



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στα
ΠΟΛΥΠΛΟΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ και ΔΙΚΤΥΑ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος Εργασίας

Οικολογική συνδεσιμότητα σε Ευρωπαϊκά τοπία:
μελέτη χωρο-χρονικών μεταβολών
Μελέτη της συνδεσιμότητας Προστατευόμενων
Περιοχών στα Βαλκάνια μέσω της Θεωρίας
Κυκλωμάτων

Πέτσας Παναγιώτης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αντώνιος Μαζάρης, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ιωάννης Αντωνίου, Στέφανος Σγαρδέλλης

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2018





Μελέτη της συνδεσιμότητας Προστατευόμενων Περιοχών
στα Βαλκάνια μέσω της Θεωρίας Κυκλωμάτων

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στα
ΠΟΛΥΠΛΟΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ και ΔΙΚΤΥΑ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος Εργασίας

Οικολογική συνδεσιμότητα σε Ευρωπαϊκά τοπία:
μελέτη χωρο-χρονικών μεταβολών
Μελέτη της συνδεσιμότητας Προστατευόμενων
Περιοχών στα Βαλκάνια μέσω της Θεωρίας
Κυκλωμάτων

Πέτσας Παναγιώτης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αντώνιος Μαζάρης, Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

Εγκρίθηκε από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή την 25η Ιουνίου 2018.

.....
Α. Μαζάρης
Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

.....
Ι. Αντωνίου
Καθηγητής Α.Π.Θ.

.....
Σ. Σγαρδέλλης
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη , Ιούνιος 2018



.....
Παναγιώτης Ν. Πέτσας
Πτυχιούχος Μαθηματικός Α.Π.Θ.

Copyright © Παναγιώτης Ν. Πέτσας, 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Περίληψη.....	7
1 Εισαγωγή.....	9
2 Μέθοδοι	13
2.1 Η θεωρία κυκλωμάτων στη λειτουργική συνδεσιμότητα.....	13
2.2 Η περιοχή μελέτης	15
2.3 Εικονικά είδη	15
2.4 Οι προστατευόμενες περιοχές.....	16
2.5 Υπόβαθρα αντιστάσεων τοπίου	18
2.5.1 Χρήση γης.....	18
2.5.2 Δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές και ποτάμια.....	19
2.5.3 Αποστάσεις από προστατευόμενες περιοχές	21
2.6 Η κατασκευή των επιφανειών αντιστάσεων	21
2.6.1 Αυστηρό σενάριο	22
2.6.2 Κλιμακώμενο σενάριο	23
2.6.3 Εκθετικό σενάριο.....	24
2.6.4 Συντελεστές βαρύτητας	26
2.7 Διαχείριση των εξαγόμενων χαρτών ρεύματος	27
2.8 Τα δίκτυα προστατευόμενων περιοχών.....	28
3 Αποτελέσματα	29
3.1 Χωρικά αποτελέσματα	29
3.2 Αποτελέσματα των δικτύων.....	39
4 Συζήτηση.....	45
Βιβλιογραφία	51
I. Παράρτημα.....	55

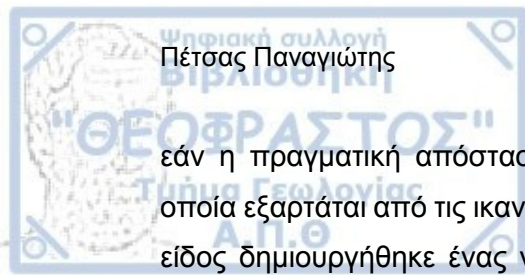


Πέτσας Παναγιώτης

Η δυνατότητα των οργανισμών να μετακινούνται στο χώρο τους επιτρέπει να καλύψουν ένα σύνολο από βιοτικές ανάγκες, όπως την αναζήτηση τροφής, το ζευγάρισμα, και τη μετανάστευση. Παράλληλα η ελεύθερη πρόσβαση σε ενδιααιτήματα επιτρέπει μπορεί να συνεισφέρει σε μηχανισμούς προσαρμογής. Καταλυτικό ρόλο για την επιτυχημένη μετακίνηση έχει η συνδεσιμότητα των καταστημάτων του τοπίου. Παράλληλα, δεδομένου ότι οι Προστατευόμενες Περιοχές αποτελούν πλέον οριοθετημένες επιφάνειες όπου οι οργανισμοί μπορούν να βρύνουν καταφύγιο από σύνολο πιέσεων, η ικανότητα σύνδεσης αυτών αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για έναν αποτελεσματικό σχεδιασμό διατήρησης.

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα πρότυπα συνδεσιμότητας των προστατευόμενων περιοχών που βρίσκονται στα νότια Βαλκάνια. Πιο συγκεκριμένα, η έκταση της περιοχής μελέτης θα περιλαμβάνει τέσσερις χώρες, την Αλβανία, τη Βουλγαρία, τη Π.Γ.Δ.Μ., αλλά και το χερσαίο κομμάτι της Ελλάδας. Η συνδεσιμότητα μελετήθηκε για τρία εικονικά είδη, τα χαρακτηριστικά των οποίων (πχ ικανότητα διασποράς, απαιτήσεις χώρου κτλ.), βασίστηκαν στο λύκο, το ελάφι και την αλεπού, είδη απειλούμενα σε αυτή τη περιοχή.

Η μελέτη της συνδεσιμότητας έγινε με τη χρήση της θεωρίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Με βάση τη πιθανή συμπεριφορά και απόκριση των ειδών σε ένα σύνολο χωρικών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν επιφάνειες αντιστάσεων, δηλαδή χάρτες που υποδηλώνουν τη δυσκολία της μετακίνησης σε κάθε σημείο του χάρτη. Αυτές οι επιφάνειες εισάχθηκαν στο Circuitscape, ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί αλγορίθμους της θεωρίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων για να προβλέψει τη συνδεσιμότητα σε ετερογενή τοπία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αφορούν ομάδες χαρτών που φανερώνουν διαδρόμους επικοινωνίας μεταξύ περιοχών του κάθε είδους. Παράλληλα ως αποτέλεσμα λαμβάνουμε την ουσιαστική αντίσταση (effective resistance), ένα νέο μέτρο απόστασης, η οποία υποδηλώνει το κατά πόσο δύσκολη είναι η μετακίνηση από τη μία περιοχή στην άλλη, συνυπολογίζοντας όλα τα πιθανά μονοπάτια μεταξύ τους. Δοκιμάστηκαν διάφορες παραμετροποιήσεις των ειδών ως προς τη συμπεριφορά τους στη χρήση γης. Κατασκευάστηκαν δίκτυα προστατευόμενων περιοχών χρησιμοποιώντας την ουσιαστική αντίσταση ως βάρος ακμής. Σε αυτά τα δίκτυα κρατήθηκαν συνδέσεις με χαμηλή ουσιαστική αντίσταση. Στη συνέχεια, συγκρίθηκαν με αυτά που έχουν ως κριτήριο για την ύπαρξη ακμής μεταξύ περιοχών την πραγματική απόσταση. Η σύνδεση μεταξύ δυο περιοχών σε αυτά τα δίκτυα υπάρχει



εάν η πραγματική απόσταση τους δεν υπερβαίνει μια συγκεκριμένη απόσταση, η οποία εξαρτάται από τις ικανότητες διασποράς του εκάστοτε εικονικού είδους. Για κάθε είδος δημιουργήθηκε ένας νέος χάρτης διαδρομών βασισμένος στα αποτελέσματα, όπως αυτά προέκυψαν από τα εναλλακτικά σενάρια των αντιστάσεων, ενώ σε τελικό στάδιο κατασκευάστηκε ένας καθολικός χάρτης που αναδεικνύει διαδρόμους επικοινωνίας στο τοπίο και για τα τρία εικονικά είδη.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας επιτρέψαν τη διάκριση διαδρόμων επικοινωνίας για κάθε είδος μεταξύ των αντίστοιχων προστατευόμενων περιοχών τους κάτω από διαφορετικά σενάρια παραμετροποίησης. Διάδρομοι με υψηλή συχνότητα εμφάνισης εντοπίστηκαν. Η ουσιαστική αντίσταση είχε χαμηλή συσχέτιση με τη πραγματική απόσταση για δυο εικονικά είδη που φέρουν τα χαρακτηριστικά της αλεπούς και του ελαφιού, ενώ είχε υψηλή συσχέτιση με τις αποστάσεις περιοχών για το εικονικό είδος που φέρει τα χαρακτηριστικά του λύκου.

Μέσω των τελικών συμπληρωματικών χαρτών εντοπίστηκαν οι πιο συχνές διαδρομές κοντά στην οροσειρά της Πίνδου και στο Tsentralen Balkan της Βουλγαρίας, με τμήμα αυτών να βρίσκεται διάσπαρτο στην υπό μελέτη επιφάνεια. Τα δίκτυα με βάση την ουσιαστική αντίσταση έχουν περισσότερες συνδέσεις σε σχέση με αυτά της πραγματικής απόστασης. Αυτό υποδεικνύει ότι τα δίκτυα που βασίζονται στην ουσιαστική απόσταση είναι πιο εύρωστα σε σχέση με αυτά που βασίζονται στην απόσταση. Ο εντοπισμός διαδρόμων επικοινωνίας αλλά και τα πρότυπα της συνδεσιμότητας όπως αυτά αναδεικνύονται από τη συγκεκριμένη εργασία μπορεί να τροφοδοτήσουν μελλοντικούς σχεδιασμούς και προτάσεις για αποτελεσματικότερη εφαρμογή της διατήρησης σε διακρατικό επίπεδο.

1 Εισαγωγή

Οι προστατευόμενες περιοχές αποτελούν το βασικό εργαλείο της σύγχρονης κοινωνίας για την προστασία της βιοποικιλότητας. Σύμφωνα με τον ορισμό που έχει δώσει η Διεθνής Ένωση για την Προστασία της Φύσης και των Φυσικών Πόρων (IUCN), ως μια προστατευόμενη περιοχή ορίζεται: «Μια χερσαία και/ή θαλάσσια έκταση, αφιερωμένη στην προστασία και διατήρηση της βιολογικής ποικιλότητας και των φυσικών και συναφών πολιτιστικών πόρων, η οποία υπόκειται σε διαχείριση με νομικά μέσα ή άλλους αποτελεσματικούς τρόπους» (IUCN Definition 2008). Οι προστατευόμενες περιοχές αποτελούν σημαντικό κομμάτι για την προστασία ειδών και οργανισμών, την διατήρηση και την αναπαραγωγή τους. Η προστασία που μπορεί να δοθεί για μια περιοχή μπορεί ωστόσο να μην είναι αρκετή για να αποτρέψει καταστροφές, όπως από καιρικά φαινόμενα, πυρκαγιές ή τη κλιματική αλλαγή, που μπορεί να κάνει μια περιοχή ακατάλληλη για τα είδη και τους οργανισμούς που τη κατοικούν. Η συνδεσιμότητα των προστατευόμενων περιοχών κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντική προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα της προστασίας (Saura & Pascual-Hortal, 2007).

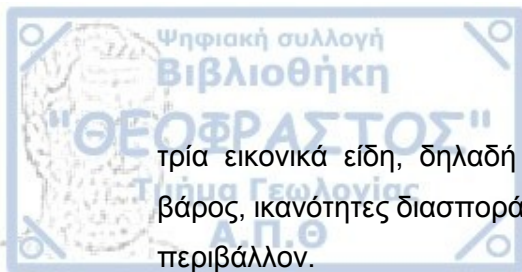
Η συνδεσιμότητα των κατατμημάτων είναι σημαντική για την μετακίνηση γονιδίων, πληθυσμών και ειδών στη κλίμακα του χρόνου. Βοηθά στη μετανάστευση των ειδών, καθώς και στην ικανότητα τους να ανταπεξέλθουν στη κλιματική αλλαγή. Υπάρχουν δυο είδη συνδεσιμότητας κατατμημάτων: Το πρώτο είναι η δομική συνδεσιμότητα (structural connectivity), η οποία υποδεικνύει το κομμάτι του τοπίου το οποίο είναι συνδεδεμένο (πχ: μέσω μονοπατιών – διαδρόμων). Ένα άλλο κριτήριο δομικής συνδεσιμότητας είναι η απόσταση μεταξύ των περιοχών. Το δεύτερο είδος συνδεσιμότητας είναι η λειτουργική συνδεσιμότητα (functional connectivity), η οποία αφορά στο βαθμό στον οποίο η δομή του τοπίου επιτρέπει ή αποτρέπει τη μετακίνηση ενός οργανισμού από κατάτμημα σε κατάτμημα (Taylor, et al., 1993). Η δυνατότητα των οργανισμών να μετακινούνται σε ένα χώρο όπου τα κατατμήματα είναι καλά συνδεδεμένα, τους επιτρέπει να καλύψουν ένα σύνολο από βιοτικές ανάγκες, όπως την αναζήτηση τροφής, το ζευγάρωμα, και τη μετανάστευση (Taylor, et al., 1993). Συνεπώς, η λειτουργική συνδεσιμότητα περιλαμβάνει τις πτυχές συγκεκριμένων οργανισμών και της αλληλεπίδρασης τους με τις συγκεκριμένες δομές του τοπίου. Θέτοντας ως ζήτημα τη μετακίνηση συγκεκριμένων ειδών, η λειτουργική συνδεσιμότητα διαφοροποιείται από είδος σε είδος, ενώ αναμφισβήτητα παίζει σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση του οργανισμού. Σε περίπτωση χαμηλής

λειτουργικής συνδεσιμότητας, οδηγούμαστε σε μικρότερους σε μέγεθος πληθυσμούς, ή και απομονωμένους υπό - πληθυσμούς, με μεγάλο κίνδυνο την εξαφάνιση του.

Ένας τρόπος για τη μοντελοποίηση της λειτουργικής συνδεσιμότητας είναι τα μονοπάτια ελάχιστου κόστους (least cost paths), όπου το τοπίο χωρίζεται σε μικρότερα κελιά, και αυτά βαθμολογούνται με ένα βαθμό δυσκολίας για τη μετακίνηση του οργανισμού από το ένα στο άλλο. Ο σκοπός είναι να βρεθεί το μονοπάτι με το ελάχιστο κόστος μετακίνησης από το ένα κατάτμημα στο άλλο. Παρόλα αυτά, οι οργανισμοί δε χρησιμοποιούν απαραίτητα αυτά τα μονοπάτια για τη μετακίνηση τους, όπως νεαρά άτομα που δεν έχουν εξοικειωθεί ακόμη με το τοπίο ή τα είδη που ταξιδεύουν για μεγάλες αποστάσεις (Palmer, Coulon, & Travis, 2011). Μια εναλλακτική μέθοδος για τον προσδιορισμό της λειτουργικής συνδεσιμότητας, προτάθηκε το 2006 από τον McRae, η οποία βασίζεται στη θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η μοντελοποίηση της γίνεται πάνω σε μια επιφάνεια αντιστάσεων ως το ηλεκτρικό ρεύμα που κινείται στο κύκλωμα. Αυτή η επιφάνεια αντίστασης παράγεται από το ίδιο το τοπίο, το οποίο χωρίζεται σε κελιά, με τιμές αντιστάσεων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που αυτό φέρει για το συγκεκριμένο κελί. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι σε αντίθεση με το ένα μονοπάτι ελάχιστου κόστους, εδώ λαμβάνονται υπόψιν όλα τα πιθανά μονοπάτια που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη πιθανή σύνδεση τους ενός σημείου του τοπίου με το άλλο, λαμβάνοντας ένα δείκτη για το πόσο καλή πρόσβαση υπάρχει μεταξύ δυο κατατμημάτων.

Η μελέτη της λειτουργικής συνδεσιμότητας ενός τοπίου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Όπως προαναφέρθηκε, η λειτουργική συνδεσιμότητα μπορεί να διαφέρει από είδος σε είδος, και έτσι μονοπάτια που κρίνονται κατάλληλα για τη μετακίνηση ενός οργανισμού να μη έχουν την ίδια βαρύτητα για κάποιον άλλο. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να υπάρχουν δεδομένα για τη κατανομή των οργανισμών στο τοπίο, όπως για παράδειγμα πλήθος των ατόμων του είδους ανά κατάτμημα, δεδομένα παρουσίας – απουσίας σε συγκεκριμένα κομμάτια του τοπίου, ή ακόμη και μονοπάτια μετακίνησης που συλλέγονται από τα ίδια τα ζώα με τη χρήση δορυφορικών πομπών. Φυσικά αυτά τα δεδομένα είναι δύσκολο να συλλεχθούν, καθώς απαιτούν μεγάλο χρηματικό αλλά και χρονικό κόστος. Επιπλέον, πρέπει να δοθεί έμφαση σε συγκεκριμένες πτυχές του τοπίου και της αλληλεπίδρασης αυτού με τον εκάστοτε οργανισμό.

Σε αυτή την εργασία θα μελετηθεί η λειτουργική συνδεσιμότητα θηλαστικών στη περιοχή των Βαλκανίων, που αποτελείται από την Αλβανία, τη Π.Γ.Δ.Μ., τη Βουλγαρία και το χερσαίο κομμάτι της Ελλάδας. Θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της θεωρίας κυκλωμάτων με το λογισμικό Circuitscape (McRae et al. 2008). Θα χρησιμοποιηθούν



Μελέτη της συνδεσιμότητας Προστατευόμενων Περιοχών στα Βαλκάνια μέσω της Θεωρίας Κυκλωμάτων

τρία εικονικά είδη, δηλαδή ομάδες ειδών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως βάρος, ικανότητες διασποράς, διατροφικές συνήθειες, αλλά και αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον.

Θα μελετήσουμε τη λειτουργική συνδεσιμότητα σε διαφορετικές επιφάνειες αντιστάσεων, οι οποίες θα διαφέρουν στη τιμολόγηση των αντιστάσεων ανά κελί. Θα συγκρίνουμε τους εξαγόμενους χάρτες συνδεσιμότητας ανά εικονικό είδος, και στη συνέχεια θα κατασκευάσουμε δίκτυα με κόμβους τις προστατευόμενες περιοχές για κάθε είδος, και με βάρος ακμής την ουσιαστική αντίσταση που προκύπτει από τη κάθε επιφάνεια αντιστάσεων, και θα τη συγκρίνουμε με αντίστοιχα δίκτυα όπου το βάρος ακμής είναι η πραγματική απόσταση. Τέλος, θα κατασκευάσουμε ένα καθολικό χάρτη συνδεσιμότητας και για τα τρία εικονικά είδη, που θα υποδεικνύει τα μονοπάτια για τη μετακίνηση τους.



2.1 Η θεωρία κυκλωμάτων στη λειτουργική συνδεσιμότητα

Έχουμε μια νέα κατηγορία μοντέλων οικολογικής συνδεσιμότητας, η οποία βασίζεται στη θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Παρόλο που έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλους τομείς, τα μοντέλα συνδεσιμότητας με βάση τη θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων είναι σχετικά νέα στο τομέα της οικολογίας. Προσφέρουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα κοινά αναλυτικά μοντέλα συνδεσιμότητας, καθώς συμπεριλαμβάνουν μια θεωρητική βάση τυχαίου περιπάτου (random walk), ενώ λαμβάνουν υπόψη τη συνεισφορά όλων των διαδρόμων διασποράς από τη μια περιοχή στην άλλη (McRae, et al., 2008).

Ως κυκλώματα ορίζουμε δίκτυα από κόμβους, τα οποία συνδέονται από αντιστάτες, ηλεκτρικά εξαρτήματα που άγουν ρεύμα. Αυτά τα κυκλώματα αναπαρίστανται από γραφήματα, όπου οι ακμές του γραφήματος υπάρχουν εάν υπάρχει αντιστάτης που ενώνει τους κόμβους του κυκλώματος, και το βάρος ακμής αναπαριστά την αντίσταση του αντιστάτη (McRae, 2006). Για να μετατρέψουμε μια περιοχή μελέτης σε ένα κύκλωμα, αναπαριστούμε τη περιοχή ως ένα ψηφιδωτό κελιών (raster grid), δηλαδή έναν πίνακα, οργανωμένο σε γραμμές και στήλες, όπου κάθε κελί αναπαριστά το αντίστοιχο κομμάτι του χάρτη, και έχει μια τιμή για συγκεκριμένη παράμετρο, όπως θερμοκρασία ή υψόμετρο. Η αντίσταση, το ρεύμα και η τάση που υπολογίζεται στα ψηφιδωτά κελιών, αλλά και στα γραφήματα, συσχετίζεται με οικολογικές διαδικασίες όπως η μετακίνηση των οργανισμών ή η διασπορά γονιδίων.

Κάθε κελί αναπαριστά ένα κόμβο, ο οποίος σε αυτή τη περίπτωση παίρνει μια τιμή αντίστασης, η οποία αντανakλά το εμπόδιο που φέρει ο τύπος ενδιαιτήματος σε αυτό το σημείο του χάρτη στη μετακίνηση του οργανισμού. Αυτό το ψηφιδωτό κελιών ονομάζεται επιφάνεια αντίστασης, και απεικονίζει ένα χάρτη, ο οποίος παίρνει τιμές αντιστάσεων (McRae, 2006; McRae, et al., 2008).

Οι συνδέσεις αυτών των κελιών υπάρχουν εάν τα κελιά είναι γειτονικοί, είτε στα 4 πρώτα (αμέσως πάνω, κάτω, δεξιά ή αριστερά), είτε στα 8, συνυπολογίζοντας και τα διαγώνια γειτονικά κελιά. Οι αντιστάτες, παίρνουν τιμή ως εξής: αν τα δύο αυτά κελιά βρίσκονται στην ίδια γραμμή ή στήλη, τότε ο αντιστάτης έχει τη μέση τιμή των αντιστάσεων των κελιών. Αλλιώς, εάν είναι γειτονικά διαγωνίως, έχει τιμή τη μέση τιμή επί το 1.414 (τετραγωνική ρίζα του 2).

Πιο συγκεκριμένα, για την εφαρμογή της συνδεσιμότητας προστατευόμενων περιοχών, η αντίσταση (R , Ωm) συμβολίζει την αντίθεση του τύπου του ενδιαιτήματος

στη μετακίνηση των οργανισμών. Ακμές γραφημάτων και κόμβοι με μεγάλη αντίσταση επιτρέπουν λιγότερο τη μετακίνηση. Το αντίθετο της αντίστασης είναι αγωγιμότητα (G, Siemens) και αποτελεί μέτρο ικανότητας του αντιστάτη να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα (McRae, et al., 2008).

Θέλοντας να μελετήσουμε την αντίσταση από μη γειτονικούς κόμβους, οι οποίοι αναπαριστούν προστατευόμενες περιοχές, θα χρειαστούμε την ουσιαστική αντίσταση (effective resistance) μεταξύ δυο κόμβων, η οποία αναπαριστά την αντίσταση από έναν ακριβώς αντιστάτη μεταξύ των δυο αυτών κόμβων, που θα άγει την ίδια ποσότητα ρεύματος ανά μονάδα τάσης μεταξύ των δυο αυτών κόμβων, με το κύκλωμα αυτό καθαυτό. Η τιμή της παρουσιάζει το κατά πόσο είναι δύσκολη η μετακίνηση για έναν οργανισμό από τη μια περιοχή στην άλλη. Όσο μεγαλύτερη η τιμή της, τόσο δυσκολότερη είναι η μετάβαση μεταξύ των δυο αυτών κόμβων – περιοχών. Οι δυο κόμβοι που αναπαριστούν τις προστατευόμενες περιοχές, δηλαδή τους αρχικούς και τελικούς κόμβους, ονομάζονται εστιακοί κόμβοι.

Το ρεύμα σε ένα κόμβο χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσουμε τις πιθανότητες μετακίνησης του οργανισμού μεταξύ των εστιακών κόμβων, χρησιμοποιώντας αυτό τον κόμβο ως μέσο. Κόμβοι με υψηλό ρεύμα αναπαριστούν ένα σημείο του τοπίου το οποίο χρησιμοποιείται πολύ στη μετακίνηση των οργανισμών από τον ένα εστιακό κόμβο στον άλλο.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιηθεί το Circuitscape (McRae 2006). Δίνοντας μια επιφάνεια αντιστάσεων από τη περιοχή μελέτης μας, καθώς και ένα αντίστοιχο ψηφιδωτό κελιών με τις προστατευόμενες περιοχές, το λογισμικό αυτό για κάθε ζεύγος προστατευόμενων περιοχών, θα κατασκευαστεί ένα κύκλωμα. Αυτό το κύκλωμα θα κατασκευαστεί με βάση το ψηφιδωτό κελιών της επιφάνειας αντιστάσεων, αλλά θεωρώντας τα κελιά που αντιστοιχούν στις δυο αυτές προστατευόμενες περιοχές ως δυο ενιαίους κόμβους, τους εστιακούς κόμβους. Αυθαίρετα, ο ένας εστιακός κόμβος θα θεωρείται συνδεδεμένος με μια πηγή ρεύματος του 1 Amp, ενώ ο άλλος θα είναι γειωμένος. Το ρεύμα θα κινηθεί σε αυτό το κύκλωμα από τον εστιακό κόμβο με τη πηγή στον γειωμένο. Συνολικά, αν έχουμε n σε πλήθος περιοχές, θα έχουμε $n(n-1)/2$ τέτοιους υπολογισμούς, έναν για κάθε ζεύγος περιοχών. Το Circuitscape θα υπολογίσει το ρεύμα που περνά κάθε κελί – κόμβο σε αυτά τα κυκλώματα που δημιουργούνται, καθώς και την effective resistance μεταξύ των δυο αυτών εστιακών κόμβων (Circuitscape 4 user guide, 2013).

Ως εξαγόμενα αρχεία, θα λάβουμε ένα χάρτη σε αντίστοιχη μορφή ψηφιδωτού κελιών για κάθε ζεύγος περιοχών, όπου σε κάθε κελί θα έχουμε τη τιμή του ρεύματος σε Amp

που διέρχεται από κάθε κόμβο, καθώς και έναν αθροιστικό χάρτη, όπου σε κάθε κελί θα έχουμε το ρεύμα που περνά συνολικά από όλα τα ζεύγη περιοχών. Για λόγους εξοικονόμησης αποθηκευτικού χώρου, αλλά και μνήμης κατά την εκτέλεση, θα κρατηθεί μόνο ο αθροιστικός χάρτης. Από αυτό το χάρτη αθροιστικού ρεύματος, θα προκύψει ένας πίνακας με τις ουσιαστικές αντιστάσεις μεταξύ κάθε περιοχής.

Τα εξαγόμενα αυτά αρχεία έχουν μια οικολογική μετάφραση. Ο αθροιστικός χάρτης ρεύματος θα μας υποδείξει τα σημεία του χάρτη τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο για τη μετακίνηση των οργανισμών. Ο πίνακας με την ουσιαστική αντίσταση μεταξύ περιοχών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας πίνακας απόστασης που μας υποδηλώνει το κατά πόσο εύκολη ή δύσκολη είναι η πρόσβαση από τη μια περιοχή στην άλλη για κάθε ομάδα οργανισμών.

2.2 Η περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τέσσερις χώρες των Βαλκανίων: Την Ελλάδα, τη Π.Γ.Δ.Μ., την Αλβανία και τη Βουλγαρία. Από την Ελλάδα κρατείται μόνο το χερσαίο κομμάτι που συνδέεται χερσαία με τις υπόλοιπες χώρες, αφήνοντας εκτός τα νησιά, την Πελοπόννησο, καθώς και το πρώτο τμήμα της Χαλκιδικής που ενώνεται με το χερσαίο κομμάτι μέσω ισθμού. Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης φτάνει τα 250276 χμ². Η επεξεργασία της περιοχής έγινε στο λογισμικό ArcMap (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2015). Τα χωρικά δεδομένα με τις χώρες λήφθηκαν από τη Eurostat (Eurostat Geodata, 2015).

2.3 Εικονικά είδη

Θα μελετήσουμε τρεις ομάδες εικονικών ειδών. Κάθε μια από αυτές ξεχωρίζει σε σχέση με διατροφικές επιλογές, καθώς και σωματικό μέγεθος. Η πρώτη ομάδα βασίζεται στο λύκο, ένα σαρκοφάγο ζώο με μεγάλες ικανότητες διασποράς, στα 302 χμ (Bowman, Jaeger, & Fahrig, 2002). Το βάρος του μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 80 κιλά. Η δεύτερη ομάδα εικονικού είδους βασίζεται στο ελάφι, ένα φυτοφάγο ζώο, με χαμηλές ικανότητες διασποράς στα 50 χμ (Perez - Espona, et al., 2008) και βάρος που κυμαίνεται από 10 ως 35 κιλά. Η τρίτη και τελευταία ομάδα βασίζεται σε ένα παμφάγο ζώο μικρού μεγέθους, την αλεπού. Οι ικανότητες διασποράς της αγγίζουν τα 56 χμ (Bowman, Jaeger, & Fahrig, 2002).

2.4 Οι προστατευόμενες περιοχές

Η χωρική κατανομή και τα όρια των προστατευόμενων περιοχών (ΠΠ) ελήφθησαν από τη World Database on Protected Areas (WDPA), μια διαδικτυακή πλατφόρμα με πληροφορίες και στατιστικά για ΠΠ σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε πρώτο στάδιο, επιλέχθηκαν οι ΠΠ που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης. Περιοχές που εκτεινόταν τόσο σε χερσαίο, όσο και σε θαλάσσιο κομμάτι, προσαρμόστηκαν και διατηρήθηκε μόνο το χερσαίο κομμάτι τους. Επιπλέον, μεγάλα ποτάμια που ήταν προστατευόμενα αφαιρέθηκαν από το σύνολο, καθώς δεν αποτελούν κατάλληλο ενδιαίτημα για να κατοικήσει κάποιος από τους εικονικούς οργανισμούς. Συνολικά αξιοποιήθηκαν 1356 ΠΠ.

Σε δεύτερο στάδιο, επιλέξαμε κατάλληλες περιοχές για κάθε εικονικό οργανισμό, με βάση το μέγεθος του. Χρησιμοποιήσαμε συναρτήσεις για την ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια απαραίτητη για την ικανοποίηση βιολογικών λειτουργιών των οργανισμών (minimum area requirement – MAR) (Pe'er, et al., 2014), οι οποίες συνδέουν το βάρος ενός οργανισμού (σε γραμμάκια) με την ελάχιστη απαιτούμενη έκταση της περιοχής για να μπορεί να κατοικήσει (σε εκτάρια). Οι εξισώσεις διαφέρουν αναλόγως τη διατροφική συνήθεια του οργανισμού. Πιο συγκεκριμένα:

Για τα φυτοφάγα:

$$y = 0.515x + 1.52$$

Για τα παμφάγα:

$$y = 0.6x + 1.685$$

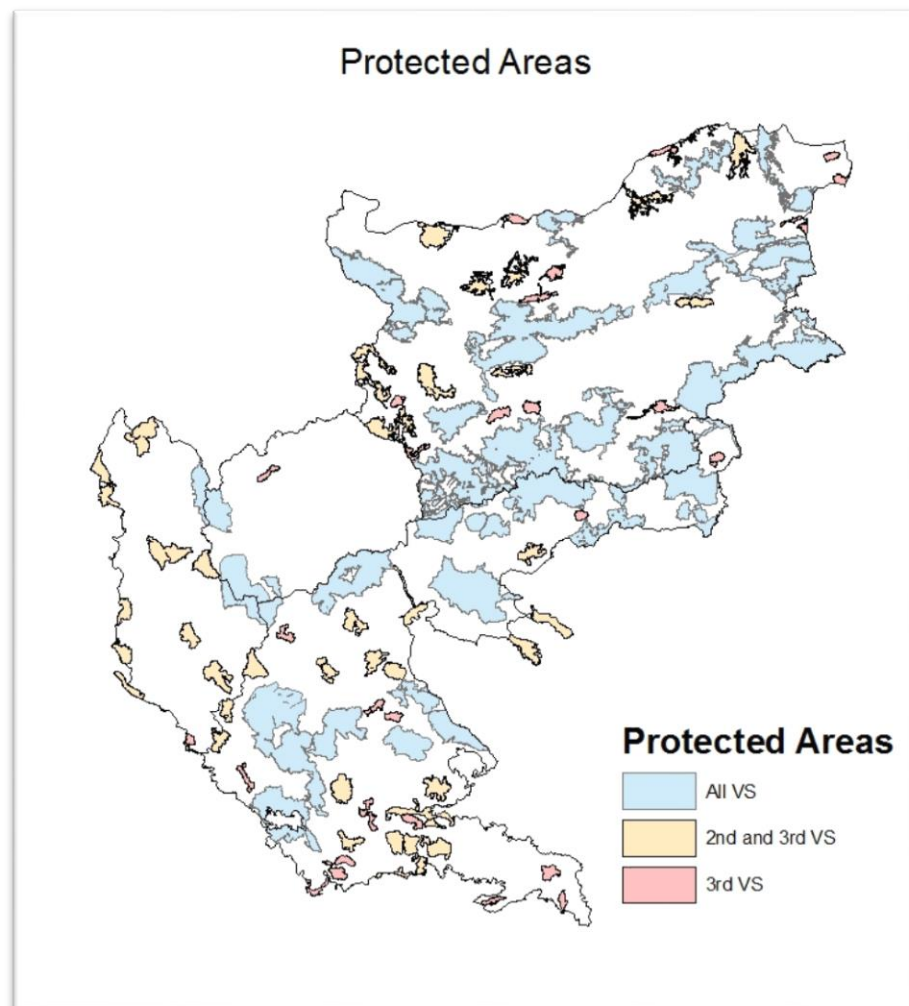
Για τα σαρκοφάγα:

$$y = 0.716x + 1.81$$

Δίνοντας ως βάρος το μεγαλύτερο δυνατό για κάθε οργανισμό, πήραμε τα αποτελέσματα μας (Πίνακας 2-1).

Πίνακας 2-1 Πλήθος διαθέσιμων περιοχών για κάθε οργανισμό

Εικονικό Είδος	Βάρος (χγ)	MAR (χμ ²)	Διαθέσιμες Περιοχές
Λύκος	80	572.81	22
Ελάφι	35	180.26	61
Αλεπού	14	84.01	90



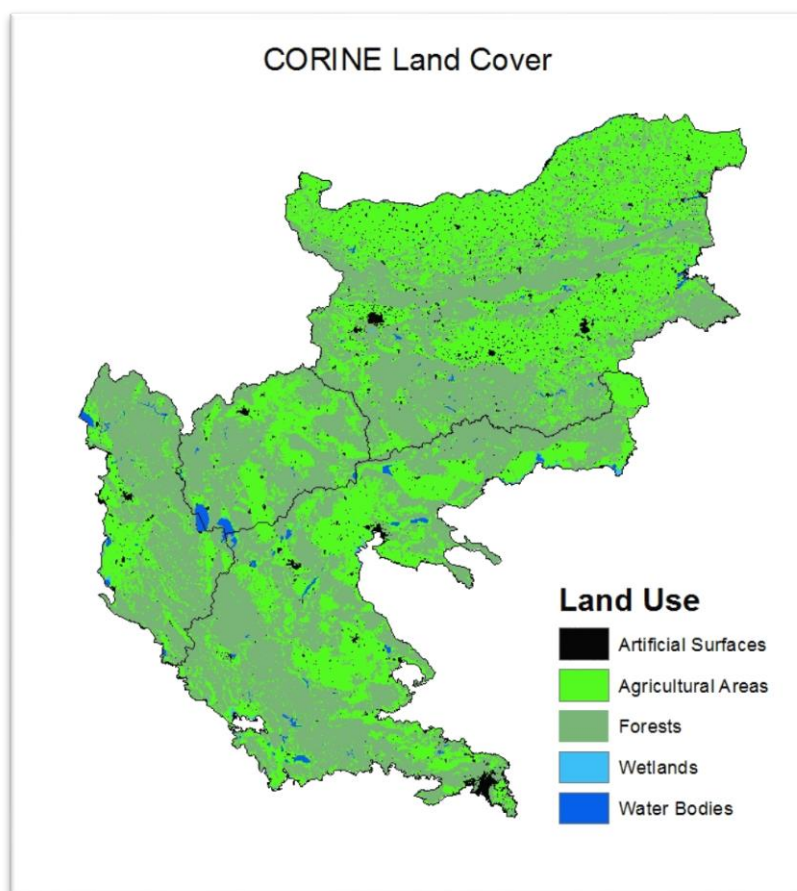
Εικόνα 2-1 Οι προστατευόμενες περιοχές

2.5 Υπόβαθρα αντιστάσεων τοπίου

Ένα σύνολο χωρικών δεδομένων αξιοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των επιφανειών αντιστάσεων που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση μας. Η χωρική ανάλυση τους ήταν το 1 χμ².

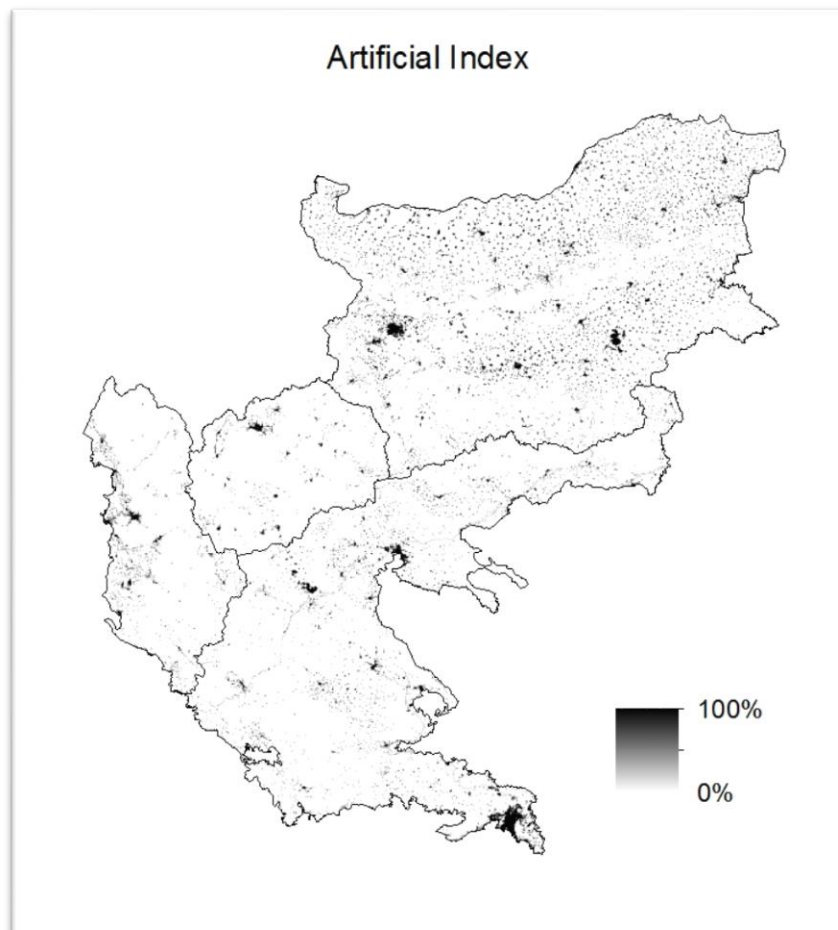
2.5.1 Χρήση γης

Τα δεδομένα προέρχονται από το Corine Land Cover (European Environment Agency, 2012), ένα Ευρωπαϊκό πρόγραμμα μηχανογραφικού αποθέματος της χρήσης γης για τις χώρες της Ευρώπης. Τα δεδομένα του CORINE αξιοποιήθηκαν ώστε να προκύψουν δυο μεταβλητές για τη κατασκευή επιφανειών αντιστάσεων. Η πρώτη μεταβλητή αφορά στη πρωτογενή πληροφορία που δίδεται από το CORINE, δηλαδή οι χρήσεις γης. Λαμβάνει τιμές ανάλογα με τη χρήση γης σε κάθε κελί, με πιθανές τιμές: καλλιέργειες, δάση, υγρά τοπία, θαλάσσιο κομμάτι, μη-φυσική χρήση γης.



Εικόνα 2-2 Ο χάρτης χρήσης γης

Η δεύτερη μεταβλητή που προέκυψε ονομάστηκε δείκτης τεχνικότητας (artificial index) και περιγράφει για κάθε κελί του τοπίου το ποσοστό κάλυψης αυτού από τεχνητές επιφάνειες. Πιο συγκεκριμένα, αν ένα κελί δε περιέχει καθόλου τεχνητή παρέμβαση θα παίρνει τη τιμή 0, ενώ εάν καλύπτεται πλήρως από ένα τεχνητό κομμάτι χρήσης γης, τότε θα παίρνει τη τιμή 1.



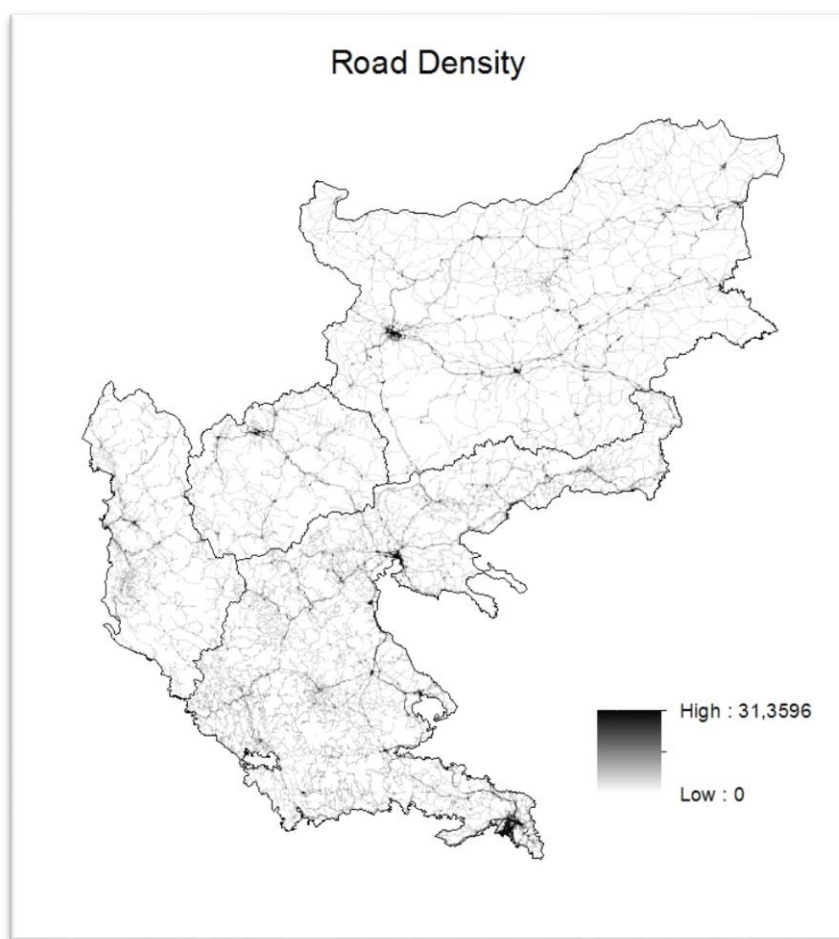
Εικόνα 2-3 Ο χάρτης του δείκτη τεχνικότητας

2.5.2 Δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές και ποτάμια

Τα συγκεκριμένα δεδομένα προέρχονται από τη Geofabric (Geofabrik Open Street Data, 2015), και δίνονται ξεχωριστά για κάθε χώρα. Τα δεδομένα από κάθε χώρα ενοποιήθηκαν ανά κατηγορία.

Πέτσας Παναγιώτης

Από τους δρόμους κρατήσαμε μόνο τους κύριους δρόμους, όπως αυτοκινητόδρομοι, εξαιρώντας δρόμους μικρότερης κυκλοφορίας ή δρόμους ακατάλληλους για οχήματα. Στη συνέχεια τους ενοποιήσαμε με τις σιδηροδρομικές γραμμές, με σκοπό να βγάλουμε ένα δείκτη πυκνότητας δρόμου. Σε κάθε κελί έχουμε μια τιμή που δίνει τη πυκνότητα δρόμου ($\chi\mu/\chi\mu^2$), το οποίο περιλαμβάνει το οδικό κομμάτι που περικλείεται στο κύκλο με κέντρο το κέντρο του κελιού και μια συγκεκριμένη ακτίνα. Για τις ανάγκες της μελέτης, προσδιορίσαμε την ακτίνα στα 707 μ ώστε ο κύκλος να περιλαμβάνει ακριβώς όλο το κελί.



Εικόνα 2-4 Ο χάρτης πυκνότητας δρόμων

Τέλος για τα ποτάμια κατασκευάστηκε ένα ψηφιδωτό κελιών, με τιμή σε κάθε κελί την απόσταση από το κοντινότερο ποτάμι. Οι αποστάσεις δεν είναι ευκλείδειες. Θεωρώντας τη περιοχή ως ψηφιδωτό κελιών, με τιμές 1 για κελιά που αντιστοιχούν σε κομμάτι της περιοχής και no-data (όχι πληροφορία) στα κελιά εντός, βρήκαμε για κάθε

κελί τη συντομότερη απόσταση από τα ποτάμια. Η τιμή 1 αντανακλά στο μήκος του κελιού, το οποίο είναι 1 χμ. Στις διαγώνιες κινήσεις η απόσταση είναι 1.414. Με αυτό το τρόπο, βρίσκουμε τις αποστάσεις εντός της περιοχής μελέτης, μιας και τα κελιά χωρίς πληροφορία δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από την ευκλείδεια απόσταση, καθώς αυτή μπορεί να θεωρήσει την απόσταση μια ευθεία διαδρομή που βγαίνει εκτός ορίων της περιοχής μελέτης.

2.5.3 Αποστάσεις από προστατευόμενες περιοχές

Για κάθε κελί του τοπίου υπολογίστηκε η απόσταση από τη πλησιέστερη ΠΠ. Δεδομένου ότι το πλήθος ΠΠ διαφέρει για τα εικονικά είδη, κατασκευάστηκαν τρία διαφορετικά ψηφιδωτά κελιών, ένα για κάθε είδος. Αυτό θα χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσουμε το πόσο κατάλληλο είναι ένα κελί από άποψη της προσέγγισης μιας ΠΠ. Οι αποστάσεις υπολογίστηκαν με την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για τις αποστάσεις από τα ποτάμια.

2.6 Η κατασκευή των επιφανειών αντιστάσεων

Για κάθε οργανισμό κατασκευάστηκαν συνολικά έξι επιφάνειες αντιστάσεων. Κάθε επιφάνεια βασίζεται σε 5 μεταβλητές αντιστάσεων. Αυτές οι μεταβλητές βασίζονται σε τρία διαφορετικά πρότυπα τιμών αντιστάσεων (αυστηρό, γραμμικό, εκθετικό) σε συνδυασμό με δυο διαφορετικά σεντ βαρών, τα οποία θα προσδιορίζουν τη σημαντικότητα κάθε μεταβλητής, δίνοντας συνολικά έξι διαφορετικές επιφάνειες για κάθε οργανισμό.

Οι πέντε μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι η χρήση της γης, ο δείκτης τεχνικότητας, η πυκνότητα δρόμων, η απόσταση από τα ποτάμια, καθώς και η απόσταση από τις κατάλληλες ΠΠ.

Η πρώτη μεταβλητή λαμβάνει τιμές ανάλογα με το πόσο καλό ενδιαίτημα είναι για το εκάστοτε εικονικό είδος σε αυτό το κελί. Τα εικονικά είδη προσαρμόζονται καλύτερα στα δασικά συστήματα, διασχίζουν εύκολα περιοχές με καλλιέργειες, καθώς και λιβάδια, ενώ δυσκολεύονται περισσότερο σε υδάτινες περιοχές. Η δεύτερη μεταβλητή λαμβάνει τιμές ανάλογα με τον δείκτη τεχνικότητας. Θεωρούμε πως ένα κελί με δείκτη τεχνικότητας άνω του 20% είναι ακατάλληλο για τη μετακίνηση των ειδών.

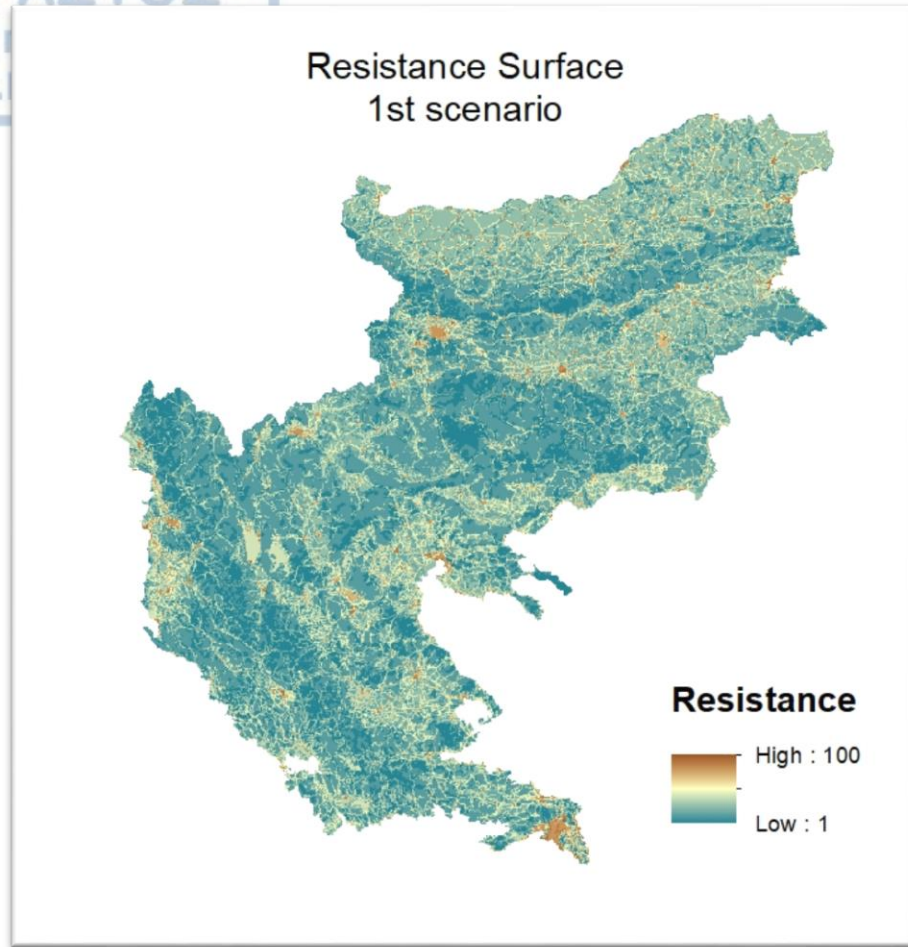
Ένα συχνά χρησιμοποιούμενο κατώφλι για τη καταλληλότητα μιας περιοχής σε σχέση με τη πυκνότητα είναι το 0.6 χμ/χμ² (Seiler, 2001; Forman & Alexander, 1998; Carnes,

2011; Beazley, et al., 2004; Hepcan, et al., 2008; Boulanger & Stenhouse, 2014; Wydeven, et al., 2001). Τα ποτάμια προσφέρουν στη ποιότητα του ενδιαιτήματος, επομένως κελιά που βρίσκονται κοντά σε ποτάμια φέρουν μικρότερη αντίσταση, όπως έγινε και σε παρόμοια εργασία (Gancchoff & Belant, 2017). Τέλος, για την απόσταση από τις ΠΠ, τα κελιά που βρίσκονται κοντά σε αυτές θα φέρουν χαμηλότερη αντίσταση. Όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτές, τόσο θα αυξάνεται και η αντίσταση. Οι επιφάνειες αντιστάσεων θα είναι raster αρχεία σε ανάλυση του 1 χμ², όπως αυτές των δεδομένων.

2.6.1 Αυστηρό σενάριο

Σε αυτό το σενάριο οι μεταβλητές λαμβάνουν αντιστάσεις από 1 ως 100 για τη χρήση γης, και 1 ή 100 στις υπόλοιπες μεταβλητές, ανάλογα αν αυτές έχουν την επιθυμητή τιμή ή όχι. Για τη χρήση γης, τα δάση είναι το καταλληλότερο ενδιαίτημα και για τα τρία είδη, συνεπώς λαμβάνουν τη τιμή 1. Ομοίως, και για τα τρία είδη η περιοχές χωρίς φυσικό ενδιαίτημα, καθώς και θαλάσσιες περιοχές είναι ακατάλληλες, και λαμβάνουν τη τιμή 100. Για το εικονικό είδος που φέρει τα χαρακτηριστικά του λύκου, τα κελιά με χρήση γης τις καλλιέργειες λαμβάνουν τη τιμή 50, καθώς δεν αποτελούν εμπόδιο, αλλά και δεν είναι το επιθυμητό ενδιαίτημα για τη μετακίνησή τους. Για τα ποτάμια, λαμβάνουν τη τιμή 90, καθώς σε ελάχιστες περιπτώσεις τα διασχίζουν. Για τα εικονικά είδη που βασίζονται στο ελάφι και στην αλεπού, οι χάρτες αντιστάσεων λαμβάνουν τη τιμή 10 στις καλλιέργειες και 80 στα ποτάμια.

Για τις άλλες τέσσερις μεταβλητές, δίνονται αντιστάσεις με τιμή 1 εάν η τιμή της μεταβλητής θεωρείται κατάλληλη για τα είδη, ενώ σε άλλη περίπτωση δίνεται η τιμή 100. Για το δείκτη τεχνικότητας, κελιά που ξεπερνάνε το 20% θα θεωρούνται ακατάλληλα, ενώ τα υπόλοιπα κατάλληλα. Το κατώφλι για τη πυκνότητα των δρόμων είναι 0.6 χμ/χμ² και επομένως θεωρούμε κατάλληλα τα κελιά με ίση ή μικρότερη τιμή. Θεωρώντας ότι τα ποτάμια προσφέρουν ενδιαίτημα καλύτερης ποιότητας, κελιά που απέχουν 1 χμ από τα ποτάμια θεωρούνται κατάλληλα. Τέλος, κελιά που απέχουν απόσταση από τις κατάλληλες περιοχές του κάθε είδους μικρότερη της δυνατότητας διασποράς του, θεωρούνται κατάλληλα.



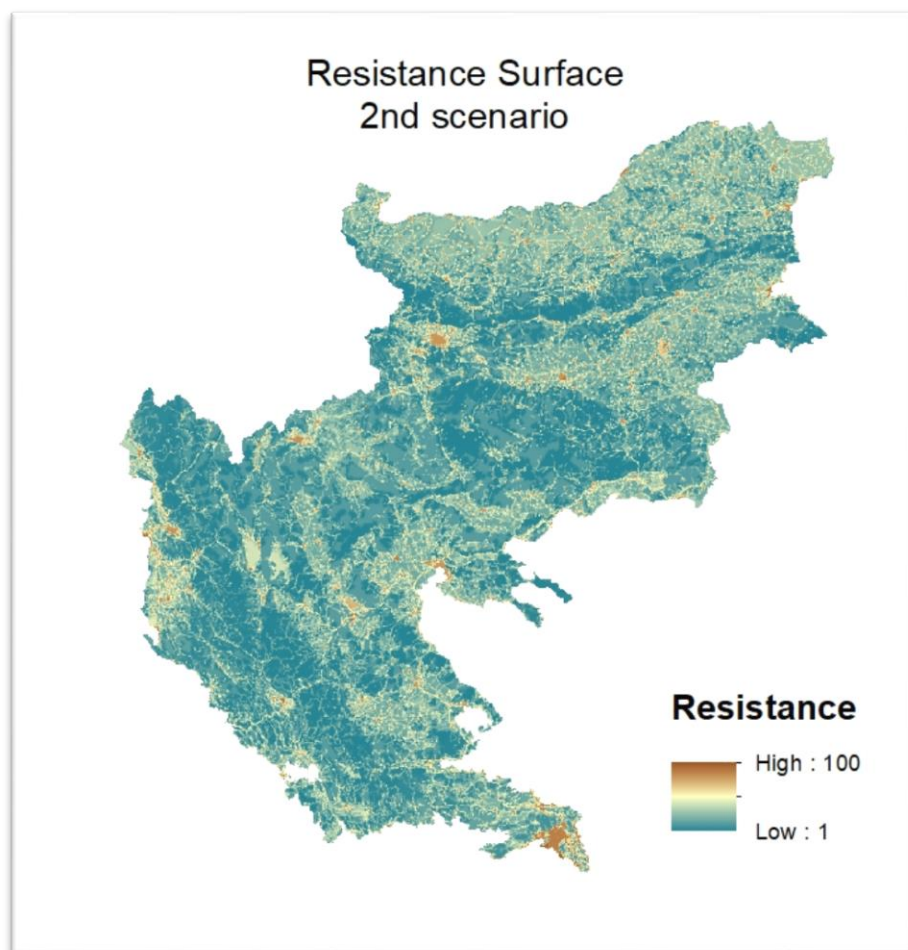
Εικόνα 2-5 Το αυστηρό σενάριο, για το 1ο εικονικό είδος, με το 1ο σετ βαρών.

2.6.2 Κλιμακώμενο σενάριο

Εδώ οι μεταβλητές θα παίρνουν κλιμακώμενες τιμές στις αντιστάσεις. Όπως και στο αυστηρό σενάριο, η ελάχιστη τιμή θα είναι 1 και η μέγιστη θα είναι το 100. Οι τιμές στη χρήση γης θα είναι ίδιες με του αυστηρού σεναρίου, μιας και είναι κλιμακωτές. Ο δείκτης τεχνικότητας θα παίρνει και πάλι τη τιμή 100 για τιμές 20% και άνω, όμως θα έχουμε κάποιες διαφορές για μικρότερες τιμές. Κελιά με 0 στο δείκτη θα παίρνουν τη τιμή 1, ως περιοχές με μηδαμινή ανθρώπινη παρέμβαση. Κελιά με θετικό δείκτη έως και 10% θα λαμβάνουν τιμή 30, ενώ αυτά με τιμή μεγαλύτερη έως και το 20% θα λαμβάνουν τιμή αντίστασης 60.

Οι τιμές για τη πυκνότητα του δρόμου, όπως στο συγκεκριμένο σενάριο, αποτελούν μια παραλλαγή μιας άλλης εργασίας (Beazley, et al., 2004). Οι αποστάσεις για τα ποτάμια κυμαίνονται ως εξής: 1 για απόσταση έως 1 χμ, 10 ως 2, 50 ως 3 και 100 για μεγαλύτερες αποστάσεις. Οι αποστάσεις από τις περιοχές για τα αντίστοιχα είδη είναι κλιμακωτές ανάλογα με το κατώφλι απόστασης. Πιο συγκεκριμένα, αποστάσεις έως

και το 10% της τιμής ικανότητας διασποράς παίρνουν τιμή 1, ως 20% τιμή 10, ως 30% τιμή 20, κτλ., μέχρι τη τιμή της ικανότητας διασποράς που δίνει αντίσταση 90, ενώ αποστάσεις που ξεπερνούν την ικανότητα διασποράς λαμβάνουν τη μέγιστη αντίσταση 100.



Εικόνα 2-6 Το κλιμακώμενο σενάριο (1ο εικονικό είδος, 1ο σετ βαρών).

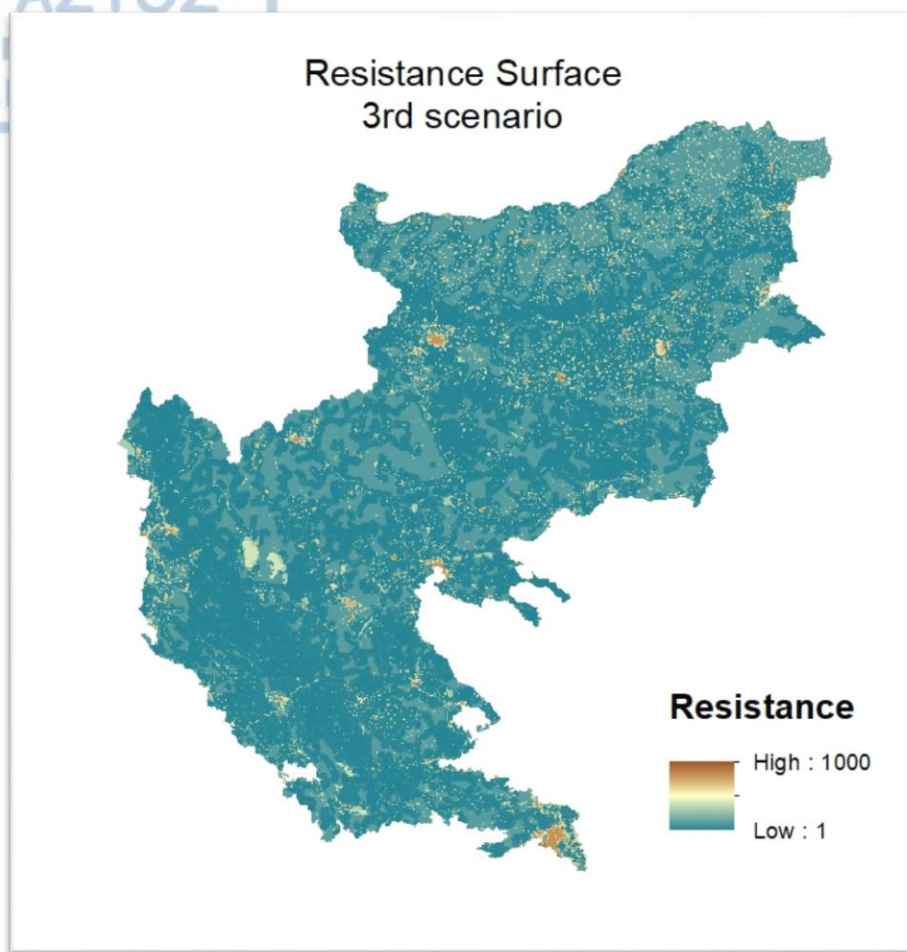
2.6.3 Εκθετικό σενάριο

Εδώ οι τιμές των αντιστάσεων δίνονται ως δυνάμεις του 10. Μοιάζει τόσο με το κλιμακώμενο, καθώς υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες για κάθε μεταβλητή, αλλά έχει και το στοιχείο του αυστηρού σεναρίου, καθώς η μια τιμή από την άλλη θα διαφέρει πολύ. Οι τιμές που δίνονται συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 2-2, Πίνακας 2-3).

Τιμές	Χρήση Γης	Δείκτης Τεχνικότητας (%)	Πυκνότητα Δρόμων (χμ/χμ ²)	Απόσταση από ποτάμια (χμ)
1	Δάση	0	0 – 0,01	0 – 1
10	Καλλιέργειες	0 – 10	0,01 – 0,6	1 – 2
100	Υγρότοποι	10 - 20	0,6 – 3	2 – 3
1000	Θαλάσσια στρώματα – Μη φυσική χρήση γης	>20	>3	>3

Πίνακας 2-3 Οι τιμές αντιστάσεων για τις αποστάσεις (σε χμ) από τις ΠΠ, για το εκθετικό
σενάριο

Τιμές	1 ^ο Εικονικό Είδος	2 ^ο Εικονικό Είδος	3 ^ο Εικονικό Είδος
1	0 – 75,5	0 – 12,5	0 – 14
10	75,5 – 151	12,5 – 25	14 – 28
100	151 – 302	25 – 50	28 – 56
1000	>302	>50	>56



Εικόνα 2-7 Το εκθετικό σενάριο (1ο εικονικό είδος, 1ο σετ βαρών).

2.6.4 Συντελεστές βαρύτητας

Κάθε επιφάνεια αντίστασης κατασκευάστηκε ως ένας σταθμισμένος μέσος των μεταβλητών. Έτσι κάθε σενάριο εξετάστηκε με δυο διαφορετικά σετ βαρών για τις μεταβλητές (Πίνακας 2-4). Συνολικά κατασκευάστηκαν έξι επιφάνειες αντιστάσεων για κάθε οργανισμό, δυο για κάθε ένα από τα τρία σενάρια. Το άθροισμα των βαρών σε κάθε σετ δίνει σύνολο το 100.

Πίνακας 2-4 Οι συντελεστές βαρύτητας των μεταβλητών

Βάρη	Χρήση Γης	Δείκτης Τεχνικότητας	Πυκνότητα Δρόμων	Απόσταση από ποτάμια	Απόσταση από ΠΠ
Σετ 1	30	30	20	10	10
Σετ 2	35	35	15	10	5

Χάριν ευκολίας, οι επιφάνειες αντιστάσεων κωδικοποιήθηκαν με ένα τριψήφιο κωδικό, όπου χαρακτηρίζει το εικονικό είδος για το οποίο κατασκευάστηκαν, το σενάριο και το σετ βαρών (Πίνακας 2-5). Οι επιφάνειες αντιστάσεων εισάχθηκαν στο Circuitscape, μαζί με τις αντίστοιχες ΠΠ και υπολογίστηκαν οι ουσιαστικές αντιστάσεις, καθώς και οι αθροιστικοί χάρτες ρεύματος.

Για να ληφθούν υπόψιν όλα τα μοντέλα, κατασκευάστηκε ένας νέος χάρτης ρεύματος για κάθε εικονικό είδος, ο οποίος παράχθηκε από το μέσο όρο των έξι εξαγόμενων χαρτών ρεύματος. Για να είναι δυνατή η σύγκριση των νέων χαρτών ρεύματος μεταξύ εικονικών ειδών, οι νέοι χάρτες θα κανονικοποιηθούν ως προς τις τιμές ρεύματος. Η μέγιστη τιμή ρεύματος που μπορεί να έχει ένα κελί είναι το άθροισμα των τιμών του ρεύματος που εισχωρήθηκε σε κάθε ζεύγος ΠΠ. Ο αθροιστικός χάρτης παράχθηκε προσθέτοντας το ρεύμα που εισάχθηκε για κάθε σύνδεση ΠΠ που υπάρχει. Εάν έχουμε n εστιακούς κόμβους (ΠΠ στη περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης), τότε θα έχουμε $n(n-1)/2$ συνδέσεις, άρα $n(n-1)/2$ εισχωρήσεις του 1 Amp. Δεδομένου ότι οι ΠΠ για κάθε εικονικό είδος είναι 22, 61 και 90, οι νέοι χάρτες ρεύματος θα διαιρεθούν με τους αριθμούς 231, 1830 και 4005 αντίστοιχα.

Τέλος, κατασκευάστηκε ένας συνδυαστικός χάρτης, ο οποίος αποτελείται από το μέσο όρο των τριών χαρτών ρεύματος ανά είδος. Αυτός ο χάρτης παρουσιάζει το κατά πόσο χρησιμοποιείται κάθε κελί για τη μετακίνηση των οργανισμών στις ΠΠ, και θα αναδείξει διαδρόμους επικοινωνίας στη περιοχή μελέτης.

Πίνακας 2-5 Η κωδικοποίηση των επιφανειών αντιστάσεων, καθώς και των εξαγόμενων αθροιστικών χαρτών ρεύματος. Για παράδειγμα, η επιφάνεια αντιστάσεων για το 2^ο εικονικό είδος που κατασκευάστηκε με το εκθετικό σενάριο και έχει το 1^ο σετ βαρών, είναι η 231.

Εικονικό είδος		Σενάριο αντιστάσεων		Σετ βαρών μεταβλητών	
1 ^ο (Λύκος)	1	Αυστηρό	1	1 ^ο Σετ	1
2 ^ο (Ελάφι)	2	Κλιμακωτό	2	2 ^ο Σετ	2
3 ^ο (Αλεπού)	3	Εκθετικό	3		

2.8 Τα δίκτυα προστατευόμενων περιοχών

Μελετήθηκε η συσχέτιση Pearson των ουσιαστικών αντιστάσεων που εξάχθηκαν από το Circuitscape μεταξύ τους, και στη συνέχεια η συσχέτιση της πραγματικής απόστασης με τις ουσιαστικές αντιστάσεις κάθε σεναρίου ξεχωριστά.

Για κάθε εικονικό είδος δημιουργήθηκαν επτά δίκτυα ΠΠ. Τα έξι δίκτυα έχουν ιδιότητα ακμής την ουσιαστική απόσταση, με ένα δίκτυο για κάθε σενάριο αντιστάσεων, ενώ το 7^ο δίκτυο φέρει ιδιότητα ακμής τη πραγματική απόσταση μεταξύ ΠΠ, από τα κέντρα αυτών. Η απόσταση υπολογίστηκε με την ίδια διαδικασία που υπολογίστηκαν οι αποστάσεις κελιών από ποτάμια και ΠΠ.

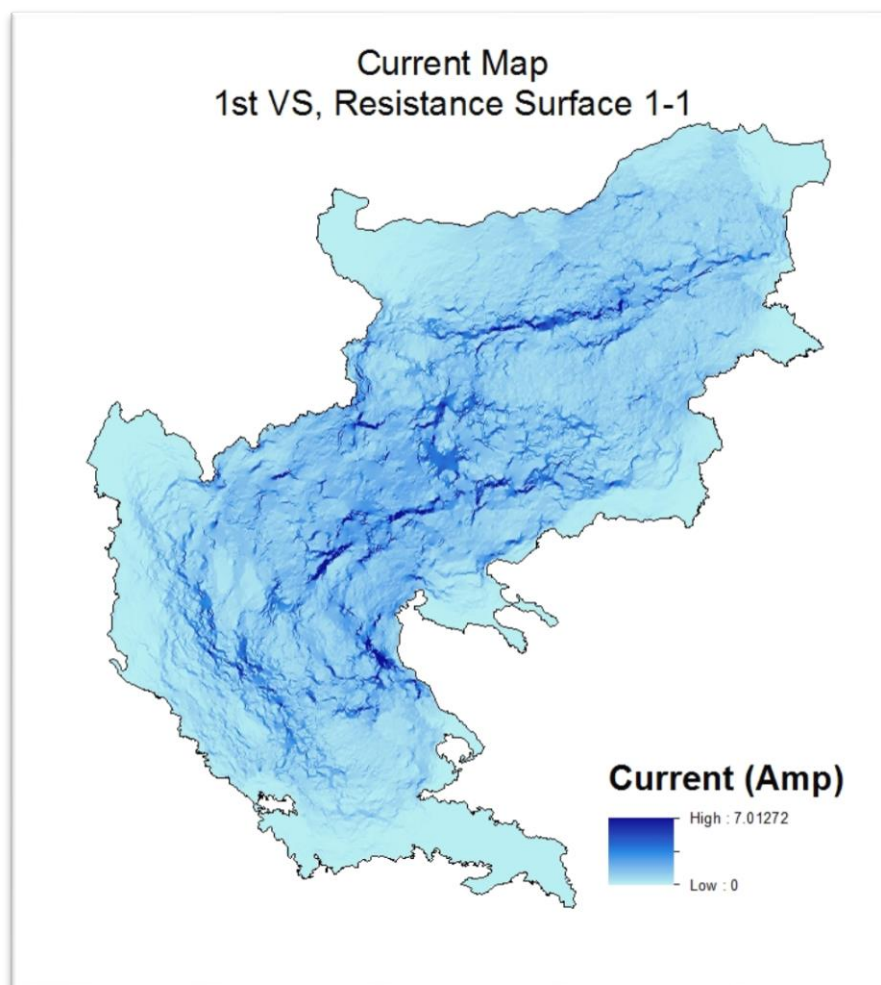
Στα δίκτυα με βάρος ακμής την ουσιαστική αντίσταση, μια σύνδεση είναι δυνατή εάν η τιμή της δε ξεπερνά τα 10 Ohm, μια σχετικά μικρή αντίσταση για τη μετακίνηση των ειδών από τη μια περιοχή στην άλλη. Στα δίκτυα με τις πραγματικές αποστάσεις ως βάρος, μια σύνδεση είναι εφικτή εάν δε ξεπερνά τις ικανότητες διασποράς σε χιλιόμετρα του εκάστοτε είδους. Τα κατώφλια αποστάσεων θα είναι 302, 50 και 56 χμ για τους αντίστοιχους οργανισμούς.

Τα δίκτυα αυτά μελετήθηκαν ως προς τη πυκνότητα συνδέσεων. Υψηλότερη πυκνότητα συνδέσεων συνιστά πιο εύρωστα δίκτυα, με καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των ΠΠ. Θα μελετηθεί η συνδεσιμότητα των δικτύων, και στη περίπτωση που δεν είναι συνδετικά, θα εξεταστεί το πλήθος των συνιστωσών του. Η μελέτη των δικτύων, καθώς και των στατιστικών των αθροιστικών χαρτών ρεύματος έγινε στην R 3.4.0 (R Core Team, 2013).

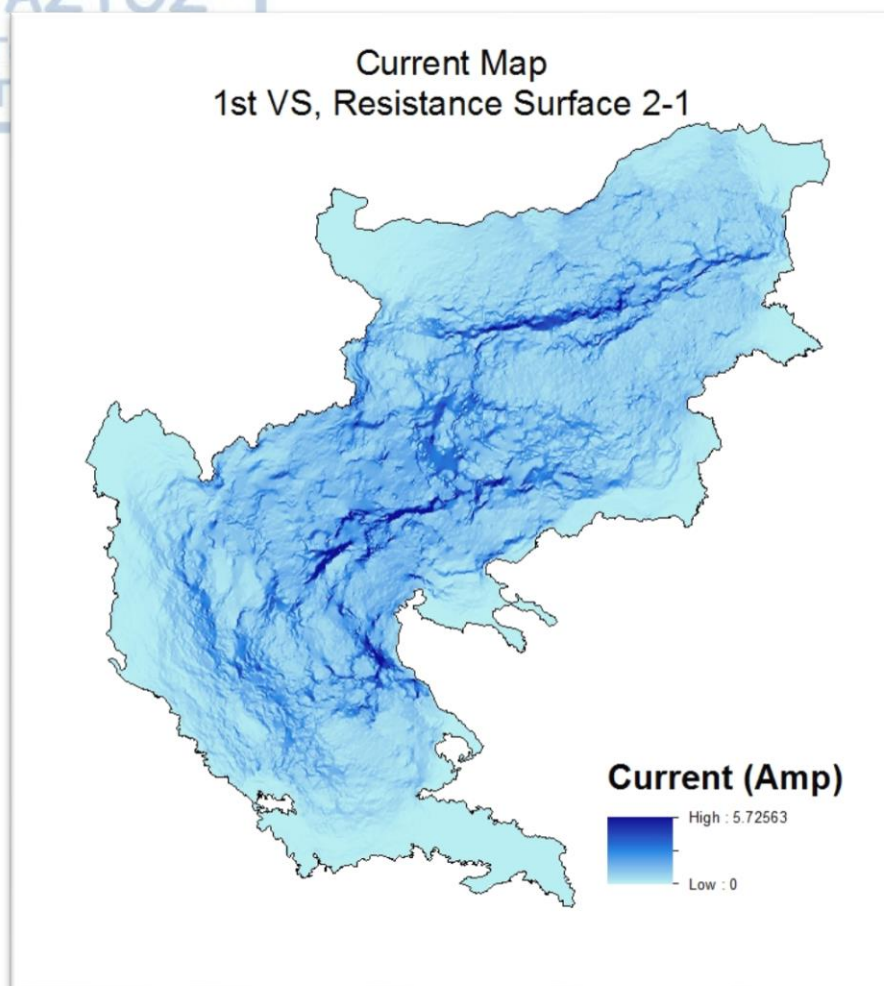
3 Αποτελέσματα

3.1 Χωρικά αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των αθροιστικών χαρτών ακολουθούν παρόμοιο μοτίβο και για τα τρία εικονικά είδη. Τα κελιά με τις υψηλότερες τιμές ρεύματος εμφανίζονται στις περιοχές της οροσειράς της Πίνδου και στο Tsentralen Balkan, σχηματίζοντας διακριτούς διαδρόμους επικοινωνίας. Ιδιαίτερα για το εκθετικό σενάριο, οι διάδρομοι αυτοί φαίνονται πιο ξεκάθαρα σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια. Αυτό πιθανότατα συμβαίνει λόγω της μεγάλης διαφοράς στις τιμές αντιστάσεων.

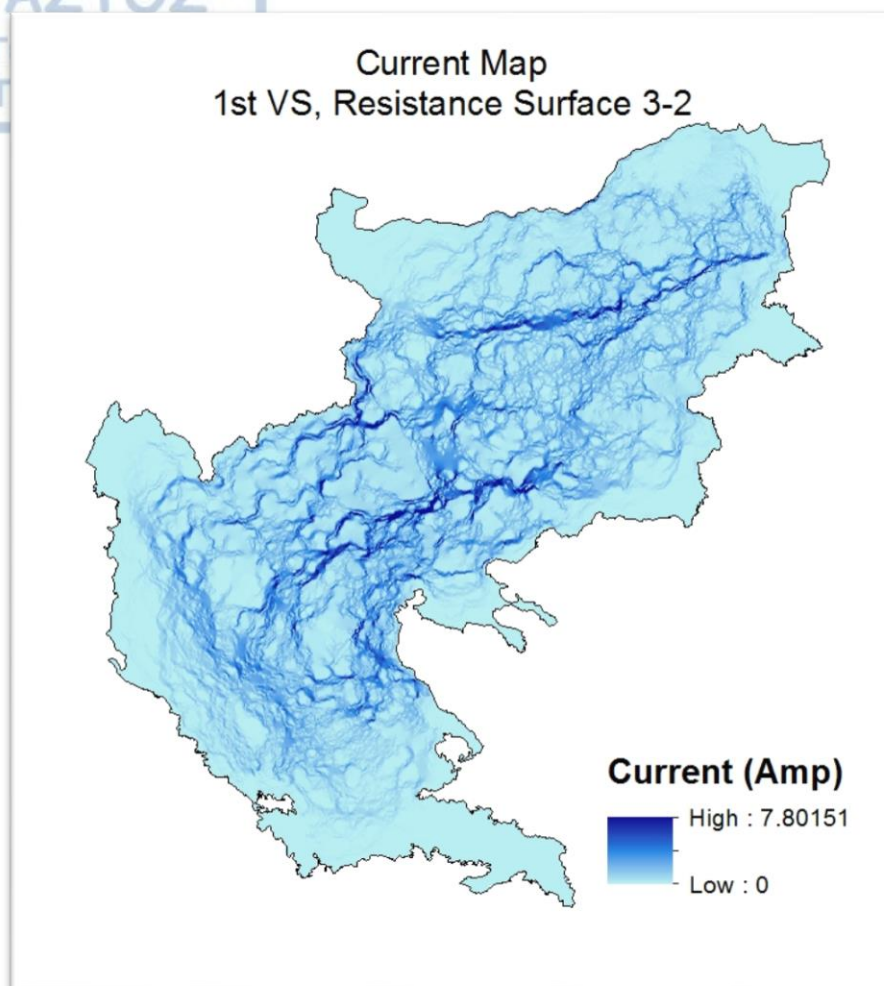


Εικόνα 3-1 Ο αθροιστικός χάρτης ρεύματος για το 1ο εικονικό είδος, εξαγόμενος από την επιφάνεια αντιστάσεων 1-1.



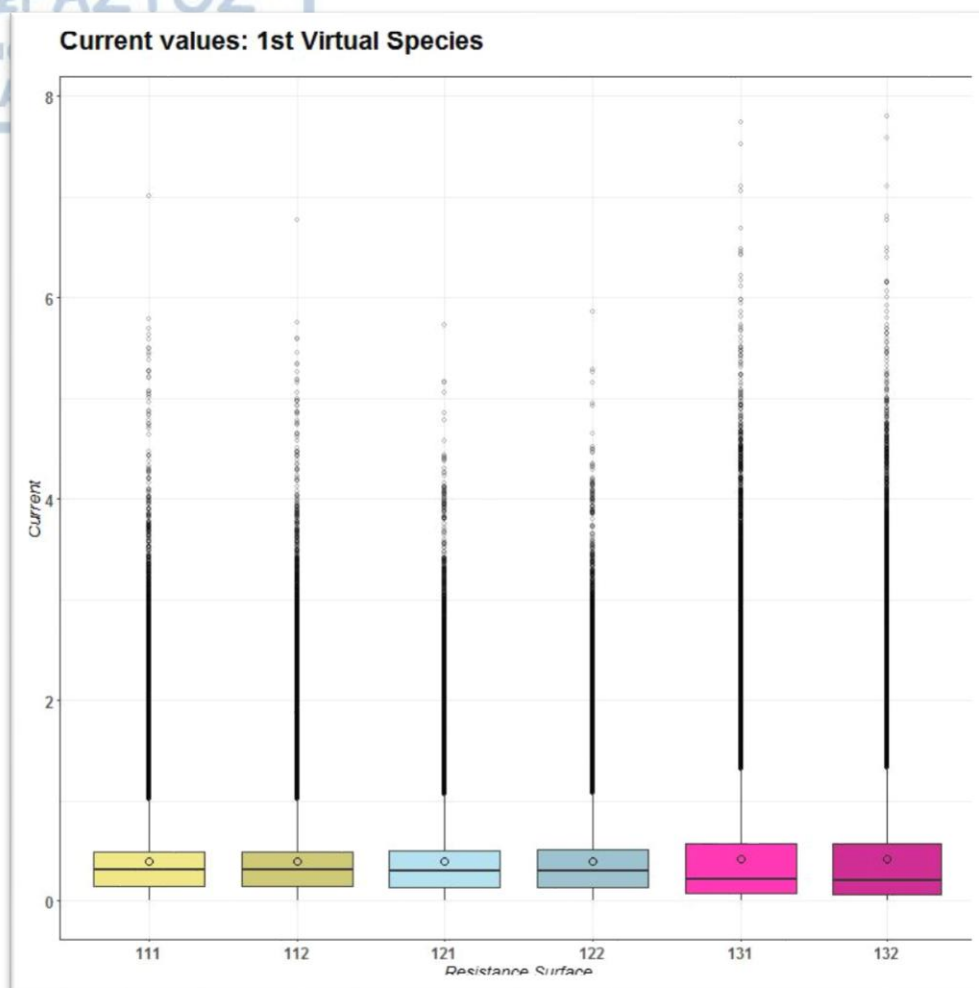
Εικόνα 3-2 Ο αθροιστικός χάρτης ρεύματος για το 1ο εικονικό είδος, εξαγόμενος από την επιφάνεια αντιστάσεων 2-1. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της επιφάνειας 1-1.

Ενδεικτικά, για το πρώτο εικονικό είδος έχουμε κάποιους διαδρόμους, άλλους πιο συχνά χρησιμοποιημένους, άλλους λιγότερο, σύμφωνα με το ρεύμα που διαπερνά το κάθε κελί (Εικόνα 3-1, Εικόνα 3-2). Στο εκθετικό σενάριο, οι διάδρομοι επικοινωνίας είναι πιο διακριτοί σε σχέση με τα άλλα δυο σενάρια (Εικόνα 3-3).



Εικόνα 3-3 Ο αθροιστικός χάρτης ρεύματος για το 1ο εικονικό είδος, εξαγόμενος από την επιφάνεια αντιστάσεων 3-2. Σε αυτή τη περίπτωση, οι διάδρομοι επικοινωνίας είναι πιο διακριτοί σε σχέση με τα δυο προηγούμενα σενάρια.

Επιπλέον έχουμε τα στατιστικά και τα θηκογράμματα για το ρεύμα για κάθε επιφάνεια αντίστασης.



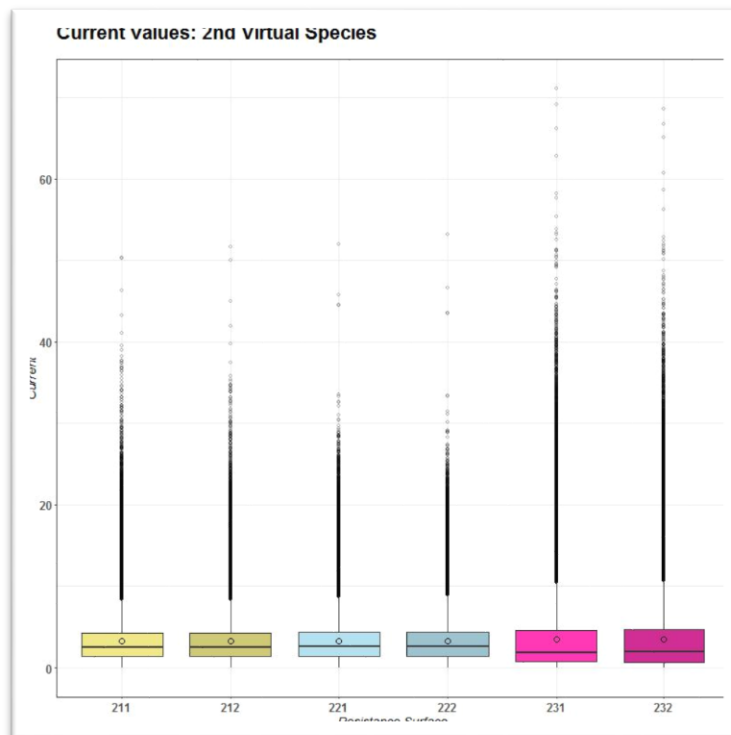
Εικόνα 3-4 Τα θηκογράμματα για τις τιμές ρεύματος του αθροιστικού χάρτη ρεύματος για το 1ο εικονικό είδος.

Από το γράφημα με τα θηκογράμματα (Εικόνα 3-4), βλέπουμε ότι το μέγιστο ρεύμα στα κελιά δε ξεπερνά τα 8 Amp. Το μέγιστο δυνατό ρεύμα που θα μπορούσε να περάσει είναι 231 Amp, καθώς η απεικόνιση του ρεύματος κατασκευάστηκε με εισχώρηση του 1 Amp για κάθε ζεύγος περιοχών (22 περιοχές άρα $22 \times 21/2 = 231$ ζεύγη). Παρατηρούμε ότι τα κελιά με μεγάλη τιμή ρεύματος αποτελούνε παράτυπα σημεία, καθώς είναι πάρα πολύ λίγα σε σχέση με τα κελιά με λίγο ή καθόλου ρεύμα, τα οποία το 1^ο εικονικό είδος δεν χρησιμοποιεί για τη μετακίνηση του στις περιοχές. Η μέση τιμή είναι περίπου η ίδια και για τα έξι διαφορετικά μοντέλα. Τα δυο τελευταία μοντέλα με εκθετικές τιμές αντιστάσεων έχουν μεγαλύτερο ενδοτεταρτομοριακό πλάτος, καθώς συγκεντρώνουν περισσότερες χαμηλές τιμές σε ρεύμα.

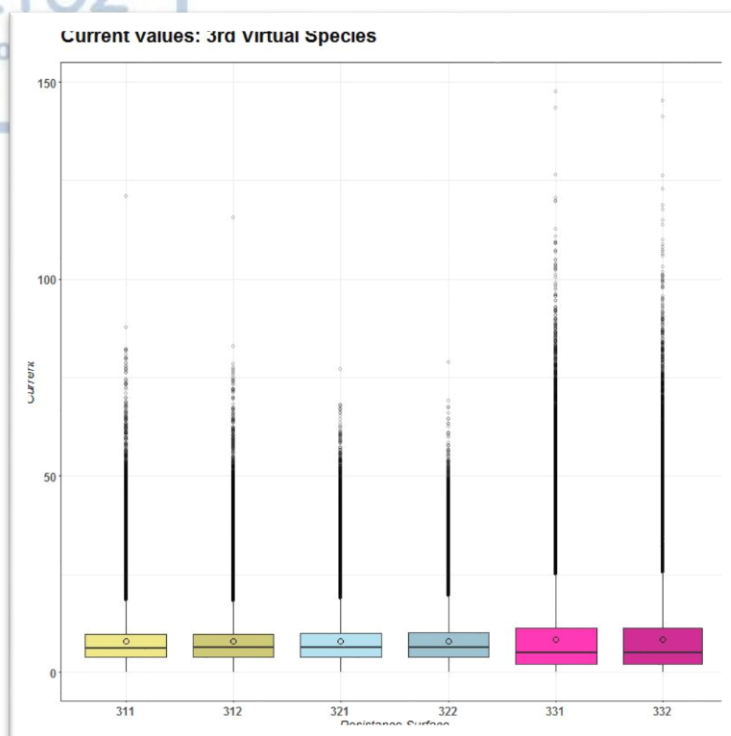
Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και για το 2^ο εικονικό είδος. Εδώ έχοντας 61 περιοχές υπάρχουν 1830 εισχωρήσεις του 1 Amp και το μέγιστο ρεύμα που παρατηρείται για τα δυο πρώτα σενάρια είναι μέχρι και 53 Amp, ενώ στα εκθετικά σενάρια φτάνει έως και 71 Amp (Εικόνα 3-5).

Καμία αλλαγή και για το 3^ο εικονικό είδος, με 90 περιοχές και 4005 συνδέσεις. Εδώ το μέγιστο ρεύμα στο 2^ο σενάριο (κλιμακωτό) είναι σχετικά μικρότερο από το 1^ο και το 3^ο σενάριο, παρόλα αυτά τα θηκογράμματα ακολουθούν το ίδιο πρότυπο με τα δυο άλλα εικονικά είδη (Εικόνα 3-6).

Στα θηκογράμματα φαίνεται και η μέση τιμή, η οποία είναι κοντά στη διάμεσο στα δυο πρώτα σενάρια και ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτήν στο 3^ο σενάριο, και για τις 3 περιπτώσεις.

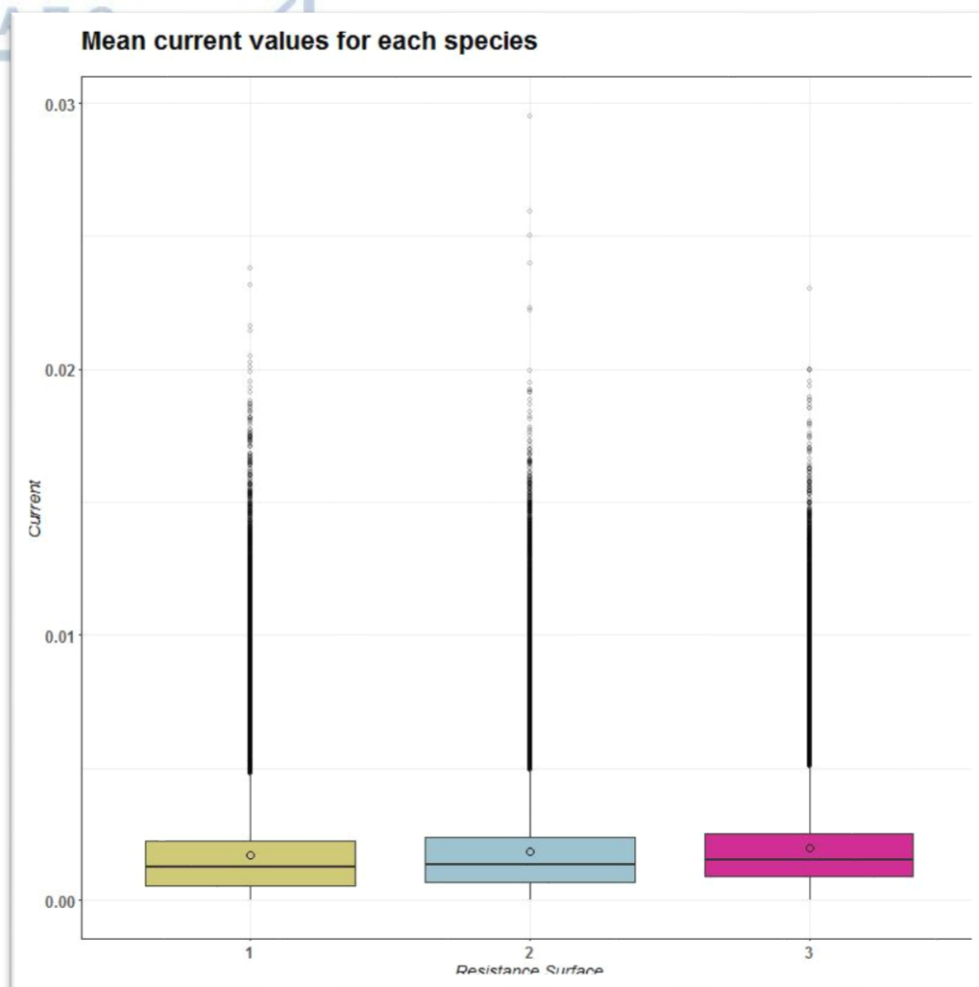


Εικόνα 3-5 Τα θηκογράμματα για τις τιμές ρεύματος του αθροιστικού χάρτη ρεύματος για το 2^ο εικονικό είδος. Όπως και για το 1^ο εικονικό είδος, βλέπουμε παρόμοια αποτελέσματα, με το 3^ο σενάριο να συγκεντρώνει περισσότερες τιμές εντός ενδοτεταρτομοριακού πλάτους.



Εικόνα 3-6 Τα θηκογράμματα για τις τιμές ρεύματος του αθροιστικού χάρτη ρεύματος για το 2ο εικονικό είδος. Παρόμοια αποτελέσματα με τα δύο άλλα εικονικά είδη.

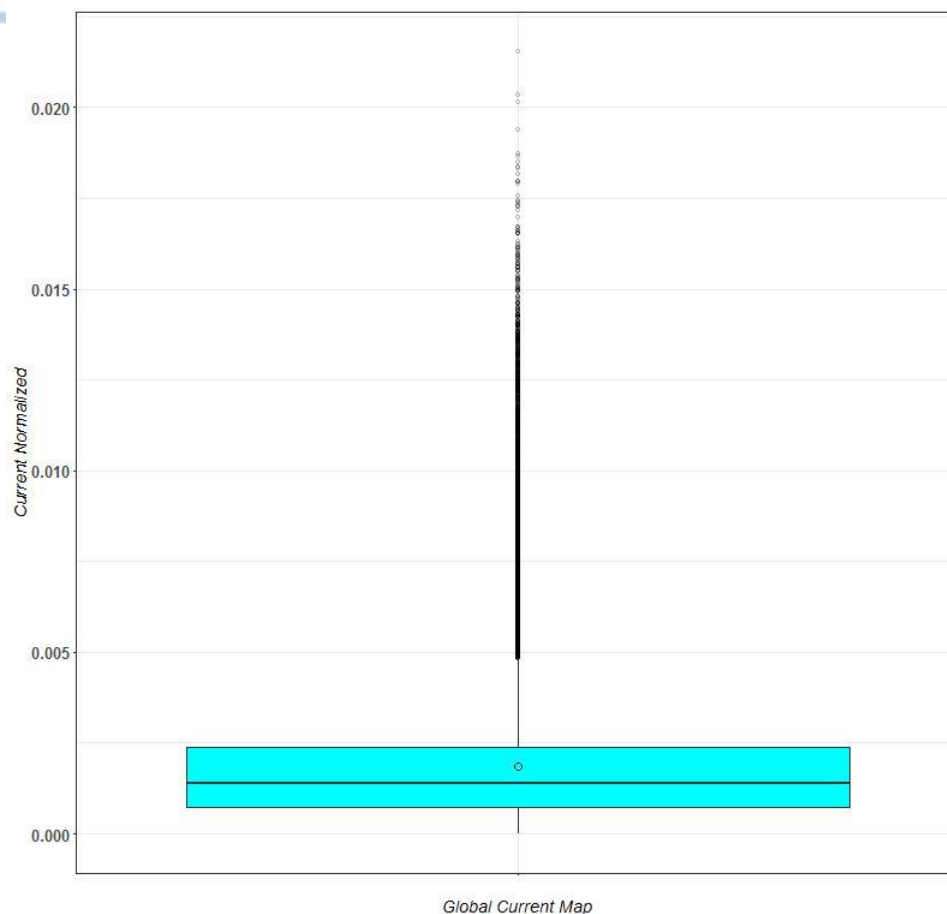
Οι νέοι αθροιστικοί χάρτες ρεύματος, κυμαίνονται στις ίδιες τιμές (Εικόνα 3-7). Εδώ οι τιμές αναπαριστούν το κανονικοποιημένο ρεύμα, έτσι ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε μεταξύ εικονικών ειδών. Τα αποτελέσματα δε διαφέρουν ανά εικονικό είδος. Τα περισσότερα κελιά συγκεντρώνουν σχετικά χαμηλό ποσοστό ρεύματος, μικρότερο του 1% και για τα τρία εικονικά είδη.



Εικόνα 3-7 Τα θηκογράμματα των νέων αθροιστικών χαρτών ρεύματος ανά εικονικό είδος. Είναι συγκρίσιμα λόγω της κανονικοποίησης τους ως προς τη μέγιστη τιμή ρεύματος. Και για τα 3 είδη οι τιμές του ρεύματος κυμαίνονται στο ίδιο επίπεδο.

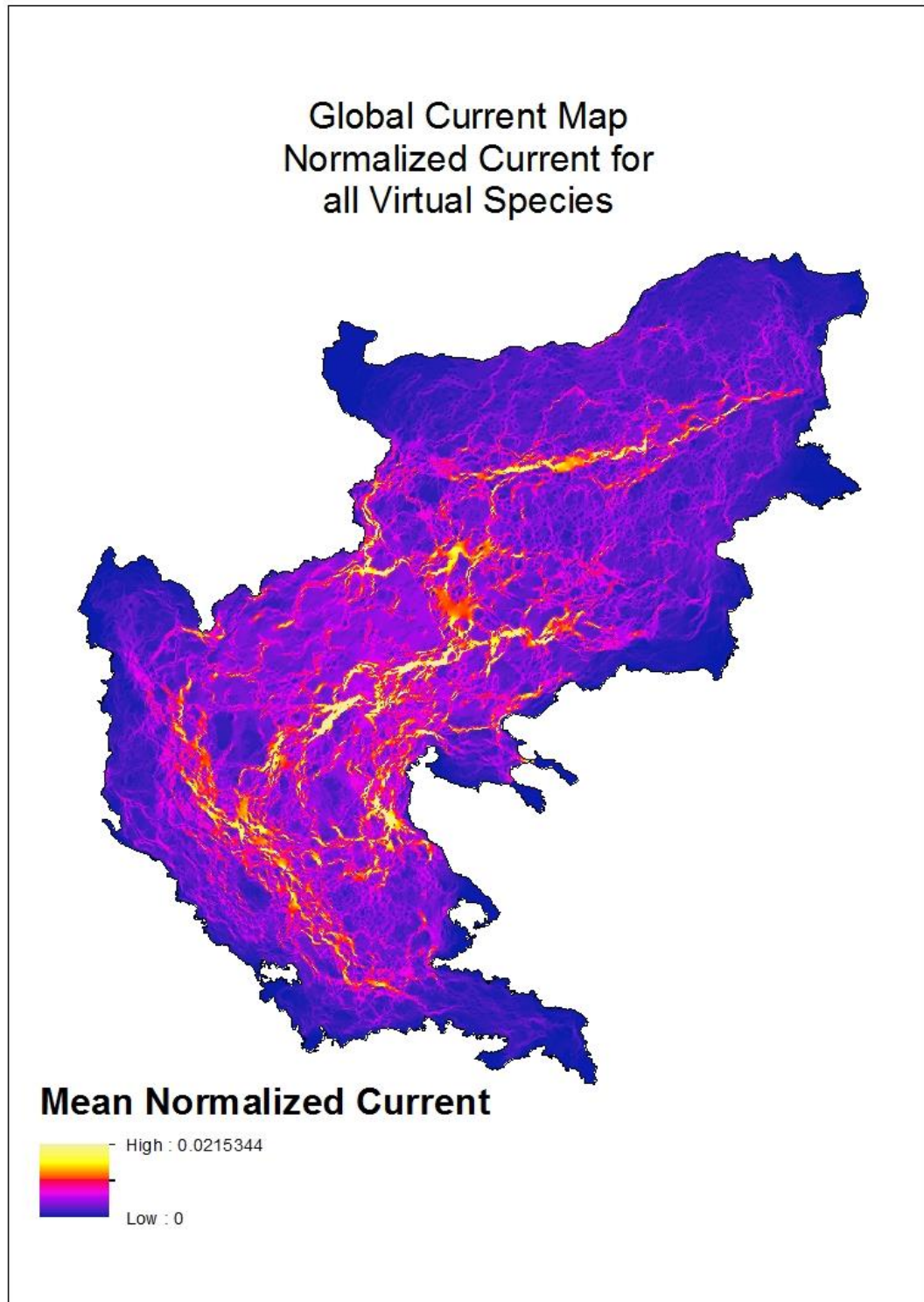
Από τα θηκογράμματα των τελικών επιφανειών ανά εικονικό είδος, ήταν αναμενόμενο ένα παρόμοιο μοτίβο για τη τελική επιφάνεια (Εικόνα 3-8).

Global current values



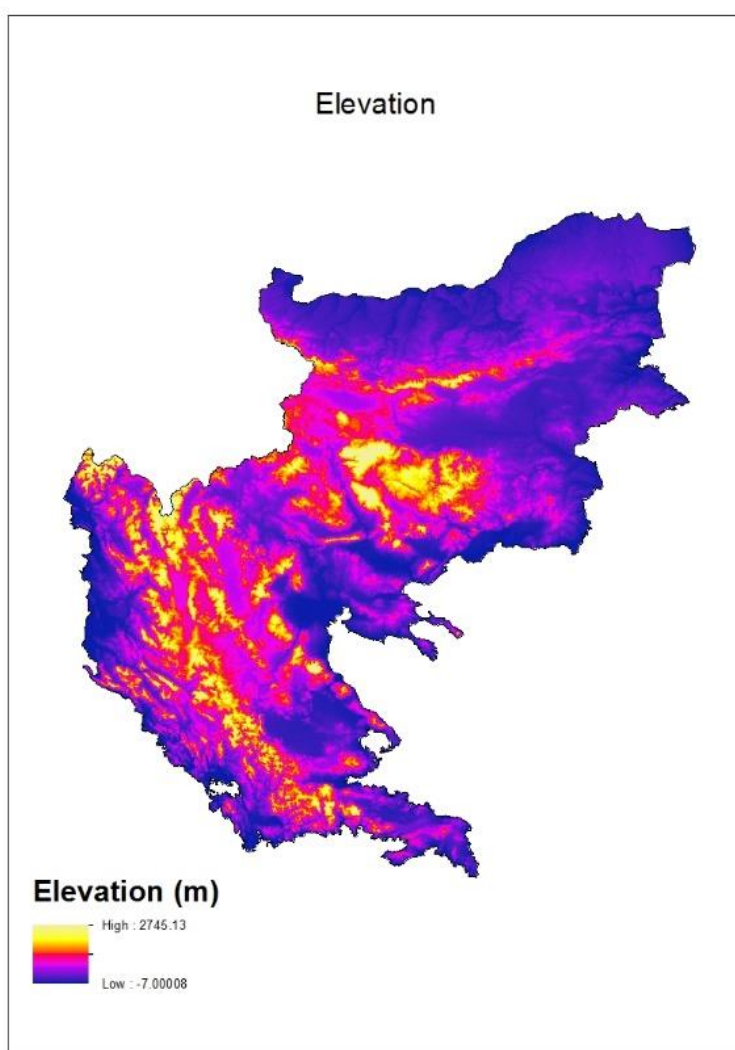
Εικόνα 3-8 Το θηκόγραμμα των τιμών του καθολικού αθροιστικού χάρτη κανονικοποιημένου ρεύματος.

Ο καθολικός χάρτης μας παρουσιάζει τα κομμάτια της περιοχής που χρησιμοποιούνται περισσότερο για τις μετακινήσεις των εικονικών ειδών μεταξύ ΠΠ (Εικόνα 3-9). Υπάρχουν σημαντικοί διάδρομοι επικοινωνίας στις οροσειρές της Πίνδου και βόρεια στην οροσειρά της Βουλγαρία. Αναμενόμενη είναι η ανάδειξη διαδρόμου επικοινωνίας στο κέντρο της περιοχής μελέτης, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της επικοινωνίας των βόρειων ΠΠ με τις ΠΠ στη νότια Ελλάδα.



Εικόνα 3-9 Ο καθολικός αθροιστικός χάρτης κανονικοποιημένου ρεύματος. Διακριτοί διάδρομοι επικοινωνίας παρατηρούνται στο κέντρο της περιοχής, αλλά και σε δυο οροσειρές.

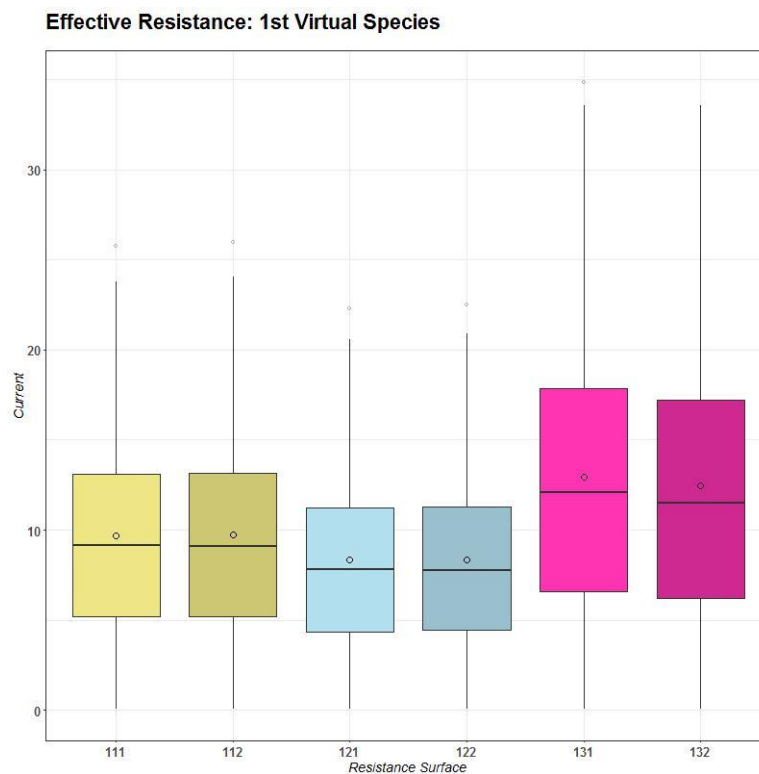
Λόγω της ύπαρξης διαδρόμων επικοινωνίας σε περιοχές οροσειρών, κρίθηκε ενδιαφέρον η σύγκριση του καθολικού χάρτη κανονικοποιημένου ρεύματος με το υψόμετρο (European Environment Agency, 2010) (Εικόνα 3-10). Παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες τιμές του κανονικοποιημένου ρεύματος στις οροσειρές της Πίνδου και βόρεια στη Βουλγαρία, όπου το υψόμετρο είναι υψηλό. Ωστόσο ο συντελεστής συσχέτισης του κανονικοποιημένου ρεύματος και του υψομέτρου είναι περίπου 0,35. Αν και στατιστικά σημαντική τιμή, είναι αρκετά χαμηλή για να μιλήσουμε για υψηλή συσχέτιση των δυο αυτών δεικτών.



Εικόνα 3-10 Ο χάρτης υψόμετρου

3.2 Αποτελέσματα των δικτύων

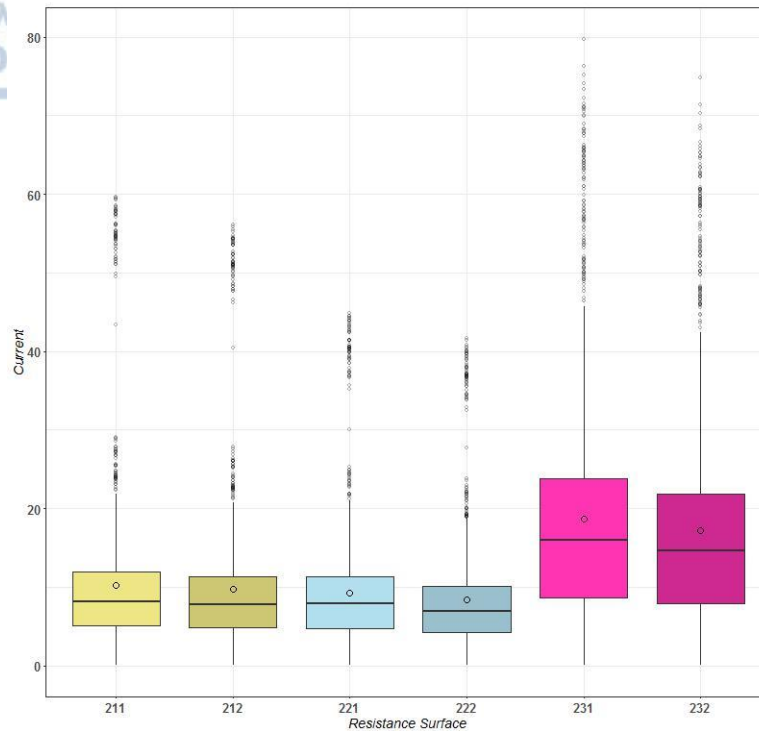
Για το 1^ο εικονικό είδος, σύμφωνα με το γράφημα θηκογραμμάτων (Εικόνα 3-11), παρατηρείται ότι η ουσιαστική αντίσταση κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές. Είναι ελαφρώς μεγαλύτερες για το εκθετικό σενάριο και ελάχιστα χαμηλότερες για το κλιμακώμενο. Παρατηρούμε επίσης ότι δεν υπάρχουν πολλές παράτυπες τιμές. Αναμένουμε από τα δίκτυα αυτού του είδους να έχουν καλή συνδεσιμότητα, μιας και η διάμεσος είναι πολύ κοντά στο 10 σε όλες τις περιπτώσεις, μια πολύ χαμηλή αντίσταση.



Εικόνα 3-11 Τα στατιστικά των ουσιαστικών αντιστάσεων για το 1ο εικονικό είδος.

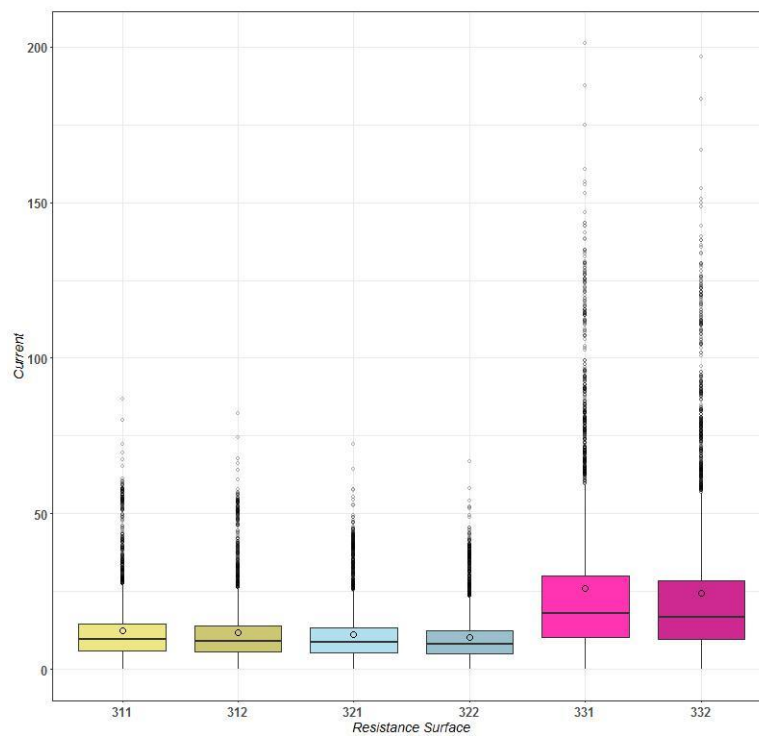
Για το 2^ο εικονικό είδος η ουσιαστική αντίσταση αλλάζει αρκετά. Στα δυο πρώτα σενάρια έχουμε πολύ μικρό ενδοτεταρτομοριακό πλάτος σε σχέση με το τρίτο, ενώ έχουμε πιο διάσπαρτες παράτυπες τιμές. Σε γενικές γραμμές. Βλέπουμε υψηλότερες τιμές στο τρίτο σενάριο (Εικόνα 3-12).

Effective Resistance: 2nd Virtual Species



Εικόνα 3-12 Τα στατιστικά των ουσιαστικών αντιστάσεων για το 2ο εικονικό είδος. Υψηλότερες ουσιαστικές αντιστάσεις για το 3^ο σενάριο αντιστάσεων.

Effective Resistance: 3rd Virtual Species



Εικόνα 3-13 Τα στατιστικά των ουσιαστικών αντιστάσεων για το 3ο εικονικό είδος. Όμοια με το 2^ο εικονικό είδος, έχουμε υψηλότερες ουσιαστικές αντιστάσεις για το εκθετικό σενάριο αντιστάσεων.

Στο 3^ο εικονικό είδος βλέπουμε παρόμοια αποτελέσματα με αυτά του 2^{ου}. Εδώ λόγω τον περισσότερων περιοχών, και κυρίως αυτών που προστέθηκαν στο νότιο κομμάτι της περιοχής, παρατηρούμε και κάποιες μεγαλύτερες αντιστάσεις (Εικόνα 3-13).

Οι συσχετίσεις Pearson μεταξύ ουσιαστικών αντιστάσεων από διαφορετικά σενάρια είναι αρκετά υψηλές, πάνω από 0.85, και ειδικά στη περίπτωση του 1^{ου} εικονικού είδους είναι πολύ κοντά στο 1 ($p < 0.001$ για αυτές του 1^{ου} εικονικού είδους, $p = 0$ για αυτές των δύο άλλων). Αυτό υποδηλώνει πως τα μοντέλα βγάζουν παρόμοια αποτελέσματα και οι διαφοροποιήσεις στις επιφάνειες αντιστάσεων δε παίζουν ιδιαίτερο ρόλο. Οι ακριβείς τιμές των συσχετίσεων βρίσκονται στο παράρτημα.

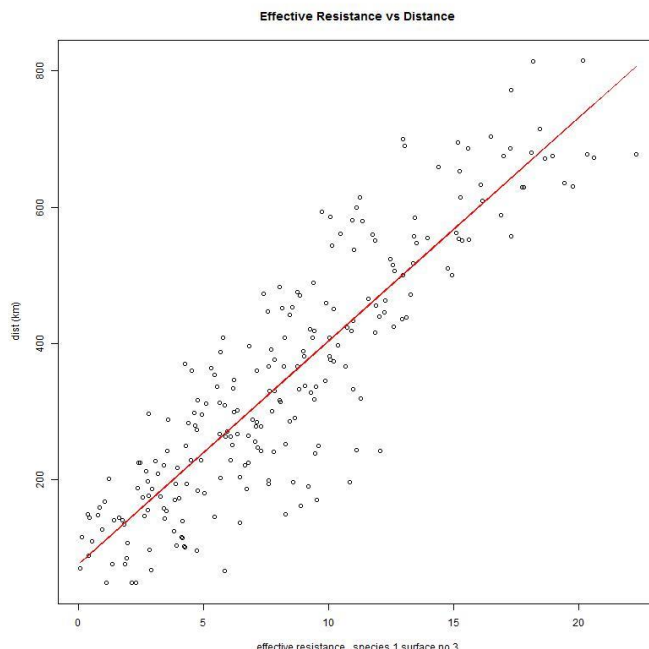
Συγκρίναμε την ουσιαστική αντίσταση της κάθε επιφάνειας με τις πραγματικές αποστάσεις, για κάθε οργανισμό ξεχωριστά μέσω της συσχέτισης Pearson (Πίνακας 3-1). Η ουσιαστική αντίσταση για το 1^ο εικονικό είδος έχει υψηλή συσχέτιση με τις πραγματικές αποστάσεις των περιοχών ($p < 0.001$), όμως δε συμβαίνει το ίδιο και για τα άλλα δυο είδη. Οι συσχετίσεις για αυτά κυμαίνονται από 0,38 έως και 0,58 ($p < 0.001$), καθιστώντας σαφές ότι η ουσιαστική αντίσταση διαφοροποιείται αρκετά από τη πραγματική απόσταση των περιοχών.

Πίνακας 3-1 Οι συσχετίσεις απόστασης με την ουσιαστική αντίσταση σε κάθε σενάριο, για κάθε εικονικό είδος

	111	112	121	122	131	132
1	0.894423	0.890467	0.886847	0.879166	0.868208	0.861763
	211	212	221	222	231	232
2	0.380369	0.389106	0.480901	0.473831	0.578761	0.576479
	311	312	321	322	331	332
3	0.513035	0.523851	0.569945	0.572677	0.536965	0.532662

Με βάση αυτά ψάξαμε για γραμμικό μοντέλο μεταξύ πραγματικής απόστασης και effective resistance. Όπως ήταν αναμενόμενο, έχουμε κατάλληλα μοντέλα μόνο για τους λύκους ($R^2 > 0.74$ σε όλες τις περιπτώσεις), ενώ για τα άλλα δυο εικονικά είδη δεν βρέθηκε κατάλληλο γραμμικό μοντέλο ($r < 0.6$, $R^2 < 0.35$ σε όλες τις περιπτώσεις).

Παρατηρώντας το γραμμικό μοντέλο της effective resistance με κωδικό 121 και της πραγματικής απόστασης, βλέπουμε τα σημεία να συγκεντρώνονται κοντά στη κόκκινη γραμμή (Εικόνα 3-14).



Εικόνα 3-14 Το γραμμικό μοντέλο της πραγματικής απόστασης σε σχέση με την ουσιαστική αντίσταση από την επιφάνεια αντιστάσεων 2-1, για το 1ο εικονικό είδος

Παρατηρούμε ότι τα δίκτυα για το 1^ο εικονικό είδος είναι τα μόνα συνδετικά δίκτυα, δηλαδή από κάθε περιοχή υπάρχει μονοπάτι που να μας οδηγεί σε μια άλλη. Τα δίκτυα είναι πυκνά (41%-66%), υποδηλώνοντας πολύ καλή συνδεσιμότητα, ενώ και το δίκτυο τους με βάρος τη πραγματική απόσταση είναι επίσης πυκνό (47%), χάρη στις μεγάλες ικανότητες διασποράς τους (Πίνακας 3-2).

Αντίθετα, για τα άλλα δυο εικονικά είδη, δεν έχουμε συνδετικά δίκτυα. Ωστόσο η γιγάντια συνιστώσα (ΓΣ), που συγκροτεί τους κόμβους του δικτύου που αποτελούν συνδετικό υποδίκτυο, έχει τη μεγαλύτερη πλειοψηφία των κόμβων σε κάθε περίπτωση (>91% των κόμβων). Για το εκθετικό σενάριο με μεγάλες τιμές αντιστάσεων βλέπουμε τις πυκνότητες των δικτύων αισθητά χαμηλότερες σε σχέση με τα άλλα σενάρια. Ιδιαίτερα για τα δίκτυα με βάρος την πραγματική απόσταση, το πλήθος των συνδέσεων πέφτει πολύ χαμηλά, καθιστώντας αυτά τα δίκτυα ως μη – εύρωστα.

Πίνακας 3-2 Πληροφορίες για τα δίκτυα ΠΠ που κατασκευάστηκαν από τις ουσιαστικές
αντιστάσεις, αλλά και τη πραγματική απόσταση.

Δίκτυο	ΠΠ	Συνδέσεις	Συνδετικό	Πυκνότητα	Συνιστώσες	Κόμβοι ΓΣ	Κόμβοι ΓΣ (%)
111	22	133	Ναι	0.575757576	1	22	100
112	22	130	Ναι	0.562770563	1	22	100
121	22	153	Ναι	0.662337662	1	22	100
122	22	151	Ναι	0.653679654	1	22	100
131	22	94	Ναι	0.406926407	1	22	100
132	22	96	Ναι	0.415584416	1	22	100
211	61	1152	Όχι	0.629508197	3	59	96.7213
212	61	1227	Όχι	0.670491803	3	59	96.7213
221	61	1224	Όχι	0.668852459	3	59	96.7213
222	61	1355	Όχι	0.740437158	2	60	98.3607
231	61	562	Όχι	0.307103825	3	59	96.7213
232	61	613	Όχι	0.334972678	3	59	96.7213
311	90	2137	Όχι	0.533583021	6	85	94.4444
312	90	2242	Όχι	0.55980025	6	85	94.4444
321	90	2333	Όχι	0.582521848	6	85	94.4444
322	90	2559	Όχι	0.638951311	5	86	95.5556
331	90	974	Όχι	0.243196005	9	82	91.1111
332	90	1058	Όχι	0.264169788	8	83	92.2222
Αποστ1	22	109	Ναι	0.471861472	1	22	100
Αποστ2	61	33	Όχι	0.018032787	35	7	11.4754
Αποστ3	90	106	Όχι	0.026466916	25	33	36.6667



Η μελέτη της συνδεσιμότητας ΠΠ μέσω της θεωρίας κυκλωμάτων ανάδειξε κάποια αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Παρατηρήθηκαν διακριτοί διάδρομοι επικοινωνίας πάνω στη περιοχή μελέτης και είδαμε πιο ισχυρά σε συνδεσιμότητα δίκτυα μέσω του νέου μέτρου απόστασης της ουσιαστικής αντίστασης. Για το 1^ο εικονικό είδος, η ουσιαστική αντίσταση δε διέφερε πολύ από την πραγματική απόσταση, ωστόσο για τα δυο άλλα εικονικά είδη υπήρχε μεγάλη διαφοροποίηση, κάτι που έγινε αντιληπτό από τη πυκνότητα των δικτύων. Τα διαφορετικά σενάρια αντιστάσεων παρέδωσαν συσχετισμένες ουσιαστικές αντιστάσεις, παρά τις διαφοροποιήσεις στις τιμές των μεταβλητών, κάτι που προσδίδει συνοχή στις παραμετροποιήσεις των επιφανειών αντιστάσεων.

Η μέθοδος των ηλεκτρικών κυκλωμάτων λαμβάνει υπόψιν τη δυσκολία της μετακίνησης του οργανισμού από τη μια περιοχή στην άλλη με βάση διάφορους παραμέτρους όπως η χρήση γης και η ανθρώπινη παρέμβαση. Χωρίζοντας την περιοχή μελέτης μας σε κελιά τα οποία παίρνουν τιμές αντιστάσεων, ανάλογα με τη δυσκολία που παρουσιάζουν για τη μετακίνηση των οργανισμών, μας παρέχει ως αποτέλεσμα χάρτες που φανερώνουν διαδρόμους επικοινωνίας των περιοχών, καθώς και τα κομμάτια του χάρτη που δε χρησιμοποιούνται τόσο στη μετακίνηση των ειδών. Επιπλέον, μας παρέχει ένα νέο δείκτη απόστασης για τα ζεύγη ΠΠ, την ουσιαστική αντίσταση, ένας δείκτης βασισμένος στη θεωρία κυκλωμάτων, ο οποίος έχει το μεγάλο πλεονέκτημα να συνυπολογίζει όλα τα πιθανά μονοπάτια από τη μια περιοχή στην άλλη, δίνοντας έτσι μεγάλη έμφαση στο πλήθος των επιλογών για τη μετακίνηση, σε αντίθεση με τα μονοπάτια ελάχιστου κόστους, τα οποία εστιάζουν σε ένα και μόνο μονοπάτι. Έτσι, έχουμε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση για τη συνδεσιμότητα των περιοχών αυτών.

Αντί να επιλέξουμε συγκεκριμένα είδη για να μελετήσουμε τη συνδεσιμότητα για αυτά, επιλέχθηκαν εικονικά είδη, δηλαδή ομάδες ειδών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που μπορούν να συμπεριλάβουν πολλά είδη για την ανάλυση. Η επιλογή των τριών αυτών εικονικών ειδών έγινε με κάποιους συγκεκριμένους οργανισμούς που ξεχώριζαν στις διατροφικές συνήθειες, στη συμπεριφορά τους σε συγκεκριμένες χρήσεις γης, στο βάρος τους, αλλά και στις ικανότητες διασποράς τους. Σε αυτά τα εικονικά είδη μπορούν να συμπεριληφθούν και άλλοι οργανισμοί με παρόμοια χαρακτηριστικά και επομένως τα εξαγόμενα αποτελέσματα να έχουν χρήση και για αυτά. Συνεπώς, η επιλογή εικονικών ειδών μας δίνει μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με την επιλογή

συγκεκριμένων οργανισμών, στην οποία περίπτωση θα χρειαζόταν εκτενέστερη μελέτη και λεπτομέρεια για τη συμπεριφορά τους σε διάφορες χρήσεις γης, αλλά και για τα χαρακτηριστικά τους. Προφανώς τα ακριβή βιολογικά δεδομένα που αφορούν στη συμπεριφορά και βιολογία των οργανισμών εμπεριέχουν περισσότερη ακρίβεια, όπως δεδομένα παρουσίας οργανισμών ή μονοπατιών που ακολουθούν, εδώ δεν είναι απαραίτητη, και μπορούμε να κινηθούμε με τη «γνώμη του ειδικού» για τη κοστολόγηση της αντίστασης. Τα βιολογικά δεδομένα παρέχουν περισσότερη ακρίβεια, αλλά η δυσκολία συλλογής ικανοποιητικού όγκου σχετικής πληροφορίας οδηγεί στην ανάγκη ποιοτικής αξιολόγησης της χρήσης του χώρου (Zeller, McGarigal, & Whiteley, 2012).

Εναλλακτικές τεχνικές που έχουν προταθεί για τον μετριάσμό της αβεβαιότητας που προκύπτει από την έλλειψη πληροφορίας αφορούν στη σύγκριση και συνδυασμό θεωρίας κυκλωμάτων και μονοπατιών ελαχίστου κόστους (St-Louis, et al., 2014), ή και στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης με τα παρατηρούμενα μονοπάτια που προκύπτουν από τηλεμετρικά δεδομένα (McClure, Hansen, & Inman, 2016).

Η επιλογή των ΠΠ για κάθε είδος έγινε σύμφωνα με τον δείκτη MAR και έτσι οι επιλογές ήταν πολύ περιορισμένες σε σχέση με το αρχικό πλήθος περιοχών. Μικρότερες σε έκταση περιοχές θα μπορούσαν να αποτελέσουν περιοχές μετάβασης - ενδιάμεσους σταθμούς σύνδεσης (stepping stone) για τη μετακίνηση των ειδών σε μεγαλύτερες περιοχές, αλλά σε αυτή τη μελέτη έγινε εστίαση σε περιοχές κατάλληλες για τη διαμονή των ειδών.

Η κατάλληλη επιλογή των επιφανειών αντιστάσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, όπου δεν υπάρχει κάποιος κανόνας που να υποδεικνύει τι είναι σωστό και τι λάθος. Ο σκοπός ήταν να δοκιμαστούν διάφορες επιφάνειες αντιστάσεων και να δούμε τα αποτελέσματα για κάθε μια από αυτή. Αρχικά, μεγάλο ρόλο για μια επιφάνεια αντίστασης παίζουν οι μεταβλητές που την απαρτίζουν. Στη προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκαν μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο τη μετακίνηση ενός οργανισμού, όπως είναι η χρήση της γης, αλλά και η ανθρώπινη παρέμβαση, μέσω του δείκτη τεχνικότητας που κατασκευάστηκε, αλλά και της πυκνότητας δρόμων. Η φυσική χρήση της γης είναι η βασικότερη από όλες τις μεταβλητές και συναντάται σε όλες τις παρόμοιες μελέτες. Η ανθρώπινη παρέμβαση παίζει επίσης μεγάλο ρόλο και σε πολλές μελέτες παρουσιάζεται τουλάχιστον μια μεταβλητή που να προσδιορίζει την ανθρώπινη ύπαρξη και παρέμβαση (Farhadinia, et al., 2015; Ziolkowska, et al., 2016; Dickson, et al, 2013; Jackson, et al., 2016).

Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει και η απόσταση κάθε κελιού από μια ΠΠ – κατάλυμα για τον οργανισμό, έτσι δόθηκε και εκεί έμφαση, όπως και σε άλλη μελέτη (Grafius, et al., 2017), όπως και η απόσταση από τα ποτάμια, καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη βιολογική αξία στο ενδιαίτημα. Άλλες μεταβλητές όπως το υψόμετρο ή η κλίση, δε θεωρήθηκαν τόσο μεγάλος παράγοντας – εμπόδιο για τη μετακίνηση των συγκεκριμένων εικονικών ειδών και έτσι δε προστέθηκαν στην ανάλυση.

Οι επιφάνειες αντιστάσεων κατασκευάστηκαν με δυο διαφορετικά κριτήρια, το πρώτο να είναι οι τιμές που θα δοθούν στις αντιστάσεις, ενώ το δεύτερο τα βάρη των μεταβλητών σε κάθε επιφάνεια, δηλαδή το κατά πόσο σημαντική είναι μια μεταβλητή για τη μετακίνηση του οργανισμού. Κατασκευάστηκαν έξι διαφορετικές επιφάνειες για κάθε οργανισμό, παρέχοντας μας μια ποικιλομορφία όσον αφορά την δυσκολία της μετακίνησης του οργανισμού πάνω στην περιοχή μελέτης μας. Η υψηλή συσχέτιση των τελικών αποτελεσμάτων του ρεύματος στα κελιά είναι ένα πολύ καλό δείγμα της καλής κατασκευής αυτών των επιφανειών, μιας και η διαφοροποίηση των τιμών δεν αλλάζει ουσιαστικά το τελικό αποτέλεσμα. Έχουν πραγματοποιηθεί παρόμοιες μελέτες όπου δοκιμάστηκαν παραμετροποιήσεις στις επιφάνειες αντιστάσεων, παραμετροποιώντας αρχικά τα δεδομένα, είτε με ομαδοποίηση τιμών σε κλάσεις και σύγκριση με τα συνεχή δεδομένα, είτε στη κλίμακα ανάλυσης (Zeller, et al., 2017).

Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορούν να κατασκευαστούν πολλές επιφάνειες αντιστάσεων, με διαφορετικές μεταβλητές και διαφορετικά βάρη σε αυτές, ωστόσο οι συγκεκριμένες καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος των διαφόρων τεχνικών κατασκευής επιφανειών.

Από τη μελέτη των τιμών του ρεύματος για κάθε επιφάνεια, είδαμε ότι υπάρχουν πολλά παράτυπα σημεία με υψηλότερο ρεύμα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Τα κελιά με αυτές τις ποσότητες συνιστούν διαδρόμους επικοινωνίας μεταξύ των ΠΠ. Αυτά τα μονοπάτια είναι η πιο πιθανή επιλογή των ειδών για τη μετακίνηση τους από τη μια περιοχή στην άλλη.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις επιφάνειες κατασκευάσαμε μια νέα επιφάνεια για κάθε οργανισμό, που αποτελούνταν από το μέσο όρο των έξι προηγούμενων. Έτσι, έχοντας και αυστηρά αλλά και πιο ήπια σενάρια για τις αντιστάσεις, έχουμε μια γενική εικόνα για τη μετακίνηση των εικονικών ειδών πάνω στην περιοχή μελέτης. Συγκρίναμε χάρτες ρεύματος διαφορετικών οργανισμών με τη μέθοδο της κανονικοποίησης του ρεύματος και φτιάξαμε ένα καθολικό χάρτη συνδεσιμότητας από τις τρεις τελικές επιφάνειες ανά εικονικό είδος. Ένας άλλος τρόπος κανονικοποίησης του ρεύματος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι η μέθοδος των z-scores, όπου για κάθε τιμή του ρεύματος, φτιάχνουμε μια νέα τιμή, ως τη διαφορά της τιμής του ρεύματος από τη μέση

τιμή του ρεύματος, διαιρεμένη με τη τυπική απόκλιση του (Bowman & Cordes, 2015). Ο χάρτης ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο με τους προηγούμενους, κάτι που φανερώνει την ισορροπία των αποτελεσμάτων μας.

Πολύ σημαντικά είναι και τα αποτελέσματα των δικτύων που συνιστούν οι περιοχές. Είναι φανερό ότι με το μέτρο της ουσιαστικής αντίστασης έχουμε πολύ πιο ισχυρά ως προς τη συνδεσιμότητα δίκτυα, ενώ με μέτρο την πραγματική απόσταση οι συνδέσεις είναι πολύ λιγότερες, ιδιαίτερα στη περίπτωση του 2^{ου} και του 3^{ου} εικονικού είδους. Το κατώφλι που επιλέχθηκε για να κατασκευαστούν αυτά τα δίκτυα προέρχεται από εμπειρική προσέγγιση, ωστόσο είναι μια τιμή όπου οι αντιστάσεις θεωρούνται χαμηλές και επιτρέπουν τη συνδεσιμότητα από τη μια περιοχή στην άλλη.

Η διαφορετικότητα της ουσιαστικής απόστασης σε σχέση με τη πραγματική απόσταση γίνεται ακόμη πιο αισθητή και από τον δείκτη συσχέτισης. Για το πρώτο εικονικό είδος των λύκων είχαμε υψηλή συσχέτιση, καθώς αυτό το είδος πήρε πολύ χαμηλές αντιστάσεις στη μεταβλητή της απόστασης από ΠΠ, και έτσι δεν είχε ιδιαίτερα προβλήματα συνδεσιμότητας. Ωστόσο για τα άλλα δυο εικονικά είδη είχαμε πολύ χαμηλή συσχέτιση, κάτι που έγινε και εμφανές από τη σύγκριση των δικτύων ουσιαστικής αντίστασης και απόστασης. Παίρνοντας ως μέτρο τη πραγματική απόσταση, η οποία είναι ένα συγκεκριμένο μονοπάτι, θα λέγαμε ότι το δίκτυο αυτών των ειδών δεν είναι καλά συνδεμένο, με μέτρο όμως την ουσιαστική απόσταση έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

Οι διάδρομοι επικοινωνίας που εξάχθηκαν από τους αθροιστικούς χάρτες ρεύματος μεταξύ των ΠΠ παίζουν καθοριστικό ρόλο για την μετακίνηση, αλλά και για τη διατήρηση των ειδών. Το κομμάτι γης που καλύπτουν χρίζει προστασίας από το κράτος για να διατηρηθεί αυτή η συνδεσιμότητα. Σε εκείνες τις περιοχές θα πρέπει να αποφευχθεί η τεχνική παρέμβαση του ανθρώπου με μεγάλα έργα υποδομής, όπως αυτοκινητόδρομοι ή σιδηροδρομικές γραμμές, αλλά και κατασκευή εργοστασίων που μπορούν να πλήξουν το ενδιαίτημα της περιοχής. Οι δραστηριότητες που επιφέρουν αλλαγή στο φυσικό τοπίο, όπως ρίψη αποβλήτων, αλλά και η εκμετάλλευση αυτού του κομματιού για την απόκτηση υλικών αγαθών, όπως υλοτομία, θα πρέπει να σταματήσουν.

Ακόμη περισσότερο, θα πρέπει η ήδη υπάρχουσα προστασία της βιοποικιλότητας να ενισχυθεί. Οι περισσότερες από τις ΠΠ είναι μικρές σε έκταση, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να στεγάσουν ένα μεγάλο πληθυσμό από συγκεκριμένα είδη. Η αύξηση της έκτασης αυτών, αλλά και προσθήκη περισσότερων περιοχών για προστασία θα βοηθήσει ποιοτικά τη προστασία των ειδών. Περισσότερες περιοχές σημαίνει

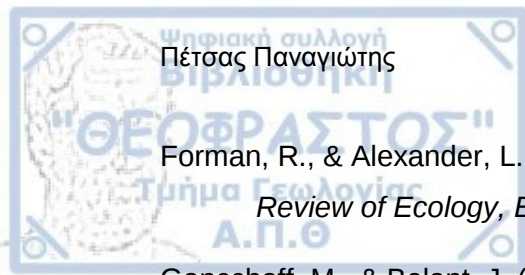
περισσότερος χώρος για τους οργανισμούς, καθώς και μικρότερη ανάγκη διασποράς για αυτούς από τη μια περιοχή στην άλλη. Ιδιαίτερα, σε μια ενδεχόμενη αλλαγή του τοπίου, είτε από φυσικές, είτε από ανθρωπογενείς καταστροφές, οι οργανισμοί θα είναι σε θέση να βρουν έγκαιρα νέο καταφύγιο. Έμφαση πρέπει να δοθεί και στη προστασία του ενδιαιτήματος εντός περιοχών, τόσο για τον περιορισμό ανθρωπίνων παρεμβάσεων, όσο και μετριασμό κίνδυνων που προκύπτουν από αλλοιώσεις φυσικών διαδικασιών. Εάν κριθεί απαραίτητο, θα μπορούσαν να προσαρμοστούν περιοχές αποκλειστικά για τη προστασία συγκεκριμένων ειδών ή τύπου ενδιαιτήματος.

Ως μελλοντική έρευνα για τη συνδεσιμότητα, υπάρχουν διάφορες πτυχές που θα μπορούσαν να διερευνηθούν και να μελετηθούν. Αρχικά, θα είχε ενδιαφέρον η μελέτη και άλλων ειδών, είτε πραγματικών είτε εικονικών, στη νότια περιοχή των Βαλκανίων. Με μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη, η μελέτη θα μπορούσε να γίνει σε μικρότερη κλίμακα, δίνοντας έτσι καλύτερη εικόνα για τη συνδεσιμότητα και για τους διαδρόμους επικοινωνίας που παρατηρούνται. Με επίκεντρο κάποιο πραγματικό είδος και τη χρήση βιολογικών δεδομένων για αυτό, θα μπορούσε να μελετηθεί η συνδεσιμότητα αποκλειστικά γι' αυτό, εάν αυτό το είδος κρίνεται ως απειλούμενο, και να εντοπιστούν, αλλά και να προστατεύουν οι διάδρομοι επικοινωνίας του από περιοχή σε περιοχή. Μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη της συνδεσιμότητας σε χρονική κλίμακα, καθώς η χρήση γης ενδέχεται μελλοντικά να αλλάξει σε διάφορα σημεία των περιοχών. Με κάποια πιθανά σενάρια για τη μελλοντική χρήση γης, όπως η κατασκευή δρόμων, η οικοδόμηση εργοστασίων, ή κάποιο θετικότερο σενάριο όπως προστασία κομματιών γης, μπορούμε να συγκρίνουμε τη μελλοντική συνδεσιμότητα με τη παρούσα (Lechner, et al., 2015). Τέλος, η συνδεσιμότητα θα μπορούσε να μελετηθεί και από τη σκοπιά άλλων μεταβλητών, ανάλογα με το είδος, και να συγκριθούν τα νέα αποτελέσματα με παλαιότερες έρευνες.



Πέτσας Παναγιώτης

- Beazley, K., Snaith, T., Mackinnon, F., & Colville, D. (2004). Road density and potential impacts on wildlife species such as american moose in mainland Nova Scotia. *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science* 42, 339-357.
- Boulanger, J., & Stenhouse, G. B. (2014). The Impact of Roads on the Demography of Grizzly Bears in Alberta. *PLoS ONE* 9: e115535.
- Bowman, J., & Cordes, C. (2015). Landscape connectivity in the Great Lakes Basin. *figshare* <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1471658>, σ. 45.
- Bowman, J., Jaeger, J., & Fahrig, L. (2002). Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology*, 83, 2049-2055.
- Carnes, R. (2011). *Mexican wolf recovery: habitat suitability and dispersal potential*. MSc Thesis: Nicholas School of the Environment of Duke University.
- Dickson, B. G., Roemer, G., McRae, B., & Rundall, J. (2013). Models of Regional Habitat Quality and Connectivity for Pumas (*Puma concolor*) in the Southwestern United States. *PLoS ONE* 8: e81898.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2015). ArcMap 10.4.
- European Environment Agency. (2010). *European Digital Elevation Model, version 1.1*. From Copernicus Land Monitoring Service: <https://land.copernicus.eu/pan-european/satellite-derived-products/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=mapview>
- European Environment Agency. (2012). *Copernicus CORINE Land Cover*. From Copernicus Land Monitoring Service: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012?tab=mapview>
- Eurostat Geodata. (2015). *Eurostat*. From Eurostat: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>
- Farhadinia, M., Ahmadi, M., Sharbafi, E., Khosravi, S., Alinezhad, H., & Macdonald, D. (2015). Leveraging trans-boundary conservation partnerships: Persistence of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in the Iranian Caucasus. *Biological Conservation* 191, 770-778.



Forman, R., & Alexander, L. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 29, 207-231.

Gancchoff, M., & Belant, J. (2017). Regional connectivity for recolonizing American black bears (*Ursus americanus*) in southcentral USA. *Biological Conservation* 214, 66-75.

Geofabrik Open Street Data. (2015). *OpenStreetMap data*. From Geofabrik:
<http://download.geofabrik.de/europe.html>

Grafius, D., Corstanje, R., Siriwardena, G., Plummer, K., & Harris, J. (2017). A bird's eye view: using circuit theory to study urban landscape connectivity for birds. *Landscape Ecology* 32, 1771-1787.

Hepcan, S., Hepcan, C., Bouwma, I., Jongman, R., & Ozkan, M. (2008). Ecological networks as a new approach for nature conservation in Turkey: A case study of I'zmir Province. *Landscape and Urban Planning* 90, 143-154.

Jackson, C., Marnewick, K., Lindsey, P., Røskaft, E., & Robertson, M. (2016). Evaluating habitat connectivity methodologies: a case study with endangered African wild dogs in South Africa. *Landscape Ecology* 31, 1433-1447.

Lechner, A., Harris, R., Doerr, V., Doerr, E., Drielsma, M., & Lefroy, E. (2015). From static connectivity modelling to scenario-based planning at local and regional scales. *Journal for Nature Conservation* 28, 78-88.

McClure, M., Hansen, A., & Inman, R. (2016). Connecting models to movements: testing connectivity model predictions against empirical migration and dispersal data. *Landscape Ecology* 31, 1419-1432.

McRae, B. (2006). Isolation By Resistance. *Evolution* 60, 1551-1561.

McRae, B., Dickson, B., Keitt, T., & Shah, V. (2008). Using Circuit Theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Ecology* 89, 2712-2724.

McRae, B., Shah, V., & Mohapatra, T. (2013). *Circuitscape 4 user guide*. From The Nature Conservancy: <http://www.circuitscape.org>

Palmer, S., Coulon, A., & Travis, J. (2011). Introducing a 'stochastic movement simulator' for estimating habitat connectivity. *Methods in Ecology and Evolution* 2, 258-268.

Pe'er, G., Tsianou, M., Franz, K., Matsinos, Y., Mazaris, A., Storch, D., . . . Henle, K. (2014). Toward better application of minimum area requirements in conservation planning. *Biological Conservation* 170, 92-102.

Perez - Espona, Perez - Barberia, McLeod, Jiggins, Gordon, & Pemberton. (2008). Landscape features affect gene flow of Scottish Highland red deer (*Cervus elaphus*). *Molecular Ecology* 17, 981-996.

R Core Team. (2013). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83, 91-103.

Seiler, A. (2001). *Ecological effects of roads: a review*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.

St-Louis, V., Forester, J., Pelletier, D., Belisle, M., Desrochers, A., Rayfield, B., . . . Cardille, J. (2014). Circuit theory emphasizes the importance of edge-crossing decisions in dispersal-scale movements of a forest passerine. *Landscape Ecology* 29, 831-841.

Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68, 571-573.

Wydeven, A., Mladenoff, D., Sickley, T., Kohn, B., Thiel, R., & Hansen, J. (2001). Road Density as a Factor in Habitat Selection by Wolves and Other Carnivores in the Great Lakes Region. *Endangered Species Update*:18, 18-22.

Zeller, K., McGarigal, K., & Whiteley, A. (2012). Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology* 27, 777-797.

Zeller, K., McGarigal, K., Cushman, S., Beier, P., Vickers, T., & Boyce, W. (2017). Sensitivity of resource selection and connectivity models to landscape definition. *Landscape Ecology* 32, 835-855.

Ziółkowska, E., Perzanowski, K., Bleyhl, B., Ostapowicz, K., & Kuemmerle, T. (2016). Understanding unexpected reintroduction outcomes: Why aren't European



Πέτσας Παναγιώτης

bison colonizing suitable habitat in the Carpathians? *Biological Conservation* 195, 106-117.

I. Παράρτημα

Πίνακας I-1 Τα στατιστικά των αθροιστικών χαρτών ρεύματος για το 1ο εικονικό είδος.

	111	112	121	122	131	132
Ελάχιστο	0	0	0	0	0	0
1 ^ο Τεταρτημόριο	0.145047	0.142313	0.136561	0.132249	0.068324	0.065688
Διάμεσος	0.309944	0.307035	0.300939	0.295642	0.210852	0.209073
Μέση τιμή	0.393152	0.393567	0.391577	0.3942	0.415674	0.415115
Τυπ. Απόκλιση	0.390851	0.395467	0.383672	0.395455	0.532666	0.534525
3 ^ο Τεταρτημόριο	0.495654	0.495251	0.508573	0.511348	0.569927	0.572352
Μέγιστο	7.012724	6.77105	5.725632	5.860221	7.74143	7.801514
Ενδοτ. Πλάτος	0.350607	0.352938	0.372013	0.379098	0.501603	0.506663
Κάτω φράχτης	-0.38086	-0.38709	-0.42146	-0.4364	-0.68408	-0.69431
Άνω φράχτης	1.021565	1.024658	1.066592	1.079995	1.322332	1.332347

Πίνακας I-2 Τα στατιστικά των αθροιστικών χαρτών ρεύματος για το 2ο εικονικό είδος.

	211	212	221	222	231	232
Ελάχιστο	0	0	0	0	0	0
1 ^ο Τεταρτημόριο	1.413334	1.422362	1.422028	1.374203	0.725787	0.693464
Διάμεσος	2.536534	2.561829	2.617792	2.629305	1.90895	1.92974
Μέση τιμή	3.320747	3.314483	3.288659	3.296373	3.510708	3.514349
Τυπ. Απόκλιση	3.061394	3.008767	2.826757	2.814927	4.385697	4.340378
3 ^ο Τεταρτημόριο	4.220312	4.230397	4.331307	4.413671	4.641249	4.71156
Μέγιστο	50.33323	51.6794	51.9446	53.21807	71.08459	68.62843
Ενδοτ. Πλάτος	2.806978	2.808035	2.909279	3.039468	3.915462	4.018096
Κάτω φράχτης	-2.79713	-2.78969	-2.94189	-3.185	-5.14741	-5.33368
Άνω φράχτης	8.430779	8.44245	8.695225	8.972873	10.51444	10.7387

Πίνακας Ι-3 Τα στατιστικά των αθροιστικών χαρτών ρεύματος για το 3ο εικονικό είδος.

	311	312	321	322	331	332
Ελάχιστο	0	0	0	0	0	0
1 ^ο Τεταρτημόριο	3.929421	3.976253	3.894633	3.816165	2.120593	2.041055
Διάμεσος	6.201262	6.251262	6.385996	6.417082	4.966679	4.959604
Μέση τιμή	7.917561	7.895706	7.843891	7.85934	8.400766	8.406169
Τυπ. Απόκλιση	6.642388	6.54009	6.133409	6.124154	9.592493	9.592266
3 ^ο Τεταρτημόριο	9.801573	9.752211	9.988711	10.14951	11.31841	11.45004
Μέγιστο	121.0863	115.5072	76.93629	78.89501	147.5011	145.2315
Ενδοτ. Πλάτος	5.872152	5.775958	6.094078	6.333345	9.197817	9.408985
Κάτω φράχτης	-4.87881	-4.68768	-5.24648	-5.68385	-11.6761	-12.0724
Άνω φράχτης	18.6098	18.41615	19.12983	19.64953	25.11514	25.56352

Πίνακας Ι-4 Τα στατιστικά των θηκογραμμάτων για τους τελικούς αθροιστικούς χάρτες κανονικοποιημένου ρεύματος ανα εικονικό είδος.

	1	2	3
Ελάχιστο	0	0	0
1 ^ο Τεταρτημόριο	0.000543	0.000694	0.000888
Διάμεσος	0.001289	0.001364	0.001523
Μέση τιμή	0.001734	0.001844	0.002011
Τυπ. Απόκλιση	0.001788	0.001775	0.001766
3 ^ο Τεταρτημόριο	0.002253	0.00239	0.002559
Μέγιστο	0.023775	0.0295	0.023027
Ενδοτ. Πλάτος	0.001709	0.001697	0.001671
Κάτω φράχτης	-0.00202	-0.00185	-0.00162
Άνω φράχτης	0.004817	0.004935	0.005066

Πίνακας Ι-5 Τα στατιστικά του θηκογράμματος για τον καθολικό χάρτη κανονικοποιημένου ρεύματος.

Συνδ. Χάρτης	
Ελάχιστο	0
1 ^ο Τεταρτημόριο	0.000744
Διάμεσος	0.001394
Μέση τιμή	0.001863
Τυπ. Απόκλιση	0.001715
3 ^ο Τεταρτημόριο	0.002385
Μέγιστο	0.021534
Ενδοτ. Πλάτος	0.001641
Κάτω φράχτης	-0.00172
Άνω φράχτης	0.004847

Πίνακας Ι-6 Στατιστικά της ουσιαστικής αντίστασης και της πραγματικής απόστασης μεταξύ ΠΠ για το 1ο εικονικό είδος.

	Απόσταση	111	112	121	122	131	132
Ελάχιστο	47.97056	0.071502	0.069821	0.06318	0.061014	0.065807	0.063575
1 ^ο Τεταρτημόριο	196.6457	5.18243	5.208872	4.340515	4.421912	6.567504	6.219098
Διάμεσος	317.8112	9.153351	9.088611	7.796531	7.74291	12.07879	11.50705
Μέση τιμή	348.7129	9.683725	9.728523	8.32023	8.361206	12.96191	12.45547
Τυπ. Απόκλιση	182.8313	5.712178	5.771762	4.94104	5.003083	8.10917	7.877671
3 ^ο Τεταρτημόριο	472.1173	13.1189	13.16781	11.25557	11.29495	17.84135	17.21211
Μέγιστο	814.9941	25.766	25.96129	22.27646	22.52465	34.83917	33.54681
Ενδοτ. Πλάτος	275.4716	7.936466	7.958937	6.915055	6.873036	11.27385	10.99301
Κάτω φράχτης	-216.562	-6.72227	-6.72953	-6.03207	-5.88764	-10.3433	-10.2704
Άνω φράχτης	885.3247	25.02359	25.10622	21.62815	21.6045	34.75212	33.70163

Πίνακας Ι-7 Στατιστικά της ουσιαστικής αντίστασης και της πραγματικής απόστασης μεταξύ ΠΠ για το 2ο εικονικό είδος.

	Απόσταση	211	212	221	222	231	232
Ελάχιστο	16.65685	0.070281	0.068393	0.062474	0.059891	0.065837	0.063594
1 ^ο Τεταρτημόριο	193.8221	5.050713	4.779006	4.722309	4.238156	8.67468	7.87805
Διάμεσος	321.7239	8.182811	7.763727	7.85824	6.978338	15.91776	14.57961
Μέση τιμή	342.0644	10.23975	9.697	9.243774	8.359583	18.65235	17.20372
Τυπ. Απόκλιση	185.6236	9.678868	9.072718	7.369419	6.795006	14.00991	13.04787
3 ^ο Τεταρτημόριο	464.2247	11.90784	11.30505	11.27523	10.08165	23.7771	21.81581
Μέγιστο	828.7809	59.61465	56.10769	44.82801	41.712	79.70139	74.84843
Ενδοτ. Πλάτος	270.4025	6.85713	6.526045	6.552919	5.843495	15.10242	13.93776
Κάτω φράχτης	-211.782	-5.23498	-5.01006	-5.10707	-4.52709	-13.979	-13.0286
Άνω φράχτης	869.8285	22.19354	21.09412	21.1046	18.84689	46.43074	42.72246

Πίνακας Ι-8 Στατιστικά της ουσιαστικής αντίστασης και της πραγματικής απόστασης μεταξύ ΠΠ για το 3ο εικονικό είδος.

	Απόσταση	311	312	321	322	331	332
Ελάχιστο	12	0.070279	0.068392	0.062362	0.059821	0.065818	0.063582
1 ^ο Τεταρτημόριο	201.7523	5.901673	5.625512	5.384828	4.92282	10.26594	9.54534
Διάμεσος	340.5219	9.557754	9.163154	8.8384	8.083579	17.98027	16.79796
Μέση τιμή	367.2241	12.29628	11.74856	11.22059	10.30703	25.91705	24.4897
Τυπ. Απόκλιση	204.4262	10.4698	9.924602	9.057877	8.343026	25.37539	24.46081
3 ^ο Τεταρτημόριο	507.0975	14.53204	13.90366	13.44202	12.37858	29.98577	28.403
Μέγιστο	959.0773	86.9513	82.21497	72.32007	66.74935	201.1313	196.8699
Ενδοτ. Πλάτος	305.3452	8.630365	8.278149	8.057191	7.455756	19.71983	18.85766
Κάτω φράχτης	-256.266	-7.04387	-6.79171	-6.70096	-6.26081	-19.3138	-18.7412
Άνω φράχτης	965.1154	27.47759	26.32089	25.5278	23.56221	59.56551	56.6895

Πίνακας I-9 Συσχέτιση Pearson μεταξύ ουσιαστικών αντιστάσεων για το 1ο εικονικό είδος.

	111	112	121	122	131	132
111	1	0.999586	0.999359	0.997507	0.985674	0.981212
112	0.999586	1	0.999668	0.998982	0.98876	0.985126
121	0.999359	0.999668	1	0.999153	0.989185	0.985409
122	0.997507	0.998982	0.999153	1	0.992065	0.989455
131	0.985674	0.98876	0.989185	0.992065	1	0.999555
132	0.981212	0.985126	0.985409	0.989455	0.999555	1

Πίνακας I-10 Συσχέτιση Pearson μεταξύ ουσιαστικών αντιστάσεων για το 2ο εικονικό είδος.

	211	212	221	222	231	232
211	1	0.99985	0.990335	0.991365	0.926754	0.922358
212	0.99985	1	0.991651	0.992934	0.931609	0.927572
221	0.990335	0.991651	1	0.999449	0.961833	0.957295
222	0.991365	0.992934	0.999449	1	0.964033	0.960387
231	0.926754	0.931609	0.961833	0.964033	1	0.999541
232	0.922358	0.927572	0.957295	0.960387	0.999541	1

Πίνακας I-11 Συσχέτιση Pearson μεταξύ ουσιαστικών αντιστάσεων για το 3ο εικονικό είδος.

	311	312	321	322	331	332
311	1	0.999622	0.98483	0.98499	0.868474	0.854786
312	0.999622	1	0.987294	0.988315	0.878648	0.865793
321	0.98483	0.987294	1	0.99884	0.928273	0.915834
322	0.98499	0.988315	0.99884	1	0.935033	0.924255
331	0.868474	0.878648	0.928273	0.935033	1	0.99916
332	0.854786	0.865793	0.915834	0.924255	0.99916	1

