



ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

(ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π.4.4.3)

ΈΚΔΟΣΗ Α

Ανάδοχος:
Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου



**Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου**

**Αγαπίου Άθως
Πατσαλίδης Σταύρος
Πισσαρίδου Παναγιώτα
Χατζηπέτρου Στυλιανός**

**Λεμεσός
Μάιος 2020**

Α΄ ΜΕΡΟΣ

Μοντελοποίηση της Γεωγραφικής Κατανομής των
Δυνητικών Φορέων Ελονοσίας στην Κύπρο

Περίληψη

Η ελονοσία επηρεάζει πλέον περισσότερες από 100 τροπικές χώρες θέτοντας σε κίνδυνο περισσότερο από το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού. Ως εκ τούτου, η εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής των δυνητικών φορέων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα στις προσπάθειες ελέγχου και περιορισμού της ασθένειας. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της μέγιστης εντροπίας (MaxEnt) για την μοντελοποίηση της γεωγραφικής κατανομής τριών εκ των ειδών κουνουπιών *Anopheles* αλλά και του είδους *Culex pipiens*, στην έκταση των ελεύθερων περιοχών της Κύπρου. Πέρα από τα δεδομένα παρουσίας τα οποία συλλέχθηκαν κατά την περίοδο 2005-2008, χρησιμοποιήθηκαν 19 βιοκλιματικές μεταβλητές, αλλά και δύο μεταβλητές που σχετίζονται με το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης και την πληθυσμιακή πυκνότητα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τόσο η βροχόπτωση όσο και η θερμοκρασία αλλά και οι μεταβολές αυτών ερμηνεύουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό τη γεωγραφική κατανομή των πιο πάνω ειδών ενώ υπάρχει ιδιαίτερα υψηλή πιθανότητα εμφάνισης τους κοντά στις αστικές περιοχές, χωρίς να αποκλείεται αυτά να εμφανιστούν και σε άλλες γεωγραφικές περιοχές της Κύπρου. Για την αξιολόγηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης AUC, του οποίου οι τιμές ξεπερνούσαν το 0.7 και 0.8 για τα δύο μοντέλα, γεγονός που αποδεικνύει την στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων. Τα μοντέλα θα μπορούσαν να αποτελέσουν την βάση για περαιτέρω ανάλυση της γεωγραφικής κατανομής των ειδών *Anopheles* και *Culex pipiens*, καθώς επίσης και των μεταβλητών που την επηρεάζουν. Επιπρόσθετα μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμα εργαλεία στις προσπάθειες ανάπτυξης στρατηγικών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της επανεισαγωγής και εξάπλωσης της ελονοσίας στην Κύπρο.

Εισαγωγή

Παρά τη σημαντική μείωση στη συχνότητα εμφάνισης περιστατικών πανδημιών που παρατηρούνται σε Κύπρο και Ελλάδα, χιλιάδες είναι οι περιπτώσεις κρουσμάτων και θανάτων που παρουσιάζονται ανά το παγκόσμιο κάθε χρόνο (Snow *et al.*, 2005; Hay *et al.*, 2010). Ο πρωτοφανής ρυθμός μεταβολής του τοπίου και φαινόμενα όπως οι κλιματικές αλλαγές, οι μετακινήσεις του πληθυσμού και η έντονη μεταναστευτική δραστηριότητα, καθιστούν την επανεμφάνιση παρόμοιων συμβάντων αναδυόμενο κίνδυνο. Συνεπώς, η χαρτογράφηση και η συνεχής παρακολούθηση της δυναμικής αυτής μεταβλητής, έχει αναγνωριστεί ευρέως ως έναν από τους σημαντικότερους και πιο απαιτητικούς ερευνητικούς στόχους.

Μία κοινή πρακτική που συναντάται σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία με σκοπό τόσο την αναγνώριση και περιγραφή προτύπων όσο και την πρόβλεψη και εντοπισμό πιθανών ευάλωτων περιοχών, είναι η μοντελοποίηση της γεωγραφικής κατανομής των ειδών στον χώρο – SDM (Elith and Leathwick, 2009; Franklin and Miller, 2010). Τα συγκεκριμένα μοντέλα βρίσκουν εφαρμογή σε επιστήμες όπως η βιολογία και η επιδημιολογία, αποσκοπώντας στην αναγνώριση των περιοχών εκείνων που ευνοούν την εμφάνιση και ενδεχομένως την εξάπλωση και μετάδοση ασθενειών. (Corsi, De Leeuw and Skidmore, 2000; Scott *et al.*, 2003; Elith and Leathwick, 2009).

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για την ικανοποίηση των πιο πάνω αναγκών (Li and Wang, 2013). Ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης Maximum Entropy (Phillips, Anderson and Schapire, 2006; Merow, Smith and Silander, 2013), είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία προγνωστικής μοντελοποίησης, το οποίο βασίζεται στην πληροφορία γνωστών θέσεων παρουσίας των ειδών. Η βασική ιδέα αυτής της προσέγγισης, είναι η συσχέτιση βιο-κλιματικών και γεωγραφικών παραμέτρων με τις γνωστές τοποθεσίες των ειδών, δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης και καθοδηγώντας την κατανομή τους στον χώρο (Rangel, Diniz-Filho and Bini, 2006; Laporta *et al.*, 2011). Η κατάληψη των θέσεων παρουσίας, προκύπτει από την αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων. Συνεπώς, η εκτίμηση της ομοιότητας των περιβαλλοντικών και γεωγραφικών παραμέτρων που επικρατούν σε αυτές τις θέσεις με τον υπόλοιπο χώρο είναι πολύ σημαντική, καθιστώντας την επιλογή τους την πιο ουσιαστική διαδικασία στη διαμόρφωση του μοντέλου πρόβλεψης της κατανομής τους και την ανάλυση καταλληλότητας του τοπίου.

Η ερμηνεία της πιθανής γεωγραφικής κατανομής των φορέων ασθενειών, μπορεί να οδηγήσει τους υπεύθυνους φορείς λήψης αποφάσεων σε ολοκληρωμένα σχέδια πρόληψης κατά της μετάδοσης θανατηφόρων ιών στους ανθρώπους. Λαμβάνοντας υπόψη τα πιο πάνω, κύριος σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση της πιθανής γεωγραφικής κατανομής των ειδών *Culex pipiens* και *Anopheles*. Τα εν λόγω είδη, αποτελούν κάποια από τα είδη μεγαλύτερης υγειονομικής σημασίας, καθώς είναι πιθανοί διαβιβαστές του ιού της Ελονοσίας και του ιού του Δυτικού Νείλου αντίστοιχα. Στην παρούσα μελέτη, έχει γίνει χρήση του αλγόριθμου μέγιστης εντροπίας (MaxEnt) για την μοντελοποίηση της περιβαλλοντικής καταλληλότητας αλλά και δυνητικής κατανομής των πιο πάνω ειδών σε ολόκληρη την έκταση των περιοχών που ελέγχονται από την Κυπριακή Δημοκρατία.

Μεθοδολογία

Περιοχή Μελέτης

Η Κύπρος βρίσκεται στην λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου αποτελώντας το τρίτο σε μέγεθος νησί της (Εικόνα 1). Όντας μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 34° 33' 00" και 35° 34' 10" βόρεια από τον Ισημερινό και μεταξύ των γεωγραφικών μηκών 32° 16' 30" και 34° 37' 00" ανατολικά από τον μεσημβρινό του Γκρήνουιτς αποτελεί σταυροδρόμι τριών ηπείρων κατέχοντας μια εξέχουσα, υπό πολλές έννοιες, γεωγραφική θέση. Η συνολική έκταση της Κύπρου φτάνει τα 9.251 τ.χλμ. και το μήκος της ακτογραμμής της τα 648 χλμ., ενώ σημαντικό μέρος του εδάφους της (~35%) κατέχεται από Τουρκικά στρατεύματα από το 1974 (*The World Factbook – Central Intelligence Agency*, 2020). Στις περιοχές που ελέγχονται από την Κυπριακή Δημοκρατία, ο πληθυσμός σύμφωνα με την τελευταία απογραφή έφτανε τις 840.407 κατοίκους με την πλειοψηφία αυτών να συγκεντρώνεται στα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Κύπρου, τη Λευκωσία και Λεμεσό (*Στατιστική Υπηρεσία - Απογραφή Πληθυσμού 2011*).

Το κλίμα της Κύπρου χαρακτηρίζεται ως υπο-τροπικό (ταξινόμηση Κέππεν) με αρκετά ήπιους χειμώνες και πολύ ζεστά και ξηρά καλοκαίρια (Peel, Finlayson and McMahon, 2007). Αυτό καθιστά το κλίμα του νησιού από τα θερμότερα μεταξύ των Μεσογειακών περιοχών της Ευρώπης. Η μέση θερμοκρασία της Κύπρου φτάνει τους 24 °C κατά τη διάρκεια της μέρας ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας η αντίστοιχη θερμοκρασία ανέρχεται στους 14 °C. Τέλος η σχετική υγρασία του αέρα κυμαίνεται

κατά μέσο όρο μεταξύ 60-80% το χειμώνα και 40-60% το καλοκαίρι ενώ οι άνεμοι είναι συνήθως χαμηλότεροι του μετρίου χωρίς σταθερή κατεύθυνση.

Εικόνα 1: Γεωγραφική Θέση της Κύπρου



Η μέση ετήσια βροχόπτωση πάνω από την Κύπρο είναι συνολικά περίπου 480 χιλιοστόμετρα ενώ σ' αυτήν σημαντικό ρόλο παίζει και η επίδραση του αναγλύφου της ξηράς και κυρίως της οροσειράς του Τροόδους στα νοτιοδυτικά του νησιού (*Department of Meteorology (MISU)*, 2012). Παρόλου που στην Κύπρο έχει χαρακτηριστεί από την ελονοσία εδώ και αρκετά χρόνια (AZIZ, 1948), ο κίνδυνος επανεισαγωγής της ασθένειας στο νησί ελλοχεύει ένεκα των κατάλληλων κλιματολογικών συνθηκών του νησιού αλλά και της έξαρσης της ελονοσίας σε όχι και τόσο μακρινές, γεωγραφικά, χώρες όπως π.χ. η Ανατολική Τουρκία. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι πρόσφατα σημειώθηκαν κρούσματα ελονοσίας και στις κατεχόμενες περιοχές της Κύπρου.

Πηγές και Επεξεργασία Δεδομένων

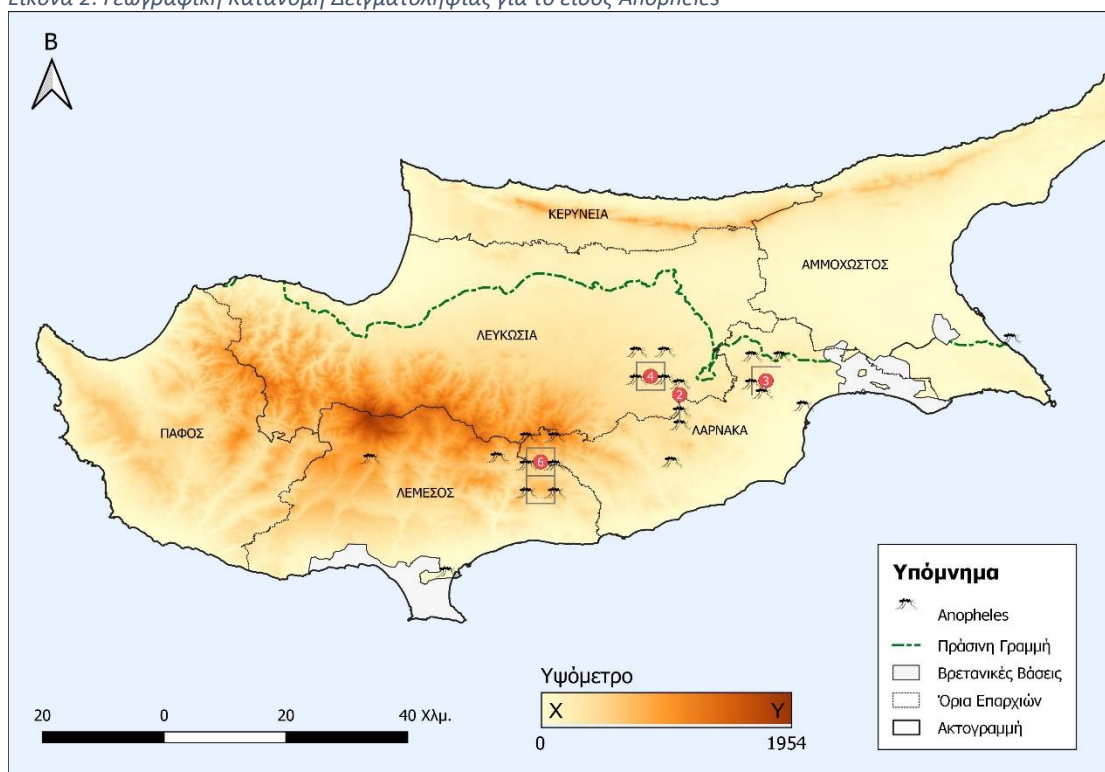
Εντομολογικά Δεδομένα

Τα δεδομένα παρουσίας των δυνητικών φορέων ελονοσίας βασίστηκαν σε δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου «Κουνούπια» κατά την περίοδο 2005-2008. Στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος, πραγματοποιήθηκε

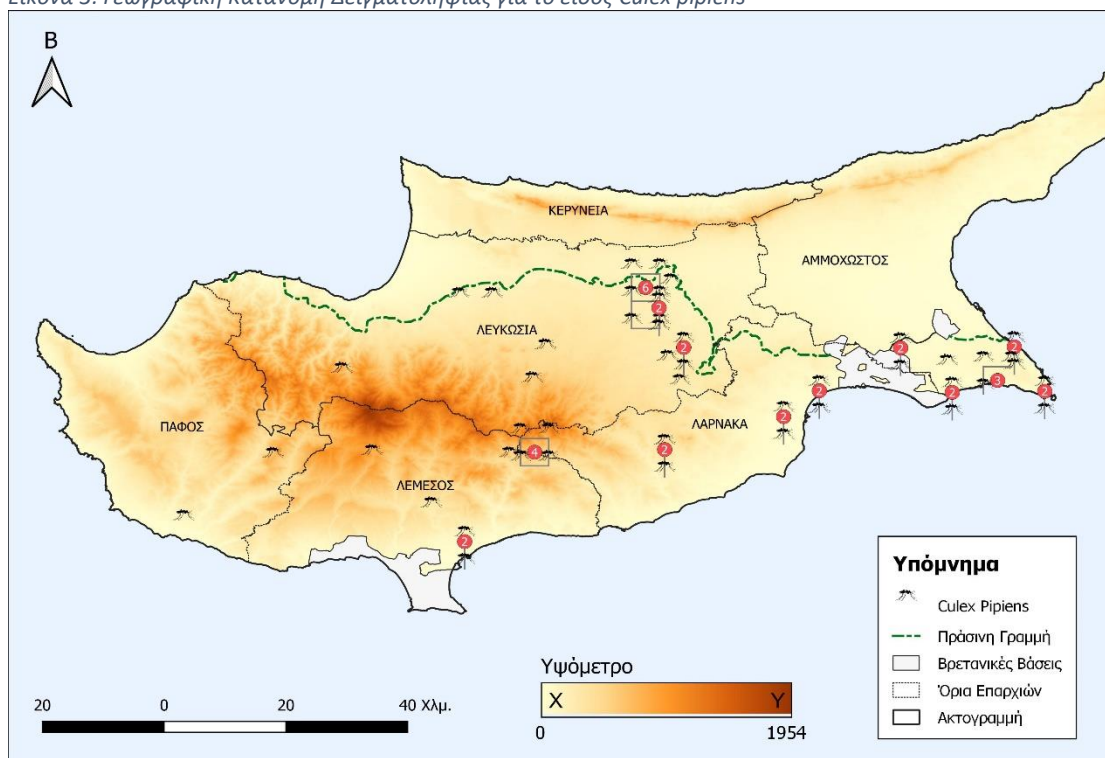
δειγματοληψία για τα είδη *Culex pipiens* και *Anopheles sacharovi*, *claviger* και *algeriensis*, τα οποία θα μπορούσαν να είναι πιθανοί φορείς εξάπλωσης της ασθένειας. Συνολικά, 48 δείγματα *Culex pipiens* και 23 δείγματα *Anopheles* έχουν ληφθεί στην περιοχή μελέτης, η κατανομή των οποίων φαίνεται στις εικόνες 2 και 3. Η ελονοσία μεταδίδεται στον άνθρωπο πρωτίστως μέσω τσιμπήματος από θηλυκό κουνούπι του γένους *Anopheles*. Από τα 400 και πλέον είδη *Anopheles* που έχουν αναγνωριστεί, τα τρία είδη που αναφέρθηκαν πιο πάνω ανήκουν στην κατηγορία των δυνητικών φορέων της ασθένειας γι' αυτό και ομαδοποιήθηκαν πριν την ανάλυση των δεδομένων. Όπως φαίνεται στους πιο κάτω χάρτες τα δεδομένα παρουσίας συγκεντρώνονται σε ορισμένες περιπτώσεις σε θύλακες, γεγονός που λειτουργεί ως αρνητικός παράγοντας στο μοντέλο μειώνοντας τη συνολική αμεροληψία του. Επίσης ο αριθμός των δειγμάτων ενδέχεται να μην είναι αντιπροσωπευτικός ορισμένων περιοχών, όπως για παράδειγμα η Επαρχία της Πάφου, εντούτοις μέσω της ανάλυσης εξάχθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την γεωγραφική κατανομή των ειδών που μελετώνται αλλά και τους παράγοντες από τους οποίους αυτή επηρεάζεται. Βάσει των πιο κάτω χαρτών, είναι φανερό ότι εκ πρώτης όψεως δεν μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή των ειδών, εφόσον αυτά έχουν ανευρεθεί σε περιοχές με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παρατήρηση αυτή φαίνεται να ισχύει περισσότερο για το είδος *Culex pipiens* παρά για τα είδη *Anopheles*, εντούτοις δεν γνωρίζουμε αν αυτό οφείλεται στον μικρό αριθμό του δείγματος των δευτέρων. Ειδικότερα, έχουν εντοπιστεί *Culex pipiens* τόσο στα παράλια της Επαρχίας Αμμοχώστου όσο και στις ημιορεινές περιοχές του Τροόδους αλλά και σε αστικές περιοχές, κυρίως στην Επαρχία Λευκωσίας.

**Παραδοτέο Π.4.4.3:
Μελέτη Χαρτογράφησης Επικινδυνότητας**

Εικόνα 2: Γεωγραφική Κατανομή Δειγματοληψίας για το είδος *Anopheles*



Εικόνα 3: Γεωγραφική Κατανομή Δειγματοληψίας για το είδος *Culex pipiens*



Βιοκλιματικά/Περιβαλλοντικά Δεδομένα

Τα βιοκλιματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 όπως επίσης και δύο επιπρόσθετες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιήσουν τις

περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες ενδείκνυται να εξαπλωθούν οι πιο πάνω φορείς. Τα βιοκλιματικά δεδομένα ανακτήθηκαν από το WorldClim-Global Climate Data (<http://worldclim.org>) το οποίο διαθέτει ένα ανοικτό και δωρεάν σύνολο παγκόσμιων κλιματικών επιπέδων σε μορφή καννάβου με χωρική διακριτότητα 30 arc-seconds (περίπου 1 χλμ.). Τα δεδομένα αυτά έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί τόσο για χαρτογράφηση όσο και για χωρική μοντελοποίηση, και ειδικότερα όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή των ειδών στο χώρο. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2 των βιοκλιματικών δεδομένων τα οποία αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο των αντίστοιχων παραμέτρων μεταξύ 1970-2000 και έχουν προκύψει από τις μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης.

Εικόνα 4: Κωδικός, Κατηγορία και Περιγραφή των Μεταβλητών που Χρησιμοποιήθηκαν στο Μοντέλο

Κωδικός	Περιγραφή Μεταβλητής	Κατηγορία
BIO1	Μέση Ετήσια Θερμοκρασία	Θερμοκρασία
BIO2	Μέσο Ημερήσιο Εύρος (Μέση μηνιαία τιμή (Μέγιστη – ελάχιστη θερμοκρασία)	
BIO3	Ισοθερμία (BIO2/BIO7) (*100)	
BIO4	Εποχικότητα Θερμοκρασίας (τυπική απόκλιση*100)	
BIO5	Μέγιστη Θερμοκρασία του Θερμότερου Μήνα	
BIO6	Ελάχιστη Θερμοκρασία του Ψυχρότερου Μήνα	
BIO7	Ετήσιο Εύρος Θερμοκρασίας (BIO5-BIO6)	
BIO8	Μέση Θερμοκρασία Υγρότερου Τριμήνου	
BIO9	Μέση Θερμοκρασία Ξηρότερου Τριμήνου	
BIO10	Μέση Θερμοκρασία Θερμότερου Τριμήνου	
BIO11	Μέση Θερμοκρασία Ψυχρότερου Τριμήνου	
BIO12	Ετήσια Βροχόπτωση	Βροχόπτωση
BIO13	Βροχόπτωση Υγρότερου Μήνα	
BIO14	Βροχόπτωση Ξηρότερου Μήνα	
BIO15	Εποχικότητα Βροχόπτωσης (Συντελεστής Μεταβλητότητας)	
BIO16	Βροχόπτωση Υγρότερου Τριμήνου	
BIO17	Βροχόπτωση Ξηρότερου Τριμήνου	
BIO18	Βροχόπτωση Θερμότερου Τριμήνου	
BIO19	Βροχόπτωση Ψυχρότερου Τριμήνου	
GPW_PopD	Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Πληθυσμός
SRTM	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	Υψόμετρο

Οι δύο τελευταίες μεταβλητές αφορούν την πληθυσμιακή πυκνότητα της Κύπρου και το υψόμετρο. Τα δεδομένα που αφορούν την πρώτη μεταβλητή έχουν ανακτηθεί από την συλλογή δεδομένων του κέντρου κοινωνικοοικονομικών δεδομένων και εφαρμογών (Socioeconomic Data and Applications–SEDAC) μέσω της ιστοσελίδας <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4> και αφορούν πλεγμιακά δεδομένα πληθυσμιακής πυκνότητας με παγκόσμια κάλυψη που μοντελοποιούν την κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού σε συνεχή επιφάνεια. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η τελευταία έκδοση των δεδομένων (GPWv4), η οποία ενσωματώνει δεδομένα καταγραφής πληθυσμού του 2010 (Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University, 2016). Η χωρική διακριτότητα των δεδομένων είναι η ίδια με αυτή των βιοκλιματικών μεταβλητών (~1 χλμ.). Η δεύτερη μεταβλητή σχετίζεται με το ανάγλυφο του εδάφους. Δεδομένα που αφορούν την υψομετρία ανακτήθηκαν από την διαδικτυακή πύλη δεδομένων της Αμερικανικής Γεωλογικής Υπηρεσίας (United States Geological Survey-USGS) η οποία είναι διαθέσιμη στο <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η 3^η έκδοση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους του δορυφορικού ραντάρ τοπογραφικής αποστολής (Shuttle Radar Topography Mission-SRTM) με χωρική διακριτότητα 1 arc-second (~30 μέτρα).

Πριν την εισαγωγή των πιο πάνω δεδομένων στο μοντέλο, απαιτείται προ-επεξεργασία ούτως ώστε να αποκτήσουν όλα τα δεδομένα κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Στην παρούσα μελέτη η προ-επεξεργασία αφορούσε τη μετατροπή των δεδομένων σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, την αποκοπή τους στα όρια της περιοχής μελέτης και τον ορισμό κοινού πλαισίου (γεωγραφικών ορίων και μέγεθος κελιού του πλέγματος των δεδομένων). Για τις πιο πάνω διαδικασίες χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό QGIS όπως επίσης και η γλώσσα προγραμματισμού R, και πιο συγκεκριμένα τα πακέτα “rgdal”, “sp” και “raster”.

Μοντέλα Γεωγραφικής Κατανομής των Ειδών – Το Μοντέλο Μέγιστης Εντροπίας (MaxEnt)

Τα Μοντέλα Γεωγραφικής Κατανομής των Ειδών (Species Distribution Models – SDM) αποσκοπούν στην εκτίμηση της ομοιότητας των συνθηκών σε μια τοποθεσία με τις αντίστοιχες συνθήκες στην τοποθεσία όπου υπάρχουν δεδομένα παρουσίας ενός είδους (Basvarajaiah, 2018). Μια συνήθης εφαρμογή των μοντέλων αυτών είναι η πρόβλεψη της πιθανής εξάπλωσης ενός είδους χρησιμοποιώντας βιοκλιματικά δεδομένα ως ερμηνευτικές μεταβλητές. Το μοντέλο Μέγιστης Εντροπίας (Phillips, Dudík and Schapire, 2004; Phillips and Dudík, 2008), χρησιμοποιήθηκε για τη

διερεύνηση της εξάπλωσης των ειδών *Culex pipiens* και *Anopheles*. Πρόκειται για ένα αλγόριθμο μηχανικής μάθησης, ο οποίος προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Jaynes (1957) και χαρακτηρίζεται από απλή και ακριβή μαθηματική διατύπωση όσον αφορά στην πρόβλεψη γεωγραφικών κατανομών.

Από τα βασικότερα πλεονεκτήματα του αλγόριθμου, είναι η μη ευαισθησία του στο φαινόμενο overfitting, στη δημιουργία δηλαδή ενός μοντέλου πολύ αυστηρού και συνάμα ευέλικτου που θα προσαρμοστεί απόλυτα στα δεδομένα εκπαίδευσης, προκαλώντας λανθασμένες εκτιμήσεις στην συνέχεια. Ακόμα, το εν λόγω μοντέλο απαιτεί μόνον τα δεδομένα παρουσίας του είδους στην περιοχή μελέτης, εν αντιθέσει με άλλες τυποποιημένες στατιστικές τεχνικές. Μελέτες των (Phillips, Dudík and Schapire, 2004; Elith *et al.*, 2006; Hijmans and Graham, 2006; Pearson *et al.*, 2007), χαρακτηρίζουν την απόδοση του MaxEnt ως εξίσου καλή ή και καλύτερη από τις τεχνικές που χρησιμοποιούν μόνον τα δεδομένα παρουσίας. Απαραίτητα δεδομένα για τη χρήση του αλγορίθμου και την πρόβλεψη της δυνητικής εξάπλωσης, αποτελεί επίσης και ένα σύνολο περιβαλλοντικών μεταβλητών που θεωρείται ότι σχετίζονται με την πιθανότητα εμφάνισης του είδους εντός της περιοχής μελέτης, ενώ δεν απαιτούνται δεδομένα απουσίας του είδους.

Τρόπος Λειτουργίας του Μοντέλου

Το μοντέλο Μέγιστης Εντροπίας, αντιμετωπίζει τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσίας των ειδών ως μία τυχαία μεταβλητή. Με τα κατάλληλα όρια και εφαρμόζοντας πιθανολογική παρεμβολή (probabilistic interference) προκειμένου να προσεγγίσει μια κατανομή πιθανότητας με ελλιπή πληροφόρηση, μπορεί να εκφράσει την δυνητική κατανομή των ειδών γεωγραφικά, μέσα από την κατανομή πιθανότητας της.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες παρατηρήσεις ως τυχαίο δείγμα, ο αλγόριθμος υπολογίζει πολλές κατανομές πιθανότητας, ικανοποιώντας παράλληλα τους περιορισμούς που προκύπτουν από το δείγμα. Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται ότι η διαθέσιμη πληροφορία έχει χρησιμοποιηθεί, καθώς μέσω αυτής εκφράζονται οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις των ειδών και κατά συνέπεια καθορίζεται η ζητούμενη κατανομή, η οποία πρέπει να είναι πολύ κοντά με την αντίστοιχη του δείγματος. Ενδεικτικά ένας περιορισμός θα μπορούσε να είναι ότι «η μέση τιμή της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας στην κατανομή του μοντέλου, πρέπει να είναι πολύ κοντά στην αντίστοιχη μέση τιμή της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας που παρατηρείται στο δείγμα» (Phillips and Dudík, 2008). Αυτοί οι περιορισμοί δεν είναι

απόλυτοι και δεν απαιτούν ισότητα των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών, προς αποφυγή πρόκλησης του φαινομένου *overfitting* του μοντέλου στο δείγμα. Έτσι, επιτρέπεται ένα επίπεδο απόκλισης από τις δειγματικές συνθήκες, που εκφράζει την περιβαλλοντική επιλεκτικότητα του είδους.

Τέλος, η επιλογή μεταξύ όλων των πιθανών κατανομών που πληρούν τους περιορισμούς, βασίζεται στην αρχή της μέγιστης εντροπίας. Η αρχή της μέγιστης εντροπίας, μας λέει ότι η καλύτερη προσέγγιση για μια άγνωστη κατανομή για την οποία γνωρίζουμε μόνον κάποιους περιορισμούς, είναι η κατανομή που τους ικανοποιεί και πλησιάζει όσο περισσότερο γίνεται μία ομοιόμορφη κατανομή (Phillips, Dudík and Schapire, 2004; Phillips and Dudík, 2008). Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι το μοντέλο δεν βασίζεται σε υποθέσεις, παρά μόνο στους περιορισμούς που προκύπτουν από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Ως αποτέλεσμα, το μοντέλο δίνει συνεχή αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης, με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1 και απεικονίζουν την πιθανότητα κατανομής του είδους.

Μέτρα Αξιολόγησης του Μοντέλου

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πρόβλεψης του μοντέλου, πραγματοποιείται με την χρήση του κατωτάτου ορίου ανεξάρτητης δοκιμής (*threshold-independent test*). Η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται με τη χρήση των δεικτών λειτουργικών χαρακτηριστικών καμπύλων Receiver Operating Characteristic – ROC. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση βασίζεται στην περιοχή που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη (*Area Under Curve – AUC*), η οποία παρέχει ένα ενιαίο μέτρο της απόδοσης του μοντέλου. Η τιμή της καμπύλης AUC υπολογίζεται από την περιοχή ευαισθησίας του ROC κατά 1-specificity και έχει εύρος από 0.5 (τυχαία ακρίβεια) έως 1 (υψηλότερη ακρίβεια). Όσο πιο κοντά στην τιμή 1 είναι η τιμή της AUC, τόσο πιο υψηλή είναι η απόδοση του μοντέλου και κατά συνέπεια τόσο πιο ισχυρή η σχέση μεταξύ της γεωγραφικής θέσης και των περιβαλλοντικών μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν.

Προκειμένου να ερευνήσουμε την επίδραση και τη σημαντικότητα των μεταβλητών που επιλέχθηκαν στην απόδοση του μοντέλου, το μοντέλο MaxEnt είναι σε θέση να εκτελέσει τη διαδικασία εκπαίδευσης αρκετές φορές ακολουθώντας διαφορετικά σενάρια. Αρχικά, η εκπαίδευση θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεταβλητές. Στη συνέχεια, σε κάθε επανάληψη θα αφαιρείται μία μεταβλητή, υπολογίζοντας κάθε φορά το σφάλμα που παρουσιάστηκε στο μοντέλο κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης και προσαρμογής του. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό

συνεισφοράς της κάθε μεταβλητής στο μοντέλο και να βρούμε επίσης τον συνδυασμό παραγόντων που μας δίνει τις υψηλότερες ακρίβειες.

Περιγραφή Μοντέλου Γεωγραφικής Κατανομής

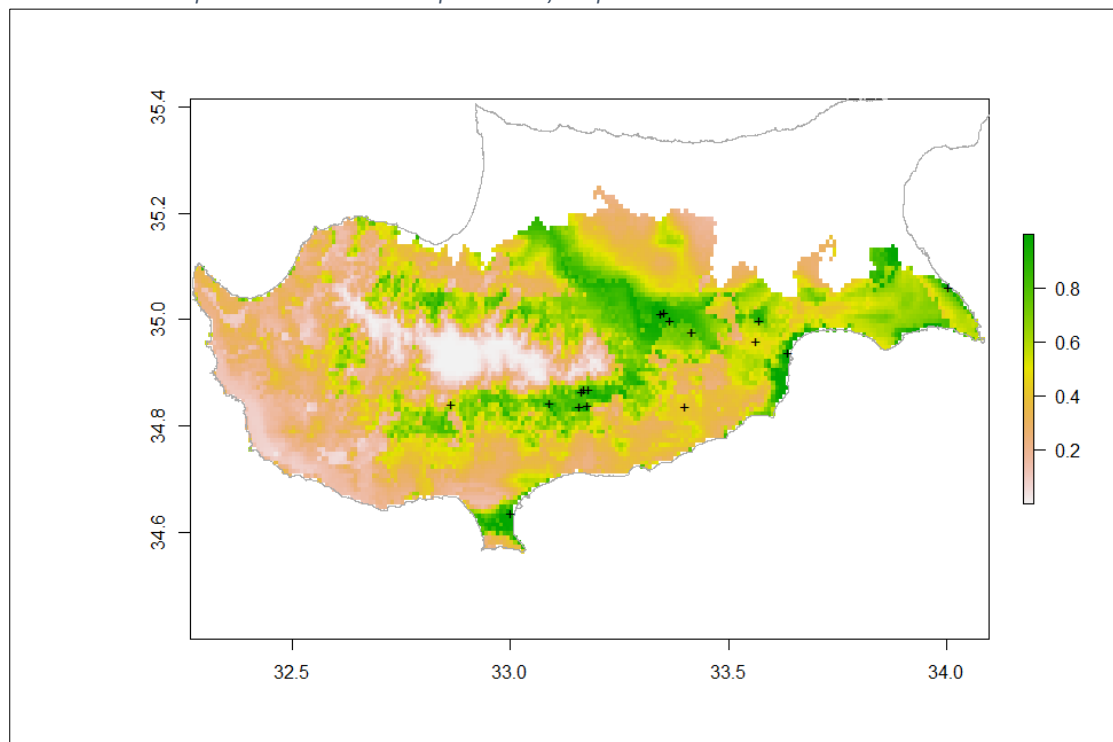
Η διαδικασία μοντελοποίησης και για τα δύο είδη (*Anopheles* και *Culex pipiens*) πραγματοποιήθηκε στην γλώσσα προγραμματισμού R, με τη χρήση του πακέτου "dismo" το οποίο διατηρεί ένα σύνδεσμο μεταξύ της R και του μοντέλου MaxEnt (Hijmans and Elith, 2016). Το πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή τόσο των δεδομένων παρουσίας όσο και των βιοκλιματικών/περιβαλλοντικών δεδομένων στην R. Αφού πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος και η απομάκρυνση τυχών εσφαλμένων τιμών, τα δεδομένα παρουσίας χωρίστηκαν σε δύο υπό-κατηγορίες, τα δεδομένα εκπαίδευσης και ανάπτυξης του μοντέλου (80%) και τα δεδομένα ελέγχου (20%) με σκοπό τον έλεγχο της απόδοσης του μοντέλου και χρησιμοποιώντας την επιφάνεια κάτω από την καμπύλη ROC (AUC) (Hanley and McNeil, 1982). Η καμπύλη ROC ποσοτικοποιεί τη δυνατότητα του μοντέλου να διακρίνει τοποθεσίες παρουσίας-απουσίας των ειδών. Γενικότερα, τιμές από 0.8 και άνω υποδηλώνουν ένα αξιόπιστο μοντέλο. Επιπρόσθετα, 500 σημεία επιλέγηκαν τυχαία ως δεδομένα υποβάθρου σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Αυτά χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τις περιβαλλοντικές/βιοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης (Phillips *et al.*, 2009). Ουσιαστικά τα δεδομένα αυτά δημιουργούν το περιβαλλοντικό/κλιματολογικό πλαίσιο της περιοχής μελέτης ενώ τα δεδομένα παρουσίας καθορίζουν κάτω από ποιες συνθήκες τα είδη που μελετώνται είναι πιο πιθανόν να εμφανιστούν κατά μέσο όρο.

Η επιλογή των περιβαλλοντικών/κλιματικών βαραίνει σημαντικά το αποτέλεσμα του μοντέλου. Τόσο για την πρόβλεψη όσο και για την επεξήγηση της γεωγραφικής κατανομής των ειδών, η σημασία των μεταβλητών αυτών είναι ύψιστη. Σε κάθε περίπτωση οι μεταβλητές αυτές θα πρέπει να είναι σχετικές με την οικολογία των ειδών που μελετώνται και δεν περιορίζονται μόνο σε πρωτογενή δεδομένα (Fourcade *et al.*, 2014). Έτσι, για κάθε σημείο των δεδομένων παρουσίας αλλά και των δεδομένων υποβάθρου λήφθηκε η τιμή της κάθε μιας από τις επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια η σύγκριση των συνθηκών μέσω του μοντέλου. Οπτικά μέσα χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τον έλεγχο της πολυσυγγραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών.

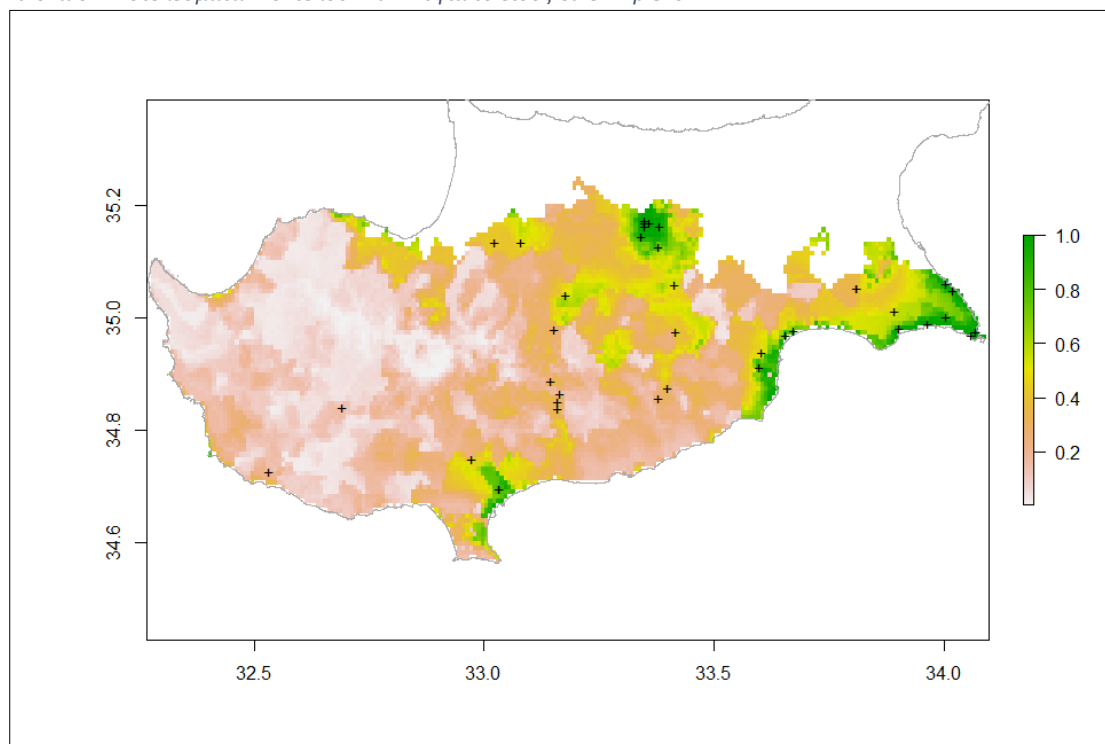
Αποτελέσματα και Συζήτηση

Όπως προκύπτει από το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης της γεωγραφικής κατανομής των ειδών *Anopheles* και *Culex pipiens* οι αστικές περιοχές είναι αυτές που εμφανίζουν την μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίας των ειδών, ενώ στην περίπτωση των πρώτων αρκετά υψηλή πιθανότητα εμφάνισης παρουσιάζουν και περιοχές περιμετρικά της οροσειράς του Τροόδους. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι η πιθανότητα εμφάνισης και των δύο ειδών παρουσιάζεται υψηλή στις παράκτιες περιοχές από τη Λάρνακα μέχρι και το Παραλίμνι, όπως και στην ευρύτερη περιοχή της Αμμοχώστου. Η πιθανότητα εξάπλωσης του είδους *Culex pipiens* παρατηρούμε ότι είναι μειωμένη σε αρκετά μεγάλο βαθμό στις περιοχές της επαρχίας Πάφου, ενώ για το είδος *Anopheles* θα λέγαμε ότι αυτό ισχύει περισσότερο για κάποιες από τις ορεινές περιοχές του Τροόδους. Συγκριτικά θα λέγαμε ότι οι συνθήκες στην Κύπρο είναι περισσότερο ευνοϊκές για το είδος *Culex Pipiens* παρά για τα *Anopheles* που στη μεγαλύτερη έκταση των ελεύθερων περιοχών της Κύπρου δεν παρουσιάζει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης. Γενικότερα, οι δυτικές περιοχές του νησιού αλλά και η περιοχή του Τροόδους δεν φαίνεται να παρουσιάζουν ευνοϊκές συνθήκες για την παρουσία των δύο ειδών, εντούτοις μια πιο ολοκληρωμένη δειγματοληψία στις περιοχές αυτές θα ήταν πιο αντιπροσωπευτική της παρούσας.

Εικόνα 5: Αποτελέσματα Μοντέλου MaxEnt για το είδος *Anopheles*



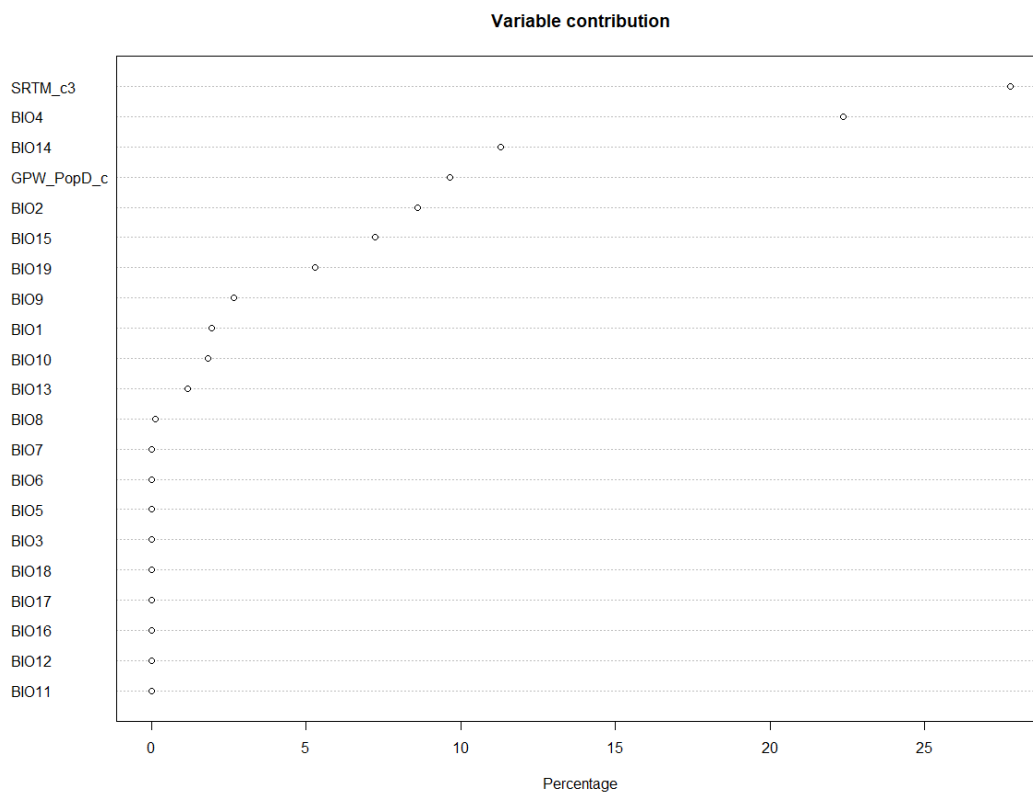
Εικόνα 6: Αποτελέσματα Μοντέλου MaxEnt για το είδος *Culex pipiens*



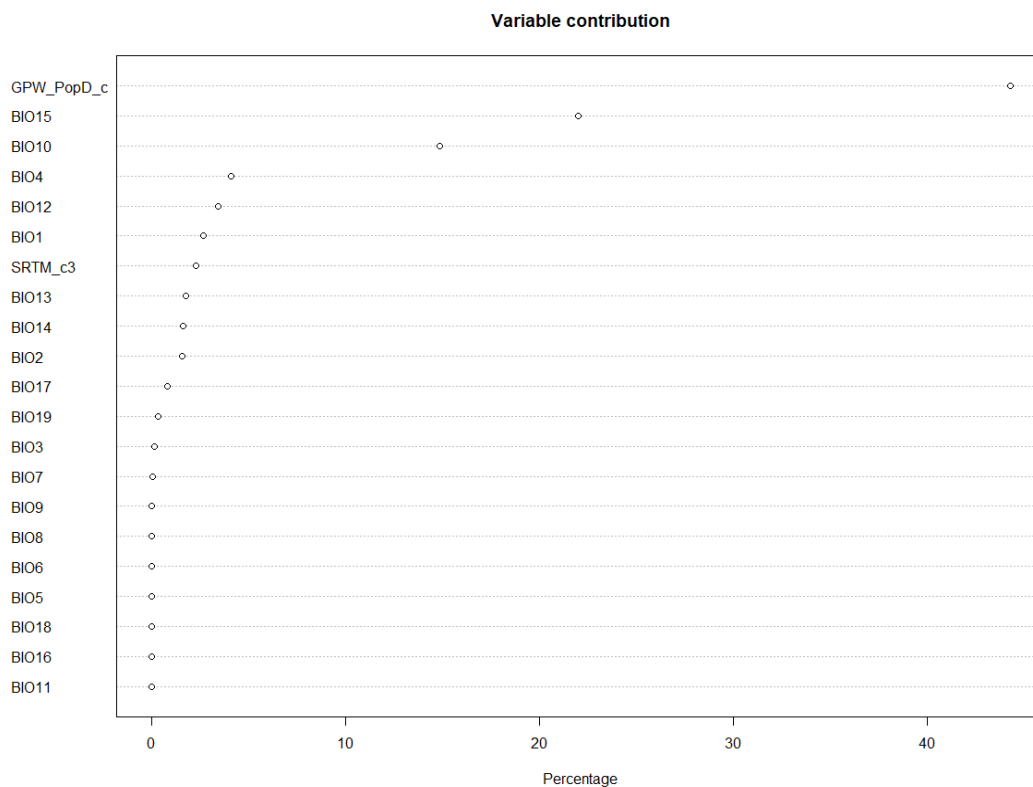
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σημαντικό μέρος της παρούσας ανάλυσης αποτελεί πέρα από την πρόβλεψη και το κομμάτι της ερμηνείας των επεξηγηματικών μεταβλητών που έχουν επιλεγεί. Αν δούμε ξεχωριστά τη συμμετοχή των μεταβλητών στο κάθε είδος, θα παρατηρήσουμε ότι αυτή διαφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό όπως φαίνεται και από τα παρακάτω γραφήματα. Ενώ, λοιπόν πάνω από τις μισές μεταβλητές συμμετέχουν σημαντικά στο μοντέλο γεωγραφικής κατανομής των *Anopheles*, το ίδιο δεν ισχύει για το αντίστοιχο μοντέλο των *Culex pipiens*.

**Παραδοτέο Π.4.4.3:
Μελέτη Χαρτογράφησης Επικινδυνότητας**

Εικόνα 7: Συμμετοχή Επεξηγηματικών Μεταβλητών στο Μοντέλο Γεωγραφικής Κατανομής των *Anopheles*



Εικόνα 8: Συμμετοχή Επεξηγηματικών Μεταβλητών στο Μοντέλο Γεωγραφικής Κατανομής των *Culex pipiens*

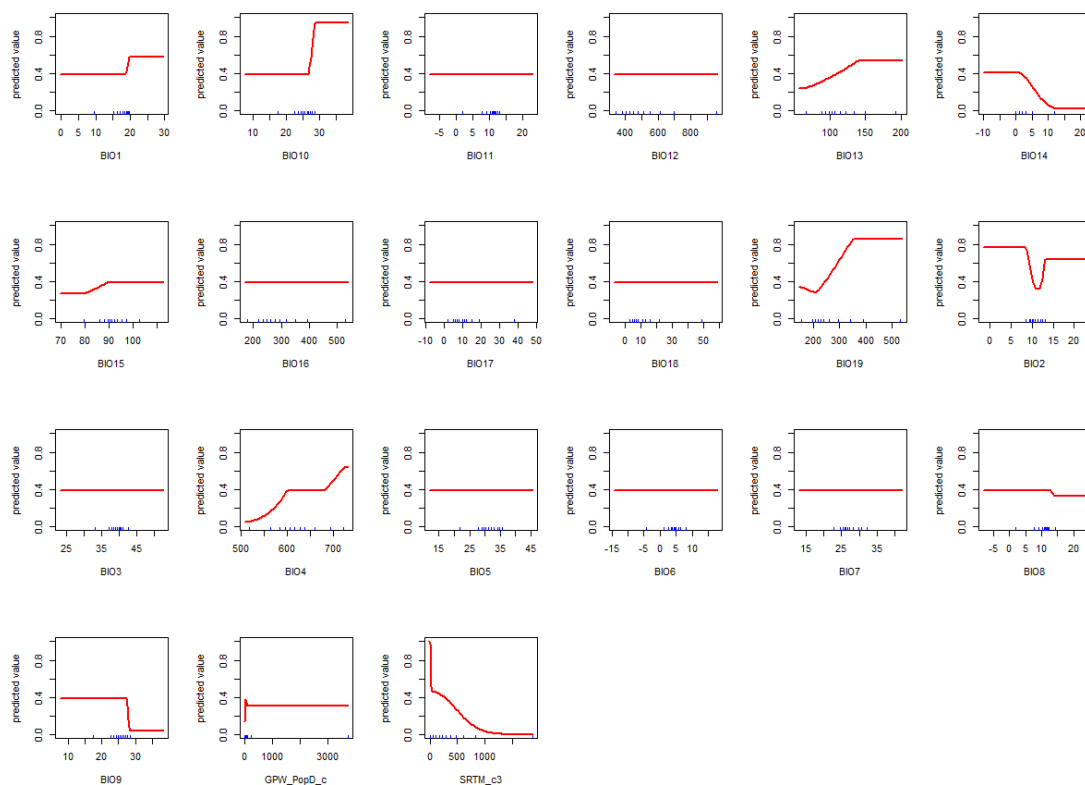


Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η μεταβλητή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους έχει μια συμμετοχή της τάξης του ~30% στο πρώτο μοντέλο ενώ στο δεύτερο το ποσοστό αυτό μετά βίας φτάνει το 3%. Η πυκνότητα πληθυσμού φαίνεται ότι βρίσκεται σε αρκετά υψηλό ποσοστό και στα δύο μοντέλα, ιδιαίτερα σε αυτό των *Culex pipiens* όπου η συμμετοχή του ξεπερνά το 40%. Τα πιο πάνω αποδεικνύουν την σημαντικότητα συμπερίληψης αυτών των δύο επιπρόσθετων μεταβλητών και στα δύο μοντέλα, πέρα από τις βιοκλιματικές μεταβλητές. Τέλος, η εποχικότητα τόσο της θερμοκρασίας όσο και της βροχόπτωσης επιδρούν επίσης με αρκετά υψηλό ποσοστό και στα δύο μοντέλα.

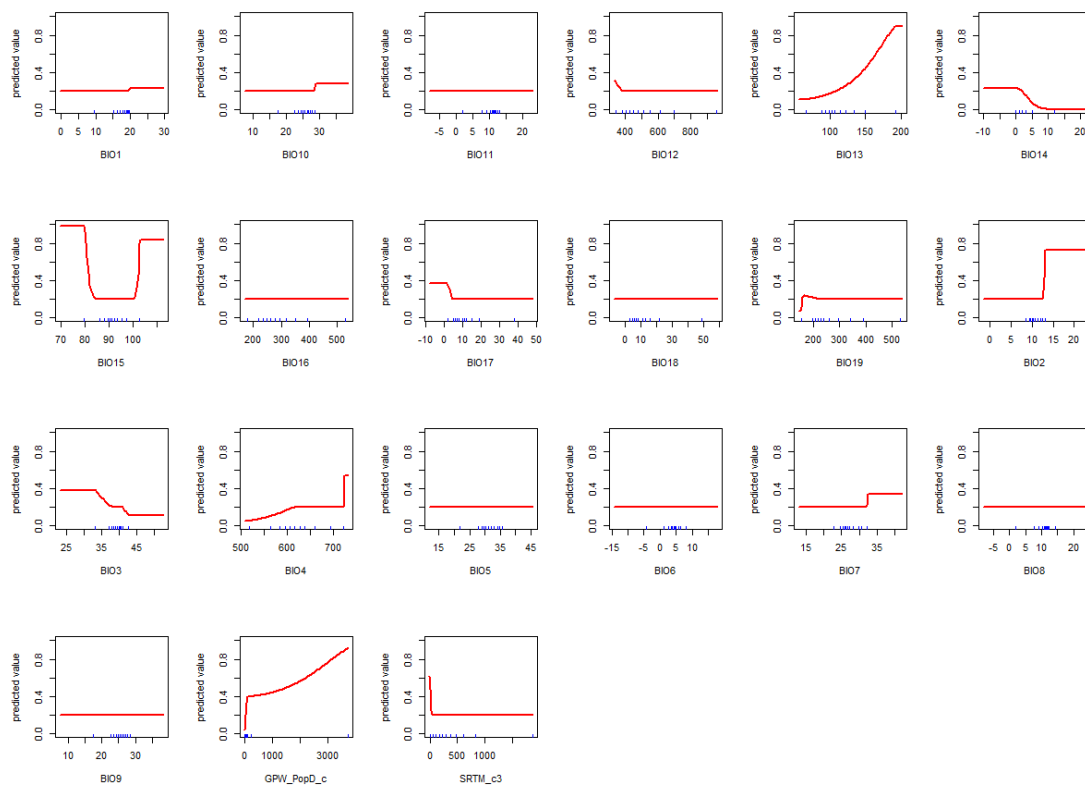
Ενώ το πόσο συμμετέχει η κάθε μεταβλητή στο μοντέλο είναι σημαντικό, το πώς αυτές οι μεταβλητές συμμετέχουν είναι εξίσου ή περισσότερο σημαντικό. Για να το δούμε αυτό θα πρέπει να ερμηνεύσουμε τις καμπύλες απόκρισης για το κάθε μοντέλο. Οι καμπύλες αυτές δείχνουν στην ουσία πώς κάθε μεταβλητή επηρεάζει την πρόβλεψη που φαίνεται στις εικόνες 5 και 6. Παρατηρώντας για παράδειγμα την εποχικότητα της θερμοκρασίας (BIO4) για το πρώτο μοντέλο, βλέπουμε ότι η προβλεπόμενη καταλληλότητα αυξάνεται καθώς η τιμή της μεταβλητής αυτής αυξάνεται. Η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα από την άλλη (BIO10) οδηγεί σε μια απότομη αύξηση στην προβλεπόμενη καταλληλότητα όταν ξεπερνά την τιμή 25. Αντιστρόφως ανάλογη σχέση έχει η καταλληλότητα με την υψομετρία στο πρώτο μοντέλο, ενώ στο δεύτερο η σχέση αυτή ισχύει μόνο για πολύ χαμηλές τιμές του υψομέτρου. Αξίζει κανείς να παρατηρήσει επίσης τη σχέση της προβλεπόμενης καταλληλότητας και της εποχικής βροχόπτωσης (BIO15) στο δεύτερο μοντέλο, η οποία ενώ αρχικά φθίνει, σταθεροποιείται στη συνέχεια και εν τέλει αυξάνεται φτάνοντας περίπου στο ίδιο σημείο με το αρχικό.

Παραδοτέο Π.4.4.3: Μελέτη Χαρτογράφησης Επικινδυνότητας

Εικόνα 9: Καμπύλες Απόκρισης Μεταβλητών του Μοντέλου Γεωγραφικής Κατανομής για το είδος *Anopheles*



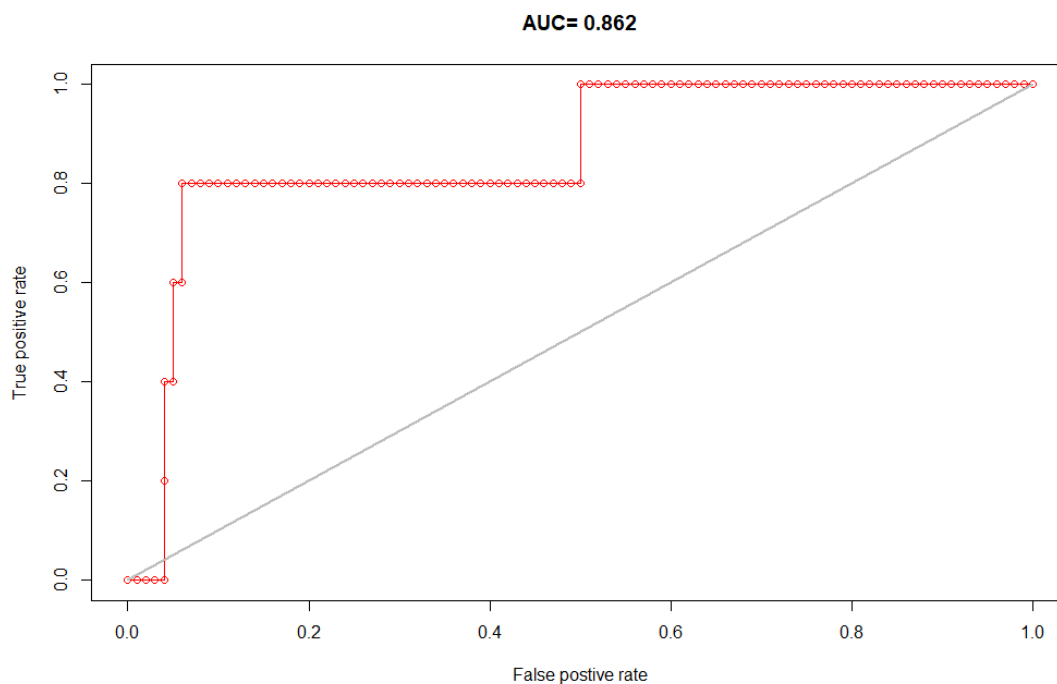
Εικόνα 10: Καμπύλες Απόκρισης Μεταβλητών του Μοντέλου Γεωγραφικής Κατανομής για το είδος *Culex ripiens*



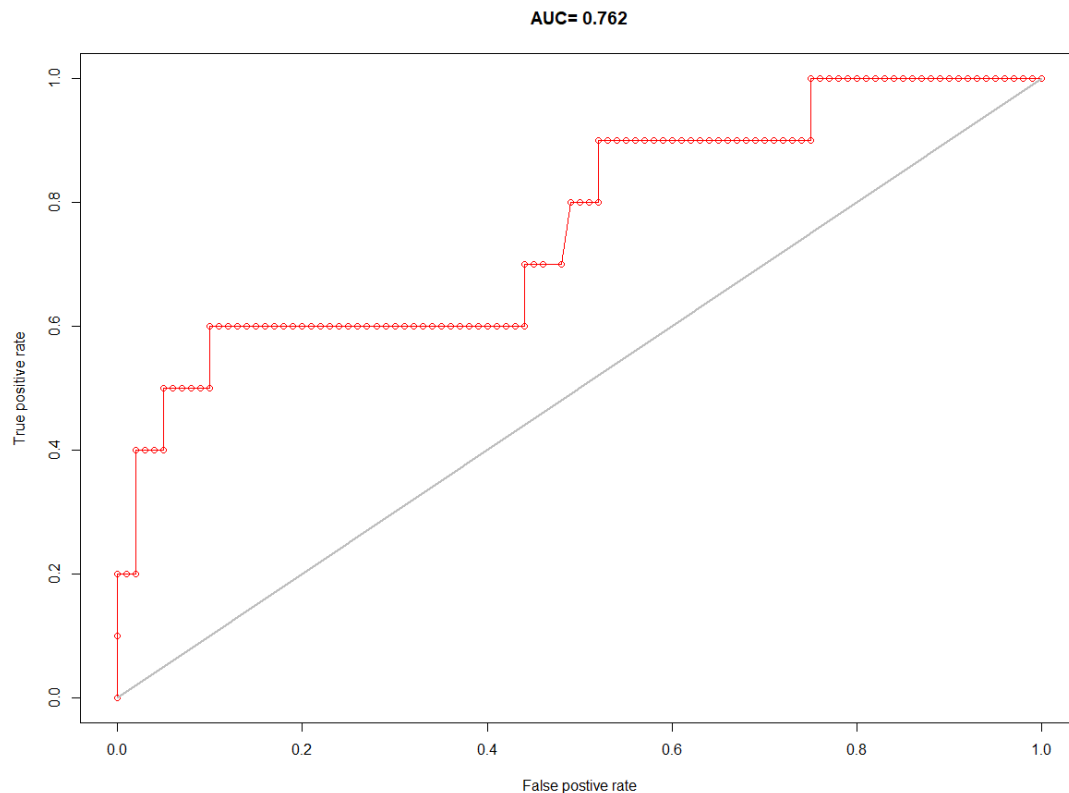
Αξιολόγηση Μοντέλου

Όπως έχει σημειωθεί πιο πάνω, η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη ROC χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης αξιολόγησης της συνολικής επίδοσης του μοντέλου. Ο δείκτης αυτός αποτελεί στην ουσία ένα μετρικό συσχέτισης με βάση την κατάταξη. Για παράδειγμα, μια τιμή AUC 0.5 δείχνει ότι το μοντέλο δεν θεωρείται ότι αποδίδει καλύτερα από ένα τυχαίο μοντέλο, ενώ μια τιμή AUC 1 υποδεικνύει μια τέλεια πρόβλεψη (Phillips, Anderson and Schapire, 2006). Οι τιμές 0.862 (Εικόνα 11) και 0.766 (Εικόνα 12) για την AUC των δύο μοντέλων αντίστοιχα αποδεικνύουν ότι τα μοντέλα μπορούν να πραγματοποιήσουν αξιόπιστες προβλέψεις. Αυτό σημαίνει ότι περιοχές με υψηλές τιμές πρόβλεψης καταλληλότητας τείνουν να είναι περιοχές παρουσίας των ειδών αυτών και το αντίστροφο.

Εικόνα 11: AUC για το Μοντέλο Γεωγραφικής Κατανομής του είδους *Aporheles*



Εικόνα 12: AUC για το Μοντέλο Γεωγραφικής Κατανομής του είδους *Culex pipiens*



Συμπεράσματα και Μελλοντική Προοπτική

Τα μοντέλα πρόβλεψης της γεωγραφικής κατανομής των ειδών αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο με εφαρμογές σε ποικίλα πεδία όπως για παράδειγμα στην οικολογία, την επιδημιολογία και την περιβαλλοντική προστασία (Corsi, Duprè and Boitani, 1999; Chow *et al.*, 2005; Phillips, Anderson and Schapire, 2006). Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα παρουσίας των ειδών *Culex pipiens* και *Anopheles* για τη μοντελοποίηση της γεωγραφικής κατανομής τους στην έκταση των ελεύθερων περιοχών της Κύπρου. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο μέγιστης εντροπίας το οποίο επιτρέπει αφενός την εξαγωγή αποτελεσμάτων όσον αφορά την επίδραση των ερμηνευτικών μεταβλητών στο μοντέλο αλλά και την παραγωγή επιφανειών με πιθανότητα παρουσίας των πιο πάνω ειδών σε περιοχές στις οποίες δεν έχει πραγματοποιηθεί δειγματοληψία. Η αξιοπιστία των μοντέλων βασίστηκε στις τιμές του δείκτη AUC, οι οποίες υποδεικνύουν μια αρκετά υψηλή στατιστική σημαντικότητα για τα αποτελέσματα του μοντέλου. Τόσο οι βιοκλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο όσο και οι δύο νέες μεταβλητές, αυτές της πληθυσμιακής πυκνότητας και της υψομετρίας, μπορούν να ερμηνεύσουν σε μεγάλο βαθμό τη γεωγραφική κατανομή των ειδών που μελετήθηκαν. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα είδη *Anopheles*, επτά μεταβλητές συμμετέχουν στο μοντέλο με ποσοστό πέρα του 5% ενώ στο αντίστοιχο μοντέλο για το είδος *Culex pipiens* τρεις

μεταβλητές συμμετέχουν με ποσοστό μεγαλύτερο του 15%. Βάσει των αποτελεσμάτων του μοντέλου, αποδείχθηκε ότι οι βιοκλιματικές μεταβολές αποτελούν παράγοντες που εξηγούν την παρουσία αλλά και εποχική κατανομή των ειδών *Anopheles* και *Culex pipiens* αλλά και τη δυνητική μετάδοση του ιού της ελονοσίας.

Έχει αποδειχθεί ότι τα κουνούπια είναι υπεύθυνα για την μετάδοση μολυσματικών ασθενειών επικίνδυνες τόσο για την ανθρώπινη όσο και για δημόσια υγεία, όπως π.χ. την ελονοσία η οποία μεταδίδεται από μολυσμένο κουνούπι *Anopheles* (Godfray, 2013). Η ελονοσία παρουσιάζεται σε τροπικά κλίματα στα οποία η βροχόπτωση καθώς και η θερμοκρασία προσδίδουν ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης των κουνουπιών και των μικροοργανισμών (Braverman and Chechik, 1996; Zimmer *et al.*, 2008). Τόσο η βροχόπτωση όσο και η θερμοκρασία, αλλά και οι μεταβολές των δύο, χρησιμοποιήθηκαν ως ερμηνευτικές μεταβλητές στο μοντέλο. Τα είδη που μελετήθηκαν είναι ικανά να ευδοκιμούν σε ποικίλα περιβάλλοντα αλλά και να προσαρμόζονται σε ενδεχόμενες μεταβολές του κλίματος ενώ αυξάνουν την εμφάνιση τους και την γεωγραφική τους εμβέλεια σε θερμότερα καθώς και υγρότερα κλίματα (McMichael *et al.*, 2003). Για το λόγο αυτό, οποιαδήποτε μεταβολή στις τιμές των ερμηνευτικών μεταβλητών του μοντέλου, ιδιαίτερα σε αυτές που συμμετέχουν με υψηλό ποσοστό, αναμένεται να μεταβάλει αντίστοιχα τα χωρικά πρότυπα της κατανομής των δυνητικών φορέων. Για το λόγο αυτό, και ένεκα του συνεχώς αυξανόμενου ρυθμού της κλιματικής αλλαγής, δημιουργείται η ανάγκη ανάπτυξης τέτοιων μοντέλων που να μπορούν εντούτοις να προσαρμόσουν δυναμικά τις αλλαγές αυτές. Επιπρόσθετα, αντίστοιχη μελέτη για την περιοχή των κατεχόμενων περιοχών της Κύπρου θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη και θα επέτρεπε την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων, ιδιαίτερα μετά το κρούσμα ελονοσίας που εντοπίστηκε πρόσφατα στις εν λόγω περιοχές.

Οι χάρτες που παράχθηκαν μπορούν επίσης να ποσοτικοποιήσουν σε μεγάλο βαθμό την επικινδυνότητα εξάπλωσης των ασθενειών που δύνανται να μεταδοθούν από τα είδη *Anopheles* και *Culex pipiens*. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης μπορούν να αποτελέσουν εργαλεία τόσο στα χέρια των ληπτών αποφάσεων για να κατηγοριοποιηθούν οι περιοχές ανάλογα με την προτεραιότητα παρέμβασης και να καταστρωθούν τα σχετικά σχέδια παρεμβάσεων όσο και των ερευνητών για περαιτέρω μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανομή των ειδών αυτών αλλά και τον έλεγχο των ασθενειών που μπορούν να μεταδώσουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AZIZ, M. (1948) *Report on the Anopheles (Malaria) Eradication Programme for the Year 1948.*, *Cyprus Ann. Med. & San. Rep.*

Basvarajaiah, M. D. (2018) *Biodiversity Modeling and Tribal Livelihood Status in Western Ghats*. EDUCREATION PUBLISHING.

Braverman, Y. and Chechik, F. (1996) 'Air streams and the introduction of animal diseases borne on Culicoides (Diptera, Ceratopogonidae) into Israel.', *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 15(3), pp. 1037–1052. doi: 10.20506/rst.15.3.968.

Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University (2016) 'Gridded Population of the World Version 4 (GPWv4): Population Density, Beta Release', *Center for International Earth Science Information Network*, 4(June), pp. 1–24. doi: 10.7927/H4D50JX4.

Chow, T. E. *et al.* (2005) 'Habitat and exposure modelling for ecological risk assessment: A case study for the raccoon on the Savannah River Site', *Ecological Modelling*, 189(1–2), pp. 151–167. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.04.001.

Corsi, F., Duprè, E. and Boitani, L. (1999) 'A large-scale model of wolf distribution in Italy for conservation planning', *Conservation Biology*. John Wiley & Sons, Ltd, 13(1), pp. 150–159. doi: 10.1046/j.1523-1739.1999.97269.x.

Corsi, F., De Leeuw, J. and Skidmore, A. (2000) 'Modeling species distribution with GIS.', in *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences*. Columbia University Press., pp. 389-434. Available at: https://www.researchgate.net/publication/304436028_Modeling_species_distribution_with_GIS (Accessed: 22 February 2020).

Department of Meteorology (MISU) (2012). Available at: http://www.moa.gov.cy/moa/MS/MS.nsf/DMLclimet_reports_en/DMLclimet_reports_en?OpenDocument&Start=1&Count=1000&Expand=1 (Accessed: 23 February 2020).

Elith, J. *et al.* (2006) 'Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data', *Ecography*. John Wiley & Sons, Ltd, 29(2), pp. 129–151. doi: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x.

Elith, J. and Leathwick, J. R. (2009) 'Species Distribution Models: Ecological Explanation and

Prediction Across Space and Time', *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. Annual Reviews, 40(1), pp. 677–697. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159.

Fourcade, Y. et al. (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*. doi: 10.1371/journal.pone.0097122.

Franklin, J. and Miller, J. A. (2010) *Mapping species distributions: Spatial inference and prediction*, *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. doi: 10.1017/CBO9780511810602.

Godfray, H. C. J. (2013) 'Mosquito ecology and control of malaria', *Journal of Animal Ecology*, 82(1), pp. 15–25. doi: 10.1111/1365-2656.12003.

Hanley, J. A. and McNeil, B. J. (1982) *The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve*, *Radiology*. doi: 10.1148/radiology.143.1.7063747.

Hay, S. I. et al. (2010) 'Estimating the global clinical burden of plasmodium falciparum malaria in 2007', *PLoS Medicine*, 7(6), p. e1000290. doi: 10.1371/journal.pmed.1000290.

Hijmans, R. J. and Elith, J. (2016) *Species distribution modeling with R.*, <http://www.idg.pl/mirrors/CRAN/web/packages/dismo/vignettes/sdm.pdf>. doi: 10.1016/S0550-3213(02)00216-X.

Hijmans, R. J. and Graham, C. H. (2006) 'The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions', *Global Change Biology*, 12(12), pp. 2272–2281. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x.

Laporta, G. Z. et al. (2011) 'Habitat suitability of Anopheles vector species and association with human malaria in the Atlantic forest in south-eastern Brazil', *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 106(SUPPL. 1), pp. 239–245. doi: 10.1590/S0074-02762011000900029.

Li, X. and Wang, Y. (2013) 'Applying various algorithms for species distribution modelling', *Integrative Zoology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 124–135. doi: 10.1111/1749-4877.12000.

Mcmichael, A. J. et al. (2003) *Climate change and human health RISKS AND RESPONSES* Editors.

Merow, C., Smith, M. J. and Silander, J. A. (2013) 'A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter', *Ecography*. John Wiley & Sons, Ltd, 36(10), pp. 1058–1069. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x.

Pearson, R. G. *et al.* (2007) 'Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar', *Journal of Biogeography*. John Wiley & Sons, Ltd, 34(1), pp. 102–117. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x.

Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007) *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*, *Hydrology and Earth System Sciences*. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007.

Phillips, S. J. *et al.* (2009) 'Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data', *Ecological Applications*, 19(1), pp. 181–197. doi: 10.1890/07-2153.1.

Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E. (2006) *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*, *Ecological Modelling*. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.

Phillips, S. J. and Dudík, M. (2008) 'Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation', *Ecography*. John Wiley & Sons, Ltd, 31(2), pp. 161–175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.

Phillips, S. J., Dudík, M. and Schapire, R. E. (2004) *A maximum entropy approach to species distribution modeling*, *Proceedings, Twenty-First International Conference on Machine Learning, ICML 2004*. doi: 10.1145/1015330.1015412.

Rangel, T. F. L. V. B., Diniz-Filho, J. A. F. and Bini, L. M. (2006) 'Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography', *Global Ecology and Biogeography*, 15(4), pp. 321–327. doi: 10.1111/j.1466-822X.2006.00237.x.

Scott, M. J. *et al.* (2003) 'Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale', *Journal of Mammalogy*. American Society of Mammalogists, 84(1), pp. 319–321. doi: 10.1644/1545-1542(2003)084<0319:r>2.0.co;2.

Snow, R. W. *et al.* (2005) 'The global distribution of clinical episodes of *Plasmodium falciparum* malaria', *Nature*, 434(7030), pp. 214–217. doi: 10.1038/nature03342.

The World Factbook — Central Intelligence Agency (2020). Available at: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2147.html#is> (Accessed: 23 February 2020).

Zimmer, J. Y. *et al.* (2008) 'Breeding sites of bluetongue vectors in northern Europe', *Veterinary Record*. British Veterinary Association, p. 131. doi: 10.1136/vr.162.4.131.

Στατιστική Υπηρεσία - Απογραφή Πληθυσμού 2011 (2011). Available at:

https://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/census-2011_cystat_gr/census-2011_cystat_gr?OpenDocument (Accessed: 23 February 2020).

Β' ΜΕΡΟΣ

Χαρτογράφηση Φυσικών και Τεχνολογικών Καταστροφών

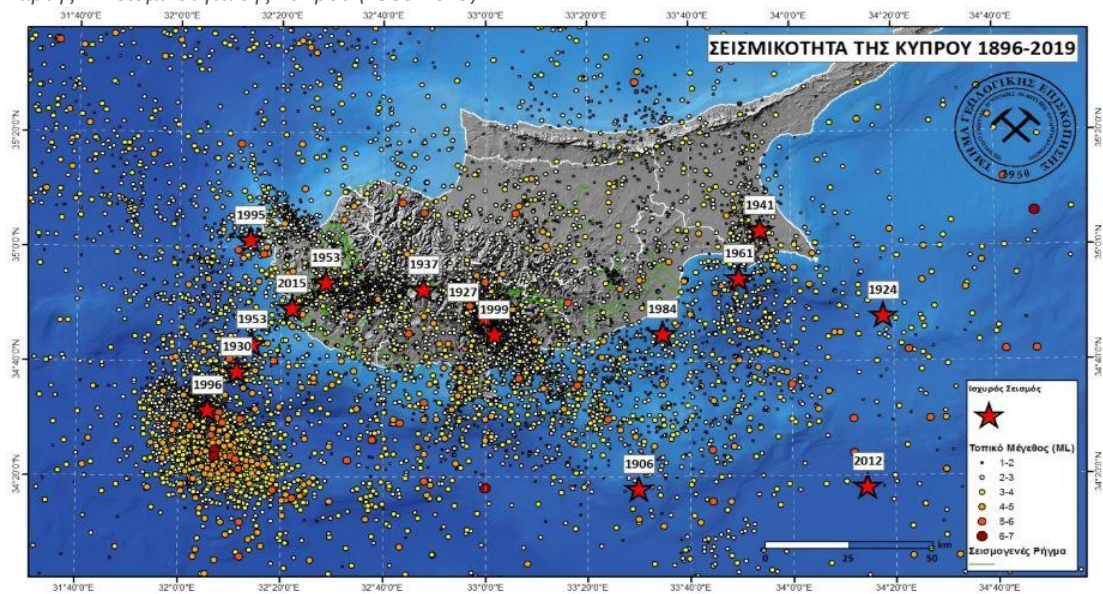
Εισαγωγή

Πέρα από την μοντελοποίηση της γεωγραφικής κατανομής των δυνητικών φορέων ασθενειών που προηγήθηκε, στην παρούσα μελέτη έχει συλλεχθεί επίσης υλικό σχετικά με άλλες φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές όπως είναι η διαρροή πετρελαίου, οι σεισμοί, το τσουνάμι και οι πλημμύρες. Το υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε, κατά το δυνατόν, για την κατασκευή χαρτών οι οποίοι παρουσιάζονται και περιγράφονται σε αυτό το μέρος της μελέτης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όπου δεν ήταν δυνατή η συλλογή σχετικών δεδομένων, χάρτες οι οποίοι κατασκευάστηκαν από τις αρμόδιες υπηρεσίες και τμήματα έχουν μεταφορτωθεί και παρουσιάζονται επίσης στη μελέτη. Μεγάλο μέρος της πληροφορίας που αντλήθηκε συνολικά προέρχεται από την τελική έκθεση της Εθνικής Αξιολόγησης Κινδύνων (National Risk Assessment - NRA) της Κύπρου που εκπονήθηκε από ομάδα μελετητών με συντονιστή το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου για το Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος το 2018. Η εν λόγω έκθεση είναι ελεύθερα προσβάσιμη μέσω του ακόλουθου συνδέσμου: [http://www.moi.gov.cy/moi/cd/cd.nsf/All/5285BEA6C6E950AAC2258434003B2EF0/\\$file/NRA%20CYPRUS%202018.pdf](http://www.moi.gov.cy/moi/cd/cd.nsf/All/5285BEA6C6E950AAC2258434003B2EF0/$file/NRA%20CYPRUS%202018.pdf). Το μέρος αυτό δεν αποσκοπεί στη μελέτη της φύσης των πιο κάτω φαινομένων, παρά μόνο στην απεικόνισή τους μέσω χαρτών. Με αυτό τον τρόπο τονίζεται η σημαντικότητα της χαρτογράφησης τέτοιου είδους περιστατικών στα στάδια της πρόληψης, αντιμετώπισης αλλά και αποκατάστασης.

Σεισμοί

Σύμφωνα με το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης του Υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, το «Κυπριακό τόξο» βρίσκεται ανάμεσα στην Αφρικανική και Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα όπως φαίνεται και στο Χάρτη 2. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η σεισμικότητα που χαρακτηρίζει την ευρύτερη περιοχή της Κύπρου να είναι ιδιαίτερα αυξημένη.

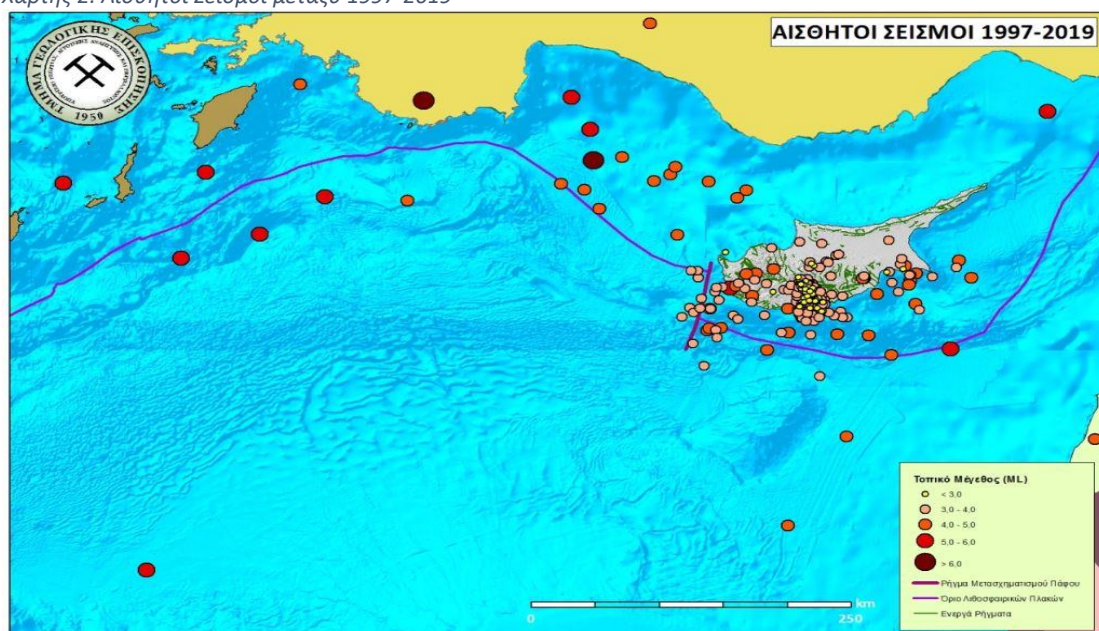
Χάρτης 1: Σεισμικότητα της Κύπρου (1986-2019)



Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

Όπως φαίνεται και στον πιο πάνω χάρτη, η σεισμικότητα παρουσιάζει ένα συγκεντρωμένο χωρικό πρότυπο στη νοτιοδυτική περιοχή της Κύπρου κατά μήκος της παράκτιας ζώνης που εκτείνεται από την Πάφο έως την Αμμόχωστο, όπου συναντιούνται οι δύο πλάκες που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Οι αισθητοί σεισμοί των τελευταίων 30 περίπου χρόνων στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου παρουσιάζονται στον Χάρτη 2.

Χάρτης 2: Αισθητοί Σεισμοί μεταξύ 1997-2019



Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

Παρόλο που ο μεγαλύτερος αριθμός αυτών συγκεντρώνεται στο εσωτερικό και στις παράκτιες περιοχές της Κύπρου, εντούτοις οι μεγαλύτεροι σε μέγεθος σεισμοί έχουν λάβει χώρα αρκετά μακριά από τις ακτές της Κύπρου, προς τα δυτικά.

Οι τρεις σεισμικές ζώνες που φαίνονται στο εσωτερικό της Κύπρου (Χάρτης 3) έχουν εκδοθεί το 2004 από την Επιτροπή Αναθεώρησης των Ζωνών του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα και αναφέρονται σε αναμενόμενες εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) κάτω από δυναμικές συνθήκες (σε περίπτωση σεισμού) με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια. Οι τιμές δίνονται σαν ποσοστά της επιτάχυνσης της βαρύτητας g , όπου $g=9,81\text{m/s}^2$.

Χάρτης 3: Σεισμικές Ζώνες της Κύπρου



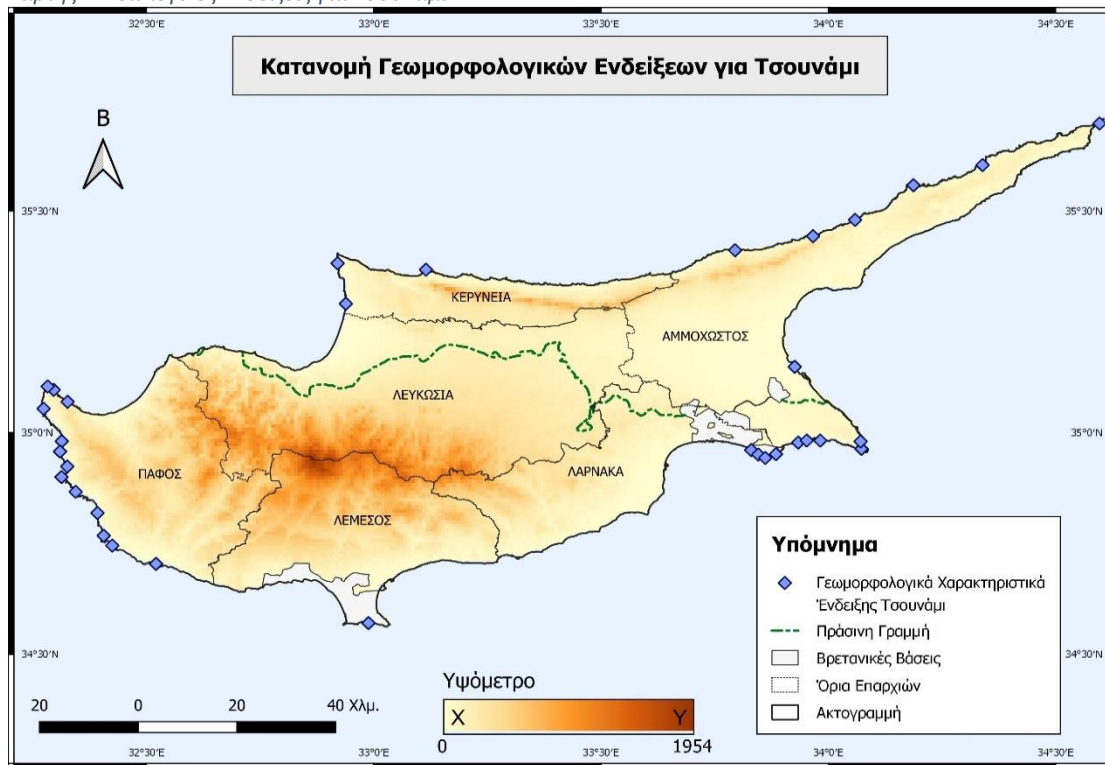
Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

Τσουνάμι

Παρόλο που η περιοχή της Κύπρου κατατάσσεται στις περιοχές με το χαμηλότερο επίπεδο κινδύνου εμφάνισης τσουνάμι, σύμφωνα με ιστορικές μαρτυρίες και τεκμήρια, τσουνάμι έχουν πλήξει το νησί πριν αρκετούς αιώνες καθώς και πιο πρόσφατα, εντός του 20ου αιώνα.

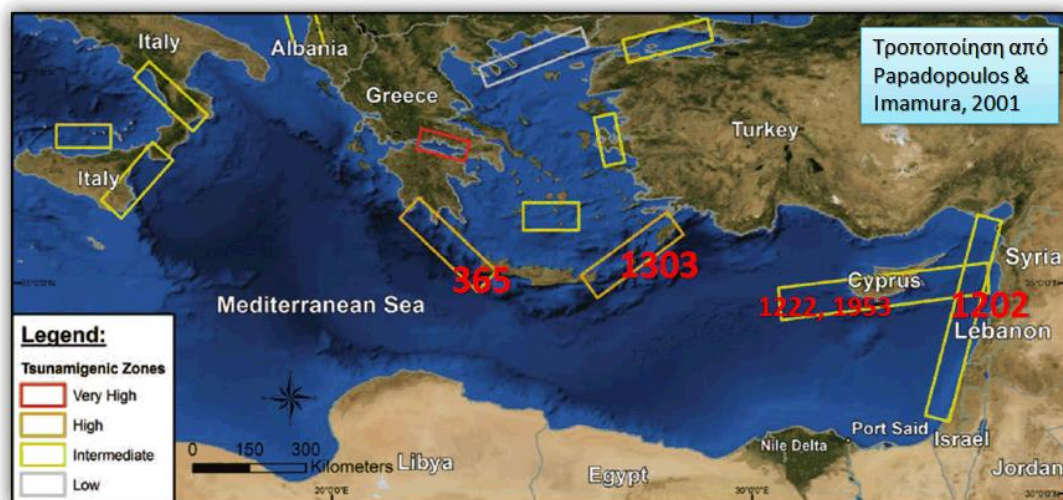
Πλήθος αρχαιολογικών στοιχείων και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών κατά μήκος της ακτογραμμής της Κύπρου, αποτελούν ένδειξη ισχυρής δράσης αυτών των συμβάντων, η γεωγραφική κατανομή των οποίων φαίνεται στον πιο κάτω Χάρτη.

Χάρτης 4: Γεωλογικές Ενδείξεις για Τσουνάμι



Οι πηγές των καταστροφών αυτών περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων σεισμούς, κατολισθήσεις και ηφαιστειακές εκρήξεις. Πάνω από το 15% των συνολικών δραστηριοτήτων τσουνάμι συγκεντρώνονται στη Μεσόγειο. Ο πιο κάτω χάρτης παρουσιάζει τις τσουναμογενείς ζώνες της περιοχής της ανατολικής Μεσογείου κατηγοριοποιημένες ανάλογα με την ένταση που η καταστροφή ενδέχεται να προκαλέσει.

Χάρτης 5: Τσουναμογενείς Ζώνες στην Ανατολική Μεσόγειο



Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

Πλημμύρες

Η έντονη βροχόπτωση των τελευταίων ετών και ανθρωπογενής παράγοντες όπως η φραγή της φυσικής ροής ποταμίων και ρυακίων με τεχνητές επιφάνειες (κτίσματα, δρόμοι κ.α.), καθιστούν τον κίνδυνο πλημμύρας αρκετών περιοχών του νησιού κάτι παραπάνω από υπαρκτό.

Η χαρτογράφηση των περιοχών που αντιμετωπίζουν δυνητικά σημαντικό κίνδυνο πλημμύρας καθώς και θέσεις ιστορικών πλημμυρών σύμφωνα με τα δεδομένα του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων, παρουσιάζεται στον χάρτη 6.

Χάρτης 6: Περιοχές Δυνητικού κινδύνου πλημμύρας και θέσεις ιστορικών πλημμυρών στην Κύπρο



πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

Ακόμα, στον ιστότοπο του ΤΑΥ είναι διαθέσιμοι χάρτες που απεικονίζουν σενάρια πλημμύρας που συμβαίνουν κατά μέσο όρο 1 φορά κάθε 20, 100 και 500 χρόνια. Παρόλο που η πιθανότητα του να συμβούν τέτοια σενάρια είναι αρκετά σπάνια, στα πλαίσια στρατηγικών πρόληψης και μετριασμού των επιπτώσεων, δημιουργήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις πρωτόγνωρες κλιματικές αλλαγές και την αύξηση της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων που αποδεδειγμένα συμβαίνουν στην Κύπρο.

Οι πιο κάτω χάρτες, απεικονίζουν τμήμα του Πεδιαίου ποταμού που παρουσιάζει σημαντικά δυνητικό κίνδυνο πλημμύρας, καθώς επίσης και άλλα στοιχεία όπως τις επηρεαζόμενες πολεοδομικές ζώνες και υπερχειλίζοντες οδικές διαβάσεις κατά μήκος πληθώρας δήμων και κοινοτήτων που διατρέχουν κίνδυνο (μεταξύ άλλων Λακατάμια, Ανθούπολη, Πάνω και Κάτω Δευτερά, Ανάγεια, Εργάτες, Επισκοπειό,

Ψημολόφου, Πέρα – Πεδιαίος (Πεδιαίος), Έγκωμη, Άγιος Δομέτιος, Στρόβολος και Βιομηχανική περιοχή των Λατσιών).

Χάρτης 7: Χάρτης Κινδύνου Πλημμύρας του ποταμού Πεδιαιού, με πιθανότητα 1 στα 20 χρόνια



πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

Χάρτης 8: Χάρτης Κινδύνου Πλημμύρας του ποταμού Πεδιαιού, με πιθανότητα 1 στα 100 χρόνια



πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

Διαρροή Πετρελαίου

Παρόλο που η δραστηριότητα εξόρυξης και διανομής πετρελαίου αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες κινητήριες οικονομικές δυνάμεις παγκοσμίως, η ρύπανση της θάλασσας αλλά και των εδαφών με τεράστιο όγκο πετρελαιοειδών έχει τεράστιο αντίκτυπο στο φυσικό περιβάλλον.

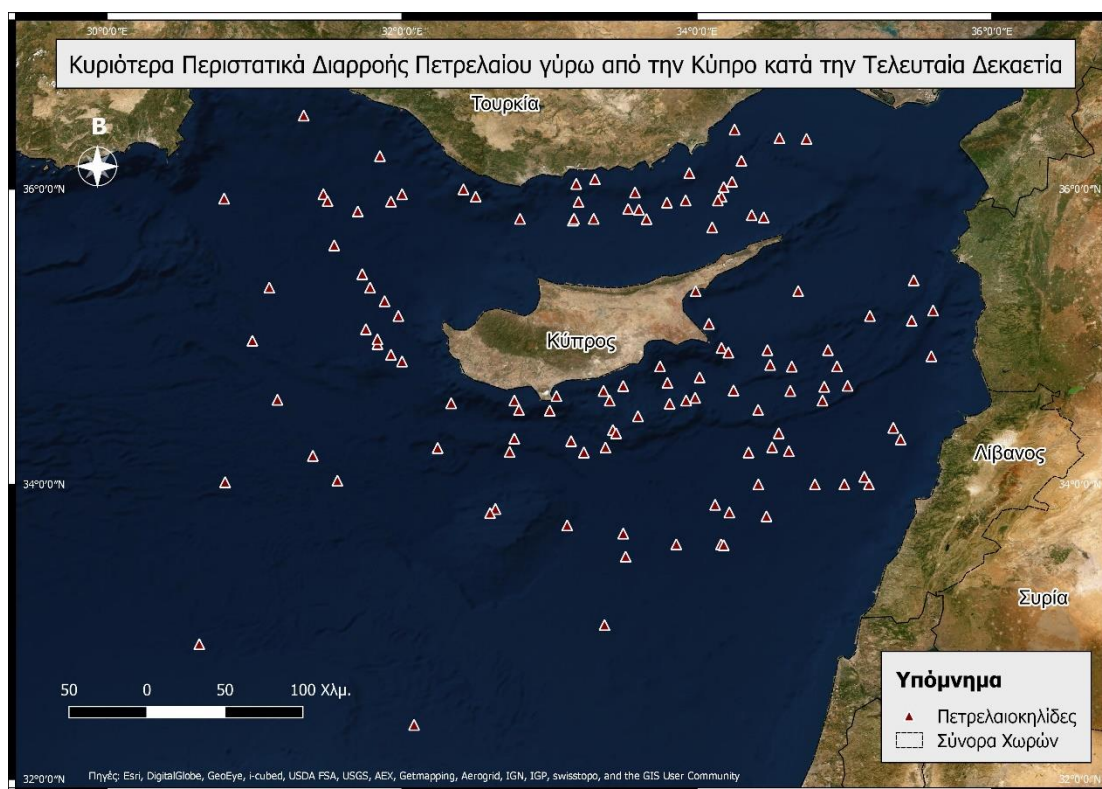
Το φαινόμενο αυτό, οφείλεται στις περισσότερες περιπτώσεις σε ναυτικά ατυχήματα καθιστώντας την πρόβλεψη του αδύνατη. Ακόμα, λόγω της απουσίας μεγάλων κυμάτων των έντονων καιρικών φαινομένων, αλλά και της μεγάλης συγκέντρωσης αλατότητα που χαρακτηρίζουν τα ύδατα της Μεσογείου θάλασσας, η φυσική διάλυση μιας πετρελαιοκηλίδας δυσχεραίνεται.

**Παραδοτέο Π.4.4.3:
Μελέτη Χαρτογράφησης Επικινδυνότητας**

Οι πιο πάνω παράγοντες, απαιτούν ούτως ώστε η συνιστάμενη διαδικασία για την αντιμετώπιση περιστατικών θαλάσσιας ρύπανσης να περιλαμβάνει ιστορικά ατυχήματα διαρροής πετρελαίου που θα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με περιοχές με παρόμοια ατυχήματα στο παρελθόν.

Λεπτομερείς ιστορικές πετρελαιοκηλίδες κατά την περίοδο 2009-2015 με βάση στοιχεία από το Ωκεανογραφικό κέντρο του Πανεπιστημίου Κύπρου, απεικονίζονται στον πιο κάτω χάρτη.

Χάρτης 9: Περιστατικά διαρροής πετρελαίου στην Ανατολική Μεσόγειο κατά την τελευταία δεκαετία



Πηγή: Ωκεανογραφικό Κέντρο Πανεπιστημίου Κύπρου