



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΑΙΓΑΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΜΣ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ»

«Χρήση ακουστικών μεθόδων με σκοπό την απομάκρυνση βλαβερών εντόμων από τις καλλιέργειες.»



ΧΡΥΣΑΦΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΤΣΙΝΟΣ

ΜΥΤΙΛΗΝΗ 2020

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Πρόλογος..... | 3 |
| Abstract | 3 |
| 1.Εισαγωγή..... | 4 |
| 1.1.Σκοπός της εργασίας..... | 4 |
| 2.Θεωρητικό Πλαίσιο | 4 |
| 2.1.Ακουστική..... | 4 |
| 2.2.Θόρυβος | 7 |
| 2.2.1.Λευκός Θόρυβος | 9 |
| 2.2.2.Ροζ Θόρυβος..... | 9 |
| 2.2.3.Καφέ Θόρυβος | 9 |
| 2.3.Ανατομία ανθρώπου-εντόμων..... | 9 |
| 2.4.Βιοακουστική | 10 |
| 2.5.Επιπτώσεις θορύβου..... | 11 |
| 2.5.1.Επιπτώσεις θορύβου Στον άνθρωπο | 11 |
| 2.5.2.Επιπτώσεις στα ζώα | 12 |
| 2.6.Ακουστική οικολογία..... | 12 |
| 2.7.Οικολογία ηχοτοπίου | 14 |
| 2.8.Οικολογική ακουστική | 15 |
| 2.9.Αξιολόγηση βιοποικιλότητας | 16 |
| 2.10.Ακουστικές μέθοδοι αξιολόγησης βιοποικιλότητας..... | 17 |
| 2.10.1.Ακουστικοί καταγραφείς..... | 17 |
| 2.11.Φασματογράφημα ήχου | 18 |
| 2.12.Ακουστικοί Δείκτες..... | 19 |
| 2.12.1.Αξιολόγηση ανάμεσα στους δείκτες..... | 22 |
| 2.13.Νομικό Πλαίσιο | 23 |
| 2.13.1.Προστασία της βιοποικιλότητας | 23 |
| 2.13.2.Θεσμικό πλαίσιο κατά του περιβαλλοντικού θορύβου..... | 24 |
| 2.12.3.Οδηγία 2002/49/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου..... | 27 |
| 2.14.Ήσυχες Περιοχές | 32 |
| 2.15.Σολανώδη | 34 |
| 2.15.1.Πιπεριά..... | 35 |
| 2.15.2Μελιτζάνα | 36 |
| 2.16.Εχθροί πιπεριάς και μελιτζάνας..... | 36 |

| | |
|--|----|
| 2.16.1. <i>Tetranychus urticae</i> | 36 |
| 2.16.2. <i>Myzus Persicae</i> | 37 |
| 2.16.3. <i>Frankliniella occidentalis</i> | 38 |
| 2.16.4. <i>Nezara viridula</i> | 38 |
| 3. Μεθοδολογία | 39 |
| 3.1. Περιοχή μελέτης..... | 39 |
| 3.2. Εργαλεία και δείκτες | 40 |
| 3.3. Εφαρμογή στο πεδίο | 40 |
| 4. Αποτελέσματα..... | 43 |
| 4.1. Αποτελέσματα στατιστικής Ανάλυσης..... | 43 |
| 4.2. Αποτελέσματα από παρατήρηση με μεγεθυντικό φακό | 49 |
| 4.2.1. Αποτελέσματα από Control | 49 |
| 4.2.2. Αποτελέσματα από White noise | 49 |
| 4.2.3. Αποτελέσματα από Pink noise | 50 |
| 4.2.4. Αποτελέσματα από Brown noise | 50 |
| 5. Συμπεράσματα | 51 |
| Βιβλιογραφία | 52 |

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την επίτευξη της βιολογικής γεωργίας μέσω της ακουστικής οικολογίας. Το θέμα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθόσον τα τελευταία χρόνια αυξάνεται διαρκώς το ενδιαφέρον των καταναλωτών για τα φυτικά και ζωικά προϊόντα βιολογικής παραγωγής. Η καινοτόμα προσέγγιση του κλάδου της οικολογικής ακουστικής προσφέρει μη επεμβατικές μεθόδους αξιολόγησης και παρακολούθησης της βιοποικιλότητας. Η σωστή αξιοποίηση του κλάδου της ακουστικής οικολογίας, έχει τη δυνατότητα να ανοίξει ένα καινούριο κεφάλαιο στην βιολογική γεωργία.

Abstract

The purpose of this work is to achieve organic farming through acoustic ecology. This issue is of particular interest as consumer interest in organic and animal products has been increasing in recent years. The innovative approach in the field of eco acoustics offers non-invasive methods for biodiversity assessment and monitoring. Proper utilization of the acoustic ecology industry has the potential to open a new chapter in organic farming.

1.Εισαγωγή

Το ευρύτερο κίνημα που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια, σε παγκόσμια κλίμακα, υπέρ της διατήρησης και προστασίας του περιβάλλοντος, είναι φυσικό να αγγίζει άμεσα και τον τομέα της γεωργίας. Έτσι, καθώς μια ολοένα αυξανόμενη μερίδα ευαισθητοποιημένων καταναλωτών απαιτεί πλέον στη διατροφή της τρόφιμα υγιεινά, απαλλαγμένα από χημικά κατάλοιπα, ένα καινούργιο σύστημα γεωργικής παραγωγής που ακούει στο όνομα βιολογική γεωργία έρχεται στο επίκεντρο των εξελίξεων. Η βιολογική γεωργία αποτελεί μια ολοκληρωμένη πρόταση παραγωγής, οικολογικού προσανατολισμού, σύμφωνα με την οποία οι παράγοντες που καθορίζουν την ποσότητα και ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων αντιμετωπίζονται ολιστικά. Με λίγα λόγια, η βιολογική γεωργία χρησιμοποιεί ήπιες τεχνικές καλλιέργειας και μέσα φυτοπροστασίας και λίπανσης, που δεν αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον, αξιοποιώντας τις σύγχρονες κατακτήσεις της επιστήμης, της εμπειρίας, αλλά και τους παραδοσιακούς τρόπους καλλιέργειας. Βασίζεται, δηλαδή, σε μια διαφορετική φιλοσοφία από εκείνη της συμβατικής γεωργίας, που αντιπροσωπεύει σήμερα το «σύγχρονο» τρόπο παραγωγής γεωργικών προϊόντων, επιδιώκοντας τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων με εντατική καλλιέργεια και υψηλές, κατά κανόνα, εισροές χημικών συνθετικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

1.1Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση νέων τρόπων βιολογικής καλλιέργειας. Επιπλέον σκοπός είναι η ανάδειξη μεθόδων έρευνας οικολογικής ακουστικής και της χρησιμότητας της ως εργαλείο διατήρησης και παρακολούθησης της βιοποικιλότητας.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της συγκεκριμένης έρευνας παρουσιάζονται παρακάτω:

Ερευνητικό Ερώτημα 1: Μπορεί η ακουστική οικολογία να βρει εφαρμογή στην βιολογική γεωργία;

Ερευνητικό Ερώτημα 2: Μπορούν οι διάφοροι θόρυβοι να λειτουργήσουν ως ηχητικά σκιάχτρα κατά των εντόμων;

2.Θεωρητικό Πλαίσιο

2.1.Ακουστική

Ο ήχος αποτελεί μία παραγόμενη ενέργεια υπό την μορφή διαμηκών κυμάτων των οποίων η διεύθυνση διάδοσής τους είναι παράλληλη στη διεύθυνση της ταλάντωσης των σωματιδίων που αποτελούν το μέσο διάδοσης. Τα κύματα αυτά προκαλούνται από διατάξεις οι οποίες

δονούμενες παράγουν ήχο και ονομάζονται ακουστικές πηγές. Τα ηχητικά κύματα περνώντας από ένα μέσο προκαλούν την ταλάντωση του δημιουργώντας διαφορές πίεσης και πυκνότητας (Everest & Pohlmann, 2009). Η ταχύτητα διάδοσης της παραγόμενης ενέργειας εξαρτάται από την ελαστικότητα και την πυκνότητα του μέσου μετάδοσης. Το αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας του, ο ήχος ταξιδεύει με πιο αργούς ρυθμούς στα αέρια από ότι στα υγρά στοιχεία και γρηγορότερα στα στερεά από ότι στα υγρά. Μια επιπλέον σημαντική παρατήρηση η οποία έχει θέσει τις βάσεις για πολλές τεχνολογικές εφαρμογές των ηχητικών κυμάτων απειλεί το φαινόμενο Doppler. Σύμφωνα με το φαινόμενο όταν η πηγή ή ο δέκτης κινούνται, τότε ο ήχος έχει διαφορετική συχνότητα και εξετάζεται η σχέση μεταξύ της πραγματικής συχνότητας F και της συχνότητας F' που αντιλαμβάνεται ο δέκτης. Από την σχέση του φαινομένου Doppler αποδεικνύεται, ότι όταν μειώνεται η απόσταση μεταξύ της πηγής και του παρατηρητή αυξάνεται η παρατηρούμενη συχνότητα, ενώ όταν αυξάνεται η απόσταση μειώνεται.

Ο ήχος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το μέγεθος της ταλάντωσης σε απλό, σύνθετο, θόρυβο ή κρότο. Οι απλοί ήχοι αποτελούνται από αρμονικές ταλαντώσεις κωνοειδούς μορφής. Σύμφωνα με τον Γάλλο φυσικό και μαθηματικό Ζοζέφ Φουριέ, από την σύνθεση δύο η περισσότερων αρμονικών ταλαντώσεων προκύπτει μία περιοδική αλλά όχι αρμονική ταλάντωση. Η συναρτημένη νέα ταλάντωση εξαρτάται από το πλήθος των επί μέρους ταλαντώσεων, από το πλάτος και την διάφορα φάσης που υπάρχει μεταξύ τους. Κατά την ανάλυση Fourier μία περιοδική συνάρτηση $x = f(t)$ μια συχνότητας μπορεί να εκφραστεί μέσω άπειρων αρμονικών ταλαντώσεων. Επιπλέον θόρυβος χαρακτηρίζεται μία μεταβολή με μη αρμονικό τρόπο και ο κρότος αποτελεί απότομη και μικρής διάρκειας μεταβολή της πίεσης. Τα δύο συγκεκριμένα είδη ταλαντώσεων επηρεάζουν την ακουστική και έχουν αρκετές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα οι οποίες θα διατυπωθούν στην συνέχεια (Cowan, 1993).

Τα ηχητικά κύματα διακρίνονται από χαρακτηριστικά όπως το μήκος κύματος (λ), την συχνότητα (f), το πλάτος διακυμάνσεων έντασης και την περίοδο (T). Η μετάδοση του ήχου εξαρτάται άμεσα από την συχνότητα και το μήκος κύματος. Καθώς το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας, όσο μικρότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος και η εμβέλεια μετάδοσης. Ως φυσικό μέγεθος η ηχητική ισχύς περιγράφει την ενέργεια που μεταφέρει το ακουστικό κύμα και εκφράζεται σε $WATT(W m^2)$. Αντιθέτως η ηχητική πίεση εκφράζει το αποτέλεσμα της ηχητικής ισχύος σε ένα σημείο του χώρου και μπορεί να εκφραστεί σε $Pascal (1Pa = 1N m^2)$ (Μπάρκας, 2014).

Η μετάδοση των ηχητικών κυμάτων χαρακτηρίζεται από μία σειρά ιδιοτήτων, όπως και σε άλλα μηχανικά φαινόμενα. Αν η πηγή του ήχου βρίσκεται κοντά σε κάθετη επιφάνεια και έχει την κατάλληλη απόσταση τότε ο ήχος υφίσταται ανάκλαση. Επιπρόσθετα η ανάκλαση του ήχου επηρεάζεται από την απορροφητική ιδιότητα του μέσου και την απόσταση από την ηχητική πηγή. Όταν η απόσταση είναι μικρή, τότε πριν εξασθενήσει ο απευθείας ήχος έρχεται η μετήχηση του ανακλώμενου ήχου. Ένα ακόμα φαινόμενο που χαρακτηρίζει τα ηχητικά κύματα αποτελεί η ικανότητα εισχώρησης που ονομάζεται περίθλαση και εξαρτάται από το λόγο του μήκους κύματος προς τις διαστάσεις των εμποδίων. Όταν ο ήχος μεταδίδεται μέσα από κοιλότητες κατάλληλων διαστάσεων που προκαλούν λόγω συντονισμού ενίσχυση του ήχου, τότε προκαλείται αντηχία (Kuttruff, 2007).

Η διάδοση των ηχητικών κυμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το υψόμετρο, η κίνηση και η ένταση του ανέμου και η πυκνότητα της βλάστησης. Κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί μία αντίστοιχη μεταβολή της συχνότητας του ήχου, καθώς η περιεκτικότητα των στοιχείων αλλάζει ανάλογα με την ταχύτητα μετάδοσης. Λόγω της αυξημένης πυκνότητας τα κύματα μεταδίδονται καλύτερα στην χαμηλότερη θερμοκρασία πάνω από την επιφάνεια της γης. Αν υπάρχει ανάστροφη θερμοκρασία τα κύματα επηρεάζονται ανάλογα. Περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα μετάδοσης επίσης αποτελεί η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου η οποία μπορεί να μεταδώσει τον ήχο σε μεγαλύτερη απόσταση.

Σε αυτό το σημείο είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι όταν ένα κύμα διαδίδεται σε όλη την επιφάνεια του χώρου προς κάθε κατεύθυνση από ένα σφαιρικό κέντρο λέγεται σφαιρικό, αν δύο κύματα περνούν πάνω από ένα σημείο το φαινόμενο ονομάζεται συμβολή και η συνολική ενέργεια υπολογίζεται από το άθροισμα. Το φαινόμενο της συμβολής στα ηχητικά κύματα και ειδικότερα στον τρόπο μετάδοσης στους οργανισμούς είναι σπάνιο. Οι πηγές ήχου στο περιβάλλον ποικίλουν ως προς τα χαρακτηριστικά μετάδοσης σε αυτό, δημιουργώντας ένα πολυσύνθετο ηχητικό περιβάλλον, η αντίληψη του οποίου εξαρτάται από το ακουστικό σύστημα του δέκτη την απόσταση από την πηγή και το όρια εξασθένησης των διαφορετικών κυμάτων. Επομένως ο ποσοτικός προσδιορισμός του αντιληπτού ήχου δεν μπορεί να υπολογιστεί από την απλή πρόσθεση της έντασης των ηχητικών πηγών. Για αυτό τον λόγο υπάρχουν διαφορετικές αντικειμενικές και υποκειμενικές μετρήσεις της έντασης των ηχητικών πηγών.

Δύο από τις κυριότερες ποσοτικές μέτρησης προσδιορισμού αποτελούν ή στάθμη ηχητικής ισχύος (*Sound Power Level*) και ηχητικής πίεσης(*Sound Pressure Level*). Η στάθμη προσδιορίζει την αντιλαμβανόμενη από τον δέκτη πίεση και ένταση του κύματος. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα μεγέθη των συγκεκριμένων τιμών παρουσιάζουν μεγάλα όρια μεταβολής και μετατρέπονται σε λογαριθμική κλίμακα. Μονάδα μέτρησης της στάθμης αποτελεί το 1/10 ενός *Bell (dB)*, το οποίο πήρε το όνομα του προς τιμήν του Αλεξάντερ Γκράχαμ Μπελ (Truax, 1999).

Η μέτρηση των επιπέδων ηχητικής στάθμης (L) τα τελευταία χρόνια, έχει αποπειραθεί με υπολογισμούς που εμπεριέχουν διαφορετικές παραμέτρους ανάλυσης των ηχητικών κυμάτων. Το «συνεχές ισοδύναμο επίπεδο ήχου, Leq (equivalent continuous sound level)» (Leq), υπολογίζει την τιμή της μέσης έντασης σε dB για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο αποτελεί το πλέον καθιερωμένο τρόπο μέτρησης του μέσου όρου ηχητικής πίεσης. Στο παρελθόν, ως δείκτης εξαγωγής μέσου όρου χρησιμοποιούνταν το L50, το οποίο υπολόγιζε το επίπεδο υπέρβασης κατά 50% στο μετρούμενο χρόνο. Το ηχητικό σήμα υπόκειται σε διάφορους τύπους επεξεργασίας, αλλά συνήθως διέρχεται από ένα δίκτυο στάθμισης (Acoustic Glossary, 2019). Πλέον υπάρχουν τρία διεθνώς τυποποιημένα χαρακτηριστικά. Η ηχητική στάθμη των μετρήσεων μπορεί να χαρακτηριστεί ως A όταν εστιάζει στην απόκριση του ανθρώπινου ακουστικού συστήματος, σε C-στάθμιση με εστίαση σε ήχους χαμηλής συχνότητας και η Z-στάθμιση η οποία αποτελεί μια επίπεδη συχνότητα απόκρισης. Επίσης μπορούν να υπολογιστούν δείκτες όπως το μέγιστο(Lmax) και ελάχιστο (Lmin) των τιμών ηχητικής πίεσης για μία χρονική περίοδο και η μέγιστη τιμή ηχητικής πίεσης ή κορυφή του κύματος ηχητικής

πίεσης ($L_{p_{peak}}$) η οποία αντιπροσωπεύει το πραγματικό μέγιστο μίας καταγραφής. Τέλος το επίπεδο ηχητικής στάθμης μπορεί να μετρηθεί ανάλογα με την διάρθρωση του χρόνου σε Γρήγορη, Αργή και Παλμική. Οι παραπάνω κατηγορίες αποτελούν μερικές από τις πολυάριθμες προσεγγίσεις μετρήσεων ηχητικής στάθμης που υπάρχουν.

Εκτός των αντικειμενικών γνωρισμάτων ο ήχος καλύπτεται από μία σειρά υποκειμενικών γνωρισμάτων, ανάλογα με την συμπεριφορική επίδραση που προκαλεί. Η ψυχολογιστική εστιάζει στα φυσικά ερεθίσματα που προκαλούνται στον αποδέκτη από την ακρόαση ήχων οι οποίοι περιγράφονται με εξολοκλήρου υποκειμενικά χαρακτηριστικά. Τέτοια υποκειμενικά χαρακτηριστικά μπορούν να μετρηθούν με αντίστοιχα υποκειμενικά μεγέθη

όπως η ακουστότητα, το τονικό ύψος και η χροιά. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δεν πρέπει να συνέχονται με τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά, καθώς εστιάζουν στην απόκριση του ανθρώπου (Fastl & Zwicker, 2006).

2.2.Θόρυβος

Ο θόρυβος σε μερικές περιπτώσεις, αποτελεί συνηθισμένος ήχος και μέρος της καθημερινότητας του ανθρώπου. Για παράδειγμα, ο θόρυβος της οδικής κυκλοφορίας ή ο θόρυβος από μηχανήματα εργασίας, αποτελούν καθημερινές πηγές θορύβου για έναν μεγάλο αριθμό πολιτών σε αστικά συγκροτήματα αλλά και στην ύπαιθρο. Όμως ως ήχος ο θόρυβος δεν αποτελεί μονοδιάστατη έννοια, αντίθετα μπορούν να διακριθούν διαφορετικοί τύποι θορύβου όπως: συνεχόμενος θόρυβος, διαλείπων θόρυβος, παλμικός θόρυβος, τονικός θόρυβος και θόρυβος χαμηλών συχνοτήτων. Ο συνεχόμενος θόρυβος συνήθως αναφέρεται σε μηχανήματα τα οποία λειτουργούν συνεχόμενα με σταθερό μοτίβο παραγωγής θορύβου, ενώ ο διαλείπων θόρυβος έχει απότομες αυξομειώσεις. Ο παλμικός θόρυβος είναι άμεσα συνδεδεμένος με τους κρότους (π.χ. πυροβολισμοί) και είναι αιφνίδιος, απροσδόκητος και σύντομης διάρκειας. Τονικός θόρυβος μπορεί να δημιουργηθεί μέσω αρκετών μηχανημάτων τα οποία διαθέτουν περιστρεφόμενα τμήματα (π.χ. κινητήρες, κιβώτια ταχυτήτων, ανεμιστήρες κλπ.) και μέσω της κίνησης παράγουν υψηλούς τόνους. Επιπλέον ο θόρυβος χαμηλής συχνότητας έχει ιδιαίτερα σημαντική ακουστική ενέργεια στο φάσμα συχνοτήτων 8Hz έως 100Hz. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου θορύβου, αποτελούν οι μεγάλοι κινητήρες ντίζελ σε τραίνα, ο ήχος είναι αρκετά δύσκολο να καλυφτεί και διαδίδεται προς κάθε κατεύθυνση για αρκετά μεγάλη απόσταση (Everest & Pohlmann, 2009).

Εκτός από τους παραπάνω τύπους θορύβου η κατηγοριοποίηση τους μπορεί να συνοψιστεί σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες προήρθαν κατά βάση από την προσπάθεια νομοθετικού προσδιορισμού και πρόληψης της ηχορύπανσης (θόρυβος περιβάλλοντος, ειδικός θόρυβος και υπολειπόμενος θόρυβος).

- Ο περιβαλλοντικός θόρυβος δημιουργείται από μία πηγή ή των συνδυασμό πολλών πηγών θορύβου, είτε φυσικών (π.χ. άνεμος, ροή νερού) είτε ανθρωπογενών (π.χ. κυκλοφορικά συστήματα, βιομηχανικές δραστηριότητες). Σύμφωνα με την οδηγία 2002/49/EC στον ορισμό του περιβαλλοντικού θορύβου περιλαμβάνονται όλοι « οι ανεπιθύμητοι ή επιβλαβείς θόρυβοι στις αστικές περιοχές και στο ύπαιθρο που

δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των θορύβων που εκπέμπονται από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας».

- Ο υπολειπόμενος παραμένει σε ένα σημείο ενώ ο θόρυβος της πηγής μετάδοσης καταστέλλεται.
- Ο ειδικός θόρυβος μετράται και μελετάται για μία συγκεκριμένη διεργασία.

Όσον αφορά την προστασία κατά της ηχορύπανσης ο περιβαλλοντικός θόρυβος, αποτελεί το κυριότερο είδος θορύβου που μελετάται ως προς την διάδοση την δημιουργία αλλά και τις προκαλούμενες επιπτώσεις. Η διάδοση του περιβαλλοντικού θορύβου, όπως και του θορύβου γενικότερα, εξαρτάται από μία πληθώρα παραγόντων. Ο τύπος της πηγής θορύβου αποτελεί έναν βασικό παράγοντα, μια πηγή μπορεί να διακριθεί ως σημειακή ή γραμμική. Σημειακή πηγή παρατηρείται όταν οι διαστάσεις της πηγής είναι πολύ μικρές σε σχέση με την απόσταση που έχει από τον ακροατή. Η ηχητική ενέργεια εξαπλώνεται σφαιρικά, έτσι ώστε το επίπεδο ηχητικής πίεσης να είναι όμοιο για σημεία τα οποία απέχουν κατά την ίδια απόσταση από την πηγή. Από την άλλη πλευρά, γραμμική πηγή παρατηρείται όταν η πηγή είναι περιορισμένη από τη μία κατεύθυνση και μακροσκελής από την άλλη σε σύγκριση με την απόσταση μεταξύ αυτής και του ακροατή.

Τα ηχητικά κύματα τα οποία δομούν των περιβαλλοντικό θόρυβο αποτελούνται από χαμηλές συχνότητες και έντασης τα οποία ταξιδεύουν σε μεγαλύτερη απόσταση και η εξασθένηση τους δημιουργεί ένα ηχητικό υπόβαθρο στο περιβάλλον. Πέραν αυτού φυσικά εμπόδια η κτήρια μπορούν να περιορίσουν την μετάδοση του ήχου. Επιπλέον ατμοσφαιρικοί παράγοντες συντελούν στην απορρόφηση του θορύβου από τον αέρα και εν τέλει στην εξασθένηση και μείωση του επιπέδου ηχητικής πίεσης. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να αποτελούν η απόσταση από την πηγή, η δομή των εμπριεχομένων συχνοτήτων, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η σχετική υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση.

Ο παραγόμενος θόρυβος ανεξάρτητα από το αν η πηγή είναι ανθρωποφωνική ή φυσική μπορεί να χαρακτηριστεί φασματικά όπως ακριβώς και οι σύνθετοι ήχοι, ως σύνολα ημιτονοειδών κυμάτων διαφορετικής συχνότητας. Η διαφορετική σύσταση των συχνοτήτων που μπορεί να προκύψει από διαφορετικές πηγές θορύβου και από διαφορετικό περιβάλλον μετάδοσης (χερσαίο, θαλάσσιο), έδωσε το έναυσμα στον Βρετανό ωκεανογράφο John Hyslop Steele να κατηγοριοποιήσει τους διαφορετικής σύστασης θορύβους δίνοντας χρωματισμούς. Μέχρι πρότινος ο λευκός θόρυβος ως πλέον διαδεδομένο είδος θορύβου, είχε ταυτιστεί με ολόκληρη την έννοια του περιβαλλοντικού θορύβου. Το συγκεκριμένο είδος θορύβου δομείται από συχνότητες παράλληλες με το εύρος της ανθρώπινης ακοής (20-22.050Hz), οι οποίες έχουν παρόμοια ηχητική ισχύ (dB). Λόγω της συγκεκριμένης του σύστασης ο λευκός θόρυβος αποτελεί ιδιαίτερα αποτελεσματικό παράγοντα αλληλοεπικάλυψης των ηχητικών σημάτων, καθώς περιβάλλει το εύρος του ακουογράμματος πολλών θηλαστικών πτηνών και του ανθρώπου στα χερσαία οικοσυστήματα.

Πέραν του λευκού οι υπόλοιπες κατηγορίες έχουν συγκεκριμένη διακύμανση συχνοτήτων και ανάλογα μεταβαλλόμενη ισχύ. Η ονομασία του χρώματος του θορύβου έρχεται από το τι χρώμα θα βλέπαμε αν είχαμε την ίδια καμπύλη στο ορατό φάσμα συχνοτήτων. Για παράδειγμα ο γκρι

θόρυβος αν και διαθέτει πολλά παρόμοια χαρακτηριστικά με τον λευκό θόρυβο, έχει τυχαία διακύμανση. Επιπλέον συχνά συναντημένοι τύποι θορύβου στο περιβάλλον, όπως ο ροζ και ο μπλε αυξάνουν την ένταση τους γραμμικά ανάλογα με τις συχνότητες. Ο ροζ θόρυβος ($1/f$) αυξάνεται κατά 3 dB ανά οκτάβα, έτσι η ισχύς του είναι αντιστρόφως ανάλογη με την συχνότητα, αντίθετα ο μπλε αυξάνεται κατά 2 dB (f) ανά οκτάβα ανάλογα με την συχνότητα. Οι μακρινοί υποθαλάσσιοι θόρυβοι περιγράφονται από τον καφέ (σημείωση πείρε το όνομα του από τον Robert Brown και το Brownian motion) ή κόκκινος θόρυβος η ισχύς μειώνεται αντιστρόφως 6 dB ανά οκτάβα ($1 / f^2$), έτσι η παρεμβολή του είναι εντονότερη σε μικρές συχνότητες. Τέλος εμφανίζεται ένα είδος αντίστροφο του καφέ το οποίο ονομάζεται μοβ και μεταβάλλεται 6 dB ανά οκτάβα f^2 . Η εξέταση της επίδρασης των συγκεκριμένων πηγών θορύβου έχει μελετηθεί για τον προσδιορισμό των επιδράσεων κάθε δομής θορύβου ξεχωριστά τόσο σε άνθρωπο όσο και στα ζώα.

2.2.1.Λευκός Θόρυβος

Ο λευκός θόρυβος είναι ένα ηχητικό μείγμα που περιλαμβάνει κάθε συχνότητα στο εύρος της ανθρώπινης ακοής, σε ίσες αναλογίες. Με άλλα λόγια, είναι μία μίξη ήχων που περιλαμβάνει ψηλούς και χαμηλούς τόνους και κάθε ήχο ανάμεσα στα δύο άκρα. Ο συνδυασμός των διαφορετικών τόνων κάνει τους περισσότερους άλλους τόνους να χάνονται. Ο εγκέφαλός μας δυσκολεύεται να ξεχωρίσει ή να ακούσει καθαρά μέσα από αυτή τη «συνεχόμενη παρήχηση» όλων αυτών των συχνοτήτων, και έτσι ο ήχος του περιβάλλοντος γίνεται πολύ λιγότερο καθαρός (Barry Truax, 1999).

2.2.2.Ροζ Θόρυβος

Ο ροζ θόρυβος χρωματίζεται περισσότερο στο χαμηλότερο άκρο του φάσματος. Μπορεί να είναι πιο απαλός και καταπραϋντικός επειδή ενισχύει τις χαμηλότερες συχνότητες, με αποτέλεσμα να ακούγεται πιο φυσικός (Barry Truax, 1999).

2.2.3.Καφέ Θόρυβος

Ο καφέ θόρυβος είναι ένα από τα πολλά χρώματα θορύβου, τα οποία περιλαμβάνουν επίσης λευκό θόρυβο, ροζ θόρυβο και μπλε θόρυβο. Ωστόσο, ο καφέ θόρυβος δεν παίρνει το χαρακτηριστικό του από το χρώμα - είναι στην πραγματικότητα το όνομά του από τον βοτανολόγο Ρόμπερτ Μπράουν, ο οποίος ανακάλυψε Brownian κίνηση (τυχαία κίνηση σωματιδίων) κατά το 1800s. Στο ανθρώπινο αυτί, ο καφέ θόρυβος είναι παρόμοιος με τον λευκό θόρυβο, αλλά είναι πολύ πιο βαθύς (Barry Truax, 1999).

2.3.Ανατομία ανθρώπου-εντόμων

Οι πληθυσμιακές ομάδες που εμπεριέχονται σε ένα οικοσύστημα αλληλεπιδρούν ακουστικά δημιουργώντας ακουστικές κοινότητες, οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το εύρος συχνοτήτων του ακουστικά ενεργού χώρου που χρησιμοποιούν και αντιλαμβάνονται οι οργανισμοί. (A. Farina & James, 2016). Η ανθρώπινη ακοή εστιάζει σε ήχους που κυμαίνονται μεταξύ του εύρους συχνοτήτων των 20Hz-20000KHz το οποίο καλύπτεται και από τα περισσότερα χερσαία θηλαστικά (Heffner & Heffner, 2007), καθιστώντας τις συγκεκριμένες συχνότητες ως τις καταλληλότερες για την μελέτη των ηχοτοπίων. Είδη που έχουν ακουστικές ικανότητες πάνω από το όριο των 20KHz, όπως οι νυχτερίδες για τον προσδιορισμό του

χώρου (Pijanowski et al., 2011), συγκαταλέγονται στις υπερηχητικές κοινότητες (A. Farina & James, 2016). Ενώ είδη που χρησιμοποιούν συχνότητες κάτω από 20Hz, όπως ο ινδικός ελέφαντας και θαλάσσια θηλαστικά όπως οι φάλαινες (Heffner & Heffner, 2007) ανήκουν στις υποηχητικές κοινότητες (A. Farina & James, 2016). Τα έντομα, επίσης, έχουν μεγάλο εύρος ακοής—μερικά ακούν υπέρηχους δύο και πλέον οκτάβες υψηλότερους από αυτές που ακούει το ανθρώπινο αφτί και άλλα ακούν υπόηχους. Μερικά έντομα ακούν μέσω λεπτών, επίπεδων μεμβρανών που μοιάζουν με το τύμπανο του αφτιού, οι οποίες υπάρχουν σε όλα σχεδόν τα μέρη του σώματός τους εκτός από το κεφάλι. Άλλα ακούν με τη βοήθεια λεπτών τριχιδίων τα οποία ανταποκρίνονται όχι μόνο στον ήχο αλλά και στις πιο απαλές κινήσεις στον αέρα, όπως αυτές που κάνει το ανθρώπινο χέρι. Αυτή η ευαισθησία εξηγεί το λόγο για τον οποίο είναι τόσο δύσκολο να χτυπήσει κανείς μια μύγα. Η κατηγοριοποίηση των ακουστικών κοινοτήτων σχετίζεται άμεσα με τη δομή και την λειτουργία των φωνητικών και ακουστικών οργάνων.

2.4.Βιοακουστική

Η ηχητική ενέργεια μεταφέρεται στους ακουστικούς αισθητήρες των οργανισμών αποκωδικοποιώντας την συχνότητα, μετατρέποντας την, σε ηχητικό σήμα, το οποίο παρέχει πληροφορίες. Η ικανότητα πρόσληψης και παραγωγής ηχητικών σημάτων, είναι ζωτικής σημασίας για πολλά είδη και σχετίζεται με μία πληθώρα βιολογικών δραστηριοτήτων. Το επιστημονικό πεδίο της βιοακουστικής είναι αυτό που εστιάζει στην μελέτη των βιολογικών ηχητικών σημάτων, της ανατομίας των ακουστικών οργάνων και των εξελικτικών μηχανισμών της ακουστικής συμπεριφοράς των ζώων (IBAC, <http://www.ibac.info/>). Επιπλέον ένα μεγάλο μέρος του συγκεκριμένου κλάδου, ο οποίος αποτελεί και έναν από τους νεότερους κλάδους της βιολογίας ζώων (Ozga, 2017)), εστιάζει στην ανθρωπογενή επίδραση μέσω του ήχου στα ζώα, την ταξινόμηση και την καταγραφή της βιοποικιλότητας μέσω του ήχου, όμως δεν εμπεριέχει μια συνολική καταγραφή των ανθρωπογενών επιπτώσεων στο ηχητικό περιβάλλον και την βιοποικιλότητα.

Για παράδειγμα τα φωνητικά σήματα που παράγονται από το *Syrinx* στα πτηνά μπορούν να αποτελούν τραγούδια (Songs) ή καλέσματα (Calls) και να διαθέτουν συμπεριφορικά γνωρίσματα. Τα τραγούδια είναι ποιο περίπλοκα από τα καλέσματα και έχουν μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και σκοπός τους αποτελεί, η έλξη συντρόφων, την αποτροπή εισβολέων και την διεκδίκηση επικράτειας .

Ένα τραγούδι ενός πτηνού μπορεί να χωριστεί επιμέρους σε φράσεις (Phrases) και συλλαβές(Syllables)(“Thompsonetal_1994_Bioacoustics_A_system_for_describing_bird_son_g_units,” n.d.). Η διαφοροποίηση των καλεσμάτων (Obrist et al., 2010; Williams, 2004) αφορά την συμπεριφορική λειτουργία που εξυπηρετούν και χωρίζονται σε :

- Καλέσματα που σκοπεύουν στην προειδοποίηση (Alarm Calls)
- Αναπαραγωγικά καλέσματα (Mating calls)
- Καλέσματα κατά την διάρκεια πτήσης(Flight calls)

Η μελέτη της βιοακουστικής μπορεί να περιλαμβάνει την πλαστικότητα της συμπεριφοράς (Behavioral plasticity13), την πλαστικότητα του σήματος (Signal-Vocal Plasticity14) και την

φαινοτυπική πλαστικότητα (Phenotypic Plasticity¹⁵) (Obrist et al., 2010). Επιπλέον μέσω των μελετών έχουν προκύψει βασικές υποθέσεις για την ακουστική προσαρμογή των ειδών. Για παράδειγμα σε περιοχές με αυξημένη βιοποικιλότητα, όπου ο διαειδικός ανταγωνισμός για την μετάδοση των φωνητικών σημάτων αυξάνεται, σύμφωνα με την υπόθεση του ακουστικού θώκου (Krause, 1993) τα είδη προσαρμόζουν το εύρος συχνοτήτων των φωνητικών λειτουργιών, ώστε να αποφευχθεί η αλληλοεπικάλυψη, δημιουργώντας διαφορετικές επικράτειες συχνοτήτων. Επιπλέον, καθώς τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής επηρεάζουν την μετάδοση του ήχου, τα είδη προσαρμόζουν τις ακουστικές λειτουργίες ανάλογα με την ιδιαιτερότητα του οικοσυστήματος που κατοικούν, σύμφωνα με την υπόθεση της ακουστικής προσαρμογής¹⁶ (Morton, 1975). Η συγκεκριμένη προσαρμογή επιτυγχάνεται μέσω της φυσικής επιλογής και έχει ως αποτέλεσμα την διαμόρφωση των οργάνων που σχετίζονται με την επικοινωνία και την ακοή. Η υπόθεση της μορφολογικής προσαρμογής, αφορά το ότι οι οργανισμοί με μεγαλύτερο μέγεθος μπορούν να μεταδίδουν ηχητικά σήματα σε μεγαλύτερη εμβέλεια καταλαμβάνοντας χαμηλές συχνότητες (Fletcher NH, 2007). Επιπλέον τα συμπάτρια είδη που ζουν στο ίδιο ενδιαίτημα διαφοροποιούν τα ηχητικά τους καλέσματα, αποφεύγοντας τον κίνδυνο ακουστικού κομπορμιισμού μεταξύ τους σύμφωνα με την υπόθεση αναγνώρισης ειδών (Seddon, 2005).

2.5.Επιπτώσεις θορύβου

2.5.1.Επιπτώσεις θορύβου Στον άνθρωπο

Οι επιπτώσεις του θορύβου εξαρτώνται άμεσα από την ένταση και την συχνότητα, την χρονική επανάληψη της έκθεσης και από την ηλικία του ατόμου. Τα αποτελέσματα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος από τον θόρυβο, μπορούν να αφορούν τις άμεσες και συσσωρευτικές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού, την επίπτωση στις επόμενες γενιές λόγω υποβάθμισης και κοινωνικές αισθητικές και οικονομικές επιπτώσεις όπως η υποβάθμιση γειτονιών.

Σύμφωνα με έκθεση του Παγκόσμιου οργανισμού υγείας, η επικάλυψη της ομιλίας αποτελεί μια επιπλέον αρνητική επίπτωση, η οποία συμβαίνει όταν ο θόρυβος υποβάθρου υπερβαίνει κατά 10dB(A), την ανθρώπινη ομιλία η οποία συνήθως κυμαίνεται στα 50dB(A) του θορύβου. Στο φαινόμενο Lombard περιγράφεται το ακούσιο αντανακλαστικό της αύξησης της έντασης του παραγόμενου φωνητικού σήματος από τον άνθρωπο όταν η μετάδοση υποβαθμίζεται σε μεγάλο βαθμό την επικράτηση του θορύβου. Τα 30dB αντιστοιχούν στο επίπεδο ηρεμίας και έως τα 60dB(A) μπορεί να παρατηρηθεί μια χαμηλή έως μέτρια επικάλυψη του σήματος. Ανάμεσα στο όριο των προσωρινών βλαβών του ακουστικού συστήματος στα 80 dB(A), η επικοινωνία είναι ανέφικτη από απόσταση κάποιων εκατοστών από το αυτί του δέκτη και στα 100 (dB) η συνομιλία είναι σχεδόν αδύνατη. Μεγάλη επικάλυψη του σήματος και άμεση βλάβη στην ακοή για τον άνθρωπο μπορεί να παρατηρηθεί για εντάσεις πάνω από το όριο <75dB(A) και για συχνότητες μεταξύ του εύρους 3-6KHz. Για εντάσεις πάνω από 90dB(A) παρατηρείται προσωρινή απώλεια ακοής.

Την περίοδο της νύχτας τα επίπεδα θορύβου που υπερβαίνουν τα 30dB(A) και τα μεμονωμένα γεγονότα που υπερβαίνουν τον θόρυβο υποβάθρου με μέγιστη στάθμη (L_{max}) τα 45dB(A), να υποβαθμίζουν την ποιότητα του ύπνου. Υπολογίζεται ότι η παρεμπόδιση του ύπνου αποτελεί

στο 80% των περιπτώσεων το γεγονός χαρακτηρισμού ενός υποβαθμισμένου ηχητικού περιβάλλοντος. Η όχληση από τον παραγόμενο θόρυβο κατά την διάρκεια του 24ώρου κυμαίνεται κατά μέσο όρο στα 55dB(A) ενώ κατά την διάρκεια της νύχτας πρέπει να είναι χαμηλότερη κατά 10dB(A). Καταλήγοντας η όχληση από θόρυβο παρουσιάζει κάποιες επιπλέον επιβαρυντικές επιπτώσεις για την υγεία ανάλογα με την σύσταση και την ένταση του θορύβου όπως καρδιοαναπνευστικά προβλήματα, έλλειψη συγκέντρωσης και αϋπνία για μακροχρόνια έκθεση, ενώ για εντάσεις πάνω από <100dB μπορεί να παρατηρηθεί προσωρινή και μόνιμη απώλεια ακοής. Το πλέον επιβλαβές επίπεδο στάθμης αποτελεί αυτό των <120dB(A) το οποίο προκαλεί απόδινες μόνιμες βλάβες ακόμα και για σύντομες χρονικές περιόδους έκθεσης.

Η μέγιστη αρνητική επίπτωση της έκθεσης σε υψηλά επίπεδα θορύβου, για τα θηλαστικά αλλά και τα πτηνά αποτελεί, η δημιουργία η μεταβολή του κατωφλιού ακοής. Τα αποτελέσματα της μεταβολής του κατωφλιού τα οποία στην μελέτη του ανθρώπου τα ονομάζουμε βαρηκοΐα μπορούν να διακριθούν ως προσωρινά (TTS – Temporary Threshold Shift) ή μόνιμα (PTS – Permanent Threshold Shift). Κύριες αιτίες για την απώλεια ακοής στον άνθρωπο αποτελούν: η δημιουργία ακουστικού τραύματος¹⁷, η θορυβούμενης βαρηκοΐα¹⁸ και οι εκρήξεις¹⁹.

2.5.2.Επιπτώσεις στα ζώα

Σε επίπεδο ατόμου οι επιπτώσεις στα ζώα είναι αρκετά σπάνιες καθώς τα επίπεδα θορύβου είναι αρκετά μεγάλα και υπάρχουν μόνο σε πολύ κοντινές αποστάσεις από την πηγή, όμως προδιαγράφουν τα ζωτικά όρια ήχου για τα οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα να θέτουν τα όρια για την ακουστική εξάπλωση του ανθρώπου στο μέλλον.

Η σημαντικότερη επίπτωση της αλληλοεπικάλυψης (masking effect) αποτελεί ο περιορισμός της επικοινωνίας. Στα φωνητικά είδη η προαναφερθείσα επίπτωση μπορεί να επηρεάσει:

- Την αναπαραγωγή
- Την φυσιολογία
- Το φώλιασμα
- Την εύρεση τροφής
- Καρδιακούς παλμούς
- Σε επίπεδο πληθυσμού μέσω του γεωγραφικού αφανισμού

Το φαινόμενο της ηχητικής επικάλυψης μπορεί να εξεταστεί να εξεταστεί μέσω της δημιουργίας μοντέλων επικάλυψης διαφορετικών θορύβων προβλέποντας τα όρια ισχύος που προσβάλλουν τον ενεργό χώρο (Simonis et al., 2018; Sueur, Aubin, & Simonis, 2008).

2.6.Ακουστική οικολογία

Η ακουστική οικολογία αποτελεί τον πρώτο διεπιστημονικό κλάδο που εισάγεται από τον Καναδό, συνθέτη και περιβαλλοντολόγο R. Murray Schafer, με στόχο την συνολική μελέτη του ηχητικού περιβάλλοντος, ως αποτέλεσμα της αυξημένης ανάδειξης θεμάτων ηχητικής

ρύπανσης την περίοδο του 1960-1970. Ο Schafer με την ερευνητική του ομάδα ξεκινούν το παγκόσμιο πρόγραμμα ηχοτοπίων (The world soundscape project) (Yiannis G Matsinos, Tsaligopoulos A., & Economou, 2016; Ozga, 2017)) το 1972 στο πανεπιστήμιο Simon frascier, εστιάζοντας στην ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης.

Κεντρικό αντικείμενο μελέτης του νέου κλάδου υπήρξε το ‘ηχοτοπίο’, το οποίο διατυπώνεται στο βιβλίο «The Tuning of the World» και αποτελεί τον προσδιορισμό του πεδίου συλλογής ακουστικών πληροφοριών παρομοιάζοντας το με μία μουσική σύνθεση, η οποία έχει χάσει την αρμονία της από την εντεταμένη επέμβαση του ανθρώπου.

Ο Schafer ήταν ο πρώτος που εμφάνισε την ιδέα του προσδιορισμού του ήχου σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο (Ozga, 2017) και στόχος του παγκόσμιου προγράμματος ηχοτοπίων, αποτέλεσε η αξιολόγηση περιοχών μέσω καταγραφής και αρχειοθέτησης του παραγόμενου ήχου, ώστε να περιγραφούν τα αποτελέσματα της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο ηχητικό περιβάλλον και να εκτιμηθεί η επίδραση του συνολικού παραγόμενου ήχου στον άνθρωπο με σκοπό την πρόβλεψη και διαχείριση των προβλημάτων ηχορύπανσης. Το 1978 ο Barry Traux στο βιβλίο του “Handbook for Acoustic Ecology”, προσδιορίζει το ηχοτοπίο ως «το ηχητικό περιβάλλον με έμφαση στον τρόπο που γίνεται αντιληπτό και κατανοητό από τα άτομα ή από μια κοινωνία». Σύμφωνα με τον ίδιο, το ηχοτοπίο μίας περιοχής μπορεί να προσδιορίσει την σχέση και τα χαρακτηριστικά μίας κοινωνίας. Ο συγκεκριμένος ορισμός αργότερα κατοχυρώθηκε μέσω της διεθνούς οργάνωσης τυποποίησης (ISO) από την τεχνική επιτροπή ακουστικής (TC 43), ως τον προσδιορισμό του τρόπου εκτίμησης της ποιότητας του ηχοτοπίου (‘ISO/TC043’ Acoustics’, 2008).

Το 1993 ιδρύεται το διεθνές φόρουμ για την ακουστική οικολογία, με στόχο την εκπαίδευση και εξοικείωση μέσω της ακρόασης των περιβαλλοντικών ήχων, την μελέτη των διαφορών πτυχών του ηχητικού περιβάλλοντος, την προστασία του φυσικού τοπίου και τον σχεδιασμό ενός υγιούς ηχητικού περιβάλλοντος. Η Ελληνική Εταιρεία Ακουστικής Οικολογίας δημιουργήθηκε το 2005 στην Κέρκυρα με έδρα το Εργαστήριο Ηλεκτροακουστικής Μουσικής και Εφαρμογών του Τμήματος Μουσικών Σπουδών του Ιονίου Πανεπιστημίου και αποτελεί μέλος του Διεθνές Φόρουμ για την Ακουστική

Οικολογία, με προσεγγίσεις και στόχους ταυτόσημους με αυτούς του παγκόσμιου προγράμματος ηχοτοπίων (The world soundscape project).

Εντούτοις, το καινοτόμο πεδίο της ακουστικής οικολογίας αν και συνέβαλε καθοριστικά στην ευαισθητοποίηση, την εκπαίδευση και την προσπάθεια βελτιστοποίησης του ακουστικού περιβάλλοντος, βρίσκεται πολύ μακριά από τις βασικές προσεγγίσεις της οικολογίας. Τα αποτελέσματα τις έρευνας εξαρτώνται από την ανθρώπινη εμπειρία ακρόασης του ηχητικού περιβάλλοντος σε πρώτο πρόσωπο και όχι από την αλληλεπίδραση του με τους έμβιους οργανισμούς, καθιστώντας της συγκεκριμένη προσέγγιση περισσότερο φαινομενολογική παρά οικολογική. Η προσπάθεια μετεξέλιξης της ακουστικής οικολογίας από έναν γενικό και ανθρωποκεντρικό τομέα έρευνας (Ozga, 2017), σε ένα περισσότερο οικολογικό επιστημονικό πεδίο, γίνεται μέσω της επαναπροσέγγισης του όρου ηχοτοπίο και έχει ως αποτέλεσμα την ανάδειξη δύο νέων επιστημονικών κλάδων συνολικής μελέτης του ακουστικού περιβάλλοντος,

της οικολογίας ηχοτοπίου και της οικολογικής ακουστικής ((Y. G. Matsinos, Tsaligopoulos, & Economidou, 2017)).

2.7.Οικολογία ηχοτοπίου

Η οικολογία ηχοτοπίου εισάγεται για πρώτη φορά τον Απρίλιο του 2009 από τον Bryan Rijanowski και τον Almo Farina, ως αποτέλεσμα της σύνδεσης της βιοακουστικής και της οικολογίας τοπίου. Οι επιστημονικές προσεγγίσεις μέσω του οποίου η οικολογία τοπίου μελετά την δομή, τις λειτουργίες, την δυναμική ενός φυσικού τοπίου με σκοπό να ερμηνευτούν οι οικολογικές διαδικασίες του και οι επιπτώσεις των ανθρωπογενών παρεμβάσεων, εφαρμόζονται στην μελέτη του ηχητικού περιβάλλοντος με στόχο την περαιτέρω ανάλυση των σχέσεων φυσικού τοπίου και βιοποικιλότητας. Το ηχοτοπίο επαναπροσδιορίζεται, ως η συνολική ηχητική ενέργεια που παράγεται από ένα φυσικό τοπίο (Farina & James, 2016), η οποία αποτελείται από τρεις κατηγορίες ήχων τον βιοφωνικό (φωνητικά καλέσματα, τραγούδια πτηνών-αμφιβίων), τον ανθρωπογενή (Οδική κυκλοφορία, Αεροπορικός θόρυβος) και τον γεωφωνικό (γεωφυσικοί ήχοι όπως το Θρόισμα φύλλων, (Rijanowski et al., 2011) καταρράκτες κτλ).

Στην οικολογία τοπίου τα χωρικά πρότυπα του τοπίου, τα όποια αποτελούν την σύνθεση και χωρική δομή των επιμέρους στοιχείων του, συντελούν στην μοναδικότητα του τοπίου, η οποία συνδέεται με τις οικολογικές διεργασίες που μπορεί να υποστηρίξει, μέσω της διάθεσης των πόρων. Παρομοίως, στην οικολογία ηχοτοπίου υπάρχουν τα sonotopes, ηχητικά πρότυπα τα οποία δημιουργούνται μέσω της σύνθεσης της ανθρωποφωνίας, της γεωφωνίας και της βιοφωνίας, τα οποία μπορούν να προσδώσουν την λειτουργικότητα των επιμέρους τμημάτων του τοπίου, μέσω της χώρο-χρονικής κατανομής των φωνητικών λειτουργιών των ζώων, όπως η επικοινωνία, τα αναπαραγωγικά καλέσματα, τα σήματα κινδύνου (Dooling & Popper, 2016) τα οποία ονομάζονται soundtopes (A. Farina, Buscaino, Ceraulo, & Pieretti, 2014).

Παράλληλα, ο συνδυασμός ήχων που προέρχονται από διαφορετικά soundtopes αποκαλείται sonotopes.

Η διάθεση των πόρων σε ένα φυσικό τοπίο ή στα επιμέρους τμήματα του, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ύπαρξη ζωής. Οι οργανισμοί με μια συγκεκριμένη διαδικασία που ονομάζεται βιοσημείωση, ερμηνεύουν και παράγουν πληροφορίες για το περιβάλλον τους, μέσω σημειωτικών διαδικασιών χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις τους, όπως η ακοή η όσφρηση και η όραση (Barbieri, 2008). Παράλληλα η χρήση των αισθήσεων αποτελεί παράγοντα συνδεδεμένο με την ικανότητα επιβίωσης, καθώς σχετίζεται με ένα σύνολο απαραίτητων βιολογικών λειτουργιών. Σύμφωνα με την θεωρία του οικο-πεδίου τα ειδή προσανατολίζονται βιοσημειωτικά στον χώρο ανάλογα με την διάθεση των πόρων, ώστε το ενδιαίτημα που θα επιλέξουν να καλύπτει τις βιολογικές ανάγκες συμπεριλαμβανομένων και των λειτουργιών που σχετίζονται με τις αισθήσεις, όπως η παραγωγή και ανίχνευση των ηχητικών σημάτων για τα φωνητικά είδη. Κάθε τμήμα του φυσικού τοπίου ανάλογα με τα οικολογικά χαρακτηριστικά που διαθέτει, μπορεί να αποτελέσει ένα οικολογικό πεδίο ικανό να υποστηρίξει μία η περισσότερες λειτουργίες. Με αυτό τον τρόπο ο εντοπισμός των φωνητικών σημάτων στην

οικολογία ηχοτοπίου χρησιμοποιείται ως τεκμήριο για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας του τοπίου.

2.8. Οικολογική ακουστική

Η οικολογική ακουστική αποτελεί ένα νέο επιστημονικό πεδίο μελέτης των οικολογικών χαρακτηριστικών του ηχητικού περιβάλλοντος, ο οποίος εισάγεται τον Ιούνιο του 2014 στο πρώτο συνέδριο της διεθνούς εταιρίας οικoακουστικής (ISE, <https://sites.google.com/site/ecoacousticssociety/about>), το οποίο οργανώνεται από τον Jerome Sueur και τον Almo Farina. Αντικείμενο της νέας επιστήμης αποτελεί η μελέτη του περιεχομένου του ήχου σε ένα ευρύ φάσμα χωρικής και χρονικής κλίμακας, προσεγγίζοντας οικολογικά ζητήματα όπως η διαχείριση της βιοποικιλότητας. Ο συγκεκριμένος κλάδος περιλαμβάνει την οικολογία ηχοτοπίου και συνδέεται στενά με τη βιοακουστική, αν και διαφέρουν ως επιστήμες. Στην οικολογική ακουστική ο ήχος αναγνωρίζεται ως δείκτης οικολογικών διεργασιών σε επίπεδο πληθυσμού και κοινότητας, ενώ η βιοακουστική μελετά τα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά των ζώων μέσω των ήχων που παράγουν (Sueur και Farina, 2015).

Στον τομέα των υποθέσεων της οικολογικής ακουστικής (ecoacoustics) γίνεται συνδυασμός της υπόθεσης του ακουστικού θώκου και της υπόθεσης της ακουστικής προσαρμογής. Ο συνδυασμός των δύο θεωριών αποπειράται να εξηγήσει τις οικολογικές διεργασίες σε επίπεδο πληθυσμού κοινότητας και τοπίου. Ο ακουστικά ενεργός χώρος ενός είδους επηρεάζεται άμεσα από τους εξής παράγοντες:

- Το εύρος του σήματος στην ηχητική πηγή
- Το ποσοστό εξασθένισης του σήματος καθώς μεταδίδεται στο περιβάλλον
- Το εύρος του περιβάλλοντος θορύβου (ambient noise)
- Το αισθητηριακό κατώφλι (sensory threshold)

Η διερεύνηση των φυσικών και ανθρωπογενών ήχων και η σχέση τους με το περιβάλλον χρησιμοποιώντας το επιστημονικό υπόβαθρο της οικολογίας ηχοτοπίου και της βιοακουστικής, με αρκετές διαφορές στην εννοιολογία και στην κλίμακα εστίασης, με σκοπό την περεταίρω εξαγωγή πληροφοριών για τα οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα η παρακολούθηση του ηχητικού περιβάλλοντος στην οικολογική ακουστική χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις εξελικτικές λειτουργίες, την χώρο-χρονική κατανομή, την αφθονία και την ποικιλότητα των ειδών ενός ενδιαίτηματος, επίσης μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την αλληλεπίδραση με τις κλιματολογικές συνθήκες, την διάθεση των πόρων και την ανθρώπινη. Επιπρόσθετα, ο ήχος αποτελεί το αντικείμενο μελέτης καθώς εξετάζονται οι ιδιότητες οι λειτουργίες και η εξέλιξη του σε σχέση με τις περιβαλλοντικές πίεσης όπως η κλιματική αλλαγή.

Το οικoακουστικό γεγονός (ecoacoustic event) είναι ένας φορέας σημαντικών πληροφοριών και κομμάτι του ακουστικού περιβάλλοντος που έχει συγκεκριμένο οικολογικό ρόλο. Οι πληροφορίες που αναδύονται από ένα οικoακουστικό γεγονός αξιοποιούνται από τον εκάστοτε οργανισμό προκειμένου να ικανοποιήσει τις λειτουργικές του ανάγκες και τελικά να επιβιώσει (Farina και Salutati 2016). Ανάλογα με τον αριθμό των ακουστικών δρώντων (acoustic agents),

ένα οικοακουστικό γεγονός θεωρείται απλό όταν προκύπτει από μία πηγή (π.χ. κάλεσμα- συναγεμμός ενός πουλιού) ή σύνθετο όταν δύο ή παραπάνω ακουστικοί δρώντες επικαλύπτονται ή αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (π.χ. πουλιά κελαηδούν κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης). Τα οικοακουστικά γεγονότα ανιχνεύονται και αναλύονται με ένα νέο βιοσημειωτικό μοντέλο που ονομάζεται Ανίχνευση και Ταυτοποίηση Οπτικοακουστικού Γεγονότος (Ecoacoustics Event Detection and Identification) (Farina et al. 2016).

Ακουστικά ενεργός χώρος καλείται η απόσταση στην οποία ένας αποστολές μπορεί να μεταδώσει επαρκώς το ηχητικό σήμα στον αποδέκτη, η οποία εξαρτάται τόσο από την ανατομία των ακουστικών οργάνων του πομπού και του δέκτη, όσο από την αναλογία του σωματολογικού θορύβου.

Όταν ένα μέρος της ενέργειας που μεταφέρουν τα κύματα μετατρέπεται σε ενέργεια άλλης μορφής το φαινόμενο ονομάζεται εξασθένηση. Καθώς μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην πληθυσμιακή ισορροπία μεταξύ θηρευτών και θηραμάτων καθώς ανάλογα με την ένταση του θορύβου σε ένα οικοσύστημα ικανότητα επιβίωσης θηρευτών και θηραμάτων μειώνεται ανάλογα με την ένταση του θορύβου σε ένα οικοσύστημα, οδηγώντας σε διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος, την πληθυσμιακή πυκνότητα του θηράματος και του αρπακτικού (Liu & Tang, 2013).

2.9.Αξιολόγηση βιοποικιλότητας

Μια από τις βασικές προσεγγίσεις της βιολογίας της διατήρησης αποτελεί η αξιολόγηση της βιοποικιλότητας για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ποικιλία, την αφθονία και την γεωγραφική εξάπλωση των οργανισμών, σε σχέση με την σύσταση του περιβάλλοντος και την ανθρωπογενών επεμβάσεων σε αυτό. Όμως πολλές φορές μια ολική καταγραφή προϋποθέτει μακροχρόνιες και δαπανηρές μεθόδους καθιστώντας την σπάνια, έως αδύνατη.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων στην αξιολόγηση βιοποικιλότητας οδήγησε σε νέες ταχείες προσεγγίσεις, με την χρήση μικρότερης χωρικής και κυρίως χρονικής κλίμακας. Από την δεκαετία του 1990 έως σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες με την χρήση τις συγκεκριμένης μεθόδου, με στόχο την άμεση εξαγωγή δεδομένων για την διαχείριση. Η περιγραφή της βιοποικιλότητας για τα χερσαία και τα παράκτια οικοσυστήματα μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την προσέγγιση. Η εστίαση των μελετών μπορεί να περιλαμβάνει την συνολική ποικιλομορφία, συγκεκριμένη ταξινομική ομάδα (πχ πτηνά, φυτά) και ειδικότερες κατηγορίες (πχ πόδια βλάστηση, αρπακτικά ημερήσια πτηνά). Τα αποτελέσματα μπορούν να περιγράψουν την αφθονία την ομοιογένεια και την ποικιλότητα των ειδών ενός οικοσυστήματος, καθώς επίσης την γενική υγεία του οικοσυστήματος και την αξιολόγηση των πόρων. Τέλος, μέσω της επανάληψης προσδιορίζονται οι άμεσες επιδράσεις των μεταβολών στο οικοσύστημα, όσον αφορά τους οργανισμούς.

Η σχεδίαση ταχείας αξιολόγησης προϋποθέτει κάποια σημαντικά στοιχεία (Patrick, 2014) όπως :

- Τα είδη της αξιολόγησης
- Το χρονοδιάγραμμα των σταδίων σχεδιασμού, προετοιμασίας, υλοποίησης και υποβολής εκθέσεων διάδοσης των αποτελεσμάτων.

- Την χωρική κλίμακα της μελέτης
- Τα υφιστάμενα δεδομένα που αφορούν την έρευνα
- Τα διαθέσιμα μέσα και τον χρόνο
- Πεδίο εφαρμογής
- Δεδομένα και τρόπος συλλογής
- Ευκαιρίες συνεργασίας με ΜΚΟ και κοινοτικές ομάδες

Στην ταχεία αξιολόγηση της ορνιθοπανίδας η μέθοδος point count έχει καθιερωθεί τα τελευταία χρόνια. Η μέθοδος προϋποθέτει την σχεδίαση νοητού κύκλου με συγκεκριμένη χωρική κάλυψη η οποία μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του οικοσυστήματος. Έπειτα παρατηρείται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ενώ παράλληλα προστίθεται η βιοποικιλότητα εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος. Η αποφυγή της χρονικής περιόδου των οικοακουστικών γεγονότων όπως down chorus και dusk chorus προτείνεται με το σκεπτικό της απομάκρυνσης της ενδεχόμενης μεροληψίας ανάλογα με το είδος των πτηνών. Ως αποτέλεσμα της αξιολόγησης εξάγονται δείκτες αφθονίας (abundance) σε σχέση με τον χρόνο, οι οποίοι συνδυάζονται με περιβαλλοντικές παραμέτρους και παράγουν χρήσιμες πληροφορίες για την ταχεία αξιολόγηση. Οι δείκτες χρησιμοποιούν τα παρατηρούμενα δεδομένα, ώστε να προβλέψουν τον αριθμό των ειδών, την ποικιλότητα και την ομοιομορφία (Patrick, 2014).

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, αρκετοί δείκτες αναπτύχθηκαν στην επιστήμη της οικολογίας με στόχο την εκτίμηση της βιοποικιλότητας. Η πλειοψηφία αυτών αφορά στην ποικιλία και την αφθονία ειδών/ατόμων, με αρκετούς να συμπεριλαμβάνουν γενετικά και φυλογενετικά χαρακτηριστικά. Παραδείγματα τέτοιων δεικτών αποτελούν ο δείκτης γενικής πυκνότητας (general density), ο δείκτης σχετικής αφθονίας (relative abundance) και ο δείκτης Shannon20. Οι συγκριμένοι δείκτες μπορούν να διακριθούν ανάλογα με το εάν η αξιολόγηση της βιοποικιλότητας αφορά ομάδες εντός η εκτός, της ίδιας περιοχής, ενδιαιτήματος η χρονικού συμβάντος. Η ποικιλότητα μεταξύ της ίδιας ομάδας ονομάζεται α-ποικιλότητα και η μεταξύ των ομάδων β-ποικιλότητα.

2.10. Ακουστικές μέθοδοι αξιολόγησης βιοποικιλότητας

2.10.1. Ακουστικοί καταγραφείς

Οι ακουστικές καταγραφές έχουν αναδεχτεί τα τελευταία χρόνια, ως μέθοδοι αξιολόγησης βιοποικιλότητας. Τα αποτελέσματα των καταγραφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτοτελείς μέθοδοι αξιολόγησης βιοποικιλότητας ή να συνδυαστούν με άλλες μεθόδους παρατήρησης, όπως οι ορθολογικές μέθοδοι που αναφέρονται παραπάνω. Στην αποτελεσματικότητα των ακουστικών μεθόδων συμβάλει, η αντικατάσταση του συνεχούς αναλογικού σήματος με το μη συνεχές ψηφιακό σήμα, καθώς και η παραγωγή ψηφιακού τύπου αρχείων wav (wave audio file format), που δίνουν την δυνατότητα μετ'ανάλυσης των δεδομένων των βιοακουστικών σημάτων. Η χρήση των λογισμικών ανοικτού κώδικα επεξεργασίας, πλέον δίνει την δυνατότητα ανάλυσης των φωνητικών ειδών για ένα μεγάλο αριθμό ταξινομικών ομάδων που συμπεριλαμβάνονται σε ακουστικές κοινότητες διαφορετικού εύρους συχνοτήτων. Παράλληλα η παροχή πληροφοριών για ακουστικές παραμέτρους

διαφορετικών φωνοποιήσεων αυτή την δυνατότητα πλέον συμβάλουν σε μεγάλο επίπεδο η παροχή ακουστικών πληροφοριών και η αποθήκευση σε βάσεις δεδομένων όπως το xeno-canto (<https://www.xeno-canto.org/>).

Το χρονικό διάστημα των καταγραφών όπως και η κλίμακα εστίασης διαφέρει ανάμεσα στα επιστημονικά πεδία της βιοακουστικής, της ακουστικής οικολογίας, της οικολογίας ηχοτοπίου και της οικολογικής ακουστικής. Ως αποτέλεσμα ο τεχνικός εξοπλισμός της καταγραφής διαφέρει ανάλογα με το αντικείμενο μελέτης και το εύρος συχνοτήτων της επιλεγόμενης ακουστικής κοινότητας ή του ατόμου που συμπεριλαμβάνεται σε αυτή. Οι μονόπλευρες καταγραφές (On-Site Measurements) στην βιοακουστική, για την μελέτη των ακουστικών σημάτων εστιασμένες σε άτομα ενός πληθυσμού, προϋποθέτει την χρήση του ανάλογου καταγραφικού εξοπλισμού, όπως κατευθυντικά μικρόφωνα (Directional microphones) τύπου shotgun. Επιπροσθέτως τα μικρόφωνα μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την ακουστική κοινότητα μελέτης, για παράδειγμα στην ανίχνευση των υπερηχητικών σημάτων από τις νυχτερίδες έχουν αναπτυχθεί πολλοί καταγραφείς τύπου σόναρ και στα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι απαραίτητη η χρήση υδροφώνων (hydrophone). Στα επιστημονικά πεδία της συνολικής καταγραφής του ηχοτοπίου όπως η ακουστική οικολογία, η οικολογία ηχοτοπίου και η οικολογική ακουστική, χρησιμοποιούνται δύο μικρόφωνα για την καταγραφή στερεοφωνικού ήχου (stereo-sound). Η συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα εμπίπτει στην ανάγκη για καταγραφή που να προσομοιάζει την ακρόαση από το ακουστικό σύστημα πολλών χερσαίων, θαλασσιών θηλαστικών και πτηνών, ενώ οι συχνότητες κάλυψης αντιπροσωπεύουν το ανθρώπινο ακουόγραμμα το οποίο συνήθως καλύπτει κάποιες από τις παραπάνω ταξινομικές ομάδες.

Καταλήγοντας σύμφωνα με τον Farina οι αυτόματοι καταγραφείς ανίχνευσης και ιδιαίτερα οι 24ωροι, εισάγουν μία νέα εποχή στην συνολική καταγραφή των ακουστικών ενδιατημάτων. Το πεδίο της οικολογικής ακουστικής αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση βιοποικιλότητας αξιοποιώντας δεδομένα ηχοτοπίου. Το γεγονός πως κάθε αλλαγή στο περιβάλλον έχει άμεσο αντίκτυπο στην ακουστική συμπεριφορά των οργανισμών, καθιστά τους ήχους σημαντικό εργαλείο ανίχνευσης συμπεριφορικών διαφοροποιήσεων που συνδέονται και με την κλιματική αλλαγή σε κλίμακα μεμονωμένων ειδών, πληθυσμών, κοινοτήτων και τοπίων (Krause & Farina, 2016). Οι συγκεκριμένες αλλαγές μπορούν να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια μέσω μία ολικής καταγραφής του από μεριάς χρόνου εμβαθύνοντας στην αλληλεπίδραση των στοιχείων που συνθέτουν το ηχοτοπίο.

2.11.Φασματογράφημα ήχου

Η γραφική απεικόνιση μίας ηχητικής καταγραφής συνήθως αναπαριστάται με μία κυματομορφή η οποία αντιπροσωπεύει την πίεση του ηχητικού κύματος σε σχέση με τον χρόνο, ενώ για την οπτική παρατήρηση των ηχητικών σημάτων είναι απαραίτητο η απεικόνιση να περιγράφει την πίεση ως πλάτος κατά μήκος του άξονα συχνοτήτων (Farina, 2014). Η τελική απεικόνιση όλων των συντελεστών των πλατών, σε σχέση με τον χρόνο ονομάζεται φασματογράφημα. Είναι ένας τρόπος ανάδειξης των διακυμάνσεων συχνοτήτων (άξονας x) στο χρόνο (άξονας y), με το χρώμα να συμβολίζει την ηχηρότητα. Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά

του ηχοτοπίου, όπως η βιοφωνία που αφορά τις φωνητικές διεργασίες των πτηνών και άλλων ζώων, η γεωφωνία που ενσωματώνει όλους τους ήχους που προέρχονται από γεωφυσικές διεργασίες όπως το θρόισμα των φύλλων και η βροχή και η ανθρωποφωνία που εμπεριέχει όλους τους ανθρωπογενείς ήχους που προέρχονται από τις κατασκευές του ανθρώπου μπορούν να διακριθούν μέσω της κάλυψης των συχνοτήτων τους, στο φασματογράφημα.

Για την συγκεκριμένη μετατροπή χρησιμοποιείται μία μέθοδος η οποία έχει ως βάση την ανάλυση Fourier, η μικρού χρονικού διαστήματος ανάλυση Fourier (Short Time Fourier Transform) (Lenssen & Needell, 2014). Ο μετασχηματισμός διαιρεί την καταγραφή σε τμήματα κατά πλάτος εστιάζοντας στην ανάλυση των συχνοτήτων, ενώ αντίθετα μια κατακόρυφη διαίρεση του φάσματος παρείχε καλύτερη ανάλυση του χρόνου, όμως ανεπαρκή περιγραφή των συχνοτήτων (Farina, 2014). Η ολοκλήρωση του φασματογραφήματος γίνεται με την ένωση των τμημάτων, παρέχοντας μία ολοκληρωμένη απεικόνιση του διαγράμματος συχνοτήτων σε σχέση με τον χρόνο μέσω του διαφορετικού χρωματισμού του συνολικού φάσματος σε κάθε σημείο, παρέχοντας ένα σημαντικό εργαλείο της μελέτης του ήχου (Farina & Pieretti, 2012).

2.12. Ακουστικοί Δείκτες

Οι ακουστικοί δείκτες προέκυψαν από την δυνατότητα ψηφιοποίησης των ηχητικών καταγραφών που παρείχε η κυματομορφή και το φασματογράφημα του ήχου. Πιο αναλυτικά, ως ακουστικός δείκτης μπορεί να οριστεί, το στατιστικό μέγεθος που συνοψίζει κάποια πτυχή της κατανομής της ακουστικής ενέργειας και άλλων πληροφοριών σε μια ηχογράφιση. Αντιθέτως με τους κλασικούς οικολογικούς δείκτες που περιγράφουν διάφορες πτυχές της ποικιλότητας των ζωικών κοινοτήτων, οι ακουστικοί δείκτες εκτιμούν την ηχητική ποικιλομορφία που προέρχεται από τα φυσικά περιβάλλοντα. Οι ακουστικοί δείκτες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις ηχητικές παραμέτρους υπολογισμού σε δείκτες κυματομορφής (waveform indices), σε φασματικούς δείκτες (spectral indices) και σε δείκτες δεύτερης γενιάς (second order indices). Συνεπώς, το αντικείμενο αξιολόγησης αφορά την ακουστική κοινότητα ή το ηχητικό υπόβαθρο. Η εκπομπή ήχου ζώων μπορεί να στιγματιστεί σε μια ομάδα, μια κοινότητα, ένα τοπίο ή σε διαφορετικές ομάδες ταυτόχρονα. Παρομοίως με τους κλασικούς δείκτες καθίσταται αναγκαία η εκτίμηση τόσο της ακουστικής ποικιλομορφίας εντός (α) όσο και μεταξύ (β) των ομάδων. Διάφοροι α-ακουστικοί δείκτες έχουν αναπτυχθεί για να προσπαθήσουν να εκτιμήσουν τον πλούτο ή την πολυπλοκότητα μιας ακουστικής κοινότητας ή του ηχητικού σκηνικού. Οι ακουστικοί δείκτες α-ποικιλότητας μπορούν να προκύψουν από την μελέτη των ακουστικών παραμέτρων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις ακουστικές παραμέτρους που χρησιμοποιούν:

- Δείκτες έντασης (sound intensity indicator)
- Δείκτες ακουστικής πολυπλοκότητας (sound complexity indicators)
- Δείκτες ηχοτοπίου (soundscape indicators)

Πέραν τις γενικής χρήσης για της για την ανάδειξη των επιπέδων θορύβου, η ηχητική στάθμη (L) και οι επιμέρους δείκτες που μπορούν να προκύψουν ανάλογα με τις παραμέτρους στάθμισης (πχ. Lden, LAeq, LAFmax),

έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων στην βιοποικιλότητα αλλά και για την παρακολούθηση των προστατευόμενων οικοσυστημάτων.

Ο υπολογισμός των δεικτών ποικιλότητας βασίζεται στην υπόθεση ότι η ακουστική παραγωγή μιας κοινότητας ή ενός τοπίου θα αυξηθεί σε πολυπλοκότητα με τον αριθμό των ατόμων και των ειδών που τραγουδούν. Παράδειγμα αποτελεί μία εκ των πρώτων προσεγγίσεων η οποία διενεργήθηκε από τους Boelman (2007), για τον υπολογισμό της παρουσίας της ορνιθοπανίδας σε μία περιοχή δίνοντας μια αντιπροσωπευτική τιμή με την χρήση του βιοακουστικού δείκτη. Το αποτέλεσμα του δείκτη εξαρτάται τόσο από το επίπεδο της έντασης, όσο από την συστοιχία συχνοτήτων που καταλαμβάνουν τα είδη της καταγραφής. Ο δείκτης υπολογίζει τις συστοιχίες από το μέσο του φασματογραφήματος (1000-11000 HZ) αποκλείοντας τις κατώτερες συστοιχίες που συχνά αποτελούνται από μη βιοτικούς ήχους (0-1000 Hz).

Οι Villanueva-Rivera, Pijanowski, Doucette και Pekin (2011) ανέπτυξαν τον δείκτη ακουστικής ποικιλότητας (ADI), ο οποίος παρόμοια με τον δείκτη ακουστικής εντροπίας χρησιμοποιεί τον δείκτη Shannon για την εκτίμηση της ακουστικής πολυπλοκότητας. Ο δείκτης ακουστικής ποικιλότητας αρχικά διαιρεί το φασματογράφημα σε συστοιχίες (Bands) συχνοτήτων 1.000 Hz, υποθέτοντας ότι κάθε μία καλύπτεται από τα καλέσματα ενός είδους πτηνού. Έπειτα από τον διαχωρισμό του φασματογραφήματος εφαρμόζεται ο δείκτης Shannon για την εκτίμηση της πολυπλοκότητας που προκύπτει για τις συστοιχίες με συγκεκριμένο όριο έντασης (Threshold) τα -50 dB. Οι ίδιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη ακουστικής ομοιομορφίας (AEI), που αναπτύχθηκε επίσης από τους Villanueva-Rivera et al. (2011). Αντιθέτως, με τον δείκτη ακουστικής ποικιλότητας (ADI) ο δείκτης ακουστικής ομοιομορφίας (AEI) εφαρμόζει τον συντελεστή Gini στις διαχωρισμένες συστοιχίες των 1000Hz. Ως αποτέλεσμα ο δείκτης που δημιουργήθηκε έχει αρνητική σχέση με τον (ADI) και έχει διαπιστωθεί ότι θα μπορούσε να δώσει αντίστροφα αρνητικά αποτελέσματα όταν σε όλη την διάρκεια του δείγματος ακουστικής καταγραφής ο περιβαλλοντικός θόρυβος κυριαρχούσε πάνω από την «βιοφωνία», όπως συμβαίνει συχνά σε εύκρατα ενδιαιτήματα.

Ο δείκτης Shannon επιλέχτηκε από τους Sueur et al. (2008b) για την ανάπτυξη του δείκτη ακουστικής εντροπίας (H). Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται στον υπολογισμό δύο επιμέρους δεικτών του δείκτη χρονικής εντροπίας (Ht) και τον δείκτη φασματικής εντροπίας (Hf). Η φασματική εντροπία, (Hf) λαμβάνεται εφαρμόζοντας την ομαλότητα Shannon στο μέσο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο καλύπτεται από φωνητικά είδη και κυρίως τα πτηνά. Παράλληλα η χρονική εντροπία, Ht υπολογίζεται επί του εύρους φάσματος των σημάτων τα οποία μετασχηματίζονται. Ο δείκτης (H) τείνει προς το 0 για ένα μόνο τόνο στο εύρος της μέσης του φάσματος, ενώ τείνει προς το 1 με αύξηση του μήκους των καλυπτόμενων συχνοτήτων όσο και με την αύξηση του πλάτους από έντονο θόρυβο. Η ανάδειξη του δείκτη έγινε σε έρευνα σε δύο παράκτιες δασικές περιοχές της Τανζανίας με έντονη ξηρασία, εκ των οποίων η μία αποτελεί παρθένο δάσος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο δείκτης αυξάνεται θετικά, με την αφθονία των πτηνών στα ενδιαιτήματα ενώ συσχετίστηκε με κλασσικές μεθόδους παρακολούθησης ορνιθοπανίδας. Η υψηλότερη ποικιλότητα εντοπίστηκε στο παρθένο δάσος, ως αποτέλεσμα του μεγαλύτερου αριθμού ειδών και της ισορροπίας στη σχετική αφθονία τους.

Ο δείκτης εντροπίας (H) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά με σκοπό να συγκριθούν ως προς την α-ποικιλότητα, δύο παράκτια δάση της Τανζανία με διαφορετικούς βαθμούς αποικοδόμησης και κλιματολογικά χαρακτηριστικά τα οποία βρίσκονται στην κοιλάδα Rufiji. Σε μία σειρά οικoακουστικών γεγονότων και συγκεκριμένα ενός down chorus δύο χρονικών περιόδων dusk chorus με διαφορετική σύσταση ορνιθοπανίδας, ο δείκτης ακουστικής εντροπίας συσχετίστηκε θετικά με τον αριθμό των ειδών S. Το θερμότερο, ξηρότερο και λιγότερο ανεμώδες και νεφώδες δάσος Ngumburuni, το οποίο είχε υλοτομηθεί σε μεγάλο βαθμό την περίοδο της γερμανικής αποικιοκρατίας εμφάνισε μικρότερες τιμές H από το παρθένο δάσος Kichi Hills στο οποίο δεν υπήρξε εντεταμένη ανθρώπινη παρουσία, λόγω δυσκολίας πρόσβασης. Επιπλέον τα οικoακουστικά γεγονότα είχαν μεγαλύτερες τιμές και μικρότερη διακύμανση στο παρθένο δάσος.

Ο δείκτης ακουστικής πολυπλοκότητας (ACI) των Pieretti, Farina και Morri (2011), αποτελεί έναν εκ των πλέον χρησιμοποιούμενων δεικτών που βασίζεται στην παρατήρηση πως οι βιοτικοί ήχοι όπως το τραγούδι των πουλιών, χαρακτηρίζονται από μια μεταβλητότητα εντάσεων, ενώ οι ανθρωπογενείς ήχοι, παρουσιάζουν σταθερές τιμές έντασης. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζει τον αριθμό των μεγάλων κορυφώσεων (peaks) όσον αφορά την ένταση, σε ένα φασματογράφημα. Ο δείκτης Ακουστικής Πολυπλοκότητας έχει βασιστεί στην παρατήρηση ότι η πλειοψηφία των βιοτικών ήχων, σε αντίθεση με τους περισσότερους ανθρωπογενείς ήχους, έχουν μια εγγενή πολυπλοκότητα. Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζει τη μεταβολή καταγεγραμμένων εντάσεων σε κάθε αντιστοιχία χρόνου - συχνότητας σε ένα φασματογράφημα, δίδοντας έμφαση στους ήχους που χαρακτηρίζονται από έντονες ενεργειακές διαφοροποιήσεις, μειώνοντας παράλληλα άλλους ήχους με περισσότερο “σταθερά” ενεργειακά χαρακτηριστικά. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί ένας γρήγορος, έμμεσος τρόπος ανάδειξης της πολυπλοκότητας του ηχοτοπίου, αποκλείοντας τους σταθερούς σε ένταση ήχους όπως οι περισσότερες περιπτώσεις ανθρωποφωνίας και συγκεκριμένες περιπτώσεις της γεωφωνίας. Ο δείκτης ακουστικής πολυπλοκότητας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε μελέτη που έγινε στην Τοσκάνη στο Εθνικό Πάρκο Βουνών Απεννίν (Βόρεια Ιταλία) του οποίου η βλάστηση καλύπτεται σε μεγάλο ποσοστό από δάσος οξιάς (*Fagus sylvatica*) μεταξύ Ιουνίου και Ιουλίου του 2011. Στα αποτελέσματα της έρευνας η ηχητική καταγραφή και η ψηφιακή ανάλυση των φωνητικών προτύπων (τραγούδια, καλέσματα) αναδεικνύονται ως αποδοτικά εργαλεία στην περιγραφή των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων των φωνητικών καλεσμάτων των πτηνών. Ο δείκτης ακουστικής πολυπλοκότητας συσχετίστηκε θετικά με τον αριθμό φωνητικών καλεσμάτων, ενώ η τιμή του αυξάνονταν με τον χρόνο τραγουδιών πουλιών. Τα αποτελέσματα του δείκτη αναδεικνύουν σε αρκετές περιπτώσεις την καταλληλότητα του στο να αποτιμήσει με επαρκή τρόπο τον αριθμό των φωνητικών καλεσμάτων και να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο της αποτίμησης της ορνιθοπανίδας σε μία περιοχή.

Ο επαναπροσδιορισμός του όρου ηχοτοπίο και ο διαχωρισμός των επιμέρους «συστατικών του» ανθρωποφωνία, γεωφωνία και βιοφωνία, έδωσε το έναυσμα για τη δημιουργία μίας οικογένειας δεικτών. Η βασική ιδέα προϋποθέτει να εκτιμηθεί η αναλογία της βιοφωνίας έναντι της γεωφωνίας και της ανθρωποφωνίας. Ο διαχωρισμός των πηγών αυτών των τριών συνιστωσών δεν είναι εύκολο έργο. Συνήθως χρησιμοποιείται μία απλή προσέγγιση η οποία

χωρίζει το φασματικό προφίλ του ηχοτοπίου σε δύο περιοχές, η πρώτη κατηγορία συχνοτήτων κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2 kHz η οποία βάση αποτελείται κυρίως από ανθρωποφωνία, και σε συχνότητες μεταξύ 2 και 8 kHz που καταλαμβάνεται από την βιοφωνία. Ο ήχος λόγω του ανέμου ή της βροχής θα καλύπτει ολόκληρο το φάσμα εμφανίζοντας περισσότερη ενέργεια στις χαμηλότερες συχνότητες.

Παράδειγμα δείκτη ηχοτοπίου ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια σε πλήθος μελετών για την ανάδειξη της προκαλούμενης διαταραχής από την συμβολή της ανθρωποφωνίας στο ηχητικό περιβάλλον έναντι της βιοφωνίας αποτελεί ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς ηχοτοπίου (NDSI)²⁴. Ο δείκτης χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών μεταξύ -1 έως +1, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την απόλυτη επικράτηση των ανθρωπογενών και βιογενών ήχων αντίστοιχα (Kasten, Gage, Fox, & Joo, 2012). Ο δείκτης αξιολογεί το γεγονός πως οι ανθρωποήχοι κυμαίνονται κυρίως μεταξύ του εύρους συχνοτήτων 1 - 2 kHz, ενώ οι βιοήχοι μεταξύ 2 - 8 kHz. Στην Ελλάδα σε έρευνα που διεξήχθη για την αξιολόγηση των ήσυχων περιοχών του αστικού συγκροτήματος της Μυτιλήνης (Matsinos et al, 2017; Tsaligoroulos et al, 2018) ο δείκτης χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Συγκεκριμένα ο NDSI συνδυάστηκε με τον δείκτη θορύβου L_{den} και παρατηρήθηκε μία αρνητική συσχέτιση βάση της οποίας, σε όλη τη διάρκεια του 24ωρου η αύξηση του ενεργειακού ισοδυνάμου L_{eq} μειώνει τα επίπεδα της βιοφωνίας έναντι της ανθρωποφωνίας. Μια β ακουστική ποικιλομορφία θα πρέπει να βοηθήσει στον προσδιορισμό του κατά πόσο δύο ή περισσότερες ακουστικές κοινότητες ή ηχοτοπία διαφέρουν, ή στην αξιολόγηση των αλλαγών μεταξύ δύο ημερομηνιών μιας υπό μελέτης κοινότητας ή τοπίου. Σε πολλές περιπτώσεις όμως προκύπτει πως η απόκλιση του ήχου δεν διακρίνεται από σταθερό μέτρο, δηλαδή ο ήχος μπορεί να ποικίλει ανεξάρτητα του χρόνου της συχνότητας και του εύρους. Επιπλέον η απόσταση από τα μεταγραφόμενα άτομα μπορεί να δημιουργήσει διακυμάνσεις στο πλάτος των φωνημάτων που δεν πρέπει να ερμηνεύονται ως σχετικές διαφορές. Παράλληλα με τους α δείκτες (ADI) και (AEI) οι Sueur et al., 2008b, παρουσίασαν τον δείκτη ακουστικής ανομοιομορφίας (D)²⁵ για να εκτιμηθεί ή β ποικιλομορφία μεταξύ δύο ακουστικών κοινοτήτων. Παρομοίως με τον δείκτη εντροπίας (H), ο (D) αποτελείται από δύο υποδείκτες, του δείκτη χρονικής ανομοιομορφίας (Dt) και του δείκτη φασματικής ανομοιομορφίας (Df). Ο δείκτης (D) τείνει προς 0 για παρόμοιο ήχο και προς 1 για ξεχωριστό ήχο. Η εκτίμηση της ανομοιομορφίας ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές συγκρίνοντας τα δεδομένα των δεικτών α-ποικιλότητας, έχει αποπειραθεί σε πολλές περιπτώσεις με την χρήση διάφορων παραμετρικών η μη παραμετρικών στατιστικών κριτηρίων.

2.12.1. Αξιολόγηση ανάμεσα στους δείκτες

Η διαδικασία επιλογής ενός μεμονωμένου ή ενός συνδυασμού ακουστικών δεικτών για την εκτίμηση της α και β-βιοποικιλότητας και ο προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του θορύβου αποτελεί μια δύσκολη υπόθεση για τους ερευνητές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις πολυπαραγοντικές συνιστώσες των ακουστικών ενδιατημάτων, οι οποίες απαιτούν το καταλληλότερο συνονθύλευμα δεικτών, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες μελέτες μεγαλύτερου αριθμού κριτηρίων για την αξιολόγηση τους. Η σύγκριση των έξι ακουστικών δεικτών (ACI – NDSI – H – AEI – ADI – BIO) αποκάλυψε ότι ο ACI και ο BIO παρουσίαζαν

διακύμανση για τα . Οι δείκτες αυτοί αντικατοπτρίζουν την ένταση του ήχου στο τοπίο και έχουν αποδειχθεί ότι συσχετίζονται με τον αριθμό των φωνητικών πουλιών. Στην ίδια έρευνα ο NDSI παρείχε ένα πρότυπο που ήταν γενικά ένας συνδυασμός τόσο ACI / BIO όσο και H / ADI. Σε μια άλλη έρευνα που έγινε σε δύο περιοχές της επαρχίας Yunnan της νότιας Κίνας οι Machado et al. (2017) διαπίστωσαν ότι ο δείκτης ADI συσχετίστηκε σε μεγάλο βαθμό με τους δείκτες AEI και H. Σε μελέτη που έγινε στο Εθνικό Πάρκο Santa Rosa (SRNP) στην Κόστα Ρίκα, Συγχρόνως ο AEI,ACI,BIO ανέπτυξαν παρόμοια χωρικά μοτίβα εξάπλωσης με τον δείκτη ορθολογικής παρατήρησης (BirdAbundance) (Retamosa et al., 2018).

2.13. Νομικό Πλαίσιο

2.13.1. Προστασία της βιοποικιλότητας

Προστατευόμενες περιοχές αποτελούν εκτάσεις στις οποίες θεσμοθετείται ως βασικός σκοπός η διατήρηση της βιοποικιλότητας και των φυσικών πόρων. Μετά την σύναψη των πρώτων περιβαλλοντικών συμβάσεων όπως η συμβάσεις 1971 (π.χ Ρασμάρ) η ΕΟΚ υιοθετεί την οδηγία 79/409/EEC «περί διατήρησης των άγριων πτηνών» η οποία στην Ελλάδα υιοθετείται με την Υ.Α 4149988/1985 στοχεύοντας στην δημιουργία ζωνών προστασίας, βιοτόπων και την αποκατάσταση των κατακερματισμένων οικοσυστημάτων.

Στα πλαίσια της ενιαίας ευρωπαϊκής πράξης που υπογράφεται το Φεβρουάριο 1986 από τα 12 κράτη μέλη τις ΕΕ αποτελεί το βασικό σταθμό στην εξέλιξη των νομοθετημάτων στην ΕΕ για το περιβάλλον. Στην ελληνική νομοθεσία οι αποφάσεις τις ευρωπαϊκής ένωσης επικυρώνονται με τον νόμο 1650/1986, βάση του οποίου κατηγοριοποιούνται οι απειλούμενες περιοχές, δημιουργούνται προληπτικά έργα μέσω ΜΠΕ, καθώς επίσης ορίζεται η αστική ευθύνη για την καταπάτηση του περιβάλλοντος. Τα επόμενα χρόνια συγκροτείται ένα ακόμα ποιο στοχευόμενο πλαίσιο προστασίας των προστατευόμενων περιοχών, η οδηγία 79/409 ΕΕ συμπληρώνεται από την οδηγία 92/43 και δημιουργείται το δίκτυο Natura 2000. Το δίκτυο επαναπροσδιορίζει τις ζώνες ειδικής προστασίας οι οποίες είχαν πρώτο-θεσμοθετηθεί το 1979, με στόχο την δημιουργία ενός ευρωπαϊκού οικολογικού δικτύου, προστασίας των ενδιατημάτων με μεγάλη χωρική εξάπλωση (Kremer, Van der Stegen, Gomez-Zamalloa, & Szedlak, 2015). Στην Ελλάδα η οδηγία ενσωματώνεται με την ΚΥΑ 3318/3028/1998 και συντάσσεται η επιτροπή «Φύση 2000», ενώ έπειτα από ένα χρόνο με τον νόμο 2742/1999 «χωροταξικός σχεδιασμός και αιεφόρος ανάπτυξη» ο οποίος συμπληρώνεται αργότερα με τον νόμο 3044/2002 ιδρύονται 25 φορείς διαχείρισης προστατευόμενων περιοχών. Τα επόμενα χρόνια οι φορείς διαχείρισης ανακηρύσσονται επίσημα ως αρμόδια διαχειρίστηκα, διοικητικά και εκτελεστικά όργανα (Δέσποινα Βόκου, 2011).

Οι ζώνες προστασίας που αναφέρονται στον νόμο 1650/1986 και έχουν επαναπροσδιοριστεί στα πλαίσια του νόμου Ν 3937/2011, εισάγονται από τη Διεθνή Ένωση για την Προστασία της Φύσης (IUCN,) μέσω ενός συστήματος κατηγοριοποίησης που έχει ως στόχο την διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας. Καθώς ο προσδιορισμός αντικειμένου ή περιοχής προστασίας και ο βαθμός προστασίας μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με την οικολογική βαρύτητα και την αντίληψη κυβερνήσεων και κοινοτήτων.

Αναφορικά οι έξι (Dudley, 2010) κατηγορίες του συστήματος ταξινόμησης (εικόνα 3):

- IUCN I: Φυσικό απόθεμα απόλυτης προστασίας/Αδιατάρακτη περιοχή (Strict nature reserve/Wilderness area): Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται περιοχές με ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μέρη που περιορίζουν την ανθρώπινη παρουσία και δίνονται μόνο για επιστημονική χρήση (Iα). Επιπλέον συμπεριλαμβάνονται μεγάλες περιοχές χωρίς τροποποίηση τα οποία διατηρούν σε μεγάλο ποσοστό τις οικολογικές και φυσικές διεργασίες, ενώ δεν διατίθενται μόνιμες κατοικίες (Iβ).
- IUCN II: Εθνικό Πάρκο (National Park) φυσικές περιοχές που περιβάλλουν ή περιλαμβάνουν οικοσυστήματα με μεγάλη αξία διατήρησης. Συγκεκριμένα οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως εθνικά πάρκα πρέπει να μην εμπεριέχουν δραστηριότητες άμεσης εκμετάλλευσης αλλά δραστηριότητες ήπιες με σκοπό την διατήρηση του ντόπιου πληθυσμού. Ένα παράδειγμα Εθνικού Πάρκου είναι το Εθνικό Πάρκο Οροσειράς Ροδόπης (εικόνα 4).
- IUCN III: Μνημείο της Φύσης (Natural Monument): Περιοχές διατήρησης συγκεκριμένων μνημείων φυσικών η πολιτιστικών με μεγάλη επισκεψιμότητα.
- IUCN IV: Περιοχή διαχείρισης βιοτόπων/ειδών (Habitat/Species management area) αποσκοπούν στην διατήρηση ενδιαιτημάτων και ειδών και οι συγκεκριμένοι σκοποί θέτονται ως προτεραιότητα. Στης συγκεκριμένες περιοχές είναι έντονες οι διαχειριστικές δράσεις με σκοπο την προστασία του περιβάλλοντος και απαγορεύονται άλλες δραστηριότητες.
- IUCN V: Προστατευόμενο τοπίο (Protected Landscape) μια περιοχή που αντανακλά ξεχωριστά χαρακτηριστικά με σημαντικές πολιτιστικές οικολογικές ιδιαιτερότητες.
- IUCN VI: Περιοχή διαχειριζομένων φυσικών πόρων (Managed Resource Protected Area) περιοχές με διατηρημένα οικοσυστήματα και ενδιαιτήματα και δύνανται για αειφορική χρήση. Παρά την θεσμοθέτηση των περιοχών προστασίας προκύπτουν προβλήματα λόγο έλλειψης ποσοτικών μεταβλητών προσδιορισμού της περιβαλλοντικής κατάστασης περιοχών και της ανάγκης για διατήρηση. Δεν είναι λίγες οι φορές που ο προσδιορισμός των χωρικών ορίων εξάπλωσης των ζωνών βρίσκει αντιδράσεις στην τοπική κοινωνία καθώς οι απαγορεύσεις για την δραστηριοποίηση είναι απόλυτες δίχως να προσδιορίζονται ποσοτικά τα επιτρεπτά όρια ανθρωπογενούς παρέμβασης.
-

2.13.2.Θεσμικό πλαίσιο κατά του περιβαλλοντικού θορύβου

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 1999), πάνω από το 40% του πληθυσμού της Ευρώπης εκτίθεται σε θόρυβο από τις μεταφορές σε επίπεδα μεγαλύτερα των 55dB(A) ημερήσιας έκθεσης, ενώ 20% εκτίθεται σε επίπεδα μεγαλύτερα των 65dB(A). Γενικότερα το 50% των πολιτών κατοικούν σε περιοχές που η ακουστική άνεση απουσιάζει, επωμιζόμενη τις δυνητικά αρνητικές επιπτώσεις. Εντούτοις τα παραπάνω στοιχεία υποδεικνύουν την ανάγκη δημιουργίας ενός στρατηγικού πλαισίου τόσο για την μείωση του παραγόμενου θορύβου από τις ανθρωπογενής δραστηριότητες. Σε αυτό το πλαίσιο η ΕΕ έχει θεσπίσει τα τελευταία χρόνια μία κοινοτική πολιτική με οδηγίες οι οποίες κυρίως αφορούν

περιοχές αστικών συγκροτημάτων και την προστασία των πολιτών από τα αυξανόμενα επίπεδα θορύβου. Τα τελευταία χρόνια το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει ενσωματώσει την πολιτική κατά της ηχορύπανσης σε ένα γενικότερο στρατηγικό σχέδιο εξασφάλισης της ποιότητας του περιβάλλοντος, το οποίο συμπεριλαμβάνει πρωτίστως την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η στρατηγική της ΕΕ επιδιώκει την πλήρη συμμόρφωση των μελών έως το 2020 με την υπάρχουσα νομοθεσία και θέτει μακροπρόθεσμους στόχους για το 2030.

Η νομοθετική προσέγγιση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία, κατά του περιβαλλοντικού θορύβου προϋποθέτει τον έλεγχο του θορύβου στις παραγόμενες πηγές κατά την μετάδοση και μέτρα προστασίας του αποδέκτη. Μεταξύ των πηγών περιβαλλοντικού θορύβου δύο κατηγορίες αποτελούν τις βασικές, στην πρώτη συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα μαζικής μεταφοράς για την οδική, εναέρια και την σιδηροδρομική κυκλοφορία τα οποία αφορούν έργα όπως δρόμοι, αεροδιάδρομοι και σιδηροδρομικές γραμμές. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τις βιομηχανικές και αγροτικές εγκαταστάσεις όπου προκαλείται ο «μηχανικός θόρυβος», από τα μηχανήματα εργοταξίου.

Σε πρώτο βαθμό ο βιομηχανικός θόρυβος απειλή την υγεία των εργαζομένων, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στην πηγή του θορύβου και σε δεύτερο βαθμό το περιβάλλον στο οποίο τα ηχητικά κύματα χαμηλών συχνοτήτων εξασθενώντας ταξιδεύουν σε μεγάλη απόσταση αυξάνοντας τα επίπεδα θορύβου υποβάθρου. Επιπλέον κατηγορίες αποτελούν οι ψυχαγωγικές και λοιπές υπαίθριες δραστηριότητες. Το βασικό νομικό πλαίσιο που καθιέρωσε την στρατηγική αντιμετώπισης του θορύβου σε επίπεδο Ένωσης και τα τελευταία χρόνια ενισχύεται προς επίτευξη των συνολικών στόχων. Η ελληνική νομοθεσία σχετικά με τα ζητήματα του θορύβου είναι αρκετά διευρυμένη και αναλυτική. Όπως και σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι πηγές θορύβου έχουν κατηγοριοποιηθεί και ειδική νομοθεσία έχει σχηματιστεί σχεδόν για κάθε περίπτωση. Τα στοιχεία σχετικά με την ελληνική νομοθεσία που αφορά τον θόρυβο αναζητήθηκαν από την σελίδα Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.) και από την επίσημη ιστοσελίδα του Εθνικού Τυπογραφείου (Ε.Τ., Εθνικό Τυπογραφείο). Ένα παράδειγμα της διαθεματικότητας της σχετικής με θόρυβο ελληνικής νομοθεσίας, είναι το Προεδρικό Διάταγμα 1178 (ΦΕΚ 291/Α/5-10-1981) «Περί μετρήσεως και του ελέγχου του θορύβου των αεροσκαφών», το Προεδρικό Διάταγμα 457 (ΦΕΚ 174/α/28-11-1983) σχετικά με την «Ίδρυση και λειτουργία ερασιτεχνικών σχολών χορού» στο οποίο αναφέρεται ότι οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις πρέπει να είναι ηχομονωμένες (άρθρο 6) και το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθ. 180 (ΦΕΚ 46/Α/10-3-1979), «Περί των όρων λειτουργίας καταστημάτων πωλήσεως οινοπνευματωδών ποτών και κέντρων διασκεδάσεως». Στο συγκεκριμένο διάταγμα μεταξύ άλλων γίνεται αναφορά στη διαδικασία χορήγησης άδειας λειτουργίας κέντρων διασκέδασης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια εκπομπής θορύβου. Ακολουθεί μια αναλυτικότερη περιγραφή ορισμένων σημαντικών νόμων και αποφάσεων που σχετίζονται με τον περιβαλλοντικό θόρυβο.

Στην Υπουργική Απόφαση: 32764/734/80 (ΦΕΚ 1093/Β/28-10-1980), «περί καθορισμού επιτρεπόμενων ορίων θορύβου, προκαλούμενου υπό των αυτοκινήτων οχημάτων, μοτοσυκλετών και μοτοποδηλάτων και τρόπου μετρήσεως αυτού» και πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 2 της απόφασης, παρουσιάζονται τα επιτρεπόμενα ανώτατα όρια στάθμης θορύβου αυτοκινήτων οχημάτων. Τα όρια αυτά διαφοροποιούνται ανά τύπο οχήματος, αφορούν μια εν

κινήσει κατάσταση και αποτυπώνονται σε decibel. Κάποια παραδείγματα της επιτρεπόμενης ηχοστάθμης ανά όχημα είναι τα παρακάτω:

- Αυτοκίνητα επιβατηγά 80 dB(A)
- Φορτηγά όπου το μέγιστο βάρος δεν υπερβαίνει τα 3.500 kg 81 dB(A)
- Μοτοποδήλατο 78 dB(A)
- Μοτοσυκλέτα 78 – 86 dB(A)

Στο Προεδρικό Διάταγμα ΥΠ' ΑΡΙΘ. 1180 (ΦΕΚ 293/Α/6-10-1981) «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και τη εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει» και πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 2 παρουσιάζονται οι παρακάτω ορισμοί:

- «Ρύπανση»: Η άμεση ή έμμεση εκπομπή στο περιβάλλον, ουσιών, θορύβου ή άλλων μορφών ενέργειας σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία των ανθρώπων, ή υλικές ζημιές ή να επιδράσει δυσμενώς επί των ζώντων οργανισμών ή των οικοσυστημάτων και να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις κατά προορισμό επωφελείς χρήσεις.
- «Επιτρεπόμενο όριο Εκπομπής»: το καθοριζόμενο κατά τις διατάξεις του παρόντος ανώτατο επιτρεπόμενο ποσό εκπομπής ρυπαινούσης ουσίας, θορύβου ή άλλης μορφής ενέργειας.

Παρακάτω, παρατίθενται τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου από σταθερές μηχανολογικές εγκαταστάσεις ανά περιοχή:

- Νομοθετημένες Βιομηχανικές Περιοχές 70dB(A)
- Περιοχές όπου επικρατεί το βιομηχανικό στοιχείο 65 dB(A)
- Περιοχές στις οποίες επικρατεί εξίσου βιομηχανικό και αστικό στοιχείο 55dB(A)
- Περιοχές στις οποίες επικρατεί το αστικό στοιχείο 50dB(A)

Στο άρθρο 14 του Νόμου 1650/86 (ΦΕΚ 160/Α/18-10-1986) σχετικά με την «Προστασία του Περιβάλλοντος» περιγράφονται μέτρα καταπολέμησης του θορύβου ή των δονήσεων.

Παράλληλα, με την Υπουργική Απόφαση Αριθ. Οίκοθεν 17252/92 (ΦΕΚ 395/Β/19-6- 92) έχει επιτευχθεί ο «Καθορισμός δεικτών και ανωτάτων επιτρεπομένων ορίων θορύβου που προέρχεται από την κυκλοφορία σε οδικά και συγκοινωνιακά έργα». Στο άρθρο 3 της συγκεκριμένης απόφασης αναφέρονται οι προτεινόμενοι δείκτες θορύβου και πιο συγκεκριμένα ο δείκτης θορύβου L_{eq} με τον παρακάτω ορισμό «Η Ισοδύναμη Συνεχής Στάθμη θορύβου L_{eq} (Equivalent Continuous Sound Level), που εκφράζει την σταθερή εκείνη στάθμη θορύβου, η οποία σε ορισμένη χρονική περίοδο, έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου». Τέλος, στο άρθρο 4 της απόφασης παρουσιάστηκαν τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια του δείκτη L_{eq} που είναι τα 67 dB(A).

2.12.3. Οδηγία 2002/49/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου

Στην οδηγία 2002/49/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002 σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου δίνονται οι ορισμοί για τους παρακάτω όρους: «περιβάλλον θόρυβος», «επιβλαβείς επιδράσεις», «ενόχληση», «δείκτης θορύβου», «αξιολόγηση», «Lden», «Lday», «Levening», «Lnight», «σχέση δόσης – επίδρασης», «πολεοδομικό συγκρότημα», «ήσυχη περιοχή πολεοδομικού συγκροτήματος», «ήσυχη περιοχή στην ύπαιθρο», «μεγάλος οδικός άξονας», «μεγάλος σιδηροδρομικός άξονας», «μεγάλο αεροδρόμιο», «χαρτογράφηση θορύβου», «στρατηγικός χάρτης θορύβου», «οριακή τιμή», «σχέδια δράσης», «ηχητικός σχεδιασμός», «κοινό».

Η συγκεκριμένη οδηγία εναρμονίστηκε στην ελληνική νομοθεσία με την Υπουργική Απόφαση Αριθ. 13586/724 (ΦΕΚ 384/Β/28-3-2006) «Καθορισμός μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2002/49/ΕΚ «σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου» του Συμβουλίου της 25.6.2002».

Στην Υπουργική Απόφαση Αριθ. Οικ. 210474 (ΦΕΚ 204/Β/9-2-2012), σχετικά με τον «Καθορισμός Δεικτών Αξιολόγησης και Ανώτατων Επιτρεπόμενων Ορίων Δεικτών Περιβαλλοντικού Θορύβου που προέρχεται από την λειτουργία συγκοινωνιακών έργων (σύμφωνα με την οδηγία 2002/49/ΕΚ)» και συγκεκριμένα στο άρθρο 4 της απόφασης δίδονται τα παρακάτω επιτρεπόμενα όρια εκπομπής θορύβου:

- Lden 70 dB(A)
- Lnight 60 dB(A)

Βασικές αρχές είναι η συλλογή αξιόπιστων και συγκρίσιμων δεδομένων σχετικά τα επίπεδα θορύβου, η χρήση εναρμονισμένων δεικτών και μεθόδων αξιολόγησης αλλά και κριτηρίων για την ευθυγράμμιση της χαρτογράφησης του θορύβου. Κατόπιν, με βάση τους χάρτες θορύβου που συγκεντρώνονται από τα πολεοδομικά συγκροτήματα των κρατών-μελών (μεταξύ των οποίων είναι υποχρεωτική σε όλα τα μεγάλα αεροδρόμια των επικρατειών τους), δημιουργούν σχέδια δράσης και τα γνωστοποιούν στην επιτροπή για έλεγχο, δημοσίευση, επανεξέταση και πιθανή αναθεώρηση τουλάχιστον μετά από πέντε χρόνια από την εκπόνηση τους. Στη συνέχεια, γνωστοποιούνται στο κοινό οι πληροφορίες αυτές και μια περίληψη από τα κυριότερα σημεία προκειμένου να είναι προσπελάσιμες από όλους. Κρίνεται απαραίτητη συνεπώς η λήψη μέτρων προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των ατόμων που δέχονται επιβλαβή επίδραση του περιβαλλοντικού θορύβου, να περιοριστεί ο ήχος που εκπέμπεται από τις εν λόγω πηγές θορύβου και να προστατευθούν οι ήσυχες περιοχές στην ύπαιθρο. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται τα κυριότερα σημεία από τα άρθρα της οδηγίας:

Άρθρο 3

Περιλαμβάνει τους παρακάτω ορισμούς:

«περιβάλλον θόρυβος»: είναι οι ανεπιθύμητοι ή επιβλαβείς θόρυβοι στο ύπαιθρο που δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ συμπεριλαμβάνονται οι θόρυβοι που

εκπέμπονται από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας όπως αυτοί που ορίζονται στο παράρτημα Ι της οδηγίας 96/ 61/EK του Συμβουλίου, της 24ης Σεπτεμβρίου 1996, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης

«επιβλαβείς επιδράσεις»: είναι οι αρνητικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

«ενόχληση»: αποτελεί ο βαθμός ηχητικής ενόχλησης των περιοίκων όπως ορίζεται από επιτόπιου ελέγχους

«δείκτης θορύβου»: είναι φυσικό μέγεθος για την περιγραφή του περιβάλλοντος θορύβου και σχετίζεται με επιβλαβείς επιδράσεις

«αξιολόγηση»: οποιαδήποτε μέθοδος υπολογισμού, πρόβλεψης, εκτίμησης ή μμέτρησης της τιμής ενός δείκτη θορύβου ή των σχετικών επιβλαβών επιδράσεων

«ήσυχη περιοχή πολεοδομικού συγκροτήματος»: περιοχή καθορισμένη από την αρμόδια αρχή, η οποία π.χ. δεν εκτίθεται σε τιμή του L_{den} ή άλλου κατάλληλου δείκτη θορύβου μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή που καθορίζεται από το κράτος μέλος, ανεξαρτήτου ηχητικής πηγής.

«ήσυχη περιοχή στην ύπαιθρο»: περιοχή καθορισμένη από την αρμόδια αρχή, η οποία δεν διαταράσσεται από θορύβους κυκλοφορίας, βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή δραστηριοτήτων αναψυχής

«χαρτογράφηση θορύβου»: είναι η παρουσίαση δεδομένων σχετικά με υπάρχουσα ή προβλεπόμενη ηχητική κατάσταση βάσει δεικτών θορύβου, όπου φαίνονται οι υπερβάσεις των οικείων ισχυουσών οριακών τιμών, ο αριθμός ατόμων που θίγονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή ο αριθμός κατοικιών που εκτίθενται σε ορισμένες τιμές δεικτών θορύβου σε μια συγκεκριμένη περιοχή

«στρατηγικός χάρτης θορύβου»: είναι ο χάρτης θορύβου που καταρτίζεται για τη σφαιρική αξιολόγηση μιας έκθεσης σε θόρυβο σε μια συγκεκριμένη περιοχή που οφείλεται σε διάφορες πηγές θορύβου, ή για τη διατύπωση γενικότερων προβλέψεων για την περιοχή αυτή

«οριακή τιμή»: η τιμή του L_{den} ή L_{night} , και πιθανόν του L_{day} και $L_{evening}$, όπως ορίζεται από το κράτος μέλος, η υπέρβαση της οποίας συνεπάγεται την παρέμβαση των αρμόδιων αρχών για τη μελέτη ή την επιβολή μέτρων για μετρίαση του θορύβου. Οι οριακές τιμές ενδέχεται να διαφέρουν ανά τύπο θορύβου (θόρυβος οδικής, σιδηροδρομικής, αεροπορικής κυκλοφορίας, βιομηχανικοί θόρυβοι κ.λπ.), ανά περιβάλλον ή ανά ξεχωριστή ευαισθησία του πληθυσμού στο θόρυβο. Μπορεί επίσης να διαφέρουν ανάλογα με το αν αφορούν ήδη υφιστάμενες ή καινούργιες καταστάσεις (όπου υπάρχει μεταβολή συνθηκών αναφορικά με την πηγή θορύβου ή τη χρήση του περιβάλλοντος)

«σχέδια δράσης»: σχέδια για τη διαχείριση των προβλημάτων και των επιδράσεων του θορύβου, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης ελάττωσης του θορύβου

«ηχητικός σχεδιασμός»: ο έλεγχος των θορύβων μελλοντικά με βάση σχεδιαζόμενα μέτρα, όπως χωροταξικός σχεδιασμός, σχεδιασμός συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας, κυκλοφοριακός σχεδιασμός, περιορισμός των οχλήσεων με μέτρα ηχητικής μόνωσης και έλεγχος των θορύβων στην πηγή τους

Και οι ορισμοί «Lden», «Lday», «Levening», «Lnight», οι οποίοι αναλύονται παρακάτω στο παράρτημα I.

Παράρτημα I – Ορισμός δεικτών θορύβου

Στο παράρτημα της οδηγίας ορίζονται οι δείκτες θορύβου ως εξής: Lden ορίζεται ο δείκτης θορύβου για την εκτίμηση της όχλησης και Lnight ορίζεται ο δείκτης θορύβου για την εκτίμηση της διαταραχής του ύπνου. Οι οριακές τιμές των εναρμονισμένων δεικτών ορίζονται από τα κράτη μέλη με βάση την αρχή πρόληψης προκειμένου να προστατεύονται οι ήσυχες περιοχές των πόλεων και διαφέρουν αναλόγως τον τύπο του θορύβου, του περιβάλλοντος ή της διαφορετικής ευαισθησίας του πληθυσμού στο θόρυβο.

Δείκτης για την εκτίμηση της όχλησης ημέρας-νύχτας

Το επίπεδο της όχλησης ημέρας-βραδιού-νύχτας Lden, σε ντεσιμπέλ (dB), ορίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

όπου:

- Lday είναι η A-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996-2: 1987, όπως προσδιορίζεται στο σύνολο των περιόδων ημέρας ενός έτους,
- Levening είναι η A-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996-2: 1987, όπως προσδιορίζεται στο σύνολο των βραδινών περιόδων ενός έτους,
- Lnight είναι η A-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996-2: 1987, όπως προσδιορίζεται στο σύνολο των νυχτερινών περιόδων ενός έτους,

με δεδομένο ότι:

- η ημέρα διαρκεί δώδεκα ώρες, το βράδυ τέσσερις ώρες και η νύχτα οκτώ ώρες. Τα κράτη μέλη έχουν τη δυνατότητα να περικόψουν τη βραδινή περίοδο κατά μία ή δύο

- ώρες και να αυξήσουν αναλόγως την περίοδο της ημέρας ή/και της νύχτας, υπό τον όρο ότι η επιλογή αυτή ισχύει για όλες τις πηγές, και ότι θα παράσχουν στην Επιτροπή πληροφορίες για τις συστηματικές διαφορές σε σχέση με τις βασικές επιλογές,
- η αρχή της ημέρας (και κατά συνέπεια η αρχή του βραδιού και της νύχτας) καθορίζεται από το κράτος μέλος. Οι τιμές αυτές στην Ελλάδα ορίζονται: 07.00 έως 19.00, 19.00 έως 23.00 και 23.00 έως 07.00,
 - ένα έτος αντιστοιχεί στο υπόψιν έτος όσον αφορά την εκπομπή θορύβων και σε ένα μέσο έτος όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες,
 - λαμβάνεται υπόψη ο προσπίπτων θόρυβος, δηλαδή ο ήχος που ανακλάται στην πρόσοψη του συγκεκριμένου κτιρίου δεν λαμβάνεται υπόψη.

Το ύψος του σημείου αξιολόγησης του L_{den} εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση:

- σε περίπτωση υπολογισμού για τους σκοπούς της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβων σε σχέση με την έκθεση στο θόρυβο μέσα και κοντά στα κτίρια, τα σημεία αξιολόγησης βρίσκονται σε ύψος $4,0 \pm 0,2$ m (3,8 — 4,2 m) πάνω από το έδαφος και στην πιο εκτεθειμένη πρόσοψη. Για το σκοπό αυτό, η πιο εκτεθειμένη πρόσοψη είναι ο εξωτερικός τοίχος που είναι απέναντι και πιο κοντά προς τη συγκεκριμένη πηγή θορύβου,
- σε περίπτωση μέτρησης για τους σκοπούς της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου σε σχέση με την έκθεση στο θόρυβο μέσα και κοντά σε κτίρια, μπορούν να επιλέγονται άλλα ύψη αλλά δεν θα πρέπει ποτέ να είναι κάτω του 1,5 m από το έδαφος και τα αποτελέσματα πρέπει να διορθώνονται σύμφωνα με ισοδύναμο ύψος 4 m,
- για άλλους σκοπούς όπως ο ηχητικός σχεδιασμός και η ηχητική οριοθέτηση, μπορούν να επιλέγονται άλλα ύψη, όμως τα σημεία μέτρησης δεν πρέπει ποτέ να είναι κάτω του 1,5 m από το έδαφος.

Δείκτης νυχτερινού θορύβου L_{night}

Ο δείκτης νυχτερινού θορύβου L_{night} ορίζεται ως εξής:

η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996- 2: 1987, όπως προσδιορίζεται με βάση όλες τις νυχτερινές περιόδους επί ένα έτος,

με δεδομένο ότι:

- το βράδυ διαρκεί οκτώ ώρες, όπως προσδιορίζεται και στον δείκτη L_{den} ,
- ένα έτος είναι το υπόψιν έτος όσον αφορά τις ηχητικές εκπομπές και ένα μέσο έτος όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, όπως αναφέρεται και στον δείκτη L_{den} ,
- λαμβάνεται υπόψιν ο προσπίπτων ήχος
- το σημείο αξιολόγησης είναι αυτό που προβλέπεται για τον δείκτη L_{den} .

Παράρτημα II – Μέθοδοι αξιολόγησης δεικτών θορύβου

Στο σημείο αυτό της οδηγίας δίνονται οι κατευθύνσεις για τις μεθόδους υπολογισμού είτε μέτρησης στο σημείο αξιολόγησης των δεικτών L_{den} και L_{night} . Είτε γίνεται προσαρμογή των εθνικών μεθόδων υπολογισμού που είναι ήδη σε ισχύ είτε δίνεται μια προτεινόμενη μέθοδος (π.χ. ECAC.CEAC Doc. 29 “Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports”, 1997 για τον θόρυβο από τα αεροπλάνα) και αντίστοιχα για τις μεθόδους μέτρησης είτε γίνεται προσαρμογή της ήδη υπάρχουσας είτε υιοθετεί κάποια που βασίζεται στο δημοσίευμα ISO 1996-2:1987 και ISO 1996-1:1982.

Παράρτημα III - Μέθοδοι αξιολόγησης των επιβλαβών επιδράσεων

Αναφέρονται ποιες σχέσεις δόσης και επίδρασης εισάγονται για την αξιολόγηση των επιβλαβών επιδράσεων στην υγεία του πληθυσμού.

Παράρτημα IV – Ελάχιστες απαιτήσεις για στρατηγική χαρτογράφηση θορύβου

Δίνεται μια σειρά από ελάχιστες απαιτήσεις, αναφέροντας ενδεικτικά:

- Παρουσίαση δεδομένων των στρατηγικών χαρτών θορύβου σχετικών με μια υπάρχουσα, προγενέστερη ή προβλεπόμενη ηχητική κατάσταση υπό μορφή δείκτη θορύβου, είτε μια υπέρβαση οριακής τιμής
- Παρουσίαση των στρατηγικών χαρτών θορύβου στο κοινό ως γραφικές παραστάσεις, είτε αριθμητικά δεδομένα σε πίνακες, ή αριθμητικά δεδομένα υπό ηλεκτρονική μορφή
- Οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου για πολεοδομικά συγκροτήματα πρέπει να δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στο θόρυβο που εκπέμπεται από την οδική, τη σιδηροδρομική κυκλοφορία, τα αεροδρόμια και τους χώρους βιομηχανικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των λιμένων
- Η στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου χρησιμοποιείται για παροχή δεδομένων που αποστέλλονται στην Επιτροπή, πηγή πληροφοριών για τους πολίτες, ή βάση για σχέδια δράσης με καθένα από τους στόχους αυτούς να απαιτεί διαφορετικό τύπο στρατηγικών χαρτών θορύβου
- Για τα πολεοδομικά συγκροτήματα εκπονούνται ιδιαίτεροι στρατηγικοί χάρτες θορύβου για τους θορύβους οδικής, σιδηροδρομικής και αεροπορικής κυκλοφορίας και για τους βιομηχανικούς θορύβους αλλά και για άλλες πηγές θορύβου

Παράρτημα V – Στοιχειώδεις απαιτήσεις για σχέδια δράσης

Προσδιορίζονται οι στοιχειώδεις απαιτήσεις για τα σχέδια δράσης όπως είναι η περιγραφή του πολεοδομικού συγκροτήματος, των μεγάλων οδικών και σιδηροδρομικών αξόνων και των μεγάλων αεροδρομίων ή άλλων πηγών που λαμβάνονται υπόψη, η περιγραφή του νομικού πλαισίου που λαμβάνεται υπόψη, οι ισχύουσες οριακές τιμές, μια περίληψη των αποτελεσμάτων της χαρτογράφησης του θορύβου, εκτίμηση του αριθμού των ατόμων που εκτίθενται στο θόρυβο, ένα ιστορικό των διαβουλεύσεων και αναφορά στα μέτρα που ήδη εφαρμόζονται αλλά και σε αυτά που αναμένεται να εφαρμοστούν.

Παράρτημα VI – Δεδομένα που διαβιβάζονται στην επιτροπή

Είναι τα δεδομένα για τα πολεοδομικά συγκροτήματα, τα μεγάλα αεροδρόμια, οδικούς και σιδηροδρομικούς άξονες όπως είναι η γενική περιγραφή αναφορικά με την γεωγραφική θέση, το μέγεθος, δεδομένα περί της κυκλοφορίας, περιγραφή με τα χαρακτηριστικά των περιχώρων, τα προγράμματα ελέγχου θορύβου που έχουν ήδη εφαρμοστεί, ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός ατόμων εκτός πολεοδομικών συγκροτημάτων που ζουν σε κατοικίες που εκτίθενται στις ζώνες τιμών του Lden σε ύψος τεσσάρων μέτρων από το έδαφος στην πιο εκτιθέμενη πρόσοψη σε dB 55-59, 60-64, 65- 69, 70-74, 75 και άνω ενώ αντίστοιχα για Lnight οι ζώνες τιμών είναι 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70 και άνω. Παράλληλα, εφόσον κρίνεται σκόπιμο και υπάρχουν τα κατάλληλα στοιχεία πρέπει να αναφέρονται πόσα άτομα από τις προηγούμενες κατηγορίες, ζουν σε κτίρια με ειδική μόνωση κατά του συγκεκριμένου θορύβου ή διαθέτουν ήσυχη πρόσοψη, δηλαδή πρόσοψη κατοικίας στην οποία η τιμή Lden σε ύψος τεσσάρων μέτρων από το έδαφος και σε απόσταση δύο μέτρων από την πρόσοψη, όσον αφορά το θόρυβο που εκπέμπεται από μια συγκεκριμένη πηγή, είναι κατά 20 dB τουλάχιστον κατώτερη από ότι στην πρόσοψη με την υψηλότερη τιμή Lden και τέλος να φαίνονται οι ισοθορυβικές καμπύλες 55 και 65 dB σε έναν ή περισσότερους χάρτες που περιλαμβάνονται πληροφορίες για τη γεωγραφική θέση των χωριών, πόλεων και πολεοδομικών συγκροτημάτων εντός των καμπυλών αυτών συμπληρωματικά με κατευθυντήριες γραμμές που μπορεί να εκπονηθούν από την Επιτροπή.

Συμπερασματικά η προστασία κατά του περιβαλλοντικού θορύβου αποτελεί μία προσέγγιση που περικλείει όλες τις πηγές που «ρυπαίνουν» το ηχητικό περιβάλλον. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον Θόρυβο (END) η οποία εισάγεται από τα κράτη μέλη με την οδηγία 2002/49/EK, πέραν από του ότι θέτει επίσημα το θέμα της αξιολόγησης και διαχείρισης για την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων του θορύβου καθορίζει μέτρα για την διαχείριση του θορύβου όπου είναι απαραίτητο. Παράλληλα αποτελεί και ένα ευέλικτο νομοθετικό πλαίσιο το οποίο για πρώτη φορά καθορίζει την έννοια των «ήσυχων περιοχών υπαίθρου», αν και μεγαλύτερη βαρύτητα δίνεται στις ήσυχες περιοχές των αστικών συγκροτημάτων. Όπως έχει προαναφερθεί ο ορισμός των ήσυχων περιοχών υπαίθρου είναι ο παρακάτω: «ήσυχη περιοχή στην ύπαιθρο»: περιοχή καθορισμένη από την αρμόδια αρχή, η οποία δεν διαταράσσεται από θορύβους κυκλοφορίας, βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή δραστηριοτήτων αναψυχής». Παρόλα αυτά, η έννοια της ησυχίας περιλαμβάνει και την ανθρωποκεντρική της σκοπιά η οποία μαζί με τη φυσική της διάσταση παρουσιάζεται παρακάτω.

2.14. Ήσυχες Περιοχές

Τα οφέλη των ήσυχων περιοχών για τον άνθρωπο έχουν αναδεχθεί σε πολλές περιπτώσεις. Η πρόσβαση σε ήσυχες περιοχές μπορεί να συνεισφέρει στην αποβολή της ενόχλησης και να βελτιστοποιήσουν το επίπεδο ζωής, ενώ το ήσυχο ηχητικό περιβάλλον και οι βιοφωνικοί ήχοι μπορούν να συμβάλουν στην ανάρρωση των ασθενών. Οι ήσυχες περιοχές των αστικών συγκροτημάτων, μπορούν να καθοριστούν από κάθε κράτος μέλος, μέσω των αποτελεσμάτων τεσσάρων μεθόδων:

- Της χαρτογράφησης θορύβου
- Της μέτρησης ηχητικής πίεσης

- Της ανάδειξης της άποψης του επισκέπτη
- Της αξιολόγησης ειδικών ερευνητών

Η χαρτογράφηση αστικών συγκροτημάτων μπορεί να αναδείξει τις περιοχές που επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό και έκταση από πηγές περιβαλλοντικού θορύβου όπως ο κυκλοφοριακός θόρυβος (Bastián-Monarca, Suárez, & Arenas, 2016; Y. G. Matsinos et al., 2017). Επίσης οι μετρήσεις ηχητικής στάθμης είναι απαραίτητες για την εξαγωγή χαρτών θορύβου, καθώς ο υπολογισμός της ηχηρότητας με απευθείας μετρήσεις θεωρείται η πλέον αξιόπιστη τακτική, χωρίς τα σημεία να υπολογίζονται από την παρεμβολή στην χαρτογράφηση. Η μελέτη και η ανάδειξη των Ψυχοακουστικών επιδράσεων στους πολίτες έχει συμβάλει σε πολλές περιπτώσεις στην αξιολόγηση των επιπέδων όχλησης, υποδεικνύοντας παράλληλα τις ήσυχες περιοχές των αστικών συγκροτημάτων. Παράδειγμα αποτελεί η μέθοδος “citizen science”, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε έρευνα για την αξιολόγηση των ήσυχων περιοχών του αστικού συγκροτήματος της Μυτιλήνης.(Y. G. Matsinos et al., 2017).

Μία κοινή προσέγγιση της Ε.Ε η οποία βασίζεται στην συνολική άποψη των πολιτών, αναφέρει ότι το 100% των πολιτών υποδεικνύει, ότι το όριο Α ενεργειακού ισοδυνάμου πρέπει να βρίσκεται 5dB(A) κάτω από το όριο της επικάλυψης της ανθρώπινης ομιλίας $L_{Aeq} < 45 \text{dB(A)}$. Ένας στους δύο πολίτες θεωρεί και το όριο 45-50dB(A) είναι επαρκές για τον χαρακτηρισμό, ενώ ως επί των πλείστων το μέγεθος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 55dB(A). Όμως η μείωση της ηχητικής στάθμης δεν αυξάνει πάντα την ικανοποίηση των πολιτών για τις ήσυχες περιοχές. Για παράδειγμα, η πόλη του Άμστερνταμ στην Ολλανδία έχει υιοθετήσει το όριο του $L_{den} < 55 \text{dB(A)}$ ($L_{night} < 45$), όμως το 50% των πολιτών πιστεύει ότι η περιοχή που επισκέπτεται καθημερινά εντός του αστικού συγκροτήματος δεν είναι ήσυχη (Booi & van den Berg, 2012). Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι, οι μειωμένες τιμές θορύβου δεν συνεπάγεται με την έννοια της ησυχίας.

Απεναντίας η ηχητική παρουσία της βιοποικιλότητας στις ήσυχες περιοχές των αστικών συγκροτημάτων είναι ιδιαίτερα καθοριστική για την άποψη των πολιτών. Στην κατασκευή ήσυχων περιοχών έχει παρατηρηθεί μία θετική αλληλεπίδραση μεταξύ του ποσοστού βλάστησης και τις παρουσίας της ορνιθοπανίδας, η οποία έχει θετικό αντίκτυπο στην άποψη των πολιτών, καθώς τα φωνητικά είδη μπορούν να αντικαταστήσουν τους ανεπιθύμητους ήχους. Με αυτόν τον τρόπο προδιαγράφεται μία σημαντική σχέση αλληλεπίδρασης, όσον αφορά την συμβίωση ανθρώπου-βιοποικιλότητας στο ηχητικό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη σχέση όμως δεν μπορεί να καθοριστεί πλήρως λόγω έλλειψης ποσοτικού προσδιορισμού των επιπτώσεων του θορύβου στην βιοποικιλότητα. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι καθώς η αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού θορύβου έχει καθαρά ανθρωποκεντρική στόχευση, τα αποτελέσματα θα αφορούν μόνο την υποκειμενική άποψη και ένα συνολικό νομοθετικό πλαίσιο προστασίας του περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας από τον θόρυβο θα εκλείπει.

Τα φαινόμενο του ανθρωποκεντρισμού στην αντιμετώπιση του θορύβου απαντώνται και στον καθορισμό των ήσυχων περιοχών υπαίθρου. Εκτός του γεγονότος ότι ο ποσοτικός προσδιορισμός των ορίων για τα επίπεδα «θορύβου κυκλοφορίας, βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή δραστηριοτήτων αναψυχής» παρουσιάζει απροσδιοριστία με βάση την οδηγία 2002/49/ΕΚ, οι εκτιμήσεις των επιπέδων ηχηρότητας από μεριάς κρατών μελών είναι

σταθμισμένες με βάση των ανθρώπινο παράγοντα. Παραβλέποντας το γεγονός ότι οι περιοχές υπαίθρου, δύνανται για την χάραξη μίας στρατηγικής αειφόρου ανάπτυξης προς την αρμονική συνύπαρξη ανθρώπου και περιβάλλοντος.

Η συνολική άποψη των πολιτών έχει εκτιμηθεί από την ΕΕ, προσδιορίζοντας τα όρια του δείκτη L_{Aeq} κατά την διάρκεια του 24ώρου για τις ήσυχες περιοχές υπαίθρου μεταξύ 25-45dB(A), ενώ για την απόλυτη επικράτηση του φυσικού στοιχείου έχει εκτιμηθεί ότι η στάθμη πρέπει να βρίσκεται στα 40dB(A). Η Γερμανία ως κράτος μέλος έχει θεσμοθετήσει για τις ήσυχες περιοχές υπαίθρου, τον δείκτη ημέρας-βραδιού-νύχτας (L_{den}), με τιμή το όριο επικράτησης του φυσικού στοιχείου <40dB(A).

Στην Ελλάδα μία προσπάθεια χωρικής εκτίμησης των ήσυχων περιοχών υπαίθρου έγινε μέσω της βάσης δεδομένων Corine land cover 2000 for Greece και ο παραγόμενος ανθρωπογενής θόρυβος προσδιοριστικέ από την κάλυψη των χρήσεων γης. Ως αποτέλεσμα εκτιμήθηκαν οι εκτάσεις που συγκαταλέγονται στις ήσυχες περιοχές υπαίθρου. Συγκεκριμένα η μεγαλύτερη έκταση (802.30-1748.96 κμ) βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Δράμας και Ξάνθης των οποίων μεγάλη έκταση καλύπτεται από το εθνικό πάρκο οροσειράς Ροδόπης. Η προσέγγιση της συγκεκριμένης έρευνας παρέχει μία πρώτη ολική εκτίμηση των περιοχών υπαίθρου, ενώ η ενίσχυση με επιπλέον μετρήσεις μπορεί να οριοθετήσει και να πολιτικοποιήσει με αποδοτικότερο τρόπο τις εκτιμήσεις δίνοντας την δυνατότητα δημιουργίας ενός εθνικού πλαισίου διαχείρισης και ανάδειξης των ήσυχων περιοχών υπαίθρου.

Συμπερασματικά αναφέρεται το γεγονός ότι στο σύνολο της Ελληνικής και Κοινοτικής νομοθεσίας, εκτός των ήσυχων περιοχών υπαίθρου το νομικό πλαίσιο αναφέρεται για την προστασία των ακουστικών κοινοτήτων των οικοσυστημάτων στην άρθρο 14 του Ν. 1650/86 με τμη επαρκή τρόπο. Είναι γεγονός πως το νομοθετικό πλαίσιο για τις προστατευόμενες περιοχές δεν εμπεριέχει όριο για την προστασία της βιοποικιλότητας από τον παραγόμενο θόρυβο. Παρόλα αυτά η διεθνής βιβλιογραφία έχει αναδείξει τις επιπτώσεις του θορύβου στην βιοποικιλότητα.

Σε μελέτες των πεδίων της βιοακουστικής, ακουστικής οικολογίας, οικολογίας ηχοτοπίου και τις οικοακουστικής έχουν αναδειχτεί πολλές μέθοδοι για τον καθορισμό της επίδρασης στα άτομα και συνολικά στα οικοσυστήματα. Οι ακουστικοί δείκτες αποτελούν παράγοντες υπολογισμού της υγείας του οικοσυστήματος και δύνανται να προσδιορίσουν την επίδραση του περιβαλλοντικού θορύβου στα οικοσυστήματα. Με αυτό τον τρόπο μία σχέση δόσης επίδρασης μπορεί να προσδιοριστεί. Σε αυτή την περίπτωση όμως η επίδραση δεν προσδιορίζεται από το άτομο που εκτίθεται σε θόρυβο αλλά από την αξιολόγηση της βιοποικιλότητας με την χρήση των ακουστικών δεικτών. Απαραίτητη κρίνεται η δημιουργία και η εφαρμογή επιτρεπτών ορίων εκπομπής θορύβου με αντιστρόφως ανάλογη σχέση με το καθεστώς προστασίας. Δηλαδή, καθώς το καθεστώς προστασίας αυξάνεται, τα επιτρεπόμενα όρια θα έπρεπε να μειώνονται.

2.15.Σολανώδη

Η καλλιέργεια των σολανωδών, δηλαδή της πατάτας, της τομάτας, της μελιτζάνας και της πιπεριάς στην Ελλάδα, αποτελεί μία σημαντική πηγή εισοδήματος για τους παραγωγούς και

εξίσου σημαντική πηγή συναλλάγματος για τον τόπο.

Η Ελλάδα πλεονεκτεί έναντι των άλλων ευρωπαϊκών χωρών στην καλλιέργεια και πρωιμότητα των κηπευτικών, λόγω της ηλιοφάνειας και του ήπιου και εύκρατου κλίματος. Το ύψος της ελληνικής παραγωγής σε λαχανικά ανέρχεται στα 4 εκατομμύρια τόνους, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 8,6% της κοινοτικής παραγωγής (www.aua.gr/gr/dep/gen/Ekthesi).

Ο τομέας των λαχανικών και φρούτων αποτελεί το δυναμικότερο κλάδο για την ελληνική γεωργία, από άποψη ποσότητα παραγωγής, εμπορίας, απασχολούμενου ανθρώπινου δυναμικού, εισαγόμενου συναλλάγματος και κάλυψης του συνόλου σχεδόν των εγχώριων αναγκών σε αντίστοιχα προϊόντα. Η αύξηση των αποδόσεων στα λαχανικά αποδίδεται στη χρησιμοποίηση βελτιωμένου γενετικού υλικού, στην εκμηχάνιση της καλλιέργειας και στην αύξηση της επιφάνειας των υπό κάλυψη καλλιεργειών (Μπουρνάκας, 2007b).

Τα λαχανικά μπορεί να καταναλωθούν κυρίως ως νωπά-φρέσκα, αλλά και υπερκατεψυγμένα, κονσερβοποιημένα ή αφυδατωμένα. Από τα 250 περίπου είδη λαχανικών που υπάρχουν στον κόσμο, για την Ελλάδα έχουν οικονομική σημασία περίπου τα 30-40. Ο διαχωρισμός των κηπευτικών λαμβάνει χώρα με βάση κάποια κοινά χαρακτηριστικά, που έχουν τα μέλη της κάθε οικογένειας (Θανόπουλος, 2008).

2.15.1.Πιπεριά

Η *Capsicum annuum* είναι ένα εξημερωμένο είδος φυτού του γένους *Capsicum* το οποίο κατάγεται από την Νοτιότερη Βόρεια Αμερική και τη βοριότερη Νότια Αμερική. Αυτό το είδος είναι το πιο κοινό και ευρέως καλλιεργούμενο από τα πέντε εξημερωμένα είδη πιπεριές. Το είδος περιλαμβάνει μια ευρεία ποικιλία σχημάτων και μεγεθών των πιπεριών, τόσο ήπιων όσο και καυτερών στη γεύση, που διαφέρουν από πιπερια σε πιπερια. Στο παρελθόν ξυλώδεις μορφές αυτού του είδους έχουν κληθεί *C. frutescens*, αλλά τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για να διακρίνουν αυτές τις μορφές εμφανίζονται σε πολλές πληθυσμούς *C. annuum* και έτσι το *C. frutescens* δεν είναι σταθερά αναγνωρίσιμη είδος. Αν και το όνομα του είδους *annuum* σημαίνει «ετήσια» (από την λατινική *annus* "έτος"), το φυτό δεν είναι ετήσιο και με την απουσία παγετών το χειμώνα μπορεί να επιβιώσει αρκετές εποχές και να αναπτυχθεί σε ένα μεγάλο πολυετή θάμνο. Η πιπεριά είναι αγγειόσπερμο, δικότυλο, ποώδες και θαμνώδες φυτό του γένους Καπικών (*Capsicum*). Ανήκει στην τάξη Στρυχνώδη (*Solanales*) της οικογένειας Στρυχνοειδών (*Solanaceae*). Η πιπεριά υπάρχει σε 50 περίπου είδη ανά τον κόσμο, άλλοτε με γλυκούς και άλλοτε με καυτερούς καρπούς. Το φυτό έχει ύψος 50–75 εκατοστά, βλαστούς που στην αρχή είναι τρυφεροί και στη συνέχεια ξυλώδεις, φύλλα σχετικά μικρά, ανοιχτοπράσινα, άνθη λευκά που φύονται μεμονωμένα σε ομάδες των 2 ή 3. Ο καρπός της πιπεριάς είναι πολύσπερμος πράσινος ή κιτρινοπράσινος, που γίνεται κόκκινος ή κίτρινος όταν ωριμάσει. Το σχήμα του, ανάλογα με την ποικιλία, είναι κωνικό και μακρύ έως σφαιρικό ή τοματόμορφο. Οι γλυκείς καρποί είναι μεγαλύτεροι από τους καυτερούς, αυλακωτοί και διογκωμένοι. Μαζεύονται 60–80 μέρες μετά από τη μεταφύτευση του φυταρίου από το φυτώριο και όταν έχουν ζωηρό πράσινο χρώμα, πριν ωριμάσουν. Πλούσιοι σε βιταμίνη C και βιταμίνη A, τρώγονται σε σαλάτες ή μαγειρεμένοι. Αποτελούν ένα από τα κύρια υλικά της Ελληνικής κουζίνας, καθώς χρησιμοποιούνται στη

χωριάτικη σαλάτα ,στα γεμιστά, αλλά και ως συμπλήρωμα σε σάλτσες κ.λ.π.Οι καυτεροί καρποί χρησιμοποιούνται ψητοί ως ορεκτικό ή γίνονται σκόνη και χρησιμοποιούνται ως μπαχαρικό. Η καυστικότητα των καρπών οφείλεται σε μία ουσία, την καψαϊκίνη, ένα αλκαλοειδές που βρίσκεται στο εσωτερικό τους. Χαρακτηρίζει σήμερα πολλές κουζίνες της Ανατολής, της Ινδίας, της Άπω Ανατολής και Λατινικής Αμερικής, ενώ είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Ισπανία και το Μεξικό. Στα θερμά κλίματα η καυτερή πιπεριά καταναλώνεται κατά κόρον, καθώς ερεθίζει ορισμένα κέντρα του υποθαλάμου, προκαλώντας εφίδρωση και μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Γνωστότερα από τα μπαχαρικά που παράγονται από την καυτερή πιπεριά είναι το τσίλι και το καγιέν, από ξηραμένους καρπούς των ποικιλιών *Frutescens* και *Annum*, και η καυτερή σάλτσα Ταμπάσκο. Η γλυκιά πάπρικα προέρχεται από μία ποικιλία με ιδιαίτερο άρωμα αλλάμη καυτερή.

2.15.2Μελιτζάνα

Οι βλαστοί στην αρχή της εμφάνισής τους, είναι τρυφεροί ποώδεις και με την πάροδο του χρόνου γίνονται ξυλώδεις, αλλά είναι εύθραυστοι, γι' αυτό χρειάζεται κάποια στήριξη του φυτού. Τα φύλλα είναι μεγάλα, σαρκώδη, ελλειψοειδή, ακέραια, φέρουν τρίχες και χνούδι, είναι βαθυπράσινα και αρκετές φορές πάνω στις νευρώσεις φέρουν άκανθες. Τα φύλλα είναι εναλλασσόμενα επί των βλαστών και έχουν κοντό μίσχο που μερικές φορές φέρει και άκανθες. Η ρίζα αναπτύσσεται σε ενδιάμεσο βάθος 60 -120cm. Έχει κεντρική ρίζα που αντικαθίσταται από πολλές πλευρικές αν τραυματιστεί κατά τη μεταφύτευση. Οι πλευρικές ρίζες απλώνονται σε σχετικά μικρό βάθος. Τα άνθη εμφανίζονται μονήρη σε ταξιανθίες, 2-3 μαζί πάνω στους βλαστούς, είναι μεγάλα με ιώδη χρώμα. Στις πρώιμες ποικιλίες τα άνθη εμφανίζονται με την εμφάνιση του έκτου πραγματικού φύλλου, ενώ στις πολύ όψιμες μετά το 14ο πραγματικό φύλλο. Η στεφάνη είναι συμπέταλη ιώδους χρώματος με 5 ή περισσότερα πέταλα. Στο κάτω μέρος του κάθε πετάλου είναι κολλημένος ένας στήμονας. Οι στήμονες που δεν είναι κολλημένοι στη βάση μεταξύ τους αλλά απλώς ενωμένοι με τα πέταλα, δημιουργούν ένα κώνο γύρω από τον στύλο, που είναι συνήθως πιο μακρύς από τους στήμονες, αλλά μπορεί να είναι και μικρότερος. Οι στήμονες φέρουν ανθήρες από τους οποίους η γύρη εξέρχεται κατά την ωρίμανση από τρύπες που ανοίγουν στην κορυφή τους. Στη μελιτζάνα παρουσιάζεται έντονα το φαινόμενο της ετεροστυλίας.

2.16.Εχθροί πιπεριάς και μελιτζάνας

2.16.1.Tetranychus urticae

Είδος κοσμοπολίτικο και εξαιρετικά πολυφάγο. Το ενήλικο θηλυκό έχει μήκος 0,53 mm, σχήμα ωοειδές-σφαιροειδές και χρώμα ανοικτό κίτρινο έως θαμπό πράσινο με δυο σκούρες κηλίδες επί των πλευρών. Κατά την ξηρή περίοδο και το φθινόπωρό αποκτά πορτοκαλί χρωματισμό και κεραμόχροα απόχρωση στη διάρκεια του χειμώνα . Διαχειμάζει σαν ενήλικο θηλυκό πάνω στα φυτά, στα υπολείμματα της καλλιέργειας, στο σκελετό του θερμοκηπίου και σύμφωνα με τον Linke (1953) κυρίως εντός του εδάφους. Με τη βελτίωση των συνθηκών την άνοιξη ξεκινά η ωοτοκία (συνήθως εντός του Μαρτίου για τις ελληνικές συνθήκες), και εκτός των

θερμοκηπιακών καλλιεργειών μπορεί να προσβάλει τα γνωστά δενδρώδη, την άμπελο, τα ψυχανθή, τα σύνθετα, σταυρανθή, σολανώδη, κολοκυνθοειδή, καρυοφυλλώδη και φυσικά ένα μεγάλο αριθμό αυτοφυών. Οι ευνοϊκές συνθήκες εντός του θερμοκηπίου, όπως είναι φυσικό, εξασφαλίζουν στη συνεχή ανάπτυξή του. Η μέση γονιμότητα είναι 94 αυγά και η επώαση διαρκεί 2,5 ημέρες στους 34°C και 20 ημέρες στους 14°C ενώ η μετεμβρυϊκή ανάπτυξη 4 στους 34°C και 22 ημέρες στους 14°C. Γονιμοποιημένα αυγά δίνουν αρσενικά ή θηλυκά και παρθενογενετικά αυγά μόνο αρσενικά. Η ανάπτυξή του περιλαμβάνει πέντε στάδια και στους 21°C χρειάζεται περί τις 14 ημέρες ενώ στους 30°C λιγότερο από μια εβδομάδα. Κάθε ενήλικο θηλυκό παράγει περισσότερα από 100 αυγά σε περίοδο τριών εβδομάδων και σύμφωνα με τον Σουλιώτη (1994) μπορεί να αναπτύξει πάνω από 15 γενεές σε ένα έτος μέσα στο θερμοκήπιο.

2.16.2. *Myzus Persicae*

Είναι η σημαντικότερη ίσως αφίδα στη χώρα μας εξαιτίας του μεγάλου αριθμού ιώσεων, που μεταφέρει και του μεγάλου αριθμού ξενιστών. Το άπτερο παρθενογενετικό ζωοτόκο θηλυκό έχει σώμα σχετικά λεπτό μήκους 1,5-5 mm και χρώμα πράσινο πρασινοκίτρινο, ρόδινο ή κίτρινο. Οι σίφωνες είναι λεπτοί και μακριοί (0,4 mm) αλλά δεν ξεπερνούν την άκρη της κοιλίας. Η ουρίτσα (cauda) είναι στενόμακρη (0,2 mm) με τρία ζευγάρια τρίχες. Είδος εξαιρετικά πολυφάγο προσβάλει πάνω από 400 είδη φυτών που ανήκουν κυρίως στις οικογένειες Solanaceae, Rosaceae, Malvaceae, Chenopodiaceae, Umbellifera, Compositae, Crusifera, Papilionaceae. Από τα ποώδη προσβάλει κυρίως, καπνό, πατάτα, τομάτα, μαρούλι, λάχανο, σπανάκι, τεύτλα, κουκιά, καρότα, σιτάρι ενώ από τα δενδρώδη, ροδακινιά, βερικοκιά, δαμασκηνιά, κερασιά και αμυγδαλιά.

Έχει πάνω από 5 γενεές το έτος και σε περιοχές με ψυχρό χειμώνα διαχειμάζει σαν χειμερινό αυγό στο φλοιό του κύριου ξενιστή (ροδακινιά κατά πρώτον ή άλλα πυρηνόκαρπα). Τα χειμερινά αυγά (4-6 ανά θηλυκό) βρίσκονται στους οφθαλμούς ή τις εσοχές του φλοιού και όταν βελτιωθούν οι συνθήκες (άνοιξη) εκκολάπτονται και δίνουν άπτερα παρθενογενετικά θηλυκά, τα λεγόμενα θεμελιωτικά (fundatrices).

Ακολουθούν δύο παρθενογενετικές γενεές στην ροδακινιά και μετά πτερωτά άτομα μεταναστεύουν σε ποώδη φυτά (δευτερεύοντες ξενιστές) όπου κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου ακολουθούν αλληπάλληλες παρθενογενετικές γενεές. Αργότερα το φθινόπωρο ή αρχές του χειμώνα παράγονται στα ποώδη φυτά πτερωτά θηλυκά άτομα, που μεταναστεύουν στην ροδακινιά. Παράλληλα παράγονται και αρσενικά άτομα τα οποία συζεύγνυνται με τα θηλυκά, τα οποία στη συνέχεια γεννούν τα χειμερινά αυγά. Σε ζεστές περιοχές αναπαράγεται παρθενογενετικά όλο το χρόνο. Είναι ανθεκτικό στο κρύο και αναπτύσσεται μεταξύ 5° και 30°C. Στους 25°C τα θηλυκά ζουν κατά μέσο όρο 25 ημέρες και γεννούν 60 προνύμφες. Ο Μιχαλόπουλος (1991), αναφέρει ότι είναι διαπιστωμένη η ύπαρξη ολοκυκλικών μορφών στην Ελλάδα. Όπου είναι ανολοκυκλική διαχειμάζει σε ζιζάνια όπως η *Capsella bursa pastoris*, το *Cirsium* και άλλα καθώς και καλλωπιστικά. Αντέχει πολύ καλά το κρύο με αρκετές ώρες θερμοκρασία κάτω του μηδενός.

2.16.3. *Frankliniella occidentalis*

Πήρε το όνομά του από την ομώνυμη πολιτεία των Η.Π.Α. όπου ενδημεί. Στην Κρήτη εμφανίστηκε στα τέλη του 1987 με αρχές 1988 σε θερμοκήπια Και το 1990 παρατηρήθηκαν προσβολές και σε υπαίθριες καλλιέργειες. Το 1991 (Μ.Ε. Τζανακάκης & Β.Ι. Κατσόγιαννός, 1998), βρέθηκε να προκαλεί σοβαρές ζημιές σε αμπελώνες και υπαίθριες καλλιέργειες φασολιών στο Νομό Καβάλας, σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες πιπεριάς στο Νομό Ημαθίας και σε υπαίθριες καλλιέργειες γαριφάλου στο Νομό Αττικής. Το ενήλικο θηλυκό έχει μήκος 1 mm, χρώμα κίτρινο-καστανό και αναπαράγεται κυρίως παρθένογενετικά. Γεννά τα αυγά του σε κρυφές θέσεις πάνω στους φυτικούς ιστούς (οφθαλμούς, άνθη, φύλλα και καρπούς). Ανάλογα με τη θερμοκρασία οι προνύμφες εμφανίζονται 2-5 ημέρες αργότερα και στην αρχή έχουν χρώμα λευκό που αργότερα γίνεται κίτρινο; Διανύει δυο προνυμφικά στάδια εκ των οποίων το δεύτερο είναι ιδιαίτερα δραστήριο. Νυμφώνεται στο έδαφος κυρίως (> 90%) αλλά και πάνω στα φυτά. Σε θερμοκρασίες 20-26°C οι πληθυσμοί αναπτύσσονται σε υψηλά επίπεδα ενώ κάτω από 15°C η ανάπτυξη και αναπαραγωγή μειώνονται σημαντικά. Ζει κρυμμένος στους οφθαλμούς και τα άνθη γι' αυτό ακριβώς χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Η παρουσία του στην αρχή δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή για να αποκτήσει ξαφνικά εκρηκτικό χαρακτήρα και να καταστεί δύσκολη η καταπολέμησή του. Σύμφωνα με τον Κατσόγιαννο (1992) το ενήλικο δεν είναι μακρύτερο από 2mm και στην Αμερική έχουν παρατηρηθεί τρεις μορφές. Μια ωχροκίτρινη, μια ενδιάμεση και μια σκουρόχρωμη. Την άνοιξη υπερτερεί αριθμητικά η σκουρόχρωμη ενώ κατά το υπόλοιπο έτος η ωχροκίτρινη. Τα αυγά είναι νεφροειδή, μη διαυγή με μήκος γύρω στα 0,2 mm και εναποτίθενται μέσα στον υποεπιδερμικό ιστό των φύλλων ανθικών μερών ή φρούτων. Στην Καλιφόρνια αναπτύσσει 5-7 γενεές το έτος και διαχειμάζει σαν ενήλικο και νύμφη. Κατά τη διαχείμαση βρίσκεται είτε στο έδαφος είτε σε χειμερινά φυτά. Έχει αναφερθεί ότι προσβάλλει 244 είδη από 62 οικογένειες. Τομάτα, πιπεριά, κολοκυνθοειδή, φράουλα, φασόλια, μαρούλια, λάχανα, κρεμμύδια, τριαντάφυλλα, γαριφάλα, χρυσάνθεμα, κυκλάμινα, αραβόσιτος, βαμβάκι, μηδική, αραχίδα, λάθυρο, μηλιά, ροδακινιά, νεκταρίνια, αμπέλι (Italia, Victoria, Almería, Calmería) είναι μεταξύ των σημαντικότερων ξενιστών του. Στους 30°C ο βιολογικός κύκλος διαρκεί 13 ημέρες και είναι πιθανό να φθάνει τις 15 γενεές στα θερμοκήπια. Διαχειμάζει σαν ενήλικο, κυρίως σε προφυλαγμένες θέσεις (έδαφος, φυτά, κάτω από πέτρες). Κάτω από τους 8°C η θνησιμότητα στις νύμφες 1ου και 2ου σταδίου είναι υψηλή.

2.16.4. *Nezara viridula*

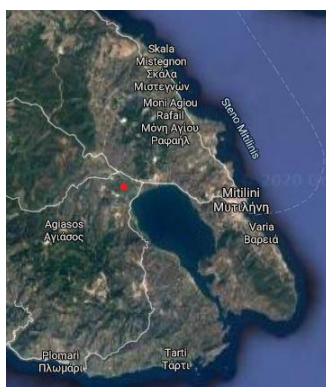
Εξαιτίας της δυσάρεστης οσμής που αναδίδουν, τα έντομα αυτά είναι περισσότερο γνωστά ως «βρομούσες» ή «βρομομαρίες». Το σώμα των βρομουσών είναι ωσειδές και έχουν πέντε κεραίες. Διαθέτουν αδένες στο θώρακά τους μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου ζεύγους ποδιών και από αυτούς αναδύουν μια δυσάρεστη οσμή. Αυτή αποθαρρύνει τους πιθανούς εχθρούς του ζώου και οφείλεται σε αλδεΐδες ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHO}$), οι οποίες μοιάζουν από χημική άποψη με τις φερομόνες. Επίσης, έχουν μάτια κόκκινα ή μαύρα και η διάρκεια της ζωής τους είναι 65-70 ημέρες. Γεννούν αυγά από τα οποία βγαίνουν οι νύμφες, οι οποίες μοιάζουν με τα ενήλικα με εξαίρεση το μέγεθός τους, που είναι μικρότερο και το γεγονός ότι δεν έχουν φτερούγες. Ωστόσο, οι νύμφες διαθέτουν επίσης αδένες που εκπέμπουν

δυσωδία. Η επώαση των αυγών διαρκεί πέντε ημέρες το καλοκαίρι και 2-3 εβδομάδες στις αρχές της άνοιξης ή στο τέλος του φθινοπώρου. Οι νύμφες και τα ενήλικα ζώα έχουν μυζητικά μέρη στο στόμα τους, για να ρουφούν χυμό από τα φυτά, παρά το γεγονός ότι ορισμένα είδη τρέφονται με έντομα. Όταν εμφανίζονται σε μεγάλες ομάδες, μπορούν να καταστούν πολύ επιζήμια έντομα για τη γεωργία.

3.Μεθοδολογια

3.1.Περιοχή μελέτης

Περιοχή μελέτης αποτελεί ο κάμπος Ιππείου, ο οποίος βρίσκεται βόρεια του κόλπου Γέρας της νήσου Λέσβου.



Είναι μια από τις ευφορότερες πεδιάδες του νησιού γεμάτη από περιβόλια με ελιές, με κηπευτικά, και κάθε λογής οπωροφόρα. Παλαιότερα καλλιεργούνταν σιτηρά, βαμβάκι, καπνά και μάλιστα φημιζόταν για την άριστη παραγωγή σύκων τα οποία και εξήγαγε. Η ποιότητα του εδάφους σε συνδυασμό με τον πλούσιο και σε μικρό βάθος υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής δίνουν ώθηση στην καλλιέργεια των προϊόντων αυτών και αποτελούν βασική απασχόληση των κατοίκων. Άλλωστε λίγο πριν την είσοδο του χωριού, στην περιοχή “Υδατα” όπου πήγαζαν άφθονα νερά από την αρχαιότητα, βρίσκεται σήμερα το κυριότερο αντλιοστάσιο ύδρευσης του Δήμου Μυτιλήνης. Τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής τον μήνα του πειράματος (Σεπτέμβριος, 2019) είναι:

- Ατμοσφαιρική πίεση (hPa) 1014
- Μέση θερμοκρασία (°C) 22.3
- Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C) 25.2
- Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C) 19.6
- Απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία (°C) 36.3
- Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία (°C) 10.9

- Μέση σχετική υγρασία (%) 60
- Μέση βροχόπτωση (mm) 11
- Μέσος αριθμός ημερών με βροχή μεγαλύτερη από 1 mm 1
- Μέση ένταση ανέμου (m/s) 2.3

3.2.Εργαλεία και δείκτες

Χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εργαλεία:

- TASCAM DR-05X το οποίο επιτρέπει την καταγραφή υψηλής ποιότητας. Η συσκευή είναι φορητή και ισχυρή, με μέγεθος που μπορεί να χειριστεί κανείς. Τα διπλά εσωτερικά μικρόφωνα συμπτυκνωτή μπορούν να χειριστούν οτιδήποτε ήχο, από λεπτό και δυνατό έως 125dB SPL, με ευαισθησία για να συλλαμβάνει κάθε λεπτομέρεια.
- CREATIVE MUVO 2c, ηχεία που επιλέχθηκαν τόσο για το μέγεθος τους, όντας αρκετά μικρά, όσο και για την ένταση και ποιότητα ήχου που μπορούν να παράγουν.
- Μεγεθυντικός φακός για την παρατήρηση του αριθμού των διαφόρων εντόμων στα καλλιεργούμενα είδη.
- Audacity για την επεξεργασία ηχητικών αρχείων με σκοπό την μετατροπή τους σε wave μορφή.
- R statistics εξαγωγή ακουστικών δεικτών και επιπέδων ηχητικής πολυπλοκότητας.

Για την επεξεργασία των αρχείων ήχου wave και τη εξαγωγή των δεικτών, καθώς επίσης και των φασματογραφημάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “R Statistics”. Συγκεκριμένα, τα πακέτα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τα εξής :

- TuneR: Εισαγωγή των αρχείων ήχου στο λογισμικό της R (Weihs, 2009)
- Seawave: Για την εξαγωγή φασματογραφήματος βάση του αρχείου ήχου, και τον υπολογισμό του δείκτη εντροπίας H (Simonis et al., 2018)
- Sound ecology: Εξάγει τον δείκτη ακουστικής πολυπλοκότητας ADI, τον βιοακουστικό δείκτη BI, τον δείκτη ακουστικής ποικιλότητας ACI, τον δείκτη ακουστικής περιεκτικότητας AEI και την πολλαπλή επεξεργασία αρχείων ήχου (Villanueva-Rivera et al, 2015)
- Ineq: Συμβάλει στον μαθηματικό υπολογισμό των ακουστικών δεικτών (Zeileis & Kleiber, 2015)
- SPSS για στατιστική ανάλυση ποσοτικών δεδομένων.

3.3.Εφαρμογή στο πεδίο

Η εφαρμογή έγινε σε δύο ελαιοκτήματα του κάμπου Ιππείου με καλλιέργειες κηπευτικών το μήνα Σεπτέβριο.



Τα ελαιοκτήματα απέχουν μεταξύ τους περίπου 1km.



Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα παρακάτω:

- Επιλογή των φυτών τα οποία θα παρατηρηθούν στο πρώτο αγρόκτημα.



- Επιλογή των φυτών τα οποία θα παρατηρηθούν στο δεύτερο αγρόκτημα.



- Μαρκάρισμα των περιοχών που βρίσκονται τα φυτά.



- Επιλογή λευκού θορύβου από βάση δεδομένων και εισαγωγή στα ηχεία.
- Τοποθέτηση των ηχείων με τρόπο που να καλύπτει ηχητικά όλη την περιοχή που βρίσκονται τα φυτά.



- Τοποθέτηση του καταγραφικού σε σημείο που να περιβάλλεται από τις πηγές του ήχου.



- Αναπαραγωγή του λευκού ήχου.
- Καταγραφή με το καταγραφικό ήχου.

- Παρατήρηση και καταγραφή των εντόμων που βρίσκονται στα φυτά.
- Επιλογή ροζ θορύβου από βάση δεδομένων και εισαγωγή στα ηχεία.
- Αναπαραγωγή του ροζ θορύβου.
- Καταγραφή με το καταγραφικό ήχου.
- Παρατήρηση και καταγραφή των εντόμων που βρίσκονται στα φυτά.
- Επιλογή καφέ θορύβου από βάση δεδομένων και εισαγωγή στα ηχεία.
- Αναπαραγωγή του καφέ θορύβου.
- Καταγραφή με το καταγραφικό ήχου.
- Παρατήρηση και καταγραφή των εντόμων που βρίσκονται στα φυτά.

4.Αποτελέσματα

4.1.Αποτελεσματα στατιστικής Ανάλυσης

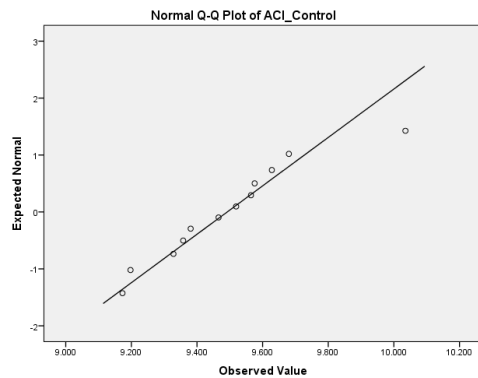
Descriptive Statistics

| | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation |
|-----------------|----|---------|----------|-----------|----------------|
| ACI_Control | 12 | 9172,83 | 10035,18 | 9492,0894 | 235,20001 |
| ACI_Min_Control | 12 | 1786,79 | 1960,65 | 1833,4863 | 53,44269 |
| NDSI_Control | 12 | -,15 | ,93 | ,3050 | ,38127 |
| ACI_White | 12 | 8889,83 | 9924,03 | 9460,7051 | 276,00484 |
| ACI_Min_White | 12 | 1810,32 | 1874,92 | 1835,1517 | 17,26562 |
| NDSI_White | 12 | -,35 | ,08 | -,1313 | ,11765 |
| ACI_Pink | 12 | 8611,50 | 9506,96 | 9156,9928 | 248,58741 |
| ACI_Min_Pink | 12 | 1766,83 | 1778,76 | 1771,2525 | 3,31226 |
| NDSI_Pink | 12 | ,70 | ,71 | ,7030 | ,00211 |
| ACI_Brown | 12 | 9065,92 | 9824,81 | 9521,5983 | 236,00559 |
| ACI_Min_Brown | 12 | 1805,74 | 1870,14 | 1836,3883 | 17,85166 |
| NDSI_Brown | 12 | -,57 | ,08 | -,1010 | ,21089 |

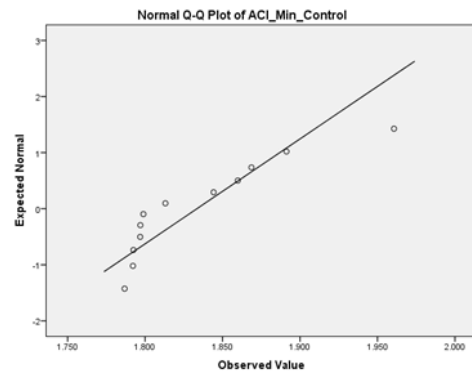
Tests of Normality

| | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
|-----------------|-----------|----|-------|-----------|----|------|
| ACI_Control | ,129 | 12 | ,200* | ,940 | 12 | ,493 |
| ACI_Min_Control | ,241 | 12 | ,052 | ,823 | 12 | ,017 |
| NDSI_Control | ,213 | 12 | ,139 | ,895 | 12 | ,138 |
| ACI_White | ,207 | 12 | ,164 | ,943 | 12 | ,537 |
| ACI_Min_White | ,178 | 12 | ,200* | ,932 | 12 | ,406 |
| NDSI_White | ,139 | 12 | ,200* | ,981 | 12 | ,989 |
| ACI_Pink | ,324 | 12 | ,001 | ,849 | 12 | ,036 |
| ACI_Min_Pink | ,264 | 12 | ,021 | ,893 | 12 | ,130 |
| NDSI_Pink | ,105 | 12 | ,200* | ,964 | 12 | ,840 |
| ACI_Brown | ,169 | 12 | ,200* | ,935 | 12 | ,437 |
| ACI_Min_Brown | ,119 | 12 | ,200* | ,984 | 12 | ,995 |
| NDSI_Brown | ,283 | 12 | ,009 | ,782 | 12 | ,006 |

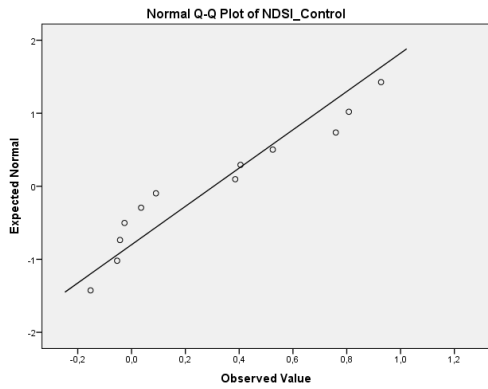
ACI_Control



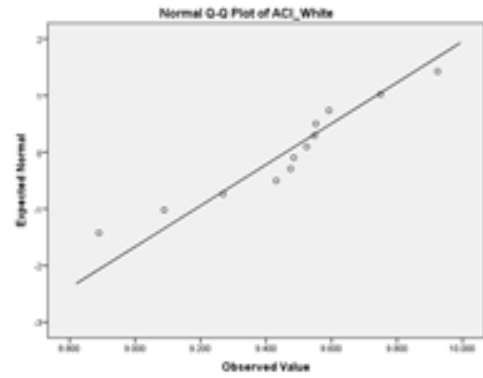
ACI_Min_Control



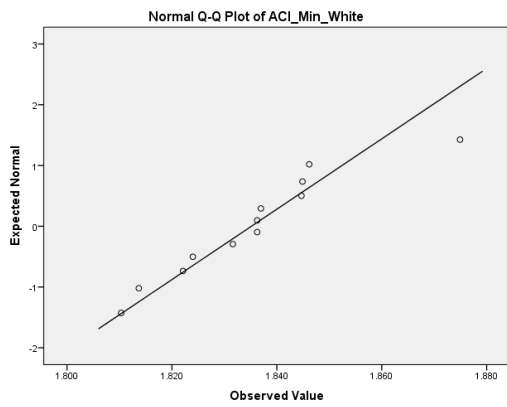
NDSI_Control



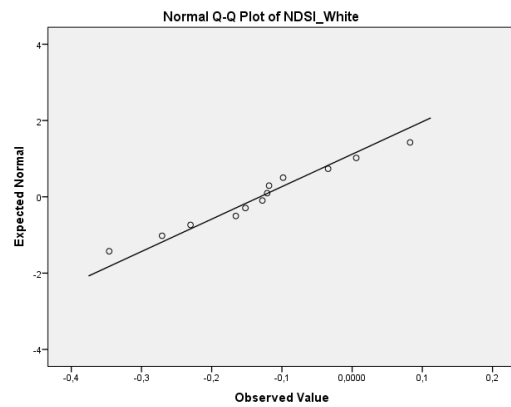
ACI_White



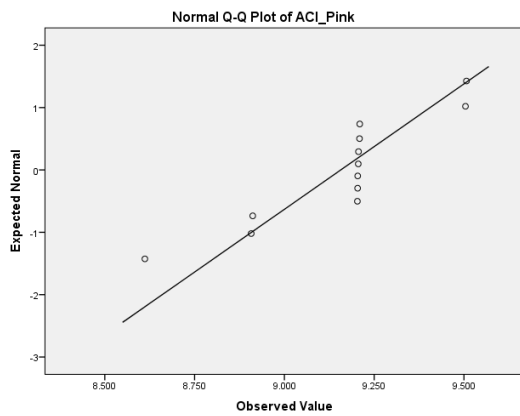
ACI_Min_White



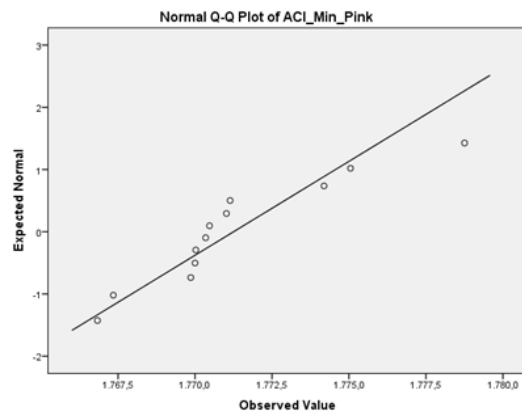
NDSI_White



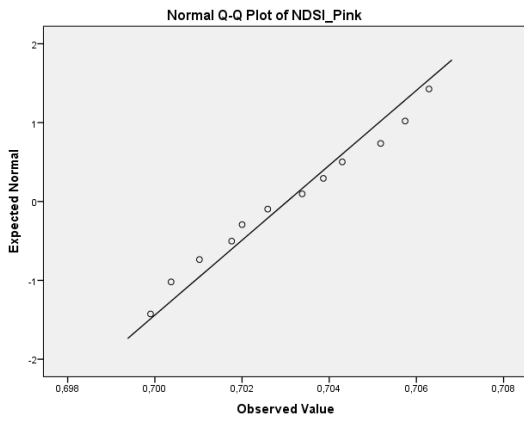
ACI_Pink



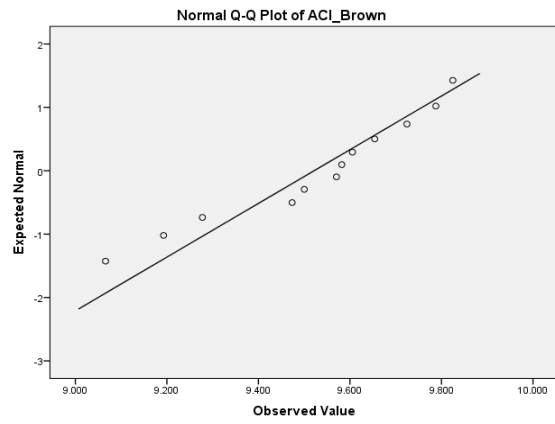
ACI_Min_Pink



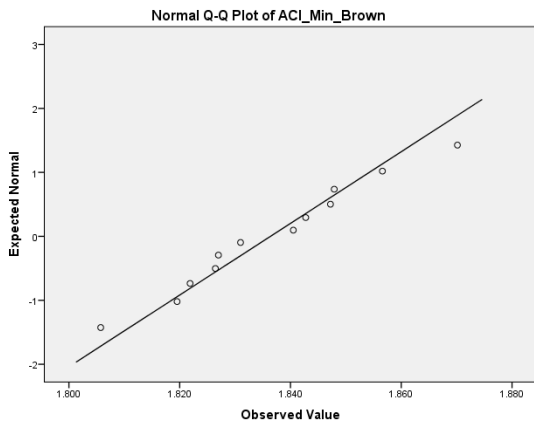
NDSI_Pink



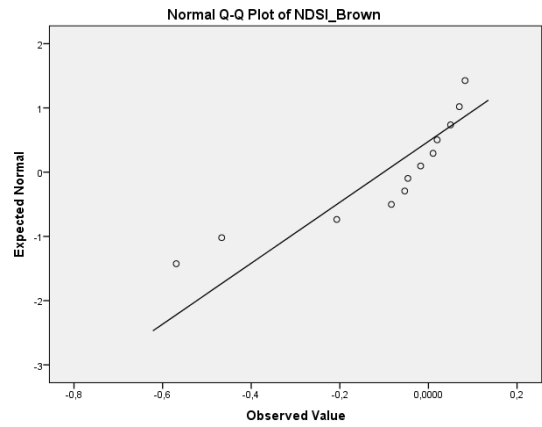
ACI_Brown



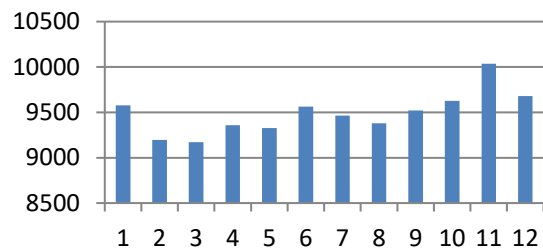
ACI_Min_Brown



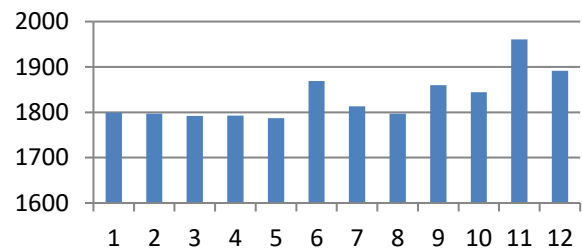
NDSI_Brown

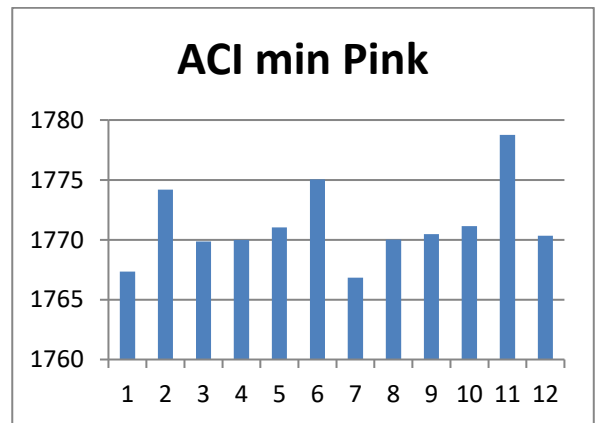
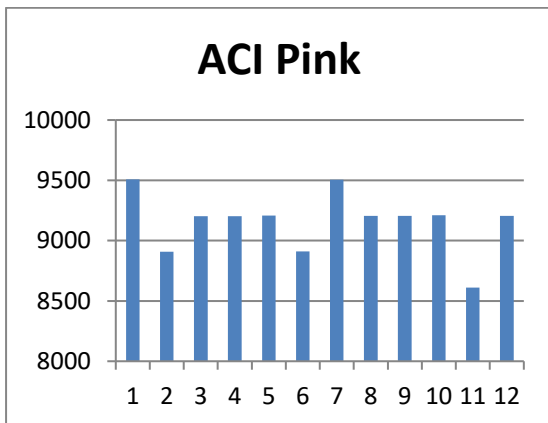
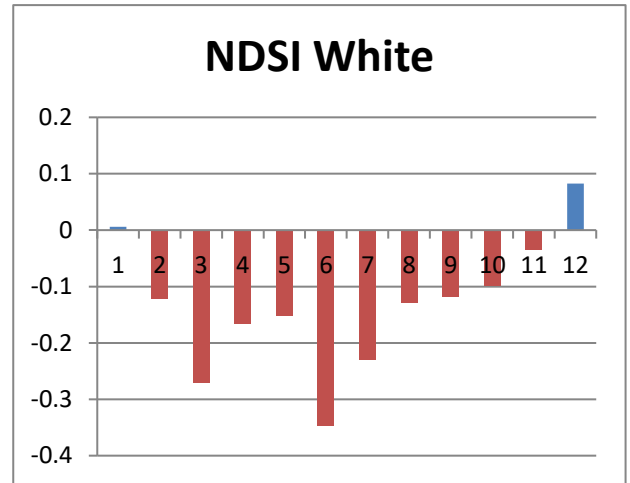
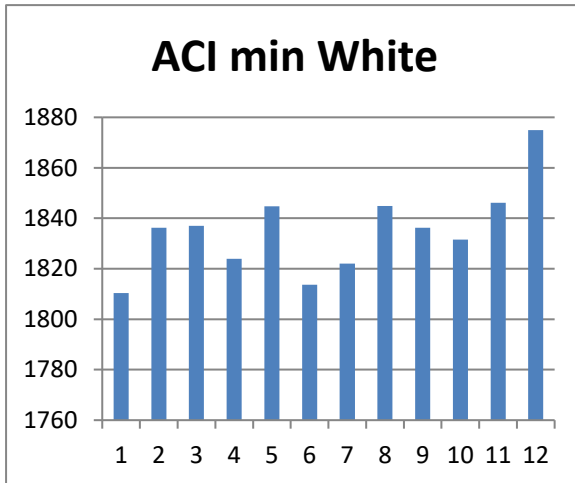
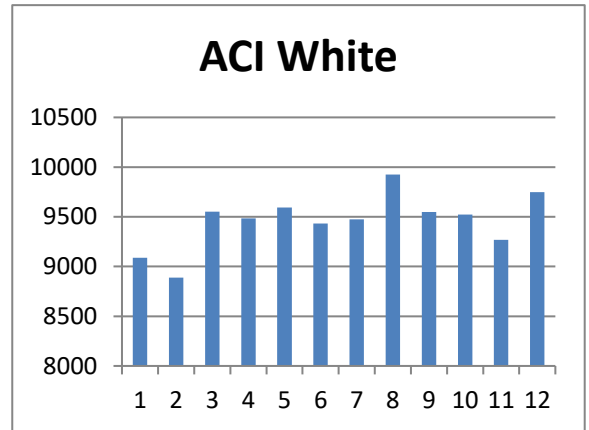
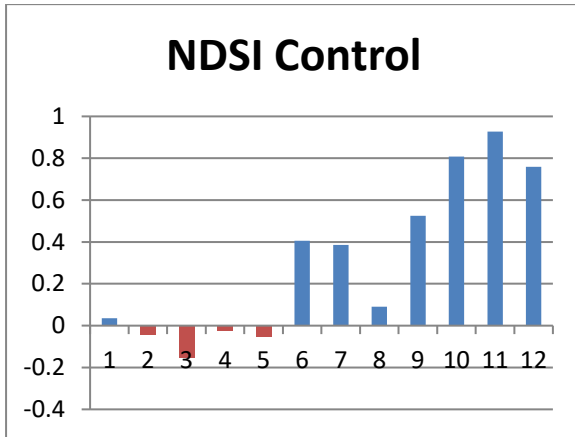


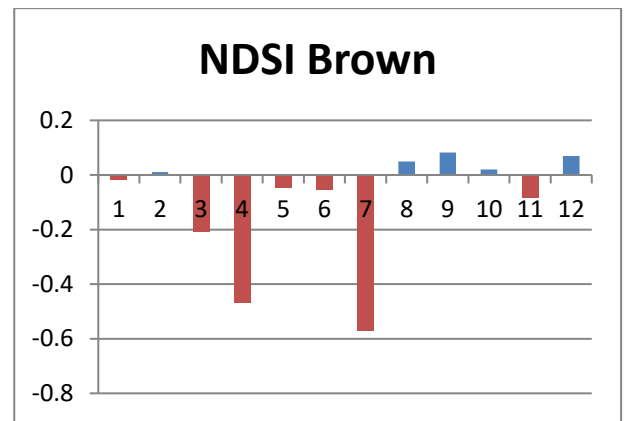
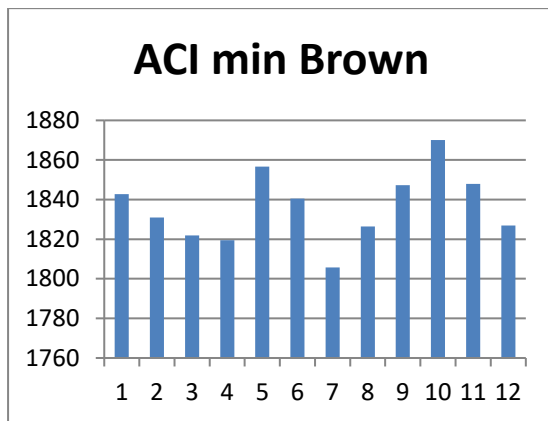
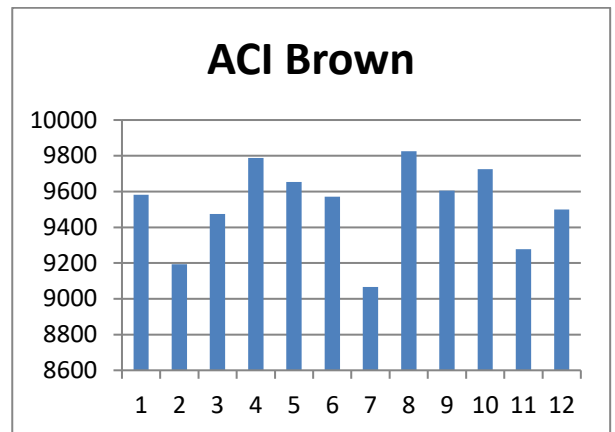
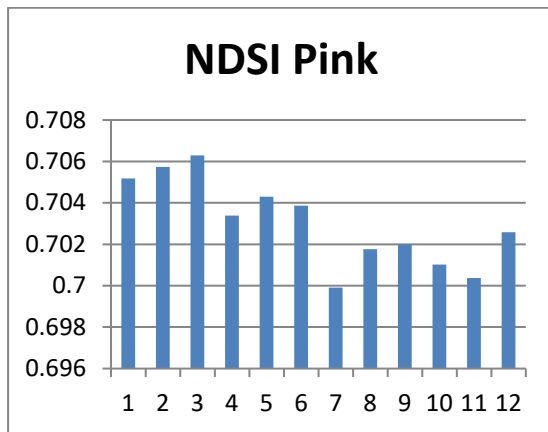
ACI Control



ACI min Control



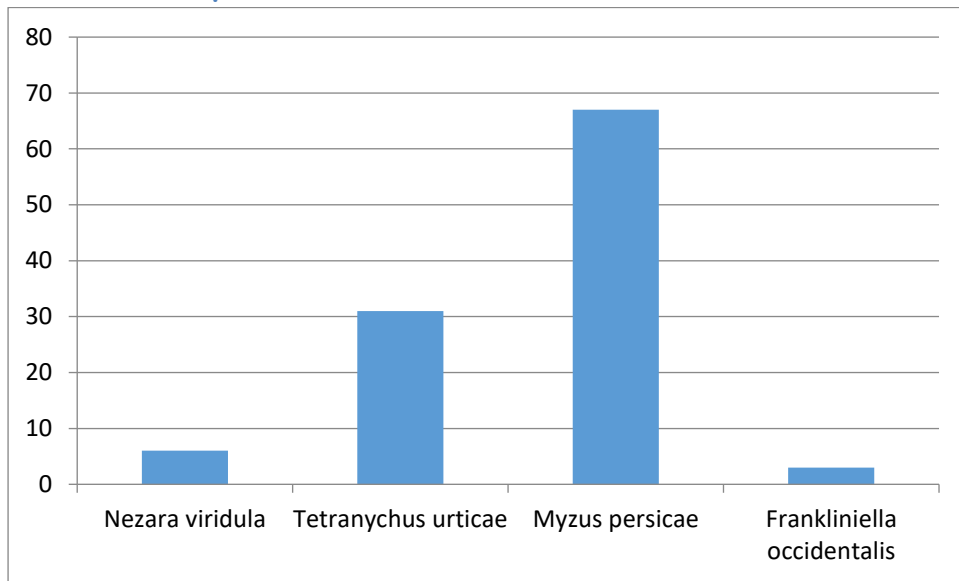




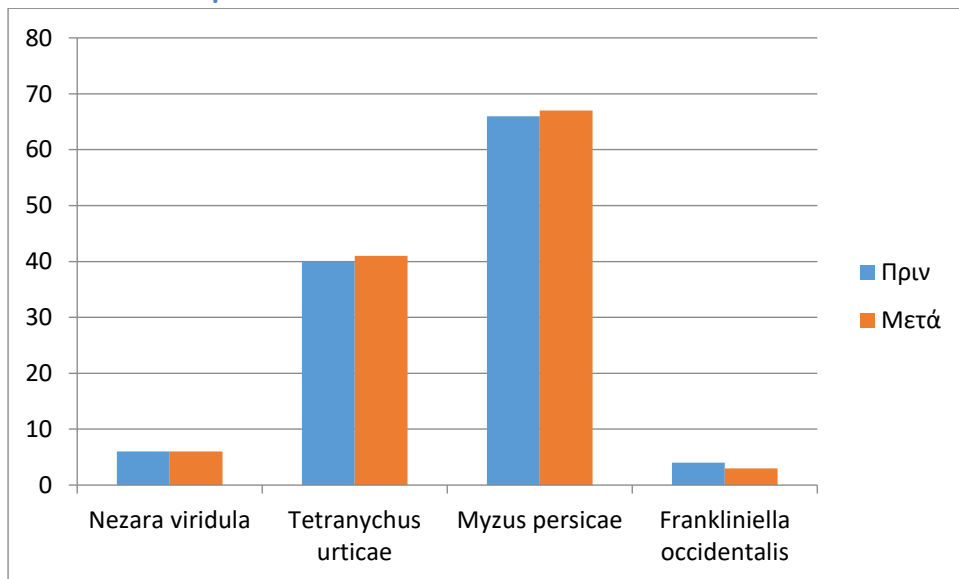
Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης προκύπτει ότι ο δείκτης NDSI control με τον δείκτη ACI control ($R^2= 0,788$, $\text{sig}= 0,000 < 0,05$) έχουν θετική συσχέτιση, αφού χωρίς να παραχθεί κάποιος ανθρωπογενής ήχος, η βιοφωνία επικρατεί της ανθρωποφωνίας. Ακόμη ο δείκτης NDSI pink με τον δείκτη NDSI control ($R^2= -0,606$, $\text{sig}= 0,006 < 0,05$) έχουν αρνητική συσχέτιση, αφού στο control επικρατεί η βιοφωνία ενώ στο pink επικρατεί η ανθρωποφωνία.

4.2.Αποτελέσματα από παρατήρηση με μεγεθυντικό φακό

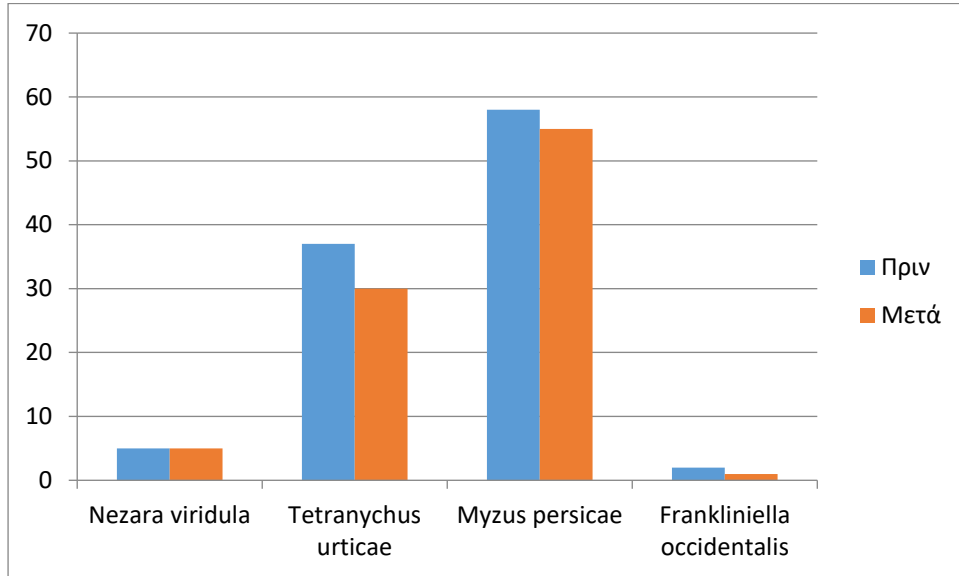
4.2.1.Αποτελέσματα από Control



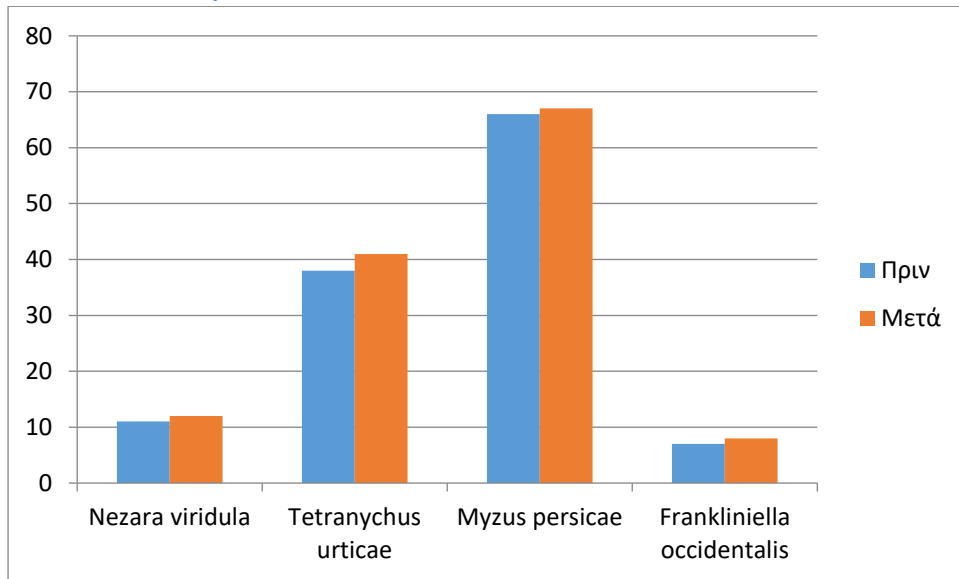
4.2.2.Αποτελέσματα από White noise



4.2.3.Αποτελέσματα από Pink noise



4.2.4.Αποτελέσματα από Brown noise



5. Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από τη στατιστική ανάλυση, όσο και από την παρατήρηση με τον μεγεθυντικό φακό, φαίνεται ότι κάποιες συχνότητες μπορούν να αποτελέσουν αποτρεπτικό παράγοντα για την παραμονή κάποιων ειδών σε καλλιέργειες σολανώδων. Η εκπομπή του pink noise μείωσε τον συνολικό αριθμό εντόμων στις καλλιέργειες σολανώδων. Τα έντομα *Tetranychus urticae* και *Frankliniella occidentalis* επηρεάστηκαν περισσότερο από την αναπαραγωγή θορύβων. Για να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα, με καλύτερα ελεγχόμενες συνθήκες και με τη δυνατότητα περισσότερων επαναλήψεων. Ακόμη για την εξαγωγή ασφαλή συμπερασμάτων κρίνεται απαραίτητο να ερευνηθούν οι συμπεριφορές διαφόρων οικογενειών εντόμων.

Βιβλιογραφία

Δέσποινα Βώκου. (2011). 10 Χρόνια Εφαρμογής Επιτροπή « Φύση 2000 » Δέσποινα Βώκου Πρόεδρος Σεπτέμβριος 2011. 2002/49/EC. (n.d.). Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3A12118079/409/EEC>. (n.d.).

Μ.Ε. Τζανακάκης- Β.Ι. Κατσόγιαννός (1998). Έντομα καρποφόρων δέντρων και αμπέλου.

Directive on the conservation of wild birds. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128046>

Bastián-Monarca, N. A., Suárez, E., & Arenas, J. P. (2016). Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. *Science of the Total Environment*, 550, 439–448.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.139> Booi, H., & van den Berg, F. (2012). Quiet areas and the need for quietness in Amsterdam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(4), 1030–1050. <https://doi.org/10.3390/ijerph9041030>

Barry Truax. (1999). Originally published by the World Soundscape Project, Simon Fraser University, and ARC Publications.

Brumm H., Slabbekoorn H. (2005). Acoustic Communication in Noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35, 151–209. Brumm, H. (2013). Animal signals and communication 2: animal communication and noise (Vol. 2). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7>

Dooling, R. J., & Popper, A. N. (2016). Some lessons from the effects of highway noise on birds, (October 2007), 010004. <https://doi.org/10.1121/2.0000244>

Dudley, N. (2010). Guidelines for applying protected area management categories. Guidelines for applying protected area management categories. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2008.paps.2.en>

Farina, A. (2014). Soundscape ecology: Principles, patterns, methods and applications. *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications* (Vol. 9789400773). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5>

Farina, A., & James, P. (2016). The acoustic communities: Definition, description and ecological role. *BioSystems*, 147, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2016.05.011>

Farina, A., & Pieretti, N. (2012). The soundscape ecology: A new frontier of landscape research and its application to islands and coastal systems. *Journal of Marine and Island Cultures*, 1(1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.imic.2012.04.002> Farina, A. S. H. G. (n.d.). Ecoacoustics.

Fletcher NH. (2007). Animal bioacoustics. *Production*, 785–802. Heffner, H. E., & Heffner, R. S. (2007). Hearing ranges of laboratory animals. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science : JAALAS*, 46(1), 20–22. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.autrev.2015.04.014>

Krause, B. (1993). The niche hypothesis. *Soundsc Newsletter*, (March), 6–10. Kremer, F., Van der Stegen, J., Gomez-Zamalloa, M. G., & Szedlak, T. (2015). Natura 2000 and Forests Part I-II. <https://doi.org/10.2779/699873> Liu, T. B., & Tang, J. (2013). Influence of noise on stability of the ecosystem. *Communications in Theoretical Physics*, 60(4), 510–514.

<https://doi.org/10.1088/0253-6102/60/4/21>

Linke W. (1953). Investigation of the biology and epidemiology of the common spider mite, *Tetranychus althaeae* v. Hanst. with particular consideration to hops as the host. *Hofchen-Briefe Bayer Pflanz. Nachr.*, 6 (1953), 181-232.

Matsinos, Y. G., Tsaligopoulos, A., & Economou, C. (2016). The interdisciplinary Development of the Term " Soundscape " ; Tracing its Ecological Roots. *AEgean Journal of Environmental Sciences (AEJES)*, 2, 11–23.

Matsinos, Y. G., Tsaligopoulos, A., & Economou, C. (2017). Identifying the quiet areas of a small urban setting: The case of Mytilene. *Global Nest Journal*, 19(4), 674–681.

Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., Chatzigiannidis, G., Papadimitriou, K., & Pantis, J. D. (2009). Spatiotemporal analysis of an acoustic environment: Interactions between landscape features and sounds. *Landscape Ecology*, 24(6), 817–831. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9360-x>

Morton, E. S. (2010). The American Society of Naturalists Ecological Sources of Selection on Avian Sounds. *The American Naturalist*, 109(965), 17–34.

Obrist, M. K., Pavan, G., Sueur, J., Riede, K., Llusia, D., & Márquez, R. (2010). Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. In Volume 8 - Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories (pp. 68–99). Retrieved from <http://www.abctaxa.be/volumes/>

Ozga, A. (2017). Scientific ideas included in the concepts of bioacoustics, acoustic ecology, ecoacoustics, soundscape ecology, and vibroacoustics. *Archives of Acoustics*, 42(3), 415–421. <https://doi.org/10.1515/aoa-2017-0043>

Patrick, B. (2014). Guidelines for undertaking Rapid Biodiversity Assessments in Terrestrial and Marine Environments in the Pacific. Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme. Retrieved from <https://www.bps.go.id/dynamictable/2018/05/18/1337/persentase-panjang-jalan-tol-yang-beroperasi-menurut-operatornya-2014.html>

Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011a). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3), 868–873. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005>

Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011b). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3), 868–873. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005>

Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., ... Pieretti, N. (2011). Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *BioScience*, 61(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>

Retamosa, M., Ramírez-alán, O., & Castro, J. D. O. (2018). Acoustic indices applied to biodiversity monitoring in a Costa Rica dry tropical forest. *Journal of Ecoacoustics*, 2, 1–21.

Seddon, N. (2005). Ecological adaptation and species recognition drives vocal evolution in neotropical suboscine birds. *Evolution*, 59(1), 200–215. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2005.tb00906.x>

Simonis, C., Lellouch, L., Brown, E. C., Depraetere, M., Desjonqueres, C., Fabianek, F., ... Zhivomirov, H. (2018). Package ‘seewave.’ Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Equipment review: Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>

Thompson et al_1994_Bioacoustics_A_system_for_describing_bird_song_units. (n.d.). Turner, A., Fischer, M., & Tzanopoulos, J. (2018). Sound-mapping a coniferous forest—Perspectives for biodiversity monitoring and noise mitigation. *PLoS ONE*, 13(1), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189843>

Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecology*, 26(9), 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9636-9>

WHO. (1999). Guideline for community noise WHO. Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>

Williams, H. (2004). Birdsong and singing behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1016(2004), 1–30. <https://doi.org/10.1196/annals.1298.029>

Μπάρκας, Ν. (2014). Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή στη θεωρητική Ακουστική. In Σημειώσεις περιβαλλοντικής ακουστικής,. Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική σχολή, Τμήμα αρχιτεκτόνων μηχανικών. Retrieved from <http://docplayer.gr/34961289-Perivallontiki-akoystiki.html> .

ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, <http://www.elinyae.gr/el/index.jsp>, Τελευταία Πρόσβαση 4/6/2019

Ε.Τ., Εθνικό Τυπογραφείο, <http://www.et.gr/>, Τελευταία Πρόσβαση 4/6/2019

ΦΕΚ 384/Β/28-3-2006, Υπουργική Απόφαση Αριθ. 13586/724, «Καθορισμός μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2002/49/ΕΚ «σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου» του Συμβουλίου της 25.6.2002»

ΦΕΚ 293/Α/6-10-1981, Προεδρικό Διάταγμα ΥΠ’ ΑΡΙΘ. 1180, Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσεως

μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και τη εκ τούτων διασφάλισης περιβάλλοντος εν γένει

ΦΕΚ 1093/Β/28-10-1980, Υπουργική Απόφαση 32764/734/80, Περί καθορισμού επιτρεπόμενων ορίων θορύβου, προκαλούμενου υπό των αυτοκινήτων οχημάτων, μοτοσυκλετών και μοτοποδηλάτων και τρόπου μετρήσεως αυτού

ΦΕΚ 291/Α/5-10-1981, Προεδρικό Διάταγμα 1178, Περί μετρήσεως και του ελέγχου του θορύβου των αεροσκαφών

ΦΕΚ 46/Α/10-3-1979, Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθ. 180, Περί των όρων λειτουργίας καταστημάτων πωλήσεως οινοπνευματωδών ποτών και κέντρων διασκεδάσεως

ΦΕΚ 174/α/28-11-1983, Προεδρικό Διάταγμα 457, Ίδρυση και λειτουργία ερασιτεχνικών σχολών χορού

ΦΕΚ 395/Β/19-6-92, Υπουργική Απόφαση Αριθ. Οίκοθεν 17252/92, Καθορισμός δεικτών και ανωτάτων επιτρεπομένων ορίων θορύβου που προέρχεται από την κυκλοφορία σε οδικά και συγκοινωνιακά έργα