



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Τμήμα Γεωγραφίας



**Χαρτογράφηση θορύβου με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων
Πληροφοριών - Περίπτωση μελέτης Δ. Καλλιθέας, Αττική**

Πτυχιακή εργασία της Καρκαλέτσου Αγορής



Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Τμήμα Γεωγραφίας



**Χαρτογράφηση θορύβου με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων
Πληροφοριών - Περίπτωση μελέτης Δ. Καλλιθέας, Αττική**

Πτυχιακή εργασία της Καρκαλέτσου Αγορής

Επιβλέπων καθηγητής: Χαλκιάς Χρίστος

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014

Κενή σελίδα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4

ΜΕΡΟΣ 1^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	6
1.1. ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	6
1.1.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	6
1.1.2. ΚΛΙΜΑΚΑ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ (dB) – ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΤΩΝ dB	8
1.1.3. ΚΛΙΜΑΚΑ A ΚΑΙ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ A-ΕΠΙΠΕΔΟΥ	10
2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	11
2.1. Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	11
2.2. ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	13
2.3. ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΘΟΡΥΒΟ	16
2.3.1. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ	16
2.3.2. ΕΝΟΧΛΗΣΗ ΛΟΓΩ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	16
2.4. ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	17
2.4.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΥΓΕΙΑΣ	17
2.4.2. ΕΘΝΙΚΑ ΟΡΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	17
2.4.3. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	18
2.4.4. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΕ ΖΩΝΕΣ	20
2.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	20
2.6. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	25
3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ	28
4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	29
4.1. ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	29
4.2. ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	30
4.3. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	31
4.4. ΛΟΓΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ	32
5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ	33
6. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ	45
6.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	47

6.1.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ – INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW)	47
6.1.2. KRIGING	51
6.1.2.1. ORDINARY KRIGING	55
6.2. ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ.....	56
6.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	57
6.3. ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΣΤΟ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ.....	59
6.3.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ	59
6.4. ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ.....	60
6.5. ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ	61
6.6. ΒΑΡΗ KRIGING	62
6.7. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	63
6.8. ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	65
6.9. CROSS VALIDATION - ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ – VALIDATION - ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ	66
6.10. ERRORS-ΣΦΑΛΜΑΤΑ & ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	67
6.11. ΠΛΕΟΝΕΜΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ IDW.....	69
6.12. ΠΛΕΟΝΕΜΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ KRIGING	69
6.13. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	70
6.14. ΣΥΓΚΡΙΣΗ IDW ΜΕ KRIGING	71
6.15. ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ –ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	72
6.16. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	74
6.17. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – GEOSTATISTICAL WORKFLOW.....	74
6.17.1. ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	76
ΜΕΡΟΣ 2^ο : ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ Δ. ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	77
7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	77
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	88
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	130
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	144

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Αναπαράσταση των ιδιοτήτων ηχητικών κυμάτων κατά την συνάντηση εμποδίων	7
Σχήμα 2: Εκτίμηση άγνωστου σημείου	50
Σχήμα 3: (a)-αποστάσεις υστέρησης, (b)- μονάδα υστέρησης διαχωρισμού της απόστασης, ανοχή στην υστέρηση	54
Σχήμα 4: Χαρακτηριστικά ημιβαριογράμματος	58
Σχήμα 5: Χαρακτηριστικά φορέα διαχωρισμού	59
Σχήμα 6: Ανισοτροπία 2 κατευθύνσεων	59
Σχήμα 7: Τύποι ανισοτροπίας	60
Σχήμα 8: Ένα ημιβαριόγραμμα.	62
Σχήμα 9: Εμπειρικό και θεωρητικό ημιμεταβλητόγραμμα	63
Σχήμα 10: Παραδείγματα τεσσάρων κοινών μοντέλων Βαριογράμματος	64
Σχήμα 11: Παράδειγμα περίπλοκου μοντέλου ημιβαριογράμματος	65
Σχήμα 12: Διατάξεις χωρικών δειγμάτων	73
Σχήμα 13: Σχέση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας $[f(x)]$ με τιμές δεδομένων λογαριθμικής μονάδας	92

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Προσθήκη των τιμών ντεσιμπέλ	9
Πίνακας 2: Πηγές θορύβου	14
Πίνακας 3: Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία	18
Πίνακας 4: Κατευθυντήριες οριακές τιμές θορύβου από την οδηγία του ΠΟΥ σε διάφορα περιβάλλοντα	19
Πίνακας 5: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου σε dB(A)	20
Πίνακας 6: Επιπτώσεις του θορύβου	25
Πίνακας 7: Τύποι υπολογισμού σφαλμάτων	68
Πίνακας 8: Χρήσεις γης & σημεία δεδομένα	82
Πίνακας 9: Πίνακας παραμέτρων της μεθόδου Ordinary Kriging	87
Πίνακας 10: Πίνακας παραμέτρων της μεθόδου IDW	88
Πίνακας 11: Στατιστικά ιστογράμματος με λογαριθμική μετατροπή των δεδομένων	89
Πίνακας 12: Μέγεθος υστέρησης (1 ^η στήλη)-αριθμός υστερήσεων (2 ^η στήλη)	100
Πίνακας 13: Σφάλματα πρόβλεψης μεθόδου Kriging	103
Πίνακας 14: Σφάλματα πρόβλεψης μεθόδου IDW	104

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Γεωστατιστική ροή εργασίας	75
Διάγραμμα 2: Ροή βημάτων στα πλαίσια της μεθοδολογίας της συγκεκριμένης μελέτης....	84
Διάγραμμα 3: Ροή βημάτων εφαρμογής των μεθόδων παρεμβολής	85
Διάγραμμα 4: Διακύμανση του επιπέδου του ήχου με την απόσταση	128
Διάγραμμα 5: Διακύμανση του επιπέδου του ήχου με την απόσταση	129

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Ηχομέτρηση στην οδό Σιβιτανίδου	78
Εικόνα 2: Α. Γεωγραφική τοποθέτηση του δήμου Καλλιθέας στον Νομό Αττικής, Β. Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης στον δήμο Καλλιθέας.....	79
Εικόνα 3: Σημεία μέτρησης στο πεδίο αναπαριστούμενα με κόκκινες κουκίδες	80
Εικόνα 4: Οδοί δρόμων περιοχής μελέτης.....	81
Εικόνα 5: Χρήσεις γης & σημεία ενδιαφέροντος (σχολεία) της περιοχής μελέτης	83
Εικόνα 6: Ιστογράμματα.....	90
Εικόνα 7: Ιστογράμματα.....	91
Εικόνα 8: Τάση δεδομένων	93
Εικόνα 9: Χάρτες Voronoi.....	95
Εικόνα 10: Ημιβαριογράμματα	100
Εικόνα 11: Επιφάνειες ημιβαριογράμματος.....	101
Εικόνα 12: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 08:00-10:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	105
Εικόνα 13: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 12:00-14:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	106
Εικόνα 14: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 19:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	107
Εικόνα 15: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 08:00-10:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	108
Εικόνα 16: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 12:00-14:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	109
Εικόνα 17: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 19:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	110
Εικόνα 18: Χάρτες θορύβου Κυριακής 08:00-10:00 (1: Kriging, 2: IDW)	111
Εικόνα 19: Χάρτες θορύβου Κυριακής 12:00-14:00 (1: Kriging, 2: IDW)	112
Εικόνα 20: Χάρτες θορύβου Κυριακής 19:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)	113
Εικόνα 21: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 08:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	114
Εικόνα 22: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 08:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW).....	115
Εικόνα 23: Χάρτες θορύβου Κυριακής 08:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)	116
Εικόνα 24: Διαφορά στην ένταση μεταξύ ημερών	123
Εικόνα 25: Τυπικά σφάλματα πρόβλεψης	124
Εικόνα 26: Τυπικά σφάλματα πρόβλεψης	125
Εικόνα 27: Αποτελέσματα της απλής επικύρωσης	126
Εικόνα 28: Θέση σημείων δείγματος και ζώνες απόστασης γύρω από το κύριο οδικό δίκτυο	127

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην Ευρώπη ο θόρυβος αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα. Το 2000, περίπου το 22 % του πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχε εκτεθεί σε επίπεδο θορύβου άνω των 65 dB κατά την διάρκεια της ημέρας (Vallet et al, 2004 – αναφορά στο άρθρο των Nardi et al, 2007) το οποίο σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας σημαίνει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

Ο θόρυβος που είναι μόνιμος σε έναν αστικό ιστό είναι αυτός που προέρχεται από την οδική κυκλοφορία. Ο θόρυβος στους δρόμους αποτελεί μία σημαντική πηγή ρύπανσης με μεγάλη επίδραση στο αστικό περιβάλλον διαβίωσης του ανθρώπου. Είναι ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα για το οποίο θα πρέπει να πραγματοποιούνται μελέτες δεδομένου ότι οι πολιτικές θορύβου στηρίζονται στα αποτελέσματα αυτών των μελετών. Ως μέρος των μελετών και για την αποτίμηση των επιπέδων θορύβου σε μία αστική περιοχή η μέθοδος της χαρτογράφησης του θορύβου ενδείκνυται και είναι αποτελεσματική. Άλλωστε οι χάρτες αποτελούν πολύ ισχυρά εργαλεία στην λήψη αποφάσεων και έναν φιλικό τρόπο για την ενημέρωση των πολιτών.

Η παραγωγή αξιόπιστων χαρτών βασισμένων στην οδική κυκλοφορία σε σύντομο χρονικό διάστημα επιτυγχάνεται με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Γενικότερα, με τη χρήση των ΓΣΠ μπορεί να αξιολογηθεί η επίδραση του θορύβου στον άνθρωπο, να γίνει οπτικά αντιληπτή η γεωγραφική έννοια της πηγής και η χωρική κατανομή του ήχου καθώς επίσης και να γίνει κατανοητή η έννοια της χωροχρονικής μεταβολής του. Χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές παρεμβολής στο ΓΣΠ μπορεί να εξασφαλιστεί μια ακριβής εικόνα της ακουστικής κατάστασης του χώρου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν πρότυπα για την μέθοδο παρεμβολής που θα χρησιμοποιηθεί ή για την πυκνότητα των σημείων δειγματοληψίας που θα χρησιμοποιηθούν για παρεμβολή αν και έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες θορύβου σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες και συνθηθέστερα σε επίπεδο πόλεων, δήμων, γειτονιάς ή ακόμη και μεγάλων αυτοκινητόδρομων. Αυτή η απόφαση δηλαδή αφήνεται στην υποκειμενική κρίση του ερευνητή. Βέβαια, μία τυποποίηση της μεθοδολογίας θα ήταν περισσότερο ικανοποιητική ως προς το ότι τα αποτελέσματα των δημιουργούμενων καμπυλών

θορύβου είναι αυτά που λαμβάνονται υπόψιν στην λήψη αποφάσεων και θα βοηθούσε στην σύγκριση της ηχητικής κατάστασης μεταξύ περιοχών.

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η μείωση της ποιότητας της ζωής από την ηχορύπανση αποτελούν σοβαρό λόγο για την ενσωμάτωση του θορύβου σε μία στρατηγική διαδικασία χάραξης πολιτικής. Παραδειγματικά βάσει των διατάξεων της οδηγίας 2002/49/EK (για την αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου) δημιουργήθηκαν στρατηγικοί χάρτες θορύβου στην Ελλάδα για τον διεθνή αερολιμένα Ελευθέριος Βενιζέλος το 2006, για την Αττική οδό το 2008 και για την Εγνατία οδό το 2009. Μελλοντικά θα υλοποιηθούν στρατηγικοί χάρτες θορύβου για όλες τις μεγάλες πόλεις της Ελλάδος όπως ανακοίνωσε το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής στην επίσημη ιστοσελίδα του με σκοπό να συμπληρωθεί η μεγάλη βάση δεδομένων θορύβου στην νέα υπηρεσία παρατηρήσεων και πληροφοριών περιβαλλοντικού θορύβου για την Ευρώπη με την ονομασία NOISE (Noise Observation and Information Service for Europe). Μέχρι στιγμής στην νέα υπηρεσία για την Ελλάδα υπάρχουν πληροφορίες μόνο για το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος.

Στην παρούσα εργασία που εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών στο Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου δίνεται ένα παράδειγμα μελέτης θορύβου όπως πραγματοποιήθηκε από το πρώτο βήμα της συλλογής των δεδομένων θορύβου μέχρι την οπτικοποίηση του σε χάρτη.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να αναφέρω πως από την αρχή της εργασίας ο επιβλέπωντας καθηγητής μου Κος Χαλκιάς Χρίστος με βοήθησε με τις συμβουλές του και την στήριξή του και για τον λόγο αυτό θα ήθελα πολύ να τον ευχαριστήσω. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Κλάδη Δημήτρη για την βοήθειά του κατά την διάρκεια των ηχομετρήσεων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ποσοτικοποίηση της χρονικής και χωρικής δυναμικής της ηχορύπανσης που προκαλείται από την οδική κυκλοφορία στον δήμο Καλλιθέας στην Αττική. Η οδική κυκλοφορία είναι κύρια πηγή θορύβου σε μία αστική περιοχή και επίσης μόνιμη. Για την ανάλυση της επίδρασης του θορύβου στον πληθυσμό και για τον έλεγχο της κατανομής του θορύβου στον χώρο και τον χρόνο η χαρτογράφηση του θορύβου είναι απαραίτητη. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν χάρτες θορύβου σε ένα περιβάλλον GIS χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα και τεχνικές παρεμβολής. Με τον τρόπο αυτό παράγονται αξιόπιστοι χάρτες θορύβου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τα τελικά αποτελέσματα συσχετίστηκαν με την χρήση γης της περιοχής μελέτης όπως επίσης βρέθηκε η σχέση μεταξύ του επιπέδου του θορύβου και της απόστασης από το κύριο οδικό δίκτυο. Γενικά, η εργασία αυτή παρουσιάζει έναν τρόπο χαρτογράφησης του θορύβου των δρόμων, από την αρχή (συλλογή δεδομένων) έως το τέλος (οπτική αναπαράσταση του ήχου). Οι χάρτες θορύβου είναι απαραίτητοι προκειμένου να πληροφορούνται οι τοπικές αρχές και οι πολίτες και να λαμβάνονται αποφάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά: ηχορύπανση, θόρυβος, GIS, χωρική παρεμβολή, IDW, Kriging

ABSTRACT

The aim of this study is the quantification of the temporal and spatial dynamics of noise pollution caused by road traffic in the municipality of Kallithea in Attica. Road traffic is a major source of noise in an urban agglomeration and also permanent. In order to analyze the effect of the noise on the population and control the distribution of noise in space and time noise mapping is necessary. For this purpose noise maps were constructed in a GIS environment by using real data and interpolation techniques. In this way reliable noise maps are made in a short time. The final results were correlated with the land use of the study area as well as the relationship between the sound level and the distance from the main road was found. In general, this paper presents a way for road noise mapping, from the beginning (data collection) to the end (visual representation of the sound). The noise maps are necessary in order to inform the local authorities and the citizens and take decisions for the environment to be protected.

Key words: noise pollution, noise, GIS, spatial interpolation, IDW, Kriging

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηχορύπανση αποτελεί παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας της ζωής και αφορά όλα τα περιβάλλοντα στα οποία κινείται ο άνθρωπος συμπεριλαμβανομένης της κατοικίας και των κοινωνικών και εργασιακών περιβαλλόντων. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αφορούν την υγεία του ανθρώπου και την ευεξία του μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον.

Στην εργασία αυτή εξετάζεται ο θόρυβος που προέρχεται από την οδική κυκλοφορία καθώς είναι η κύρια πηγή θορύβου μέσα στον αστικό ιστό παρούσα σχεδόν σε όλη την διάρκεια της ημέρας.

Σκοπός της εργασίας είναι η παραγωγή αξιόπιστων χαρτών θορύβου σε σύντομο χρονικό διάστημα βασισμένων στην οδική κυκλοφορία με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με στόχο την μελέτη της χρονικής και χωρικής κατανομής του αστικού κυκλοφοριακού θορύβου. Δευτερεύοντα στόχο της εργασίας αποτελεί η εύρεση και η αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ της αιτίας που προκαλεί τον θόρυβο και του αποτελέσματος λόγω της έκθεσής του ανθρώπου σε αυτόν τον τύπο ρύπανσης. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων διευκολύνεται φυσικά μέσα από την οπτική αναπαράσταση της ακουστικής κατάστασης του περιβάλλοντος και την δημιουργία χαρτογραφικού υλικού.

Η χαρτογράφηση του θορύβου μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των ρύπων που σχετίζονται με την κυκλοφορία στην πόλη σε κάθε περίοδο της ημέρας και ως εκ τούτου αναδεικνύεται ως ένα ισχυρό εργαλείο για τον σχεδιασμό της πόλης και τον σχεδιασμό πολιτικών πρόληψης της ρύπανσης. Σε πολλές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες του κόσμου όπως και στην συγκεκριμένη έχει χρησιμοποιηθεί το λογισμικό GIS για την παρακολούθηση και την πρόβλεψη του θορύβου και εν τέλει για την δημιουργία των επιθυμητών χαρτών θορύβου. Ακόμη θα πρέπει να σημειωθεί πως η μετάδοση του θορύβου και η επίδραση του θορύβου στο περιβάλλον έχουν πολλές χωρικές συνιστώσες. Αυτός είναι δηλαδή και ένας επιπλέον λόγος που η χρήση του GIS είναι κατάλληλη σε μελέτες ηχορύπανσης. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψιν χωρική πληροφορία πέραν του επιπέδου του ήχου βελτιώνεται παράλληλα και η ποιότητα των μελετών επίδρασης του θορύβου.

Στη συνέχεια περιγράφεται συνοπτικά η δομή της παρούσας εργασίας με τα κύρια σημεία που εντοπίζονται σε αυτήν.

Το πρώτο κομμάτι της εργασίας είναι καθαρά θεωρητικό. Προέκυψε από βιβλιογραφική ανασκόπηση και αποτελεί ένα πολύ καλό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίχτηκε το πρακτικό κομμάτι. Σε αυτό το πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται βασικά στοιχεία του ήχου και του θορύβου, προσδιορίζεται το πρόβλημα το οποίο εξετάζεται, τονίζεται η σημασία της χαρτογράφησης του θορύβου και ο ρόλος των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στην χαρτογράφηση, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών κοινού θέματος και παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την παρεμβολή και τις μεθόδους παρεμβολής IDW (ντετερμινιστική μέθοδος) και Kriging (στοχαστική – γεωστατιστική μέθοδος) οι οποίες εφαρμόστηκαν στο πρακτικό μέρος.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας που είναι το πρακτικό κομμάτι παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, δίνεται χάρτης με τα σημεία δειγματοληψίας του ήχου, παρέχεται η μεθοδολογία με τα βήματα όπως ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή των μεθόδων παρεμβολής IDW και Kriging και έπειτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερευνητικής ανάλυσης των δεδομένων όπως προαπαιτεί η Kriging και τα τελικά χαρτογραφικά αποτελέσματα των χωρικά συνεχών εικόνων της μετάδοσης του ήχου των χρονικών περιόδων 08:00-10:00, 12:00-14:00, 19:00-21:00 και 08:00-21:00 των ημερών της Δευτέρας, της Παρασκευής και της Κυριακής μαζί με όλους τους ελέγχους ασφαλμάτων που πραγματοποιήθηκαν. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του ήχου και της απόστασης από το κύριο οδικό δίκτυο για την χρονική περίοδο 08:00-21:00 για την Δευτέρα, την Παρασκευή και την Κυριακή και τέλος εξάγονται κάποια χρήσιμα συμπεράσματα από την όλη ανάλυση.

ΜΕΡΟΣ 1^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ο ήχος είναι μία διαταραχή που προκαλείται εξαιτίας μίας κινητής ή δονητικής πηγής, διαδίδεται μέσω ενός ελαστικού μέσου (υγρό, αέριο ή στερεό) σε μία χαρακτηριστική ταχύτητα του εν λόγω μέσου και είναι ικανή να διεγείρει το αισθητήριο της ανθρώπινης ακοής [Hendriks R. (1998), Wang L. et al (2005)].

Από τον ορισμό προκύπτει ότι, ο ήχος είναι ένας μηχανισμός ο οποίος αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία τα οποία είναι η πηγή, η διαδρομή και ο αποδέκτης [ΟΔΗΓΙΑ 2002/49/EK].

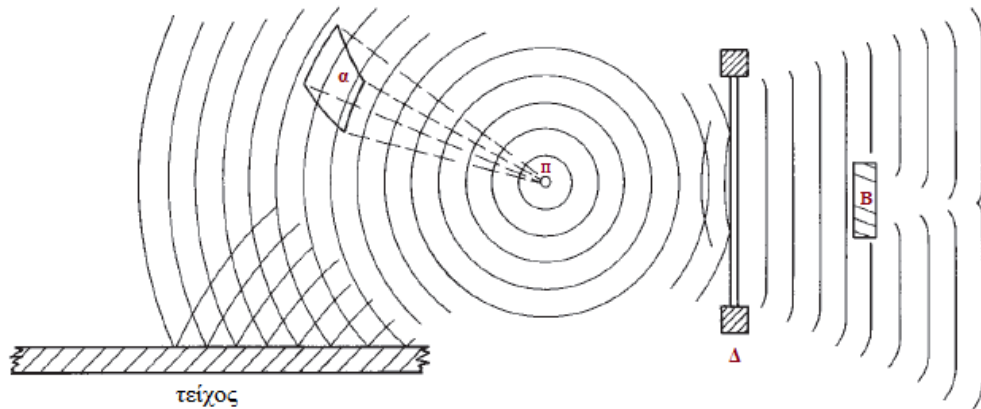
1.1. ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.1.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

- **Ανάκλαση και περίθλαση:** Ο ήχος που διασχίζει ένα μέσο ανακλάται όταν έρχεται σε επαφή με ένα άλλο μέσο στο οποίο η ταχύτητα του ήχου είναι διαφορετική. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά στην ταχύτητα τόσο πιο αποτελεσματική μπορεί να είναι η ανάκλαση. Σε περίπτωση που η επιφάνεια που θα συναντήσει ο ήχος είναι συμπαγής, σταθερή, ανελαστική και επίπεδη τότε θα συμβεί ολική ανάκλαση. Αυτό σημαίνει πως η γωνία πρόσπτωσης του ηχητικού κύματος θα ισούται με την γωνία ανάκλασης. Το ηχητικό κύμα χάνει ένα μικρό μέρος της ενέργειάς του μετά την ανάκλαση εξαιτίας της θερμότητας που σχηματίζεται λόγω της κρούσης. Το ποσοστό της ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα εξαρτάται από το υλικό στο οποίο προσπίπτει το κύμα. Στο σχήμα 1 τα ηχητικά κύματα που προσκρούουν στον τείχο ανακλώνται αλλάζοντας πορεία. Στην ίδια εικόνα τα ηχητικά κύματα που συναντούν την διαχωριστική ελαστική μεμβράνη στο Δ εν μέρει ανακλώνται από αυτήν και από την άλλη την θέτουν σε δόνηση. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία δευτερεύουσα πηγή ήχου. Συγκεκριμένα με την δόνηση δημιουργούνται νέα κύματα από την άλλη πλευρά της μεμβράνης παράλληλα προς αυτήν. Στη συνέχεια τα ηχητικά κύματα συναντώντας το εμπόδιο Β το οποίο είναι μικρότερο σε διαστάσεις από το μήκος κύματος υπόκεινται στο φαινόμενο της περίθλασης με στόχο να καλύψουν την

περιοχή γύρω και πίσω από αυτό. Η ηχητική σκιά πίσω ακριβώς από το εμπόδιο ονομάζεται ζώνη σιγής.

- **Απορρόφηση:** Το φαινόμενο της απορρόφησης αναφέρεται στην ιδιότητα των υλικών και των αντικειμένων να απορροφούν την ηχητική ενέργεια. Τα υλικά και αντικείμενα αυτά είναι πορώδη με συνέπεια το ηχητικό κύμα να εισχωρεί στις μικρές οπές και να παράγεται θερμότητα εξαιτίας της τριβής από την κίνηση εκεί των μορίων.



Σχήμα 1: Αναπαράσταση των ιδιοτήτων ηχητικών κυμάτων κατά την συνάντηση εμποδίων
Πηγή: Liu D., Roberts H., (1999)

- **Διάθλαση:** Το φαινόμενο της διάθλασης παρατηρείται όταν κατά την διαδρομή του ηχητικού κύματος αλλάζει το μέσο διάδοσης. Τότε το κύμα αλλάζει κατεύθυνση καθώς τα χαρακτηριστικά του νέου μέσου είναι διαφορετικά και ως εκ τούτου αλλάζει και η ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Για παράδειγμα διάθλαση μπορεί να παρατηρηθεί όταν ο ήχος διαδίδεται σε στρώματα διαφορετικής θερμοκρασίας. Στα θερμά σώματα ο ήχος διαδίδεται γρηγορότερα από ότι στα ψυχρά.
- **Διάχυση:** Η διάχυση αποτελεί μία ειδική περίπτωση ανάκλασης κατά την οποία όταν το ηχητικό κύμα συναντήσει μία τραχιά επιφάνεια διασπάται στις επιμέρους συχνότητες του και απλώνεται στον χώρο. Πιο απλά το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν το μέγεθος της ανακλαστικής επιφάνειας είναι ίσο με αυτό του μήκους κύματος του ήχου. Έτσι καθώς συμβαίνει αυτό η ανακλώμενη ηχητική ακτίνα σκεδάζεται σε ασθενέστερες ακτίνες με τυχαία κατανομή στον χώρο και προς διάφορες κατευθύνσεις οι οποίες εξαρτώνται από το σχήμα της

επιφανείας που θα συναντήσει το ηχητικό κύμα. Επομένως τα παράγωγα κύματα που προκύπτουν από το φαινόμενο της διάχυσης χαρακτηρίζονται από μικρότερη ένταση σε σχέση με την αρχική.

- **Παρεμβολή:** Το φαινόμενο της παρεμβολής προκύπτει από την συμβολή δύο κυμάτων της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο και προς αντίθετες κατευθύνσεις. Για παράδειγμα ένας ήχος από μία μοναδική πηγή μπορεί να συνδυαστεί με την ανάκλασή του από μία επιφάνεια και να παραχθεί νέο επίπεδο ήχου εξαιτίας αυτής της παρεμβολής. Το επίπεδο του ήχου εξαρτάται από το αν τα δύο κύματα βρίσκονται σε φάση ή εκτός φάσης. Στην πρώτη περίπτωση ο ήχος ενισχύεται ενώ στην δεύτερη όπου η φάση είναι αντίθετη το τελικό σήμα προκύπτει από την διαφορά τους. Εάν οι ανακλαστικές επιφάνειες είναι κοίλες τα ηχητικά κύματα μπορούν να εστιάσουν σε συγκεκριμένα σημεία και να παράγουν υψηλά επίπεδα θορύβου. Εξαιτίας όμως της διασποράς του ήχου αυτή η συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων δεν γίνεται εμφανής.

Παράδειγμα φαινομένου παρεμβολής από τους Liu D. και Roberts H., (1999):
«Ο θόρυβος μεταξύ δύο παράλληλων τοίχων ενισχύεται σε μία σειρά συχνοτήτων από τον σχηματισμό στάσιμων κυμάτων και αυτή η ενίσχυση εν μέρει μετράει για τα υψηλά επίπεδα θορύβου στους δρόμους της πόλης». Σύμφωνα με το παράδειγμα αυτό ο ήχος από μία πηγή μπορεί να ενισχυθεί λόγω των ανακλάσεων στους τοίχους πέριξ της πηγής που παράγει τον ήχο.

Η κατανόηση των ιδιοτήτων του ήχου είναι σημαντική διότι ο θόρυβος σε ένα σημείο μπορεί να προέρχεται από πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις εξαιτίας παραγόντων όπως οι πολλαπλές πηγές ήχου, οι ανακλάσεις από τους τοίχους, οι ανακλάσεις από το έδαφος και η διάχυση του ήχου στον χώρο.

1.1.2. ΚΛΙΜΑΚΑ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ (dB) – ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΤΩΝ dB

Η μονάδα των ντεσιμπέλ χρησιμοποιείται συχνά στην έκφραση του επιπέδου της ηχητικής πίεσης δηλαδή της έντασης του ήχου. Ο όρος ντεσιμπέλ είναι δανεισμένος από την μηχανική της ηλεκτρικής επικοινωνίας και αυτό που αντιπροσωπεύει είναι μία σχετική ποσότητα [Peterson A. (1980)]. Το ντεσιμπέλ είναι μία αναλογία μεταξύ ενός μετρούμενου μεγέθους και ενός μεγέθους αναφοράς το οποίο συνήθως είναι η ηχητική

πίεση των 20 micro pascal (μPa) ως η ελάχιστη αντιληπτή πίεση αναφοράς από τον άνθρωπο [Τσοχατζόπουλος Ι. (2005)].

Η κλίμακα των ντεσιμπέλ είναι λογαριθμική. Σύμφωνα με τον Wadsworth R. (1983), αυτό σημαίνει πως η απόκριση είναι περίπου ανάλογη προς το λογάριθμο του ερεθίσματος και δεν είναι άμεσα ανάλογη προς το ερέθισμα. Ακόμη η κλίμακα των ντεσιμπέλ είναι περισσότερο κοντά στον τρόπο που το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται τον ήχο και είναι εξυπηρετική καθώς αποφεύγονται τα μεγάλα και δύσχρηστα ποσά που θα προκύπτανε εάν η μονάδα αναφοράς ήταν τα micro pascal. Για παράδειγμα 20.000.000 μPa αντιστοιχούν σε 120 dB [Βαφείδου Ε., Δρίβας Σ., Γκινάλας Τ.]. Χαρακτηριστικά, με μονάδα αναφοράς τα ντεσιμπέλ ως κατώφλι της ακοής για ένα νεαρό άτομο ορίζονται τα 0 dB, ο ελάχιστος ήχος που μπορεί να ακούσει το αυτί, ως όριο δυσφορίας τα 120 dB και ως όριο πόνου τα 140 dB [Liu D., Roberts H., (1999), Silverman S. (1947)]. Το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται τις στάθμες ηχητικής πίεσης από 0 dB έως 140 dB¹. Επομένως η κλίμακα των ντεσιμπέλ είναι περισσότερο εύχρηστη (μπορεί να περιγραφεί χωρίς την

χρήση μεγάλων αριθμών) και πιο πειστική αντιπροσωπεύοντας την μη γραμμική συμπεριφορά του αυτιού. Η μονάδα των ντεσιμπέλ είναι χαρακτηριστική σε περιπτώσεις ελέγχου του επιπέδου ή αλλιώς της στάθμης του ήχου και αυτό που φανερώνει είναι το πόσες φορές μια ποσότητα υπερβαίνει μία άλλη, καθώς τα ντεσιμπέλ είναι ένας λόγος όπως φαίνεται και στην εξίσωση 1 (σελ. 7) και δεν αποτελούν ποσότητα. Για τον λόγο αυτό είναι απαγορευτική οποιαδήποτε αριθμητική πράξη ανάμεσα στις στάθμες ηχητικής πίεσης προτού γίνει η μετατροπή των τιμών των ντεσιμπέλ σε σχετικές δυνάμεις. Τα ντεσιμπέλ συνδυάζονται σε ενεργειακή βάση. Τα ντεσιμπέλ μετατρέπονται σε δυνάμεις,

Διαφορά μεταξύ δύο τιμών ντεσιμπέλ	Ποσό για πρόσθεση στην υψηλότερη τιμή στάθμης
0	3.0
1	2.5
2	2.0
3	2.0
4	1.5
5	1.0
6	1.0
7	1.0
8	0.5
9	0.5
10	0

Πίνακας 1: Προσθήκη των τιμών ντεσιμπέλ.
Πηγή: Liu D., Roberts H., (1999), Προσωπική επεξεργασία

¹ Η κλίμακα των ντεσιμπέλ λαμβάνει τιμές από $-\infty$ έως $+\infty$ αλλά το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται τιμές στάθμης ηχητικής πίεσης σε ένα μικρό εύρος, από 0 dB έως 140 dB [Kluijver H. et al (2000)].

γίνονται οι αριθμητικές πράξεις μεταξύ των δυνάμεων και έπειτα οι δυνάμεις μετατρέπονται ξανά σε ντεσιμπέλ. Η στάθμη θορύβου σε συνδυασμό με την στάθμη θορύβου του ίδιου επιπέδου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης κατά 3 dB. Η μεθοδολογία για τον συνδυασμό ντεσιμπέλ περιλαμβάνει τρία βήματα. Το πρώτο βήμα αφορά την αφαίρεση μεταξύ των δύο τιμών ντεσιμπέλ με διαφορετικές στάθμες θορύβου. Το δεύτερο βήμα αποτελεί η αντιστοίχιση της διαφοράς με το ποσό που θα πρέπει να προστεθεί στο υψηλότερο επίπεδο σύμφωνα με τον πίνακα 1. Στο τελευταίο βήμα γίνεται πρόσθεση της τιμής που βρέθηκε από τον πίνακα με την μία από τις δύο αρχικές στάθμες θορύβου η οποία είχε την μεγαλύτερη τιμή. Ένας ακόμη τρόπος για το άθροισμα θορύβων είναι η ακολουθία του παρακάτω τυπολογίου:

$$L_p = 10 \log_{10} [10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10} + \dots + 10^{L_{pn}/10}]$$

όπου L_p : η τελική στάθμη ηχητικής πίεσης και $L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pn}$: οι μετρούμενες στάθμες ηχητικής πίεσης. Η ανάλυση της έννοιας της στάθμης ηχητικής πίεσης επεξηγείται παρακάτω στην ενότητα ‘Η μέτρηση του θορύβου’.

1.1.3. ΚΛΙΜΑΚΑ Α ΚΑΙ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ Α-ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Η κλίμακα Α αποτελεί ένα σύστημα στάθμισης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί συντελεστές οι οποίοι είναι αντιπροσωπευτικοί των επιπέδων θορύβου όπως υποκειμενικά τα αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί. Πιο απλά οι συντελεστές διορθώνουν την συχνότητα έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει την απόκριση του αυτιού το οποίο αντιλαμβάνεται τον ήχο με υποκειμενικό τρόπο. Η κλίμακα αυτή λειτουργεί στο ακουστικό ηχητικό φάσμα σε ένα εύρος συχνοτήτων μεταξύ 20 Hz και 20 KHz [Nardi A., Neto O., Viveiros E. (2007), Stoter J. (1999)]. Χαρακτηριστικό της κλίμακας Α είναι ότι δίνει περισσότερη έμφαση στους ενοχλητικούς ήχους μεσαίας και υψηλής συχνότητας (500-4.000 Hz) [Wang L. et al (2005)]. Ηλεκτρονικό δίκτυο στάθμισης Α είναι ενσωματωμένο σε όργανα καταγραφής του ήχου όπως είναι τα ηχόμετρα έτσι ώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι πιο αντιπροσωπευτικά της επίδρασης του θορύβου στον άνθρωπο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράζονται ως ντεσιμπέλ Α-επιπέδου ή ως dB(A). Η μέθοδος στάθμισης είναι σημαντική καθώς με

την μέθοδο αυτή λαμβάνεται υπόψιν το περιεχόμενο της συχνότητας του θορύβου αφού το ανθρώπινο αυτί δεν είναι το ίδιο ευαίσθητο σε κάθε συχνότητα. Η κλίμακα A είναι αυτή που χρησιμοποιείται συνήθως αφού προσομοιάζει πολύ καλά την απόκριση του ανθρώπινου αυτιού στον βαθμό που αντιλαμβάνεται τον θόρυβο. Για αυτό το λόγο οι περισσότερες νομοθεσίες θέτουν όρια στάθμης θορύβου σε dB(A). Πιο απλά ο θόρυβος που μετράται πολλαπλασιάζεται με μία συνάρτηση A η οποία προσαρμόζει τον θόρυβο στο ανθρώπινο αυτί, δηλαδή σύμφωνα με τον Σκαρλάτο Δ. (1987) «η συνάρτηση εξασθενεί τον θόρυβο ανάλογα με την ευαισθησία του ανθρώπινου αισθητηρίου στις διάφορες συχνότητες ώστε ο θόρυβος που μετράει το όργανο να είναι ίδιος με αυτόν που ακούμε». Σύμφωνα με τους Davis G., Jones R. (1989), τα ντεσιμπέλ σχετίζονται με το πώς ακούμε καλύτερα, από ότι οι απόλυτοι αριθμοί ή οι απλές αναλογίες, και αυτό που επιτυγχάνουν είναι να απλοποιούν τα πράγματα και να μην τα κάνουν πολύπλοκα.

2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο θόρυβος είναι ο ανεπιθύμητος ήχος [Abdurrahman G. et al, Ingold K. et al (2009), Πράσινη Βίβλος, Liu D., Roberts H., (1999), Liu D., Liptak B., (1999), Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1996), ΟΔΗΓΙΑ 2002/49/EK] ή η ανεπιθύμητη επίδραση του ήχου. Ως εκ τούτου τα χαρακτηριστικά του θορύβου είναι τα χαρακτηριστικά του ήχου. Όπως αναφέρθηκε και στον ορισμό του ήχου τα ηχητικά κύματα διαδίδονται μέσα από ένα ελαστικό μέσο σε μία ταχύτητα εγγενή σε αυτό το υλικό διάδοσης. Για παράδειγμα σε ένα αέριο μέσο, όπως ο αέρας, τα ηχητικά κύματα παράγουν σημαντικές αλλαγές στην πυκνότητα του αέρα και συνεπώς και στην πίεση του αέρα. Η παράμετρος που προσφέρεται για την ποσοτικοποίηση είναι η ηχητική πίεση που είναι η στοιχειώδης διακύμανση της πίεσης πάνω και κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Το επίπεδο πίεσης ήχου αντιπροσωπεύει το μέγεθος της πηγής θορύβου και είναι ένα από τα χαρακτηριστικά που εκτιμάται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που ένας δεδομένος θόρυβος θεωρείται ενοχλητικός [Wang L. et al (2005)].

2.1. Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Η αντίληψη του θορύβου από το κάθε άτομο είναι υποκειμενική, ποικίλει από άτομο σε άτομο και από το ίδιο το άτομο σε διαφορετική στάση ζωής. Ο θόρυβος έχει υποκειμενικό χαρακτήρα, όμως εξαιτίας της ανάγκης για κατάταξη και σύγκριση των διάφορων παραγόμενων θορύβων περιγράφεται κατά προσέγγιση ποσοτικά. Σύμφωνα με την Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1996) ο ήχος ως φυσικό μέρος του θορύβου περιγράφεται ποσοτικά όσον αφορά:

- i. **Ένταση:** Η ένταση του ήχου είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα χρόνου και επιφανείας (Σχήμα 1, α) και εκφράζεται ως το μέσο εύρος των κυμάτων ηχητικής πίεσης. Μεγαλύτερο εύρος κυμάτων σημαίνει μεγαλύτερη ένταση του ήχου. Συνήθως η ένταση του ήχου αναφέρεται ως στάθμη ηχητικής πίεσης (L_p) μετρημένη σε ντεσιμπέλ. Η στάθμη ηχητικής πίεσης δίνεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$L_p = 10 \log (p/p_0)^2 \quad [1]$$

όπου L_p : η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB, p : η ηχητική πίεση του μετρούμενου θορύβου σε μPa , p_0 : η ηχητική πίεση αναφοράς ($20 \mu\text{Pa}$).

Ένα σύνηθες παράδειγμα για την κατανόηση της σχέσης μεταβολής της στάθμης ηχητικής πίεσης και του μεγέθους που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί αναφέρεται στο ότι μία αύξηση της στάθμης ηχητικής πίεσης κατά 10 dB έχει ως αποτέλεσμα σχεδόν τον διπλασιασμό της έντασης του ήχου όπως υποκειμενικά τον αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος.

- ii. **Συχνότητα:** Η συχνότητα του ήχου καθορίζεται από το πόσο γρήγορα συμβαίνουν οι μεταβολές στην πίεση του μέσου διάδοσης του κύματος όπως είναι ο αέρας και μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hz). Εξαιτίας του ότι το αυτί είναι περισσότερο ευαίσθητο σε συχνότητες μεταξύ 0.5 kHz και 4-5 kHz η στάθμη ηχητικής πίεσης σταθμίζεται με την στάθμιση A και προκύπτει η A στάθμη ηχητικής πίεσης η οποία μετράται σε dB(A). Η εξίσωση της A στάθμης ηχητικής πίεσης μοιάζει με την εξίσωση [1] με την διαφορά ότι η A στάθμη ηχητικής πίεσης συμβολίζεται ως L_{pA} και μετράται σε dB(A).
- iii. **Χρονικό ιστορικό:** Οι περισσότεροι ήχοι παρουσιάζουν διακύμανση στον χρόνο είτε είναι σε μικρή κλίμακα όπως μπορεί να συμβαίνει σε ορισμένη απόσταση από το οδικό δίκτυο είτε σε μεγάλη κλίμακα, για παράδειγμα κοντά

σε αεροδρόμιο. Για την περιγραφή τέτοιου είδους ηχητικών γεγονότων με διακύμανση στον χρόνο χρησιμοποιείται η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης (Leq). Η τιμή που προκύπτει είναι ισοδύναμη με την ενέργεια της πραγματικής ρύπανσης. Ουσιαστικά ο δείκτης αυτός στηρίζεται στην υπόθεση ότι σε όλη την διάρκεια έκθεσης σε ένα περιβάλλον ο θόρυβος μοιράζεται σε ίσες δόσεις ή αλλιώς σε ίσα ηχητικά φορτία. Ο δείκτης αυτός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός για την μέτρηση της μακροπρόθεσμης έκθεσης στον θόρυβο.

Οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο καθορίζονται από την ένταση και τη συχνότητα του θορύβου καθώς και από την διάρκεια έκθεσης σε αυτόν. Γενικά οι θόρυβοι που είναι μεγάλης διάρκειας και έντασης είναι περισσότερο επικίνδυνοι και ενοχλητικοί όπως επίσης και οι θόρυβοι υψηλών συχνοτήτων σε σχέση με τους θορύβους χαμηλών συχνοτήτων. Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο στην μελέτη της επίδρασης του θορύβου στον άνθρωπο αποτελεί και ο τρόπος με τον οποίο διαδίδεται ο θόρυβος σε σχέση με το χρόνο.

Μερικά παραδείγματα:

- Ο περιοδικός ή σποραδικός θόρυβος (που συμβαίνει σε αραιά και ακανόνιστα χρονικά διαστήματα [Λεξικό της κοινής νεοελληνικής] και είναι λιγότερο επικίνδυνος στην ακοή, σε σχέση με τον συνεχή θόρυβο, γιατί το αυτί έχει την ικανότητα να επανέρχεται στα ενδιάμεσα ήσυχα χρονικά διαστήματα δηλαδή να επουλώνεται και να αναζωογονείται.
- Οι σποραδικοί και παλμικοί θόρυβοι είναι συνήθως περισσότερο ενοχλητικοί για τον λόγο ότι είναι απρόβλεπτοι και μπορούν να ξαφνιάσουν τον ανθρώπινο οργανισμό [<http://www.acoustics.gr/info.html>].

2.2. ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Το γενικό πρότυπο του θορύβου σε εξωτερικό χώρο σχηματίζεται από ένα εύρος πηγών θορύβου. Ο θόρυβος που διαχέεται στο περιβάλλον αποτελείται από ένα σύνολο ηχητικών εκπομπών προερχόμενες από ένα σύνολο ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι πολλές και πολύμορφες και για τον λόγο αυτό ο θόρυβος που παράγεται ονομάζεται περιβαλλοντικός θόρυβος [Καραμέρος Ν. (2011)]. Οι πηγές θορύβου κατατάσσονται

συνήθως σε τρεις γενικές κατηγορίες που αφορούν τον βιομηχανικό θόρυβο, τον αστικό θόρυβο και τον θόρυβο από τις μεταφορές. Οι συγκεκριμένες δραστηριότητες που εντάσσονται σε αυτές τις κατηγορίες είναι πολλές, μπορεί να είναι ή να μην είναι προβλέψιμες και ένας τρόπος διάκρισής τους είναι σε σημειακές, γραμμικές και επιφανειακές. Μερικά παραδείγματα πηγών θορύβου δίνονται στο παρακάτω πίνακα :

Σημειακές	Επιφανειακές
<i>Τεχνικός εξοπλισμός εξωτερικού χώρου</i>	<i>Εμπορικές δραστηριότητες</i>
Παραδείγματα:	Παραδείγματα:
• Κομπρεσέρ • Μηχανικό τρυπάνι	• Φορτοεκφορτώσεις • Λαϊκές αγορές
<i>Δίκτυα μεταφορών</i>	<i>Βιομηχανικές ζώνες</i>
Παραδείγματα:	<i>Ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις</i>
• Αυτοκινητόδρομοι • Σιδηρόδρομοι • Αερομεταφορές	Παραδείγματα:
<i>Έργα υποδομής</i>	• Αθλητικές εγκαταστάσεις • Παιδικές χαρές • Υπαίθριες καφετέριες
Παράδειγμα:	<i>Κατασκευαστικές εργασίες</i>
• Οδοποιία	Παραδείγματα:
	• Οικοδομικές εργασίες

Πίνακας 2: Πηγές θορύβου, **Πηγή:** Καραμέρος Ν. (2011), Γουλής Ε. et al (1997), Ε.Ε.Κ (1996), Βίττης Ν. (2011)

Σύμφωνα με πολλούς μελετητές όπως οι Keerthana et al (2013), Chiru A. et al (2009), Koo S. et al (2012), Dintrans A., Prendez M. (2013), Bento C., Diogo A., (2005) ο θόρυβος από την οδική κυκλοφορία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα και μία από τις κύριες πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος ιδιαίτερα όσον αφορά τις μητροπολιτικές και αστικές περιοχές. Σύμφωνα με τον Butler, D. (2004), ο θόρυβος της οδικής κυκλοφορίας αντιπροσωπεύει περίπου το 90% του συνολικού περιβαλλοντικού θορύβου των αστικών περιοχών. Ο θόρυβος από την οδική κυκλοφορία είναι μόνιμος, έχει μεγάλη επίδραση στο αστικό περιβάλλον διαβίωσης και αποτελεί την κύρια πηγή στην οποία οφείλεται η έκθεση των 9/10 του πληθυσμού

που ανήκει στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε επίπεδα στάθμης θορύβου άνω των 65 dB(A). Ο θόρυβος από την αστική κυκλοφορία αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα και πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Ανάμεσα στις κύριες πηγές θορύβου εκτός από την οδική κυκλοφορία περιλαμβάνονται ο σιδηρόδρομος, η εναέρια κυκλοφορία, η βιομηχανία, τα ιδιωτικά και δημόσια έργα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας του Popp C. (1999), στα πλαίσια της καταπολέμησης του θορύβου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, προέκυψε, μέσω της καταγραφής των διάφορων πηγών θορύβου, ότι η οδική κυκλοφορία αποτελεί την σημαντικότερη πηγή θορύβου, ακολουθεί ο σιδηρόδρομος, μετά η βιομηχανία, έπειτα η εναέρια κυκλοφορία, στη συνέχεια η άθληση μαζί με τις ψυχαγωγικές δραστηριότητες και στο τέλος βρίσκονται οι κατασκευαστικές εργασίες.

Ο θόρυβος είναι σωρευτικός και θα πρέπει να εξετάζεται κάθε σημαντική πηγή θορύβου. Τα μέσα μαζικής μεταφοράς που βρίσκονται εντός ή πολύ κοντά στον αστικό ιστό ή σε σχέση με αυτόν (αερομεταφορές), όπως τα τρένα και τα αεροπλάνα, πρέπει εξετάζονται ως προς την ένταση αλλά και την συχνότητα του θορύβου που εκπέμπουν εξαιτίας του γεγονότος ότι λειτουργούν με περιοδικότητα. Ακόμη το γεγονός της ανάμειξης των χρήσεων γης που να συμπεριλαμβάνει κατοικία και βιομηχανία είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των αστικών περιοχών. Εντός βιομηχανικής ζώνης που γειτνιάζει με κατοικίες ισχύουν τα όρια στάθμης θορύβου της βιομηχανικής ζώνης και δεν λαμβάνονται υπόψιν οι επιδράσεις στους μόνιμους κατοίκους της γύρω περιοχής. Πολλές βιομηχανικές ζώνες μπορεί να μην προκαλούν όχληση κατά την λειτουργία τους αλλά κατά την διακίνηση των εμπορευμάτων, την μεγάλη προσέλευση του αγοραστικού κοινού και την ώρα λειτουργίας και διεκπαιρέωσης των διαδικασιών τους.

Επιπλέον κάποιες κατηγορίες εμπορικών δραστηριοτήτων εξαιτίας του είδους των εμπορευμάτων, του τρόπου λειτουργίας τους, των μέσων που χρησιμοποιούν και του ωραρίου διεξαγωγής τους χαρακτηρίζονται ως θορυβώδεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δραστηριοτήτων είναι οι φορτοεκφορτώσεις. Η μεταφορά των εμπορευμάτων σε φορτηγά είναι ένας παράγοντας που ενισχύει τον κυκλοφοριακό θόρυβο σημαντικά. Τέλος η όχληση μπορεί να ενισχυθεί από δευτερεύουσες πηγές θορύβου όπως είναι η δυνατή μουσική και το πλήθος ατόμων σε υπαίθριες καφετέριες, τα κλιματιστικά, η συγκέντρωση των ατόμων σε ψυχαγωγικούς χώρους όπως γήπεδα

και παιδικές χαρές, οι κατασκευαστικές εργασίες στους δρόμους και στις οικοδομές, τα ξυλουργεία, τα συνεργεία αυτοκινήτων, τα δομικά μηχανήματα και άλλες θορυβώδεις επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν ηχομόνωση, γενικά τα μηχανήματα όπως και πολλές άλλες μη προβλέψιμες πηγές θορύβου.

2.3. ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΘΟΡΥΒΟ

2.3.1. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Σε κατοικημένες περιοχές ο θόρυβος στους δρόμους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την κυκλοφορία των οχημάτων ή αλλιώς από τον κυκλοφοριακό φόρτο που προσδιορίζει τον αριθμό των οχημάτων σε σχέση με τον χώρο και τον χρόνο. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τον θόρυβο, οι σημαντικότεροι από τους οποίους σύμφωνα με τον Σκαρλάτο Δ. (1987) είναι:

1. Η γεωμετρία του χώρου
2. Η θερμοκρασία, η υγρασία, η περιεκτικότητα του αέρα σε διάφορα συστατικά
3. Το είδος και η ισχύς των οχημάτων
4. Η κατάσταση των δρόμων
5. Η παλαιότητα και γενικά η μηχανική κατάσταση των τροχοφόρων
6. Το είδος - κατασκευή των κτιρίων στην περιοχή μελέτης
7. Το είδος των καταστημάτων, βιοτεχνιών, εργοταξίων, βιομηχανιών που υπάρχουν στην περιοχή
8. Η κλίση, η μονοδρόμηση, οι διασταυρώσεις και το πλάτος του δρόμου
9. Η ύπαρξη πρασίνου
10. Η ύπαρξη πινακίδων τροχαίας (π.χ.STOP)
11. Η ύπαρξη φωτεινών σηματοδοτών
12. Η ψυχροσύνθεση και νοοτροπία των κατοίκων της περιοχής
13. Η κατανομή των συχνοτήτων του ήχου στον θόρυβο – φασματική ανάλυση του κυκλοφοριακού θορύβου κ.α.

2.3.2. ΕΝΟΧΛΗΣΗ ΛΟΓΩ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο θόρυβος από την φύση του είναι ενοχλητικός. Ο βαθμός ενόχλησης από τον θόρυβο εξαρτάται από τους παρακάτω ακουστικούς και μη ακουστικούς παράγοντες [Kluijver H., Stoter J. (2000), Σκαρλάτο Δ. (1987)]:

1. Από την ένταση του ήχου
2. Από το ύψος της στάθμης του θορύβου
3. Από την διάρκεια του θορύβου
4. Από τον χρονική περίοδο έκθεσης του ανθρώπου στον θόρυβο
5. Από την ώρα της ημέρας
6. Από την ψυχολογία του ανθρώπου
7. Από τα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά του ανθρώπου
8. Από τον βαθμό δυσκολίας της εργασίας των εργαζομένων/μαθητών κ.α.

Η ενόχληση από τον κυκλοφοριακό θόρυβο ενισχύεται εξαιτίας του θορύβου βάθους δηλαδή του θορύβου που προέρχεται από τις κοντινές πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον οι οποίες όμως δεν έχουν σχέση με τον ήχο του αντικειμενικού ενδιαφέροντος.

2.4. ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

2.4.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΥΓΕΙΑΣ

Στο έγγραφο του ΠΟΥ με θέμα τις κατευθυντήριες γραμμές για τον θόρυβο στην κοινότητα [Berglund B. et al (1999)] παρέχονται οι κατευθυντήριες οριακές τιμές για τον θόρυβο στην κοινότητα και για διάφορα περιβάλλοντα όπως συγκεκριμένα αναφέρονται στον πίνακα 4. Οι οριακές τιμές από τον ΠΟΥ αποτελούν διεθνές πρότυπο και τη βάση για την στήριξη διεθνών πολιτικών σχετικά με τα όρια του θορύβου στο περιβάλλον.

2.4.2. ΕΘΝΙΚΑ ΟΡΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το κύριο νομικό πλαίσιο για τα όρια του θορύβου στην Ελλάδα παρέχεται από το άρθρο 14 του νόμου 1650/86 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και από το Προεδρικό Διάταγμα 1180/1981. Τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια θορύβου αναφέρονται εντός του Προεδρικού Διατάγματος και διακρίνονται ανάλογα με την

χρήση της εκάστοτε περιοχής (διάκριση σε: αστική, ημι-αστική, βιομηχανική, μικτή). Τα όρια θορύβου αυτού του εγγράφου καταγράφονται στον πίνακα 3. Τα όρια αυτά είναι ίδια σε σύγκριση με τα δημοσιοποιημένα όρια του ΠΟΥ στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία

(Πηγή: <http://www.minenv.gr/4/ypexode4/pd%201180/81.htm>)

<i>Περιγραφή περιοχής</i>	<i>Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια θορύβου [dB(A)]²</i>
Νομοθετημένες Βιομηχανικές Περιοχές	70
Περιοχές όπου το επικρατέστερο στοιχείο είναι το βιομηχανικό	65
Περιοχές όπου επικρατεί εξίσου το βιομηχανικό και το αστικό στοιχείο	55
Περιοχές όπου επικρατεί το αστικό στοιχείο	50

2.4.3. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο έλεγχος του κυκλοφοριακού θορύβου σε πρώτο στάδιο αντιμετωπίζεται με διαχωρισμό του οδικού δικτύου. Για τις μεγάλες οδικές αρτηρίες (εθνικές οδούς, αυτοκινητόδρομους) τα όρια έχουν τεθεί και σύμφωνα με την ΚΥΑ 17252/92 τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου στην Ελλάδα κυμαίνονται από 67 έως 70 dB. Σχετική νομοθεσία σχετικά με τα όρια του κυκλοφοριακού θορύβου σε αστικό ιστό δεν υπάρχει λόγω της δυσκολίας ελέγχου αυτών και του γεγονότος ότι δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με τον ίδιο τρόπο που αντιμετωπίζεται στους μεγάλους οδικούς άξονες. Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να διαταχθεί ένα σχέδιο για την ελαχιστοποίηση της επιρροής του αστικού οδικού κυκλοφοριακού θορύβου στις ευαίσθητες περιοχές όπως είναι η

² Παρατηρήσεις:

1. Το επιτρεπόμενο όριο μετράται στο όριο του γηπέδου στο οποίο λειτουργεί το εργοτάξιο.
2. Για τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε επαφή με κατοικημένα κτήρια, το ανώτατο όριο καθορίζεται στα 45 dB(A), ανεξάρτητα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται η εγκατάσταση, με το όριο αυτό να μετράται εντός του κατοικημένου κτίσματος με ανοιχτή πόρτα και παράθυρα [Πηγή: Προεδρικό Διάταγμα 1180/1981: http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/293-81.1113378960319.pdf].

στέγαση, το σχολείο και το νοσοκομείο όπου τα όρια θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερα.

Πίνακας 4: Κατευθυντήριες οριακές τιμές θορύβου από την οδηγία του ΠΟΥ σε διάφορα περιβάλλοντα

<i>Συγκεκριμένο περιβάλλον</i>	<i>Κρίσιμες επιπτώσεις στην υγεία</i>	L_{Aeq} dB(A)	L_{Amax} dB(A)
Εξωτερικό περιβάλλον	Σοβαρή ενόχληση, κατά τη διάρκεια της ημέρας και το απόγευμα	55	
	Μέτρια ενόχληση, κατά τη διάρκεια της ημέρας και το απόγευμα	50	
Εσωτερικά υπνοδωμάτια	Ενόχληση ύπνου κατά τη διάρκεια της νύχτας	30	45
Εξωτερικά υπνοδωμάτια	Ενόχληση ύπνου με ανοικτό παράθυρο (εξωτερικές τιμές)	45	60
Σχολείο, εξωτερικός χώρος παιχνιδιού	Ενόχληση (εξωτερική πηγή)	55	
Σχολικές αίθουσες	Κατανόηση της ομιλίας, διαταραχή στην εξαγωγή πληροφορίας, επικοινωνία του μηνύματος	35	
Βιομηχανία, εμπορικές χρήσεις, μαγαζιά και περιοχές με κυκλοφοριακή κίνηση, εσωτερικά και εξωτερικά	Προβλήματα ακοής	70	110
Δημόσιες διευθύνσεις, εσωτερικά και εξωτερικά	Προβλήματα ακοής	85	110
Εξωτερικοί χώροι: πάρκα και περιοχές συζήτησης	Διαταραχή της ομιλίας	#1	
Νοσοκομεία, εσωτερικά	Διαταραχή ύπνου	30	40
#1: Διατήρηση υφιστάμενων ήσυχων περιοχών και της αναλογίας του απρόσμενου θορύβου με τον φυσικό θόρυβο υποβάθρου σε χαμηλά επίπεδα			

2.4.4. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΕ ΖΩΝΕΣ

Τα όρια της στάθμης του θορύβου σε σχέση με την ενόχληση που προκαλούν είναι τα εξής:

Πίνακας 5: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου σε dB(A), Πηγή: ΤΕΕ 2008α

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

Οι κατηγορίες αυτές είναι πολύ βοηθητικές στον χαρακτηρισμό της ηχητικής κατάστασης ενός περιβάλλοντος και στην αξιολόγηση του θορύβου η οποία έγκειται στον βαθμό ενόχλησης του ατόμου. Επιπρόσθετα, η μέθοδος κατηγοριοποίησης κατά την χαρτογράφηση του θορύβου σε αστικό περιβάλλον μπορεί να δώσει καλές πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των ρύπων που σχετίζονται με την κυκλοφορία στις πόλεις μας σε κάθε περίοδο της ημέρας. Ως εκ τούτου ένας χάρτης θορύβου μετατρέπεται σε ένα ισχυρό εργαλείο για τον σχεδιασμό της πόλης και για τον σχεδιασμό πολιτικών πρόληψης της ρύπανσης.

2.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

- **Διαταραχές στην ακοή:** Οι διαταραχές στην ακοή φέρουν τον ορισμό της αύξησης του κατώτατου ορίου της ακοής. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την πολύωρη έκθεσή του σε υψηλά επίπεδα θορύβου κατά την μετάβασή του σε πιο ήσυχο περιβάλλον με την ακρόασή του να συνοδεύεται από εμβοές (βούισμα στα αυτιά). Τα προβλήματα της ακοής εξαιτίας του θορύβου συμβαίνουν κυρίως στην υψηλότερη περιοχή συχνοτήτων από 3000 Hz μέχρι 6000 Hz και ιδίως στα 4000 Hz. Με αύξηση του χρόνου έκθεσης στον θόρυβο για παράδειγμα σε οχτώ ώρες οι συχνότητες που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα είναι τόσο χαμηλές όσο 2000 Hz. Η πολύωρη έκθεση σε υψηλή

ένταση θορύβου και για αρκετό χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει βλάβη και δυσλειτουργία της ακοής. Η βλάβη στην ακοή δεν συμβαίνει για ένταση θορύβου ίση με 75 dB(A) ή μικρότερη έστω και αν η έκθεση σε αυτόν είναι παρατεταμένη. Όμως για 24ωρη έκθεση σε επίπεδα θορύβου των 80 dB(A) ή και υψηλότερα υπάρχει αυξημένος κίνδυνος για εμφάνιση δυσλειτουργίας στην ακοή. Η πίεση ήχου αιχμής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 120 dB(A) για τα παιδιά και τα 140 dB(A) για τους ενήλικες διότι τότε υπάρχει πιθανότητα απώλειας της ακοής. Η βλάβη στην ακοή έχει πολλές αιτίες που μπορεί να προκληθεί πέραν του θορύβου. Για παράδειγμα μπορεί να προκληθεί από ορισμένες ασθένειες ή να έχει κληρονομική προέλευση ή ακόμη να οφείλεται στην διαδικασία της γήρανσης. Η δυσλειτουργία στην ακοή φέρει κοινωνικές συνέπειες εξαιτίας της δυσκολίας στην κατανόηση της ομιλίας σε καθημερινές συνθήκες ζωής [Berglund B. et al (1999)].

- **Φυσιολογικές λειτουργίες:** Η έκθεση στον θόρυβο από εργαζόμενους και ανθρώπους που ζουν κοντά σε βιομηχανίες, αεροδρόμια και θορυβώδεις δρόμους μπορεί να έχει προσωρινή ή μόνιμη επίδραση στις φυσιολογικές λειτουργίες τους. Μόνιμες επιπτώσεις σε ευπαθή άτομα μετά από παρατεταμένη έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου μπορεί να είναι η υπέρταση και η ισχαιμική καρδιακή νόσος. Για τα νεαρά άτομα μία τέτοια έκθεση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αυξημένης αρτηριακής πίεσης και πιθανότατα υπέρτασης. Έρευνα έχει δείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση στον θόρυβο από την οδική κυκλοφορία σε 24ωρη βάση με τιμές ισοδύναμης ηχητικής στάθμης από 65-70 dB(A) επιδρά αρνητικά στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου. Οι επιπτώσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες του ατόμου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του ατόμου, το ιατρικό ιστορικό του, την συμπεριφορά του και φυσικά τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι ενδείξεις της αρνητικής επίδρασης του θορύβου στις φυσιολογικές λειτουργίες του ατόμου είναι σημαντικές διότι όλο και περισσότεροι άνθρωποι επηρεάζονται από αυτόν [Berglund B. et al (1999)].
- **Ψυχική ασθένεια:** Η ψυχική ασθένεια δεν συνδέεται άμεσα με τον περιβαλλοντικό θόρυβο και τα αποτελέσματα των ερευνών δεν έχουν δείξει μία σαφή σχέση μεταξύ τους. Αυτό που έχει παρατηρηθεί είναι η ανάπτυξη

νεύρωσης στο άτομο ιδίως στον εργασιακό χώρο κατά την έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου [Berglund B. et al (1999)].

- **Διαταραχές στον ύπνο:** Η διαταραχή του ύπνου αποτελεί διαταραχή της καλής φυσιολογικής και διανοητικής λειτουργίας με πρωτογενείς επιπτώσεις όπως είναι:

- Δυσκολία στον ύπνο, αφυπνίσεις, αλλαγές των σταδίων του ύπνου δηλαδή του βάθους του, αυξημένη κίνηση του σώματος
- Αυξημένη πίεση του αίματος, αυξημένος καρδιακός παλμός, καρδιακή αρρυθμία, αλλαγές στην αναπνοή
- Μεταβολικές διαταραχές

και δευτερογενείς επιπτώσεις όπως είναι:

- Αυξημένη κόπωση και μειωμένη απόδοση
- Καταθλιπτική διάθεση
- Νευρική και αυξημένη ευερεθιστικότητα

Για τον ύπνο μιας καλής νύχτας, το επίπεδο του ήχου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 30 dB (A) για συνεχιζόμενο θόρυβο του περιβάλλοντος διότι έστω και μεμονωμένα γεγονότα του θορύβου που να υπερβαίνουν τα 45 dB (A) προκαλούν αφυπνίσεις. Ο θόρυβος που δεν είναι συνεχόμενος και έχει διαλείποντα χαρακτήρα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στην διαμόρφωση και καθορισμό των ορίων του θορύβου τις νυχτερινές ώρες και αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψιν τον αριθμό των γεγονότων θορύβου, το επίπεδο της στάθμης του θορύβου και την απόκλιση του επιπέδου αυτού από την μέγιστη στάθμη ηχητικής πίεσης. Η εύρεση των πηγών του θορύβου εκτός του θορύβου του υποβάθρου μπορεί να εξηγήσει τον ανήσυχο ύπνο και ειδικότερα εάν οι συνιστώσες του θορύβου είναι χαμηλής συχνότητας [Ingold K., Köpfli M. (2009), Berglund B. et al (1999), Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1996), Liu D., Roberts H., (1999)].

- **Παρεμβολή στην επικοινωνία:** Οι στάθμες θορύβου που παρατηρούνται σε οδούς, κήπους και εξώστες αποτελούν παρεμβολή στην επικοινωνία. Αυτό σημαίνει πως η συνομιλία δυσκολεύει σε στάθμη συνεχούς θορύβου που φτάνει τα 70 dB(A). Η παρέμβαση ή παρεμβολή του θορύβου στην ομιλία είναι μία διαδικασία συγκάλυψης του ήχου που βγαίνει από τους ανθρώπους με

αποτέλεσμα την δυσχέρεια στην ευκρίνεια της ομιλίας. Για να υπάρξει πλήρη ευκρίνεια στην συνομιλία θα πρέπει το επίπεδο του θορύβου να είναι 15 dB(A) κάτω από το επίπεδο της ηχητικής πίεσης της φυσιολογικής ομιλίας που είναι περίπου 50 dB(A) και η απόσταση μεταξύ των ατόμων να είναι περίπου στο 1 m. Η αδυναμία κατανόησης μίας συνομιλίας κάνει το άτομο να νιώθει μειονεκτικά και συντελεί στην αλλαγή της συμπεριφοράς του. Τα άτομα που είναι ιδιαίτερα ευάλωτα είναι οι ηλικιωμένοι, τα άτομα που έχουν προβλήματα στην ακοή τους, τα μικρά παιδιά που είναι στην διαδικασία εκμάθησης της γλώσσας και οι τουρίστες ή τα άτομα που δεν είναι τόσο εξοικειωμένοι με την γλώσσα [Berglund B. et al (1999), Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1996)].

- **Επιδόσεις:** Ο θόρυβος μπορεί να επηρεάσει την γνωστική διαδικασία και την διαδικασία παραγωγής έργου των μαθητών και των εργαζομένων. Οι γνωστικές διαδικασίες που επηρεάζονται πιο έντονα από τον θόρυβο είναι η ανάγνωση, η προσοχή, η επίλυση προβλημάτων και η απομνημόνευση. Μετέπειτα τα αποτελέσματα του θορύβου ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά και την απόδοση προκαλώντας στρες, κούραση και αύξηση της αρτηριακής πίεσης. Ένδειξη της μειωμένης απόδοσης μπορεί να είναι κάποιο λάθος στην εργασία ή κάποιου ατύχημα. Η μειωμένη απόδοση σε συνδυασμό με τα σύνθετα ζητήματα που θα πρέπει να επιλύσει ο εργαζόμενος ή ο μαθητής αυξάνουν τον βαθμό δυσκολίας και τον χρόνο ενασχόλησης με αυτά. Επομένως τα αυξημένα επίπεδα θορύβου μπορούν να αυξήσουν την μεταβλητότητα στον ρυθμό εργασίας. Ο παρεμβατικός θόρυβος που προκύπτει από τις στιγμιαίες, μη περιοδικές εκρήξεις θορύβου είναι περισσότερο ενοχλητικός από τον συνεχόμενο όμως με την παύση του θορύβου ο εργαζόμενος ή ο μαθητής μπορεί να συνεχίσει την εργασία του [Berglund B. et al (1999), Liu D., Roberts H., (1999)].
- **Γενική όχληση, κοινωνική συμπεριφορά και ψυχολογία:** Μία σοβαρή επίπτωση του θορύβου είναι η ενόχληση του ατόμου. Μελέτες έχουν δείξει ότι η πηγή θορύβου που δημιουργεί το αίσθημα της ενόχλησης στο ευρύ κοινό είναι η οδική κυκλοφορία. Σημαντική είναι η παρατήρηση ότι η ενόχληση που βιώνει το κάθε άτομο διαφέρει τόσο από άτομο σε άτομο όσο και στο ίδιο το άτομο σε διαφορετικές φάσεις της ζωής του αφού σχετίζεται με την ηλικία, την υγεία,

την ιδιοσυγκρασία και τις προτιμήσεις του καθενός. Σύμφωνα με τους Liu D., Roberts H., (1999) η ενόχληση από τον θόρυβο είναι μία ακουστική εμπειρία. Βάσει του ορισμού αυτού και του υποκειμενικού χαρακτήρα του ήχου η εκτίμηση της διαταραχής του ατόμου σε μία δραστηριότητα μπορεί να γίνει μόνο από την αξιολόγηση που θα προκύψει από το ίδιο το άτομο. Η ενόχληση στο άτομο δεν διαφέρει μόνο από τα χαρακτηριστικά του θορύβου και της πηγής του αλλά και από άλλους μη ακουστικούς παράγοντες που αφορούν την οικονομική, κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου. Συμπερασματικά η συνολική ενόχληση εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων οι οποίοι συμβάλλουν στην αξιολόγηση του θορύβου από το άτομο.

Οι ψυχολογικές επιδράσεις του θορύβου αναφέρονται σε προβλήματα όπως είναι η αίσθηση της δυσφορίας, της αγανάκτησης, της υποβαθμισμένης ψυχαγωγίας, της ενόχλησης, της δυσκολίας για επικοινωνία και της αδυναμίας για συγκέντρωση. Οι κοινωνικές επιδράσεις του θορύβου αναφέρονται στην μείωση της διάθεσης των ατόμων για προσφορά βοήθειας στον συνάνθρωπο, στην αλλαγή συμπεριφοράς και στην αύξηση της επιθετικής συμπεριφοράς. Σύμφωνα με έρευνες του 1975, 1977, 1978 [Cohen S., Spacapan S. (1984)] προέκυψε ότι στους ανθρώπους σε θορυβώδεις περιοχές λείπει ή είναι μειωμένη η διάθεση για εξυπηρετικότητα και προσφορά βοήθειας σε σύγκριση με τους ανθρώπους που ζουν σε πιο ήσυχες περιοχές. Όσον αφορά την επιθετική συμπεριφορά οι Cohen S., Spacapan S. (1984) έχουν παρατηρήσει ότι ο θόρυβος αποτελεί παράγοντα αύξησης της επιθετικότητας σε εκείνους όμως που έχουν ήδη την προδιάθεση να επιτεθούν (π.χ. είναι θυμωμένοι), [Berglund B. et al (1999), Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1996), Liu D., Roberts H., (1999), Cohen S., Spacapan S. (1984)].

- **Οικονομική υποβάθμιση περιοχών και κοινωνική ανισότητα:** Ο θόρυβος έχει συντελέσει στην περιβαλλοντική παρακμή των αστικών κέντρων και στην οικονομική υποβάθμιση ορισμένων περιοχών. Ενώ στην πλειοψηφία των αστικών κέντρων ανεπτυγμένων χωρών η αξία των ακινήτων στο κέντρο είναι υψηλότερη από τα προάστια, στην Αθήνα παρατηρείται το αντίθετο με αξίες ακινήτων πολύ χαμηλότερες από τα προάστια. Αυτό το φαινόμενο της μετακίνησης προς τα προάστια συμβαίνει εξαιτίας της έλλειψης περιβαλλοντικής προστασίας των ελληνικών αστικών κέντρων. Το οικονομικό

κόστος που αντιμετωπίζουν οι ιδιοκτήτες των ακινήτων στα αστικά κέντρα είναι μεγάλο τόσο για τους ίδιους όσο και για το κράτος λόγω της μεγάλης απώλειας φορολογικών εσόδων εξαιτίας της υποβάθμισης της αξίας των ακινήτων. Εκτός από τις οικονομικές επιπτώσεις το φαινόμενο αυτό φέρει και κοινωνικές επιπτώσεις καθώς ενισχύει τις κοινωνικές διαφορές και ανισότητες με τους λιγότερο εύπορους να μένουν σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι τα κτίρια εντός των έντονων θορυβωδών περιοχών τείνουν να έχουν χαμηλότερο ενοίκιο. Συνεπώς η ηχορύπανση αποτελεί και ένα κοινωνικό περιβαλλοντικό πρόβλημα [Ingold K., Köpfli M. (2009), Berglund B. et al (1999), <http://www.acoustics.gr/info.html>].

<i>Ψυχολογικές</i>	<i>Φυσιολογικές</i>
> Ενόχληση > Άγχος, νευρική κατάσταση, στρες > Κατάθλιψη > Ενόχληση στην επικοινωνία > Μειωμένη απόδοση > Ερεθισμός > Ψυχοσωματικά συμπτώματα	> Απώλεια ακοής > Καρδιαγγειακά προβλήματα > Αυξημένη πίεση στο αίμα > Πονοκέφαλος > Λιγότερο ήσυχος ύπνος
<i>Οικονομικές</i>	<i>Κοινωνικές</i>
> Κόστος για την μείωση του θορύβου > Δαπάνες για την υγεία > Απώλειες παραγωγής > Δαπάνες για τον χωροταξικό σχεδιασμό	> Δυσκολία στην επικοινωνία > Λιγότερο καλή συμπεριφορά > Επιθετικότητα > Κοινωνικές διακρίσεις

2.6. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Τα μέτρα για την αντιμετώπιση του θορύβου διακρίνονται σε τρεις γενικές κατηγορίες που είναι οι τεχνικές λύσεις, η συμπεριφορά και η εκπαίδευση. Οι τεχνικές λύσεις όπως

οι αλλαγές στο προφίλ των δρόμων και η μείωση ή περιορισμοί στην οδική κυκλοφορία θα πρέπει να μην επηρεάζουν τον ρυθμό ζωής και την κοινωνικοοικονομική σύσταση της χώρας. Οποιαδήποτε αλλαγή μπορεί να γίνει αντιληπτή ως περιορισμός της οικονομικής δραστηριότητας και κινητικότητας καθώς και ως υποβάθμιση της αξίας των ακινήτων και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να γίνεται σταδιακά ώστε να μην προκληθεί η αντίδραση των πολιτών.

Ακόμη τεχνικής φύσεως λύσεις όπως η εισαγωγή ακουστικών εμποδίων ή αλλιώς ηχοπετασμάτων θα πρέπει να αποφεύγονται εντός της πόλης διότι πέρα από ένα αντιαισθητικό αποτέλεσμα επιφέρουν επιπτώσεις όπως για παράδειγμα οπτικές επιπτώσεις, μπλοκάρισμα του φωτός και αλλαγή κατεύθυνσης του ανέμου. Επιπλέον η καλή συμπεριφορά των οδηγών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο (π.χ. αποφυγή κορναρίσματος, φροντίδα του αυτοκινήτου) όπως επίσης και η πληροφόρηση και η εκπαίδευση τους [Bento C., Diogo A., (2005)].

Από το 1996 η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων έχει προτείνει μέσα για την μείωση του θορύβου. Τα μέσα αυτά είναι:

- **Πρότυπα εκπομπών ήχου:** Καθορισμός από τις κυβερνήσεις των οριακών τιμών θορύβου που επιτρέπεται μεμονωμένες πηγές να εκπέμπουν με τη δημιουργία προτύπων εκπομπής θορύβου.
- **Πρότυπα εκπεμπόμενου ήχου:** Τα πρότυπα για τον εκπεμπόμενο ήχο διαμορφώνονται με βάση την έκθεση στον θόρυβο και τις επιπτώσεις στον άνθρωπο δηλαδή με βάση κριτήρια ποιότητας ήχου σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα.
- **Πολεοδομικά μέτρα:** Τα μέτρα αυτά είναι χρήσιμα στην αποφυγή εμφάνισης νέων προβλημάτων και απαραίτητα κατά την φάση της πρόληψης. Η καταπολέμηση του θορύβου μέσω της πολεοδομίας περιλαμβάνει μέτρα και περιορισμούς όπως είναι χαρακτηριστικά ο περιορισμός εκείνης της χρήσης γης που ήδη υφίσταται έκθεση σε υψηλές στάθμες θορύβου και ο περιορισμός της χωροθέτησης νέων θορυβογόνων πηγών (π.χ. μεταφορικοί άξονες ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις), έτσι ώστε να προστατεύονται και να διατηρούνται οι υφιστάμενες καταστάσεις. Ακόμη με βάση την πολεοδομία θα πρέπει να ενθαρρύνεται η συγκέντρωση των θορυβογόνων δραστηριοτήτων

παρά η διασπορά τους στο χώρο ώστε με τον τρόπο αυτό να διαφυλάσσονται άλλες ολιγοθόρυβες περιοχές.

- **Μέτρα υποδομής:** Τα μέτρα αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στα μέτρα περιορισμού κατά την μετάδοση του ήχου (π.χ. προστασία των κτιρίων με ηχομόνωση, ηχοπετάσματα) και στα μέτρα μείωσης του ήχου στην πηγή (π.χ. αντικατάσταση του οδοστρώματος και προώθηση χαμηλοθόρυβων επιφανειών).
- **Οικονομικά μέτρα:** Ύπαρξη οικονομικών κινήτρων για την ανάπτυξη και παραγωγή χαμηλοθόρυβων προϊόντων, φόροι και τέλη για τις εκπομπές θορύβου και οικονομική αποζημίωση των εκτεθειμένων.
- **Λειτουργικές διαδικασίες:** Καθορισμός των ορίων ταχύτητας σε ευαίσθητες περιοχές γύρω από οδούς και σιδηροδρομικές γραμμές και κατά την διάρκεια των χρονικών περιόδων κοινής ησυχίας.
- **Έρευνα και ανάπτυξη:** Η μελέτη και επιστημονική έρευνα γύρω από τον περιβαλλοντικό θόρυβο, τις επιπτώσεις του, τις μεθόδους καταπολέμησής του στοχεύει στην μείωση του προβλήματος. Η οικονομική στήριξη έργων σε πιλοτικό επίπεδο είναι χρήσιμη για την προβολή των πλεονεκτημάτων των προτεινόμενων μέτρων, των τεχνικών, πολεοδομικών και άλλων με στόχο τη μείωση της έκθεσης των πολιτών στον θόρυβο.
- **Ενημέρωση και εκπαίδευση:** Η εκπαίδευση και ενημέρωση των πολιτών μέσω δραστηριοτήτων είναι σημαντική διότι μπορεί να συντελέσει σε ένα βαθμό στην αλλαγή της συμπεριφοράς των πολιτών ως απόρροια της μεγαλύτερης αποδεκτικότητας και συμμόρφωσης στη νομοθεσία και τους κανονισμούς. Επίσης μέσω της ενημέρωσης και της ενθάρρυνσης για την καταπολέμηση του θορύβου είναι δυνατόν να παρουσιαστεί αύξηση του ενδιαφέροντος και της ευαισθητοποίησης του ευρύτερου κοινού.

Η μείωση του θορύβου μπορεί να εξασφαλιστεί στην πηγή ή/και κατά την μετάδοση ή/και στον δέκτη. Παραδειγματικά ο θόρυβος μπορεί να μειωθεί στην πηγή με την χρήση χαμηλοθόρυβων μηχανημάτων, κατά την μετάδοση με την τοποθέτηση εμποδίων-ηχοπετασμάτων είτε φυσικών, με την φύτευση πυκνής βλάστησης, είτε τεχνητών και στον δέκτη με την χρήση προστατευτικών του αυτιού, ακουστικών.

3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και την βιομηχανική επανάσταση στην Ευρώπη η τεχνολογία έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό. Η τεχνολογική πρόοδος έχει σε γενικές γραμμές εξασφαλίσει στον άνθρωπο μία πιο εύκολη και άνετη ζωή ενώ ταυτόχρονα φέρει αρνητικές επιπτώσεις. Μία από αυτές είναι η αύξηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων [Ranjbar H. et al (2012)]. Τα προβλήματα είναι αποτέλεσμα της ρύπανσης που προκαλείται εξαιτίας των βιομηχανικών εξελίξεων [Arana M., Garcia A. (1998), αναφ. στο Ranjbar H. et al (2012)]. Η ρύπανση του περιβάλλοντος παρουσιάζει σημαντική αύξηση απειλώντας με τον τρόπο αυτό την ποιότητα του περιβάλλοντος επηρεάζοντας την υγεία του ανθρώπου όπως επίσης και τα ευαίσθητα οικοσυστήματα του πλανήτη [Kurakula V. (2007)]. Σύμφωνα με τους Ranjbar H. et al (2012) η ρύπανση του περιβάλλοντος αφορά την ρύπανση του αέρα, των υδάτων, την θερμική ρύπανση και την ηχορύπανση.

Στις μεγάλες αστικές περιοχές η ηχορύπανση αποτελεί ένα συνεχώς αυξανόμενο πρόβλημα των κοινοτήτων. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση των επιπέδων θορύβου στις αστικές περιοχές είναι διάφοροι. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι η αύξηση του αστικού πληθυσμού με συνέπεια την αύξηση του όγκου της κυκλοφορίας και άρα της έντασης του ήχου. Οι άξονες κίνησης του ανθρώπου μέσα στον αστικό ιστό διαμορφώνονται με βάση τον τόπο διαμονής και τον τόπο εργασίας τους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η σχέση της κοντινότερης απόστασης [Kurakula V. (2007)]. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ψηλών κτιρίων ώστε περισσότεροι άνθρωποι να μένουν σε πιο περιορισμένο χώρο. Αυτό το είδος του οικισμού συνετέλεσε στην δημιουργία πυκνοκατοικημένων περιβαλλόντων σε αστικές περιοχές πράγμα το οποίο οδήγησε στην αύξηση του όγκου της κυκλοφορίας. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι οι άνθρωποι στηρίζονται στα αυτοκίνητα τους για την μετακίνησή τους, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην αύξηση της ηχορύπανσης.

Ο Kurakula V. (2007) υποστηρίζει πως παρα την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας στα νέα προϊόντα η ηχορύπανση παρατηρείται να συνεχίζει να αυξάνεται εξαιτίας της αύξησης του όγκου της κυκλοφορίας. Η ρύπανση που συνδέεται με την κυκλοφορία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης στην πόλη. Ο θόρυβος είναι από τους σημαντικότερους αστικούς ρύπους και ένα από τα κυριότερα συστατικά ρύπανσης από την κυκλοφορία [Gozalo G., Morillas J., Escobar V. (2014)]. Μεταξύ των

διαφόρων πηγών θορύβου, από την βιομηχανία ή από διάφορες δραστηριότητες, οι πηγές που σχετίζονται με την κυκλοφορία προκαλούν την μεγαλύτερη περιβαλλοντική ανησυχία και την άνοδο του επιπέδου της δυσφορίας, ειδικά σε πυκνής δόμησης περιοχές [El-Fadel M. et al (2002), αναφ. στο Ranjbar H. et al (2012)]. Για τον λόγο αυτό η μελέτη του θορύβου γύρω από οδικούς άξονες είναι πολύ σημαντική.

Ο θόρυβος επηρεάζει την πλειοψηφία των δρόμων των σύγχρονων πόλεων και είναι παρόν σχεδόν σε όλη την διάρκεια της ημέρας (WHO, 1999). Δεν είναι τυχαίο που οι πιο εκτεταμένες μελέτες στον τομέα της ηχορύπανσης έχουν γίνει σε διαφορετικές πτυχές του θορύβου κυκλοφορίας, όπως είναι τα χαρακτηριστικά του θορύβου που αφορούν τις στρατηγικές δειγματοληψίας, τα επίπεδα ρύπανσης, τον βαθμό ενόχλησης και τις επιπτώσεις του θορύβου [Gozalo G. et al (2014), Mehdi M. et al (2011), Ranjbar H. et al (2012), Koo S. et al (2012), Chiru A. et al (2009), Keerthana et al (2013)]. Για την αξιολόγηση και την λήψη μέτρων ελέγχου του θορύβου προηγείται η διαδικασία της χαρτογράφησης. Με βάση την οδηγία 2002/49/EK της ευρωπαϊκής ένωσης απαιτείται από τα κράτη μέλη η εκπόνηση στρατηγικών χαρτών θορύβου για όλες τις μεγάλες πόλεις, δρόμους, σιδηρόδρομους, αερολιμένες και βιομηχανικούς χώρους και η ανανέωσή τους κάθε πενταετία.

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

4.1. ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Το ΓΠΣ παρέχει το κεντρικό περιβάλλον διαχείρισης βάσεων δεδομένων και δεδομένων που μπορούν να εισαχθούν σε ένα ΓΠΣ. Τα φαινόμενα του θορύβου αφορούν τη χωρική τους κατανομή και τη δυναμική τους διαδικασία, η μελέτη των οποίων ταιριάζει σε ένα περιβάλλον ΓΠΣ. Οι νέες προσεγγίσεις χαρτογράφησης σε ΓΠΣ μπορούν να συνδυαστούν με την χωρική ανάλυση των δεδομένων και την μαθηματική μοντελοποίηση που βελτιώνει περαιτέρω την ποιότητα των χαρτών θορύβου. Οι χάρτες θορύβου που κατασκευάζονται σε ΓΠΣ παρέχουν χωρική παρουσίαση της ακουστικής κατάστασης. Οι χάρτες θορύβου είναι πολύ χρήσιμοι στην διαδικασία της ανάλυσης και έπειτα της διαχείρισης. Το ΓΠΣ παρέχει τα εργαλεία για την οπτικοποίηση του θορύβου και βοηθά στην κατασκευή ενός χωρικού συστήματος στήριξης αποφάσεων δηλαδή ενός συστήματος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την διαδικασία στήριξης λήψης αποφάσεων. Η επίδραση του θορύβου μπορεί να προσδιοριστεί σε ΓΠΣ συνδυάζοντας τα επίπεδα του θορύβου με τη θέση των

ανθρώπων που ζουν στην περιοχή και την ευαισθησία τους στον θόρυβο [Kluijver de Henk et al. (2003), αναφ. εντός του Kurakula V. (2007)]. Με βάση τα στοιχεία που παρέχει ο Kurakula V. (2007) στην μελέτη του, η χαρτογράφηση του θορύβου σε ΓΠΣ ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '90.

Οι χάρτες θορύβου είναι πολύ χρήσιμοι για την εκτίμηση της κατάστασης του θορύβου και για την αξιολόγηση της επίδρασής του. Οι χάρτες θορύβου που υπάρχουν σήμερα είναι σε 2D μορφή όπως συνιστάται από την οδηγία της Ε.Ε., σε 2,5D [Kurakula V. (2007)] και σε 3D [Coelho B. et al, (2005)]. Ο Kurakula V. (2007) έχει παρατηρήσει ότι για την κατασκευή των χαρτών θορύβου έχουν χρησιμοποιηθεί δύο προσεγγίσεις. Με βάση την παρατήρηση αυτή και με περαιτέρω βιβλιογραφική ανασκόπηση οι προσεγγίσεις αυτές αφορούν: η μία την μέτρηση του επιπέδου θορύβου στο πεδίο [Guzel Y., Yuksel H. (2006), Iaaly-Sankary A., Foda M. et al (2013), Abdurrahman G. & Bülent B., Cho D. et al (2007)] και η δεύτερη μοντέλα πρόβλεψης του θορύβου [Nardi A. et al (2007), Ranjbar H. et al (2012)]. Με προηγμένες τεχνικές παρεμβολής στο ΓΣΠ είναι δυνατό να ληφθεί μια ακριβής εικόνα της ακουστικής κατάστασης της περιοχής μελέτης παρουσιάζοντας οπτικά τις ζώνες επικινδυνότητας λόγω έκθεσης των ανθρώπων σε υψηλά επίπεδα θορύβου. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται σε έναν πεπερασμένο αριθμό σημείων δειγματοληψίας από καταγραφή της έντασης του θορύβου στο πεδίο με τη βοήθεια ενός οργάνου καταγραφής του ήχου, ενός ηχομέτρου [Merchan C., Diaz-Balteiro L. (2013), Iaaly-Sankary A., Jadayel O., El-Murr N.].

Ο θόρυβος είναι ένας σημαντικός παράγοντας που δημιουργεί στους ανθρώπους την αίσθηση της δυσαρέσκειας για το περιβάλλον. Ένας χάρτης θορύβου μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο του θορύβου και στην αξιολόγηση των επιπτώσεών του. Η τεχνολογία των ΓΠΣ, παρέχει πολύ χρήσιμα εργαλεία για την παρακολούθηση των επιπτώσεων του θορύβου σε σχέση με το περιβάλλον. Συμπερασματικά, η χρήση του μπορεί να αυξήσει την ποιότητα της μελέτης της ρύπανσης από τον θόρυβο που σημαίνει πολύ καλή υποστήριξη της περιβαλλοντικής διαχείρισης.

4.2. ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Οι χωρικές βάσεις δεδομένων και τα εργαλεία χωρικής ανάλυσης στο ΓΠΣ χρησιμεύουν στην παρακολούθηση της επίδρασης του θορύβου και των επιπτώσεών

του. Οι χάρτες θορύβου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των περιοχών που επηρεάζονται από το θόρυβο. Ακόμη οι χάρτες θορύβου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό του αριθμού των ευαίσθητων κτιρίων (π.χ. νοσοκομεία, σχολεία), τα οποία επηρεάζονται από τα υψηλά επίπεδα θορύβου [Stoter J. (1999)]. Επιπλέον μέσω του ΓΠΣ και των επιπέδων πληροφορίας του θορύβου και του αριθμού των κατοίκων του μόνιμου πληθυσμού της περιοχής μπορεί προσεγγιστικά να προσδιοριστεί ο αριθμός των πολιτών που αισθάνεται ενοχλημένος. Οι χάρτες θορύβου μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στο σχεδιασμό και τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τον έλεγχο και τον μετριασμό του προβλήματος της ηχορύπανσης.

Ένας χάρτης θορύβου προσφέρει χωρική διορατικότητα στα δεδομένα. Ο θόρυβος στον πραγματικό κόσμο δεν είναι οπτικός. Ωστόσο ο θόρυβος μπορεί να οπτικοποιηθεί με την χρήση ενός ΓΠΣ το οποίο αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο σε μελέτες θορύβου καθώς η οπτικοποίηση των επιπέδων θορύβου μπορεί να αποσαφηνίσει τα αρχικά δεδομένα δειγματοληψίας. Η δημιουργία ενός τελικού χαρτογραφικού αποτελέσματος με χωρική συνέχεια των δεδομένων του ήχου από την χρήση μεθόδων παρεμβολής σε ένα ΓΠΣ προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την ηχητική κατάσταση ολόκληρης της περιοχής μελέτης.

4.3. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Το ΓΠΣ παρέχει ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για την αποθήκευση και την ανάκτηση, τη μετατροπή και την εμφάνιση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για ένα συγκεκριμένο σύνολο από σκοπούς (Burrough, 1986). Παράγοντες όπως η αλλαγή στα δεδομένα εισόδου, στις μεθόδους παρεμβολής και υπολογισμού θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Παρά την ύπαρξη αυτών των παραγόντων το ΓΠΣ εξακολουθεί να είναι σημαντικό και περισσότερο αναγκαίο σήμερα στην μελέτη για τις πιθανές επιπτώσεις της ηχορύπανσης. Το ΓΠΣ διευκολύνει την οπτική παρουσίαση των επιπέδων του θορύβου και αποτελεί ένα πρόσθετο εργαλείο για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, το σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων του ΓΠΣ εξυπηρετεί στην αποθήκευση, τη συλλογή, τον έλεγχο και τη διαχείριση των δεδομένων του θορύβου. Όσον αφορά τις ισοκαμπύλες του θορύβου (contour lines), αυτές μπορούν να παραχθούν με βάση τις τεχνικές παρεμβολής σε περιβάλλον ΓΠΣ και με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα συνεχές χωρικό μοντέλο του

επιπέδου θορύβου. Ένας χάρτης θορύβου μπορεί επίσης να συνδυαστεί με θεματική πληροφορία ανάλογα με τον σκοπό που θα κληθεί να εξυπηρετήσει κατά την χρήση του και κατά την δημοσιοποίησή του στο ευρύ κοινό [Kurakula V. (2007)].

4.4. ΛΟΓΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ

Οι λόγοι κατασκευής των χαρτών θορύβου συνοψίζονται, με βάση τους Kurra S. και Dal L. (2012), ως εξής:

- Έρευνα των συνθηκών θορύβου δηλαδή κατά πόσο τα όρια θορύβου υπερβαίνονται ή δεν υπερβαίνονται
- Δημιουργία ζωνών θορύβου σε σχέση με τα επίπεδα θορύβου και εύρεση των περιοχών με έντονο πρόβλημα
- Προσδιορισμός του πληθυσμού που πλήττεται από διάφορα επίπεδα θορύβου
- Σχεδιασμός χρήσης γης
- Καθορισμός κριτηρίων στην κατασκευή νέων κτιρίων σε έντονα θορυβώδεις περιοχές
- Διερεύνηση των πηγών θορύβου και των δραστηριοτήτων που προκαλούν μόνιμο ή περιοδικό ή προσωρινό θόρυβο
- Σύγκριση των υπολογισμένων και μετρούμενων τιμών στα επίπεδα θορύβου – Έλεγχος των αποτελεσμάτων
- Λήψη συγκεκριμένων μέτρων για την προστασία από τον θόρυβο και ανάλυση του κόστους
- Διερεύνηση της απόδοσης ενός μέτρου από την σύγκριση διαχρονικών χαρτών
- Ύπαρξη εναλλακτικών λύσεων για την καταπολέμηση του περιβαλλοντικού θορύβου και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους
- Έλεγχος του θορύβου με την ανάπτυξη στρατηγικών και δημιουργία σχεδίων δράσης
- Συγκέντρωση στοιχείων από τις έρευνες πεδίου και τροποποίηση των επιτρεπόμενων ορίων θορύβου με εφαρμογή νέων κριτηρίων ελέγχου του
- Πληροφόρηση των πολιτών με την παροχή στοιχείων
- Προσπάθεια ποσοτικοποίησης της οικονομικής απώλειας λόγω ηχορύπανσης και της μείωσης στην αξία των ακινήτων

5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι **Mohammed M. et al (2011)** στη μελέτη τους με θέμα «Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan» ασχολήθηκαν με τις χωρο-χρονικές τάσεις της έκθεσης στον θόρυβο εξαιτίας της οδικής κυκλοφορίας. Οι γενικές τους διαπιστώσεις από το σύνολο της έρευνάς τους αφορούν τα επίπεδα του θορύβου στην πόλη του Karachi. Το επίπεδο του θορύβου ήταν γενικά υψηλότερο τις πρωινές και απογευματινές ώρες, εξαιτίας της μεγαλύτερης μετακίνησης των κατοίκων, με τη μέση τιμή του από το σύνολο των μετρούμενων τιμών να υπερβαίνει τα 66 dB, το οποίο σημαίνει σοβαρή ενόχληση με βάση τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

Η δειγματοληψία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε συνολικά σε 308 σημεία. Στα σημεία μέτρησης του θορύβου συμπεριλήφθηκαν οι μεγάλες διασταυρώσεις διότι σε αυτές παρατηρείται σοβαρή συμφόρηση της κυκλοφορίας στην πόλη Karachi. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε πρωί (06:30-10:30), μεσημέρι (12:00-15:00) και απόγευμα –βράδυ (16:30-23:00) για δύο εβδομάδες με εξαίρεση τις εβδομάδες διακοπών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν 4-5 πόδια μακριά από το οδόστρωμα. Με βάση τις μετρήσεις οι Mohammed M. et al δημιούργησαν χάρτες θορύβου για κάθε χρονική περίοδο παρέχοντας μία γενική άποψη για τα επίπεδα του θορύβου. Στην μελέτη τους υποστηρίζουν την διατύπωση του Kinsler (1982) Kinsler LE. Fundamentals of acoustics. New York, U.S.A: John Wiley & Sons; 1982. , σχετικά με το ότι η ηχητική ένταση είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την απόσταση μεταξύ μίας πηγής και ενός αισθητήρα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποίησαν την μέθοδο παρεμβολής της αντίστροφης σταθμισμένης απόστασης (IDW) και με τον τρόπο αυτό προέβλεψαν τα επίπεδα του θορύβου σε σημεία με άγνωστες τις τιμές του ήχου και παρήγαγαν τους τελικούς χάρτες χρησιμοποιώντας το ArcGIS 9.3.

Η παρούσα μελέτη δίνει μία γενική εικόνα για το πόσο σοβαρά είναι τα επίπεδα θορύβου του περιβάλλοντος μέσα σε μία αστικοποιημένη πόλη της αναπτυσσόμενης χώρας του Πακιστάν. Έτσι, αν και μπορεί ορισμένες προβλεπόμενες τιμές να μην αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά επίπεδα θορύβου, εξαιτίας του ότι η διάδοση του ήχου επηρεάζεται από παράγοντες όπως τα τεχνητά εμπόδια και το μέσο διάδοσης που θα πρέπει να είναι ομογενές (δηλ. ο αέρας και η κατάσταση του καιρού), ωστόσο παρέχεται ένα χαρτογραφικό αποτέλεσμα το οποίο προσφέρει μια γενική εικόνα του θορύβου στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, οι Mohammed M. et al δημιούργησαν έναν

χάρτη με την οδική πυκνότητα τον οποίο συσχέτισαν με τα επίπεδα θορύβου. Αυτό που προέκυψε είναι ότι οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα του οδικού δικτύου χαρακτηρίστηκαν τις περισσότερες φορές και από υψηλά ή πολύ υψηλά επίπεδα θορύβου. Στο Karachi δεν έχει γίνει προσπάθεια για τον έλεγχο της ρύπανσης, ωστόσο οι μελετητές της παρούσας έρευνας τονίζουν ότι οι ιθύνοντες θα πρέπει να γνωρίζουν για το ζήτημα της ηχορύπανσης στην πόλη τους και για τις δυσμενείς επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει.

Οι **Koo S. et al (2012)** στην εργασία τους με θέμα «Analysis of urban traffic noise for environmental noise assessment – Focused on Jinsu city, Korea» αναλύουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του θορύβου γύρω από το οδικό δίκτυο στην πόλη Jinsu της Κορέας για την χρονική περίοδο 2002-2009 με σκοπό να αναλύσουν τα χαρακτηριστικά της ζωνοποίησης των χρήσεων γης που βασίζεται στην κατανομή του θορύβου στην αστική περιοχή με την χρήση του ΓΠΣ. Οι μελετητές διαπίστωσαν ότι όλες οι ζώνες της χρήσης γης εκτός από αυτήν της βιομηχανικής περιοχής υπερέβαιναν τα επιτρεπόμενα όρια για τον περιβάλλοντα θόρυβο. Ακόμη, παρατήρησαν ότι στις βραδινές ώρες για τις ημέρες δειγματοληψίας ο θόρυβος εμφάνισε ραγδαία αύξηση. Επιπρόσθετα, τονίζουν την χρησιμότητα του αστικού χάρτη θορύβου και την κατασκευή του σε ένα ΓΠΣ για την δημιουργία μέτρων μείωσης του αστικού κυκλοφοριακού θορύβου.

Η μελέτη αυτή ανέλυσε τα χαρακτηριστικά του περιβαλλοντικού θορύβου παρουσιάζοντας την αλλαγή στον θόρυβο σε σχέση με τις διάφορες ζώνες χρήσης γης και σε σχέση με τον χρόνο. Πιο αναλυτικά, επελέγησαν 5 περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του ήχου οι οποίες αφορούν: περιοχή σχολείου, περιοχή νοσοκομείου, κατοικημένη περιοχή, εμπορική περιοχή και βιομηχανική περιοχή. Για κάθε σημείο δειγματοληψίας γινόταν λήψη 6 μετρήσεων, τεσσάρων από τις 6 π.μ. μέχρι τις 10 μ.μ. και δύο από τις 10 μ.μ. μέχρι τις 6 π.μ. με μεσοδιάστημα άνω των δύο ωρών και με τη διάρκεια της κάθε μέτρησης στα πέντε λεπτά. Το τελικό επίπεδο θορύβου διαμορφώθηκε από τον αριθμητικό μέσο των μετρούμενων τιμών ξεχωριστά για ημέρα και νύχτα. Οι μετρήσεις έγιναν από την πλευρά του οδικού δικτύου. Τέλος οι μετρούμενες τιμές χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία χαρτών θορύβου σε περιβάλλον ΓΠΣ εφαρμόζοντας την μέθοδο παρεμβολής Spline.

Για την περιοχή του νοσοκομείου το επίπεδο του θορύβου στην διάρκεια της ημέρας ήταν περίπου στα 60 dB και στην διάρκεια της νύχτας στα 52 dB. Οι τιμές αυτές υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου που θα έπρεπε να ήταν 50 dB και 40 dB αντίστοιχα. Υπέρβαση των επιτρεπόμενων ορίων θορύβου παρατηρήθηκε για την αστική και εμπορική περιοχή και μη ύπαρξη υπέρβασης για την βιομηχανική. Ο θόρυβος τις βραδινές ώρες για της ημέρες μέτρησης όσον αφορά την αστική περιοχή βρέθηκε να είναι απότομα αυξανόμενος, κατάσταση η οποία οδηγεί σε παραβίαση του περιβάλλοντος ύπνου των πολιτών. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης τους οι Koo S. et al κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ζημιά που προκαλείται από την ηχορύπανση στη ζωή του κέντρου της πόλης είναι πολύ σοβαρή (στο κέντρο της πόλης η οικονομική δραστηριότητα είναι έντονη και η πυκνότητα των ανθρώπων και των οχημάτων υψηλή).

Οι **Geymen A. και Bostanci B. (2012)** στην μελέτη τους με θέμα «Production of Geographic Information System Aided Noise Maps» ασχολήθηκαν με την μοντελοποίηση της ηχορύπανσης στην Πανεπιστημιούπολη της πόλης Kayseri στην Τουρκία χρησιμοποιώντας μεθόδους παρεμβολής σε περιβάλλον ΓΠΣ. Αρχικά, πραγματοποίησαν μετρήσεις του ήχου σε 50 επιλεγμένα σημεία γύρω από το οδικό δίκτυο σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους της ημέρας (πρωί: 08:00-10:00, μεσημέρι: 12:00-13:30, απόγευμα: 17:00-18:30) και για πέντε εργάσιμες ημέρες. Η κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 5 λεπτών. Ο εντοπισμός της θέσης των σημείων έγινε με την χρήση GPS και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια ενός ηχομέτρου. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGis 9.3 για την ανάλυση και την δημιουργία χάρτη θορύβου.

Οι μέθοδοι παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι η IDW, η Ordinary Kriging και η Radial Basis Functions (RBF). Αυτό που διαπίστωσαν είναι ότι ο θόρυβος στην πανεπιστημιούπολη είναι αισθητός, με το επίπεδο της ισοδύναμης στάθμης θορύβου να είναι στα 60-65 dB. Ακόμη παρατήρησαν ότι τα επίπεδα θορύβου εμφάνισαν μία αυξανόμενη μεταβλητότητα τις απογευματινές ώρες σε σχέση με τις πρωινές και μεσημεριανές. Ως εκ τούτου, σε συγκεκριμένες θέσεις μέτρησης τα επίπεδα θορύβου έφτασαν τις μέγιστες τιμές τις απογευματινές ώρες λόγω της μεγαλύτερης κυκλοφορίας και συγκέντρωσης ανθρώπων. Οι υψηλότερες τιμές θορύβου μετρήθηκαν στις πύλες εισόδου στην Πανεπιστημιούπολη και σε στάση λεωφορείου εντός της Πανεπιστημιούπολης. Τέλος οι Geymen A. και Bostanci B.

αναφέρουν την προοπτική της διεύρυνσης αυτής της μελέτης με τον τρόπο της έρευνας για την εύρεση της βέλτιστης μεθόδου παρεμβολής που να χρησιμοποιείται μελλοντικά σε περιπτώσεις χαρτογράφησης θορύβου.

Ο Alam W. (2011) στην μελέτη του με θέμα «GIS based Assessment of Noise Pollution in Guwahati City of Assam, India» εκτίμησε το επίπεδο του θορύβου στην πόλη Guwahati της Ινδίας με τη βοήθεια ενός ΓΠΣ. Η μέτρηση της στάθμης ηχητικής πίεσης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ηχόμετρο σε διαφορετικές ζώνες της περιοχής μελέτης. Στις θέσεις μέτρησης συμπεριλήφθηκαν οι εικοσιτέσσερις μεταξύ αυτών σε εμπορικές περιοχές, οι είκοσι σε αστικές, οι δεκαοχτώ σε εκπαιδευτικά ιδρύματα και οι δεκαέξι σε νοσοκομεία και γηροκομεία. Η περίοδος των μετρήσεων διήρκησε μερικούς συνεχόμενους μήνες, ο μέσος χρόνος μέτρησης του ήχου σε κάθε θέση ήταν 20 λεπτά και για διαφορετικές ώρες της ημέρας (πρωί: 07:00-09:00, μεσημέρι: 12:00-14:00, απόγευμα: 19:00-21:00). Για τους σκοπούς της χαρτογράφησης οι συντεταγμένες του κάθε σημείου συλλέχθηκαν με GPS. Οι χάρτες θορύβου κατασκευάστηκαν με το λογισμικό ArcGis 9.3.1. Το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση των ισοκαμπυλών των επιπέδων θορύβου εφαρμόζοντας την μέθοδο παρεμβολής Kriging. Οι χάρτες θορύβου κατασκευάστηκαν για διαφορετικές ώρες της ημέρας παρουσιάζοντας την ημερήσια διακύμανση του θορύβου στο περιβάλλον.

Ένας χάρτης θορύβου δίνει οπτική πληροφορία των περιοχών με τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου και την συσσώρευση της κυκλοφορίας ενώ παράλληλα προσδιορίζει και τις πιο ευάλωτες περιοχές απειλούμενες από την ηχορύπανση. Γενικότερα, το περιβάλλον της πόλης Guwahati είναι θορυβώδες. Από την παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι το μεσημέρι στις εμπορικές περιοχές τα επίπεδα θορύβου είναι υψηλότερα σε σχέση με το πρωί και το βράδυ εξαιτίας της μεγαλύτερης κυκλοφορίας και της συσσώρευσης των οχημάτων. Επιπλέον, σε κατοικημένες περιοχές τα επίπεδα θορύβου έδειξαν υψηλότερα από τα επιτρεπόμενα προδιαγραφωμένα πρότυπα θορύβου. Ειδικότερα, ορισμένες κατοικημένες περιοχές κοντά στον δρόμο ξεπέρασαν τα 75 dB. Επιπρόσθετα, στις ζώνες σιωπής στα 100 m από την θέση νοσοκομείου και γηροκομείου υπερβαίνεται το όριο των 50 dB καθώς το πρότυπο των ζωνών σιωπής δεν τηρείται με τα νοσοκομεία και τα γηροκομεία να είναι εγκατεστημένα σε εμπορικές περιοχές ή κοντά σε πολυσύχναστους δρόμους.

Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα δεν είναι ασφαλή όταν βρίσκονται πλησίον δρόμων βαριάς κυκλοφορίας. Έτσι καθώς τα ιδρύματα της πόλης Guwahati είναι εγκατεστημένα σε εμπορικές περιοχές και κοντά σε θορυβώδεις δρόμους, οι περιοχές γύρω από αυτά χαρακτηρίζονται ως θορυβώδη περιβάλλοντα. Σε γενικές γραμμές με τη μετακίνηση προς το κέντρο της πόλης ο θόρυβος αυξάνεται εξαιτίας του γεγονότος ότι το κέντρο είναι πυκνοκατοικημένο, διαθέτει τα περισσότερα εμπορικά καταστήματα όπως επίσης και στενούς όσο και πολυσύχναστους δρόμους. Ακόμη, η ακατάλληλη διαχείριση της κυκλοφορίας, η έλλειψη χώρων στάθμευσης, οι υπόγειες και υπέργειες διαβάσεις οδηγούν επίσης σε βαριά κυκλοφοριακή συμφόρηση που χαρακτηρίζει το περιβάλλον ως θορυβώδες.

Η μελέτη των **Yilmaz G. και Hocanli Y. (2006)** με θέμα «Mapping of noise by using GIS in Sanliurfa» διεξήχθη στην πόλη Σανλιούρφα της Τουρκίας, σε μία πιλοτική περιοχή έκτασης 3×4 km, με σκοπό των παραγωγή χάρτη θορύβου γραμμικής πηγής, με βάση δηλαδή την οδική κυκλοφορία, με χρήση ΓΠΣ. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν εικοσιτετράωρες μετρήσεις θορύβου σε 11 σημεία γύρω από το οδικό δίκτυο σε σύνολο επτά συνεχόμενων ημερών. Η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης περιέχει σπίτια, νοσοκομεία και σχολεία και οι δρόμοι της είναι ασφαλτοστρωμένοι. Ο χάρτης με την γραμμική πηγή θορύβου κατασκευάστηκε σε περιβάλλον ΓΠΣ με χρήση μεθόδων παρεμβολής (δεν αναφέρουν ποιες συγκεκριμένα). Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το ArcGis 8.1. Τα επίπεδα θορύβου στο τελικό χαρτογραφικό αποτέλεσμα κυμαίνονται από τα 65 dB μέχρι τα 82 dB. Οι κλάσεις των επιπέδων θορύβου που δημιουργήθηκαν από τους μελετητές είναι έξι, με την διαφορά των επιπέδων της κάθε κλάσης να είναι στα 3 dB διότι εξηγούν πως μία τέτοια διαφορά γίνεται κατανοητή από τους ανθρώπους. Σχολιάζουν πως η τεχνολογία GIS χρησιμοποιείται συχνά σε μελέτες παρόμοιου τύπου. Επιπρόσθετο πλεονέκτημα της χρήσης της όπως αναφέρουν και οι Yilmaz G. και Hocanli Y. στην παρούσα μελέτη τους είναι η δυνατότητα για την ενημέρωση των δεδομένων και την παρατήρηση της αλλαγής που μπορεί να ακολουθείται από τις περιοδικές ενημερώσεις.

Στην μελέτη τους με θέμα «A GIS Analysis of Noise Islands in Calabar Metropolis, Nigeria» οι **Obiefuna J., Bisong F. και Ettah E. (2013)** εξέτασαν τον θόρυβο περιβάλλοντος της Μητρόπολης Calabar με χρήση ΓΠΣ. Η φυσική μέτρηση του θορύβου έγινε με ηχόμετρα ενώ η θέση των μετρήσεων καταγράφηκε με GPS. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν εισήχθησαν στο ArcGis 9.5 στο οποίο και δημιουργήθηκε

ο τελικός χάρτης θορύβου. Τα σημειακά δεδομένα στην γεωχωρική βάση δεδομένων υποβλήθηκαν στην μέθοδο παρεμβολής IDW για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους της ημέρας για το πρωί, το μεσημέρι και το απόγευμα. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν ότι το επίπεδο θορύβου για τις χρήσεις γης της βιομηχανίας, του εμπορίου και της μεταφοράς, αυξάνεται από το πρωί, φτάνει στα υψηλότερα επίπεδα το απόγευμα και αρχίζει να φθίνει την βραδινή περίοδο. Οι εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες προκαλούν θόρυβο και επομένως οι ερευνητές επισημαίνουν ότι για να παραμείνουν οι οικιστικές περιοχές σε ήρεμα επίπεδα του ήχου θα πρέπει να αποθαρρυνθεί η ένταξη του εμπορίου και της βιομηχανίας σε αυτές.

Η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού στην Μητρόπολη Calabar από το 1963 έως το 2003 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των οικονομικών δραστηριοτήτων και τον πολλαπλασιασμό των θρησκευτικών σπιτιών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του θορύβου. Οι μελετητές προσδιόρισαν γραφικά τις ζώνες κινδύνου από τον θόρυβο με βάση τα διαφορετικά επίπεδα θορύβου και δημιούργησαν χάρτες θορύβου σε περιβάλλον ΓΠΣ. Το πρώτο κομμάτι της έρευνάς τους περιείχε την δειγματοληψία. Η δειγματοληψία έλαβε χώρα σε 25 διαφορετικά σημεία, με τα 2 να βρίσκονται σε βιομηχανική χρήση γης, τα 9 σε άξονες μεταφοράς, τα 7 σε αστική περιοχή και τα υπόλοιπα 7 σε εμπορική περιοχή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πρωί (08:00-09:00), μεσημέρι (12:00-13:00) και απόγευμα (16:00-17:00) και ανά μισή ώρα για κάθε σημείο. Για κάθε χρονική περίοδο υπολογίστηκε ο μέσος όρος του θορύβου και αυτό που προέκυψε είναι ότι:

- σε εμπορική χρήση γης τα επίπεδα του θορύβου είναι υψηλότερα και κυμαίνονται μεταξύ 68 dB και 95.8 dB
- η βιομηχανική χρήση γης έχει τις υψηλότερες τιμές θορύβου το πρωί, με διακύμανση από 88.8 dB στις 08:00 σε 89.1 dB στις 08:30 και σε 89.5 dB στις 09:00 ενώ για την ίδια χρονική περίοδο αλλά για την οικιστική χρήση γης το επίπεδο κυμαίνεται από 55 dB έως 57 dB
- στην εμπορική χρήση γης το επίπεδο θορύβου αυξάνεται σταδιακά από το μεσημέρι μέχρι και το απόγευμα

Στη συνέχεια, τα σημειακά δεδομένα στην γεωχωρική βάση δεδομένων υποβλήθηκαν στην μέθοδο παρεμβολής IDW, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι ζώνες που προέκυψαν από την

χαρτογράφηση κυμαίνονται μεταξύ 78 dB και 93 dB για τις βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές. Οι κατηγορίες με τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου διακρίνονται με σκουρότερους χρωματικούς τόνους το οποίο διευκόλυνε την διαχρονική παρατήρηση των αλλαγών στα επίπεδα θορύβου σε σχέση με τον χώρο και τον χρόνο. Στις τελικές τους διατυπώσεις οι Obiefuna J., Bisong F. και Ettah E. αναφέρουν πως χωρίς αμφιβολία υπάρχει ανάγκη για εναρμονισμένη έρευνα, όπως η δική τους, προκειμένου να συμβαίνει η συνεχής απόκτηση, ο έλεγχος και η επικαιροποίηση των πληροφοριών της στάθμης θορύβου για την Μητρόπολη Calabar, της Νιγηρίας.

Οι **Foda M. et al (2013)**, στην μελέτη τους με θέμα «The Use of Real Measurements and GPS Data for Noise Mapping of Riyadh City» χρησιμοποίησαν πραγματικές μετρήσεις του ήχου για την χαρτογράφηση του θορύβου στην πόλη Riyadh, για την ημέρα και την νύχτα. Οι μετρήσεις του ήχου πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια ηχομέτρων και ο προσδιορισμός των θέσεων με την χρήση δεκτών GPS. Η επιλογή των θέσεων μέτρησης έγινε με βάση ορισμένα κριτήρια όπως είναι:

- Εγγύτητα των γειτονικών τοποθεσιών ώστε η μεταξύ απόσταση δύο θέσεων μέτρησης να μην ξεπερνά τα 150 m.
- Τοποθεσίες σε πολυσύχναστους δρόμους και πολυσύχναστες διασταυρώσεις με μεγάλο όγκο κυκλοφορίας σε καθημερινή βάση.
- Τοποθεσίες που να περιλαμβάνουν όλες τις χρήσεις γης με αποφυγή της διάκρισης σε αστική, εμπορική και βιομηχανική ζώνη. Στα επιλεγμένα σημεία όμως να εντοπίζονται αυτές οι θέσεις.

Οι μετρήσεις της παρούσας μελέτης ελήφθησαν ως εξής:

- Σε κάθε θέση, η διάρκεια της μέτρησης αφορούσε τουλάχιστον είκοσι λεπτά της ημέρας (07:00-12:00) και είκοσι λεπτά της νύχτας (18:00-24:00).
- Κάθε μέτρηση αφορούσε είκοσι συνεχόμενα λεπτά. Επομένως, για κάθε σημείο η μέτρηση συνέβαινε μία φορά για την χρονική περίοδο της ημέρας και άλλη μία για την χρονική περίοδο της νύχτας. Οι χρονικές περίοδοι των προσευχών εξαιρούνταν από τις περιόδους μέτρησης.
- Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένες εργάσιμες ημέρες από Δευτέρα μέχρι Τετάρτη.

- Σε περιπτώσεις που ο θόρυβος δεν ήταν ομαλός η καταγραφή του ήχου διαρκούσε περισσότερο για περαιτέρω ανάλυση του περιεχομένου της συχνότητάς του.
- Σε κάθε σημείο έγινε περιγραφή της πηγής θορύβου.
- Σε κάθε μέτρηση η απόσταση του μικροφώνου του ηχομέτρου από το έδαφος ήταν στο 1,5 m.

Οι Foda M. et al επέλεξαν τα σημεία συλλογής των δεδομένων να είναι κατά μήκος των κύριων δρόμων της περιοχής μελέτης τα οποία και κράτησαν σταθερά για όλες τις ημέρες και ώρες καταγραφής του ήχου έτσι ώστε οι συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων να είναι ακριβείς. Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση του θορύβου είναι το ArcGis 9.2 και η μέθοδος παρεμβολής που εφαρμόστηκε είναι η Natural Neighbor (NN). Η μέθοδος αυτή βρίσκει το πλησιέστερο υποσύνολο δειγμάτων εισόδου σε ένα ζητούμενο σημείο και εφαρμόζει βάρη στα δείγματα με βάση ανάλογες περιοχές προκειμένου να παρεμβάλλει μία τιμή. Η μέθοδος είναι τοπική και χρησιμοποιεί μόνο ένα υποσύνολο δειγμάτων που περιβάλλουν το ζητούμενο σημείο. Ακόμη, οι τιμές των παρεμβαλλόμενων σημείων βρίσκονται εντός του εύρους των τιμών του δείγματος, υπάρχει τοπική προσαρμογή με την δομή δεδομένων εισόδου και δεν απαιτείται η μεσολάβηση του χρήστη για την αναζήτηση της ακτίνας, του αριθμού δείγματος ή του σχήματος. Οι Foda M. et al αναφέρουν ότι οι χάρτες θορύβου από το ερευνητικό τους έργο εκπροσωπούν σε μεγάλο βαθμό τα πραγματικά επίπεδα θορύβου στην κοντινή περιοχή των δρόμων όπου συλλέχθηκαν τα δεδομένα και σε μικρότερο βαθμό για τις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Οι κατηγορίες των επιπέδων ήχου που δημιούργησαν οι ερευνητές και χρησιμοποίησαν στους χάρτες τους είναι επτά με διαχωρισμό της κάθε μίας ανά 5 dB. Επιπρόσθετα, το υπόβαθρο το οποίο αξιοποίησαν είναι δορυφορική εικόνα IKONOS με χωρική ανάλυση 1 m και λήψη το 2008.

Οι Foda M. et al συμπέραναν ότι οι μέσες στάθμες θορύβου κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι συγκρίσιμες, ότι τα υψηλά επίπεδα θορύβου άνω των 70 dB εμφανίστηκαν κυρίως κοντά σε κύριους δρόμους και λεωφόρους, ότι οι περιοχές στα βόρειο-δυτικά και στο κέντρο υπόκεινται σε υψηλή στάθμη θορύβου άνω των 75 dB σε όλη την χρονική περίοδο παρατήρησης (λόγω των διασταυρώσεων των πολλών κεντρικών δρόμων), ότι η περιοχή στα μέσα και νοτιοδυτικά εκτίθεται σε επίπεδα θορύβου άνω των 75 dB εξαιτίας του ότι αποτελεί βιομηχανική ζώνη και ότι στα

βορειοανατολικά εντοπίστηκε μία περιοχή υψηλής στάθμης θορύβου από την τομή εκεί τεσσάρων κεντρικών δρόμων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήγαγαν οι Foda M. et al η πόλη Riyadh πάσχει από σοβαρή ηχορύπανση. Η κυρίαρχη πηγή θορύβου στην πόλη είναι η οδική κυκλοφορία και ακολουθεί η βιομηχανία, η ψυχαγωγία και τελευταίος ο σιδηρόδρομος. Οι Foda M. et al καταλήγουν πως οι δράσεις πάνω σε αυτές τις πηγές θα προσφέρουν την προοπτική της βελτίωσης της ηχητικής κατάστασης της πόλης.

Οι **Iaaly-Sankary A., Jadayel O. και El-Murr N. (2007)** στην μελέτη τους με θέμα «Urban Noise Mapping: The Case of the City of El-Mina, North Lebanon» ασχολήθηκαν με την χαρτογράφηση του αστικού θορύβου στην πόλη El-Mina, στο βόρειο Λίβανο. Οι ερευνητές της παρούσας μελέτης του κέντρου GIS του Πανεπιστημίου Balamand χαρακτήρισαν την πόλη El-Mina ως ένα τυπικό αστικό περιβάλλον με μεικτή χρήση γης στο οποίο οι πηγές θορύβου είναι ποικίλες. Η ομάδα του κέντρου GIS χρησιμοποίησε αισθητήρες θορύβου και συστήματα εντοπισμού της θέσης με σκοπό την κατασκευή του χάρτη θορύβου της πόλης με χωρική πληροφορία. Για την έκταση των 3,5 km² της πόλης συλλέξανε μετρήσεις από συνολικά 350 σημεία και για διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας. Από τις ημερήσιες μέσες τιμές του επιπέδου θορύβου διαπίστωσαν ότι το 68% των περιοχών παρουσίαζε επίπεδα θορύβου άνω των 70 dB. Όπως επίσης, από την καταγραφή των πηγών θορύβου στα σημεία μέτρησης, οι ερευνητές συμπέραναν πως η οδική κυκλοφορία ήταν η βασική συνεισφορά στο φαινόμενο της ηχορύπανσης.

Ο θόρυβος είναι περιβαλλοντικός ρύπος, ενέχει κίνδυνο για την υγεία, επηρεάζει την ευεξία του ανθρώπου και την ποιότητα ζωής. Η χρήση του ΓΠΣ παρέχει μία ελκυστική και κατάλληλη πλατφόρμα για τον μετριασμό του θορύβου η οποία χαρακτηρίζεται από πολλές χωρικές συνιστώσες. Οι ερευνητές πιστεύουν πως με προηγμένες τεχνικές παρεμβολής είναι δυνατό να ληφθεί μία ακριβής εικόνα της ακουστικής κατάστασης του περιβάλλοντος και της επικινδυνότητας του θορύβου, βασισμένες σε έναν πεπερασμένο αριθμό σημείων δειγματοληψίας που καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας ηχόμετρα. Στα πλαίσια της εργασίας τους συμπεριέλαβαν και ένα σύνολο δεικτών που αφορούν την πόλη με σκοπό την περιγραφή της όπως είναι το συνολικό μήκος του δρόμου, ο αριθμός των κτιρίων, ο αριθμός των εμπορικών μονάδων, ο αριθμός των βιομηχανικών μονάδων, ο αριθμός των αστικών μονάδων, ο αριθμός των τραπεζών, ο αριθμός των νοσοκομείων, ο αριθμός των βιοτεχνιών και ο όγκος της κυκλοφορίας

στους δρόμους. Συμπληρωματικά, τα κριτήρια για την ποιότητα του ήχου βασίστηκαν στα έγγραφα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και στον οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη.

Οι εργασίες πεδίου έλαβαν χώρα τον Μάρτιο με Ιούνιο του 2007. Η μέτρηση για κάθε σημείο γινόταν ανά πέντε λεπτά για οχτώ ώρες κάθε ημέρας και η τελική τιμή που εισαγόταν στο λογισμικό ήταν η μέση τιμή των μετρούμενων κάθε σημείου. Ως βασικά σημεία δειγματοληψίας επελέγησαν αυτά που ήταν εντοπισμένα πάνω στους κύριους κόμβους της πόλης. Η ομάδα της έρευνας μαζί με την μέτρηση του ήχου κατέγραφε και την γεωγραφική θέση των σημείων με χρήση GPS ενώ παράλληλα διεξήχθη και ένα σύντομο ερωτηματολόγιο το οποίο συμπληρώθηκε από τους κατοίκους της πόλης απαντώντας σε ερωτήματα σχετικά με τις πηγές και τις επιπτώσεις του θορύβου. Οι ερευνητές επισημαίνουν πως δεν δίνουν έμφαση στην αξιολόγηση κάθε μεμονωμένης πηγής θορύβου αλλά με την έρευνά τους στοχεύουν στην καταγραφή της στάθμης του περιβάλλοντος θορύβου και στην αξιολόγηση της αντίδρασης των ανθρώπων στις διάφορες συνθήκες έκθεσης στον θόρυβο.

Κατά την μεθοδολογική προσέγγιση για την κατασκευή του χάρτη θορύβου οι Iaaly-Sankary A., Jadayel O. και El-Murr N. Ακολούθησαν τα εξής βήματα:

1. Χαρτογράφηση των δεδομένων συλλογής με GPS μαζί με τα επίπεδα θορύβου, με αναφορά της μέσης τιμής του επιπέδου θορύβου.
2. Σχεδιασμός της χωρικής βάσης δεδομένων με βάση το φύλλο έρευνας του θορύβου.
3. Χωρική μοντελοποίηση και εφαρμογή τεχνικών παρεμβολής στο ΓΠΣ.
4. Εντοπισμός περιοχών που κινδυνεύουν από τον θόρυβο με βάση κριτήρια αξιολόγησης του κινδύνου, τα οποία με βάση την ένταση του ήχου χαρακτηρίζουν ένα ήχο από ασφαλή μέχρι υψηλού ρίσκου.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν χαρτογραφήθηκαν στο ΓΠΣ και απεικονίστηκαν πάνω στον κτηματολογικό χάρτη της πόλης. Η απόσταση μεταξύ των σημείων από την δειγματοληψία κυμαίνεται από 50 m σε πυκνοκατοικημένη περιοχή και φτάνει τα 150 m σε αραιοκατοικημένη περιοχή. Έπειτα, η χωρική μοντελοποίηση έγινε με την βοήθεια των εργαλείων του ΓΠΣ με σκοπό την εύρεση της χωρικής κατανομής της ηχορύπανσης. Η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του επιπέδου καννάβου (grid) του ήχου είναι η IDW. Από την χαρτογράφηση του θορύβου

προέκυψε ότι ο θόρυβος στο κέντρο της πόλης ήταν αφόρητος με το επίπεδο του θορύβου να ξεπερνά κατά πολύ τα 70 dB. Ακόμη ως θορυβώδεις χαρακτήρισαν τις περιοχές στα σημεία συμφόρησης και στην βιομηχανική ζώνη. Προχωρώντας, από τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου προέκυψε ότι όλοι οι κάτοικοι της πόλης που ερωτήθηκαν ήταν ενοχλημένοι από τον θόρυβο, ο οποίος μπορεί και επηρεάζει το κάθε άτομο διαφορετικά όσον αφορά στην υγεία του, την ψυχολογία του και την κοινωνική του συμπεριφορά. Στη συνέχεια, δημιούργησαν ένα τριγωνικό ακανόνιστο δίκτυο βασισμένο στην επιφάνεια που προέκυψε από την παρεμβολή IDW χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του 3D Analyst. Με τον τρόπο αυτό κάθε πλευρά του τριγώνου στο δίκτυο χαρακτηρίζεται από διαφορετικό επίπεδο θορύβου. Οι ερευνητές αναφέρουν πως ένα μειονέκτημα της ψηφιδωτής επιφάνειας από την παρεμβολή IDW είναι ότι τα σημειακά δεδομένα ελέγχου από την δειγματοληψία μπορεί να μην ταιριάζουν ακριβώς στις καμπύλες επειδή οι ισοκαμπύλες βασίζονται στις υπολογισθείσες τιμές των κελιών που είναι ένα βήμα απομακρυσμένες από τα δεδομένα ελέγχου. Σε αντίθεση, οι ισοκαμπύλες από ένα TIN βασίζονται στα ακανόνιστα διαστήματα των δεδομένων ελέγχου.

Οι ερευνητές υποστηρίζουν πως η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για αστικές ρυθμίσεις. Ακόμη αναφέρουν πως θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί διαχρονική μελέτη και πως θα μπορούσε να γίνει περαιτέρω αξιολόγηση και συσχέτιση με άλλους κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες με τον εμπλουτισμό του ερωτηματολογίου. Αυτές ήταν οι τελικές τους διατυπώσεις για περαιτέρω μελέτη.

Οι **Doyguan H., Gurun D. (2008)** στην μελέτη τους με θέμα «Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaras, Turkey» ανέλυσαν και χαρτογράφησαν την χωρο-χρονική δυναμική της αστικής ηχορύπανσης από την οδική κυκλοφορία για την πόλη Kahramanmaras της Τουρκίας. Συνολικά, πραγματοποίησαν 114 μετρήσεις του επιπέδου θορύβου σε 38 αστικές περιοχές ταξινομημένες ως κατοικημένες, αστικές μαζί με εμπορικές και βιομηχανικές. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πρωί, μεσημέρι και απόγευμα. Από την χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων τους οι μελετητές συμπέραναν ότι το επίπεδο θορύβου ήταν υψηλότερο στις οικιστικές και αστικές περιοχές σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους χρήσης γης, ότι οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές του επιπέδου θορύβου εντοπίστηκαν το μεσημέρι και το απόγευμα ανεξάρτητα από την χρήση γης

και ότι το επίπεδο θορύβου υπερέβη μόνο σε δύο σημεία από τα 38 με βάση τα εθνικά κριτήρια και σε πάνω από τα μισά με βάση τα διεθνή. Υπόψιν ότι κατά την διάρκεια της ημέρας η είσοδος στην πόλη βαρέων οχημάτων απαγορεύεται και επιτρέπεται η χρήση μόνο των δρόμων μεταξύ των πόλεων.

Οι στόχοι που έθεσαν από την αρχή είναι η ποσοτικοποίηση της χωρικής και χρονικής δυναμικής της ηχορύπανσης στον αστικό χώρο που προκαλείται από την οδική κυκλοφορία, η εκτίμηση των επιπέδων θορύβου με βάση τα εθνικά και διεθνή κριτήρια και ο προσδιορισμός μέτρων μετριασμού κατά της ηχορύπανσης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Στο αρχικό κομμάτι της εργασίας τους αναφέρονται σε ορισμένες γενικές πληροφορίες στις οποίες συμπεριλαμβάνουν στοιχεία όπως είναι η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, ο οποίος σχεδόν δεκαπλασιάστηκε, και η αύξηση των οχημάτων κατά περίπου 34.000 μέσα σε μία οχταετία.

Έπειτα, προχωρώντας στο μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε, το πρώτο κομμάτι αναφέρεται στην συλλογή των δεδομένων. Οι μελετητές πραγματοποίησαν βιβλιογραφική ανασκόπηση και εντόπισαν διάφορους τρόπους δειγματοληψίας. Αναφορικά, ο πρώτος τρόπος βασίζεται στην έρευνα της έκθεσης στον θόρυβο των υποδοχέων συγκεκριμένης κατηγορίας, ο δεύτερος καθορίζει την μέτρηση με βάση τις διάφορες συνθήκες της οδικής κυκλοφορίας, ο τρίτος χαρακτηρίζεται από την τυχαία επιλεγμένη μέτρηση με τη χρήση regular or non-regular grid systems και ο τέταρτος βασίζεται στον διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε τμήματα ανάλογα με τον πληθυσμό ή την οικιστική πυκνότητα και τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης ή της λειτουργικότητας των δρόμων όπως για παράδειγμα είναι η σημασία των δρόμων. Στην παρούσα αναφερόμενη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο τέταρτος τρόπος ταξινομώντας την περιοχή μελέτης σε τρεις διαφορετικές χρήσεις γης (αστική, αστική και εμπορική, βιομηχανική) με την βοήθεια της δορυφορικής εικόνας IKONOS του 2000.

Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση της δορυφορικής εικόνας είναι το ArcGis 9.1. Ο αριθμός των θέσεων μέτρησης έγινε με βάση το μέγεθος των περιοχών της κάθε ζώνης και του μήκους των δρόμων. Η χωρική μεταβλητότητα του θορύβου απεικονίστηκε σε ένα 5×5 m πλέγμα χρησιμοποιώντας την μέθοδο χωρικής παρεμβολής Co-Kriging. Οι ημέρες των μετρήσεων ήταν εργάσιμες από Δευτέρα μέχρι Παρασκευή και δεν υπήρχε βροχή ή αέρας. Για κάθε σημείο πραγματοποιούνταν μέτρηση τρεις φορές την ημέρα, το πρωί από τις 07:00 μέχρι τις

09:00, το μεσημέρι από τις 12:00 μέχρι τις 14:00 και το απόγευμα από τις 17:00 μέχρι τις 19:00 οι οποίες αντιστοιχούν σε περιόδους κίνησης προς την δουλειά, μεσημεριανού διαλλείματος και επιστροφής στο σπίτι από μία εργάσιμη ημέρα. Η κάθε μέτρηση διαρκούσε δέκα λεπτά με το μικρόφωνο του ηχομέτρου να είναι 1,5 m πάνω από το έδαφος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αστική και εμπορική περιοχή είχαν το υψηλότερο επίπεδο θορύβου σχεδόν σε όλη την πόλη και ήταν κοντά στα 70 dB, το μέσο επίπεδο θορύβου της αστικής περιοχής ήταν πολύ πιο κάτω από την οριακή τιμή ενώ το μέσο επίπεδο της βιομηχανικής περιοχής ήταν κοντά στην οριακή τιμή. Η γενική τους παρατήρηση αφορούσε στο ότι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές εντοπίστηκαν μεσημεριανές και απογευματινές ώρες. Οι ελάχιστες τιμές παρατηρήθηκαν στην αστική περιοχή εξαιτίας των νέων τμημάτων που είχαν τότε αναπτυχθεί. Το επίπεδο θορύβου επίσης χαρακτηρίστηκε και σε σχέση με τους κόμβους του οδικού δικτύου, σε σχέση δηλαδή με τις διασταυρώσεις, και την σύνδεση των δρόμων της πόλης με αυτοκινητόδρομους ή με την βιομηχανική περιοχή.

Κύριος συντελεστής στην ηχορύπανση της πόλης Kahramanmaras είναι τα παρωχημένα και μη συντηρημένα οχήματα τα οποία εκπέμπουν θόρυβο υψηλού επιπέδου. Αν και τα επίπεδα θορύβου για την πόλη μπορεί να είναι αποδεκτά σε εθνικό επίπεδο ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει σε διεθνές. Περίπου το 97 % και 63 % των 38 θέσεων βρέθηκαν να είναι ίση τιμής ή / και μεγαλύτερης από ό, τι οι διεθνείς οριακές τιμές των 55 dB(A) και 65 dB(A), αντίστοιχα. Με βάση τους ερευνητές θα πρέπει να δημιουργηθούν νέα κριτήρια με χαμηλότερες οριακές τιμές κατά 5 dB. Η ύπαρξη υψηλών οριακών τιμών για το θόρυβο παρέχει αντικίνητρα στους δήμους να τον αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά με δαπανηρή και περιοδική επισκευή των δρόμων με αποτέλεσμα την αύξηση των αρνητικών επιπτώσεων για το περιβάλλον και για την υγεία του ανθρώπου. Τέλος προτείνουν την επιθεώρηση των οχημάτων με εστίαση στα οχήματα των μέσων μαζικής μεταφοράς με στόχο τον έλεγχο της ηχορύπανσης στην πηγή.

6. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

Η μέτρηση του θορύβου πραγματοποιείται σε διακριτά σημεία στον χώρο. Με χωρική παρεμβολή των σημείων αυτών σε ένα γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα μπορεί να

δημιουργηθεί μία χωρικά συνεχής εικόνα του θορύβου η οποία και αποσαφηνίζει τα αρχικά δεδομένα δειγματοληψίας. Επομένως, με την τεχνική της παρεμβολής στο ΓΠΣ δύναται να δημιουργηθεί μία ακριβής εικόνα της ακουστικής κατάστασης του περιβάλλοντος η οποία βασίζεται σε έναν περιορισμένο αριθμός σημείων δειγματοληψίας. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο αριθμός των σημείων για συλλογή δεδομένων στον χώρο και παρέχεται ένα χαρτογραφικό αποτέλεσμα γρήγορα, με ποιότητα και απαραίτητο σε μία μελέτη όπου μελετάται το φαινόμενο της ηχορύπανσης. Έπειτα της συλλογής των δεδομένων και της δημιουργίας μίας χωρικής βάσης για τα δεδομένα ακολουθεί η χωρική μοντελοποίηση και η εφαρμογή προηγμένων τεχνικών παρεμβολής στο ΓΠΣ. Αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθοδολογίας για χωρική παρεμβολή είναι η δημιουργία ενός συνεχούς πεδίου του φαινομένου όπου αντί για διακριτά σημεία με την πληροφορία του θορύβου διακρίνονται ζώνες του επιπέδου της ηχορύπανσης. Γενικότερα, οι μέθοδοι παρεμβολής λαμβάνουν υπόψιν τις ιδιότητες της χωρικής εξάπλωσης του θορύβου.

Η χωρική παρεμβολή είναι μία διαδικασία της πρόβλεψης των τιμών ενός χαρακτηριστικού στα σημεία εκείνα όπου δεν έχει γίνει η δειγματοληψία από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε σημεία συγκεκριμένων θέσεων εντός του ορίου της ίδιας υπό μελέτη περιοχής (Burrough, 1998). Η χωρική παρεμβολή μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε περιπτώσεις συνεχών πεδίων, υποθέτοντας δηλαδή ότι τα δεδομένα του χαρακτηριστικού είναι συνεχή σε όλο το χώρο (Azpurua M., Dos Ramos K., 2010, Longley P. et al, 2010).

Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται κάθε μέθοδος χωρικής παρεμβολής βρίσκεται στον νόμο του Tobler, ο οποίος υποστηρίζει ότι *«όλες οι θέσεις σχετίζονται μεταξύ τους αλλά οι κοντινές θέσεις σχετίζονται περισσότερο μεταξύ τους από ότι οι απομακρυσμένες»*. Επομένως με βάση την αρχή αυτή θα πρέπει να πληρείται και η υπόθεση του εξαρτώμενου χαρακτηριστικού στον χώρο, υποδεικνύοντας έτσι την μεγαλύτερη πιθανότητα οι κοντινές τιμές να είναι παρόμοιες μεταξύ τους. Με βάση τις δύο υποθέσεις ένα συνεχές πεδίο θα χαρακτηρίζεται από ομαλές διακυμάνσεις όταν οι τιμές του χαρακτηριστικού μεταβάλλονται αργά στο πεδίο και υπάρχει υψηλή θετική χωρική αυτοσυσχέτιση (Longley P. et al, 2010).

Η παρεμβολή χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τα δεδομένα από σημειακές οντότητες σε συνεχή πεδία και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν τα πρωταρχικά δεδομένα

δεν καλύπτουν ολόκληρη των περιοχή ενδιαφέροντος αλλά αποτελούν δείγματα (Burrough, 1998). Η χωρική παρεμβολή αποτελεί μία ευφυή πρόβλεψη και στοχεύει στην καλύτερη προσέγγιση της εμπειρικής πραγματικότητας με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος - το οποίο εξαρτάται από την μέθοδο παρεμβολής που θα χρησιμοποιηθεί αλλά και από τις αποφάσεις του ίδιου του ερευνητή.

6.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

6.1.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ – INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW)

Η μέθοδος IDW είναι μια ντετερμινιστική μέθοδος παρεμβολής. Χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι οι άγνωστες τιμές υπολογίζονται από ένα γραμμικό συνδυασμό των τιμών σε γνωστά σημεία (Collins, 1995 αναφ. στο Sterling D., 2003, Yang J. et al, 2004). Η επιρροή ενός γνωστού σημείου είναι αντιστρόφως ανάλογη στην απόσταση από την μη μετρούμενη θέση άγνωστου σημείου που βρίσκεται υπό εκτίμηση. Πιο απλά, η μέθοδος IDW βασίζεται στην υπόθεση ότι οι κοντινές τιμές είναι περισσότερο όμοιες από εκείνες που βρίσκονται πιο μακριά. Συνεπώς, οι μετρούμενες τιμές κοντά στο σημείο πρόβλεψης έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στην πρόβλεψη της τιμής του σε σχέση με τις πιο απομακρυσμένες (Johnston K. et al., 2001 αναφ. στο Yang J. et al, 2004). Στην μέθοδο παρεμβολής IDW κάθε μετρούμενο σημείο έχει μία τοπική επίδραση η οποία μειώνεται με γραμμικό τρόπο με την απόσταση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας και των υπόλοιπων που δεν έχει γίνει δειγματοληψία.

Η μείωση του μεγέθους της τοπικής επιρροής με την απόσταση εξαρτάται από την παράμετρο που ονομάζεται δύναμη. Σε περίπτωση που η παράμετρος της δύναμης ισούται με μηδέν, δεν υπάρχει καμία μείωση με την απόσταση, τα βάρη θα είναι ίδια και η πρόβλεψη θα αφορά τον μέσο όρο όλων των μετρούμενων τιμών. Από την άλλη πλευρά εάν η τιμή της δύναμης είναι πολύ υψηλή τότε μόνο τα άμεσα γειτονικά σημεία θα έχουν στο σημείο πρόβλεψης επίδραση συμβάλλοντας έτσι στην εκτίμησή του. Με την προεπιλεγμένη τιμή δύναμης του δύο η μέθοδος παρεμβολής αναφέρεται και ως στάθμιση του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης (Inverse Square Distance Weighting - ISDW). Η μέθοδος αυτή λειτουργεί καλύτερα με ομοιόμορφα κατανεμημένα σημεία. Σε περίπτωση ανομοιόμορφων κατανεμημένων συστάδων

δεδομένων εισάγονται σφάλματα. Ακόμη, ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της IDW είναι η ευαισθησία της σε ακραίες τιμές (Azpurua M., Dos Ramos K., 2010).

Η IDW δημιουργεί μια επιφάνεια με τη θέσπιση της αναζήτησης γειτονικών σημείων και με τη στάθμιση των σημείων αυτών από μια συνάρτηση δύναμης. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως αφού η IDW υποθέτει ότι τα κοντινά σημεία δεδομένα συμβάλλουν περισσότερο στην εύρεση των παρεμβαλλόμενων τιμών από ότι οι μακρινές [Anderson, (2003) αναφ. στο Sterling D., 2003] αυξάνοντας την συνάρτηση δύναμης σε έναν μεγαλύτερο βαθμό προκύπτει να δίνεται μεγαλύτερο βάρος στα τοπικά σημεία δεδομένων. Με τη μείωση της δύναμης σε μικρότερο βαθμό, λιγότερο βάρος δίνεται στα τοπικά σημεία δεδομένων και μια πιο γενική προοπτική υποτίθεται (Johnston K., 2001). Η δύναμη στη συνάρτηση μπορεί να επιλεγεί με τη χρήση του ArcGIS Geostatistical Analyst υπολογίζοντας το RMSE ενός συνόλου δεδομένων του δείγματος σε μια γειτονιά αναζήτησης. Η λειτουργία της δύναμης αυτομάτως θέτει στον εαυτό της ένα συγκεκριμένο δείγμα από την γειτονιά αναζήτησης σημείων. Χρησιμοποιώντας αυτό το δείγμα, τα βάρη προσαρμόζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγουν τη χαμηλότερη μέση τετραγωνική ρίζα προβλεπόμενου σφάλματος από τα σημεία δειγματοληψίας στην τροχιά αναζήτησης.

Προκειμένου να βελτιωθεί ο υπολογιστικός χρόνος είναι δυνατόν να καθορίζονται όρια στα σημεία διασποράς που συμβάλλουν στον υπολογισμό της παρεμβαλλόμενης τιμής, σε όλα αυτά τα σημεία διασποράς εντός μιας δεδομένης ακτίνας αναζήτησης [Azpurua M., Dos Ramos K., (2010)].

Η IDW είναι μία ακριβής μέθοδος παρεμβολής που παράγει επιφάνειες που είναι παρόμοιες με το σχήμα των ματιών ενός ταύρου (bull's eye). Αυτό συμβαίνει διότι τίθεται μεγαλύτερη επιρροή σε γνωστές τιμές πιο κοντά στο προβλεπόμενο σημείο με αποτέλεσμα στο τελικό χαρτογραφικό αποτέλεσμα να εμφανίζονται κυκλικοί δακτύλιοι (Tomczak, 1998, και Collins, 1995 αναφ. στο Sterling D., 2003). Αυτή η οπτική επίδραση στο αποτέλεσμα είναι περισσότερο αισθητή όταν παρεμβάλλονται σύνολα δεδομένων με αραιή τοποθέτηση σε μια μεγάλη έκταση στον χώρο.

Τα βάρη μπορούν να εκφραστούν ως:

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

όπου d_j είναι η απόσταση μεταξύ x_0 και x_j , το p είναι μία παράμετρος δύναμης, και το n αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σημείων δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση [Li J., Hear A., (2008)]. Οι λειτουργίες του βάρους (weight functions) κανονικοποιούνται ως άθροισμα των βαρών της μονάδας [Azpurua M., Dos Ramos K., (2010)].

Η απόσταση d_i δίνεται από τον τύπο:

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

Όπου (x,y) είναι οι συντεταγμένες του σημείου παρεμβολής και (x_j,y_j) είναι οι συντεταγμένες του κάθε σημείου διασποράς [Azpurua M., Dos Ramos K., (2010)].

Τότε η παρεμβαλλόμενη τιμή δίνεται από:

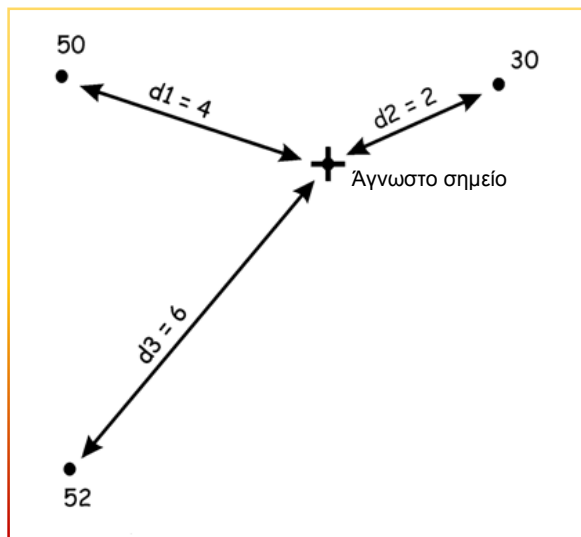
$$E(x, y) = \sum_{j=1}^n w_j E(x_j, y_j) \quad 3$$

Όπου $E(x, y)$ το παρεμβαλλόμενο σημείο, n ο αριθμός των σημείων δεδομένων-οι πλησιέστεροι γείτονες, w_j ο συντελεστής βάρους βάρους και $E(x_1, y_1), E(x_2, y_2), \dots, E(x_j, y_j)$ οι μετρούμενες τιμές. Το $E(x, y)$ προβλέπεται ως ο σταθμισμένος μέσος των μετρούμενων τιμών στις κοντινές θέσεις δειγματοληψίας (Shiode N., Shiode S., 2011). Ο αριθμός σημείων n με τις μετρούμενες τιμές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μπορεί να είναι ο οποιοσδήποτε, μέχρι και όλα τα σημεία του δείγματος, αλλά τυπικά μπορεί να είναι τρία ή και περισσότερα.

Η επίδραση της μετρούμενης τιμής, στις γειτονικές θέσεις δειγματοληψίας, στην άγνωστη τιμή στο σημείο στόχο μειώνεται όσο η μεταξύ τους απόσταση αυξάνεται. Για τον συνυπολογισμό της δύναμης της απόστασης γίνεται αντικατάσταση της εξίσωσης 1 στην εξίσωση 3 και προκύπτει:

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

Όπου p ο συντελεστής δύναμης επιλεγόμενος από τον χρήστη (συνήθως 1, 2 ή 3).



Ένα απλό παράδειγμα:

Το άγνωστο σημείο υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{\frac{50}{4} + \frac{30}{2} + \frac{52}{6}}{\frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{1}{6}} = 34$$

Επομένως η τιμή του άγνωστου σημείου βρέθηκε να είναι 34.

Σχήμα 2: Εκτίμηση άγνωστου σημείου

Πηγή: Επεξεργασία από http://gis.depaul.edu/shwang/teaching/geog460/lec13_files/image013.gif

Συμπερασματικά, ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια της IDW είναι η τιμή της παραμέτρου της δύναμης (Isaaks και Srivastava, 1989 αναφ. στο Li J., Hear A. (2008)). Τα βάρη μειώνονται όσο μεγαλώνει η απόσταση, ιδιαίτερα όταν η τιμή της δύναμης αυξάνεται, έτσι τα κοντινά δείγματα έχουν μεγαλύτερο βάρος και έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην εκτίμηση, και η προκύπτουσα χωρική παρεμβολή είναι τοπική (Isaaks και Srivastava, 1989 αναφ. στο Li J., Hear A. (2008)).

Η επιλογή των παραμέτρων δύναμης και το μέγεθος της γειτονιάς είναι αυθαίρετη (Webster και Oliver, 2001 αναφ. στο Li J., Hear A. (2008)). Η πιο δημοφιλής επιλογή του p είναι 2 και η μέθοδος που προκύπτει συχνά ονομάζεται το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης (IDS). Η παράμετρος ισχύος μπορεί επίσης να επιλεγεί με βάση την μέτρηση των σφαλμάτων (π.χ., το ελάχιστο μέσο απόλυτο σφάλμα, με αποτέλεσμα τη βέλτιστη IDW) (Collins και Bolstad, 1996 αναφ. στο Li J., Hear A. (2008)). Η ομαλότητα της εκτιμώμενης επιφάνειας αυξάνει καθώς αυξάνει η παράμετρος ισχύος. Η IDW αναφέρεται ως κινητός μέσος όταν το p είναι μηδέν (Brus et al., 1996 αναφ. στο Li J., Hear A. (2008)), γραμμική παρεμβολή όταν το p είναι 1 και σταθμισμένος μέσος όρος όταν το p δεν ισούται με 1 (Burrough and McDonnell, 1998).

Η στάθμιση αντίστροφης απόστασης είναι η μέθοδος χωρικής παρεμβολής που χρησιμοποιείται πιο συχνά από τους ερευνητές των συστημάτων ΓΠΣ. Με λίγα λόγια

η IDW εφαρμόζει τον νόμο του Tobler, εκτιμάει τις άγνωστες τιμές ως σταθμισμένες μέσες τιμές των γνωστών μετρήσεων στα γειτονικά σημεία και αποδίδει το μεγαλύτερο βάρος στα πλησιέστερα σημεία. Η μέθοδος αυτή παρέχει έναν απλό τρόπο για πρόβλεψη των τιμών σε ένα συνεχές πεδίο στις θέσεις όπου η μέτρηση δεν είναι διαθέσιμη. Η μέθοδος επιτυγχάνει τον επιθυμητό στόχο της δημιουργίας μίας λείας επιφάνειας η τιμή της οποίας σε οποιοδήποτε σημείο της είναι παρόμοια με τις τιμές στα εγγύτερα σημεία παρά με εκείνες των απομακρυσμένων. Η μέθοδος περιγράφεται ως ακριβής μέθοδος εξαιτίας του ότι τα αποτελέσματα της παρεμβολής ταυτίζονται με τα σημεία των δεδομένων που σημαίνει ότι διατηρούνται τα αρχικά δεδομένα. Ακόμη, σημαντική είναι η παρατήρηση ότι οι τιμές των προβλεπόμενων τιμών που προκύπτουν βρίσκονται εντός των ορίων των μετρούμενων και επομένως οι τιμές περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος με μέγιστη τιμή την μέγιστη μετρούμενη και ελάχιστη την ελάχιστη μετρούμενη [Longley P. et al (2010)].

6.1.2. KRIGING

Η Kriging είναι μία γεωστατιστική μέθοδος παρεμβολής. Ιστορικά, η γεωστατιστική εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1910 στη γεωπονία, αργότερα το 1930 στη μετεωρολογία ενώ έγινε περισσότερο γνωστή από τον Krige στις αρχές των εξερευνήσεων στην εξόρυξη το 1951 [Cressie, 1993, Collins, 1995, Lam, 1983 αναφ. στο Sterling D. (2003), Webster και Oliver, 2001 αναφ. στο Li J. και Heap A. (2008)]. Δώδεκα χρόνια μετά την πρωτοποριακή εργασία του Krige, το 1963, ο G. Matheron, ένας Γάλλος, ενσωμάτωσε την μεθοδολογία του Krige σε μια τεχνική που ονόμασε ως «Kriging». Η θεωρία του Matheron³ είναι γνωστή ως η θεωρία της συμπεριφοράς των κατανεμημένων μεταβλητών ή αλλιώς ως η θεωρία των περιφερειοποιημένων μεταβλητών (Collins, 1995, Wackernagel, 2003 αναφ. στο Li J., Heap A. (2008)). Σήμερα η μέθοδος Kriging αξιοποιείται σε πολλούς επιστημονικούς

³ Τα λόγια του Matheron G. (1971): «Γενικότερα, όταν ένα φαινόμενο απλώνεται στον χώρο και παρουσιάζει μία συγκεκριμένη χωρική δομή τότε λέμε ότι είναι περιφερειοποιημένο. Εάν το $f(x)$ υποδηλώνει την τιμή στο σημείο x ενός χαρακτηριστικού f του φαινομένου θα λέγαμε ότι το $f(x)$ είναι μία περιφερειοποιημένη μεταβλητή». Ο ίδιος χαρακτηρίζει τον όρο της περιφερειοποιημένης μεταβλητής ως ουδέτερο και καθαρά περιγραφικό.

κλάδους συμπεριλαμβανομένης της γεωλογίας, της γεωργίας, και των περιβαλλοντικών επιστημών.

Η μέθοδος Kriging είναι συνώνυμη με την «βέλτιστη πρόβλεψη" διότι αποτελεί μία μέθοδο που προσπαθεί να βγάλει συμπεράσματα σχετικά με τις απαραίτητες τιμές σημείων στον χώρο (Cressie, 1993 αναφ. στο Sterling D. (2003)). Τα συμπεράσματα αυτά που προκύπτουν βασίζονται στην στατιστική αμεροληψία (π.χ. κατά μέσο όρο η προβλεπόμενη τιμή και η πραγματική αξία συμπίπτουν) και στην ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος της πρόβλεψης, ένα μέτρο της αβεβαιότητας ή της μεταβλητότητας στις προβλεπόμενες τιμές. Η Kriging εξάγει αυτά τα συμπεράσματα και τις εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας το ημιμεταβλητόγραμμα, ένα μέτρο της χωρικής συσχέτισης μεταξύ δύο σημείων. Τα βάρη δίνονται για τα σημεία που έχουν παρόμοια επίδραση κατεύθυνσης και απόστασης και τα οποία τοποθετούνται σε ζεύγη. Ένα ημιμεταβλητόγραμμα βασίζει αυτές τις προβλέψεις στο επίπεδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης δηλαδή στον βαθμό εξάρτησης μεταξύ των τιμών των δεδομένων του δείγματος η οποία εξασθενεί καθώς η απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων αυξάνεται (Lam, 1983 αναφ. στο Sterling D. (2003)).

Η μέθοδος Kriging είναι μια τεχνική γεωστατιστικής παρόμοια με την IDW στο ότι χρησιμοποιεί ένα γραμμικό συνδυασμό των βαρών σε γνωστά σημεία για την εκτίμηση των τιμών σε άλλα άγνωστα (Yang J., Wang Y., August P. (2004), Knotters M., Heuvelink G., Hoogland T., Walvoort D. (2010), Collins, 1995 αναφ. στο Sterling D. (2003), Anderson, 2003 αναφ. στο Sterling D. (2003)) ωστόσο η Kriging δεν είναι ντετερμινιστική, αποτελεί μία στοχαστική τεχνική. Ουσιαστικά επεκτείνει την προσέγγιση στάθμισης με βάση την εγγύτητα που προτείνει η IDW και συμπεριλαμβάνει τυχαία συστατικά όπου η ακριβής θέση του σημείου δεν είναι γνωστή από τη συνάρτηση. Για τον υπολογισμό της επιφάνειας η μέθοδος αυτή αξιοποιεί χωρικές και στατιστικές σχέσεις (Azpurua M., Dos Ramos K. (2010)) εξετάζοντας τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας και την αυτοσυσχέτισή τους και χρησιμοποιώντας ένα Ημιμεταβλητόγραμμα, ένα μέτρο της χωρικής συσχέτισης μεταξύ των σημείων, έτσι ώστε τα βάρη να αλλάζουν σύμφωνα με την χωρική διάταξη των δειγμάτων (Goovaerts, 1997, Azpurua M., Dos Ramos K., 2010).

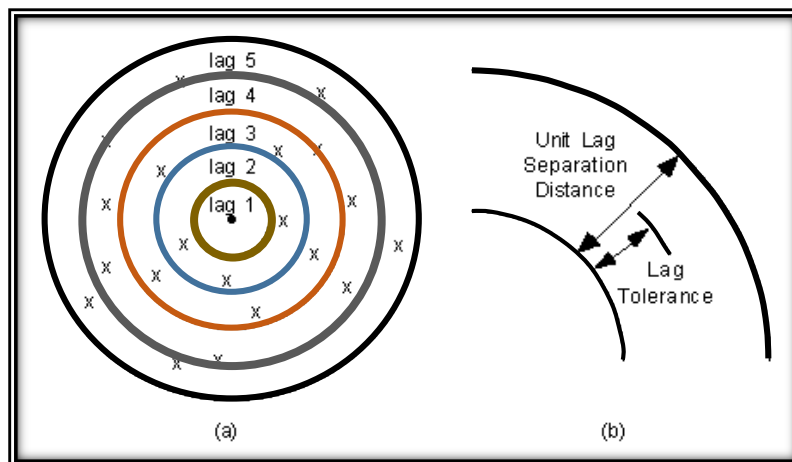
Η γεωστατιστική περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούν αλγορίθμους kriging για την εκτίμηση συνεχών χαρακτηριστικών στον χώρο. Η ονομασία Kriging

είναι ένα γενικό όνομα για μια οικογένεια αλγορίθμων γενικευμένων ελαχίστων τετραγώνων παλινδρόμησης. Ορισμένες από τις μεθόδους Kriging είναι η Ordinary Kriging, η Simple Kriging, η Universal Kriging, η Block Kriging, η Non-linear Kriging, η Co Kriging, η Multivariate Kriging [Κουτσόπουλος Κ., 2005] . Υπάρχουν πολλές μορφές Kriging όλες όμως βασίζονται σταθερά στην θεωρία [Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. (2010)]. Όπως αναφέρουν ο Knotters M. et al, (2010) η μέθοδος Kriging αναφέρεται σε μια ομάδα γεωστατιστικών μεθόδων κατά την οποία «η τιμή σε μια τοποθεσία που δεν έχει γίνει δειγματοληψία προβλέπεται από ένα γραμμικό συνδυασμό των τιμών σε γύρω περιοχές, με τη χρήση βαρών σύμφωνα με ένα μοντέλο που περιγράφει τη χωρική συσχέτιση». Γενικότερα η Kriging αναφέρεται σε μια κατηγορία στατιστικών τεχνικών που έχουν ως στόχο την βέλτιστη χωροταξική πρόβλεψη (spatial prediction) [Krivoruchko K., Gotway C. (2004)].

Οι μέθοδοι kriging εφαρμόζονται ευρέως για την παρεμβολή χωρικά κατανεμημένων περιβαλλοντικών μεταβλητών. Με σκοπό τον χαρακτηρισμό της τοπικής ακρίβειας των χωρικών προβλέψεων ποσοτικά δημιουργείται ο χάρτης της διακύμανσης kriging η οποία διακύμανση βασίζεται σε διάφορες υποθέσεις. Η διακύμανση kriging είναι ένα μέτρο της ακρίβειας των τιμών παρεμβολής ή αλλιώς ένα μέτρο της αβεβαιότητας σχετικά με τις πραγματικές τιμές [Knotters M. et al, (2010)]. Ελαχιστοποιώντας την διακύμανση εκτιμώνται τα βάρη kriging. Η κύρια στατιστική υπόθεση πίσω από την kriging είναι αυτή της στασιμότητας που σημαίνει ότι οι στατιστικές ιδιότητες όπως η μέση τιμή και η διακύμανση δεν εξαρτώνται από τις ακριβείς χωρικές θέσεις, ούτως ώστε η μέση τιμή και διακύμανση μιας μεταβλητής σε μία θέση να είναι ίση με την μέση τιμή και διακύμανση σε μια άλλη θέση. Επιπρόσθετα, ο συσχετισμός μεταξύ οποιωνδήποτε δύο περιοχών εξαρτάται μόνο από τον φορέα (vector) που τους χωρίζει, και δεν εξαρτάται από την ακρίβεια των θέσεων τους. Όταν τα δεδομένα δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι πληρούν αυτήν την υπόθεση της στασιμότητας, τότε χρησιμοποιούνται οι detrending τεχνικές [Krivoruchko K., Gotway C. (2004)]. Η υπόθεση της στασιμότητας συμβάλλει στην έγκυρη στατιστική συμπερασματολογία.

Η παρεμβολή στηριζόμενη στην μέθοδο kriging βασίζεται σε ένα παγκόσμιο σύστημα στάθμισης που προκύπτει από την διακύμανση των δεδομένων. Η διακύμανση είναι η μέση διαφορά στην τιμή του χαρακτηριστικού σε μία συγκεκριμένη απόσταση υστέρησης (lag distance). Η απόσταση υστέρησης προκύπτει από την

απόσταση μεταξύ δύο σημείων, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διακύμανσης των δεδομένων.



Σχήμα 3: (a)-αποστάσεις υστέρησης, (b)- μονάδα υστέρησης διαχωρισμού της απόστασης, ανοχή στην υστέρηση

Πηγή: Επεξεργασία από

http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Kriging/lags.gif

Οι αποστάσεις υστέρησης είναι οι αποστάσεις υποδιαιρούμενες σε συγκεκριμένα διαστήματα. Για τις διακυμάνσεις που βρίσκονται στο ίδιο διάστημα υστέρησης εξάγεται ο μέσος όρος τους ο οποίος και παριστάνεται γραφικά στο βαριόγραμμα σε σχέση με την απόσταση. Τα διαστήματα υστέρησης προσδιορίζονται στο παράθυρο διαλόγου του εμπειρικού βαριογράμματος εισάγοντας τον συνολικό αριθμό των υστερήσεων, μία μονάδα υστέρησης διαχωρισμού της απόστασης και μία ανοχή στην υστέρηση (lag). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανοχή στην υστέρηση (lag tolerance) θα πρέπει να είναι το μισό της μονάδας υστέρησης διαχωρισμού της απόστασης (unit lag separation distance), (Σχήμα 3).

Όλοι οι εκτιμητές kriging είναι παραλλαγές της παρακάτω εξίσωσης:

$$\hat{Z}(x_0) - \mu = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - \mu(x_0)]$$

Όπου μ είναι ένας γνωστός στατικός μέσος, υποτίθεται ότι είναι σταθερός για ολόκληρο τον τομέα και υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των δεδομένων. Η παράμετρος λ_i είναι το βάρος Kriging, n είναι ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για να υλοποιήσουν την εκτίμηση και εξαρτάται από το μέγεθος του παραθύρου αναζήτησης και $\mu(x_0)$ είναι ο μέσος των δειγμάτων εντός του παραθύρου αναζήτησης (Li J., Heap A. (2008)).

6.1.2.1. ORDINARY KRIGING

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση ordinary kriging (OK) μεθόδων είναι:

$$Z(s) = u + e(s)$$

όπου το $Z(S)$ αντιπροσωπεύει την τιμή για την άγνωστη μεταβλητή σε μια χωρική θέση s , u αντιπροσωπεύει μια άγνωστη σταθερή μέση για τα δεδομένα (επομένως δεν υπάρχει τάση), και $e(S)$ αντιπροσωπεύει το τυχαία σφάλματα (Johnston, 2001 αναφ. στο Jakubek D., 2002). Σύμφωνα με τον Jakubek D. (2002) κατά την εξέταση των τυχαίων σφαλμάτων η τυχαία διαδικασία είναι εγγενώς στάσιμη. Η εγγενής στασιμότητα ορίζεται ως «μια παραδοχή ότι τα δεδομένα προέρχονται από μια τυχαία διαδικασία με σταθερό μέσο και ένα ημιμεταβλητόγραμμα που εξαρτάται μόνο από την απόσταση και την κατεύθυνση διαχωρισμού από οποιαδήποτε δύο σημεία» (Johnston, 2001 αναφ. στο Jakubek D., 2002).

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της πρόβλεψης το οποίο είναι το σταθμισμένο άθροισμα των δεδομένων όπως χαρακτηρίζεται και στην ακόλουθη εξίσωση:

$$Z_{(s_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{(s_i)}$$

Όπου $Z(S_i)$ είναι η μετρούμενη τιμή στη θέση i , λ_i είναι ένα άγνωστο βάρος για τη μετρούμενη τιμή στη θέση i , (s_0) είναι οι συντεταγμένες της τοποθεσίας πρόβλεψης, και N αντιπροσωπεύει τον αριθμό των μετρημένων σημείων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη μιας τιμής για μια άγνωστη τοποθεσία (Johnston, 2001 αναφ. στο Jakubek D., 2002). Το $\lambda_i Z_{(s_i)}$ είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των δειγμάτων $Z_{(s_i)}$ με τα άγνωστα βάρη λ_i (Pilz J., 2009). Ακόμη πρέπει να ισχύει $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ δηλαδή το άθροισμα των βαρών να ισούται με την μονάδα [Li J., Hear A. (2008)]. Αυτό το προγνωστικό είναι παρόμοιο με την IDW παρεμβολή, μολονότι η στάθμιση εξαρτάται από τις αποστάσεις από την τοποθεσία πρόβλεψης λαμβάνοντας υπόψιν το ημιμεταβλητόγραμμα και τη χωρική σχέση των μετρούμενων τιμών που περιβάλλουν το υπο εκτίμηση σημείο.

Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αμεροληψία της πρόβλεψης. Από το σύνολο των προβλέψεων σε μία περιοχή κάποιες προβλέψεις θα είναι μεγαλύτερες από

τις πραγματικές τιμές και κάποιες άλλες θα είναι μικρότερες. Εν τέλει θα πρέπει, κατά μέσο όρο, η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της προβλεπόμενης τιμής να είναι μηδέν.

6.2. ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ

Το ημιβαριόγραμμα είναι μία αναπαράσταση του μέσου ρυθμού μεταβολής του εξεταζόμενου χαρακτηριστικού με την απόσταση. Αποτελεί μία συνάρτηση της απόστασης και της κατεύθυνσης που χωρίζει δύο περιοχές και προσδιορίζει ποσοτικά την χωρική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων. Χρησιμοποιείται στην μέθοδο kriging για να αναπτύξει μία πρόβλεψη της αναμενόμενης διαφοράς στις τιμές μεταξύ ζευγών δεδομένων με παρόμοιο προσανατολισμό (Collins, 1995, Lam, 1983) και για να καθορίσει τα βάρη που καθορίζουν τη συμβολή του κάθε σημείου δεδομένων στην πρόβλεψη των νέων τιμών στις τοποθεσίες που δεν έχει γίνει δειγματοληψία. Αυτός είναι ένας άλλος τρόπος με τον οποίο διαφέρει η kriging από τις ντετερμινιστικές μεθόδους παρεμβολής καθώς έναντι της χρήσης μίας λειτουργικής μορφής όπως είναι η χρήση της αντίστροφης απόστασης χρησιμοποιεί το ημιμεταβλητόγραμμα για τον προσδιορισμό των βαρών. Με βάση το ημιβαριόγραμμα τα βάρη δίνονται για τα σημεία που έχουν παρόμοια επίδραση κατεύθυνσης και απόστασης. Ένα ημιβαριόγραμμα βασίζει αυτές τις προβλέψεις από το επίπεδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης που σημαίνει την εξάρτηση μεταξύ των τιμών των δεδομένων του δείγματος οι οποίες μειώνονται καθώς η απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων αυξάνεται (Lam, 1983).

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του semivariogram (γ):

$$\gamma = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [z(x_i + d) - z(x_i)]^2$$

Όπου d είναι η απόσταση μεταξύ δύο δειγμάτων (Lam, 1983). Το semivariogram αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ της μισής μέσης τετραγωνικής διαφοράς μεταξύ των τιμών του δείγματος και της απόστασης που παρεμβαίνει μεταξύ τους.

Η ημιμεταβλητότητα μπορεί να εκτιμηθεί από τα δεδομένα ως εξής:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$$

όπου n είναι ο αριθμός των ζευγαριών των σημείων δειγματοληψίας χωρισμένα μεταξύ τους από μία απόσταση h (Burrough and McDonnell, 1998).

Ο υπολογισμός ενός μοντέλου ημιβαριογράμματος ξεκινά με τη δημιουργία ενός πειραματικού-εμπειρικού βαριογράμματος χρησιμοποιώντας το δείγμα των διαθέσιμων δεδομένων. Το ημιβαριόγραμμα παρέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για μία περεφηρειοποιημένη μεταβλητή συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους της ζώνης επιρροής γύρω από ένα δείγμα, της ισότροπης ή ανισότροπης φύσης της μεταβλητής και της συνοχής της μεταβλητής μέσα στο χώρο (Cressie, 1993, Collins, 1995).

6.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το σχήμα 4 είναι γνωστό ως πειραματικό ημιβαριόγραμμα το οποίο παρουσιάζει τα βασικά του χαρακτηριστικά.

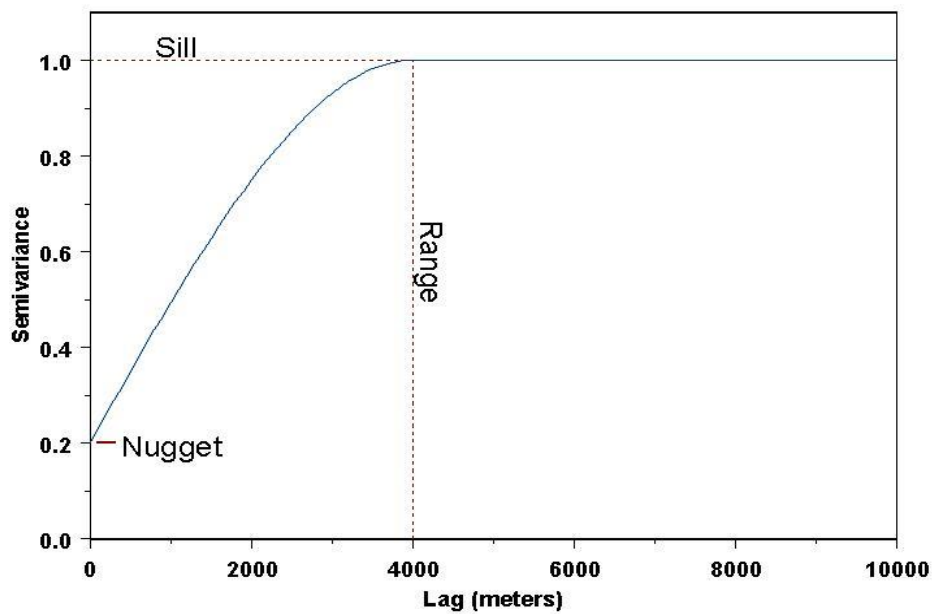
Αυτά είναι τα εξής:

Sill: Η τιμή ημιδιακύμανσης (semivariance) μέχρι την οποία φτάνουν τα επίπεδα βαριογράμματος. Το sill-κατώφλι θα μπορούσε να αναφέρεται στο συνολικό sill⁴ (1.0) ή στο μερικό-partial sill από την διαφορά (0.8) μεταξύ του συνολικού sill και του nugget-ψήγματος (0.2), [Bohling G. (2005)].

Range: Η απόσταση υστέρησης που μεσολαβεί κατά την οποία η τιμή της ημιμεταβλητότητας φθάνει την τιμή sill. Πέρα από τα όρια του εύρους η αυτοσυσχέτιση είναι μηδενική [Bohling G. (2005)].

Το range-εύρος είναι μία τιμή της απόστασης στην οποία το 'κατώφλι' (sill) έχει επιτευχθεί. Τα δείγματα εκείνα τα οποία χωρίζονται από μία απόσταση μεγαλύτερη από ότι είναι το εύρος χαρακτηρίζονται ως χωρικά ανεξάρτητα καθώς η εκτιμώμενη ημιμεταβλητότητα των διαφορών θα είναι αμετάβλητη με την απόσταση διαχωρισμού του δείγματος [Li J., Hear A. (2008)]. Πιο απλά, εάν η απόσταση που χωρίζει μία μη επισκέψιμη θέση από ένα σημείο δεδομένο είναι μεγαλύτερη από το εύρος τότε το σημείο δεδομένο δεν μπορεί να συνεισφέρει χρήσιμα στην παρεμβολή διότι είναι πολύ μακριά (Burrough και McDonnell, 1998).

⁴ Η οριακή τιμή του βαριογράμματος ονομάζεται κατώφλι – sill και είναι η διακύμανση του πληθυσμού.



Σχήμα 4: Χαρακτηριστικά ημιβαριογράμματος, Πηγή: Bohling G.

Σε περίπτωση που η αναλογία του sill στο nugget είναι κοντά στο 1, τότε το μεγαλύτερο μέρος της μεταβλητότητας είναι μη-χωρικό [Li J., Heap A. (2008)]. Το εύρος παρέχει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος του παραθύρου αναζήτησης που θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί στις μεθόδους χωρικής παρεμβολής (Burrough και McDonnell, 1998). Εάν οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων δεδομένων και των άγνωστων σημείων είναι μεγαλύτερες του εύρους τότε αυτές μπορούν να τροποποιηθούν από την ανισοτροπία, η οποία τροποποιεί το σχήμα της αναζήτησης γειτονιάς από κύκλο σε έλλειψη.

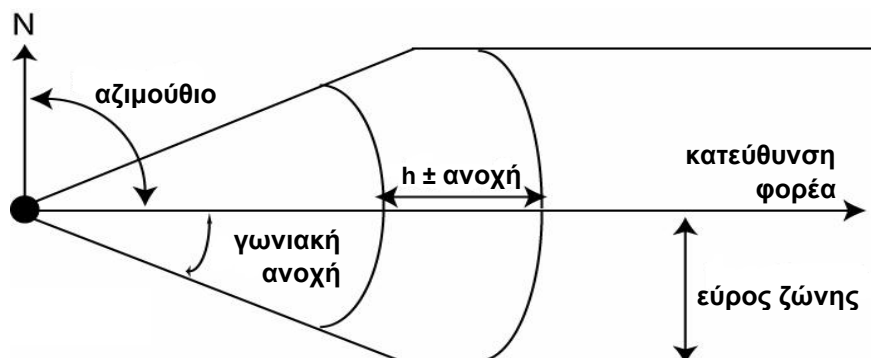
Nugget: Θεωρητικά η τιμή της ημιμεταβλητότητας στην προέλευση δηλαδή στην αρχή των αξόνων θα πρέπει να είναι μηδέν. Αν είναι με σημαντική διαφορά μακριά από το μηδέν για υστερήσεις πολύ κοντά στο μηδέν, τότε αυτή η τιμή ημιμεταβλητότητας αναφέρεται ως το nugget-ψήγμα. Το ψήγμα αντανακλά την διακύμανση των σφαλμάτων δειγματοληψίας και την χωρική διακύμανση σε μικρότερη απόσταση από την ελάχιστη απόσταση του δείγματος ή αλλιώς από το τυπικό μεσοδιάστημα του δείγματος. Το ψήγμα συνεπώς συνδέεται με την έννοια της χωρικής διακύμανσης και της μεταβλητότητας [Bohling G. (2005), Li J., Heap A. (2008)].

6.3. ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΣΤΟ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ

Ανισοτροπία είναι μια τυχαία διαδικασία η οποία δείχνει διαφορετικούς βαθμούς αυτοσυσχέτισης σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

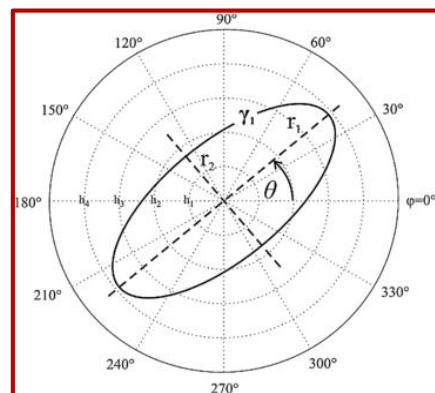
6.3.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ

Όταν επιλέγεται η ανισότροπη επιλογή, το σύννεφο βαριογράμματος υπολογίζεται από κατηγορίες κατεύθυνσης παίρνοντας κάθε φορά τον φορέα διαχωρισμού σε διαφορετική κατεύθυνση έτσι ώστε μόνο τα ζεύγη σημείων που βρίσκονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος γωνίας το ένα από το άλλο να συμπεριλαμβάνονται στο σύννεφο [Murthy P. (2008)]. Κάθε κατηγορία ορίζεται από μία γωνία αζιμούθιου (μετρούμενη αριστερόστροφα από την κατεύθυνση Ανατολή-Δύση) και μία γωνιακή ανοχή που καθορίζει το εύρος των κατευθύνσεων δηλαδή το εύρος ζώνης (σχήμα 5).



Σχήμα 5: Χαρακτηριστικά φορέα διαχωρισμού, **Πηγή:** Επεξεργασία από Bohling G. (2005)

Ένα απλό παράδειγμα για μια μικρή χωρική περιοχή είναι η διάκριση δύο κατευθύνσεων της ανισοτροπίας: την κατεύθυνση της μέγιστης Γ_1 (χαμηλή κλίση) και την κατεύθυνση της ελάχιστης Γ_2 συνέχειας (μεγάλη κλίση) της επιφάνειας βαριογράμματος (σχήμα 6). Η γνώση σχετικά με την ανισοτροπία στο σύνολο δεδομένων είναι σημαντική διότι μπορεί να ενισχύσει τη στάθμιση των τιμών δεδομένων κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα σημεία δεδομένα που εξαπλώνονται κατά μήκος

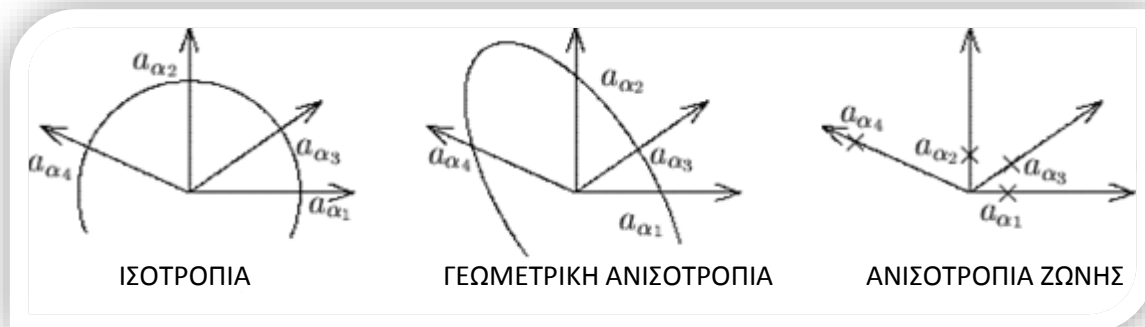


Σχήμα 6: Ανισοτροπία 2

κατευθύνσεων, **Πηγή:**

http://www.statistik.tuwien.ac.at/public/dutt/vorles/geost_03/img485.png

της κατεύθυνσης της μέγιστης συνέχειας να τονίζονται περισσότερο και σημεία δεδομένα σε μια κατεύθυνση της ελάχιστης συνέχειας να αποδυναμώνονται. Κατά τον Bohling G. (2005) τέτοιου είδους ημιβαριογράμματα κατεύθυνσης είναι πιο θορυβώδη λόγω του μειωμένου αριθμού ζευγών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση. Οι συνήθεις τύποι ανισοτροπίας είναι η γεωμετρική ανισοτροπία και η ανισοτροπία ζώνης (σχήμα 7).



Σχήμα 7: Τύποι ανισοτροπίας,

Πηγή: http://ej.iop.org/images/0957-0233/24/9/095201/Full/mst434355f6_online.jpg

Εάν τα βαριογράμματα είναι διαφορετικά σε διαφορετικές κατευθύνσεις τότε υπάρχει ανισοτροπία, αλλά αν τα βαριογράμματα που υπολογίζονται σε όλες τις πιθανές κατευθύνσεις είναι περίπου τα ίδια τότε υπάρχει ισοτροπία δηλαδή τότε το μοντέλο ημιμεταβλητότητας επηρεάζεται από την κατεύθυνση προς την οποία έχει ληφθεί η απόσταση h (Σχήμα 5). Συνεπώς, το βαριόγραμμα στην ισοτροπία εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της απόστασης μεταξύ των σημείων (Sarma, 2009).

6.4. ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ

Αρκετές πτυχές πρέπει να εξεταστούν κατά την επιλογή του παραθύρου γειτονιάς για αναζήτηση (Goonaerts, 1997). Το σχήμα του παραθύρου αναζήτησης είναι τυπικά ένας κύκλος με κέντρο το εκτιμώμενο σημείο ή μία έλλειψη σε περίπτωση ανισοτροπίας με τον κύριο άξονά της να είναι προσανατολισμένος κατά μήκος της κατεύθυνσης της μέγιστης συνέχειας. Εάν τα δείγματα είναι ομαδοποιημένα το παράθυρο πρέπει να χωριστεί σε τομείς ίσης γωνίας αλλά τα τεταρτημόρια θα πρέπει να αποφεύγονται όταν

τα δεδομένα είναι grided και το πλέγμα εκτίμησης ευθυγραμμίζεται με το δίκτυο δειγματοληψίας [Li J., Hear A. (2008)].

Ο περιορισμός του μεγέθους του παραθύρου είναι απαραίτητος αλλά θα πρέπει να αποφεύγεται εκ των προτέρων ο περιορισμός της μέγιστης απόστασης αναζήτησης στο εύρος συσχέτισης των δεδομένων (Goonaerts, 1997). Σε μια υποπεριοχή όπου η πυκνότητα του δείγματος είναι χαμηλή η απόσταση αναζήτησης θα πρέπει να αυξηθεί ούτως ώστε να διατηρούνται αρκετά στοιχεία ή απλώς να διατηρούνται η πλησιέστερα δείγματα ανεξαρτήτως της απόστασης τους [Li J., Hear A. (2008)].

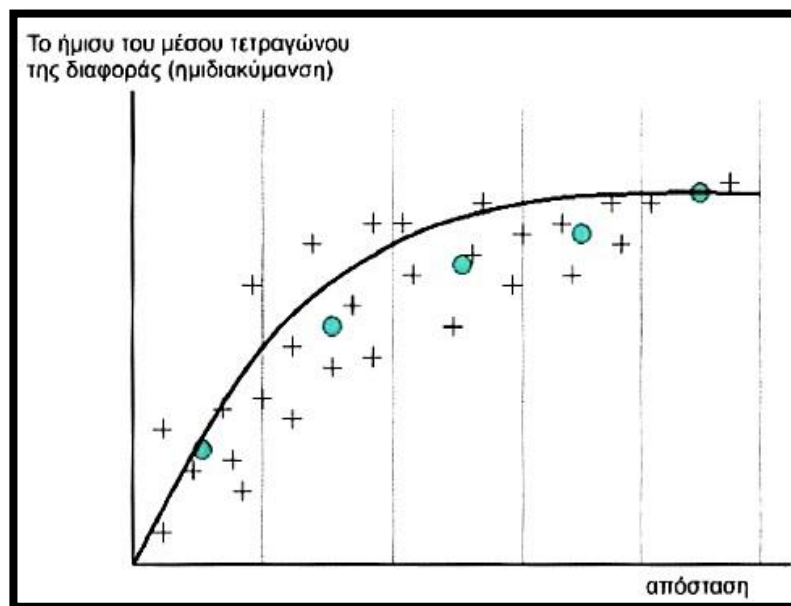
Εκτός από το μέγεθος και από τον προσανατολισμό του παραθύρου θα πρέπει να καθορίζεται ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός δειγμάτων για την εκτίμηση (Goonaerts, 1997). Ο ελάχιστος αριθμός θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με τον αριθμό των περιορισμών σχετικά με τα βάρη kriging και πρέπει να είναι μεγαλύτερος όταν είναι συγκεντρωμένα τα δεδομένα. Ο μέγιστος αριθμός θα πρέπει να περιορίζεται για να απεικονίζει τοπικά χαρακτηριστικά του χαρακτηριστικού και θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος για να απεικονίσει μεγάλου βεληνεκούς δομές [Li J., Hear A. (2008)].

6.5. ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ

Ένα εμπειρικό ημιβαριόγραμμα είναι ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει τις μέσες τιμές ημιμεταβλητότητας (το ήμισυ του τετραγώνου της διαφοράς μεταξύ ζευγών περιοχών) στον άξονα y σε σχέση με την απόσταση που τις χωρίζει στον άξονα x [Longley, 2010]. Οι μέσες τιμές χρησιμοποιούνται εξαιτίας του ότι η υπόθεση της εγγενούς στασιμότητας βρίσκεται σε ισχύ [Jakubek D., (2002)]. Το ArcGIS χρησιμοποιεί μία τεχνική στην οποία τα ζεύγη θέσεων ομαδοποιούνται με βάση συγκεκριμένα εύρη αποστάσεων και τις κατευθύνσεις τους. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως «binning,» κατά την οποία η μέση εμπειρική ημιδιακύμανση (semivariance) για όλα τα ζεύγη των σημείων καταγράφεται. Ο χαρακτηρισμός "εμπειρικό" σημαίνει ότι μία ορισμένη ποσότητα εξαρτάται από τα δεδομένα και δεν είναι ένα μοντέλο.

Στο σχήμα 8 κάθε σημείο αντιπροσωπεύει ένα ζεύγος μετρούμενων τιμών από ολόκληρο το σύνολο των σημείων δεδομένων. Ο κατακόρυφος άξονας αναπαριστά το ήμισυ του τετραγώνου της διαφοράς και το γράφημα είναι γνωστό ως ημιβαριόγραμμα ή ημιμεταβλητόγραμμα. Ο άξονας x της απόστασης διαιρείται σε μία σειρά περιοχών ή δοχεία (bins) όπως φαίνεται και στο σχήμα 8 με τις κάθετες στην απόσταση γραμμές

και υπολογίζεται ο μέσος όρος των σημείων κάθε περιοχής ώστε να προκύψουν τα ‘βαριά’ σημεία (με το γαλάζιο χρώμα). Αυτό το ημιβαριόγραμμα σχεδιάστηκε χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι κατευθύνσεις μεταξύ των σημείων των ζευγών. Αυτό σημαίνει πως το ημιβαριόγραμμα είναι ισοτροπικό. Μερικές φορές υπάρχει μία απότομη διακύμανση της συμπεριφοράς στις διαφορετικές κατευθύνσεις και δημιουργούνται ανισοτροπικά ημιβαριογράμματα για διαφορετικές περιοχές κατευθύνσεων (π.χ. για ζεύγη σε κάθε τομέα 90 μοιρών). Συνεπώς ένα ανισοτροπικό βαριόγραμμα εξετάζει τη μεταβολή της χωρικής εξάρτησης στις διαφορετικές κατευθύνσεις [Longley, 2010].



Σχήμα 8: Ένα ημιβαριόγραμμα.

Ο κάθε σταυρός αντιπροσωπεύει ένα ζεύγος σημείων. Οι κύκλοι με το γαλάζιο χρώμα αποτελούν τα ‘βαριά’ σημεία που προκύπτουν από τον υπολογισμό του μέσου όρου εντός του κάθε δοχείου στον άξονα της απόστασης. Η καμπύλη που διέρχεται από την αρχή των αξόνων είναι η βέλτιστη προσέγγιση των 5 ‘βαριών’ σημείων με την χρήση μιας τυπικής μαθηματικής συνάρτησης (αναφορά σε αυτό παρακάτω), **Πηγή:** Longley, 2010.

6.6. BAPH KRIGING

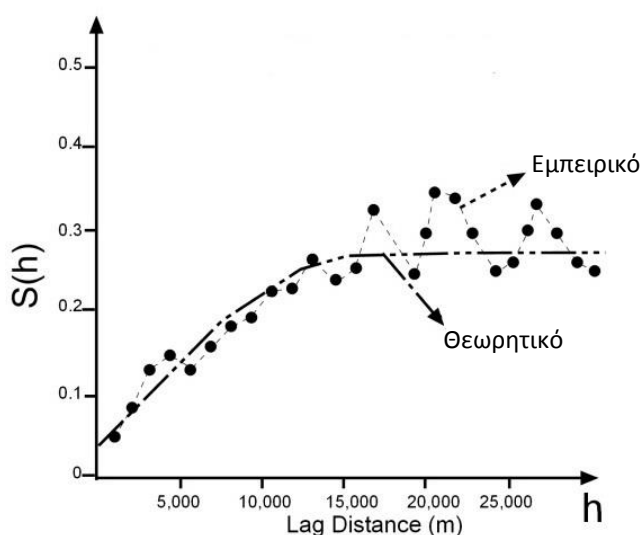
Η τιμή του βάρους που αποδίδεται σε ένα δείγμα αυξάνεται καθώς η απόσταση από το σημείο μειώνεται. Όσο μεγαλύτερο είναι το ψήγμα τόσο μικρότερη είναι και η τιμή του βάρους ενός δείγματος που είναι πλησιέστερα στο υπό εκτίμηση σημείο. Ο Goovaerts P. (1997) αναφέρει πως τα βάρη Kriging εξαρτώνται μόνο από το σχήμα του semivariogram-ημιβαριογράμματος όπως είναι η σχετική επίδραση του ψήγματος, η

ανισοτροπία και το εύρος συσχέτισης, δεν εξαρτώνται από το γενικό sill. Στα δείγματα πέρα από το εύρος συσχέτισης μπορεί να ανατεθεί μία μη μηδενική βαρύτητα λόγω της συμβολής τους στην εκτίμηση του στοιχείου τάσης στα σημεία ενδιαφέροντος.

6.7. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η μοντελοποίηση βαριογράμματος και η εκτίμηση είναι εξαιρετικής σημασίας για την δομική ανάλυση και την χωρική παρεμβολή (Burrough and McDonnell, 1998).

Για λόγους kriging, θα πρέπει να γίνει αντικατάσταση του εμπειρικού ημιμεταβλητογράμματος με ένα αποδεκτό θεωρητικό μοντέλο ημιμεταβλητογράμματος. Ένας λόγος για τον οποίο πρέπει να γίνει αυτό είναι το ότι ο kriging αλγόριθμος θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε τιμές ημιμεταβλητότητας για αποστάσεις υστέρησης πλην εκείνων που χρησιμοποιούνται στο εμπειρικό ημιμεταβλητόγραμμα.



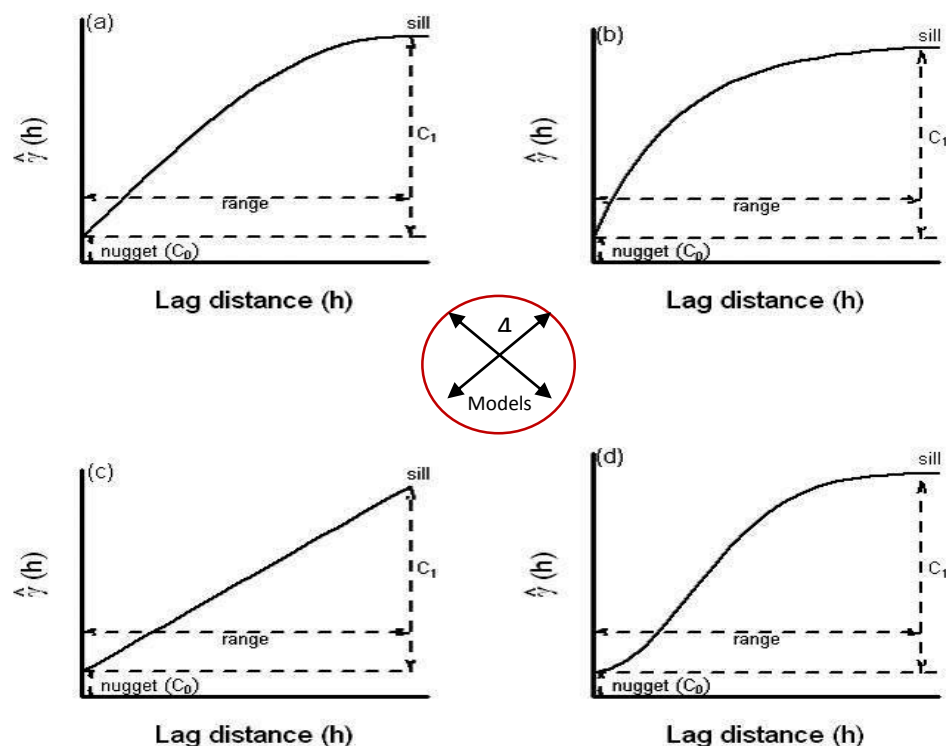
Σχήμα 9: Εμπειρικό και θεωρητικό ημιβαριογράμμα, **Πηγή:** Επεξεργασία από <http://www.intechopen.com/source/html/40518/media/image6.png>

Μεγαλύτερης σημασίας είναι ότι τα μοντέλα ημιμεταβλητότητας που χρησιμοποιούνται στην kriging διαδικασία πρέπει να υπακούουν ορισμένες αριθμητικές ιδιότητες, ώστε οι εξισώσεις kriging να είναι επιλύσιμες. Ως εκ τούτου οι ερευνητές επιλέγουν από ένα σύνολο αποδεκτών ή νόμιμων μοντέλων ημιμεταβλητογράμματος γνωστά και ως θεωρητικά.

Τα μοντέλα βαριογράμματος μπορεί να αποτελούνται από απλά μοντέλα, περιλαμβάνοντας το: Circular, Exponential, Spherical, Tetraspherical, Pentaspherical, Gaussian, Linear, Rational Quadratic, Hole Effect, K-Bessel, J-Bessel Stable μοντέλο ή το ένθετο άθροισμα ενός ή περισσότερων απλών μοντέλων (Burrough και

McDonnell, 1998, Pebesma, 2004, Webster και Oliver, 2001). Τέσσερα συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα βαριογράμματος απεικονίζονται στο σχήμα 10 με βάση τις εξισώσεις στο βιβλίο Burrough και McDonnell (1998).

Η μορφή του βαριογράμματος δίνει πληροφορίες σχετικά με το είδος της χωρικής διακύμανσης σε μία περιοχή και μπορεί να βοηθήσει στην λήψη απόφασης σχετικά με την πρόοδο της διαδικασίας για παρεμβολή.



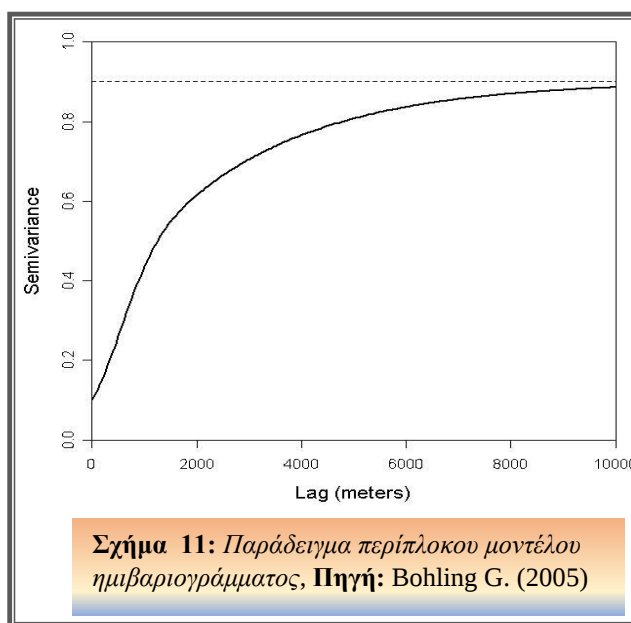
Σχήμα 10: Παραδείγματα τεσσάρων κοινών μοντέλων Βαριογράμματος-(a) spherical, (b) exponential, (c) linear και (d) Gaussian **Πηγή:** Επεξεργασία από Burrough, 1998

Το Gaussian μοντέλο [Σχήμα 10 (d)], με την παραβολική του συμπεριφορά κατά την προέλευση στην αρχή των αξόνων, αντιπροσωπεύει πολύ ομαλά μεταβαλλόμενες ιδιότητες. Ωστόσο η επιλογή του Gaussian μοντέλου σε συνδυασμό με την μη ύπαρξη nugget μπορεί να οδηγήσει σε αριθμητικές αστάθειες στην διαδικασία kriging. Το σφαιρικό και εκθετικό μοντέλο [Σχήμα 10 (a, b)] εμφανίζουν γραμμική συμπεριφορά στην αρχή των αξόνων και θεωρούνται κατάλληλα για την αναπαράσταση των ιδιοτήτων ενός χαρακτηριστικού με ένα υψηλότερο επίπεδο της μικρής εμβέλειας μεταβλητότητας (short-range variability), [Bohling G. (2005)]. Τέτοια μοντέλα με

περιορισμένο nugget-περβάζι, όπως το Gaussian, εκθετικό, και σφαιρικό, αναφέρονται ως μοντέλα μετάβασης. Αποτελούν μοντέλα μετάβασης ή μεταβατικά βαριογράμματα επειδή η χωρική δομή συσχέτισης ποικίλει με την απόσταση υστέρησης h ενώ τα μη μεταβατικά βαριογράμματα δεν έχουν sill εντός της περιοχής δειγματοληψίας και μπορούν να μοντελοποιηθούν από το γραμμικό μοντέλο⁵. Επιπρόσθετα ένα βαριόγραμμα το οποίο γίνεται απότομο με την απόσταση υστέρησης h υποδεικνύει μία τάση που θα έπρεπε να μοντελοποιηθεί ξεχωριστά. Ένα ακόμη μοντέλο το μοντέλο δύναμης δεν καταλήγει σε πεπερασμένο sill και δεν έχει αντίστοιχη λειτουργία συνδιακύμανσης. Τέτοιο μοντέλο ημιμεταβλητογράμματος είναι κατάλληλο για χαρακτηριστικά με ιδιότητες που παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά [Burrough και McDonnell, 1998].

Ένα παράδειγμα περίπλοκου μοντέλου:

Το διπλανό μοντέλο βαριογράμματος αποτελείται από ένα nugget ίσο με 0.1, από μία συνιστώσα Gaussian με εύρος 1500 και sill ίσο με 0.2 και μία εκθετική συνιστώσα με εύρος 8000 m και sill ίσο με 0.6, με το συνολικό sill που προκύπτει να είναι 0.9 (σχήμα 11).



Επομένως γραμμικοί συνδυασμοί των νόμιμων μοντέλων ημιμεταβλητότητας είναι νόμιμα μοντέλα και πιο περίπλοκα μοντέλα να μπορούν να κατασκευαστούν με την προσθήκη μαζί των βασικών μοντέλων όπως και στο παράδειγμα του σχήματος 11.

6.8. ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Διαφορετικά μοντέλα βαριογράμματος οδηγούν σε διάφορες παρεμβολές. Η επιλογή ενός κατάλληλου μοντέλου για να συλλάβει τα χαρακτηριστικά των δεδομένων είναι

⁵ Δεν είναι απαραίτητο όλα τα βαριογράμματα να φτάνουν ένα κατώφλι και χαρακτηριστικά συνεχίζουν να αυξάνονται με την απόσταση.

κρίσιμη. Σε αυτήν την επιλογή όπως επίσης και στην επιλογή της βέλτιστης ακτίνας αναζήτησης, που να ελαχιστοποιεί την kriging διακύμανση, θα μπορούσαν να βοηθήσουν οι τεχνικές Cross-validation. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή ενός καλού θεωρητικού μοντέλου εξαρτάται από την υποκειμενική κρίση του κάθε ερευνητή και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου το εμπειρικό ημιμεταβλητόγραμμα είναι αρκετά θορυβώδες.

6.9. CROSS VALIDATION - ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ – VALIDATION - ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ

Η πολλαπλή επικύρωση απομακρύνει ένα σημείο δεδομένο από το δείγμα και οι υπόλοιπες $n - 1$ παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν το σημείο δεδομένο που αφαιρέθηκε. Μετά την διαδικασία αυτή συγκρίνεται η αρχική μετρούμενη τιμή του σημείου με την τιμή που προβλέφθηκε. Η ίδια διαδικασία γίνεται για το σύνολο του πληθυσμού [Jakubek D. (2002), Sterling D. (2003)]. Η Cressie N. (1993) ορίζει την μέθοδο της πολλαπλής επικύρωσης ως την διαγραφή τμημάτων των δεδομένων και την παρεμβολή χρησιμοποιώντας το υπόλοιπο σύνολο δεδομένων. Από την επανάληψη της διαδικασίας της πολλαπλής επικύρωσης για πολλά διαγραφόμενα υποσύνολα αξιολογείται και η μεταβλητότητα του σφάλματος πρόβλεψης. Η Cressie N. (1993) περιγράφει την μέθοδο ως ένα δημοφιλές μέσο αξιολόγησης της στατιστικής εκτίμησης και πρόβλεψης.

Η διαδικασία της πολλαπλής επικύρωσης συμβάλλει στην διαδικασία λήψης απόφασης ώστε το μοντέλο να παρέχει τις καλύτερες προβλέψεις για τις παρεμβαλλόμενες τιμές. Η πολλαπλή επικύρωση χρησιμοποιεί όλα τα δεδομένα για την εκτίμηση του μοντέλου αυτοσυσχέτισης. Αφαιρείται ένα σημείο δεδομένων σε έναν χρόνο και προβλέπεται η σχετική τιμή (Tomczak M., 1998). Αφού ολοκληρωθεί η πολλαπλή επικύρωση σε ένα σημείο, θα απορρίψει οποιοδήποτε σημείο που δεν ταιριάζει με το μοντέλο αυτοσυσχέτισης.

Σε σχέση με την πολλαπλή επικύρωση η επικύρωση επιτρέπει την αξιολόγηση των προβλέψεων χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων (test dataset) το οποίο δεν συμμετείχε στην δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης. Ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (training dataset) συμμετέχει στην δημιουργία της παρεμβαλλόμενης επιφάνειας σχηματίζοντας μία συνεχή επιφάνεια. Στη συνέχεια για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των παρεμβαλλόμενων τιμών γίνεται σύγκριση των μετρούμενων τιμών με

τις εκτιμώμενες τιμές -από την παρεμβολή- στα σημεία του συνόλου δεδομένων για δοκιμή (test dataset). Η επικύρωση απαιτεί επιπλέον μετρούμενα σημεία ή αφαίρεση ορισμένων από τα ήδη υπάρχοντα και χρησιμοποίηση τους ως σύνολο δεδομένων δοκιμής (test dataset). Κάθε δεδομένο δοκιμής συγκρίνεται με την αντίστοιχη εκτιμώμενη τιμή του στο ίδιο σημείο αποδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό το πόσο καλά λειτουργεί το μοντέλο πρόβλεψης.

6.10. ERRORS-ΣΦΑΛΜΑΤΑ & ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Η πολλαπλή επικύρωση επίσης παρέχει τιμές σφαλμάτων που εκτιμούν την ακρίβεια του επιλεγμένου μοντέλου:

- ❖ **Mean Prediction Error (MPE)** – μέσο σφάλμα πρόβλεψης
- ❖ **Standardized Mean Prediction Error (SMPE)** – τυποποιημένο μέσο σφάλμα πρόβλεψης
- ❖ **Root-Mean Squared Prediction Error (RMSPE)** – μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης
- ❖ **Average Standard Error (ASE)** – μέσο τυποποιημένο σφάλμα
- ❖ **Standardized Root-Mean-Squared Prediction Errors (SRMSPE)** – τυποποιημένα μέσης τετραγωνικής ρίζας σφάλματα πρόβλεψης

Ένα καλό μοντέλο θα υπολογίσει τις τιμές MPE και SMPE κοντά σε μηδενική τιμή για να δείξει ότι οι προβλέψεις είναι αμερόληπτες. Επιπλέον, χαμηλές τιμές RMSPE προσδιορίζουν ότι οι προβλέψεις είναι κοντά στην πραγματική τους αξία. Οι τιμές ASE χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η μεταβλητότητα στις προβλέψεις από τις τιμές των μετρήσεων. Για τον λόγο αυτό η τιμή του ASE θα πρέπει να είναι κοντά στην τιμή του RMSPE προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η μεταβλητότητα στην πρόβλεψη. Εάν η τιμή του ASE είναι μεγαλύτερη από την τιμή RMSPE τότε η μεταβλητότητα της πρόβλεψης υπερεκτιμάται. Η τιμή του SRMSPE παρέχει επίσης μία άλλη μέθοδο για πρόσβαση στην μεταβλητότητα. Εάν τα τυποποιημένα σφάλματα πρόβλεψης είναι αξιόπιστα τότε οι τιμές των SRMSPE θα έπρεπε να είναι κοντά στο 1 (Johnston et al., 2001). Ωστόσο οι τυποποιημένες RMSPE τιμές μεγαλύτερες του 1 μεταφράζονται σε μία υποεκτίμηση στην μεταβλητότητα των προβλέψεων.

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, ο: μετρούμενη τιμή p: προβλεπόμενη τιμή, ο_s: τυποποιημένη μετρούμενη τιμή, p_s: τυποποιημένη προβλεπόμενη τιμή, s: τυπική απόκλιση από το εκτιμώμενο σφάλμα	
Πίνακας 7: Τύποι υπολογισμού σφαλμάτων	

Το ME χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του βαθμού μεροληψίας στις εκτιμήσεις, που συχνά αναφέρεται ως η προκατάληψη (Isaaks και Srivastava, 1989), αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή ως δείκτης ακρίβειας γιατί οι αρνητικές εκτιμήσεις εξουδετερώνονται από τις θετικές και το ME που προκύπτει τείνει να είναι χαμηλότερο από το πραγματικό σφάλμα (Nalder και Wein, 1998 αναφ. στο Li J., Heap A. (2008)). Το RMSE παρέχει ένα μέτρο του μεγέθους του σφάλματος αλλά είναι ευαίσθητο σε ακραίες τιμές καθώς δίνει πολύ βάρος σε μεγάλα σφάλματα (Hernandez-Stefanoni και Ponce-Hernandez, 2006 αναφ. στο Li J., Heap A. (2008)).

Όσο το ME και το MSE είναι πιο κοντά στο μηδέν και το RMSE είναι μικρότερο τόσο καλύτερο είναι το μοντέλο. Το ASE και το RSME θα πρέπει να είναι ή ίδια ή πολύ κοντά στις τιμές τους. Εάν ισχύει $ASE > RSME$, τότε η μέθοδος υπερεκτιμά την κύρια μεταβλητή. Εάν ισχύει $ASE < RSME$, τότε η μέθοδος υποτιμά την πρωταρχική μεταβλητή. Το RMSSE θα πρέπει να είναι κοντά στο 1. Εάν ισχύει $RMSSE > 1$, η μέθοδος υποτιμά την κύρια μεταβλητή και αν $RMSSE < 1$, υπερεκτιμά την κύρια μεταβλητή. 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 (Willmott, 1982 αναφ. στο Li J., Hear A. (2008)).

6.11. ΠΛΕΟΝΕΜΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ IDW

Το πλεονέκτημα της IDW είναι ότι αποτελεί μία εύκολη μέθοδο παρεμβολής με απλή τεχνική για την εφαρμογή της. Σε αντίθεση με την μέθοδο παρεμβολής kriging η IDW δεν απαιτεί την επιλογή ενός μοντέλου ημιμεταβλητογράμματος για να δημιουργηθεί μια επιφάνεια. Το γεγονός αυτό μειώνει το επίπεδο της υποκειμενικότητας αυτής της παρεμβολής και, επίσης, συμβάλλει σε πιο γρήγορες ταχύτητες υπολογισμού (Tomczak, 1998, αναφ. στο Sterling D., 2003). Επομένως, η IDW θεωρείται μια από τις απλούστερες τεχνικές παρεμβολής διότι δεν απαιτεί προ-μοντελοποίηση, όπως η kriging (Tomczak, 1998).

6.12. ΠΛΕΟΝΕΜΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ KRIGING

Η Kriging έχει πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα:

1. Παρέχει την καλύτερη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση.
2. Παρέχει ένα μέτρο του σφάλματος ή της αβεβαιότητας.
3. Είναι μια ακριβής μέθοδος (με εξαίρεση την Block Kriging).

Μειονεκτήματα:

1. Υποθέτει στασιμότητα στα δεδομένα (συνήθως δεν είναι αλήθεια, αν και η υπόθεση αυτή μπορεί να είναι χαλαρή με συγκεκριμένες μορφές kriging - Li J., Hear A., 2008).
2. Η επιλογή ενός θεωρητικού μοντέλου βαριογράμματος είναι υποκειμενική όπως επίσης και ο ορισμός του παραθύρου γειτονιάς.
3. Σχετικά χρονοβόρα διαδικασία.
4. Προϋποθέτει τα δεδομένα να είναι ισοτροπικά. Η ανισοτροπία θα πρέπει να εξετάζεται.
5. Για μια αξιόπιστη εκτίμηση βαριογράμματος απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός δειγμάτων.

6. Η Kriging διακύμανση είναι ανεξάρτητη από τις τιμές των δεδομένων. Ως εκ τούτου, δεν αντικατοπτρίζει την αβεβαιότητα που αναμένεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο (Li J., Heap A., 2008).
7. Η διακύμανση kriging δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνη της ως ένα μέτρο της τοπικής αβεβαιότητας διότι αποτελεί έναν δείκτη κατάταξης της γεωμετρίας των δεδομένων και δεν είναι μέτρο της τοπικής εξάπλωσης των σφαλμάτων. Ακόμη το σφάλμα διακύμανσης που προκύπτει από τους αλγορίθμους kriging είναι φτωχά συσχετισμένο με το πραγματικό σφάλμα εκτίμησης (Goovaerts, 1997).

6.13. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Γενικευμένες έναντι τοπικών

Οι τοπικές μέθοδοι λειτουργούν μέσα σε μια μικρή περιοχή γύρω από το εκτιμώμενο σημείο που υπολογίζεται (χρήση παραθύρου αναζήτησης) και έτσι εκτιμάται η τοπική μεταβολή ή μεταβολή μικρής εμβέλειας (Burrough και McDonnell, 1998).

Ακρίβεια

Μια μέθοδος που παράγει μια εκτίμηση τέτοια που είναι η ίδια με την παρατηρούμενη τιμή σε ένα σημείο δειγματοληψίας ονομάζεται ακριβής. Όλες οι άλλες μέθοδοι είναι ανακριβείς το οποίο σημαίνει ότι η προβλεπόμενη τιμή στο σημείο διαφέρει από την μετρούμενη τιμή του (Burrough και McDonnell, 1998).

Ντετερμινιστική έναντι Στοχαστική

Η στοχαστική μέθοδος ενσωματώνει την έννοια της τυχαιότητας, παρέχει εκτιμήσεις (ντετερμινιστικό μέρος) αλλά και εκτίμηση της αβεβαιότητας (στοχαστικό μέρος). Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι δεν έχουν καμία εκτίμηση των σφαλμάτων με τις προβλεπόμενες τιμές ενώ οι στοχαστικές μέθοδοι παρέχουν μια εκτίμηση των σφαλμάτων που σχετίζονται με τις προβλεπόμενες τιμές.

Σταδιακή έναντι Απότομη

Ορισμένες μέθοδοι παράγουν μία διακριτή και απότομη επιφάνεια ενώ κάποιες άλλες παράγουν μια ομαλή και σταδιακή επιφάνεια. Η ομαλότητα εξαρτάται από τα κριτήρια

με βάση τα οποία γίνεται η επιλογή των τιμών βάρους για κάθε ένα από τα σημεία δεδομένα που συνεισφέρει στην εκτίμηση του προβλεπόμενου σημείου. Τα κριτήρια περιλαμβάνουν απλές σχέσεις εξ αποστάσεως (π.χ., IDW), ελαχιστοποίηση της διακύμανσης (π.χ., Simple Kriging, Ordinary Kriging) και την ελαχιστοποίηση της καμπυλότητας και την επιβολή της ομαλότητας (π.χ. Spline).

Linear Kriging versus Nonlinear Kriging

Γραμμική kriging είναι η μέθοδος kriging που εκτιμά ένα σημείο χρησιμοποιώντας παρατηρούμενες τιμές υποθέτοντας την κανονική κατανομή των δειγμάτων. Μη-γραμμική kriging είναι η μέθοδος που προβλέπει με βάση τις μετασχηματισμένες τιμές των παρατηρούμενων δεδομένων. Η γραμμική kriging μπορεί να περιλαμβάνει την Simple Kriging και την Ordinary Kriging.

Μονοπαραγοντική -παραγοντική ή μονοδιάστατη - πολυδιάστατη

Στην γεωστατιστική οι μέθοδοι που αντιπροσωπεύουν μία μόνο μεταβλητή όπως είναι η Simple Kriging- SK και η Ordinary Kriging- OK είναι μονοδιάστατες.

Ακανόνιστο και κανονικοποιημένο σύστημα κατάταξης χωρικά μετρούμενων σημείων

Στο πρακτικό κομμάτι της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα κανονικοποιημένο σύστημα με τακτική διάταξη των μετρούμενων σημείων στο μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής μελέτης [Li J., Heap A. (2008)].

6.14. ΣΥΓΚΡΙΣΗ IDW ΜΕ KRIGING

IDW	KRIGING
✓ λεία επιφάνεια	✓ λεία επιφάνεια
	✓ στατιστική στασιμότητα
	✓ εγγενής υπόθεση
✓ μονοπαραγοντική	✓ μονοπαραγοντική / παραγοντική
✓ ντετερμινιστική	✓ στοχαστική
✓ τοπική	✓ τοπική
✓ ακριβής	✓ ακριβής

- | | |
|--|--|
| ✓ Μη εκτίμηση σφάλματος | ✓ Περιορισμός της διαδικασίας:
Σταδιακή εκτίμηση του
σφάλματος που εξαρτάται από
το βαριόγραμμα και από την
κατανομή και το μέγεθος των
σημείων δεδομένων |
| ✓ Τα αποτελέσματα εξαρτώνται
από το μέγεθος του παραθύρου
αναζήτησης και από την επιλογή
των παραμέτρων στάθμισης | |
| ✓ Μικρός υπολογιστικός χρόνος | ✓ Μέτριος υπολογιστικός χρόνος |
| ✓ Δομή δεδομένων εξόδου:
πλεγματική επιφάνεια,
ισοκαμπύλες | ✓ Δομή δεδομένων εξόδου:
πλεγματική επιφάνεια |
| ✓ Καταλληλότητα: Γρήγορη
παρεμβολή από διάσπαρτα
δεδομένα σε ένα κανονικά
διατεταγμένο πλέγμα ή από
ακανόνιστα διαστήματα
δειγμάτων | ✓ Καταλληλότητα: Όταν τα
δεδομένα είναι επαρκή για τον
υπολογισμό του
ημιβαριογράμματος (50 – 100
σημεία δεδομένα τουλάχιστον),
η Kriging μέθοδος παρέχει έναν
καλό παρεμβολέα για αραιά
κατανεμημένα στον χώρο
στοιχεία |
| ✓ Γραμμικός παρεμβολέας | ✓ Γραμμικός παρεμβολέας |
| ✓ Λειτουργεί καλύτερα σε
διαστρωματωμένα
δειγματοληψία | ✓ Λειτουργεί καλύτερα σε
διαστρωματωμένα
δειγματοληψία |
-

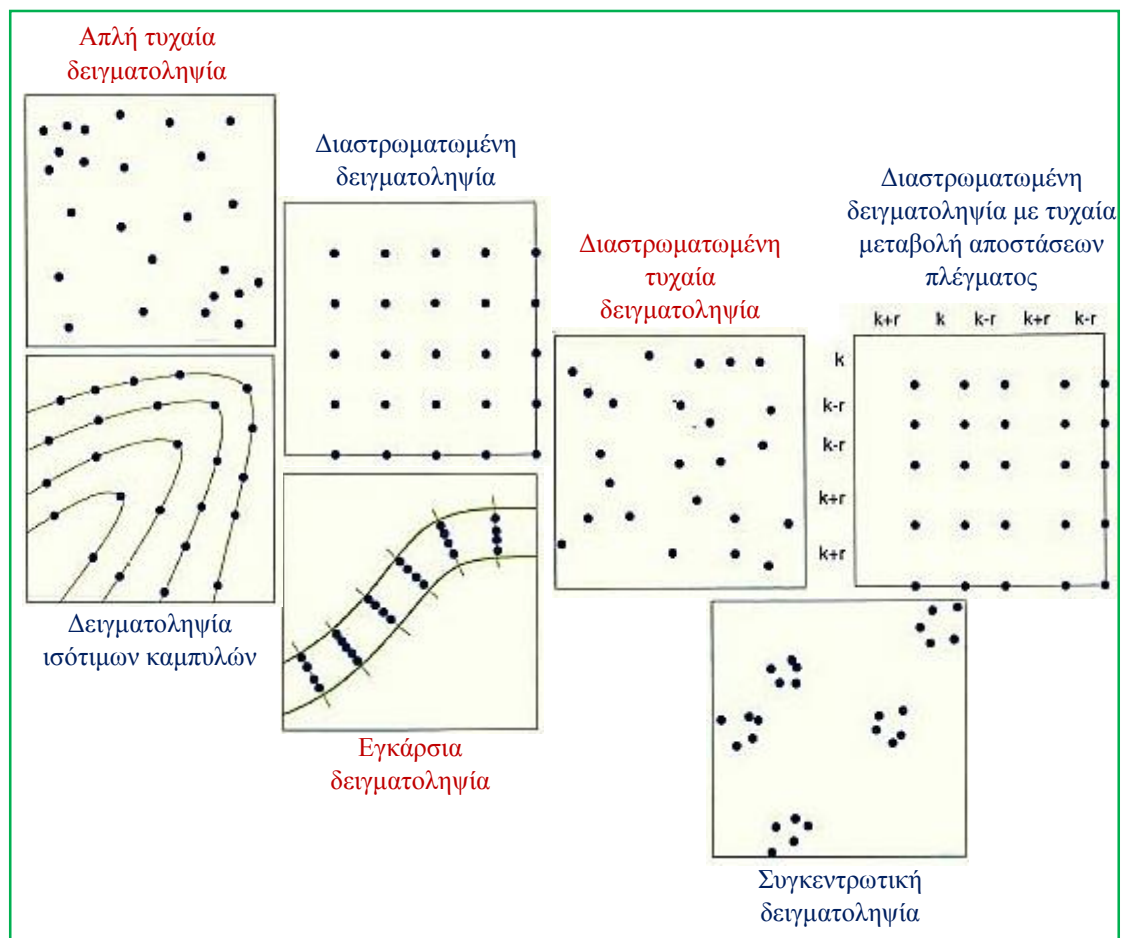
6.15. ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ –ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Σύμφωνα με τον Collins (1995), η επιλογή της χωρικής παρεμβολής εξαρτάται από:

- ❖ την χωρική διάταξη και πυκνότητα των δεδομένων
- ❖ την γνώση της επιφάνειας στην οποία θα πραγματοποιηθεί η παρεμβολή

❖ τον βαθμό απαίτησης για ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος

Τα πρότυπα δειγματοληψίας⁶ συνδέονται με τον αριθμό δειγμάτων που θα χρειαστούν και επηρεάζουν την ποιότητα της παρεμβολής που θα διεξαχθεί. Εάν ο αριθμός των δειγμάτων δεν επαρκεί ή/και το σφάλμα της μέτρησης δεν αντιμετωπιστεί τότε οι διαφορές μεταξύ των τεχνικών παρεμβολής υπάρχουν αλλά ίσως χωρίς λόγο. Την μεγαλύτερη επίδραση στην χωρική απόδοση της παρεμβολής έχουν η πυκνότητα των δεδομένων και το μέγεθος του σφάλματος. Υπάρχουν ορισμένα κύρια πρότυπα δειγματοληψίας με διατάξεις χωρικών δειγμάτων όπως φαίνεται και στο σχήμα 12.



Σχήμα 12: Διατάξεις χωρικών δειγμάτων, **Πηγή:** Επεξεργασία από Longley, 2010

Σύμφωνα με τον Burrough (1998) ένας καλός συμβιβασμός μεταξύ τυχαίας και τακτικής δειγματοληψίας δίνεται από την στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία όπου τα σημεία βρίσκονται τυχαία στον χώρο και εντός τακτικών διαστημάτων σε

⁶ Δειγματοληψία: «Η διαδικασία επιλογής ενός τμήματος ή ενός υποσυνόλου δεδομένων η οποία στοχεύει στην αποτίμηση των χαρακτηριστικών του συνόλου με την διερεύνηση των ιδιοτήτων του υποσυνόλου» (Χαλκιάς 2006)

blocks (τετράγωνα) ή στρώματα. Η συγκεντρωτική δειγματοληψία, με τα επιμέρους δείγματα σε συστάδες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει την χωρική διακύμανση σε διάφορες κλίμακες. Η εγκάρσια δειγματοληψία με τακτική διατομή χρησιμοποιείται συχνά στην έρευνα προφίλ ποταμών, παραλιών, λόφων και η δειγματοληψία ισότιμων καμπυλών - ισοϋψών είναι μία κοινή μέθοδος των χαρτών με τυπωμένη την δειγματοληψία για ψηφιοποίηση ισοϋψών καμπυλών και την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου (Burrough, 1998).

6.16. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον Sarma D. (2009), ένας καλός σχεδιασμός του δείγματος πρέπει:

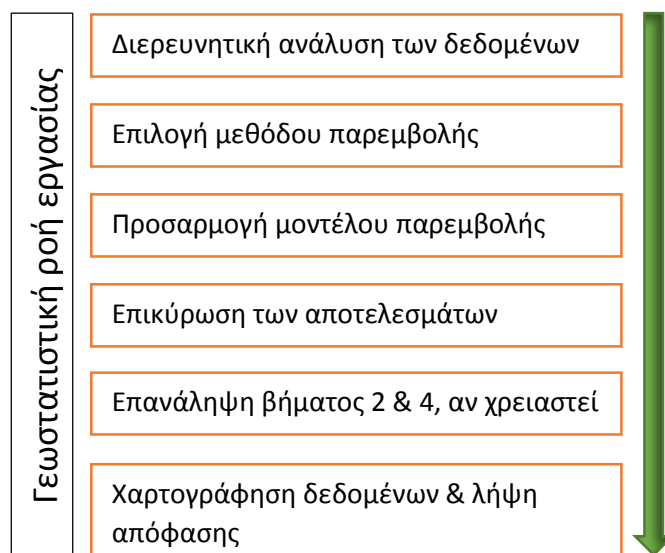
- A.** να έχει ως αποτέλεσμα ένα πραγματικά αντιπροσωπευτικό δείγμα
- B.** να οδηγεί σε ένα μικρό σφάλμα δειγματοληψίας
- Γ.** να είναι οικονομικά αποδοτικό
- Δ.** να ελέγχει τα συστηματικά σφάλματα
- και **Ε.** να είναι τέτοιος ώστε τα αποτελέσματα από την μελέτη του δείγματος να μπορούν να εφαρμοστούν στον πληθυσμό με έναν λογικό βαθμό εμπιστοσύνης.

6.17. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – GEOSTATISTICAL WORKFLOW

Το πρώτο βήμα [(που αφορά την μέθοδο kriging), διάγραμμα 1] είναι η διερευνητική ανάλυση των χωρικών δεδομένων (Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA). Η διερευνητική ανάλυση είναι μία διαδικασία για την κατανόηση των ιδιοτήτων ενός χωρικού συνόλου δεδομένων προκειμένου με την βοήθεια της γεωστατιστικής να γίνει η καλύτερη δυνατή μοντελοποίηση των δεδομένων. Για την μέθοδο kriging θα πρέπει να ελέγχονται και να υπάρχουν τρεις συνθήκες οι οποίες είναι:

1. η κανονική κατανομή των δεδομένων η οποία ελέγχεται από το Ιστόγραμμα και το QQ plot. Στο ιστόγραμμα θα πρέπει να σχηματίζεται καμπάνα που να μην είναι θετικά ή αρνητικά ασύμμετρα, να μην υπάρχουν ακραίες τιμές, ο μέσος να είναι περίπου ίδιος με την διάμεσο, η ασυμμετρία να είναι περίπου μηδενική και η κύρτωση να είναι περίπου τρία. Στο QQ plot θα πρέπει τα δεδομένα να

ακολουθούν την γραμμή 1:1 και ειδικά στο κεντρικό κομμάτι. Σε περίπτωση έλλειψης κανονικής κατανομής των δεδομένων μπορούν να γίνουν οι κατάλληλοι μετασχηματισμοί (π.χ. Normal Score Transformation, log, BoxCox, Arcsine).



Διάγραμμα 1: Γεωστατιστική ροή εργασίας – Geostatistical Workflow

2. η στασιμότητα. Στην στασιμότητα η στατιστική σχέση μεταξύ δύο σημείων εξαρτάται μόνο από την απόσταση μεταξύ τους και η διακύμανση των δεδομένων είναι σταθερή (η τοπική τυπική απόκλιση θα πρέπει να είναι σταθερή και πολύ πιο απλά δεν θα πρέπει να υπάρχει μικρή διακύμανση στην μία περιοχή και μεγάλη σε μία άλλη). Η στασιμότητα ελέγχεται από τον χάρτη Voronoi⁷ που να συμβολίζεται από την εντροπία⁸ ή από την τυπική απόκλιση. Εάν στον χάρτη Voronoi παρατηρηθούν μεγάλες κλάσεις τότε ισχύει διαφορετική διαδικασία σε κάθε υποπεριοχή και δεν υπάρχει στασιμότητα.
3. η έλλειψη τάσης. Η τάση αποτελεί μία συστηματική αλλαγή στις τιμές των δεδομένων σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης και ελέγχεται από την ανάλυση

⁷ Ο χάρτης Voronoi δείχνει την τοπική μεταβλητότητα των δεδομένων.

⁸ Εντροπία: υπολογισμός πολυγώνου με βάση όλα τα γειτονικά πολύγωνα. Η εντροπία ισούται με $-\sum (p_i \log p_i)$ όπου p_i ο αριθμός των πολυγώνων της κάθε κλάσης από την αρχική κατηγοριοποίηση όλων των πολυγώνων. Για παράδειγμα εάν ένα πολύγωνο έχει τέσσερα πολύγωνα γύρω του και έχουν δημιουργηθεί 5 κλάσεις όπου στην μία περιέχονται τα 3 από τα 5 πολύγωνα, σε μία άλλη το 1 και σε άλλη το άλλο 1 τότε τα p_i είναι αντίστοιχα 3/5, 1/5 και 1/5. Τότε η εξίσωση της εντροπίας που προκύπτει είναι: $\text{εντροπία} = -[0.6 \cdot \log_2 (0.6) + 0.2 \cdot \log_2 (0.2) + 0.2 \cdot \log_2 (0.2)] = 1.371$ (<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/003100000016000000>).

τάσης (Trend Analysis) κατά την εξερεύνηση των δεδομένων (Explore the data). Σε περίπτωση τάσης χρησιμοποιούνται επιλογές αφαίρεσής της.

Τα επόμενα βήματα στην γεωστατιστική ροή εργασίας μετά την διερευνητική ανάλυση των δεδομένων αναφέρθηκαν πιο αναλυτικά στις αμέσως προηγούμενες υποενότητες και αναφέρονται στην επιλογή της μεθόδου παρεμβολής, στην προσαρμογή ενός κατάλληλου θεωρητικού μοντέλου στο εμπειρικό με τη βοήθεια του ημιβαριογράμματος και στην επικύρωση των αποτελεσμάτων. Τα βήματα 2-4 του διαγράμματος 1 μπορούν να επαναληφθούν και τα αποτελέσματα των διαφορετικών μοντέλων που θα προκύψουν να συγκριθούν για να επιλεγεί το μοντέλο με την καλύτερη απόδοση. Το τελευταίο βήμα αφορά την χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων ωφέλιμων στην λήψη αποφάσεων.

6.17.1. ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Για την ικανοποίηση της υπόθεσης της ίσης μεταβλητότητας των δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλοι μετασχηματισμοί που θα κάνουν τα δεδομένα να προσεγγίσουν περισσότερο την κανονική κατανομή. Οι μετασχηματισμοί αυτοί είναι οι εξής:

BoxCox: Βοηθάει στην δημιουργία τέτοιων διακυμάνσεων που να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη σταθερότητα στο σύνολο της περιοχής μελέτης. Ο μετασχηματισμός αυτός ακολουθεί την εξίσωση $Y_s = (Z_{(s)}^\lambda - 1)/\lambda$ με $Z_{(s)}$ τα μετρούμενα σημεία και $\lambda \neq 0$ (αλλιώς ο μετασχηματισμός αυτός είναι γνωστός και ως μετασχηματισμός δύναμης).

Log: Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται συχνά σε περιπτώσεις ύπαρξης θετικά ασύμμετρης κατανομής και μερικών πολύ μεγάλων τιμών. Η εξίσωση που ακολουθεί είναι $Y_s = \ln (Z_s)$ όπου $Z_s > 0$ και $\ln$ ο φυσικός λογάριθμος.

Arcsine: Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται για δεδομένα που αντιπροσωπεύουν αναλογίες ή ποσοστά.

Οι μετασχηματισμοί κάνουν τα δεδομένα να φαίνονται κανονικά κατανεμημένα κάνοντας τις διακυμάνσεις σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης περισσότερο σταθερές (ArcGis Help: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help>).

ΜΕΡΟΣ 2^ο : ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ Δ. ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ

7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αυτή είναι μία περίπτωση μελέτης που πραγματοποιήθηκε στον δήμο Καλλιθέας τον Μάιο του 2014. Σύμφωνα με δελτίο τύπου της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής και με βάση τα αποτελέσματα της απογραφής πληθυσμού-κατοικιών του 2011 για το μόνιμο πληθυσμό της χώρας ο δήμος Καλλιθέας είναι ο πιο πυκνοκατοικημένος δήμος της Ελλάδας με μόνιμο πληθυσμό 100.641 κατοίκους και πυκνότητα μόνιμου πληθυσμού ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο 21.192,04 (Δελτίο τύπου της ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2012). Συνυπολογίζοντας την πληροφορία αυτή η μελέτη της ηχορύπανσης στον δήμο έχει νόημα και είναι πολύ σημαντική εφόσον είναι μία μορφή ρύπανσης που δεν είναι οπτική στον πραγματικό κόσμο. Η οπτικοποίηση των επιπέδων θορύβου θα βοηθήσει στην αποσαφήνιση των δεδομένων από τις μετρήσεις ήχου, δίνοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα δεδομένα, και στον έλεγχο της ηχητικής κατάστασης του περιβάλλοντος της εξεταζόμενης περιοχής.

Η περιοχή που εξετάστηκε αφορά μεγάλο μέρος του κέντρου του δήμου, εντοπίζεται στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του και είναι μήκους 1,5 km, πλάτους 0,75 km και έκτασης 1,15 km² (Εικόνα 2). Σε αυτήν την μελέτη το κομμάτι της έρευνας στο πεδίο βασίστηκε στην μέτρηση και παρακολούθηση των επιπέδων θορύβου κατά μήκος του οδικού δικτύου με τη βοήθεια ενός GPS (Garmin etrex 30) και ενός ηχομέτρου (Flush et-933). Για την κάλυψη της χωροχρονικής δυναμικής του θορύβου και την αξιολόγηση της ηχητικής κατάστασης στην περιοχή έγιναν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε σταθερά σημεία δειγματοληψίας κατά τις πρωινές (08:00-10:00), μεσημεριανές (12:00-14:00) και βραδινές ώρες (19:00-21:00) τριών επιλεγμένων ημερών της εβδομάδας της Δευτέρας, της Παρασκευής και της Κυριακής.

Για την εξασφάλιση μιας ολοκληρωμένης γεωγραφικής αποτύπωσης της περιοχής έγινε έλεγχος της έντασης του θορύβου σε συνολικά 75 σημεία. Περίπου ένα μήνα μετά (23-06-2014) επιλέχθηκαν 15 επιπρόσθετα σημεία στον χώρο τα οποία μετρήθηκαν μεσημεριανές ώρες της ίδιας ημέρας και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία επικύρωσης για έλεγχο της αξιοπιστίας της δημιουργούμενης επιφάνειας από παρεμβολή. Η κάθε μέτρηση είχε διάρκεια τριών λεπτών έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι περίοδοι έντονου φόρτου, μέτριας κυκλοφορίας και ηρεμίας

όπως προκύπτουν λόγω ύπαρξης σηματοδοτών στις διασταυρώσεις του οδικού δικτύου που ρυθμίζουν την κυκλοφορία⁹. Το ηχόμετρο χειρός ήταν τοποθετημένο σε ύψος 1,5 m πάνω από το έδαφος, 0,5 μέτρο μακριά από το σώμα και στραμμένο 60° προς τον δρόμο.

Στις κύριες οδικές αρτηρίες, στην λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου καθώς και στις οδούς Σιβιτανίδου και Δαβάκη, η απόσταση από την άκρη του δρόμου ήταν γύρω στο 1,5 m εντός του πεζοδρομίου ενώ στο υπόλοιπο οδικό δίκτυο δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα. Ως προς την στάθμιση χρόνου στις επιλογές του οργάνου καταγραφής του ήχου επιλέχθηκε η αργή απόκριση¹⁰ ώστε ο δειγματοληπτικός χρόνος να είναι αργός δίνοντας μία μέτρηση ανά δευτερόλεπτο και ως προς την στάθμιση της συχνότητας επιλέχθηκε η Α κλίμακα για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο θεωρητικό



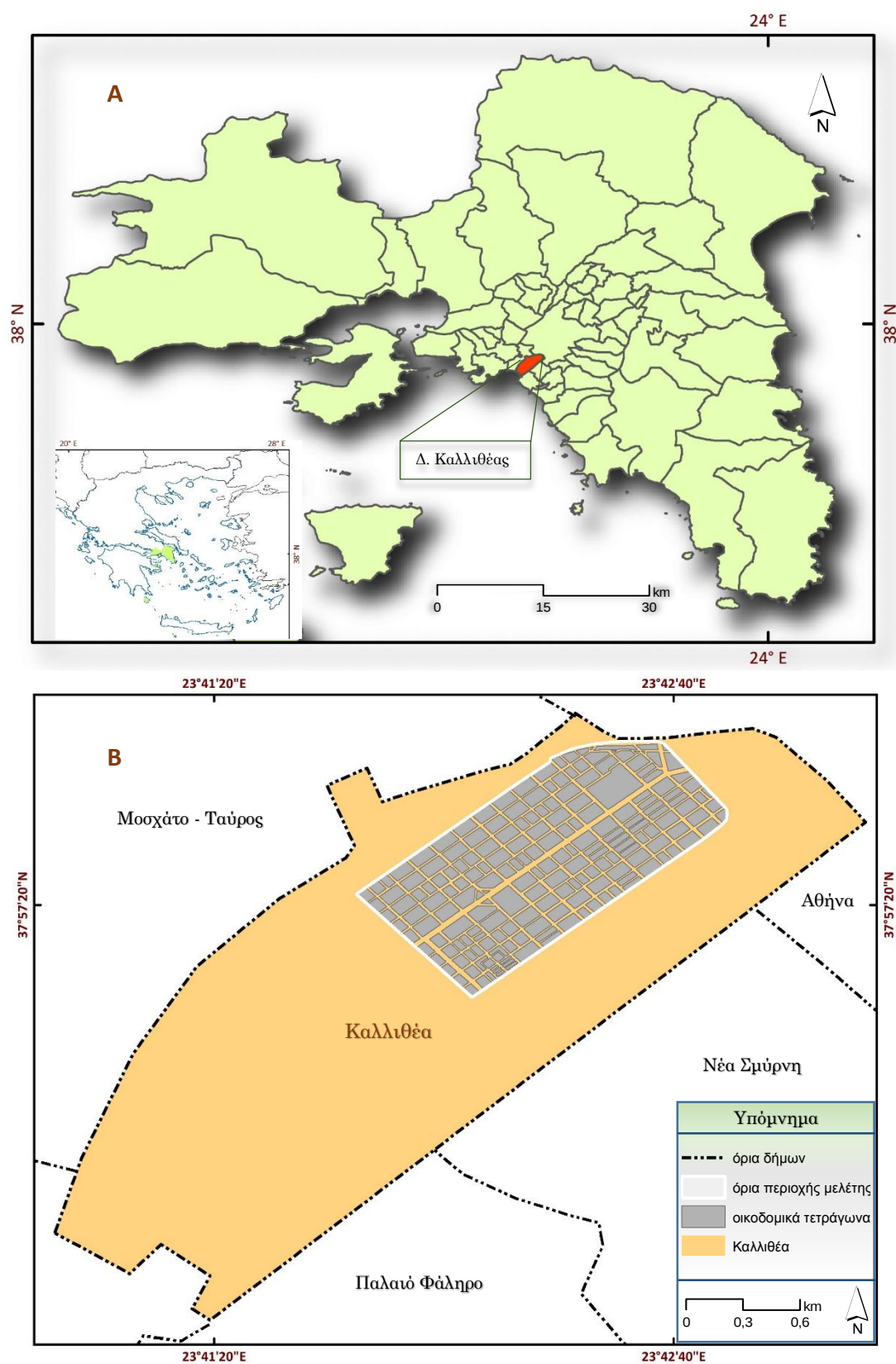
Εικόνα 1: Ηχομέτρηση στην οδό Σιβιτανίδου, **Πηγή:** Προσωπικό αρχείο

κομμάτι της παρούσας εργασίας. Το ηχόμετρο Flush et-933 που χρησιμοποιήθηκε είναι πιστοποιημένο κατά ISO 9001, έχει πολύ καλή ακρίβεια της τάξεως του ± 1.4 dB και μετρά σε ένα εύρος τιμών από 30 dB έως 130 dB (εικόνα 1).

Καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων οι καιρικές συνθήκες ήταν ευνοϊκές (απουσία ανέμου και βροχής) και κατάλληλες για την συλλογή των δεδομένων ώστε να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

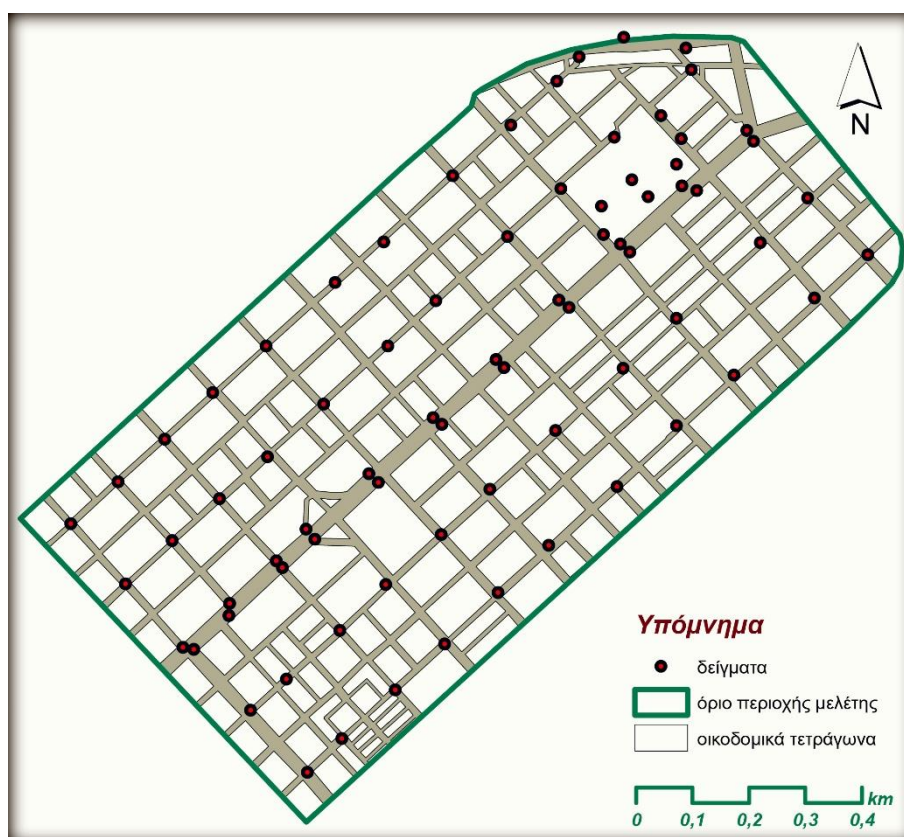
⁹ Παράρτημα: Εικόνα i-Σε διασταύρωση της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου.

¹⁰ Σε περίπτωση επιλογής της γρήγορης απόκρισης ο δειγματοληπτικός χρόνος μέτρησης είναι γρήγορος, 1 φορά ανά 125 ms (millisecond, 1 ms = 10^{-4} sec) που ισούται περίπου με 1/8 του δευτερολέπτου.



Εικόνα 2: **A.** Γεωγραφική τοποθέτηση του δήμου Καλλιθέας στον Νομό Αττικής, **B.** Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης στον δήμο Καλλιθέας, **Πηγή:** Ίδια επεξεργασία & diva-gis, geodata.gov

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η κατανομή των 75 σημείων δειγματοληψίας.



Εικόνα 3: Σημεία μέτρησης στο πεδίο αναπαριστούμενα με κόκκινες κουκίδες

Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Τα πρότυπα δειγματοληψίας που παρατηρούνται στην εικόνα 3 είναι τρία, έχοντας τρεις διαφορετικές χωρικές διατάξεις όπως προέκυψαν κατά την φάση του σχεδιασμού της κατανομής των σημείων του δείγματος. Κατά μήκος της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου η δειγματοληψία είναι εγκάρσια ενώ στα βορειοδυτικά στην περιοχή που οριοθετείται από τις οδούς Ελευθερίου Βενιζέλου, Χαροκόπου, Τσαλδάρη και Καλυψούς η δειγματοληψία είναι απλή τυχαία. Σε όλη την υπόλοιπη περιοχή και στο μεγαλύτερο κομμάτι της εξεταζόμενης έκτασης η δειγματοληψία είναι διαστρωματωμένη με τυχαία μεταβολή αποστάσεων που κυμαίνονται από 78 m μέχρι 160 m (σχήμα 12, εικόνα 3, εικόνα 4). Σχεδόν το 70% των σημείων που μετρήθηκαν πάρθηκαν σε διασταυρώσεις δρόμων διότι η οδική μεταφορά είναι γραμμική πηγή θορύβου, με τον θόρυβο να εξασθενεί με την απόσταση και να βρίσκεται πάντα σε συνέχεια (Obiefuna et al, 2013).



Εικόνα 4: Οδοί δρόμων περιοχής μελέτης, **Πηγή:** Προσωπική επεξεργασία

Για την απόκτηση των δεδομένων σε όλες τις θέσεις (εικόνα 3) και για την εύρεσή τους στο πεδίο έγινε εισαγωγή των σημείων στο GPS βάσει γεωγραφικών συντεταγμένων. Τα δεδομένα για κάθε σημείο καταγράφηκαν από το όργανο μέτρησης του ήχου και αξιοποιήθηκαν αργότερα στην πράξη ως τιμές καταγραφής του ήχου. Για κάθε σημείο προέκυψε ο μέσος όρος από τις τιμές καταγραφής και έτσι με βάση τους μέσους όρους δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων πάνω στην οποία στηρίχθηκε και το πρακτικό κομμάτι της έρευνας στο περιβάλλον εργασίας των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.

Σύμφωνα με τις εικόνες 3 και 5 και από την σύνδεση των σημείων δεδομένων με τις χρήσεις γης προκύπτουν τα αποτελέσματα του αμέσως επόμενου πίνακα (πίνακας 8) :

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (%)
Γενική κατοικία	17	22,7
Κέντρο δήμου	17	22,7
Γενική κατοικία & κέντρο δήμου	10	13,33
Τοπικό κέντρο γειτονιάς	6	8
Κέντρο δήμου & αστικό πράσινο-ελεύθεροι χώροι	6	8
Γενική κατοικία & αστικό πράσινο- ελεύθεροι χώροι	6	8
Αστικό πράσινο-ελεύθεροι χώροι	4	5,3
Χώρος Χαροκόπειου Πανεπιστημίου	3	4
Χώρος εκκλησίας	2	2,7
Χώρος σχολείου	1	1,33
Τοπικό κέντρο γειτονιάς & γενική κατοικία	1	1,33
Τοπικό κέντρο γειτονιάς & γενική κατοικία & αστικό πράσινο-ελεύθεροι χώροι	1	1,33
Τοπικό κέντρο γειτονιάς & κέντρο δήμου & αστικό πράσινο-ελεύθεροι χώροι	1	1,33
ΣΥΝΟΛΟ	75	100

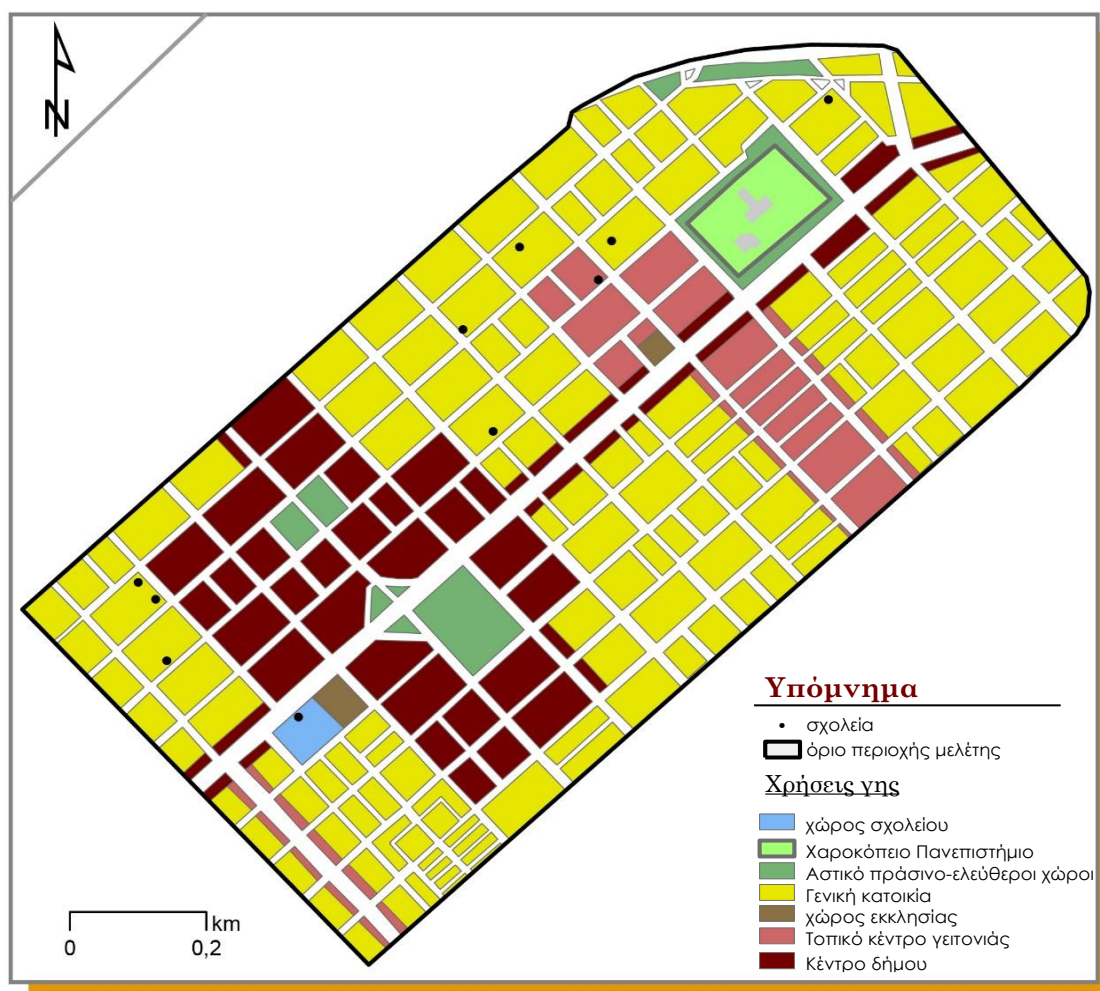
Πίνακας 8: Χρήσεις γης & σημεία δεδομένα, **Πηγή:** Προσωπική επεξεργασία

Ένα 22,7% των σημείων δειγματοληψίας βρίσκεται σε χρήση γης γενικής κατοικίας, ένα ακόμη 22,7% σε κέντρο δήμου και ένα 13,3% ανάμεσα σε χρήση γης γενικής κατοικίας και κέντρου δήμου. Άρα το 58,7 % των σημείων εντοπίζονται σε χρήσεις γης που καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση εντός των ορίων της περιοχής μελέτης.

Το αστικό πράσινο και οι ελεύθεροι χώροι στην περιοχή αποτελούν οι δύο πλατείες του δήμου Καλλιθέας, η πλατεία Δαβάκη στα νοτιοανατολικά και η πλατεία Κύπρου στα νοτιοδυτικά, καθώς και η περιμετρική ζώνη γύρω από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Επομένως ανάμεσα στην πυκνή οικιστική δόμηση της περιοχής υπάρχουν τρεις ανοιχτοί χώροι. Πέριξ των οδών Χαροκόπου, Αγίων Πάντων, Μενελάου και Σκρά υπάρχει εμπορική ζώνη σε επίπεδο γειτονιάς και για τον λόγο αυτό

τα αντίστοιχα οικοδομικά τετράγωνα χαρακτηρίζονται ως τοπικό κέντρο γειτονιάς (εικόνα 5).

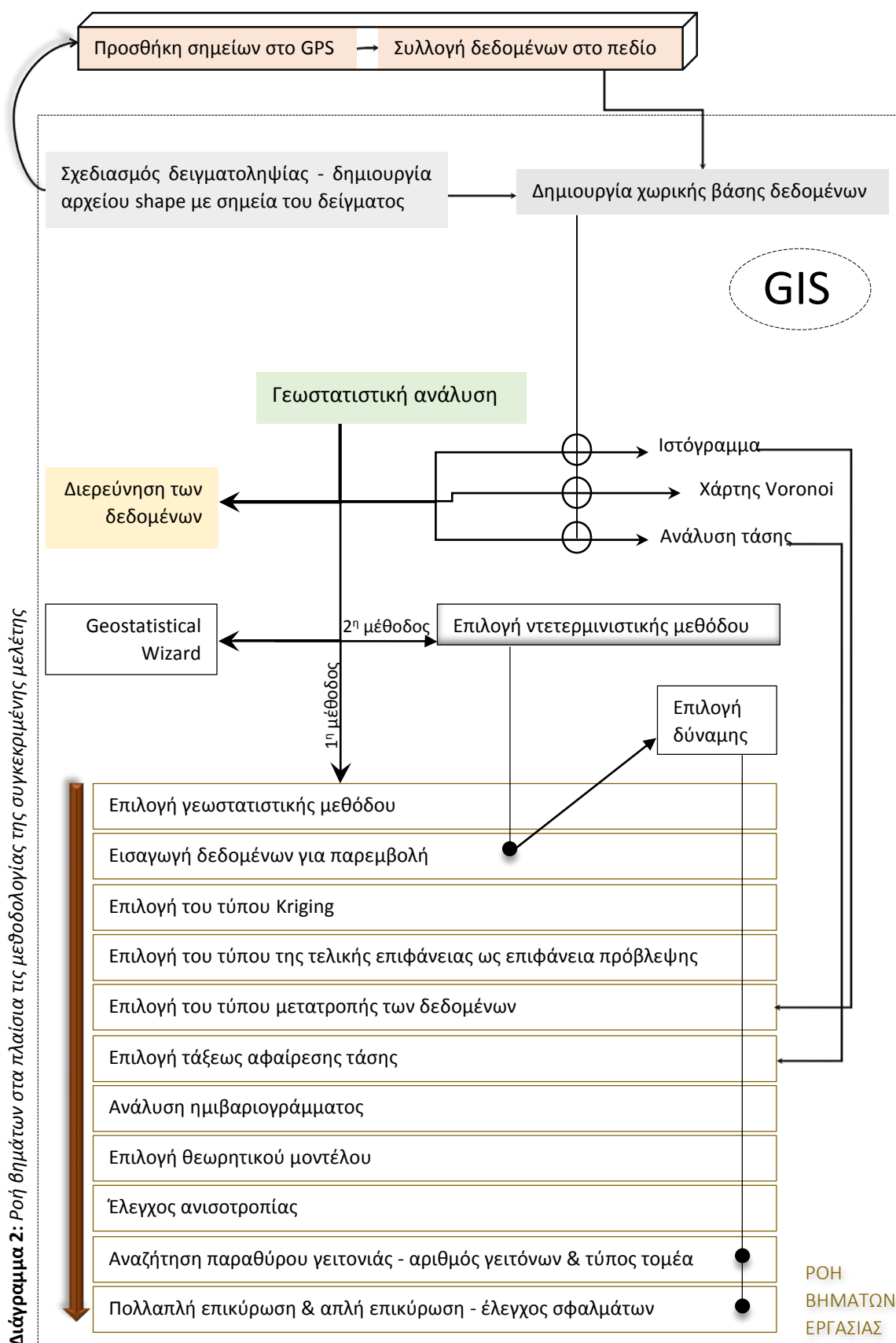
Τα σημεία ενδιαφέροντος στην χαρτογραφική αποτύπωση της εικόνας 5 είναι οι θέσεις των σχολείων στην περιοχή. Παρατηρείται ότι τα εννέα από τα δέκα σχολεία βρίσκονται δυτικά από την λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου που χωρίζει την περιοχή σε δύο μέρη. Όμως ανεξάρτητα από το που είναι συγκεντρωμένες οι σχολικές εγκαταστάσεις είναι σημαντικός ο έλεγχος του επιπέδου του θορύβου γύρω από τις συγκεκριμένες θέσεις ώστε να αξιολογηθεί ο βαθμός επίδρασής του σε αυτές. Η οπτικοποίηση του θορύβου και η εύρεση των επιπέδων του γύρω από τις ευαίσθητες περιοχές των σχολείων θα διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων και την λήψη αποφάσεων.

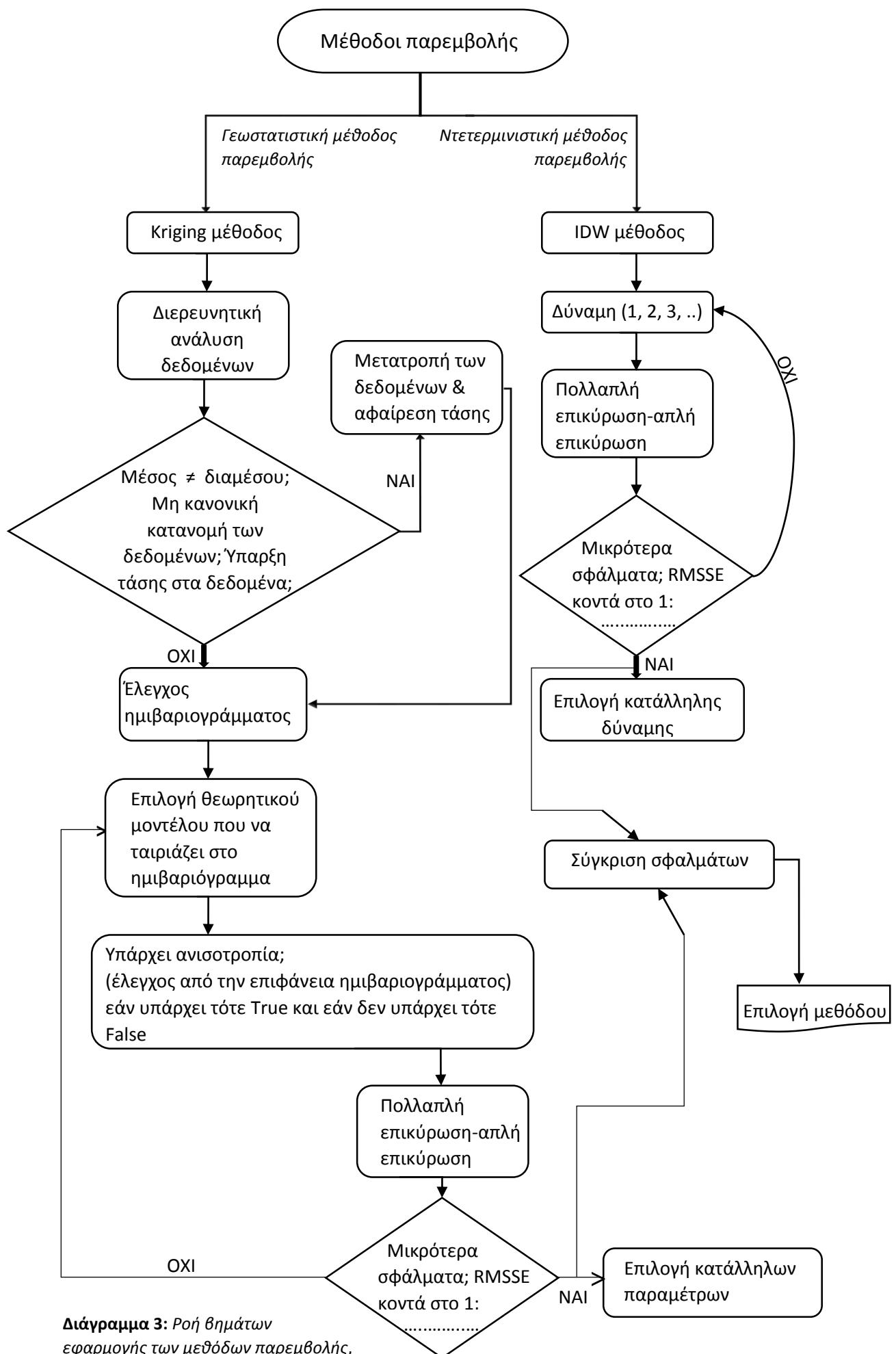


Εικόνα 5: Χρήσεις γης & σημεία ενδιαφέροντος (σχολεία) της περιοχής μελέτης, Πηγή: Προσωπική επεξεργασία & gis.kallithea/poleodomia

Στο στάδιο αυτό η μελέτη προχώρησε στην δημιουργία των χαρτών θορύβου χρησιμοποιώντας μεθόδους παρεμβολής μέσα σε ένα περιβάλλον γεωγραφικών

συστημάτων πληροφοριών. Τα διαγράμματα ροής 2, 3 που κατασκευάστηκαν δείχνουν την μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε σε μία σειρά διαδοχικών βημάτων και αποφάσεων.





Διάγραμμα 3: Ροή βημάτων εφαρμογής των μεθόδων παρεμβολής,
Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Μετά την συλλογή δεδομένων στο πεδίο ο πίνακας περιεχομένων του σημειακού shapefile του δείγματος συμπληρώθηκε με 12 πεδία, με το κάθε πεδίο να περιλαμβάνει τον μέσο όρο των τιμών των μετρήσεων για κάθε σημείο. Η διαφορά των πρώτων εννέα πεδίων έγκειται ως προς την χρονική περίοδο της κάθε ημέρας (πρωί, μεσημέρι, απόγευμα) και ως προς τις τρεις διαφορετικές ημέρες της εβδομάδας (Δευτέρα, Παρασκευή, Κυριακή) ενώ η διαφορά των υπολοίπων αφορά τον μέσο όρο του συνόλου των μετρήσεων του κάθε σημείου για την κάθε διαφορετική εξεταζόμενη ημέρα. Η συλλογή των μετρήσεων και η συμπλήρωση του πίνακα περιεχομένων με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει τον σχεδιασμό διαφορετικού χάρτη θορύβου για κάθε διαφορετικό πεδίο που σημαίνει διαχρονική παρατήρηση της μεταβολής του επιπέδου θορύβου τόσο στο επίπεδο του χώρου όσο και στην διάσταση του χρόνου.

Μετά την προετοιμασία των δεδομένων ακολουθεί η γεωστατιστική ανάλυση για κάθε διαφορετικό πεδίο. Οι δύο μέθοδοι οι οποίοι επιλέχθηκαν όπως και αναλύθηκαν στο θεωρητικό μέρος της εργασίας διαφέρουν ως προς τον αριθμό των βημάτων υλοποίησής τους ενώ διαθέτουν τρία κοινά βήματα. Αυτά τα βήματα είναι η εισαγωγή των δεδομένων για παρεμβολή, η αναζήτηση του παραθύρου γειτονιάς μαζί με τον αριθμό γειτόνων και τον τύπο του τομέα και η πολλαπλή μαζί με την απλή επικύρωση για τον έλεγχο των σφαλμάτων της κάθε φορά προκύπτουσας επιφάνειας πρόβλεψης (διάγραμμα 2).

Τα σφάλματα στο τελευταίο βήμα των μεθόδων μπορούν να διαφοροποιηθούν με κάθε αλλαγή παραμέτρου σε κάθε προηγούμενο βήμα της μεθοδολογίας όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3. Βέβαια, η εφαρμογή των μεθόδων μέσω του Geostatistical Wizard προσφέρει ευελιξία στον χρήστη καθώς επιτρέπει την κίνηση από το προηγούμενο στο επόμενο βήμα και το αντίστροφο για την αλλαγή οποιασδήποτε παραμέτρου. Έτσι εξετάζοντας κάθε παράμετρο και διαφοροποιώντας την επιλέγεται τελικά εκείνος ο συνδυασμός παραμέτρων που δίνει το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα ως προς την πρόβλεψη.

Στους πίνακες που ακολουθούν σημειώνονται οι παράμετροι που επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για κάθε περίπτωση που μελετήθηκε ώστε να προκύψουν τα τελικά χαρτογραφικά αποτελέσματα.

Ημέρες (χρονικές περίοδοι)	Μετασχηματισμός	Αφαίρεση τάσης (σε τάξεις)	Επιλογή βελτιστοποιημένου μοντέλου	Τύπος μοντέλου	Ανισοτροπία	Μέγιστοι- ελάχιστοι γείτονες	Τύπος τομέα
Δευτέρα (08:00-10:00)	Λογαριθμικού τύπου	-	-	Σφαιρικό	True	5-2	4 τομείς
Δευτέρα (12:00-14:00)	Λογαριθμικού τύπου	πρώτη	✓	K-Bessel	True	5-2	4 τομείς
Δευτέρα (19:00-21:00)	Λογαριθμικού τύπου	δεύτερη	✓	Κυκλικό	True	5-2	4 τομείς
Παρασκευή (08:00-10:00)	Λογαριθμικού τύπου	-	✓	Κυκλικό	True	5-2	4 τομείς
Παρασκευή (12:00-14:00)	Λογαριθμικού τύπου	δεύτερη	✓	Κυκλικό	True	5-2	4 τομείς
Παρασκευή (19:00-21:00)	Λογαριθμικού τύπου	πρώτη	-	K-Bessel	True	5-2	4 τομείς
Κυριακή (08:00-10:00)	Λογαριθμικού τύπου	δεύτερη	✓	Σφαιρικό	True	5-2	4 τομείς
Κυριακή (12:00-14:00)	Λογαριθμικού τύπου	τρίτη	✓	Κυκλικό	False	5-2	4 τομείς
Κυριακή (19:00-21:00)	Λογαριθμικού τύπου	τρίτη	✓	K-Bessel	True	5-2	4 τομείς
Δευτέρα (08:00-21:00)	Λογαριθμικού τύπου	δεύτερη	✓	K-Bessel	True	5-2	4 τομείς
Παρασκευή (08:00-21:00)	Λογαριθμικού τύπου	-	✓	K-Bessel	True	5-2	4 τομείς
Κυριακή (08:00-21:00)	Λογαριθμικού τύπου	-	-	Σφαιρικό	True	5-2	4 τομείς

Πίνακας 9: Πίνακας παραμέτρων της μεθόδου *Ordinary Kriging*, Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Ημέρες (χρονικές περίοδοι)	Βελτιστοποιημένη δύναμη	Μέγιστοι-ελάχιστοι γείτονες	Τύπος τομέα
Δευτέρα (08:00-10:00)	2,75	5-2	1 τομέας
Δευτέρα (12:00-14:00)	2,6	5-2	1 τομέας
Δευτέρα (19:00-21:00)	1,98	5-2	1 τομέας
Παρασκευή (08:00-10:00)	2,48	5-2	1 τομέας
Παρασκευή (12:00-14:00)	2,7	5-2	1 τομέας
Παρασκευή (19:00-21:00)	2	5-2	1 τομέας
Κυριακή (08:00-10:00)	2,38	5-2	1 τομέας
Κυριακή (12:00-14:00)	1,67	5-2	1 τομέας
Κυριακή (19:00-21:00)	2,74	5-2	1 τομέας
Δευτέρα (08:00-21:00)	2,56	5-2	1 τομέας
Παρασκευή (08:00-21:00)	2,3	5-2	1 τομέας
Κυριακή (08:00-21:00)	2,42	5-2	1 τομέας

Πίνακας 10: Πίνακας παραμέτρων της μεθόδου IDW, **Πηγή:** Προσωπική επεξεργασία

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα πρώτα αποτελέσματα της διερευνητικής ανάλυσης των δεδομένων έδειξαν πως η λογαριθμική μετατροπή των δεδομένων βοηθά στην καλύτερη προσέγγιση της κανονικότητας στην κατανομή τους όπως και τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον πίνακα 11. Με βάση τον πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι την Κυριακή το μεσημέρι η κατανομή πλησιάζει σε μεγάλο βαθμό την τυποποιημένη κανονική κατανομή¹¹. Όλες τις υπόλοιπες χρονικές περιόδους και ημέρες η καμπύλη της κατανομής που σχηματίζεται είναι πλατύκυρτη καθώς η κύρτωση είναι μικρότερη του 3 και ο μέσος είναι πολύ κοντά στην διάμεσο με διαφορά από 0,01 έως 0,03 με εξαίρεση την Παρασκευή το βράδυ, την Δευτέρα (08:00-21:00) και την Παρασκευή (08:00-21:00) όπου ο μέσος ισούται με την διάμεσο. Όσον αφορά την ασυμμετρία οι τιμές της είναι αρκετά κοντά στο μηδέν σε όλες τις περιπτώσεις. Το -0,69 της Κυριακής το μεσημέρι στην ασυμμετρία υποδηλώνει πολύ μικρή αρνητική στρέβλωση. Η παρατήρηση αυτή γίνεται περισσότερο κατανοητή από τα ιστογράμματα στις εικόνες 6, 7 και πιο συγκεκριμένα από τις ράβδους παρά από την καμπύλη της κανονικότητας που σχηματίζεται βάσει αυτών. Επιπρόσθετα η μεγαλύτερη πυκνότητα των τιμών γύρω από

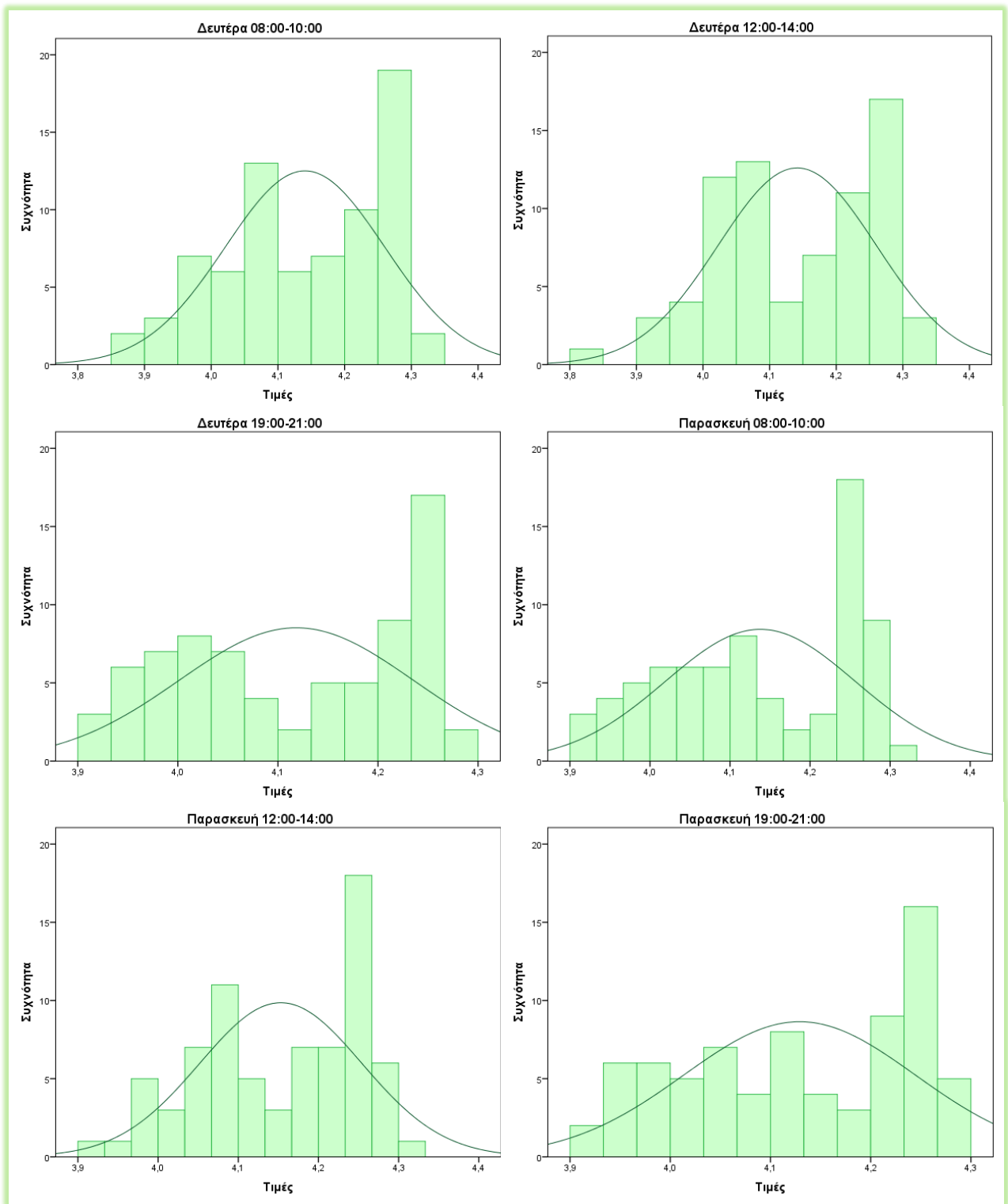
¹¹ Τα χαρακτηριστικά της τυποποιημένης κανονικής κατανομής: μέσος=διάμεσο, κύρτωση=3, ασυμμετρία=0

τον μέσο παρατηρείται την Παρασκευή το μεσημέρι με την μικρότερη τυπική απόκλιση και την Παρασκευή όλη μέρα ενώ η μικρότερη την Κυριακή το πρωί και την Κυριακή όλη μέρα (εικόνα 6, 7, σχήμα 13).

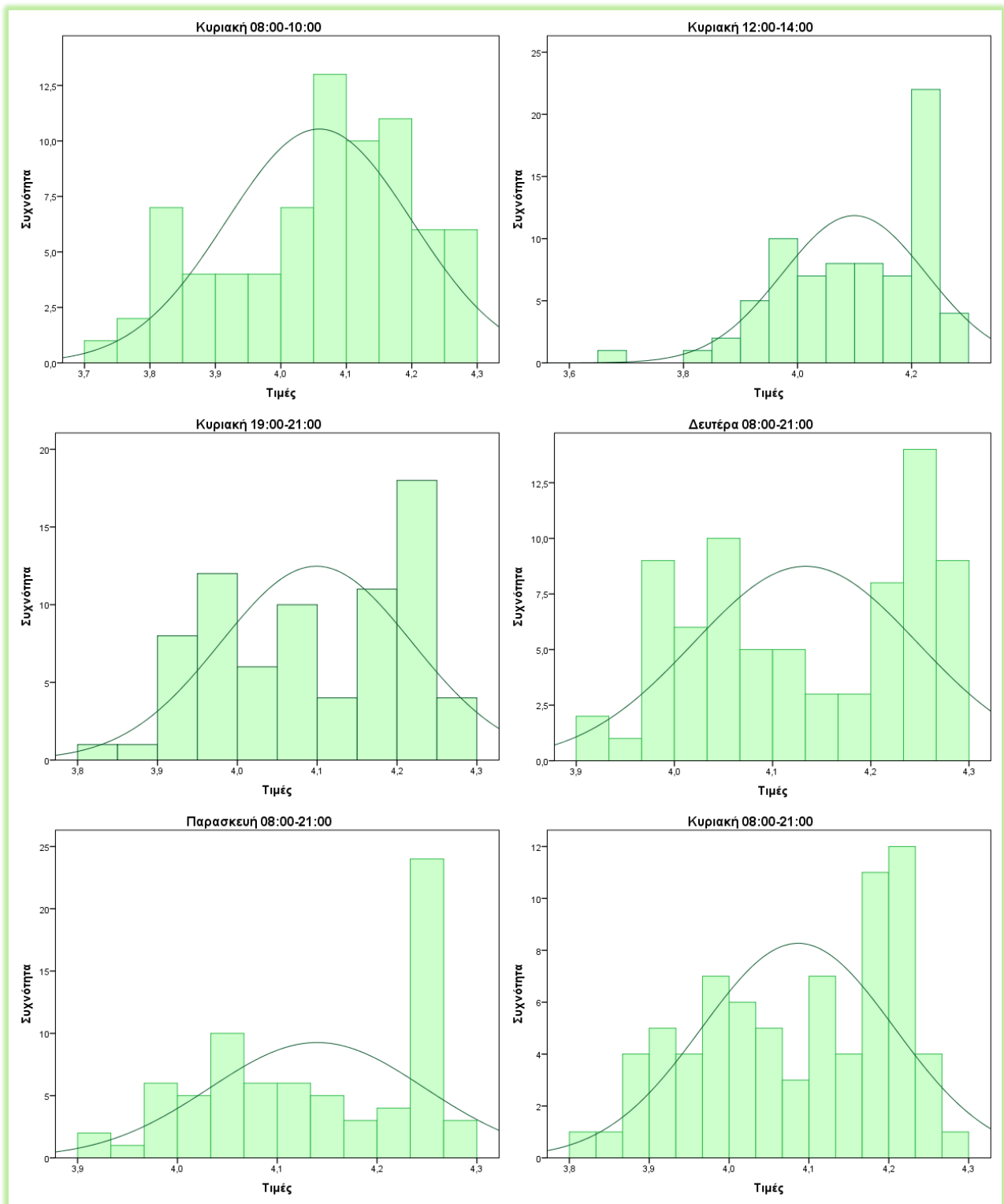
Με την βοήθεια των στοιχείων του πίνακα και των ιστογραμμάτων των εικόνων 6 και 7 συμπεραίνεται ότι υπάρχουν αποκλίσεις της κατανομής από την κανονικότητα όπως είναι η ύπαρξη κυρτότητας λόγω μεμονωμένων ράβδων με υψηλές τιμές, η απουσία τιμών σε ενδιάμεσες ράβδους που πέφτουν χαμηλότερα από τις γειτονικές, η ύπαρξη ελαφράς στρέβλωσης και η ύπαρξη ακραίων τιμών όπως στην περίπτωση της Δευτέρας και της Κυριακής το μεσημέρι. Η ανάλυση αυτή είναι σχετική και παρά τις άνω παρατηρήσεις τα αποτελέσματα σχετικά με την κανονικότητα της κατανομής είναι αποδεκτά στα πλαίσια της παρούσας εργασίας καθώς η φύση του φαινομένου που εξετάζεται είναι τέτοια ώστε και οι διάφορες τέτοιες παρατηρήσεις να είναι αναμενόμενες.

	Μέσος	Διάμεσος	Τυπική απόκλιση	Κύρτωση	Ασυμμετρία
Δευτέρα 08:00-10:00	4,14	4,15	0,12	2	-0,35
Δευτέρα 12:00-14:00	4,14	4,15	0,119	2,17	-0,34
Δευτέρα 19:00-21:00	4,12	4,15	0,117	1,55	-0,18
Παρασκευή 08:00-10:00	4,14	4,13	0,118	1,8	-0,31
Παρασκευή 12:00-14:00	4,15	4,17	0,101	2	-0,41
Παρασκευή 19:00-21:00	4,13	4,13	0,115	1,72	-0,29
Κυριακή 08:00-10:00	4,06	4,08	0,142	2,24	-0,51
Κυριακή 12:00-14:00	4,1	4,1	0,126	2,9	-0,69
Κυριακή 19:00-21:00	4,1	4,09	0,12	1,84	-0,27
Δευτέρα 08:00-21:00	4,13	4,13	0,114	1,63	-0,17
Παρασκευή 08:00-21:00	4,14	4,14	0,108	1,73	-0,26
Κυριακή 08:00-21:00	4,09	4,11	0,121	1,9	-0,33

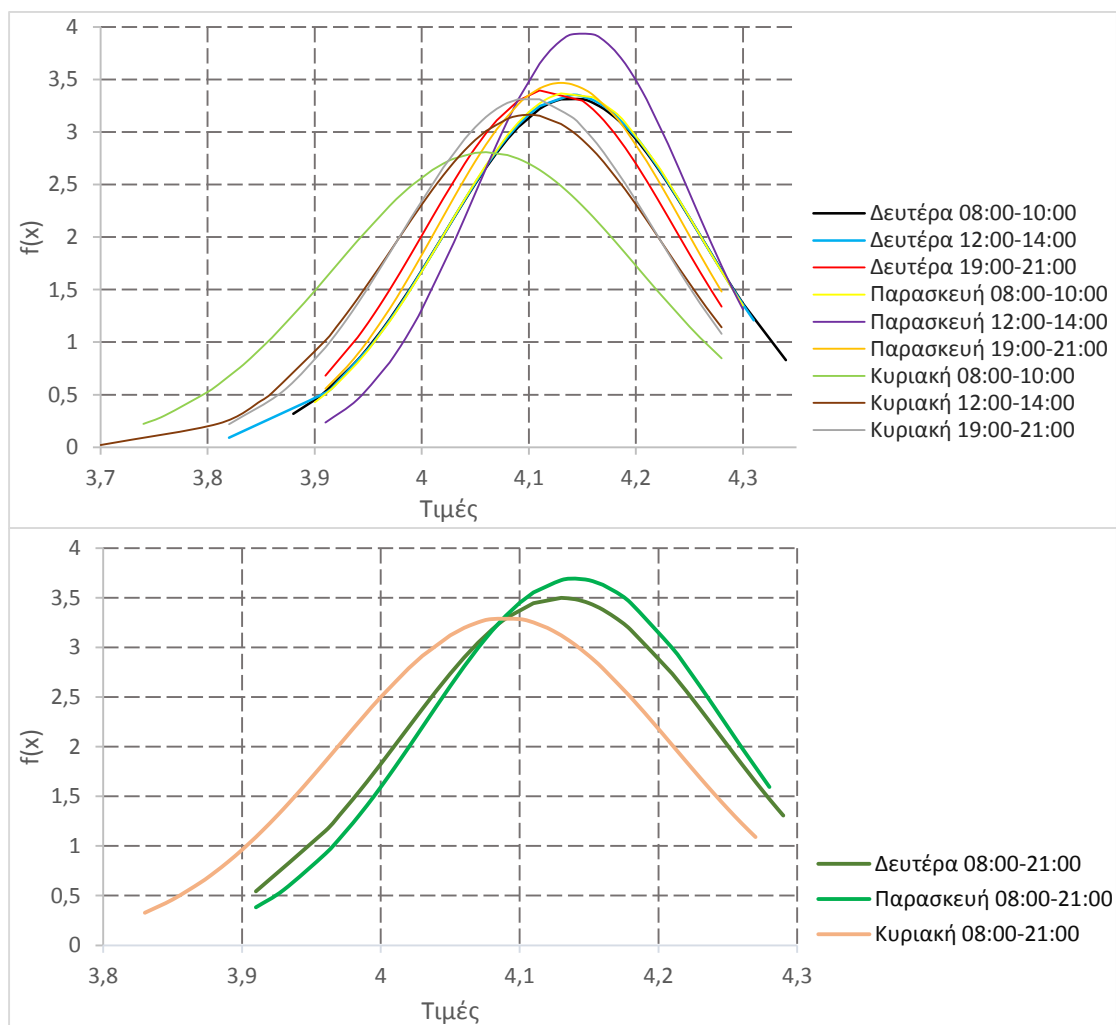
Πίνακας 11: Στατιστικά ιστογράμματος με λογαριθμική μετατροπή των δεδομένων



Εικόνα 6: Ιστογράμματα, Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

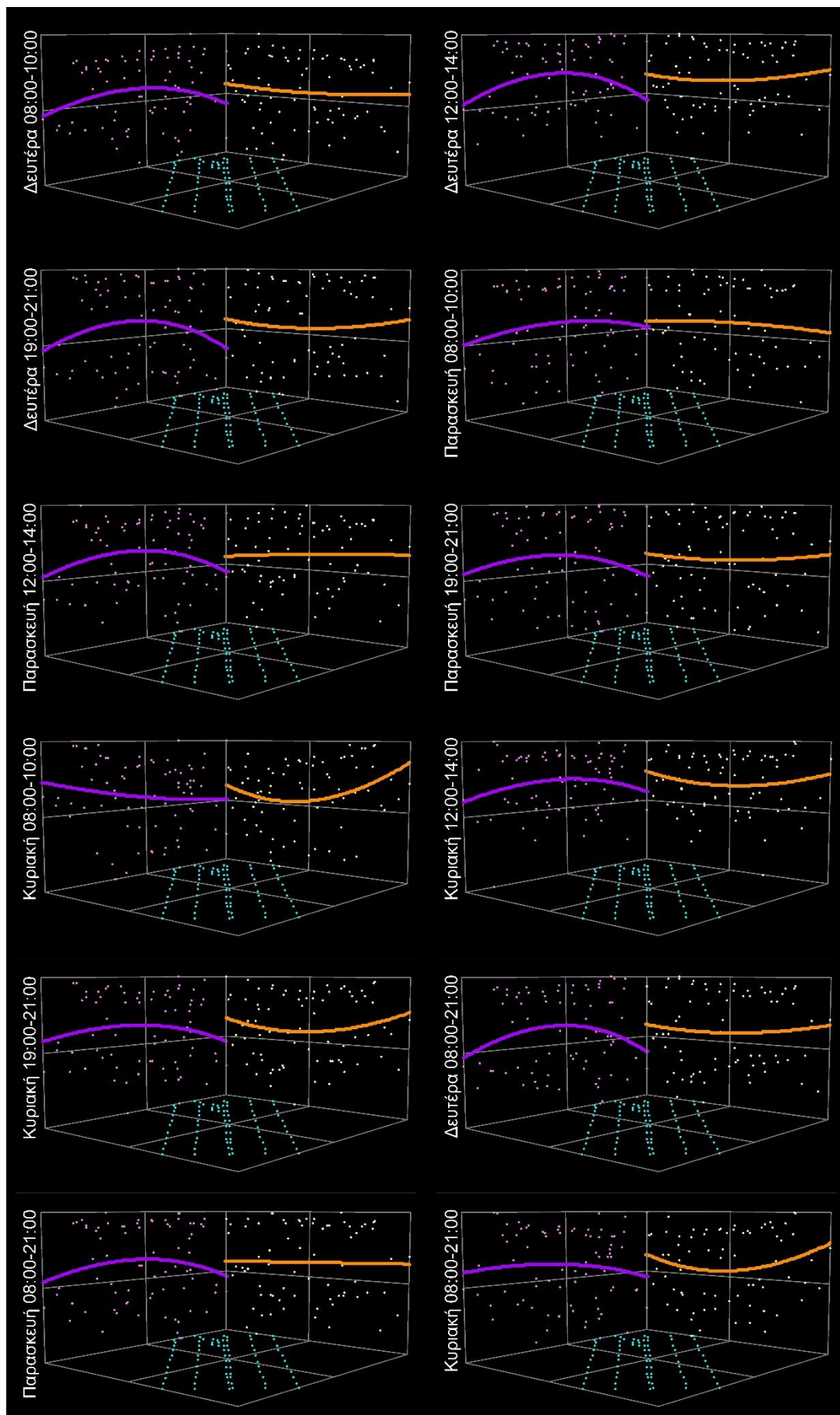


Εικόνα 7: Ιστογράμματα, Πηγή: Προσωπική επεξεργασία



Σχήμα 13: Σχέση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας $[f(x)]$ με τιμές δεδομένων λογαριθμικής μονάδας, **Πηγή:** Προσωπική επεξεργασία

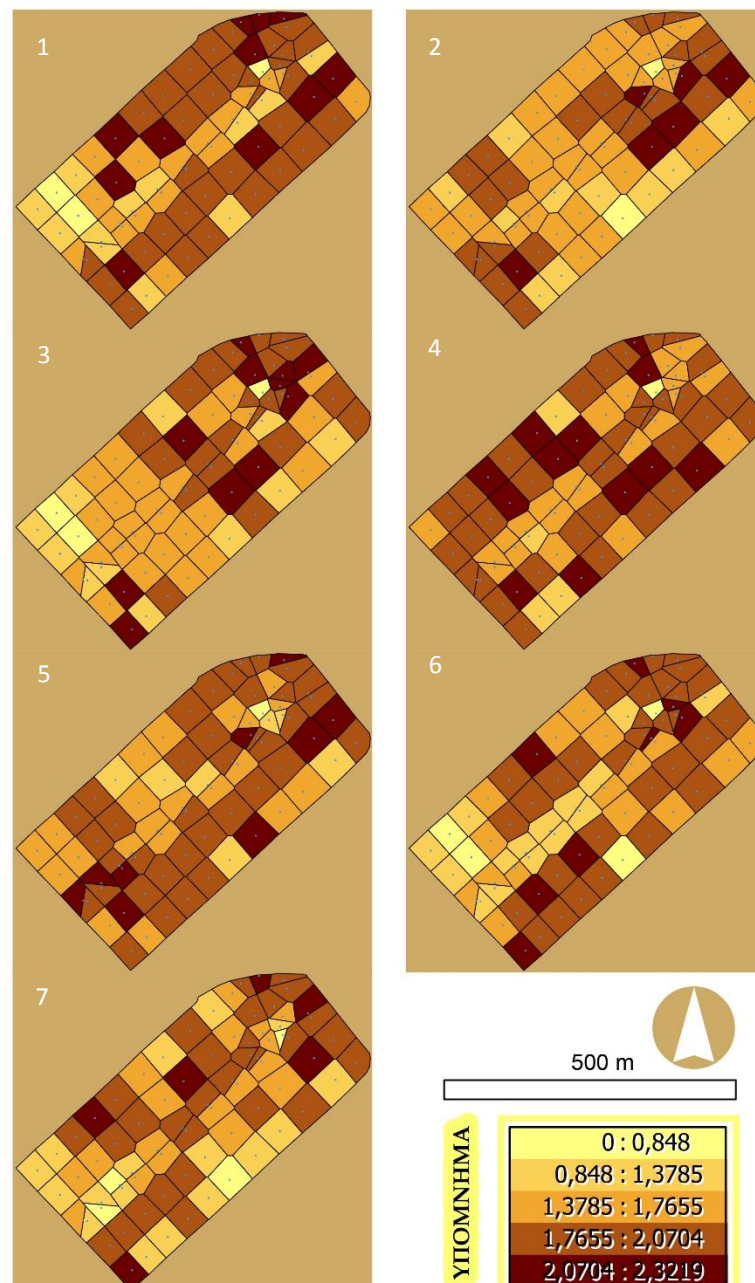
Κατά την δεύτερη φάση της διερευνητικής ανάλυσης των δεδομένων πραγματοποιήθηκε η ανάλυση τάσης (εικόνα 8). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι η μη σημαντική τάση των δεδομένων για το πρωί της Δευτέρας και της Παρασκευής (προσέγγιση των γραμμών τάσης στην οριζόντια ευθεία γραμμή) και για τις δύο κατευθύνσεις (ανατολή-δύση, βορράς-νότος) και για την ημέρα της Παρασκευής (08:00-21:00) για την κατεύθυνση βορράς-νότος. Για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις, εκτός από την περίπτωση του πρωινού της Κυριακής, και συγκεκριμένα για την κατεύθυνση ανατολής-δύσης φαίνεται πως ακολουθείται σχεδόν το ίδιο μοτίβο τάσης με τις τιμές να αυξάνονται στα κεντρικά εξαιτίας των μεγαλύτερων μετρούμενων τιμών στην κεντρική λεωφόρο της περιοχής. Η περίπτωση που αφορά το πρωινό της Κυριακής είναι ιδιαίτερη, με τις τιμές των δεδομένων να αυξάνονται από τα ανατολικά στα δυτικά προβάλλοντας μία σημαντική τάση.

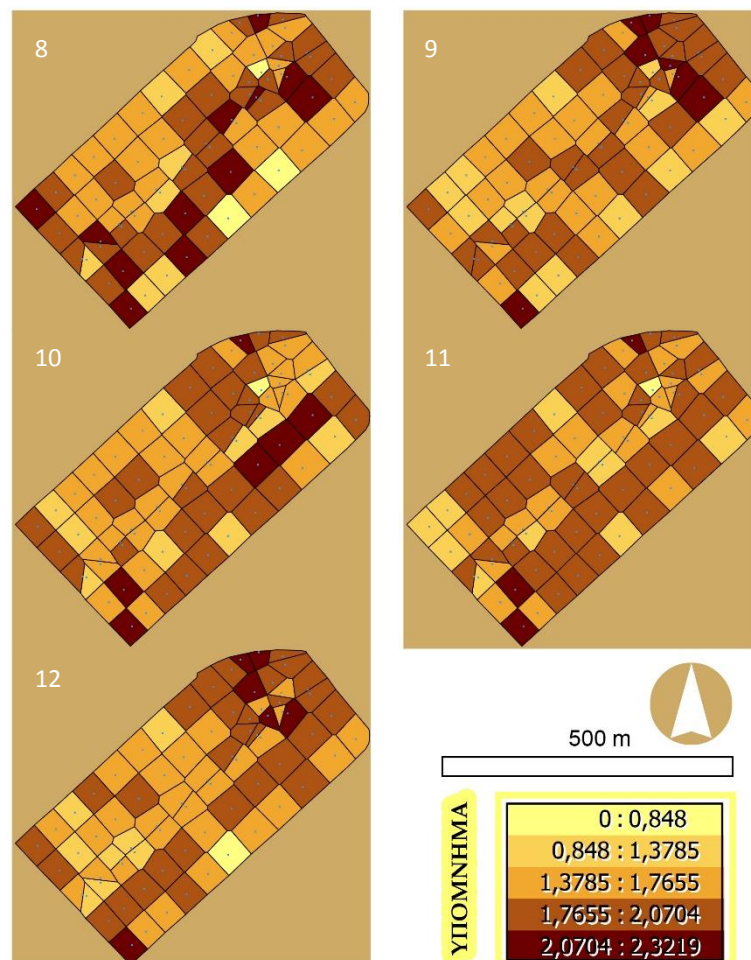


Εικόνα 8: Τάση δεδομένων, Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Την Κυριακή το μεσημέρι και ως προς την κατεύθυνση βορρά-νότου οι τιμές είναι εξίσου υψηλές στα βόρεια και νότια ενώ μειώνονται κινούμενοι προς το κέντρο. Όσον αφορά την τάση των δεδομένων από τον βορρά στον νότο, είναι η ίδια στις υπόλοιπες περιπτώσεις που εντοπίζεται τάση προς αυτήν την κατεύθυνση με τις τιμές στα νότια της περιοχής να είναι πιο υψηλές απ' ότι στα βόρεια. Όμως ο βαθμός της τάσης των δεδομένων διαφέρει σε κάθε περίπτωση πράγμα που σημαίνει ότι ανά χρονική περίοδο και ημέρα άλλοτε η τάση είναι πιο έντονη και άλλοτε πιο ομαλή. Δηλαδή η κάθε περίπτωση είναι ξεχωριστή.

Στην τρίτη φάση της διερευνητικής ανάλυσης δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες Voronoi:





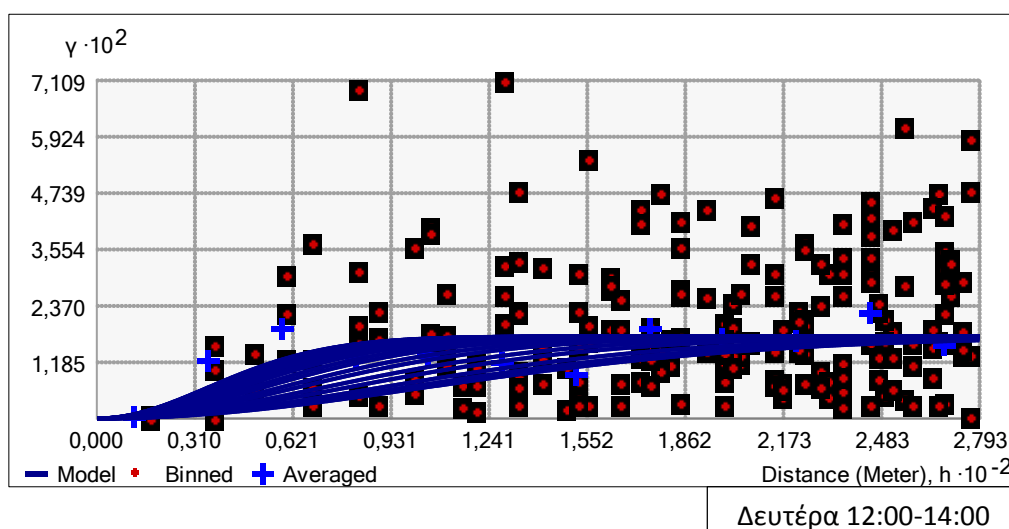
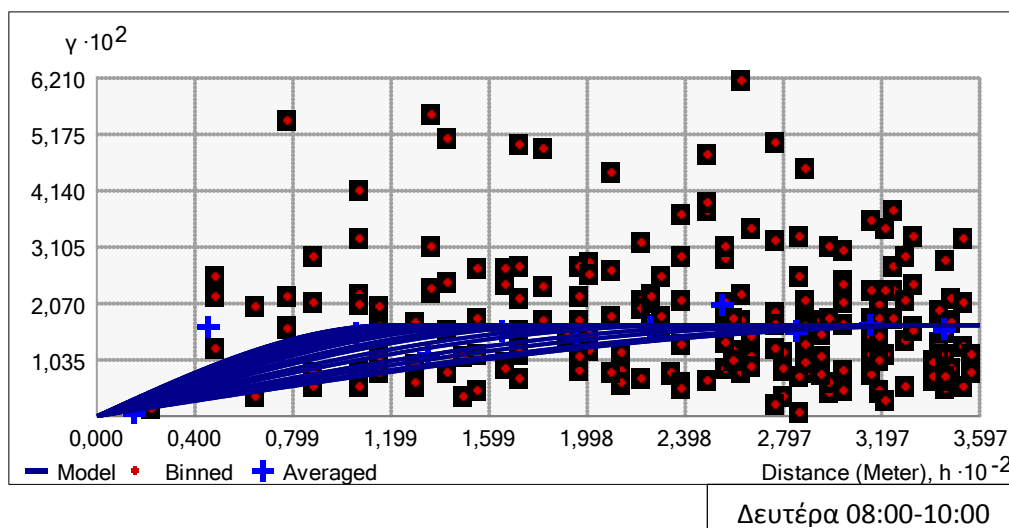
Εικόνα 9: Χάρτες Voronoi-1: Δευτέρα (08:00-10:00), 2: Δευτέρα (12:00-14:00), 3: Δευτέρα (19:00-21:00), 4: Παρασκευή (08:00-10:00), 5: Παρασκευή (12:00-14:00), 6: Παρασκευή (19:00-21:00), 7: Κυριακή (08:00-10:00), 8: Κυριακή (12:00-14:00), 9: Κυριακή (19:00-21:00), 10: Δευτέρα (08:00-21:00), 11: Παρασκευή (08:00-21:00), 12: Κυριακή (08:00-21:00), **Πηγή:** Προσωπική επεξεργασία

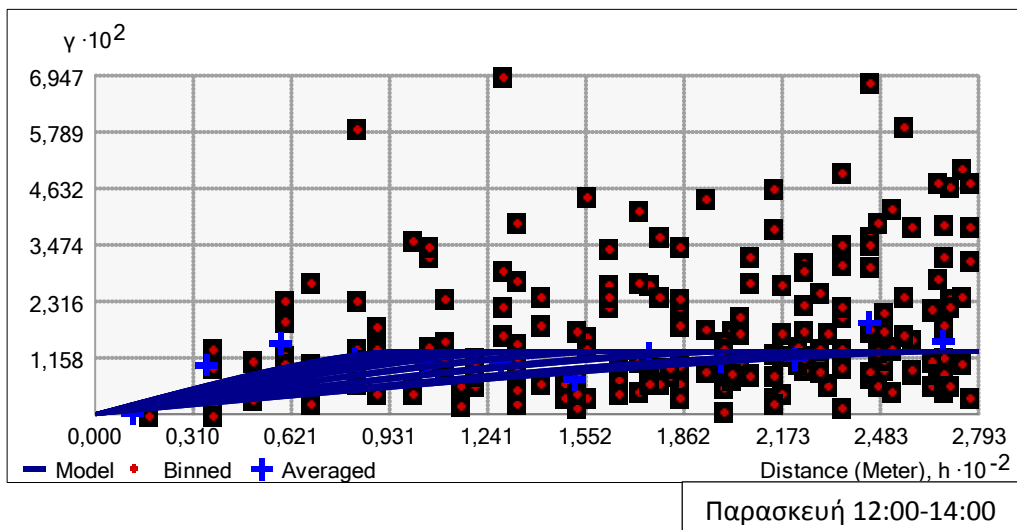
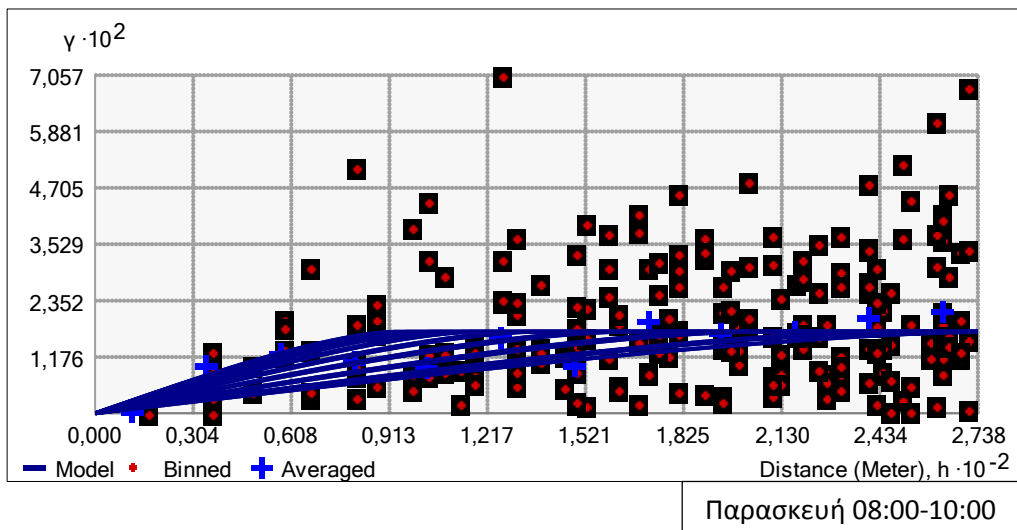
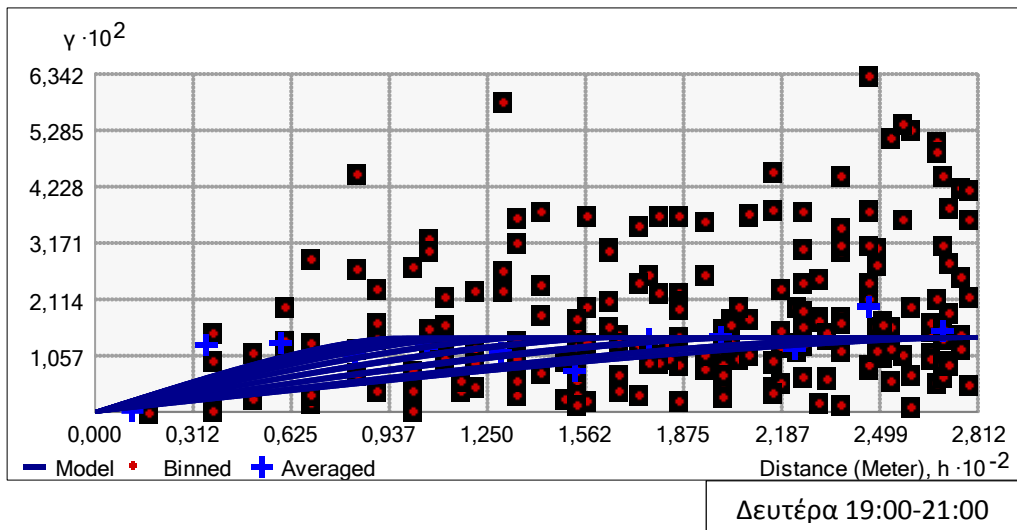
Η κλάση από την συγκέντρωση πολυγώνων στο ίδιο εύρος τιμών στα νότια της περιοχής μελέτης και για την Δευτέρα το βράδυ αποτελεί ένδειξη μη στασιμότητας των δεδομένων. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις η παραδοχή της στασιμότητας γίνεται αποδεκτή αν και μπορούν να εντοπιστούν ορισμένες μικρές κλάσεις πολυγώνων της ίδιας κατηγορίας.

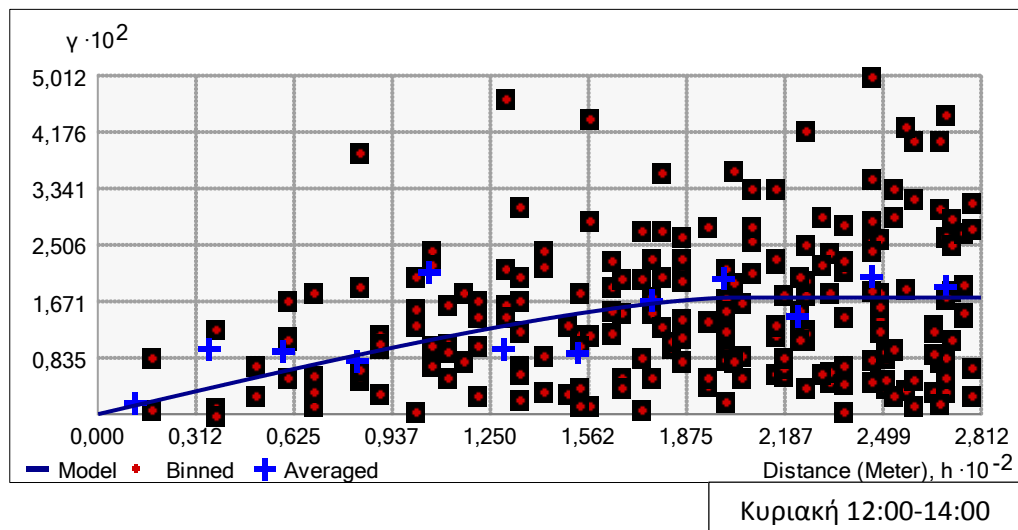
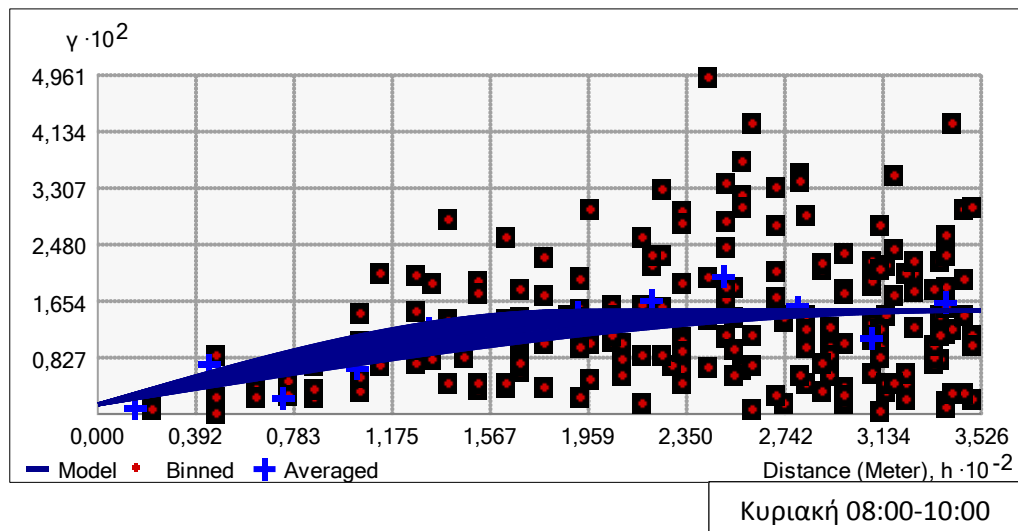
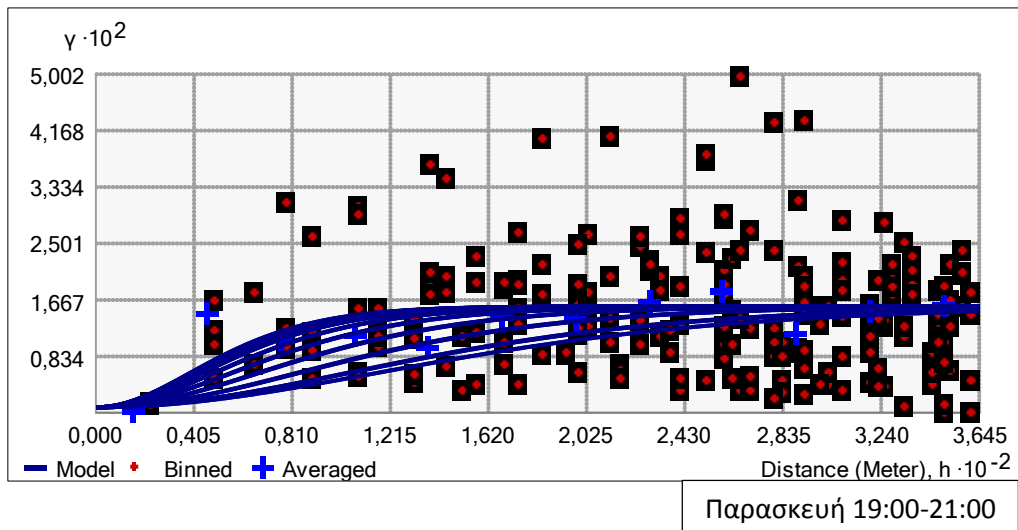
Οι συγκεντρώσεις όμοιων πολυγώνων σε διπλανά παράλληλα δευτερεύοντα δίκτυα ή κατά μήκος μίας οδού άλλωστε ήταν αναμενόμενες και επομένως κατά μήκος μίας οδού ή σε ένα τμήμα δύο ή τριών παράλληλων οδών μπορεί να υπάρξει μη στασιμότητα. Όμως η στασιμότητα ελέγχεται για το σύνολο της περιοχής και υπόψιν

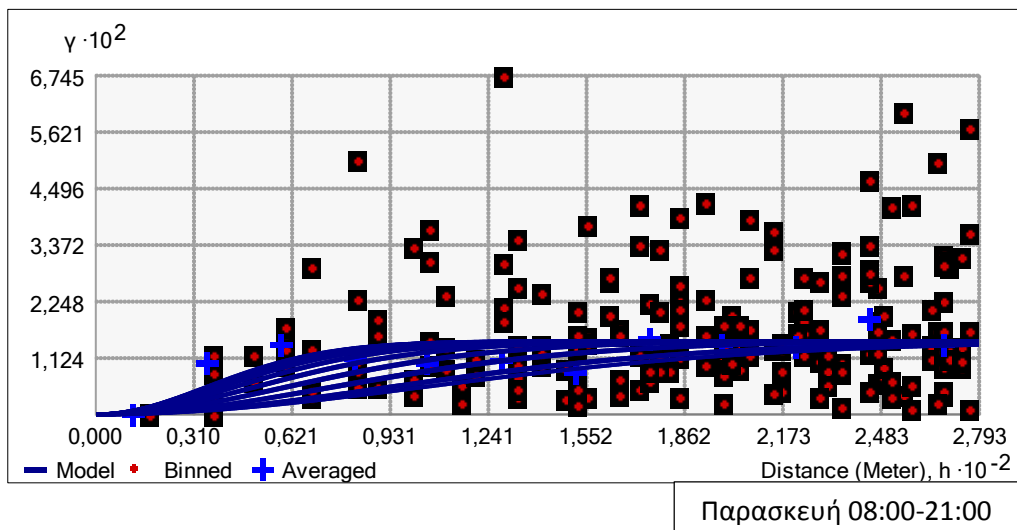
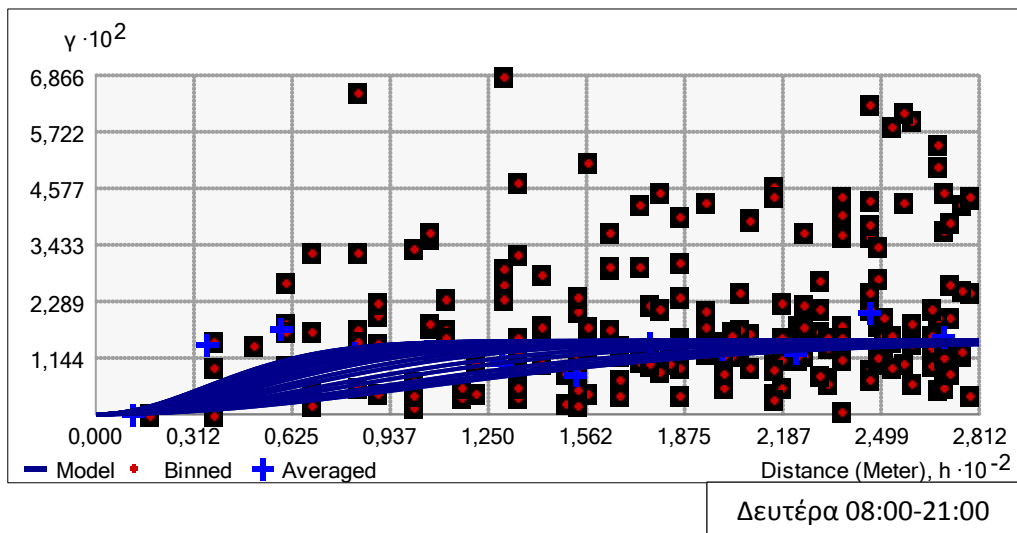
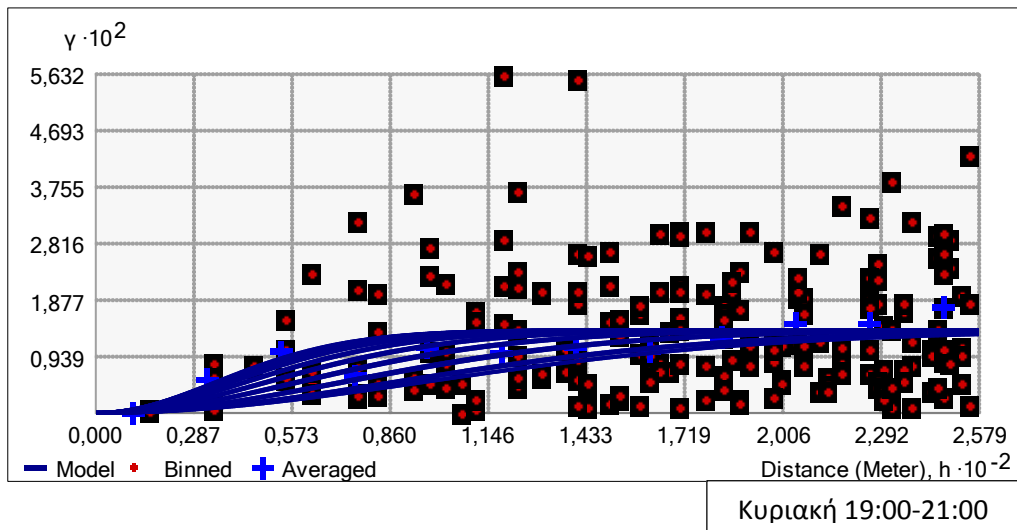
του ελέγχου που πραγματοποιήθηκε μέσω των χαρτών Voronoi η ανάλυση της εργασίας μπορεί να συνεχιστεί. Άλλωστε οι συμπεριφορές μη στασιμότητας στην περίπτωση μας είναι τάσεις όπως προέκυψε από την ανάλυση τάσης δεδομένων οπότε η μη στασιμότητα διορθώνεται από την αφαίρεση τάσης. Επιπροσθέτως ένα ακόμη στοιχείο που συνέβαλλε στην δημιουργία μοτίβων σε διακριτές περιοχές με τοπική μεταβλητότητα των δεδομένων είναι η χρήση των δεδομένων από λογαριθμική μετατροπή. Έτσι οποιαδήποτε μη τοπική στασιμότητα των δεδομένων διορθώθηκε από την μετατροπή. Η έλλειψη στασιμότητας στους χάρτες Voronoi και μετά την λογαριθμική μετατροπή διορθώνεται στη συνέχεια από την αφαίρεση τάσης όπως και προαναφέρθηκε.

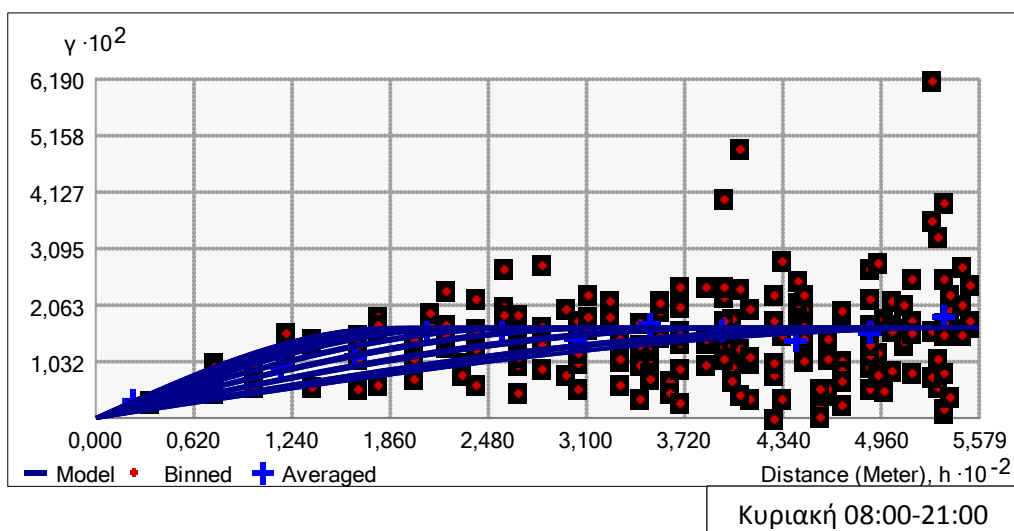
Μέσω της γεωστατιστικής ανάλυσης και για την εύρεση της συσχέτισης μεταξύ των τιμών δεδομένων σε ζεύγη δημιουργήθηκαν τα παρακάτω ημιβαριογράμματα:











Εικόνα 10: Ημιβαριογράμματα

Η αυτοσυσχέτιση μεταξύ των δεδομένων μειώνεται καθώς η απόσταση υστέρησης μεγαλώνει ενώ τα δεδομένα δεν αυτοσυσχετίζονται όταν βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και έχουν μεγάλη διαφορά στην τιμή ημιβαριογράμματος. Επιπρόσθετα, τιμές μεγαλύτερες του μέγιστου εύρους είναι ακραίες και δεν συσχετίζονται με τις υπόλοιπες για την ίδια απόσταση υστέρησης.

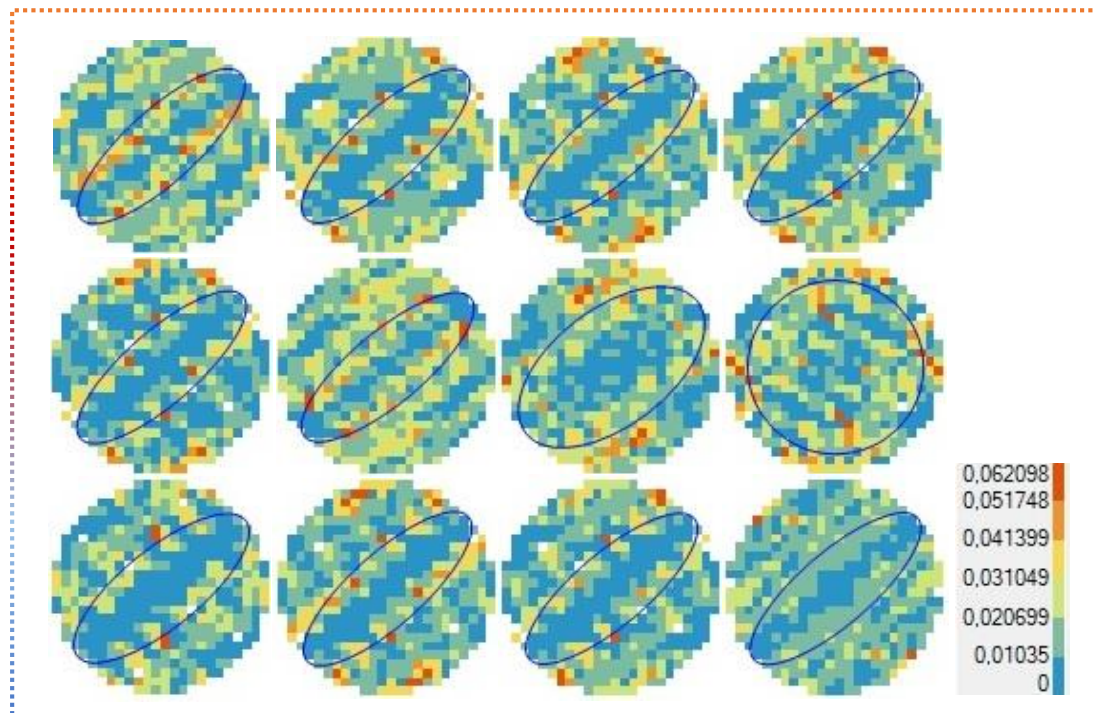
Όσων αφορά τα "βαριά" σημεία ¹² (δηλαδή τα Averaged points στην εικόνα 10) του κάθε εμπειρικού μοντέλου αυτά προέκυψαν από τις ομαδοποιημένες τιμές (binned) στο ημιβαριόγραμμα	Ημέρα (χρονική περίοδος)	Lag size	Number of lags
	Δευτέρα (08:00-10:00)	29,97236	12
	Δευτέρα (12:00-14:00)	23,27708	12
	Δευτέρα (19:00-21:00)	23,43245	12
	Παρασκευή (08:00-10:00)	22,81711	12
	Παρασκευή (12:00-14:00)	23,27708	12
	Παρασκευή (19:00-21:00)	30,37382	12
	Κυριακή (08:00-10:00)	29,38009	12
	Κυριακή (12:00-14:00)	23,43245	12
	Κυριακή (19:00-21:00)	21,49102	12
	Δευτέρα (08:00-21:00)	23,43245	12
	Παρασκευή (08:00-21:00)	23,27708	12
	Κυριακή (08:00-21:00)	46,49573	12

Πίνακας 12: Μέγεθος υστέρησης (1^η στήλη)-αριθμός υστερήσεων (2^η εξάγοντας τους μέσους στήλη)

όρους αυτών για κάθε συγκεκριμένο εύρος απόστασης υστέρησης. Επομένως βάσει των ομαδοποιημένων τιμών (binned) προέκυψαν τα βαριά σημεία από τις μέσες τιμές τους. Ο αριθμός των βαριών σημείων και το μέγεθος της υστέρησης, δηλαδή η απόσταση μεταξύ δύο βαριών σημείων, της κάθε περίπτωσης φαίνονται στον πίνακα 12. Τα

¹² Σε ένα ημιβαριόγραμμα «Ο άξονας της απόστασης διαιρείται σε μία σειρά περιοχών και υπολογίζεται ο μέσος όρος των σημείων κάθε περιοχής ώστε να προκύψουν τα "βαριά" σημεία», (Longley et al, 2010).

"βαριά" σημεία είναι πολύ βοηθητικά στην επιλογή εκείνου του θεωρητικού μοντέλου που τα προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό. Παρατηρώντας το θεωρητικό μοντέλο του κάθε ημιβαριογράμματος της εικόνας 10 γίνεται φανερό η επιλογή το μοντέλο να λαμβάνεται σε διαφορετικές διευθύνσεις για όλες τις περιπτώσεις εκτός από την περίπτωση της Κυριακής το μεσημέρι λόγω ανισοτροπίας όπως υποδηλώνεται και από την ανισοτροπική έλλειψη στην επιφάνεια ημιβαριογράμματος της κάθε περίπτωσης στην εικόνα 11.



Εικόνα 11: Επιφάνειες ημιβαριογράμματος

Η κάθε ψηφίδα στην επιφάνεια ημιβαριογράμματος αποτελεί ένα bin το οποίο διαθέτει μία τιμή ημιβαριογράμματος. Οι μεγαλύτερες τιμές ημιβαριογράμματος συμβολίζονται με κόκκινο χρώμα ενώ οι μικρότερες με μπλέ. Το κάθε bin με την τιμή του έχει μία απόσταση υστέρησης η οποία είναι η απόσταση της συγκεκριμένης ψηφίδας από το κέντρο της επιφάνειας ημιβαριογράμματος. Το ίδιο bin μαζί με την απόσταση υστέρησης και την τιμή ημιβαριογράμματος από την οποία χαρακτηρίζεται υπάρχει και στο ημιβαριόγραμμα. Επομένως υπάρχει άμεση σύνδεση της επιφάνειας ημιβαριογράμματος με το ημιβαριόγραμμα. Η έλλειψη και ο κύκλος στην επιφάνεια ημιβαριογράμματος δείχνει επίσης πως και το παράθυρο αναζήτησης στην εύρεση της άγνωστης τιμής θα είναι έλλειψη και κύκλος αντίστοιχα. Εντός του παραθύρου αναζήτησης τα βάρη που παίρνει το κάθε μετρούμενο σημείο για την εύρεση της τιμής του εκτιμώμενου προσδιορίζεται από το θεωρητικό μοντέλο ημιβαριογράμματος.

Επομένως το θεωρητικό μοντέλο είναι πολύ βασικό στην όλη διαδικασία για πρόβλεψη καθώς η εκτίμηση των τιμών σε μη επισκέψιμες θέσεις εξαρτάται από αυτό.

Τα θεωρητικά μοντέλα που δημιουργήθηκαν όπως και αναπαρίστανται στα ημιβαριογράμματα της εικόνας 10 είναι τα εξής:

1. Model [Monday 08:00-10:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,016727 * \text{Spherical} (359,67, 120,44, 47,1)$$

όπου το 0 είναι ο χωρικός θόρυβος, το 0,016727 το μερικό κατώφλι-partial sill (δηλαδή το συνολικό κατώφλι αφαιρώντας το ψήγμα), το 359,67 το μέγιστο στο εύρος, το 120,44 το ελάχιστο στο εύρος και το 47,1 η κατεύθυνση.

2. Model [Monday 12:00-14:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,01729 * \text{K-Bessel} (279,32, 93,737, 47,81, 10)$$

όπου η κάθε τιμή σημαίνει ότι και στο προηγούμενο μοντέλο με την διαφορά ότι στα θεωρητικά μοντέλα τύπου K-Bessel προστίθεται στο μοντέλο και μία παράμετρος που εδώ είναι το 10.

3. Model [Monday 19:00-21:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,013893 * \text{Circular} (281,19, 93,78, 48,7)$$

4. Model [Friday 08:00-10:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,016975 * \text{Circular} (273,81, 91,931, 49,2)$$

5. Model [Friday 12:00-14:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,012896 * \text{Circular} (279,32, 93,736, 48,3)$$

6. Model [Friday 19:00-21:00]:

$$0,00079939 * \text{Nugget} + 0,014923 * \text{K-Bessel} (364,49, 121,65, 49,746, 3,9154)$$

7. Model [Sunday 08:00-10:00]:

$$0,0014004 * \text{Nugget} + 0,0137 * \text{Spherical} (352,56, 191,41, 52)$$

8. Model [Sunday 12:00-14:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,017269 * \text{Circular} (201,71)$$

9. Model [Sunday 19:00-21:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,013786 * \text{K-Bessel} (257,89, 94,297, 50,6, 10)$$

10. Model [Monday 08:00-21:00]:

$$0 * \text{Nugget} + 0,014892 * \text{K-Bessel} (281,19, 93,78, 47,8, 10)$$

11. Model [Friday 08:00-21:00]:

0 * Nugget + 0,014592 * K-Bessel (279,32, 93,736, 49,4, 10)

12. Model [Sunday 08:00-21:00]:

0 * Nugget + 0,016459 * Spherical (557,95, 186,83, 48,9)

Συγκρίνοντας τα ημιβαριογράμματα της εικόνας 10 παρατηρείται η παρουσία μεγαλύτερης χωρικής αυτοσυσχέτισης μεταξύ του δείγματος για την περίπτωση της Κυριακής [08:00-21:00] με μόλις ένα ζεύγος τιμών δεδομένων εκτός του εύρους (πέραν του εύρους η αυτοσυσχέτιση είναι μηδενική, δες μοντέλο 12 για την τιμή του εύρους). Από την άλλη μεριά η περίπτωση της Δευτέρας και για όλες τις χρονικές περιόδους διαφέρει από τις υπόλοιπες διαπιστώνοντας με την βοήθεια των ημιβαριογραμμάτων και των μοντέλων 1, 2, 3 και 10 πως αρκετά ζεύγη τιμών μένουν εκτός του εύρους αυτοσυσχέτισης. Αυτό συμβαίνει καθώς οι τιμές τις Κυριακής σε γειτονικές θέσεις είναι περισσότερο όμοιες σε αντίθεση με τις παρατηρούμενες τιμές της Δευτέρας.

Ημέρα (χρονική περίοδος)-Σφάλματα πρόβλεψης		MPE	RMSPE	MSPE	RMSSPE	ASE
Δευτέρα	(08:00-10:00)	0,029	5,5	-0,004	0,96	5,8
Δευτέρα	(12:00-14:00)	0,081	5,4	-0,01	1,08	5,1
Δευτέρα	(19:00-21:00)	-0,084	5,2	-0,02	0,96	5,4
Παρασκευή	(08:00-10:00)	0,11	6,3	-0,01	1,01	6,2
Παρασκευή	(12:00-14:00)	-0,002	5,1	-0,01	0,95	5,4
Παρασκευή	(19:00-21:00)	-0,002	4,8	-0,01	1,09	4,6
Κυριακή	(08:00-10:00)	0,055	5,5	-0,01	1,03	5,3
Κυριακή	(12:00-14:00)	-0,055	5,7	-0,03	0,98	6
Κυριακή	(19:00-21:00)	-0,055	5,1	-0,03	1,04	4,7
Δευτέρα	(08:00-21:00)	0,003	5,1	-0,02	1,11	4,7
Παρασκευή	(08:00-21:00)	-0,021	5,1	-0,03	1,1	4,8
Κυριακή	(08:00-21:00)	-0,198	5	-0,04	1,16	4,3

Πίνακας 13: Σφάλματα πρόβλεψης μεθόδου Kriging

Στο σημείο αυτό και ως παρένθεση στην τρέχουσα ανάλυση θα επαναληφθεί πως οι μπλε γραμμές στα μοντέλα ημιβαριογράμματος είναι οι καλύτερα προσαρμοζόμενες γραμμές στα εμπειρικά δεδομένα οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των συντελεστών στάθμισης για γειτονικές θέσεις στην διαδικασία για την εκτίμηση της τιμής του εξεταζόμενου χαρακτηριστικού σε κάθε μία μη μετρούμενη θέση¹³. Άρα οι μπλε γραμμές που αποτελούν τα θεωρητικά μοντέλα¹⁴ είναι μεγάλης σημασίας στην

¹³ Παράρτημα: εικόνα ii

¹⁴ Υπενθυμίζεται πως το κάθε θεωρητικό μοντέλο προέκυψε από μία εξίσωση αποτελούμενη από την εμπειρική σχέση μεταξύ της απόστασης διαχωρισμού (separation distance) και της διαφοράς του χαρακτηριστικού.

όλη διαδικασία. Αυτός δηλαδή είναι ο τρόπος με τον οποίο έγινε η πρόβλεψη των τιμών του χαρακτηριστικού για ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Ως εκ τούτου τα χωρικά μοντέλα τα οποία εν τέλει δημιουργήθηκαν συνέβαλλαν στο αποτέλεσμα της δημιουργίας συνεχόμενων επιφανειών με τα μικρότερα δυνατά σφάλματα πρόβλεψης (πίνακας 13).

Η συσχέτιση μεταξύ προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών είναι υψηλή σε όλες τις περιπτώσεις σύμφωνα με το RMSSPE του πίνακα 13. Ακόμη το RMSPE και το ASE έχουν κοντινές τιμές και πάλι σε όλες τις περιπτώσεις οι οποίες είναι αρκετά χαμηλές και σχετικές με το εύρος τιμών θορύβου (των λογαριθμημένων). Επίσης οι θετικές τιμές του MPE υποδεικνύουν μία σχέση μεταξύ μετρούμενης και προβλεπόμενης τιμής όπου η προβλεπόμενη τιμή είναι υψηλότερη της μετρούμενης ενώ το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει για τα αρνητικά σφάλματα.

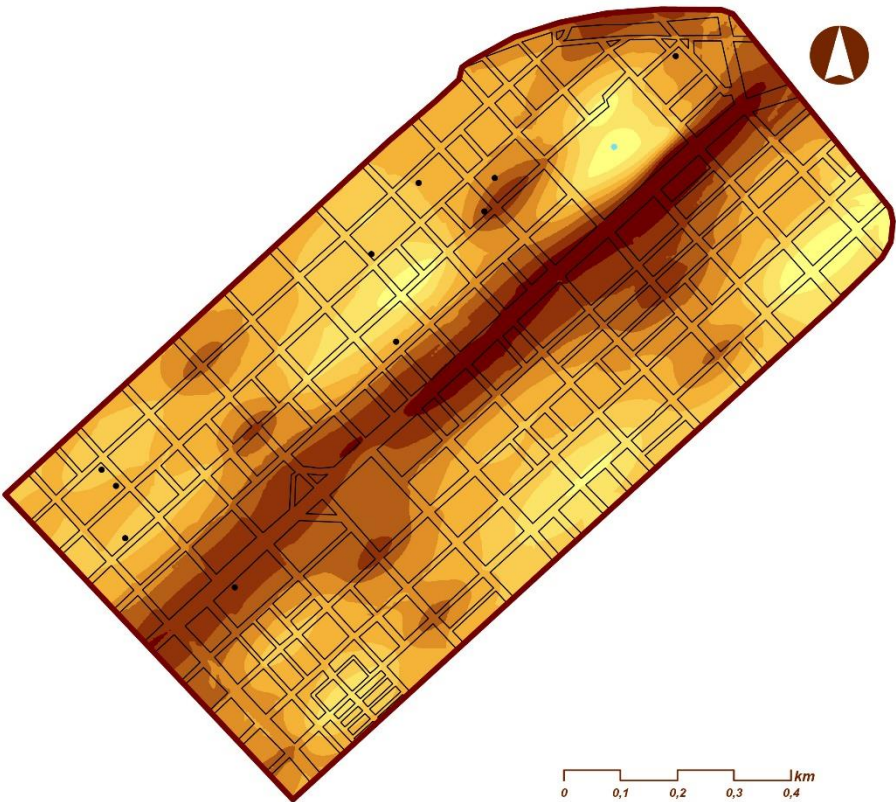
Από την εφαρμογή της μεθόδου IDW τα σφάλματα πρόβλεψης που προέκυψαν κατά το στάδιο της πολλαπλής επικύρωσης είναι τα εξής:

Ημέρα (χρονική περίοδος) - Σφάλματα πρόβλεψης		MPE	RMSPE	Συγκρίνοντας τα σφάλματα πρόβλεψης από την πολλαπλή επικύρωση της μεθόδου Kriging με την μέθοδο IDW (Πίνακας 13, 14) προκύπτει ότι το μέσο σφάλμα πρόβλεψης είναι πολύ μεγαλύτερο στην μέθοδο IDW από ότι στην Kriging σε όλες τις περιπτώσεις ενώ η μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης είναι λίγο μικρότερη στην μέθοδο IDW σε όλες τις χρονικές περιόδους εκτός από εκείνη της Παρασκευής το απόγευμα. Η διαφορά στα RMSPEs ανάμεσα στις δύο μεθόδους είναι πολύ μικρή.
Δευτέρα	(08:00-10:00)	0,91	5,26	
Δευτέρα	(12:00-14:00)	0,9	5,32	
Δευτέρα	(19:00-21:00)	0,84	5,16	
Παρασκευή	(08:00-10:00)	0,85	5,68	
Παρασκευή	(12:00-14:00)	0,63	4,86	
Παρασκευή	(19:00-21:00)	0,8	5,17	
Κυριακή	(08:00-10:00)	0,96	5,33	
Κυριακή	(12:00-14:00)	0,67	5,87	
Κυριακή	(19:00-21:00)	0,9	5,14	
Δευτέρα	(08:00-21:00)	0,9	4,86	
Παρασκευή	(08:00-21:00)	0,77	4,9	
Κυριακή	(08:00-21:00)	0,87	4,88	

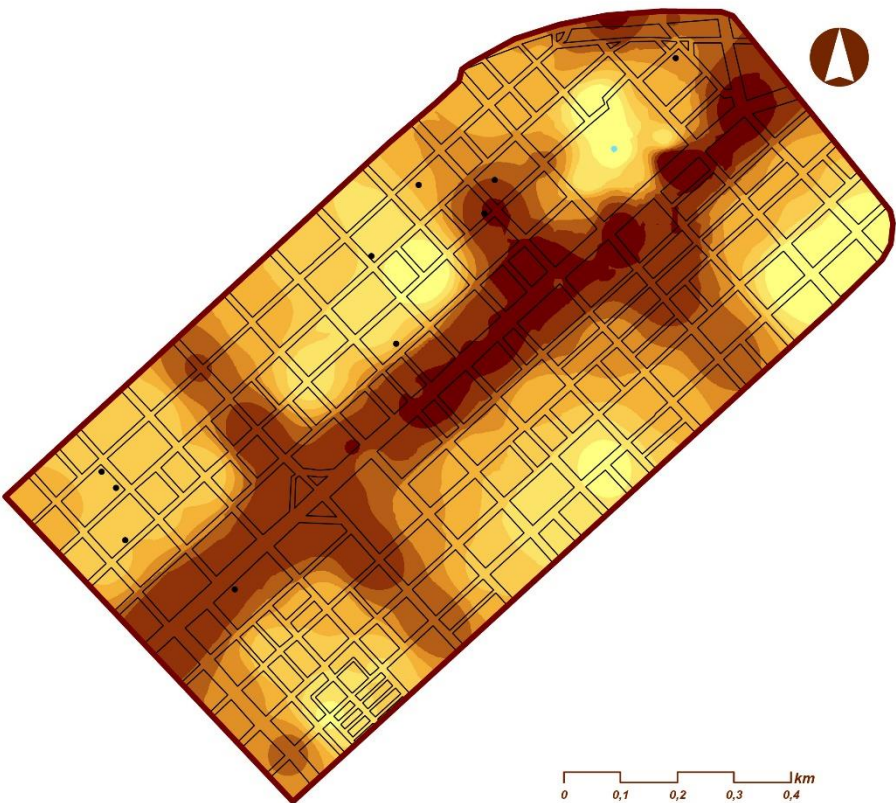
Πίνακας 14: Σφάλματα πρόβλεψης μεθόδου IDW

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα τελικά χαρτογραφικά αποτελέσματα.

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

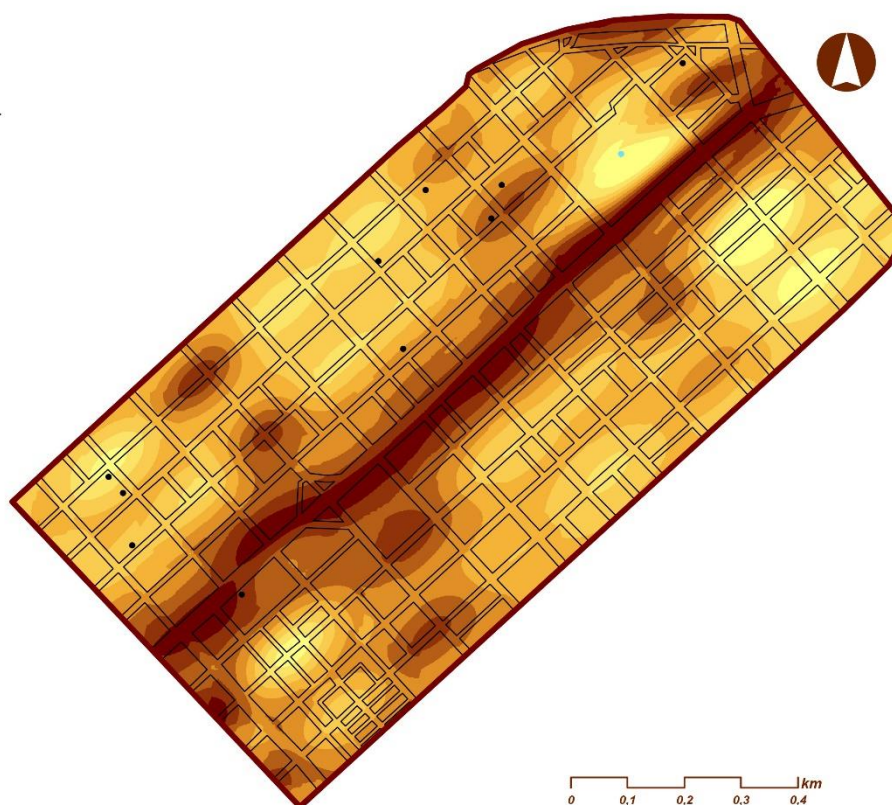
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

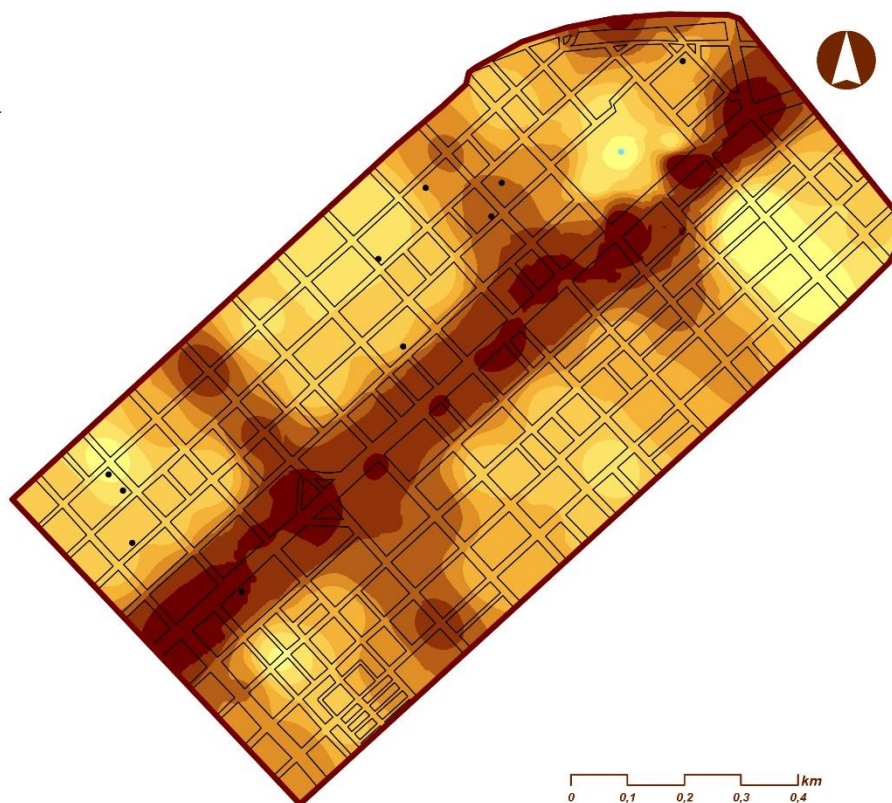
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 12: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 08:00-10:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

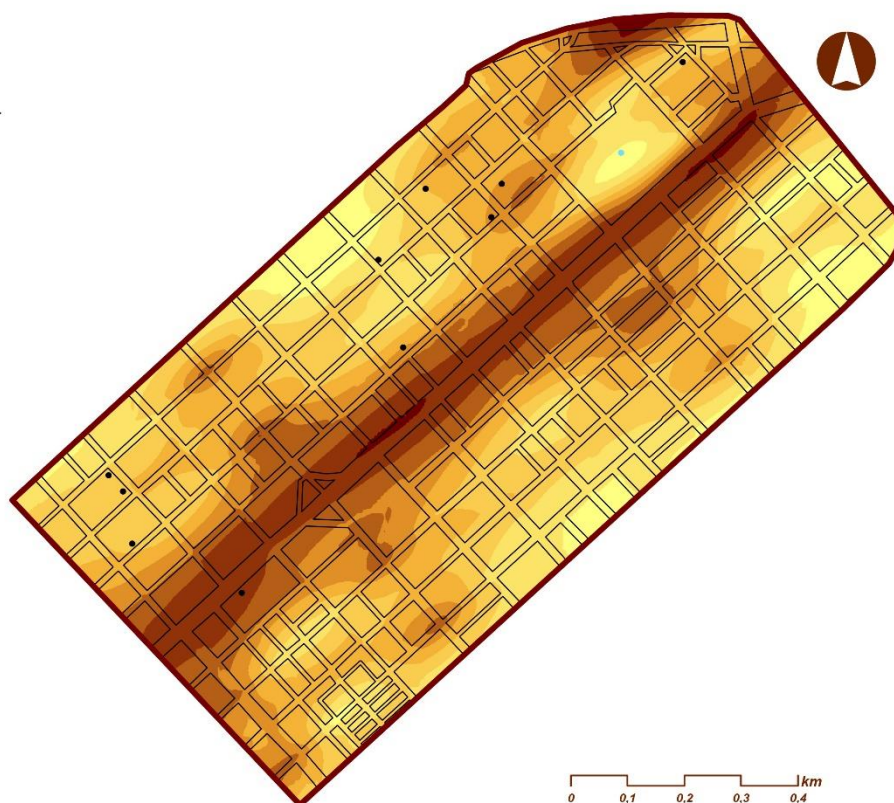
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

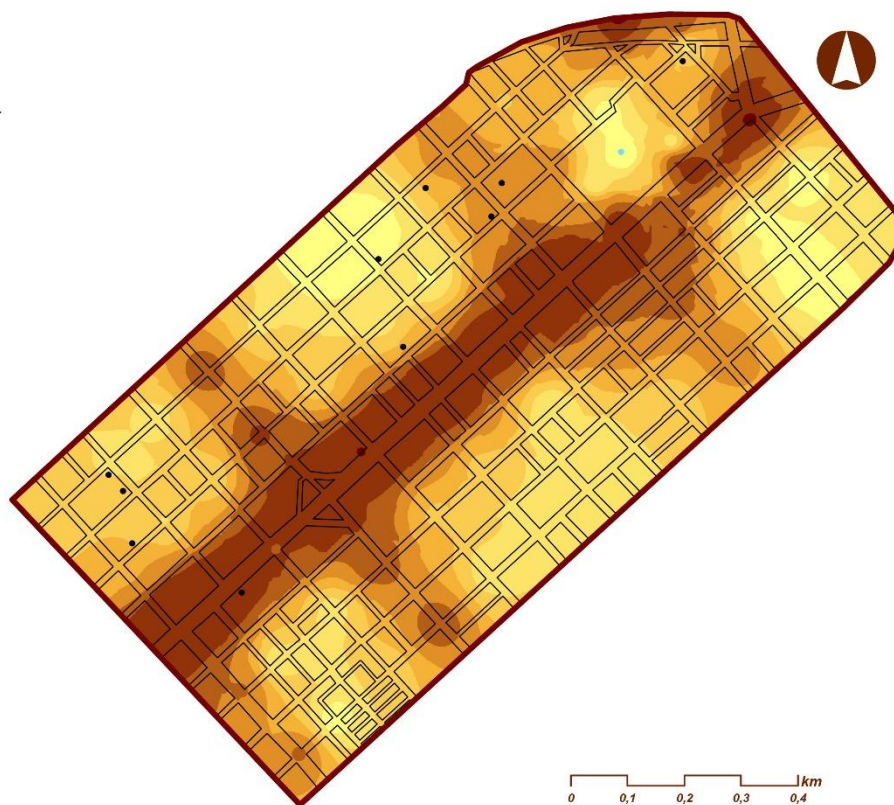
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 13: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 12:00-14:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

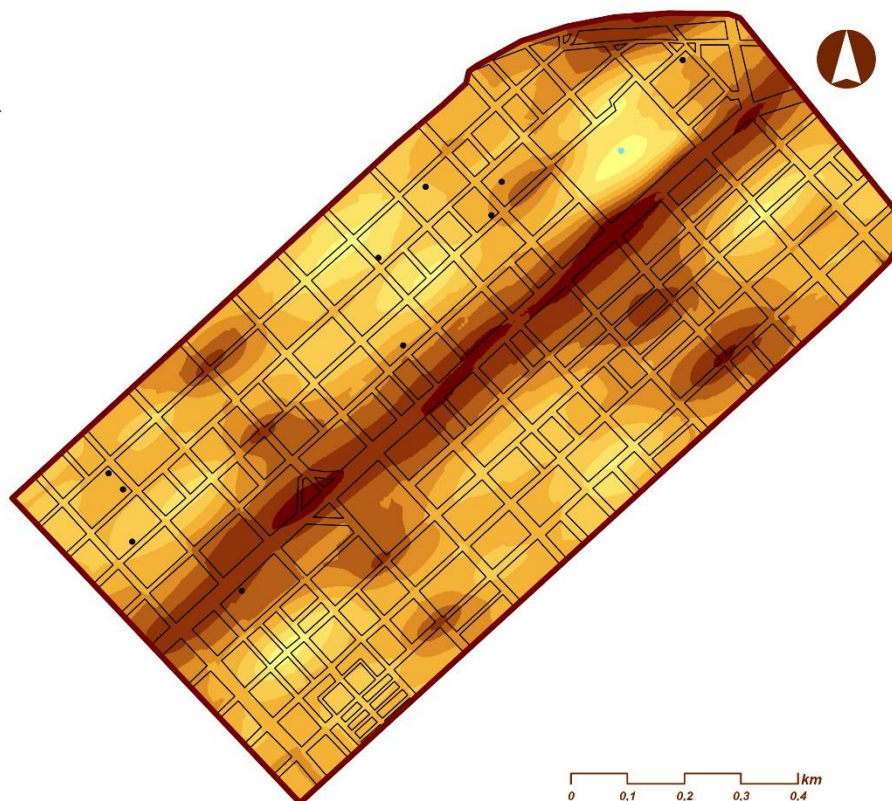
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

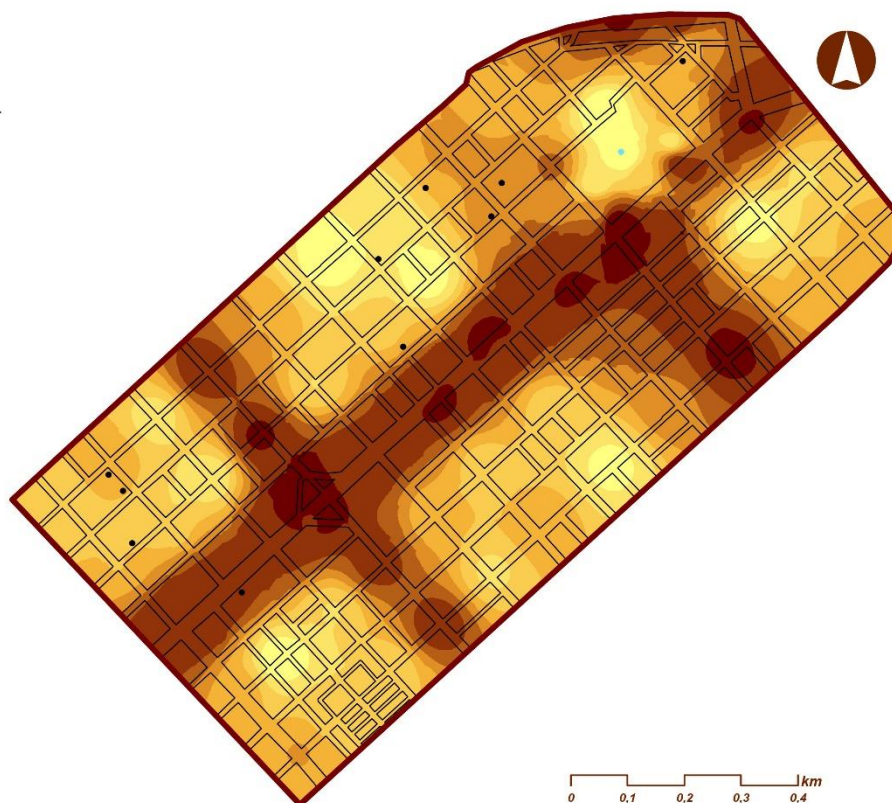
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 14: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 19:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

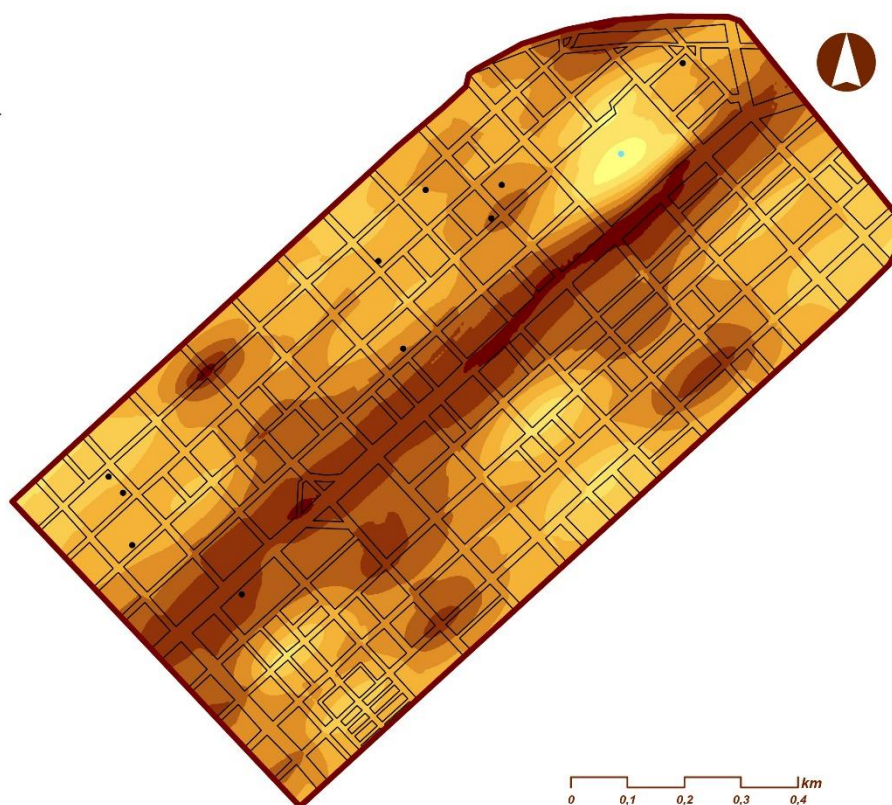
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

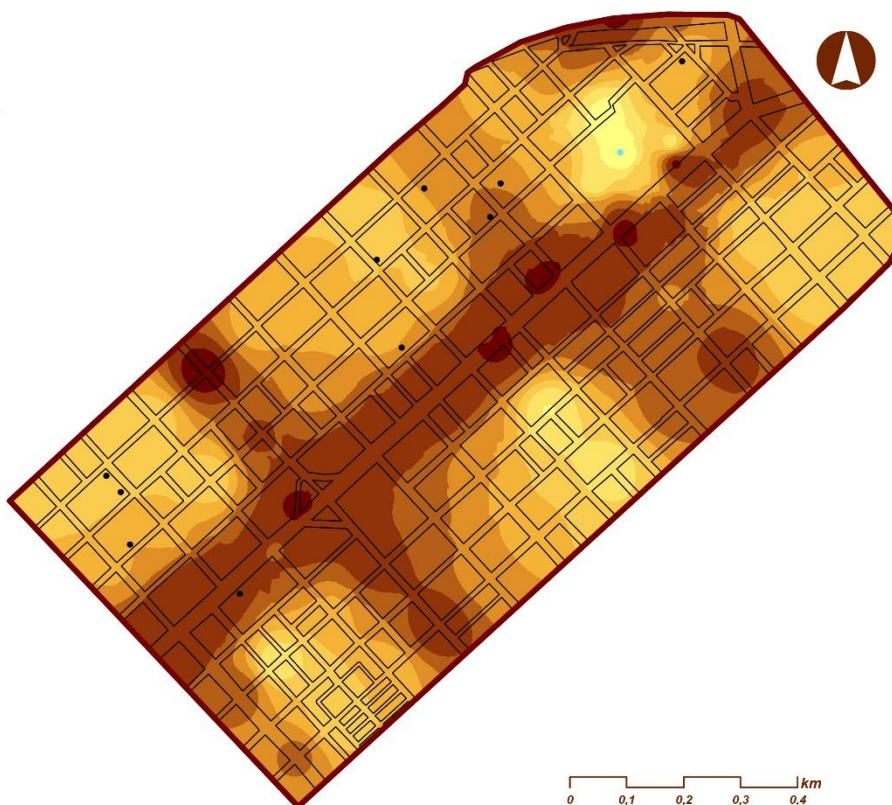
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 15: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 08:00-10:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

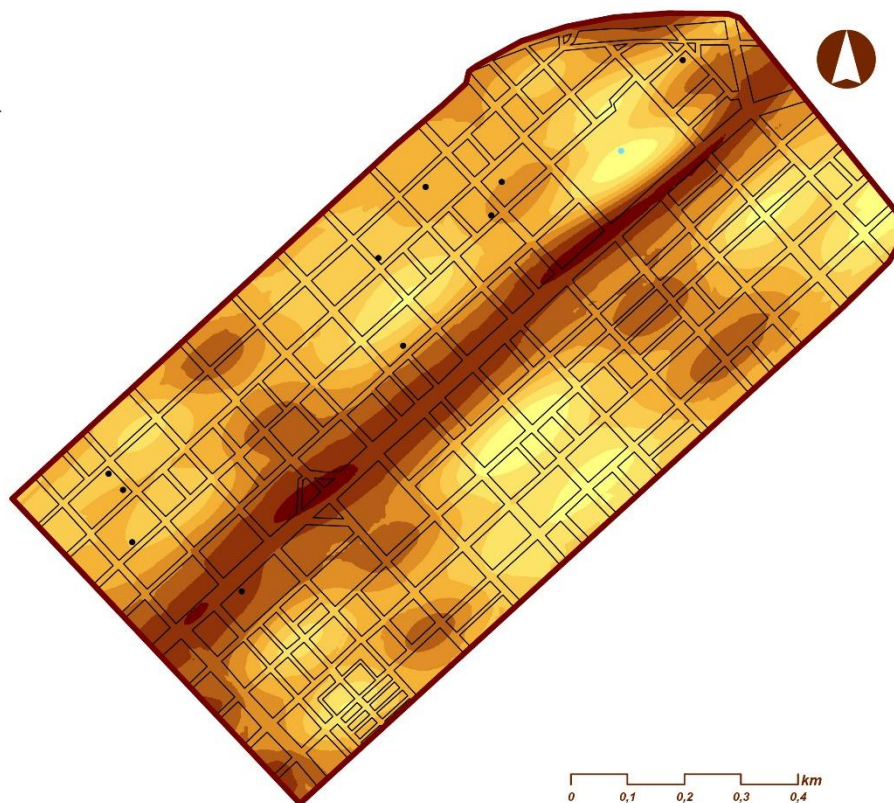
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

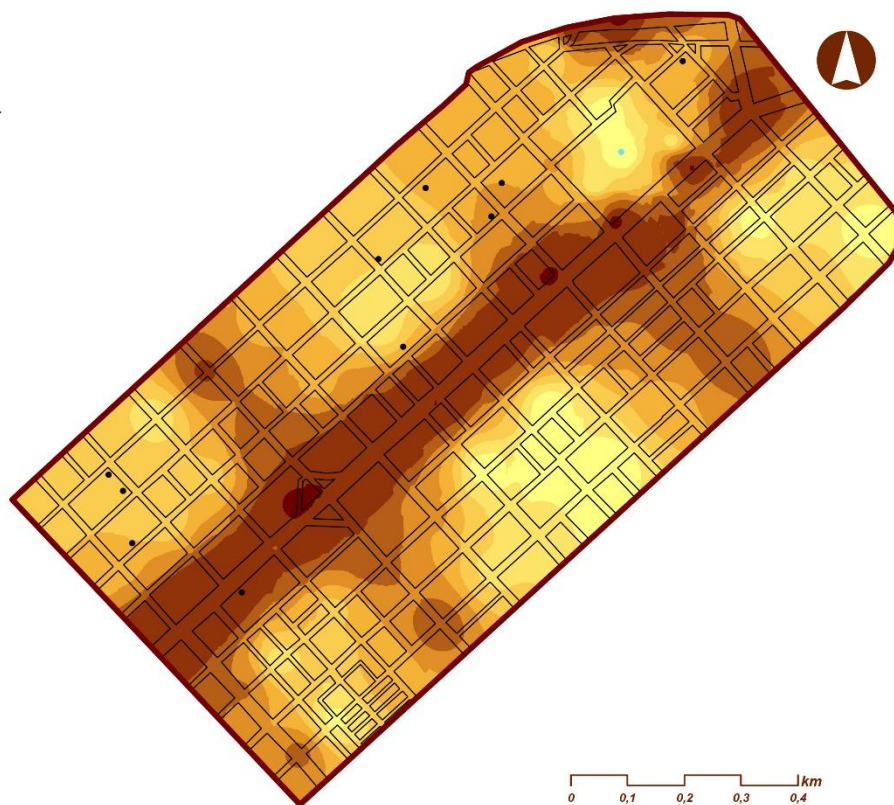
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 16: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 12:00-14:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

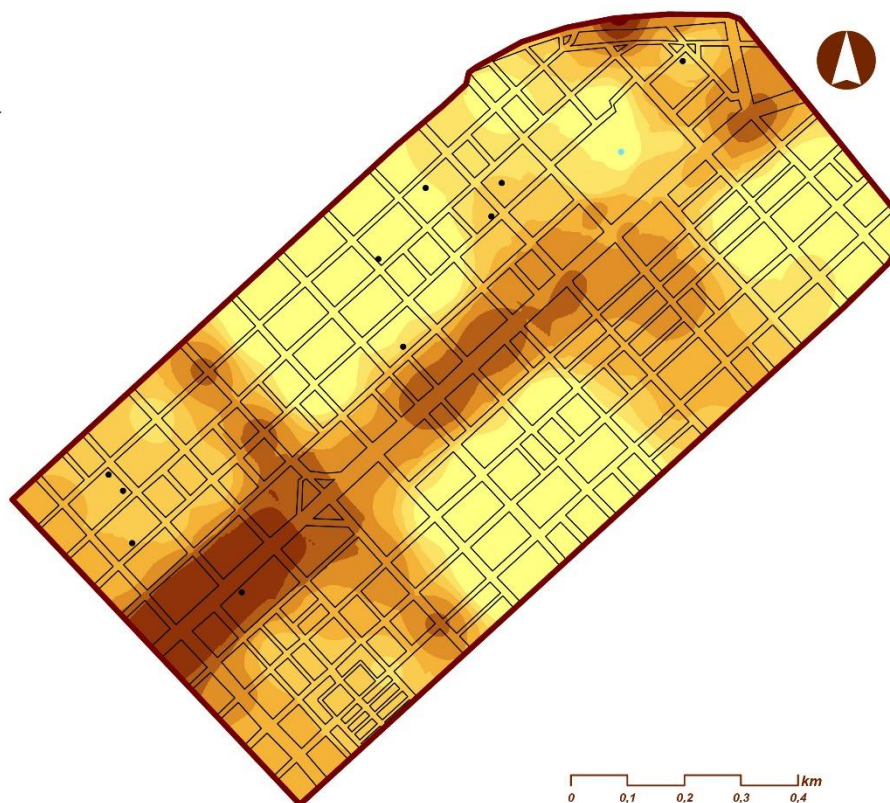
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 17: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 19:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

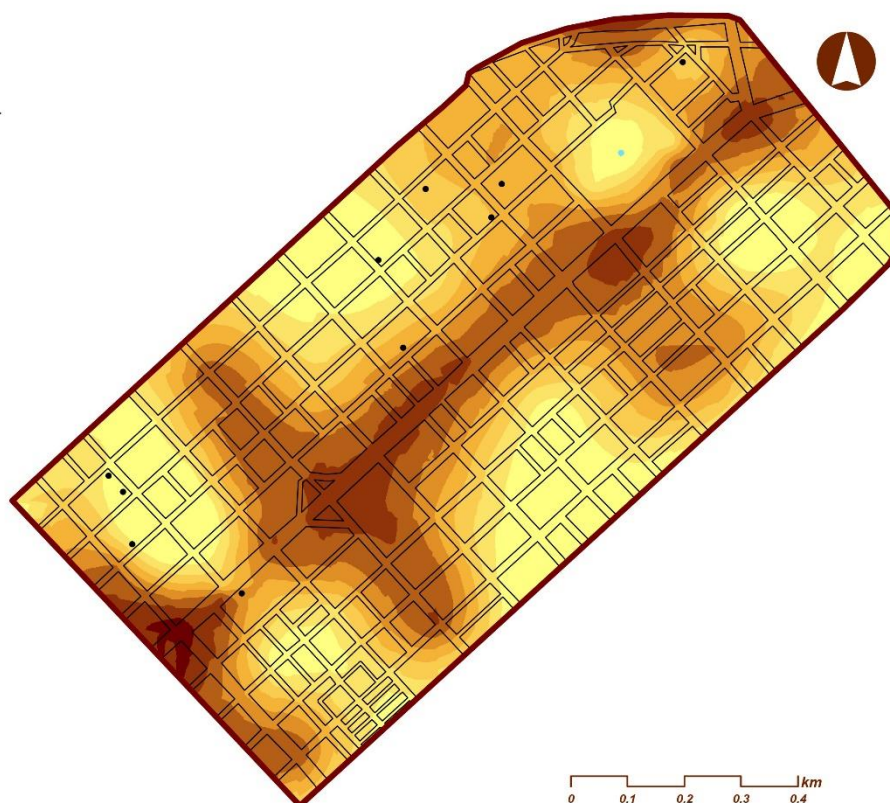
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

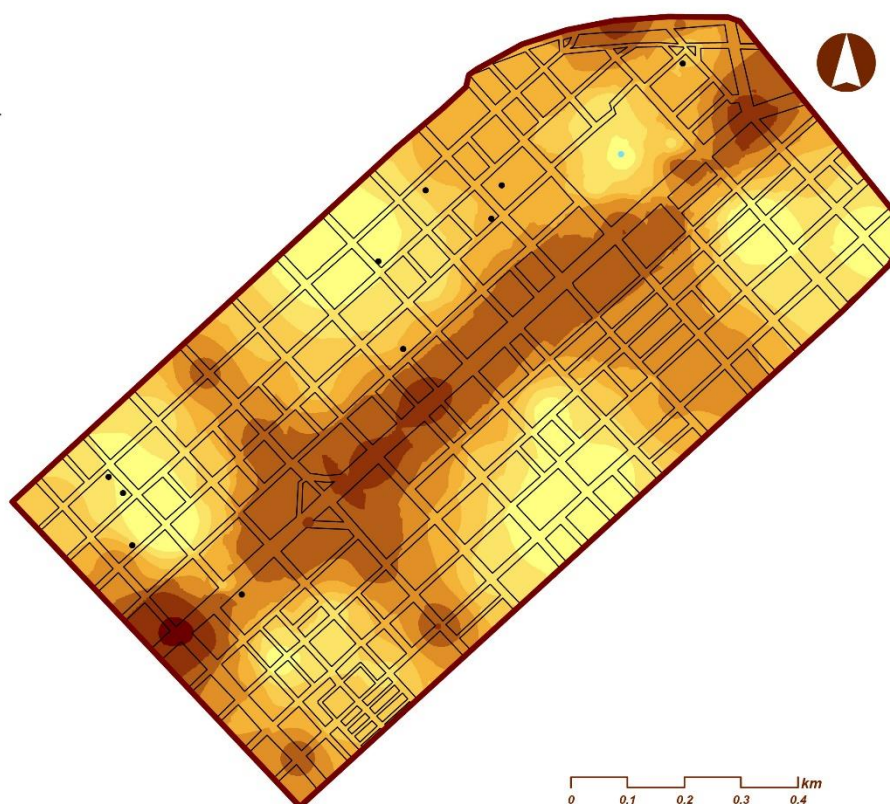
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 18: Χάρτες θορύβου Κυριακής 08:00-10:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

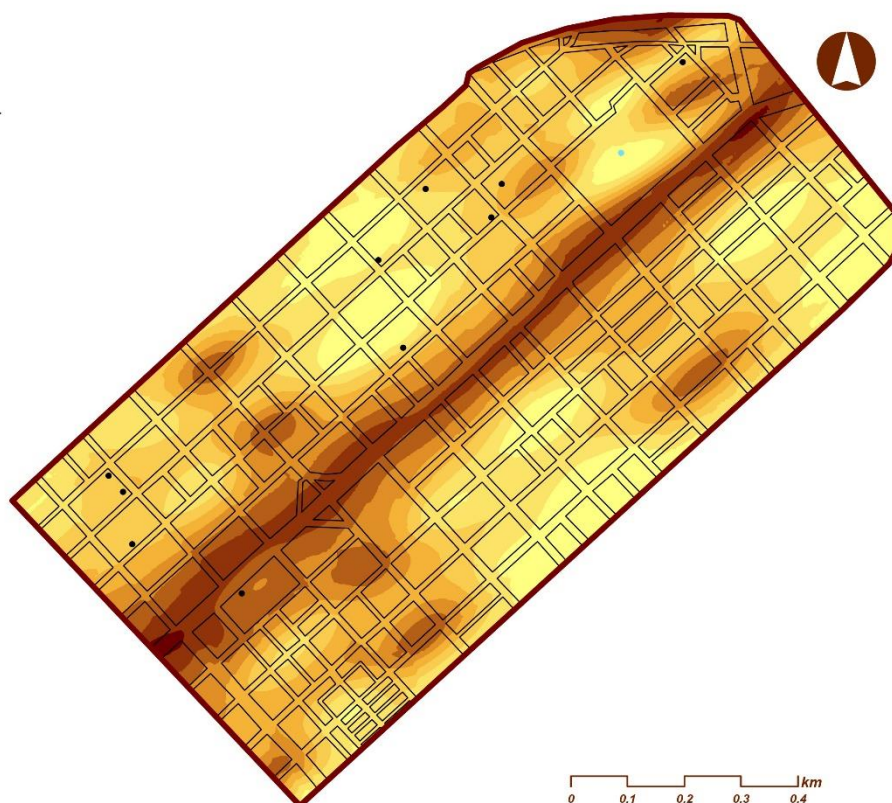
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

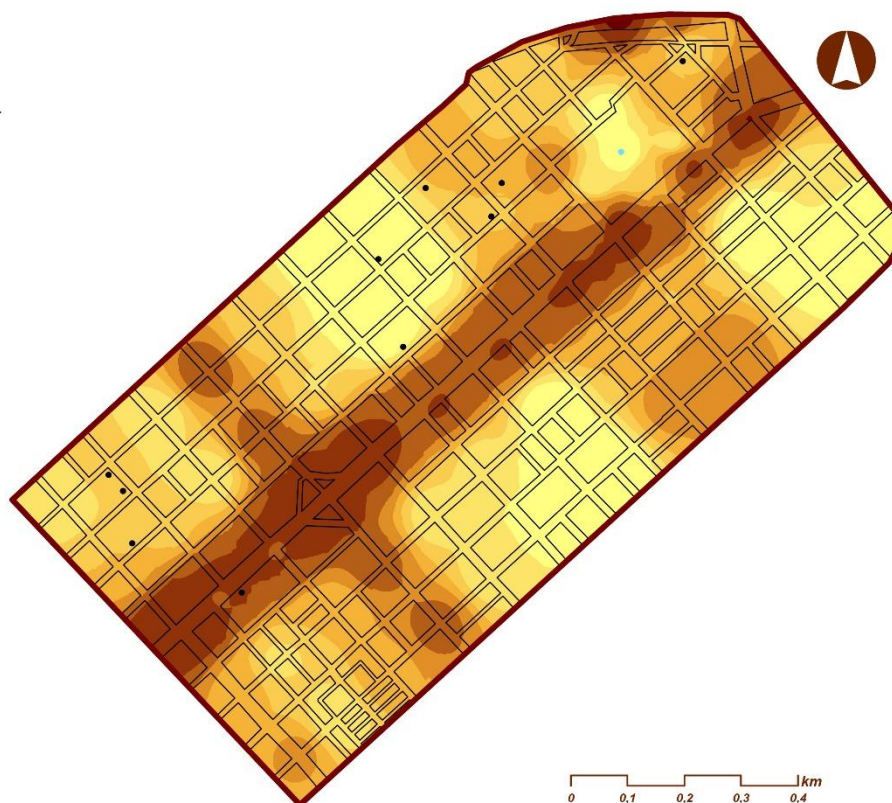
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 19: Χάρτες θορύβου Κυριακής 12:00-14:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

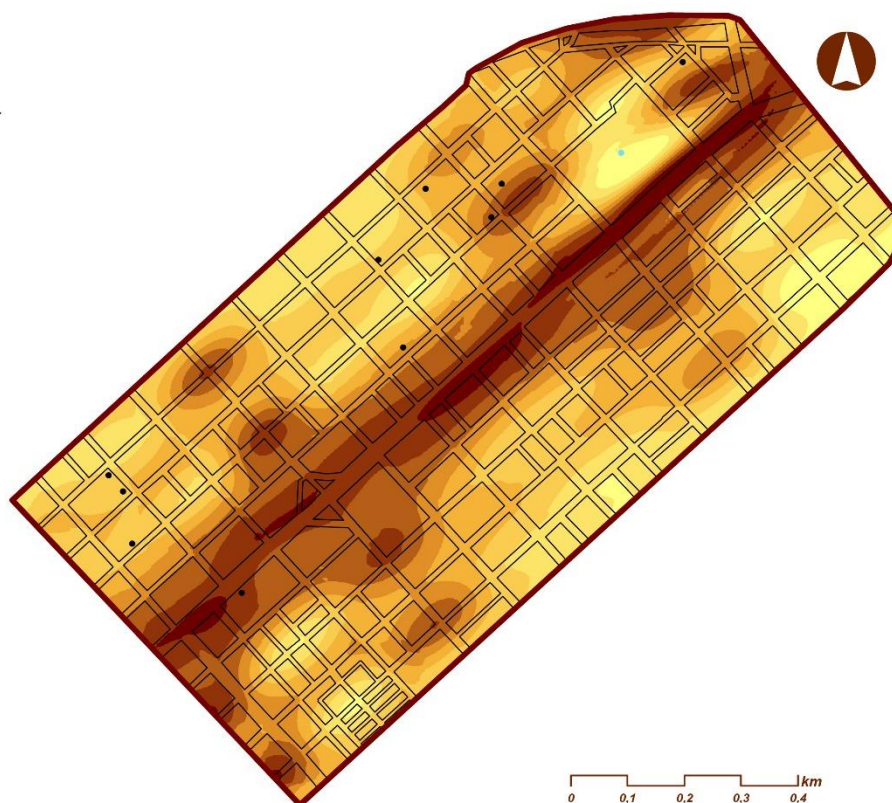
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

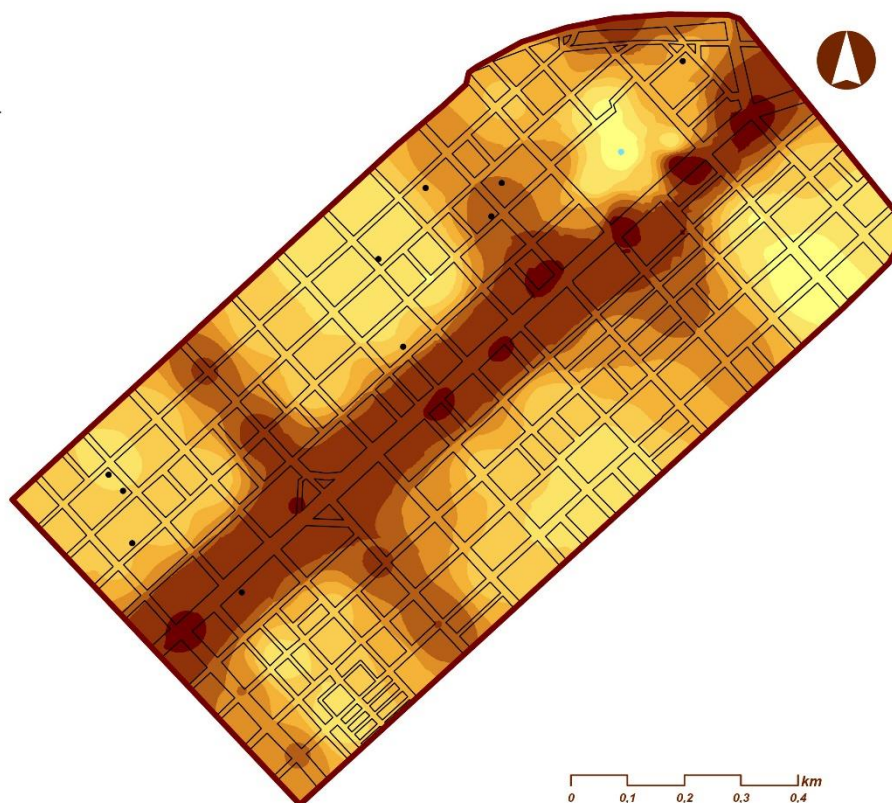
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 20: Χάρτες θορύβου Κυριακής 19:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

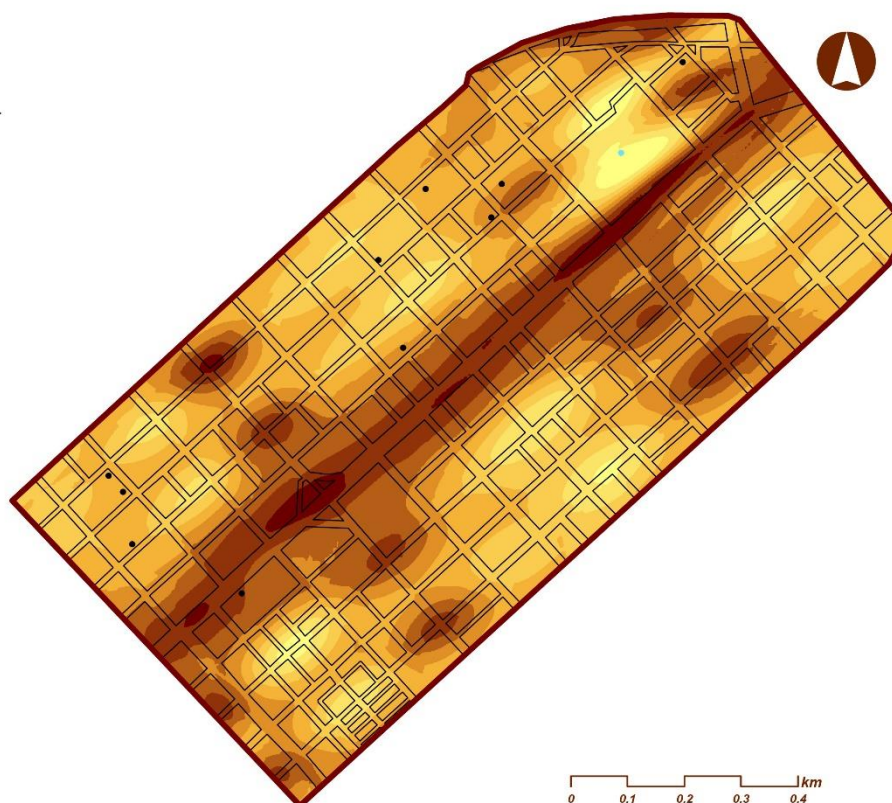
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

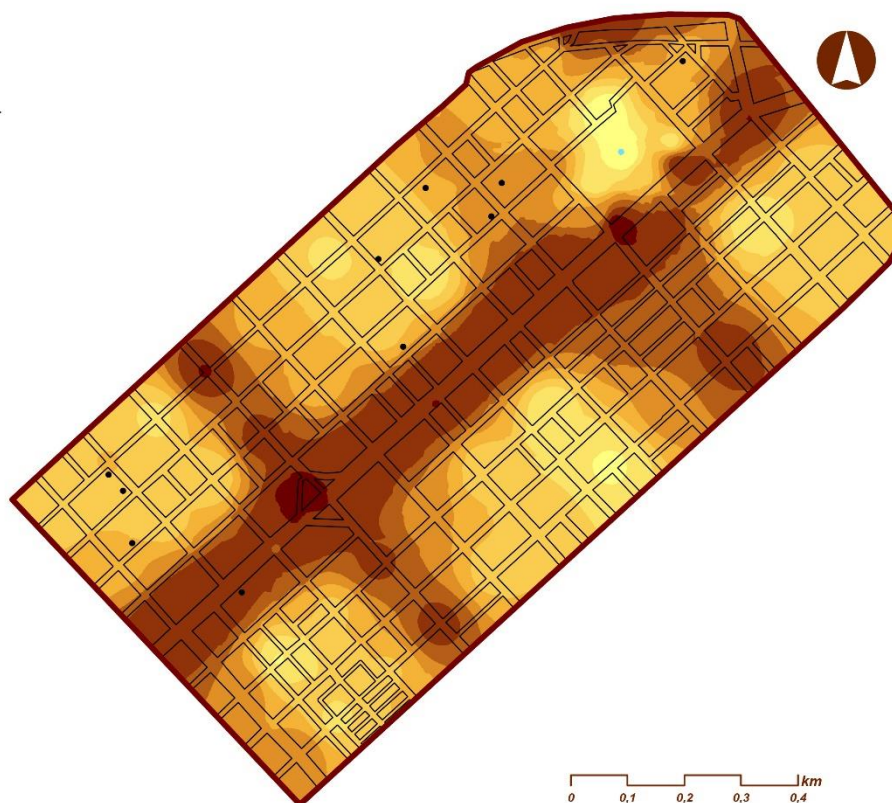
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 21: Χάρτες θορύβου Δευτέρας 08:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

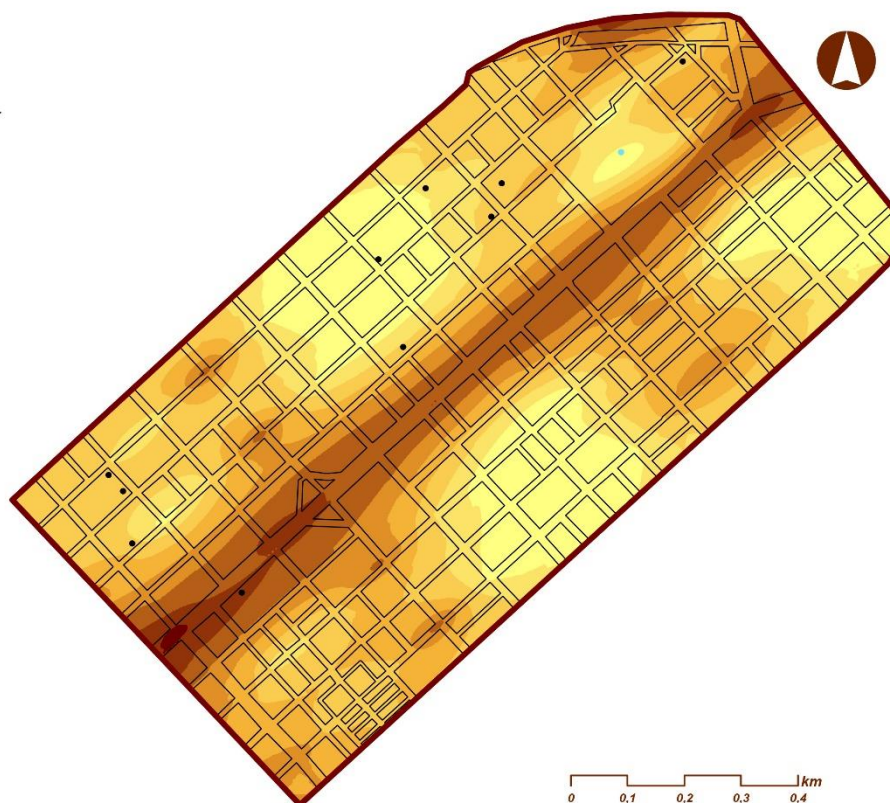
- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

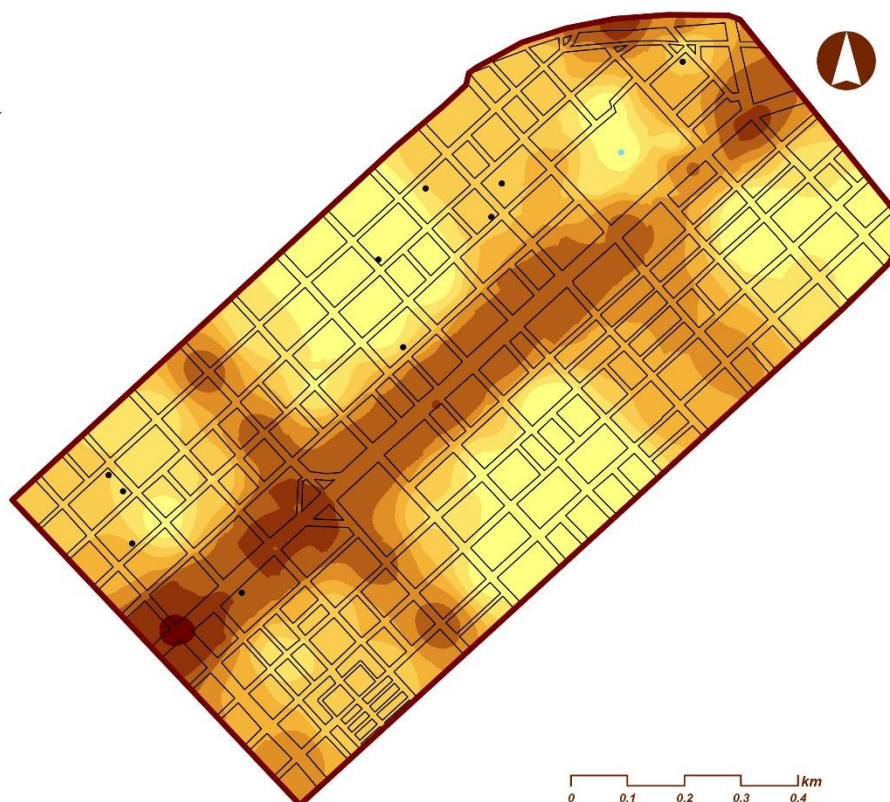
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 22: Χάρτες θορύβου Παρασκευής 08:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)

1



2



Υπόμνημα

Σημεία

- σχολεία
- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Πολύγωνα

- όριο περιοχής μελέτης
- οικοδομικά τετράγωνα

Επίπεδο ήχου (σε dB)

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 50 - 53 | 57 - 59 | 63 - 65 | 69 - 71 |
| 54 - 56 | 60 - 62 | 66 - 68 | 72 - 75 |

Εικόνα 23: Χάρτες θορύβου Κυριακής 08:00-21:00 (1: Kriging, 2: IDW)

Γενική παρατήρηση για όλες τις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους όπως παραπάνω αποτυπώθηκαν χαρτογραφικά αποτελεί η αναμενόμενη υψηλότερη ένταση θορύβου στην κεντρική λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου στο κέντρο του δήμου καθώς και τα υψηλά επίπεδα θορύβου σε διασταυρώσεις των οδών Χαροκόπου, Αγίων Πάντων, Σιβιτανίδου και Δαβάκη στο τοπικό κέντρο γειτονιάς του δήμου. Μία ακόμη οδός που διατηρεί συνεχώς τα επίπεδα του ήχου σε σταθερά υψηλές τιμές σύμφωνα με τους χάρτες θορύβου είναι η οδός Τσαλδάρη στα βόρεια όρια της περιοχής μελέτης όπου και η διέλευση των οχημάτων ήταν μεγάλη κατά την διάρκεια των ηχομετρήσεων.

Σε χρήση γης γενικής κατοικίας με παρατήρηση κίνησης οχημάτων το επίπεδο του ήχου κυμαίνεται από 60-65 dB ενώ υπάρχουν υποπεριοχές στα όρια της όλης περιοχής αρκετά ήσυχες σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Σε όλα τα χαρτογραφικά αποτελέσματα ο χώρος του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου αποτελεί ένα πιο ήσυχο περιβάλλον καθώς περιβάλλεται από ανοιχτό χώρο πρασίνου και ο ίδιος οριοθετείται από τοίχιο το οποίο λειτουργεί και ως ηχοπέτασμα. Στην πύλη του πανεπιστημίου εκεί όπου το τοίχιο διακόπτεται η ένταση του ήχου είναι 57-59 dB ενώ στο κέντρο από όλη την έκταση του χώρου του πανεπιστημίου η ένταση είναι μικρότερη από 53 dB. Την διαφορά αυτή στα dB μπορεί να την αντιληφθεί το ανθρώπινο αισθητήριο και επομένως η παρατήρηση αυτή είναι σημαντική. Συνεπώς το πανεπιστήμιο το οποίο ορίζεται ως μια ευαίσθητη περιοχή ως χώρος εκπαίδευσης προστατεύεται από τον θόρυβο τον προερχόμενο από την κεντρική λεωφόρο και έτσι δεν τίθεται το ζήτημα της προστασίας του.

Μελετώντας την κάθε περίπτωση χωριστά και ξεκινώντας από την Δευτέρα το πρωί (εικόνα 12) προκύπτει ως πρώτο σχόλιο το εμφανές που είναι η μεγαλύτερη ένταση θορύβου στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου από ότι στο νότιο, με το βόρειο και κεντρικό τμήμα να ξεπερνά τα 71 dB χωρίς να υπερβαίνεται ένα όριο των 75 dB. Ακόμη με βάση την εικόνα 12 (1, 2) παρατηρείται πρώτον η κοινή ένταση θορύβου σχεδόν σε όλο το μήκος της οδού Σκρά (63-65 dB) με εξαίρεση την διασταύρωση των οδών Σκρά με Σοφοκλέους με μικρή διαφορά στην ένταση (66-68 dB), δεύτερον ο σχηματισμός νησίδων χαρακτηριζόμενων ως οι πιο ήσυχες περιοχές στα βορειοανατολικά της περιοχής, στα κεντρικά ανατολικά, στα κεντρικά δυτικά και στα νοτιοανατολικά και τρίτον η υψηλή ένταση θορύβου στα βορειοδυτικά σε τμήμα της οδού Σκρά και γύρω από την διασταύρωση της οδού Σκρά με την Αγίων Πάντων εκεί ακριβώς όπου βρίσκονται και δύο σχολεία. Τα δύο αυτά σχολεία βιώνουν ένταση

θορύβου από 63 dB έως 71 dB σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου Kriging και από 66 dB έως και 75 dB σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου IDW που σημαίνει πως ο θόρυβος επηρεάζει αρνητικά την συγκεκριμένη περιοχή. Σοβαρό πρόβλημα βιώνει και το σχολείο στα νοτιοανατολικά της περιοχής καθώς μπροστά του περνάει η κεντρική λεωφόρος και με βάση τις μετρήσεις του πρωινού της Δευτέρας και την συνεχόμενη επιφάνεια θορύβου της εικόνας 12 το σχολείο αυτό βρίσκεται σε μία ζώνη θορύβου των 69-71 dB.

Σχόλιο: Τα αποτελέσματα της εικόνας 12, 1 και 2 είναι ικανοποιητικά και ομοιάζουν μόνο που στην μέθοδο Kriging οι ισοκαμπύλες θορύβου κινούνται παράλληλα προς το οδικό δίκτυο.

Την Δευτέρα το μεσημέρι η ένταση του ήχου μειώθηκε στην Χαροκόπου σε σχέση με το πρωί της ίδιας ημέρας. Επίσης η ένταση μειώθηκε αρκετά στην περιοχή που οριοθετείται από τις οδούς Ατθίδων, Αριστείδου, Καλυψούς και της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου, στην περιοχή μεταξύ Λαζαρίδου, Χαροκόπου, Ευαγγελίστριας και Τσαλδάρη και στην περιοχή στα νοτιοδυτικά από την οδό Φιλαρέτου μέχρι και την Σκίππη (εικόνα 13: 1, 2). Η ένταση του ήχου αυξήθηκε στο νότιο τμήμα της κεντρικής λεωφόρου ενώ στο κεντρικό κομμάτι η ένταση του ήχου διαφοροποιείται με το να είναι υψηλότερη κατά την άνοδο των οχημάτων από τον νότο στον βορρά (εικόνα 13: 1). Αυτή η παρατήρηση δεν μπορεί να γίνει διακριτή από τα αποτελέσματα της IDW στην εικόνα 13: 2 διότι οι υψηλές τιμές περιορίζονται σε κυκλικές επιφάνειες γύρω από τα μετρούμενα σημεία. Παρ' όλα αυτά και τα δύο χαρτογραφικά αποτελέσματα της εικόνας 13 είναι χρήσιμα και παρέχουν μία εικόνα της ηχητικής κατάστασης στην περιοχή για το μεσημέρι της Δευτέρας.

Όσον αφορά τα σχολεία φαίνεται πως αυτό που βρίσκεται στα νοτιοανατολικά της περιοχής με βάση τα αποτελέσματα της Kriging και της IDW βιώνει επίπεδα θορύβου από 66 dB έως και 71 dB και άνω των 69 dB (έως και 75 dB) αντίστοιχα. Όμως και τα σχολεία που βρίσκονται στα βορειοδυτικά και που τα χωρίζει η οδός Αγίων Πάντων βιώνουν και αυτά ένταση ήχου άνω των 63 dB η οποία φτάνει και τα 71 dB στην οδό Σαπφούς σύμφωνα με τις μετρούμενες τιμές και τα αποτελέσματα της μεθόδου Kriging. Κατά την IDW οι τιμές ήχου στο σχολείο δυτικά της οδού Αγίων Πάντων είναι στα 66-68 dB. Το ίδιο ισχύει και για το σχολείο στα ανατολικά της οδού με την

διαφορά ότι για τον ίδιο χώρο πιο ανατολικά της οδού και βορειότερα της περιοχής οι τιμές μειώνονται στα 63-66 dB.

Την Δευτέρα το βράδυ (19:00-21:00 μ.μ., εικόνα 14) η ηχητική κατάσταση της περιοχής φαίνεται να αλλάζει με την ένταση του θορύβου να είναι μειωμένη σε σχέση με το πρωί και το μεσημέρι στο σύνολο της περιοχής μελέτης (εξαιρώντας την οδό Τσαλδάρη) αλλά πιο συγκεκριμένα γύρω από το κέντρο δήμου και το τοπικό κέντρο γειτονιάς. Η διαφορά άνω των 3 dB στην κεντρική λεωφόρο και των 3 dB στις οδούς Σιβιτανίδου, Δαβάκη, Χαροκόπου, Σκρά καθώς και σε δευτερεύον οδικό δίκτυο εντός της γενικής κατοικίας σε σχέση με το μεσημέρι και το πρωί σχετίζεται σε έναν βαθμό και με την λειτουργία των καταστημάτων τα οποία την Δευτέρα το απόγευμα παραμένουν κλειστά. Η μείωση ισχύει και για τις ζώνες γύρω από όλα τα σχολεία εκτός από αυτό στον νοτιοδυτικό τομέα της περιοχής όπου η ένταση αυξήθηκε κατά 3 dB σε σχέση με το μεσημέρι έχοντας την ίδια ένταση με αυτή του πρωινού της ίδιας ημέρας.

Την Παρασκευή το πρωί (εικόνα 15) παρατηρήθηκε αυξημένη ένταση του ήχου στην διασταύρωση της Χαροκόπου με την Σοφοκλέους όπως επίσης και σε ορισμένα τμήματα της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου. Οι υψηλότερες τιμές θορύβου στην περιοχή μελέτης σε αυτήν την περίπτωση και σε όλες τις υπόλοιπες της παρούσας εργασίας φανερώνουν μία σχεδόν ανεκτή κατάσταση θορύβου όντας στα όρια για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης ως θορυβώδη. Στην εικόνα 15: 2 δημιουργείται ζώνη συγκεκριμένης τιμής ήχου γύρω από κάθε σημείο η οποία δεν ακολουθεί γραμμικά και παράλληλα το οδικό δίκτυο όπως συμβαίνει στην εικόνα 15: 1. Αν και διαφορετικά τα αποτελέσματα της εικόνας 15: 1 και 2 δίνουν εξίσου την ίδια χρήσιμη πληροφορία που προκύπτει από την οπτικοποίηση του ήχου. Μέσω της οπτικής του ήχου εξάγονται ευκολότερα συμπεράσματα μέσω των παρατηρήσεων της ηχητικής κατάστασης τοπικά. Για παράδειγμα στην εξεταζόμενη αυτή χρονική περίοδο παρατηρείται ότι στους χώρους των σχολείων η τιμή της έντασης του ήχου ξεπερνούσε τα 54 dB.

Σχόλιο: Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας με ένταση ήχου 55 dB σε εξωτερικό χώρο σχολείου προκαλείται ενόχληση. Βέβαια τα όρια θορύβου που έχει θέσει ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας στον πίνακα 4 είναι χαμηλά για κάθε περίπτωση και όμως συσχετίζονται με κρίσιμες επιπτώσεις στον άνθρωπο.

Η ηχητική κατάσταση της περιοχής για το μεσημέρι της Παρασκευής (εικόνα 16) δεν διαφέρει πολύ από αυτήν του πρωινού της ίδιας ημέρας. Οι διαφορές που εντοπίζονται

κυρίως είναι ότι έχει περιοριστεί η ένταση του ήχου στην κεντρική διασταύρωση της περιοχής όπου συναντιούνται η λεωφόρος Ελευθερίου Βενιζέλου με τις οδούς Σιβιτανίδου και Δαβάκη, έχει αυξηθεί η ένταση του ήχου στην διασταύρωση της Σιβιτανίδου με την Κρέμου όπως επίσης και σε ορισμένες υποπεριοχές γενικής κατοικίας και έχει μειωθεί στην διασταύρωση Σοφοκλέους με Χαροκόπου και στην γωνία που σχηματίζει η Καλυψούς με την Ελευθερίου Βενιζέλου. Την Παρασκευή το απόγευμα το περιβάλλον σε ολόκληρη την περιοχή γίνεται πιο ήσυχο σε σχέση με το μεσημέρι (εικόνα 17). Η διαφορά είναι ιδιαίτερα φανερή πέριξ της κεντρικής λεωφόρου. Η υποπεριοχή γενικής κατοικίας στα κεντρικά της περιοχής και ανατολικά της λεωφόρου είναι αρκετά ήσυχη ενώ στο σύνολο της χρήσης γης γενικής κατοικίας η ένταση του ήχου είναι μικρότερη των 68 dB που σημαίνει πως η κατάσταση του ηχητικού περιβάλλοντος είναι άνετη με βάση τα όρια που έχει προτείνει το τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος (πίνακας 5). Ένταση άνω των 69 dB καταγράφηκε μόνο κατά μήκος της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου.

Την Κυριακή το πρωί (εικόνα 18) επικρατεί σχετική ησυχία στην περιοχή μελέτης. Στην μεγαλύτερη έκταση χρήσης γενικής κατοικίας η ένταση του ήχου είναι ίση και μικρότερη από 53 dB. Από τις οδούς Σιβιτανίδου, Δαβάκη και βόρεια η μείωση στην ένταση σε σχέση με αυτήν που καταγράφηκε για τις εργάσιμες ημέρες στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής φτάνει τα 9 dB. Από τις οδούς Σιβιτανίδου, Δαβάκη και νότια η ένταση του ήχου είναι υψηλότερη ακόμη και σε χρήση γης γενικής κατοικίας και το χαρτογραφικό αποτέλεσμα που προκύπτει από το συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής ομοιάζει με αυτά των εργάσιμων ημερών δηλαδή της Δευτέρας και της Παρασκευής. Η αύξηση της έντασης στην συγκεκριμένη περίπτωση οφείλεται σε αυξημένη κίνηση των οχημάτων λόγω του γεγονότος ότι οι μετρήσεις για το συγκεκριμένο τμήμα πραγματοποιήθηκαν ημέρα εκλογών. Η παρατήρηση αυτή ισχύει και για το μεσημέρι και βράδυ της ίδιας ημέρας και μόνο για το συγκεκριμένο τμήμα και επισημαίνεται διότι θα μπορούσε η ένταση να ήταν 3 dB έως και 6 dB χαμηλότερη και το τμήμα αυτό να έχει μεγαλύτερη συνοχή με το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής μελέτης.

Την Κυριακή το μεσημέρι (εικόνα 19) στα νοτιοδυτικά της περιοχής ο ήχος παίρνει τιμές από 50 dB έως 53 dB, τιμές οι οποίες δεν είχαν ξαναπαρατηρηθεί για την συγκεκριμένη υποπεριοχή στις προηγούμενες εξεταζόμενες χρονικές περιόδους και ημέρες. Σε χρήση γης γενικής κατοικίας στα νότια της περιοχής η ένταση μειώθηκε σε

σχέση με το πρωί ενώ αντίθετα αυξήθηκε στα βόρεια σε αρκετή έκταση του συγκεκριμένου τύπου χρήσης γης. Βέβαια η αύξηση δεν σημειώθηκε μόνο σε αυτόν τον τύπο χρήσης γης αλλά και σε αυτούς που αναφέρονται στο κέντρο του δήμου και στο τοπικό κέντρο γειτονιάς. Η ηχητική κατάσταση στο περιβάλλον της περιοχής την Κυριακή το βράδυ (εικόνα 20) ομοιάζει αρκετά με αυτή της Κυριακής το μεσημέρι. Σαφώς η κατάσταση της Κυριακής και για τις τρεις χρονικές περιόδους είναι διαφορετική από αυτήν της Δευτέρας και της Παρασκευής αποδεικνύοντας και χαρτογραφικά την μειωμένη ένταση του ήχου στην περιοχή την Κυριακή σε σχέση με την παρατηρούμενη ένταση την Δευτέρα και την Παρασκευή, με αναφορά βέβαια σε όλες τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους που μελετήθηκαν.

Από την μέση τιμή ήχου της κάθε ημέρας προέκυψαν τα αποτελέσματα των εικόνων 21, 22 και 23. Οι εικόνες αυτές είναι πολύ βοηθητικές ως προς την σύγκριση μεταξύ των τριών διαφορετικών ημερών της εβδομάδας και προσφέρουν μία γενική εικόνα της ηχητικής κατάστασης όπως διαφοροποιείται και σε ποιο βαθμό από μέρα σε μέρα στα όρια της περιοχής. Από την παρατήρηση της εικόνας 21 κάποια γενικά σχόλια που προκύπτουν για την συγκεκριμένη ημέρα (Δευτέρα) είναι:

- οι υψηλότερες τιμές ήχου στο βόρειο τμήμα της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου, σε κεντρικό τμήμα της στην άνοδο των οχημάτων από τον νότο στον βορρά και σε ένα μικρό τμήμα του νότου (πιθανότατα λόγω φθοράς της ασφάλτου σε συνδυασμό με τον τύπο των οχημάτων και την παλαιότητα τους-μηχανική κατάστασή τους),
- η διατήρηση της έντασης του ήχου κάτω των 62 dB σε χρήση γης γενικής κατοικίας με εξαίρεση ενός τμήματος της οδού Κρέμου στα βορειοδυτικά της περιοχής και μίας ζώνης γύρω από την οδό Αργυρουπόλεως με την ένταση να φτάνει τα 65 dB και να υπερβαίνει τα 66 dB αντίστοιχα,
- η υψηλή ένταση θορύβου στην οδό Σαπφούς στο ύψος εκείνο που περνά ακριβώς μπροστά από δύο σχολεία της περιοχής επηρεάζοντάς τα,
- η ένταση ήχου άνω των 69 dB που βιώνει συνεχώς το σχολείο δίπλα στην κεντρική λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου που θεωρείται πολύ υψηλή για μία τέτοιου είδους ευαίσθητη περιοχή,
- η ένταση των 63 dB με 68 dB στην οδό Σκρά αν και δρόμος διπλής κυκλοφορίας και

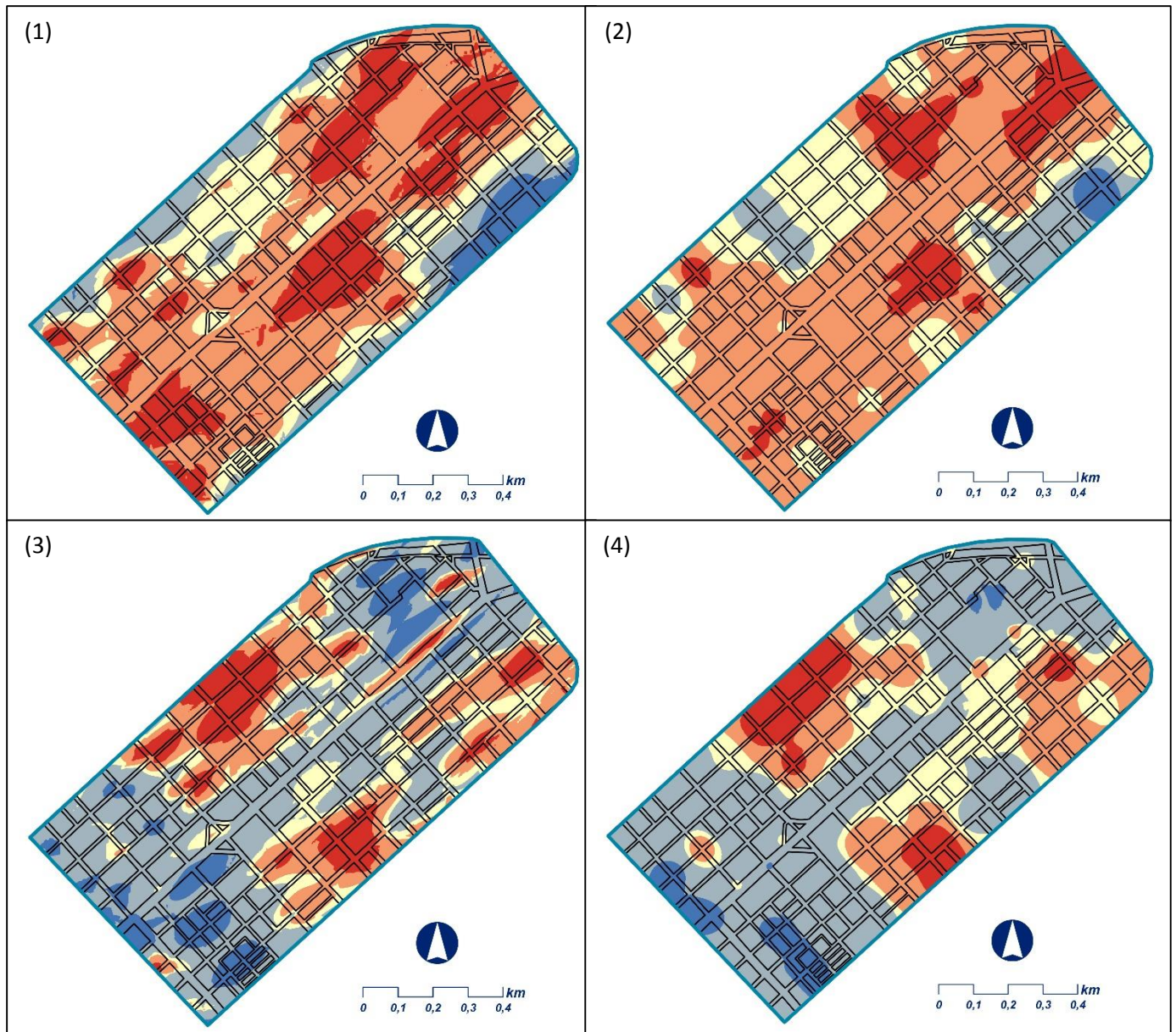
- οι μεγαλύτερες τιμές ήχου σε διασταυρώσεις και κατά μήκος οδών μεγαλύτερου κυκλοφοριακού φόρτου στο κέντρο του δήμου και σε τοπικό κέντρο γειτονιάς.

Τα αποτελέσματα της εικόνας 21: 1 και 2 από τα οποία προέκυψαν τα παραπάνω σχόλια είναι εξίσου ικανοποιητικά οπτικά όμως στην εικόνα 21: 2 και κατά μήκος της λεωφόρου δημιουργούνται κυκλικές επιφάνειες γύρω από τα μετρούμενα σημεία υψηλότερων τιμών σε αντίθεση με την εικόνα 21: 1 όπου οι ζώνες θορύβου ακολουθούν γραμμικά το οδικό δίκτυο και λαμβάνοντας υπόψιν τους πίνακες 13 και 14 το μέσο σφάλμα πρόβλεψης από την εφαρμογή της μεθόδου IDW είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό της μεθόδου Kriging. Οπότε η επιλογή ενός χαρτογραφικού αποτελέσματος εξαρτάται και από τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω του ελέγχου των σφαλμάτων από την πολλαπλή επικύρωση. Επομένως μία καλή επιλογή θα ήταν αυτή της μεθόδου Kriging.

Η εικόνα 22 της Παρασκευής δεν διαφέρει και πολύ από την εικόνα 21 της Δευτέρας. Την Παρασκευή η ένταση ήχου αυξήθηκε στην οδό Σοφοκλέους στο τμήμα εκείνο μεταξύ των κάθετων οδών Ατθίδων και Αγίων Πάντων, στην διασταύρωση των οδών Κρέμου με Σιβιτανίδου και στην διασταύρωση της λεωφόρου με τις οδούς Σιβιτανίδου και Δαβάκη ενώ μειώθηκε στο κεντρικό τμήμα της λεωφόρου από την πλευρά της ανόδου των οχημάτων από τον νότο στον βορρά αλλά και στο βορειότερο τμήμα της. Τα χαρτογραφικά αποτελέσματα των δύο μεθόδων της εικόνας 22: 1 και 2 είναι και τα δύο αποδεκτά από αισθητικής άποψης όμως το μέσο σφάλμα πρόβλεψης της μεθόδου IDW είναι μεγαλύτερο (πίνακες 13, 14).

Η εικόνα της Κυριακής (εικόνα 23) αλλάζει σε σχέση με την Δευτέρα και την Παρασκευή. Το περιβάλλον σε όλη σχεδόν την έκταση της περιοχής γίνεται πιο ήσυχο με την διαφορά στην ένταση να γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο. Η διαφορά στην ένταση διαφέρει από υποπεριοχή σε υποπεριοχή και είτε είναι μείωση από μικρή έως σημαντική είτε είναι αύξηση έως 2 dB στην IDW και έως 5 dB στην Kriging. Για τα αποτελέσματα της εικόνας 23: 1 και 2 ισχύει ότι αναφέρθηκε και προηγουμένως για την εικόνα 22: 1 και 2.

Για να γίνει περισσότερο αντιληπτή η διαφορά στην ένταση δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες της εικόνας 24.



Υπόμνημα (1), (2)

□ όριο περιοχής μελέτης □ οικοδομικά τετράγωνα

Διαφορά έντασης της Παρασκευής από την Δευτέρα (σε dB)

■ -6 - (-1) ■ 0 - 1 ■ 2 - 3 ■ 4 - 6 ■ 7 - 12

Υπόμνημα (3), (4)

□ όριο περιοχής μελέτης □ οικοδομικά τετράγωνα

Διαφορά έντασης της Κυριακής από την Παρασκευή (σε dB)

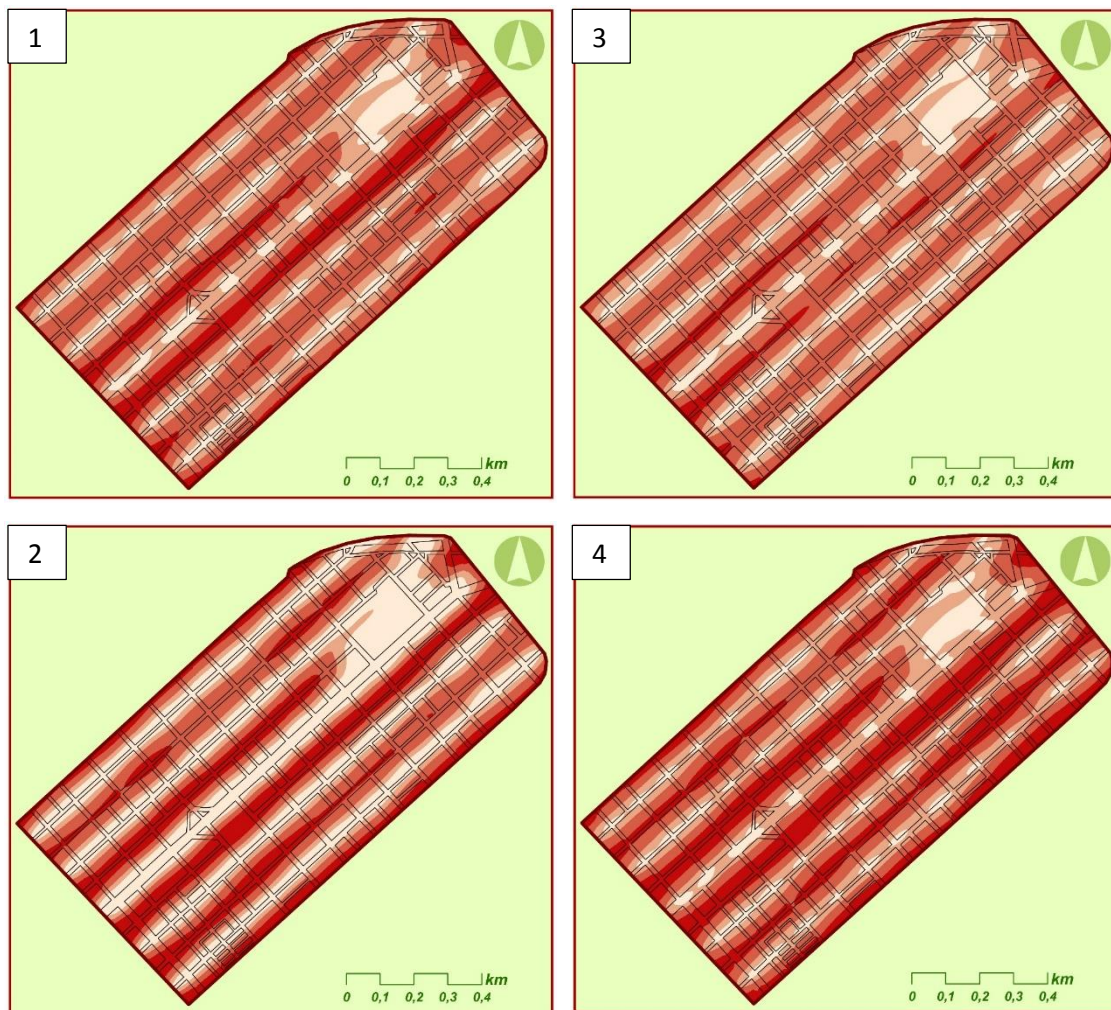
■ -10 - (-7) ■ -6 - (-5) ■ -4 - (-4) ■ -3 - 0 ■ 1 - 4,4

Εικόνα 24: Διαφορά στην ένταση μεταξύ ημερών – (1) αφαίρεση της τιμής της κάθε ψηφίδας της Δευτέρας από την κάθε αντίστοιχη της Παρασκευής των επιφανειών Kriging & (2) των επιφανειών IDW, (3) αφαίρεση της τιμής της κάθε ψηφίδας της Παρασκευής από την κάθε αντίστοιχη της Κυριακής των επιφανειών Kriging & (4) των επιφανειών IDW

Η ένταση του ήχου της Παρασκευής είναι υψηλότερη σε σχέση με την Δευτέρα στις υποπεριοχές που συμβολίζονται με μπλε χρώμα ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις υποπεριοχές με κόκκινο χρώμα [εικόνα 24: (1) και (2)]. Η ένταση του ήχου της

Κυριακής είναι μικρότερη παντού στην περιοχή σε σχέση με την Παρασκευή με εξαίρεση τις πολύ μικρές μπλε σκούρες περιοχές. Την Κυριακή η ένταση του ήχου πέφτει αρκετά σε υποπεριοχές σε σχέση με την Παρασκευή και αυτή η πτώση είναι ιδιαίτερα σημαντική στις επιφάνειες που συμβολίζονται με κόκκινο χρώμα [εικόνα 24: (3) και (4)].

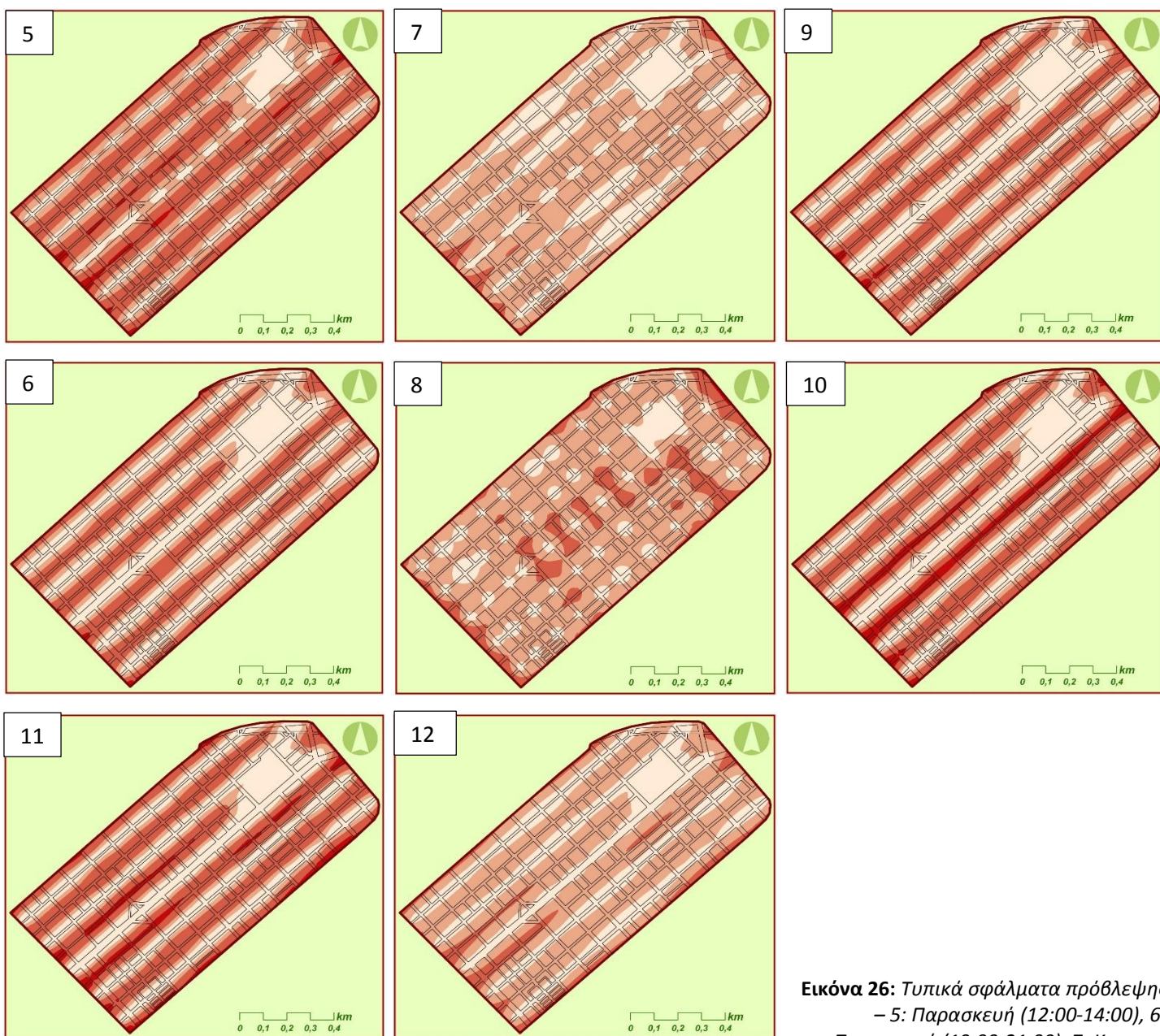
Συνεχίζοντας έγινε έλεγχος των τυπικών σφαλμάτων πρόβλεψης τα οποία εξετάστηκαν για την μέθοδο Kriging για κάθε περίπτωση και τα οποία παρουσιάζονται χαρτογραφικά παρακάτω.



Υπόμνημα

Πολύγωνα	Τυπικά σφάλματα πρόβλεψης (σε dB)
όριο περιοχής μελέτης οικοδομικά τετράγωνα	0 - 4 5 - 6 7 - 8 9 - 10

Εικόνα 25: Τυπικά σφάλματα πρόβλεψης – 1: Δευτέρα (08:00-10:00), 2: Δευτέρα (12:00-14:00), 3: Δευτέρα (19:00-21:00), 4: Παρασκευή (08:00-10:00)



Υπόμνημα

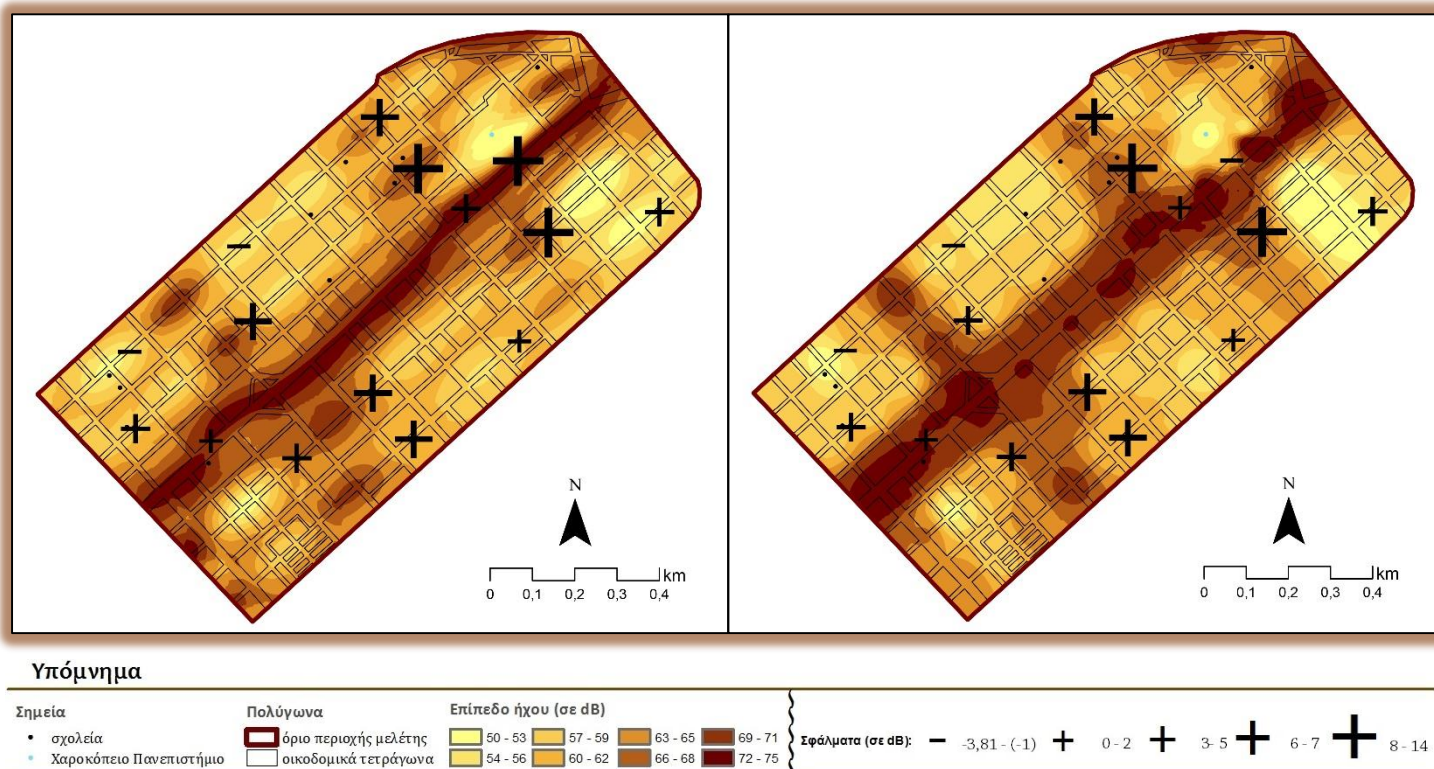
Πολύγωνα	Τυπικά σφάλματα πρόβλεψης (σε dB)
όριο περιοχής μελέτης οικοδομικά τετράγωνα	0 - 4 5 - 6 7 - 8 9 - 10

Εικόνα 26: Τυπικά σφάλματα πρόβλεψης
 – 5: Παρασκευή (12:00-14:00), 6: Παρασκευή (19:00-21:00), 7: Κυριακή (08:00-10:00), 8: Κυριακή (12:00-14:00), 9: Κυριακή (19:00-21:00), 10: Δευτέρα (08:00-21:00), 11: Παρασκευή (08:00-21:00), 12: Κυριακή (08:00-21:00)

Από τις εικόνες 25 και 26 και από την παρατήρηση και των 12 περιπτώσεων εξάγεται το συμπέρασμα των μικρότερων σφαλμάτων γύρω από τα μετρούμενα σημεία και κατά μήκος των οδών όπου αυτά ήταν τοποθετημένα. Μεγαλώνοντας η απόσταση από τα μετρούμενα σημεία μεγαλώνει και το τυπικό σφάλμα πρόβλεψης. Στις περιπτώσεις 7,

8 και 12 τα σφάλματα στην μεγαλύτερη έκταση αφορούν την πρώτη και δεύτερη κλάση του υπομνήματος και δεν αυξάνονται τόσο όσο στις υπόλοιπες των περιπτώσεων.

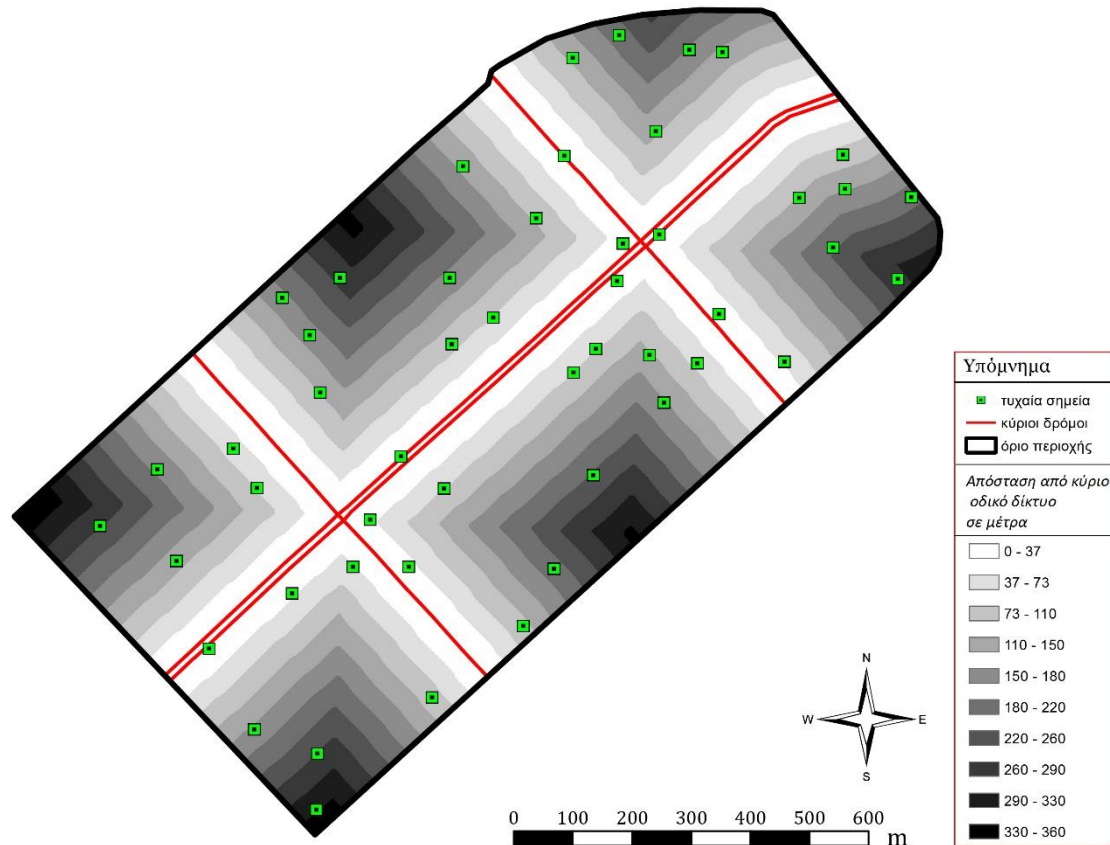
Ακόμη, από τον έλεγχο των σφαλμάτων με απλή επικύρωση προέκυψαν τα κάτωθι αποτελέσματα.



Εικόνα 27: Αποτελέσματα της απλής επικύρωσης – αριστερά για την Kriging & δεξιά για την IDW

Το σύμβολο της πρόσθεσης στην εικόνα 27 δηλώνει την υπερεκτίμηση της έντασης του ήχου όπως προέκυψε από την παρεμβολή ενώ το σύμβολο της αφαίρεσης την υποεκτίμηση. Το μέγεθος του συμβόλου χαρακτηρίζει και το μέγεθος αυτής της διαφοράς. Διαφορά στα σφάλματα ανάμεσα στις δύο μεθόδους υπάρχει σε τρία από τα 15 σημεία για επικύρωση τα οποία είναι τα δύο πάνω στην λεωφόρο στο βόρειο τμήμα της και το άλλο στην πρώτη παράλληλο δίπλα από την οδό Σιβιτανίδου. Γενικά, τα υψηλότερα σφάλματα και για τις δύο μεθόδους εντοπίζονται στα βόρεια της περιοχής μελέτης ενώ σημαντική είναι η διαφορά μεταξύ μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών σε πολλά από τα σημεία επικύρωσης. Βέβαια, το μέγεθος ενός σφάλματος στην περίπτωση μας δεν οφείλεται μόνο στην λειτουργία της παρεμβολής αλλά και στο γεγονός ότι οι μετρήσεις για τα σημεία επικύρωσης δεν λήφθηκαν την ίδια Δευτέρα.

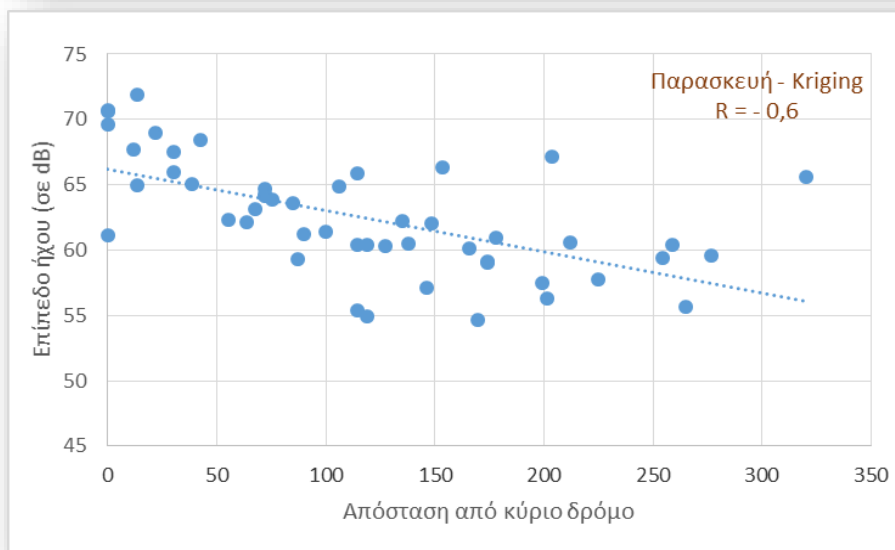
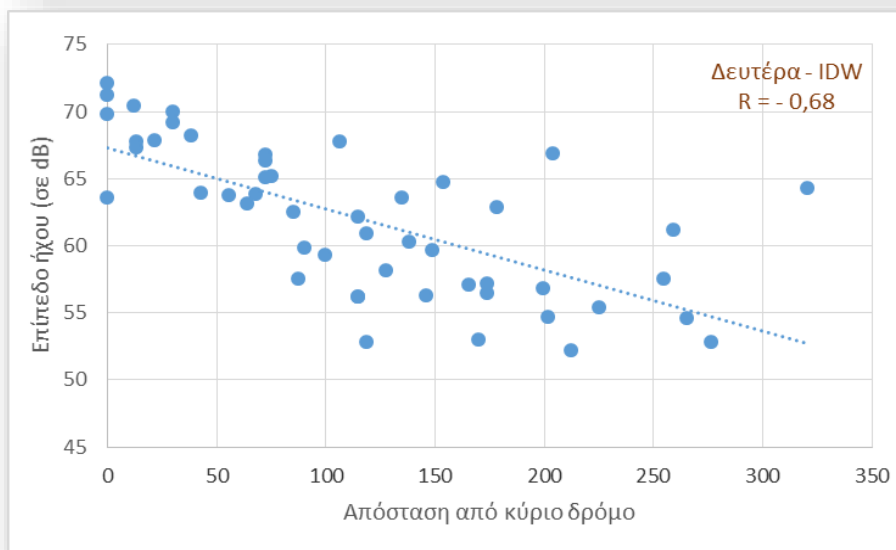
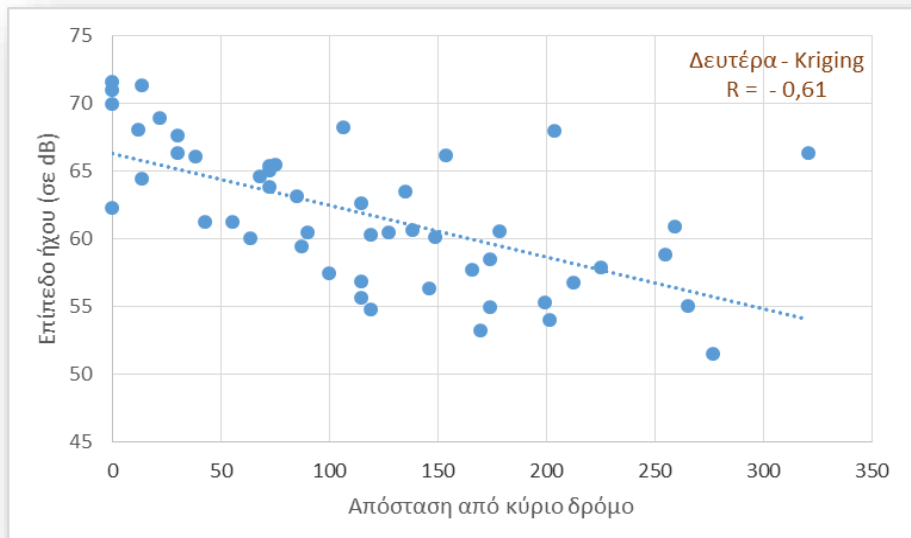
Έπειτα της δημιουργίας των τελικών χαρτών θορύβου πάρθηκε δείγμα τυχαίων σημείων σταθερών στον χώρο από τις επιφάνειες των τριών εξεταζόμενων ημερών για την χρονική περίοδο από τις 08:00 το πρωί μέχρι τις 21:00 το βράδυ και για τις δύο μεθόδους που μελετήθηκαν και στην συνέχεια εξετάστηκε η ένταση σε κάθε σημείο σε σχέση με την απόσταση από τους κύριους οδικούς άξονες (εικόνα 28).



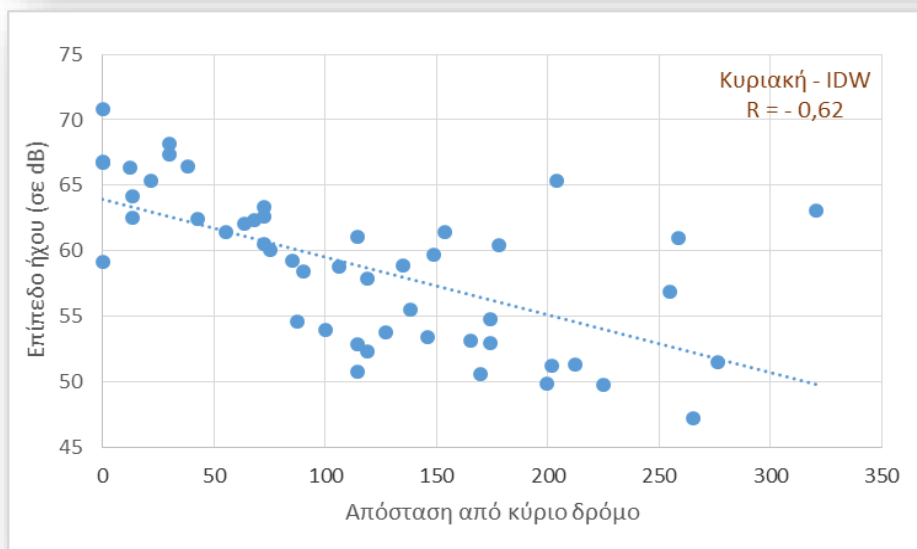
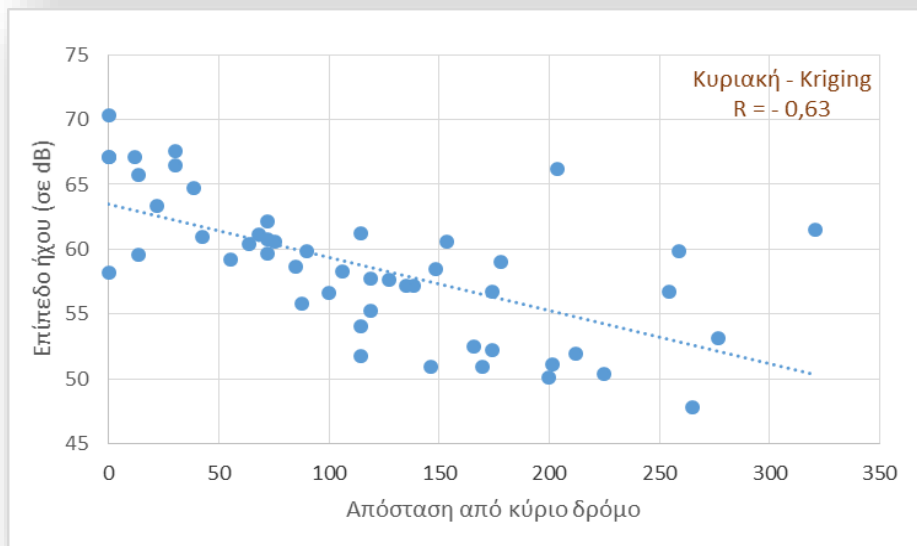
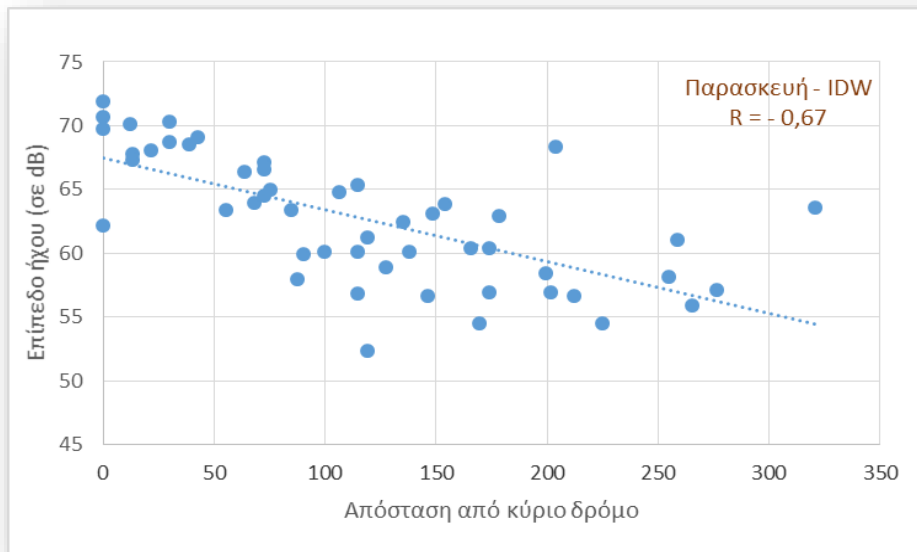
Εικόνα 28: Θέση σημείων δείγματος και ζώνες απόστασης γύρω από το κύριο οδικό δίκτυο

Το επίπεδο του ήχου διαφοροποιείται σε σχέση με την απόσταση από τους κύριους δρόμους της περιοχής (Ελευθερίου Βενιζέλου, Χαροκόπου, Σιβιτανίδου, Δαβάκη). Η σχέση μεταξύ του επιπέδου του ήχου και της απόστασης από κύριο δρόμο είναι αρνητική όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 4 και 5 που σημαίνει ότι οποιαδήποτε μείωση της απόστασης συνεπάγεται αύξηση του επιπέδου του ήχου και το αντίθετο. Αυτό οφείλεται πέρα από την διαφορά του επιπέδου του ήχου η οποία μετρήθηκε και στην εξασθένηση του ήχου σε μία ζώνη απόστασης γύρω από τα μετρούμενα σημεία.

Από τον έλεγχο της συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών προέκυψε ισχυρή αρνητική συσχέτιση με την τιμή του R σε κάθε περίπτωση να είναι ίση ή μικρότερη από την $-0,6$ (με μικρότερη το $-0,68$ την Δευτέρα από την επιφάνεια την προκύπτουσα από την IDW).



Διάγραμμα 4: Διακύμανση του επιπέδου του ήχου με την απόσταση



Διάγραμμα 5: Διακύμανση του επιπέδου του ήχου με την απόσταση

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτή η μελέτη περίπτωσης αποτελεί ένα δείγμα ελέγχου και αξιολόγησης μίας περιβαλλοντικής κατάστασης στον χώρο και τον χρόνο με γρήγορο και ποιοτικό τρόπο.

Από την διεξαγωγή μελέτης περιβαλλοντικού θορύβου και μετά την ολοκλήρωσή της καθίσταται δυνατή η εξαγωγή κύριων συμπερασμάτων περί των επιπέδων θορύβου σε μία περιοχή και της επίδρασής τους στον άνθρωπο.

Στην παρούσα εργασία η ηχητική κατάσταση η οποία εξετάστηκε για τον δήμο Καλλιθέας φαίνεται να είναι ανεκτή στο σύνολο της ή σχεδόν ανεκτή γύρω από τις κύριες οδικές αρτηρίες. Σε κύριους δρόμους υπερβαίνεται το όριο των 67 dB που έχει τεθεί από της εθνική νομοθεσία ενώ εάν ληφθούν υπόψιν τα όρια που έχει θέσει ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας τότε αυτά υπερβαίνονται σχεδόν σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης και για όλες τις χρονικές περιόδους που εξετάστηκαν. Το επίπεδο της έντασης του ήχου μικραίνει σε σχέση με την απόσταση από το κύριο οδικό δίκτυο, με την συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου του ήχου και της απόστασης από τον κύριο δρόμο να είναι ισχυρά αρνητική.

Η ένταση του ήχου στην εξεταζόμενη περιοχή διαφοροποιείται στον χώρο και τον χρόνο. Κατά την διάρκεια της πρώτης εξεταζόμενης ημέρας, της Δευτέρας, παρατηρήθηκαν μεταβολές της έντασης του ήχου. Τις μεσημεριανές ώρες η ένταση του ήχου μειώθηκε στην οδό Χαροκόπου καθώς και στις περιοχές που οριοθετούνται από τις οδούς Ατθίδων, Αριστείδου, Καλυψούς και Ελευθερίου Βενιζέλου και από τις οδούς Λαζαρίδου, Χαροκόπου, Ευαγγελίστριας και Τσαλδάρη ενώ αυξήθηκε στο νότιο τμήμα της κεντρικής λεωφόρου σε σχέση με το πρωί. Την Δευτέρα το βράδυ η ηχητική κατάσταση της περιοχής άλλαξε με την παρατηρούμενη μειωμένη ένταση του θορύβου σε σχέση με το πρωί και το μεσημέρι γύρω από το κέντρο δήμου και το τοπικό κέντρο γειτονιάς. Η διαφορά στην ένταση του ήχου σε σχέση με το μεσημέρι και το πρωί σχετίζεται σε έναν βαθμό και με την λειτουργία των καταστημάτων τα οποία την Δευτέρα το απόγευμα παραμένουν κλειστά. Η μείωση ισχύει και για τις ζώνες γύρω από όλα τα σχολεία με εξαίρεση το σχολείο στα νοτιοδυτικά της περιοχής.

Συνεχίζοντας με την εξεταζόμενη ημέρα της Παρασκευής παρατηρούνται μικρές διαφορές στην ένταση του ήχου ανάμεσα στις πρωινές και μεσημεριανές ώρες. Οι κύριες διαφορές που εντοπίστηκαν είναι η μείωση της έντασης του ήχου στην κεντρική

διασταύρωση της περιοχής όπου συναντιούνται η λεωφόρος Ελευθερίου Βενιζέλου με τις οδούς Σιβιτανίδου και Δαβάκη, στην διασταύρωση Σοφοκλέους με Χαροκόπου και στην γωνία που σχηματίζει η Καλυψούς με την Ελευθερίου Βενιζέλου. Αύξηση της έντασης του ήχου σημειώθηκε στην διασταύρωση της Σιβιτανίδου με την Κρέμου όπως επίσης και σε ορισμένες υποπεριοχές γενικής κατοικίας. Την Παρασκευή το απόγευμα το περιβάλλον σε ολόκληρη την περιοχή είναι πιο ήσυχο σε σχέση με το μεσημέρι με την διαφορά να είναι ιδιαίτερα φανερή περίξ της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου. Αρκετά ήσυχη φάνηκε να είναι η υποπεριοχή γενικής κατοικίας στα κεντρικά της περιοχής και ανατολικά της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου ενώ στο σύνολο της χρήσης γης γενικής κατοικίας η ένταση του ήχου φανερώνει μία άνετη κατάσταση του ηχητικού περιβάλλοντος με βάση τα όρια που έχει προτείνει το τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος. Για την συγκεκριμένη ημέρα και χρονική περίοδο ένταση άνω των 69 dB καταγράφηκε μόνο κατά μήκος της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου.

Την Κυριακή η γενική εικόνα της ακουστικής κατάστασης του περιβάλλοντος αλλάζει με την μείωση του επιπέδου του ήχου λόγω των κλειστών καταστημάτων, σχολείων και υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, την Κυριακή το πρωί το ακουστικό περιβάλλον στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από σχετική ησυχία. Χαρακτηριστικά, στην μεγαλύτερη έκταση χρήσης γης γενικής κατοικίας η ένταση του ήχου είναι ίση και μικρότερη από 53 dB. Όσον αφορά την Κυριακή το μεσημέρι σε χρήση γης γενικής κατοικίας στα νότια της περιοχής η ένταση μειώθηκε σε σχέση με το πρωί ενώ αντίθετα αυξήθηκε στα βόρεια σε αρκετή έκταση του συγκεκριμένου τύπου χρήσης γης αλλά και σε τύπο χρήσης γης τοπικού κέντρου γειτονιάς και κέντρου δήμου. Η ηχητική κατάσταση του περιβάλλοντος στην περιοχή την Κυριακή το βράδυ είναι αρκετά όμοια με αυτή της Κυριακής το μεσημέρι.

Συγκρίνοντας την ηχητική κατάσταση του περιβάλλοντος της περιοχής για τις τρεις διαφορετικές ημέρες της εβδομάδας που μελετήθηκαν συμπεραίνεται ότι η ένταση του ήχου της Παρασκευής είναι μειωμένη ή στα ίδια επίπεδα σε σχέση με της Δευτέρας στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης εκτός από τα άκρα ανατολικά και δυτικά και εκτός μίας υποπεριοχής στα δυτικά και κεντρικά της ενώ την Κυριακή η ένταση του ήχου είναι μειωμένη παντού στην περιοχή σε σχέση με την Παρασκευή με εξαίρεση ορισμένες μικρής έκτασης υποπεριοχές στα νοτιοανατολικά, στα νότια και νοτιοδυτικά και στα βορειοδυτικά όπου η αύξηση ήταν της τάξεως του 1 έως 4,4 dB.

Για τις εργάσιμες ημέρες η λεωφόρος Ελευθερίου Βενιζέλου είχε ένταση ήχου ίση ή/και άνω των 66 dB φτάνοντας σε ορισμένα τμήματα της τα 75 dB ανάλογα με την κίνηση σε κάθε τμήμα του δρόμου, την ημέρα και την χρονική περίοδο μέσα στην ημέρα και το ίδιο ισχύει για τις διασταυρώσεις των οδών Σιβιτανίδου, Δαβάκη και Χαροκόπου. Στις οδούς Χαροκόπου, Σιβιτανίδου και Δαβάκη η κίνηση των οχημάτων είναι σημαντική λόγω της εμπορικής ζώνης και των χώρων αναψυχής. Με την απομάκρυνση από τις συγκεκριμένες οδούς η ένταση του ήχου μειώνεται σταδιακά. Σε χρήση γης γενικής κατοικίας σε δρόμους όπου υπήρχε διέλευση οχημάτων το επίπεδο του ήχου ήταν στα 60 - 62 dB ενώ στους υπόλοιπους το επίπεδο ήχου ήταν κάτω των 62 dB με ορισμένες υποπεριοχές να βιώνουν τα χαμηλότερα επίπεδα θορύβου που μετρήθηκαν (50-53 dB) σε σχέση με την υπόλοιπη εξεταζόμενη περιοχή. Για παράδειγμα οι πιο ήσυχες περιοχές (50-53 dB) την Δευτέρα είναι ο χώρος του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου και μία υποπεριοχή στα νοτιοανατολικά. Το ίδιο ισχύει και για την Παρασκευή συμπεριλαμβάνοντας και ένα τμήμα της οδού Σοφοκλέους στα κεντρικά και άκρα ανατολικά της περιοχής. Σε μεγάλη έκταση χρήσης γης γενικής κατοικίας και για τις δύο εργάσιμες ημέρες η ένταση του ήχου βρίσκεται στο επίπεδο των 57-59 dB.

Σημαντική είναι στο σημείο αυτό η παρατήρηση πως τα χαρτογραφικά αποτελέσματα είναι πολύ βοηθητικά στην διαχρονική σύγκριση της ακουστικής κατάστασης του περιβάλλοντος μιας περιοχής κατά τόπους όπως και έγινε στο παράδειγμα προηγουμένως αλλά και στις υπόλοιπες παρατηρήσεις που προηγήθηκαν. Συνεπώς, η εξαγωγή των συμπερασμάτων έγινε μέσω των χαρτών θορύβου οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε ένα περιβάλλον GIS από την εφαρμογή δύο διαφορετικών χωρικών μεθόδων παρεμβολής, της IDW και της Kriging, εξίσου ικανοποιητικών ως προς το αποτέλεσμα (με ένα όμως μεγαλύτερο προβάδισμα της Kriging από τον έλεγχο των σφαλμάτων και λόγω του ότι οι ισοκαμπύλες που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου ακολουθούν γραμμικά το οδικό δίκτυο με τις ζώνες θορύβου να περιορίζονται γύρω από το οδικό δίκτυο) και μέσω της διαγραμματικής απεικόνισης της σχέσης του επιπέδου του ήχου και της απόστασης των σημείων από το πρωτεύον οδικό δίκτυο (αρνητική σχέση). Τα χαρτογραφικά αποτελέσματα των δύο μεθόδων παρεμβολής είναι εξίσου χρήσιμα και παρέχουν μία εικόνα της ηχητικής κατάστασης στην περιοχή. Γενικότερα, παρατηρείται ότι στην IDW οι ζώνες ίδιου εύρους τιμών ήχου στον χάρτη είναι πιο διευρυμένες από ότι στην Kriging.

Σε σχέση με τα αποτελέσματα των μεθόδων είναι σημαντική η παρατήρηση πως οι τελικές επιφάνειες που προκύπτουν και προέκυψαν στην εργασία δεν μιμούνται άμεσα την πραγματικότητα. Αυτό που στοχεύουν και επιτυγχάνουν οι μέθοδοι παρεμβολής είναι η ακολουθία των γενικών τάσεων όπως σχηματίζονται από τα σημεία δεδομένα – τα σημεία δειγματοληψίας. Επομένως, από τους χάρτες θορύβου λαμβάνεται η συνολική ακουστική κατάσταση μίας περιοχής και παρέχεται μία εικόνα για τον εντοπισμό των περιοχών που βρίσκονται σε ζώνες ρίσκου λόγω υπέρβασης των ορίων θορύβου.

Στην συγκεκριμένη έρευνα βρέθηκε πως το σχολείο στα νοτιοανατολικά της περιοχής και τα δύο σχολεία στα βορειοδυτικά εκτίθεται σε υψηλά επίπεδα θορύβου. Μία λύση που θα μπορούσε να διατηρήσει τα επίπεδα του θορύβου στον χώρο των σχολείων χαμηλά είναι τεχνική και αφορά την τοποθέτηση ακουστικών εμποδίων - ηχοπετασμάτων από την μεριά της λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου και των οδών Σαπφούς και Αγίων Πάντων. Αυτή η λύση επιλέχθηκε για αρκετά σχολεία στην Αττική τα οποία αντιμετώπιζαν το ίδιο πρόβλημα.

Στα νότια της περιοχής μελέτης η φθορά σε τμήμα του οδοστρώματος συνέβαλλε στην αύξηση της έντασης του ήχου. Επομένως, έργα υποδομής όπως η αλλαγή του οδοστρώματος είναι μία καλή λύση. Επιπλέον η παραγωγή θορύβου από τα μέσα μαζικής μεταφοράς, για παράδειγμα από τα λεωφορεία, στην πόλη είναι σημαντική και άρα ο έλεγχος του θορύβου στην πηγή είναι αναγκαίος. Λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτελεί η αντικατάσταση των μέσων μεταφοράς παραγωγής υψηλής έντασης θορύβου με άλλα νέα και χαμηλοθόρυβα. Μέτρα για την μείωση του θορύβου κατά την μετάδοσή του στην υπόλοιπη περιοχή δεν προτείνονται και δεν θα μπορούσαν να προταθούν διότι η περιοχή βρίσκεται σε αστικό οικισμό πυκνής δόμησης οπότε οι τεχνικές λύσεις θα ήταν ακατάλληλες και αντιαισθητικές και όσο για τις ρυθμιστικές λύσεις θα έπρεπε πέρα από τους χάρτες θορύβου να γίνει και μελέτη της οδικής κυκλοφορίας.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε σε αυτήν την εργασία θα μπορούσε εύκολα να εφαρμοστεί σε μελέτη θορύβου άλλων περιοχών ούτως ώστε να μπορέσει να γίνει η σύγκριση μεταξύ της ηχητικής κατάστασης διαφόρων περιοχών στην Αττική αλλά και στην υπόλοιπη Ελλάδα. Περαιτέρω εργασία για την περιοχή μελέτης που εξετάστηκε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί προκειμένου, για παράδειγμα, να διερευνηθεί η

χρονική διακύμανση του θορύβου και για κάθε ημέρα της εβδομάδας ή και ανά μήνα. Επιπροσθέτως, η εκτίμηση του θορύβου ως προς τις επιπτώσεις του στους κατοίκους θα μπορούσε να επωφεληθεί σε μεγαλύτερο βαθμό από την αξιολόγηση και την συσχέτισή του με άλλους κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς ίσως και στρεσογόνους παράγοντες. Με τον τρόπο αυτό θα προκύπτανε επιπλέον συμπεράσματα. Μία λύση για την εύρεση αυτής της συσχέτισης είναι η συμπλήρωση ερωτηματολογίου από τους κατοίκους της εξεταζόμενης περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Βίττης Ν. (2011), *Πηγές θορύβου στο αστικό περιβάλλον-Προβλήματα του κανονιστικού πλαισίου και εφαρμογής του*, Ημερίδα: Οι βλαβερές επιπτώσεις του θορύβου και η αντιμετώπισή του, Ινστιτούτο έρευνας μουσικής και ακουστικής (Ι.Ε.Μ.Α)
2. Γουλής Ε., Ευαγγελίδης Κ. (1997), *Μελέτη του κυκλοφοριακού θορύβου και κατασκευή μοντέλου πρόβλεψης με χρήση της μεθόδου CRTN*, Διπλωματική εργασία στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής
3. Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1996), *Μελλοντική πολιτική για τον θόρυβο*, Πράσινο βιβλίο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, Βρυξέλλες
4. Καραμέρος Ν. (2011), *Το πρόβλημα του θορύβου - Υπάρχουσα κατάσταση – Άμεσες και έμμεσες υποχρεώσεις - Τρόποι αντιμετώπισης*, Ημερίδα: Οι βλαβερές επιπτώσεις του θορύβου και η αντιμετώπισή του, Ινστιτούτο έρευνας μουσικής και ακουστικής (Ι.Ε.Μ.Α)
5. Κουτσόπουλος Κ. (2005), *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
6. Οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002 σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων
7. Σκαρλάτος Δ. (1987), *Μοντελοποίηση του κυκλοφοριακού θορύβου*, Διδακτορική διατριβή στο Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων
8. Τσοχατζόπουλος Ι. (2005), *Συμβολή στη δημιουργία εμπειρικών μοντέλων πρόβλεψης αστικού οδικού κυκλοφοριακού θορύβου*, Διδακτορική διατριβή στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα πολιτικών μηχανικών, Τομέας μεταφορών, συγκοινωνιακής υποδομής, διαχείρισης έργων και ανάπτυξης
9. Χαλκιάς Χ. (2006), *Όροι και Έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών*, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα

ΕΝΟΤΗΤΗ

10. Alam W. (2011), *GIS based Assessment of Noise Pollution in Guwahati City of Assam, India*, International Journal of Environmental Sciences, Volume 2, No 2, pp. 731-740
11. Anderson S., *An evaluation of Spatial Interpolation Methods on Air Temperature in Phoenix, AZ*, Dept. of Geography, Arizona State University. <http://www.cobblestoneconcepts.com/ucgis2summer/anderson/anderson.htm> (24-05-2014)
12. Arana M., Garcia A. (1998), *A social survey on the effects of environmental noise on the residents of Pamplona*, Applied Acoustics, Vol. 53, No 4, pp. 245-253
13. Azpurua M., Dos Ramos K. (2010), *A Comparison of Spatial Interpolation Methods for Estimation of Average Electromagnetic Field Magnitude*, Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 14, 135-145
14. Bento C., Diogo A., (2005), *On Noise Mapping And Noise Action Plans For Large Urban Areas*, Forum Acousticum
15. Berglund B., Lindvall T., Schwela D. (1999), *Guidelines for community noise*, World Health Organization, Geneva
16. Bohling G., (2005), *Introduction to Geostatistics and Variogram Analysis*, C&PE 940
17. Brus, D.J. et al., (1996), *The performance of spatial interpolation methods and choropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study*, Environmetrics, 7: 1-16
18. Burrough P., McDonnell R. (1998), *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press
19. Butler D. (2004), *Noise management: Sound and vision*, Nature, 427(6974): 480-482
20. Mehdi M. et al (2011), *Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan*, Environment International 37, 97–104
21. Chiru A. et al (2009), *Noise Mapping for Urban Road Traffic and Its Effect on the Local Community*, The 3rd International Conference on “Computational Mechanics And Virtual Engineering” COMEC, Brasov, Romania
22. Cho D., Kim J., Manvell D. (2007), *Noise mapping using measured noise and GPS data*, Applied Acoustics 68, 1054–1061

23. Coelho B., Alarcao D. (2005), *Noise Mapping in Large Cities in Portugal*, Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisbon
24. Cohen S., Spacapan S. (1984), *The social psychology of noise*, Edited by Jones D. and Chapman A., Chapter 9, Noise and society, John Wiley and Sons Ltd
25. Collins Jr., Fred. C. (1995), *A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation*, Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA
26. Collins, F.C., Bolstad, P.V. (1996), *A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation, Proceedings*, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara
27. Cressie N. (1993), *Statistics for Spatial Data*, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, Iowa State University, New York
28. Davis G., Jones R. (1989), *Sound reinforcement handbook*, Second edition, Hal Leonard Corporation, U.S.A
29. Dintrans A., Prendez M. (2013), *A method of assessing measures to reduce road traffic noise: A case study in Santiago, Chile*, Applied Acoustics 74, 1486–1491
30. Doyguan H., Gurun D. (2008), *Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaras, Turkey*, Environmental Monitoring Assessment, 142:65–72
31. Eason S. (2013), *Strategic noise mapping with GIS for the Universitat Jaume I Smart Campus: Best methodology practices*, Master of Science in Geospatial Technologies
32. El-Fadel M., Shazbak S., Baaj M., Saliby E. (2002), *Parametric Sensitivity Analysis of Noise Impact of Multi highways in Urban Areas*, Environmental Impact Assessment, Vol. 22, No. 2, pp. 145-162
33. Foda M., Alsaif K., ElMadany M., Aguib A. (2013), *The Use of Real Measurements and GPS Data for Noise Mapping of Riyadh City*, World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol:78, 06-25
34. Geymen A., Bostanci B. (2012), *Production of Geographic Information System Aided Noise Maps*, FIG Working Week, Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage

35. Goovaerts P. (1997), *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, New York, pp. 483
36. Gozalo G., Morillas J., Escobar V. (2014), *Analyzing nocturnal noise stratification*, *Science of the Total Environment* 479–480 pages: 39–47
37. Guzel Y., Yuksel H. (2006), *Mapping of noise by using GIS in Sanliurfa*, *Environmental Monitoring and Assessment*, 121: 103–108
38. Hendriks R. (1998), *Technical noise supplement*, Environmental Engineering – Noise, Air Quality and Hazardous Waste Management Office
39. Hernandez-Stefanoni L., Ponce-Hernandez R. (2006), *Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: comparison of spatial interpolation methods*, *Environmental Monitoring and Assessment*, 117: 307–334
40. Iaaly-Sankary A., Jadayel O., El-Murr N. (2007), *Urban Noise Mapping: The Case of the City of El-Mina, North Lebanon*, University of Balamand- GIS Center
41. Ingold K., Köpfli M. (2009). *Noise pollution in Switzerland*, Federal office for the environment FOEN, Bern
42. Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., (1989), *Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, 561 pp
43. Jakubek D. (2002), *Predicting the Contamination between Sites of Sediment Core Measurement in Lake Ontario*, A Research Paper to Ryerson University, Toronto, Ontario, Canada
44. Johnston K. Ver Hoef M., Krivoruchko K., Lucas N. (2001), *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, Environmental Systems Research Institute, Redlands CA, New York
45. Keerthana et al (2013), *Evaluation of Urban Traffic Noise Pollution – A Case Study of Tirupur City*, *AMERICAN JOURNAL OF ADVANCED CIVIL ENGINEERING RESEARCH (AJACER)*, Vol. 1, Issue. 1, pp. 1-16
46. Kluijver H., Stoter J. (2000), *Noise mapping and GIS: optimizing quality, accuracy and efficiency of noise studies*, The 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering-inter.noise 2000, Nice, France
47. Kluijver H., Stoter J. (2003), *Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies*, *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(1): 85-102

48. Koo S., Eo J., Yoo H. (2012) , *Analysis of urban traffic noise for environmental noise assessment – Focused on Jinsu city, Korea*, Journal of society for transportation and traffic studies (JSTS), Vol.3, No.3
49. Kurakula V. (2007), *A GIS-Based Approach for 3D Noise Modelling Using 3D City Models*, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands
50. Kurra S., Dal L. (2012), *Sound insulation design by using noise maps*, Building and Environment 49, 291-303
51. Lam N. (1983), *Spatial Interpolation Methods: A Review*, The American Cartographer, Vol. 10, No. 2, pp. 129-149
52. Li J., Heap A. (2008), *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*, Australian Government, Geoscience Australia
53. Liu D., Liptak B., (1999), *Environmental Engineers Handbook*, Charman and Hall/CRCnetBASE
54. Liu D., Roberts H., (1999), *Noise pollution*, CRC Press LLC
55. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. (2010), *Συστήματα και Επιστήμη Γεωγραφικών Πληροφοριών*, Επιστημονική επιμέλεια ελληνικής έκδοσης: Θεοδωρίδης Γ., Δεύτερη Αμερικάνικη Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
56. Matheron G. (1971), *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications*, Ecole National Supérieure Mines – Paris
57. Merchan C., Diaz-Balteiro L. (2013), *Noise pollution mapping approach and accuracy on landscape scales*, Science of the Total Environment 449, 115–125
58. Nalder A., Wein W. (1998), *Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest*, Agricultural and Forest Meteorology, 92: 211-225
59. Nardi A., Neto O., Viveiros E. (2007), *Study of the geographic information system as foundation to environmental noise assessment*, 10th international conference on computers in urban planning and urban management
60. Obiefuna J., Bisong F., Ettah H. (2013), *A GIS Analysis of Noise Islands in Calabar Metropolis, Nigeria*, Journal of Environment and Earth Science, Vol. 3, No.12
61. Peterson A. (1980), *Handbook of noise measurement*, GenRad, Concord, Massachusetts U.S.A.
62. Pilz J. (2009), *Interfacing Geostatistics and GIS*, Springer, Berlin, Heidelberg

63. Popp C. (1999), *Noise abatement planning in Europe: overview and conclusions*, European Academy of the Urban Environment and Lärmkontor GmbH, Noise abatement in European cities and towns, Hamburg
64. Ranjbar H., Gharagholou A., Nejad A. (2012), *3D Analysis and Investigation of Traffic Noise Impact from Hemmat Highway Located in Tehran on Buildings and Surrounding Areas*, Journal of Geographic Information System, 4, 322-334
65. Sarma D. (2009), *Geostatistics with Applications in Earth Sciences*, Second Edition, Springer
66. Shiode N., Shiode S. (2011), *Street-level Spatial Interpolation Using Network-based IDW and Ordinary Kriging*, Transactions in GIS, 15(4): 457–477
67. Silverman S. (1947), *Tolerances for Pure Tones and Speech in Normal and Defective Hearing*, Ann of Otology, Rhinology, and Laryngology, Vol 56, pp 658-677
68. Sterling D. (2003), *A Comparison of Spatial Interpolation Techniques For Determining Shoaling Rates of The Atlantic Ocean Channel*, Master of Science In Geography, Blacksburg, Virginia
69. Stoter J. (1999), *Noise Prediction Models and Geographic Information Systems, a sound combination*, Presented at SIRC 99 – The 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago, Dunedin, New Zealand
70. Tomczak M. (1998), *Spatial Interpolation and its Uncertainty Using Automated Anisotropic Inverse Distance Weighting (IDW) - Cross - Validation/Jackknife Approach*, Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol.2, pp.18 – 33
71. Wadsworth R. (1983), *Basic of Audio and Visual System Design*, Longman Higher Education, 1st edition
72. Wang L. et al (2005), *Advanced Air and Noise Pollution Control*, Volume 2, Handbook of environmental engineering, Humana press, Totowa, New Jersey
73. Webster R. and Oliver M. (2001), *Geostatistics for Environmental Scientists*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 271 pp
74. Willmott J. (1982), *Some comments on the evaluation of model performance*, Bulletin American Meteorological Society, 63 (11): 1309-1313
75. Yang J., Wang Y., August P. (2004), *Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity*, Journal of Environmental Informatics

76. Yilmaz G., Hocanli Y. (2006), *Mapping of Noise by Using GIS in Sanliurfa*, Environmental Monitoring and Assessment, 121: 103–108

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Ακουστική χώρων στην εποχή του surround (2001)

<http://www.4pi.gr/hitech/data/pdf/0201.pdf> (11/03/2014)

Abdurrahman G. & Bülent B., Production of Geographic Information System Aided Noise Maps, Turkey

http://www.fig.net/pub/fig2012/papers/ts07d/TS07D_geymen_bostanci_6116.pdf
(9/3/2014)

Acoustics Ellas - Noise Control Engineers

<http://www.acoustics.gr/info.html> (13/03/2014)

Βαφείδου Ε., Δρίβας Σ., Γκινάλας Τ., Ο θόρυβος στην εργασία-Φύση, κίνδυνοι και προστασία

http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/thorivos%20teliko.1232973480625.pdf
(12/03/2014)

Iaaly-Sankary A., Jadayel O., El-Murr N., Urban Noise Mapping: The Case of the City of El-Mina, North Lebanon

http://www.balamand.edu.lb/UOBSCDL/Academics/CentersInstitutes/GIS/Publications/MUC07_paper2.pdf (29/03/2014)

Νόμος 1650/86: Για την προστασία του περιβάλλοντος

http://www.mio-ecsde.org/epeaek09/basic_docs/el_legislation-1650-1986.pdf
(29/03/2013)

*Οδηγία 2002/49/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002 σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου
Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων*

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0012:EL:PDF>
(12/03/2014)

Περιβαλλοντικός θόρυβος (παρουσίαση)

[www.tcdn.teiher.gr/.../\(1\)%20ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ%20ΘΟΡΥΒΟΣ.ppt](http://www.tcdn.teiher.gr/.../(1)%20ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ%20ΘΟΡΥΒΟΣ.ppt)
(13/03/2014)

Προεδρικό Διάταγμα 1180/1981

http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/293-81.1113378960319.pdf (29/03/2013)
<http://www.minenv.gr/4/ypexode4/pd%201180/81.htm> (29/03/2013)

ΤΕΕ 2008α, Το πρόβλημα της Αστικής Ηχορύπανσης – Η σημασία των Τεχνικών Πρόληψης στην Πηγή, κατά την Διάδοση, στον Αποδέκτη και ο ρόλος του Καταναλωτή
http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301_hatziliberis.pdf (30/03/2014)

Δελτίο τύπου της ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2012

http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/General/A1602_SAM01_DT_DC_00_2011_02_F_GR.pdf (τελευταία πρόσβαση: 23/07/2014)

ArcGis Help

http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/What_is_geostatistics/003100000001000000/
http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Box_Cox_arcsine_and_log_transformations/003100000000s0000000/
<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/00310000000160000000>

Υπόβαθρα νομών και δήμων

<http://www.diva-gis.org/datadown>
<http://geodata.gov.gr/geodata/>

Δήμος Καλλιθέας-Πολεοδομία

<http://gis.kallithea.gr/poleodomia>

EIKONEΣ

Εκτίμηση άγνωστου σημείου

http://gis.depaul.edu/shwang/teaching/geog460/lec13_files/image013.gif

Ανισοτροπία 2 κατευθύνσεων

http://www.statistik.tuwien.ac.at/public/dutt/vorles/geost_03/img485.png

Τύποι ανισοτροπίας

http://ej.iop.org/images/0957-0233/24/9/095201/Full/mst434355f6_online.jpg

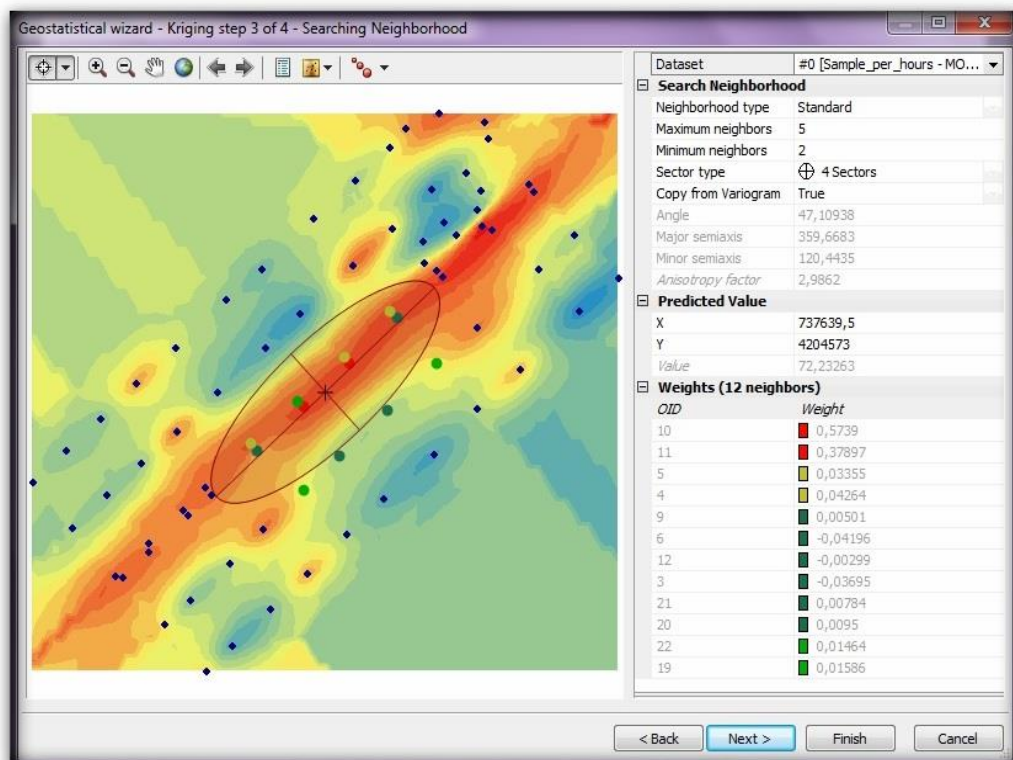
Lag distance

http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Kriging/lags.gif

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα i: Σε διασταύρωση της λεωφόρου
Ελευθερίου Βενιζέλου.



Εικόνα ii: Στιγμιότυπο από το ArcMap. Παράδειγμα που αφορά το πρωινό της Δευτέρας.

Σχολιασμός εικόνας ii:

- Στο κέντρο του στόχαστρου είναι η θέση του προβλεπόμενου σημείου.
- Η έλλειψη είναι η περίμετρος της αναζήτησης γειτονιάς.
- Η έλλειψη χωρίζεται σε τέσσερις τομείς.
- Κάτω δεξιά του παραθύρου είναι τα βάρη που αποδίδονται σε κάθε μετρούμενο σημείο για την πρόβλεψη του άγνωστου. Σε κάθε μετρούμενο σημείο κάθε τομέα αποδίδεται ένα βάρος. Σε κάθε διαφορετικό βάρος αποδίδεται και διαφορετικό χρώμα.
- Τα σημεία τα οποία χρησιμοποιούνται στην πρόβλεψη διακρίνονται από τα υπόλοιπα στην εικόνα. Αυτά μας πληροφορούν με ποια βαρύτητα συνεισφέρουν στην πρόβλεψη.
- Τα δύο πλησιέστερα και στην ίδια ευθεία σημεία με το προβλεπόμενο έχουν το μεγαλύτερο βάρος στην πρόβλεψη και συμβολίζονται με κόκκινο χρώμα.

Κενή τελευταία σελίδα