



**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗ ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ
ΜΥΡΙΝΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΛΗΜΝΟΥ»**

ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΟΦΙΑΝΟΣ

ΜΑΪΟΣ/2023

**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗ ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ
ΜΥΡΙΝΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΛΗΜΝΟΥ»**

**Διατριβή η οποία υποβλήθηκε προς απόκτηση εξ
αποστάσεως μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στα
Πληροφοριακά Συστήματα και Ψηφιακή Καινοτομία στο
Πανεπιστήμιο Νεάπολις**

ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΟΦΙΑΝΟΣ

ΜΑΪΟΣ/2023

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Σοφιανός Σοφιανόπουλος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διατριβής από το Πανεπιστημίου Νεάπολις δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Πανεπιστημίου.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Ο Σοφιανόπουλος Σοφιανός, γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη μεθοδολογίας χαρτογραφικής πρόβλεψης του περιβαλλοντικού θορύβου με τη χρήση τεχνολογιών πληροφορικής: Μελέτη Περίπτωσης στη Δημοτική Κοινότητα Μύρινας του Δήμου Λήμνου», αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει, έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές παραπομπές και αναφορές. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Ο Δηλών
Σοφιανόπουλος Σοφιανός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	10
Abstract.....	11
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 2 - Θεωρητική Θεμελίωση / Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	14
2.1. Βασικά στοιχεία του ήχου.....	14
2.1.1. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ήχου	14
2.1.2. Ηχητικά κύματα	15
2.2. Περιβαλλοντικός Θόρυβος	17
2.2.1. Επιπτώσεις της ηχορύπανσης	18
2.2.2. Μέτρηση του θορύβου.....	19
2.2.3. Όρια εκπομπής θορύβου.....	20
2.3. Ανάγκη χαρτογράφησης του Θορύβου	21
2.4. Εθελοντικές Γεωγραφικές Πληροφορίες (VGI)	22
2.1. Κινητές εφαρμογές για χάρτες θορύβου, με τη διαδικασία της εθελοντικής γεωγραφίας	23
2.2. Χωρική Παρεμβολή.....	25
2.2.1. Inverse Distance Weighting (IDW).....	25
2.2.2. Χωρική παρεμβολή Kriging.....	28
2.2.3. Σφάλματα και απόδοση μεθόδων παρεμβολής	31
2.3. Python και γεωχωρικά δεδομένα	33
2.3.1. Πακέτα python για χωρική παρεμβολή.....	33
2.4. Μελέτες χαρτογράφησης της ηχορύπανσης.....	34
Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία Έρευνας	38
3.1. Σχεδιασμός της έρευνας	38
3.2. Παρουσίαση του πληθυσμού της έρευνας καθώς και του τρόπος διαλογής του δείγματος.....	39
3.3. Στάδια υλοποίησης της έρευνας	39
Κεφάλαιο 4 - Παρουσίαση δεδομένων & Αποτελέσματα	41
4.1. Περιοχή μελέτης	41
4.2. Συλλογή και αποθήκευση των μετρήσεων θορύβου	41
4.3. Επεξεργασία των γεωγραφικών Δεδομένων με python	43
4.4. Αναπαράσταση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων θορύβου	46
4.4.1. Διάγραμμα διασποράς	46
4.4.2. Γραφική παράσταση QQ.....	48
4.4.3. Διάγραμμα Voronoi	49

4.4.4. Ιστογράμματα	50
4.4.5. Βαριογράμματα	52
4.5. Χαρτογράφηση του θορύβου με την χρήση της παρεμβολής Ordinary kriging ..	56
4.6. Χαρτογράφηση του θορύβου με την χρήση της παρεμβολής Inverse Distance Weighted (IDW)	62
Κεφάλαιο 5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	65
Συμπεράσματα	67
Βιβλιογραφία	70

Κατάλογος Γραφικών Παραστάσεων/Εικόνων/Διαγραμμάτων

Εικόνα 1 Διαμήκη και εγκάρσιο κύμα	14
Εικόνα 2 Σχήμα κύματος με χαμηλό πλάτος και χαμηλή συχνότητα, ακολουθούμενο από υψηλό πλάτος, υψηλή συχνότητα. (Katz et al., 2020)	16
Εικόνα 3 Τεχνολογίες, πηγές και τομείς εφαρμογών ενεργοποίησης VGI (Zhang, 2021) ..	23
Εικόνα 4 Κινητές εφαρμογές για χάρτες θορύβου, με τη μέθοδο της εθελοντικής γεωγραφίας (Radicchi, 2018).....	24
Εικόνα 5 Χαρακτηριστικά ημιβαριογράμματος (Biswas and Si, 2013)	29
Εικόνα 6: Τύποι υπολογισμού σφαλμάτων (Καρκαλέτσου, 2014)	32
Εικόνα 7 Στάδια υλοποίησης της έρευνας (προσωπική επεξεργασία).....	40
Εικόνα 8 Δημοτική Ενότητα Μύρινας του Δήμου Λήμνου (προσωπική επεξεργασία)	41
Εικόνα 9 Στάδια καταγραφής των μετρήσεων με την χρήση της εφαρμογής «NoisePollution» (προσωπική επεξεργασία)	42
Εικόνα 10 Απόσπασμα της βάσης δεδομένων στην Firebase.....	43
Εικόνα 11 Απόσπασμα των εγγραφών των μετρήσεων θορύβου που πραγματοποιήθηκαν	44
Εικόνα 12 Χαρτογράφηση των θεματικών επιπέδων στην Δημοτική Κοινότητα Μύρινας (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)	44
Εικόνα 13 Απόσπασμα κώδικα	45
Εικόνα 14 Απόσπασμα κώδικα	46
Εικόνα 15 Απόσπασμα κώδικα (Διάγραμμα διασποράς)	47
Εικόνα 16 Διάγραμμα διασποράς των σημειακών μετρήσεων (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)	47
Εικόνα 17 Απόσπασμα κώδικα (Q-Q plot)	48
Εικόνα 18 Γράφημα διασποράς των σημειακών μετρήσεων (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)	49
Εικόνα 19 Απόσπασμα κώδικα (Διάγραμμα Voronoi)	49
Εικόνα 20 Διάγραμμα Voronoi των σημειακών μετρήσεων(προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)	50
Εικόνα 21 Απόσπασμα κώδικα (Διαγράμματα Διασποράς)	51
Εικόνα 22 Ιστογράμματα μετρήσεων θορύβου (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python).....	52
Εικόνα 23 Απόσπασμα κώδικα (Βαριογράμματα)	53
Εικόνα 24 Απόσπασμα Βαριογράμματος με τα σφάλματα RMSE (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python).....	54
Εικόνα 25 Βαριογράμμα του μοντέλου Gaussian (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python).....	54
Εικόνα 26 Βαριογράμμα του σφαιρικού μοντέλου (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python).....	55
Εικόνα 27: Βαριογράμμα του εκθετικού μοντέλου (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python).....	55
Εικόνα 28 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση με την μέθοδο του Εκθετικού μοντέλου)	56
Εικόνα 29 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση με την μέθοδο του Σφαιρικού μοντέλου)	57
Εικόνα 30 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση με την μέθοδο του Gaussian μοντέλου) ..	57
Εικόνα 31 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου αξιοποιώντας το εκθετικό μοντέλο (επεξεργασία με την χρήση python)	59

Εικόνα 32 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου αξιοποιώντας το σφαιρικό μοντέλο (επεξεργασία με την χρήση python)	60
Εικόνα 33 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου αξιοποιώντας το Guassian μοντέλο (επεξεργασία με την χρήση python)	61
Εικόνα 34 Υπολογισμός του MSE και του RMSE με την χρήση του λογισμικού Arcgis	62
Εικόνα 35 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση της IDW παρεμβολής)	63
Εικόνα 36 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου με την χρήση της παρεμβολής IDW (επεξεργασία με την χρήση python)	64

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Όροι που χρησιμοποιούνται για τον ήχο (Figura and Teixeira, 2007).....	15
Πίνακας 2 Όρια θορύβου που προβλέπει το Π.Δ 1180/81	20
Πίνακας 3: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου σε dB(A), Πηγή: (ΤΕΕ , 2008)	21
Πίνακας 4 Αποτελέσματα και σφάλματα των μεθόδων παρεμβολής.....	54

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Σοφιανόπουλος Σοφιανός

Τίτλος Μεταπτυχιακής Διατριβής: Ανάπτυξη μεθοδολογίας χαρτογραφικής πρόβλεψης του περιβαλλοντικού θορύβου με τη χρήση τεχνολογιών πληροφορικής: Μελέτη Περίπτωσης στη Δημοτική Κοινότητα Μύρινας του Δήμου Λήμνου

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση εξ αποστάσεως μεταπτυχιακού τίτλου στο Πανεπιστήμιο Νεάπολις και εγκρίθηκε στις 14/06/2023 από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

Εξεταστική Επιτροπή:

Πρώτος επιβλέπων: Τασίδου Αιμιλία, Λέκτορας, Σχολή Μηχανικών CESI Ecole d'Ingenieurs, Nantes, Γαλλία και Συνεργαζόμενο Εκπαιδευτικό προσωπικό, Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφος.

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Γεωργιάδης Μιχάλης, Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφος.

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Λάβδας Σπύρος, Λέκτορας, Μητροπολιτικό Κολέγιο Αθηνών και Συνεργαζόμενο Εκπαιδευτικό προσωπικό, Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφος.

Ευχαριστίες

Με μεγάλη χαρά και ικανοποίηση, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην επιτυχημένη ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διπλωματικής εργασίας. Η παρουσία και η συμβολή σας ήταν ουσιαστικής σημασίας για την επίτευξη αυτού του σημαντικού ορόσημου στη ζωή μου.

Καταρχάς, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσά μου, κυρία Τασίδου Αιμιλία, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την πρώτη στιγμή που μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα. Οι συμβουλές σας, οι καθοδήγησή σας και η συνεχής υποστήριξή σας με έκαναν να αισθανθώ ασφάλεια και εμπιστοσύνη στην πορεία της διπλωματικής εργασίας μου. Το αμέριστο ενδιαφέρον που δείξατε για την πρόοδο της εργασίας μου με συνέπεια με ενέπνευσε να αναδείξω τον καλύτερο εαυτό μου. Η αφοσίωσή σας και η επιμονή σας ήταν πραγματικά αξιοθαύμαστες και η επιτυχημένη ολοκλήρωση της εργασίας μου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε εσάς.

Τέλος, δεν μπορώ να παραλείψω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην Ελισάβετ Γεωργαντή και στην υπόλοιπη οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η παρουσία σας στο πλευρό μου με έκανε να νιώθω ακόμα πιο δυνατός και να ξεπεράσω τις δυσκολίες που αντιμετώπισα.

Από καρδιάς, σας ευχαριστώ όλους

Περίληψη

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος είναι ένα ολοένα και αυξανόμενο πρόβλημα που εμφανίζεται στις μεγαλουπόλεις και στις περισσότερες αναπτυσσόμενες περιοχές του κόσμου. Ο βιομηχανικός θόρυβος, ο αστικός θόρυβος καθώς και ο θόρυβος που προέρχεται από τις μεταφορές, παράγουν ένα συνεχές φορτίο θορύβου στο περιβάλλον. Η επίδραση του περιβαλλοντικού θορύβου στην υγεία μπορεί να είναι ανησυχητική, καθώς προκαλούν επιπτώσεις όπως απώλεια ακοής, προβλήματα ύπνου, μείωση της απόδοσης στην εργασία, αύξηση του κινδύνου καρδιακής νόσου και κακής ψυχολογικής υγείας. Επιπλέον, οι ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι, είναι πιο επηρεασμένοι από τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Επομένως, είναι αναγκαίο να χαρτογραφηθεί ο περιβαλλοντικός θόρυβος στις αστικές περιοχές, προκειμένου να αναπτυχθούν αποτελεσματικά μέτρα μείωσης του θορύβου και να προστατευτούν οι πολίτες από τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία τους. Η χαρτογράφηση του θορύβου μπορεί να γίνει με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών που θα συμβάλουν στην ανάπτυξη κατάλληλων μέτρων μείωσης του θορύβου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι χαρτογράφηση του θορύβου στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας του Δήμου Λήμνου χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής. Προτείνεται και περιγράφεται μια μεθοδολογία συλλογής, επεξεργασίας, ανάλυσης και χαρτογράφησης των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου με στόχο την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από τις αρμόδιες αρχές για τη μείωση των εκπομπών θορύβου στην περιοχή μελέτης. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε με κινητές συσκευές και τη διαδικασία της Εθελοντικής Γεωγραφίας Πληροφοριών (VGI), ενώ για την επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογράφηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες της γλώσσας προγραμματισμού python. Η παραγωγή των χαρτών πρόβλεψης του θορύβου πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους IDW και Ordinary kriging. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που λάβαμε από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση της παρεμβολής Ordinary Kriging είναι πιο ακριβής σε σχέση με την χρήση της ντετερμινιστικής παρεμβολής Inverse Distance Weighting (IDW), καθώς επίσης ότι το εκθετικό μοντέλο είναι πιο αξιόπιστο σε σχέση με το σφαιρικό και το Gaussian μοντέλο για την περιοχή μελέτης μας. Οι χάρτες θορύβου που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθόδων έδειξαν ότι ο θόρυβος στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας δεν ξεπερνά τα όρια του θορύβου που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή και Εθνική νομοθεσία για την προστασία της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Η αξιολόγηση του επιπέδου του θορύβου έδειξε ότι οι πιο θορυβώδεις περιοχές είναι αυτές που βρίσκονται κοντά στο οδικό δίκτυο της πόλης και κοντά στις παράκτιες περιοχές, όπως τις παραλίες και το λιμάνι. Η μελέτη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις αρμόδιες αρχές για την λήψη μέτρων μείωσης του θορύβου στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας.

Λέξεις κλειδιά : ηχορύπανση, χαρτογράφηση, Εθελοντικές Γεωγραφικές Πληροφορίες, χωρική παρεμβολή, IDW, Kriging, Python

Abstract

Environmental noise is an increasingly prevalent issue in major cities and most developing regions around the world. Industrial noise, urban noise, as well as transportation-related noise, contribute to a continuous burden of noise in the environment. The impact of environmental noise on health can be concerning, as it leads to effects such as hearing loss, sleep disturbances, reduced work performance, increased risk of cardiovascular disease, and poor mental health. Additionally, vulnerable social groups, such as children and the elderly, are more affected by environmental noise. Therefore, it is necessary to map the environmental noise in urban areas to effectively develop noise reduction measures and protect citizens from any negative impacts on their health. Mapping such noise can be achieved through using modern technology tools, which contribute to the development of appropriate noise reduction measures. The purpose of this study is to map the relevant noise in the area of the Municipal Community of Myrina, Lemnos, using contemporary information technology. A methodology is proposed for the collection, processing, analysis, and mapping of geospatial noise data, aiming to derive useful conclusions for the relevant authorities in terms of reducing noise emissions in the study area. Data collection was conducted using mobile devices and the process of Volunteered Geographic Information (VGI). For data processing, analysis, and mapping, Python programming language libraries were utilized. The production of noise prediction maps was performed using the IDW (Inverse Distance Weighting) and Ordinary Kriging methods. According to the results obtained from the calculations, it was concluded that the use of Ordinary Kriging interpolation is more accurate compared to the deterministic Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation. Furthermore, the exponential model was found to be more reliable than the spherical and Gaussian models for our study area. The noise maps resulting from the application of these methods indicated that noise levels in the area of the Municipal Community of Myrina do not exceed the noise limits established by European and National legislation for the protection of human health and the environment. The assessment of noise levels revealed that the most noisy areas are those located near the city's road network and close to coastal areas, such as beaches and the harbor. This study can be utilized by the relevant authorities to implement noise reduction measures in the area of the Municipal Community of Myrina.

Keywords : noise pollution , mapping , Volunteered Geographic Information , spatial interpolation , Inverse Distance Weighting , Kriging , Python

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Η μακροχρόνια έκθεση στον περιβαλλοντικό θόρυβο επηρεάζει σημαντικά τη σωματική και ψυχική υγεία. Το πλέον σύνηθες πρόβλημα που εντοπίζεται σε επίπεδο υγείας είναι η απώλεια ακοής. Παράλληλα, όμως, ιδιαίτερα συχνά η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου δύναται να οδηγήσει στην εμφάνιση υψηλής αρτηριακής πίεσης, καρδιακών παθήσεων, διαταραχών ύπνου και άγχους. Πρόκειται, για προβλήματα υγείας που επηρεάζουν αναμφίβολα όλες τις ηλικιακές ομάδες και ειδικότερα τα παιδιά. Μεγάλος αριθμός παιδιών, που ζουν πλησίον περιοχών με υψηλά επίπεδα θορύβου, όπως αεροδρόμια ή κεντρικές οδικές αρτηρίες, έχει προκύψει ότι υποφέρουν από έντονο άγχος και άλλα προβλήματα, που συνδέονται με την ικανότητα μνήμης, συγκέντρωσης, καθώς και ανάγνωσης. Η μακροχρόνια, μάλιστα, έκθεση σε θόρυβο πάνω από ορισμένα επίπεδα μπορεί να οδηγήσει και σε μη ακουστικές επιπτώσεις στην υγεία, όπως διαταραχές ύπνου, αρνητικές επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό και μεταβολικό σύστημα και εξασθένηση του γνωστικού επιπέδου των παιδιών.

Με την χαρτογράφηση του θορύβου μπορούν να προκύψουν χρήσιμες πληροφορίες, οι οποίες διατίθενται τόσο στο κοινό όσο και στις αρμόδιες αρχές. Η χαρτογράφηση του θορύβου επιτρέπει στους ρυθμιστές, τους σχεδιαστές και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς να κατανοήσουν τις επιπτώσεις του θορύβου και να προβούν σε αναπτυξιακές προτάσεις που δεν έχουν ακόμη υλοποιηθεί. Η παροχή προβλέψεων με αυτόν τον τρόπο καθιστά έναν εξαιρετικά πολύπλοκο τομέα της περιβαλλοντικής επιστήμης που πρέπει να κοινοποιείται αποτελεσματικά στα ενδιαφερόμενα μέρη που δεν είναι απαραίτητα ειδικοί σε αυτόν τον τομέα.

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία αξιόπιστων περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης του θορύβου στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας του Δήμου Λήμνου, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής. Στο πλαίσιο της εργασίας προτείνεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογράφηση των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου, καθώς και την αξιολόγησή τους, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από τις αρμόδιες αρχές, για τη μείωση των εκπομπών θορύβου στην περιοχή μελέτης. Η συλλογή των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου βασίστηκε στην Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία (VGI) μέσω της εφαρμογής για κινητές συσκευές "NoisePollution". Τα γεωχωρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογράφηση με τη χρήση των βιβλιοθηκών της γλώσσας προγραμματισμού Python. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του περιβαλλοντικού θορύβου ήταν η ντετερμινιστική παρεμβολή Inverse Distance Weighting (IDW) και η γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging.

Η δομή της εργασίας αποτελείται από δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα αποτελεί το θεωρητικό μέρος της εργασίας, το οποίο βασίστηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε και αποτέλεσε το υπόβαθρο της εργασίας. Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας εμφανίζονται τα βασικά στοιχεία του ήχου, καθώς και τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές του. Περιγράφονται οι επιπτώσεις που προκαλεί ο περιβαλλοντικός θόρυβος, παρουσιάζονται οι πηγές θορύβου, το νομοθετικό πλαίσιο και τα μέτρα που λαμβάνονται σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο, καθώς επίσης, τα όρια θορύβου σύμφωνα με τη νομοθεσία. Στην παρούσα ενότητα επισημαίνεται η αναγκαιότητα της χαρτογράφησης του θορύβου, περιγράφεται ο όρος της Εθελοντικής Γεωγραφικής Πληροφορίας (VGI), ενώ παρουσιάζονται εφαρμογές που αναπτυχθήκαν για κινητές συσκευές με σκοπό τη μέτρηση του περιβαλλοντικού θορύβου. Τέλος, προβάλλονται οι ντετερμινιστικές και γεωστατιστικές χωρικές παρεμβολές.

Η δεύτερη ενότητα της εργασίας αποτελεί το πρακτικό μέρος, όπου παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από το στάδιο της συλλογής των μετρήσεων, αξιοποιώντας την εφαρμογή «NoisePollution», τον καθαρισμό, την επεξεργασία και τον μετασχηματισμό των γεωχωρικών δεδομένων μέσω της χρήσης της

γλώσσας προγραμματισμού Python, μέχρι και το στάδιο της αναπαράστασης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις θορύβου στην περιοχή της Μύρινας Λήμνου, με τη βοήθεια της εφαρμογής “NoisePollution”. Έπειτα, ακολούθησε η εφαρμογή της ντετερμινιστικής παρεμβολής IDW και της γεωστατιστικής παρεμβολής Ordinary Kriging. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα χαρτογραφικά αποτελέσματα των παρεμβολών, καθώς και τα σφάλματα από την εφαρμογή της κάθε μεθόδου.

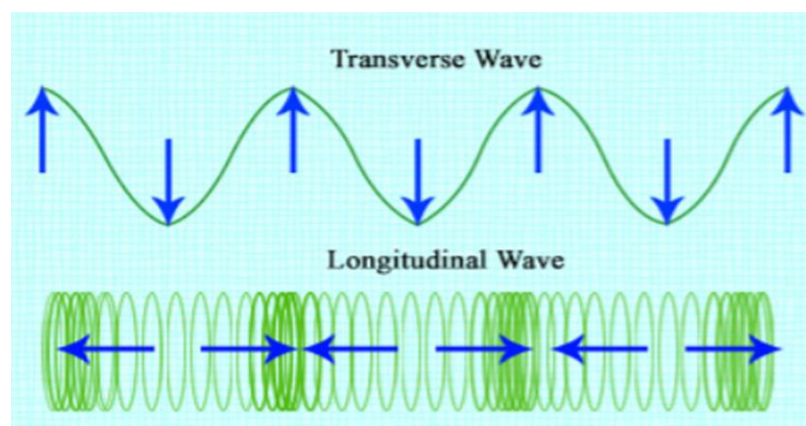
Κεφάλαιο 2 - Θεωρητική Θεμελίωση / Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1.Βασικά στοιχεία του ήχου

Οι ήχοι που ακούν οι άνθρωποι οφείλονται σε δονήσεις στον αέρα ή σε ουσίες που μεταδίδονται στα όργανα ακοής, καθώς τα ηχητικά κύματα πίεσης ταξιδεύουν μέσω του αέρα ή των ουσιών. Όταν αλληλεπιδρούν με το τύμπανο και τα άλλα ακουστικά μέρη μετά την είσοδο στον ακουστικό πόρο ή περνώντας μέσα από το σώμα, ακούγονται ως ήχος. (Field and Long, 2018). Ο ήχος αποτελεί διαταραχή που προέρχεται από μία κινούμενη ή δονούμενη πηγή, η οποία διαδίδεται μέσω ενός ελαστικού μέσου (αέρα, νερό ή στερεό) με μια χαρακτηριστική ταχύτητα, και είναι ικανή να ανιχνευθεί από την ανθρώπινη ακοή (Chambers and Jensen, 2005). Ο ήχος αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία, την πηγή, την διαδρομή και τον αποδέκτη (Οδηγία 2002/58/EK, 2002). Για να υπάρξει ήχος θα πρέπει να αλληλοεπιδράσουν και τα τρία στοιχεία. Αν δεν υπάρξει πηγή δεν θα παραχθούν κύματα ηχητικής πίεσης, αν δεν υπάρξει διαδρομή δεν θα μεταδοθούν τα ηχητικά κύματα πίεσης και αν δεν υπάρχει ένας αποδέκτης, ο ήχος δεν θα μπορεί να ληφθεί, καθώς πρέπει να υπάρχει ένας αισθητήρας ή άλλο αντικείμενο για να αντιληφθεί και να επηρεαστεί από τον ήχο.

2.1.1. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ήχου

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανικών κυμάτων, τα εγκάρσια κύματα και τα διαμήκη κύματα. Εγκάρσιο κύμα είναι ένα κύμα, όπου η κίνηση των σωματιδίων του μέσου είναι κάθετη (σε ορθή γωνία) προς την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα1) απεικονίζεται ένα μονοδιάστατο εγκάρσιο επίπεδο κύμα, που διαδίδεται με κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά. Τα σωματίδια δεν κινούνται μαζί με το κύμα, απλά ταλαντώνονται πάνω-κάτω γύρω από τις μεμονωμένες θέσεις ισορροπίας τους καθώς το κύμα περνάει. Διαμήκες κύμα είναι ένα κύμα, στο οποίο τα σωματίδια κινούνται στο μέσο παράλληλα με την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα διαμήκη κύματα είναι μηχανικά κύματα, που σημαίνει ότι μεταφέρουν ενέργεια μέσω ενός μέσου. Σε αντίθεση με τα εγκάρσια κύματα, τα διαμήκη κύματα προκαλούν τα σωματίδια του μέσου να κινούνται παράλληλα προς την κατεύθυνση του κύματος. Είναι πιο συνηθισμένη η παρουσία τους στα ελατήρια, όπου προκαλούνται από το σπρώξιμο και το τράβηγμα του ελατηρίου.



Εικόνα 1 Διαμήκη και εγκάρσιο κύμα

2.1.2. Ηχητικά κύματα

Οι ακουστικές ιδιότητες αποτελούν τον τρόπο με τον οποίο τα υλικά ανταποκρίνονται στα ηχητικά κύματα, τα οποία μπορούμε να αντιληφθούμε ως ήχο. Ο αέρας αποτελεί ένα ρευστό μέσο, το οποίο δημιουργεί κύματα πίεσης που ταξιδεύουν προς όλες τις κατευθύνσεις μετά από μια διαταραχή (Figura and Teixeira, 2007). Ένα άλλο χαρακτηριστικό του ήχου είναι η συχνότητα των κυμάτων ηχητικής πίεσης. Τα κύματα αέρα υψηλής και χαμηλής πίεσης μπορούν να γίνουν αντιληπτά ως ταλαντώσεις πίεσης του αέρα σε μια δεδομένη συχνότητα. Η συχνότητα του ήχου υπολογίζεται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz). Το εύρος των συχνοτήτων που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος ποικίλλει από περίπου 20 έως 20.000 Hz, ανάλογα με το άτομο. Η συχνότητα που ακούν τα ζώα είναι διαφορετική για κάθε είδος και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εκτός του εύρους του ανθρώπου. Η συχνότητα του ήχου και η ένταση του ήχου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μαζί γιατί για οποιαδήποτε συχνότητα, όσο αυξάνεται η ένταση ενός ήχου μπορεί να φτάσει μέχρι το σημείο της αίσθησης του πόνου στο αυτί. Το όριο του πόνου για τον ήχο ποικίλλει μεταξύ των ατόμων και για κάθε είδος. Η συχνότητα που βρίσκεται στο εύρος μεταξύ 16 Hz έως περίπου 16.000 Hz (16 kHz) γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί ως ακουστικός ήχος (audible sound). Ο ήχος με συχνότητες από 0 έως 16 Hz ονομάζεται υπόηχος (infra sound), από 20 kHz έως 10 GHz ονομάζεται υπέρηχος (ultra sound) και σε συχνότητες από 109 έως 1012 Hz ονομάζεται υπερήχος (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Όροι που χρησιμοποιούνται για τον ήχο (Figura and Teixeira, 2007)

Όρος	Συχνότητα
Υπόηχος (infra sound)	0–16 Hz
Ακουστός ήχος (audible sound)	16 Hz – 16 kHz
Υπέρηχος (ultra sound)	20 kHz – 10 GHz
Υπερήχος (hyper sound)	109 –1012 Hz

Μια διαταραχή σε ένα μέσο που μεταφέρει ενέργεια χωρίς να μεταφέρει μόνιμα ύλη ονομάζεται κύμα. Τα ηχητικά κύματα αποτελούν τη διάδοση μιας σειράς συμπίεσεων που ακολουθούνται από χαλαρώσεις σωματιδίων ενός μέσου όπως αέριο, υγρό, στερεό και διαδίδονται μέσω ενός υλικού μέσου με την μορφή μηχανικών διαμηκών κυμάτων. Όλα τα υλικά μπορούν να μεταδώσουν ηχητικά κύματα εάν δεχθούν οποιοδήποτε βαθμό ελαστικότητας, επομένως ο ήχος μπορεί να μεταδοθεί μέσω του αέρα, καθώς και μέσω των υγρών και των στερεών. Έτσι τα ηχητικά κύματα μπορούν να παραχθούν από μια μηχανική διαταραχή, όπως όταν ενεργοποιούμε ένα μηχανήμα με κινούμενα μέρη που θα κάνουν τον αέρα να δονείται σε μια δεδομένη συχνότητα. Αυτές οι δονήσεις αέρα είναι τα ηχητικά κύματα που ταξιδεύουν (διαδίδονται) προς όλες τις κατευθύνσεις. Αν βρισκόμαστε κοντά στα ηχητικά κύματα, θα χτυπήσουν τα τύμπανα των αυτιών μας και θα προκαλέσουν τη δόνησή τους στην ίδια συχνότητα λόγω της ταλαντευόμενης πίεσης του αέρα. Το ανθρώπινο αυτί μας ανιχνεύει τις δονήσεις στα τύμπανα του αυτιού μας και μεταδίδει αυτές τις δονήσεις μέσω του εσωτερικού αυτιού ως νευρικά σήματα στον εγκέφαλό μας. Όταν συμβαίνει αυτό, ακούμε τον ήχο.

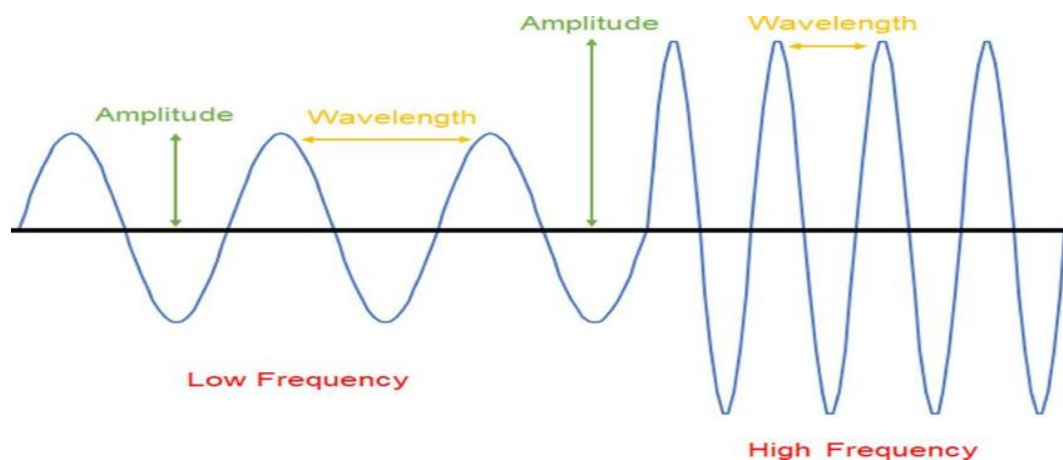
Τα κύματα ήχου, περιγράφονται συνήθως από τη συχνότητα, το πλάτος τους και την ταχύτητα μετάδοσής τους (Εικόνα 2). Η ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού στην ένταση ενός ήχου βασίζεται στην ηχητική πίεση και τη συχνότητα του ήχου. Ο αριθμός των κύκλων που ολοκληρώνονται από ένα ηχητικό κύμα σε ένα δευτερόλεπτο είναι γνωστός ως η

συχνότητά του. Ο αριθμός των δονήσεων που προκαλεί το κύμα σε ένα δευτερόλεπτο είναι επίσης γνωστός ως η συχνότητα του κύματος. Το Hertz (Hz) είναι η μονάδα συχνότητας SI και συμβολίζεται με το σύμβολο (f). Η συχνότητα ενός κύματος είναι η μόνη ιδιότητα που δεν μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το μέσο διάδοσης. Ως αποτέλεσμα, η συχνότητα του κύματος παραμένει σταθερή (Katz et al., 2020).

Τα ηχητικά κύματα έχουν επίσης πλάτος και μήκος. Το πλάτος του κύματος δείχνει πόση ενέργεια περιέχεται στο κύμα. Η ένταση ενός ηχητικού κύματος ορίζεται από το υψηλότερο ύψος (κάθετα) που επιτυγχάνεται από το κύμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος, τόσο πιο δυνατό είναι το κύμα. Το πλάτος ενός ηχητικού κύματος ορίζεται ως το μέγεθος μιας αραιώσης ή συμπίεσης. Το μήκος κύματος είναι η μικρότερη απόσταση που διανύει ένα κύμα πριν αρχίσει να επαναλαμβάνεται. Επειδή το μήκος κύματος είναι μια παράμετρος μήκους, η μονάδα SI για το μήκος κύματος είναι το μέτρο. Το ηχητικό κύμα έχει γεωγραφικό μήκος στη φύση και το μήκος κύματος ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ μιας πλήρους αραιώσης και συμπίεσης. Το μήκος κύματος συμβολίζεται με το σύμβολο λ. Τέλος, σημαντικό χαρακτηριστικό του ηχητικού κύματος αποτελεί η ταχύτητα του ήχου. Η απόσταση που διανύει ένα ηχητικό κύμα ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως η ταχύτητά του. Το μήκος του κύματος καθορίζει τη διανυθείσα απόσταση. Η μονάδα συχνότητας (SI) για την ταχύτητα του ηχητικού κύματος είναι m/sec. Η ταχύτητα του ήχου σε ένα μέσο επηρεάζεται από την εγγενή ακαμψία και την πυκνότητα του μέσου μέσω του οποίου διαδίδεται ο ήχος (Katz et al., 2020).

$$c = \frac{\lambda}{f} \text{ (m/sec)}$$

όπου: c: ταχύτητα του ήχου, λ: μήκος κύματος, f: συχνότητα σε Hz



Εικόνα 2 Σχήμα κύματος με χαμηλό πλάτος και χαμηλή συχνότητα, ακολουθούμενο από υψηλό πλάτος, υψηλή συχνότητα. (Katz et al., 2020)

Ο ήχος είναι μια μορφή ενέργειας που διαδίδεται μέσω του αέρα και μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες. Οι πέντε βασικές ιδιότητες του ήχου είναι η ανάκλαση, η απορρόφηση, η παρεμβολή, η διάθλαση και η περίθλαση.

Η ανάκλαση του ήχου συμβαίνει όταν ένας ήχος χτυπάει ένα αντικείμενο και ανακλάται πίσω στον αέρα. Η γωνία της ανάκλασης εξαρτάται από την γωνία που προσέρχεται ο ήχος στο αντικείμενο. Η ανάκλαση του ήχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η ακουστική σε έναν χώρο, καθώς οι ανανακλάσεις μπορούν να βοηθήσουν στη διάχυση του ήχου.

Η απορρόφηση του ήχου συμβαίνει όταν ο ήχος εισέρχεται σε ένα αντικείμενο και απορροφάται από το υλικό του αντικειμένου. Η ικανότητα απορρόφησης του ήχου εξαρτάται από το υλικό του αντικειμένου και τη συχνότητα του ήχου. Η απορρόφηση του ήχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση του ηχητικού κύματος που ανακλάται σε έναν χώρο, με σκοπό τη βελτίωση της ακουστικής.

Η παρεμβολή του ήχου συμβαίνει όταν ένας ήχος περνάει μέσα από ένα αντικείμενο και αλλοιώνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ήχος μπορεί να συναντήσει εμπόδια στο δρόμο του, όπως ένα δέντρο ή ένα κτίριο. Η παρεμβολή μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις στην ακουστική σήμανση του ήχου και να προκαλέσει στρεβλώσεις στην αντίληψη του ήχου από τον ακροατή.

Η διάθλαση του ήχου συμβαίνει όταν ο ήχος διασχίζει ένα αντικείμενο και αλλάζει κατεύθυνση. Αυτό συμβαίνει επειδή η ταχύτητα του ήχου είναι διαφορετική σε διαφορετικά υλικά. Η διάθλαση μπορεί να προκαλέσει στρεβλώσεις στην αντίληψη του ήχου από τον ακροατή.

Η περίθλαση του ήχου συμβαίνει όταν ένας ήχος περνάει μέσα από ένα στενό άνοιγμα ή πάνω από ένα εμπόδιο. Αυτό συμβαίνει επειδή η διάμετρος του ανοίγματος ή το ύψος του εμποδίου είναι περίπου ίσος με το μήκος κύματος του ήχου. Η περίθλαση μπορεί να δημιουργήσει εφέ όπως η ηχώ ή η ενίσχυση του ήχου και μπορεί να επηρεάσει την ακουστική ποιότητα του χώρου.

Συνολικά, οι ιδιότητες του ήχου είναι κρίσιμες για την κατανόηση της συμπεριφοράς του ήχου σε διάφορους χώρους και περιβάλλοντα. Η κατανόηση των ιδιοτήτων αυτών μπορεί να βοηθήσει στο σχεδιασμό και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της ακουστικής σε αυτούς τους χώρους.

2.2.Περιβαλλοντικός Θόρυβος

Κατά την Οδηγία 2002/49/EK, ο περιβαλλοντικός θόρυβος, ορίζεται ως «οι ανεπιθύμητοι ή επιβλαβείς θόρυβοι 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» (Οδηγία 2002/49/EK, 2002).

Οι πηγές θορύβου μάλιστα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, τον θόρυβο που προέρχεται από τις μεταφορές, τον βιομηχανικό θόρυβο και τον αστικό θόρυβο. Οι πηγές θορύβου μεταφοράς αποτελούνται κυρίως από θορύβους αυτοκινήτων και αεροσκαφών. Η επανάσταση του αυτοκινήτου έχει αποδειχθεί ότι είναι μια μεγάλη πηγή περιβαλλοντικού θορύβου στις αστικές περιοχές. Στη σύγχρονη εποχή, παρατηρείται αύξηση της κυκλοφορίας εξαιτίας της εμφάνισης όλο και περισσότερων οχημάτων, όπως λεωφορεία, τρένα και φορτηγά. Σε ταχύτητες άνω των 60 μιλίων/ώρα (mph), οι θόρυβοι των ελαστικών είναι πιο ευδιάκριτοι, ενώ σε χαμηλότερες ταχύτητες, οι θόρυβοι του κινητήρα τείνουν να κυριαρχούν. Η κλίση του δρόμου μπορεί επίσης να επηρεάσει την εκπομπή θορύβου του οχήματος. Τα επίπεδα θορύβου αυξάνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων και η μέση ταχύτητα. Ακόμη, τα αεροπλάνα συμβάλλουν στην ένταση του προβλήματος του θορύβου στις μεγάλες αστικές πόλεις. Τα περισσότερα αεροδρόμια, άλλωστε, βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές και για το λόγο αυτό, τα αεριωθούμενα αεροπλάνα που απογειώνονται και προσγειώνονται σε τέτοιες περιοχές συνήθως παράγουν υψηλά επίπεδα ήχου. Διάφοροι παράγοντες, όπως η ποσότητα της δραστηριότητας του αεροσκάφους, οι διαδρομές πτήσης, η απογείωση και οι διαδικασίες προσέγγισης και προσγείωσης, καθορίζουν την ποσότητα του θορύβου που επηρεάζει τα συνολικά επίπεδα.

Άξιο αναφοράς είναι πως ορισμένες βιομηχανικές λειτουργίες αποτελούν σημαντικές πηγές θορύβου. Η εκβιομηχάνιση είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ηχορύπανσης. Οι περισσότερες βιομηχανίες χρησιμοποιούν βαριές μηχανές ικανές να παράγουν πολύ υψηλά επίπεδα θορύβου. Διαθέτουν εξοπλισμό, όπως συμπιεστές, ανεμιστήρες εξάτμισης, μύλους λείανσης και γεννήτριες που αυξάνουν τα συνολικά επίπεδα θορύβου στο περιβάλλον. Οι εργαζόμενοι σε αυτά τα περιβάλλοντα διατρέχουν μεγάλους κινδύνους για την υγεία σε περίπτωση που δεν λάβουν τα κατάλληλα μέτρα, όπως η χρήση ωτοασπίδων για να ελαχιστοποιήσουν την επίδραση του θορύβου. Επίσης, όσον αφορά στα γεωργικά μηχανήματα, έχει καταγραφεί ότι σε ορισμένες εκμεταλλεύσεις χρησιμοποιούνται τύποι

μηχανημάτων και εξοπλισμού που προκαλούν υψηλές τιμές θορύβου. Αυτός ο εξοπλισμός περιλαμβάνει αλωνιστικές μηχανές, φρεάτια σωλήνων, τρακτέρ, γεωτρήματα, μηχανοκίνητες φρέζες και θεριζοαλωνιστικές μηχανές.

Τέλος, ο αστικός θόρυβος προέρχεται από οικιστικές πηγές, τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές, οι οποίες μπορεί να μην φαίνονται τόσο σημαντικές στην αρχή. Ωστόσο, οι οικοδομικές εργασίες, τα εργαστήρια και οι επισκευές αυτοκινήτων δύναται να συμβάλλουν σημαντικά στην εμφάνιση ηχορύπανσης. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε τέτοιες εργασίες παράγει πολύ θόρυβο, ο οποίος δύναται να προκαλέσει σοβαρές ενοχλήσεις και να παρεμποδίσει την ικανότητα ακοής. Το ίδιο σημαντικές είναι δε, και οι οικιακές δραστηριότητες, όπως το δυνατό χτύπημα των θυρών, οι θόρυβοι από τα παιδιά που παίζουν, η κίνηση επίπλων, το κλάμα των βρεφών, οι δυνατές διαφωνίες. Πολλά νοικοκυριά διαθέτουν, μάλιστα, εξοπλισμό ψυχαγωγίας, όπως συστήματα Hi-Fi, τηλεοράσεις και μεγάφωνα που μπορεί να συμβάλλουν περαιτέρω στον συνολικό θόρυβο που προέρχεται από τις εσωτερικές οικιακές δραστηριότητες, κτλ. Επίσης, στα γραφεία υπάρχουν εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα και γραφομηχανές μεταξύ άλλων εξοπλισμών που συμβάλλουν στην ηχορύπανση στους χώρους εργασίας και στα περίχωρά τους. Η κακή πολεοδομία επιπλέον, δύναται να αποτελέσει μία σημαντική πηγή, καθώς τα αναπτυσσόμενα κράτη συνήθως στερούνται κατάλληλου αστικού σχεδιασμού που οδηγεί σε συμφόρηση κατοικιών, μικρών χώρων, εξάπλωση της μικρής βιομηχανίας και έλλειψη αρκετών χώρων στάθμευσης. Ο κακός πολεοδομικός σχεδιασμός συμβάλλει με τον τρόπο αυτό στον περιβαλλοντικό θόρυβο, ενώ την ίδια στιγμή τα συστήματα παραγωγής ήχου που χρησιμοποιούνται σε συγκεντρώσεις, απεργίες, εκλογές, θρησκευτικές και κοσμικές εκδηλώσεις παράγουν πολύ υψηλά επίπεδα θορύβου.

2.2.1. Επιπτώσεις της ηχορύπανσης

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, 2019), η ηχορύπανση έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Ορίζεται ως η εισαγωγή ανεπιθύμητων ή βλαβερών ήχων στο περιβάλλον, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν ενόχληση, άγχος, αϋπνία και μερική απώλεια ακοής. Συγκεκριμένα αναφέρει ότι οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης περιλαμβάνουν:

- την αύξηση της ενόχλησης και της αγχώδους κατάστασης του ανθρώπου
- την μείωση της ποιότητας του ύπνου και απόδοσης στην εργασία
- την μερική απώλεια ακοής, κυρίως στους εργαζόμενους σε βιομηχανικά εργοστάσια, αεροδρόμια και κατοικημένες περιοχές με πολλή κίνηση
- την επιδείνωση των νοσημάτων, του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού και του νευρολογικού συστήματος,
- επηρεάζει αρνητικά την άγρια ζωή και τα οικοσυστήματα, καθώς μπορεί να επηρεάσει τις συνήθειες διατροφής, την αναπαραγωγή και τη μετανάστευση ζώων
- επηρεάζει την κοινωνική συνοχή και την ποιότητα ζωής των κατοίκων στις περιοχές με υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης
- επηρεάζει την ασφάλεια των μεταφορών, καθώς η υπερβολική ηχορύπανση μπορεί να επηρεάσει την ακουστική αντίληψη του οδηγού και να αυξήσει τον κίνδυνο ατυχήματος.

Για τη μείωση της ηχορύπανσης, η WHO προτείνει μέτρα όπως η χρήση χαμηλότερων επιπέδων ήχου, η βελτίωση του σχεδιασμού κτιρίων και οδικών δικτύων, η εξοικονόμηση ενέργειας και η ενθάρρυνση της χρήσης μεταφορών με μηχανισμούς μειωμένης ηχορύπανσης, όπως τα ποδήλατα ή τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Επιπλέον, η ενημέρωση του κοινού για τους κινδύνους της ηχορύπανσης μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην επίτευξη αυτού του στόχου. Επιπλέον, η WHO προωθεί τη χρήση ειδικών επιστημονικών μεθόδων για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης και τη βελτίωση της υγείας των κατοίκων. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μείωση του θορύβου στην πηγή του, τη χρήση

ηχοαπορροφητικών υλικών και την ανάπτυξη προγραμμάτων επίβλεψης και αξιολόγησης της ηχορύπανσης.

Σύμφωνα με την «Έκθεση του πληθυσμού της Ευρώπης στον περιβαλλοντικό θόρυβο», ο περιβαλλοντικός θόρυβος παραμένει ένα μείζον πρόβλημα στην Ευρώπη, καθώς περίπου το 20% του πληθυσμού της ΕΕ βρίσκεται σε περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου θεωρούνται επιβλαβή για την υγεία. Οι περισσότεροι, άλλωστε, από τους ανθρώπους που επηρεάζονται, ζουν σε αστικές περιοχές όπου η οδική κυκλοφορία, που αποτελεί την πλέον κυρίαρχη πηγή περιβαλλοντικού θορύβου, είναι ιδιαίτερα έντονη. Ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου παρέμεινε σταθερός από το 2012 (European Environment Agency, 2023).

Μια βασική δέσμευση της φιλοδοξίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μηδενική ρύπανση πραγματοποίησε το Action Plan: «Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil», το οποίο αποτελεί πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης με στόχο τη μείωση της ρύπανσης του αέρα, του νερού και του εδάφους στην Ευρώπη. Αυτό το σχέδιο αποσκοπεί στην επίτευξη μηδενικών εκπομπών και μηδενικών ρύπων στην Ευρώπη έως το 2050. Όσον αφορά την ηχορύπανση, το σχέδιο περιλαμβάνει μια σειρά μέτρων για τη μείωση της ηχορύπανσης σε επίπεδα που είναι ασφαλή για την υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος, στοχεύοντας στην μείωση του αριθμού των ατόμων που πάσχουν από χρόνια διαταραχή οφειλόμενη στο θόρυβο των μεταφορών κατά 30% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2017. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν:

- Τη βελτίωση της νομοθεσίας σχετικά με την ηχορύπανση και την ενημέρωση του κοινού για τις συνέπειες της ηχορύπανσης
- Την ενθάρρυνση της χρήσης χαμηλότερων εκπομπών οχημάτων και την επιβολή περιορισμών στην κυκλοφορία των οχημάτων σε περιοχές με υψηλό επίπεδο ηχορύπανσης.
- Την ανάπτυξη τεχνολογιών που ελαχιστοποιούν την ηχορύπανση και την υποστήριξη έρευνας και ανάπτυξης σε αυτόν τον τομέα
- Την ενθάρρυνση της χρήσης ηχομειωτών και άλλων τεχνολογιών για τη μείωση της ηχορύπανσης σε κτίρια και άλλες δομές
- Τη διεξαγωγή επιθεωρήσεων και εποπτειών για την εφαρμογή των κανόνων και των προτύπων σχετικά με την ηχορύπανση
- Την ενθάρρυνση της συνεργασίας μεταξύ των κρατών μελών και της βιομηχανίας για την επίτευξη των στόχων μείωσης της ηχορύπανσης

(Directorate-General for Environment, 2023).

Επομένως, ο περιβαλλοντικός θόρυβος αναντίρρητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητας ζωής στην Ευρώπη (European Environment Agency, 2023). Σύμφωνα με την έκθεση του World Health Organization (World Health Organization, 2019), ο υπερβολικός θόρυβος προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, παρεμποδίζοντας τις καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων στο σχολείο, στην εργασία, στο σπίτι και στον ελεύθερο χρόνο. Μπορεί να διαταράξει τον ύπνο (Pirrer, De Valck and Cluydts, 2010), να προκαλέσει καρδιακά (Münzel, Sørensen and Daiber, 2021) και ψυχικά προβλήματα (Jenkins, Tarnopolsky and Hand, 1981), να μειώσει την απόδοση (Sorkin and Loeb, 2013) και να προκαλέσει ενοχλητικές αντιδράσεις και αλλαγές στην κοινωνική συμπεριφορά (Mesene, Meskele and Mengistu, 2022).

2.2.2. Μέτρηση του θορύβου

Η ένταση του ήχου μετρείται σε μονάδες ντεσιμπέλ (dB). Το ανθρώπινο αυτί έχει την ικανότητα να ανταποκρίνεται σε μικρά και σε μεγάλα κύματα πίεσης εξαιτίας της μη γραμμικότητάς του. Μια μη γραμμική κλίμακα είναι χρήσιμη για την περιγραφή της έντασης των ηχητικών κυμάτων, εξαιτίας της μη γραμμικότητας του αυτιού στην αίσθηση των

κυμάτων πίεσης. Η κλίμακα εξαρτάται από το επίπεδο έντασης ήχου ή το επίπεδο ντεσιμπέλ, ενός ηχητικού κύματος, το οποίο εμφανίζεται στην παρακάτω εξίσωση, όπου η στάθμη έντασης σε dB ορίζεται το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμού της έντασης του ήχου προς την ένταση του κατωφλίου ακουστικότητας, και περιγράφεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Το εύρος της ηχητικής πίεσης που ένα άτομο μπορεί να διακρίνει από το χαμηλότερο σημείο της ακοής του έως την πρόκληση βλάβης στα αυτιά του είναι πάνω από ένα εκατομμύριο. Επειδή η κλίμακα ντεσιμπέλ είναι μια αναλογία, για τη μέτρηση μιας μοναδικής πηγής ήχου, χρησιμοποιείται μια γραμμή βάσης που ονομάζεται φίλτρο. Χρησιμοποιούνται τρία τυπικά φίλτρα A, B και C. Το φίλτρο B χρησιμοποιείται σπάνια και βρίσκεται μεταξύ του A και του C. Το φίλτρο C χρησιμοποιείται συνήθως για υψηλές συχνότητες ενώ το φίλτρο A είναι λιγότερο ευαίσθητο σε πολύ υψηλές και πολύ χαμηλές συχνότητες. Για την μέτρηση του ήχου χρησιμοποιείται το ηχόμετρο, το οποίο αποτελείται από ένα μικρόφωνο για την καταγραφή του ήχου, έναν ενισχυτή, ένα ή περισσότερα δίκτυα στάθμισης συχνότητας και έναν μετρητή για την εμφάνιση της στάθμης του ήχου. Όταν χρησιμοποιείται ηχόμετρο, είναι σημαντικό να επιλέγεται το επιθυμητό φίλτρο και να προσδιορίζεται ποιο φίλτρο χρησιμοποιήθηκε κατά την εγγραφή της μέτρησης. Αυτό επιτυγχάνεται προσθέτοντας τις μονάδες dBA ή dBC μετά τη μέτρηση (Field and Long, 2018).

2.2.3. Όρια εκπομπής θορύβου

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι ο θόρυβος που προκαλείται από μηχανολογικές εγκαταστάσεις, ανεξάρτητα από το αν είναι σταθερές ή κινητές. Η δεύτερη κατηγορία είναι ο θόρυβος που προέρχεται από μέσα μαζικής μεταφοράς (MMM) όπως λεωφορεία, τρένα και τρόλεϊ. Τέλος, η τρίτη κατηγορία είναι ο αστικός θόρυβος γενικότερα. Όσον αφορά τον μηχανολογικό θόρυβο, μπορούμε να τον κατηγοριοποιήσουμε σε δύο υποκατηγορίες: τον θόρυβο από σταθερές πηγές εκπομπής και τον θόρυβο από κινητές πηγές εκπομπής. Ο μηχανολογικός θόρυβος από σταθερές πηγές εκπομπής περιλαμβάνει όλα τα μηχανήματα που βρίσκονται σε βιομηχανίες, βιοτεχνίες και επαγγελματικά εργαστήρια, ανεξαρτήτως του είδους τους. Η νομοθεσία έχει θεσπίσει σημαντικούς κανόνες για τον έλεγχο των επιπέδων θορύβου. Ένας από αυτούς είναι το Π.Δ 1180/81 (Πίνακας 2), που καθορίζει τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου. Επίσης, ο Νόμος 1650/86 περιέχει διατάξεις για την επιβολή προστίμων σε περίπτωση παραβίασης των κανόνων.

Πίνακας 2 Όρια θορύβου που προβλέπει το Π.Δ 1180/81

Περιοχή	Ανώτατο Όριο Θορύβου db (A)
Νομοθετημένες Βιομηχανικές περιοχές	70
Περιοχές εις τις οποίες επικρατεί το βιομηχανικό στοιχείο	65
Περιοχές εις τις οποίες επικρατεί εξίσου βιομηχανικό και αστικό στοιχείο	55
Περιοχές εις τις οποίες επικρατεί το αστικό στοιχείο	50

Ο μηχανολογικός θόρυβος από κινητές πηγές προέρχεται κυρίως από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σε διάφορα εργοτάξια. Ο έλεγχος του θορύβου αυτών των μηχανημάτων πρέπει να γίνεται με μελέτη κάθε περίπτωσης, λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο της εργασίας, τον αριθμό των πηγών θορύβου, τον χώρο εκτέλεσης των εργασιών, τη διάρκεια του έργου και άλλους παράγοντες. Υπάρχουν περιοριστικοί όροι που τίθενται ανάλογα με αυτά τα κριτήρια. Το Τεχνικό Κατάστημα Θορύβου (ΤΚΘ) σε συνεργασία με το Υπουργείο

Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΑΝ) έχει ενσωματώσει στην Ελληνική Νομοθεσία την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/14/EK με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 37393/2028/ΦΕΚ/Β/1418/1.10.2003, που καθορίζει τα επιτρεπόμενα επίπεδα θορύβου για 57 κατηγορίες μηχανημάτων εργοταξίου. Για να επιτραπεί η λειτουργία αυτών των μηχανημάτων στην Ελλάδα ή γενικότερα στην Ευρώπη, πρέπει να έχουν πιστοποίηση κατά τη διαδικασία αδειοδότησής τους.

Όσον αφορά τον θόρυβο που προκαλείται από τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, κύριες πηγές θορύβου είναι τα αυτοκίνητα (ιδιωτικά ή δημόσια), τα δίκυκλα, τα φορτηγά, τα τρένα, το σιδηροδρομικό δίκτυο και οι σιδηροδρομικές γραμμές, ο ηλεκτρικός σιδηρόδρομος (ΗΣΑΠ), το μετρό, ο προαστιακός σιδηρόδρομος και τα αεροδρόμια. Για τους μεγάλους οδικούς άξονες της χώρας (εθνικές οδούς, μεγάλους αυτοκινητόδρομους και παρακαμπτικούς δρόμους) έχει θεσπιστεί νομοθεσία που ορίζει τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου κυκλοφορίας (ΚΘ) σύμφωνα με την Κοινή Υπουργική Απόφαση οικονομικού 17252 (ΦΕΚ 395/Β/19.6.1992). Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται ειδική ακουστική μελέτη και η εφαρμογή κατάλληλων λύσεων για τη μείωση του θορύβου, όπως η κατασκευή ειδικών ηχομονωτικών μέτρων, μείωση των ορίων ταχύτητας, ειδικοί ασφαλιστάπητες κ.λπ., όταν τα επιτρεπόμενα όρια ξεπερνούνται.

Στο πλαίσιο του αστικού θορύβου, περιλαμβάνεται και ο θόρυβος που προκαλείται από κοινωνικές εκδηλώσεις των πολιτών, όπως ομιλίες, συγκεντρώσεις και συναυλίες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, υπάρχουν αστυνομικές διατάξεις που καθορίζουν τις ώρες κοινής ησυχίας και περιορίζουν τον θόρυβο. Η υπουργική απόφαση ΥΑ 1023/2/37/12-01-1996 ορίζει τις ώρες μεσημβρινής και νυκτερινής ησυχίας τόσο για το καλοκαίρι όσο και για το χειμώνα. Στην Ελλάδα, μια από τις μεγαλύτερες πηγές ηχορύπανσης είναι τα κέντρα διασκέδασης και ο αριθμός των καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος που προσφέρουν μουσική. Η υγειονομική διάταξη Α5/3010/85 ορίζει τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια έντασης της μουσικής εντός των καταστημάτων. Για τα κέντρα διασκέδασης, το όριο είναι 100 dB(A), ενώ για τα άλλα καταστήματα με μουσική (όπως ορίζεται στην υπουργική απόφαση Α1β 8577/83) είναι 80 dB(A).

Σύμφωνα με το TEE (TEE , 2008) τα όρια της στάθμης του θορύβου σε σχέση με την ενόχληση που προκαλούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου σε dB(A), Πηγή: (TEE , 2008)

Απαράδεκτη κατάσταση	≥ 81
Πολύ θορυβώδης κατάσταση	78-80
Θορυβώδης κατάσταση	75-77
Σχεδόν ανεκτή κατάσταση	72-74
Καλή κατάσταση	69-71
Άνετη κατάσταση	≤ 68

2.3. Ανάγκη χαρτογράφησης του Θορύβου

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει μια προσέγγιση πρόληψης και μείωσης του περιβαλλοντικού θορύβου μέσω της Οδηγίας 2002/49/EK, με σκοπό τον περιορισμό των ενοχλήσεων που προκαλούνται από τον ήχο. Αυτή η οδηγία έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο μέσω της Κ.Υ.Α. 13586/724/2006 και ορίζει μέτρα, όρους και μεθόδους για την αξιολόγηση και διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον.

Η Οδηγία βασίζεται στον χαρτογραφικό προσδιορισμό της έκθεσης στον θόρυβο μέσω της δημιουργίας Στρατηγικών Χαρτών Θορύβου. Στο πλαίσιο αυτό, χρησιμοποιούνται κοινές μέθοδοι, όπως η ενημέρωση των πολιτών και ο σχεδιασμός και η υλοποίηση Σχεδίων Δράσης σε τοπικό επίπεδο. Σύμφωνα με την Οδηγία 2002/49/EK, ο περιβαλλοντικός θόρυβος αναφέρεται στους ανεπιθύμητους ή επιβλαβείς θορύβους που προκαλούνται από

ανθρώπινες δραστηριότητες στις αστικές περιοχές και την ύπαιθρο, συμπεριλαμβανομένων των θορύβων που προέρχονται από μεταφορικά μέσα, οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές, καθώς και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας.

Σύμφωνα με τους Kurra S. Και Dal L. (Kurra and Dal, 2012) οι λόγοι κατασκευής των χαρτών θορύβου συνοψίζονται ως εξής:

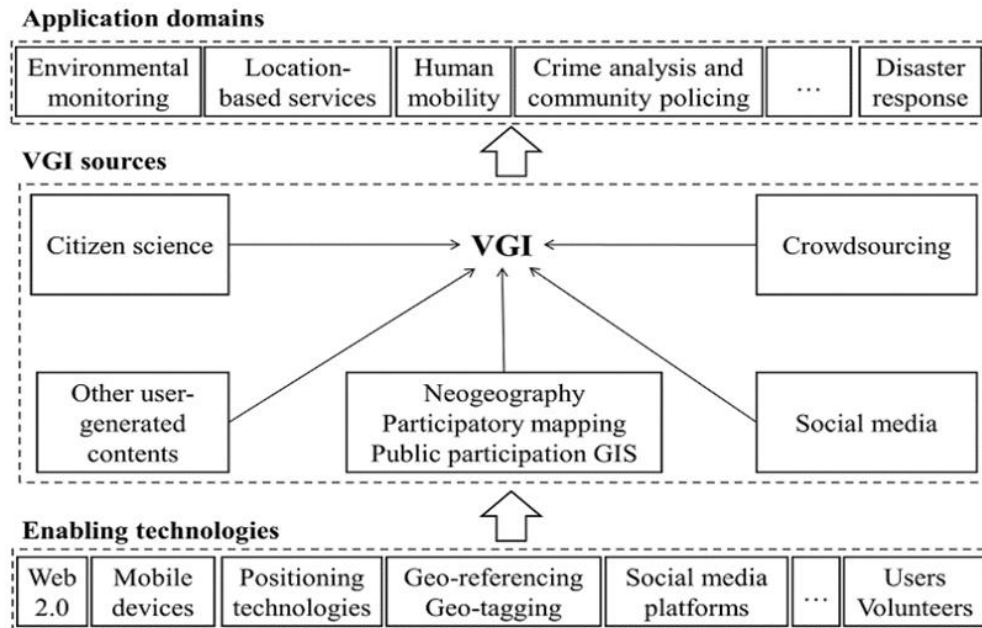
- Για τη διερεύνηση των συνθηκών θορύβου, εφόσον έχουν υπερβεί ή όχι τα υπάρχοντα όρια θορύβου
- Για την δημιουργία ζωνών θορύβου σε σχέση με τα επίπεδα θορύβου και των περιοχών με έντονο θόρυβο
- Για τον προσδιορισμό του πληθυσμού που επηρεάζεται από τα επίπεδα θορύβου
- Για την αξιολόγηση των επιπέδων θορύβου στις προσόψεις ευαίσθητων κτιρίων
- Για τον σχεδιασμό νέων χρήσεων γης και για τον καθορισμό κτιριακών διαμορφώσεων σε θορυβώδεις περιοχές
- Για τη διερεύνηση δραστηριοτήτων που προκαλούν θόρυβο
- Να συγκρίνουν τα υπολογισμένα και τα μετρημένα επίπεδα θορύβου
- Για τον σχεδιασμό μέτρων ως προς την αντιμετώπιση του θορύβου και την ανάλυση του κόστους
- Για την ανάπτυξη στρατηγικής ελέγχου του θορύβου και σχεδίων δράσης
- Για την διερεύνηση της απόδοσης ενός μέτρου συγκρίνοντας τους χάρτες «πριν» και «μετά»
- Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων εναλλακτικών λύσεων έναντι του περιβαλλοντικού θορύβου
- Για τη λήψη δεδομένων για τις επιτόπιες έρευνες (δηλ. σχέσεις θορύβου προκειμένου να εξαχθούν κριτήρια ή όρια ελέγχου θορύβου)
- Για την παροχή πληροφοριών αναφορικά με την κοινότητα και την παροχή δεδομένων στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων
- Για την εκτίμηση των οικονομικών απωλειών λόγω της ηχορύπανσης και των μειώσεων της αξίας των ακινήτων.

2.4.Εθελοντικές Γεωγραφικές Πληροφορίες (VGI)

Ο όρος «εθελοντικές γεωγραφικές πληροφορίες» (VGI) επινοήθηκε από τον Michael Goodchild για να περιγράψει «μια έκρηξη ενδιαφέροντος στη χρήση του Ιστού για τη δημιουργία, τη συγκέντρωση και τη διάδοση γεωγραφικών πληροφοριών που παρέχονται εθελοντικά από άτομα». Οι εθελοντικές γεωγραφικές πληροφορίες (VGI) είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται σε δεδομένα γεωγραφικής αναφοράς που δημιουργούνται από εθελοντές πολίτες (Goodchild, 2007). Το VGI πλαισιώνεται τακτικά ως υποσύνολο του crowdsourcing, αν και οι όροι δεν αλληλοεπικαλύπτονται πλήρως (Cooper, Coetzee and Kourie, 2018).

Το VGI περιλαμβάνει γενικά γεωγραφικά δεδομένα που παρέχονται από μη επαγγελματίες εθελοντές, όπως συμμετέχοντες στην επιστήμη των πολιτών, το crowdsourcing, τη νεογεωγραφία, τη συμμετοχική χαρτογράφηση, τη δημόσια συμμετοχή GIS, κ.λπ. και τους χρήστες των μέσων κοινωνικής δικτύωσης (Εικόνα 3). (Zhang, 2021)

Το VGI έχει εξελιχθεί ραγδαία εξαιτίας της προόδου των τεχνολογιών που επιτρέπουν στο κοινό να συνεισφέρει γεωγραφικά δεδομένα. Με την ενδυνάμωση του Web 2.0 και την πανταχού παρούσα πρόσβαση στο Διαδίκτυο και τις υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, οι απλοί πολίτες που λειτουργούν ως «ανθρώπινοι αισθητήρες» χρησιμοποιώντας κινητά smartphone και άλλες φορητές συσκευές με επίγνωση τοποθεσίας μπορούν τώρα να συνεισφέρουν εύκολα γεωαναφορικές παρατηρήσεις σχετικά με κοινωνικά και φυσικά περιβάλλοντα σε όλο τον κόσμο, ως συγκεκριμένη μορφή περιεχομένου που δημιουργείται από τους χρήστες.



Εικόνα 3 Τεχνολογίες, πηγές και τομείς εφαρμογών ενεργοποίησης VGI (Zhang, 2021)

Σύμφωνα με τον Zhang (Zhang, 2021), το VGI έχει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς αποτελεί ένα εργαλείο που μπορεί να συμβάλει στην απόκτηση και συλλογή γεωγραφικών δεδομένων που θα μπορούσαν συμβάλουν στην κατανόηση της χωροχρονικής δυναμικής κοινωνικών και φυσικών φαινομένων. Το VGI έχει τη δυνατότητα να παρέχει γεωγραφικά δεδομένα σε μεγάλες περιοχές, καθώς περιέχει πλήθος τοπικών πληροφοριών για μεγάλα χρονικά διαστήματα, επειδή οι πολίτες ως τοπικοί ειδικοί έχουν συσσωρεύσει τη γνώση του περιβάλλοντός τους. Επίσης, το VGI παρέχει έγκαιρα ενημερωμένες γεωγραφικές πληροφορίες, οι οποίες μπορούν εύκολα να συλλεχθούν από εθελοντές πολίτες, ενώ είναι δύσκολο να αποκτηθούν μέσω παραδοσιακών πρωτοκόλλων συλλογής γεωγραφικών δεδομένων. Τέλος, το VGI διαθέτει πολύ χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους συλλογής δεδομένων. Αυτό κατέστησε εφικτή την παραγωγή μεγάλης κλίμακας γεωγραφικών συνόλων δεδομένων μέσω πρωτοβουλιών VGI.

Το VGI εκτός από τα πλεονεκτήματα αντιμετωπίζει και διάφορες προκλήσεις, όπως η ποιότητα των δεδομένων, η οποία βρίσκεται στον πυρήνα των εφαρμογών VGI σε διάφορους τομείς. Η ποιότητα των χωρικών δεδομένων είναι υποκειμενική, καθώς εξαρτάται από τον χρήστη των δεδομένων, το σκοπό και το πλαίσιο στο οποίο αυτά χρησιμοποιούνται. Επομένως, ο συνεισφέρων δεν μπορεί να αξιολογήσει την ποιότητα της συνεισφοράς του μεμονωμένα. Αντίθετα, ο χρήστης θα πρέπει να αξιολογεί την ποιότητα βάσει του σκοπού και του πλαισίου για τον οποίο προορίζεται και να τα τεκμηριώνει στις πληροφορίες που παρέχει ο συνεισφέρων σχετικά με τα δεδομένα, δηλαδή τα μεταδεδομένα. Τα μεταδεδομένα εξακολουθούν να μην είναι άμεσα διαθέσιμα για πολλά σύνολα δεδομένων, καθώς υπάρχουν ακόμη λιγότερα μεταδεδομένα διαθέσιμα για το VGI, δεδομένου ότι οι χρήστες σπάνια αναγκάζονται να συλλάβουν ή να διαδώσουν μεταδεδομένα ή ακόμη και να γνωρίζουν τα μεταδεδομένα.

2.1.Κινητές εφαρμογές για χάρτες θορύβου, με τη διαδικασία της εθελοντικής γεωγραφίας

Τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη ανάπτυξη χαμηλού κόστους και ψηφιακών τεχνολογιών και λογισμικού εφαρμογών για κινητά οδήγησε στην αξιοποίηση των smartphones ως μιας εξαιρετικής συσκευής για την παρακολούθηση του θορύβου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε από την Radicchi (Radicchi, 2018), περιγράφονται

είκοσι οκτώ εφαρμογές για κινητά που έχουν αναπτυχθεί μεταξύ 2008 και 2016 (Εικόνα 4).

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στις εφαρμογές εντοπίζονται, στον τρόπο καταγραφής του θορύβου, στην μέτρηση του θορύβου, στην ταυτόχρονη λήψη φωτογραφίας ή βίντεο, στην ανατροφοδότηση με τους χρήστες, καθώς και στον τρόπο διάθεσης της συλλεγόμενης πληροφορίας. Από αυτές τις είκοσι οκτώ εφαρμογές, δεκαέξι είναι εφαρμογές που βασίζονται σε μετρητές θορύβου και έντεκα είναι εφαρμογές που βασίζονται σε συσκευή εγγραφής ήχου. Μόνο το SoundOfTheCity λειτουργεί τόσο ως ηχολήπτης όσο και ως μετρητής θορύβου, ακόμη και αν η διαδικασία συλλογής δεδομένων των ηχογραφήσεων και των μετρήσεων θορύβου δεν είναι διαδοχική. Η πλειονότητα αυτών των εφαρμογών επιτρέπει επίσης τη συλλογή δεδομένων, όπως τα επίπεδα θορύβου και τα σχόλια χρηστών, τις ηχογραφήσεις και τη συλλογή σχολίων χρηστών.

Year of release	Name of the app	Availability on the market	Available for iOS	Available for Android	Geo-located data collection features				Sequential data collection process	Open data
					Audio recorder	Noise meter	Camera	User feed-back		
2008	Noise Tube	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
2009	WideNoise	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2010	NoiseDroid	No	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes
2010	NoiseSpy	No	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2010	noTours	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes
2011	The Quiet Walk	No	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2011	URBANREMIX	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
2011	NoiseWatch	No	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	Yes
2012	CITI-SENSE	No	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
2012	Noisemap	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	Yes
2012	I-SAY Sound Around You	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2013	Soundscape Characterization Tool	No	No	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No
2013	Ear-Phone	No	No	No	No	Yes	No	No	No	No
2013	radio aporee	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2013	stereopublic	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	Yes
2013	SoundOfTheCity	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes
2014	Cart-ASUR (linked to NoiseTube)	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
2014	Geluidenjager	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2014	Recho	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No
2014	Record the Earth	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No
2015	The Noise App	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2015	Sound City	No	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2016	Aircasting	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No
2015	Think About Sound	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
2016	Ambiciti (new version of Sound City)	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No
2016	City Soundscape	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No
2016	MoSart	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No
2016	Audiospook	No	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No
2017	Hush City	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Εικόνα 4 Κινητές εφαρμογές για χάρτες θορύβου, με τη μέθοδο της εθελοντικής γεωγραφίας (Radicchi, 2018)

Η συλλογή των μετρήσεων θορύβου στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε με την χρήση της εφαρμογής “NoisePollution”. Η εφαρμογή υλοποιήθηκε για λογισμικό Android για κινητές συσκευές (smartphones) από το τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής της Σχολής Ψηφιακής Τεχνολογίας του Χαροκοποιείου Πανεπιστημίου, έχοντας ως βασικό σκοπό του την καταγραφή της έντασης του ήχου. Το “NoisePollution”, αποτελεί μια δωρεάν ανοιχτού κώδικα εφαρμογή, η οποία βασίστηκε στην ιδέα της «Εθελοντικής γεωγραφικής πληροφορίας» (VGI).

Η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να καταγράψει την ένταση του ήχου σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο. Η μέτρηση της έντασης γίνεται σε decibel (dB) με Z στάθμιση και για τον υπολογισμό της τιμής χρησιμοποιείται ο χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος της έκθεσης.

Οι παράγοντες που συνετέλεσαν στην επιλογή της εφαρμογής “NoisePollution” είναι ότι αποτελεί μια αξιόπιστη και εύχρηστη εφαρμογή για τους χρήστες, δεν ζητείται ταυτοποίηση ή δημιουργία λογαριασμού από τους χρήστες, και οι πληροφορίες που δίνονται είναι ανώνυμες. Επίσης καταγράφει την ένταση του θορύβου, δίνοντας ανατροφοδότηση στους χρήστες για τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Ωστόσο, τον σημαντικότερο παράγοντα για την επιλογή της συγκεκριμένης εφαρμογής, αποτέλεσε η πρόσβαση που δόθηκε στην βάση δεδομένων «Firebase», από τον κάτοχο των πνευματικών δικαιωμάτων της εφαρμογής «Ευστράτιο Στρατάκο», με σκοπό την αξιοποίηση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν.

Η εφαρμογή “NoisePollution” είναι διαθέσιμη στον διαδικτυακό χώρο του «GitHub» (NoisePollutionApp, 2022) και υλοποιήθηκε με σκοπό τη συλλογή δεδομένων ηχορύπανσης με βάση τον χώρο και τον χρόνο που γίνεται η καταγραφή των δεδομένων.

2.2. Χωρική Παρεμβολή

Τα χωρικά συνεχή δεδομένα (ή οι χωρικά συνεχείς επιφάνειες) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις περιβαλλοντικές επιστήμες και τη διαχείριση. Οι διαχειριστές περιβάλλοντος συνήθως απαιτούν χωρικά συνεχή δεδομένα στην περιοχή ενδιαφέροντος για να λάβουν αποτελεσματικές και σίγουρες αποφάσεις και οι επιστήμονες χρειάζονται ακριβή χωρικά συνεχή δεδομένα σε μια περιοχή για να κάνουν αιτιολογημένες ερμηνείες. Τέτοια δεδομένα, ωστόσο, συνήθως δεν είναι πάντα άμεσα διαθέσιμα και συχνά είναι δύσκολο και δαπανηρό να αποκτηθούν. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα που συλλέγονται από επιτόπιες έρευνες προέρχονται συχνά από σημειακές πηγές. Έτσι, οι σημειακές τιμές ενός χαρακτηριστικού πρέπει να εκτιμηθούν προκειμένου να δημιουργηθούν χωρικά συνεχή δεδομένα.

Ο όρος χωρική παρεμβολή αναφέρεται στην διαδικασία προσδιορισμού της τιμής μιας μεταβλητής z σε κάποιο σημείο (x,y) του χώρου, δεδομένου ότι είναι γνωστές οι τιμές της μεταβλητής αυτής σε ένα σύστημα σημείων, που είναι συνήθως τυχαία κατανεμημένα στον χώρο (Goodchild and Lam, 1980). Η χωρική παρεμβολή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση μιας τιμής, μιας μεταβλητής δεδομένων σε μια μη δειγματοληπτική τοποθεσία από μετρήσεις που έγιναν σε κοντινή απόσταση ή μέσα σε ένα εύρος διαθέσιμων δεδομένων (Bajjali, 2018). Αυτή η τεχνική βασίζεται στον Πρώτο Νόμο της Γεωγραφίας του Τόμπλερ (Miller, 2004) που δηλώνει ότι τα σημεία που βρίσκονται σε κοντινό διάστημα μεταξύ τους, είναι πιο πιθανό να έχουν παρόμοιες τιμές από τα σημεία που απέχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.

Προκειμένου να παραχθεί μια συνεχής αναπαράσταση του εν λόγω φαινομένου, η παρεμβολή χρησιμοποιεί δεδομένα δειγματοληψίας. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παρεμβολής, οι οποίες και κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις ντετερμινιστικές και τις γεωστατιστικές τεχνικές. Οι ντετερμινιστικές τεχνικές παρεμβολής δημιουργούν επιφάνειες από σημεία μέτρησης που βασίζονται στην έκταση της ομοιότητας, όπως είναι η στάθμιση αντίστροφης απόστασης (IDW). Οι τεχνικές γεωστατιστικής παρεμβολής όπως το Kriging βασίζονται σε στατιστικά στοιχεία και χρησιμοποιούν μια προηγμένη μοντελοποίηση επιφάνειας πρόβλεψης λαμβάνοντας υπόψη σφάλματα ή αβεβαιότητα προβλέψεων. Η μέθοδος Kriging βασίζεται στη θεωρία των περιφερειακών μεταβλητών και εκτελείται με την τοποθέτηση ενός πλέγματος ομοιόμορφης απόστασης στην περιοχή για την οποία έχουμε γνωστές τιμές και μπορούμε να πάρουμε μια εκτιμώμενη επιφάνεια. Η βασική ιδέα της παρεμβολής Kriging είναι ότι κάθε άγνωστο σημείο, μπορεί να εκτιμηθεί από το σταθμισμένο άθροισμα των γνωστών σημείων σε μια ορισμένη ακτίνα. Γενικά, διαφορετικές μέθοδοι παράγουν ανόμοια αποτελέσματα με τα ίδια δεδομένα εισόδου και καμία μέθοδος δεν είναι πιο ακριβής από τις άλλες.

2.2.1. Inverse Distance Weighting (IDW)

Το IDW βασίζεται στην έννοια του πρώτου νόμου του Tobler (ο πρώτος νόμος της γεωγραφίας) από το 1970. Ορίστηκε ότι όλα σχετίζονται με όλα τα άλλα, αλλά τα κοντινά πράγματα είναι περισσότερο σχετικά παρά τα μακρινά. Το IDW αναπτύχθηκε από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των ΗΠΑ το 1972 και έχει ταξινομηθεί ως

ντετερμινιστική μέθοδος. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη απαίτησης στον υπολογισμό για την ικανοποίηση συγκεκριμένων στατιστικών παραδοχών, επομένως η IDW διαφέρει από τις στοχαστικές μεθόδους (π.χ. Kriging και TRA) (Chen and Liu, 2012). Η σταθμισμένη παρεμβολή αντίστροφης απόστασης είναι μια ντετερμινιστική προσέγγιση χωρικής παρεμβολής για την εκτίμηση μιας άγνωστης τιμής σε μια τοποθεσία χρησιμοποιώντας ορισμένες γνωστές τιμές με αντίστοιχες σταθμισμένες τιμές.

Στη μέθοδο IDW, ο ρυθμός συσχετίσεων και ομοιοτήτων μεταξύ γειτόνων είναι ανάλογος της μεταξύ τους απόστασης που μπορεί να οριστεί ως αντίστροφη συνάρτηση απόστασης κάθε σημείου από γειτονικά σημεία. Για την πρόβλεψη μιας τιμής για οποιαδήποτε μη μετρημένη τοποθεσία, το IDW χρησιμοποιεί τις μετρημένες τιμές που περιβάλλουν τη θέση πρόβλεψης. Οι τιμές που είναι πιο κοντά στη θέση πρόβλεψης έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην προβλεπόμενη τιμή από εκείνες που βρίσκονται πιο μακριά. Το IDW υποθέτει ότι κάθε μετρούμενο σημείο έχει μια τοπική επιρροή που μειώνεται με την απόσταση. Δίνει μεγαλύτερα βάρη στα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στη θέση πρόβλεψης και τα βάρη μειώνονται ως συνάρτηση της απόστασης, εξ ου και η ονομασία αντίστροφη απόσταση σταθμισμένη (Shrestha, 2023).

Με την IDW μπορεί να ελεγχθεί η σημασία των γνωστών σημείων στις παρεμβαλλόμενες τιμές με βάση την απόστασή τους από το σημείο εξόδου. Ορίζοντας υψηλότερη ισχύ, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στα πλησιέστερα σημεία και η επιφάνεια που προκύπτει θα έχει περισσότερες λεπτομέρειες (να είναι λιγότερο λεία). Ο καθορισμός χαμηλότερης ισχύος θα δώσει μεγαλύτερη επιρροή στα σημεία που βρίσκονται πιο μακριά, με αποτέλεσμα μια πιο λεία επιφάνεια.

$$w_j = \frac{1/d_j^p}{\sum_{i=1}^n 1/d_j^p}$$

- όπου d_i είναι η απόσταση
- p είναι παράμετρος της ισχύος
- n αντιπροσωπεύει τον αριθμό σημείων δειγματοληψίας

Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του IDW είναι η τιμή της ισχύος. Η επιλογή της παραμέτρου ισχύος και του μεγέθους της γειτονιάς είναι αυθαίρετη. Η πιο συνηθισμένη τιμή του p είναι το 2 και η προκύπτουσα μέθοδος και ονομάζεται συχνά αντίστροφη τετραγωνική απόσταση (IDS). Η παράμετρος της ισχύος επιλέγεται επιλέγεται επίσης και με βάση τη μέτρηση του σφάλματος (π.χ. ελάχιστο μέσο απόλυτο σφάλμα, που οδηγεί στο βέλτιστο IDW). Η ομαλότητα της εκτιμώμενης επιφάνειας αυξάνεται καθώς αυξάνεται η παράμετρος ισχύος και διαπιστώθηκε ότι τα εκτιμώμενα αποτελέσματα γίνονται ικανοποιητικά όταν το p είναι 1 και 2. Το IDW αναφέρεται ως «κινούμενος μέσος όρος» όταν το p είναι μηδέν, «γραμμική παρεμβολή» όταν το p είναι 1 και «σταθμισμένος κινητός μέσος όρος», όταν το p δεν είναι ίσο με 1 (Li, 2008).

Η απόσταση d_i δίνεται από τον τύπο (Azpurua and Teixeira, 2010):

$$d_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}$$

- όπου (x, y) είναι οι συντεταγμένες του σημείου παρεμβολής
- (x_i, y_i) οι συντεταγμένες του κάθε σημείου διασποράς

Η παρεμβαλλόμενη τιμή δίνεται από τον τύπο(Shiode and Shiode, 2011):

$$E(x, y) = \sum_{j=1}^n w_j E(x_j, y_j)$$

- $E(x, y)$ το παρεμβαλλόμενο σημείο,
- n ο αριθμός των σημείων δεδομένων-οι πλησιέστεροι γείτονες,
- w_j ο συντελεστής βάρους
- και $E(x_1, y_1), E(x_2, y_2), \dots, E(x_j, y_j)$ οι μετρούμενες τιμές.

Η επίδραση της παρατηρούμενης τιμής στις κοντινές θέσεις του δείγματος στην άγνωστη τιμή στη θέση στόχο θεωρείται ότι εξασθενεί, καθώς η απόσταση μεταξύ τους αυξάνεται. Προκειμένου να υπολογιστεί η δύναμη της απόστασης, γίνεται αντικατάσταση της εξίσωσης του βάρους στην εξίσωση της παρεμβαλλόμενης τιμής:

$$E(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n d_j^{-p} E(x_j, y_j)}{\sum_{i=1}^n d_j^{-p}}$$

Η στάθμιση αντίστροφης απόστασης είναι μια πολύ δημοφιλής τεχνική στο GIS και θεωρείται μια από τις απλούστερες μεθόδους παρεμβολής. Υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων που χρησιμοποιούν σταθμισμένους κινητούς μέσους όρους σημείων εντός μιας ζώνης επιρροής. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι ο ορισμός της ακτίνας και η σχετική ισχύς με την αντίστροφη συνάρτηση απόστασης θεωρούνται ως σημαντικά προβλήματα σε αυτή τη μέθοδο. Αυτή η μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί από μια κατάσταση στην οποία υπάρχουν αρκετά σημεία δείγματος (τουλάχιστον 14 σημεία) με κατάλληλη διασπορά. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια της παρεμβολής αντίστροφης απόστασης (IDW) είναι η τιμή της παραμέτρου ισχύος (Burrough and McDonnell, 1998). Επιπλέον, το μέγεθος της γειτονιάς και ο αριθμός των γειτόνων σχετίζονται επίσης με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Η μέθοδος IDW (Inverse Distance Weighting) έχει ορισμένα πλεονεκτήματα(Penchala Vineeth, 2015: Gentile, Courbin and Meylan, 2012), όπως τα εξής: είναι εύκολη στην κατανόηση και γρήγορη στον υπολογισμό.

Ωστόσο, υπάρχουν και αρνητικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πρώτον, η μέθοδος IDW απαιτεί εμπειρική επιλογή παραμέτρων παρεμβολής, δηλαδή πρέπει να επιλεγούν κατάλληλες τιμές για να γίνει η πρόβλεψη. Δεύτερον, δεν παρέχει αξιολόγηση των σφαλμάτων πρόβλεψης, πράγμα που κάνει δύσκολη την εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, η μέθοδος IDW είναι ευαίσθητη σε ακραίες τιμές, δηλαδή μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα όταν υπάρχουν αξιοσημείωτες αποκλίσεις στα δεδομένα. Ακόμα, μπορεί να παράγει επιφάνειες που μοιάζουν με το σχήμα των ματιών ενός ταύρου, καθώς δίνει μεγαλύτερη έμφαση στις κοντινές γνωστές τιμές στο σημείο πρόβλεψης, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται κυκλικοί δακτύλιοι στο τελικό χάρτη.

Τέλος, η μέθοδος IDW παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα όταν η δειγματοληψία είναι πυκνή. Αν οι διαθέσιμες παρατηρήσεις είναι λίγες ή αντίστοιχα ανεπαρκείς, τα αποτελέσματα μπορεί να μην αντιπροσωπεύουν επαρκώς την επιθυμητή επιφάνεια.

2.2.2. Χωρική παρεμβολή Kriging

Η χωρική παρεμβολή Kriging πήρε το όνομά της από έναν Νοτιοαφρικανό μηχανικό ορυχείων ονόματι DG Krige, ο οποίος ανέπτυξε την τεχνική σε μια προσπάθεια να προβλέψει με μεγαλύτερη ακρίβεια τα αποθέματα μεταλλεύματος. Τις τελευταίες δεκαετίες το kriging έχει γίνει ένα θεμελιώδες εργαλείο στον τομέα της γεωστατιστικής. Ο όρος γεωστατιστική ισχύει ουσιαστικά σε ένα συγκεκριμένο σύνολο μοντέλων και τεχνικών που αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τον Matheron τη δεκαετία του 1960 για την αξιολόγηση των ανακτήσιμων αποθεμάτων για τη βιομηχανία εξόρυξης. Η γεωστατιστική έχει εφαρμοστεί έκτοτε σε πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως η γεωργία, η αλιεία, η υδρολογία, η γεωλογία, η μετεωρολογία, η τηλεπισκόπηση, η επιστήμη του εδάφους και ούτω καθεξής (Oliver, 2009).

Η Kriging είναι μια μέθοδος παρεμβολής που κάνει προβλέψεις σε μη δειγματοληπτικές τοποθεσίες χρησιμοποιώντας έναν γραμμικό συνδυασμό παρατηρήσεων σε κοντινές τοποθεσίες δειγματοληψίας. Η ανάπτυξη μοντέλων kriging έχει νόημα μόνο όταν τα δεδομένα συσχετίζονται χωρικά. Η επίδραση κάθε παρατήρησης στην πρόβλεψη kriging βασίζεται σε διάφορους παράγοντες όπως τη γεωγραφική της εγγύτητα με τη μη δειγματοληπτική τοποθεσία, τη χωρική διάταξη όλων των παρατηρήσεων και το μοτίβο της χωρικής συσχέτισης των δεδομένων (Goovaerts, 2019).

Η μέθοδος Kriging βασίζεται σε μια θεωρία που αναφέρεται στην τοπική μεταβλητότητα των δεδομένων, γνωστή ως Recriminalized Variable Theory. Σύμφωνα με αυτήν τη θεωρία, υπάρχει μια σταθερή τοπική μέση τιμή και μια στατική διακύμανση για τις διαφορές μεταξύ περιοχών που βρίσκονται σε συγκεκριμένη απόσταση και κατεύθυνση (OLIVER και WEBSTER, 1990). Αυτή η θεωρία βασίζεται στην "Intrinsic Hypothesis" του Matheron (1971), που υποθέτει ότι:

Η προσδοκώμενη διαφορά ανάμεσα σε δύο σημεία x και $x+h$ που απέχουν απόσταση h , γνωστή ως lag, θα είναι μηδέν δηλαδή:

$$E[Y(x+h) - Y(x)] = m(h) = 0$$

Η μεταβολή των διαφορών εξαρτάται μόνο από την απόσταση ανάμεσα στα σημεία h , με τρόπο ώστε :

$$\text{var}[Y(x+h) - Y(x)] = 2\gamma(h)$$

Όταν πληρούνται οι παραπάνω παραδοχές η συνάρτηση που συνδέει του γ με το h δίνεται από την σχέση :

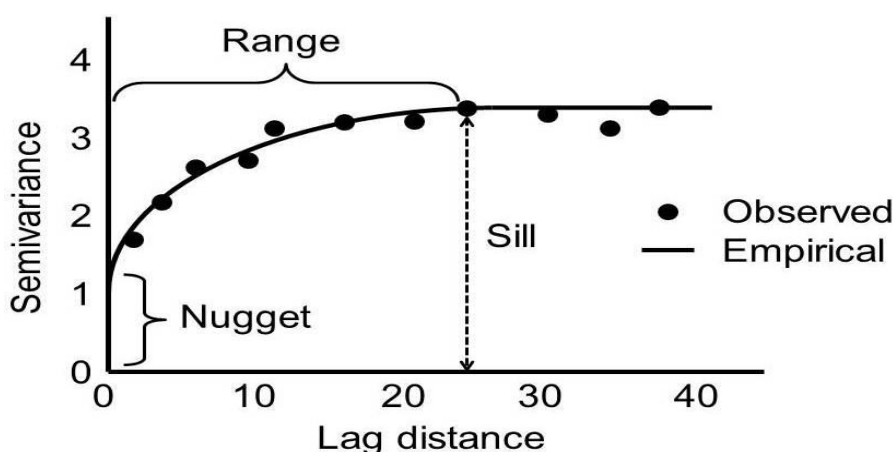
$$\gamma(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{(i,j) \in N(h)} (Z(x_i) - Z(x_j))^2$$

Όπου n είναι ο αριθμός των ζευγαριών των παρατηρήσεων που απέχουν απόσταση h .

Το πειραματικό γράφημα διακύμανσης είναι μια γραφική αναπαράσταση που δείχνει την ποσότητα $\gamma(h)$ σε σχέση με την απόσταση h . Αυτό το γράφημα περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για τη χωρική μεταβλητή που μελετάμε. Αναμένεται ότι η συνάρτηση $\gamma(h)$ θα αυξηθεί όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων, θα προσεγγίσει την τιμή μηδέν για μικρές αποστάσεις και θα γίνει σταθερή για αποστάσεις μεγαλύτερες από τη ζώνη επιρροής (range) μεταξύ των τιμών (Lam, 1983). Εάν το $\gamma(h)$ δεν μεταβάλλεται σε σχέση με το h , αυτό υποδηλώνει έλλειψη χωρικής δομής στα δεδομένα.

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για να περιγραφεί το ημιβαριόγραμμα είναι το ψήγμα (Nugget), η οροφή (Sill) και το εύρος (Range). Στο γράφημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5, παρατηρούμε ότι το ημιβαριόγραμμα σταματά να αυξάνεται μετά από μια συγκεκριμένη απόσταση. Αυτό το σημείο όπου η γραμμή γίνεται οριζόντια ονομάζεται οροφή "Sill". Το εύρος "Range" αναφέρεται στην απόσταση που διανύει το μοντέλο μέχρι να φτάσει στην οροφή. Όσο η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων αυξάνεται, η συσχέτιση και η επίδραση του ενός δείγματος στο άλλο μειώνεται, μέχρι να φτάσουμε στο οριακό σημείο "Sill", όπου οι χωρικές μεταβλητές είναι πλήρως ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Το "Nugget" αναφέρεται στη διακύμανση μεταξύ δύο δειγμάτων που έχουν μηδενική απόσταση μεταξύ τους.

Το φαινόμενο nugget, δηλαδή η έλλειψη χωρικής συσχέτισης σε μικρές αποστάσεις είναι άγνωστο στον ερευνητή. Ως τεχνική παράμετρος στη λειτουργία του μοντέλου βαριογράμματος, το φαινόμενο nugget μπορεί να θεωρηθεί ως παράμετρος όγκου που περιλαμβάνει μια τοπική τραχύτητα της υπό εξέταση μεταβλητής και την αβεβαιότητα που προκύπτει από το διακριτό μοτίβο δειγματοληψίας. Μπορεί επίσης, να ενσωματώνει σφάλματα αναλυτικών δεδομένων. Το ψήγμα συνεπώς συνδέεται με την έννοια της χωρικής διακύμανσης και της μεταβλητότητας (Gringarten and Deutsch, 2001).



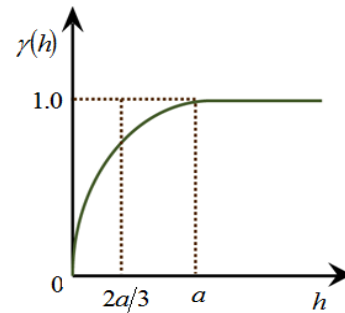
Εικόνα 5 Χαρακτηριστικά ημιβαριογράμματος (Biswas and Si, 2013)

Για να είναι χρήσιμο το πειραματικό βαριόγραμμα στη μέθοδο παρεμβολής kriging, απαιτείται να προσομοιωθεί από ένα θεωρητικό μοντέλο. Αυτή η προσομοίωση οδηγεί στην ανάπτυξη ενός προσαρμοσμένου θεωρητικού μοντέλου. Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει μια ποικιλία μοντέλων που μπορούν να προσομοιώσουν ένα πειραματικό βαριόγραμμα, όπως τα σφαιρικό, εκθετικό, γραμμικό και gauss μοντέλα. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και την κατάλληλη εφαρμογή, επιλέγεται το καταλληλότερο μοντέλο για να προσαρμοστεί στο πειραματικό βαριόγραμμα και να παράγει ακριβείς εκτιμήσεις και προβλέψεις για τη χωρική μεταβλητή που μελετούμε.

Σφαιρικό μοντέλο

Όπου C_0 είναι η σταθερά του nugget, το $C + C_0$ είναι το sill, το C είναι η διακύμανση της δομής και το a είναι το ενεργό Range. Όταν $C_0 = 1$ και $C = 1$, αυτό το μοντέλο ονομάζεται Standard Spherical Model. Ο ρυθμός κλίσης στο σημείο προέλευσης είναι $3C/2a$ και η τομή μεταξύ της τιμής Sill και του άξονα x είναι $2a/3$. Το Σφαιρικό Μοντέλο είναι το πιο κοινό μοντέλο στη γεωστατιστική. Τα χαρακτηριστικά του είναι ότι έχει γραμμική ανάπτυξη όταν η απόσταση μεταξύ 2 σημείων είναι μικρή (πιο κοντά στο σημείο προέλευσης). Ωστόσο, όταν περάσει την τιμή εύρους, θα είναι μια γραμμή παράλληλη προς τον άξονα X (η τιμή της είναι $1 = \text{sill}^2$).

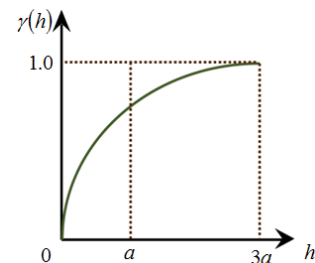
$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C\left(\frac{3}{2}\frac{h}{a} - \frac{1}{2}\frac{h^3}{a^3}\right), & 0 < h \leq a \\ C_0 + C, & h > a \end{cases}$$



Εκθετικό μοντέλο

Σε σύγκριση με το σφαιρικό μοντέλο, το εκθετικό μοντέλο έχει γραμμική ανάπτυξη σε μικρή απόσταση και στη συνέχεια ανεβαίνει με πολύ μεγάλη κλίση. Τέλος φτάνει ομαλά την τιμή Still με χαμηλότερη κλίση.

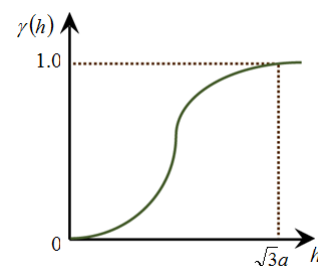
$$\gamma(h) = \begin{cases} \alpha + (\sigma^2 - \alpha)(1 - e^{-3h/r}) , & h > 0 \\ 0, & h = 0 \end{cases}$$



Gaussian

Το Gaussian Model εφαρμόζεται σε δείγματα που είναι πολύ συνεχή. Είναι παρόμοιο με το εκθετικό μοντέλο. Ωστόσο, το μοντέλο Gauss ξεκινά από μια παραβολική καμπύλη και αυτή η καμπύλη έχει ένα σημείο καμπής. Ο τύπος του Εκθετικού Μοντέλου είναι:

$$\gamma(h) = \begin{cases} \alpha + (\sigma^2 - \alpha)(1 - e^{-3h^2/r^2}) , & h > 0 \\ 0, & h = 0 \end{cases}$$



Η Kriging προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές παρεμβολής, όπως η στάθμιση αντίστροφης απόστασης (IDW). Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματά του είναι ότι, αποτελεί μια ακριβή μέθοδο (εκτός από το Block Kriging), παρέχοντας την καλύτερη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση και παρέχοντας ένα μέτρο του σφάλματος ή της αβεβαιότητας. Ωστόσο, η μέθοδος έχει και μειονεκτήματα. Η επιλογή ενός θεωρητικού μοντέλου βαριογράμματος είναι υποκειμενική και επίσης, ο ορισμός του παραθύρου γειτονιάς απαιτεί προσοχή. Επιπλέον, η διαδικασία της Kriging απαιτεί αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθεί. Επίσης, προϋποθέτει ότι τα δεδομένα είναι ισοτροπικά, ενώ η ανισοτροπία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Τέλος, για μια αξιόπιστη εκτίμηση βαριογράμματος, απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός δειγμάτων. Αν και συνολικά, η Kriging παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις και προβλέψεις μεταβλητών χώρου, θα πρέπει να λαμβάνονται

υπόψη οι προαναφερθείσες παράμετροι και προϋποθέσεις για την επιτυχία της μεθόδου. (Καρκαλέτσου, 2014).

Υπάρχουν αρκετές γεωστατιστικές τεχνικές που ανήκουν στην οικογένεια kriging. Η ESRI (esri, 2019) παρέχει τους ακόλουθους ορισμούς των τριών πιο κοινών μορφών kriging:

- Το **Ordinary Kriging** παράγει τιμές παρεμβολής υποθέτοντας μια σταθερή αλλά άγνωστη μέση τιμή, επιτρέποντας τοπικές επιρροές λόγω κοντινών γειτονικών τιμών. Επειδή ο μέσος όρος είναι άγνωστος, υπάρχουν λίγες υποθέσεις. Αυτό κάνει το Ordinary Kriging ιδιαίτερα ευέλικτο, αλλά ίσως λιγότερο ισχυρό από άλλες μεθόδους.
- Το **Simple kriging** παράγει τιμές παρεμβολής υποθέτοντας μια σταθερή αλλά γνωστή μέση τιμή, επιτρέποντας τοπικές επιρροές λόγω κοντινών γειτονικών τιμών. Επειδή ο μέσος όρος είναι γνωστός, είναι ελαφρώς πιο ισχυρός από το συνηθισμένο Kriging, αλλά σε πολλές περιπτώσεις η επιλογή μιας μέσης τιμής δεν είναι προφανής.
- Το **Universal Kriging** παράγει τιμές παρεμβολής υποθέτοντας μια επιφάνεια τάσης με άγνωστους συντελεστές, αλλά επιτρέποντας τοπικές επιρροές λόγω κοντινών γειτονικών τιμών. Είναι δυνατή η υπερβολική προσαρμογή της επιφάνειας τάσης, η οποία δεν αφήνει αρκετή διακύμανση στα τυχαία σφάλματα, ώστε να αντικατοπτρίζει σωστά την αβεβαιότητα στο μοντέλο. Όταν χρησιμοποιείται σωστά, το Universal Kriging είναι πιο ισχυρό από το Ordinary Kriging επειδή εξηγεί μεγάλο μέρος της διακύμανσης των δεδομένων μέσω της μη τυχαίας επιφάνειας τάσεων».

Άλλες μορφές αποτελούν το Indicator Kriging, το Probability Kriging και το Disjunctive Kriging όπου τεχνικές λεπτομέρειες για αυτές τις μεθόδους βρίσκονται στο Burrough and McDonnell (Burrough and McDonnell, 1998).

2.2.3. Σφάλματα και απόδοση μεθόδων παρεμβολής

Η πολλαπλή επικύρωση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ακρίβειας ενός μοντέλου πρόβλεψης. Οι τιμές σφαλμάτων (Εικόνα 6) που αναφέρετε παρέχουν διάφορους τρόπους να μετρήσουμε την ακρίβεια των προβλέψεων. Ας εξετάσουμε καθένα από αυτά τα μετρικά:

1. Mean Prediction Error (MPE): Αυτό είναι το μέσο σφάλμα πρόβλεψης και υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των διαφορών μεταξύ των πραγματικών τιμών και των προβλέψεων. Ένα καλό μοντέλο θα έχει τιμή MPE που είναι κοντά στο μηδέν, υποδεικνύοντας ότι οι προβλέψεις είναι αμερόληπτες.
2. Standardized Mean Prediction Error (SMPE): Αυτή είναι μια τυποποιημένη μορφή του MPE και υπολογίζεται ως ο λόγος του MPE προς τον μέσο όρο των πραγματικών τιμών. Ο στόχος είναι να παρέχει μια ανεξάρτητη αξιολόγηση του μοντέλου, ανεξάρτητα από την κλίμακα των πραγματικών τιμών. Μια καλή πρόβλεψη θα έχει τιμή SMPE κοντά στο μηδέν.
3. Root-Mean Squared Prediction Error (RMSPE): Αυτή είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης και υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των πραγματικών τιμών και των προβλέψεων. Χαμηλές τιμές RMSPE υποδεικνύουν ότι οι προβλέψεις είναι κοντά στις πραγματικές τιμές.
4. Average Standard Error (ASE): Αυτή είναι η μέση τιμή του τυποποιημένου σφάλματος και υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των απόλυτων τιμών των διαφορών μεταξύ των πραγματικών τιμών και των προβλέψεων, διαιρεμένος με τον μέσο όρο των πραγματικών τιμών. Η τιμή του ASE πρέπει να είναι κοντά στην τιμή του RMSPE για να αξιολογηθεί σωστά η μεταβλητότητα στην πρόβλεψη.

5. Standardized Root-Mean-Squared Prediction Errors (SRMSPE): Αυτή είναι μια τυποποιημένη μορφή του RMSPE και υπολογίζεται ως η αναλογία του RMSPE προς τον μέσο όρο των πραγματικών τιμών. Οι τιμές του SRMSPE κοντά στο 1 υποδεικνύουν αξιόπιστα τυποποιημένα σφάλματα πρόβλεψης. Αν οι τιμές του SRMSPE είναι μεγαλύτερες από 1, αυτό υποδηλώνει υποεκτίμηση της μεταβλητότητας των προβλέψεων.

Συνολικά, αυτά τα σφάλματα παρέχουν διάφορους τρόπους για να αξιολογήσουμε την ακρίβεια και την μεταβλητότητα των προβλέψεων ενός μοντέλου. Η επιλογή της κατάλληλης μετρικής εξαρτάται από τον συγκεκριμένο περίπτωση χρήσης και τους στόχους της ανάλυσης.

ΣΦΑΛΜΑΤΑ	ΤΥΠΟΙ
ME	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i - o_i$
MSE	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2$
RMSE	$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2 \right]^{1/2}$
RMSSE	$RMSSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_{si} - o_{si})^2 \right]^{1/2}$
ASE	$ASE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(p_i - \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \right)^2 \right]^{1/2}$
n: ο αριθμός των δειγμάτων, o: μετρούμενη τιμή p: προβλεπόμενη τιμή, o_s: τυποποιημένη μετρούμενη τιμή, p_s: τυποποιημένη προβλεπόμενη τιμή, s: τυπική απόκλιση από το εκτιμώμενο σφάλμα	

Εικόνα 6: Τύποι υπολογισμού σφαλμάτων (Καρκαλέτσου, 2014)

Το Mean Error (ME) χρησιμοποιείται για να μετρήσει το βαθμό προκατάληψης ή μεροληψίας στις εκτιμήσεις. Ωστόσο, πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή ως δείκτης ακρίβειας, καθώς το ME μπορεί να παρουσιάσει χαμηλές τιμές λόγω της αντιστάθμισης ανάμεσα σε θετικές και αρνητικές εκτιμήσεις. Το ME τείνει να είναι χαμηλότερο από το πραγματικό σφάλμα. Το Root Mean Square Error (RMSE) παρέχει ένα μέτρο για το μέγεθος του σφάλματος, αλλά είναι ευαίσθητο σε ακραίες τιμές καθώς δίνει μεγάλη βαρύτητα σε μεγάλα σφάλματα.

Όταν το ME και το MSE πλησιάζουν το μηδέν και το RMSE είναι χαμηλό, τότε το μοντέλο θεωρείται καλό. Το Average Standard Error (ASE) και το RMSE πρέπει να είναι παρόμοιες τιμές ή πολύ κοντά. Εάν το ASE είναι μεγαλύτερο από το RMSE, τότε η μέθοδος υπερεκτιμά την κύρια μεταβλητή, ενώ εάν το ASE είναι μικρότερο από το RMSE, υποτιμά την κύρια μεταβλητή. Το Root Mean Square Scaled Error (RMSSE) πρέπει να είναι κοντά στο 1. Εάν το RMSSE είναι μεγαλύτερο από 1, τότε η μέθοδος υποτιμά την κύρια μεταβλητή, ενώ αν είναι μικρότερο από 1, υπερεκτιμά την κύρια μεταβλητή.

Συνολικά, το RMSE είναι ένα από τα καλύτερα μέτρα για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός μοντέλου, καθώς λαμβάνει υπόψη τη μέση διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών. Επίσης, παρέχει πληροφορίες για το μέγεθος των σφαλμάτων. Ωστόσο, καθώς κάθε μετρική έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της, είναι

σημαντικό να επιλέξουμε την κατάλληλη μετρική ανάλογα με την περίπτωση χρήσης και τους στόχους μας.

2.3.Python και γεωχωρικά δεδομένα

Η ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων είναι σημαντική για τη λήψη αποφάσεων και τον σχεδιασμό σε πολλούς τομείς. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) όπως το ArcGIS και το Qgis παρέχουν ισχυρές εργαλειοθήκες για ανάλυση και δημιουργία χαρτών. Η συλλογή και αποθήκευση γεωχωρικών δεδομένων έχει γίνει πιο εύκολη με τη σύγχρονη τεχνολογία. Ωστόσο, η ανάλυση αυτών των δεδομένων απαιτεί πολλαπλές επαναλήψεις και επεξεργασία. Για να ανταποκριθούμε σε αυτές τις απαιτήσεις, χρειαζόμαστε υπολογιστικό προγραμματισμό για την αποτελεσματική αξιοποίηση και εξερεύνηση αυτών των δεδομένων. Η Python είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται ευρέως για την αυτοματοποίηση της ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων. Με τη χρήση της Python, μπορούμε να δημιουργήσουμε προγράμματα που εκτελούν επαναλαμβανόμενες αναλύσεις, επεξεργάζονται δεδομένα αυτόματα και εξάγουν αποτελέσματα. Αυτό καθιστά την Python ένα ισχυρό εργαλείο για επιστήμονες, αναλυτές και επαγγελματίες που εργάζονται με γεωχωρικά δεδομένα. Η Python είναι μια προσιτή και ισχυρή γλώσσα προγραμματισμού που παρέχει ένα φιλικό περιβάλλον ανάπτυξης και μια πλούσια βιβλιοθήκη για την επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων. Είναι ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εργασίες ανάλυσης, όπως υπολογισμοί στατιστικών, δημιουργία γραφικών παραστάσεων και εφαρμογές μηχανικής μάθησης. Επιπλέον, η Python έχει μια ζωντανή και ενεργή κοινότητα προγραμματιστών που σημαίνει ότι υπάρχουν πολλοί πόροι και διαθέσιμη υποστήριξη για την επίλυση προβλημάτων και την εξέλιξη των δεξιοτήτων προγραμματισμού στον τομέα της γεωχωρικής ανάλυσης (Nagar, 2019).

Η γλώσσα προγραμματισμού Python είναι μια ιδανική γλώσσα προγραμματισμού για χρήστες GIS (Tateosian, 2015) καθώς:

- Αποτελεί μια εύκολη γλώσσα προγραμματισμού
- Είναι αντικειμενοστραφής: η αντικειμενοστραφής κωδικοποίηση οργανώνεται γύρω από αντικείμενα που έχουν ιδιότητες και λειτουργίες που κάνουν πράγματα σε αυτό το αντικείμενο.
- Υπάρχει άφθονη βοήθεια: η κοινότητα προγραμματισμού Python δημοσιεύει πολλές δωρεάν πληροφορίες στο διαδίκτυο
- Το GIS έχει υιοθετήσει τη γλώσσα προγραμματισμού Python: Τα λογισμικά GIS, έχουν αγκαλιάσει την Python και επεκτείνουν τη λειτουργικότητα τους με κάθε νέα έκδοση της Python. Τα σενάρια Python μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση εργαλείων γεωεπεξεργασίας ArcGIS.

Η Python χαρακτηρίζεται από την ικανότητα επέκτασης της λειτουργικότητάς της με την εισαγωγή πολλών πακέτων και λειτουργικών μονάδων. Στο πλαίσιο της εργασίας θα χρησιμοποιηθούν οι βιβλιοθήκες: SciPy (SciPy, 2020), NumPy (Numpy, 2009), Pandas (Pandas, 2018), GeoPandas (GeoPandas, 2014), Matplotlib (Matplotlib, 2012), PyKriging (PyKriging, 2022), OSMnx (osmnx, 2016), pyproj (Whitaker, 2006), statsmodels (statsmodels, 2009), SciKit-Gstat (Mälikke, 2021).

2.3.1. Πακέτα python για χωρική παρεμβολή

Το Pyinterpolate (Moliński, 2022) είναι μια βιβλιοθήκη της Python που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση χωρικών δεδομένων μέσω διαφόρων μεθόδων, όπως η μέθοδος των κοντινότερων γειτόνων (KNN), η μέθοδος του inverse distance weighting (IDW), η μέθοδος του radial basis function (RBF), κτλ.. Η βιβλιοθήκη αυτή προσφέρει εργαλεία για την επεξεργασία, ανάλυση και απεικόνιση χωρικών δεδομένων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για

την εκτίμηση τιμών, τη δημιουργία χωρικών διαγραμμάτων και χαρτογραφήσεων, καθώς και για την πρόβλεψη τιμών σε μελλοντικές χρονικές περιόδους. Το Pyinterpolate είναι ανοιχτού κώδικα και εύκολο στη χρήση, και προσφέρει μια ευέλικτη και προσαρμόσιμη λύση για την επεξεργασία και ανάλυση χωρικών δεδομένων σε πολλούς τομείς, όπως η γεωγραφία, η μετεωρολογία, η γεωλογία, η περιβαλλοντική επιστήμη, η αστροφυσική και άλλοι.

Το GSTools (Müller et al., 2022) είναι μια βιβλιοθήκη της Python που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τυχαίων χωρικών διαδικασιών και την ανάλυσή τους. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία διακριτών και συνεχών χωρικών διαδικασιών, όπως χάρτες υψομέτρου, χάρτες κατανομής βροχόπτωσης, χάρτες θερμοκρασίας και άλλων χωρικών μεταβλητών. Το GSTools παρέχει μια ποικιλία από μοντέλα χωρικής διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων ανίχνευσης της κλίμακας, των μοντέλων Matern και των μοντέλων power-law. Επιπλέον, προσφέρει εργαλεία για τη δημιουργία μεταβλητών και την ανάλυση των παραγόμενων διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένων των χαρτογραφήσεων, των αυτοσυσχετιστικών συναρτήσεων και άλλων στατιστικών δεικτών. Το GSTools είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση και την παραγωγή τυχαίων χωρικών διαδικασιών, χρησιμοποιώντας μοντέλα χωρικής διαδικασίας που είναι αποδοτικά και επεκτάσιμα σε μεγάλες κλίμακες.

Το PyKriging (Murphy, Müller and Yurchak, 2020) είναι μια βιβλιοθήκη της Python που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση χωρικών δεδομένων μέσω της μεθόδου του κριγκίνγκ (Kriging). Οι μέθοδοι του κριγκίνγκ είναι μια σειρά μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τιμής ενός χωρικού σημείου βάσει των τιμών που έχουν καταγραφεί σε άλλα σημεία στο ίδιο χωρικό σύστημα. Το PyKriging υλοποιεί μεθόδους Kriging, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων Simple Kriging, Ordinary Kriging, και Universal Kriging, και παρέχει εργαλεία για την προεπεξεργασία και ανάλυση χωρικών δεδομένων. Η χρήση του PyKriging μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση και εκτίμηση χωρικών δεδομένων σε πολλούς τομείς, όπως η γεωλογία, η μετεωρολογία, η γεωργία, η περιβαλλοντική επιστήμη, και άλλοι. Επιπλέον, το PyKriging είναι ανοιχτού κώδικα και εύκολο στη χρήση, καθιστώντας την μέθοδο του Kriging προσβάσιμη σε μια ευρεία κοινότητα ερευνητών και αναλυτών δεδομένων.

Το Scikit-Learn (Paper, 2019), γνωστό και ως sklearn, είναι μια δημοφιλής βιβλιοθήκη Python για μηχανική μάθηση. Παρέχει μια ευρεία γκάμα εργαλείων για προεπεξεργασία δεδομένων, επιλογή χαρακτηριστικών, επιλογή μοντέλου και αξιολόγηση, καθιστώντας το ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο για εργασίες μηχανικής μάθησης. Το Scikit-Learn βασίζεται στην Python και αναπτύχθηκε από τους David Cournapeau, Matthieu Brucher, και άλλους συνεργάτες. Έχει σχεδιαστεί να είναι εύκολο στη χρήση, ενώ παράλληλα να προσφέρει μια πληθώρα προηγμένων εργαλείων και αλγορίθμων για την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων. Η βιβλιοθήκη αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στον κλάδο της επιστήμης των δεδομένων και της μηχανικής μάθησης, και προσφέρει ένα ευέλικτο και ισχυρό πλαίσιο για την εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε πραγματικά προβλήματα.

2.4. Μελέτες χαρτογράφησης της ηχορύπανσης

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει μεγάλος αριθμός μελετών που ασχολούνται με την χαρτογράφηση της ηχορύπανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά άρθρα από το 2016 και έπειτα.

Σύμφωνα με τους Bocher et al. (Bocher et al., 2019) στην εργασία τους «NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps» παρουσιάζεται το "NoiseModelling", το οποίο είναι ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα βασισμένο σε GIS που χρησιμοποιείται για την παραγωγή χάρτη θορύβου σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Το εργαλείο αυτό έχει αναπτυχθεί από το Πανεπιστήμιο της Λίβερπουλ και το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο

Θορύβου και Προστασίας Ήχου (European Institute of Noise Control - EINC) και είναι διαθέσιμο δωρεάν για λήψη στο διαδίκτυο. Η βασική λειτουργία του "NoiseModelling" είναι η δημιουργία χαρτών θορύβου με χρήση δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες θορύβου και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS). Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιεί μια σειρά από μοντέλα θορύβου, όπως τα μοντέλα Nord2000 και CNOSSOS-EU, για να προβλέψει το επίπεδο θορύβου σε συγκεκριμένες περιοχές.

Σύμφωνα με τους Esmeray and Eren (Esmeray and Eren, 2021) η εργασία τους με τίτλο «GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey» έχει ως στόχο να προσδιοριστούν και να χαρτογραφηθούν τα επίπεδα ρύπανσης θορύβου στο κέντρο της περιοχής Safranbolu, ειδικά στις περιοχές όπου η κυκλοφορία αυτοκινήτων και των πεζών είναι έντονη. Επιλέχθηκαν 47 σημεία μέτρησης για την καταγραφή των επιπέδων θορύβου στο κέντρο της περιοχής. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το πρωί (8 π.μ. - 10 π.μ.), το μεσημέρι (12 μ.μ. - 2 μ.μ.) και το απόγευμα (6 μ.μ. - 8 μ.μ.) των ημερών της εβδομάδας και των Σαββατοκύριακων καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2017 και του χειμώνα του 2018. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση GPS και ακουόμετρων. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία χαρτών θορύβου με την μέθοδο RBF (Radial basis function) και την αξιολόγηση της ηχορύπανσης με την χρήση του λογισμικού ArcGIS. Συνολικά, δημιουργήθηκαν 16 χάρτες θορύβου. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι τα επίπεδα θορύβου στο κέντρο της πόλης είναι υψηλά και ξεπερνούν τα καθορισμένα όρια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Τα υψηλά επίπεδα θορύβου μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία των ανθρώπων και να μειώσουν την ποιότητα ζωής τους. Επιπλέον, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τον τουριστικό τομέα.

Σύμφωνα με τους Devasia et al. (Devasia et al., 2022) στην εργασία τους με θέμα, «Geographical Information System–Aided Noise Pollution Mapping of Urban Puducherry, South India» υλοποιήθηκε χωρική ανάλυση της ηχορύπανσης στο αστικό Puducherry, Νότια Ινδία, αφού συγκεντρώθηκαν δεδομένα θορύβου σε 36 τοποθεσίες του Puducherry. Οι μετρήσεις θορύβου λήφθηκαν, με την χρήση ενός βαθμονομημένου ψηφιακού ηχομετρητή NOR 132 χρησιμοποιώντας, τις προδιαγεγραμμένες παραμέτρους που ορίζονται από το Κεντρικό Συμβούλιο Ελέγχου Ρύπανσης. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες λήφθηκαν με την χρήση Garmin Oregon 550 GPS. Ο χάρτης ηχορύπανσης του αστικού Puducherry για τρία χρονικά σημεία της ημέρας δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας ArcGIS Desktop v10.3 με γεωστατιστική ενότητα και μέθοδο Αντίστροφης Απόστασης IDW. Το αποτέλεσμα της έρευνας ήταν ότι, το 17 % εκατό των τοποθεσιών είναι πηγές υψηλού θορύβου (80-90 dB), το 65% των τοποθεσιών μελέτης εμπίπτουν ζώνες θορύβου (70-80 dB) και το 18% των τοποθεσιών βρίσκονται σε σχετικά ήσυχες ζώνες σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα μέτρησης.

Σύμφωνα με τους Taghizadeh, Zare and Zare (Taghizadeh, Zare and Zare, 2013), στην μελέτη τους με θέμα «Mapping of noise pollution by different interpolation methods in recovery section of Ghandi telecommunication Cables Company» εξετάστηκε η ηχορύπανση στο τμήμα της εταιρίας Ghandi Telecommunication Cable Co. και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου με στόχο τη μείωση της ηχορύπανσης. Για να αξιολογηθεί η κατανομή του θορύβου στο τμήμα, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι χαρτογράφησης θορύβου, με τις μεθόδους kriging και Inverse Distance Weighting να είναι οι πιο δημοφιλείς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος kriging ήταν η πιο αποτελεσματική στην πρόβλεψη του θορύβου και επίσης αποκάλυψαν ότι οι εργαζόμενοι υποφέρουν από υψηλή ηχορύπανση. Οι χάρτες θορύβου που δημιουργήθηκαν με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, επέτρεψαν την κατανόηση της κατανομής του θορύβου στο τμήμα και βοήθησαν στη λήψη αποτελεσματικών μέτρων για τη μείωση της ηχορύπανσης στον χώρο εργασίας.

Σύμφωνα με τους Aumond et al. (Aumond et al., 2018) στην εργασία τους με θέμα, «Kriging-based spatial interpolation from measurements for sound level mapping in urban areas» γίνεται περιγραφή των αποτελεσμάτων μιας εκστρατείας μετρήσεως που διεξήγαγαν προκειμένου, να δοκιμαστούν διαφορετικές στρατηγικές χωρικής παρεμβολής για την παραγωγή ηχητικών χαρτών. Η συλλογή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με την χρήση κινητών συσκευών ενώ περπατούσαν στους δρόμους της XIII συνοικίας του Παρισιού. Σκοπός της εργασίας τους ήταν, να διερευνήσουν την πυκνότητα των παρατηρήσεων και την απόδοση τεσσάρων διαφορετικών στρατηγικών παρεμβολής, αξιολογώντας την κατασκευή χαρτών θορύβου με βάση τις μετρήσεις που συγκέντρωσαν. Στην εργασία τους, αξιολογούν τις μεθόδους παρεμβολών Ordinary Kriging καθώς και την Universal Kriging, όπως και τα αποτελέσματα της χρήσης εναλλακτικού ορισμού της απόστασης μεταξύ των τοποθεσιών παρατήρησης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την τοπολογία του οδικού δικτύου.

Τα κύρια συμπεράσματα της έρευνας ήταν ότι :

- Απαιτούνται τουλάχιστον 180 μετρήσεις 1/λεπτό για να επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης (1 dB) στην τιμή L₅₀ που υπολογίζεται σε κάθε θέση εντός της περιοχής μελέτης, με ακτίνα συνάθροισης 25 m.
- Το πρακτικό εύρος των βαριογραμμμάτων που υπολογίζονται για τις τέσσερις μεθόδους Kriging είναι μεταξύ 250 και 700 m.
- Η χρήση της απόστασης κατά μήκος του οδικού δικτύου στη μέθοδο Kriging αυξάνει σημαντικά την απόδοση στην περίπτωση του συνηθισμένου Kriging, αλλά όχι στην περίπτωση του καθολικού Kriging.
- Το Universal Kriging, το οποίο συνίσταται στην προσθήκη μιας τοπικής τάσης στη συνηθισμένη σύνθεση Kriging, είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος. Παρόλα αυτά, εισάγει έναν πρόσθετο υπολογισμό της τάσης που έχει κόστος προεπεξεργασίας και μπορεί από μόνο του να είναι πηγή λάθους.
- Απαιτούνται περίπου 50 θέσεις παρατήρησης ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο για να ληφθεί ένας συντελεστής συσχέτισης ανώτερος από 0,8 και μια τιμή RMSE μικρότερη από 2,5 dB μεταξύ της αναφοράς και του παρεμβαλλόμενου χάρτη.

Οι Harman, Koseoglu and Yigit (Harman, Koseoglu and Yigit, 2016), στην εργασία τους με θέμα, «Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey» δημιούργησαν έναν χάρτη θορύβου με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε όλη την πόλη Isparta της Τουρκίας. Οι μέθοδοι IDW, Kriging και Multiquadric χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή χαρτών θορύβου και η απόδοση αυτών των μεθόδων κάτω από διαφορετικές παραμέτρους αξιολογήθηκε λαμβάνοντας επίσης, υπόψη τις διαφορές στην ανάλυση πλέγματος και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα της εργασίας ήταν ότι, την πηγή των υψηλών επιπέδων θορύβου αποτελεί η κυκλοφορία μηχανοκίνητων οχημάτων, οι ανθρώπινες δραστηριότητες και οι θορυβώδεις δραστηριότητες σε βιομηχανικές περιοχές. Ωστόσο, σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου εντοπίστηκαν σε απομακρυσμένες περιοχές της πόλης. Για την μείωση των υψηλών επιπέδων θορύβου στο κέντρο της πόλης στα επιθυμητά επίπεδα, προτείνονται διοικητικές λύσεις όπως η κατασκευή λιγότερο θορυβωδών δρόμων, τεχνητών γηπέδων, περιορισμοί οχημάτων βάσει χρόνου, ρύθμιση των ωρών εργασίας και προσπάθειες αναδάσωσης.

Στην διπλωματική εργασία του Γκιόκας (ΓΚΙΟΚΑΣ, 2023) με θέμα «Χαρτογραφική Απόδοση της Ηχορύπανσης, ως απόρροια του κυκλοφοριακού φόρτου σε γειτονιά του Δ. Αθηναίων» γίνεται μια χαρτογραφική ανάλυση του κυκλοφοριακού θορύβου σε μια γειτονιά του Δήμου Αθηναίων, με σκοπό να παρουσιαστεί η επίδραση του θορύβου στο χώρο και στο χρόνο. Μέσω της χαρτογράφησης του θορύβου σε περιβάλλον Q-GIS και

χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα και τεχνικές παρεμβολής, δημιουργήθηκαν αξιόπιστοι χάρτες θορύβου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τέλος, με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης, συμπεραίνεται η σχέση μεταξύ του επιπέδου του θορύβου και της απόστασης από το κύριο οδικό δίκτυο.

Η διπλωματική εργασία της Καρκαλέτσου (Καρκαλέτσου, 2014) με θέμα, «Χαρτογράφηση θορύβου με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - Περίπτωση μελέτης Δ. Καλλιθέας, Αττική» έχει ως στόχο να διερευνήσει την επίδραση του θορύβου που προκαλείται από την οδική κυκλοφορία στον δήμο Καλλιθέας στην Αττική, με την χρήση χαρτών θορύβου σε περιβάλλον GIS. Ο θόρυβος είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα και μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και την ευημερία των ανθρώπων. Η διερεύνηση του θορύβου στον χώρο και τον χρόνο είναι σημαντική για την κατανόηση της επίδρασής του στον πληθυσμό και τη λήψη αποφάσεων για την προστασία του περιβάλλοντος. Η χαρτογράφηση του θορύβου παράγει αξιόπιστους χάρτες θορύβου και συνδέει το επίπεδο θορύβου με τη χρήση γης και την απόσταση από το κύριο οδικό δίκτυο. Η εργασία αυτή προσφέρει έναν τρόπο χαρτογράφησης του θορύβου από τη συλλογή δεδομένων μέχρι την οπτική αναπαράσταση του ήχου, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την πληροφόρηση των τοπικών αρχών και των πολιτών για τη λήψη αποφάσεων για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία Έρευνας

3.1. Σχεδιασμός της έρευνας

Ως υπόθεση εργασίας τίθεται το ζήτημα εάν η γλώσσα προγραμματισμού Python μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας σύγκρισης και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης της ηχορύπανσης, αξιοποιώντας την ντετερμινιστική παρεμβολή IDW και την γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging, οι οποίες θα βασίζονται στις σημειακές μετρήσεις πεδίου αναφορικά με τον θόρυβο.

Στην εν λόγω υπόθεση εργασίας ως ανεξάρτητη μεταβλητή ορίζεται η γλώσσα προγραμματισμού Python, η μέθοδος της ντετερμινιστικής παρεμβολής Inverse Distance Weighting (IDW) καθώς και η μέθοδος της παρεμβολής Ordinary Kriging. Ως εξαρτημένη μεταβλητή, στην ως άνω υπόθεση εργασίας ορίζεται η αξιοπιστία της παραγωγής περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης του θορύβου που θα προκύψουν αφενός από τη χρήση της ντετερμινιστικής παρεμβολής IDW καθώς και από την χρήση της γεωστατιστικής παρεμβολής Ordinary Kriging.

Ως προς την ως άνω διατυπωθείσα υπόθεση εργασίας, τέθηκαν τα κάτωθι ερευνητικά ερωτήματα:

1. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση η μέθοδος Ordinary Kriging, παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια για την πρόβλεψη της ηχορύπανσης σε σχέση με την μέθοδο IDW.
2. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση το μοντέλο Gauss (ή γκαουσιανό μοντέλο) είναι καταλληλότερο για την χαρτογράφηση του θορύβου με την μέθοδο Ordinary Kriging σε σχέση με το σφαιρικό και το εκθετικό μοντέλο.
3. Οι βιβλιοθήκες της γλώσσας προγραμματισμού Python μπορούν να συμβάλλουν στην υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας χαρτογράφησης του θορύβου.

Η κατεύθυνση στην οποία θα προσανατολιστούμε για τη διερεύνηση της υπόθεσης που έχουμε θέσει είναι η θετικιστική. Επισημαίνεται πως οι θετικιστικής κατεύθυνσης μελέτες έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό ότι εφαρμόζουν μεθόδους, οι οποίες προσεγγίζουν τα μεθοδολογικά πρότυπα των φυσικών επιστημών. Συχνά, μάλιστα, αναζητούν αιτιώδεις συναρτήσεις, ενώ επιδιώκουν αξιολογική ουδετερότητα.

Ακόμη, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι έρευνες ανάλογα με την επιλεγόμενη στρατηγική συλλογής δεδομένων διακρίνονται σε ποιοτικές ή ποσοτικές και σε πρωτογενείς ή δευτερογενείς. Αρχικά, οι έρευνες με πρωτογενή δεδομένα είναι έρευνες των οποίων τα στοιχεία συλλέγονται από τον ίδιο τον ερευνητή, ο οποίος χρησιμοποιεί τις δικές του μεθόδους για το σκοπό της δικής του διερεύνησης. Αντίθετα οι έρευνες με δευτερογενή δεδομένα είναι εκείνες που αντλούν δεδομένα από στοιχεία που συλλέχθηκαν από τρίτους σε κάποιο χρονικό διάστημα για σκοπούς άλλους από αυτούς που τα χρησιμοποιεί ο ερευνητής στον παρόντα χρόνο.

Όταν αναφερόμαστε σε ποσοτικές έρευνες, εννοούμε αυτές που μπορούν να μετρηθούν μέσω στατιστικών μεθόδων και αναλύσεων. Από την άλλη πλευρά, οι ποιοτικές δεν χρησιμοποιούν μετρήσεις και στατιστικές αναλύσεις, ενώ οι ερευνητές εκθέτουν τις παρατηρήσεις τους μέσω λεκτικών αναπαραστάσεων. Θα μπορούσαμε να πούμε πως σπάνια παρέχουν αριθμητικά ή ποσοτικά μεγέθη και δεν δέχονται την ύπαρξη μίας αντικειμενικής πραγματικότητας, αλλά πως η παρατήρηση επηρεάζει το υπό μελέτη φαινόμενο. Πρόκειται, ακόμη για μεθόδους που ξεκινούν από κάτι το ειδικό για να καταλήξουν σε κάτι γενικό, και αν είναι εφικτό σε μία θεωρία (ΦΙΛΙΑΣ, 2007).

Στην προκειμένη περίπτωση για τη διερεύνηση της υπό μελέτη υπόθεσης εργασίας που θέσαμε, θα προβούμε στη διεξαγωγή ποσοτικής έρευνας, προκειμένου να αξιολογήσουμε το κατά πόσο η ντετερμινιστική παρεμβολή IDW και η γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging μπορούν να μας διαθέσουν αξιόπιστα χαρτογραφικά αποτελέσματα πρόβλεψης αξιοποιώντας τις μετρήσεις πεδίου με σκοπό τη χαρτογράφηση όλου του εύρους των τιμών του θορύβου για την περιοχή μελέτης μας.

Συγκεκριμένα, για να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν ανωτέρω και να διερευνηθεί αξιόπιστα η υπόθεση εργασίας μας, θα ακολουθηθεί η ποσοτική έρευνα με τη χρήση των μεθόδων του πειράματος και της παρατήρησης, ήτοι με τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων.

3.2. Παρουσίαση του πληθυσμού της έρευνας καθώς και του τρόπος διαλογής του δείγματος

Κατά τη διεξαγωγή της ποσοτικής έρευνάς μας, συλλέχθηκαν δεδομένα πεδίου για την περιοχή μελέτης, δηλαδή τη πόλη της Μύρινας της νήσου Λήμνου. Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ένα αντιπροσωπευτικό και αξιόπιστο δείγμα καταγεγραμμένων μετρήσεων θορύβου στο πεδίο, αναφορικά με όλο το εύρος τιμών θορύβου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας, με την μέθοδο της Εθελοντικής Γεωγραφικής Πληροφορίας (VGI), αξιοποιώντας την εφαρμογή "NoisePollution" για smartphone συσκευές. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούν τιμές θορύβου σε decibel (db), συντεταγμένες από το σημείο όπου έλαβε χώρα η μέτρηση και την ημερομηνία και ώρα που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Τα χαρτογραφικά αποτελέσματα, μάλιστα, θα αφορούν τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα της ημέρας (πρωί: 07:00-19:00, απόγευμα: 19:00-12:00, βράδυ: 17:00-18:30) και για δέκα εργάσιμες ημέρες.

Με την ως άνω διαδικασία, ως προαναφέρθηκε, θα εξασφαλίσουμε τη συγκέντρωση ενός αξιόπιστου δείγματος μετρήσεων θορύβου για όλο το εύρος τιμών του σε decibel. Το εν λόγω δείγμα στη συνέχεια θα υποβληθεί σε επεξεργασία και αξιοποίηση μέσω της ποσοτικής έρευνας και συγκεκριμένα της πειραματικής μεθόδου.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο οποίος αξιοποιώντας βιβλιοθήκες της python εκτέλεσε την ντετερμινιστική παρεμβολή IDW και την γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging. Επισημαίνεται πως και οι δύο παρεμβολές προέβησαν στην επεξεργασία των ίδιων ακριβώς δεδομένων εισόδου, που συγκεντρώθηκαν από τις ως άνω μετρήσεις πεδίου.

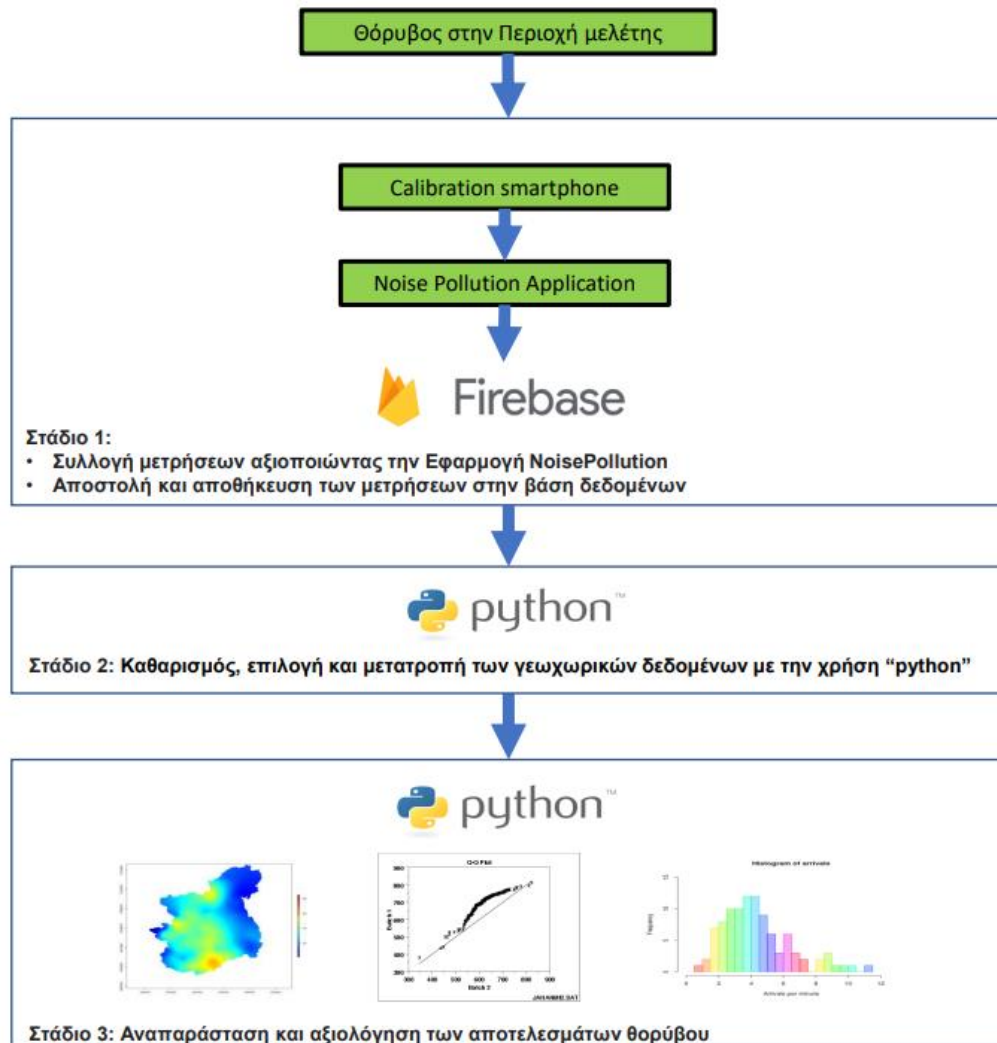
Έπειτα, ακολούθησε η μέθοδος της παρατήρησης, καθώς ο ερευνητής προέβη στην παρατήρηση, εξέταση, σύγκριση και αξιολόγηση των χαρτογραφικών αποτελεσμάτων του θορύβου, που έχουν παραχθεί κατά την πειραματική διαδικασία.

3.3.Στάδια υλοποίησης της έρευνας

Για την διερεύνηση της υπόθεσης εργασίας η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, βασίστηκε σε τρία στάδια (Εικόνα 7). Αρχικά καθορίστηκε η περιοχή μελέτης, η οποία αφορά την Δημοτική Κοινότητα Μύρινας του νησιωτικού Δήμου Λήμνου.

Το πρώτο στάδιο της έρευνας αφορούσε τη συλλογή σημειακών μετρήσεων θορύβου στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή NoisePollution. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα καταγραφής της έντασης του ήχου σε πραγματικό χρόνο για το χρονικό διάστημα των 10 δευτερολέπτων αποδίδοντας την μέση τιμή των μετρήσεων, τις συντεταγμένες από το σημείο που έγινε η μέτρηση, καθώς και την ημερομηνία και ώρα που

έγινε η μέτρηση. Τα δεδομένα αποθηκεύονταν στην προσωρινή μνήμη της συσκευής και έπειτα με τη χρήση του διαδικτύου αποστέλλονταν στην βάση δεδομένων «Firebase». Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκε ο καθορισμός, η επιλογή και η μετατροπή των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν στο πρώτο στάδιο. Το τρίτο στάδιο αφορά την αναπαράσταση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων βασίστηκε στα χαρτογραφικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την χρήση των μεθόδων παρεμβολής που εφαρμόστηκαν στην περιοχή μελέτης, καθώς και την παραγωγή χρήσιμων πληροφοριών για την αξιολόγηση των χαρτογραφικών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 7 Στάδια υλοποίησης της έρευνας (προσωπική επεξεργασία)

Κεφάλαιο 4 - Παρουσίαση δεδομένων & Αποτελέσματα

4.1.Περιοχή μελέτης

Η Λήμνος βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Αιγαίου, στο Θρακικό Πέλαγος (Εικόνα 8). Περιβάλλεται βορειοανατολικά από το στενό των Δαρδανελίων, ανατολικά από τη νήσο Τένεδο, βορειοανατολικά από τη νήσο Ίμβρο, βόρεια από τη Σαμοθράκη και νοτιοδυτικά από τη νήσο Άγιος Ευστράτιος. Αποτελεί το όγδοο σε μέγεθος νησί της Ελλάδας. Διοικητικά η νήσος Λήμνος αποτελείται από τον Δήμο Λήμνου, ο οποίος μαζί με τους Δήμους Αγίου Ευστρατίου και Λέσβου απαρτίζουν τον Νομό Λέσβου (ΔΗΜΟΣ ΛΗΜΝΟΥ, 2015). Ο Δήμος Λήμνου σύμφωνα με την απογραφή της ΕΛ.ΣΤΑΤ. του 2021, έχει πληθυσμό 16.715 κατοίκων και η έκταση της είναι στα 477 τ. χλμ. Χαρακτηρίζεται από ήπιους ορεινούς όγκους, χαμηλή βλάστηση, έχοντας ένα ήπιο ανάγλυφο, καθώς επίσης είναι πλούσια σε κόλπους και όρμους. Στο νησί, δεν υπάρχουν δάση και μεγάλα δέντρα, ενώ διακρίνεται από την χαμηλής έντασης εκμετάλλευση των γεωργικών και κτηνοτροφικών εκτάσεων (Σιδηροπούλου, 2016). Στον Δήμο Λήμνου η βασική παραγωγική δραστηριότητα είναι ο τριτογενής τομέας, με εμπορικές επιχειρήσεις στον τομέα του χονδρικού και του λιανικού εμπορίου. Η τουριστική δραστηριότητα κυριαρχεί στο δυτικό τμήμα της Λήμνου. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη υποδομών στο υπόλοιπο τμήμα του νησιού, ενώ αξίζει να σημειωθεί πως η κοινωνική και οικονομική δραστηριότητα πραγματοποιείται γύρω από το ημιαστικό κέντρο(ΔΗΜΟΣ ΛΗΜΝΟΥ, 2015).

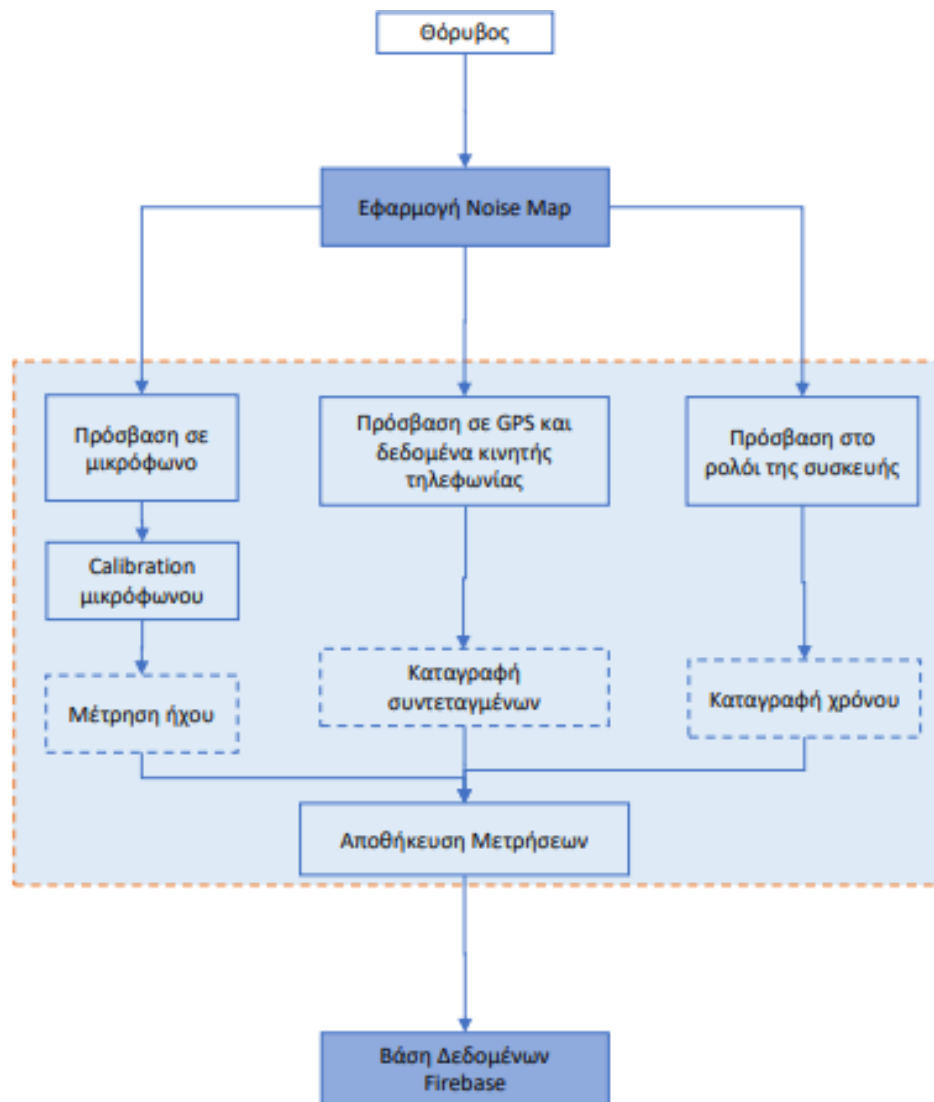


Εικόνα 8 Δημοτική Ενότητα Μύρινας του Δήμου Λήμνου (προσωπική επεξεργασία)

4.2.Συλλογή και αποθήκευση των μετρήσεων θορύβου

Η συλλογή των μετρήσεων θορύβου στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε με την χρήση της εφαρμογής “NoisePollution”. Όπως παρουσιάζεται στην αρχιτεκτονική της εφαρμογής (Εικόνα 9), το πρώτο βήμα πριν την καταγραφή των μετρήσεων είναι η βαθμονόμηση (calibration) των κινητών τηλεφώνων. Αφού ακολουθήθηκαν οι οδηγίες και

βαθμονομήθηκαν οι συσκευές «smartphone» πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στην περιοχή μελέτης.



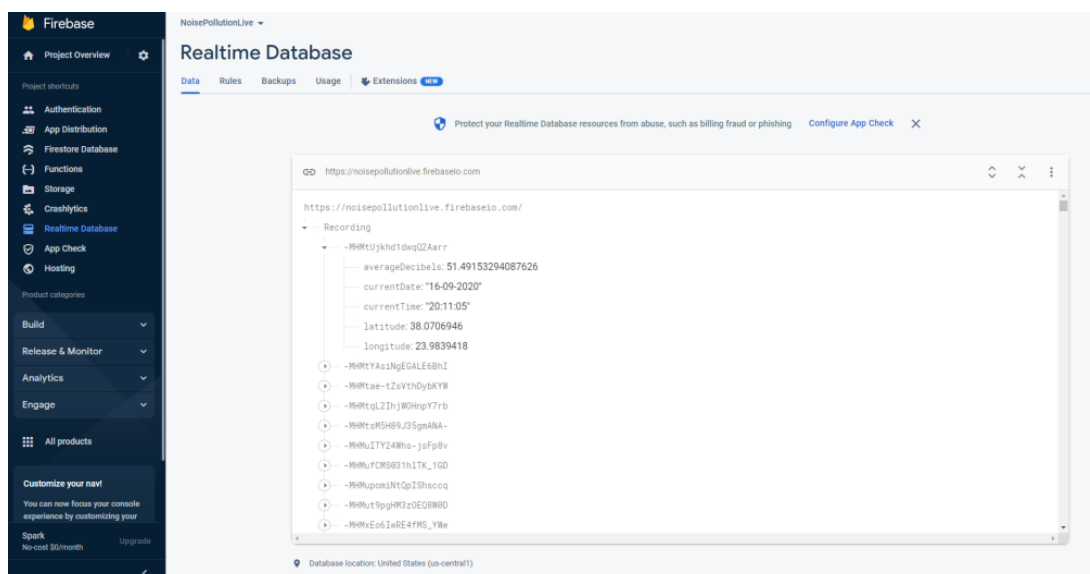
Εικόνα 9 Στάδια καταγραφής των μετρήσεων με την χρήση της εφαρμογής «NoisePollution» (προσωπική επεξεργασία)

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από την εφαρμογή αφορούν τιμές θορύβου σε decibel (db), όπου για κάθε μέτρηση αποδίδεται η μέση τιμή των μετρήσεων για το χρονικό διάστημα των 10 δευτερολέπτων, καθώς επίσης και της ημερομηνίας, ώρας και των συντεταγμένων από το σημείο που έγινε η μέτρηση. Έπειτα απαιτείται πρόσβαση στο διαδίκτυο για την αποστολή των δεδομένων στην βάση δεδομένων «Firebase». Ο χρήστης μπορεί να ανεβάσει μόνο μια καταγραφή κάθε φορά, για να αποφευχθούν περιπτώσεις spamming των ίδιων ηχογραφήσεων.

Η «Firebase» αποτελεί μια «Cloud», πραγματικού χρόνου βάση δεδομένων, η οποία συγχρονίζει δεδομένα σε όλους τους πελάτες σε πραγματικό χρόνο και παρέχει λειτουργίες εκτός σύνδεσης. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ως JSON και όλοι οι συνδεδεμένοι πελάτες μοιράζονται μία παρουσία, λαμβάνοντας αυτόματα ενημερώσεις με τα πιο πρόσφατα δεδομένα (Moroney, 2017).

Στην βάση δεδομένων δημιουργήθηκε πίνακας (Εικόνα 10) με σκοπό την αποθήκευση των δεδομένων της κάθε καταγραφής που πραγματοποιείται, αποκτώντας μία μοναδική τιμή. Για κάθε μέτρηση καταγράφονται τα πεδία που αφορούν τον μέσο όρο των μετρήσεων της ηχορύπανσης, την ημερομηνία και ώρα, καθώς και το γεωγραφικό πλάτος και μήκος (latitude, longitude) της κάθε μέτρησης. Η αξιοποίηση της «Firebase» αποτελεί ένα

σημαντικό κομμάτι για την καταγραφή των δεδομένων της ηχορύπανσης καθώς επίσης μας δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε αρχείο JSON.



Εικόνα 10 Απόσπασμα της βάσης δεδομένων στην Firebase

4.3.Επεξεργασία των γεωγραφικών Δεδομένων με python

Το δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας αφορούσε αρχικά τις διαδικασίες συλλογής και καθαρισμού, και έπειτα τις διαδικασίες επιλογής και μετασχηματισμού των δεδομένων. Για την επεξεργασία των δεδομένων αξιοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού «Python». Στο πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας αναφέρθηκαν τα βήματα για τη συλλογή των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν μέχρι και την αποθήκευση τους στην βάση δεδομένων “Firebase”. Η “Firebase” διαθέτει τη δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε μορφή “JSON” (JavaScript Object Notation)¹, το οποίο αποτελεί μια τυπική μορφή που βασίζεται σε κείμενο για την αναπαράσταση δομημένων δεδομένων με βάση τη σύνταξη αντικειμένου JavaScript. Χρησιμοποιείται συνήθως για τη μετάδοση δεδομένων σε εφαρμογές web (π.χ. αποστολή ορισμένων δεδομένων από τον διακομιστή στον πελάτη, ώστε να μπορούν να εμφανιστούν σε μια ιστοσελίδα ή αντίστροφα). Το αρχείο “JSON” δεν αποτελεί μια μορφή για την κωδικοποίηση μιας ποικιλίας δομών γεωγραφικών δεδομένων. Για τον σκοπό αυτό το αρχείο, αφού εξήχθη, μετατράπηκε σε μορφή “SHP” (*shapefile*)² με την βοήθεια του ελεύθερου λογισμικού “Qgis”³. Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι το «*shapefile*» αποτελεί μια διανυσματική μορφή αποθήκευσης δεδομένων Esri για την αποθήκευση της τοποθεσίας, του σχήματος και των χαρακτηριστικών των γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Αποθηκεύεται ως ένα σύνολο σχετικών αρχείων και περιέχει μία κατηγορία χαρακτηριστικών. Τα Shapefiles συχνά περιέχουν μεγάλα χαρακτηριστικά με πολλά συσχετισμένα δεδομένα και ιστορικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές επιτραπέζιων υπολογιστών GIS. Αφού πραγματοποιήθηκε η μετατροπή του αρχείου “JSON” σε «*shapefile*» ακολούθησε η εισαγωγή του αρχείου στην python (Εικόνα 11), από τον χώρο αποθήκευσης που ήταν το “Google Drive”.

¹ <https://www.json.org/json-en.html>

² <https://doc.qgis.org/en/arcgis-online/reference/shapefiles.htm>

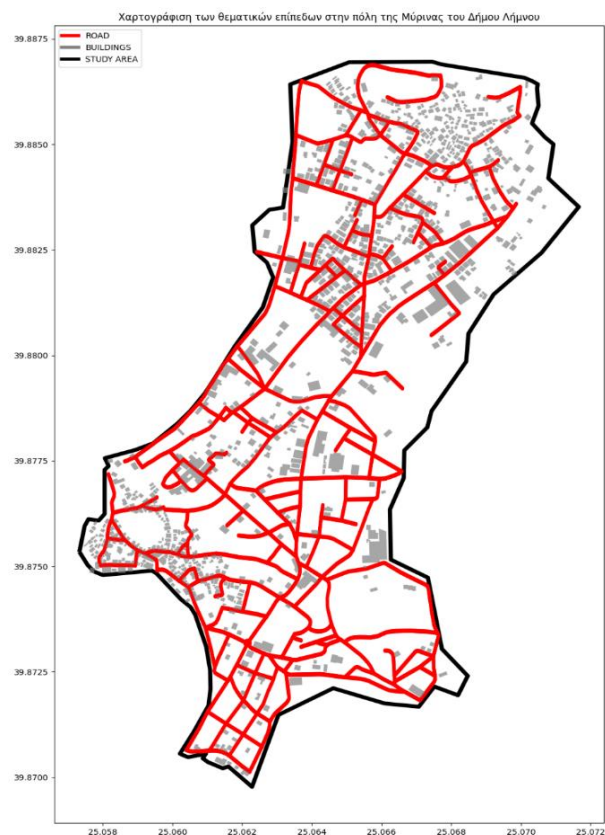
³ <https://www.qgis.org/en/site/>

data - GeoDataFrame

	id_0	longitude	latitude	decib-▲	datetime	gender	age	ierceptio	ant_noise	nat_noise	tec_noise	geometry	date	time
121	122	25.0701	39.8869	31.4646	2022-09-06 01:38:02	1	24	0	1	8	1	POINT (25.07009185 39.8869188)	06/09/2022	01:38:02
494	490	25.0679	39.8867	34.7854	2022-09-11 16:37:45	0	26	0	3	2	5	POINT (25.06792679 39.8866688)	11/09/2022	16:37:45
122	123	25.0701	39.8864	35.8646	2022-09-06 01:39:18	1	24	0	1	8	1	POINT (25.07009185 39.8864188)	06/09/2022	01:39:18
442	443	25.0688	39.8847	37.4565	2022-09-08 16:08:49	1	34	0	4	3	3	POINT (25.06879282 39.8846688)	08/09/2022	16:08:49
113	114	25.0701	39.8874	37.5457	2022-09-05 22:55:57	1	32	0	3	7	0	POINT (25.07009185 39.8874188)	05/09/2022	22:55:57
495	491	25.0679	39.8847	38.1578	2022-09-11 16:51:31	0	26	0	4	2	4	POINT (25.06792679 39.8846688)	11/09/2022	16:51:31
439	440	25.0684	39.8724	38.5411	2022-09-08 15:52:38	1	34	0	4	4	2	POINT (25.0683598 39.8724188)	08/09/2022	15:52:38
483	480	25.0645	39.8762	38.5721	2022-09-11 10:15:29	0	40	0	4	6	0	POINT (25.06446269 39.8761688)	11/09/2022	10:15:29
430	431	25.0714	39.8802	38.613	2022-09-06 10:08:49	1	24	0	0	10	0	POINT (25.07139089 39.8801688)	06/09/2022	10:08:49
449	450	25.0571	39.8749	38.6412	2022-09-08 17:16:14	0	25	0	1	9	0	POINT (25.05710147 39.8749188)	08/09/2022	17:16:14
188	189	25.0762	39.8829	38.6546	2022-09-07 21:17:16	0	38	0	3	3	4	POINT (25.07615403 39.8829188)	07/09/2022	21:17:16
452	453	25.058	39.8754	38.7456	2022-09-08 17:40:57	1	31	0	0	10	0	POINT (25.0579675 39.8754188)	08/09/2022	17:40:57
192	193	25.0757	39.8867	38.8123	2022-09-07 21:52:57	1	34	0	2	8	0	POINT (25.07572102 39.8866688)	07/09/2022	21:52:57
464	463	25.0597	39.8769	39.1246	2022-09-08 02:35:02	1	24	0	3	5	2	POINT (25.05969955 39.8769188)	08/09/2022	02:35:02
129	130	25.0697	39.8722	39.5455	2022-09-05 22:43:27	1	32	0	3	3	4	POINT (25.06965884 39.8721688)	05/09/2022	22:43:27
419	420	25.0688	39.8782	39.5457	2022-09-04 15:07:02	1	34	0	4	3	3	POINT (25.06879282 39.8781688)	04/09/2022	15:07:02
486	483	25.0654	39.8862	39.6555	2022-09-11 13:25:51	0	38	0	0	5	0	POINT (25.06519474 39.8861688)	11/09/2022	13:25:51

Εικόνα 11 Απόσπασμα των εγγραφών των μετρήσεων θορύβου που πραγματοποιήθηκαν

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η συλλογή των θεματικών επιπέδων για την περιοχή μελέτης μας. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από το “OpenStreetMap” (OSM)⁴, το οποίο έχει δημιουργηθεί από μια κοινότητα χαρτογράφων που συνεισφέρει στη δημιουργία ενός δωρεάν επεξεργάσιμου παγκόσμιου χάρτη που περιέχει ένα σύνολο χωρικών δεδομένων. Για τη συλλογή των θεματικών επιπέδων αξιοποιήθηκε η βιβλιοθήκη που ονομάζεται «OSMnx» (osmnx , 2016) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση, κατασκευή, ανάλυση και οπτικοποίηση χωρικών δεδομένων από το OpenStreetMap. Τα γεωχωρικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν ήταν τα κτίσματα, το οδικό δίκτυο και τα διοικητικά όρια της περιοχής μελέτης (Εικόνα 12).



Εικόνα 12 Χαρτογράφηση των θεματικών επιπέδων στην Δημοτική Κοινότητα Μύρινας (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)

⁴ <https://www.openstreetmap.org/about>

Αφού πραγματοποιήθηκε η επιλογή των γεωχωρικών δεδομένων, ακολούθησε ο μετασχηματισμός τους στο σύστημα προβολής World Geodetic System 1984 (EPSG:4326), καθώς για την διαδικασία της χαρτογράφησης του θορύβου είναι απαραίτητο τα θεματικά επίπεδα που επιλέχθηκαν να έχουν το ίδιο σύστημα προβολής (Εικόνα 13).

```
#Διάρθρωση αρχείου από το Google drive
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
data = gpd.read_file('/content/drive/MyDrive/meta/data/point.shp')

#Μετασχηματισμός των δεδομένων από σύστημα προβολής ΕΓΣΑ 87 (EPSG:2100) σε World Geodetic System 1984 (EPSG:4326)

data = data.to_crs("EPSG:4326")
data['datetime'] = pd.to_datetime(data['datetime'])
data['date'] = data['datetime'].dt.strftime('%d/%m/%Y')
data['time'] = data['datetime'].dt.strftime('%H:%M:%S')
data.info()
data.describe()
data.head()

# Ορισμός Περιοχή μελέτης και επιλογή θεματικών επιπέδων από το Open Street Map
place_name = "MIRINA, GREECE"

area = ox.geocode_to_gdf(place_name)
tags = {'building': True}
buildings = ox.geometries_from_place(place_name, tags)
buildings.head()
buildings = buildings.loc[buildings.geometry.type=='Polygon']
G = ox.graph_from_place(place_name, network_type='drive')
nodes, edges = ox.graph_to_gdfs(G)
road = edges.buffer(distance = 0.00005)

#Μετασχηματισμός των δεδομένων σε World Geodetic System 1984 (EPSG:4326)

projection = CRS.from_epsg(4326)
area = area.to_crs(projection)
edges = edges.to_crs(projection)
buildings = buildings.to_crs(projection)
road = road.to_crs(projection)
```

Εικόνα 13 Απόσπασμα κώδικα

Ο καθαρισμός των γεωχωρικών δεδομένων αποτέλεσε το επόμενο βήμα της επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε, καθώς οι συνολικές μετρήσεις που συγκεντρώθηκαν εντός και εκτός της περιοχής μελέτης μας ήταν 588, οπότε επόμενο βήμα αποτέλεσε ο καθορισμός των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν εκτός των ορίων της περιοχής μελέτης μας, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν εντός να περιοριστούν στις 342. Τα δεδομένα μετά την επεξεργασία που δέχθηκαν, διαμόρφωσαν τις μετρήσεις θορύβου που πραγματοποιήθηκαν για ολόκληρο το εικοσιτετράωρο (24ώρες). Για να μπορέσουμε να εξετάσουμε την ηχορύπανση στην περιοχή μελέτης μας για διαφορετικές χρονικές περιόδους δημιουργήθηκαν επιπλέον πίνακες που περιέχουν τις τιμές θορύβου για τις πρωινές ώρες (07:00:00 μέχρι 19:00:00), τις απογευματινές (19:00:00 μέχρι 24:00:00) και τις βραδινές (24:00:00 μέχρι 07:00:00) (Εικόνα 14).

```

# Περιορισμός των μετρήσεων εντός των ορίων της περιοχής μελέτης
intersection = gpd.overlay(data,area,how="intersection")

# # Καταχώρηση του συνολικού αριθμού μετρήσεων σε μεταβλητές

lons=np.array(intersection['longitude'])
lats=np.array(intersection['latitude'])
decibel=np.array(intersection['decibel'])
clas_decib=np.array(intersection['dec_clas'].astype(np.float))
clas_perc=np.array(intersection['perc_clas'].astype(np.float))
perc=np.array(intersection['perception'])
npts=len(decibel)
npts_perc=len(perc)
npts_clas=len(clas)

# Καταχώρηση των πρωινών μετρήσεων σε μεταβλητές

prwi= intersection[(intersection['time'] > '07:00:00') & (intersection['time'] <= '19:00:00')]
prwi_decibel=np.array(prwi['decibel'])
prwi_lons=np.array(prwi['longitude'])
prwi_lats=np.array(prwi['latitude'])
prwi_perc=np.array(prwi['perception'])
npts_prwi=len(prwi_decibel)
npts_perc=len(prwi_perc)

# Καταχώρηση των μεσημεριανών μετρήσεων σε μεταβλητές

afternoon= intersection[(intersection['time'] > '19:00:00') & (intersection['time'] <= '24:00:00')]
afternoon_decibel=np.array(afternoon['decibel'])
afternoon_lons=np.array(afternoon['longitude'])
afternoon_lats=np.array(afternoon['latitude'])
afternoon_perc=np.array(afternoon['perception'])
npts_afternoon=len(afternoon_decibel)
npts_afternoon_perc=len(afternoon_perc)

# Καταχώρηση των βραδινών μετρήσεων σε μεταβλητές

night=intersection[(intersection['time'] > '00:00:00') & (intersection['time'] <= '07:00:00')]
night_decibel=np.array(night['decibel'])
night_lons=np.array(night['longitude'])
night_lats=np.array(night['latitude'])
night_perc=np.array(night['perception'])
npts_night=len(night_decibel)
npts_night_perc=len(night_perc)

```

Εικόνα 14 Απόσπασμα κώδικα

4.4.Αναπαράσταση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων θορύβου

Στο δεύτερο στάδιο της παρούσας έρευνας πραγματοποιήθηκε ανάλυση στα τελικά γεωχωρικά δεδομένα που προέκυψαν από την επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα.

4.4.1. Διάγραμμα διασποράς

Το διάγραμμα διασποράς με τρεις μεταβλητές αποτελεί έναν διαφορετικό τρόπο σχεδίασης χωρικών δεδομένων. Τα διαγράμματα διασποράς απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών, μία στον άξονα x και μία στον άξονα y, σχεδιάζοντας σημεία για κάθε σημείο δεδομένων στις τιμές για τις μεταβλητές x και y. Το Matplotlib μας επιτρέπει να πάμε ένα βήμα παραπέρα και να χρησιμοποιήσουμε μια τρίτη μεταβλητή για να αλλάξουμε το χρώμα κάθε σημείου σύμφωνα με την τιμή του σημείου δεδομένων για αυτήν την τρίτη μεταβλητή (Εικόνα 15).

```

def getRand(n):
    return np.random.normal(scale=10, size=n)

f = plt.figure(figsize=(10,10))
f, axes = plt.subplots(nrows=2, ncols=2,figsize=(20, 20))
norm=plt.Normalize(-22,22)

sc = axes[0][0].scatter(lons,lats, c = decibel, cmap='plasma')
area.plot(ax=axes[0][0], facecolor='none',label='AREA PLACE',linewidth=1)
axes[0][0].set_xlabel("Σύνολο των μετρήσεων θορύβου",fontsize = 15,labelpad = 5)

axes[0][1].scatter(prwi_lons,prwi_lats, c = prwi_decibel,cmap='plasma')
area.plot(ax=axes[0][1], facecolor='none',label='AREA PLACE',linewidth=1)
axes[0][1].set_xlabel("Μετρήσεις θορύβου από 7 π.μ. έως 7 μ.μ.", fontsize = 15,labelpad = 5)

axes[1][0].scatter(afternoon_lons,afternoon_lats, c = afternoon_decibel, cmap='plasma')
area.plot(ax=axes[1][0], facecolor='none',label='AREA PLACE',linewidth=1)
axes[1][0].set_xlabel("Μετρήσεις θορύβου από 7 μ.μ. έως 12 μ.μ.",fontsize = 15, labelpad = 5)

axes[1][1].scatter(night_lons,night_lats, c = night_decibel, cmap='plasma' )
area.plot(ax=axes[1][1], facecolor='none',label='AREA PLACE',linewidth=1)
axes[1][1].set_xlabel("Μετρήσεις θορύβου από 12 μ.μ. έως 7 π.μ.",fontsize = 15,labelpad = 5)

cbar_ax = f.add_axes([0.85, 0.15, 0.05, 0.7])

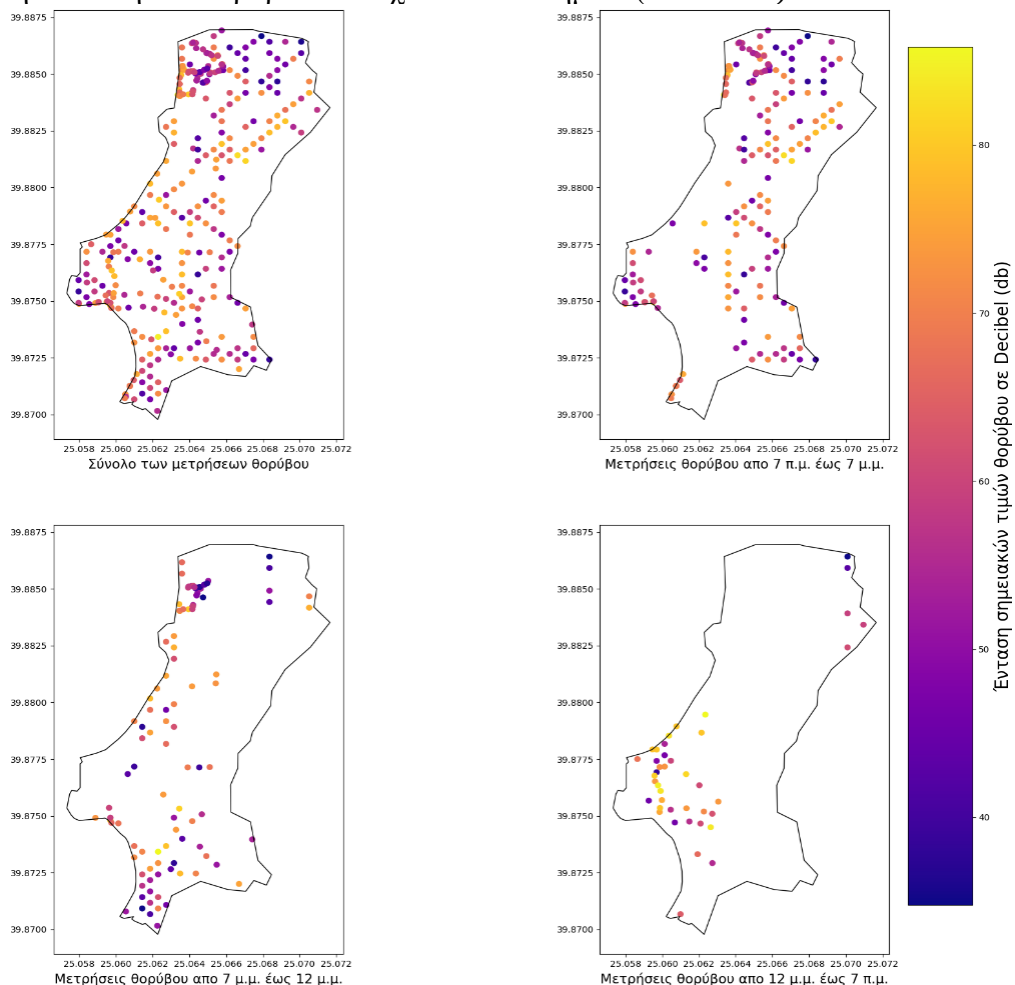
b=f.colorbar(sc, cax=cbar_ax)
b.set_label('Ένταση σημειακών τιμών θορύβου σε Decibel (db)', size=15)

plt.show()

```

Εικόνα 15 Απόσπασμα κώδικα (Διάγραμμα διασποράς)

Θέτοντας ως πρώτη μεταβλητή στον άξονα τον X τη στήλη των δεδομένων “longitude”, ως δεύτερη μεταβλητή Y τη στήλη “latitude” και ως τρίτη μεταβλητή τη στήλη «decibel», δημιουργούμε ένα διάγραμμα διασποράς, όπου για κάθε σημείο βρίσκεται σε μια καθορισμένη γεωγραφική θέση σύμφωνα με τις συντεταγμένες του και χρωματίζεται με βάση την ένταση του θορύβου που έχει το κάθε σημείο (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 Διάγραμμα διασποράς των σημειακών μετρήσεων (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)

4.4.2. Γραφική παράσταση QQ

Η μέθοδος **γραφικής αναπαράστασης** γνωστή ως γραφική παράσταση QQ εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Έκτοτε, έχει γίνει απαραίτητο εργαλείο για την ανάλυση δεδομένων, επειδή παρέχει πλήθος πληροφοριών και είναι εύκολο να ερμηνευτεί. Η γραφική παράσταση QQ, είναι ένα γράφημα που ελέγχει τη συμμόρφωση μεταξύ της εμπειρικής κατανομής και της δεδομένης θεωρητικής κατανομής και χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της κανονικότητας των σφαλμάτων ενός μοντέλου παλινδρόμησης. Αν τα σημεία είναι ευθυγραμμισμένα στη γραμμή $x = y$, τότε τα δεδομένα διανέμονται κανονικά. (QQ Plot (Quantile to Quantile Plot), 2008)

Για να κατασκευάσουμε ένα plot Q-Q ακολουθούμε δύο βήματα:

1. Ταξινομούμε τα δεδομένα $X_1, X_2, \dots, X_n$ με αύξουσα σειρά:

$$X[1] \leq X[2] \leq \dots \leq X[n]$$

2. Συσχετίζουμε κάθε σημείο δεδομένων $x[i]$ the $i/(n+1)$ -quantile q_i της τυπικής κανονικής κατανομής. Σχεδιάζουμε σε μια γραφική παράσταση ως τεταγμένες τα διατεταγμένα δεδομένα x_i και ως τετμημένες τα τετμημένα q_i .

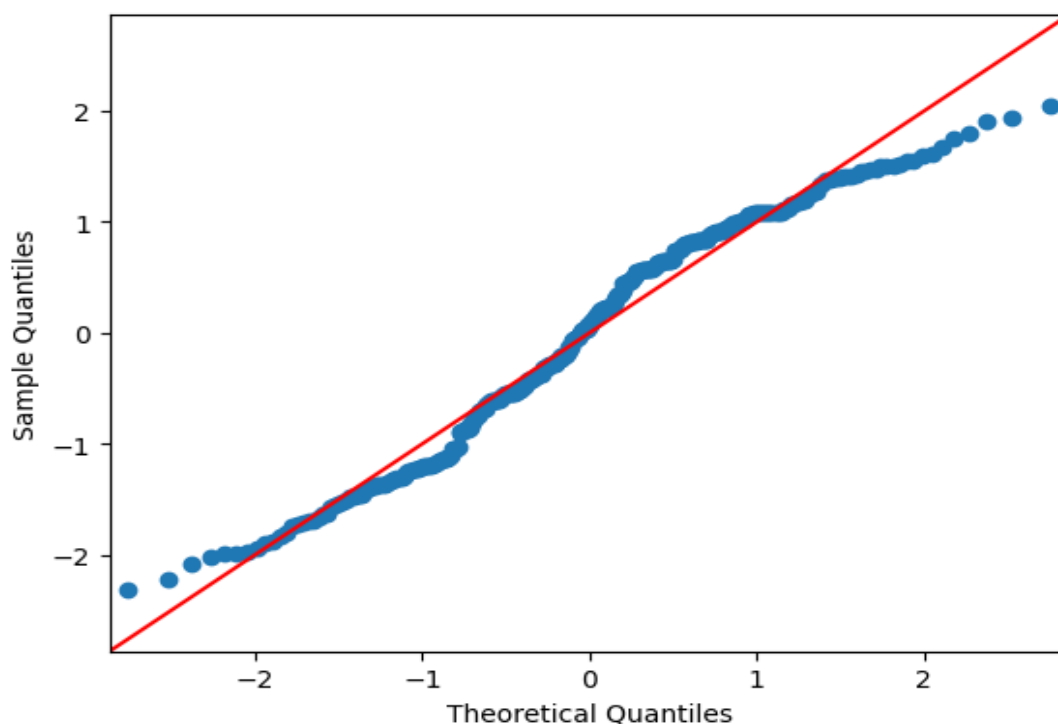
Εάν οι μεταβλητές έχουν την ίδια κατανομή, τότε η γραφική αναπαράσταση μεταξύ των ποσοστιαίων ποσοτήτων της πρώτης μεταβλητής σε σχέση με τα ποσοστά της δεύτερης κατανομής θα είναι μια γραμμή κλίσης 1. Έτσι, εάν τα δεδομένα x_i κατανέμονται κανονικά, τα σημεία στο γράφημα πρέπει να είναι σχεδόν ευθυγραμμισμένα με τη γραμμή της εξίσωσης $x_i = q_i$.

Το διάγραμμα QQ χρησιμοποιείται για να επαληθεύσει εάν τα δεδομένα ακολουθούν μια συγκεκριμένη διανομή ή εάν δύο συγκεκριμένα σύνολα δεδομένων έχουν την ίδια κατανομή. Εάν οι κατανομές είναι ίδιες, το γράφημα είναι μια γραμμή. Όσο πιο μακριά είναι το αποτέλεσμα που προκύπτει, τόσο πιο μακριά είναι η εμπειρική κατανομή από τη θεωρητική. Τα ακραία σημεία έχουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα από εκείνα στο κέντρο της κατανομής. Έτσι, ένα γράφημα σε σχήμα U σημαίνει ότι μια κατανομή είναι λοξή σε σχέση με την άλλη. Ένα γράφημα σε σχήμα S υποδεικνύει ότι οι κατανομές αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερη επιρροή ακραίων τιμών σε μια άλλη κατανομή (μακριά ουρά).

Εξετάζοντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης, δημιουργήσαμε το διάγραμμα QQ (Εικόνα 17). Το διάγραμμα είναι σε σχήμα S και μας υποδεικνύει ότι οι κατανομές αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερη επιρροή ακραίων τιμών σε μια άλλη κατανομή (μακριά ουρά) (Εικόνα 18).

```
#Q-Q PLOT  
sm.qqplot(decibel,line='45',fit=True,dist=stats.norm)
```

Εικόνα 17 Απόσπασμα κώδικα (Q-Q plot)



Εικόνα 18 Γράφημα διασποράς των σημειακών μετρήσεων (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)

4.4.3. Διάγραμμα Voronoi

Τα διαγράμματα Voronoi πήραν την ονομασία τους από τον Ουκρανό μαθηματικό Georgy Fedoseevich Voronoi το 1905. Ωστόσο, αυτοί οι τύποι διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκαν πριν από την επινόηση του ονόματος "Voronoi" το 1644 από τον Rene Descartes. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης το 1850 από έναν Γερμανό μαθηματικό, τον Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet, όταν τα εφάρμοσε σε δισδιάστατα και τρισδιάστατα σύνολα δεδομένων (Aurenhammer, 1991). Τα διαγράμματα Voronoi είναι μια πολύ κοινή τεχνική διαμέρισης που χρησιμοποιείται στα χωρικά δεδομένα. Αυτή η ενότητα συζητά τις εφαρμογές χωρικών δεδομένων στους τομείς της γεωγραφίας, της γεωφυσικής, της θεωρίας γραφημάτων, του προβλήματος του πλησιέστερου γείτονα και του σχεδιασμού διαδρομής.

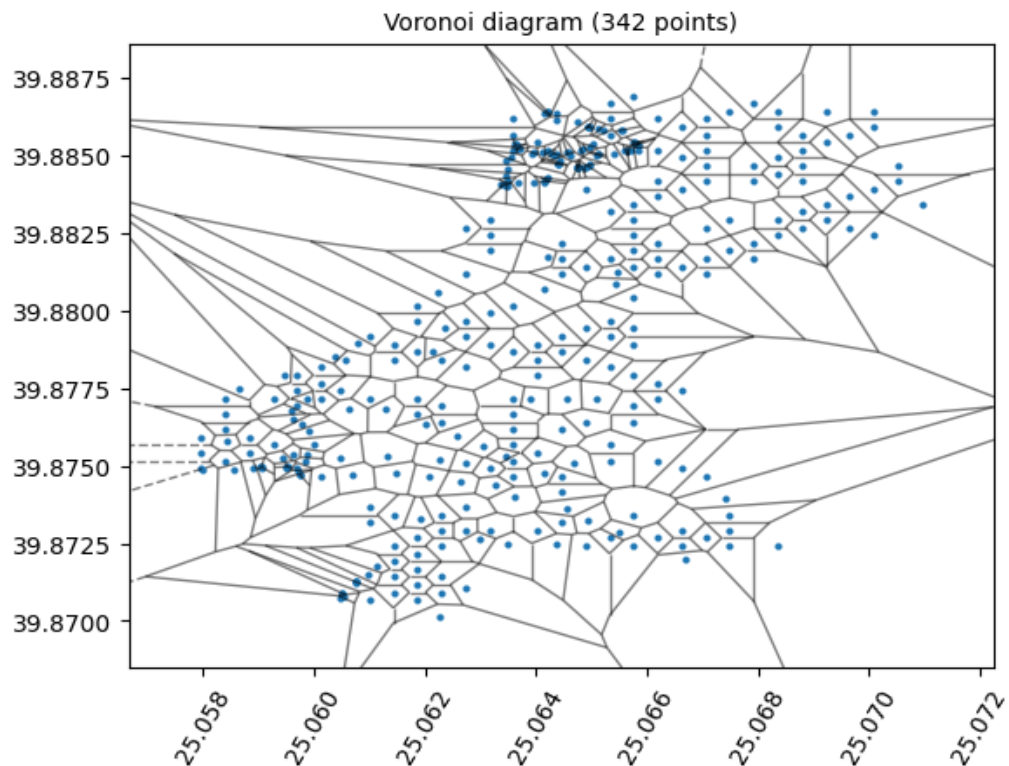
Η μέθοδος Voronoi συνθέτει ένα σύνολο χωρικών αντικειμένων σε ένα σύνολο πολυγωνικών διαμερισμάτων. Το κάθε αντικείμενο συμβολίζεται με μια τελεία και τοποθετείται σε ένα ξεχωριστό πολύγωνο, με αποτέλεσμα ένα πολυγωνικό σχήμα να περιβάλλει το αντικείμενο έτσι ώστε οποιοδήποτε σημείο του πολυγώνου να είναι πιο κοντά στο δημιουργημένο αντικείμενό του από οποιοδήποτε άλλο παραγόμενο αντικείμενο (Kang, 2008).

Για την κατασκευή του διαγράμματος Voronoi χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη scipy (Εικόνα19).

```
#Διαγράμμα Voronoi
points1 = np.column_stack((lons,lats))
vor = Voronoi(points1)
voronoi_plot_2d(vor, show_vertices=False, line_colors='black',
                 line_width=1, line_alpha=0.5, point_size=4)
plt.xticks(fontsize = 10, rotation=60)
plt.yticks(fontsize = 10)
plt.title('Voronoi diagram (%d points)' % npts, fontsize = 10)
plt.show()
```

Εικόνα 19 Απόσπασμα κώδικα (Διάγραμμα Voronoi)

Το Διάγραμμα Voronoi (Εικόνα 20), περιέχει το σύνολο των παραγόμενων αντικειμένων στον χώρο, που είναι στην περιοχή μελέτης μας. Το πρώτο βήμα είναι να εντοπίσει όλα τα σημεία που είναι πιο κοντά στο δημιουργημένο αντικείμενο. Επίσης, πρέπει να εντοπίσει εκείνα τα σημεία που μπορεί να έχουν περισσότερα από ένα πλησιέστερα δημιουργημένα σημεία (αυτά τα σημεία θα βρίσκονται στην περίμετρο κάθε πολυγώνου). Μόλις γίνουν γνωστά αυτά τα αντικείμενα, μπορούμε να βρούμε τα πολυγωνικά σχήματα γύρω από κάθε αντικείμενο που φαίνεται στην εικόνα. Παρατηρήστε ότι οποιοδήποτε σημείο μέσα σε ένα πολυγωνικό σχήμα είναι πιο κοντά στο σημείο που δημιουργείται μέσα στο πολύγωνο από οποιοδήποτε άλλο σημείο που δημιουργείται στο σύνολο δεδομένων. Έτσι, τα πολυγωνικά σχήματα στην εικόνα αποτελούν το ολοκληρωμένο διάγραμμα Voronoi πρώτης τάξης.



Εικόνα 20 Διάγραμμα Voronoi των σημειακών μετρήσεων(προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)

4.4.4. Ιστογράμματα

Ο όρος ιστόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Pearson, Karl το 1895. Το ιστόγραμμα είναι μια γραφική αναπαράσταση της κατανομής των δεδομένων που έχουν ομαδοποιηθεί σε κλάσεις. Αποτελείται από μια σειρά από ορθογώνια και είναι ένας τύπος γραφήματος συχνότητων. Κάθε τιμή δεδομένων ταξινομείται και τοποθετείται σε ένα κατάλληλο διάστημα κλάσης. Ο αριθμός των τιμών δεδομένων μέσα σε κάθε διάστημα κλάσης υπαγορεύει τη συχνότητα (ή τη σχετική συχνότητα) αυτού του διαστήματος κλάσης. Κάθε ορθογώνιο στο ιστόγραμμα αντιπροσωπεύει μια κατηγορία δεδομένων. Το πλάτος του ορθογώνιου αντιστοιχεί στο πλάτος του διαστήματος κλάσης και η επιφάνεια του ορθογώνιου αντιπροσωπεύει το βάρος της κατηγορίας. (Histogram, 2008)

Για τον εντοπισμό της συχνότητας εμφάνισης των τιμών θορύβου στην περιοχή μελέτης μας κατασκευάστηκαν τα ιστογράμματα (Εικόνα 21) που παρουσιάζονται στην Εικόνα 22. Τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις από 0 έως 55 decibel (καλή κατάσταση), από 55 έως 70 (ανεκτή κατάσταση), από 70 έως 80 decibel (θορυβώδης κατάσταση) και από 80 και πάνω (μη ανεκτή κατάσταση). Τα ιστογράμματα που υλοποιήθηκαν αφορούσαν τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν ολόκληρο το εικοσιτετράωρο, για το πρωινό χρονικό

διάστημα από τις 7:00 π.μ. μέχρι 19:00μ.μ., το απογευματινό χρονικό διάστημα από τις 19:00 π.μ. μέχρι 24:00μ.μ. και για το βραδινό χρονικό διάστημα.

Όπως απεικονίζονται στα διαγράμματα παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συχνότητα τιμών θορύβου για το σύνολο των 342 μετρήσεων για ολόκληρο το εικοσιτετράωρο εμφανίζεται στην κλάση 55 έως 70 (ανεκτή κατάσταση). Στο ιστόγραμμα για τις πρωινές ώρες, όπου πραγματοποιήθηκαν 196 μετρήσεις, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συχνότητα μετρήσεων έλαβε χώρα στη δεύτερη κλάση από 55 έως 70 (ανεκτή κατάσταση). Στο ιστόγραμμα για τις απογευματινές ώρες, όπου πραγματοποιήθηκαν 105 μετρήσεις, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συχνότητα μετρήσεων έλαβε χώρα στη δεύτερη κλάση από 55 έως 70 (ανεκτή κατάσταση) έχοντας ανεβασμένη και την τρίτη κλάση από 70 έως 80 decibel (θορυβώδες κατάσταση). Στο τελευταίο ιστόγραμμα για τις βραδινές ώρες, όπου πραγματοποιήθηκαν 41 μετρήσεις, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συχνότητα μετρήσεων διατηρείται ανεβασμένη μεταξύ των κλάσεων από 55 έως 70 (ανεκτή κατάσταση) και από 70 έως 80 decibel (θορυβώδης κατάσταση).

#Διαγράμματα διασποράς σημειακών μετρήσεων

```
fig, ((ax0, ax1),(ax2, ax3)) = plt.subplots(nrows=2,ncols=2,figsize=(20, 20))

bins=[10,30,50,70,90,110,130]

#Δημιουργία Ιστογραμμάτων για το σύνολο των μετρήσεων
ax0.hist(decibel,edgecolor="black", bins=bins)
ax0.set_title('Ιστόγραμμα για το σύνολο των μετρήσεων θορύβου (%d points)' % npts,fontsize = 20)
ax0.set_xlabel("Ένταση θορύβου (db)",fontsize = 20)
ax0.set_ylabel("Συχνότητα",fontsize = 20)

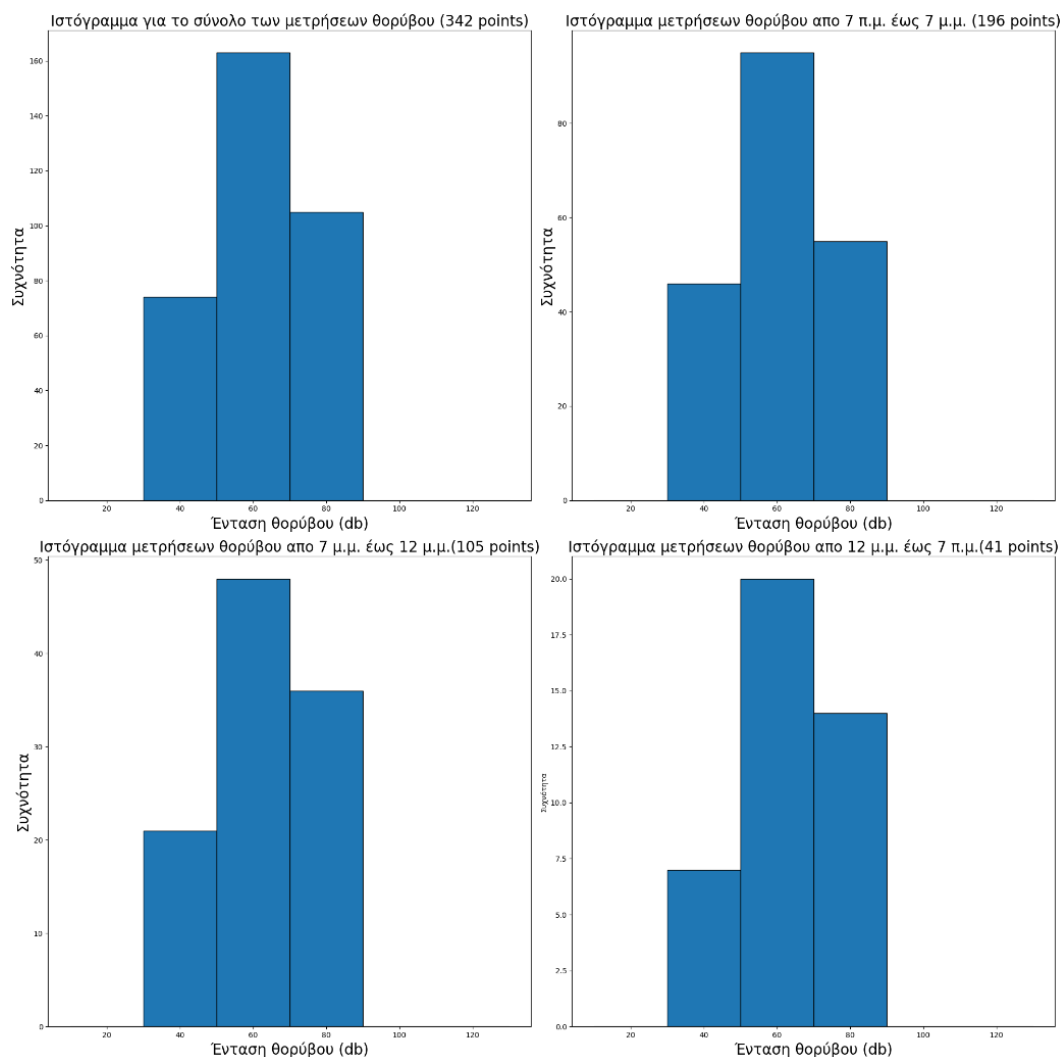
#Δημιουργία Ιστογραμμάτων για τις πρωινές μετρήσεις (απο 7 π.μ. έως 7 μ.μ.)
ax1.hist(prwi_decibel,edgecolor="black", bins=bins)
ax1.set_title('Ιστόγραμμα μετρήσεων θορύβου απο 7 π.μ. έως 7 μ.μ. (%d points)' % npts_prwi,fontsize = 20)
ax1.set_xlabel("Ένταση θορύβου (db)",fontsize = 20)
ax1.set_ylabel("Συχνότητα",fontsize = 20)

#Δημιουργία Ιστογραμμάτων για τις απογευματινές μετρήσεις (απο 7 μ.μ. έως 12 μ.μ.)
ax2.hist(afternoon_decibel,edgecolor="black", bins=bins)
ax2.set_title('Ιστόγραμμα μετρήσεων θορύβου απο 7 μ.μ. έως 12 μ.μ. (%d points)' % npts_afternoon,fontsize = 20)
ax2.set_xlabel("Ένταση θορύβου (db)",fontsize = 20)
ax2.set_ylabel("Συχνότητα",fontsize = 20)

#Δημιουργία Ιστογραμμάτων για τις βραδινές μετρήσεις (απο 12 μ.μ. έως 7 π.μ.)
ax3.hist(night_decibel,edgecolor="black", bins=bins)
ax3.set_title('Ιστόγραμμα μετρήσεων θορύβου απο 12 μ.μ. έως 7 π.μ. (%d points)' % npts_night,fontsize = 20)
ax3.set_xlabel("Ένταση θορύβου (db)",fontsize = 20)
ax3.set_ylabel("Συχνότητα")

fig.tight_layout()
plt.show()
```

Εικόνα 21 Απόσπασμα κώδικα (Διαγράμματα Διασποράς)



Εικόνα 22 Ιστογράμματα μετρήσεων θορύβου (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)

4.4.5. Βαριογράμματα

Τα βαριογράμματα δίνουν πληροφορίες για το είδος της χωρικής διακύμανσης στην περιοχή μελέτης και συμβάλλουν στη λήψη απόφασης σχετικά με την πρόοδο της διαδικασίας παρεμβολής. Για την κατασκευή των βαριογραμμάτων χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη «SciKit GStat» (Εικόνα 23), όπου μετά από την εισαγωγή των δεδομένων μας στην βιβλιοθήκη λάβαμε τα γραφικά αποτελέσματα (Εικόνα 24) και τα σφάλματα των μεθόδων παρεμβολής (Πίνακα 4).

Παρατηρώντας το Gaussian μοντέλο (Gaussian model) στην Εικόνα 25, παρατηρούμε ότι η καμπύλη της παρεμβολής ξεκινάει από ένα σημείο στον άξονα τον “y” έχοντας Nugget 27,680, και φτάνει στο σημείο Sill 119,7823, έχοντας Range 0,001645. Η διαφορά ανάμεσα στο Nugget και στο Sill είναι 27.680 που στον πίνακα αναφέρεται ως Partial Sill. Στην πορεία από το σημείο Nugget μέχρι το σημείο Sill, η παρεμβολή παρουσιάζει ένα σημείο καμψής.

Στο σφαιρικό μοντέλο (spherical model) στην Εικόνα 26 παρατηρούμε ότι το Nugget είναι 83,4729 και το Sill 119,7501 έχουν διαφορά μεταξύ τους (στον άξονα “y”) (Partial Sill) 36,2772. Το εύρος Range ανάμεσα στο nugget και στο Sill (στον άξονα “x”) είναι 0.001755. Χαρακτηριστικό του σφαιρικού μοντέλου είναι ότι έχει γραμμική ανάπτυξη, όταν η απόσταση μεταξύ 2 σημείων είναι μικρή (πιο κοντά στο σημείο προέλευσης). Ωστόσο, όταν περάσει την τιμή εύρους, είναι μια γραμμή παράλληλη προς τον άξονα X.

Στο εκθετικό μοντέλο (Exponential model) στην Εικόνα 27 παρατηρούμε ότι το Nugget είναι 112.0869 και το Sill 119.6838 έχοντας διαφορά μεταξύ τους (στον άξονα “y”) (Partial Sill) 7.5969. Το εύρος Range ανάμεσα στο nugget και στο Sill (στον άξονα “x”) είναι 0.001927. Έχει γραμμική ανάπτυξη σε μικρή απόσταση και στη συνέχεια ανεβαίνει με πολύ μεγάλη κλίση. Τέλος φτάνει ομαλά την τιμή Still με χαμηλότερη κλίση.

Εξετάζοντας τα βαριογράμματα των παραπάνω μοντέλων επιλέχθηκε η βέλτιστη προσαρμογή με βάση την ελαχιστοποίηση της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Το RMSE υπολογίζει το σφάλμα μεταξύ του πειραματικού βαριογράμματος και της θεωρητικής τιμής του μοντέλων σε αντίστοιχες επισημάνσεις. Το RMSE είναι από τα καλύτερα συνολικά μέτρα για εκτίμηση της απόδοσης του μοντέλου καθώς συνοψίζει την μέση διαφορά ανάμεσα στις μονάδες που έχουν παρατηρηθεί και στις προβλεπόμενες τιμές. Το RMSE και το MAE είναι δύο μετρικές που χρησιμοποιούνται συχνά για να αξιολογήσουν την απόδοση της kriging ή άλλων τεχνικών πρόβλεψης. Αν και το RMSE και το MAE μπορούν να δώσουν μια καλή εκτίμηση του σφάλματος πρόβλεψης, δεν μπορούν να παράσχουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση της kriging ή άλλης τεχνικής πρόβλεψης. Η συσχέτιση μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών και των προβλεπόμενων τιμών, που συνήθως περιγράφεται με τον συντελεστή συσχέτισης Pearson, είναι επίσης μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέτρηση απόδοσης. Ωστόσο, υποστηρίζεται ότι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως μέτρο απόδοσης μοντέλου επειδή είναι ανεπαρκές και συχνά παραπλανητικό (Willmott, 1982, Li and Heap, 2008). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που λάβαμε από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, την χαμηλότερη τιμή MSE (ήταν πιο κοντά στο 1) καθώς και το χαμηλότερο RMSE, μας το έδωσε το εκθετικό μοντέλο, δείχνοντάς μας ότι το εκθετικό μοντέλο είναι καλύτερο σε σχέση με το σφαιρικό και το Gaussian μοντέλο.

```
#Βαριογράμματα με την παρουσίαση των RMSE για τα μοντέλα Spherical,Exponential,Gaussian
V = skg.Variogram(intersection[['longitude', 'latitude']].values, intersection.decibel.values, maxlag='median', normalize=False)
V.plot(show=False);
V.bin_func = 'scott'
fig, _a = plt.subplots(1,3, figsize=(20, 5), sharex=True, sharey=True)
axes = _a.flatten()
for i, model in enumerate(('spherical', 'exponential', 'gaussian')):
    V.model = model
    V.plot(axes=axes[i], hist=False, show=False)
    axes[i].set_title('Model: %s; RMSE: %.2f' % (model, V.rmse))
    axes[i].set_ylim(0, 170)

#Βαριογράμματα με την παρουσίαση των σφαλμάτων για τα μοντέλα Spherical,Exponential,Gaussian
# exponential
V.model = 'exponential'
rmse_exp = V.rmse
mae_exp = V.mae
mse_exp = V.mse
nrmse_exp = V.nrmse
nrmse_r_exp = V.nrmse_r
r_exp = V.r
print('Exponential Root Mean Square Error (RMSE): %.2f' % rmse_exp)
print('Exponential Mean absolute error (MAE): %.2f' % mae_exp)
print('Exponential Mean Squared Error(MSE): %.2f' % mse_exp)
print('Exponential Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): %.2f' % nrmse_exp)
print('Exponential Alternative Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): %.2f' % nrmse_r_exp)
print('Exponential Pearson correlation (Pearson): %.2f' % r_exp)

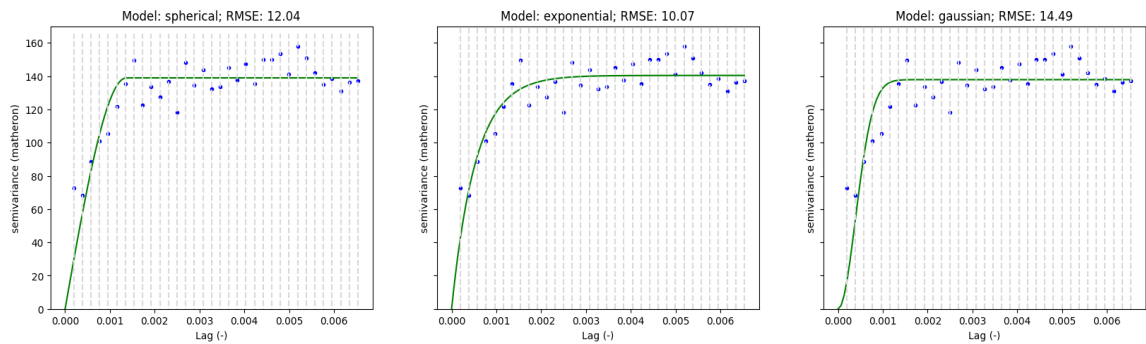
# switch the model
V.model = 'gaussian'
rmse_gau = V.rmse
mae_gau = V.mae
mse_gau = V.mse
nrmse_gau = V.nrmse
nrmse_r_gau = V.nrmse_r
r_gau = V.r
print('GAUSSIAN Root Mean Square Error (RMSE): %.2f' % rmse_gau)
print('GAUSSIAN Mean absolute error (MAE): %.2f' % mae_gau)
print('GAUSSIAN Mean Squared Error(MSE): %.2f' % mse_gau)
print('GAUSSIAN Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): %.2f' % nrmse_gau)
print('GAUSSIAN Alternative Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): %.2f' % nrmse_r_gau)
print('GAUSSIAN Pearson correlation (Pearson): %.2f' % r_gau)

# spherical
V.model = 'spherical'
rmse_sph = V.rmse
mae_sph = V.mae
mse_sph = V.mse
nrmse_sph = V.nrmse
nrmse_r_sph = V.nrmse_r
r_sph = V.r
print('SPHERICAL Root Mean Square Error (RMSE): %.2f' % rmse_sph)
print('SPHERICAL Mean absolute error (MAE): %.2f' % mae_sph)
print('SPHERICAL Mean Squared Error(MSE): %.2f' % mse_sph)
print('SPHERICAL Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): %.2f' % nrmse_sph)
print('SPHERICAL Alternative Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): %.2f' % nrmse_r_sph)
print('SPHERICAL Pearson correlation (Pearson): %.2f' % r_sph)
```

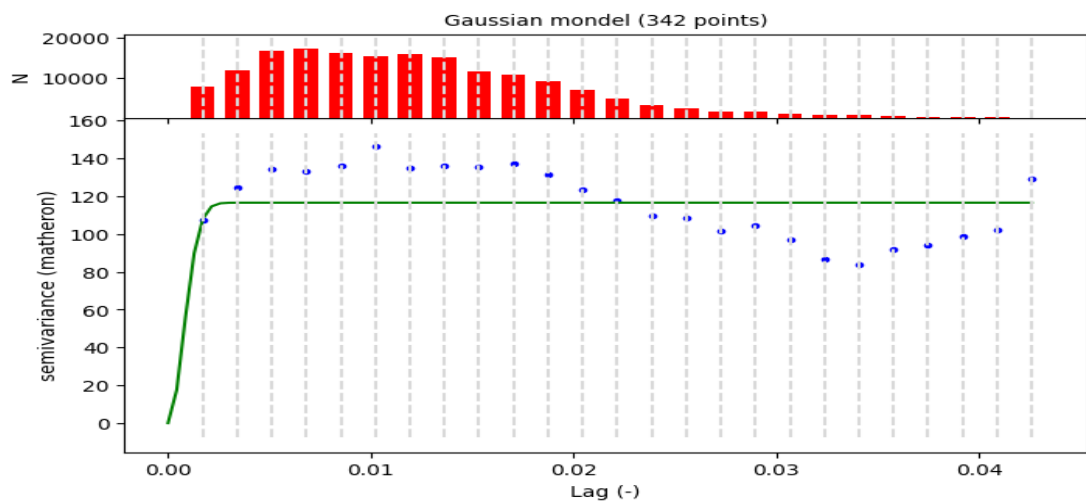
Εικόνα 23 Απόσπασμα κώδικα (Βαριογράμματα)

Πίνακας 4 Αποτελέσματα και σφάλματα των μεθόδων παρεμβολής

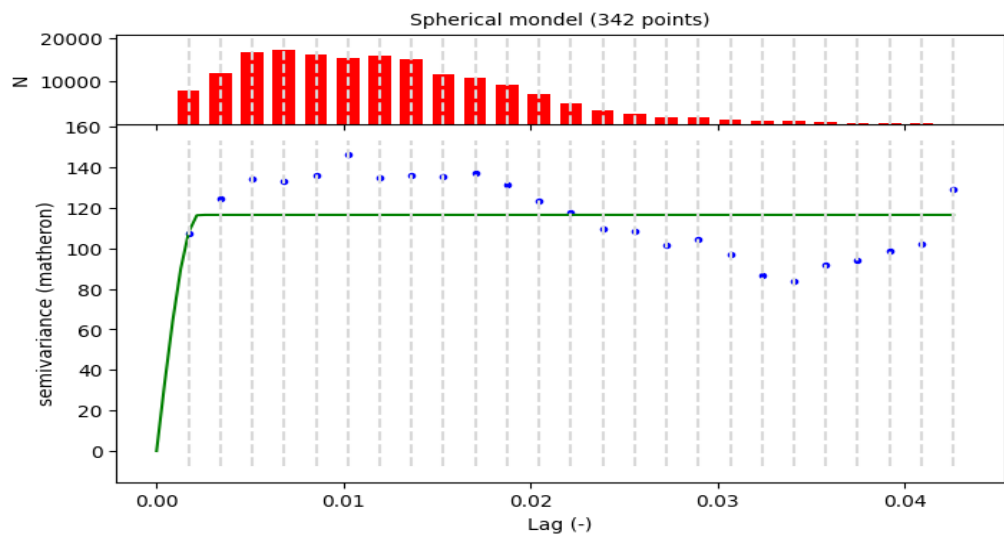
Μοντέλο	Σφαιρικό	Εκθετικό	Gaussian
Partial Sill	36.2772	7.5969	27.680
Full Sill	119.7501	119.6838	119.7823
Range	0.001755	0.001927	0.001645
Nugget	83.4729	112.0869	92.1018
Root Mean Square Error (RMSE)	12.04	10.07	14.49
Mean absolute error (MAE)	8.98	7.88	10.03
Mean Squared Error (MSE)	144.93	101.45	209.91
Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)	0.09	0.08	0.11
Alternative Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)	0.45	0.38	0.55
Pearson	0.87	0.89	0.83



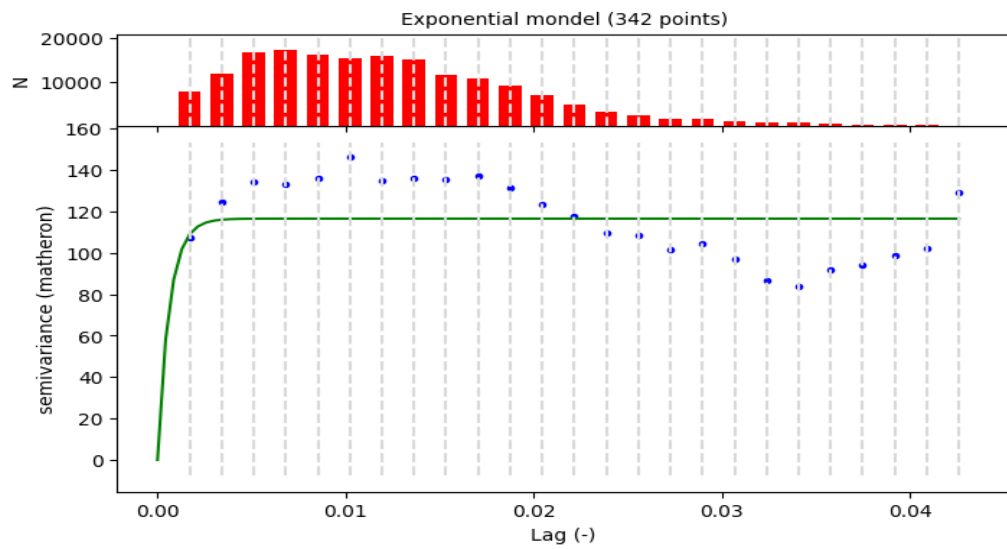
Εικόνα 24 Απόσπασμα Βαριογράμματος με τα σφάλματα RMSE (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)



Εικόνα 25 Βαριογράμμα του μοντέλου Gaussian (προσωπική επεξεργασία με την χρήση python)



Εικόνα 26 Βαριογράμμα του σφαιρικού μοντέλου (προσωπική επεξεργασία με την χρήση rython)



Εικόνα 27: Βαριογράμμα του εκθετικού μοντέλου (προσωπική επεξεργασία με την χρήση rython)

4.5. Χαρτογράφηση του θορύβου με την χρήση της παρεμβολής Ordinary kriging

Η χαρτογράφηση του θορύβου με τη χρήση της παρεμβολής Ordinary kriging απαιτεί τη χρήση ειδικού λογισμικού. Για την παραγωγή των χαρτογραφικών αποτελεσμάτων για την παρεμβολή Ordinary kriging χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Pykrige της Python. Για το εκθετικό (Εικόνα 28), το σφαιρικό (Εικόνα 29) και το Gaussian (Εικόνα 30) μοντέλο υλοποιήθηκε ο αντίστοιχος κώδικας εφαρμόζοντας της οδηγίες της βιβλιοθήκης.

```
# Καθορισμός ορίων της περιοχής μελέτης
xmin, ymin, xmax, ymax = area.total_bounds

xmin = xmin-0.0005
xmax = xmax+0.0005
ymin = ymin-0.0005
ymax = ymax+0.0005

grid_lon = np.linspace(xmin, xmax, 40)
grid_lat = np.linspace(ymin, ymax, 40)

vmin=1
vmax=130

# Γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging με την μέθοδο Exponential
OK1 = OrdinaryKriging(lons, lats, decibel, variogram_model="exponential", verbose=True, enable_plotting=False, nlags=20)
z1, ss1 = OK1.execute('grid', grid_lon, grid_lat)
print(z1)

xintrp, yintrp = np.meshgrid(grid_lon, grid_lat)
fig, ax = plt.subplots(figsize=(60,40))

contour = ax.contourf(xintrp, yintrp, z1, len(z1), cmap=plt.cm.jet, alpha = 1)
cb = plt.colorbar(contour, ax=ax)
cb.ax.tick_params(labelsize="50")
cb.set_label(' Θόρυβος σε Decibel (db)', size=40)
area.plot(ax=ax, facecolor='none', label='AREA PLACE', linewidth=10)
road.plot(ax=ax, color='red', label='ROAD_BUFFER')
buildings.plot(ax=ax, facecolor='black', alpha=0.8, label='BUILDINGS')

LegendElement = [
    Line2D([0],[0],color='red',lw=4,label='ROAD'),
    Line2D([0],[0],color='grey',lw=4,label='BUILDINGS'),
    Line2D([0],[0],color='BLACK',lw=4,label='STUDY AREA')
]
ax.legend(handles=LegendElement, loc='upper left', fontsize=30)

plt.xticks(fontsize = 30, rotation=60)
plt.yticks(fontsize = 30)
ax.set_xlabel('longitude', fontsize = 40)
ax.set_ylabel('latitude', fontsize = 40)
plt.title('Spatial interpolation from day noise with Ordinary Kriging - exponential (%d points)' % npts, fontsize = 40)
plt.show()
```

Εικόνα 28 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση με την μέθοδο του Εκθετικού μοντέλου)

```

# Γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging με την μέθοδο Spherical
OK2 = OrdinaryKriging(lons, lats, decibel, variogram_model='spherical', verbose=True, enable_plotting=False, nlags=20)
z2, ss2 = OK2.execute('grid', grid_lon, grid_lat)
print (z2)

xintrp, yintrp = np.meshgrid(grid_lon, grid_lat)
fig, ax = plt.subplots(figsize=(60,40))

contour1 = plt.contourf(xintrp, yintrp, z2, len(z2), cmap=plt.cm.jet, alpha = 1)
cb = plt.colorbar(contour1, ax=ax)
cb.ax.tick_params(labelsize="50")
cb.set_label(' Θόρυβος σε Decibel (db)', size=40)
area.plot(ax=ax, facecolor='none', label='AREA PLACE', linewidth=10)
road.plot(ax=ax, color='red', label='ROAD_BUFFER')
buildings.plot(ax=ax, facecolor='black', alpha=0.8, label='BUILDINGS')

LegendElement = [
    Line2D([0],[0], color='red', lw=4, label='ROAD'),
    Line2D([0],[0], color='grey', lw=4, label='BUILDINGS'),
    Line2D([0],[0], color='BLACK', lw=4, label='STUDY AREA')
]
ax.legend(handles=LegendElement, loc='upper left', fontsize=30)

plt.xticks(fontsize = 30, rotation=60)
plt.yticks(fontsize = 30)
ax.set_xlabel('longitude', fontsize = 40)
ax.set_ylabel('latitude', fontsize = 40)
plt.title('Spatial noise interpolation by perception with Ordinary Kriging - spherical (%d points)' % npts, fontsize = 40)
plt.show()

```

Εικόνα 29 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση με την μέθοδο του Σφαιρικού μοντέλου)

```

# Γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging με την μέθοδο Gaussian
OK3 = OrdinaryKriging(lons, lats, decibel, variogram_model='gaussian', verbose=True, enable_plotting=False, nlags=20)
z3, ss3 = OK3.execute('grid', grid_lon, grid_lat)
print (z3)

xintrp, yintrp = np.meshgrid(grid_lon, grid_lat)
fig, ax = plt.subplots(figsize=(60,40))

contour2 = plt.contourf(xintrp, yintrp, z3, len(z3), cmap=plt.cm.jet, alpha = 1)
cb = plt.colorbar(contour2, ax=ax)
cb.ax.tick_params(labelsize="50")
cb.set_label(' Θόρυβος σε Decibel (db)', size=40)

area.plot(ax=ax, facecolor='none', label='AREA PLACE', linewidth=10)
road.plot(ax=ax, color='red', label='ROAD_BUFFER')
buildings.plot(ax=ax, facecolor='black', alpha=0.8, label='BUILDINGS')

LegendElement = [
    Line2D([0],[0], color='red', lw=4, label='ROAD'),
    Line2D([0],[0], color='grey', lw=4, label='BUILDINGS'),
    Line2D([0],[0], color='BLACK', lw=4, label='STUDY AREA')
]
ax.legend(handles=LegendElement, loc='upper left', fontsize=30)

plt.xticks(fontsize = 30, rotation=60)
plt.yticks(fontsize = 30)
ax.set_xlabel('longitude', fontsize = 40)
ax.set_ylabel('latitude', fontsize = 40)

plt.title('Spatial noise interpolation by perception with Ordinary Kriging - gaussian (%d points)' % npts, fontsize = 40)
plt.show()

```

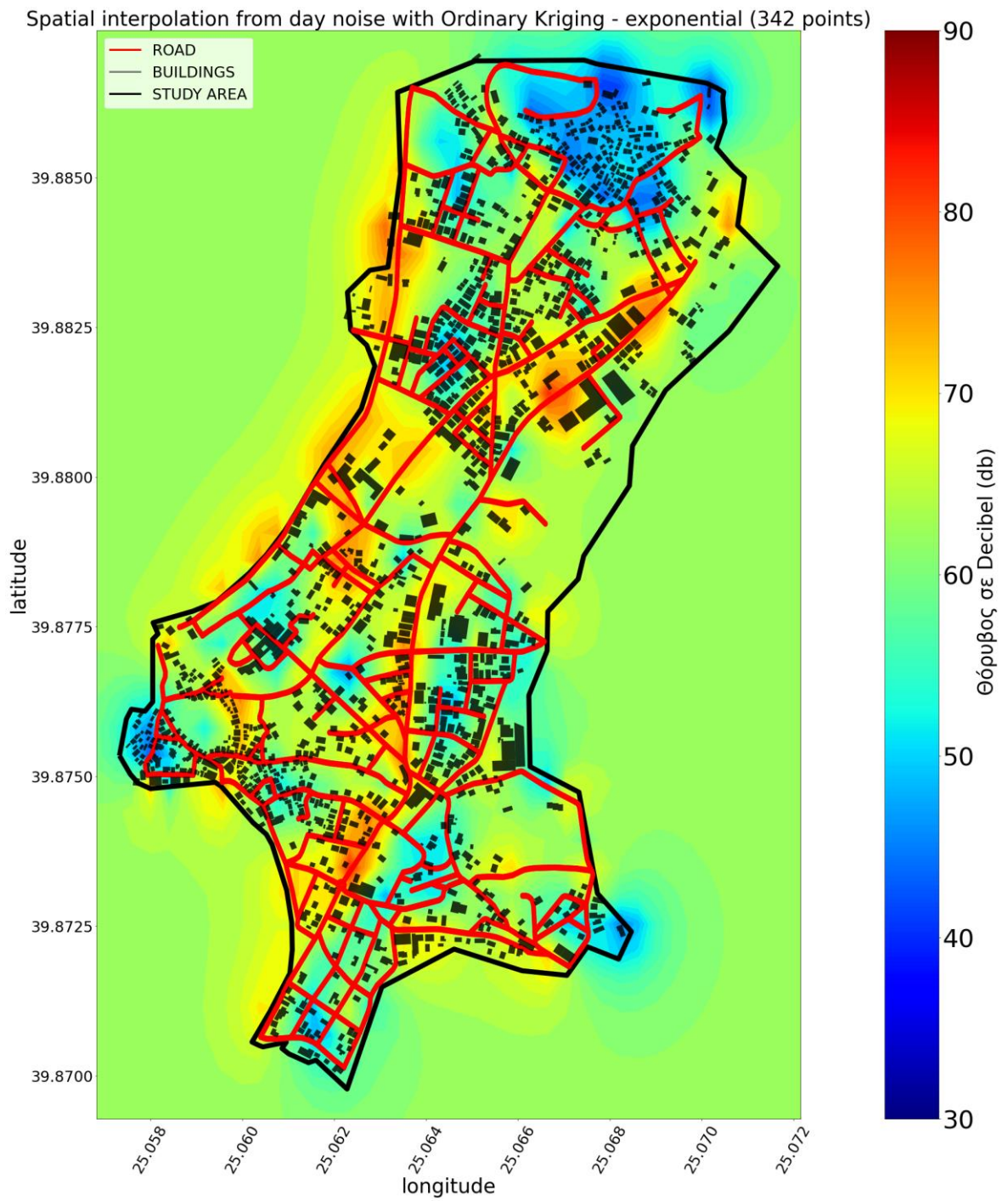
Εικόνα 30 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση με την μέθοδο του Gaussian μοντέλου)

Σύμφωνα με τα χαρτογραφικά αποτελέσματα του εκθετικού μοντέλου (Εικόνα 31) παρατηρούμε ότι οι χαρτογραφικές προβλέψεις που βασίζονται στο εκθετικό μοντέλο έχουν μια πιο απότομη μετάβαση από την υψηλή στη χαμηλή τιμή, σε σύγκριση με το σφαιρικό μοντέλο. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα σε μεγαλύτερες αποστάσεις θα έχουν λιγότερη επίδραση στις προβλέψεις, ενώ οι προβλέψεις στα πλησιέστερα σημεία θα έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα. Οι προβλέψεις που βασίζονται στο εκθετικό μοντέλο μπορεί να είναι πιο ευαίσθητες στα "ακραία" δεδομένα, καθώς μια μεγάλη τιμή σε ένα μόνο σημείο μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην πρόβλεψη σε ένα κοντινό σημείο. Επομένως, η χρήση του εκθετικού μοντέλου πρέπει να γίνεται με προσοχή και να λαμβάνεται υπόψη η φύση των δεδομένων και η διανομή των τιμών στα σημεία παρατήρησης.

Σύμφωνα με τα χαρτογραφικά αποτελέσματα του σφαιρικού μοντέλου (Εικόνα 32) παρατηρούμε ότι τα χαρτογραφικά αποτελέσματα του σφαιρικού μοντέλου είναι αρκετά παρόμοια με αυτά του εκθετικού μοντέλου, αλλά η παρεμβολή γίνεται πιο ομαλά και οι προβλέψεις είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένες στον χώρο. Ωστόσο, οι προβλέψεις εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και τη φύση του χωρικού φαινομένου που μελετάμε. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το σφαιρικό μοντέλο μπορεί να παρουσιάζει μια υπερβολικά ομαλή παρεμβολή, που μπορεί να μην αντικατοπτρίζει ακριβώς την πραγματική κατανομή των δεδομένων στο χώρο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλέψεις που δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα. Επίσης, το σφαιρικό μοντέλο δεν είναι κατάλληλο για την περιγραφή χωρικών φαινομένων που εκτείνονται σε μεγάλη απόσταση στον χώρο, καθώς η επίδραση της απόστασης μεταξύ των σημείων παρατήρησης εξασθενεί γρήγορα με την αύξηση της απόστασης.

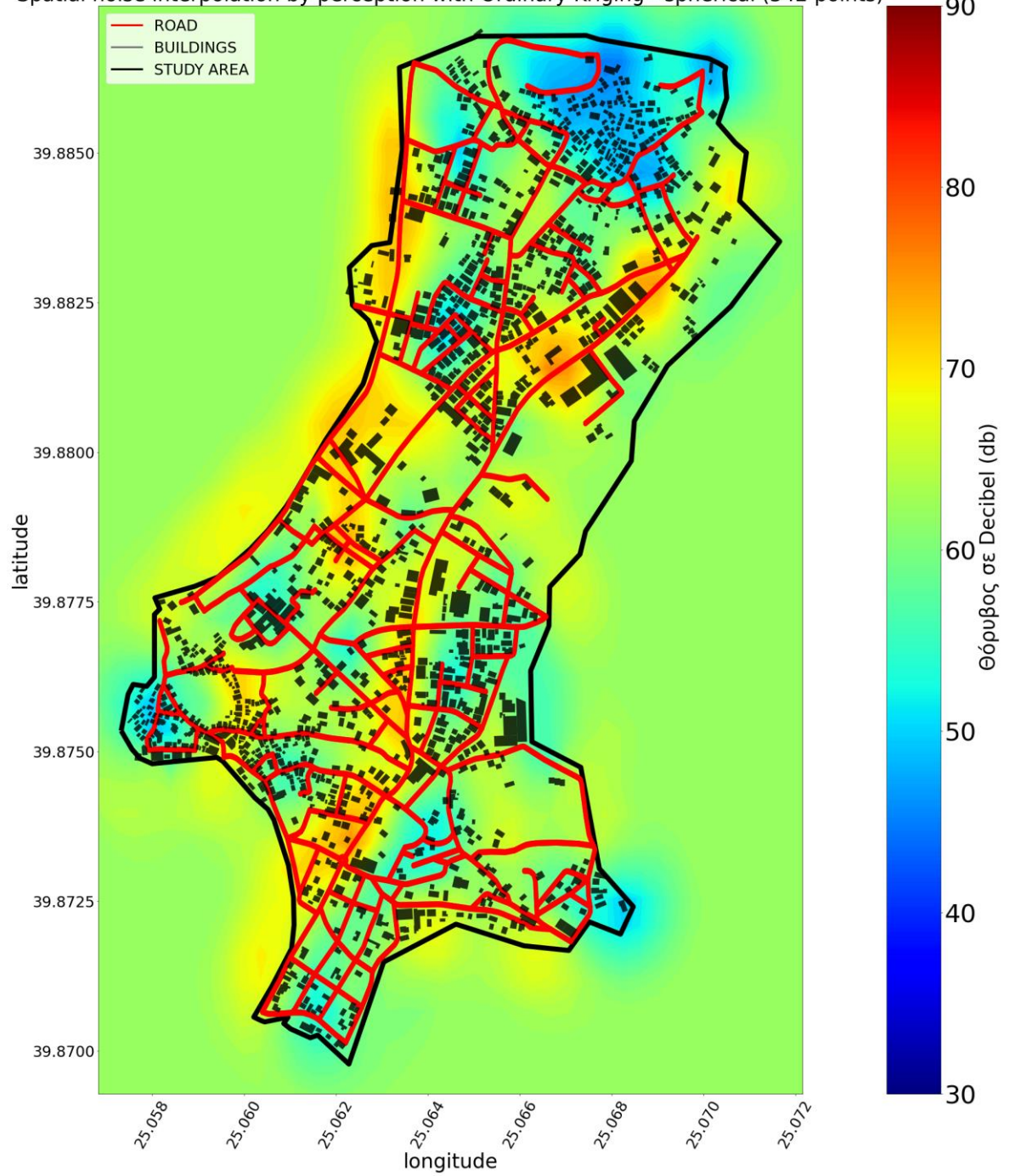
Σύμφωνα με τα χαρτογραφικά αποτελέσματα του Gaussian μοντέλου (Εικόνα 33) παρατηρούμε τα χαρτογραφικά αποτελέσματα που προκύπτουν από το Gaussian μοντέλο είναι πιο ομαλά και πιο φυσικά. Επειδή το Gaussian μοντέλο παρέχει μια συνεχή συνάρτηση για τον χώρο, η απεικόνιση των δεδομένων μπορεί να γίνει με πιο ακριβή τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι οι προβλέψεις των τιμών σε μη αρχικά σημεία μπορούν να γίνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια, και οι χάρτες που παράγονται με το Gaussian μοντέλο είναι πιο λεπτομερείς σε σχέση με τα άλλα μοντέλα.

Από τα χαρτογραφικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τα παραπάνω μοντέλα παρατηρούμε ότι η ηχορύπανση είναι ιδιαίτερα αυξημένη στις κεντρικές οδικές αρτηρίες και στην περιοχή του λιμανιού. Υπάρχει σχετική ηχορύπανση στον αστικό ιστό και στις περιοχές εκτός του δομημένου περιβάλλοντος παρατηρείται απουσία του θορύβου.



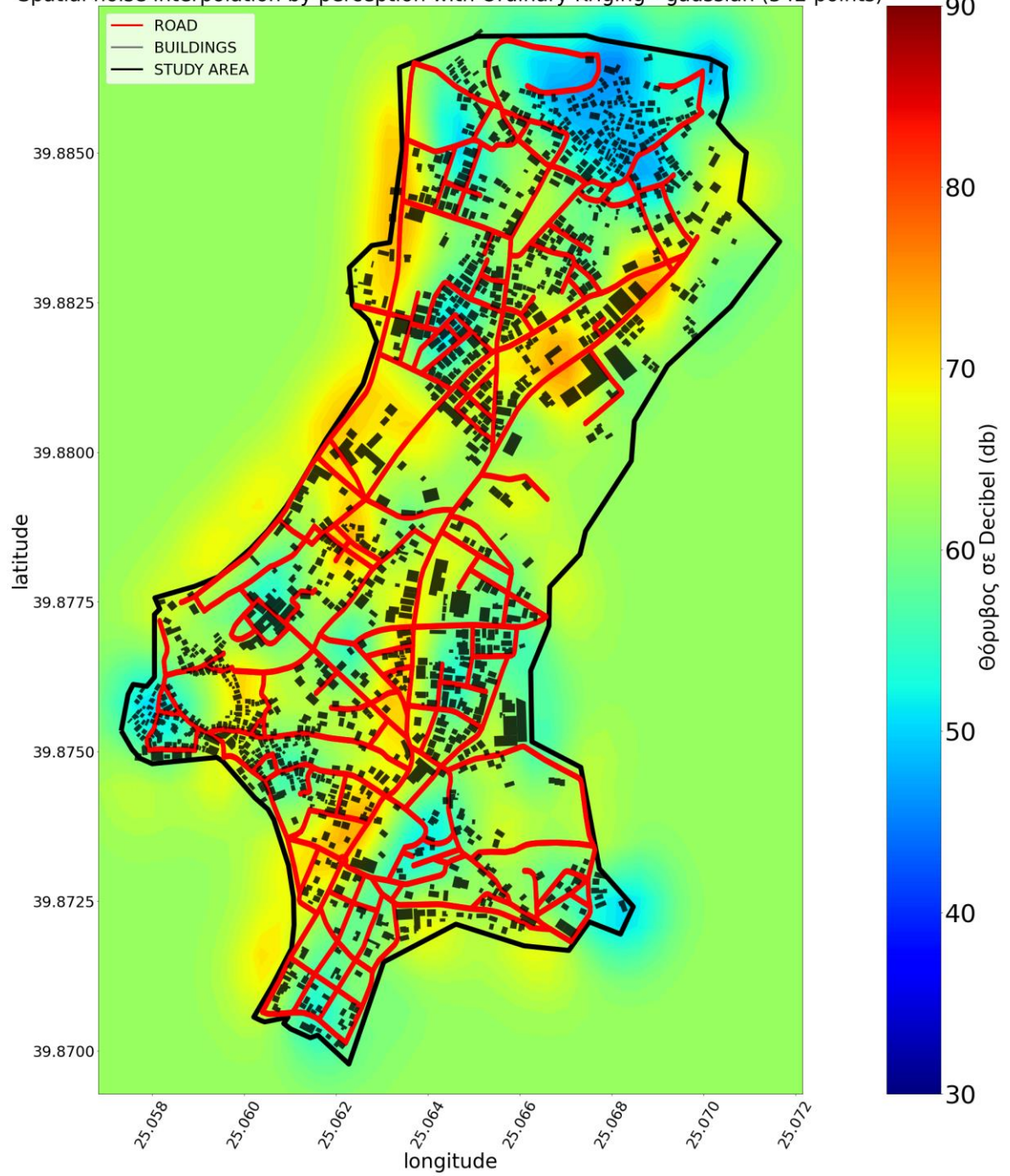
Εικόνα 31 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου αξιοποιώντας το εκθετικό μοντέλο (επεξεργασία με την χρήση python)

Spatial noise interpolation by perception with Ordinary Kriging - spherical (342 points)



Εικόνα 32 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου αξιοποιώντας το σφαιρικό μοντέλο (επεξεργασία με την χρήση python)

Spatial noise interpolation by perception with Ordinary Kriging - gaussian (342 points)



Εικόνα 33 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου αξιοποιώντας το Gaussian μοντέλο (επεξεργασία με την χρήση python)

4.6.Χαρτογράφηση του θορύβου με την χρήση της παρεμβολής Inverse Distance Weighted (IDW)

Στη χαρτογράφηση του θορύβου με τη χρήση της παρεμβολής Inverse Distance Weighted (IDW) χρησιμοποιήθηκε ο σχετικός κώδικας που διατίθεται δωρεάν στο GitHub από των Majramos (Majramos, 2023). Αφού πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες παραμετροποιήσεις στον κώδικα (Εικόνα 35) υλοποιήθηκε ο χάρτης της Εικόνας 36.

Η Inverse Distance Weighted (IDW) είναι μια μέθοδος παρεμβολής που βασίζεται στην απόσταση μεταξύ των δειγμάτων και του σημείου που πρόκειται να εκτιμηθεί. Η μέθοδος αντιστρέφει την απόσταση των δειγμάτων από το σημείο εκτίμησης και την εκθέτει σε έναν βαθμό ισχύος (power). Έτσι, τα δείγματα που βρίσκονται πιο κοντά στο σημείο εκτίμησης έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην τελική εκτίμηση από αυτά που βρίσκονται πιο μακριά.

Σύμφωνα με τα χαρτογραφικά αποτελέσματα της παρεμβολής IDW (Εικόνα 36) παρατηρούμε ότι είναι αρκετά απλή στην ερμηνεία της. Η μέθοδος δημιουργεί έναν επιφανειακό χάρτη πρόβλεψης που απεικονίζει τα εκτιμώμενα στοιχεία στον χώρο με βάση τα γνωστά στοιχεία της δειγματοληψίας. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατανομή των δειγμάτων και το βαθμό του power που επιλέγεται. Σε σύγκριση με την Ordinary Kriging, η IDW είναι πιο απλή και γρήγορη στην εφαρμογή της, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να παρουσιάσει μεγαλύτερη αβεβαιότητα. Ωστόσο, ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη της την κατανομή των δεδομένων και επιλέγει το βάρος των σημείων ανάλογα με την απόστασή τους από το σημείο πρόβλεψης χωρίς να δίνει σημασία στο πώς αυτά τα σημεία είναι κατανομημένα στον χώρο. Επίσης, η IDW δεν παράγει προβλέψεις με βεβαιότητα, δηλαδή δεν είναι σε θέση να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πόσο αξιόπιστη είναι η πρόβλεψη σε διαφορετικές περιοχές του χώρου.

Για τον υπολογισμό του Mean Squared Error (MSE) και του Root Mean Squared Error (RMSE) χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη “Geospatial Analyst” του λογισμικού Arcgis 10.8. Το MSE υπολογίστηκε 0,3182638 ενώ το RMSE 10,88396 (Εικόνα 34)

Regression function	0,269337224315581 * x + ...
Prediction Errors	
Samples	340 of 340
Mean	0,3182638
Root-Mean-Square	10,88396
Export Result Table	

Εικόνα 34 Υπολογισμός του MSE και του RMSE με την χρήση του λογισμικού Arcgis

```

def main():
    nx, ny = 40, 40
    x=np.array(intersection['longitude'])
    y=np.array(intersection['latitude'])
    z=np.array(intersection['dec_clas']).astype(np.float)

    xi = np.linspace(x.min(), x.max(), nx)
    yi = np.linspace(y.min(), y.max(), ny)
    xi, yi = np.meshgrid(xi, yi)
    xi, yi = xi.flatten(), yi.flatten()

    # Calculate IDW
    grid1 = simple_idw(x,y,z,xi,yi, power=1)
    grid1 = grid1.reshape((ny, nx))
    xintrap, yintrap = np.meshgrid(grid_lon, grid_lat)
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(40,40))
    contour1 = plt.contourf(xintrap, yintrap, grid1, cmap=plt.cm.jet, alpha = 1)
    cb = plt.colorbar(contour1)
    cb.ax.tick_params(labelsize="50")
    cb.set_label(' Θόρυβος σε Decibel (db)', size=40)
    area.plot(ax=ax, facecolor='none', label='AREA PLACE', linewidth=10)
    road.plot(ax=ax, color='red', label='ROAD_BUFFER')
    buildings.plot(ax=ax, facecolor='black', alpha=0.8, label='BUILDINGS')
    LegendElement = [
        Line2D([0],[0],color='red',lw=4,label='ROAD'),
        Line2D([0],[0],color='grey',lw=4,label='BUILDINGS'),
        Line2D([0],[0],color='BLACK',lw=4,label='STUDY AREA')
    ]
    ax.legend(handles=LegendElement,loc='upper left',fontsize=30)

    plt.xticks(fontsize = 30, rotation=60)
    plt.yticks(fontsize = 30)
    ax.set_xlabel('longitude',fontsize = 40)
    ax.set_ylabel('latitude',fontsize = 40)
    plt.title('Spatial noise interpolation with Simple_Idw (%d points)' % npts,fontsize = 40)
    plt.show()

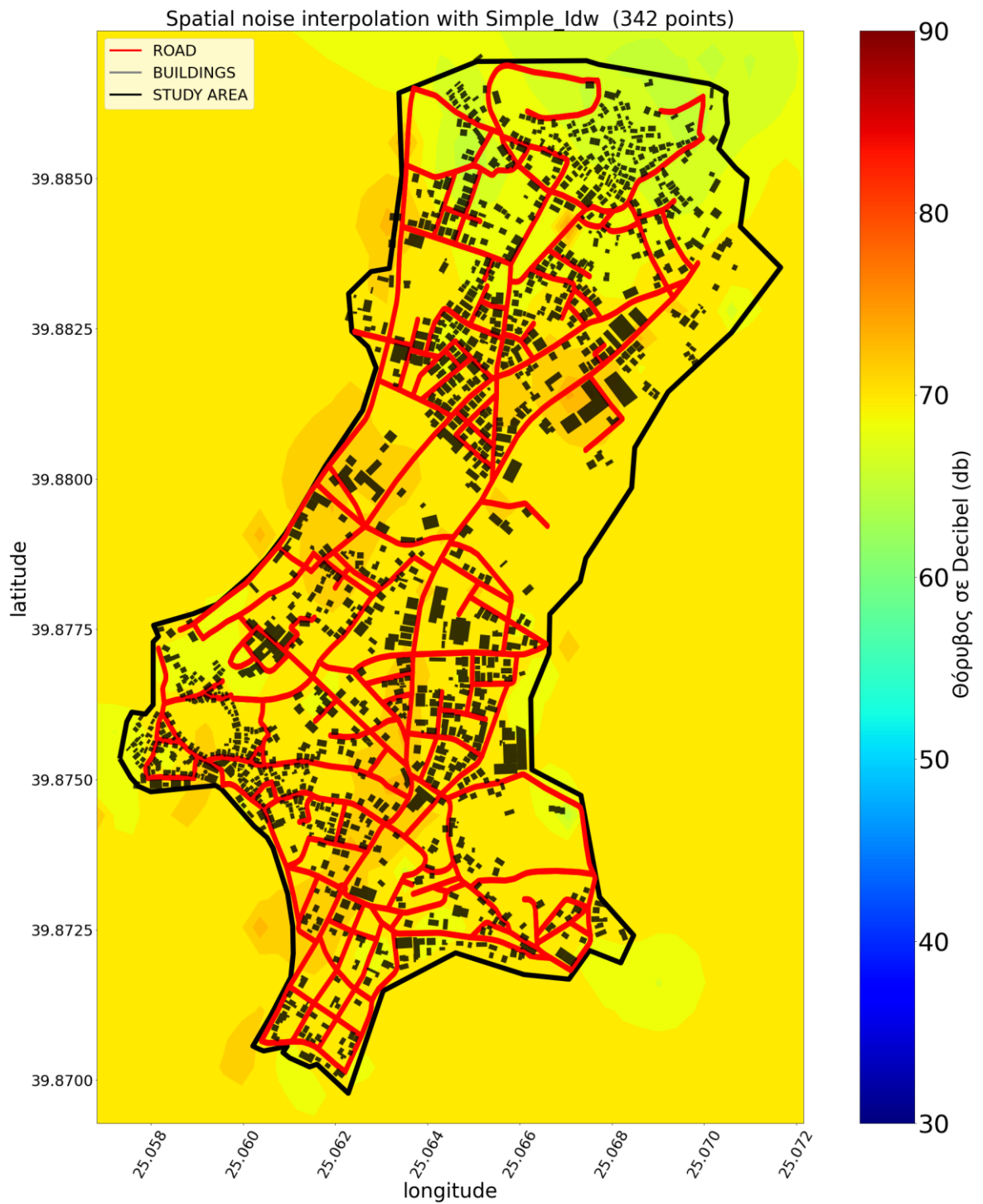
def distance_matrix(x0, y0, x1, y1):
    obs = np.vstack((x0, y0)).T
    interp = np.vstack((x1, y1)).T
    d0 = np.subtract.outer(obs[:,0], interp[:,0])
    d1 = np.subtract.outer(obs[:,1], interp[:,1])
    # calculate hypotenuse
    return np.hypot(d0, d1)

def simple_idw(x, y, z, xi, yi, power=1):
    dist = distance_matrix(x,y, xi,yi)
    # In IDW, weights are 1 / distance
    weights = 1.0/(dist+1e-12)**power
    # Make weights sum to one
    weights /= weights.sum(axis=0)
    # Multiply the weights for each interpolated point by all observed z-values
    return np.dot(weights.T, z)

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Εικόνα 35 Απόσπασμα κώδικα (Χαρτογράφηση της IDW παρεμβολής)



Εικόνα 36 Χαρτογραφικά αποτελέσματα του θορύβου με την χρήση της παρεμβολής IDW (επεξεργασία με την χρήση python)

Κεφάλαιο 5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία αξιόπιστων περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης του θορύβου στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας του Δήμου Λήμνου, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής. Στο πλαίσιο της εργασίας προτείνεται και περιγράφεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογράφηση των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου, καθώς και την αξιολόγησή τους, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από τις αρμόδιες αρχές, για τη μείωση των εκπομπών θορύβου στην περιοχή μελέτης. Η συλλογή των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου βασίστηκε στην Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία (VGI) μέσω της εφαρμογής για κινητές συσκευές "NoisePollution". Τα γεωχωρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογράφηση με τη χρήση των βιβλιοθηκών της γλώσσας προγραμματισμού Python. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του περιβαλλοντικού θορύβου ήταν η ντετερμινιστική παρεμβολή Inverse Distance Weighting (IDW) και η γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging.

Στο πλαίσιο της εργασίας, τέθηκε ως υπόθεση εργασίας το ζήτημα εάν η γλώσσα προγραμματισμού Python μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας σύγκρισης και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης της ηχορύπανσης, αξιοποιώντας την ντετερμινιστική παρεμβολή IDW και την γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging, οι οποίες θα βασίζονται στις σημειακές μετρήσεις πεδίου αναφορικά με τον θόρυβο.

Ως προς την ως άνω διατυπωθείσα υπόθεση εργασίας, τέθηκαν τα κάτωθι τρία ερευνητικά ερωτήματα.

- ❖ Συγκεκριμένα το **πρώτο** ερευνητικό ερώτημα που θέσαμε ήταν πως «Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση το μοντέλο Gauss (ή γκαουσιανό μοντέλο) είναι καταλληλότερο για την χαρτογράφηση του θορύβου με την μέθοδο Ordinary Kriging σε σχέση με το σφαιρικό και το εκθετικό μοντέλο».

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν (Πίνακας 4) κατά τη διεξαγωγή της έρευνάς μας και από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, την χαμηλότερη τιμή MSE (ήταν πιο κοντά στο 1), καθώς και το χαμηλότερο RMSE, μας το έδωσε το εκθετικό μοντέλο, υποδεικνύοντας μας ότι το εν λόγω μοντέλο είναι πιο αξιόπιστο σε σχέση με το σφαιρικό και το Gaussian μοντέλο. Το αποτέλεσμα της μελέτης έρχεται να καταρρίψει το ερευνητικό ερώτημα που θέσαμε αρχικά βασιζόμενοι στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, καθώς για τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στην περιοχή μελέτης μας καταλληλότερο μοντέλο από τα τρία προέκυψε πως ήταν το εκθετικό. Σε αντίθεση με το γκαουσιανό μοντέλο, το εκθετικό μοντέλο περιγράφει την αυτοσυσχέτιση ως μια εκθετική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των σημείων. Αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος εκτιμάται ως μια εκθετική διαδικασία, με αποκλίσεις που μειώνονται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των σημείων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου εξαρτάται από τα δεδομένα και μπορεί να απαιτείται δοκιμή και σύγκριση διαφόρων μοντέλων για να επιτευχθεί η καλύτερη χαρτογράφηση του θορύβου.

- ❖ Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα που θέσαμε ήταν ότι «Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση η μέθοδος Ordinary Kriging, παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις αναφορικά με την ηχορύπανση σε σχέση με την μέθοδο IDW.»

Όταν συγκρίνουμε τις μεθόδους IDW και Ordinary Kriging για την πρόβλεψη της ηχορύπανσης, χρησιμοποιούμε διάφορα μέτρα αξιολόγησης, εκ των οποίων πιο σύνηθες είναι το Root Mean Squared Error (RMSE), το οποίο μας δίνει μια εκτίμηση για τη μέση απόκλιση μεταξύ των προβλέψεων και των πραγματικών τιμών. Βάσει των αποτελεσμάτων που λάβαμε από τις υπολογιστικές διαδικασίες, συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος Ordinary Kriging με το εκθετικό μοντέλο παρουσιάζει μικρότερο Root Mean Squared Error (RMSE)

ίσο με 10,07, ενώ η μέθοδος IDW έχει RMSE 10,88. Αυτό υποδεικνύει ότι η μέθοδος Ordinary Kriging παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις σε σχέση με τη μέθοδο IDW. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και τις συνθήκες του προβλήματος. Η μέθοδος IDW είναι απλούστερη και ευκολότερη στην υλοποίηση, αλλά μπορεί να εμφανίζει μεγαλύτερο σφάλμα εάν τα δείγματα δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο κατανομής. Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος Ordinary Kriging είναι μια γεωστατιστική τεχνική που λαμβάνει υπόψη τη γεωγραφική αυτοσυσχέτιση των δειγμάτων, αλλά απαιτεί περισσότερους υπολογισμούς και είναι πιο πολύπλοκη. Συνολικά, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η μέθοδος Ordinary Kriging παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις από τη μέθοδο IDW, με βάση το μικρότερο Root Mean Square Error (RMSE) που παρουσιάζει, επαληθεύοντας το ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε. Ωστόσο, πρέπει να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και τις απαιτήσεις του προβλήματος προκειμένου να επιλέξουμε την καταλληλότερη μέθοδο για τη συγκεκριμένη περίπτωση.

❖ Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα που θέσαμε είναι πως «Οι βιβλιοθήκες της γλώσσας προγραμματισμού Python μπορούν να συμβάλλουν στην υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας χαρτογράφησης του θορύβου.» Τα τελικά αποτελέσματα που λάβαμε επιβεβαιώνουν το ερευνητικό ερώτημα που θέσαμε, καθώς η python αποτέλεσε ένα πολύτιμο εργαλείο στην υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας χαρτογράφησης του θορύβου.

Από τη διεξαγωγή της ερευνητικής μας διαδικασίας, η οποία αναλυτικά εκτέθηκε ανωτέρω, καθώς και από την εξέταση των επιμέρους ως άνω ερευνητικών μας ερωτημάτων, προέκυψε πως η υπόθεση εργασίας που διατυπώσαμε και θέσαμε υπό έρευνα επιβεβαιώθηκε, καθώς πράγματι αποδείχθηκε τελικώς πως η γλώσσα προγραμματισμού Python μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας σύγκρισης και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης της ηχορύπανσης, αξιοποιώντας την ντετερμινιστική παρεμβολή IDW και την γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging,

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία προβαίνει σε μία αναλυτική περιγραφή διεξαγωγής έρευνας κατά την οποία αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία τριών σταδίων με σκοπό την παραγωγή αξιόπιστων χαρτών πρόβλεψης του θορύβου στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Μύρινας του Δήμου Λήμνου, αξιοποιώντας και συνδυάζοντας σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής. Η συλλογή των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου βασίζεται στην Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία (VGI), όπου η γεωγραφικές πληροφορίες παρέχονται εθελοντικά από άτομα ή ομάδες ατόμων. Για την συλλογή των γεωχωρικών δεδομένων θορύβου χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή «NoisePollution», η οποία υλοποιήθηκε για λογισμικό Android για κινητές συσκευές (smartphones) από το τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής της Σχολής Ψηφιακής Τεχνολογίας του Χαροκοποείου Πανεπιστημίου, έχοντας ως βασικό σκοπό του την καταγραφή της έντασης του ήχου. Τα γεωχωρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογράφηση με τη χρήση των βιβλιοθηκών της γλώσσας προγραμματισμού Python. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του περιβαλλοντικού θορύβου ήταν η ντετερμινιστική παρεμβολή Inverse Distance Weighting (IDW) και η γεωστατιστική παρεμβολή Ordinary Kriging.

Ένα από τα κύρια θέματα που μας απασχόλησε στην παρούσα εργασία ήταν η ακρίβεια των χαρτών πρόβλεψης του περιβαλλοντικού θορύβου. Σύμφωνα με μελέτες η αξιοπιστία των μεθόδων IDW και Ordinary Kriging για την χαρτογραφική πρόβλεψη του θορύβου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως οι υποθέσεις που γίνονται, η διαθεσιμότητα δεδομένων και η φύση του θορύβου που προσπαθούμε να χαρτογραφήσουμε. Η Ordinary Kriging έχει το πλεονέκτημα ότι βασίζεται σε πιο αυστηρές στατιστικές υποθέσεις και λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία των δεδομένων και την αυτοσυσχέτιση του φαινομένου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβείς εκτιμήσεις και προβλέψεις, ειδικά όταν ο θόρυβος ακολουθεί γκαουσιανή κατανομή και όταν υπάρχει αρκετός αριθμός μετρήσεων. Η IDW, από την άλλη πλευρά, είναι μια απλή μέθοδος που δεν κάνει συγκεκριμένες υποθέσεις για την κατανομή των δεδομένων. Μπορεί να παράσχει αποτελέσματα γρήγορα και απλά, αλλά μπορεί να είναι λιγότερο ακριβής σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν ανωμαλίες ή προβλήματα με την κατανομή των δεδομένων. Στην παρούσα εργασία η μέθοδος της παρεμβολής Ordinary Kriging μας έδωσε πιο αξιόπιστα χαρτογραφικά αποτελέσματα σε σχέση με την παραβολή IDW. Γενικά, η επιλογή μεταξύ της Ordinary Kriging και της IDW εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα δεδομένων, την πολυπλοκότητα του θορύβου και την επιθυμητή ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να εξετάζεται η καταλληλότητα της κάθε μεθόδου και να προσαρμόζονται οι υποθέσεις και οι παράμετροι ανάλογα με την εφαρμογή και τα δεδομένα μας.

Το δεύτερο θέμα που μας απασχόλησε ήταν η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την χαρτογράφηση του θορύβου με την μέθοδο Ordinary Kriging. Τα τρία κύρια μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην Kriging είναι το γκαουσιανό (Gaussian), το σφαιρικό (Spherical) και το εκθετικό (Exponential). Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα έχει διαφορετική μαθηματική μορφή και χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το γκαουσιανό μοντέλο θεωρείται καταλληλότερο για τη χαρτογράφηση του θορύβου με την μέθοδο Ordinary Kriging σε ορισμένες περιπτώσεις, σε σχέση με το σφαιρικό και το εκθετικό μοντέλο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το γκαουσιανό μοντέλο παρουσιάζει μια πιο ομαλή απότομη μετάβαση ανάμεσα στις τιμές, ενώ το σφαιρικό μοντέλο και το εκθετικό μοντέλο εμφανίζουν μια απότομη μετάβαση. Στο πλαίσιο της μελέτης που υλοποιήθηκε το καταλληλότερο μοντέλο από τα τρία ήταν το εκθετικό. Το εκθετικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αυτοσυσχέτισης στη μέθοδο Ordinary Kriging. Σε αντίθεση με το γκαουσιανό μοντέλο, το εκθετικό μοντέλο περιγράφει την αυτοσυσχέτιση ως μια εκθετική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των σημείων μέτρησης. Αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος εκτιμάται ως μια εκθετική διαδικασία, με

αποκλίσεις που μειώνονται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των σημείων μέτρησης. Συνοψίζοντας, το μοντέλο Gauss (γκαουσιανό μοντέλο) χρησιμοποιείται συχνότερα για την χαρτογράφηση του θορύβου με τη μέθοδο Ordinary Kriging, ωστόσο η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου εξαρτάται από τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης. Το τρίτο θέμα που μας απασχόλησε ήταν το εάν η γλώσσα προγραμματισμού python μπορεί να συμβάλλει στην υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας χαρτογράφησης του θορύβου. Η χρήση των βιβλιοθηκών Python σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής μπορούν να διευκολύνουν την αυτοματοποίηση των διαδικασιών χαρτογράφησης του θορύβου, καθιστώντας τη διαδικασία πιο αποτελεσματική και ακριβής. Η χρήση της Python μπορεί να επιτρέψει την επαναληπτική εκτέλεση των διαδικασιών και την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων, προσφέροντας ταυτόχρονα ευελιξία και επεκτασιμότητα στο πεδίο της χαρτογράφησης του θορύβου. Η γλώσσα προγραμματισμού Python παρέχει μια φιλική σύνταξη για τον χρήστη και είναι εύκολη στην εκμάθηση, γεγονός που την καθιστά ιδανική για νέους χρήστες. Επίσης, προσφέρει ευελιξία στην ανάπτυξη εφαρμογών χαρτογράφησης θορύβου με τις χωρικές παρεμβολές IDW και Ordinary Kriging, καθώς μπορεί να επεκταθεί για να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών στη χαρτογράφηση. Η γλώσσα Python είναι ανοιχτού κώδικα, δηλαδή είναι δωρεάν και διαθέσιμη για τους χρήστες ώστε να την τροποποιήσουν και να την προσαρμόσουν στις ανάγκες τους. Επιπλέον, διαθέτει πολλές ισχυρές βιβλιοθήκες για τη χαρτογράφηση. Τέλος η γλώσσα προγραμματισμού Python είναι μια ιδανική γλώσσα προγραμματισμού για τους χρήστες GIS, καθώς αποτελεί μια εύκολη γλώσσα προγραμματισμού, είναι αντικειμενοστραφής, η κοινότητα προγραμματισμού Python δημοσιεύει πολλές δωρεάν πληροφορίες στο διαδίκτυο, ενώ ταυτόχρονα τα λογισμικά GIS, έχουν υιοθετήσει την χρήση της Python και επεκτείνουν τη λειτουργικότητά τους με κάθε νέα έκδοσή της. Τα σενάρια Python μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση εργαλείων γεωεπεξεργασίας ArcGIS.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ιστογραμμάτων που υλοποιήθηκαν για τη Δημοτική Ενότητα της Μύρινας που αφορούσαν δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για το πρωινό χρονικό διάστημα από τις 7:00 π.μ. μέχρι 19:00μ.μ., το απογευματινό χρονικό διάστημα από τις 19:00 π.μ. μέχρι 24:00μ.μ. και για το βραδινό χρονικό διάστημα, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συχνότητα τιμών θορύβου για το σύνολο των 342 μετρήσεων για ολόκληρο το εικοσιτετράωρο εμφανίζεται στην κλάση 55 έως 70 decibel χαρακτηρίζοντας την συνολική κατάσταση του θορύβου στην περιοχή μελέτης ως ανεκτή. Αξιολογώντας τα τελικά χαρτογραφικά αποτελέσματα που λάβαμε από τα μοντέλα της παρεμβολής Ordinary Kriging και της παρεμβολής IDW παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει ιδιαίτερα αυξημένη ηχορύπανση στις κεντρικές οδικές αρτηρίες και στην περιοχή του λιμανιού. Επίσης, υπάρχει σχετική ηχορύπανση στον αστικό ιστό και στις περιοχές εκτός του δομημένου περιβάλλοντος, παρατηρείται απουσία του θορύβου.

Η μεθοδολογία που περιγράφεται στην παρούσα εργασία έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί στο μέλλον, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητά της. Μια πιθανή επέκταση είναι η βελτιστοποίηση των μεθόδων πρόβλεψης για τη δημιουργία αξιόπιστων περιβαλλοντικών χαρτών πρόβλεψης θορύβου. Μερικές πιθανές προσεγγίσεις είναι η γραμμική παλινδρόμηση, οι μη γραμμικές μέθοδοι καθώς και η μηχανική μάθηση. Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια κλασική μέθοδος πρόβλεψης, που μπορεί να εφαρμοστεί στα γεωχωρικά δεδομένα θορύβου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα γραμμικά μοντέλα για να εξαχθούν οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών θορύβου και των γεωχωρικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Οι μη γραμμικές μέθοδοι πρόβλεψης μπορούν να παρέχουν ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια στην πρόβλεψη του θορύβου. Ένα παράδειγμα είναι οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines), οι οποίες, μπορούν να αντιμετωπίσουν μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Η μηχανική μάθηση, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, μπορούν να αναγνωρίζουν πολύπλοκες μη γραμμικές συσχετίσεις. Με τη χρήση μηχανισμών εκπαίδευσης και επαναφοράς σφαλμάτων, τα

νευρωνικά δίκτυα μπορούν να μάθουν από τα δεδομένα και να προβλέπουν τον θόρυβο σε νέα σημεία του χώρου.

Επέκταση θα μπορούσε να αποτελέσει η αύξηση των πηγών συλλογής μετρήσεων θορύβου. Εκτός από την εφαρμογή "NoisePollution", θα μπορούσαν να ενταχθούν συστήματα μέτρησης θορύβου από οργανισμούς και αρχές που ενδέχεται να διαθέτουν δικά τους συστήματα. Αυτή η συνεργασία μπορεί να παρέχει πρόσθετα δεδομένα που θα ενισχύσουν την ακρίβεια και την εκτίμηση των προβλέψεων. Επιπλέον, μια εναλλακτική προσέγγιση είναι η χρήση αισθητήρων IoT (Internet of Things) για την συνεχή συλλογή δεδομένων θορύβου. Αυτοί οι αισθητήρες, μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα μέρη της περιοχής μελέτης και να παρέχουν συνεχή παρακολούθηση του θορύβου, προσφέροντας έτσι, πιο λεπτομερή και ενημερωμένα δεδομένα για την ανάλυση και την πρόβλεψη του θορύβου. Η χρήση αυτών των παραπάνω πηγών δεδομένων, θα μπορούσε να βελτιώσει την ποιότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Για την βελτίωση της αξιολόγησης των δεδομένων θορύβου και τη δημιουργία των χαρτών πρόβλεψης, μπορεί να εξεταστούν και άλλες πτυχές του θορύβου πέραν των απλών μετρήσεων. Μπορεί να εξεταστεί η δυναμική του θορύβου, δηλαδή, οι αλλαγές που συμβαίνουν στην ένταση του θορύβου κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της εποχής. Μπορεί επίσης, να αξιολογηθεί η ποιότητα του θορύβου αναφορικά με τις πηγές του, διαπιστώνοντας εάν προέρχεται από διάφορες φυσικές ή ανθρώπινες πηγές. Επιπλέον, μπορεί να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο ο θόρυβος αλληλοεπιδρά με άλλους παράγοντες, όπως η κυκλοφορία ή οι καιρικές συνθήκες. Η ανάλυση αυτών των πτυχών θα συμβάλουν στην κατανόηση και την αντιμετώπιση των προβλημάτων του θορύβου με έναν πιο ολοκληρωμένο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τις ποικίλες επιδράσεις που ενδέχεται να επηρεάζουν την πρόβλεψη του θορύβου.

Μία ακόμα επέκταση αποτελεί η χρήση της μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με τις μεθόδους παρεμβολής και τη γλώσσα προγραμματισμού Python παρέχει μια ισχυρή προσέγγιση για την αυτοματοποίηση και βελτίωση της διαδικασίας ανίχνευσης και ανάλυσης του θορύβου. Η προσέγγιση επιτρέπει την ανάπτυξη ακριβών και αξιόπιστων μοντέλων που μπορούν να αναγνωρίζουν και να αναλύουν τα χαρακτηριστικά και τα μοτίβα του θορύβου, με σημαντικές εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Οι εφαρμογές της μηχανικής μάθησης στην ανίχνευση και χαρτογράφηση του θορύβου είναι πολλές, όπως η ανίχνευση και ταξινόμηση των τύπων θορύβου, η εκτίμηση της έντασης του θορύβου, η παρακολούθηση της εξέλιξης του θορύβου στο χρόνο και η χαρτογράφηση των περιοχών με υψηλή επίπτωση θορύβου. Με τη συνδυασμένη χρήση της μηχανικής μάθησης, των μεθόδων παρεμβολής και της Python, μπορούμε να αναπτύξουμε προηγμένες λύσεις για τη διαχείριση και τον έλεγχο του θορύβου σε διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, η ιατρική και οι τηλεπικοινωνίες.

Τέλος, επέκταση θα μπορούσε να αποτελέσει η αύξηση των ορίων της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε, να εξεταστούν μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές για τη συλλογή δεδομένων θορύβου και τη δημιουργία προβλέψεων. Με την επέκταση της περιοχής μελέτης, θα παρέχονται μεγαλύτερα δείγματα και περισσότερη ποικιλία στα δεδομένα, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε πιο αξιόπιστες προβλέψεις. Επίσης, με την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε διαφορετικές περιοχές, θα αποκτηθεί μια πιο πλήρης εικόνα των μοτίβων και των τάσεων του θορύβου, ενισχύοντας τη γενική αξιοπιστία των προβλέψεων.

Βιβλιογραφία

1. Αποφ. 1023/2/37-ια, Αστυν. Διατ. 3/1996, Μέτρα για την τήρηση της κοινής ησυχίας (15/B` 12.1.1996) .
2. Aumond, P., Can, A., Mallet, V., De Coensel, Bert, Ribeiro, C., Botteldooren, D. and Lavandier, C. (2018). Krigingbased spatial interpolation from measurements for sound level mapping in urban areas. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143, pp.2847–2857. doi:<https://doi.org/10.1121/1.5034799>.
3. Azpurua, M. and Teixeira, K. (2010). A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress In Electromagnetics Research M*, 14, pp.135–145. doi:<https://doi.org/10.2528/PIERM10083103>.
4. Bajjali, W. (2018). Spatial interpolation. *Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment*, pp.219–234. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-61158-7_13.
5. Bocher, E., Guillaume, G., Picaut, J., Petit, G. and Fortin, N. (2019). NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), p.130. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi8030130>.
6. Burrough, P. and McDonnell, R. (1998). *Principle of geographic information systems*.
7. Chambers, J.P. and Jensen, P. (2005). Noise control. In: L.K. Wang, N.C. Pereira and Y. Hung, eds., *Advanced Air and Noise Pollution Control*. [online] Humana Press, pp.453–509. doi:https://doi.org/10.1007/9781592597796_13.
8. Chen, F.-W. and Liu, C.-W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10, pp.209–222. doi:<https://doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1>.
9. Cooper, A.K., Coetzee, S. and Kourie, D.G. (2018). Volunteered geographical information, crowdsourcing, citizen science and neogeography are not the same. *Proceedings of the ICA*, 1, pp.1–8. doi:<https://doi.org/10.5194/ica-proc-1-131-2018>.
10. Devasia, J.T., Thulasigam, M., Lakshminarayanan, S., Naik, B.N., Shanmugavelu, S., Raju, H.K. and Premarajan, K.C. (2022). Geographical Information System-Aided Noise Pollution Mapping of Urban Puducherry, South India. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, [online] 26(3), pp.165–171. doi:https://doi.org/10.4103/ijoem.ijoem_245_21.

11. ΔΗΜΟΣ ΛΗΜΝΟΥ (2015). *ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΗΜΟΥ ΛΗΜΝΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2015-2019*. [online] Limnos.gov.gr. Available at: <https://limnos.gov.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CE%BC%CE%BC/> [Accessed 13 May 2023].
12. Directorate-General for Environment (2023). *Zero pollution: New EU report calls for stronger action to reduce harmful noise pollution*. [online] Environment. Available at: https://environment.ec.europa.eu/news/zero-pollution-new-eu-report-calls-stronger-action-reduce-harmful-noise-pollution-2023-03-20_en [Accessed Apr. 2023].
13. Esmeray, E. and Eren, S. (2021). GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10), pp.15413–15431. doi:<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01303-5>.
14. esri (2019). *Esri: GIS mapping software, spatial data analytics & location platform*. [online] Esri.com. Available at: <https://www.esri.com/en-us/home>.
15. European Environment Agency (2023). *European environment agency's home page*. [online] <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/noise>. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en>.
16. Field, H.L. and Long, J.M. (2018). *Introduction to agricultural engineering technology*. Springer International Publishing. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-69679-9>.
17. Figura, L.O. and Teixeira, A.A. (2007). Acoustical properties. In: *Food Physics*. [online] Springer Berlin Heidelberg, pp.417–426. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-540-34194-9%2%82%812>.
18. ΦΙΛΙΑΣ, B. (2007). *Εισαγωγή Στη Μεθοδολογία Και Τις Τεχνικές Των Κοινωνικών Ερευνών*. Αθήνα: GUTENBERG.
19. Gentile, M., Courbin, F. and Meylan, G. (2012). Interpolating point spread function anisotropy. *Astronomy and Astrophysics*, 549. doi:<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201219739>.

20. GeoPandas (2014). *GeoPandas 0.10.2+0.g04d377f.dirty* — *GeoPandas 0.10.2+0.g04d377f.dirty documentation*. [online] [geopandas.org](https://geopandas.org/en/stable/). Available at: <https://geopandas.org/en/stable/>.
21. ΓΚΙΟΚΑΣ, Η. (2023). *Διπλωματική Εργασία - Χαρτογραφική Απόδοση της Ηχορύπανσης, ως απόρροια του κυκλοφοριακού φόρτου σε γειτονιά του Δ. Αθηναίων*. [online] ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ. Available at: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/57403/final_gkiokas_i_lias_diploma_thesis_2023.pdf?sequence=1.
22. Goodchild, M. and Lam, N. (1980). Areal interpolation: A variant of the traditional spatial problem. *Geo-Processing*, 1.
23. Goodchild, M.F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), pp.211–221. doi:<https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>.
24. Goovaerts, P. (2019). Kriging interpolation. *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (4th Quarter 2019 Edition)*. [online] doi:<https://doi.org/10.22224/gistbok/2019.4.4>.
25. Gringarten, E. and Deutsch, C.V. (2001). Teacher's aide variogram interpretation and modeling. *Mathematical Geology*, [online] 33, pp.507–534. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1011093014141>.
26. Harman, B.I., Koseoglu, H. and Yigit, C.O. (2016). Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. *Applied Acoustics*, 112, pp.147–157. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.05.024>.
27. Jenkins, L., Tarnopolsky, A. and Hand, D. (1981). Psychiatric admissions and aircraft noise from London Airport: four-year, three-hospitals' study. *Psychological Medicine*, 11, pp.765–782. doi:<https://doi.org/10.1017/s0033291700041271>.
28. Καρκαλέτσου, Α. (2014). *Πτυχιακή εργασία - χαρτογράφηση θορύβου με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών - περίπτωση μελέτης δ. Καλλιθέας, αττική*. <https://estia.hua.gr/browse/16517>. ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ Τμήμα Γεωγραφίας.
29. Katz, J.E., Clavijo, R.I., Rizk, P. and Ramasamy, R. (2020). The basic physics of waves, soundwaves, and shockwaves for erectile dysfunction. *Sexual medicine reviews*, [online] 8, pp.100–105. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sxmr.2019.09.004>.

30. Kurra, S. and Dal, L. (2012). Sound insulation design by using noise maps. *Building and Environment*, 49, pp.291–303. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.006>.
31. Lam, N. (1983). Spatial interpolation methods: a review. *American Cartographer*, 10, pp.129–149.
32. Li, J. (2008). *A review of spatial interpolation methods for environmental scientists*.
33. Mälicke, M. (2021). *Home — SciKit GStat 1.0.0 documentation*. [online] scikit-gstat.readthedocs.io. Available at: <https://scikit-gstat.readthedocs.io/en/latest/> [Accessed 16 Apr. 2023].
34. Matplotlib (2012). *Matplotlib: Python plotting — Matplotlib 3.1.1 documentation*. [online] [Matplotlib.org](https://matplotlib.org/). Available at: <https://matplotlib.org/>.
35. Mesene, M., Meskele, M. and Mengistu, T. (2022). The proliferation of noise pollution as an urban social problem in Wolaita Sodo city, Wolaita zone, Ethiopia. *Cogent Social Sciences*, 8. doi:<https://doi.org/10.1080/23311886.2022.2103280>.
36. Miller, H.J. (2004). Tobler’s first law and spatial analysis. *Annals of the Association of American Geographers*, [online] 94, pp.284–289. Available at: <https://www.jstor.org/stable/3693985>.
37. Moliński, S. (2022). Pyinterpolate: Spatial interpolation in Python for point measurements and aggregated datasets. *Journal of Open Source Software*, 7(70), p.2869. doi:<https://doi.org/10.21105/joss.02869>.
38. Moroney, L. (2017). *The Definitive Guide to Firebase*. [online] Berkeley, CA: Apress. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2943-9>.
39. Müller, S., Schüller, L., Zech, A. and Heße, F. (2022). GSTools v1.3: a toolbox for geostatistical modelling in Python. *Geoscientific Model Development*, 15(7), pp.3161–3182. doi:<https://doi.org/10.5194/gmd-15-3161-2022>.
40. Münzel, T., Sørensen, M. and Daiber, A. (2021). Transportation noise pollution and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 18, pp.619–636. doi:<https://doi.org/10.1038/s41569-021-00532-5>.
41. Murphy, B., Müller, S. and Yurchak, R. (2020). *GeoStat-Framework/PyKrig* v1.5.1. [online] Zenodo. Available at: <https://zenodo.org/record/3991907#.ZD5lDXZBxD8> [Accessed 18 Apr. 2023].
42. Nagar, S. (2019). Python. *Encyclopedia of Big Data Technologies*, pp.1321–1324. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-77525-8_269.
43. NoisePollutionApp (2022). *it21549/NoisePollutionApp*. [online] GitHub. Available at: <https://github.com/it21549/NoisePollutionApp> [Accessed 14 May 2023].

44. Νόμος 1650/1986, Για την προστασία του περιβάλλοντος. (ΦΕΚ Α-160/16-10-1986).
45. Numpy (2009). NumPy. [online] Numpy.org. Available at: <https://numpy.org/>.
46. Οδηγία 2002/49/EK (2002). Οδηγία 2002/49/EK του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου, της 25ης ιουνίου 2002, σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου - δηλώσεις της επιτροπής στην επιτροπή συνδιαλλαγής για την έκθεση σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου. [online] Europa.eu. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0049>.
47. Οδηγία 2002/58/EK (2002). Οδηγία 2002/58/EK του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου, της 12ης ιουλίου 2002, σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και την προστασία της ιδιωτικής ζωής στον τομέα των ηλεκτρονικών επικοινωνιών (οδηγία για την προστασία ιδιωτικής ζωής στις ηλεκτρονικές επικοινωνίες). [online] An official website of the European Union. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0058&from=EN>.
48. Oliver, M.A. (2009). The variogram and kriging. *Handbook of Applied Spatial Analysis*, pp.319–352. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7_17.
49. OLIVER, M.A. and WEBSTER, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International journal of geographical information systems*, 4(3), pp.313–332. doi:<https://doi.org/10.1080/02693799008941549>.
50. osmnx (2016). OSMnx 1.1.2 — OSMnx 1.1.2 documentation. [online] [osmnx.readthedocs.io](https://osmnx.readthedocs.io/en/stable/). Available at: <https://osmnx.readthedocs.io/en/stable/>.
51. Π.Δ. 1180/1981, Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών πάσης φύσης μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει (ΦΕΚ 293/Α` 6.10.1981).
52. Pandas (2018). *Python Data Analysis Library — pandas: Python Data Analysis Library*. [online] Pydata.org. Available at: <https://pandas.pydata.org/>.
53. Paper, D. (2019). Introduction to Scikit-Learn. *Hands-on Scikit-Learn for Machine Learning Applications*, pp.1–35. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5373-1_1.
54. Penchala Vineeth (2015). *Inverse distance weighting*. [online] Available at: <https://www.slideshare.net/penchalavineeth/inverse-distance-weighting> [Accessed Apr. 2023].

55. Pirrera, S., De Valck, Elke and Cluydts, R. (2010). Nocturnal road traffic noise: A review on its assessment and consequences on sleep and health. *Environment International*, 36, pp.492–498. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.03.007>.
56. PyKrige (2022). *PyKrige — PyKrige 1.7.0 documentation*. [online] geostat-framework.readthedocs.io. Available at: <https://geostat-framework.readthedocs.io/projects/pykrige/en/stable/index.html> [Accessed 16 Apr. 2023].
57. Radicchi, A. (2018). The use of mobile applications in soundscape research: open questions in standardization.
58. SciPy (2020). *SciPy.org — SciPy.org*. [online] [Scipy.org](https://scipy.org). Available at: <https://scipy.org/> [Accessed 16 Apr. 2023].
59. Shiode, N. and Shiode, S. (2011). Street-level spatial interpolation using network-based IDW and ordinary kriging. *Transactions in GIS*, 15, pp.457–477. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01278.x>.
60. Shrestha, D. (2023). *Inverse distance weighting (IDW)*. [online] www.linkedin.com. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/inverse-distance-weighting-idw-dinesh-shrestha> [Accessed Apr. 2023].
61. Σιδηροπούλου, Μ. (2016). *Γεωμορφολογική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Νήσου Λήμνου (ΒΑ Αιγαίο), τα τελευταία 6000 έτη*. [online] www.didaktorika.gr. Available at: <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/39682> [Accessed 13 May 2023].
62. Sorkin, R. and Loeb, M. (2013). *Noise and human efficiency*. [online] *American Journal of Psychology*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Noise-and-human-efficiency-Sorkin-Loeb/3b4c17f2e6005cdb65ac4c0db5095a1ccf8873cb> [Accessed Apr. 2023].
63. statsmodels (2009). *statsmodels*. [online] www.statsmodels.org. Available at: <https://www.statsmodels.org/stable/index.html> [Accessed 16 Apr. 2023].
64. Taghizadeh, R., Zare, M. and Zare, S. (2013). Mapping of noise pollution by different interpolation methods in recovery section of Ghandi telecommunication Cables Company. *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 2(1), pp.1–11. doi:<https://doi.org/10.18869/acadpub.johe.2.1.2.1>.
65. Tateosian, L. (2015). Introduction. *Python For ArcGIS*, pp.1–11. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-18398-5_1.
66. TEE (2008). *Το πρόβλημα της Αστικής Ηχορύπανσης – Η σημασία των Τεχνικών Πρόληψης στην Πηγή, κατά την Διάδοση, στον Αποδέκτη και ο ρόλος του*

- Καταναλωτή*. [online] http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301_hatziliberis.pdf. Available at: http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301_hatziliberis.pdf [Accessed 14 May 2023].
67. Whitaker, J. (2006). *pyproj: Python interface to PROJ (cartographic projections and coordinate transformations library)*. [online] PyPI. Available at: <https://pypi.org/project/pyproj/> [Accessed 16 Apr. 2023].
 68. World Health Organization (2019). *Environmental noise guidelines for the European Region*. [online] www.who.int. Available at: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>.
 69. Υ.Α. 13586/724/2006, Καθορισμός μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2002/49/EK 'σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου' του Συμβουλίου της 25-6-2002 (ΦΕΚ 384/Β` 28.3.2006).
 70. Υ.Α. 37393/2028/2003, Μέτρα και όροι για τις εκπομπές θορύβου στο περιβάλλον από εξοπλισμό προς χρήση σε εξωτερικούς χώρους (ΦΕΚ 1418/Β` 1.10.2003).
 71. Υ.Α. Α1β/8577/1983, Υγειονομικός έλεγχος των αδειών ιδρύσεως και λειτουργίας των εγκαταστάσεων επιχειρήσεων υγειονομικού ενδιαφέροντος, καθώς και των γενικών και ειδικών όρων ιδρύσεως και λειτουργίας των εργαστηρίων και καταστημάτων τροφίμων ή/ και ποτών (ΦΕΚ 526/Β` 8.9.1983).
 72. Υ.Α. Α5/3010/1985, Μέτρα προστασίας της Δημόσιας Υγείας από θορύβους μουσικής των Κέντρων διασκέδασης και λοιπών Καταστημάτων (ΦΕΚ 593/Β` 2.10.1985).
 73. Υ.Α. οικοθεν 17252/1992, Καθορισμός δεικτών και ανωτάτων επιτρεπομένων ορίων θορύβου που προέρχεται από την κυκλοφορία σε οδικά και συγκοινωνιακά έργα (ΦΕΚ 395/Β` 19.6.1992).
 74. Zhang, G. (2021). Volunteered geographic information. In: *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*. doi:<https://doi.org/10.22224/gistbok/2021.1.1>.