



ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

*Αξιολόγηση της επίδρασης του οδικού δικτύου στην πτηνοπανίδα
της Κύπρου*

Κωνσταντίνος Κωνσταντόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής
Ιωάννης Βογιατζάκης

Αύγουστος 2015

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αξιολόγηση της επίδρασης του οδικού δικτύου στην πτηνοπανίδα της Κύπρου

Κωνσταντίνος Κωνσταντόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής
Ιωάννης Βογιατζάκης

Αύγουστος 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	6
Summary	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Περιγραφή του θέματος.....	8
1.2 Καταγραφή του προβλήματος	8
1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης	9
1.4 Σκοποί και στόχοι	10
1.5 Ορολογία-επεξηγήσεις	11
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	12
2.1 Οικολογία δρόμων-ιστορική αναδρομή	12
2.2 Κατάτμηση τοπίου και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον	14
2.3 Συνέπειες του οδικού δικτύου σε πληθυσμούς πτηνών	19
2.2.1 Άμεσες απειλές στα πτηνά εξαιτίας των δρόμων και της κυκλοφορίας.....	20
2.2.2 Έμμεσες απειλές στα πτηνά εξαιτίας των δρόμων και της κυκλοφορίας.....	22
2.4 Γενικές αρχές των επιπτώσεων του θορύβου στα πτηνά	25
2.5 Επιπτώσεις του θορύβου των αυτοκινητόδρομων στα πτηνά	27
2.5.1 Πτηνά και οδικός θόρυβος.....	27
2.5.2 Μακροπρόθεσμες προσαρμογές στην κάλυψη λόγω θορύβου	31
2.5.3 Βραχυπρόθεσμες προσαρμογές στην κάλυψη λόγω θορύβου	32
2.5.4 Ορισμός των κατευθυντήριων γραμμών των επιπτώσεων.....	33
2.6 Η σημασία των περιοχών χωρίς δρόμους ή με δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας στη διατήρηση της βιοποικιλότητας.....	35
2.7 Έρευνα σε Ελλάδα-Κύπρο	37
2.8 Διεθνής έρευνα.....	38
3. Μεθοδολογία.....	42
3.1 Σκοπός-στόχοι.....	42
3.2 Ερευνητικά ερωτήματα-υποθέσεις	42
3.3 Οργάνωση-σχεδιασμός της διατριβής.....	43

3.3.1 Παρουσίαση της περιοχής μελέτης-Κύπρος-στοιχεία βιοποικιλότητας-στοιχεία οδικού δικτύου Κύπρου.....	43
3.3.2 Παρουσίαση δεδομένων.....	48
3.3.3 Παρουσίαση εργαλείων λογισμικού.....	50
3.3.4 Χρησιμοποιούμενοι δείκτες και αιτιολόγηση της χρήσης τους.....	52
3.4 Ανάλυση-στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	55
4. Αποτελέσματα.....	58
4.1 Εκτίμηση της παρουσίας ειδών.....	58
4.2 Εκτίμηση κυκλοφοριακού θορύβου.....	60
4.3 Εκτίμηση του βαθμού κατάτμησης.....	61
4.4 Χαρακτηρισμός του πεδίου μελέτης βάσει συνδυαστικής επίπτωσης θορύβου-κατάτμησης.....	66
4.5 Επίπτωση θορύβου-κατάτμησης στην πτηνοπανίδα.....	73
5. Συζήτηση-συμπεράσματα-εισηγήσεις.....	76
5.1 Συζήτηση.....	76
5.2 Συμπεράσματα.....	79
5.3 Εισηγήσεις.....	80
Βιβλιογραφία.....	83
Παράρτημα.....	99

Ευχαριστίες

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Βογιατζάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα του κλάδου της οικολογίας δρόμων, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή του στον σχεδιασμό και υλοποίηση της διατριβής. Επίσης, θερμές ευχαριστίες στον Πτηνολογικό Σύνδεσμο Κύπρου (Birdlife Cyprus) και στο Τμήμα Δημοσίων Έργων που υπάγεται στο Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων της Κυπριακής Δημοκρατίας για την παροχή των δεδομένων που αποτέλεσαν τη βάση για την υλοποίηση της διατριβής. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και σε φιλικά μου πρόσωπα για την συμπαράσταση που μου έδειξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας διατριβής, αλλά και κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Διατήρηση και Προστασία Περιβάλλοντος.

Περίληψη

Η ραγδαία αύξηση των μεταφορικών υποδομών που λαμβάνει χώρα κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει προκαλέσει πληθώρα οικολογικών επιπτώσεων. Μεταξύ των ζωικών πληθυσμών που αντιμετωπίζουν τις αρνητικές συνέπειες αυτού του γεγονότος, είναι και οι πληθυσμοί πτηνών. Οι απειλές για τους πληθυσμούς των πτηνών διακρίνονται σε άμεσες, όπως η προκαλούμενη από οχήματα θνησιμότητα και έμμεσες, όπως ο θόρυβος και η απώλεια οικοτόπων λόγω κατάτμησης. Ο θόρυβος προκαλεί διαταραχές στη φυσιολογία και συμπεριφορά των πτηνών, αλλά και εμποδίζει την επικοινωνία μεταξύ απόμων, μειώνοντας την αναπαραγωγική ικανότητα. Η προκαλούμενη από την παρουσία του οδικού δικτύου κατάτμηση τοπίου, οδηγεί σε καταστροφή και μείωση της έκτασης των προτιμώμενων από διάφορα είδη οικοτόπων. Σκοπός της διατριβής ήταν η διερεύνηση επιπτώσεων του οδικού δικτύου στην ποικιλότητα φωλεαζόντων ειδών πτηνών στην Κύπρο και συγκεκριμένα η επίδραση του κυκλοφοριακού θορύβου και της κατάτμησης στον αριθμό των ειδών αυτών. Για τη διερεύνηση της επίπτωσης, το πεδίο μελέτης ομαδοποιήθηκε σε τρεις κατηγορίες με βάση τον εκτιμώμενο βαθμό επίπτωσης στα πτηνά για το θόρυβο και την κατάτμηση και εν συνεχεία σε πέντε νέες κατηγορίες με βάση τη συνδυαστική επίπτωση του θορύβου και της κατάτμησης. Η συσχέτιση βαθμού επίπτωσης και αριθμού ειδών δεν επιβεβαίωσε την αρχική υπόθεση της επίδρασης του οδικού δικτύου στην ποικιλότητα φωλεαζόντων ειδών πτηνών της Κύπρου, τα αποτελέσματα ωστόσο υποδεικνύουν ότι η Κύπρος χαρακτηρίζεται από έντονη κατάτμηση λόγω της παρουσίας του οδικού δικτύου και από υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου. Απαιτείται επομένως η λήψη μέτρων για το μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και η περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης του οδικού δικτύου συνυπολογίζοντας και άλλες παραμέτρους που πιθανόν να επηρεάζουν τόσο τη βιοποικιλότητα ειδών, όσο και την πληθυσμιακή συχνότητα των ειδών.

Summary

The rapid increase of the transportation infrastructure which has taken place during the few recent decades, has caused a number of ecological effects. Among the animal populations that face the negative impacts of this fact, are also bird populations. The threats to bird populations are distinguished between direct threats, as mortality caused by vehicles, and indirect, as noise and habitat loss caused by fragmentation. Noise provokes disturbances in physiology and behavior of birds, but also prevents communication between individuals, reducing the reproductive ability. Landscape fragmentation provoked by the presence of road network, leads to destruction and reduction of the extent of habitats preferred by a number of species. The purpose of this dissertation was to research the effects of road network on diversity of breeding bird species of Cyprus and specifically the impact of traffic noise and fragmentation on the number of those species. In order to research the effects, study field has been grouped in three categories in basis of evaluated degree of effect that noise and fragmentation has on birds and consequently in five new categories based on the effect that noise and fragmentation have in combination. The correlation of effect and number of species has not confirmed the initial assumption that road network affects the number of breeding bird species in Cyprus, however, the results show that Cyprus is characterized by intense fragmentation caused by the presence of road network and by high levels of traffic noise. Thus, it is necessary to take measures in order to moderate the environmental effects and to further research on effects of road network, taking also in consideration other parameters that possibly affect species biodiversity and population frequency of species.

Κεφάλαιο πρώτο

1. Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή του θέματος

Η παρούσα διατριβή διερευνά την επίπτωση που έχει η παρουσία του οδικού δικτύου σε πληθυσμούς φωλεαζόντων πτηνών της Κύπρου. Για το σκοπό αυτό, το πεδίο μελέτης αξιολογήθηκε και κατατάχθηκε σε κατηγορίες ανάλογα με την ένταση της επίπτωσης. Η κατηγοριοποίηση της περιοχής μελέτης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη δύο παραμέτρους του οδικού δικτύου, την προκαλούμενη κατάτμηση του τοπίου και τον κυκλοφοριακό θόρυβο, αρχικά ξεχωριστά σε τρεις κατηγορίες και έπειτα συνδυαστικά σε πέντε κατηγορίες βασιζόμενες στην επίπτωση για την παρουσία των πτηνών. Η προβολή του αριθμού των πτηνών σε σχέση με την κατηγορία βαθμού επίπτωσης, αποκαλύπτει τον τρόπο με τον οποίο συσχετίζεται ο αριθμός των πτηνών με τη συνδυαστική επίπτωση θορύβου και κατάτμησης. Τα αποτελέσματα δίνουν έναυσμα για παραγωγή συμπερασμάτων, αλλά και για προτάσεις μετριασμού των επιπτώσεων για τις περιοχές υψηλού ρίσκου για την παρουσία πτηνών.

1.2 Καταγραφή του προβλήματος

Από την οπτική γωνία της βιολογίας διατήρησης, η προκαλούμενη από τον άνθρωπο διαταραχή της άγριας ζωής, είναι σημαντική μόνο εάν επηρεάζει δημογραφικές παραμέτρους και κατά συνέπεια προκαλεί μείωση του πληθυσμού. Οι υποδομές μεταφοράς και ιδιαιτέρως οι δρόμοι, πιθανόν να έχουν αξιοσημείωτο αντίκτυπο στους ζωικούς πληθυσμούς σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο εξαιτίας της απώλειας οικοτόπων, της κατάτμησης και απομόνωσης των οικοτόπων, της αυξημένης θνησιμότητας και υποβάθμισης των οικοτόπων λόγω ρύπανσης, διαταραχής (θόρυβος, οπτικά

ερεθίσματα, φως) και αυξημένης ανθρώπινης πρόσβασης (Findlay & Bourdages 2000; Spellerberg 2000; Forman *et al.* 2003).

Η κατάτμηση του τοπίου που προκαλείται από τις μεταφορικές υποδομές και τις αστικές περιοχές έχει ένα πλήθος οικολογικών επιπτώσεων. Η συνεισφορά του στη μείωση και απώλεια πληθυσμών άγριων ζώων και στην αύξηση της έκθεσης σε κίνδυνο των ειδών στην Ευρώπη είναι σημαντική, για παράδειγμα, μέσω της απομόνωσης των πληθυσμών και επηρεάζει την υδατική κατάσταση και την ποιότητα αναπνοής των τοπίων. Παρά τη σχεδιαστική αντίληψη της διατήρησης μεγάλων, μη κατατμημένων περιοχών, η κατάτμηση συνέχισε να αυξάνεται κατά τα τελευταία 20 χρόνια και να σχεδιάζονται ακόμα περισσότερα πρότζεκτ μεταφορικών υποδομών, ιδιαίτερα στην ανατολική Ευρώπη, γεγονός το οποίο θα αυξήσει ακόμα περισσότερο το βαθμό κατάτμησης τοπίου. Επομένως, απαιτούνται δεδομένα για το βαθμό κατάτμησης τοπίου, κατάλληλα για τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών περιοχών, ιδιαίτερα σε σχέση με διαφορετικούς τύπους φυσικών τοπίων και διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες. (EEA, 2011).

Εκτός της κατάτμησης, υπάρχει για μακρύ χρονικό διάστημα η υπόθεση ότι ο παραγόμενος θόρυβος από την κατασκευή και λειτουργία των δρόμων, ίσως έχει αντίκτυπο στη συμπεριφορά και φυσιολογία των πτηνών. Η έκθεση στον κυκλοφοριακό θόρυβο ίσως να έχει μικρή ή καμία επίπτωση στα πτηνά, ελάχιστη ή επιφανειακή βιολογική επίπτωση όπως πολύ μικρές αλλαγές στην τοποθεσία ή στο μέγεθος τοποθεσιών φωλέασης ή σίτισης σε σχέση με το δρόμο ή να έχει πιο ουσιαστικές επιπτώσεις μεταξύ των οποίων διαταραχές που απειλούν την επιβίωση ατόμων ή ειδών (Brumm and Slabbekoorn 2005). Οι ακουστικοί μηχανισμοί αυτών των επιπτώσεων κυκλοφοριακού θορύβου πιθανότατα περιλαμβάνουν αλλαγές στην ακουστική επικοινωνία, επικάλυψη του εντοπισμού και αναγνώρισης βιολογικά σχετιζόμενων σημάτων, παρεμπόδιση εντοπισμού των ήχων των θηρευτών και/ή της θήρας, μείωση της ακουστικής ευαισθησίας προσωρινά ή μόνιμα και/ή αλλαγές στα επίπεδα του στρες και των αναπαραγωγικών ορμονών, καθώς τα πτηνά προσαρμόζονται στα αυξημένα επίπεδα θορύβου του περιβάλλοντος.

1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Ο βαθμός κατάτμησης τοπίου σε πολλά μέρη της Ευρώπης είναι ήδη αξιοσημείωτος. Η αυξανόμενη αστική ανάπτυξη και δημιουργία υποδομών μεταφοράς θα αυξήσει τα προβλήματα σε έντονο βαθμό, από τη στιγμή που πολλές οικολογικές συνέπειες της ήδη υπάρχουσας κατάτμησης δεν έχουν διευκρινιστεί πλήρως. Μια από τις κυριότερες οικολογικές συνέπειες του φαινομένου αυτού είναι η

επίπτωση στη βιοποικιλότητα διαφόρων ειδών ζώων και τη συνδετικότητα των οικοτόπων τους, που θέτει σε κίνδυνο την βιωσιμότητα των πληθυσμών τους, μεταξύ των οποίων πιθανόν και ειδών πτηνών. Συνεπώς, η σύγχρονη τάση αύξησης της κατάτμησης τοπίου έρχεται σε αντίθεση με την αρχή της αειφορίας, δημιουργώντας επείγουσα ανάγκη για δράση. Παρά το γεγονός ότι η Ευρώπη θεωρείται η ήπειρος με το μεγαλύτερο βαθμό κατάτμησης, η πλειοψηφία των δεδομένων αναφορικά με τις οικολογικές συνέπειες του φαινομένου αυτού προέρχονται από έρευνες στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε άλλα μέρη του κόσμου. Η χρήση όμως δεδομένων και πληροφοριών από χώρες με διαφορετικά χαρακτηριστικά, μπορεί να είναι παραπλανητική κατά τη διαδικασία σχεδιασμού και εφαρμογής πολιτικών στον τομέα της διατήρησης του περιβάλλοντος. Εκτός της κατάτμησης, αρνητική επίπτωση στους πληθυσμούς πτηνών αναμένεται να έχει εμμέσως ο προκαλούμενος από την κυκλοφορία των οχημάτων θόρυβος, λόγω επιπτώσεων στη συμπεριφορά και τη φυσιολογία τους (Mumme et al. 2000; Erickson et al. 2005; Dooling and Popper 2007).

Σύμφωνα με τα δεδομένα της Στατιστικής Υπηρεσίας Κύπρου το οδικό δίκτυο παρουσιάζει συνεχή επέκταση, συμβάλλοντας στη μείωση της βιοποικιλότητας μέσω της υποβάθμισης ενδιαιτημάτων και οικοτόπων. Επίσης, από την αναδρομή στην διαθέσιμη βιβλιογραφία, παρατηρείται ότι, τα πτηνά επηρεάζονται αρνητικά από την πυκνότητα των δρόμων με την αρνητική αυτή επίδραση να οφείλεται τόσο σε άμεσες όσο και σε έμμεσες επιπτώσεις όπως, η θνησιμότητα στο δρόμο, ο θόρυβος και η καταστροφή του οικοτόπου. Το προτεινόμενο θέμα μπορεί να αποκαλύψει τυχόν αξιοσημείωτες επιπτώσεις της εκτεταμένης κατάτμησης και του προκαλούμενου από την κυκλοφορία των οχημάτων θορύβου στους πληθυσμούς πτηνών, συμβάλλοντας στην παρακολούθηση του φαινομένου και σε προστατευτικά μέτρα για περιοχές που δεν αντιμετωπίζουν ακόμα το φαινόμενο αυτό. Τα αποτελέσματα της έρευνας ενδέχεται να είναι χρήσιμα επίσης σε όσους εμπλέκονται στον σχεδιασμό μεταφορικών υποδομών, αλλά και σε ενημέρωση του ευρύτερου κοινού.

1.4 Σκοποί και στόχοι

Σκοπός της διατριβής είναι η διερεύνηση πιθανών επιπτώσεων της παρουσίας του οδικού δικτύου στον αριθμό ειδών φωλεαζόντων πτηνών της Κύπρου. Η διερεύνηση αυτή αφορά την επίπτωση που πιθανόν να έχουν παράμετροι όπως η κατάτμηση, μέσω του υπολογισμού μετρικών και ο κυκλοφοριακός θόρυβος. Οι παράμετροι αυτοί ελέγχονται ξεχωριστά, αλλά και συνδυαστικά με τον αριθμό ειδών, προς έλεγχο πιθανής συσχέτισης. Επίσης, σκοπός είναι ο χαρακτηρισμός των περιοχών του πεδίου μελέτης και η αξιολόγηση ρίσκου για την παρουσία των ειδών. Στόχος είναι η αξιολόγηση

της κατάστασης του φαινομένου και η κατάθεση προτάσεων για μετριασμό των επιπτώσεων όπου αυτό είναι εφικτό.

1.5 Ορολογία-επεξηγήσεις

Κατάτμηση οικοτόπου: Ο όρος περιγράφει την εμφάνιση ασυνεχειών (κατάτμηση) στο προτιμώμενο περιβάλλον ενός οργανισμού (οικότοπος), η οποία οδηγεί σε πληθυσμιακή απομόνωση. Προκαλείται από γεωλογικές διεργασίες που αλλάζουν το φυσικό τοπίο ή από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Μετρικές τοπίου: Χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της κατάτμησης των οικοτόπων. Περιλαμβάνουν δείκτες που υπολογίζουν τη σύνθεση και διαμόρφωση των οικοτόπων. Συχνά παίρνουν τη μορφή υπολογισμών που ποσοτικοποιούν τα ιδιαίτερα συνθετικά και χωρικά χαρακτηριστικά των οικοτόπων.

Κυκλοφοριακός θόρυβος: Είναι η συνολική ηχητική ενέργεια που εκπέμπεται από τα μηχανοκίνητα οχήματα. Η έντασή του επηρεάζεται από μεταβλητές όπως διάφορα στοιχεία κυκλοφορίας (ταχύτητα, τύπος οχημάτων), τον τύπο της επιφάνειας δρόμου, τον τύπο ελαστικών, τη γεωμετρία του δρόμου, το έδαφος, τη μικρομετεωρολογία και τη γεωμετρία των δομών της περιοχής. Μετρείται σε Db.

Κατανομή (distribution)-εύρος (range) είδους: Οι χάρτες κατανομής ειδών έχουν ως στόχο να παρέχουν την τρέχουσα γνωστή κατανομή των ειδών εντός του εύρους τους, με βάση τις εμφανίσεις των ειδών. Οι χάρτες του εύρους των ειδών συμπληρώνουν τις παρατηρούμενες ασυνέχειες, με βάση τη γνώση της προτίμησης οικοτόπου, την καταλληλότητα οικοτόπου, υψομετρικά στοιχεία και άλλες εξειδικευμένες γνώσεις για τα είδη. Στις περισσότερες περιπτώσεις η απεικόνισή τους γίνεται σε πολύγωνα. Οι χάρτες κατανομής και εύρους χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή για τον υπολογισμό των ειδών ανά πολύγωνο ως δείκτη της ποικιλότητας της πτηνοπανίδας.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι άνθρωποι είναι υπεύθυνοι για τον πρωτοφανή βαθμό απώλειας της βιοποικιλότητας που λαμβάνει χώρα σήμερα ανά την υφήλιο, με κυριότερους παράγοντες προς την κατεύθυνση αυτή, την κλιματική αλλαγή, τη ρύπανση, αλλά και την απώλεια, υποβάθμιση και κατάτμηση των οικοτόπων. Οι δρόμοι και άλλες υποδομές είναι από τις κυριότερες αιτίες απώλειας, κατάτμησης και υποβάθμισης των οικοτόπων και αποτελούν στοιχεία των περισσότερων τοπίων ανά τον κόσμο. Σε παγκόσμια κλίμακα, εκτιμάται ότι υπάρχουν ήδη 750 εκατομμύρια οχήματα, τα οποία κινούνται σε κατά προσέγγιση περίπου 50 εκατομμύρια km δημοσίων δρόμων, με το οδικό δίκτυο και τον κυκλοφοριακό όγκο να αυξάνεται διαρκώς, ιδιαίτερα στην Ανατολική Ευρώπη, την Κίνα, την Ινδία και τη Λατινική Αμερική.

Στο πλαίσιο του διαρκώς επεκτεινόμενου δικτύου μεταφορών αναπτύχθηκε η οικολογία δρόμων (road ecology), ως υποτομέας της ευρύτερης επιστήμης της οικολογίας, η οποία έχει ως αντικείμενο τις οικολογικές επιπτώσεις των δρόμων στα φυσικά οικοσυστήματα και στους πληθυσμούς της άγριας πανίδας.

2.1 Οικολογία δρόμων-ιστορική αναδρομή

Οι μεταφορικές υποδομές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την κοινωνία, καθώς παρέχουν συνδετικότητα για τους ανθρώπους. Παρόλα αυτά, ασκούν επίσης αξιοσημείωτες αρνητικές επιπτώσεις στους παρακείμενους οικοτόπους, στους πληθυσμούς άγριας ζωής, στις κοινότητες και τα οικοσυστήματα. Η έρευνα για τις οικολογικές επιπτώσεις των δρόμων και της κυκλοφορίας στο φυσικό περιβάλλον ξεκίνησε το 1925 όταν ο Dayton Stoner κατέγραψε τις 225 περιπτώσεις νεκρών σπονδυλωτών 29 ειδών λόγω κυκλοφορίας, τα οποία παρατήρησε κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού 632 μιλίων στην Iowa των Ηνωμένων Πολιτειών (Stoner 1925).

Ο όρος οικολογία δρόμων χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στα γερμανικά (Straßenökologie) το 1981 (Ellenberg et al. 1981) και μεταφράστηκε αργότερα στα αγγλικά για το βιβλίο *Road Ecology: Science and Solutions* (Forman et al. 2003). Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 υπάρχει μια ραγδαία αύξηση των μελετών και δημοσιεύσεων, ιδιαίτερα από την Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία. Αυτές περιλαμβάνουν εθνικές και διεθνείς αναφορές και κατευθυντήριες οδηγίες βέλτιστης πρακτικής (Iuell et al. 2003, Trocme et al. 2003, National Research Council 2005, Clewenger and Huijser 2009), καθώς και τακτικές συνδιασκέψεις, όπως η Διεθνής Συνδιάσκεψη για την Οικολογία και τις Μεταφορές (ICOET).

Ο γενικός στόχος της έρευνας της οικολογίας δρόμων είναι η ποσοτικοποίηση των οικολογικών επιπτώσεων των δρόμων, με απώτερο στόχο την αποφυγή, ελαχιστοποίηση και αντιστάθμιση των αρνητικών επιπτώσεών τους σε άτομα, πληθυσμούς, κοινότητες και οικοσυστήματα. Υπάρχει πλήθος διαφορετικών επιπτώσεων των δρόμων και τη κυκλοφορίας σε φυτά και ζώα, με τις περισσότερες έρευνες να επικεντρώνουν στο επίπεδο του ατόμου. Αυτές οι συνέπειες περιλαμβάνουν την απώλεια και κατάτμηση των οικοτόπων, αυξημένο βαθμό θνησιμότητας των άγριων ζώων λόγω συγκρούσεων με οχήματα, αλλαγές στις συνθήκες φωτός, υγρασίας και ανέμου εξαιτίας της δημιουργίας παρυφών, ρύπανση λόγω κυκλοφορίας, π.χ. φωτός, ήχου και χημικών και την διευκόλυνση διάδοσης και διασποράς ζιζανίων και άγριων ζώων. Οι δρόμοι επίσης επηρεάζουν την αισθητική ποιότητα των τοπίων για τους ανθρώπους (Di Giulio and Holderegger 2009). Συμπερασματικά, οι δρόμοι έχουν περιγραφεί ως το πιο καταστροφικό στοιχείο στη διαδικασία της κατάτμησης οικοτόπων (Noss 1993).

Η κατανόηση των επιπτώσεων των δρόμων και της κυκλοφορίας σε υψηλότερα επίπεδα είναι απαραίτητη για έναν αριθμό λόγων. Οι περισσότερες κυβερνήσεις συνομολογούν ότι η διατήρηση της βιοποικιλότητας είναι σημαντική και επομένως οι οργανισμοί που ασχολούνται με τους δρόμους πρέπει να συμβάλλουν στην επίτευξη αυτού του στόχου. Η μέτρηση του αριθμού των νεκρών ζώων στην άκρη του δρόμου ή ο υπολογισμός του εύρους της οικολογικής ζώνης των επιπτώσεων των δρόμων, δεν είναι αρκετά για την πληροφόρηση του εάν οι δρόμοι και τα οχήματα θέτουν σε κίνδυνο την ύπαρξη πληθυσμών ή ειδών. Η σημαντική παράμετρος πρέπει να είναι η μακροχρόνια βιωσιμότητα των παρακείμενων πληθυσμών, η οποία απαιτεί δεδομένα για τα μεγέθη των πληθυσμών, δείκτες βιωσιμότητας και το επίπεδο συνδετικότητας μεταξύ των υποπληθυσμών. Παρομοίως, ένα κρίσιμο ερώτημα όταν γίνεται αξιολόγηση των δραστηριοτήτων άμβλυνσης των επιπτώσεων, είναι το πόσο περισσότερο βιώσιμοι έχουν γίνει οι πληθυσμοί και εάν είναι πλέον επαρκώς βιώσιμοι και όχι απλώς ο αριθμός των διερχόμενων ζώων (van der Ree et al. 2007). Η έκταση στην οποία τα αποτελέσματα πολυάριθμων τοπικών μελετών μπορούν να αξιοποιηθούν σε μεγαλύτερες χωρικές και χρονικές κλίμακες είναι άγνωστος. Άρα, ένα σημαντικό επόμενο βήμα είναι η αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο η πυκνότητα και η διάταξη συνολικά του οδικού δικτύου επηρεάζει τις λειτουργικές σχέσεις

εντός και μεταξύ οικοσυστημάτων σε κλίμακα τοπίου. Οι απαντήσεις στο ερώτημα αυτό θα δώσουν πληροφορίες σε αθροιστικές περιβαλλοντικές αξιολογήσεις και στο σχεδιασμό μεταφορών (Roedenbeck et al. 2007). Οι δρόμοι επίσης επηρεάζουν τους ανθρώπους με πολλούς τρόπους, ωστόσο λίγες έρευνες στο πεδίο αυτό έχουν ολοκληρωθεί (Di Giulio and Holderegger 2009).

2.2 Κατάτμηση τοπίου και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον

Τα τελευταία 50 χρόνια τα μεταφορικά δίκτυα σε όλη την ευρωπαϊκή επικράτεια αυξάνονται σε πυκνότητα και οι αστικές περιοχές επεκτείνονται. Παρότι οι συντελούμενες σωρευτικές αλλαγές στο τοπίο είναι δραματικές, συνέβησαν με σταδιακό τρόπο. Ως συνέπεια, αυτές οι αλλαγές δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές ως δραματικές από το γενικό κοινό. Ενώ οι απλές αλλαγές είναι εύκολα ορατές και αξιολογούνται ως μη αξιοσημείωτες, οι σωρευτικές επιπτώσεις τους σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους είναι πιο δύσκολο να παρακολουθηθούν. Έτσι, οι απλές αλλαγές στο τοπίο εύκολα περιθωριοποιούνται και οι σωρευτικές επιπτώσεις τους υποεκτιμώνται. Μόνο έπειτα από αρκετές δεκαετίες μπορεί να αξιολογηθεί η πλήρης έκταση των αλλαγών και η συντελούμενη υποβάθμιση του τοπίου.

Η κατάτμηση τοπίου είναι το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού μεγάλων κατατμημάτων οικοτόπων σε μικρότερα, πιο απομονωμένα κατατμήματα του οικοτόπου. Αυτή η διαδικασία είναι πιο εμφανής σε αστικοποιημένες ή εντατικά εκμεταλλεζόμενες περιοχές, όπου η κατάτμηση είναι το προϊόν της σύνδεσης των αστικών περιοχών με μεταφορικές υποδομές, όπως δρόμοι και σιδηρόδρομοι (Saunders et al., 1991; Forman 1995). Παρά τις πολλές βελτιώσεις στη νομοθεσία για την καλύτερη προστασία της βιοποικιλότητας, τη μείωση της ρύπανσης και τη βελτίωση της ποιότητας του νερού, η αστική εξάπλωση αυξάνεται ακόμα και η κατασκευή νέων μεταφορικών υποδομών συνεχίζεται με ραγδαίο ρυθμό. Ως συνέπεια, η κατάτμηση τοπίων αυξάνεται και το εναπομείναν οικολογικό δίκτυο παρέχει όλο και λιγότερη συνδεσιμότητα.

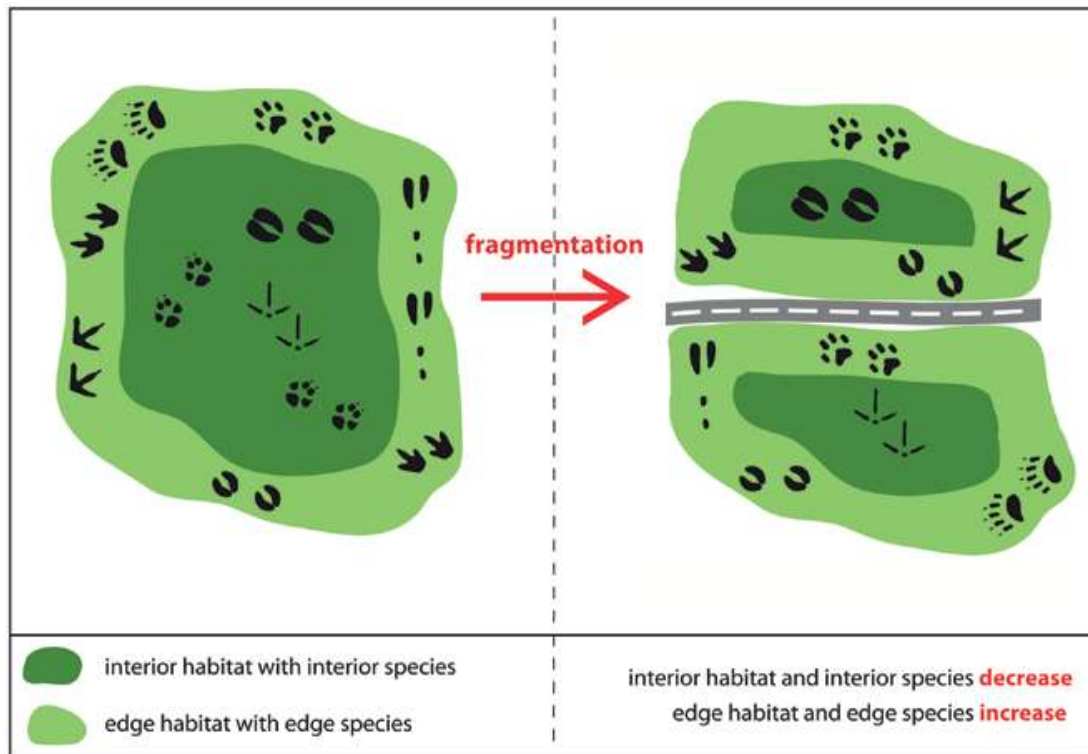
Η κατάτμηση έχει σημαντικές επιπτώσεις σε πλήθος οικοσυστημικών υπηρεσιών. Ως μια δεδομένη πυκνότητα, υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ της πυκνότητας δρόμων και της εκμετάλλευσης συγκεκριμένων υπηρεσιών, από τη στιγμή που η προσβασιμότητα είναι προαπαιτούμενο για την προμήθεια των υπηρεσιών. Ωστόσο, υπάρχει μία ανταλλαγή μεταξύ προσβασιμότητας και προμήθειας υπηρεσιών καθώς το οδικό δίκτυο γίνεται αρκετά πυκνό. Αναφορικά με τη ρύθμιση και την προστασία των υπηρεσιών, ένας αριθμός υπηρεσιών μπορεί να επηρεάζεται σοβαρά από την αυξανόμενη κατάτμηση, όπως η μετακίνηση ειδών, υπηρεσίες σχετιζόμενες με το νερό και η πρόληψη της

διάβρωσης. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές άλλες υπηρεσίες επιδεινούμενες λόγω της κατάτμησης. Αναφορικά με τις μεταβατικές υπηρεσίες, αναφέρουμε τις επιπτώσεις της κατάτμησης στην παραγωγή φαγητού και ξυλείας, π.χ. μειωμένο κέρδος λόγω του μικρού μεγέθους αγροτεμαχίων, ή μειωμένη ποιότητα αγροτικών προϊόντων κατά μήκος των δρόμων. Άλλη ομάδα υπηρεσιών που επηρεάζονται αξιοσημείωτα είναι η ομάδα των πολιτιστικών υπηρεσιών. Παρόλο που υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ προσβασιμότητας και της πιθανής χρήσης των τοπίων για σκοπούς αναψυχής, οι αρνητικές επιπτώσεις των δρόμων για χρήση αναψυχής έχουν αναφερθεί συχνά. Η αξιολόγηση σε μεγάλη κλίμακα των οικοσυστημικών υπηρεσιών είναι πιθανή με πίνακες που σχετίζουν υπηρεσίες με τη χρήση γης και άλλες ιδιότητες τοπίου (Kienast et al., 2009).

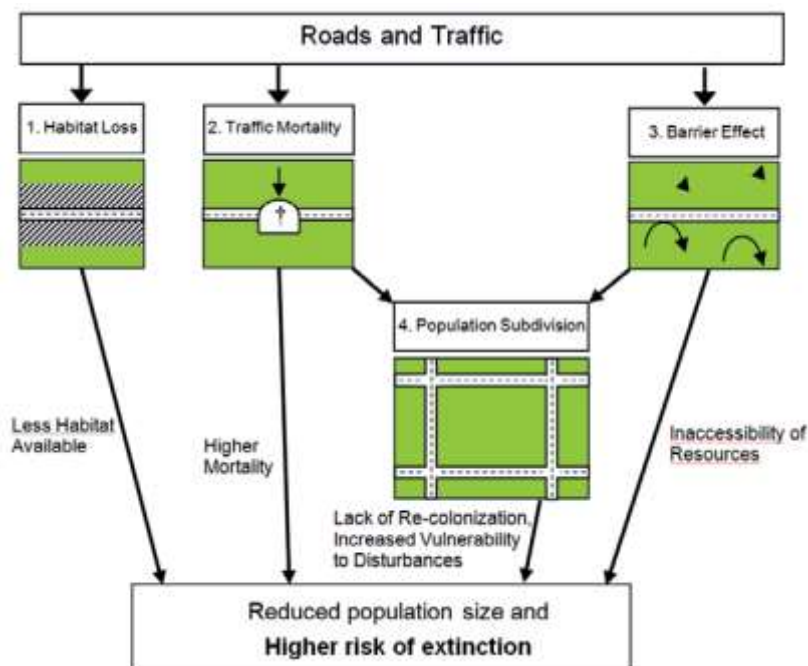
Οι πρόσφατες εκθέσεις με τίτλους «Road construction market in central Europe 2010: Development forecasts and planned investments» (PMR publications, 2010) και «Deployment on the transEuropean transport network (TEN-T)» (European Commission, 2010a) παρουσίασαν υπολογισμούς, σύμφωνα με τους οποίους ο τομέας της κατασκευής δρόμων θα αυξηθεί κατά 5% σε μέση ονομαστική αξία τα επόμενα χρόνια. Για παράδειγμα, η Πολωνία θα ασκήσει την υψηλότερη επίδραση στον τομέα της κατασκευής δρόμων, εκπροσωπώντας το 40% της αξίας, εξαιτίας των δίχως προηγούμενο επενδύσεων σε αυτοκινητοδρόμους στην ιστορία της Πολωνίας. Μεγάλο μήκος των νέων αυτοκινητόδρομων κατασκευάζεται στις πέντε νέες χώρες που ενσωματώθηκαν πρόσφατα στην ΕΕ, τη Βουλγαρία, την Τσεχία, την Ουγγαρία, τη Ρουμανία και τη Σλοβακία. Αυτές οι τάσεις στην αλλαγή τοπίου απειλούν πολλούς πληθυσμούς άγριας ζωής λόγω της μειωμένης συνδεσιμότητας μεταξύ των υπολειπόμενων κατατμημάτων οικοτόπων (Marzluff et al., 2001; Forman et al., 2003). Τα κατατμήματα οικοτόπων εμφανίζονται διαλυμένα, μειωμένα σε μέγεθος και με αυξημένη απομόνωση. Επιπρόσθετα της απευθείας απώλειας οικοτόπου πλησίον των γραμμικών υποδομών (η περιοχή που καταλαμβάνεται από τις υποδομές), ακόμα μεγαλύτερο ποσό του πυρήνα του οικοτόπου χάνεται εξαιτίας των επιπτώσεων παρυφής (εικόνα 2.1). Μικρότερα κατατμήματα οικοτόπου χάνουν εύκολα είδη σημαντικά, γεγονός που συνεισφέρει στην απώλεια βιοποικιλότητας σε πολλές βιομηχανοποιημένες χώρες.

Τα στοιχεία που αποδεικνύουν τις αρνητικές οικολογικές επιπτώσεις των δρόμων αυξάνονται συνεχώς (Forman et al., 2003). Οι Fahrig and Rytwinski (2009) πραγματοποίησαν έλεγχο σε 79 μελέτες που παρέχουν δεδομένα για επιπτώσεις σε επίπεδο πληθυσμού (αφθονία και πυκνότητα) και διαπίστωσαν ότι, συντριπτικά, οι δρόμοι και η κυκλοφορία έχουν αρνητική επίπτωση στην αφθονία των ζώων, με τις αρνητικές επιπτώσεις να ξεπερνούν τις θετικές. Οι τέσσερις κύριες επιπτώσεις των δρόμων και της κυκλοφορίας που επηρεάζουν τους ζωικούς πληθυσμούς με τρόπο επιβλαβή είναι ότι: μειώνουν την ποσότητα και ποιότητα του οικοτόπου, ενισχύουν την θνησιμότητα εξαιτίας των προσκρούσεων με

οχήματα, παρεμποδίζουν την πρόσβαση σε πόρους στην απέναντι πλευρά του οδοστρώματος και υποδιαιρούν τους ζωικούς πληθυσμούς σε μικρότερα και πιο ευάλωτα κλάσματα (εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση της απώλειας πυρήνα οικοτόπου (ή εσωτερικού οικοτόπου) προκαλούμενη από την κατασκευή δρόμου που τέμνει ένα κατάστημα οικοτόπου.



Εικόνα 2.2. Οι τέσσερις κύριες επιπτώσεις των μεταφορικών υποδομών στους άγριους πληθυσμούς (Jaeger et al., 2005b, EEA report, 2/2011).

Πολλά είδη χρειάζονται πρόσβαση σε διαφορετικούς τύπους οικοτόπων για να μπορέσουν να συμπληρώσουν τον κύκλο ζωής τους. Οι δρόμοι επίσης ενισχύουν την πρόσβαση του ανθρώπου σε οικοτόπους άγριας ζωής και διευκολύνουν την εξασπωση ειδών εισβολέων και η υποδιαίρεση και απομόνωση των υποπληθυσμών διακόπτει τη δυναμική των μεταπληθυσμών (Hanski 1999; Forman et al., 2003) και μειώνει τη γενετική ποικιλότητα (Forman and Alexander, 1998; IUCN, 2001). Η κατάτμηση τοπίου αυξάνει επίσης το ρίσκο εξαφάνισης των πληθυσμών, καθώς οι απομονωμένοι πληθυσμοί είναι πιο ευαίσθητοι σε παράγοντες φυσικού στρες, όπως φυσικές διαταραχές (π.χ. καιρικές συνθήκες, πυρκαγιές, ασθένειες), μειώνοντας την προσαρμοστικότητά τους. Η κατάτμηση τοπίου αποτελεί κύρια αιτία για την ραγδαία μείωση πολλών άγριων πληθυσμών. Καθώς η κατάτμηση τοπίου οδηγεί στην καταστροφή των εδραιωμένων οικολογικών συνδέσεων μεταξύ παρακείμενων περιοχών του τοπίου (Haber, 1993; Jaeger et al., 2005a), επηρεάζει επίσης ολόκληρες κοινότητες και οικοσυστήματα. Η πιθανότητα που έχουν δύο άτομα του ίδιου είδους να εντοπιστούν στο τοπίο είναι προαπαιτούμενο για τη διατήρηση των ζωικών πληθυσμών (π.χ. εξαιτίας της ανάγκης για γενετική ανταλλαγή μεταξύ πληθυσμών και για την επανεποίκιση άδειων οικοτόπων). Ίσως υπάρχουν διάφορες επιπρόσθετες συνέπειες για τις οποίες οι γνώσεις μας είναι ακόμα πολύ περιορισμένες, όπως οι σωρευτικές επιπτώσεις (συνδυασμός με άλλες ανθρώπινες επιδράσεις), οι χρόνοι απόκρισης των άγριων πληθυσμών και οι επιπτώσεις σε οικολογικές κοινότητες (π.χ. αλληλεπικαλυπτόμενες επιπτώσεις).

Ένα πρώτο παράδειγμα των επιβλαβών επιπτώσεων της κατάτμησης οικοτόπου από τους δρόμους είναι η συνεχής μείωση των πληθυσμών του καφέ λαγού (*Lepus europaeus*) στην Ελβετία, ως συνέπεια της κατάτμησης οικοτόπου από κύριους δρόμους σε συνδυασμό με τις εντατικές γεωργικές πρακτικές και την απώλεια οικοτόπου. Αυτές οι τροποποιήσεις του τοπίου κατέστησαν τους πληθυσμούς πιο ευάλωτους σε μη ευνοϊκές καιρικές συνθήκες. Ο λαγός έχει χαρακτηριστεί ως επαπειλούμενο είδος και η εξαφάνισή του φαίνεται αναπόφευκτη να αποτραπεί, καθώς το «σημείο χωρίς επιστροφή» έχει περάσει εδώ και αρκετά χρόνια. Στην Τσεχία και την Αυστρία, ο καφέ λαγός είναι από τα είδη που θανατώνονται πιο συχνά από την κυκλοφορία (Glitzner et al., 1999; Hell et al., 2004). Έχει χαρακτηριστεί επίσης ως επαπειλούμενο σε μεγάλα μέρη της Γερμανίας όπου οι πληθυσμοί είναι σε μείωση, παρόλο που κάποτε ήταν από τα πιο άφθονα άγρια είδη στα συγκεκριμένα τοπία. Η κατασκευή διαδρόμων άγριας ζωής δεν θα είναι επαρκής για τη διάσωση του πληθυσμού, επειδή η ποσότητα και ποιότητα του οικοτόπου είναι ήδη σε πολύ χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της συνδυαστικής παρουσίας των τόσο πολλών δρόμων και της εντατικής γεωργίας. Ως συνέπεια, η σύνδεση των καταλοίπων του οικοτόπου μέσω οικολογικών διαδρόμων, ενώ παράλληλα κατασκευάζονται νέοι δρόμοι στην περιοχή αυτή, χαρακτηρίζεται ανεπαρκής.

Υπάρχουν επίσης στοιχεία ότι το κόκκινο ελάφι δεν είναι πλέον σε θέση να διασχίσει τις πεδιάδες της Ελβετίας μεταξύ της οροσειράς του Ιούρα και των Άλπεων εξαιτίας της συσσώρευσης φραγμών. Επομένως, υποστηρίχθηκε ένα σχέδιο για την εγκατάσταση ενός πληθυσμού κόκκινου ελαφιού στην οροσειρά του Ιούρα. Ο λύγκας επίσης, δεν είναι σε θέση να διασχίσει την κοιλάδα Reuss εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας σιδηροδρομικών γραμμών και αυτοκινητόδρομων και γι' αυτό ξεκίνησε ένα σχέδιο για την εγκατάσταση ενός πληθυσμού στις περιοχές των ανατολικών Ελβετικών Άλπεων. Αυτά τα παραδείγματα επεξηγούν την ανάγκη να ξεπεραστούν οι επιπτώσεις φραγμού των μεταφορικών υποδομών.

Η περίπτωση του ασβού στην Ολλανδία είναι ένα πιο ενθαρρυντικό παράδειγμα. Η παρατηρούμενη μείωση των πληθυσμών ασβού τη δεκαετία του 70 διευθετήθηκε από ένα εθνικό πρόγραμμα αποκατάστασης της κατάτμησης που τέθηκε σε εφαρμογή το 1984 (van der Grift, 2005). Περιλάμβανε την κατασκευή πολυάριθμων αγωγών, μεταξύ άλλων μέτρων (Bekker and Canters 1997). Η μείωση των πληθυσμών ασβού σταμάτησε και έκτοτε οι πληθυσμοί έχουν παρουσιάσει και μία ελάχιστη αύξηση. Ωστόσο, οι οικολογικοί διάδρομοι μπορεί να αποδειχθούν αποτελεσματικοί μόνο εφόσον υπάρχει επαρκής οικοτόπος για τους πληθυσμούς στο τοπίο (Fahrig, 2002). Όσο πιο χαμηλό το ποσό του οικοτόπου στο τοπίο, τόσο πιο επιβλαβείς οι επιπτώσεις των δρόμων στη βιωσιμότητα των πληθυσμών.

Ο βαθμός των αρνητικών επιπτώσεων της κατάτμησης οικοτόπων στους ζωικούς και φυτικούς πληθυσμούς είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί από τη στιγμή που η πλήρης έκταση των οικολογικών επιπτώσεων στις τροποποιήσεις τοπίου θα γίνει εμφανής δεκαετίες αργότερα. Ακόμη και αν όλη η περαιτέρω κατάτμηση τοπίου και οικοτόπου σταματούσε, κάποιοι άγριοι πληθυσμοί θα εξαφανίζονταν αναπόφευκτα στις επόμενες δεκαετίες εξαιτίας του μακρού χρόνου απόκρισης στις τροποποιήσεις που έχουν ήδη συμβεί. Αυτή η επίπτωση ονομάστηκε «κόστος εξάλειψης» των τροποποιημένων τοπίων (Tilman et al., 1994). Συνεπώς, απαιτούνται δείκτες που μετρούν διάφορες πιέσεις ή απειλές στη βιοποικιλότητα. Για παράδειγμα, η απειλή στη βιοποικιλότητα εξαιτίας της κατάτμησης τοπίου μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από το «μέγεθος πλέγματος» (mesh size) του δικτύου που δημιουργήθηκε από τα τεμαχισμένα στοιχεία που είναι παρόντα στο τοπίο.

Επιπρόσθετα, η κατάτμηση τοπίου αλλάζει την εμφάνιση του τοπίου: εκτάσεις αστικής ανάπτυξης, δρόμοι υψηλού κυκλοφοριακού όγκου και σιδηροδρομικές γραμμές είναι ανάμεσα στα πιο εμφανικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το μετασχηματισμό των φυσικών τοπίων σε πολιτιστικά τοπία στα οποία έχει διεισδύσει η τεχνολογία. Καθώς αυτά τα τοπία συνήθως δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτά ως συνδεδεμένα πλέον, η κατάτμησή τους οδηγεί σε μία διαφορετική αντίληψη του τοπίου από τον άνθρωπο (Di Giulio et al., 2009). Η ευρεία διάδοση του θορύβου και της ηχορύπανσης, συνδεδεμένη με

τη διαπερατότητα των δρόμων επίσης έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα αναπληχής των τοπίων που είναι επίσης σημαντική για τους ανθρώπους (EEA, 2/2011).

2.3 Συνέπειες του οδικού δικτύου σε πληθυσμούς πτηνών

Οι πληθυσμοί των πτηνών ανά τον κόσμο μειώνονται (Birdlife International 2008a). Στη Βόρεια Αμερική, οι συχνότητες 20 τουλάχιστον ειδών που χαρακτηρίζονταν ως κοινά, έχουν μειωθεί περισσότερο από 50% τα τελευταία 40 χρόνια (Butcher & Niven 2007; Birdlife International 2008b). Επιπρόσθετα, οι συχνότητες περισσότερων των μισών μεταναστευτικών νεοτροπικών ειδών έχουν υποστεί ουσιαστική μείωση, με τις αιτίες να μην έχουν πλήρως διευκρινιστεί (Butcher & Niven 2007; Birdlife International 2008c). Ένας πιθανός παράγοντας είναι η επέκταση των ασφαλοστρωμένων δρόμων, με την έννοια της διαπλάτυνσης (National Research Council 2005) και οι συνεπακόλουθες αυξήσεις στην ταχύτητα και τον όγκο των οχημάτων σε αυτούς τους δρόμους (Ritters & Wickham 2003).

Η μειωμένη αναπαραγωγική επιτυχία συσχετίζεται με την εγγύτητα των πτηνών στους δρόμους και την πυκνότητα των δρόμων για ένα εύρος ειδών από τα στρουθιόμορφα έως τα ιερακόμορφα (Catchpole & Phillips 1992; Donazar et al. 1993; Reijnen & Foppen 1994). Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι παρακείμενες σε δρόμους κοινότητες πτηνών, διαφέρουν από τις γειτονικές κοινότητες πτηνών (Glennon & Porter 2005), ενδεχομένως εξαιτίας συνδυασμού άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων των δρόμων (Forman & Alexander 1998; Trombulak & Frissell 2000; Fahrig & Rytwinsky 2009).

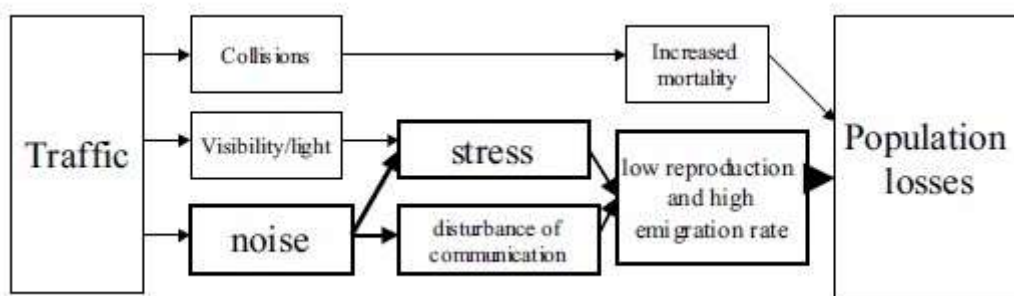
Υπάρχει περιορισμένη γνώση για το εάν η μείωση στην ανθεκτικότητα των πτηνών επηρεάζεται περισσότερο από τις άμεσες ή έμμεσες συνέπειες. Εάν αυτό μπορούσε να προσδιοριστεί στις αστικές περιοχές, θα υπήρχε η δυνατότητα να αυξηθεί η συχνότητα των πτηνών και η αφθονία των ειδών. Είναι επίσης σημαντικό να ταυτοποιηθούν και να αμβλυνθούν τυχόν αρνητικές επιπτώσεις των δρόμων σε προστατευόμενες περιοχές, οι οποίες έχουν το ρόλο της ρύθμισης και προστασίας των πληθυσμών άγριων ζώων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Πολλές από τις αρνητικές επιπτώσεις των δρόμων σε άλλα σπονδυλωτά (π.χ. θνησιμότητα, κατάτμηση οικοτόπων, οπτικοακουστική διαταραχή, χημική ρύπανση) αφορούν επίσης και τα πτηνά (Forman et al. 2003; Jacobson 2005). Υπάρχουν λίγοι τρόποι με τους οποίους οι δρόμοι μπορεί να ωφελήσουν τα πτηνά. Για παράδειγμα, οι δρόμοι συγκρατούν θερμότητα, η οποία μπορεί να μειώσει τα μεταβολικά κόστη για πτηνά που ξεκουράζονται σε επιφάνειες δρόμων (Whitford 1985), σχετιζόμενες οδικές δομές (π.χ. στύλοι και γέφυρες) μπορούν να δημιουργήσουν τοποθεσίες φωλιάσματος (Forman

2000) και οι παρυφές αυξάνουν την διαθεσιμότητα τροφικών πηγών (Lambertucci et al. 2009) και συνδέουν καταστήματα οικοτόπων (Meunier et al. 1999; Huijser & Cleverger 2006; Reijnen & Foppen 2006).

2.2.1 Άμεσες απειλές στα πτηνά εξαιτίας των δρόμων και της κυκλοφορίας

Για τους πληθυσμούς των πτηνών οι πιο ορατές άμεσες αρνητικές επιπτώσεις των δρόμων είναι η απώλεια οικοτόπων και η θνησιμότητα που οφείλεται στις συγκρούσεις με οχήματα. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την απώλεια των οικοτόπων, όπως για παράδειγμα οι παράπλευρες δραστηριότητες συντηρήσεων και επισκευών, που μειώνουν επιπλέον την ποιότητα του οικοτόπου και καταστρέφουν θέσεις φωλεοποίησης, οδηγώντας πιθανόν σε μείωση της βιωσιμότητας πληθυσμών σπάνιων ειδών (π.χ. *Athene cunicularia*) (Catlin & Rosenberg 2006) (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3. Συσχέτιση της οδικής κυκλοφορίας με τις πληθυσμιακές απώλειες των πτηνών (Reijnen & Foppen 2006).

Θνησιμότητα οφειλόμενη σε οχήματα

Για μεμονωμένα πτηνά και άλλες ομάδες σπονδυλωτών, μία από τις άμεσες απειλές των δρόμων είναι ο θάνατος εξαιτίας της σύγκρουσης με οχήματα (Erritzoe et al. 2003). Στις ΗΠΑ, υπολογίζεται ότι τα οχήματα προκαλούν περίπου 80 εκατομμύρια θανάτους πτηνών κάθε χρόνο (Erickson et al. 2005). Παρά τον υψηλό αριθμό θανατώσεων κάθε χρόνο, εικάζεται ότι οι προκαλούμενες από οχήματα θανατώσεις, έχουν μικρότερες επιπτώσεις στην κατάσταση διατήρησης από ότι κάποιες από τις έμμεσες επιπτώσεις των δρόμων (Forman & Alexander 1998; Reijnen & Foppen 2006). Μόνο τρία είδη πτηνών στις ΗΠΑ εμφανίζονται να αντιμετωπίζουν μειώσεις πληθυσμών ως συνέπεια αυτών: το *Ardeola herodias* (Mumme et al. 2000; IUCN 2008), το *Polyborus plancus audubonii* και το *Branta sandvicensis* (Huijser et al. 2007; IUCN 2008). Μεγαλύτερη κατανόηση απαιτείται για το τι κάνει

κάποια είδη πιο ευάλωτα σε συγκρούσεις με οχήματα και στην απομείωση πληθυσμών ως αποτέλεσμα της οφειλόμενης σε οχήματα θνησιμότητας, ωστόσο κάποιες γενικεύσεις ανακύπτουν από τη βιβλιογραφία.

Πρώτον, τα πτηνά είναι πιο πιθανό να συγκρούονται με οχήματα αν αναζητούν τροφή, κουρνιάζουν ή φωλιάζουν κοντά σε δρόμους (Erritzoe et al. 2003; Huijser et al. 2007). Η συχνότητα συγκρούσεων μπορεί να αυξάνεται κοντά σε υδάτινες οδούς (Erritzoe et al. 2003; Ascensao & Mira 2006) και οικίες (Ascensao & Mira 2006). Επίσης, οι συγκρούσεις είναι πιθανότερες σε χαμηλότερα υψόμετρα (Clevenger et al. 2003) και σε ανοιχτές περιοχές παρά σε δάση (π.χ. Clevenger et al. 2003; Ascensao & Mira 2006; Ramp et al. 2006).

Διάφοροι άλλοι παράγοντες έχουν λιγότερο σταθερές συνέπειες στην προκαλούμενη από οχήματα θνησιμότητα πτηνών. Για πολλά είδη, η προκαλούμενη από οχήματα θνησιμότητα αυξάνεται κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής και της μετανάστευσης (Fulton et al. 2008; Gryz & Krause 2008), όμως για άλλα είδη αυξάνεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Loos & Kerlinger 1993; Boves 2007). Οι συγκρούσεις μπορεί να αυξάνονται ή να μειώνονται με την αύξηση του φωτισμού παραπλεύρως του δρόμου (Jackson 2003; Hernandez 1988). Δέντρα παραπλεύρως του δρόμου, σειρές θάμνων και άλλα χαρακτηριστικά που ωθούν τα πτηνά να πετούν ψηλότερα διασχίζοντας δρόμους συνήθως μειώνουν τη συχνότητα συγκρούσεων (Pons 2000; Bard et al. 2002; Clevenger et al. 2003; Erritzoe et al. 2003; Taylor & Goldingay 2004; Orłowski 2005), αλλά μπορεί και να την αυξήσουν (Ramp et al. 2006; Varga et al. 2006). Τα πτηνά επίσης ποικίλλουν στις αποκρίσεις τους στους δρόμους. Κάποια άτομα εμφανίζονται να μαθαίνουν να αποφεύγουν τα οχήματα (Mumme et al. 2000), ενώ άλλα όχι (Loos & Kerlinger 1993; Jackson 2002).

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η πραγματική έκταση της οφειλόμενης σε οχήματα θνησιμότητας, γιατί οι εκτιμήσεις είναι συνήθως αρκετά χαμηλότερες από τον πραγματικό αριθμό των πτηνών που θανατώνονται (Erickson et al. 2005). Η ακρίβεια της εκτίμησης μειώνεται από την διακύμανση στην αποδοτικότητα του ερευνητή, τα σφάλματα λόγω πτωματοφάγων ζώων (Erickson et al. 2005; Boves 2007) και την εσφαλμένη απόδοση αιτίας θανάτου (Kerlinger & Lein 1988). Ακόμα και σε μακροχρόνιες μελέτες στις οποίες επισημαίνεται το 100% των ατόμων, οι ερευνητές μπορεί να αποτύχουν να εντοπίσουν όλα τα περιστατικά θνησιμότητας οφειλόμενης σε οχήματα (Mumme et al. 2000). Οι συγκρούσεις με οχήματα μπορεί επίσης να προκαλέσουν μη θανατηφόρο τραυματισμό, αυξάνοντας την πιθανότητα θανάτου του πτηνού από άλλες αιτίες (Orłowski & Siembieda 2005). Επιπρόσθετα, ανακριβείς εκτιμήσεις της προκαλούμενης από οχήματα θνησιμότητας μπορούν να συντελέσουν στην απουσία δεδομένων της αφθονίας ειδών, σε περίπτωση που μελετούνται μόνο τα πτώματα (Hernandez 1988; Aebischer et al. 2005). Η έλλειψη πληροφοριών για το μέγεθος του

πληθυσμού κάνει δύσκολη τη σύγκριση δεικτών θνησιμότητας σε διαφορετικές περιοχές, ιδιαίτερα σε διαφορετικές ηπείρους (Erritzoe et al. 2003).

Ρύπανση και δηλητηρίαση

Αντιψυκτικοί παράγοντες, οργανικές χημικές ενώσεις με βάση το πετρέλαιο, θρεπτικά, καθιζήματα, χημικά για αγροτική χρήση και άλλες ουσίες που ξεπλένονται τακτικά από ασφαλτοστρωμένους δρόμους κατά την κατασκευή, συντήρηση και χρήση (Buckler & Granato 1999). Το αλάτι που απορρίπτεται στους δρόμους είναι ένας κοινός αντιψυκτικός παράγοντας που προσελκύει τα πτηνά. Η κατάποσή του μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο, γεγονός που καταρρίπτει την αντίληψη ότι το αλάτι στο δρόμο έχει αρνητική επίπτωση μόνο εξαιτίας του ότι προσελκύει τα πτηνά στην επιφάνεια του δρόμου, θέτοντάς τα σε κίνδυνο για σύγκρουση με οχήματα (Mineau & Brownlee 2005). Η σκόνη σε μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους μπορεί να αλλάξει τη σύνθεση της βλάστησης (Walker & Everett 1987), γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα πτηνά (Kalisz & Powell 2003). Οι δρόμοι με χαλίκι συχνά επιστρώνονται με συσσωματώματα σκόνης, των οποίων οι περιβαλλοντικές και τοξικολογικές επιπτώσεις δεν είναι πλήρως κατανοητές (Fay & Kociolek 2009). Παρά την έντονη παρουσία των δρόμων, οι ρυπαντές των οχημάτων και των εργασιών συντήρησης εμφανίζεται να είναι σπάνιες, ακόμη και σε περιοχές με έντονους κυκλοφοριακούς όγκους (Buckler & Granato 1999) και η ρύπανση εμφανίζεται να έχει μικρότερες επιπτώσεις στα πτηνά από ότι άλλες επιπτώσεις σχετιζόμενες με τους δρόμους (Reijnen & Forpen 2006).

2.2.2 Έμμεσες απειλές στα πτηνά εξαιτίας των δρόμων και της κυκλοφορίας

Ακόμα και με την απουσία των άμεσων δηλητηριωδών επιπτώσεων, πολλά είδη πτηνών εμφανίζονται να αποφεύγουν τους δρόμους σκοπίμως (Bollinger & Gavin 2004; Balbontin 2005; Gavashelishvili & McGrady 2006). Κάποια είδη μπορεί να εμφανίζονται κοντά σε δρόμους για ένα χρονικό διάστημα, αλλά είναι πιθανό να εγκαταλείπουν τις φωλιές τους κοντά σε δρόμους (Gorog et al. 2005). Για τα πτηνά, η αποφυγή των δρόμων εμφανίζεται να συνδέεται με τους φυσικούς φραγμούς που θέτουν οι δρόμοι στη μετακίνηση, το θόρυβο, το τεχνητό φως και τις επιπτώσεις παρυφής.

Φυσικοί φραγμοί

Από τις έμμεσες απειλές των δρόμων, τα εμπόδια που θέτουν στις μετακινήσεις εικάζεται ότι έχουν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στα σπονδυλωτά (Forman & Alexander 1998). Διάφορα δασικά είδη πτηνών είναι απίθανο να διασχίσουν κενά στη δασική κάλυψη $\geq 50\text{m}$ σε εκτάσεις γεωργικές,

(Desrochers & Hannon 1997), υλοτομούμενες (Awade & Metzger 2008) και αστικών υποδομών (Tremblay & St. Clair 2009). Κάποια είδη επιδεικνύουν απροθυμία να διασχίσουν χωματόδρομους πλάτους 10-30m (Develey & Stouffer 2001). Εντούτοις, οι φραγμοί που προκαλούνται από τους δρόμους ίσως αποτελούν μία απλή λειτουργία του πλάτους του κενού που δημιουργούν στον περιβάλλοντα οικότοπο, εκτός και αν οι δρόμοι είναι επίσης θορυβώδεις (St. Clair 2003; Tremblay & St. Clair 2009) ή συνδέονται με υψηλά χαρακτηριστικά όπως καλώδια ηλεκτρικής ενέργειας (Pruett et al. 2009).

Θόρυβος

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος έχει την πιο ευρέως διαδεδομένη και μεγαλύτερη έμμεση επίπτωση στα πτηνά (Reijnen et al. 1995). Ο θόρυβος πιθανόν προκαλεί μειώσεις στις πληθυσμιακές πυκνότητες που αναφέρθηκαν για διάφορα είδη πτηνών που εντοπίζονται κοντά σε δρόμους (Reijnen & Forppen 2006; Patricelli & Blickley 2006). Στα λιβάδια, οι συνέπειες του θορύβου εμφανίζεται να εκτείνονται σε μεγαλύτερη απόσταση από τους δρόμους από ότι στα δάση (Forman et al. 2002), ίσως επειδή τα λιβάδια έχουν λιγότερη βλάστηση για να απορροφά τον ήχο. Επιπρόσθετα στις επιπτώσεις του κυκλοφοριακού όγκου και του συσχετιζόμενου θορύβου, ίσως υπάρχουν συνεργιστικές επιπτώσεις του θορύβου, την απώλεια οικοτόπων, της κατάτμησης (Forman & Deblinger 2000) και των επιπτώσεων παρυφής (Habib et al. 2007).

Τα πτηνά μπορεί να επηρεάζονται από τον ανθρωπογενούς προέλευσης ήχο, επειδή βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ακουστική επικοινωνία. Ο χρόνιος βιομηχανικός θόρυβος μπορεί να μειώσει την αφθονία των ειδών, να αλλάξει την ηλικιακή δομή του πληθυσμού και να αλλάξει τη δυναμική θηρευτή-θηράματος στα πτηνά (Francis et al. 2009). Αντίστοιχα με τον βιομηχανικό θόρυβο, ο χρόνιος κυκλοφοριακός θόρυβος εμφανίζεται να μειώνει τις πληθυσμιακές πυκνότητες σε διάφορα είδη πτηνών (Reijnen & Forppen 2006). Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να προκύπτουν επειδή ο ανθρωπογενής θόρυβος επικαλύπτει τις συχνότητες των καλεσμάτων που χρησιμοποιούνται για την προσέλκυση ζευγαριού (Rheindt 2003; Pohl et al. 2009), την επικοινωνία με τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους (Lohr et al. 2003; Slabbekoorn & Ripmeester 2008) ή τα νεογνά (Leonard & Horn 2005), την υπεράσπιση περιοχών (Habib et al. 2007; Mockford&Marshall 2009) και τον εντοπισμό των θηρευτών (Slabbekoorn & Ripmeester 2008; Francis et al. 2009). Οι επιπτώσεις του θορύβου και στα πτηνά και στα άνοια φαίνεται να εξαρτώνται από τις συχνότητες και τα πλάτη κύματος των ιδιαίτερων για κάθε είδος σημάτων (Lengagne 2008; Slabbekoorn & Ripmeester 2008; Hu & Cardoso 2009). Κάποια είδη φαίνεται να μην επηρεάζονται από τους δρόμους ή την κυκλοφορία (Kaselo 2005; Reijnen & Forppen 2006) και άλλα ίσως να μην πλησιάζουν τους δρόμους όταν ο κυκλοφοριακός όγκος είναι υψηλός (Bautista et al. 2004). Διάφορα είδη ωδικών πτηνών των πόλεων εμφανίζονται να εξουδετερώνουν τις

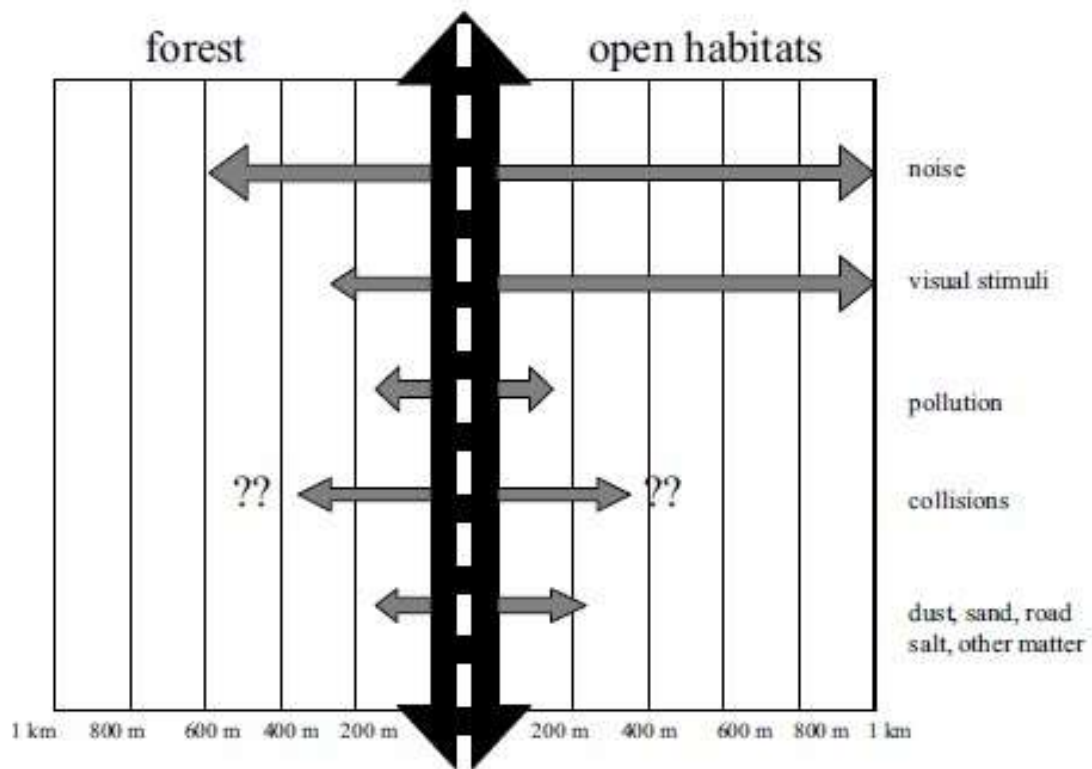
επιπτώσεις επικάλυψης του κυκλοφοριακού θορύβου τραγουδώντας σε υψηλότερο τόνο (Slabbekoorn & Peet 2003), αυξάνοντας το πλάτος κύματος του τραγουδιού (Brumm 2004b), ή τραγουδώντας κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλό κυκλοφοριακό θόρυβο (Fuller et al. 2007). Άλλα είδη ίσως δεν έχουν την ικανότητα να προσαρμόσουν τα κελαηδίσματά τους στον χρόνιο θόρυβο (Slabbekoorn & Ripmeester 2008; Barber et al. 2010) και η επιτυχία ζευγαρώματος των πτηνών με σχετικά υψηλού πλάτους κύματος κελάηδισμα μειώνεται όταν εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα χρόνιου θορύβου (Habib et al. 2007).

Τεχνητός φωτισμός

Ο φωτισμός των λεωφόρων μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε πολλά ζώα (Rich & Longcore 2006), περιλαμβανομένων των πτηνών (Ogden 1996; Van De Laar 2007). Κάποιες δομές φωτισμού προσελκύουν τα αποδημητικά είδη πτηνών, γεγονός το οποίο αυξάνει την πιθανότητα να θηρευτούν ή να συγκρουστούν με δομές και να οδηγούνται συχνά σε ανακατεύθυνση των διαδρομών πτήσης και συνεπώς σε εξάντληση αποθεμάτων ενέργειας (van de Laar 2007). Ο τεχνητός φωτισμός μπορεί επίσης να επηρεάσει τα πρότυπα των πτηνών στην διαδικασία φωλεοποίησης, κελαηδίσματος, ανατροφής, τριχώρροιας και μετανάστευσης (De Molenaar et al. 2006). Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο φωτισμός δρόμων ίσως μειώνει την ποιότητα οικοτόπων και αλλάζει το χρόνο αναπαραγωγής για τη λιμόζα (*Limosa limosa*), είδος που σχετίζεται με τα λιβάδια της Αφρικής, της Ευρώπης και της Ασίας (De Molenaar et al. 2006). Ο αμερικάνικος κοκκινολαίμης (*Turdus migratorius*) κελαηδά τις πρώτες πρωινές ώρες σε περιοχές με περισσότερο ανθρωπογενές φως (Miller 2006), όμως αυτή η απόκριση ίσως είναι δύσκολο να αποσυνδεθεί από την σχετιζόμενη επίπτωση του θορύβου των δρόμων, ο οποίος είναι πιο σημαντικός από το φως για την επεξήγηση του νυκτερινού κελαηδίσματος του ευρωπαϊκού κοκκινολαίμη (*Erithacus rubecula*; Fuller et al. 2007).

Επιπτώσεις παρυφής

Θετικές και αρνητικές επιπτώσεις των παρυφών στα αναπτυσσόμενα πτηνά έχουν τεκμηριωθεί σε πλήθος μελετών (Stephens et al. 2003). Οι επιπτώσεις παρυφής των δρόμων μπορεί να είναι ιδιαίτερος οξείες όταν εισαγόμενα είδη, όπως οι αρουραίοι (*Rattus rattus*) θηρεύουν σε θέσεις όπου υπάρχουν φωλιές πτηνών (Delgado et al. 2001) ή όταν παρασιτικά είδη, όπως το *Molothrus ater*, στοχεύουν τις φωλιές πτηνών με ενδιαφέρον διατήρησης (Chace et al. 2003). Σε κάποιες περιπτώσεις, αυτές οι επιπτώσεις παρυφής είναι αντικρουόμενες (Bergin et al. 2000; Lariviere 2003).



Εικόνα 2.4. Σχηματική αναπαράσταση των παραμέτρων που προκαλούν επιπτώσεις στα πτηνά και οι εκτιμώμενες αποστάσεις επίδρασης, σε δασικές εκτάσεις και ανοικτούς οικοτόπους (Reijnen et al 1995).

2.4 Γενικές αρχές των επιπτώσεων του θορύβου στα πτηνά

Υπάρχουν τρεις γενικές επικαλυπτόμενες κατηγορίες των επιπτώσεων του θορύβου των μεγάλων οδικών αρτηριών στα πτηνά: οι ακουστικές βλάβες και η προσωρινή μετατόπιση του ακουστικού ορίου, η επικάλυψη και οι άλλες φυσιολογικές και συμπεριφορικές αποκρίσεις. Στην περίπτωση των άμεσων ακουστικών επιπτώσεων, η εκάστοτε κατηγορία εξαρτάται πρωταρχικά από το επίπεδο της έκθεσης στο θόρυβο το οποίο συσχετίζεται έντονα με την εγγύτητα του πτηνού στην πηγή του θορύβου (Εικόνα 2.5). Η υπάρχουσα επιστημονική βιβλιογραφία παρέχει οδηγίες για τον καθορισμό των ορίων μεταξύ αυτών των κατηγοριών των επιπτώσεων

- i. Ζώνη 1: Αν ένα πτηνό βρίσκεται σε αυτή την περιοχή, ο κυκλοφοριακός και ο κατασκευαστικός θόρυβος θεωρείται πιθανό να συντελέσουν στην απώλεια της ακοής, στη μετατόπιση του ακουστικού ορίου, στην επικάλυψη και/ή άλλες συμπεριφορικές και/ή φυσιολογικές επιπτώσεις. Εργαστηριακά στοιχεία δείχνουν ότι συνεχή επίπεδα θορύβου πάνω

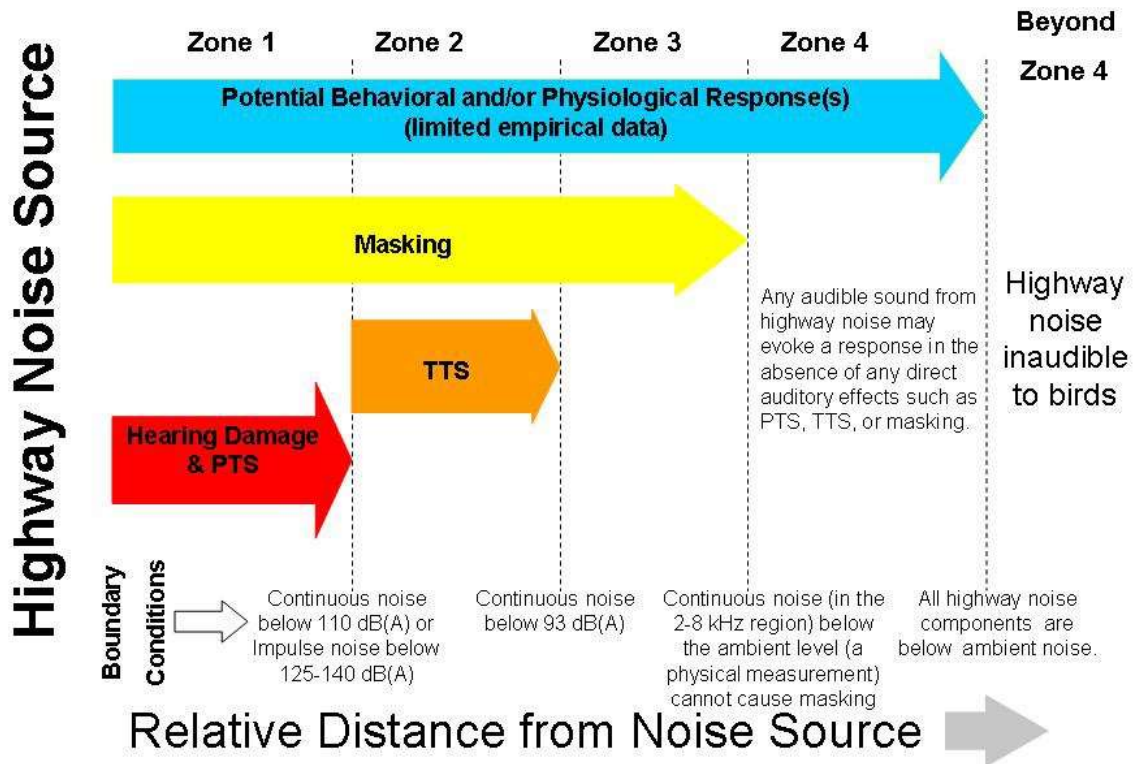
από τα 110 dB(A) SPL ή ένας απλός μεμονωμένος θόρυβος πάνω από 140 dB SPL (125 dB SPL για πολλαπλούς) πιθανόν προκαλούν βλάβη

- ii. Ζώνη 2: Σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον αυτοκινητόδρομο, με αφετηρία το σημείο όπου τα επίπεδα θορύβου πέφτουν κάτω από τα 110 dB(A) συνεχούς έκθεσης, απώλεια ακοής και αλλαγή ακουστικού ορίου είναι απίθανο να συμβούν. Παρόλα αυτά, θόρυβος από αυτοκινητόδρομο που υπερβαίνει τα 93 dB(A) SPL ίσως να αυξήσει προσωρινά το ακουστικό όριο του πτηνού, να επικαλύψει σήματα σημαντικά για την επικοινωνία και πιθανόν να οδηγήσει σε άλλες συμπεριφορικές και/ή φυσιολογικές επιπτώσεις
- iii. Ζώνη 3: Σε ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις από τον αυτοκινητόδρομο, αλλά όπου το επίπεδο φάσματος του θορύβου του αυτοκινητόδρομου είναι ακόμα στα επίπεδα ή ανώτερο του φυσικού περιβαλλοντικού επιπέδου θορύβου, η επικάλυψη των σημάτων επικοινωνίας λόγω του θορύβου θα υπερβαίνει την ήδη υπάρχουσα λόγω του φυσικού περιβαλλοντικού θορύβου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συμπεριφορικές και/ή φυσιολογικές επιπτώσεις.
- iv. Ζώνη 4: Όταν το επίπεδο του θορύβου πέσει κάτω από τα επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου στις κρίσιμες συχνότητες για την επικοινωνία, η επικάλυψη των σημάτων επικοινωνίας δεν αποτελεί πλέον πρόβλημα. Παρόλα αυτά, ανεπαίσθητοι ήχοι που εμπίπτουν εκτός της περιοχής των φωνητικών δυνατοτήτων των πτηνών, όπως για παράδειγμα το χαμηλό βουητό ενός φορτηγού, ίσως προκαλούν συμπεριφορικές και/ή φυσιολογικές επιπτώσεις.
- v. Πέραν της ζώνης 4: Σε αυτό το όριο, η ενέργεια στον κυκλοφοριακό και κατασκευαστικό θόρυβο σε όλες τις συχνότητες δεν είναι αντιληπτή (πέφτει κάτω από το όριο επικάλυψης των πτηνών) από τα πτηνά και δεν δημιουργεί κανενός είδους επιπτώσεις.

Είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητά τρία γεγονότα για τις συμπεριφορικές και φυσιολογικές του θορύβου των αυτοκινητόδρομων. Το πρώτο είναι ότι οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να προκύψουν ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με τις άμεσες επιπτώσεις του θορύβου στο ακουστικό σύστημα των πτηνών. Δεύτερον, οι επιπτώσεις αυτές ίσως είναι λιγότερο εξαρτώμενες από το επίπεδο θορύβου και περισσότερο εξαρτώμενες από τα συστατικά του θορύβου στο πτηνό. Τρίτον, σε σύγκριση με τις άμεσες επιπτώσεις του θορύβου στο ακουστικό σύστημα του πτηνού, υπάρχουν λίγα εμπειρικά δεδομένα διαθέσιμα για τις επιπτώσεις αυτές και ειδικά όταν προκύπτουν μόνο αυτές όπως στη ζώνη 4.

Summary of Concepts

Relation Among Noise Levels, Distance, and Potential Effects



Εικόνα 2.5. Επιπτώσεις του θορύβου των αυτοκινητόδρομων στα πτηνά. Κατηγορίες επιπτώσεων θορύβου με βάση την απόσταση από την πηγή. Η ζώνη 1 βρίσκεται εγγύτερα στην πηγή σε σύγκριση με τη ζώνη 4.

2.5 Επιπτώσεις του θορύβου των αυτοκινητόδρομων στα πτηνά

2.5.1 Πτηνά και οδικός θόρυβος

Η βιβλιογραφία για τις επιπτώσεις του θορύβου των δρόμων στα πτηνά είναι περιορισμένη και η μεθοδολογία είναι συχνά ανεπαρκής για να παρέχει μία ξεκάθαρη συσχέτιση μεταξύ του θορύβου των δρόμων και των επιπτώσεων στη φυσιολογία και/ή τη συμπεριφορά των πτηνών. Ένας ιδιαίτερος προβληματισμός είναι ότι ενώ υπάρχουν έμμεσες ενδείξεις ότι ο θόρυβος των δρόμων ίσως επηρεάζει τα πτηνά (Forpen and Reijnen 1994; Reijnen et al. 1995; Forman et al. 2002), υπάρχουν επίσης

συσχετιζόμενες μεταβλητές που μπορεί να έχουν επίπτωση, όπως οπτικά ερεθίσματα, ρύπανση του αέρα που παράγεται από αυτοκίνητα και φορτηγά (Llacuna et al. 1996; Clench-Aas et al. 2000) και αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον γύρω από τους αυτοκινητόδρομους (Ferris 1979). Η διάκριση ανάμεσα σε αυτές και άλλες μεταβλητές είναι συχνά δύσκολη ή αδύνατη. Ενώ υπάρχουν στατιστικά στοιχεία που υποστηρίζουν ότι ο θόρυβος ίσως επηρεάζει τα πτηνά με κάποιο τρόπο (Foppen and Reijnen 1994; Reijnen et al. 1995), δεν υπάρχουν πειράματα που απομονώνουν ξεκάθαρα τον θόρυβο ως αποκλειστική πηγή διαταραχής. Ακόμα και όταν ο θόρυβος υπονοείται ως συνεισφέρων παράγοντας, υπάρχουν ακόμα πολλές μεταβλητές με χαμηλό βαθμό κατανόησης όπως τα προσλαμβανόμενα επίπεδα θορύβου των πτηνών, οι επιπτώσεις της συχνότητας των διαταραχών (Forman et al. 2002) και το είδος. Η εικόνα αυτή περιπλέκεται περαιτέρω με τις διαφορές μεταξύ των ειδών στον τρόπο που αποκρίνονται στο θόρυβο και πόσο γρήγορα μπορούν να εγκλιματιστούν ή να συνηθίσουν στις διάφορες διαταραχές (Ferris 1979; Kuitunen et al. 1998; Fernandez-Juricic 2001).

Όντως, υπάρχουν πολλές μεταβλητές οι οποίες θα μπορούσαν να εμπλέκονται στις πιθανές επιπτώσεις του κυκλοφοριακού θορύβου στα πτηνά (Harison 1978). Χωρίς να ληφθούν υπόψη κάθε μία από αυτές τις πιθανές μεταβλητές (και άλλες), δεν μπορούν αν γίνουν κατάλληλοι συσχετισμοί μεταξύ του οδικού θορύβου και της συμπεριφοράς των πτηνών. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν τις ακόλουθες, αλλά δεν περιορίζονται σ' αυτές:

- 1) Είδη πτηνών και τύπος ακουστικής επικοινωνίας τους
- 2) Είδη πτηνών και η συμπεριφορά τους στην παρουσία δυσμενών ερεθισμάτων
- 3) Ηλικία και εμπειρία των ειδών
- 4) Ακουστική ικανότητα ενός είδους σε ησυχία
- 5) Ακουστική ικανότητα ενός είδους σε θόρυβο και
- 6) Άλλοι τύποι ερεθισμάτων συσχετιζόμενα με τους δρόμους που πιθανόν να περιλαμβάνουν (μεταξύ άλλων):
 - a) Οπτικά σήματα (κίνηση οχημάτων)
 - b) Ρύπανση αέρα προσερχόμενη από οχήματα (Llacuna et al. 1996; Clench-Aas et al. 2000)
 - c) Δονήσεις υποστρώματος ως αποτέλεσμα της κίνησης των οχημάτων στο δρόμο
 - d) Το οικοσύστημα κοντά στο δρόμο περιλαμβανομένου του υποστρώματος, της βλάστησης κλπ και
 - e) Η παροχή τροφής κοντά στο δρόμο

Σε μία από τις πρόσφατες αναλύσεις οι Warren et al. (2006) αξιολόγησαν τα δεδομένα προτείνοντας ότι ο θόρυβος θα μπορούσε να επηρεάσει τη συμπεριφορά των πτηνών. Ωστόσο, οι συγγραφείς επισήμαναν ότι ενώ τα αποτελέσματά τους θα μπορούσαν να ερμηνευθούν ως ενδεικτικά του ότι ο θόρυβος ίσως επηρεάζει τα πτηνά, καμία από τις προηγούμενες εργασίες δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί

για να οδηγήσει σε στέρεα συμπεράσματα για οποιοδήποτε είδος. Όντως, οι Warren et al. (2006) επισήμαναν την ανάγκη για πολύ εξειδικευμένες και αυστηρά ελεγχόμενες μελέτες εργαστηριακές και πεδίου για να αξιολογηθεί πως ο θόρυβος των δρόμων (ή άλλου είδους) θα επηρεάσει τα πτηνά. Τέτοια πειράματα είναι πολύ δύσκολο να σχεδιαστούν και να διεξαχθούν, καθώς και όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό αυτών των πειραμάτων.

Οι τέσσερις κύριες ομάδες μελετών που ελήφθησαν υπόψη από τους Warren et al. (2006) είναι χρήσιμες στην κατανόηση των ζητημάτων. Σε μία ομάδα δημοσιεύσεων ο Reijnen και συνεργάτες (Reijnen and Foppen 1994, 1995; Reijnen et al. 1995a, b; Reviewed in Reijnen et al. 1995c) εξέτασαν τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας των αυτοκινητόδρομων σε αναπαραγόμενους πληθυσμούς πτηνών στην Ολλανδία. Ο Reijnen και οι συνεργάτες του συμπέραναν ότι ο θόρυβος των αυτοκινητόδρομων έχει έναν αντίκτυπο στα πτηνά εντός κάποιων εκατοντάδων μέτρων από τον αυτοκινητόδρομο. Συμπέραναν επίσης ότι ο θόρυβος μειώνει την έκταση της αναπαραγωγής των πτηνών κοντά στους αυτοκινητόδρομους. Η μελέτη του Reijnen και των συνεργατών έδειξε ότι όταν το επίπεδο κυκλοφοριακού θορύβου ήταν σταθερό, δεν υπήρχε διακριτή επίπτωση από την οπτική διαταραχή. Όμως όταν η οπτική διαταραχή διατηρούνταν σταθερή, τα πρότυπα κατανομής των πτηνών συσχετιζόνταν στατιστικά με τον κυκλοφοριακό θόρυβο. Επιπλέον, επισήμαναν ότι η οπτική διαταραχή και οι προερχόμενοι από τα οχήματα ρυπαντές εκτείνονταν μόνο σε μία μικρή απόσταση από το δρόμο, ενώ ο κυκλοφοριακός θόρυβος και οι μειωμένες συχνότητες πτηνών εκτείνονταν σε μεγαλύτερη απόσταση. Αυτή η προσέγγιση, της διαφοροποιημένης με βάση την απόσταση επίπτωσης, εάν ενσωματωθεί κατάλληλα σε σχεδιασμούς πειραμάτων μελλοντικών μελετών, θα μπορούσε να παρέχει μέσα για την απομόνωση των επιπτώσεων των σχετιζόμενων παραμέτρων και καλύτερη εξαγωγή πληροφοριών εστιασμένων στην επιρροή του θορύβου.

Ενώ τα δεδομένα στις μελέτες των Reijnen et al. Είναι ενδιαφέροντα, ασκήθηκε έντονη κριτική για ανεπαρκή στατιστική ανάλυση και έλλειψη ανάλυσης εξατομικευμένα για είδη πτηνών (TNCC 1997). Το TNCC (1997) υποστήριξε ότι ο αριθμός των πτηνών που μελετήθηκαν ήταν πολύ μικρός για αξιόπιστες στατιστικά μετρήσεις και ότι τα επίπεδα σημαντικότητας που χρησιμοποιήθηκαν ποίκιλαν μεταξύ των ετών μελέτης. Επίσης, συμπέραναν, ότι οι Reijnen et al., για την εξαγωγή των συμπερασμάτων τους δεν υπολόγισαν την κατασκευή του αυτοκινητόδρομου ως πιθανό παράγοντα επίδρασης στα πτηνά.

Πιο σημαντικά, το TNCC (1997) επισήμανε ότι ο Reijnen και οι συνεργάτες του συγκέντρωσαν όλα τα δεδομένα τους ώστε να παρουσιάσουν πιθανή επίπτωση σε όλα τα πτηνά, παρά να προσδιορίσουν εάν υπάρχουν επιπτώσεις ανά είδος. Η σημασία της διαφοροποίησης των ειδών στην απόκριση στο θόρυβο (και άλλους παράγοντες) έχει τονιστεί σε διάφορες άλλες μελέτες (Clark and Karr 1979; Ferris

1979; van der Zande et al. 1980; Kuitunen et al. 1998; Fernandez-Juricic 2001; Peris and Pescador 2004).

Σε μία άλλη μελέτη, ο Stone (2000), έκανε τομές για να υπολογίσει τους πληθυσμούς πτηνών για ένα μεγάλο εύρος τύπων χρήσης γης. Τα αποτελέσματα οδήγησαν στην πρόταση ότι υπάρχει αξιοσημείωτη μείωση στους πληθυσμούς πτηνών σε περιοχές με περισσότερο θόρυβο, ανεξάρτητα της χρήσης γης. Παρόλα αυτά, οι Warren et al. (2006), επισήμαναν ότι ενώ ο θόρυβος είναι μία παράμετρος που θα μπορούσε να επηρεάσει τους πληθυσμούς πτηνών σε κάποιους τύπους χρήσης γης και όχι σε άλλους, ο Stone (2000) δεν προχώρησε σε πολύ-παραγοντική ανάλυση για να προσδιορίσει αν άλλα ζητήματα οικοτόπων, όπως το αν υπήρχαν διαφορές στην επιφάνειες του εδάφους, στον τύπο βλάστησης ή σε άλλες παραμέτρους, θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά ενός πτηνού.

Μια άλλη μελέτη που ο θόρυβος από δρόμους ίσως επηρεάζει τα πτηνά, επικεντρώθηκε στην παρουσία των πληθυσμών πέντε ειδών πτηνών σε λιβάδια, σε διαφορετικές αποστάσεις από τους δρόμους μέσα και γύρω από τη Βοστώνη. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι υπάρχει μια επίπτωση στην πυκνότητα των υπό μελέτη ειδών εξαιτίας του οδικού θορύβου, αλλά η έκταση της επίπτωσης ποικίλλει εξαρτώμενη στο επίπεδο δραστηριότητας του δρόμου. Υπολόγισαν ότι η χαμηλή κυκλοφορία (λιγότερα από 8.000 οχήματα/ημέρα) δεν είχε επίπτωση στους πληθυσμούς των πτηνών. Σε περιοχές με 8.000-15.000 οχήματα/ημέρα, δεν υπήρχε επίπτωση στα πληθυσμιακά επίπεδα, αλλά υπήρχαν λιγότερα αναπαραγόμενα πτηνά έως 400m από το δρόμο. Η παρουσία πτηνών και η αναπαραγωγή μειώθηκε έως και 700m από δρόμους στους οποίους κυκλοφορούν 15.000-30.000 οχήματα/ημέρα, ενώ η απόσταση αυξήθηκε στα 1.200m για περισσότερα από 30.000 οχήματα/ημέρα (αυτοκινητόδρομοι με πολλές γραμμές κυκλοφορίας). Ενώ οι συγγραφείς συμπέραναν ότι ο θόρυβος μπορεί να είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει αυτά τα είδη πτηνών που ζουν σε λιβάδια και ότι άλλες παράμετροι, όπως τα οπτικά σήματα, οι αέριοι ρυπαντές και η έλλειψη θήρευσης κοντά στους δρόμους ίσως συμβάλλουν στην επεξήγηση της μείωσης των πληθυσμών των πτηνών, απαιτείται άμεση πειραματική απόδειξη των επιπτώσεων του αυξημένου χρόνιου θορύβου διαφορετικών επιπέδων και ακουστικών φασμάτων (Lee and Fleming 1996; Warren et al. 2006).

Ταυτόχρονα, τα αποτελέσματα των Forman et al. (2002) ίσως να μην είναι εφαρμόσιμα σε όλα τα είδη, σε όλες τις περιστάσεις. Για παράδειγμα, οι Peris και Pescador (2004) εξέτασαν τα αποτελέσματα χαμηλών, μεσαίων και υψηλών κυκλοφοριακών όγκων σε πληθυσμούς πτηνών 20 στρουθιόμορφων ειδών σε περιβάλλοντα βοσκότοπου-δασότοπου κοντά σε δρόμους στη δυτική-κεντρική Ισπανία. Ενώ είναι δύσκολο να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μελετών από τη στιγμή που οι Peris και Pescador (2004) δεν όρισαν την οδική πυκνότητα σε οχήματα/ημέρα, τα διαφορετικά αποτελέσματα είναι διδακτικά. Σε αντίθεση με τους Forman et al. (2002), οι Peris και Pescador (2004) παρείχαν μετρήσεις επιπέδου ήχου σε αποστάσεις 50-100m από δρόμους. Ανέφεραν ότι περιοχές υψηλού

κυκλοφοριακού φόρτου είχαν επίπεδα ήχου των 69 ± 5 dB, μεσαίας πυκνότητας 46 ± 3 dB και χαμηλής πυκνότητας στα 36 ± 2 dB. Οι Peris και Pescador (2004) απέδειξαν ότι υπήρχαν διαφορές μεταξύ του αριθμού των πτηνών και της έκτασης των αναπαραγόμενων πληθυσμών σε κάθε μία από τις τρεις περιοχές, αλλά οι διαφορές ποίκιλλαν ανά είδος. Κανένα πρότυπο παρουσίας πτηνών δεν ήταν κατάλληλο για το σύνολο των ειδών. Για παράδειγμα, το *Miliaria calandra*, το *Petronia petronia* και το *Passer domesticus* παρουσίαζαν υψηλότερη αναπαραγωγική πυκνότητα σε περιβάλλον υψηλότερης κυκλοφορίας από ότι σε περιοχές χαμηλού κυκλοφοριακού όγκου. Σε αντιδιαστολή, η αναπαραγωγική πυκνότητα ήταν υψηλότερη για το *Oenanthe* sp σε περιοχές χαμηλής και μεσαίας κυκλοφορίας από ότι σε περιοχές υψηλής κυκλοφορίας. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το 55% των ειδών δεν παρουσίαζαν διαφορά στην αναπαραγωγική πυκνότητα μεταξύ των τοποθεσιών διαφορετικού επιπέδου θορύβου, ενώ άλλα πτηνά έδειχναν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι συγγραφείς προτείνουν ότι οι διαφορές στις αποκρίσεις των διάφορων ειδών ίσως εξαρτώνται από την ακουστική ευαισθησία των ειδών, με τα πτηνά που έχουν την πιο ευαίσθητη ακοή να αποφεύγουν περισσότερο τον οδικό θόρυβο από τα πτηνά με χαμηλότερη ακοή.

2.5.2 Μακροπρόθεσμες προσαρμογές στην κάλυψη λόγω θορύβου

Ακόμη και χωρίς τον ανθρώπινη προέλευσης θόρυβο, οι φυσικοί οικοτόποι έχουν συγκεκριμένα πρότυπα περιβαλλοντικού θορύβου (ακουστικό σκηνικό) ως αποτέλεσμα μεταξύ άλλων του ανέμου, των ήχων ζώων και εντόμων και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων που παράγουν ήχο, όπως ρέματα, καταρράκτες κτλ. Οι βιολόγοι υποψιάζονται για καιρό ότι ο θόρυβος αυτού του τύπου ασκεί μία πίεση επιλογής στην εξέλιξη των ακουστικών σημάτων ειδικά στα πτηνά (Morton 1975; Brenowitz 1982; Ryan and Brenowitz 1985; Wiley and Richards 1982; Slabbekoom 2004). Οι Brumm και Slabbekoom (2005) αναφέρουν ότι το *Phylloscopus magnirostris* το οποίο ζει κοντά σε ποτάμια ρέματα στα Ιμαλία αποφεύγει την επικάλυψη του τραγουδιού του, παράγοντας νότες υψηλών τόνων σε στενές ζώνες συχνότητας γύρω στα 6 kHz (Dubois and Martens 1984). Στην πραγματικότητα, διαφορές στη δομή του τραγουδιού ή του καλέσματος βασισμένες στις διαφορές των οικοτόπων έχουν αναφερθεί σε έναν αριθμό ειδών πτηνών (Douglas and Conner 1999; Slabbekoom and Smith 2002; Slabbekoom and Peet 2003), όπως για τα τραγούδια του *Andropadus virens*. Παρόλα αυτά, παραμένει ένα ζήτημα αν τα τραγούδια και καλέσματα προσαρμόζονται στον περιβαλλοντικό θόρυβο μέσω εξελικτικών ή οντογενετικών αλλαγών.

2.5.3 Βραχυπρόθεσμες προσαρμογές στην κάλυψη λόγω θορύβου

Τα πτηνά είναι επίσης ικανά να προσαρμόσουν τα χαρακτηριστικά των φωνητικών τους σε απόκριση προσωρινών αλλαγών στο ηχητικό υπόβαθρο. Ως παράδειγμα, υπάρχει πλέον μια αξιοσημείωτη βιβλιογραφία που αποδεικνύει ότι τα πτηνά μπορούν να προσαρμόσουν το εύρος των φωνητικών τους σε απόκριση στο θόρυβο μέσω ενός φαινομένου που αναφέρθηκε πρώτα στους ανθρώπους ως Lombard effect. Ένας αριθμός πτηνών έδειξε ότι αυξάνει το επίπεδο της φωνητικής απόδοσής του ως και 10 dB στην παρουσία μέτριου θορύβου υποβάθρου, που είναι αρκετά δυνατός για να επηρεάσει την αντίληψη που έχει το πτηνό για τα ίδια τα φωνητικά του (Potash 1972; Cynx et al. 1998; Manabe, et al. 1998; Brumm and Todt 2002, 2003).

Αυτό έχει πλέον αποδειχθεί μελετώντας το πώς συμπεριφέρονται πτηνά φορώντας ακουστικά ενώ παράγουν ήχο (Osmanski and Dooling 2006). Σε αυτά τα πειράματα, η παρουσία θορύβου μέσω ακουστικών προκαλεί το πτηνό να αυξήσει το εύρος της φωνητικής απόδοσης ως 10 dB. Ενώ η περισσότερη εργασία στον έλεγχο του εύρους έχει γίνει στο εργαστήριο, μια έρευνα έδειξε ότι τα αρσενικά αηδόνια κελαηδούν δυνατότερα σε πιο θορυβώδεις περιοχές και τα πτηνά στις αστικές περιοχές κελαηδούν δυνατότερα τις εργάσιμες ημέρες από ότι τα σαββατοκύριακα, όταν τα επίπεδα θορύβου μειώνονται (Brumm 2004).

Υπάρχουν περιορισμένες αποδείξεις ότι τουλάχιστον κάποια πτηνά μπορούν να χρησιμοποιήσουν την επανάληψη για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της εκπομπής σήματος. Τα ιαπωνικά ορτύκια αυξάνουν τον αριθμό των συλλαβών του καλέσματος ανά σειρά καλεσμάτων σε θόρυβο (Potash 1972) και οι πγκουίνοι αποκρίνονται σε αυξημένα επίπεδα θορύβου στο υπόβαθρο λόγω ανέμου, αυξάνοντας τον αριθμό των συλλαβών ανά κάλεσμα (Lengagne et al. 1999).

Υπάρχει επίσης ένδειξη ότι κάποια πτηνά είναι ικανά να κάνουν βραχυπρόθεσμες αλλαγές στο φάσμα των φωνητικών τους (Hultsch and Todt 1996; Manabe 1997). Σε άλλα πρόσφατα εργαστηριακά πειράματα με παπαγάλους, τα πτηνά εκπαιδεύτηκαν να παράγουν ήχους φορώντας ακουστικά. Αλλάζοντας τεχνητά τον τόνο του ακουστικού θορύβου των φωνητικών των ίδιων των πτηνών, οδήγησε το πτηνό να αντισταθμίσει, αλλάζοντας τον τόνο των φωνητικών του στην αντίθετη κατεύθυνση (Osmanski and Dooling 2006). Αυτά τα πειράματα αποδεικνύουν ότι τα πτηνά έχουν σε κάποιο βαθμό βραχυπρόθεσμο έλεγχο στον τόνο των φωνητικών τους και μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή την ικανότητα για να μεγιστοποιήσουν τη μεταφορά πληροφοριών σε ένα θορυβώδες περιβάλλον.

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα πτηνά μπορούν να προσαρμόσουν τον συγχρονισμό των φωνητικών τους, να αποφύγουν τον ανταγωνισμό για ακουστικό χώρο με άλλα είδη ή να συμπίπτουν με περιόδους

χαμηλού θορύβου για να αποφύγουν την επικάλυψη ήχου (Cody and Brown 1969; Wasserman 1977; Popp and Ficken 1987; Popp et al. 1985; Ficken et al. 1985; Evans 1991).

Τα πτηνά (και ο αποστολέας και ο δέκτης), μπορούν επίσης να αντισταθμίσουν την επίπτωση της επικάλυψης θορύβου στην ακουστική επικοινωνία αλλάζοντας την τοποθεσία τους. Μία στρατηγική που θα βελτιώνει την αναλογία σήματος/θορύβου είναι να μετακινηθεί σε μία θέση στο ενδιαίτημα στην οποία ο διάδρομος διάδοσης είναι καλύτερος για το σήμα από ότι για το θόρυβο (Brumm and Slabbekoorn 2005). Συνεπώς, η μετακίνηση σε υψηλότερα στρώματα βλάστησης είναι μία απόκριση που θα βελτιώσει την αναλογία σήμα/θόρυβος (Mathevon et al. 1996; Holland et al. 1998). Με τις ευρωπαϊκές τσίγλες (*Turdus merula*), εκτιμάται ότι η μετακίνηση από το έδαφος σε μία κούρνια περίπου 9 μέτρα υψηλή, θα συντελούσε σε μία αύξηση στην ακουστικότητα συγκρίσιμη με τη μετακίνηση του λήπτη κατά 90m οριζοντίως πλησιέστερα του αποστολέα (Dabelsteen et al. 1993).

Τελικά, τα πτηνά (όπως οι άνθρωποι και τα άλλα ζώα) χαίρουν μίας «χωρικής αποδέσμευσης» από την επικάλυψη όταν η πηγή θορύβου μπορεί να απομονωθεί χωρικά από την πηγή του σήματος. Εργαστηριακή έρευνα με παπαγάλους υπό αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες έδειξε ότι το ποσό της αποδέσμευσης από την επικάλυψη είναι αξιοσημείωτη και μπορεί να είναι 10-15 dB όταν η πηγή θορύβου και η πηγή του σήματος χωρίζονται κατά 90° (Dent et al. 1997). Ανακαλώντας ότι η πίεση ήχου μειώνεται κατά περίπου 6 dB με κάθε διπλασιασμό της απόστασης, θα μπορούσε να μεταφραστεί σε έναν τετραπλασιασμό της απόστασης στη οποία δύο πτηνά θα μπορούσαν να επικοινωνήσουν αν τοποθετούνταν βέλτιστα σχετικά με την πηγή του θορύβου (π.χ. 90°).

2.5.4 Ορισμός των κατευθυντήριων γραμμών των επιπτώσεων

Υπάρχει πλήθος παραγόντων που καθορίζουν τις κατευθυντήριες γραμμές των επιπτώσεων του οδικού θορύβου στα πτηνά. Η μέγιστη απόσταση επικοινωνίας για ένα τυπικό είδος πτηνού σχετίζεται με την ένταση με την οποία το πτηνό παράγει ήχο και την απώλεια της εκπομπής εξαιτίας της εκτεταμένης εξασθένησης από το περιβάλλον. Το όριο για την επίπτωση θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη οτιδήποτε είναι γνωστό για τα φασματικά χαρακτηριστικά των φωνητικών, την απόσταση έως την οποία συμβαίνει φυσιολογικά η ακουστική επικοινωνία (π.χ. η έκταση της επικράτειας) και φυσικά τα υπάρχοντα επίπεδα του περιβαλλοντικού θορύβου. Τα επίπεδα θορύβου που περιορίζουν τη μέγιστη απόσταση επικοινωνίας σε μία απόσταση μικρότερη από τη διάμετρο του μεγέθους της επικράτειας του πτηνού (ή γνωστές αποστάσεις επικοινωνίας σε περιβαλλοντικό θόρυβο) ίσως έχουν σοβαρές βιολογικές συνέπειες. Ο ήδη υπάρχων φυσικός περιβαλλοντικός θόρυβος στο περιβάλλον του πτηνού

είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό του εάν ο οδικός θόρυβος θα έχει βλαπτικές επιπτώσεις.

Προφανώς, οι αποκλίσεις στην έκταση της επικράτειας, το μέγεθος της κρίσιμης αναλογίας ανάμεσα στα πτηνά και τα φυσικά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου, είναι κρίσιμες μεταβλητές που καθιστούν αδύνατο να χρησιμοποιηθεί ένα ενιαίο επίπεδο θορύβου για την εκτίμηση του εάν ο κυκλοφοριακός θόρυβος περιορίζει την επικοινωνιακή απόσταση προκαλώντας επιπρόσθετη επικάλυψη. Ένα παράδειγμα είναι το επίπεδο των 60 dB(A) με βάση τα όσα γνωρίζουμε ως τώρα για τις κρίσιμες αναλογίες των πτηνών. Νέα δεδομένα συστήνουν ότι το επίπεδο θα έπρεπε να είναι 55 dB(A) για ένα τυπικό πτηνό (κρίσιμο όριο 27 dB). Αν γίνει αποδεκτό αυτό το επίπεδο που βασίζεται στο τυπικό πτηνό, σημαίνει ότι το 50% των πτηνών που ελέγχονται θα βρίσκονταν άνω του επιπέδου αυτού και 50% κάτω. Από την άλλη μεριά, με πιο συντηρητικό τρόπο, θα μπορούσε κάποιος να επιλέξει το καναρίνι που έχει το χαμηλότερο όριο (32 dB) όλων των πτηνών που ελέγχθηκαν ως τώρα (έχει την πιο αδύναμη ακοή). Ένα αποδεκτό επίπεδο θορύβου με βάση το καναρίνι θα προσέγγιζε τα 50 dB(A) και θα ήταν μία συντηρητική εκτίμηση, καλύπτοντας το 100% των ειδών για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμα ακουστικά δεδομένα. Στην άλλη μεριά του εύρους, ένα επίπεδο βασισμένο στο όριο του παπαγάλου (21 dB), που έχει την καλύτερη ακοή, θα ήταν περίπου στα 60 dB(A), αλλά αυτό το επίπεδο δεν θα ήταν κατάλληλο για κανένα άλλο είδος. Επιπλέον, όλα αυτά εξαρτώνται από την απόσταση στην οποία τα πτηνά χρειάζεται να επικοινωνήσουν και από τα υπάρχοντα επίπεδα φυσικού περιβαλλοντικού θορύβου. Με βάση τα τυπικά επίπεδα θορύβου σε μία ήσυχη προαστιακή περιοχή, επίπεδα οδικού θορύβου που προσεγγίζουν τα 50-60 dB(A) εικάζεται δικαιολογημένα ότι ξεκινούν να παρεμβάλλονται στην ακουστική επικοινωνία.

Με βάση τα εργαστηριακά δεδομένα, προτείνονται διάφορες κατευθυντήριες γραμμές, από τις οποίες δύο αφορούν την ακουστική βλάβη και την αλλαγή ακουστικού ορίου, μία την επικάλυψη και η τέταρτη με το στρες και την ενόχληση. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2.5, αυτές οι γραμμές είναι: (1) Επίπεδα θορύβου μικρότερα των 110 dB(A) συνεχούς θορύβου είναι εξαιρετικά απίθανο να προκαλέσουν ακουστική βλάβη ή μόνιμη αλλαγή ορίου στα πτηνά. (2) Επίπεδα συνεχούς θορύβου κάτω από τα 93 dB(A) είναι απίθανο να προκαλέσουν ακόμα και προσωρινές αλλαγές ακουστικού ορίου στα πτηνά. Η τιμή αυτή, βασισμένη αποκλειστικά σε μελέτες πτηνών, είναι παρεμφερής με τη βιβλιογραφία για τον άνθρωπο. Για παράδειγμα, τα στάνταρ του OSHA επιβάλλουν μέτρα προστασίας της ακοής μόνο όταν τα επίπεδα θορύβου σε εργασιακούς χώρους φθάνουν συνεχή επίπεδα των 85 dB(A) για οκτώ ώρες. (3) Σε μεγαλύτερες αποστάσεις από το δρόμο, όταν το επίπεδο του οδικού θορύβου είναι χαμηλότερο του επιπέδου περιβαλλοντικού θορύβου (ιδιαίτερα στην περιοχή 2-4 kHz), υπάρχει μικρή ή καμία επιπρόσθετη επικάλυψη των σημάτων επικοινωνίας πέρα από την ήδη υπάρχουσα λόγω του φυσικού περιβαλλοντικού θορύβου. (4) Σε περίπτωση απουσίας εμπειρικών

δεδομένων για πτηνά, τα επίπεδα του οδικού θορύβου που προκαλούν όχληση στον άνθρωπο παρέχουν μία χρήσιμη κατευθυντήρια γραμμή για την πιθανότητα πρόκλησης φυσιολογικού στρες και συμπεριφορική διαταραχή στα πτηνά.

Δυο κατευθυντήριες γραμμές επίσης προκύπτουν από την ανασκόπηση των δεδομένων της επικάλυψης. Πρώτον, ο μέσος άνθρωπος μπορεί να ακούσει οδικό θόρυβο σε αποστάσεις 2-4 φορές μεγαλύτερες από το τυπικό πτηνό. Συνεπάγεται ότι ο οδικός θόρυβος είτε από την κυκλοφορία είτε από την κατασκευαστική δραστηριότητα που είναι μετά βίας αντιληπτός στους ανθρώπους σε οποιαδήποτε απόσταση, είναι σχεδόν βέβαιο ότι δεν μπορεί να ακουστεί από τα πτηνά στην ίδια απόσταση. Δεύτερον, το αντίστροφο είναι εξίσου αλήθεια, αν ένας άνθρωπος μόλις και μετά βίας ακούει ένα πτηνό να τραγουδάει με ένα υπόβαθρο κυκλοφοριακού θορύβου, τα δεδομένα επικάλυψης προτείνουν ότι ένα άλλο πτηνό θα έπρεπε να προσεγγίσει στο ήμισυ της απόστασης στο πτηνό που τραγουδάει προκειμένου να το ακούσει (Dooling and Popper 2007).

2.6 Η σημασία των περιοχών χωρίς δρόμους ή με δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας στη διατήρηση της βιοποικιλότητας

Οι περιοχές χωρίς οδικό δίκτυο και σε χαμηλότερο βαθμό, οι περιοχές χαμηλής κυκλοφορίας, αναπαριστούν σχετικά αδιατάρακτους φυσικούς οικοτόπους και λειτουργικά οικοσυστήματα. Καθώς σε χαμηλή κυκλοφοριακή ένταση, όπως η επίπτωση φραγμού για την πανίδα, η διατάραξη της άγριας ζωής ή η ρύπανση μετριάζονται (Iuell et al. 2003; Jaeger et al. 2006; Theobald 2008; Charry and Jones 2009), είναι λογικό να υποτεθεί ότι οι περιοχές χαμηλής κυκλοφορίας ίσως επίσης αντιπροσωπεύουν θέσεις με υψηλή αξία διατήρησης, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, η οποία είναι ένα τοπίο που κυριαρχείται από τον άνθρωπο. Με βάση αυτό το σενάριο, τα οικολογικά οφέλη που περιγράφονται για τις περιοχές χωρίς δρόμους, ίσως βρίσκουν εφαρμογή και σε περιοχές χαμηλής κυκλοφορίας επίσης.

Οι επιστημονικές ενδείξεις δείχνουν ότι οι περιοχές χωρίς δρόμους είναι αποφασιστικής σημασίας στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημικών διαδικασιών, της συνδετικότητας και γενικά της οικοσυστημικής ακεραιότητας. Τα μεγάλα, καλά συνδεδεμένα κατατμήματα αυξάνουν την συνδετικότητα τοπίου και συμπληρώνουν το δίκτυο των προστατευόμενων περιοχών (π.χ. DeVelice and Martin 2001; Loucks et al. 2003; Crist et al. 2005). Συνεπώς, οι περιοχές χωρίς δρόμους διατηρούν σημαντικά στοιχεία της ακεραιότητας του οικοσυστήματος, όπως την ικανότητα των ειδών να μετακινούνται και την λειτουργία των φυσικών διαδικασιών. Συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην

προστασία της ενδογενούς βιοποικιλότητας και περιέχουν περισσότερα είδη και άτομα, είδη με μεγάλες χωρικές απαιτήσεις (π.χ. μεγάλα σαρκοφάγα) και είδη ευαίσθητα στην ανθρώπινη διαταραχή (Haskell 2000; Watkins et al. 2003; Angelstam et al. 2004; Blake et al. 2008; Chen and Roberts 2008). Έχουν τη δυνατότητα να διασφαλίσουν επαρκείς οικοτόπους για βιώσιμους πληθυσμούς ειδών με ενδιαφέρον διατήρησης, όπως επίσης να αυξήσουν την εκπροσώπηση σπάνιων οικολογικών κοινοτήτων (Strittholt and DellaSala 2001; Loucks et al. 2003; Crist et al. 2005). Εξυπηρετούν ως φραγμός απέναντι σε παράσιτα, ασθένειες (άγριας ζωής, εκτρεφόμενων ζώων και ανθρώπων, π.χ. η ασθένεια Lyme) και είδη εισβολείς (Strittholt and DellaSala 2001; Allan et al. 2003; Gelbard and Harrison 2003; Holdsworth et al. 2007; Von der Lippe and Kowarik 2007). Διασφαλίζουν την επικονίαση των καλλιεργειών, την ποιότητα του αέρα, την παροχή νερού και τον έλεγχο της διάβρωσης. Σε αυτές τις μεγάλες, μη κατατμημένες περιοχές παρέχονται σε αφθονία οι οικοσυστημικές υπηρεσίες, οι οποίες είναι ζωτικές για τις ανθρώπινες κοινωνίες (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Οι περιοχές χωρίς δρόμους ή χαμηλής κυκλοφορίας είναι ιδιαίτερης σημασίας για το ευρύτερο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής επειδή είναι πιο προσαρμοστικές από τις περιοχές που είναι περισσότερο κατατμημένες από δρόμους και επειδή έχουν ευρεία ρυθμιστική ικανότητα (McGarigal et al. 2001). Η οικοσυστημική δυναμική τους είναι ακόμη εσωτερικά εξαρτώμενη, αντίθετα με τις κατατμημένες περιοχές, που εξαρτώνται κυρίως από εξωτερικές δυνάμεις (Saunders et al. 1991). Τα ήδη κατατμημένα οικοσυστήματα που βρίσκονται ήδη υπό την πίεση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων θα είναι πιο ευάλωτα στις κλιματικές απειλές, ενώ οι μεγάλες ακέραιες περιοχές αντιστέκονται και ανακάμπτουν καλύτερα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Markham 1996; Laurance and Williamson 2001; Noss 2001; Opdam and Wascher 2004; Ferguson et al. 2008). Αυτά τα σχετικά αδιατάρακτα κατατμήματα οικοτόπων μπορούν να διευκολύνουν τις μετακινήσεις οργανισμών, στην περίπτωση που αυτές επιβάλλονται από τις κλιματικές συνθήκες. Γενικά, μπορούν να αποτελέσουν «παραδείσους» για πολλά είδη που εκτοπίζονται από τους πρώην οικοτόπους τους (Noss 2001; Lovejoy 2006). Επιβραδύνοντας τους ρυθμούς των αλλαγών, μετριάζοντας το τοπικό κλίμα και όντας πιο ποικίλες και ανθεκτικές, οι περιοχές χωρίς δρόμους και χαμηλής κυκλοφορίας ίσως συνεισφέρουν στην ελάφρυνση των συνεπειών των αλλαγών στη φαινολογία των ειδών και των τροφικών παράταιρων συνδυασμών που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή (Parmesan 2006) και να διευκολύνουν την προσαρμογή των ειδών.

Ειδικά όταν περιλαμβάνουν δασικά οικοσυστήματα ή ελώδεις εκτάσεις με πλούσιο έδαφος, οι περιοχές χωρίς δρόμους και χαμηλής κυκλοφορίας μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην μετατροπή ανόργανου άνθρακα σε οργανικά συστατικά. Οι αδιατάρακτοι οικοτόποι μπορεί να είναι ικανότεροι στην δέσμευση του άνθρακα, από ότι οι κατατμημένοι και υποβαθμισμένοι αντίστοιχοί τους. (Harmon et al. 1990; Laurance and Williamson 2001; Ferguson et al. 2008; Luysaert et al. 2008). Θα

μπορούσε να είναι μία σχετική υπόθεση προς έλεγχο, ότι τύποι οικοσυστημάτων πλούσιοι σε άνθρακα σε περιοχές χωρίς δρόμους και χαμηλής κυκλοφορίας αποθηκεύουν περισσότερο άνθρακα για να διατηρούνται σε μία κατάσταση λιγότερου στρες και επομένως σε πιο λειτουργική κατάσταση. Στην περίπτωση των δασών, σε περιοχές με φτωχή πρόσβαση (π.χ. σε απομακρυσμένες ορεινές περιοχές), η ποσότητα της νεκρής ξυλείας και του εδαφικού άνθρακα θα έπρεπε να είναι υψηλότερη. Οι περιοχές χωρίς δρόμους και χαμηλής κυκλοφορίας παρέχουν επίσης προστασία απέναντι στις επιπτώσεις καταιγίδων, όπως πλημμύρες ή κατολισθήσεις, και πυρκαγιών (μικρότερος κίνδυνος φωτιάς και υψηλότερη προσαρμοστικότητα, USDA Forest Service 2000, 2001; DellaSala and Frost 2001; Laurance and Williamson 2001; Ferguson et al. 2008). Αυτές οι σχετικά άθικτες περιοχές συνεισφέρουν στην προστασία πλημμυρικών περιοχών και στην προστασία από ξηρασία, όπως επίσης στο να διατηρούνται σταθερά τα τοπικά κλίματα και να μετριάζουν τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Τα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη των περιοχών χωρίς δρόμους και χαμηλής κυκλοφορίας, όπως η αναψυχή, έχουν επίσης τεκμηριωθεί σε μεγάλο βαθμό (Noss 1991; Loomis and Richardson 2000; Krieger 2001).

2.7 Έρευνα σε Ελλάδα-Κύπρο

Τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί έρευνες στα πλαίσια της οικολογίας δρόμων και στην Ελλάδα και στην Κύπρο, αναφορικά με τις επιπτώσεις που έχει η παρουσία και επέκταση του οδικού δικτύου στο περιβάλλον και τη βιοποικιλότητα.

Στον Ελλαδικό χώρο, οι Votsi et al. (2012) διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας του οδικού δικτύου και της ποικιλότητας οικοτόπων στις προστατευόμενες περιοχές του δικτύου Natura 2000. Η πυκνότητα του οδικού δικτύου στις προστατευόμενες περιοχές ήταν αισθητά χαμηλότερη από ότι στο σύνολο της επικράτειας, ενώ 32 από τις 214 προστατευόμενες περιοχές του δικτύου Natura 2000 δεν διαπερνούνται από δρόμους. Γενικά, δεν παρατηρήθηκε κάποια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας οδικού δικτύου και της βιοποικιλότητας οικοτόπων, με πιθανή εξήγηση την συνύπαρξη και συνεξέλιξη των τοπίων με την ανθρώπινη παρουσία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε μία άλλη έρευνα των Votsi et al. (2012) στην Ελλάδα, το ζητούμενο ήταν ο εντοπισμός των περιοχών της Ελλάδας με χαμηλά επίπεδα θορύβου (Quiet Areas, Qas), ως περιοχές που μπορούν να διαδραματίσουν ιδιαίτερο ρόλο στην προστασία της βιοποικιλότητας, με την κατάλληλη εφαρμογή διαχειριστικών σχεδίων και πλάνων διατήρησης. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν, αρχικά ο προσδιορισμός των περιοχών με θόρυβο ανθρωπογενούς προέλευσης (Noisy Areas, Nas), με εφαρμογή

ρυθμιστικών ζωνών με βάση την απόσταση από πηγές θορύβου, από τις οποίες έγινε τελικά η εξαγωγή των πιθανών Qas, στις οποίες εφαρμόστηκαν οι τύποι χρήσης γης και υψομετρικός χάρτης για την ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πιθανές Qas καλύπτουν 65.126 km², ήτοι το 47,93% της συνολικής χερσαίας έκτασης της Ελλάδας.

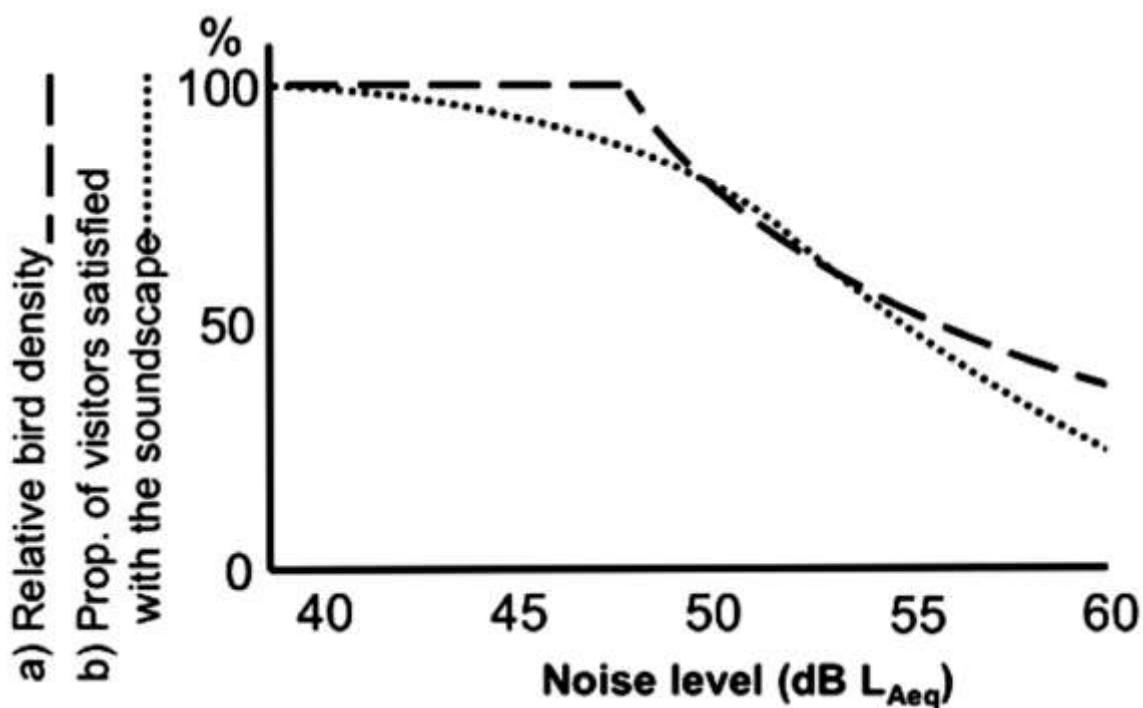
Στην Κύπρο, η μεγάλη επέκταση των οδικού δικτύου που έχει λάβει χώρα τα τελευταία έτη, απαιτεί την αξιολόγηση και διερεύνηση των επιπτώσεων που προκαλούνται στο περιβάλλον. Οι Zomeni & Vogiatzakis (2014), χαρτογράφησαν τις περιοχές που απέχουν το ελάχιστο 1 km από τον πλησιέστερο δρόμο και τη χωρική κατανομή τους σε σχέση με το δίκτυο Natura 2000. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περιοχές χωρίς δρόμους καλύπτουν το 4,5% του νησιού και παρά το γεγονός ότι βρίσκονται διασκορπισμένες, το 80% εντοπίζεται εντός των περιοχών Natura 2000, αποδεικνύοντας την σημασία του δικτύου. Επίσης, η εφαρμογή δεικτών κατάτμησης στις περιοχές Natura 2000 έδειξε ότι η κατάτμηση είναι λιγότερο έντονη σε ορεινές περιοχές που βρίσκονται υπό κρατική ιδιοκτησία. Μία άλλη έρευνα στις περιοχές Natura 2000 (Mammides et al. 2014), έλεγξε τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις της πυκνότητας του ανθρώπινου πληθυσμού, των οδικών δικτύων και της θήρευσης στην συνολική βιοποικιλότητα των ειδών πτηνών, καθώς και σε τέσσερις επιπλέον κατηγορίες: 1) δασικών και θαμνοτοπικών ειδών, 2) ειδών των αγρών, 3) υγροτοπικών ειδών και 4) ειδών της λίστας του παραρτήματος I της οδηγίας για τα πτηνά (2009/147/EC). Στις αναλύσεις ενσωματώθηκαν και άλλοι σημαντικοί παράγοντες όπως το μέγεθος της περιοχής, η ποικιλότητα οικοτόπων, το ποσοστό της περιοχής που καλύπτεται από μεταναστευτικούς διαδρόμους και το μέσο υψόμετρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το οδικό δίκτυο έχει αρνητική επίπτωση σε τέσσερις από τις πέντε κατηγορίες πτηνών, ενώ αντίθετη επίδραση σε όλες τις κατηγορίες έχουν η έκταση και η ποικιλότητα οικοτόπων.

2.8 Διεθνής έρευνα

Οι επιπτώσεις της προκαλούμενης διαταραχής σε πληθυσμούς πτηνών εξαιτίας του οδικού δικτύου, προκαλούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε διεθνές επίπεδο. Οι Reijnen & Forppen μελέτησαν τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας στην πυκνότητα ειδών πτηνών βοσκοτόπων σε 15 εκτάσεις-τομές παρακείμενες σε κύριους δρόμους στην Ολλανδία. Από τα 12 είδη που μπόρεσαν να αναλυθούν, τα 7 έδειξαν μία μειωμένη πυκνότητα πλησίον του δρόμου. Υπήρξε επίσης ισχυρή επίπτωση στις αθροιζόμενες πυκνότητες όλων των ειδών. Οι αποστάσεις που προκαλούν διαταραχή ποικίλουν μεταξύ ειδών, με εύρος από 20m έως 1.700m απόσταση από το δρόμο στα 5.000 αυτοκίνητα/ημέρα και από 65m έως 3.530m στα 50.000 αυτοκίνητα/ημέρα (ταχύτητα αυτοκινήτου 120km/h). Στα 5.000 αυτοκίνητα την

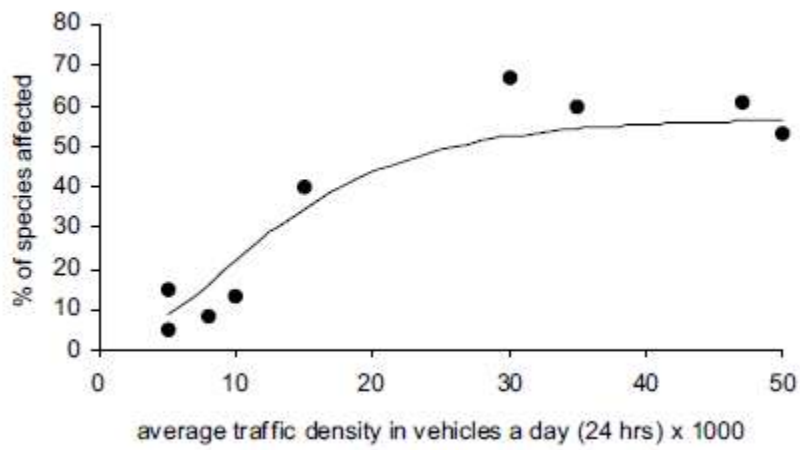
ημέρα τα περισσότερα είδη παρουσίαζαν μία εκτιμώμενη πληθυσμιακή απώλεια 12-56% εντός 100m από τους δρόμους, όμως πέρα των 100m το ποσοστό της απώλειας περιορίζεται και παρουσιάζεται σε >10% σε συγκεκριμένα είδη. Στα 50.000 αυτοκίνητα την ημέρα όλα τα είδη είχαν εκτιμώμενες απώλειες 12-52% έως τα 500m απόσταση, ενώ συγκεκριμένα είδη παρουσίαζαν απώλειες 14-44% μέχρι τα 1.500m. Ως συνέπεια, στην Ολλανδία, η οποία έχει πυκνό δίκτυο εξαιρετικά κοσμοβριθών αυτοκινητόδρομων, η κυκλοφορία θα έπρεπε να θεωρείται σοβαρή απειλή στους αναπαραγόμενους πληθυσμούς πτηνών σε εκτάσεις λιβαδιών. (Reijnen et al. 1996).

Επιπρόσθετα, στη Σουηδία, οι Helldin et al. (2013) ανέπτυξαν μία μέθοδο σε H/Y για την αξιολόγηση της επίπτωσης του κυκλοφοριακού θορύβου σε περιοχές με σημασία για την φυσική διατήρηση, με ειδική έμφαση σε τοποθεσίες σημαντικές για τα πτηνά. Το παραγόμενο αποτέλεσμα της μεθόδου ήταν ο υπολογισμός της δραστικής απώλειας οικοτόπου εξαιτίας του κυκλοφοριακού θορύβου για κάθε τοποθεσία, με βάση τη συσχέτιση μεταξύ μεγέθους θορύβου-επίπτωσης που παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία (εικόνα 2.6), διαθέσιμα δεδομένα GIS, επίσημα στοιχεία για τους δρόμους και ένα απλοποιημένο μοντέλο για την κατανομή του θορύβου. Η μέθοδος αυτή είχε διπλό σκοπό: αφενός να εκτιμηθεί η επίπτωση του κυκλοφοριακού θορύβου στα πτηνά σε μεγαλύτερες γεωγραφικές κλίμακες και αφ' ετέρου να ταυτοποιηθούν θέσεις προτεραιότητας για προσπάθειες μετριασμού των επιπτώσεων. Η μέθοδος εφαρμόστηκε στη Σουηδία σε δύο περιοχές με σχετικά χαμηλές ή μέτριες οδικές και κυκλοφοριακές πυκνότητες. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν επισήμαναν ότι: 1) σε επίπεδο περιοχής, η ζώνη επίπτωσης καλύπτει μικρό μέρος της έκτασης (0,6 και 3,3% σε χαμηλότερης και υψηλότερης πυκνότητας περιοχές αντιστοίχως), 2) για συγκεκριμένους τύπους οικοτόπων σημαντικούς για τα πτηνά, >10% βρίσκονται εντός της ζώνης επίπτωσης, 3) η επίπτωση από τον κυκλοφοριακό θόρυβο αντιπροσωπεύει μία δραστική απώλεια της τάξης του 0,02-1,7% της συνολικής έκτασης των επιλεγμένων τύπων οικοτόπων. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν μία εκτίμηση του παρόντος κόστους διατήρησης του κυκλοφοριακού θορύβου και υποδεικνύουν μία πιθανή ασύμμετρη επίπτωση σε ορισμένους σημαντικούς οικοτόπους για τα πτηνά.



Εικόνα 2.6. Επιπτώσεις του θορύβου στην πανίδα άγριων πτηνών και στην υπαίθρια αναμνηχή· σχετική συχνότητα των αναπαραγόμενων πτηνών σε Ολλανδικά λιβάδια (Reijnen et al. 1996) και αναλογία των επισκεπτών σε σουηδικές αστικές-ημιαστικές περιοχές πρασίνου οι οποίοι αντιλαμβάνονται το ηχητικό τοπίο ως καλό ή πολύ καλό (Nilsson 2007).

Για να προσδιοριστεί το ποσοστό των ειδών πτηνών που δείχνουν μειωμένες πυκνότητες κοντά σε δρόμους, οι Reijnen & Foppen χρησιμοποίησαν μελέτες που διερεύνησαν αντιπροσωπευτικό αριθμό ειδών (Reijnen et al. 1995; 1996; Reijnen & Foppen 1995; Fernández-Juricic 1999; Milsom et al. 2000; Foppen et al. 2002; Helldin & Seiler 2003; Rheindt 2003; Peris & Pescador 2004). Στις έρευνες αυτές το ποσοστό των ειδών που επηρεάζεται ποικίλλει από 5-67%. Η σχέση μεταξύ του ποσοστού των επηρεαζόμενων ειδών και της κυκλοφοριακής πυκνότητας μοντελοποιήθηκε, δίνοντας την εικόνα 2.7. Για μέτρια κυκλοφοριακή πυκνότητα χαμηλότερη των 30.000 αυτοκινήτων την ημέρα, οι διαφορές σχετίζονται με τις διαφορές στη μέγιστη κυκλοφοριακή πυκνότητα που παρουσιάζεται στις μελέτες. Πάνω από τις κυκλοφοριακές πυκνότητες των περίπου 30.000 αυτοκινήτων ανά ημέρα το ποσοστό των επηρεαζόμενων πτηνών δεν αυξάνεται περαιτέρω και παραμένει γύρω στο 55%. Προφανώς το υπόλοιπο 45% των πτηνών δεν επηρεάζεται (Reijnen & Foppen 2006).



Εικόνα 2.7. Συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού των ειδών που παρουσιάζουν μειωμένη πυκνότητα κοντά σε δρόμο και της μέσης κυκλοφοριακής πυκνότητας σε οχήματα ανά ημέρα, βασισμένη σε δεδομένα εννέα μελετών (Reijnen & Foppen 2006).

3. Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός-στόχοι

Σκοπός της διατριβής είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων του οδικού δικτύου της Κύπρου πάνω σε πληθυσμούς πτηνών στην Κύπρο, με την αξιοποίηση δεικτών και παραμέτρων του οδικού δικτύου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία θα οδηγήσει σε παραγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων πάνω στα ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση ή όχι του οδικού δικτύου στους πληθυσμούς των πτηνών και οι παράμετροι που διέπουν την όποια συσχέτιση.

3.2 Ερευνητικά ερωτήματα-υποθέσεις

Αφορμή για την εκπόνηση της διατριβής αποτέλεσαν τα ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις προς διερεύνηση. Η αρχική ερευνητική υπόθεση είναι ότι η παρουσία του οδικού δικτύου έχει αρνητικές επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα των πτηνών. Η υπόθεση αυτή βασίστηκε σε έρευνες που συνηγορούν υπέρ της και οι οποίες καταδεικνύουν τη συνεισφορά της αυξημένης παρουσίας του οδικού δικτύου στην μείωση των πληθυσμών πτηνών ανά τον κόσμο. Η επιβεβαίωση ή μη της αρχικής υπόθεσης αποτελεί κίνητρο για περαιτέρω διερεύνηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τα παραγόμενα αποτελέσματα, μέσω της υποβολής πιο εξειδικευμένων ερευνητικών ερωτημάτων. Τα επιμέρους ερωτήματα προς διερεύνηση είναι τα εξής:

- Ποια η επίδραση που προκαλείται από την παρουσία του οδικού δικτύου αυτού καθ' αυτού;
- Ποια η επίδραση της κατάτμησης που προκαλείται λόγω της παρουσίας του οδικού δικτύου στους πληθυσμούς των πτηνών;
- Πώς επιδρά στους πληθυσμούς πτηνών ο κυκλοφοριακός θόρυβος;
- Υπάρχει συνδυαστική επίπτωση κατάτμησης και κυκλοφοριακού θορύβου στη βιοποικιλότητα πτηνών;

Για την επιβεβαίωση ή μη της αρχικής υπόθεσης και την απάντηση των επιμέρους ερευνητικών ερωτημάτων πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός μεθοδολογίας προσαρμοσμένης στα διαθέσιμα δεδομένα και χρήση λογισμικού για την παραγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

3.3 Οργάνωση-σχεδιασμός της διατριβής

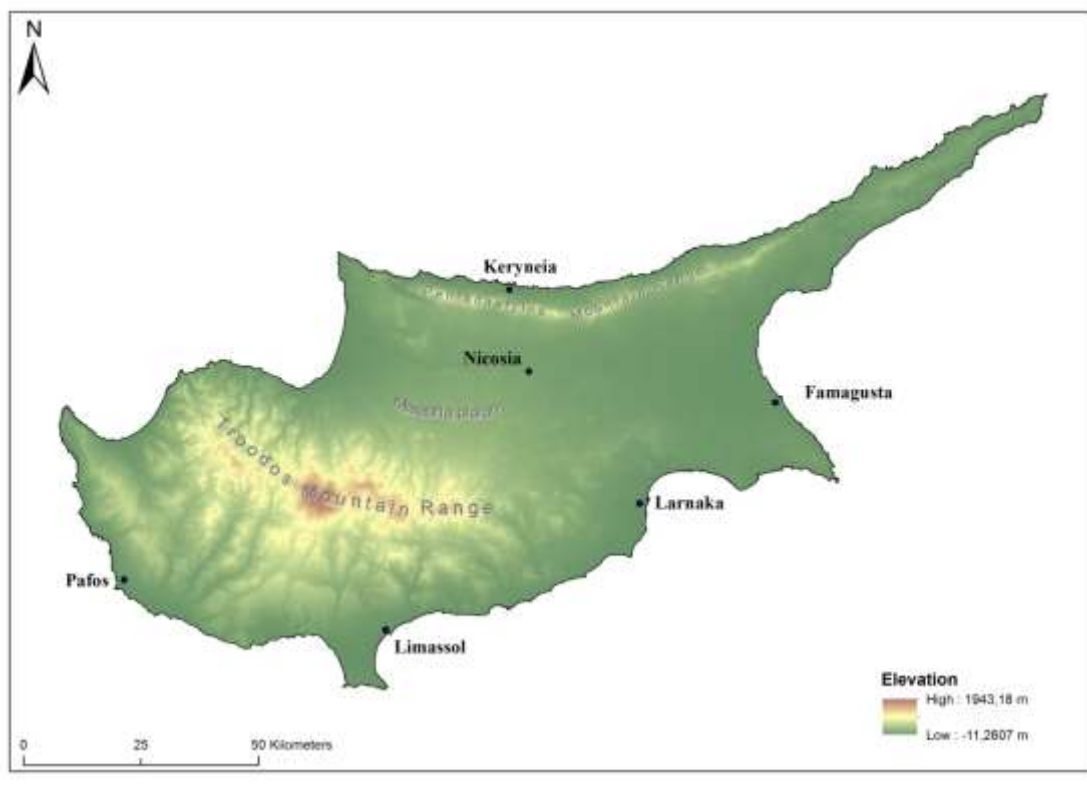
3.3.1 Παρουσίαση της περιοχής μελέτης-Κύπρος-στοιχεία βιοποικιλότητας-στοιχεία οδικού δικτύου Κύπρου

Τοποθεσία και φυσικά χαρακτηριστικά: Η Κύπρος είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου. Βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της λεκάνης της Ανατολικής Μεσογείου, με γεωγραφικό πλάτος 34 33' – 35 34' βόρεια και γεωγραφικό μήκος 32 16' – 34 37' ανατολικά. Γεωγραφικά, η Κύπρος βρίσκεται σε απόσταση 380km βόρεια της Αιγύπτου, 105km βόρεια της Συρίας και 75km νότια της Τουρκίας. Η ηπειρωτική Ελλάδα βρίσκεται περίπου 800km δυτικά. Τα πλησιέστερα ελληνικά νησιά είναι η Ρόδος και η Κάρπαθος, 380km δυτικά.

Η συνολική χερσαία έκταση της Κύπρου είναι 9.251 km². Διαίρεται διοικητικά από την Παρεμβλλόμενη Γραμμή του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών μεταξύ των ελεύθερων και των κατεχόμενων περιοχών της Κυπριακής Δημοκρατίας. Έχει μέγιστο μήκος 240km από ανατολικά προς δυτικά και μέγιστο πλάτος 100 km από βορρά προς νότο. Το νησί αναδύθηκε από τη θάλασσα πριν από περίπου 20 εκατομμύρια χρόνια.

Το νησί συντίθεται από τέσσερα γεωλογικά στοιχεία με κατεύθυνση από ανατολικά προς δυτικά (FORTECH 1997, WaterStrategyMan Project 2003, Jarraud 2005):

- Η οροσειρά της Κερύνειας (Πενταδάκτυλος) στο βόρειο τμήμα του νησιού, μία ασβεστολιθική οροσειρά η οποία θεωρείται το νοτιότερο τμήμα της ορογενικής ζώνης της Ελλάδας, της Κύπρου και της Νότιας Τουρκίας.
- Η πεδιάδα της Μεσαορίας, μία πλατιά κοιλάδα προσχωσιγενών πετρωμάτων, μεταξύ των οροσειρών της Κερύνειας και του Τροόδους
- Η οροσειρά του Τροόδους με ποικιλία γεωλογικής σύνθεσης (υψηλότερο σημείο 1951m) στην ελληνοκυπριακή κοινότητα και
- Το σύμπλεγμα της Μαμώνιας στη νοτιοδυτική Κύπρο.



Εικόνα 3.1. Χάρτης της Κύπρου.

Κλίμα: Στην Κύπρο, όπου οι διαφορές στο γεωγραφικό πλάτος είναι αμελητέες, οι κλιματικές συνθήκες καθορίζονται πρωταρχικά από το υψόμετρο και σε μικρότερη έκταση από την εγγύτητα προς τη θάλασσα. Η οροσειρά του Τροόδους είναι ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει τις μετεωρολογικές συνθήκες. Παρότι λιγότερο αξιοσημείωτη, η οροσειρά της Κερύνειας επίσης ασκεί επίδραση στις καιρικές συνθήκες της Κύπρου. Η περιβάλλουσα θάλασσα συνεισφέρει περισσότερο στις μετεωρολογικές συνθήκες κατά μήκος της ακτής (Tsintides, et. Al. 2002).

Η Κύπρος έχει μεσογειακό κλίμα, με θερμό, ξηρό καλοκαίρι και ήπιους, βροχερούς χειμώνες, παρότι στα μεγάλα υψόμετρα του Τροόδους επικρατεί πιο εύκρατο κλίμα, με συχνές χιονοπτώσεις το χειμώνα και χαμηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι. Τα κυριότερα κλιματικά χαρακτηριστικά της Κύπρου είναι το παρατεταμένο θερμό καλοκαίρι και ο σύντομος, βροχερός και ήπιος χειμώνας.

Κύρια οικολογικά χαρακτηριστικά και βιοποικιλότητα: Η Κύπρος είναι γεωλογικά και βιογεωγραφικά ένα από τα πιο απομονωμένα μεσογειακά νησιά (Hadjikyriakou, 2002). Εξαιτίας της απομόνωσης, μεγάλος αριθμός φυτών και ζώων που αποίκισαν το νησί, εξελίχθηκαν σε ενδημικά είδη. Εξαιτίας της κλιματικής διακύμανσης και της ποικιλίας των οικοτόπων, το νησί φιλοξενεί αξιοσημείωτη βιοποικιλότητα και θεωρείται περιοχή «hotspot» βιοποικιλότητας (Hadjikyriakou, 2002). Σε σχέση με το μέγεθός της, η Κύπρος έχει μία από τις πλουσιότερες χλωρίδες της μεσογειακής περιοχής (Tsintides, et. Al. 2002) και δεδομένου του μικρού μεγέθους της σε σύγκριση με άλλες

μεσογειακές χώρες, είναι πλούσια σε ενδημικά είδη. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της γεωλογικής δομής, των κλιματικών συνθηκών, της γεωγραφικής τοποθεσίας (στο όριο τριών ηπείρων), του απομονωμένου χαρακτήρα, της περιβάλλουσας θάλασσας και της τοπογραφικής διαμόρφωσης.

Περίπου 19% της Κύπρου καλύπτεται από δάση και 47% θεωρείται αρόσιμη γη, 21% της οποίας είναι αρδεύσιμη. Σύμφωνα με τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης (UNCCD), με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη χαμηλή γονιμότητα, το 30% της αρόσιμης έκτασης του νησιού επηρεάζεται από την ερημοποίηση. Σύμφωνα με το World Wildlife Fund (WWF), μόνο το 10% του νησιού καλύπτεται από τον αρχικό τύπο βλάστησης. Οι κυρίαρχοι τύποι των ξυλωδών φυτών είναι τα εκτεταμένα πευκοδάση, τα σκληρόφυλλα αείφυλλα, τα ψηλά και χαμηλά μακί και τα φρυγανικά οικοσυστήματα. Υπάρχουν επίσης και τοπικοί οικότοποι που συνίστανται από παραποτάμια βλάστηση, ενδημικά δάση κέδρου, δάση κυπαρισσιού και κατάλοιπα δασών κυπριακής δρυός. Τα ποώδη φυτά συνίστανται κυρίως από λιβάδια, βλάστηση αμμοθινών και αμμόλοφων και πολυετή φυτά λιμνών.

Τύποι οικοσυστημάτων: Παρά το μικρό μέγεθος, ένα μεγάλο εύρος οικοσυστημάτων απαντάται στην Κύπρο. Τα πιο σημαντικά για τη βιοποικιλότητα είναι:

- i. Υδροβιότοποι
- ii. Δάση
- iii. Μακί
- iv. Φρύγανα
- v. Βραχώδεις επιφάνειες
- vi. Παράκτια οικοσυστήματα
- vii. Αγροτικά οικοσυστήματα

Πτηνά: Η Κύπρος ως ένα από τα μεγάλα νησιά της Μεσογείου και σχετικά απομονωμένη από άλλες χερσαίες εκτάσεις, παρουσιάζει υψηλό ενδημισμό σε διάφορες μορφές ζωής συμπεριλαμβανομένων και των πουλιών, ενώ έχει προσδιοριστεί ως μια από τις σημαντικότερες περιοχές για τα ενδημικά πτηνά στη Γη (είναι η μόνη Ευρωπαϊκή χώρα με αυτό το καθεστώς και μια από τις ελάχιστες περιοχές υψηλού ενδημισμού πανίδας εκτός της τροπικής κλιματικής ζώνης (BirdLife International, 2012). Επίσης, η θέση της στο ανατολικό άκρο της Μεσογείου, κατά μήκος ενός από τους μεταναστευτικούς διαδρόμους μεταξύ Ευρώπης και Αφρικής, της προσδίδει επιπρόσθετη ιδιαίτερη ορνιθολογική σημασία αφού αποτελεί σημαντική περιοχή μετανάστευσης είτε για μεταναστευτικά είδη που φωλιάζουν στο νησί, είτε για είδη που ξεχειμωνιάζουν, είτε για περαστικούς μετανάστες.

Στο νησί έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα 397 taxa πουλιών. Από αυτά, 2 είναι ενδημικά είδη: *Sylvia melanothorax* (Τρυπομάζης) και *Oenanthe cypriaca* (Σκαλιφούρτα). Απαντούν επίσης 4 ενδημικά

υποείδη: *Otus scops cyprius* (Θουπί), *Parus ater cypriotes* (Πέμπτετος), *Certhia brachydactyla dorotheae* (Δεντροβάτης) και *Garrulus glandarius glaszeri* (Κίσσα).

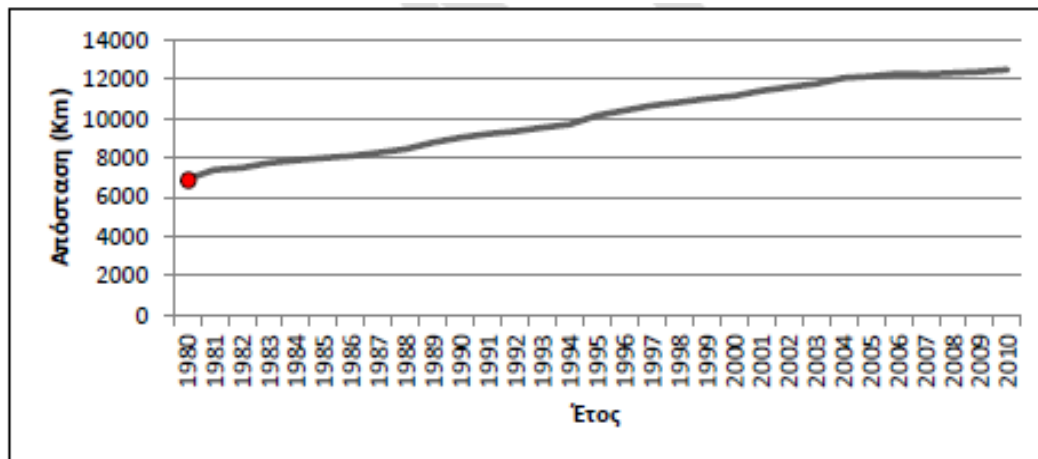
Όσον αφορά στα φωλιάζοντα είδη, 53 είναι μόνιμοι κάτοικοι, 42 φωλιάζουν τακτικά στο νησί και άλλα 18 έχουν φωλιάσει έστω μία φορά.

Πίνακας 3.1. Ο αριθμός των ειδών πτηνοπανίδας της Κύπρου ανά τάξη

Πτηνοπανίδα της Κύπρου	
Τάξη	Αρ. ειδών
Anseriformes	29
Apodiformes	4
Caprimulgiformes	1
Charadriiformes	78
Ciconiiformes	14
Columbiformes	9
Coraciiformes	7
Cuculiformes	3
Falconiformes	39
Galliformes	3
Gaviformes	1
Gruiformes	14
Passeriformes	175
Pelecaniformes	6
Piciformes	1
Podicipediformes	5
Procellariiformes	3
Strigiformes	5
ΣΥΝΟΛΟ	397

Στοιχεία οδικού δικτύου Κύπρου: Σύμφωνα με τα δεδομένα της Στατιστικής Υπηρεσίας (2003; 2011), στην Κύπρο το οδικό δίκτυο παρουσιάζει συνεχή επέκταση (Εικόνα 6) συμβάλλοντας στη μείωση της βιοποικιλότητας μέσω της υποβάθμισης ενδιατημάτων και οικοτόπων. Την περίοδο 1975 – 2010 υπήρξε αύξηση 100% της συνολικής έκτασης του οδικού δικτύου της Κύπρου από 6501 σε 13006 Km (Στατιστική Υπηρεσία, 2003; 2011a). Αναφορικά με τους αυτοκινητόδρομους, στην

έκδοση 2009 του Panorama of Transport της EUROSTAT, η Κύπρος κατείχε την πρώτη θέση ανάμεσα στις χώρες τις ΕΕ, με έκταση 36,8 Km ανά 100.000 κατοίκους, ενώ σύμφωνα με δεδομένα που παρουσιάζονται στο Study on Strategic Evaluation on Transport Investment Priorities under Structure and Cohesion fund for the Programming Period 2007-2013 (ECORYS, 2006) η πυκνότητα αυτοκινητόδρομων (Km δρόμου ανά 1000 Km² γης) ήταν 28 Km ανά 1000 Km², δυο φορές μεγαλύτερη από το μέσο όρο του συνόλου των κρατών μελών της ΕΕ (14 Km ανά 1000 Km²) και από τις υψηλότερες ανάμεσα στα νέα κράτη μέλη.



Εικόνα 3.2. Συσσωρευτικό μήκος νέων δρόμων, που έχει προστεθεί στο υφιστάμενο οδικό δίκτυο της Κύπρου, κατά την περίοδο 1980-2010.

Από το 2001 έως το 2011 τόσο οι ασφαλτοστρωμένοι (περιλαμβανομένων και των ασφαλτοστρωμένων δρόμων του δασικού οδικού δικτύου) όσο και οι δασικοί χωμάτινοι δρόμοι, αυξήθηκαν σε ποσοστό 154% και 128% αντίστοιχα ενώ οι χωμάτινοι μειώθηκαν κατά 22% (Στατιστική Υπηρεσία, 2005; 2011a). Το συνολικό μήκος του δασικού οδικού δικτύου, σύμφωνα με τη Στατιστική Υπηρεσία (2003; 2005; 2007; 2009; 2011a), από το 2001 έως το 2011 παρουσίασε αύξηση μήκους 126 Km στην οποία αντιστοιχεί ποσοστό αύξησης 77,8% των ασφαλτοστρωμένων δρόμων και 22,2% των χωμάτινων.

Οι δρόμοι και οι αυτοκινητόδρομοι της Κύπρου ταξινομούνται σε 5 κατηγορίες:

- Αυτοκινητόδρομοι, 2 λωρίδες ανά κατεύθυνση. Είναι το σημαντικότερο οδικό δίκτυο του νησιού και για την αριθμησή τους χρησιμοποιείται το γράμμα «Α». Η Μικτή Ημερήσια Κυκλοφορία τους για το 2012 ήταν από 4.224 έως 34.220 οχήματα ανά τμήμα δρόμου.
- Κύριοι δρόμοι, υπεραστικοί δρόμοι, συνήθως με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση, με κάποιες εξαιρέσεις σε κατοικήσιμες περιοχές όπου έχουν έως 2 λωρίδες. Για την αριθμησή τους χρησιμοποιείται το γράμμα «Β». Η Μικτή Ημερήσια Κυκλοφορία τους για το 2012 ήταν από 766 έως 42.084 οχήματα ανά τμήμα δρόμου.

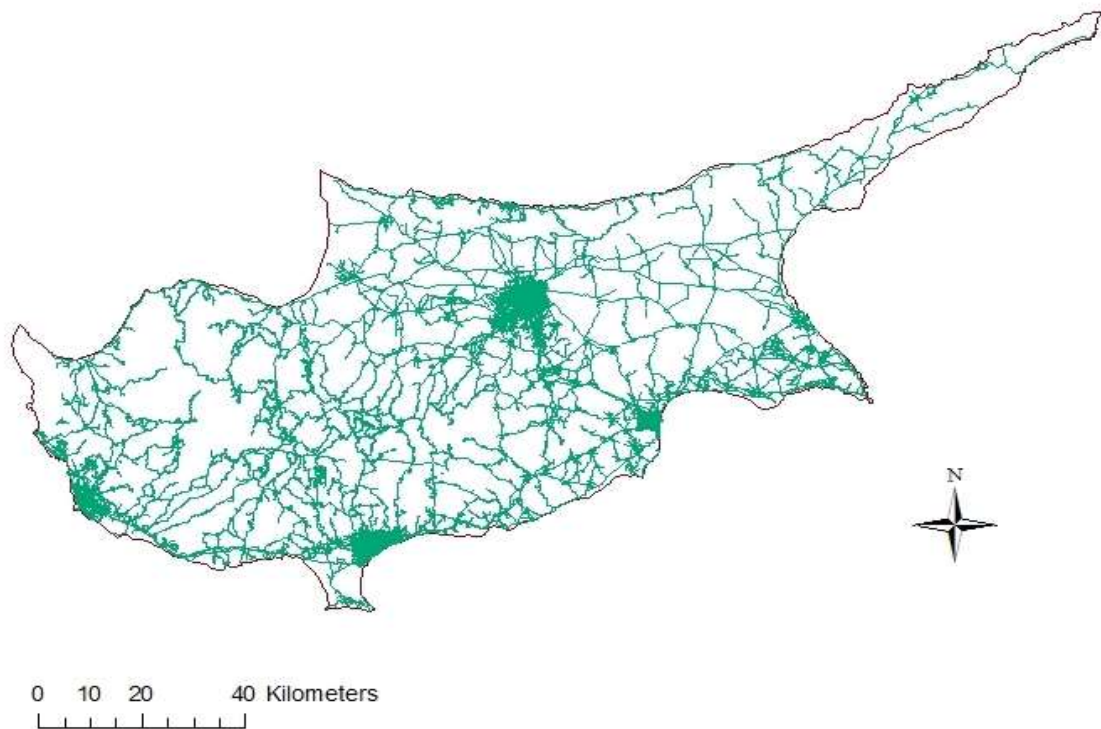
- Δρόμοι, δευτερεύοντος οδικού δικτύου, συνδέουν κυρίως αγροτικές περιοχές. Μία λωρίδα ανά κατεύθυνση, πάντα επιστρωμένοι. Χρησιμοποιείται το γράμμα «Ε» για την επίσημη αρίθμησή τους. Η Μικτή Ημερήσια Κυκλοφορία τους για το 2012 ήταν από 75 έως 22.373 οχήματα ανά τμήμα δρόμου.
- Τοπικοί δρόμοι, κατασκευασμένοι τη δεκαετία του 1980 με μία λωρίδα και συχνά μη επιστρωμένοι, σήμερα σχεδόν πλήρως επιστρωμένοι, σε αναμονή για επαναξιολόγηση κατάταξης. Κωδικοποιούνται με το γράμμα «F» και λογίζονται αντίστοιχοι με την κατηγορία «Ε». Η Μικτή Ημερήσια Κυκλοφορία τους για το 2012 ήταν από 42 έως 12.476 οχήματα ανά τμήμα δρόμου.
- Αταξινόμητοι δρόμοι. Μπορεί να είναι τύπου Β ή Ε. Κατασκευασμένοι μετά την ολοκλήρωση της αρίθμησης του οδικού δικτύου, σε αναμονή για την επόμενη αξιολόγηση και κατάταξη σε κατηγορία. Ως εκ τούτου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για το εύρος του κυκλοφοριακού φόρτου.

3.3.2 Παρουσίαση δεδομένων

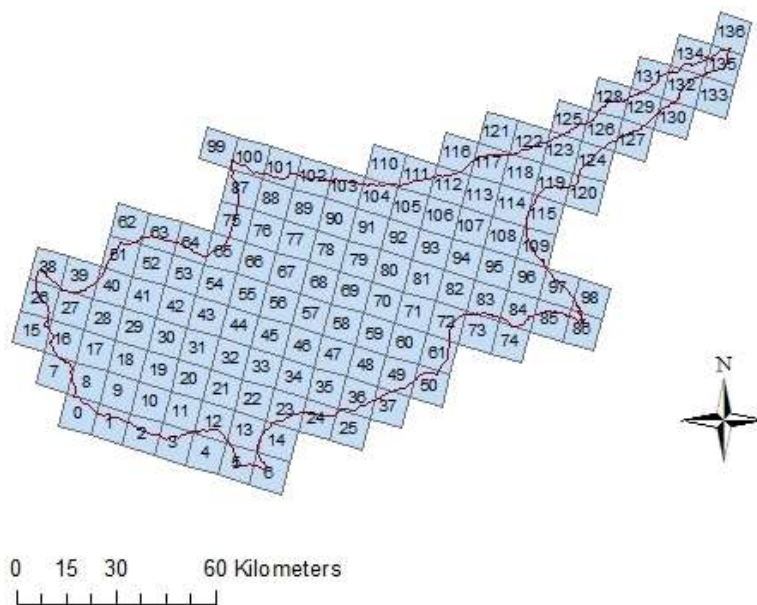
Για την υλοποίηση του πειραματικού τμήματος της διατριβής απαιτήθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα, καθώς και δεδομένα για τη βιοποικιλότητα πτηνών της Κύπρου. Τα κυκλοφοριακά δεδομένα προήλθαν από το Τμήμα Δημοσίων Έργων που υπάγεται στο Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων της Κυπριακής Δημοκρατίας (www.mcw.gov.cy/pwd) και αφορούν την Ετήσια Απογραφή Τροχαίας Κίνησης για το έτος 2012. Περιλαμβάνουν το όνομα και το τμήμα δρόμου, την κατεύθυνση, τη μέση ημερήσια κυκλοφορία σε μονάδες ιδιωτικών οχημάτων (PCU) και μικτή ημερήσια κυκλοφορία (ADT), τον αριθμό ιδιωτικών οχημάτων, τον αριθμό φορτηγών (ελαφρού, μεσαίου και βαρέως τύπου) και τον αριθμό των λεωφορείων για όλους σχεδόν τους δρόμους. Το σύνολο του οδικού δικτύου της Κύπρου ήταν διαθέσιμο σε μορφή shapefile, ώστε να είναι επεξεργάσιμο με το ArcGIS (Εικόνα 3.3).

Από τον πτηνολογικό σύνδεσμο Κύπρου (Birdlife Cyprus) προήλθαν τα σετ δεδομένων για την βιοποικιλότητα πτηνών, τα οποία περιλαμβάνουν GIS shapefiles για την κατανομή (distribution) και το εύρος (range) 102 φωλεαζόντων πτηνών της Κύπρου (ανάλυση σε τετράγωνα 10km x 10km), τα οποία παρήχθησαν βασισμένα σε εργασία πεδίου του 2013 μόνο (θα πρέπει ωστόσο να θεωρηθούν προκαταρκτικά δεδομένα, με την έννοια ότι θα ενημερώνονται μετά από νέα εργασία πεδίου) (Εικόνα 3.4), καθώς και δεδομένα σε excel αναφορικά με την κωδικοποίηση της ονομασίας των πτηνών στα shapefiles (πίνακας Α, Παράρτημα). Επίσης, διαθέσιμη σε μορφή shapefile ήταν η ακτογραμμή της

Κύπρου, ώστε να γίνει ο υπολογισμός της έκτασης του νησιού και να χρησιμοποιηθεί στην περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή των αποτελεσμάτων των δεικτών.

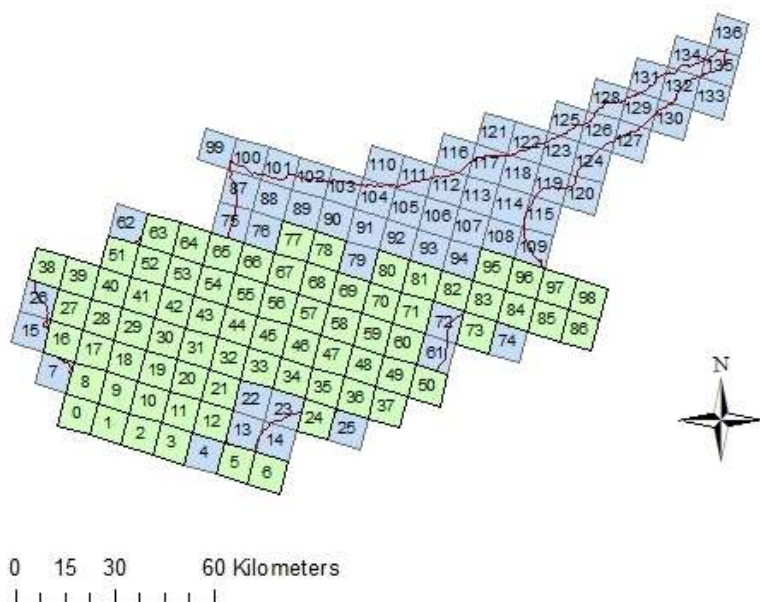


Εικόνα 3.3. Χάρτης οδικού δικτύου Κύπρου που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.



Εικόνα 3.4. Διάρθρωση της Κύπρου σε 137 τετράγωνα 10km x 10km, βάσει της ανάλυσης της Birdlife Cyprus για την κατανομή και το εύρος των πτηνών, που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Η περιοχή μελέτης της διατριβής αφορά το τμήμα του νησιού που βρίσκεται υπό τον έλεγχο της Κυπριακής Δημοκρατίας, λόγω της έλλειψης ολοκληρωμένων δεδομένων για τη βιοποικιλότητα πτηνών και της πλήρους έλλειψης κυκλοφοριακών δεδομένων για το οδικό δίκτυο του κατεχόμενου βόρειου τμήματος του νησιού. Το πεδίο μελέτης αφορά την έκταση για την οποία υπάρχουν αξιόπιστα αποτελέσματα για τον κυκλοφοριακό θόρυβο, αφήνοντας εκτός υπολογισμών τα μεγάλα αστικά κέντρα (Λευκωσία, Λεμεσό, Λάρνακα), καθώς και τα τετράγωνα τα οποία βρίσκονται εντός της θάλασσας. Με τους περιορισμούς αυτός το πεδίο μελέτης αποτελείται από 75 τετράγωνα 10km x 10km (εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5. Χάρτης του πεδίου μελέτης της διατριβής, που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS. Με ανοικτό πράσινο χρώμα τα 75 τετράγωνα 10km x 10km στα οποία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία.

3.3.3 Παρουσίαση εργαλείων λογισμικού

Η επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου να παραχθούν τα αποτελέσματα των δεικτών, κατέστη δυνατή χάρη στη χρησιμοποίηση των κατάλληλων διαθέσιμων εργαλείων λογισμικού.

Calculation of Road Traffic Noise 1988: Το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζει τις περισσότερες από τις διαδικασίες που αναφέρονται στο Calculation of Road Traffic Noise (CRTN – ISBN 0 11 550847 3) που εκδόθηκε από το Τμήμα Μεταφορών του Welsh Office το 1988

(<http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/crtn/>). Ο σκοπός του ήταν να παρέχει μία βασική πλατφόρμα για τον υπολογισμό των επιπέδων του κυκλοφοριακού θορύβου δρόμων για μη πολύπλοκες καταστάσεις. Οι διαδικασίες αυτές παρέχουν κατάλληλη καθοδήγηση για τον υπολογισμό του κυκλοφοριακού θορύβου για πιο γενικές εφαρμογές, π.χ. στην περιβαλλοντική εκτίμηση του σχεδιασμού δρόμων και αυτοκινητοδρόμων και στον σχεδιασμό χρήσεων γης.

Stage 2 - Basic Noise Level

Calculate the basic noise level at a reference distance of 10m away from the nearside carriageway edge for each segment.

Time Period Hourly L₁₀ 18 Hour L₁₀

Total Vehicle Flow (Veh/Hour : Veh/18 Hour) [help](#)

Speed (km/h) - Estimated from the road class?

Heavy Vehicles (%)

Gradient (%) Upward flow [help](#)

Road Surface [help](#)

dB(A)

Εικόνα 3.6. Calculation of Road Traffic Noise 1988

ArcGIS: Είναι γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) για εργασία με χάρτες και γεωγραφικές πληροφορίες, το οποίο αναπτύσσεται από το ESRI (Environmental Systems Research Institute). Χρησιμοποιείται για: δημιουργία και χρήση χαρτών, συλλογή γεωγραφικών δεδομένων, ανάλυση χαρτογραφημένων πληροφοριών, διαμοιρασμό και ανακάλυψη γεωγραφικών πληροφοριών, χρήση χαρτών και γεωγραφικής πληροφορίας σε ένα εύρος εφαρμογών και χειρισμό γεωγραφικών πληροφοριών σε μία βάση δεδομένων. Το σύστημα παρέχει υποδομή για δημιουργία χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριών διαθέσιμη μέσω ενός οργανισμού, μιας κοινότητας και ελεύθερα στο Web.

V-LATE (Vector-based Landscape Analysis Tools): Το V-LATE αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος SPIN. Σκοπός της συγκεκριμένης επέκτασης του ArcGIS είναι ο υπολογισμός μίας ομάδας μετρικών σε διανυσματικά δεδομένα. Το V-LATE παρέχει ένα επιλεγμένο σετ των πιο κοινών μετρικών για να καλύψουν τη βασική οικολογική έρευνα. Οργανώνονται σύμφωνα με τις κύριες απόψεις της ανάλυσης δομικού προτύπου και επομένως χρησιμοποιούνται μετρικές 7 διαφορετικών κατηγοριών (έκτασης, μορφής, εσωτερικής διαμόρφωσης, παρυφής, εγγύτητας, ποικιλομορφίας και υποδιαίρεσης). Αυτές οι ομάδες μετρικών γενικά περιγράφουν τη μορφή, τη διαμόρφωση και τη σύνθεση της διάταξης τοπίου και θεωρείται ότι καλύπτουν τις βασικές απόψεις της αξιολόγησης της

δομής του τοπίου. Το πρόσθετο V-LATE είναι μία επέκταση για περιβάλλον ArcGIS 8.x / ArcGIS 9.x / ArcGIS 10.x.



Εικόνα 3.7. V-LATE 1.1

SPSS Statistics: Είναι πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται για στατιστική ανάλυση. Αναπτύχθηκε από την SPSS Inc. Αποκτήθηκε από την IBM το 2009 και οι πρόσφατες εκδόσεις πωλούνται επίσημα ως IBM SPSS Statistics. Το όνομα του λογισμικού SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), αντανακλά την αρχική αγορά του προϊόντος, παρότι το λογισμικό είναι πλέον δημοφιλές και σε άλλα πεδία επίσης, όπως οι επιστήμες υγείας και το μάρκετινγκ. Οι κατηγορίες στατιστικών που περιλαμβάνονται στο βασικό λογισμικό είναι:

- Περιγραφικές στατιστικές
- Στατιστικές ανάλυσης δύο μεταβλητών
- Πρόβλεψη αριθμητικού αποτελέσματος
- Πρόβλεψη ομαδοποίησης

3.3.4 Χρησιμοποιούμενοι δείκτες και αιτιολόγηση της χρήσης τους

Τα διαθέσιμα δεδομένα για τη βιοποικιλότητα από τον Πτηνολογικό Σύνδεσμο Κύπρου αφορούν την κατανομή και το εύρος για κάθε ένα από τα 102 είδη φωλεάζοντων πτηνών, δημιουργώντας δύο χάρτες για το καθένα, έναν χάρτη κατανομής και έναν χάρτη εύρους. Οι χάρτες κατανομής, οι οποίοι αναφέρονται και ως χάρτες ορίων κατανομής ή χάρτες οδηγοί πεδίου, στοχεύουν να παρέχουν την ως σήμερα γνωστή κατανομή των ειδών εντός του εύρους τους, εξού και το γεγονός ότι η κατανομή των πτηνών αποτελεί το υποσύνολο του εύρους τους. Τα όρια της κατανομής μπορούν να καθοριστούν

χρησιμοποιώντας τις γνώσεις για τις παρουσίες των ειδών, μαζί με τη γνώση της προτίμησης για συγκεκριμένους οικοτόπους και άλλες εξειδικευμένες γνώσεις για τα είδη και το εύρος τους. Το εύρος και η κατανομή συνήθως καταγράφονται σε πολύγωνα. Ένα πολύγωνο που αναπαριστά τα όρια της κατανομής ενός είδους, ορίζει την έκταση εντός της οποίας απαντάται το συγκεκριμένο είδος, δίχως το γεγονός αυτό να συνεπάγεται την ομοιόμορφη κατανομή του εντός της έκτασης αυτής ή την κατανομή του σε όλη την καλυπτόμενη από το πολύγωνο έκταση.

Προκειμένου να προσδιοριστεί το επίπεδο της παρουσίας ειδών πτηνών για κάθε ένα από τα 137 τετράγωνα 10km x 10km, μετρήθηκε ο αριθμός παριστάμενων ειδών ανά τετράγωνο, τόσο για την κατανομή, όσο και για το εύρος. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μία τιμή της ποικιλότητας της πτηνοπανίδας σε κάθε πολύγωνο, για την κατανομή και το εύρος. Για να γίνει η διερεύνηση της επίδρασης του οδικού δικτύου στην ποικιλότητα πτηνών, απαιτήθηκε να υπολογιστούν και να χρησιμοποιηθούν δείκτες σχετιζόμενοι με το οδικό δίκτυο, η σύγκριση των οποίων με τα αποτελέσματα του αριθμού ειδών ίσως αποδείξει συσχέτιση μεταξύ τους και αποκαλύψει παράγοντες που προκαλούν επίδραση (πίνακας Β, Παράρτημα).

Μήκος οδικού δικτύου (Total Road length): Το μήκος του οδικού δικτύου ανά πολύγωνο είναι δείκτης της παρουσίας του αυτής καθ' αυτής για κάθε πολύγωνο, χωρίς τον συνυπολογισμό άλλου τύπου επιδράσεων που προκαλεί στο περιβάλλον. Χρησιμοποιείται για να δώσει μία πρώτη εντύπωση της έντασης της κατάτμησης. Η ύπαρξη ή μη συσχέτισης με τον αριθμό πτηνών ανά πολύγωνο, δίνει βάση για περαιτέρω διερεύνηση πιο εξειδικευμένων παραμέτρων που ενδέχεται να επιδρούν.

Μήκος δρόμου ανά κατηγορία δρόμου: (Road length per category of road): Το οδικό δίκτυο της Κύπρου υποδιαιρείται σε κατηγορίες. Οι αυτοκινητόδρομοι, λόγω του μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου και του έντονου θορύβου, εκτιμάται πως επιδρούν πιο έντονα με αρνητικό τρόπο σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους δρόμων. Γι' αυτό το λόγο, ξεχωρίστηκαν από τους υπόλοιπους τύπους και υπολογίστηκε ξεχωριστά για κάθε πολύγωνο το μήκος αυτοκινητόδρομων, προκειμένου να γίνει σύγκριση με τα δεδομένα κατανομής και εύρους των πτηνών.

Μετρικές τοπίου (Landscape metrics): Διάφορες μετρικές τοπίου έχουν χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση της κατάτμησης του τοπίου. Όλες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι μετρικές που επιλέχθηκαν είναι μετρικές υποδιαίρεσης του τοπίου και είναι οι Landscape Division, Splitting Index και Effective Mesh Size. Πρόκειται για μετρικές που χαρακτηρίζουν την ανθρωπογενή διείδυση στο τοπίο από γεωμετρική άποψη και υπολογίζονται από τη λειτουργία κατανομής των υπολειπόμενων μεγεθών των καταταμημάτων.

Landscape Division: Ο βαθμός διαίρεσης του τοπίου (Landscape Division) (D) ορίζεται ως η πιθανότητα δύο τυχαία επιλεγμένα μέρη στο τοπίο υπό διερεύνηση να μην βρίσκονται στην ίδια μη τεμνόμενη έκταση:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_t} \right)^2$$

όπου n = αριθμός καταμημάτων, A_i = μέγεθος i των n καταμημάτων ($i = 1, \dots, n$), A_t = συνολική έκταση της περιοχής. Πρακτικά, υποδηλώνει την πιθανότητα δύο ατόμων να συναντηθούν ως προϋπόθεση για την επιβίωση του πληθυσμού λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των μη τεμνόμενων εκτάσεων και την προσβασιμότητα των κατοικήσιμων τοποθεσιών (Jaeger 2000). Έχει το ιδιαίτερο πλεονέκτημα σε σύγκριση με άλλες συμβατικές μετρικές υποδιαίρεσης στο ότι μπορεί να παραλείψει ή να προσθέσει πολύ μικρά καταμήματα στο συνολικό υπολογισμό. Πρακτικά, αυτό κάνει τα αποτελέσματα πιο αναπαράξιμα επειδή οι ερευνητές δε χρησιμοποιούν πάντα το ίδιο χαμηλότερο όριο μεγέθους καταμήματος (Jaeger 2000).

Splitting index S: Ορίζεται ως ο αριθμός των καταμημάτων που προκύπτει χωρίζοντας τη συνολική περιοχή σε μέρη ίσου μεγέθους με τέτοιο τρόπο ώστε η νέα διαμόρφωση Φ' οδηγεί στον ίδιο βαθμό διαίρεσης τοπίου (D) με την αρχική διαμόρφωση Φ . Ένας απλός υπολογισμός οδηγεί στον τύπο:

$$S = \frac{A_i^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2}$$

Αν όλα τα καταμήματα μιας περιοχής διαμόρφωσης Φ έχουν το ίδιο μέγεθος, τότε $\Phi' = \Phi$ και $S = n$. Το S μπορεί να ερμηνευθεί ως ο «δραστικός αριθμός πλέγματος» ενός δικτύου Φ' με ένα σταθερό μέγεθος πλέγματος που διαχωρίζει την περιοχή σε S καταμήματα τα οποία έχουν όλα το μέγεθος A_i / S .

Effective mesh size m: Υποδηλώνει το μέγεθος των εκτάσεων όταν η περιοχή υπό διερεύνηση διαχωρίζεται σε S εκτάσεις (κάθεμία ίδιου μεγέθους A_i / S) με τον ίδιο βαθμό διαίρεσης τοπίου όπως για διαμόρφωση Φ :

$$m = \frac{A_i}{S} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i^2$$

Αποτελεί μέτρο για το βαθμό διαίρεσης τοπίου που υπολογίζεται για την παρατηρούμενη κατανομή της συνολικής έκτασης. Ο Jaeger (2000) υποστηρίζει ότι το πιο σημαντικό και επωφελές χαρακτηριστικό αυτής της μετρικής είναι το γεγονός ότι χαρακτηρίζει την υποδιαίρεση του τοπίου ανεξάρτητα από το μέγεθός του.

Μέσος Θόρυβος ανά πολύγωνο (Average Noise per cell): Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του κυκλοφοριακού θορύβου στην βιοποικιλότητα πτηνών, έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί μία ταυτότητα θορύβου για κάθε ένα από τα πολύγωνα. Με τη χρήση του μοντέλου Calculation of Road

Traffic Noise 1988 έγινε υπολογισμός του βασικού επιπέδου κυκλοφοριακού θορύβου για όσους δρόμους υπήρχαν δεδομένα. Το βασικό επίπεδο κυκλοφοριακού θορύβου σε μία απόσταση αναφοράς 10 km από την πλησιέστερη άκρη του δρόμου υπολογίζεται από την κυκλοφοριακή ροή, την ταχύτητα της κυκλοφορίας, τη σύνθεση της κυκλοφορίας, την κλίση του δρόμου και την επιφάνεια του δρόμου. Όλα τα επίπεδα θορύβου εκφράζονται σε όρους του δείκτη L_{10} hourly ή L_{10} (18-hour) dB(A). Η εκτίμηση του L_{10} hourly dB(A) είναι το επίπεδο θορύβου που υπερβαίνεται για το 10% του χρόνου σε περίοδο μίας ώρας. Το L_{10} (18-hour) dB(A) είναι ο αριθμητικός μέσος των τιμών του L_{10} hourly dB(A) για κάθε μία από τις 18 περιόδους μίας ώρας μεταξύ των ωρών 0600 και 2400. Για τον υπολογισμό του βασικού επιπέδου θορύβου έγιναν κάποιες παραδοχές:

- Time period: L_{10} hourly dB(A)
- Total Vehicle Flow: Veh/Hour
- Speed: Χρήση του μέγιστου ορίου ανά κατηγορία δρόμου (110km/h για αυτοκινητόδρομους, 80km/h για τους υπόλοιπους δρόμους)
- Gradient: Λόγω έλλειψης δεδομένων για την κλίση των δρόμων ο υπολογισμός έγινε με κλίση 0%
- Road surface: Ο υπολογισμός έγινε με την παραδοχή ότι οι δρόμοι ήταν ασφαλτοστρωμένοι με αδιαπέραστα υλικά (impervious).

Με τη χρήση του ArcGIS υπολογίστηκε το μήκος των δρόμων με αξιοσημείωτο θόρυβο ανά πολύγωνο καθώς και ένας μέσος όρος του θορύβου, δηλαδή το άθροισμα θορύβου των τμημάτων δρόμων με αξιοσημείωτο αποτέλεσμα διαιρεμένο με τον αριθμό των τμημάτων που δίνουν αποτέλεσμα θορύβου. Καταγράφηκε επίσης για κάθε τμήμα με θόρυβο, το μήκος του και ο παραγόμενος θόρυβος στο σύνολο των πολυγώνων.

Όλα τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν παρατίθενται στον πίνακα Β του Παραρτήματος.

3.4 Ανάλυση-στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων

Για να γίνει η εκτίμηση της παρουσίας των ειδών πτηνών στα 75 τετράγωνα 10km x 10km του πεδίου μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες κατανομής και εύρους για κάθε είδος, σε μορφή shapefile, στο ArcGIS. Για την εκτίμηση θορύβου, αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία του Τμήματος Δημοσίων Έργων και το λογισμικό CRTN, βάσει του τμήματος 3.3.4, ενώ για τον υπολογισμό των μετρικών κατάτμησης χρησιμοποιήθηκε η επέκταση V-LATE στο ArcGIS. Δεδομένου ότι υπολογίστηκαν τιμές για τρεις

μετρικές κατάτμησης (landscape division, splitting index και effective mesh size), χρειάστηκε να επιλεγεί μία από αυτές για την εκτίμηση κατακερματισμού του τοπίου. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis), προκειμένου να επιλεγεί η μετρική με την περισσότερη πληροφορία. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για την καλύτερη αναπαράσταση των δειγμάτων με ακρίβεια, στη μικρότερη δυνατή διάσταση.

Τα 75 τετράγωνα του πεδίου μελέτης ταξινομήθηκαν με βάση τους υπολογισμούς για θόρυβο και κατακερματισμό σε τρεις κλάσεις: χαμηλής επίπτωσης, μέσης επίπτωσης και υψηλής επίπτωσης. Για την ταξινόμηση των τετραγώνων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των natural breaks (Jenks), η οποία ελαχιστοποιεί τη μέση απόκλιση κάθε κλάσης από το μέσο της κλάσης, ενώ μεγιστοποιεί την απόκλιση κάθε κλάσης από τους μέσους των άλλων κλάσεων. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε διότι μεγιστοποιεί τις διαφορές μεταξύ των διαφόρων κλάσεων και ελαχιστοποιεί τις διαφορές εντός της κλάσης, ταυτοποιώντας με αυτό τον τρόπο τις πραγματικές κλάσεις εντός του σετ δεδομένων.

Έπειτα από την ταξινόμηση ξεχωριστά για θόρυβο και κατακερματισμό, τα τετράγωνα ταξινομούνται και συνδυαστικά για να χαρακτηριστούν με βάση τη συνδυαστική επίπτωση του θορύβου και του κατακερματισμού για την παρουσία των πτηνών. Η νέα ταξινόμηση γίνεται σε πέντε κατηγορίες με βάση το βαθμό επίπτωσης στα πτηνά: πολύ χαμηλή (very low), χαμηλή (low), μέτρια (moderate), υψηλή (high) και πολύ υψηλή (very high). Η ταξινόμηση αυτή προκύπτει από την ακόλουθη μήτρα, στηριζόμενη στα αποτελέσματα για θόρυβο και κατακερματισμό.

Κατάτμηση	Υψηλή	μέτρια	υψηλή	πολύ υψηλή
	Μέτρια	χαμηλή	μέτρια	υψηλή
	Χαμηλή	πολύ χαμηλή	χαμηλή	μέτρια
		Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός
Κυκλοφοριακός Θόρυβος				

Εικόνα 3.8. Μήτρα συνδυαστικής επίπτωσης θορύβου-κατάτμησης των τετραγώνων 10km x 10km. Η συνδυαστική επίπτωση αντιπροσωπεύει το βαθμό ρίσκου για την παρουσία των ειδών πτηνών.

Η κατάταξη κάθε τετραγώνου στη μήτρα αυτή δείχνει το ρίσκο παρουσίας για τα πτηνά, καθώς και τη δυνατότητα παρέμβασης για μετριασμό της επίπτωσης.

Για να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πέντε κλάσεων, έγινε έλεγχος Kruskal-Wallis τόσο για την κατανομή, όσο και για το εύρος των ειδών. Ο έλεγχος Kruskal-Wallis (one way ANOVA) είναι ένας μη παραμετρικός έλεγχος υπόθεσης που χρησιμοποιείται για να αποδείξει εάν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δύο ή περισσότερων ομάδων μιας ανεξάρτητης μεταβλητής σε μία συνεχή ή ταξινομική εξαρτώμενη μεταβλητή.

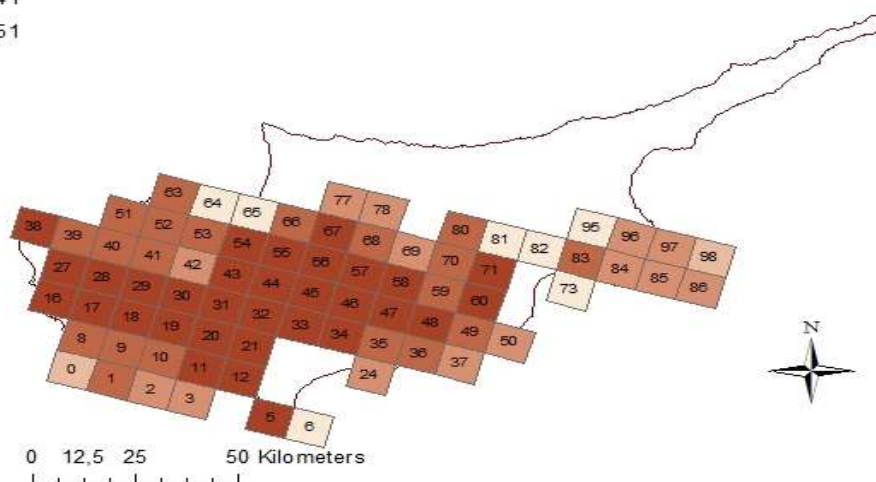
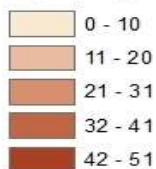
Ωστόσο, ο βαθμός επίδρασης του θορύβου και του κατακερματισμού στο αποτέλεσμα δεν είναι ο ίδιος. Για να διερευνηθεί το μέγεθος της επίδρασης της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, αλλά και συνδυαστικά, έγινε GLM (general linear model) χρησιμοποιώντας ως εξαρτώμενη μεταβλητή τον αριθμό των ειδών πτηνών και για την κατανομή και για το εύρος τους και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τον θόρυβο και την κατάτμηση. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό IBM SPSS Statistics version 22.

4. Αποτελέσματα

4.1 Εκτίμηση της παρουσίας ειδών

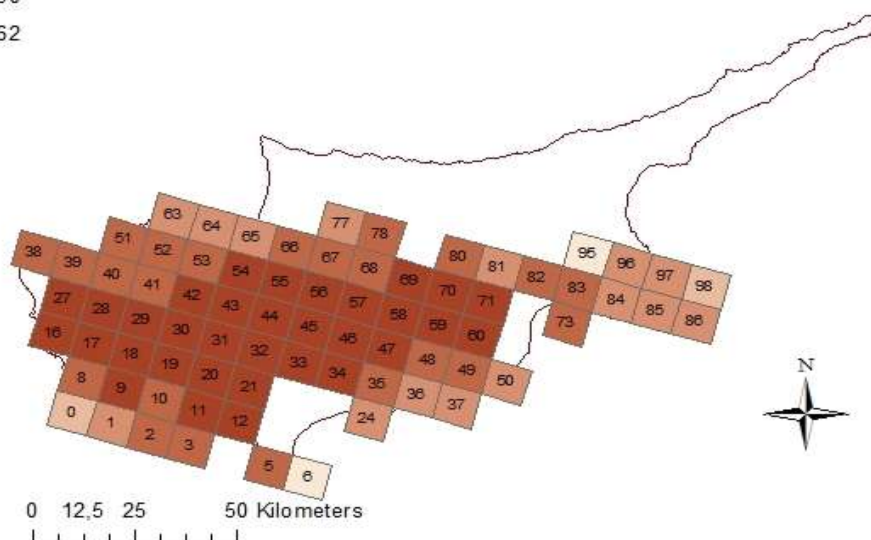
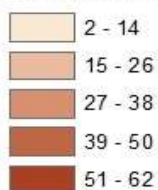
Για την εκτίμηση της παρουσίας των ειδών πτηνών στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν τα GIS shapefiles του Πτηνολογικού Συνδέσμου Κύπρου. Παρήχθησαν δύο εκτιμήσεις για την παρουσία ειδών, η μία βασιζόμενη στην γνωστή κατανομή των πτηνών στην Κύπρο (distribution) και η άλλη βασιζόμενη στο εύρος εξάπλωσης των ειδών (range), συνυπολογίζοντας εξειδικευμένες γνώσεις σχετικά με την προτίμηση οικοτόπου για κάθε είδος. Χρησιμοποιώντας το ArcGIS και επιλέγοντας κάθε ένα από τα τετράγωνα του πεδίου μελέτης μετρήθηκε ο αριθμός ειδών σε κάθε τετράγωνο, τόσο για την κατανομή, όσο και για το εύρος (εικόνα 4.1, 4.2).

Αριθμός ειδών (κατανομή)



Εικόνα 4.1. Χάρτης παρουσίας πτηνών με βάση την κατανομή των ειδών για κάθε τετράγωνο 10km x 10km, που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Αριθμός ειδών (εύρος)



Εικόνα 4.2. Χάρτης παρουσίας πτηνών με βάση το εύρος των ειδών για κάθε τετράγωνο 10km x 10km, που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Παρατηρείται ότι ο αριθμός των ειδών με βάση την κατανομή είναι για όλα τα τετράγωνα μικρότερος ή ίσος του αντίστοιχου αριθμού ειδών με βάση το εύρος. Αυτό συμβαίνει επειδή ο χάρτης εύρους έρχεται να συμπληρώσει τυχόν ασυνέχειες που παρατηρούνται στην κατανομή των ειδών κατά τη συλλογή δεδομένων, λόγω μη εντοπισμού κάποιου είδους, παρά την ύπαρξη του προτιμώμενου οικοτόπου. Επίσης, παρατηρείται μεγαλύτερη ποικιλότητα στο εσωτερικό του νησιού σε σύγκριση με τις παράλιες περιοχές, λόγω μεγαλύτερης χερσαίας έκτασης, καθώς υπάρχουν τετράγωνα το μεγαλύτερο μέρος των οποίων καταλαμβάνει θαλάσσιες εκτάσεις. Η ομαδοποίηση σε 5 κλάσεις έγινε με βάση τη μέθοδο των ίσων διαστημάτων. Ο αριθμός των ειδών για την κατανομή κυμαίνεται από 0 έως 51 είδη και για το εύρος από 2 έως και 62 είδη.

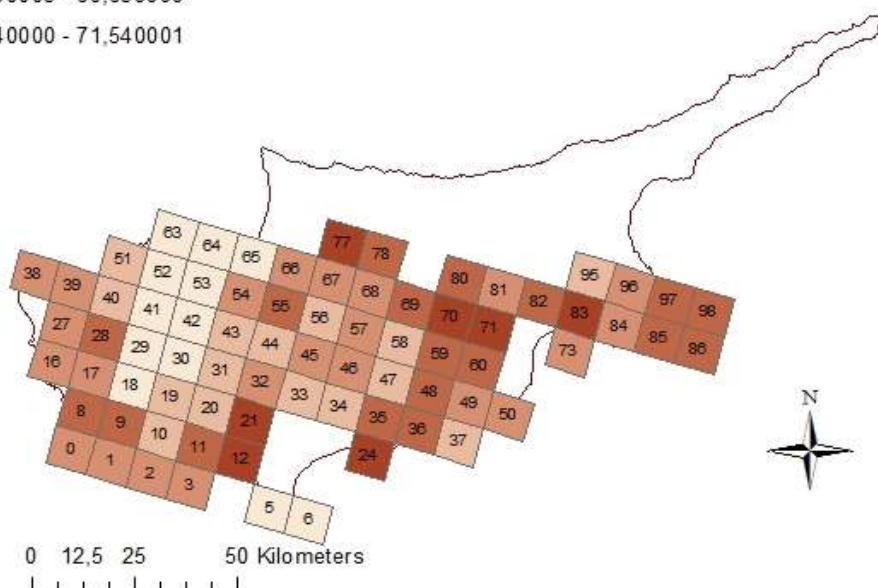
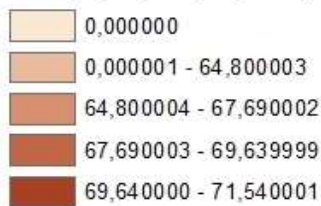
Πίνακας 4.1. Στοιχεία παρουσίας ειδών πτηνών βάσει κατανομής και εύρους των ειδών.

	Κατανομή (Distribution)	Εύρος (Range)
Ελάχιστο (αρ. ειδών)	0	2
Μέγιστο (αρ. ειδών)	51	62
Μέσος όρος	34,71	45,99
Τυπική απόκλιση	13,24	12,12

4.2 Εκτίμηση κυκλοφοριακού θορύβου

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίπτωση του κυκλοφοριακού θορύβου στην ποικιλότητα πτηνών της Κύπρου απαιτήθηκε να γίνει μία εκτίμηση της έντασης του θορύβου για κάθε τετράγωνο του πεδίου μελέτης. Χρησιμοποιώντας τα κυκλοφοριακά δεδομένα του Τμήματος Δημοσίων Έργων του Υπουργείου Συγκοινωνιών και Έργων της Κυπριακής Δημοκρατίας και το μοντέλο Calculation of Road Traffic Noise 1988 με τις παραδοχές που αναφέρονται στο τμήμα 3.3.4, υπολογίστηκε το βασικό επίπεδο παραγόμενου θορύβου κάθε δρόμου για τον οποίο υπήρχαν κυκλοφοριακά δεδομένα (εικόνα 4.3). Για τους δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας (<50 veh/h) οι υπολογισμοί είναι αναξιόπιστοι και επομένως ο παραγόμενος θόρυβος θεωρείται ότι ισούται με 0. Ο υπολογισμός του θορύβου για το κάθε τετράγωνο έγινε υπολογίζοντας το μέσο όρο του θορύβου των δρόμων που διασχίζουν το κάθε τετράγωνο και οι οποίοι δίνουν αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Εκτίμηση θορύβου (dB)



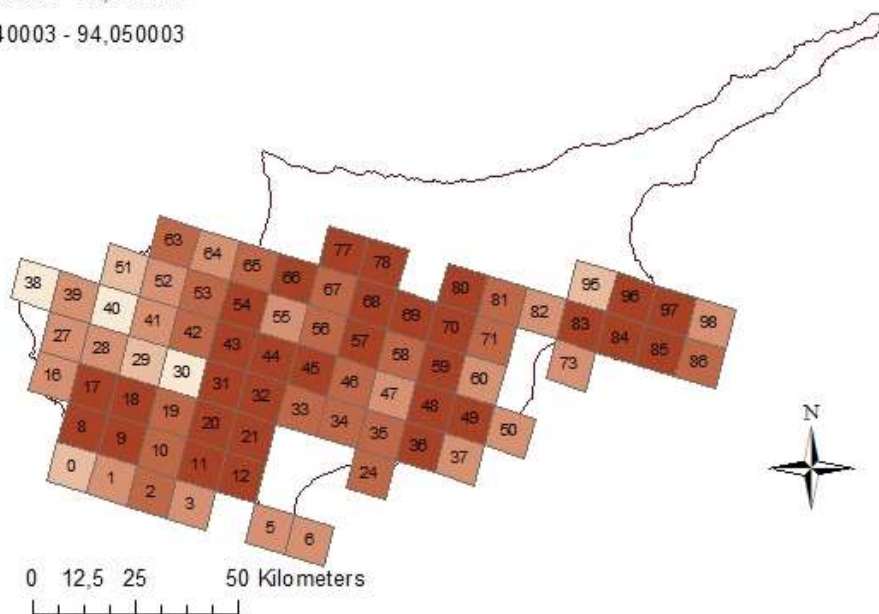
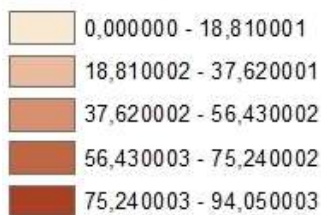
Εικόνα 4.3. Χάρτης εκτίμησης θορύβου για κάθε τετράγωνο 10km x 10km, που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Παρατηρείται ότι η εκτίμηση θορύβου είναι μεγαλύτερη στα παράλια του νησιού όπου βρίσκονται μεγάλα τμήματα αστικού ιστού, καθώς και σε περιοχές που διασχίζονται από αυτοκινητόδρομους. Αντίθετα, η εκτίμηση θορύβου είναι μηδενική σε τετράγωνα τα οποία καλύπτουν το όρος Τρόδος. Η ομαδοποίηση σε 5 κλάσεις έγινε με τη μέθοδο natural breaks (Jenks). Η ελάχιστη τιμή είναι 0dB και η μέγιστη 71,54dB.

4.3 Εκτίμηση του βαθμού κατάτμησης

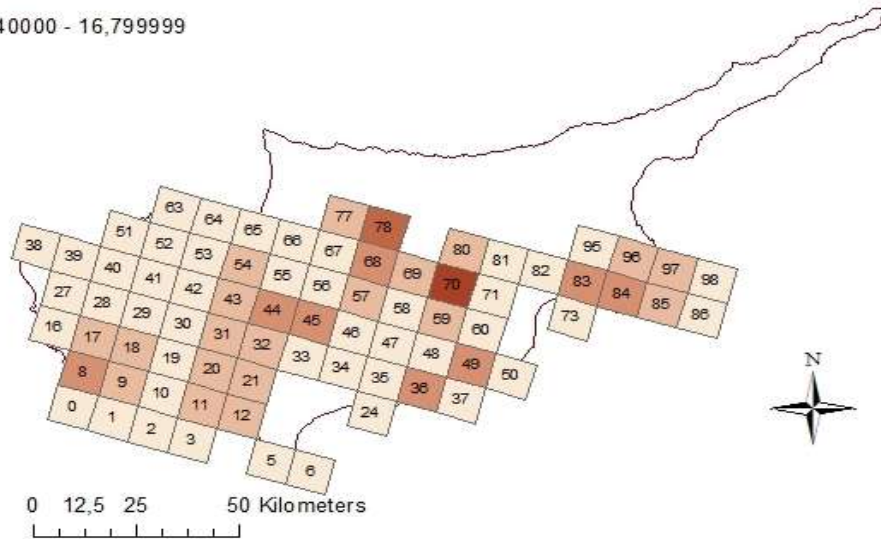
Η ποσοτικοποίηση της κατάτμησης γίνεται με τη χρήση των μετρικών κατάτμησης. Οι μετρικές που επιλέχθηκαν για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής είναι οι: landscape division, splitting index και effective mesh size. Η ομαδοποίηση σε κλάσεις έγινε με τη μέθοδο των ίσων διαστημάτων. Οι υπολογισμοί των μετρικών έγιναν με τη χρήση της επέκτασης V-LATE 2.0 στο ArcGIS.

Landscape Division



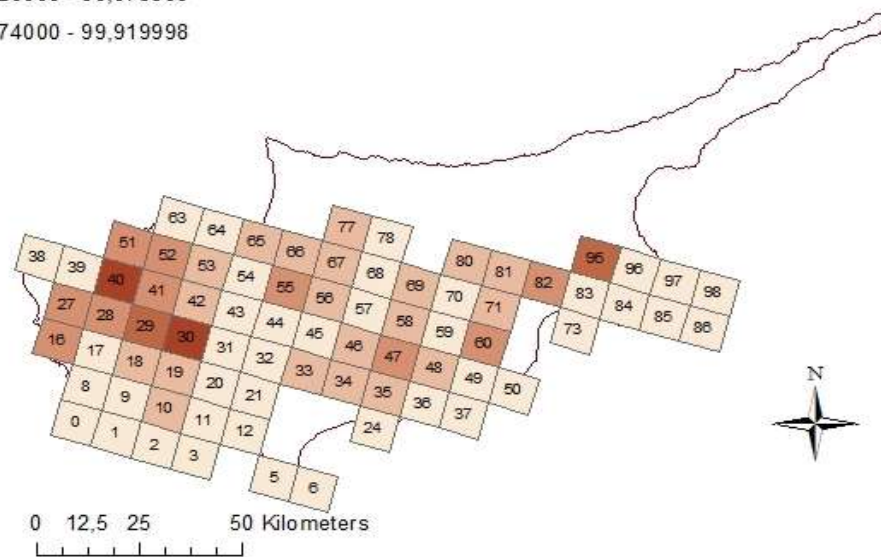
Εικόνα 4.4. Χάρτης υπολογισμού μετρικής landscape division για κάθε τετράγωνο 10km x 10km. Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Splitting Index



Εικόνα 4.5. Υπολογισμός μετρικής splitting index για κάθε τετράγωνο 10km x 10km. Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Effective Mesh Size



Εικόνα 4.6. Υπολογισμός μετρικής effective mesh size για κάθε τετράγωνο 10km x 10km. Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Δημιουργώντας μία μήτρα συσχετίσεων για τις 3 μετρικές και την πυκνότητα οδικού δικτύου για κάθε τετράγωνο (πίνακας 4.2), παρατηρείται ότι οι μετρικές landscape division, splitting index και road density τείνουν να αυξάνονται μαζί, ενώ η μετρική effective mesh size παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τις υπόλοιπες μετρικές.

Πίνακας 4.2. Μήτρα συσχέτισης των μετρικών κατάτμησης (correlation).

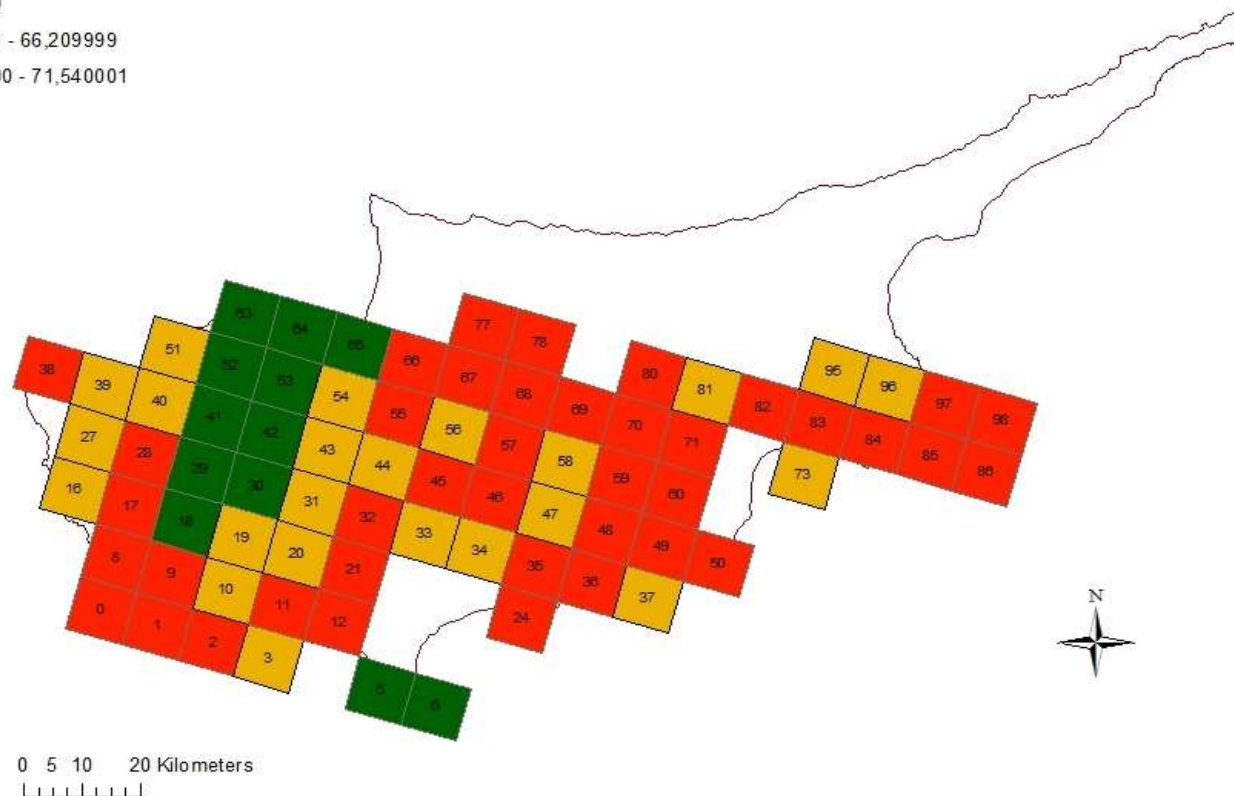
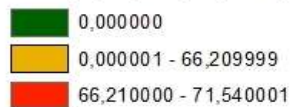
		DIVISION	SPLIT	MESH	Density
Correlation	DIVISION	1,000	,782	-,597	,332
	SPLIT	,782	1,000	-,471	,421
	MESH	-,597	-,471	1,000	-,555
	Density	,332	,421	-,555	1,000

Πίνακας 4.3. Πίνακας ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PCA).

Total Variance Explained						
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,593	64,827	64,827	2,593	64,827	64,827
2	,783	19,578	84,404			
3	,454	11,357	95,761			
4	,170	4,239	100,000			
Component Matrix						
Component	Landscape Division	Splitting Index	Effective Mesh Size	Road Density		
1	,863	,846	-,813	,687		

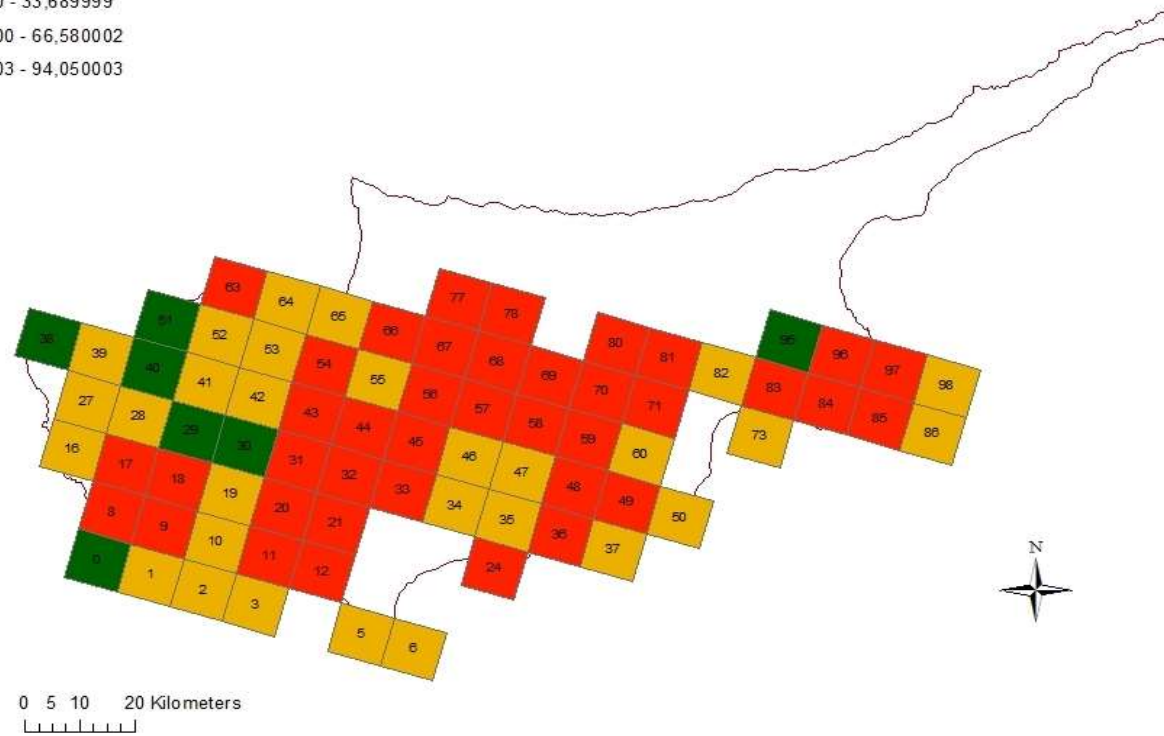
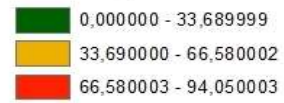
Στη συνέχεια, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί μία μόνο από τις μετρικές που υπολογίσθηκαν για την εκτίμηση της κατάτμησης έγινε ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA-principal components analysis). Το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται από τις μετρικές κατάτμησης φαίνεται στον πίνακα 4.3. Το ποσοστό διακύμανσης που εξηγεί το landscape division είναι 0,745, το splitting index 0,715, το effective mesh size 0,661 και το road density 0,472. Αντίστοιχα, η συσχέτιση με την εξαγόμενη συνιστώσα είναι 0,863 για το landscape division, 0,846 για το splitting index, -0,813 για το effective mesh size και 0,867 για το road density. Επομένως, η μετρική η οποία επιλέχθηκε για την εκτίμηση της κατάτμησης τοπίου, είναι το landscape division, καθώς εξηγεί το μεγαλύτερο ποσοστό διακύμανσης συγκριτικά με τις υπόλοιπες μετρικές.

Εκτίμηση θορύβου (dB)



Εικόνα 4.7. Ομαδοποίηση των τετραγώνων 10km x 10km σε τρεις κλάσεις με βάση το βαθμό επίπτωσης για την εκτίμηση θορύβου (πράσινο χρώμα-χαμηλή, πορτοκαλί χρώμα-μέτρια, κόκκινο χρώμα-υψηλή). Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Landscape Division



Εικόνα 4.8. Ομαδοποίηση των τετραγώνων 10km x 10km σε τρεις κλάσεις με βάση το βαθμό επίπτωσης για την κατάτμηση τοπίου (πράσινο χρώμα-χαμηλή, πορτοκαλί χρώμα-μέτρια, κόκκινο χρώμα-υψηλή). Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

4.4 Χαρακτηρισμός του πεδίου μελέτης βάσει συνδυαστικής επίπτωσης θορύβου-κατάτμησης

Έπειτα από τον υπολογισμό του θορύβου και του βαθμού κατάτμησης για κάθε τετράγωνο, στόχος ήταν ο συνδυαστικός χαρακτηρισμός κάθε τετραγώνου με βάση το βαθμό της επίπτωσης. Η ομαδοποίηση των τετραγώνων στις τρεις αυτές κλάσεις έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των natural breaks (Jenks).

Γίνεται αντιληπτό ότι οι περισσότερες περιοχές χαμηλού θορύβου και μικρού βαθμού κατάτμησης βρίσκονται στην περιοχή του όρους Τροόδους, καθώς αποτελεί περιοχή χωρίς έντονη παρουσία οδικού δικτύου και χωρίς αυτοκινητόδρομους, γεγονός που εξηγεί και την εκτίμηση ως περιοχής χαμηλού θορύβου. Πιο αναλυτικά, στην εκτίμηση θορύβου 12 τετράγωνα καταγράφονται ως χαμηλού θορύβου, 23 ως μέτριου θορύβου και 40 ως υψηλού θορύβου, ενώ για την εκτίμηση της κατάτμησης 7 τετράγωνα καταγράφονται ως χαμηλής κατάτμησης, 29 ως μέτρια κατάτμησης και 39 ως υψηλής κατάτμησης.

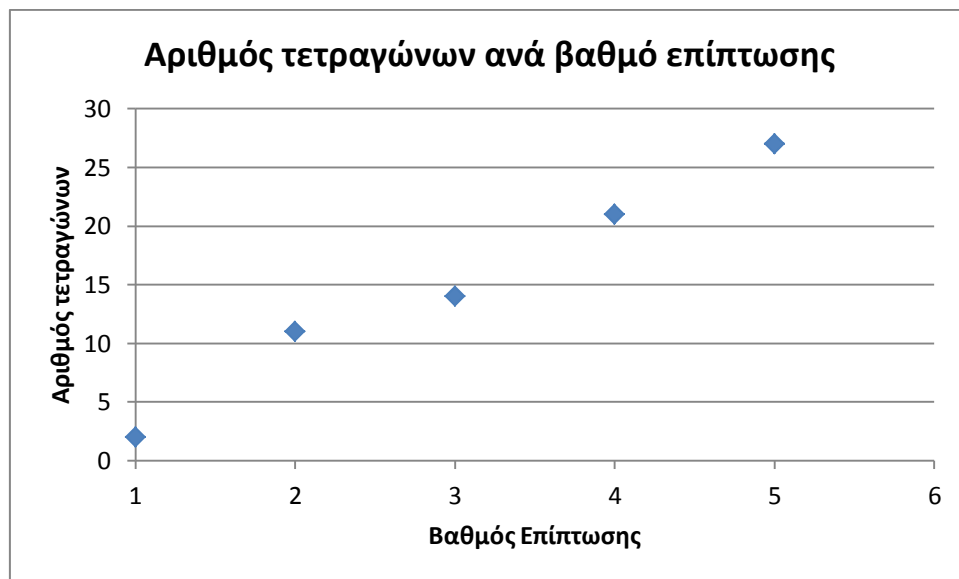
Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα αξιολόγησης για θόρυβο και κατάτμηση ξεχωριστά και τη μήτρα που αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.4 έγινε νέα ομαδοποίηση σε 5 κατηγορίες ρίσκου για την παρουσία των πτηνών με βάση το βαθμό επίπτωσης που προκύπτει από το συνδυασμό θορύβου και κατάτμησης (εικόνα 4.9).

Κατάτμηση	Υψηλή	18,63	20,31,33,43,44,54,56,58,81,96	8,9,11,12,17,21,24,32,36,45,48,49,57,59,66,67,68,69,70,71,77,78,80,83,84,85,97
	Μέτρια	5,6,41,42,52,53,64,65	3,10,16,19,27,34,37,39,47,73	1,2,28,35,46,50,55,60,82,86,98
	Χαμηλή	29,30	40,51,95	0,38
		Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός
		Κυκλοφοριακός Θόρυβος		

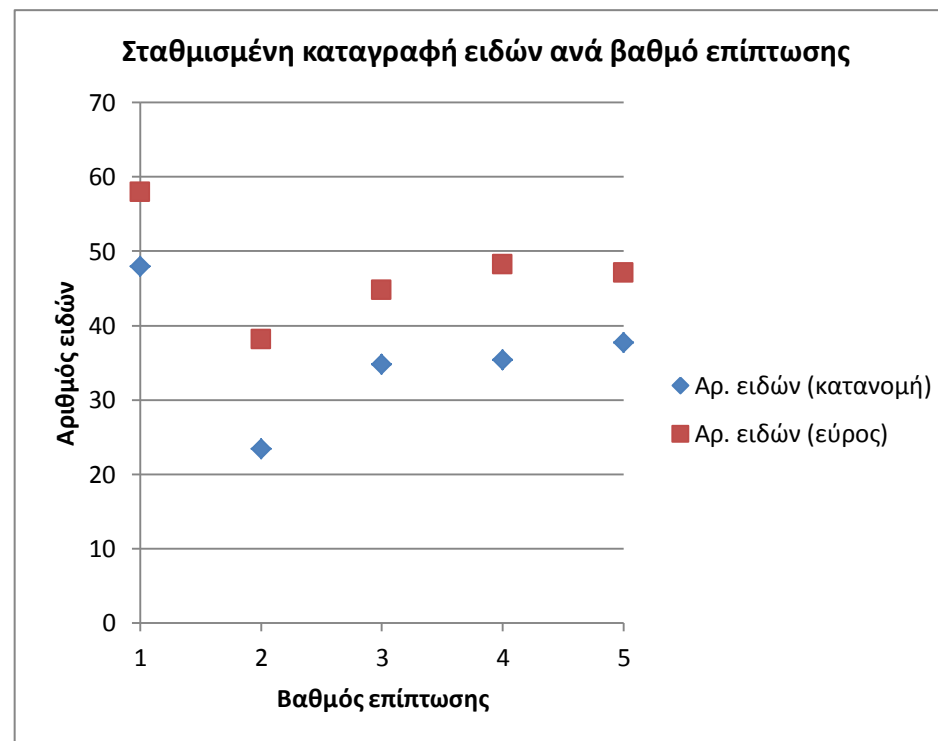
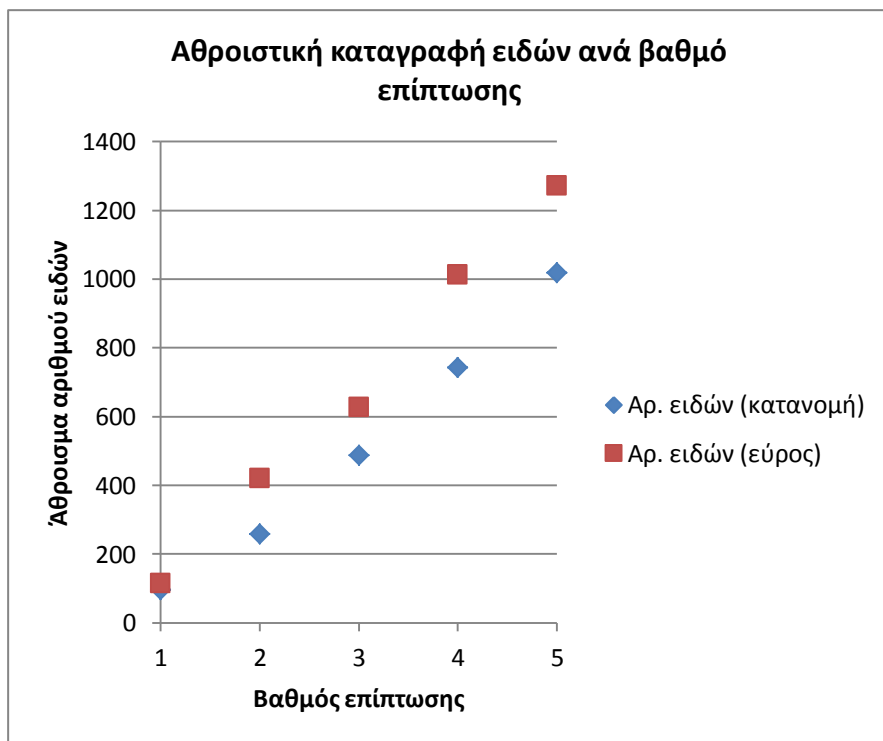
Εικόνα 4.9. Μήτρα ομαδοποίησης των τετραγώνων 10km x 10km βάσει της συνδυαστικής επίπτωσης θορύβου και κατάτμησης. Οι αριθμοί εντός των κελιών αντιστοιχίζονται με τους αριθμούς των τετραγώνων που αποτελούν το πεδίο μελέτης, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.5.

Οι περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επίπτωσης έχουν μικρές δυνατότητες μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεων, οι περιοχές μέτριας επίπτωσης έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα δράσης για το μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων, ενώ οι περιοχές χαμηλής και πολύ χαμηλής επίπτωσης μπορούν να αποτελέσουν περιοχές κατάλληλες για την παρουσία ειδών πτηνών. Το αποτέλεσμα της μήτρας απεικονίστηκε σε διάγραμμα (εικόνα 4.10) και σε χάρτη (εικόνα 4.13).

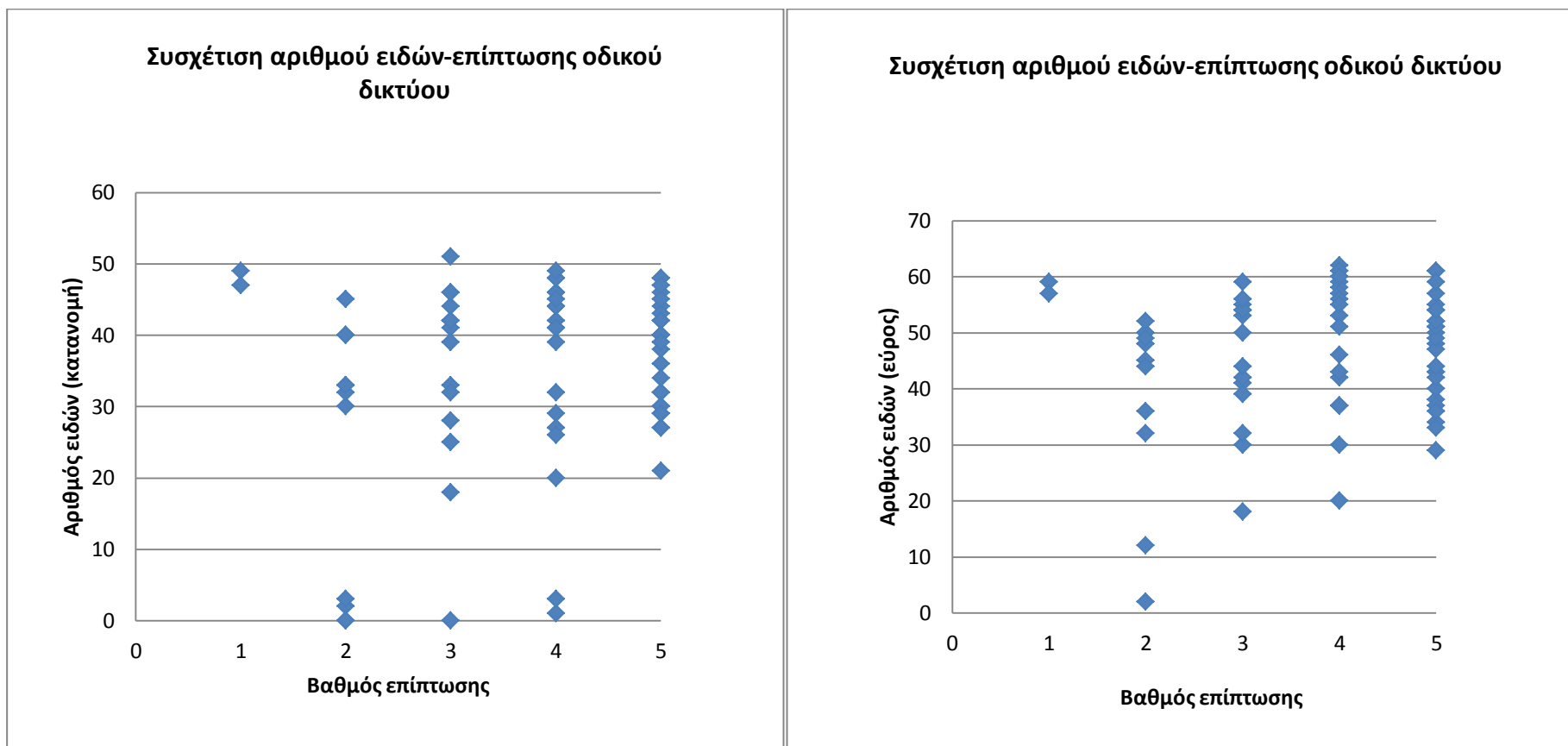
Σε σύνολο 75 τετραγώνων, 2 χαρακτηρίζονται ως πολύ χαμηλής επίπτωσης, 11 ως χαμηλής επίπτωσης, 14 ως μέτριας επίπτωσης, 21 ως υψηλής επίπτωσης και 27 ως πολύ υψηλής επίπτωσης.



Εικόνα 4.10. Διάγραμμα της μήτρας ομαδοποίησης (εικόνα 4.9). Ο βαθμός επίπτωσης οδικού δικτύου βαθμονομείται από 1: πολύ χαμηλή επίπτωση έως 5: πολύ υψηλή επίπτωση.

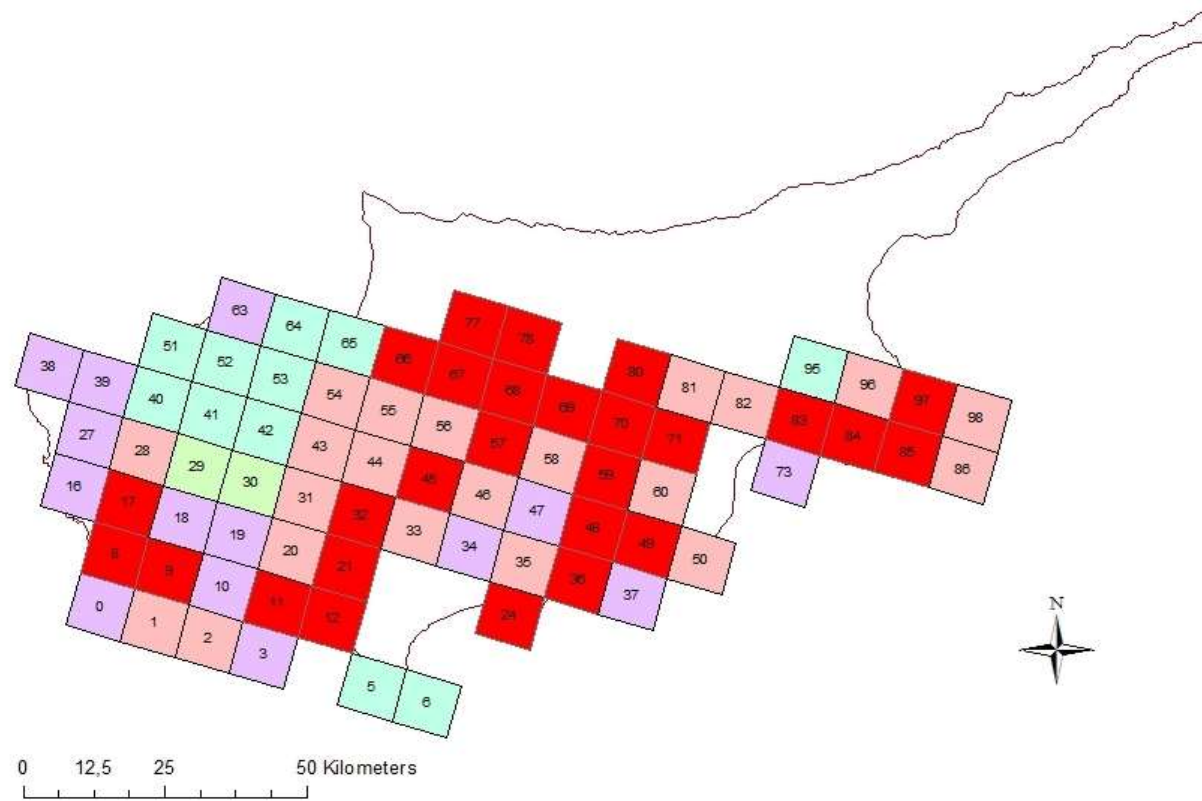


Εικόνα 4.11. Διαγράμματα αθροιστικής καταγραφής ειδών και σταθμισμένης καταγραφής ειδών ανά βαθμό επίπτωσης. Ο βαθμός επίπτωσης οδικού δικτύου βαθμονομείται από 1: πολύ χαμηλή επίπτωση έως 5: πολύ υψηλή επίπτωση.



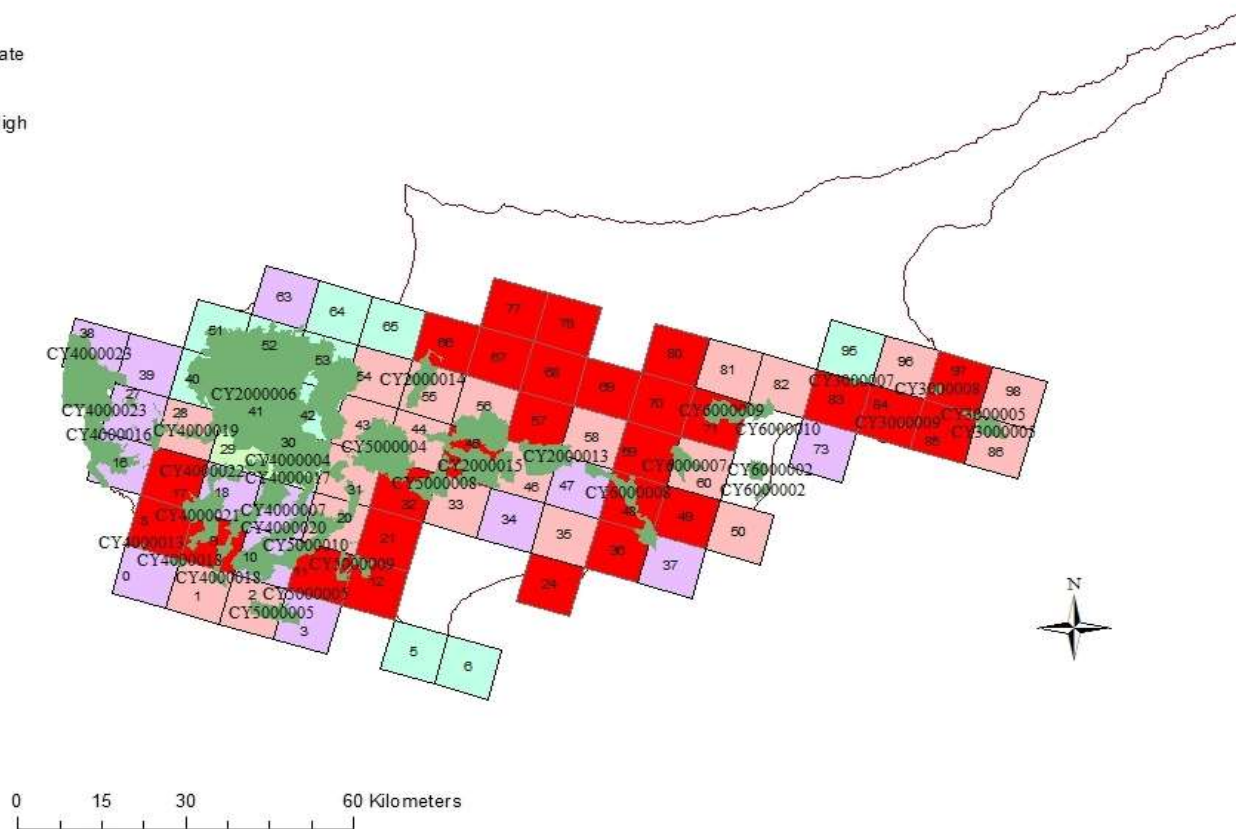
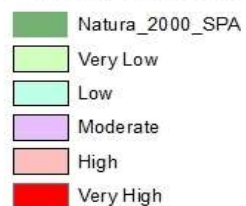
Εικόνα 4.12. Διαγράμματα συσχέτισης πτηνοπανίδας-επίπτωσης οδικού δικτύου. Αριστερά, ο αριθμός ειδών αφορά την κατανομή και δεξιά το εύρος των ειδών. Ο βαθμός επίπτωσης οδικού δικτύου βαθμονομείται από 1: πολύ χαμηλή επίπτωση έως 5: πολύ υψηλή επίπτωση.

Συνδυαστική επίπτωση θορύβου-κατάτμησης



Εικόνα 4.13. Χάρτης συνδυαστικής επίπτωσης θορύβου και κατάτμησης. Τα χρώματα των τετραγώνων αντιστοιχίζονται με τα χρώματα της μήτρας (εικόνα 4.9). Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

Βαθμός επίπτωσης



Εικόνα 4.14. Χάρτης ΖΕΠ του δικτύου Natura 2000 και συνδυαστικής επίπτωσης θορύβου και κατάμησης. Τα χρώματα των τετραγώνων αντιστοιχίζουν με τα χρώματα της μήτρας (εικόνα 4.9). Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS.

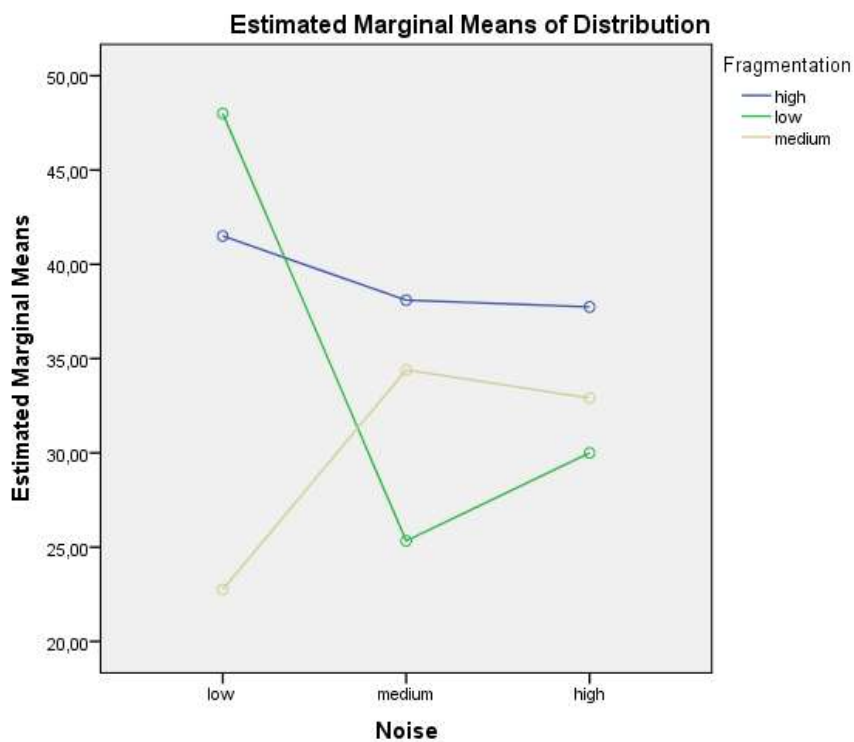
4.5 Επίπτωση θορύβου-κατάτμησης στην πτηνοπανίδα

Έπειτα από την κατηγοριοποίηση των τετραγώνων που συνιστούν το πεδίο μελέτης, το ζητούμενο ήταν η συσχέτιση του βαθμού επίπτωσης με τον αριθμό ειδών πτηνών. Στην εικόνα 4.11 καταγράφεται σε μορφή διαγραμμάτων η αθροιστική και η σταθμισμένη καταγραφή ειδών ανά βαθμό επίπτωσης. Στην εικόνα 4.12, αναπαρίσταται με μορφή διαγράμματος ο αριθμός ειδών για κατανομή και εύρος σε σχέση με τις 5 κλάσεις του βαθμού επίπτωσης. Με σκοπό επίσης την αξιολόγηση των υφιστάμενων Ειδικών Ζωνών Προστασίας (ΖΕΠ) (Special Protection Areas - SPA) της ορνιθοπανίδας, του δικτύου Natura 2000, δημιουργήθηκε χάρτης με υπέρθεση των SPAs στο χάρτη συνδυαστικής επίπτωσης (εικόνα 4.14). Η αντιστοίχιση των κωδικών των ΖΕΠ της Κύπρου με τις ονομασίες του φαίνεται στον πίνακα Γ του Παραρτήματος.

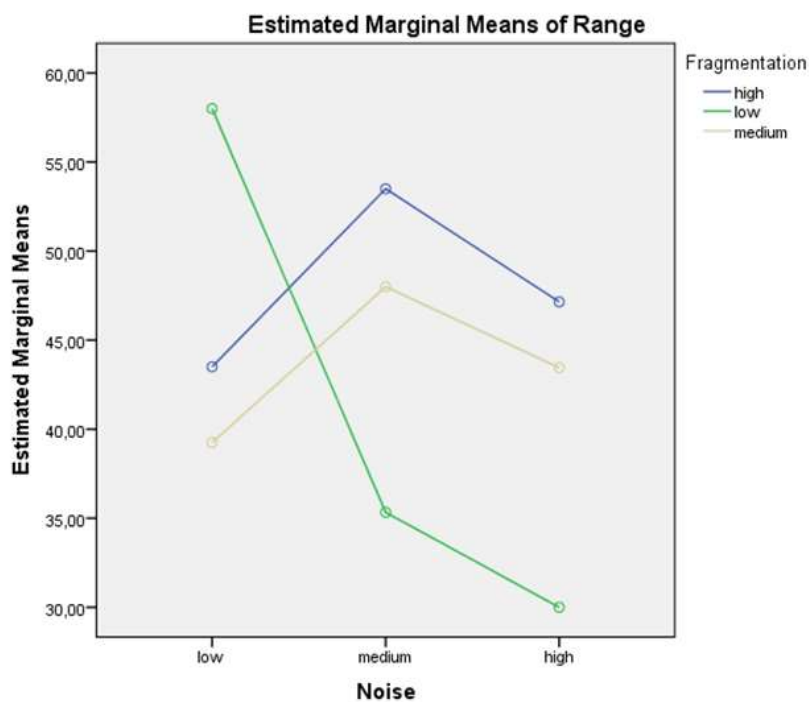
Προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των 5 κλάσεων του βαθμού επίπτωσης οδικού δικτύου αναφορικά με τον αριθμό ειδών τόσο για την κατανομή, όσο και για το εύρος, διενεργήθηκε ο έλεγχος Kruskal-Wallis στο SPSS (πίνακας 4.4). Τα αποτελέσματα, τόσο για την κατανομή ειδών (d) [$\chi^2(4)=9,168$, $p=0,057$], όσο και για το εύρος των ειδών (r) [$\chi^2(4)=7,588$, $p=0,108$], δεν υποδηλώνουν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς μεταξύ των 5 κλάσεων. Ζητούμενο αποτέλεσε επίσης ο έλεγχος του βαθμού επίπτωσης του θορύβου και της κατάτμησης ξεχωριστά, όσο και η αλληλεπίδρασή τους στο αποτέλεσμα της ποικιλότητας πτηνών. Προς την κατεύθυνση αυτή διενεργήθηκε στο SPSS η μέθοδος Ανάλυση Διακύμανσης κατά Δύο Παράγοντες (Univariate Analysis of Variance) για την ποικιλότητα ειδών βάσει κατανομής και βάσει εύρους.

Από τα διαγράμματα των μέσων των παρατηρήσεων, τόσο για την κατανομή, όσο και για το εύρος των ειδών (εικόνα 4.15, 4.16), φαίνεται ότι ο υψηλότερος μέσος των παρατηρήσεων είναι για τις περιοχές χαμηλού θορύβου-κατάτμησης, όπως επίσης το γεγονός ότι και για την κατανομή και για το εύρος των ειδών, οι περιοχές με πιο έντονη κατάτμηση παρουσιάζουν μεγαλύτερο αριθμό ειδών από τις περιοχές με μέση και χαμηλή κατάτμηση.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης δείχνουν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην ποικιλότητα πτηνών τόσο ξεχωριστά για την κατάτμηση και το θόρυβο, όσο και για την αλληλεπίδρασή τους (πίνακες 4.5, 4.6). Πιο αναλυτικά, για τη ποικιλότητα βάσει κατανομής για την αλληλεπίδραση θορύβου-κατάτμησης το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας είναι $\text{Sig.}=0,111$, ενώ η επίδραση θορύβου έχει παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας $\text{Sig.}=0,678$ και η επίδραση κατάτμησης $\text{Sig.}=0,098$. Για τη ποικιλότητα βάσει εύρους, το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας είναι $\text{Sig.}=0,067$ για την αλληλεπίδραση θορύβου-κατάτμησης, ενώ η επίδραση θορύβου έχει $\text{Sig.}=0,309$ και η επίδραση κατάτμησης $\text{Sig.}=0,355$.



Εικόνα 4.15. Διάγραμμα που δείχνει τους μέσους των παρατηρήσεων για κάθε συνδυασμό επιπέδων θορύβου και κατάτμησης για την κατανομή των ειδών πτηνών, που δημιουργήθηκε στο SPSS.



Εικόνα 4.16. Διάγραμμα που δείχνει τους μέσους των παρατηρήσεων για κάθε συνδυασμό επιπέδων θορύβου και κατάτμησης για το εύρος των ειδών πτηνών, που δημιουργήθηκε στο SPSS.

Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα του ελέγχου Kruskal-Wallis ($p=0,05$) για την κατανομή και το εύρος των ειδών.

	Distribution	Range
Chi-Square	9,168	7,588
df	4	4
Asymp. Sig.	0,057	0,108

Πίνακας 4.5. Αποτέλεσμα ανάλυσης διακύμανσης για την κατανομή ειδών (distribution).

Dependent Variable: DISTRIBUTION

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2297,486 ^a	8	287,186	1,746	,104
Intercept	42232,414	1	42232,414	256,707	,000
NOISE	128,678	2	64,339	,391	,678
FRAGMENTATION	792,625	2	396,313	2,409	,098
NOISE * FRAGMENTATION	1289,993	4	322,498	1,960	,111
Error	10858,061	66	164,516		
Total	103497,000	75			
Corrected Total	13155,547	74			

a. R Squared = ,175 (Adjusted R Squared = ,075)

Πίνακας 4.6. Αποτέλεσμα ανάλυσης διακύμανσης για το εύρος ειδών (range).

Dependent Variable: RANGE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2227,685 ^a	8	278,461	2,091	,049
Intercept	69349,401	1	69349,401	520,635	,000
NOISE	318,326	2	159,163	1,195	,309
FRAGMENTATION	280,232	2	140,116	1,052	,355
NOISE * FRAGMENTATION	1232,336	4	308,084	2,313	,067
Error	8791,301	66	133,202		
Total	169627,000	75			
Corrected Total	11018,987	74			

a. R Squared = ,202 (Adjusted R Squared = ,105)

5. Συζήτηση-συμπεράσματα-εισηγήσεις

5.1 Συζήτηση

Όπως αναπτύχθηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η παρουσία του οδικού δικτύου έχει αρνητικές επιπτώσεις στους πληθυσμούς των άγριων ζώων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται και οι πληθυσμοί πτηνών. Οι επιπτώσεις αυτές στα πτηνά, διαχωρίζονται σε άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος και η καταστροφή των οικοτόπων λόγω της προκαλούμενης από τους δρόμους κατάτμηση, ανήκουν στην κατηγορία των έμμεσων επιπτώσεων των δρόμων στα πτηνά.

Τα υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου επηρεάζουν με διάφορους τρόπους αρνητικά τους πληθυσμούς πτηνών, μεταξύ των οποίων η πρόκληση επιπτώσεων στη συμπεριφορά και φυσιολογία των ατόμων, αλλά και η επικάλυψη των ηχητικών σημάτων των πτηνών, οδηγώντας στην απώλεια επικοινωνίας μεταξύ ατόμων, αλλά και ομάδων. Πλήθος μελετών, οι οποίες χρησιμοποίησαν διαφορετικές μεθοδολογίες, αλλά και διερεύνησαν διαφορετικές παραμέτρους της κυκλοφορίας των οχημάτων σε σχέση με τα πτηνά, υποδήλωσαν την αρνητική επίπτωση της κυκλοφορίας στους πληθυσμούς των πτηνών. Οι Helldin et al. (2013), στη Σουηδία, συσχέτισαν τον κυκλοφοριακό θόρυβο με τους σημαντικούς για τη διατήρηση ειδών πτηνών οικοτόπους, προκαλώντας μία απώλεια έως και 1,7% της έκτασης του οικοτόπου. Όσον αφορά τον αριθμό των ειδών πτηνών, οι Reijnen & Forren (2006) χρησιμοποίησαν μελέτες κυκλοφοριακής πυκνότητας, συσχετίζοντας τον αριθμό των οχημάτων ανά ημέρα με τον αριθμό των ειδών που επηρεάζονται, οδηγούμενοι στο συμπέρασμα ότι σε υψηλή κυκλοφοριακή πυκνότητα άνω των 30.000 οχημάτων επηρεάζεται ένα ποσοστό ειδών πτηνών της τάξης του 55%. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, λαμβάνοντας υπόψη ευρήματα της βιβλιογραφίας τα οποία υποδηλώνουν την αρνητική επίπτωση του θορύβου στα πτηνά, στόχευσε στη διερεύνηση τυχόν αρνητικής επίπτωσης του θορύβου στον αριθμό των φωλαεζόντων ειδών πτηνών της Κύπρου. Τα

αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν, σε αντίθεση με τα ευρήματα της βιβλιογραφίας, ότι σε περιοχές μέσου και υψηλού θορύβου, ο μέσος όρος των ειδών φωλεαζόντων πτηνών είναι μεγαλύτερος, τόσο για την κατανομή, όσο και για το εύρος των ειδών. Βέβαια, τα αποτελέσματα αυτά δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα.

Η κατάτμηση του τοπίου που προκαλείται από την παρουσία των δρόμων, οδηγεί στην καταστροφή οικοτόπων, με αρνητικές συνέπειες στους πληθυσμούς άγριων ζώων, ιδίως των σπονδυλωτών. Ακριβώς επειδή οι φυσικοί φραγμοί που δημιουργεί η παρουσία των δρόμων αποτελούν εμπόδιο κυρίως για τα σπονδυλωτά, η έρευνα πάνω στις επιπτώσεις της κατάτμησης σε πληθυσμούς ειδών, αφορά αυτή την κατηγορία ζώων και όχι τα πτηνά, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να ξεπεράσουν τέτοιου είδους εμπόδια. Ωστόσο, η κατάτμηση του τοπίου, δεν σχετίζεται μόνο με την παρουσία φραγμών στο φυσικό περιβάλλον, αλλά και με την καταστροφή οικοτόπων σημαντικών για τη διατήρηση της άγριας ζωής, μεταξύ των οποίων και οικοτόπων σημαντικών για είδη πτηνών. Έγινε επομένως προσπάθεια για διερεύνηση συσχέτισης μεταξύ της κατάτμησης του τοπίου με τον αριθμό φωλεαζόντων ειδών πτηνών της Κύπρου. Σε αντιστοιχία με τα αποτελέσματα για το θόρυβο, διαπιστώθηκε ότι σε περιοχές αυξημένης κατάτμησης, ο αριθμός των ειδών πτηνών παρουσιάζεται αυξημένος, απορρίπτοντας την υπόθεση ότι η αύξηση της κατάτμησης θα επηρεάζει αρνητικά τα είδη φωλεαζόντων πτηνών.

Εκτός από την ξεχωριστή επίπτωση που έχει στο αποτέλεσμα ο κυκλοφοριακός θόρυβος και η κατάτμηση, διερευνήθηκε και η συνδυαστική επίπτωση των δύο μεταβλητών πάνω στο αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα δεν αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική επίπτωση του συνδυασμού θορύβου και κατάτμησης στο τελικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, με βάση την εικόνα 4.11 και το διάγραμμα σταθμισμένης καταγραφής ειδών ανά βαθμό επίπτωσης παρατηρείται επίσης ότι εκτός των περιοχών του Τροόδου, οι οποίες είναι περιοχές με χαμηλή επίπτωση οδικού δικτύου και χαρακτηρίζονται από αφθονία ειδών πτηνών, για τις υπόλοιπες περιοχές παρατηρείται θετική συσχέτιση του αριθμού ειδών πτηνών με το βαθμό συνδυαστικής επίπτωσης.

Υπάρχουν στοιχεία αντλούμενα από τους χάρτες εκτίμησης θορύβου και κατάτμησης τοπίου (εικόνα 4.7, 4.8), το χάρτη συνδυαστικής επίπτωσης (εικόνα 4.13), αλλά και το χάρτη συνδυαστικής επίπτωσης με υπέρθεση των περιοχών SPAs του δικτύου Natura 2000 (εικόνα 4.14), τα οποία μπορούν να συμβάλλουν στην ερμηνεία του αποτελέσματος. Οι χάρτες αυτοί δείχνουν ότι η Κύπρος, με εξαίρεση την περιοχή του Τροόδου, στο μεγαλύτερο τμήμα του εσωτερικού του νησιού χαρακτηρίζεται από έντονη κατάτμηση τοπίου και υψηλό κυκλοφοριακό θόρυβο, περιορίζοντας τις περιοχές μέτριας-χαμηλής επίπτωσης στην παράλια ζώνη του νησιού, με εξαίρεση βέβαια των αστικών κέντρων που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα (Πάφος, Λεμεσός, Λάρνακα). Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και με το συνδυασμό κατάτμησης και θορύβου. Τα τετράγωνα 10km x 10km τα οποία

καλύπτουν την έκταση του νησιού, όπως είναι επόμενο, δεν καλύπτουν ίδιο μέγεθος έκτασης του νησιού. Έτσι, στις παράλιες περιοχές του νησιού παρατηρείται ότι ο αριθμός ειδών πτηνών και για την κατανομή και για το εύρος είναι χαμηλότερος από ότι στο εσωτερικό του νησιού, όπου η κατάτμηση και ο θόρυβος είναι εντονότερα. Επίσης, παρατηρείται ότι τις περιοχές με την πιο έντονη επιβάρυνση αποτελούν οι πεδινές εκτάσεις του νησιού, λόγω της ύπαρξης, όπως είναι αναμενόμενο, περισσότερων δρόμων και αυτοκινητοδρόμων, με υψηλότερες ταχύτητες και κατά συνέπεια με υψηλότερα επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου. Η υπέρθεση των περιοχών Natura 2000 για την ορνιθοπανίδα στο χάρτη συνδυαστικής επίπτωσης (εικόνα 4.14) δείχνει ότι υπάρχουν 11 ΖΕΠ, τμήμα των οποίων ή και ολόκληρη η έκτασή τους βρίσκεται εντός περιοχών που χαρακτηρίζονται από υψηλή και πολύ υψηλή επίπτωση και εντός των οποίων υπάρχουν δρόμοι και αυτοκινητόδρομοι ή βρίσκονται κοντά σε δρόμους υψηλής κυκλοφορίας. Αυτές οι περιοχές είναι οι εξής: 1) Ποταμός Πεντάσχοινος (CY6000008), 2) Περιοχή Κόσης-Παλλουρόκαμπου (CY6000009), 3) Περιοχή κοιλάδας Ξυλούρικου (CY5000008), 4) Φάρος Κάτω Πάφου (CY4000013), 5) Μαδαρή-Παπούτσα (CY2000015), 6) Περιοχή Αγ. Θέκλας-Λιοπέτρι (CY3000009), 7) Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους (CY5000004), 8) Ζώνη Ειδικής Προστασίας Χα-Ποτάμι (CY5000010), 9) Λίμνη Παραλιμνίου (CY3000008), 10) Κάβο Γκρέκο (CY3000005), 11) Περιοχή Ατσά - Αγ. Θεόδωρος (CY2000014). Για τις περιοχές αυτές προτείνεται η λήψη μέτρων πρόληψης ή άμβλυνσης των επιπτώσεων από την παρουσία στοιχείων του οδικού δικτύου.

Η παρουσία ή μη των ειδών πτηνών σε μία περιοχή επηρεάζεται επίσης και από άλλες παραμέτρους πλην της έντασης του θορύβου και της κατάτμησης οικοτόπων, όπως προτείνεται από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Στο τελικό αποτέλεσμα της παρουσίας ειδών, σημαντικό ρόλο παίζουν και άλλες επιπτώσεις προκαλούμενες από το οδικό δίκτυο, όπως η ρύπανση και η ένταση του φωτισμού, που πιθανόν να ωθούν τα πτηνά να αποφύγουν συγκεκριμένες περιοχές, με αποτέλεσμα να μην καταγράφεται η παρουσία τους. Εκτός όμως από τις σχετιζόμενες με το οδικό δίκτυο επιπτώσεις, στην παρουσία των πτηνών συμβάλλουν και άλλοι παράγοντες, ανθρωπογενούς ή μη προελεύσεως, όπως η χρήση γης, το κλίμα και η δομή και σύνθεση της βλάστησης.

Υπήρξαν βεβαίως και περιορισμοί στην μελέτη, οι οποίοι προέκυψαν από τη φύση των δεδομένων και τη μεθοδολογία. Το κάθε ένα από τα 137 τετράγωνα στα οποία υποδιαιρείται η Κύπρος δεν αποτελεί περιοχή ομοιογενή ως προς τη χρήση γης, το ανάγλυφο και τα τοπία που εκπροσωπούνται στην καλυπτόμενη έκταση. Η ανομοιογένεια αυτή πιθανόν να έχει κάποια επίδραση στο αποτέλεσμα. Επίσης, σε κάθε τετράγωνο διαπιστώνεται απλώς η παρουσία και όχι η συχνότητα με την οποία απαντάται το κάθε είδος, όπως επίσης δεν υπάρχουν δεδομένα σημειακά για το που ακριβώς φωλιάζει το κάθε είδος. Τυχόν διαθεσιμότητα τέτοιων δεδομένων, θα εξυπηρετούσε σε περαιτέρω δυνατότητες διερεύνησης της επίδρασης του οδικού δικτύου στην πτηνοπανίδα της Κύπρου, παραδείγματος χάριν σε

σχέση με την απόσταση στην οποία απαντώνται οι φωλιές των πτηνών από τους παρακαείμενους δρόμους, υποδεικνύοντας την προτιμώμενη απόσταση από τους δρόμους. Η μεθοδολογία επίσης η οποία προτάθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υπαγορεύθηκε σε μεγάλο βαθμό από το διαθέσιμο λογισμικό, αλλά και από τη μορφή των διαθέσιμων δεδομένων. Η ομαδοποίηση των τετραγώνων τόσο για την κατάτμηση, όσο και για την εκτίμηση κυκλοφοριακού θορύβου, έγινε με βάση την προσαρμογή στα αποτελέσματα των υπολογισμών και όχι λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες τιμές για τη διάκριση σε κατηγορίες χαμηλής, μέσης και υψηλής επίπτωσης. Παρόλα αυτά, για τον κυκλοφοριακό θόρυβο, οι υπολογισμοί προσαρμόζονται αρκετά καλά στο προτεινόμενο όριο των 60dB (Dooling and Popper, 2007), το οποίο όμως είναι αμφιλεγόμενο, καθώς για το κάθε είδος, το όριο στο οποίο εμφανίζονται οι επιπτώσεις του θορύβου είναι διαφορετικό. Επίσης, όσον αφορά το θόρυβο, μπορεί να εμπλέκονται και άλλες πηγές εκτός της κυκλοφορίας των οχημάτων, όπως ο προκαλούμενος θόρυβος από βιομηχανικές περιοχές και άλλες δραστηριότητες ανθρωπογενούς προελεύσεως, γεγονός που καθιστά την εκτίμηση της έντασης του θορύβου που γίνεται αντιληπτός από τα πτηνά ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα.

5.2 Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι τα ακόλουθα:

- Η Κύπρος είναι μία χώρα με έντονη κατάτμηση τοπίου λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των οδικών υποδομών τα τελευταία χρόνια.
- Ως συνέπεια της έντονης παρουσίας του οδικού δικτύου και των υπολογισμών που βασίζονται σε κυκλοφοριακά δεδομένα, συμπεραίνεται ότι αρκετές περιοχές του νησιού με υψηλή ποικιλότητα πτηνοπανίδας είναι εκτεθειμένες σε υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου.
- Με βάση τα αποτελέσματα της διατριβής, η παρουσία ειδών φωλεαζόντων πτηνών δεν φαίνεται να επηρεάζεται αρνητικά από την κατάτμηση τοπίου και τον κυκλοφοριακό θόρυβο, ούτε από το συνδυασμό των δύο αυτών παραμέτρων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη χρήση δεδομένων χαμηλής χωρικής ευκρίνειας (τετράγωνα έκτασης 10x10km), καθώς και στη διερεύνηση επίπτωσης για το σύνολο των ειδών φωλεαζόντων πτηνών και όχι ανά τάξη ειδών, εντός των οποίων τα πτηνά αναμένεται να έχουν παρόμοια απόκριση στα ερεθίσματα και διαφορετική σε σύγκριση με τα πτηνά άλλων τάξεων.
- Οι Ζώνες Ειδικής Προστασίας για την ορνιθοπανίδα του δικτύου Natura 2000 (Special Protection Areas - SPA) βρίσκονται κυρίως σε ορεινές περιοχές χαμηλής και μέτριας

επίπτωσης, ωστόσο για 11 ΖΕΠ τμήμα τους ή και ολόκληρη η έκτασή τους βρίσκεται εντός περιοχών με πολύ υψηλή επιβάρυνση και τμήματα οδικού δικτύου εντός της έκτασής τους ή πλησίον της έκτασής τους.

5.3 Εισηγήσεις

Τα αποτελέσματα της διατριβής υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των παραμέτρων του οδικού δικτύου που πιθανόν να επιδρούν στη βιοποικιλότητα των πτηνών της Κύπρου. Δεδομένης της τάσης για συνεχή επέκταση του οδικού δικτύου, αναμένεται αυξημένη πίεση στους πληθυσμούς των πτηνών. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος θα πρέπει να συσχετιστεί όχι μόνο με τον αριθμό ειδών, αλλά και με τη συχνότητα του πληθυσμού. Εκτός του θορύβου και της κατάτμησης των οικοτόπων, χρήζουν διερεύνησης και άλλες διαταραχές που σχετίζονται με τους δρόμους, όπως ο φωτισμός, η προκαλούμενη θνησιμότητα λόγω συγκρούσεων με οχήματα και η ρύπανση, οι οποίες πιθανόν σε πληθυσμιακό επίπεδο να μην έχουν σημαντική επίπτωση, αλλά η συνολική συνδυαστική επίπτωση τους να είναι σημαντική. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η μελέτη ανά είδος και όχι σε σύνολο ειδών, ή η κατηγοριοποίησή τους με βάση την τάξη στην οποία ανήκουν, καθώς η απόκριση κάθε ομάδας αλλά και κάθε είδους ξεχωριστά σε κάποια διαταραχή, είναι διαφορετική. Επιπλέον, η προτεινόμενη μεθοδολογία της παρούσας διατριβής, θα είχε ενδιαφέρον να εφαρμοστεί εντός των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura 2000, αλλά και σε περιοχές που θα μπορούσαν να ενταχθούν σε αυτό, προσφέροντας χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα σχετικά με το σχεδιασμό του δικτύου και την ένταξη περιοχών με χαμηλή επίπτωση του οδικού δικτύου, οι οποίες θα είναι κατάλληλες για την προστασία και διαχείριση ειδών πτηνών ιδιαίτερης σημασίας για τη βιοποικιλότητα της Κύπρου.

Εκτός όμως της περαιτέρω διερεύνησης για την επίδραση των δρόμων στους πληθυσμούς των πτηνών, απαιτείται και η λήψη μέτρων για τον μετριασμό της προκαλούμενης ηχορύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς και ο καλύτερος σχεδιασμός των επεκτάσεων του οδικού δικτύου, προκειμένου να μην καταστρέφονται ή μειώνονται οι εκτάσεις σημαντικών οικοτόπων για τα πτηνά και για άλλα ζώα. Τα αποτελέσματα της διατριβής υποδεικνύουν την διαίρεση του νησιού σε περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επίπτωσης, στις οποίες η λήψη μέτρων είναι αναγκαία αν και έχει χαμηλές πιθανότητες άμβλυνσης των συνεπειών στα πτηνά, σε περιοχές μέτριας επίπτωσης, με περισσότερες δυνατότητες μετριασμού των αρνητικών συνεπειών στα πτηνά και τέλος σε περιοχές με χαμηλή επίπτωση, στις οποίες δεν υπάρχει λόγος λήψης μέτρων.

Τα προτεινόμενα μέτρα για το μετριασμό των επιπτώσεων, ειδικά για τις περιοχές ΖΕΠ με υψηλή και πολύ υψηλή επιβάρυνση λόγω της παρουσίας του οδικού δικτύου, είναι τα εξής:

- η δημιουργία ηχητικών φρακτών σε αυτοκινητόδρομους και σε δρόμους, ώστε να μειωθούν τα προσλαμβάνοντα επίπεδα θορύβου για τα πτηνά
- το εποχιακό κλείσιμο δρόμων σε περιοχές φωλιάσματος ειδών με υψηλό ενδιαφέρον διατήρησης, ώστε τα νεαρής ηλικίας άτομα να προστατεύονται από τα υψηλά επίπεδα θορύβου και τη θανάτωση λόγω συγκρούσεων με οχήματα
- η προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας των προτιμώμενων για τα φωλεάζοντα πτηνά της Κύπρου οικοτόπων, οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση από τους δρόμους, με παράλληλη αποεντατικοποίηση των γεωργικών πρακτικών στις περιοχές αυτές. Ως αντίμετρο για τους γεωργούς προτείνεται η πιο εντατική διαχείριση της γης σε περιοχές πλησίον των δρόμων
- κατά το σχεδιασμό και οριοθέτηση περιοχών προστασίας ειδών πτηνών να λαμβάνεται υπόψη η απόσταση όχλησης για το κάθε είδος, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από έρευνες
- ο σχεδιασμός οικολογικών διαδρόμων χαμηλού θορύβου για τα πτηνά, γνωρίζοντας την τάση τους να αποφεύγουν περιοχές έντονης όχλησης. Οι οικολογικοί διάδρομοι που συνδέουν οικοτόπους, οι οποίοι διαχωρίζονται από δρόμους, προάγουν τη συνδετικότητα οικοτόπων πολύτιμων για τη διατήρηση και προστασία των πτηνών.

Πιο εξειδικευμένα, προτείνεται: 1) για την περιοχή «Ποταμός Πεντάσχοινος» η δημιουργία ηχητικού φράκτη στο τμήμα του αυτοκινητόδρομου Λευκωσίας-Λεμεσού (Α0001) στο σημείο που διασχίζει την έκταση της, 2) για την «Περιοχή Κόσης-Παλλουρόκαμπου» το εποχιακό κλείσιμο των χωματόδρομων που υπάρχουν για τη μετακίνηση των ιδιωτικών οχημάτων κατά την περίοδο αναπαραγωγής των πτηνών, ώστε να μειωθεί η όχληση, 3) για την «Περιοχή κοιλάδας Ξυλούρικου», η οποία χαρακτηρίζεται από εκτεταμένο οδικό δίκτυο, η κατά το δυνατόν μεταφορά των γεωργικών δραστηριοτήτων πλησίον των δρόμων και ο σχεδιασμός οικολογικών διαδρόμων χαμηλού θορύβου που να συνδέουν τις εκτάσεις που λειτουργούν ως οικοτόποι για τα πτηνά εντός της ΖΕΠ, 4) για την περιοχή «Φάρος Κάτω Πάφου», η οποία βρίσκεται δίπλα στην Πάφο και δέχεται έντονη όχληση ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της τουριστικής περιόδου, η λήψη μέτρων για τη μείωση της κυκλοφορίας στους παρακείμενους δρόμους για την μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου, 5) για την περιοχή «Μαδαρή-Παπούτσα», η οποία διασχίζεται από πλήθος αγροτικών και δευτερευόντων δρόμων, το εποχιακό κλείσιμο τους κατά την περίοδο αναπαραγωγής των πτηνών, 6) για την «Περιοχή Αγ. Θέκλας-Λιοπέτρου» η οποία φιλοξενεί το απειλούμενο είδος *Charadrius leschenaultii* το οποίο διαχειμάζει στη συγκεκριμένη περιοχή, η απαγόρευση κυκλοφορίας εντός της ΖΕΠ κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα, 7) για την περιοχή «Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδου», η οποία αποτελεί πόλο έλξης για επισκέπτες, η ελάττωση της κυκλοφορίας στον κύριο δρόμο Λευκωσία-

Τροόδους (B0009) για μείωση της όχλησης, καθώς και ο έλεγχος της προκαλούμενης από τους επισκέπτες όχλησης, 8) για τη «Ζώνη Ειδικής Προστασίας Χα-Ποτάμι», το κλείσιμο των χωματόδρομων με τους οποίους κυρίως διεξάγεται η κυκλοφορία, για τον περαιτέρω περιορισμό της προσπελασιμότητας των ζωνών προστασίας, 9) για τη «Λίμνη Παραλιμνίου», η οποία αποτελεί υδροβιότοπο, η ρύθμιση της κυκλοφορίας στους δρόμους που την περιβάλλουν και η απαγόρευση δραστηριοτήτων όπως οι αγώνες μοτοσικλέτας που διεξάγονταν στην περιοχή, οι οποίες αποτελούν σημαντικό παράγοντα όχλησης για τα είδη πτηνών, 10) για την περιοχή «Κάβο Γκρέκο», η λήψη μέτρων για τους επισκέπτες για δραστηριότητες αναψυχής και ιδίως η ρύθμιση του αριθμού τους κατά τους θερινούς μήνες, καθώς και μέτρα για τη σύνδεση των οικοτόπων, οι οποίοι είναι κατακερματισμένοι και 11) για την «Περιοχή Ατσά - Αγ. Θεόδωρος», η δημιουργία ηχητικού φράκτη στο σημείο που διασχίζεται από τον δρόμο Λευκωσίας-Τροόδους (B0009)

Βιβλιογραφία

- AEBISCHER, A., P. NYFFELER, S. KOCH, AND R. ARLETTAZ, 2005. Juvenile dispersal and mortality factors in Swiss Eagle Owls (*Bubo bubo*). *Ornithologischer Anzeiger*, 44, pp. 197-200.
- ALLAN BF, KEESING F, OSTFELD RS, 2003. Effects of forest fragmentation on Lyme disease risk. *Conservation Biology*, 17, pp. 267-272.
- ANGELSTAM P, MIKUSINSKI G, FRIDMAN J, 2004. Natural forest remnants and transport infrastructure—Does history matter for biodiversity conservation planning? *Ecological Bulletins*, 51, pp. 149-162.
- ASCENSAO, F., AND A. MIRA, 2006. Spatial patterns of road kills: a case study in southern Portugal. In: C. L. IRWIN, P. GARRETT, AND K. P. MCDERMOTT, ed, *Proceedings of the 2005 International conference on ecology and transportation*. Raleigh, North Carolina: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 641-646.
- AWADE, M., AND J. P. METZGER, 2008. Using gap-crossing capacity to evaluate functional connectivity of two Atlantic rainforest birds and their response to fragmentation. *Austral Ecology*, 33, pp. 863-871.
- BALBONTIN, J., 2005. Identifying suitable habitat for dispersal in Bonelli's Eagle: an important issue in halting its decline in Europe. *Biological Conservation*, 126, pp. 74-83.
- BARBER, J. R., K. R. CROOKS, AND K. M. FRISTRUP, 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, pp. 180-189.
- BARD, A. M., H. T. SMITH, E. D. EGENSTEINER, R. MULHOLLAND, T. V. HARBER, G. W. HEATH, W. J. B. MILLER, AND J. S. WESKE, 2002. A simple structural method to reduce road-kills of Royal Terns at bridge sites. *Wildlife Society Bulletin*, 30, pp. 603-605.
- BAUTISTA, L. M., J. T. GARCIA, R. G. CALMAESTRA, C. PALACIN, C. A. MARTIN, M. B. MORALES, R. BONAL, AND J. VINUELA, 2004. Effect of weekend road traffic on the use of space by raptors. *Conservation Biology*, 18, pp. 726-732.
- BEKKER, H. G. J. AND CANTERS, K. J., 1997. The continuing story of badgers and their tunnels. In: CANTERS, K., PIEPERS, A. AND HENDRIKS-HEERSMA, D., ed, *Habitat fragmentation and infrastructure — Proceedings of the international conference 'Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering*. Maastricht and The Hague, NIVO Drukkerij & DTP service, Delft: Ministry of Transport, Public Works and Water Management, pp. 344-353.

- BERGIN, T. M., L. B. BEST, K. E. FREEMARK, AND K. J. KOEHLER, 2000. Effects of landscape structure on nest predation in roadsides of a Midwestern agroecosystem: a multiscale analysis. *Landscape Ecology*, 15, pp. 131-143.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2008. *Common birds are declining in North America*. BirdLife International, Cambridge. b. Cambridge, United Kingdom: BirdLife International.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2008. *North American monitoring schemes are revealing declines in migratory species*. c. Cambridge, United Kingdom: BirdLife International.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2008. *State of the world's birds: indicators for our changing world*. a. Cambridge, United Kingdom: BirdLife International.
- BLAKE S, DEEM SL, STRINDBERG S, MAISELS F, MOMONT L, ISIA IB, DOUGLAS-HAMILTON I, KARESH WB, KOCK MD, 2008. Roadless wilderness area determines forest elephant movements in the Congo Basin. *PLoS ONE*, 3(e3546),.
- BOLLINGER, E. K., AND T. A. GAVIN, 2004. Responses of nesting Bobolinks (*Dolichonyx oryzivorus*) to habitat edges. *Auk*, 121, pp. 767-776.
- BOVES, T., 2007. *The effects of roadway mortality on Barn Owls in Southern Idaho and a study of ornamentation in North American Barn Owls.*, Boise State University, Boise, Idaho.
- BRENOWITZ, E.A., 1982. The active space of red-winged blackbird song. *J. Comp. Physiol.*, 147, pp. 511-522.
- BRUMM, H., 2004b. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology*, 73, pp. 434-440.
- BRUMM, H., AND SLABBEKOORN, H., 2005. Acoustic communication in noise. *Adv. Study Behav.*, 35, pp. 151-209.
- BRUMM, H., AND TODT, D., 2003. Facing the rival: directional singing behaviour in nightingales. *Behaviour*, 140, pp. 43-53.
- BRUMM, H., AND TODT, D., 2002. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Anim. Behav.*, 63, pp. 891-897.
- BUCKLER, D. R., AND G. E. GRANATO, 1999. *Assessing biological effects from highway-runoff constituents*. Open-file report 99-240. Northborough, Massachusetts: U.S. Geological Survey.
- BUTCHER, G. S., AND D. K. NIVEN, 2007. *Combining data from the Christmas Bird Count and the Breeding Bird Survey to determine the continental status and trends of North American birds*. New York: National Audubon Society.
- CATCHPOLE, C. K., AND J. F. PHILLIPS, 1992. Territory quality and reproductive success in the Dartford Warbler (*Sylvia undata*) in Dorset England. *Biological Conservation*, 61, pp. 209-215.

- CATLIN, D. H., AND D. K. ROSENBERG, 2006. Nest destruction associated with mortality and dispersal of Burrowing Owls in the Imperial Valley. *Southwestern Naturalist*, 51, pp. 406-409.
- CHACE, J. F., J. J. WALSH, A. CRUZ, J. W. PRATHER, AND H. M. SWANSON, 2003. Spatial and temporal activity patterns of the brood parasitic Brown-headed Cowbird at an urban/wildland interface. *Landscape and Urban Planning*, 64, pp. 179-190.
- CHARRY B, J.J., 2009. Traffic volume as a primary road characteristic impacting wildlife: a tool for land use and transportation planning. In: WAGNER PJ, NELSON D, MURRAY E, ed, *Proceedings of the international conference on ecology and transportation*. Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 159-172.
- CHEN X, R.K., 2008. Roadless areas and biodiversity: a case study in Alabama, USA. *Biodiversity and Conservation*, 17, pp. 2013-2022.
- CLARK, W. D., AND KARR, J. R., 1979. Effects of highways on red-winged blackbird and horned lark populations. *Wilson Bull.*, 91, pp. 143-145.
- CLENCH-AAS, J., BARTONOVA, A., KLAEBOE, R., AND KOLBENSTVEDT, M., 2000. Oslo traffic study. Part 2: quantifying effects of traffic measures using individual exposure modeling. *Atmos. Environ.*, 34, pp. 4737-4744.
- CLEVENGER, A. P., AND M. P. HUIJSER, 2009. *Handbook for design and evaluation of wildlife crossing structures in North America*. Washington, D.C., USA: Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- CLEVENGER, A. P., B. CHRUSZCZ, AND K. E. GUNSON, 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109, pp. 15-26.
- CODY, M. L., AND BROWN, J. H., 1969. Song asynchrony in neighbouring bird species. *Nature*, 222, pp. 778-780.
- CRIST MR, WILMER B, APLET GH, 2005. Assessing the value of roadless areas in a conservation reserve strategy: biodiversity and landscape connectivity in the Northern Rockies. *Journal of Applied Ecology*, 42, pp. 181-191.
- CYNX, J., LEWIS, R., TAVEL, B., AND TSE, H., 1998. Amplitude regulation of vocalizations in noise by a songbird, *Taeniopygia guttata*. *Anim. Behav.*, 56, pp. 107-113.
- DABELSTEEN, T., LARSEN, O. N., AND PEDERSEN, S. B., 1993. Habitat-induced degradation of sound signals: quantifying the effects of communication sounds and bird location on blur ratio, excess attenuation, and signal-to-noise ratio in blackbird song. *J. Acoust. Soc. Am.*, 93, pp. 2206-2220.
- DELGADO, J. D., J. R. AR' EVALO AND J. M. FERN' ANDEZ-PALACIOS, 2001. Road and topography effects on invasion: edge effects in rat foraging patterns in two oceanic island forests (Tenerife, Canary Islands). *Ecography*, 24, pp. 539-546.

- DELLASALA DA, F.E., 2001. An ecologically based strategy for fire and fuels management in National Forest Roadless Areas. *Fire Management Today*, 61, pp. 12-23.
- DENT, M. L., LARSEN, O. N., AND DOOLING, R. J., 1997. Free-field binaural unmasking in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *Behav. Neurosci.*, 111, pp. 590-598.
- DESROCHERS, A., AND S. J. HANNON, 1997. Gap crossing decisions by forest songbirds during the post-fledging period. *Conservation Biology*, 11, pp. 1204-1210.
- DEVELEY, P. F., AND P. C. STOUFFER, 2001. Effects of roads on movements by understory birds in mixed-species flocks in central Amazonian Brazil. *Conservation Biology*, 15, pp. 1416-1422.
- DEVELICE RL, M.J., 2001. Assessing the extent to which roadless areas complement the conservation of biological diversity. *Ecological Applications*, 11, pp. 1008-1018.
- DI GIULIO, M., HOLDEREGGER, R. and TOBIAS, S., 2009. Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in densely populated landscapes. *Journal of environmental management*, 90(10), pp. 2959-2968.
- DONAZAR, J. A., F. HIRALDO, AND J. BUSTAMANTE, 1993. Factors influencing nest site selection, breeding density and breeding success in the Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*). *Journal of Applied Ecology*, 30, pp. 504-514.
- DOOLING R. J. AND POPPER A. N., 2007. *The Effects of Highway Noise on Birds*. Sacramento, CA: The California Department of Transportation.
- DOUGLAS, H. D. III, AND CONNER, W. E., 1999. Is there a sound reception window in coastal environments? Evidence from shorebird communication systems. *Naturwissenschaften*, 86, pp. 228-230.
- DUBOIS, A., AND MARTENS, J., 1984. A case of possible vocal convergence between frogs and a bird in Himalayan torrents. *J. Ornithol.*, 125, pp. 455-463.
- ELLENBERG, H., K. MÜLLER, AND T. STOTTELE, 1981. *Straßen-Ökologie: Auswirkungen von Autobahnen und Straßen auf Ökosysteme deutscher Landschaften*. 3 edn. Bonn, Germany: Broschürenreihe der deutschen Straßenliga, pp. 19-122.
- ERICKSON, W. P., G. D. JOHNSON, AND D. P. YOUNG JR., 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. In: C. J. RALPH AND T. D. RICH, ed, *General technical report PSWGTR-191*. Albany, California: U.S. Department of Agriculture Forest Service, pp. 1029-1042.
- ERRITZOE, J., T. D. MAZGAJSKI, AND L. REJT, 2003. Bird casualties on European roads – a review. *Acta Ornithologica*, 38, pp. 77-93.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2011. *Landscape fragmentation in Europe*. 2. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2010. *The European environment — State and outlook 2010: land use*. a. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- EVANS, C.S., 1991. Of ducklings and turing-machines- interactive playbacks enhance subsequent responsiveness to conspecific calls. *Ethology*, 89, pp. 125-134.
- FAHRIG, L., 2002. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: A synthesis. *Ecol. Appl.*, 12, pp. 346-353.
- FAHRIG, L. AND RYTWINSKI T, 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, 14(1),.
- FAY, L., AND A. KOCIOLEK, 2009. Road dust management and future needs 2008 conference proceedings (FHWA-CFL/TD-09-001). 2009, Federal Highway Administration, Lakewood, Colorado.
- FERGUSON C, NELSON EA, SHERMAN GG, 2008. *Turning up the heat. Global warming and the degradation of Canada's boreal forest*. Canada: Greenpeace Canada.
- FERNÁNDEZ-JURICIC E., 1999. Avifaunal use of wooded streets in an urban landscape. *Conservation Biology*, 14, pp. 513-521.
- FERNANDEZ-JURICIC, E., 2001. Avian spatial segregation at edges and interiors of urban parks in Madrid, Spain. *Biodivers. Conserv.*, 10, pp. 1303-1316.
- FERRIS, C.R., 1979. Effects of Interstate 95 on breeding birds in northern Maine. *J. Wildl. Manage.*, 43, pp. 421-427.
- FICKEN, R. W., POPP, J. W., AND MATTIAE, P. E., Avoidance of acoustic interference by ovenbirds. *Wilson Bull.*, 97, pp. 569-571.
- FINDLEY CS, B.J., 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology*, 14, pp. 86-94.
- FOPPEN R, VAN KLEUNEN A, LOOS W.-B, NIENHUIS J, SIERDSEMA H., 2002. *Broedvogels en de invloed van hoofdwegen, een national perspectief*. 2002/08. Delft: SOVON Vogelonderzoek Nederland, Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- FOPPEN, R., AND REIJNEN, R., 1994. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. II. Breeding dispersal of male willow warblers (*Phylloscopus trochilus*) in relation to the proximity of a highway. *J. Appl. Ecol.*, 31, pp. 95-101.
- FORMAN, R.T.T., 1995. *Land mosaics — The ecology of landscapes and regions*. Cambridge/New York: Cambridge University Press.
- FORMAN, R.T.T., 2000. Estimate of area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14, pp. 31-35.
- FORMAN, R. T. T. AND ALEXANDER, L. E, 1998. Roads and their major ecological effects. *Ecology and Systematics*, 29, pp. 207-231.

- FORMAN, R. T. T., AND R. D. DEBLINGER, 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology*, 14, pp. 36-46.
- FORMAN, R. T. T., B. REINEKING, AND A. M. HERSPERGER, 2002. Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental Management*, 29, pp. 782-800.
- FORMAN, R. T. T., D. SPERLING, J. A. BISSONETTE, A. P. CLEVINGER, C. D. CUTSHALL, V. H. DALE, L. FAHRIG, R. FRANCE, C. R. GOLDMAN, K. HEANUE, J. A. JONES, F. J. SWANSON, T. TURRENTINE, AND T. C. WINTER, 2003. *Road Ecology. Science and Solutions*. Washington, D.C., USA: Island Press, Washington, D.C., USA.
- FORTECH, 1997. *Environmental Assessment of Forestry Projects- Cyprus*. UNHCR.
- FRANCIS, C. D., C. P. ORTEGA, AND A. CRUZ, 2009. Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current Biology*, 19, pp. 1415-1419.
- FULLER, R. A., P. H. WARREN, AND K. J. GASTON, 2007. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters*, 3, pp. 368-370.
- FULTON, G. R., M. SMITH, M. N. CHOI, AND S. TAKAHASHI, 2008. Road ecology from a roadside assemblage of forest birds in south-western Australia. *Ornithological Science*, 7, pp. 47-57.
- G. HADJIKYRIAKOU, E.H., 2002. The adventive plants of Cyprus with new records of invasive species. *European Journal of Wildlife Research*, 48(0), pp. 59-71.
- GAVASHELISHVILI, A., AND M. J. MCGRADY, 2006. Breeding site selection by Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*) and Eurasian Griffon (*Gyps fulvus*) in the Caucasus. *Animal Conservation*, 9, pp. 159-170.
- GELBARD JL, H.S., 2003. Roadless habitats as refuge for native grasslands: interactions with soil, aspect, and grazing. *Ecological Applications*, 13, pp. 404-415.
- GLENNON, M. J., AND W. F. PORTER., 2005. Effects of land use management on biotic integrity: An investigation of bird communities. *Biological Conservation*, 126, pp. 499-511.
- GLITZNER, I., BEYERLEIN, P., BRUGGER, C., EGERMANN, F., PAILL, W., SCHLÖGEL, B. AND TATARUCH, F, 1999. *Literaturstudie zu anlage- und betriebsbedingten References 72 Landscape fragmentation in Europe Auswirkungen von Strassen auf die Tierwelt — Endbericht*. Graz: Magistrats der Stadt Wien, Abteilung 22-Umweltschutz, 'G5'-Game- Management.
- GOROG, A. J., B. PAMUNGKAS, AND R. J. LEE, 2005. Nesting ground abandonment by the Maleo (*Macrocephalon maleo*) in North Sulawesi: identifying conservation priorities for Indonesia's endemic megapode. *Biological Conservation*, 126, pp. 548-555.
- GRYZ, J., AND D. KRAUZE, 2008. Mortality of vertebrates on a road crossing the Biebrza Valley (NE Poland). *European Journal of Wildlife Research*, 54, pp. 709-714.
- HABER, W., 1993. *Ökologische Grundlagen des Umweltschutzes*. Economica, Bonn: .

- HABIB, L., E. M. BAYNE, AND S. BOUTIN, 2007. Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of Ovenbirds (*Seiurus aurocapilla*). *Journal of Applied Ecology*, 44, pp. 176-184.
- HANSKI, I., 1999. *Metapopulation ecology*. Oxford University Press.
- HARISON, R.T., 1978. Quantifying the acoustic dose when determining the effects of noise on wildlife. In: JL FLETCHER AND RG BUSNEL, ed, *Effects of Noise on Wildlife*. New York: Academic Press, pp. 267-285.
- HARMON ME, FERRELL WK, FRANKLIN JF, 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science*, 247, pp. 699-702.
- HASKELL DG, 200. Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the Southern Appalachian mountains. *Conservation Biology*, 14, pp. 57-63.
- HELL, P., PLAVY, R., SLAMECKA, J. AND GASPARÍK, J., 2004. Losses of mammals (Mammalia) and birds (Aves) on roads in the Slovak part of the Danube Basin. *Europ. J. Wild. Res.*, 51(1), pp. 35-40.
- HELLDIN J.O., COLLINDER P., BENGTSSON D., KARLBERG A., ASKLING J., 2013. Assessment of traffic noise impact in important bird sites in Sweden-a practical method for the regional scale. *Oecologia Australis*, 17(1), pp. 48-62.
- HELLDIN JO, S.A., 2003. Effects of roads on the abundance of birds in Swedish forest and farmland, *IENE Conference 2003 Proceedings 2003*, Infra Eco Network Europe, Brussels, Belgium.
- HERNANDEZ, M., 1988. Road mortality of the Little Owl (*Athene noctua*) in Spain. *Journal of Raptor Research*, 22, pp. 81-84.
- HOLDSWORTH AR, FRELICH LE, REICH PB, 2007. Regional extent of an ecosystem engineer: earthworm invasion in northern hardwood forests. *Ecological Applications*, 17, pp. 1666-1677.
- HOLLAND, J., DABELSTEEN, T., AND PEDERSEN, S. B., 1998. Degradation of wren troglodytes troglodytes song: Implications for information transfer and ranging. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103, pp. 2154-2166.
- HU, Y., AND G. C. CARDOSO, 2009. Are bird species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas? *Behavioral Ecology*, 20, pp. 1268-1273.
- HUIJSER, M. P., AND A. P. CLEVINGER, 2006. Habitat and corridor function of rights-of-way. In: J. DAVENPORT AND J. L. DAVENPORT, ed, *The ecology of transportation: managing mobility for the environment*. London: Springer, pp. 233-254.
- HUIJSER, M. P., P. MCGOWEN, J. FULLER, A. HARDY, A. KOCIOLEK, A. P. CLEVINGER, D. SMITH, AND R. AMENT, 2007. *Wildlife-vehicle collision reduction study. Report to Congress*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- HULTSCH, H., AND TODT, D., 1996. Rules of parameter variation in homotype series of birdsong can indicate a 'sollwert' significance. *Behav. Process.*, 38, pp. 175-182.

- IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES), 2001. *IUCN red list categories*. Gland, Switzerland: .
- IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE), 2008. *The IUCN Red List of threatened species*. Cambridge, United Kingdom: IUCN.
- IUELL, B., G. J. BEKKER, R. CUPERUS, J. DUFEK, G. FRY, C. HICKS, V. HLAVÁČ, V. KELLER, B. ROSELL, T. SANGWINE, N. TØRSLØV, AND B. L. M. WANDALL., 2003. *COST 341 - Wildlife and traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. Brussels, Belgium: KNNV Publishers.
- JACKSON, H.D., 2003. Another reason for nightjars being attracted to roads at night. *Ostrich*, 74, pp. 228-230.
- JACKSON, H.D., 2002. A review of Afrotropical nightjar mortality, mainly road kills. *Ostrich*, 73, pp. 147-161.
- JACOBSON, S.L., 2005. Mitigation measures for highway-caused impacts to birds. In: C. J. RALPH AND T. D. RICH, ed, *General technical report PSWGTR-191*. Albany, California: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, pp. 1043-1050.
- JAEGER JAG, FAHRIG L, EWALD KC, 2006. Does the configuration of road networks influence the degree to which roads affect wildlife populations? In: IRWIN CL, GARRETT P, MCDERMOTT KP, ed, *Proceedings of the international conference on ecology and transportation*. Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 151-163.
- JAEGER, J., GRAU, S. AND HABER, W, 2005a. Einführung: Landschaftszerschneidung und die Folgen. *GAIA*, 14(2), pp. 98-100.
- JAEGER, J.A.G., BOWMAN, J., BRENNAN, J., FAHRIG, L., BERT, D., BOUCHARD, J., CHARBONNEAU, N., FRANK, K., GRUBER, B. and VON TOSCHANOWITZ, K.T., 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185(2-4), pp. 329-348.
- JARRAUD, N., 2005. *Environmental Strategy for BDP-II*. Internal UNDP Report.
- KALISZ P. J., AND J. E. POWELL, 2003. Effect of calcareous road dust on land snails (Gastropoda: Pulmonata) and millipedes (Diplopoda) in acid forest soils of the Daniel Boone National Forest of Kentucky, USA. *Forest Ecology and Management*, 189, pp. 177-183.
- KASELOO, P.A., 2005. Synthesis of noise effects on wildlife populations. In: C. L. IRWIN, P. GARRETT, AND K. P. MCDERMOTT, ed, *Proceedings of the 2005 international conference on ecology and transportation*. . Raleigh: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 33-35.

- KERLINGER, P., AND M. R. LEIN, 1988. Causes of mortality fat condition and weights of wintering Snowy Owls. *Journal of Field Ornithology*, 59, pp. 7-12.
- KIENAST, F., BOLLIGER, J., POTSCHIN, M., DE GROOT, R.S., VERBURG, P. H., HELLER, I., WASCHER, D. AND HAINES- YOUNG, R., 2009. Assessing landscape functions with broad-scale environmental data: insights gained from a prototype development for Europe. *Environmental Management*, 44, pp. 1099-1120.
- KRIEGER DJ, 2001. *Economic value of forest ecosystem services: a review*. Washington, DC: The Wilderness Society.
- KUITUNEN, M., ROSSI, E., AND STENROOS, A., 1998. Do highways influence density of land birds? *Environ. Manage.*, 22, pp. 297-302.
- LAAR VAN DE, ING. F. J. T., 2007. *Green light to birds: investigation into the effect of bird-friendly lighting*. The Netherlands: Shell, Assen.
- LAMBERTUCCI, S. A., K. L. SPEZIALE, T. E. ROGERS, AND J. M. MORALES., 2009. How do roads affect the habitat use of an assemblage of scavenging raptors? *Biodiversity Conservation*, 18, pp. 2063-2074.
- LARIVIERE, S., 2003. Edge effects, predator movements, and the travel-lane paradox. *Wildlife Society Bulletin*, 31, pp. 315-320.
- LAURANCE WF, W.G., 2001. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought and climate change in the Amazon. *Conservation Biology*, 15, pp. 1529-1535.
- LEE, C. S. Y., AND FLEMING, G. G., 1996. *Measurement of Highway-Related Noise*. Federal Highway Administration, FHWA-PD-96-046, U. S. Department of Transportation, DOTVNTSC-FHWA-96-5.
- LENGAGNE, T., 2008. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran (*Hyla arborea*). *Biological Conservation*, 141, pp. 2023-2031.
- LENGAGNE, T., AUBIN, T., LAUGA, J., AND JOUVENTIN, P., 1999. How do king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) apply the mathematical theory of information to communicate in windy conditions? *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.*, 266, pp. 1623-1628.
- LEONARD, M. L., AND A. G. HORN, 2005. Ambient noise and the design of begging signals. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 272, pp. 651-656.
- LLACUNA, S., GORRIZ, A., RIERA M., AND NADAL J., 1996. Effects of air pollution on hematological parameters in passerine birds. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 31, pp. 148-152.
- LOHR, B., T. F. WRIGHT, AND R. J. DOOLING, 2003. Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of a signal. *Animal Behaviour*, 65, pp. 763-777.

- LOOMIS J, R.R., 2000. *Economic values of protecting roadless areas in the United States*. Washington, DC: The Wilderness Society.
- LOOS, G., AND P. KERLINGER, 1993. Road mortality of Saw-whet and Screech Owls on the Cape May peninsula. *Journal of Raptor Research*, 27, pp. 210-213.
- LOUCKS C, BROWN N, LOUCKS A, CESAREO K, 2003. USDA Forest Service Roadless Areas: potential biodiversity conservation reserves. *Conservation Ecology*, 7:art 5.
- LOVEJOY TE, 2006. Protected areas: a prism for a changing world. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, pp. 329-333.
- LUYSSAERT S, SCHULZE ED, BO'RNER A, KNOHL A, HESSENMO'LLER D, LAW BE, CIAIS P, GRACE J, 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, pp. 213-215.
- MAMMIDES C, KADIS C, COULSON T, 2014. The effects of road networks and habitat heterogeneity on the species richness of birds in Natura 2000 sites in Cyprus. *Landscape Ecol*, .
- MANABE, K., 1997. Vocal plasticity in budgerigars: various modifications of vocalization by operant condition. *Biomed. Res.*, 18, pp. 125-132.
- MANABE, K., SADR, E. I., AND DOOLING, R. J., 1998. Control of vocal intensity in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): differential reinforcement of vocal intensity and the Lombard effect. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103, pp. 1190-1198.
- MARKHAM A, 1996. Potential impacts of climate change on ecosystems: a review of implications for policy-makers and conservation biologists. *Climate Research*, 6, pp. 179-191.
- MARZLUFF, J. M., BOWMAN, R. AND DONNELLY, R. (EDS), 2001. *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Norwell, MA.: Kluwer Academic, .
- MATHEVON, M., AUBIN, T., AND DABELSTEEN, T., 1996. Song degradation during propagation: importance of song post for the wren Troglodytes troglodytes. *Ethology*, 102, pp. 397-412.
- MCGARIGAL K, ROMME WH, CRIST M, ROWORTH E, 2001. Cumulative effects of roads and logging on landscape structure in the San Juan Mountains, Colorado (USA). *Landscape Ecology*, 16, pp. 327-349.
- MEUNIER, F. D., C. VERHEYDEN, AND P. JOUVENTIN, 1999. Bird communities of highway verges: influence of adjacent habitat and roadside management. *Acta Oecologica*, 20, pp. 1-13.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute.
- MILLER, M.W., 2006. Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. *Condor*, 108, pp. 130-139.

- MILSOM TP, LANGTON SD, PARKIN WK, PEEL S, BISHOP JD, HART JD, MOORE NP., 2000. Habitat models of bird species distribution: an aid to the management of coastal grazing marshes. *Journal of Applied Ecology*, 37, pp. 706-727.
- MINEAU, P., AND L. J. BROWNLEE, 2005. Road salts and birds: an assessment of the risk with particular emphasis on winter finch mortality. *Wildlife Society Bulletin*, 33, pp. 835-841.
- MOCKFORD, E. J., AND R. C. MARSHALL, 2009. Effects of urban noise on song and response behaviour in Great Tits. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 276, pp. 2979-2985.
- MOLENAAR DE, J. G., M. E. SANDERS, AND D. A. JONKERS, 2006. Roadway lighting and grassland birds: local influence of road lighting on a Black-tailed Godwit population. In: C. RICH AND T. LONGCORE, ed, *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, D.C: Island Press, pp. 114-136.
- MORTON, E.S., 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *Am. Nat.*, 109, pp. 17-34.
- MUMME, R. L., S. J. SCHOECH, G. E. WOOLFENDEN, AND J. W. FITZPATRICK, 2000. Life and death in the fast lane: demographic consequences of road mortality in the Florida Scrub-Jay. *Conservation Biology*, 14, pp. 501-512.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL L. GUNDERSON, A. CLEVINGER, A. COOPER, V. DALE, L. EVANS, G. EVINK, L. FAHRIG, K. HAYNES, W. KOBER, S. LESTER, K. REDFORD, M. STRAND, P. WAGNER, AND J. YOWELL, COMMITTEE MEMBERS, 2005. *Assessing and managing the ecological impacts of paved roads*. Washington, D.C., USA: National Academies Press.
- NOSS RF, 2001. Beyond Kyoto: Forest management in a time of climate change. *Conservation Biology*, 15, pp. 578-590.
- NOSS RF, 1991. Sustainability and wilderness. *Conservation Biology*, 5, pp. 120-122.
- NOSS, R.F., 1993. Wildlife corridors. In: D. S. SMITH AND P. C. HELLMUND, ed, *Ecology of Greenways*. Minneapolis, Minnesota, USA: University of Minneapolis Press, pp. 43-68.
- OGDEN, J.L.E., 1996. *Collision course: the hazards of lighted structures and windows to migration birds*. Ontario: World Wildlife Fund (WWF) Canada and the Fatal Light Awareness Program.
- OPDAM P, W.D., 2004. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117, pp. 285-297.
- ORLOWSKI, G., 2005. Factors affecting road mortality of the Barn Swallows (*Hirundo rustica*) in farmland. *Acta Ornithologica*, 40, pp. 117-125.
- ORLOWSKI, G., AND J. SIEMBIEDA, 2005. Skeletal injuries of passerines caused by road traffic. *Acta Ornithologica*, 40, pp. 15-19.

- OSMANSKI, M. S., AND DOOLING, R. J., 2006. *Auditory feedback of vocal production in budgerigars using earphones*. Paper presented at the June meeting of the Acoustical Society of America edn. Providence, RI: .
- PARMESAN C, 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, pp. 637-669.
- PATRICELLI, G. L., AND J. L. BLICKLEY, 2006. Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *Auk*, 123, pp. 639-649.
- PERIS, S. J., AND PESCADOR, M., 2004. Effects of traffic noise on passerine populations in the Mediterranean wood pastures. *Appl. Acoust.*, 65, pp. 357-366.
- PMR PUBLICATIONS, 2010-last update, Road construction market in Central Europe 2010 — Development forecasts and planned investments (a series of six reports for Bulgaria, Czech Republic, Hungary, Poland, Romania, Slovakia). Available: (<http://www.pmrpublications.com/>).
- POHL N. U., H. SLABBEKOORN, G. H. KLUMP, AND U. LANGEMANN, 2009. Effects of signal features and environmental noise on signal detection in the great tit, *Parus major*. *Animal Behaviour*, 78, pp. 1293-1300.
- PONS, P., 2000. Height of the road embankment affects probability of traffic collision by birds. *Bird Study*, 47, pp. 122-125.
- POPP, J. W., AND FICKEN, R. W., 1987. Effects of non-specific singing on the song of the ovenbird. *Bird Behav.*, 7, pp. 22-26.
- POPP, J. W., FICKEN, R. W., AND REINARTZ, J. A., 1985. Short-term temporal avoidance of interspecific acoustic interference among forest birds. *Auk*, 102, pp. 744-748.
- POTASH, L.M., 1972. Noise-induced changes in calls of the Japanese quail. *Psychon. Sci.*, 26, pp. 252-254.
- PRUETT, C. L., M. A. PATTEN, AND D. H. WOLFE, 2009. Avoidance behavior by Prairie Grouse: implications for development of wind energy. *Conservation Biology*, 23, pp. 1253-1259.
- RAMP, D., V. K. WILSON, AND D. B. CROFT, 2006. Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, 129, pp. 348-359.
- REIJNEN R., AND R. FOPPEN, 2006. Impact of road traffic on breeding bird populations. In: J. DAVENPORT AND J. L. DAVENPORT, ed, *The ecology of transportation: managing mobility for the environment*. London: Springer, pp. 255-274.
- REIJNEN R., FOPPEN R., MEEUWSEN H., 1996. The effects of traffic on the density of breeding birds in dutch agricultural grasslands. *Biological Conservation*, 75, pp. 255-260.

- REIJNEN, R., AND FOPPEN, R., 1995. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. IV. Influence of population size on the reduction of density close to the highway. *J. Appl. Ecol.*, 32, pp. 481-491.
- REIJNEN, R., AND R. FOPPEN, 1994. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland: 1. Evidence of reduced habitat quality for willow warblers (*Phylloscopus trochilus*) breeding close to a highway. *Journal of Applied Ecology*, 31, pp. 85-94.
- REIJNEN, R., R. FOPPEN, C. TERBRAAK, AND J. THISSEN, 1995. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland: 3. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied Ecology*, 32, pp. 187-202.
- RHEINDT, F.E., 2003. The impact of roads on birds: does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *Journal fuer Ornithologie*, 144, pp. 295-306.
- RICH, C., AND T. LONGCORE, 2006. *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, D.C.: Island Press.
- RITTERS, K. H., AND J. D. WICKHAM, 2003. How far to the nearest road? *Frontiers in Ecology and Environment*, 1, pp. 125-129.
- ROEDENBECK, I. A., L. FAHRIG, C. S. FINDLAY, J. E. HOULAHAN, J. A. G. JAEGER, N. KLAR, S. KRAMER- SCHADT, AND E. A. VAN DER GRIFT., 2007. The Rauschholzhausen agenda for road ecology. *Ecology and Society*, 12(1),.
- RYAN, M. J., AND BRENOWITZ, E. A., 1985. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. *Am. Nat.*, 126, pp. 87-100.
- SAUNDERS D. A., HOBBS, R. J. AND MARGULES, C. R., 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation biology*, 5(1), pp. 18-32.
- SLABBEKOORN, H., 2004. Habitat-dependent ambient noise: consistent spectral profiles in two African forest types. *J. Acoust. Soc. Am.*, 116, pp. 3727-3733.
- SLABBEKOORN, H., AND E. A. P. RIPMEESTER, 2008. Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, 17, pp. 72-83.
- SLABBEKOORN, H., AND M. PEET, 2003. Ecology: birds sing at a higher pitch in urban noise – Great Tits hit the high notes to ensure that their mating calls are heard above the city’s din. *Nature*, 424, pp. 267-267.
- SLABBEKOORN, H., AND SMITH, T. B., 2002. Habitat-dependent song divergence in the little greenbul: an analysis of environmental selection pressures on acoustic signals. *Evolution*, 56, pp. 1849-1858.
- ST. CLAIR, C.C., 2003. Comparative permeability of roads, rivers, and meadows to songbirds in Banff National Park. *Conservation Biology*, 17, pp. 1151-1160.

STEPHENS, S. E., D. N. KOONS, J. J. ROTELLA, AND D.W. WILLEY, 2003. Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: a review of the evidence at multiple spatial scales. *Biological Conservation*, 115, pp. 101-110.

STONE, E., 2000. Separating the noise from the noise: a finding in support of the Niche Hypothesis, that birds are influenced by human-induced noise in natural habitats. *Anthrozoos.*, 13, pp. 225-231.

STONER, D., 1925. The toll of the automobile. *Science*, 61, pp. 56-57.

STRITTHOLT JR, D.D., 2001. Importance of roadless areas in biodiversity conservation in forested ecosystems: case study of the Klamath-Siskiyou ecoregion of the United States. *Conservation Biology*, 15, pp. 1742-1754.

TAYLOR, B. D., AND R. L. GOLDINGAY, 2004. Wildlife road-kills on three major roads in north-eastern New South Wales. *Wildlife Research*, 31, pp. 83-91.

THEOBALD DM, 2008. Network and accessibility methods to estimate the human use of ecosystems. In: BERNARD L, FRIIS-CHRISTENSEN A, PUNDT H, COMPTE I, ed, *Proceedings of the 11th AGILE international conference on geographic information science*. Spain: University of Girona, .

TILMAN, D., MAY, R. M., LEHMAN, C. L. AND NOWAK, M. A., 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371, pp. 65-66.

TRANSPORTATION NOISE CONTROL CENTER (TNCC), CALTRANS ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 1997. *Environmental Effects of Transportation Noise. A Case Study: Noise Criteria for the Protection of Endangered Passerine Birds*. 97001. TNCC Technical Report.

TREMBLAY, M. AND C. C. ST. CLAIR, 2009. Factors affecting the permeability of transportation and riparian corridors to the movements of songbirds in an urban landscape. *Journal of Applied Ecology*, 46, pp. 1314-1322.

TROCMÉ, M., S. CAHILL, J. G. DE VRIES, H. FARRALL, L. FOLKESON, G. FRY, C. HICKS, AND J. PEYMEN, 2003. *COST 341 - Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: the European review*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

TROMBULAK, S. C., AND C. A. FRISSELL, 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14, pp. 18-30.

TSINTIDES, T., ET. AL., 2002. *Trees and Shrubs in Cyprus*. Lefkosia: Anastasios G. Leventis - Cyprus Forest Association.

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT, 2006. *FAA 119 BIODIVERSITY ANALYSIS*.

USDA FOREST SERVICE, 2001. Roadless areas conservation final rule. *Federal Register*, 66, pp. 3244-3275.

- USDA FOREST SERVICE, 2000. *Final environmental impact statement of the roadless conservation rule*. Washington, DC: USDA Forest Service.
- VAN DER GRIFT, E. A., 2005. Defragmentation in the Netherlands: A success story? *GAIA*, 14(2), pp. 144-147.
- VAN DER REE, R., E. A. VAN DER GRIFT, C. MATA, AND F. SUAREZ, 2007. Overcoming the barrier effect of roads - how effective are mitigation strategies? An international review of the effectiveness of underpasses and overpasses designed to increase the permeability of roads for wildlife. In: C. L. IRWIN, D. NELSON, AND K. P. MCDERMOTT, ed, *International Conference on Ecology and Transportation*. Raleigh, North Carolina, Little Rock, Arkansas, USA.: Center for Transportation and The Environment, North Carolina State University, pp. 423-431.
- VAN DER ZANDE, A. N., TER KEURS, W. J., AND VAN DER WEIJDEN, W. J., 1980. The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat: evidence of a long distance effect. *Biol. Conserv.*, 18, pp. 299-312.
- VARGA C., A. MONOKI, AND B. BARSONY, 2006. Bird-protection walls: an innovative way to prevent bird strikes? In: C. L. IRWIN, P. GARRETT, AND K. P. MCDERMOTT, ed, *Proceedings of the 2005 international conference on ecology and transportation*. Raleigh, North Carolina: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 565-568.
- VON DER LIPPE M, KOWARIK I, 2007. Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions. *Conservation Biology*, 21, pp. 986-996.
- VOTSI N.-E.P., DRAKOU E.G., MAZARIS A.D., KALLIMANIS A.S., PANTIS J.D., 2012. Distance-based assessment of open country Quiet Areas in Greece. *Landscape and Urban Planning*, 104, pp. 279-288.
- WALKER, D. A., AND K. R. EVERETT, 1987. Road dust and its environmental impact on Alaskan taiga and tundra. *Arctic and Alpine Research*, 19, pp. 479-489.
- WARREN, P. S., KATTI, M. K., ERMANN, M., AND BRAZEL, A., 2006. Urban bioacoustics: it's not just noise. *Anim. Behav.*, 71, pp. 491-502.
- WASSERMAN, F.E., 1977. Intraspecific acoustical interference in the white-throated sparrow *Zonotrichia albicollis*. *Anim. Behav.*, 25, pp. 949-952.
- WATERSTRATEGYMAN PROJECT, 2003. Greece: University of Athens.
- WATKINS RZ, CHEN J, PICKENS J, BROSOFSKE KD, 2003. Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape. *Conservation Biology*, 17, pp. 411-419.
- WHITFORD, P.C., 1985. Bird behavior in response to the warmth of blacktop roads. *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences Arts and Letters*, 73, pp. 135-143.

WILEY, R. H., AND RICHARDS, D. G., 1982. Adaptations for acoustic communications in birds: sound transmission and signal detection. In: D. E. KROODSMA AND E. H. MILLER, ed, *Acoustic Communication in Birds, Vol. I*. New York: Academic Press, pp. 131-181.

ZOMENI M, VOGIATZAKIS I.N., 2014. Roads and roadless areas in Cyprus: implications for the Natura 2000 network. *Journal of Landscape Ecology*, 7(1),.

Παράρτημα

Πίνακας Α. Πίνακας ειδών φωλεαζόντων πτηνών της Κύπρου που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής, με τους αντίστοιχους κωδικούς Natura και Euring.

Όνομα είδους	Κωδικός Natura	Κωδικός Euring
<i>Anas querquedula</i>	A055	1910
<i>Anas clypeata</i>	A056	1940
<i>Marmaronetta angustirostris</i>	A057-B	1950
<i>Netta rufina</i>	A058-B	1960
<i>Aythya nyroca</i>	A060-B	2020
<i>Gyps fulvus</i>	A078	2510
<i>Aegypius monachus</i>	A079	2550
<i>Falco tinnunculus</i>	A096	3040
<i>Falco subbuteo</i>	A099	3100
<i>Falco eleonora</i>	A100	3110
<i>Coturnix coturnix</i>	A113	3700
<i>Himantopus himantopus</i>	A131	4550
<i>Burhinus oedicephalus</i>	A133	4590
<i>Larus audouinii</i>	A181	5880
<i>Sterna hirundo</i>	A193	6150
<i>Columba livia</i>	A206	6650
<i>Streptopelia decaocto</i>	A209	6840
<i>Streptopelia turtur</i>	A210	6870
<i>Clamator glandarius</i>	A211	7160
<i>Cuculus canorus</i>	A212	7240
<i>Tyto alba</i>	A213	7350
<i>Otus scops</i>	A214	7390
<i>Athene noctua</i>	A218	7570
<i>Asio otus</i>	A221	7670
<i>Caprimulgus europaeus</i>	A224	7780
<i>Apus apus</i>	A226	7950
<i>Apus pallidus</i>	A227	7960
<i>Tachymarptis melba</i>	A228	7980
<i>Merops apiaster</i>	A230	8400
<i>Coracias garrulus</i>	A231	8410
<i>Upupa epops</i>	A232	8460
<i>Melanocorypha calandra</i>	A242	9610
<i>Calandrella brachydactyla</i>	A243	9680
<i>Galerida cristata</i>	A244	9720
<i>Lullula arborea</i>	A246	9740
<i>Hirundo rustica</i>	A251	9920

<i>Hirundo daurica</i>	A252	9950
<i>Motacilla flava</i>	A260	10170
<i>Cinclus cinclus</i>	A264	10500
<i>Luscinia megarhynchos</i>	A271	11040
<i>Monticola solitarius</i>	A281	11660
<i>Turdus merula</i>	A283	11870
<i>Cettia cetti</i>	A288	12200
<i>Cisticola juncidis</i>	A289	12260
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	A297	12510
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	A298	12530
<i>Sylvia conspicillata</i>	A303	12640
<i>Sylvia melanocephala</i>	A305	12670
<i>Muscicapa striata</i>	A319	13350
<i>Parus major</i>	A330	14640
<i>Oriolus oriolus</i>	A337	15080
<i>Lanius senator</i>	A341	15230
<i>Garrulus glandarius</i>	A342	15390
<i>Pica pica</i>	A343	15490
<i>Corvus monedula</i>	A347	15600
<i>Corvus corax</i>	A350	15720
<i>Serinus serinus</i>	A361	16400
<i>Carduelis carduelis</i>	A364	16530
<i>Carduelis cannabina</i>	A366	16600
<i>Loxia curvirostra</i>	A369	16660
<i>Emberiza melanocephala</i>	A382	18810
<i>Phalacrocorax aristotelis desmarestii</i>	A392	802
<i>Buteo rufinus</i>	A403	2880
<i>Aquila heliaca</i>	A404	2950
<i>Alectoris chukar</i>	A411	3550
<i>Pterocles orientalis</i>	A420	6610
<i>Lanius nubicus</i>	A433	15240
<i>Emberiza caesia</i>	A447	18680
<i>Oenanthe cypriaca</i>	A467	11470
<i>Sylvia melanothorax</i>	A468	12680
<i>Certhia brachydactyla dorotheae</i>	A469	14870
<i>Parus ater cypriotes</i>	A470	14610
<i>Larus michahellis</i>	A604	5926
<i>Nycticorax nycticorax nycticorax</i>	A610-A	1040
<i>Ixobrychus minutus minutus</i>	A617-B	980
<i>Accipiter gentilis gentilis</i>	A619	2670
<i>Passer domesticus</i>	A620	15911

<i>Glareola pratincola pratincola</i>	A625-B	4650
<i>Sterna albifrons albifrons</i>	A631-B	6240
<i>Ardeola ralloides ralloides</i>	A635	1080
<i>Fringilla coelebs all others</i>	A657	16360
<i>Troglodytes troglodytes all others</i>	A676	10660
<i>Charadrius alexandrinus alexandrinus</i>	A682-B	4770
<i>Columba palumbus palumbus</i>	A687	6700
<i>Tachybaptus ruficollis ruficollis</i>	A690	70
<i>Bubulcus ibis ibis</i>	A696	1110
<i>Egretta garzetta garzetta</i>	A697	1190
<i>Anas platyrhynchos platyrhynchos</i>	A705	1860
<i>Aquila fasciatus</i>	A707	2990
<i>Falco peregrinus brookei</i>	A709	3202
<i>Francolinus francolinus francolinus</i>	A716	3640
<i>Gallinula chloropus chloropus</i>	A721	4240
<i>Fulica atra atra</i>	A723	4290
<i>Charadrius dubius curonicus</i>	A726	4690
<i>Vanellus spinosus</i>	A728	4870
<i>Hirundo rupestris</i>	A737	9910
<i>Delichon urbicum</i>	A738	10010
<i>Hippolais pallida</i>	A740	12550
<i>Corvus corone cornix</i>	A742	15673
<i>Carduelis chloris</i>	A745	16490
<i>Miliaria calandra</i>	A746	18820
<i>Passer hispaniolensis all others</i>	A771	15920

Πίνακας Β. Αποτελέσματα παραμέτρων που υπολογίστηκαν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής

Αριθμός τετραγώνου	Αρ.Ειδών (κατανομή)	Αρ. Ειδών (εύρος)	Μήκος οδ. Δικτύου(km)	Έκταση (km ²)	Έκταση χωρίς δρόμους	Μήκος δρόμων με θόρυβο(km)	Μήκος αυτοκινητοδρόμων (km)	Μήκος λοιπών δρόμων(km)	Εκτίμηση θορύβου(dB)	Landscape Division	Splitting Index	Effective Mesh Size	Συνδυαστική Επίπτωση
0	18	18	24,12	8,194	0,471	0,93	0	24,12	67,1	33,39	1,5	6,03	Moderate
1	32	37	40,077	26,857	2,642	28,1	12,363	27,714	66,71	41,84	1,72	16,09	High
2	29	42	68,347	37	6,673	34,88	23,061	45,286	67,57	56,61	2,3	16,46	High
3	28	41	29,028	24,357	1,478	8,73	1,793	27,235	65,44	37,73	1,61	15,8	Moderate
4	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
5	45	45	29,837	31,155	8,886	0	0	29,837	0	55,67	2,26	14,16	Low
6	2	2	13,316	7,403	0,022	0	0	13,316	0	55,95	2,27	3,47	Low
7	0	13	16,352	6,927	0	4,98	0	16,352	71,11	70,4	3,38	1,96	-
8	40	48	486,147	91,536	2,455	51,74	9,525	476,622	69,48	89,85	9,85	9,31	Very High
9	40	52	103,263	100	11,812	33,77	12,104	91,159	67,9	80,72	5,19	19,27	Very High
10	39	50	40,383	100	34,163	18,36	0	40,383	62,6	66,06	2,95	33,92	Moderate
11	44	54	89,178	99,617	26,6	31,75	20,215	68,963	67,92	81,77	5,49	18,16	Very High
12	50	53	106,395	80,556	10,271	47,21	25,56	80,835	71,26	85,6	6,95	11,65	Very High
13	47	55	408,046	96,392	16,308	47,82	19,461	388,585	72,56	0	0	0	-
14	21	35	96,713	4,79	0,003	0,89	0	96,713	70,5	0	0	0	-
15	0	0	0	3,132	3,132	0	0	0	0	0	1	3,13	-
16	46	53	82,862	87,247	26,172	19,04	0	82,862	66,21	51,34	2,05	42,29	Moderate
17	42	55	85,294	100	17,22	22,13	0	85,294	66,65	80,05	5,01	19,94	Very High
18	51	55	70,63	100	26,304	0	0	70,63	0	78,6	4,67	21,38	Moderate
19	42	54	51,899	100	37,231	2,14	0	51,899	62,75	66,38	2,97	33,59	Moderate
20	44	53	96,42	100	12,792	14,49	0	96,42	64,13	85,48	6,89	14,51	High
21	46	57	94,644	100	7,679	16,05	0	94,644	70,07	83,14	5,93	16,85	Very High
22	38	55	231,012	100	7,224	26,74	4,897	226,115	73,51	0	0	0	-
23	37	48	362,59	77,467	4,653	34,2	22,209	340,381	75,45	0	0	0	-
24	27	34	67,559	34,743	2,901	42,1	23,497	44,062	71,3	67,96	3,12	11,16	Very High
25	0	19	0,433	0,944	0,122	0,29	0	0,433	66,6	6,6	1,07	0,66	-

26	39	42	0	43,488	42,335	0	0	0	0	0	1	43,2	-
27	44	54	66,778	99,541	32,057	23,76	0	66,778	65,91	52,72	2,12	46,98	Moderate
28	46	59	66,258	100	30,566	8,79	0	66,258	68,7	54,44	2,2	45,52	High
29	49	59	49,261	100	52,072	0	0	49,261	0	33,69	1,51	66,26	Very Low
30	47	57	3,364	100	90,207	0	0	3,364	0	0	1	99,92	Very Low
31	46	60	110,563	100	19,018	11,86	0	110,563	62,8	79,51	4,88	20,47	High
32	43	61	112,686	100	15,2	33,42	0	112,686	67,5	85,14	6,73	14,85	Very High
33	42	62	58,679	100	31,071	10,39	0	58,679	63,97	72,28	3,61	27,69	High
34	41	56	59,688	100	30,679	9,88	0	59,688	62,53	65,5	2,9	34,47	Moderate
35	39	46	42,538	100	36,607	6,91	0,133	42,405	68,66	65,68	2,91	34,29	High
36	32	38	112,757	80,638	12,949	50,12	22,769	89,988	67,87	86,69	7,51	10,66	Very High
37	25	30	9,533	10,016	1,542	6,06	0	9,533	64,8	41,05	1,7	5,53	Moderate
38	42	42	0,943	16,237	15,171	0,94	0	0,943	66,5	0	1	16,64	Moderate
39	33	44	16,18	11,944	0,663	7,86	0	16,18	65,92	48,71	1,95	6,46	Moderate
40	33	50	32,86	94,842	57,748	5,25	0	32,86	62,7	4,85	1,05	90,8	Low
41	32	50	23,429	100	62,22	0	0	23,429	0	42,1	1,73	57,85	Low
42	30	52	43,929	100	50,545	0	0	43,929	0	65,81	2,93	34,16	Low
43	44	58	101,132	100	23,388	27,14	0	101,132	62,7	83,3	5,99	16,69	High
44	44	61	111,65	100	11,28	26,42	0	111,65	64,62	88,35	8,58	11,65	High
45	48	61	130,816	100	16,119	2,82	0	130,816	67,4	88,99	9,09	11	Very High
46	48	61	57,509	100	33,257	6,73	0	57,509	67,2	66,58	2,99	33,4	High
47	46	59	45,509	100	39,471	1,82	0	45,509	62,5	52,42	2,1	47,54	Moderate
48	48	50	96,706	100	35,104	52,02	31,514	65,192	69,5	75,33	4,05	24,66	Very High
49	36	40	89,923	89,116	10,866	34,77	9,886	80,037	67,23	90,15	10,15	8,69	Very High
50	27	30	11,891	12,73	1,019	3,82	0	11,891	66,9	45,11	1,82	6,86	High
51	40	44	22,913	65,956	40,631	12,08	0	22,913	62,7	22,14	1,28	52,15	Low
52	33	48	33,322	100	54,03	0	0	33,322	0	42,3	1,73	57,66	Low
53	40	49	63,062	100	36,498	0	0	63,062	0	62,87	2,69	37,1	Low
54	41	51	95,332	100	21,329	23,41	0	95,332	66	85,67	6,98	14,31	High

55	41	57	34,365	100	44,255	3,42	0	34,365	68,7	44,62	1,81	55,33	High
56	45	56	57,48	100	21,788	8,93	0	57,48	62,47	75,05	4,01	24,93	High
57	45	59	77,235	100	14,502	22,05	0	77,235	67,24	81,86	5,51	18,12	Very High
58	48	60	55,164	100	36,988	12,2	0	55,164	62,8	73,04	3,71	26,94	High
59	40	51	96,827	100	19,477	48,89	20,528	76,299	69,3	83,2	5,95	16,79	Very High
60	49	55	89,834	100	23,81	32,98	19,517	70,317	68,82	55,4	2,24	44,56	High
61	48	50	223,971	72,667	1,874	49,95	24,886	199,085	70,84	0	0	0	-
62	7	7	3,804	2,149	0	0	0	3,804	0	39,23	1,65	1,41	-
63	32	32	36,716	33,301	2,883	0	0	36,716	0	70	3,33	9,88	Moderate
64	0	32	27,025	30,477	5,344	0	0	27,025	0	53,19	2,14	14,29	Low
65	0	36	54,044	78,116	17,047	0	0	54,044	0	64,94	2,85	27,22	Low
66	32	43	51,517	100	36,378	15,38	0	51,517	67,54	75,91	4,15	24,07	Very High
67	42	47	71,726	100	30,275	16,13	0	71,726	67,43	74,97	4	25	Very High
68	38	49	109,316	100	19,042	42,95	0	109,316	67,12	87,5	8	12,49	Very High
69	30	51	83,363	100	17,583	38,91	2,567	80,796	69,19	76,51	4,26	23,47	Very High
70	40	52	195,138	100	2,851	72,11	39,089	156,049	71,33	94,05	16,8	5,95	Very High
71	47	54	76,951	100	39,574	35,82	28,176	48,775	71,54	68,39	3,16	31,58	Very High
72	48	51	361,229	75,595	3,476	57,01	40,071	321,158	72,3	0	0	0	-
73	0	39	2,334	1,362	0	0,21	0	2,334	66,1	48,67	1,95	0,69	Moderate
74	0	25	0	0,286	0	0	0	0	0	0	1	0,33	-
75	1	2	19,084	49,176	27,332	0	0	19,084	0	3,16	1,03	47,56	-
76	2	4	81,212	100	23,339	0	0	81,212	0	73,94	3,84	26,04	-
77	29	37	68,356	100	23,435	5,67	6,758	61,958	70,39	77,4	4,43	22,58	Very High
78	30	43	144,17	100	8,802	29,23	20,922	123,248	68,35	90,52	10,55	9,47	Very High
79	29	47	1164,89	100	0	67,57	33,451	1131,44	73,96	0	0	0	-
80	34	42	104,486	100	18,372	11,28	0	104,486	69,13	76,24	4,21	23,74	Very High
81	1	37	50,043	100	49,977	5,06	0	50,043	65,2	74,16	3,87	25,82	High
82	3	43	53,413	100	43,841	8,12	5,124	48,289	69,23	47,03	1,89	52,93	High
83	39	44	118,688	92,586	15,003	32,45	21,638	97,05	70,1	86,64	7,49	12,44	Very High

84	21	36	117,034	84,534	5,897	57,78	22,792	94,242	67,69	87,78	8,18	10,38	Very High
85	27	29	58,456	26,365	1,257	27,21	13,149	45,307	69,64	81,04	5,28	5,11	Very High
86	28	28	9,634	7,546	0,015	2,71	0	9,634	68,5	59,3	2,46	3,25	High
87	2	2	13,164	68,36	43,444	0	0	13,164	0	45,67	1,84	37,24	-
88	1	2	60,061	100	31,462	0	0	60,061	0	80,84	5,22	19,15	-
89	0	4	70,076	100	17,686	0	0	70,076	0	81,7	5,46	18,29	-
90	8	8	65,652	100	27,685	0	0	65,652	0	70,83	3,43	29,14	-
91	0	7	372,29	100	12,317	0	0	372,29	0	0	0	0	-
92	8	8	55,635	100	32,801	0	0	55,635	0	75,06	4,01	24,92	-
93	0	8	41,058	100	36,741	0	0	41,058	0	75,03	4	24,95	-
94	1	4	46,813	100	38,39	0	0	46,813	0	75,36	4,06	24,63	-
95	3	12	25,958	100	59,266	0,85	0	25,958	64,4	29,3	1,41	70,65	Low
96	26	37	134,758	99,834	10,66	27,92	0	134,758	65,2	82,75	5,8	17,22	High
97	29	33	106,489	64,281	4,53	37,67	0	106,489	69,46	86,06	7,17	9,04	Very High
98	20	20	6,442	5,425	0	3,69	0	6,442	68,4	55,55	2,25	2,6	High
99	0	0	0	0,061	0,061	0	0	0	0	0	1	0	-
100	0	0	10,709	18,74	6,153	0	0	10,709	0	48,63	1,95	9,39	-
101	0	0	23,831	24,894	2,251	0	0	23,831	0	75,43	4,07	6,11	-
102	1	1	41,956	48,78	21,021	0	0	41,956	0	35,7	1,56	31,33	-
103	1	2	83,213	68,503	9,445	0	0	83,213	0	30,34	1,44	47,37	-
104	2	2	56,622	89,498	27,005	0	0	56,622	0	65,29	2,88	30,91	-
105	1	1	48,303	100	38,169	0	0	48,303	0	69,5	3,28	30,48	-
106	0	0	40,464	100	39,382	0	0	40,464	0	65,74	2,92	34,23	-
107	0	2	69,331	100	21,046	0	0	69,331	0	75,65	4,11	24,34	-
108	1	2	40,084	100	34,424	0	0	40,084	0	78,27	4,6	21,71	-
109	15	15	62,239	39,985	0,099	0	0	62,239	0	81,82	5,5	7,35	-
110	0	0	2,834	0,765	0	0	0	2,834	0	36,55	1,58	0,48	-
111	0	1	23,354	31,945	5,731	0	0	23,354	0	37,87	1,61	19,79	-
112	1	1	24,929	84,506	44,154	0	0	24,929	0	7,46	1,08	78,41	-

113	1	2	27,555	100	55,537	0	0	27,555	0	47,53	1,91	52,44	-
114	0	1	45,371	99,991	31,959	0	0	45,371	0	69,32	3,26	30,66	-
115	0	2	8,112	6,864	0,363	0	0	8,112	0	65,23	2,88	2,24	-
116	0	0	5,43	5,476	0,028	0	0	5,43	0	53,76	2,16	2,63	-
117	1	1	19,874	73,147	42,417	0	0	19,874	0	13,62	1,16	63,29	-
118	2	2	44,299	99,461	38,702	0	0	44,299	0	63,66	2,75	36,14	-
119	0	1	32,778	67,498	26,337	0	0	32,778	0	63,17	2,72	24,83	-
120	0	0	0	8,031	8,031	0	0	0	0	0	1	7,71	-
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
122	1	1	17,163	28,845	9,547	0	0	17,163	0	47,78	1,91	15,5	-
123	1	1	51,575	92,781	26,278	0	0	51,575	0	75,51	4,08	22,83	-
124	0	0	21,979	38,889	7,524	0	0	21,979	0	58,41	2,4	15,87	-
125	0	0	0	18,761	17,337	0	0	0	0	0	1	19,11	-
126	0	0	30,442	86,316	36,977	0	0	30,442	0	48,46	1,94	44,46	-
127	0	0	3,463	22,306	13,689	0	0	3,463	0	0	1	22,59	-
128	0	0	28,017	31,74	6,723	0	0	28,017	0	62,21	2,65	12,05	-
129	1	1	17,129	85,059	55,083	0	0	17,129	0	5,15	1,05	80,87	-
130	1	1	0	8,726	8,726	0	0	0	0	0	1	8,97	-
131	1	1	13,221	24,796	8,881	0	0	13,221	0	54,32	2,19	11,49	-
132	1	1	18,635	54,942	27,559	0	0	18,635	0	5,73	1,06	51,71	-
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
134	1	1	1,641	21,179	18,006	0	0	1,641	0	0	1	20,98	-
135	0	0	8,709	31,481	18,373	0	0	8,709	0	0	1	31,63	-
136	2	2	0	0,26	0,26	0	0	0	0	0	1	0,22	-

Πίνακας Γ. Κωδικοί και ονομασίες περιοχών ΖΕΠ Κύπρου.

Κωδικός περιοχής ΖΕΠ	Όνομα περιοχής ΖΕΠ
CY4000007	Ξερός Ποταμός
CY3000008	Λίμνη Παραλιμνίου
CY4000013	Φάρος Κάτω Πάφου
CY4000016	Φαράγγια Αγ. Αικατερίνης - Αγ. Παρασκευής
CY4000019	ΖΕΠ κοιλάδας Σαμαρά
CY4000022	Γκρεμμοί Έζουσας
CY2000006	Δάσος Πάφου
CY5000008	Περιοχή κοιλάδας Ξυλούρικου
CY2000015	Μαδαρή - Παπούτσα
CY2000013	Τζιόνια
CY6000008	Ποταμός Πεντάσχοιnos
CY6000007	Ποταμός Παναγίας Στάζουσας
CY6000009	Περιοχή Κόσης - Παλλουρόκαμπου
CY6000010	ΖΕΠ Λίμνη Ορόκλινης
CY3000007	Φράγμα Άχνας
CY3000009	Περιοχή Αγ. Θέκλας - Λιοπέτρι
CY5000009	Ποταμός Παραμαλιού
CY5000010	Ζώνη Ειδικής Προστασίας Χα-Ποτάμι
CY4000020	ΖΕΠ κοιλάδας Διαρίζου
CY4000017	Γκρεμοί Χανουτάρη
CY4000021	Κοιλάδα Έζουσας
CY4000018	Εκβολές Ποταμού Έζουσας, Ξερού και Διαρίζου
CY2000014	Περιοχή Ατσά- Αγ. Θεόδωρος
CY4000023	Χερσόνησος του Ακάμα
CY5000005	Ακρωτήριο Άσπρο - Πέτρα του Ρωμιού
CY6000002	Αλυκές Λάρνακας
CY5000004	Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους
CY3000005	Κάβο Γκρέκο
CY4000004	Βουνί Παναγιάς