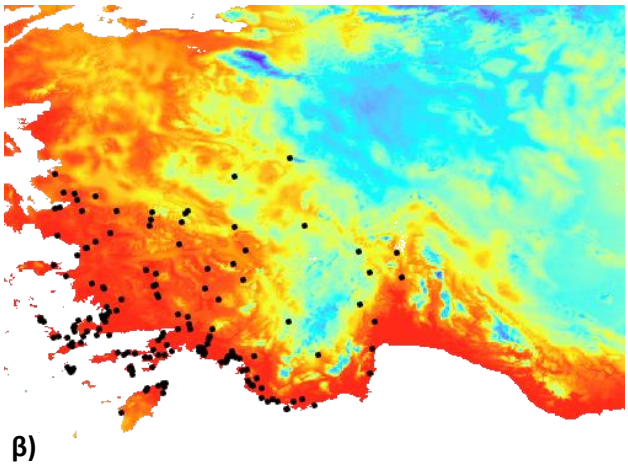


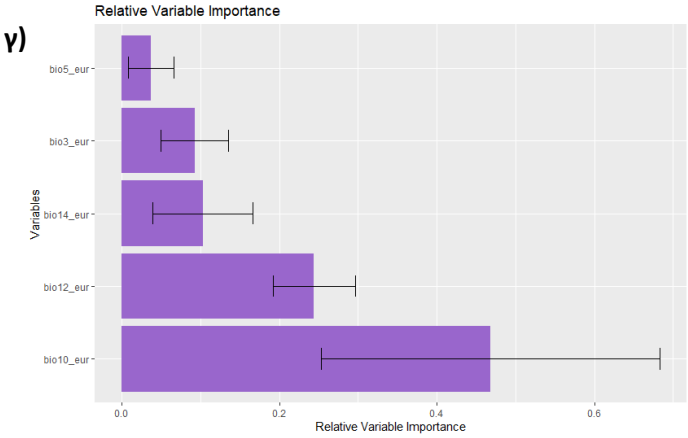
Εικόνα 39 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *B. strauchii* για την Ευρασία, όπως προέκυψε από το κλιματικό μοντέλο και τον αλγόριθμο GLM (AUC=0,86, TSS=0,62), β) Η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το αντίστοιχο ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585, γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο κλιματικό μοντέλο.

***Blanus strauchii* Bedriaga, 1884_ Κλιματικό μοντέλο, Πρόβλεψη με το ssp558**

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο του MAXENT(AUC=0,81, TSS=0,53) η πιο σημαντική μεταβλητή που συνεισέφερε στο κλιματικό μοντέλο είναι η μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου (bio10_eu). Παρακάτω φαίνεται πώς θα μεταβληθεί η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που εξετάζεται. Το μοντέλο εμφανίζει πολύ καλή στατιστική αξιολόγηση







Εικόνα 40 α) Χάρτης καταλληλότητας για το *B. strauchii* για την Ευρασία, όπως προέκυψε από το κλιματικό μοντέλο και τον αλγόριθμο MAXENT (AUC=0,81, TSS=0,53), β) Η καταλληλότητα των περιοχών σύμφωνα με το αντίστοιχο ακραίο κλιματικό σενάριο ssp585, γ) Οι πιο σημαντικές μεταβλητές όπως συνεισέφεραν στο κλιματικό μοντέλο.

Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία δημιουργήσαμε μοντέλα δυνητικής κατανομής για 9 είδη σαυρών με σκοπό να διερευνήσουμε την κατανομή τους. Δημιουργήσαμε τρεις ομάδες περιβαλλοντικών δεδομένων: 1) περιβαλλοντικοί παράγοντες για την Ελλάδα, 2) περιβαλλοντικοί παράγοντες για την Ευρασία, 3) κλιματικοί παράγοντες και υψόμετρο για την Ευρασία και οι αντίστοιχοι για το ακραίο κλιματικό σενάριο ssp558 για την περίοδο 2041-2070. Για κάθε μία κατηγορία παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από δύο αλγόριθμους.

Διαφορετικά μοντέλα, διαφορετικά συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των μοντέλων βασίζονται στην ποιότητα (ακρίβεια, αντιπροσωπευτικότητα) των δεδομένων που εισάγονται κατά τη μοντελοποίηση και στον τρόπο με τον οποίο αυτά αναλύονται από τους αλγόριθμους (Araújo et al. 2019, Elith et al. 2006). Η χρήση πολλών αλγορίθμων συνίσταται όταν χρησιμοποιούνται τα εργαλεία των SDM ώστε να αξιολογούνται και να επιλέγεται εκείνο που αντανακλά περισσότερο την πραγματική κατανομή του είδους. Εδώ επιβεβαιώθηκε η παραπάνω σύσταση, καθώς εφαρμόσαμε διαφορετικούς αλγόριθμους από τους οποίους τα αποτελέσματα για κάθε είδος μπορεί να διαφοροποιούνταν σημαντικά (πχ. *A. kitaibelii*, Εικόνες 14, 15) και φαίνεται ότι πράγματι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αρκετοί αλγόριθμοι κάθε φορά. Από τους αλγόριθμους που εφαρμόστηκαν, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν οι BRT και RF οι οποίοι φαίνεται ότι βρίσκουν καλή εφαρμογή στα SDM (Liu et al. 2011, Elith et al. 2006) και μπορούν να ανταποκριθούν σε μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών παραμέτρων (Elith et al. 2011).

Δεδομένα παρουσίας

Τα δεδομένα παρουσίας όπως συγκεντρώθηκαν δείχνουν ότι για τα περισσότερα είδη τα στίγματα παρουσίας είναι αντιπροσωπευτικά της κατανομής τους. Ωστόσο, φαίνεται ότι οι γεωργικές περιοχές είναι λιγότερο μελετημένες στην Ελλάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές και από αυτές απουσιάζουν στίγματα για είδη τα οποία θα περιμέναμε να εντοπίζονται σε αυτές πχ. το *A. kitaibelii* θα περιμέναμε να υπάρχει στο Θεσσαλικό κάμπο αλλά απουσιάζουν στίγματα.

Αντίστοιχα, τα παγκόσμια δεδομένα από την GBIF σε αρκετές περιπτώσεις δεν ήταν ακριβή. Ωστόσο, χρησιμοποιήθηκαν καθώς δεν θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε σενάρια κλιματικής αλλαγής και να μη περιλαμβάνουμε στίγματα αντιπροσωπευτικά του συνόλου της κατανομής των ειδών και των οικολογικών τους απαιτήσεων.

Μεροληψία των μοντέλων

Για τα μοντέλα στην Ελλάδα παρουσιάζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Περιοχές για τις οποίες δεν έχουμε στίγματα όπως ο Θεσσαλικός κάμπος, ο κάμπος στη Δυτική Μακεδονία αλλά και η Θράκη παρουσιάζονται συστηματικά ακατάλληλες περιοχές (Εικόνες 9α, 9β, 14α, 14β κλπ.). Η διαφορά του κλίματος μεταξύ ανατολικής και δυτικής Ελλάδας σαφώς είναι σημαντική για την εξάπλωση των ειδών αλλά τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται περισσότερο στο ότι οι περιοχές αυτές είναι λιγότερο μελετημένες καθώς είναι αγροτικές περιοχές και πραγματοποιούνται λιγότερες δειγματοληψίες όπως υποδηλώνονται από τα στίγματά μας .

Για είδη με ευρεία εξάπλωση (*P. apodus, A. kitaibelii, C. ocellatus*) δημιουργείται μεροληψία υπέρ των νησιών Σε αυτές τις περιπτώσεις τα νησιά δεν είναι σαν περιβάλλοντα πιο κατάλληλα για αυτά τα είδη αλλά είναι ένα μια αδυναμία των αλγορίθμων η οποία σχετίζεται με τον τρόπο που λαμβάνουν τα δεδομένα ψευδο-απουσίας (Barbet-Massin et al. 2012).

Περιβαλλοντικά δεδομένα

Λαμβάνοντας υπόψη την αρχή ότι τα μοντέλα που προκύπτουν βελτιώνονται όσο τα δεδομένα που εισάγονται σε αυτά προσεγγίζουν τις πραγματικές οικολογικές απαιτήσεις του είδους (Elith et al. 2006), τα μοντέλα στην παρούσα εργασία δεν είναι τόσο πληροφοριακά για κάθε είδος ξεχωριστά. Αυτό οφείλεται στη γενική προσέγγιση που εφαρμόσαμε με σκοπό να μελετήσουμε έναν μεγάλο αριθμό ειδών στηριζόμενοι στην υπάρχουσα βιβλιογραφία (Petrosyan et al. 2019, Martins et al. 2014, García-Muñoz & Carretero 2013, Austin 2007, Qian et al. 2007, Rodríguez et al. 2005, Walther et al. 2004, Currie 1991).

Οι κλιματικές παράμετροι που αναδεικνύονται από τα μοντέλα ως σημαντικές για τις σαύρες σχετίζονται με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου, ισοθερμικότητα, εποχικότητα της θερμοκρασίας) και την υγρασία (βροχόπτωση ξηρότερου

τριμήνου, ετήσια βροχόπτωση) η οποία επηρεάζει και τη βλάστηση (NDVI Ιουνίου, παρουσία θαμνότοπων).

Πιο συγκεκριμένα, στα είδη *A. kitaibelii*, *A. nigropunctatus* και *P. apodus* (Πίνακες 12, 13, 15) οι χρήσεις γης φάνηκαν να παίζουν σημαντικό ρόλο σε επίπεδο Ευρασίας αναδεικνύοντας τη σημαντικότητα των παραμέτρων αυτών ακόμα και στις μεγάλες κλίμακες (Martins et al. 2014). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι και στην έκταση της Ελλάδας έχουν κεντρικό ρόλο. Ωστόσο, στην Ελλάδα οι χρήσεις γης υποβαθμίζονται από τα μοντέλα, παρότι θεωρείται ότι σε μικρές κλίμακες είναι περισσότερο σημαντικές από το κλίμα (Gonçalves et al. 2014). Ως εκ τούτου, στα μοντέλα της Ελλάδας για τα κοινά είδη όπως το *A. kitaibelii* και *P. apodus,* τα οποία δεν περιορίζονται από το κλίμα, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε περιβαλλοντικές μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με τη βλάστηση (κάλυψης γης, δείκτες βλάστησης) ώστε να είναι διακριτές πιο συγκεκριμένες σχέσεις κατανομής βλάστησης/χρήσεων γης.

Τα μοντέλα στις περισσότερες περιπτώσεις πρόβλεψαν ευρύτερη περιοχή εξάπλωσης από αυτή που υποδεικνύεται από τα δεδομένα παρουσίας. Μια εξήγηση είναι ότι στα μοντέλα δεν συμπεριλήφθηκαν παράγοντες όπως τα γεωγραφικά φράγματα που περιορίζουν τη διασπορά των ειδών με αποτέλεσμα την απουσία από κατάλληλες περιοχές. Για παράδειγμα στο *A. nigropunctatus* τα μοντέλα προβλέπουν κατάλληλες περιοχές και στην Πελοπόννησο και στους ορεινούς όγκους των θεσσαλικών ακτών (Όλυμπος, Μαυροβούνι, Πήλιο). Η απουσία του είδους από τις περιοχές αυτές οφείλεται στη γεωγραφική απομόνωση της Πελοποννήσου από την Στερεά Ελλάδα και στην Πίνδο αντίστοιχα. Η Πίνδος αποτελεί σημαντικό γεωγραφικό φράγμα που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη βιοποικιλότητα στα διαφορετικά γεωγραφικά μήκη στην Ελλάδα (Psonis et al. 2018) όπως και η πληθώρα νησιών. Άλλη αιτιολογία είναι η φυλογεωγραφία κάθε είδους και ιστορικά γεγονότα που αποκλείουν τα είδη από ορισμένες περιοχές (Chan et al. 2011). Επίσης, βιοτικές αλληλεπιδράσεις όπως ο ανταγωνισμός (Guisan & Zimmermann 2000) θα μπορούσαν να εξηγήσουν τα πρότυπα εξάπλωσης που παρατηρούμε. Τέλος, θα μπορούσαν να υπάρχουν και άλλες επεξηγηματικές μεταβλητές οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνονται και θα μπορούσαν να αλλάξουν τα αποτελέσματα (Synes et al. 2011).

Κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με τα μοντέλα τα είδη που μελετήσαμε θα αποκριθούν διαφορετικά στην κλιματική αλλαγή. Εκείνα που σήμερα έχουν πιο στενή εξάπλωση (*A. nigropunctatus, A. kitaibelii, A. graeca*) θα περιοριστούν αν ισχύσει το σενάριο κλιματικής αλλαγής που εξετάστηκε ενώ τα είδη *C. ocellatus* και *P. apodus* θα ευνοηθούν και θα βρουν νέες κατάλληλες περιοχές σε σχέση με το κλίμα και το υψόμετρο. Ειδικά για το *P. apodus* ο αλγόριθμος BRT προβλέπει πολύ ευρύτερη περιοχή εξάπλωσης αν σύμφωνα με τον MAXENT θα χάσει περιοχές.

Το *A. graeca* σύμφωνα με το μοντέλο του MAXENT φαίνεται ότι θα περιοριστεί στην οροσειρά της Πίνδου και γενικά στα μεγάλα υψόμετρα όπου θα διατηρηθούν περισσότερο οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες που απαιτεί το είδος συμφωνώντας με την γενική τάση που φαίνεται ότι θα ακολουθήσουν τα ερπετά (Gonçalves et al. 2014, Araújo et al. 2006).

Στατιστικοί δείκτες

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αξιολόγησης για μοντέλα παρουσίας αλλά μέχρι τώρα δεν υπάρχει κάποια που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απόλυτα ικανή για την αξιολόγηση των μοντέλων (Fourcade et al. 2017, Pearce & Boyce 2006).

Χρησιμοποιήσαμε τους στατιστικούς δείκτες AUC και TSS οι οποίοι εφαρμόζονται ευρέως για την αξιολόγηση των SDM (Wunderlich et al. 2019, Fourcade 2017, Phillips et al. 2006). Τα αποτελέσματά μας περιλαμβάνουν μοντέλα με υψηλές τιμές αξιολόγησης όπως στο *A. kitaibelii* (Εικ. 14, 15, 16) έως μοντέλα που τείνουν σε τυχαία πρόβλεψη (Fourcade et al. 2018) όπως για το *A. cephallonica* (Εικ. 7). Και στις δύο περιπτώσεις οι τιμές των στατιστικών δεικτών δεν αντικατοπτρίζουν πραγματικά την χρησιμότητα των μοντέλων. Για παράδειγμα, το *A. kitaibelii* είναι ένα πολύ κοινό είδος στην Ελλάδα για το οποίο ο αλγόριθμος GLM συμπεραίνει ότι στην Ελλάδα το είδος εξαρτάται αποκλειστικά από κλιματικούς παράγοντες (εποχικότητα της θερμοκρασίας με ποσοστό 39,9% και την ηλιακή ακτινοβολία του Ιουνίου σε ποσοστό 28,1%) ένα αποτέλεσμα το οποίο δεν μπορεί να εξηγήσει την κατανομή του είδους στην Ελλάδα καθώς είναι ένα ευρύτοπο είδος. Αντίστοιχα, για το *A. cephallonica* σύμφωνα με το μοντέλο με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες της Ευρασίας και τον αλγόριθμο MAXENT η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου, με ποσοστό 27,4%, είναι αυτή που είναι περιοριστικός παράγοντας για το είδος και ακολούθως η

παρουσία θαμνότοπων, με ποσοστό 25,6% και η παρουσία χτισμένων περιοχών σε ποσοστό 25%. Ο χάρτης καταλληλότητας σε αυτή την περίπτωση μας δίνει χρήσιμες πληροφορίες για το είδος όπως ότι εξαρτάται από την παρουσία θαμνότοπων αλλά και την απόσταση από χτισμένες περιοχές και μας δίνει πληροφορίες για περιοχές από όπου δεν έχουμε διαθέσιμα στίγματα (νομός Μεσσηνίας και Λακωνίας). Σε αυτές τις περιπτώσεις η χρήση ενός ανεξάρτητου συνόλου πραγματικών απουσιών θα βελτίωνε σημαντικά τα αποτελέσματα (Fourcade 2014, Elith et al. 2006) και στην περίπτωση της Ελλάδας και στην περίπτωση της Ευρασίας.

Γένος Blanus

Για το *B. strauchii* πραγματοποιήθηκαν οι δύο μοντελοποιήσεις για την Ευρασία καθώς για την Ελλάδα οι καταγραφές είναι πολύ λίγες και το είδος περιορίζεται στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και τα Δωδεκάνησα. Όλα τα μοντέλα έδειξαν μεγαλύτερη περιοχή ως κατάλληλη για το είδος μέρος της οποίας καταλαμβάνεται από τα αδελφά είδη *B. apori* και *B. alexandri* (Şahin et al. 2020).

Και τα δύο αυτά μοντέλα έδειξαν ότι μεταβλητές που σχετίζονται με την θερμότητα και τη θερμορύθμιση είναι πιο σημαντικές (ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου, η μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα και η μέση θερμοκρασία του θερμότερου τριμήνου) αλλά και μεταβλητές που σχετίζονται με τη βλάστηση. Τα αποτελέσματα αυτά δεν συμφωνούν με την εργασία των Şahin et al. (2021). Στην εργασία τους χρησιμοποίησαν αποκλειστικά βιοκλιματικές μεταβλητές από όπου προέκυψε υψηλή συνεισφορά από την βροχόπτωση του ψυχρότερου τριμήνου (bio19). Σε αυτή την περίπτωση η κατανομή του είδους μπορεί να επηρεάζεται περισσότερο από την βλάστηση και όχι καθαυτό το κλίμα. Άλλωστε για ένα κρυπτικό είδος σαν αυτό όπου το υπόγειο περιβάλλον είναι πιο σταθερό είναι πιθανό να μην παίζει κύριο ρόλο το κλίμα αλλά οι τοπικές συνθήκες. Παράγοντες όπως το μητρικό πέτρωμα και η βλάστηση ίσως έχουν πιο καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του θώκου του είδους σε συνδυασμό με τα γεωγραφικά φράγματα και τις περιορισμένες κινητικές ικανότητες του είδους. Τέλος, σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο το είδος ενδέχεται να περιοριστεί στενά στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και τα νοτιοδυτικά παράλια της Τουρκίας.

Γένος Pseudopus

Το *P. apodus* είναι ένα είδος με ευρεία κατανομή και συναντάται σε ποικιλία ενδιαιτημάτων από περιοχές με πυκνή βλάστηση στην περιοχή του Καύκασου, βραχώδεις πλαγιές και θαμνότοπους στην Κριμαία, ποτάμια και οάσεις στη Μέση Ανατολή μέχρι τις υγρές και πυκνής βλάστησης περιοχές στη Βουλγαρία (Glavaš et al. 2020, Telenchev et al. 2017).

Τα χαρακτηριστικά αυτά αποτυπώνονται στην ευρεία κατανομή του είδους σε όλη την Ελλάδα και κατ' επέκταση και στα μοντέλα. Τα μοντέλα της Ελλάδας δείχνουν πιθανότητα το είδος να υπάρχει και σε αγροτικές περιοχές με χαμηλό υψόμετρο (Ηλεία, Θεσσαλία). Αντίστοιχα, δείχνουν την οροσειρά της Πίνδου ως ακατάλληλη για το είδος. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται και μέσα από τις σημαντικές μεταβλητές που συμμετέχουν στα μοντέλα, οι οποίες και για την Ελλάδα και την Ευρασία δείχνουν την εξάρτηση του είδους από τη φυτοκάλυψη και τις χρήσεις γης (παρουσία αγροτικών περιοχών, παρουσία θαμνότοπων και παρουσία δασών) η οποία φαίνεται ότι είναι καθοριστική σύμφωνα και με την εργασία των Telenchev et al. 2017. Επίσης φαίνεται ότι το κλίμα δεν περιορίζει το είδος.

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο η κύρια μεταβλητή είναι η ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (bio6_eur) η οποία μπορεί να περιορίσει το είδος λόγω της εξάρτησής του από το περιβάλλον για θερμορύθμιση (Telenchev et al. 2017). Για αυτό το είδος, η προβολή με το ακραίο κλιματικό σενάριο δείχνει ότι θα δημιουργηθούν νέες περιοχές κατάλληλες λόγω αύξησης της θερμοκρασίας. Η πρόβλεψη αυτή συμφωνεί με την εργασία των Nasrabadi et al. (2018) οι οποίοι εξέτασαν την απόκριση του είδους στην κλιματική αλλαγή για το έτος 2070 και έδειξαν ότι καθώς εξελίσσεται η κλιματική αλλαγή το είδος τείνει να μεταναστεύσει σε μεγαλύτερα υψόμετρα και μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Η παρατήρηση αυτή ταυτίζεται και με τη γενική εικόνα της απόκρισης των ειδών στην κλιματική αλλαγή (Araújo et al. 2006).

Γένος Anguis

Τα είδη του γένους Anguis εξαπλώνονται από το ύψος της θάλασσας έως μεγάλα υψόμετρα. Φαίνεται να περιορίζονται περισσότερο από το μικροκλίμα καθώς χρειάζονται υψηλή υγρασία και σχετικά ψυχρές συνθήκες (Jablonski et al. 2021).

Για το *A. graeca* σύμφωνα με το MAXENT φαίνεται ότι οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι η παρουσία θαμνότοπων και η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου. Ωστόσο, στην κλίμακα της Ελλάδας πρωταρχικό ρόλο παίζει η παρουσία θαμνότοπων ενώ σε επίπεδο Ευρασίας η ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου, ένα αποτέλεσμα λογικό σύμφωνα με την έκταση στην οποία επιδρούν οι κλιματικοί παράγοντες και η βλάστηση αντίστοιχα.

Για τη μοντελοποίηση με τα δεδομένα της Ελλάδας, το μοντέλο του BRT που επιλέχθηκε συμφωνεί με αυτό του MAXENT στη συνεισφορά του NDVI Ιουνίου. Ο BRT που επιλέχθηκε και στις δύο κατηγορίες εξάγει τους κλιματικούς παράγοντες ως κύριους με την πιθανή εξατμισιοδιαπνοή Ιανουαρίου και την ετήσια βροχόπτωση να είναι πιο σημαντικές για την Ελλάδα και την ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου και τη μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα να είναι σημαντικές σε επίπεδο Ευρασίας.

Το ενδημικό είδος *A. cephallonica* και στις δύο κατηγορίες μοντελοποίησης φάνηκε να εξαρτάται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία Ιανουαρίου όπως και το *O. punctatissimus*. Η παρουσία θαμνότοπων επηρεάζει την κατανομή του είδους και στην Ελλάδα και στη μοντελοποίηση με τα περιβαλλοντικά δεδομένα της Ευρασίας.

Από τα αποτελέσματά μας φαίνεται ότι τα δύο συμπάτρια είδη παρουσιάζουν παρόμοιες περιβαλλοντικές απαιτήσεις αν και το *A.graeca* φαίνεται ότι επηρεάζεται και από την ετήσια βροχόπτωση. Στο κλιματικό μοντέλο σύμφωνα με τα μοντέλα των BRT και MAXENT οι πιο σημαντικές μεταβλητές σχετίζονται με την βροχόπτωση (βροχόπτωση υγρότερου μήνα), ένα αποτέλεσμα αναμενόμενο καθώς το είδος εμφανίζεται σε περιοχές με υψηλή υγρασία.

Σε εργασία των Thanou et al. (2021) έχουν δημιουργηθεί SDMs για τα συμπάτρια είδη *A.graeca* και *A. cephallonica* όπου για το *A. graeca* φάνηκε ότι βασικό ρόλο παίζει το υψόμετρο και οι βιοκλιματικές μεταβλητές (μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα, ισοθερμικότητα, μέσο ημερήσιο εύρος θερμοκρασίας και μέση θερμοκρασία ξηρότερου μήνα χωρίς να εξετάζονται άλλες παράμετροι όπως η φυτοκάλυψη ή οι χρήσεις γης και μάλιστα σε ανάλυση 2.5 arc.min. Στο δικό μας μοντέλο, η κύρια μεταβλητή που συνεισέφερε στο μοντέλο είναι πιθανή εξατμισιοδιαπνοή (PETT_JAN30s) και η ετήσια βροχόπτωση (WCL12) κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς τα είδη του γένους συνδέονται ισχυρά με την υγρασία. Επιπλέον, οι δύο εργασίες συμφωνούν στο ότι το *A. graeca* περιορίζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες (θερμοκρασία θερμότερου μήνα) ενώ το

A. cephallonica όχι τόσο (μόνο στο μοντέλο της Ευρασίας από τον MAXENT είχε υψηλή συνεισφορά, 23,6%).

Σύμφωνα με την εργασία των Thanou et al. (2021) οι οικολογικοί θώκοι των δύο συμπάτριων ειδών δεν συμπίπτουν. Ωστόσο, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση των 2,5 arc.min (4,5 km) η οποία είναι αρκετά χαμηλή αλλά κατάλληλη για την εξέταση κλιματικών παραμέτρων. Ωστόσο, στην κλίμακα της Ελλάδας οι μεταβλητές δεν διαφέρουν σημαντικά κατά μήκος της χώρας και ειδικά σε μια τόσο χαμηλή ανάλυση όπως αυτή των 2.5 arc.min. Ενδεχομένως, σε υψηλότερη ανάλυση και εξετάζοντας μόνο περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως οι χρήσεις γης και η φυτοκάλυψη να αναδεικνύονταν άλλες σχέσεις για τα είδη και να μπορούσε να εξηγηθεί καλύτερα η συμπατρία των ειδών στα βόρεια της Πελοποννήσου. Όσον αφορά τη χρήση περιβαλλοντικών παραγόντων εκτός των κλιματικών, και στην εργασία των Thanou et al. (2021) η χρήση τοπογραφικών μεταβλητών βελτίωσε την πρόβλεψη γεγονός που συνάδει με την θεωρία για τη διαφορετική επίδραση που έχουν περιβαλλοντικές παράμετροι με βάση την κλίμακα και πως σε περιοχή μελέτης όπως η Ελλάδα δεν φαίνεται να αρκούν τα κλιματικά δεδομένα. Τοπογραφικοί παράγοντες (υψόμετρο, κλίση εδάφους, τραχύτητα εδάφους) διαμορφώνουν τα ενδιαιτήματα και ειδικά για οργανισμούς όπως οι σαύρες που είναι εξώθερμοι και έχουν μικρή ικανότητα μετακίνησης.

Γένος Ablepharus

Το *A. kitaibelii* απαντά σε όλη την ηπειρωτική Ελλάδα και μεγάλο αριθμό νησιών (Valakos et al. 2008). Για κοινά είδη όπως αυτό, οι αλγόριθμοι είναι δύσκολο να διακρίνουν ξεχωριστά ενδιαιτήματα τα οποία εξασφαλίζουν την επιβίωση του είδους. Αυτό αποτυπώνεται και στα μοντέλα της Ελλάδας τα οποία δεν φαίνεται να μας προσφέρουν κάποια συγκεκριμένη πληροφορία για την εξάπλωση του είδους. Ωστόσο, στο μοντέλο από τον RF παρατηρείται αρκετά υψηλή καταλληλότητα στην ευρύτερη περιοχή του Χελμού και στα ορεινά του νομού Φωκίδας. Επίσης προκύπτει ότι η Ροδόπη και η ευρύτερη περιοχή του Έβρου θα μπορούσαν να φιλοξενούν το είδος, όπως και η Σαμοθράκη και η Λήμνος από τις οποίες δεν έχουμε καταγραφές. Επιπλέον, σύμφωνα με το μοντέλο RF αλλά και το MAXENT υπάρχει μια αυξημένη μεροληψία στα νησιά του Αιγαίου όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Όσον αφορά την απουσία του είδους από αγροτικές περιοχές όπως φαίνεται από τα μοντέλα μας αυτό δεν επιβεβαιώνεται καθώς το είδος συναντάται συχνά σε αγροτικές περιοχές (Christopoulos & Pafilis 2021) και είναι πολύ πιθανό να υπάρχει και σε αυτές παρότι το μοντέλο

δείχνει χαμηλή καταλληλότητα. Η εμφάνιση του είδους σε αγροτικές περιοχές ενέχει κινδύνους για το είδος καθώς πεθαίνουν σε παγίδες εντόμων (Christopoulos & Pafilis 2021). Θα ήταν επομένως χρήσιμη η παρακολούθηση του είδους σε αυτές τις περιοχές και οι δειγματοληψίες στις αγροτικές περιοχές από όπου δε έχουμε καταγραφές.

Από τα δύο μοντέλα στην Ελλάδα προκύπτει ότι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι οι κλιματικοί και πιο συγκεκριμένα η ηλιακή ακτινοβολία του Ιανουαρίου. Ωστόσο, το είδος δεν εξαρτάται σημαντικά από την ηλιακή ακτινοβολία (Ioannidis et al. 2008). Σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο ενδεχομένως να κάνει συσχέτιση περισσότερο με το υψόμετρο το οποίο με τη σειρά του σχετίζεται σημαντικά με την ηλιακή ακτινοβολία. Φαίνεται επίσης ότι και ο δείκτης βλάστησης Ιανουαρίου και η παρουσία θαμνότοπων είναι σημαντικοί παράγοντες κάτι που επιβεβαιώνεται από τις γνώσεις σχετικά με την οικολογία του είδους και τις περιοχές που συναντάται (Kenyeres et al. 2021, Ljubisavljević et al. 2015, Ioannidis et al. 2008, Strijbosch et al. 1989).

Γένος Algyroides

Τα αποτελέσματά μας για την Ελλάδα και το κλιματικό μοντέλο (Πίνακας 13) συμφωνούν ότι το *A. nigropunctatus* εξαρτάται από τη βροχόπτωση (ετήσια βροχόπτωση και βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου) όπως επίσης και από το υψόμετρο. Η οικογένεια Lacertidae επηρεάζεται πιο έντονα από την υγρασία του περιβάλλοντος και λιγότερο από την θερμοκρασία σύμφωνα με τους Carneiro et al. (2015) επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματά μας. Επιπλέον το γένος συναντάται σε δασώσεις, σκιερές και πιο υγρές περιοχές, οι οποίες σχετίζονται με την αποφυγή της υπερθέρμανσης κατά του θερινούς μήνες (Bressi 2004, Arnold 1973, 1987) και αυτό αποτυπώνεται και στα αποτελέσματά μας (σημαντικοί παράγοντες: η παρουσία δασών στο μοντέλο της Ελλάδας από τον MAXENT και ο NDVI Ιουνίου στο μοντέλο του BRT για την Ευρασία).

Γένος Chalcides

Το *C. ocellatus* είναι ένα ευρύτοπο είδος και μάλλον ανεξάρτητο από τον τύπο του εδάφους (Escoriza et al. 2018). Τα χαρακτηριστικά αυτά επέτρεψαν την εγκαθίδρυση μεγάλων πληθυσμών με εκτενείς γεωγραφικές κατανομές σε πολλά νησιά και περιοχές της Μεσογειακής λεκάνης. Η τωρινή κατανομή του είδους μπορεί να θεωρηθεί αποτέλεσμα της ιστορίας του εμπορίου στην περιοχή μέσα από το οποίο το είδος εξαπλώθηκε (Kornilios et al. 2010).

Από τα αποτελέσματά μας φαίνεται ότι οι κλιματικές συνθήκες παίζουν κυρίαρχο ρόλο (βροχόπτωση ξηρότερου τριμήνου, ισοθερμικότητα και ηλιακή ακτινοβολία Ιουνίου, η βροχόπτωση του ξηρότερου τριμήνου) και μπορεί να είναι περιοριστικές για το είδος. Στην περίπτωση του *C. ocellatus* οι παράγοντες αυτοί φαίνεται να επέτρεψαν την εγκαθίδρυση των πληθυσμών στις νέες περιοχές και όχι ότι είναι περιοριστικές για το είδος.

Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με τη μελέτη των (Escoriza et al. 2018) των ειδών *C. bedriagai και C. striatus* στην Ιβηρική χερσόνησο, στην οποία έγινε συσχέτιση των περιβαλλοντικών παραγόντων που παίζουν ρόλο στην κατανομή των ειδών αυτών σε τρεις κλίμακες (1000-250 m, 50m και 5-0,12 m). Στην εργασία τους φαίνεται ότι στη μακροκλίμακα ο βασικός περιβαλλοντικός παράγοντας είναι η ξηρασία (αντίστοιχα σε εμάς η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα/τριμήνου), στην μεσοκλίμακα, οι χρήσεις γης (κάλυψη από κωνοφόρα/πλατύφυλλα δέντρα) και στην μικροκλίμακα τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Οι διαφορές αυτές ενδεχομένως μπορούν να δώσουν απάντηση στο γιατί στα μοντέλα της παρούσας εργασίας το μητρικό πέτρωμα δεν προέκυψε σαν καθοριστικός παράγοντας για κάποιο είδος παρότι είναι σημαντικός για τους εξώθερμους οργανισμούς (Escoriza et al. 2018). Το έδαφος, οι θέσεις φωλεοποίησης και οι κατάλληλες θέσεις για θερμορύθμιση μπορεί να παίζουν ρόλο σε χαμηλότερη ανάλυση και άρα εάν χρησιμοποιούσαμε μικρότερο μέγεθος κελιού, το μητρικό πέτρωμα να αποδεικνύονταν σημαντικός παράγοντας.

Όσον αφορά τους χάρτες καταλληλότητας για την Ευρασία και για την Ελλάδα, σύμφωνα με τον MAXENT εξαμικρότερη περιοχή ως κατάλληλη σε σχέση με τον RF για την Ελλάδα και την Ευρασία. Φαίνεται ότι το είδος μπορεί να βρει κατάλληλα ενδιαιτήματα αν και μάλλον υποεκτιμώνται λόγω των σποραδικών περιοχών παρουσίας του είδους.

Γένος Ophiomorus

Όσον αφορά τους χάρτες καταλληλότητας που προκύπτουν για το *O. punctatissimus*, όλα τα μοντέλα (Εικόνες 31, 32) προβλέπουν υψηλή καταλληλότητα για το είδος σε μεγαλύτερη έκταση από όσο προκύπτει από τα στίγματά μας και δείχνουν την περιοχή μεταξύ Κυπαρισσίας και Μελιγαλά αρκετά κατάλληλη για το είδος. Από την περιοχή αυτή δεν έχουμε στίγματα οπότε και θα ήταν μια περιοχή όπου θα μπορούσε να διερευνηθεί η παρουσία του είδους.

Παρόμοια μελέτη (Hosseinzadeh et al. 2018) για το συγγενικό είδος *O. nuchalis* στο Ιράν δείχνει μέσα από τον αλγόριθμο MAXENT ότι στην ίδια κλίμακα, οι κυρίαρχοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή του είδους είναι ο NDVI και η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα. Κατά συνέπεια στην Πελοπόννησο, οι χρήσεις γης (παρουσία θαμνότοπων, δάση κλπ.) μπορεί να εξηγούν καλύτερα την κατανομή τους είδους σε σχέση με το κλίμα.

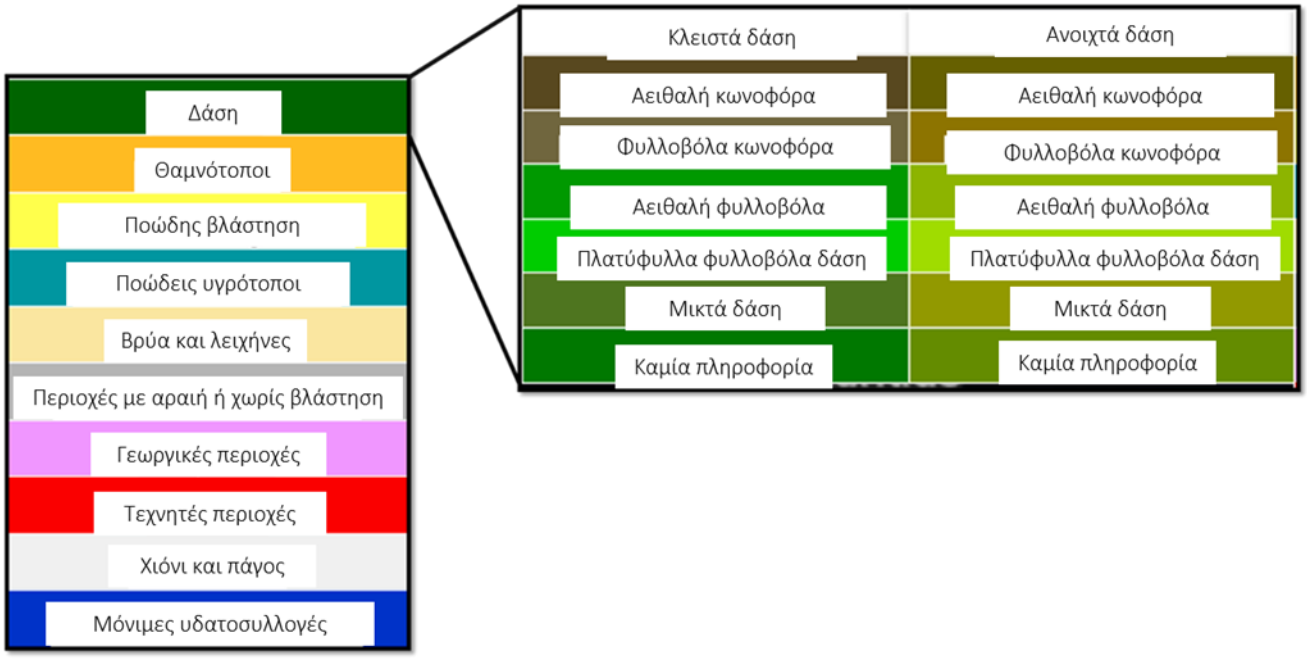
Συμπεράσματα

- Τα περισσότερα είδη που μελετήθηκαν θα μπορούσαν να υπάρχουν σε ευρύτερες περιοχές από αυτές που προκύπτουν από τις καταγραφές.
- Για τα περισσότερα είδη που μελετήσαμε χρειάζεται περαιτέρω έρευνα στο πεδίο για να διευκρινιστεί η πλήρης κατανομή τους αλλά και εμβάθυνση στα ειδικά οικολογικά χαρακτηριστικά κάθε είδους μέσα από μελέτες σε επίπεδο μικροπεριβάλλοντος.
- Οι αγροτικές περιοχές είναι λιγότερο μελετημένες στην Ελλάδα. Η κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την κατανομή των ειδών απαιτεί περαιτέρω μελέτες σε αυτές τις περιοχές για τη μελέτη της απόκρισης των ειδών κάτω από την πίεση της εντατικής αγροτικής δραστηριότητας.
- Στα όρια της Ελλάδας, η μελέτη των ειδών θα μπορούσε να γίνει με υψηλότερης ανάλυσης περιβαλλοντικά δεδομένα ώστε να γίνουν διακριτές σχέσεις που επηρεάζουν σε τοπικό επίπεδο τα είδη.
- Η κλιματική αλλαγή φαίνεται ότι θα επηρεάσει τα είδη που μελετήθηκαν με διαφορετικούς τρόπους.

Παράρτημα

Χρήσεις γης-Πρωτογενείς κατηγορίες χρήσεων γης για τα δεδομένα της Ελλάδας

Χρήσεις γης- πρωτογενείς κατηγορίες χρήσεων γης για τα δεδομένα της Ευρασίας



Μητρικό πέτρωμα - πρωτογενείς κατηγορίες μητρικών πετρωμάτων για την Ελλάδα όπου φαίνεται ο κωδικός ο οποίος δόθηκε κατά την επανακατηγοριοποίηση

Κωδικός τύπου πετρώματος	**Τύπος πετρώματος**	**Νέος κωδικός**
1210	Sandstone Ψαμμίτης	1
1211	Calcareous sandstone Ασβεστιτικός ψαμμίτης	1
1300	Pelite, Lutite or argillite Πηλίτης, Λουτίτης, Αργιλίτης	0
1410	Flysch Φλύσχης	1
2110	Limestone Ασβεστόλιθος	2
3100	Acid to intermediate plutonic rocks Όξινα έως ενδιάμεσα πλουτωνικά πετρώματα	0
3110	Granite Γρανίτης	0
3200	Basic plutonic rocks Βασικά πλουτωνικά πετρώματα	1
3400	Acid to intermediate volcanic rocks Όξινα έως ενδιάμεσα ηφαιστειακά πετρώματα	0
4200	Acid to intermediate metamorphic rocks Όξινα έως ενδιάμεσα μεταμορφωμένα πετρώματα	1
4240	Gneiss Γνεύσιος	1
5000	Unconsolidated deposits(alluvium, weathering, residuum and slopes deposits) Μη συμπαγοποιημένες αποθέσεις (αποθέσεις αλλούβιες, αποσάθρωσης, υπολειμματικές, πλαγιές)	2
5200	Marine and estuarine clays and silts Θαλάσσιοι και λιμνοθαλάσσιοι Άργιλοι και Πηλοί	0
5400	Fluvial clays. Silts and loans Ποτάμιοι άργιλοι, ιλύς και εύφορα εδάφη	0
5411	Terrace clay and silts Πηλώδεις και Ιλύος αναβαθμίδες	1
5610	Residual loam Υπολειμματικός πηλός	2
5612	Clayey loam Αλγιλικός πηλός	1
0	No information Καμία πληροφορία	1

Βιβλιογραφία

Aghasyan, A., Avci, A., Tuniyev, B., Crnobrnja-Isailovic, J., Lymberakis, P., Andrén, C., Cogalniceanu, D., Wilkinson, J., Ananjeva, N.B., Üzüm, N., Orlov, N.L., Podloucky, R., Tuniyev, S., Kaya, U., Disi, A.M., Hraoui-Bloquet, S., Sadek, R., Tok, V., Ugurtas, I.H., Sevinç, M., Haxhiu, I,, Borkin, L., Shestapol, A., Dujsebayeva, T., Golynsky, E., Chirikova, M. & Nuridjanov, D. 2021. *Pseudopus apodus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T157263A745759.

Ajtić, R., Tomović, L., Aleksić, I., & Crnobrnja-Isailović, J. (2005). New records of Dalmatian *Algyroides* (*Algyroides nigropunctatus*, DUMERIL and BIBRON, 1839) (Lacertidae) in Montenegro with comment on its conservation status. *Acta zoologica bulgarica*, *57*(3), 385-390.

Albert, E. M., Zardoya, R., & GARCÍA-PARÍS, M. (2007). Phylogeographical and speciation patterns in subterranean worm lizards of the genus Blanus (Amphisbaenia: Blanidae). *Molecular Ecology*, *16*(7), 1519-1531.

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, *43*(6), 1223-1232.

Anderson, S., & Marcus, L. F. (1992). Aerography of Australian tetrapods. *Australian Journal of Zoology*, *40*(6), 627-651.

Aoki, I. (1989). Hological study of lakes from an entropy viewpoint-lake Mendota. *Ecological Modelling*, *45*(2), 81-93.

Araujo, M. B., & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of biogeography*, *33*(10), 1677-1688.

Araújo, M. B., Anderson, R. P., Márcia Barbosa, A., Beale, C. M., Dormann, C. F., Early, R., ... & Rahbek, C. (2019). Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Science Advances*, *5*(1), eaat4858.

Araújo, M. B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L., & Williams, P. H. (2004). Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global change biology*, *10*(9), 1618-1626.

Araújo, M. B., Thuiller, W., & Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of biogeography*, *33*(10), 1712-1728.

Araújo, M. B., Thuiller, W., & Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of biogeography*, *33*(10), 1712-1728.

Arnold, E. N. (1973). Relationships of the Palaeartic lizards assigned to the genera Lacerta, Algyroides and Psammodromus (Reptilia: Lacertidae).

Arnold, E. N. (1987). Resource partition among lacertid lizards in southern Europe. *Journal of Zoology*, *1*(4), 739-782.

Austin, M. P. (1987). Models for the analysis of species' response to environmental gradients. In *Theory and models in vegetation science* (pp. 35-45). Springer, Dordrecht.

Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological modelling*, *200*(1-2), 1-19.

Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling*, *157*(2-3), 101-118.

Ballesteros-Barrera, C., MartÍnez-Meyer, E., & Gadsden, H. (2007). Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two microendemic lizards, genus Uma, of northern Mexico. *Journal of herpetology*, *41*(4), 733-740.

Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H., & Thuiller, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in ecology and evolution*, *3*(2), 327-338.

Barbosa, A. M., Sillero, N., Martínez-Freiría, F., & Real, R. (2012). Ecological niche models in Mediterranean herpetology: past, present and future. *Ecological modeling*, 173-204.

Barry, S., & Elith, J. (2006). Error and uncertainty in habitat models. *Journal of Applied Ecology*, *43*(3), 413-423.

Beaumont, L. J., Hughes, L., & Pitman, A. J. (2008). Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important?. *Ecology letters*, *11*(11), 1135-1146.

Beyer, R. M., & Manica, A. (2020). Historical and projected future range sizes of the world's mammals, birds, and amphibians. *Nature communications*, *11*(1), 1-8.

Böhm, M., Collen, B., Baillie, J. E., Bowles, P., Chanson, J., Cox, N., ... & Mateo, J. A. (2013). The conservation status of the world's reptiles. *Biological conservation*, *157*, 372-385.

Böhme, W., & Lymberakis, P., (2009). *Algyroides moreoticus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2009*: e.T61465A12489765.

Böhme, W., Lymberakis, P., Ajtic, R., Tok, V., Ugurtas, I.H., Sevinç, M., Crochet, P.-A., Haxhiu, I,, Sterijovski, B., Krecsák, L., Crnobrnja-Isailovic, J., Kaska, Y., Kumlutaş, Y., Avci, A. & Jelić, D. (2017). *Ablepharus kitaibelii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e. T29691A115767606.

Boucher, O., Servonnat, J., Albright, A. L., Aumont, O., Balkanski, Y., Bastrikov, V., ... & Vuichard, N. (2020). Presentation and evaluation of the IPSL-CM6A-LR climate model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, *12*(7).

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, *45*(1), 5-32.

Bressi, N. (2004). *Algyroides nigropunctatus nigropunctatus* in Italy: notes on ecology, habitat selection and conservation (Reptilia, Lacertidae). *Bollettino di Zoologia*, *71*(S2), 113-116.

Brown, J. L., Sillero, N., Glaw, F., Bora, P., Vieites, D. R., & Vences, M. (2016). Spatial biodiversity patterns of Madagascar's amphibians and reptiles. *PLoS One*, *11*(1).

Buttle, D. (1988). Further notes on reptiles and amphibians of the Péloponnèse. *British Herpetol. Soc. Bull*, *26*, 14-20.

Carneiro, D., García-Muñoz, E., Kalionzopoulou, A., Llorente, G. A., & Carretero, M. A. (2015). Comparing ecophysiological traits in two Podarcis Wall lizards with overlapping ranges. *Salamandra*, *51*(4), 335-344.

Chan, L. M., Brown, J. L., & Yoder, A. D. (2011). Integrating statistical genetic and geospatial methods brings new power to phylogeography. *Molecular phylogenetics and evolution*, *59*(2), 523-537.

Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2006). Regression analysis by example. *John Wiley & Sons*.

Christopoulos, A., & Pafilis, P. (2021). An agricultural practice as a direct threat to the snake-eyed skink *Ablepharus kitaibelii* (Bibron & Bory de Saint-Vincent, 1833) in central Greece. *Herpetozoa*, *34*, 9-12.

Creutzburg, N. (1963). Paleogeographic evolution of Crete from Miocene till our days. *Cretan Annals*, *15*(16), 336-342.

Currie, D. J. (1991). Energy and large-scale patterns of animal-and plant-species richness. *The American Naturalist*, *137*(1), 27-49.

Dely, O. G. (1981). *Anguis fragilis Linnaeus* 1758–Blindschleiche. *Handbuch der Reptilien und Amphibien Europas*, *1*(1), 241-258.

Drew, C. A., Wiersma, Y. F., & Huettmann, F. (Eds.). (2010). *Predictive species and habitat modeling in landscape ecology: concepts and applications*. Springer Science & Business Media.

Elith, J., & Burgman, M. A. (2002). Predictions and their validation: rare plants in the Central Highlands, Victoria, Australia. *Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*, 303-314.

Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, *40*, 677-697.

Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... & E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29*(2), 129-151.

Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of animal ecology*, *77*(4), 802-813.

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17, 43–47.

Escoriza, D., Pascual, G., & Sánchez-Vialas, A. (2018). Habitat use in south-west European skinks (genus Chalcides). *PeerJ*, *6*, e4274.

Ferrier, S. (2002). Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here?. *Systematic biology*, *51*(2), 331-363.

Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of applied ecology*, *43*(3), 393-404.

Foufopoulos, J., Kilpatrick, A. M., & Ives, A. R. (2011). Climate change and elevated extinction rates of reptiles from Mediterranean islands. *The American Naturalist*, *177*(1), 119-129.

Fourcade, Y., Besnard, A. G., & Secondi, J. (2017). Evaluating interspecific niche overlaps in environmental and geographic spaces to assess the value of umbrella species. *Journal of Avian Biology*, *48*(12), 1563-1574.

Fourcade, Y., Besnard, A. G., & Secondi, J. (2018). Paintings predict the distribution of species, or the challenge of selecting environmental predictors and evaluation statistics. *Global Ecology and Biogeography*, *27*(2), 245-256.

Fourcade, Y., Engler, J. O., Rödder, D., & Secondi, J. (2014). Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PloS one*, *9*(5), e97122.

Franklin, J. (2010). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. *Cambridge University Press.*

Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *The annals of statistics*, *19*(1), 1-67.

García-Muñoz, E., & Carretero, M. A. (2013). Comparative ecophysiology of two sympatric lizards. Laying the groundwork for mechanistic distribution models. *Acta Herpetologica*, *8*(2), 123-128.

Gibbons, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., ... & Winne, C. T. (2000). The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change. *BioScience*, *50*(8), 653-666.

Gilman, S. E., Urban, M. C., Tewksbury, J., Gilchrist, G. W., & Holt, R. D. (2010). A framework for community interactions under climate change. *Trends in ecology & evolution*, *25*(6), 325-331.

Giovanelli, J. G., de Siqueira, M. F., Haddad, C. F., & Alexandrino, J. (2010). Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. *Ecological Modelling*, *221*(2), 215-224.

Glavaš, O. J., Počanić, P., Lovrić, V., Derežanin, L., Tadić, Z., & Lisičić, D. (2020). Morphological and ecological divergence in two populations of European glass lizard, *Pseudopus apodus* (Squamata: Anguidae). *Zoological Research*, *41*(2), 172.

Gonçalves, J., Honrado, J. P., Vicente, J. R., & Civantos, E. (2016). A model-based framework for assessing the vulnerability of low dispersal vertebrates to landscape fragmentation under environmental change. *Ecological Complexity*, *28*, 174-186.

Graham, C. H., Ron, S. R., Santos, J. C., Schneider, C. J., & Moritz, C. (2004). Integrating phylogenetics and environmental niche models to explore speciation mechanisms in dendrobatid frogs. *Evolution*, *58*(8), 1781-1793.

Gruber, U. (1981). *Ablepharus kitaibelii* (Bibron & Bory 1833)–Johannisechse. *Handbuch der Reptilien und Amphibien Europas*, *1*, 297-302.

Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, *8*(9), 993-1009.

Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, *135*(2-3), 147-186.

Guisan, A., Edwards Jr, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological modelling*, *157*(2-3), 89-100.

Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). Habitat suitability and distribution models: with applications in R. *Cambridge University Press.*

Gül, S., Kumlutaş, Y., & Ilgaz, C. (2015). Climatic preferences and distribution of 6 evolutionary lineages of Typhlops vermicularis Merrem, 1820 in Turkey using ecological niche modeling. *Turkish Journal of Zoology*, *39*(2), 235-243.

Hastie, T., Tibshirani, R., & Buja, A. (1994). Flexible discriminant analysis by optimal scoring. *Journal of the American statistical association*, *89*(428), 1255-1270.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *25*(15), 1965-1978.

Hosseinian Yousefkhani, S. S., Rastegar-Pouyani, E., Rastegar-Pouyani, N., Masroor, R., & Šmíd, J. (2013). Modelling the potential distribution of Mesalina watsonana (Stoliczka, 1872)(Reptilia: Lacertidae) on the Iranian Plateau. *Zoology in the Middle East*, *59*(3), 220-228.

Hosseinzadeh, M. S., Farhadi Qomi, M., Naimi, B., Roedder, D., & Kazemi, S. M. (2018). Habitat suitability and modelling the potential distribution of the Plateau Snake Skink Ophiomorus nuchalis (Sauria Scincidae) on the Iranian Plateau. *North-Western Journal of Zoology*.

Ioannidis, Y., Chiras, G., & Kardakari, N. (2008). Comparison of reptile communities in three types of thermophilous Mediterranean forest in southern Greece. *Journal of natural history*, *42*(5-8), 421-433.

Jablonski, D., Sillero, N., Oskyrko, O., Bellati, A., Čeirāns, A., Cheylan, M., ... & Gvoždík, V. (2021). The distribution and biogeography of slow worms (Anguis, Squamata) across the Western Palearctic, with an emphasis on secondary contact zones. *Amphibia-Reptilia*, *42*(4), 519-530.

Jaynes, E. T. (1990). Probability theory as logic. In *Maximum entropy and Bayesian methods* (pp. 1-16). Springer, Dordrecht.

Jiménez-Valverde, A., Nakazawa, Y., Lira-Noriega, A., & Peterson, A. T. (2009). Environmental correlation structure and ecological niche model projections. *Biodiversity Informatics*, *6*.

Joly, P., Morand, C., & Cohas, A. (2003). Habitat fragmentation and amphibian conservation: building a tool for assessing landscape matrix connectivity. *Comptes Rendus Biologies*, *326*, 132-139.

Jorcin, P., Barthe, L., Berroneau, M., Doré, F., Geniez, P., Grillet, P., ... & Cheylan, M. (2019). Modelling the distribution of the Ocellated Lizard in France: Implications for conservation. *Amphibian & reptile conservation*, *13*(2), 276-298.

Kapsalas, G., Deimezis-Tsikoutas, A., Georgakopoulos, T., Gkourtsouli-Antoniadou, I., Papadaki, K., Vassaki, K., & Pafilis, P. (2018). How effectively do European skinks thermoregulate? Evidence from *Chalcides ocellatus*, a common but overlooked Mediterranean lizard. *Acta Herpetologica*, *13*(1), 75-82.

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., ... & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific data*, *4*(1), 1-20.

Kenyeres, Z., Bauer, N., Cservenka, J., Szabó, S., & Tóth, S. (2021). Basic characteristics of microhabitats of snake-eyed skink (*Ablepharus kitaibelii*) in Western Hungary. *Hacquetia*, *20*(1), 189-196.

Kirkham, M. B. (2014). Principles of soil and plant water relations. *Academic Press*.

Kornilios, P., Kyriazi, P., Poulakakis, N., Kumlutaş, Y., Ilgaz, Ç., Mylonas, M., & Lymberakis, P. (2010). Phylogeography of the ocellated skink *Chalcides ocellatus* (Squamata, Scincidae), with the use of mtDNA sequences: A hitch-hiker's guide to the Mediterranean. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *54*(2), 445-456.

Leathwick, J. R., Rowe, D., Richardson, J., Elith, J., & Hastie, T. (2005). Using multivariate adaptive regression splines to predict the distributions of New Zealand's freshwater diadromous fish. *Freshwater Biology*, *50*(12), 2034-2052.

Lennon, J. J., Greenwood, J. J. D., & Turner, J. R. G. (2000). Bird diversity and environmental gradients in Britain: a test of the species–energy hypothesis. *Journal of Animal Ecology*, *69*(4), 581-598.

Liu, X., Guo, Z., Ke, Z., Wang, S., & Li, Y. (2011). Increasing potential risk of a global aquatic invader in Europe in contrast to other continents under future climate change. *PloS one*, *6*(3), e18429.

Ljubisavljević, K., Tomović, L., Simović, A., Krizmanić, I., Ajtić, R., Jović, D., ... & Džukić, G. (2015). Filling in the gaps in distribution data of the Snake-eyed skink *Ablepharus kitaibelii* Bibron and Bory, 1833 (Squamata: Scincidae) in Serbia. *Ecologica Montenegrina*, *2*(3), 247-254.

Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography*, *17*(2), 145-151.

Lymberakis, P., Pafilis, P., Poulakakis, N., Sotiropoulos, K., Valakos, E. D., & Sfenthourakis, S. (2018). The amphibians and reptiles of the Aegean sea. *Biogeography and Biodiversity of the Aegean. In honour of Prof. Moysis Mylonas*, 169-189.

Lymberakis, P., & Poulakakis, N. (2010). Three continents claiming an archipelago: the evolution of Aegean's herpetofaunal diversity. *Diversity*, *2*(2), 233-255.

Lymberakis, P., Tok, V., Ugurtas, I.H., Sevinç, M., Crochet, P.-A., Kaska, Y., Kumlutaş, Y., Kaya, U., Avci, A., Üzüm, N., Yeniyurt, C. & Akarsu, F. (2009). *Ophiomorus punctatissimus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e. T61540A86101074. (α)

Lymberakis, P.,Tok, V., Ugurtas, I., Sevinc, M., Mousa M. A., Hraoui-Bloquet, S., Sadek, R., Werner, Y., Kaska, Y., Kumlutaş, Y., Avci, A., Uzum. N. (2009). *Blanus strauchi. The IUCN Red List of Threatened Species 2009*: e.T157272A5067037. (β)

Maria, B., & Udo, S. (2017). Why input matters: Selection of climate data sets for modelling the potential distribution of a treeline species in the Himalayan region. *Ecological modelling*, *359*, 92-102.

Martins, I. S., Proença, V., & Pereira, H. M. (2014). The unusual suspect: Land use is a key predictor of biodiversity patterns in the Iberian Peninsula. *Acta Oecologica*, *61*, 41-50.

Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, *4*(6), 490-509.

Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, *39*(4), 368-375.

Naimi, B., Hamm, N. A., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? . *Ecography*, *37*(2), 191-203.

Nasrabadi, R., Rastegar-Pouyani, N., Pouyani, E. R., Kami, H. G., Gharzi, A., & Hosseinian Yousefkhani, S. (2018). The effects of climate change on the distribution of European glass lizard Pseudopus apodus (PALLAS, 1775) in Eurasia. *Ecological research*, *33*(1), 199-204.

Pafilis, P. (2010). A brief history of Greek herpetology. *Bonn Zoological Bulletin*, *57*(2), 329-345.

Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., & Montanarella, L. (2012). European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land use policy*, *29*(2), 329-338.

Pearce, J. L., & Boyce, M. S. (2006). Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of applied ecology*, *43*(3), 405-412.

Pearce, J., & Lindenmayer, D. (1998). Bioclimatic analysis to enhance reintroduction biology of the endangered helmeted honeyeater (*Lichenostomus melanops cassidix*) in southeastern Australia. *Restoration ecology*, *6*(3), 238-243.

Pearson, R. G. (2007). Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Synthesis. American Museum of Natural History*, *50*, 54-89.

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. Princeton University Press. 150-182.

Petrosyan, V. G., Osipov, F. A., Bobrov, V. V., Dergunova, N. N., Danielyan, F. D., & Arakelyan, M. S. (2019). Analysis of geographical distribution of the parthenogenetic rock lizard *Darevskia armeniaca* and its parental species (*D. mixta, D. valentini*) based on ecological modelling. *Salamandra*, *55*(3), 173-190.

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, *31*(2), 161-175.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, *190*(3-4), 231-259.

Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications*, *19*(1), 181-197.

Pianka, E. R. (2017). Ecology and natural history of desert lizards. In *Ecology and Natural History of Desert Lizards*. Princeton University Press.

Psonis, N., Antoniou, A., Karameta, E., Leaché, A. D., Kotsakiozi, P., Darriba, D., ... & Poulakakis, N. (2018). Resolving complex phylogeographic patterns in the Balkan Peninsula using closely related wall-lizard species as a model system. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *125*, 100-115.

Qian, H., Wang, X., Wang, S., & Li, Y. (2007). Environmental determinants of amphibian and reptile species richness in China. *Ecography*, *30*(4), 471-482.

Qiao, H., Soberon, J., & Peterson, A. T. (2015). No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution*, *6*(10), 1126-1136.

Reuter, H. I., Nelson, A., & Jarvis, A. (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographical Information Science*, *21*(9), 983-1008.

Rifai L, Baker MB, Shafei DA, Disi A, Mahasneh A, Amr Z. 2005. *Pseudopus apodus* (Pallas, 1775) from Jordan, with notes on its ecology (Sqamata: Sauria: Anguidae). *Herpetozoa* **18**: 133– 140.

Rodríguez, M. Á., Belmontes, J. A., & Hawkins, B. A. (2005). Energy, water and large-scale patterns of reptile and amphibian species richness in Europe. *Acta Oecologica*, *28*(1), 65-70.

Rodriguez-Cordero, A. L., Balaguera-Reina, S. A., Morales-Franco, J. C., Munn, M., & Densmore III, L. D. (2022). Predicting habitat suitability of Caiman yacare and assessing the role of protected areas under current and future climate and deforestation models. *Climate Risk Management*, *35*, 100407.

Şahin, M. K., Candan, K., Yildirim Caynak, E., Kumlutaş, Y., & Ilgaz, Ç. (2021). Ecological niche divergence contributes species differentiation in worm lizards (*Blanus sp*.) (Squamata: Amphisbaenia: Blanidae) in Mediterranean part of Anatolian peninsula and the Levantine region. *Biologia*, *76*(2), 525-532.

Sampaio, F. L., Harris, D. J., Perera, A., & Salvi, D. (2015). Phylogenetic and diversity patterns of Blanus worm lizards (Squamata: Amphisbaenia): insights from mitochondrial and nuclear gene genealogies and species tree. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, *53*(1), 45-54.

Santini, L., Benítez-López, A., Maiorano, L., Čengić, M., & Huijbregts, M. A. (2021). Assessing the reliability of species distribution projections in climate change research. *Diversity and Distributions*, *27*(6), 1035-1050.

Schneider, E. D., & Kay, J. J. (1994). Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and computer modelling*, *19*(6-8), 25-48.

Sequeira, A. M., Bouchet, P. J., Yates, K. L., Mengersen, K., & Caley, M. J. (2018). Transferring biodiversity models for conservation: opportunities and challenges. *Methods in Ecology and Evolution*, *9*(5), 1250-1264.

Sillero, N. (2010). Modelling suitable areas for *Hyla meridionalis* under current and future hypothetical expansion scenarios. *Amphibia-reptilia*, *31*(1), 37-50.

Sillero, N., Campos, J., Bonardi, A., Corti, C., Creemers, R., Crochet, P. A., ... & Vences, M. (2014). Updated distribution and biogeography of amphibians and reptiles of Europe. *Amphibia-reptilia*, *35*(1), 1-31.

Skourtanioti, E., Kapli, P., Ilgaz, Ç., Kumlutaş, Y., Avcı, A., Ahmadzadeh, F., ... & Poulakakis, N. (2016). A reinvestigation of phylogeny and divergence times of the *Ablepharus kitaibelii* species complex (Sauria, Scincidae) based on mtDNA and nuDNA genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *103*, 199-214.

Smith, G. R., & Ballinger, R. E. (2001). The ecological consequences of habitat and microhabitat use in lizards: A review. *Contemporary Herpetology*, 1-28.

Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology letters*, *10*(12), 1115-1123.

Soberón, J., & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106* (Supplement 2), 19644-19650.

Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiv. Inform.* 2: 1–10.

Somodi, I., Lepesi, N., & Botta-Dukát, Z. (2017). Prevalence dependence in model goodness measures with special emphasis on true skill statistics. *Ecology and Evolution*, *7*(3), 863-872.

Srinivasulu, A., Srinivasulu, B., & Srinivasulu, C. (2021). Ecological niche modelling for the conservation of endemic threatened squamates (lizards and snakes) in the Western Ghats. *Global Ecology and Conservation*, *28*, e01700.

Strachinis, I., Poulakakis, N., Karaiskou, N., Patronidis, P., Patramanis, I., Poursanidis, D., ... & Triantafyllidis, A. (2021). Phylogeography and systematics of Algyroides (Sauria: Lacertidae) of the Balkan Peninsula. *Zoologica Scripta*, *50*(3), 282-299.

Strijbosch, H., Helmer, W., Scholte, P.T. (1989). Distribution and ecology of lizards in the Greek provinc of Evros. *Amphibia-Reptilia 10* : 151-174

Synes, N. W., & Osborne, P. E. (2011). Choice of predictor variables as a source of uncertainty in continental-scale species distribution modelling under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, *20*(6), 904-914.

Svenning, J. C., Fløjgaard, C., Marske, K. A., Nógues-Bravo, D., & Normand, S. (2011). Applications of species distribution modeling to paleobiology. *Quaternary Science Reviews*, *30*(21-22), 2930-2947.

Telenchev I., Simeonovska-Nikolova D., N. Natchev, N. Tzankov (2015). A preliminary study on the habitat selection of European glass lizard (Pseudopus apodus) in Southeast Bulgaria. In *First National Conference of Biotechnology. Sofia*.

Telenchev, I., NIKOLOVA, D., & Tzonev, R. (2017). Habitat use and activity of European glass lizard, Pseudopus apodus (Pallas, 1775), in southeastern Bulgaria. *Turkish Journal of Zoology*, *41*(2), 286-293.

Thanou, E., Kypraios-Skrekas, V., Kornilios, P., & Giokas, S. (2021). Ecomorphological divergence and lack of gene flow in two sympatric Balkan slow worms (Squamata: Anguidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, *134*(2), 443-460.

Thuiller, W., Araújo, M. B., & Lavorel, S. (2003). Generalized models vs. classification tree analysis: predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*, *14*(5), 669-680.

Thuiller, W., Georges, D., Gueguen, M., Engler, R., Breiner, F. (2021). Package 'biomod2'. *Species distribution modeling within an ensemble forecasting framework*.

Tomović, L., Ajtić, R., Ljubisavljević, K., Urošević, A., Jović, D., Krizmanić, I., ... & Džukić, G. (2014). Reptiles in Serbia: Distribution and diversity patterns. *Bulletin of the Natural History Museum*, (7), 129-158.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, *8*(2), 127-150.

Urban, D., Goslee, S., Pierce, K., & Lookingbill, T. (2002). Extending community ecology to landscapes. *Ecoscience*, *9*(2), 200-212.

Valakos, E. D., Pafilis, P., Sotiropoulos, K., Lymberakis, P., Maragou, P., & Foufopoulos, J. (2008). Amphibians and Reptiles of Greece, Edition Chimaira. *Serpents Tale, Frankfurt*.

Vaughan, I. P., & Ormerod, S. J. (2005). The continuing challenges of testing species distribution models. *Journal of applied ecology*, *42*(4), 720-730.

Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., ... & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, *416*(6879), 389-395.

Warren, D. L., Glor, R. E., & Turelli, M. (2010). ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, *33*(3), 607-611.

Wilms, T., Wagner, P., Niagate, B., Els, J., Egan, D.M., Amr, Z.S.S., Al Johany, A.M.H., Behbehani, S.J.Y., Eid, E.K.A., Sindaco, R., Baha El Din, S., El Mouden, E.H., Mateo, J.A., Orlov, N.L., Wilkinson, J., Cogălniceanu, D., Aghasyan, A., Lymberakis, P., Tuniyev, B., Ananjeva, N.B., Slimani, T., Joger, U., Geniez, P., Tok, C.V., Shestopal, A., Dujsebayeva, T., Nuridjanov, D., Golynsky, E., Borkin, L., Milto, K. & Papenfuss, T. (2021). *Chalcides ocellatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T157283A748508.

Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions*, *14*(5), 763-773.

Wolfgang Bohme, Petros Lymberakis. 2017. *Anguis cephallonica. The IUCN Red List of Threatened Species 2017*: e.T61467A118230809.

Wunderlich, R. F., Lin, Y. P., Anthony, J., & Petway, J. R. (2019). Two alternative evaluation metrics to replace the true skill statistic in the assessment of species distribution models. *Nature Conservation*, *35*, 97.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., & Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *science*, *292*(5517), 686-693.

Παφίλης, Π., Μαραγκού, Π. (2020). Άτλας Αμφιβίων και Ερπετών της Ελλάδας. Εκδόσεις Broken Hill