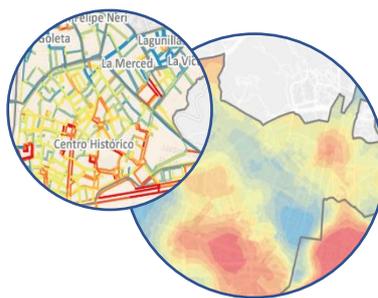




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Γεωπληροφορική

Μεταπτυχιακή εργασία:

**Μεθοδολογικό πλαίσιο ποσοτικοποίησης επιπέδων
περπατησιμότητας (walkability) με χρήση χωρικής
παρεμβολής και εργαλείου ελέγχου οδών (audit tool)
Εφαρμογή στην μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα, Ισπανία**



Εκπόνηση:

Έλλη Κρασσοπούλου

Επιβλέπων: Γεώργιος Ν. Φώτης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της Μεταπτυχιακής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Φώτη της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη του, την επιστημονική του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης, αλλά και την επιμονή του για την εξεύρεση κατάλληλου θέματος πρόσφορου για επιστημονική εξέλιξη που ταίριαζε με τον καλύτερο τρόπο στα ενδιαφέροντά μου.

Παράλληλα, θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον κ. Αλέξανδρο Μπαρτζώκα-Τσιόμπρα, Υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την αδιάλειπτη στήριξη και παροχή ουσιαστικών κατευθύνσεων σε κάθε στάδιο της εργασίας. Η βοήθειά του υπήρξε καθοριστική και δεν ακολουθούσε ωράριο ή αργίες.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Α. Μαρίνου, μέλος Ε.Δι.Π. της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και Μ. Πηγάκη μέλος Ε.Δι.Π. της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για τις ενδιαφέρουσες και επικοινωνιακές παρατηρήσεις τους.

Έλλη Κρασσοπούλου

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

Copyright © Έλλη Κρασσοπούλου, 2020

All rights reserved. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Περίληψη

Πληθώρα μελετών έχει δείξει ότι οι ζωντανές και περπατήσιμες (walkable) πόλεις προωθούν την αύξηση της ενεργού κινητικότητας και κατ' επέκταση συμβάλλουν στη βελτίωση της υγείας των κατοίκων τους. Η ανάπτυξη των κατάλληλων εργαλείων απογραφής των οδών (audit tools) που καταγράφουν τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος και αξιολογούν τα επίπεδα της περπατησιμότητας του αστικού χώρου έχει αποτελέσει σημαντικό αντικείμενο έρευνας τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, ένας σημαντικός περιορισμός που συνοδεύει τα εργαλεία οδών είναι ο μεγάλος χρόνος και κόστος που απαιτείται για την καταγραφή των περιοχών που είναι απαγορευτικός όσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή μελέτης. Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου ποσοτικοποίησης των επιπέδων της περπατησιμότητας που χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα εργαλεία ελέγχου οδών, αλλά αξιολογεί ένα μέρος (δείγμα) της υπό μελέτη περιοχής, αποσκοπώντας στη μείωση του αυξημένου κόστους και χρόνου για τη συλλογή των δεδομένων.

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας πραγματοποιείται στο κέντρο της ισπανικής πόλης Μάλαγα. Αρχικά, αξιολογούνται τα επίπεδα της περπατησιμότητας με τη χρήση του τροποποιημένου εργαλείου MAPS mini που περιλαμβάνει 19 μετρήσιμες παραμέτρους και αναλύονται τα αποτελέσματα με τη χρήση της χωρικής ανάλυσης και τη βοήθεια δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης. Έπειτα, εφαρμόζονται δύο μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας (στρωματοποιημένη συστηματική και στρωματοποιημένη τυχαία) με δύο διαφορετικές τεχνικές στρωματοποίησης (απόσταση από το κέντρο, κατανομή πληθυσμού) και συγκρίνονται τα αποτελέσματα με τη συνολική απογραφή, ώστε να αξιολογηθεί ποια μέθοδος χωρικής δειγματοληψίας αντιπροσωπεύει καλύτερα και με ικανοποιητική ακρίβεια το δομημένο περιβάλλον ως προς την ελκυστικότητα για την πεζή μετακίνηση. Η μέθοδος δειγματοληψίας που επιλέγεται είναι η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με στρωματοποίηση βάσει της απόστασης από το κέντρο.

Έπειτα, εφαρμόζονται στο δείγμα δύο διαφορετικές παραλλαγές της μεθόδου χωρικής παρεμβολής Ordinary Kriging (με αφαίρεση και χωρίς αφαίρεση τάσης), με σκοπό να βρεθεί εκείνη που αναπαριστά καλύτερα τις διακυμάνσεις της περπατησιμότητας σε όλη την επιφάνεια της περιοχής μελέτης. Η βέλτιστη επιφάνεια χωρικής παρεμβολής προκύπτει από τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της απογραφής και προέκυψε ότι είναι η χωρική παρεμβολή Ordinary Kriging που περιγράφεται με το εκθετικό μοντέλο και από την οποία αφαιρείται πολυωνμική τάση 2^{ου} βαθμού.

Στο τελικό στάδιο, το δημιουργηθέν μεθοδολογικό πλαίσιο εφαρμόζεται στην κατά επτά φορές μεγαλύτερης επιφάνειας μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα σε σχέση με το κέντρο, και εκτιμώνται τα επίπεδα περπατησιμότητας, χωρίς να απαιτείται η συνολική καταγραφή όλων των οδών, αλλά μόνο του δείγματος. Τα αποτελέσματα της μελέτης κρίνονται ικανοποιητικά όσον αφορά στην εκτίμηση της περπατησιμότητας και μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μία πιο ευρεία διερεύνηση προς την κατεύθυνση της συντόμευσης της χρονοβόρας διαδικασίας απογραφής με τη χρήση των μεθόδων της χωρικής δειγματοληψίας και της χωρικής παρεμβολής.

Λέξεις κλειδιά: περπατησιμότητα, αστική κινητικότητα, εργαλεία οδών, χωρική δειγματοληψία, χωρική παρεμβολή Kriging, MAPS mini

Abstract

Numerous studies have shown that active and walkable cities enhance sustainable mobility and contribute towards health improvement of their inhabitants. Several audit tools that evaluate different characteristics of the urban built environment and estimate the walkability levels have been developed during the last decade or so and corresponding research subjects have been widely studied. However, the major constraint of the audit tools is that they are time and cost consuming and can even be prohibitive for wider study areas. The aim of this thesis is the development of a methodological framework that quantifies the walkability levels by using the existing audit tools and evaluates only a part (sample) of the study area, aiming at reducing the required cost and time for data collection.

The application of the proposed methodology takes place in the city center of Malaga, Spain. Initially, walkability levels are evaluated using the modified MAPS mini audit tool which includes 19 parameters. The results are analyzed using spatial analysis and spatial autocorrelation indexes. Two different spatial sampling methods are applied (stratified systematic and stratified random sampling) each one for two different stratification techniques (distance from city center and population distribution) and the results are compared to the census in order to assess which spatial sampling method best represents the built environment in terms of attractiveness for walking and cycling. The method chosen is the stratified random sampling with strata derived from the distance from the city center.

Next, two different alternatives of the Ordinary Kriging spatial interpolation method are applied to the sample (with and without trend removal), in order to find which one represents in an optimal way the fluctuations of walkability across the study area. The optimal spatial interpolation surface is selected after the interpolation and the census results are compared to each other and the most fit appears to be the Ordinary Kriging spatial interpolation that uses the exponential model and removes a 2nd degree trend.

Finally, the suggested methodological framework developed within this thesis is applied in the seven times larger metropolitan area of Malaga and the walkability levels are estimated, without the need to evaluate the entire area but only the selected road sample. The results of the study are quite satisfactory in terms of estimating the walkability levels and can be the groundwork for further study towards diminution in the time-consuming audit tools census process by using the methods of spatial sampling and spatial interpolation.

Keywords: walkability, urban mobility, audit tools, spatial sampling, Kriging spatial interpolation, MAPS mini

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	8
1 Εισαγωγή.....	17
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	20
2.1 Βιώσιμη αστική κινητικότητα και περπατησιμότητα	20
2.2 Εργαλεία αξιολόγησης επιπέδου περπατησιμότητας (audit tools)	22
2.3 Περιορισμοί εργαλείων οδών.....	23
3 Μεθοδολογία.....	25
3.1 Εργαλείο MAPS mini.....	25
3.2 Συλλογή δεδομένων και υπολογισμός της συνολικής βαθμολογίας περπατησιμότητας	26
3.3 Χωρική ανάλυση με δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης	28
3.4 Χωρική δειγματοληψία	29
3.4.1 Καθορισμός μεγέθους δείγματος	30
3.4.2 Στρωματοποιημένη δειγματοληψία με βάση την απόσταση από το κέντρο 31	
3.4.3 Στρωματοποιημένη δειγματοληψία με βάση την πληθυσμιακή κατανομή στο χώρο ³²	
3.4.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δειγματοληψίας	32
3.4.5 Εφαρμογή βέλτιστης δειγματοληπτικής μεθόδου στην μητροπολιτική περιοχή τους υπό εξέταση πόλης.....	33
3.5 Χωρική παρεμβολή Kriging	33
3.5.1 Εκτίμηση του σφάλματος και αξιολόγηση της μεθόδου	36
4 Εφαρμογή	38
4.1 Περιοχή μελέτης, η πόλη της Μάλαγα	38
4.1.1 Σημεία ενδιαφέροντος - Ορόσημα	39
4.1.2 Οικονομική δραστηριότητα	39
4.1.3 MMM και αστική κινητικότητα.....	39
4.2 Συλλογή δεδομένων και ποσοτικοποίηση περπατησιμότητας.....	40
4.2.1 Συλλογή δεδομένων με το εργαλείο οδών MAPS mini.....	41
4.2.2 Αποτελέσματα συλλογής δεδομένων.....	60
4.2.3 Πυκνότητα βαθμολογίας MAPS mini ανά μεταβλητή	64
4.2.4 Δείκτης περπατησιμότητας	69
4.3 Χωρική ανάλυση.....	70
4.3.1 Δείκτης Global Moran I.....	70
4.3.2 Δείκτης Local Moran's I.....	70

4.4	Χωρική δειγματοληψία	72
4.4.1	Στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο	72
4.4.2	Στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό	74
4.4.3	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δειγματοληψίας	75
4.4.4	Εφαρμογή δειγματοληψίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα	78
4.5	Χωρική παρεμβολή	80
4.5.1	Χωρική παρεμβολή Kriging χωρίς την αφαίρεση τάσης στο κέντρο της Μάλαγα 81	
4.5.2	Χωρική παρεμβολή Kriging με αφαίρεση τάσης στο κέντρο της Μάλαγα ..	81
4.5.3	Χωρική παρεμβολή Kriging με αφαίρεση τάσης στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα	82
5	Συμπεράσματα	85
5.1	Επίπεδα δείκτη περπατησιμότητας στο κέντρο της Μάλαγα	85
5.2	Αποτελέσματα βέλτιστης μεθόδου δειγματοληψίας	87
5.3	Αποτελέσματα βέλτιστης μεθόδου χωρικής παρεμβολής Kriging	88
5.4	Εφαρμογή μεθοδολογίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα.....	89
5.5	Προτάσεις.....	90
6	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	91

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3-1: Παράμετροι αξιολόγησης της κάθε πλευράς ΟΤ και τη σύνδεσής της με άλλη πλευρά σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο MAPS mini	27
Πίνακας 4-1: Δείκτες ανά βαθμολογία για κάθε μεταβλητή MAPS mini (σταθμισμένοι με το συνολικό μήκος πλευρών ΟΤ που έλαβαν τιμή ανά μεταβλητή)	62
Πίνακας 4-2: Δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης Global Moran I για τις τιμές του δείκτη περπατησιμότητας και του αριθμού κατοίκων ανά κελί διαστάσεων 100x100μ.	70
Πίνακας 4-3: Ανάλυση δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran's I για τις τιμές του δείκτη περπατησιμότητας και του αριθμού κατοίκων ανά κελί διαστάσεων 100x100μ.	72
Πίνακας 4-4: Αποτελέσματα των τεσσάρων (4) μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας ανά μέθοδο και στρώμα.....	77
Πίνακας 4-5: Αποτελέσματα των τεσσάρων μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας ανά συνολικό δείγμα για κάθε μέθοδο.	77
Πίνακας 4-6: Μέσος όρος και διάμεση τιμή δείκτη περπατησιμότητας ανά στρώμα και συνολικά για το δείγμα των κόμβων της μητροπολιτικής περιοχής της Μάλαγα και σύγκριση με τα αποτελέσματα της απογραφής στο κέντρο.....	79

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 3-1: Μέγεθος δείγματος και περιθώριο λάθους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, Πηγή: Wikipedia.....	31
Εικόνα 3-2: Τυπικά θεωρητικά μοντέλα ημιβαριογράμματος α) Σφαιρικό b) Εκθετικό c) Γραμμικό d) Gaussian (Πηγή: Li et al., 2008).....	35
Εικόνα 4-1: Η πόλη της Μάλαγα (α) Στον ευρωπαϊκό χώρο, (α) Διοικητικά όρια του δήμου της Μάλαγα, (β) Εμπορικό και ιστορικό κέντρο της πόλης (πορτοκαλί) και υπό μελέτη αστική μητροπολιτική περιοχή της πόλης (μπλε).....	38
Εικόνα 4-2: (α) Δίκτυο ποδηλατοδρόμων μήκους 30 χλμ. (β) Σταθμοί κοινόχρηστων ποδηλάτων MálagaBici (Πηγή: Ayuntamiento de Málaga, Geoport).	40
Εικόνα 4-3: Παράδειγμα διασταύρωσης τύπου T, Calle Constancia. Με κίτρινο χρώμα επισημαίνονται οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν (Πηγή: Google Street View).....	41
Εικόνα 4-4: Παράδειγμα διασταύρωσης τύπου Π, Calle Cuarteles. Με κίτρινο χρώμα επισημαίνονται οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν (Πηγή: Google Street View).....	42
Εικόνα 4-5: Παράδειγμα χρήσης γης κατοικίας όπου η αντίστοιχη μεταβλητή παίρνει την τιμή μηδέν, Calle Ancha del Carmen (Πηγή: Google Street View).....	42
Εικόνα 4-6: Παράδειγμα οδού με χρήσεις εμπορικές όπου η αντίστοιχη μεταβλητή παίρνει την τιμή ένα, Calle Ancha del Carmen (Πηγή: Google Street View).....	43
Εικόνα 4-7: Παράδειγμα πλευράς με μία πρόσβαση σε πάρκο και τιμή μεταβλητής ίση με 1, Calle Guillén Sotelo (Πηγή: Google Street View).....	44
Εικόνα 4-8: Πεζόδρομος όπου τα αξιολογούμενα τμήματα εκατέρωθεν λαμβάνουν την τιμή 2 για τη μεταβλητή πρόσβασης σε πάρκο ή πλατεία, Plaza de la Constitución (Πηγή: Google Street View).....	44
Εικόνα 4-9: Παράδειγμα πεζοδρομίου με δύο στάσεις λεωφορειακών γραμμών που λαμβάνει βαθμολογία 2, Alameda Principal (Πηγή: Google Street View).....	45
Εικόνα 4-10: Παράδειγμα πεζοδρομίου με στάση πεζοδρομίου και σταθμό μετρό που λαμβάνει στην αντίστοιχη μεταβλητή τη βαθμολογία 2, Calle Cuarteles (Πηγή: Google Street View).....	45
Εικόνα 4-11: Πεζόδρομος με την ύπαρξη δημόσιων καθιστικών σωμάτων, Calle Casas de Campos (Πηγή: Google Street View).....	46
Εικόνα 4-12 Παράδειγμα δρόμου χωρίς κανένα φωτιστικό σώμα εκατέρωθεν, Calle Huerta del Obispo (Πηγή: Google Street View).....	46
Εικόνα 4-13: Παράδειγμα πλευράς με ικανοποιητικό φωτισμό (Πηγή: Google Street View).....	47
Εικόνα 4-14: Παράδειγμα πλευράς με επαρκή/ έντονο φωτισμό, Plaza de la Constitución (Πηγή: Google Street View).....	47
Εικόνα 4-15: Πλευρά οδού με προσόψεις κτιρίων με πολύ καλό επίπεδο συντήρησης, Calle Sebastián Souvirón (Πηγή: Google Street View).....	48
Εικόνα 4-16: Παράδειγμα δρόμου με όψεις κτιρίων με φθορές που χρήζουν συντήρησης (Πηγή: Google Street View).....	48
Εικόνα 4-17: Πλευρά οδού με πρόσοψη κτιρίου με βανδαλισμούς από γκράφιτι όπου η αντίστοιχη μεταβλητή μηδενίζεται, Calle Vendeja (Πηγή: Google Street View).....	49
Εικόνα 4-18 Παράδειγμα ποδηλατολωρίδας με οριζόντια σήμανση και χωρίς φυσικό διαχωρισμό από την κυκλοφορία των οχημάτων, Calle Montaña (Πηγή: Google Street View).....	49
Εικόνα 4-19: Παράδειγμα ποδηλατολωρίδας με φυσικό διαχωρισμό από την κυκλοφορία των οχημάτων, Av. de Cervantes (Πηγή: Google Street View).....	50
Εικόνα 4-20 Περίπτωση πλευράς οδού με κατασκευασμένο πεζοδρόμιο σε μήκος πάνω από 50%, Calle Fernando Camino (Πηγή: Google Street View).....	50

Εικόνα 4-21: Περίπτωση πλευράς οδού με πεζοδρόμιο με απουσία πεζοδρομίου, Calle Vital Aza (Πηγή: Google Street View)	51
Εικόνα 4-22: Παράδειγμα πεζοδρομίου με άριστο επίπεδο συντήρησης, Plaza Enrique García-Herrera (Πηγή: Google Street View)	51
Εικόνα 4-23: Παράδειγμα πεζοδρομίου με φθορές το οποίο αξιολογείται με μηδέν στη βαθμολογία (Πηγή: Google Street View)	52
Εικόνα 4-24: Περίπτωση πεζοδρομίου με διαχωριστικά κολωνάκια από την κυκλοφορία των οχημάτων που βαθμολογείται με 1, Calle San Nicolás (Πηγή: Google Street View)	52
Εικόνα 4-25: Περίπτωση πεζοδρομίου με διαχωριστικά (ζαρντινιέρες) από την κυκλοφορία των οχημάτων που βαθμολογείται με 1, Plaza de la Merced (Πηγή: Google Street View)....	53
Εικόνα 4-26: Παράδειγμα πεζοδρόμου με κάλυψη/σκίαση σε ποσοστό 26%-75% του μήκους του που βαθμολογείται με 1, Pje. Chinitas (Πηγή: Google Street View)	53
Εικόνα 4-27: Παραδείγματα πεζοδρομίων με κάλυψη/σκίαση σε ποσοστό 76%-100% του μήκους τους που βαθμολογούνται με 2, Calle Maestranza (Πηγή: Google Street View).....	54
Εικόνα 4-28: Πλευρά δρόμου με επαρκές πλάτος πεζοδρομίου που λαμβάνει βαθμολογία 1, Calle Cuartelles (Πηγή: Google Street View)	54
Εικόνα 4-29: Πλευρά δρόμου με ανεπαρκές πλάτος πεζοδρομίου που λαμβάνει βαθμολογία 0, Calle Puerto (Πηγή: Google Street View)	55
Εικόνα 4-30: Δρόμος με μία λωρίδα κυκλοφορίας οχημάτων, κάθε πλευρά του λαμβάνει το βαθμό 2, Calle Panaderos (Πηγή: Google Street View).....	55
Εικόνα 4-31: Δρόμος με δύο λωρίδες κυκλοφορίας οχημάτων, κάθε πλευρά του βαθμολογείται με 1, Plaza Arriola (Πηγή: Google Street View).....	56
Εικόνα 4-32: Δρόμος έξι λωρίδων κυκλοφορίας οχημάτων - κάθε πλευρά του μηδενίζεται στην αντίστοιχη μεταβλητή, Paseo Del Parque (Πηγή: Google Street View)	56
Εικόνα 4-33: Πεζόδρομος με ειδική κατακόρυφη σήμανση που επιτρέπει τη στάθμευση ποδηλάτων, Plaza Enrique García-Herrera (Πηγή: Google Street View).....	57
Εικόνα 4-34: Πεζοδρόμιο στο κέντρο της πόλης με σταθμό κοινόχρηστων ποδηλάτων (malagabici), Plaza de la Marina (Πηγή: Google Street View).....	57
Εικόνα 4-35: Σταθμός κοινόχρηστων ποδηλάτων (malagabici) στην πλατεία La Merced (Πηγή: Google Street View).....	58
Εικόνα 4-36: Σύνδεση πεζοδρομίων με φωτεινό σηματοδότη για τη διέλευση των πεζών (βαθμολογία = 1), Calle Atarazanas (Πηγή: Google Street View)	58
Εικόνα 4-37: Σύνδεση πεζοδρομίων ράμπες εκατέρωθεν της σύνδεσης (βαθμολογία = 2), Calle Torpete (Πηγή: Google Street View).....	59
Εικόνα 4-38 Περιπτώσεις συνδέσεων πεζοδρομίων με οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών (βαθμολογία=1), Calle Almansa (Πηγή: Google Street View)	60
Εικόνα 4-39: Παραδείγματα σύνδεσης πεζοδρομίων σε διαστάρωση χωρίς οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών (βαθμολογία=0), Calle San Lorenzo (Πηγή: Google Street View) 60	
Εικόνα 4-40: Περιοχή απογραφής με το εργαλείο ελέγχου οδών MAPS mini, κέντρο της Μάλαγα	61
Εικόνα 4-41: Ο κεντρικός εμπορικός πεζόδρομος Calle Marqués de Larios (Πηγή: Street View, Google Maps)	65
Εικόνα 4-42: Πυκνότητα βαθμολογίας ανά μεταβλητή (S1 – S9) και πλευρές οδών που έλαβαν την αντίστοιχη τιμή στη μεταβλητή (πράσινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 1 ή 2, κόκκινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 0).....	66
Εικόνα 4-43: Περίπτωση κακής κατάστασης πεζοδρομίου (S10=0) στη συνοικία La Victoria (Πηγή: Street View, Google Maps)	67

Εικόνα 4-44: Σταθμός κοινόχρηστων ποδηλάτων malagabici (S16=1) στην οδό Velez Malaga νότια της αρένας ταυρομαχιών La Malagueta(Πηγή: Street View, Google Maps)	67
Εικόνα 4-45: Πυκνότητα βαθμολογίας ανά μεταβλητή (S10 – S16) και πλευρές οδών που έλαβαν την αντίστοιχη τιμή στη μεταβλητή (πράσινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 1 ή 2, κόκκινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 0).....	68
Εικόνα 4-46: Πυκνότητα οδών ανάλογα με τη βαθμολογία ανά μεταβλητή (C1_2, C1_2, C1_3,) και πλευρές οδών που έλαβαν την αντίστοιχη τιμή (πράσινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 1 ή 2, κόκκινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 0).....	69
Εικόνα 4-47: Τιμές δείκτη περπατησιμότητας (α) ανά πλευρά οδού, (β) ανά κελί διαστάσεων 100x100μ.....	69
Εικόνα 4-48: Τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran’s I ανά κελί διαστάσεων 100x100μ. (α) μονομεταβλητή ανάλυση δείκτη περπατησιμότητας, (β) διμεταβλητή ανάλυση δείκτη περπατησιμότητας και πληθυσμού.....	71
Εικόνα 4-49: Στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο της πόλης και δείγμα κόμβων (α) στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας, (β) στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας.....	74
Εικόνα 4-50: Στρωματοποίηση με βάση την πληθυσμιακή κατανομή στο κέντρο της πόλης (α) στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας, (β) στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας.	75
Εικόνα 4-51: Μητροπολιτική περιοχή και κέντρο της Μάλαγα.....	78
Εικόνα 4-52: Στρώματα δειγματοληψίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα και κατανομή των κόμβων του δείγματος στα στρώματα.....	79
Εικόνα 4-53: Αποτέλεσμα χωρικής παρεμβολής στο κέντρο της Μάλαγα (α) Μέθοδος 1 χωρίς την αφαίρεση τάσης, (β) Μέθοδος 2 με αφαίρεση τάσης	82
Εικόνα 4-54: Αποτέλεσμα χωρικής παρεμβολής στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα ..	84

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 4-1: Ιστόγραμμα τιμών δείκτη περπατησιμότητας ανά πλευρά ΟΤ στο κέντρο της Μάλαγα	62
Γράφημα 4-2: Ποσοστιαία κατανομή βαθμολογίας ανά αξιολογηθείσα μεταβλητή MAPS mini	64
Γράφημα 4-3: Μελέτη δεδομένων χωρικής παρεμβολής στο κέντρο της Μάλαγα (α) ιστόγραμμα, (β) Normal qq-plot, (γ) μελέτη ύπαρξης τάσης	80
Γράφημα 4-4: Μελέτη δεδομένων χωρικής παρεμβολής στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα (α) ιστόγραμμα, (β) Normal qq-plot, (γ) μελέτη ύπαρξης τάσης	83

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3-1: Διάγραμμα ροής βημάτων του μεθοδολογικού πλαισίου της παρούσας εργασίας.....	25
---	----

1 Εισαγωγή

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ζωντανές και περπατήσιμες πόλεις προωθούν την αύξηση της κινητικότητας και τη βελτίωση της υγείας των κατοίκων τους, ενώ άλλες τη συσχετίζουν με την προώθηση της βιωσιμότητας, την οικονομική ανάπτυξη ακόμα και την ισότητα μεταξύ των κατοίκων και επισκεπτών μια περιοχής.

Στην έρευνα, ο όρος περπατησιμότητα (walkability), αναφέρεται ως μία πολυπαραμετρική έννοια απαρτιζόμενη από πολλές συνιστώσες. Κυρίως εστιάζεται στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος ή τα μέσα που δημιουργούν ένα περπατήσιμο περιβάλλον, και αναφέρεται σε περιοχές που είναι προσπελάσιμες, έχουν συνοχή, είναι φυσικά ελκυστικές και ασφαλείς. Άλλοι προσεγγίζουν τα δυνητικά οφέλη των περιοχών που υιοθετούν τέτοιου είδους δομημένα περιβάλλοντα, όπως είναι η δημιουργία ζωντανών χώρων, η ενίσχυση της βιώσιμης ανάπτυξης, η προσφορά διαφορετικών επιλογών μετακίνησης και η παρακίνηση για σωματική άσκηση. Τέλος, κάποιοι αντιμετωπίζουν τον όρο της περπατησιμότητας ως διαμεσολαβητή για καλύτερο σχεδιασμό είτε απτών και μετρήσιμων χαρακτηριστικών είτε ολιστικά προς επίλυση των προβλημάτων του αστικού χώρου ως σύνολο (Forsyth, 2015). Οι διαφορετικές προσεγγίσεις και ορισμοί της περπατησιμότητας είναι μείζονος σημασίας, καθώς με τη σειρά τους διαφοροποιούν στη συνέχεια τη στόχευση για τον αστικό σχεδιασμό.

Έχει διαπιστωθεί ότι τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος συμβάλλουν με ουσιαστικό τρόπο στη διαμόρφωση της περπατησιμότητας μιας περιοχής. Έχει εκπονηθεί πλήθος μελετών για την ποσοτικοποίηση και την αξιολόγηση των επιπέδων περπατησιμότητας με απώτερο στόχο, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, την απόκτηση γνώσης για τη χάραξη πολιτικής για πολεοδομικό σχεδιασμό και τη βελτίωση του δομημένου περιβάλλοντος προς όφελος των κατοίκων και επισκεπτών της περιοχής που μελετάται. Αυτό επιχειρείται άλλοτε με τη μορφή έρευνας ερωτηματολογίων, είτε με την ανάπτυξη μεθοδολογιών/ εργαλείων απογραφής που καταγράφουν τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος ή και με τη βοήθεια των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), (Brownson et al. 2009). Περισσότερο συστηματική μελέτη έχει πραγματοποιηθεί στο πεδίο της ανάπτυξης και αξιολόγησης των εργαλείων απογραφής των οδών (audit tools) (Cain et al., 2017, Sallis et al., 2015, Millstein et al., 2013, Clifton et al., 2007 κ.ά.) που μελετούν και προτείνουν μεθοδολογίες συλλογής δεδομένων του δομημένου περιβάλλοντος βάσει συγκεκριμένων παραμέτρων που θεωρείται ότι επηρεάζουν την ελκυστικότητα μια περιοχής για περπάτημα.

Τα οφέλη που αποκομίζονται και τα συμπεράσματα που συνάγονται από την εφαρμογή των εργαλείων οδών στις εξεταζόμενες περιοχές είναι ουσιώδη για την περαιτέρω προώθηση της ενεργού κινητικότητας, αφού η συλλογή των δεδομένων και η αξιολόγηση του δομημένου περιβάλλοντος αποδίδει μία πολύ καλή εικόνα για την περπατησιμότητα της περιοχής. Ωστόσο, τα εργαλεία αυτά συνοδεύονται από περιορισμούς που σχετίζονται με το μεγάλο χρόνο που απαιτείται για τη συλλογή των δεδομένων και κατά συνέπεια το αυξημένο κόστος τους. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες από τότε που έκαναν την εμφάνισή τους, ώστε να μειωθεί ο όγκος και ο χρόνος που τα συνοδεύει. Έτσι, εξυπηρετώντας αυτό το σκοπό, αναπτύχθηκαν συντομευμένες εκδοχές των αρχικών εργαλείων και ελέγχθηκε η αξιοπιστία τους (Cain et al., 2017, Sallis et al. 2015), προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν μέθοδοι συλλογής δεδομένων χωρίς την επίσκεψη στο πεδίο, αλλά εξ αποστάσεως από αξιολογητές που δεν είναι εξοικειωμένοι με τις περιοχές απογραφής με τη βοήθεια διαδικτυακών εργαλείων (Zhu

et al., 2017), ενώ κάποιες μελέτες εφάρμοσαν τα εργαλεία οδών σε υποσύνολα (δείγματα) της περιοχής μελέτης τους και συνέκριναν τα αποτελέσματα (Ghosh et al., 2020, Pocock et al. 2019, McMillan et al., 2010).

Στα χνάρια της έρευνας που έχει πραγματοποιηθεί έως σήμερα, στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου απογραφής του δομημένου περιβάλλοντος για την ποσοτικοποίηση των επιπέδων της περπατησιμότητας, που χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα εργαλεία ελέγχου οδών (audit tools), αξιολογώντας ένα μέρος (δείγμα) της υπό μελέτη περιοχής, αποσκοπώντας έτσι, στη μείωση του αυξημένου κόστους και χρόνου για τη συλλογή των δεδομένων.

Στην παρούσα εφαρμογή, η περιοχή που μελετάται είναι το κέντρο της ισπανικής πόλης Μάλαγα. Αρχικά, μελετάται το κέντρο της πόλης της Μάλαγα ως προς τα επίπεδα της ελκυστικότητας για ενεργό κινητικότητα (walkability) με τη χρήση του εργαλείου MAPS mini (Cain et al., 2017) σε ελαφρώς τροποποιημένη μορφή και αξιολογούνται και αναλύονται τα αποτελέσματα με τη χρήση της χωρικής ανάλυσης και τη βοήθεια δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης. Στη συνέχεια εφαρμόζονται δύο μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας με δύο διαφορετικές τεχνικές στρωματοποίησης και συγκρίνονται τα αποτελέσματα με τη συνολική απογραφή, ώστε να αξιολογηθεί ποια μέθοδος χωρικής δειγματοληψίας είναι η βέλτιστη, δηλαδή αντιπροσωπεύει καλύτερα και με ικανοποιητική ακρίβεια το δομημένο περιβάλλον ως προς την ελκυστικότητα για την πεζή μετακίνηση στο κέντρο της περιοχής μελέτης. Έπειτα, για το δείγμα που επιλέχθηκε ως βέλτιστο, εφαρμόζονται δύο διαφορετικές παραλλαγές της μεθόδου χωρικής παρεμβολής Kriging, με σκοπό να βρεθεί εκείνη που αναπαριστά καλύτερα ολόκληρη την επιφάνεια της περιοχής μελέτης. Η καλύτερη επιφάνεια χωρικής παρεμβολής προκύπτει από τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της απογραφής. Τέλος, οι βέλτιστες μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας και χωρικής παρεμβολής εφαρμόζονται στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα, χωρίς την ανάγκη της συνολικής απογραφής της περιοχής.

Τα ερευνητικά ερωτήματα στα οποία επιχειρεί να απαντήσει η μελέτη είναι τα ακόλουθα:

1. Ποια είναι τα επίπεδα περπατησιμότητας στο κέντρο της πόλης της Μάλαγα όπως αυτά καταγράφονται με το εργαλείο ελέγχου οδών MAPS mini;
2. Με ποια μέθοδο χωρικής δειγματοληψίας και χωρικής παρεμβολής μπορεί να εκτιμηθεί ικανοποιητικά το ίδιο αποτέλεσμα;
3. Ποια είναι τα αποτελέσματα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου σε όλη τη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα;

Τα παραπάνω αντικείμενα αναπτύσσονται σε έξι κεφάλαια που απαρτίζουν την παρούσα εργασία. Η δομή και τα κύρια σημεία που πραγματεύεται κάθε κεφάλαιο, παρουσιάζονται συνοπτικά στα ακόλουθα:

Στο **δεύτερο** κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της βιβλιογραφίας που σχετίζεται με τους ερευνητικούς σκοπούς της παρούσας εργασίας και στοιχειοθετούνται οι λόγοι που οδήγησαν στο σκεπτικό διερεύνησης του αντικειμένου της, ως απόρροια των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα βάσει των οποίων αναγνωρίστηκε ένα πεδίο που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Στο **τρίτο** κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη των ερευνητικών στόχων που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω. Αρχικά, περιγράφεται το εργαλείο οδών MAPS mini που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων του δομημένου περιβάλλοντος, επεξηγείται ο τρόπος υπολογισμού του δείκτη

περπατησιμότητας και περιγράφονται οι δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης global Moran's I και local Moran I που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων της περπατησιμότητας. Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν, η στρωματοποιημένη συστηματική και στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία και οι δύο τεχνικές στρωματοποίησης που εφαρμόστηκαν στην καθεμία, η στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κεντρικότερο σημείο του αστικού ιστού και η στρωματοποίηση με βάση την κατανομή του πληθυσμού που λήφθηκε από τα δεδομένα D4I. Στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου χωρικής παρεμβολής Kriging και της θεωρίας πίσω από αυτήν, της παραλλαγής που ακολουθείται στην παρούσα εργασία (Ordinary Kriging) και του τρόπου επιλογής της βέλτιστης χωρικής παρεμβολής βάσει των εκτιμηθέντων σφαλμάτων και άλλων συνυπολογιζόμενων παραμέτρων.

Στο **τέταρτο** κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της εφαρμογής της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε, στην ισπανική πόλη της Μάλαγα. Αναλύονται τα ιδιαίτερα γνωρίσματα της πόλης και τα κυριότερα χαρακτηριστικά της όπως δημογραφία, σημαντικότερα ορόσημα, μέσα μαζικής μεταφοράς και στοιχεία αστικής κινητικότητας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεδομένων για το κέντρο της πόλης που αξιολογήθηκαν με το MAPS mini και αναλύονται τα επίπεδα της περπατησιμότητας με τη βοήθεια χαρτών που προκύπτουν από τη χωρική ανάλυση. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται οι τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας και συγκρίνονται τα αποτελέσματα με αυτά που προέκυψαν από την συνολική καταγραφή με το εργαλείο οδών. Έπειτα, πάλι για την περιοχή του κέντρου πραγματοποιούνται οι δύο μέθοδοι χωρικής παρεμβολής Kriging μια βάσει των αποτελεσμάτων εκτιμάται ποια μέθοδος είναι αυτή που αναπαριστά καλύτερα την πραγματική εικόνα της πόλης. Τέλος, η μεθοδολογία με τις επιλογές των βέλτιστων μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας και χωρικής παρεμβολής, εφαρμόζεται στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα.

Στο **πέμπτο** κεφάλαιο διαμορφώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας και σε ποιο βαθμό απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην αρχή της. Τέλος, στο ίδιο κεφάλαιο διατυπώνονται προτάσεις και επόμενα ερευνητικά βήματα που προέκυψαν από τη μελέτη των αντικειμένων.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία παρουσίαση των βασικών εννοιών και αντικειμένων τα οποία πραγματεύεται η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία βάσει των υπάρχουσών μελετών και της βιβλιογραφίας σε διεθνές επίπεδο. Έτσι, εξετάζονται και παρουσιάζονται οι έννοιες της βιώσιμης κινητικότητας, της περπατησιμότητας, των εργαλείων οδών (audit tools) για την καταγραφή του δομημένου περιβάλλοντος, καθώς και των περιορισμών που τα συνοδεύουν.

2.1 Βιώσιμη αστική κινητικότητα και περπατησιμότητα

Η βιώσιμη αστική κινητικότητα σύμφωνα με την «Έκθεση οικονομικών αναγκών στο πεδίο της βιώσιμης αστικής κινητικότητας» της Γενικής Διεύθυνσης για την κινητικότητα και τις μεταφορές (2012) ορίζεται ως η βιώσιμη κίνηση ανθρώπων και αγαθών μέσα σε αστικό περιβάλλον. Αντίστοιχα, η έννοια της βιωσιμότητας που περιλαμβάνει παραμέτρους που αφορούν στην περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική βιωσιμότητα, θεωρείται ως ο παράγοντας που συμβάλλει με τέτοιο τρόπο, ώστε οι πόλεις να μπορούν να λειτουργούν με τη μικρότερη δυνατή ατμοσφαιρική ρύπανση και ηχορύπανση, προωθεί την οικονομική ανάπτυξη της πόλης, επιτρέπει ικανοποιητικά επίπεδα κινητικότητας ανθρώπων και αγαθών και είναι οικονομικά προσιτή για τους χρήστες και τους φορολογούμενους.

Αντίθετα, πρόκληση στη βιώσιμη κινητικότητα αποτελεί ένα σύστημα αστικών μεταφορών που δεν είναι αξιόπιστο, οδηγεί στην υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, θεωρείται επικίνδυνο από τους χρήστες (κατοίκους και επισκέπτες), δημιουργεί καθυστερήσεις και συμφορήσεις για τους χρήστες και παρουσιάζει δυσκολίες στη χρηματοδότησή του και τη διατήρηση των αναγκαίων επιπέδων εξυπηρέτησης.

Στην Ειδική Έκθεση του Ειδικού Ελεγκτικού Συνεδρίου «Βιώσιμη αστική κινητικότητα στην ΕΕ: Δεν είναι δυνατή η επίτευξη ουσιαστικής βελτίωσης χωρίς δέσμευση από πλευράς των κρατών μελών» (2020) επισημαίνεται ότι τα πρότυπα αστικής κινητικότητας επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι η δημογραφία, η χρήσεις γης, οι ακολουθούμενες πολιτικές, η διαθεσιμότητα δημόσιων μέσων συγκοινωνίας, η χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων και η οικονομία.

Είναι πολλές οι μελέτες που έχουν δείξει ότι το κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι πολύ υψηλό για την κοινωνία. Συγκεκριμένα, στο «Εγχειρίδιο του εξωτερικού κόστους των μεταφορών» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2019) αυτό αποτιμάται σε 270 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως στην ΕΕ28 για τις οδικές μεταφορές ανθρώπων και αγαθών, ενώ στην ίδια μελέτη εκτιμάται ότι το οριακό κόστος ανά οχηματοχιλιόμετρο (vkm) στους δρόμους των αστικών περιοχών με συμφόρηση πάνω από την κυκλοφορική τους ικανότητα είναι 1,33 ευρώ για τα λεωφορεία και 0,66 ευρώ για τα επιβατικά οχήματα. Αντίθετα, σε μια αστική περιοχή, όσο πιο ομαλή είναι η κυκλοφορία τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες να αναπτυχθεί οικονομικά. Το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης αφορά κυρίως τα αστικά κέντρα και τα περίχωρά τους και η εμπειρία έχει δείξει ότι η αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας οδηγεί σε αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα πρέπει να προσεγγιστεί διαφορετικά.

Παράλληλα, η Ειδική Έκθεση του Ειδικού Ελεγκτικού Συνεδρίου (2020) για τη βιώσιμη αστική κινητικότητα (2020) αναφέρει ότι το 96% των πολιτών της ΕΕ που ζουν σε αστικές περιοχές εκτίθενται σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων τα οποία ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) θεωρεί επιβλαβή για την υγεία. Το 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτίμησε ότι το

συνολικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αναφορικά με τις επιπτώσεις του στην υγεία ανέρχεται σε εκατοντάδες δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως. Η ρύπανση επιδρά αρνητικά και στη βιοποικιλότητα, ενώ σημαντική αρνητική συνέπεια της χρήσης του αυτοκινήτου έχει διαπιστωθεί ότι είναι η έλλειψη της σωματικής άσκησης.

Λόγω των παραπάνω, είναι επιβεβλημένη η υιοθέτηση στρατηγικών που στρέφουν τις μετακινήσεις προς καθαρότερους και πιο βιώσιμους τρόπους μεταφοράς, όπως το περπάτημα και η ποδηλασία, δηλαδή προς την ενεργό κινητικότητα. Ως ενεργός κινητικότητα ορίζεται ο τρόπος μετακίνησης ανθρώπων και αγαθών με μη μηχανοκίνητα μέσα, που βασίζεται μόνο στη σωματική δραστηριότητα. Οι συνηθέστερες μορφές ενεργού κινητικότητας είναι το περπάτημα και η ποδηλασία.

Όσον αφορά στο ποδήλατο, παρά τα οφέλη του και το χαμηλό σχετικά κόστος επένδυσης των υποδομών που το αφορούν, σε αρκετές ευρωπαϊκές πόλεις δεν έχουν ληφθεί σημαντικές πρωτοβουλίες για την προώθηση και την καθιέρωσή της. Αυτό δείχνουν, άλλωστε, τα πρόσφατα στοιχεία χρήσης του ποδηλάτου σύμφωνα με την Έκθεση του Ειδικού Ελεγκτικού Συνεδρίου για την βιώσιμη κινητικότητα (2020). Για παράδειγμα, το μήκος των ποδηλατοδρόμων στη Νάπολη δεν υπερβαίνει τα 20 χλμ. και το μερίδιο της ποδηλασίας επί του συνόλου των μέσων μεταφοράς στη Μαδρίτη και τη Βαρκελώνη βρίσκονται μεταξύ 1% και 2%, τιμές που αποκλίνουν από τους στόχους που είχαν τεθεί στα σχέδια των πόλεων. Το αναθεωρημένο σχέδιο για τη Μαδρίτη έχει θέσει ως στόχο την τιμή 5% με ορίζοντα το 2025. Εν τούτοις, στις περισσότερες πόλεις που μελετήθηκαν δεν έχουν οριστεί τιμές στόχοι για το μερίδιο της ποδηλασίας στο σύνολο των τρόπων μετακίνησης.

Παράλληλα, υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι υπάρχουν ανισότητες στη χωρική κατανομή της προσβασιμότητας και τις υποδομές των πεζοδρομίων σε χρήστες με μειωμένη κινητικότητα, όπως η μελέτη των Bartzokas-Tsiompras et. al (2021) που συνέκρινε τα επίπεδα χωρικής προσβασιμότητας και τις υποδομές των πεζοδρομίων για χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων στα κέντρα δεκαπέντε ευρωπαϊκών πόλεων, με τη χρήση σύνθετων δεικτών προσβασιμότητας και μεθόδους χωρικής ανάλυσης, όπως η χωρική αυτοσυσχέτιση. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν ανισότητα στη χωρική κατανομή των προσβάσιμων πεζοδρόμων σε έντεκα από τα δεκαπέντε ευρωπαϊκά κέντρα πόλεων που μελετήθηκαν (Bartzokas-Tsiompras et. al.,2021).

Αντίστοιχα, η μελέτη των Bartzokas and Photis (2019) πραγματοποιεί ανάλυση ισότητας σε ένα μεγάλο σύνολο χωρικών δεδομένων συγκεντρώσεων μεταναστών σε δεκαεπτά πόλεις της Ευρώπης. Αναπτύσσει ένα δείκτη προσβασιμότητας προκειμένου να αναλύσει και να συγκρίνει το επίπεδο προσβασιμότητας σε μετρό και σιδηροδρομικούς σταθμούς μεταξύ διαφορετικών εθνικοτήτων μεταναστών και πόλεων. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν μία εικόνα υψηλής ανισότητας στη γρήγορη πρόσβαση/εγγύτητα (rapid transit accessibility) σε στάση/σταθμό μέσων μεταφοράς σε όλη την Ευρώπη.

Δεδομένης της ανάγκης προώθησης της ενεργού μετακίνησης, άρχισε να εμφανίζεται και η έννοια της περπατησιμότητας που σύμφωνα με τον Southworth (2005) είναι ο βαθμός στον οποίο το δομημένο περιβάλλον υποστηρίζει και προωθεί το περπάτημα, προσφέρει άνεση και ασφάλεια, συνδέει τους ανθρώπους με τους προορισμούς τους σε κοντινή απόσταση και ελκύει το οπτικό ενδιαφέρον του πεζού κατά μήκος της οδού. Επίσης, ορίζεται ως ένα σύνθετο μετρήσιμο μέτρο του δομημένου περιβάλλοντος που συνδυάζει τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού μιας γειτονιάς που είναι πιθανό να προκαλέσουν ελκυστικότητα και άνεση ως προς την πεζή μετακίνηση (Frank et al, 2010). Οι Leslie et al. (2006) προσδιόρισαν την

περπατησιμότητα μια κοινότητας ως το βαθμό στον οποίο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος, αλλά και οι χρήσεις γης ωθούν τους κατοίκους και επισκέπτες μια περιοχής να περπατήσουν με σκοπό τη σωματική άσκηση, την αναψυχή, την πρόσβαση σε υπηρεσίες και την εργασία.

Σύμφωνα με τη μελέτη των (Owen et al, 2007) τα βασικά στοιχεία που προωθούν τα επίπεδα περπατησιμότητας μιας γειτονιάς είναι η συνδεσιμότητα των δρόμων, η χρήση γης, η εγγύτητα σε προορισμούς ενδιαφέροντος και η πυκνότητα του πληθυσμού.

2.2 Εργαλεία αξιολόγησης επιπέδου περπατησιμότητας (audit tools)

Έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένοι παράγοντες του δομημένου περιβάλλοντος σε μια κατοικημένη περιοχή συνδέονται και επηρεάζουν τη φυσική δραστηριότητα και τις μετακινήσεις πεζή (Baumann, 2012). Τα χαρακτηριστικά και κατ' επέκταση τα μέτρα καταγραφής του δομημένου περιβάλλοντος διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα χαρακτηριστικά μακροκλίμακας και τα χαρακτηριστικά μικροκλίμακας.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει δομικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού μιας περιοχής που τείνουν να είναι πιο δύσκολο να βελτιωθούν, όπως είναι η συνδεσιμότητα των δρόμων, οι χρήσεις γης και η πυκνότητα του πληθυσμού, ενώ η δεύτερη κατηγορία αφορά σε χαρακτηριστικά μικρότερης κλίμακας του δομημένου περιβάλλοντος, όπως είναι η ποιότητα των πεζοδρομίων και των διαβάσεων και η αισθητική του περιβάλλοντα χώρου, και αποτελούν στοιχεία που μπορούν ευκολότερα να τροποποιηθούν. Τα χαρακτηριστικά μικροκλίμακας έχει φανεί ότι επηρεάζουν το αίσθημα ασφάλειας και άνεσης για περπάτημα σε μία περιοχή, αν και έχουν μελετηθεί λιγότερο από αυτά της μεγάλης κλίμακας (Cain et al., 2014, Sallis et al., 2015).

Προκειμένου να αξιολογηθούν τα επίπεδα ελκυστικότητας και προσβασιμότητας του δημόσιου χώρου για την πραγματοποίηση μετακινήσεων ενεργού κινητικότητας (περπάτημα, ποδηλασία) έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι συλλογής δεδομένων που βασίζονται στην αξιολόγηση παραμέτρων του δομημένου περιβάλλοντος που θεωρείται ότι την επηρεάζουν. Σύμφωνα με τους Brownson et. al., (2009), οι μέθοδοι αξιολόγησης της περπατησιμότητας μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: (α) έρευνες ερωτηματολογίων (self-reported questionnaires), (β) εργαλεία οδών που βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου (audit tools) και (γ) συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS).

Η πρώτη κατηγορία αξιολογεί τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος σε σχέση με την ελκυστικότητά τους για περπάτημα βάσει της προσωπικής αντίληψης των ερωτώμενων και της σχεδίασης του ερωτηματολογίου. Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία των εργαλείων οδών που είναι και η πιο διαδεδομένη και αυτή που έχει μελετηθεί περισσότερο, συλλέγει δεδομένα από την παρατήρηση των πραγματικών συνθηκών στο πεδίο με την αξιολόγηση παραμέτρων και την απόδοση βαθμολογίας βάσει αντικειμενικών όσο αυτό είναι δυνατόν κριτηρίων προκειμένου να αξιολογήσει την ελκυστικότητα του περιβάλλοντος για τον πεζό ή τον ποδηλάτη. Η τελευταία κατηγορία των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) δρα επικουρικά στα απογραφικά εργαλεία οδών παρέχοντας τη δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων και οπτικοποίησής τους για την καλύτερη μελέτη και αξιολόγηση των δεδομένων της αξιολόγησης.

Έως σήμερα, έχουν αναπτυχθεί αρκετά εργαλεία οδών (audit tools) απογραφής χαρακτηριστικών μικρής κλίμακας για την αξιολόγηση της περπατησιμότητας όπως είναι το Analytic Audit Tool and Checklist Audit Tool (Hoehner et al., 2005), το Irvine-Minnesota

Inventory (Day et al., 2006, Koschinsky et al., 2017), το SPOTLIGHT-Virtual Audit Tool (Bethlehem, J.R., et al., 2014), το Walkability Audit Tool του Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (Dannenberg et al., 2005), το Pedestrian Environmental Data Scan (PEDS) (Clifton et al., 2007) και το Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) (Millstein et al., 2013), (Bartzokas-Tsiompras et al., 2020).

Το τελευταίο αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών και απογράφει χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος θεωρώντας ότι αυτά επηρεάζουν την ανθρώπινη θέωρηση για την καταλληλότητα μιας περιοχής, ώστε να πραγματοποιηθεί σε αυτή φυσική δραστηριότητα, όπως το περπάτημα. Είναι το πιο ευρέως μελετημένο εργαλείο αξιολόγησης μικρής κλίμακας (Cain et al., 2014), με το οποίο οι αξιολογήσεις πραγματοποιούνται τόσο με επιτόπιες όσο και εξ αποστάσεως (διαδικτυακά) παρατηρήσεις (Zhu et al., 2017). Αξιολογεί με 120 παραμέτρους τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος και αποδίδει σε αυτά μία συνολική βαθμολογία που τη συσχετίζει με την ανθρώπινη φυσική δραστηριότητα τεσσάρων ηλικιακών ομάδων (παιδιά, έφηβοι, ενήλικες και ηλικιωμένοι) σε τέσσερις περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Έχουν μελετηθεί τρεις διαφορετικές εκδοχές της μεθόδου MAPS, το MAPS Abbreviated (Cain et al., 2017) με 54 παραμέτρους καταγραφής, το MAPS mini (Sallis et al. 2015) με 15 παραμέτρους, και το MAPS Global (Cain et al., 2018), με 123 παραμέτρους, με την καθεμία εκδοχή να απευθύνεται σε διαφορετικές ανάγκες και μελετητικούς σκοπούς.

Το εργαλείο MAPS αποσκοπεί στη χάραξη πολιτικής για πολεοδομικό σχεδιασμό και τη βελτίωση του δομημένου περιβάλλοντος ώστε να ενισχύεται η φυσική δραστηριότητα και κατ' επέκταση τα οφέλη των κατοίκων και επισκεπτών μια περιοχής.

Οι Bartzokas et al. (2017) έθεσαν σε σύγκριση μερικά κοινά χαρακτηριστικά του δομημένου αστικού περιβάλλοντος που σχετίζονται με το περπάτημα, ώστε να διαπιστώσουν ποια είναι αυτά παίζουν πιο σημαντικό ρόλο σε ένα δείκτη περπατησιμότητας. Περισσότερο από το ήμισυ του δείκτη επηρεάζεται ουσιαστικά από τη δομή και την κατανομή των χρήσεων γης της πόλης. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εγγύτητα σε υποδομές μεταφορών και εμπορικούς προορισμούς είναι οι πιο σημαντικές υπο-παραμέτροι που ενισχύουν σημαντικά τα επίπεδα της περπατησιμότητας σε μία περιοχή.

2.3 Περιορισμοί εργαλείων οδών

Ένας σημαντικός περιορισμός στα εργαλεία καταγραφής οδών είναι ο απαιτούμενος χρόνος και το κόστος για τη συλλογή των δεδομένων. Στη μέθοδο PEDS υπολογίζεται ότι χρειάζονται κατά μέσο όρο 3-5 λεπτά για να καταγραφεί μια πλευρά ενός οικοδομικού τετραγώνου, ενώ στις μεθόδους Analytic Audit Tool and Checklist Audit Tool και Irvine-Minnesota Inventory οι χρόνοι ανέρχονται σε 10 και 20 λεπτά ανά πλευρά, αντίστοιχα. Μία πλήρης καταγραφή μιας περιοχής ακτίνας περίπου 400 μ. απαιτεί από 17 έως 34 ώρες καταγραφής (McMillan et al., 2010). Για το λόγο αυτό είναι επιτακτική και συνεχής η ανάγκη διερεύνησης μεθόδων που έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τους εξαντλητικά μεγάλους χρόνους, που παραμένουν μεγάλοι ακόμα και στις συντομευμένες εκδοχές των μεθόδων.

Οι McMillan et al. (2010) μελέτησαν τέσσερα πρωτόκολλα δειγματοληψίας σε μία τροποποιημένη εκδοχή του εργαλείου PEDS στην περιοχή του Houston, Texas. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ένα δείγμα σε ποσοστό 25% του συνολικού αριθμού των πλευρών των οδών κατοικημένων περιοχών σε ακτίνα 400μ., μπορεί να δώσει επαρκή εικόνα του δομημένου περιβάλλοντος για τους πεζούς σε ομοιογενείς ως προς τα χαρακτηριστικά τους κατοικημένες περιοχές.

Η χρήση των εργαλείων οδών για την πλήρη απογραφή των δρόμων σε μια γειτονιά μπορεί να είναι περιττή, καθώς υπάρχει σημαντική πιθανότητα οι δρόμοι στην ίδια γειτονιά να παρουσιάζουν ομοιογένεια, ιδιαίτερα σε κατοικημένες περιοχές. Για παράδειγμα, χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος, όπως το πεζοδρόμιο, η κυκλοφοριακή ικανότητα, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας και οι ασφαλείς διαβάσεις αναμένεται να ποικίλλουν περισσότερο σε ένα δείγμα δρόμων μεγάλης κυκλοφορίας παρά σε κατοικημένους δρόμους. Επομένως, αν και ένα πλήρες δείγμα κεντρικών αρτηριών δείχνει να είναι απαραίτητο για την καταγραφή αυτής της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών, ένα μικρότερο δείγμα κατοικημένων τμημάτων δρόμου μπορεί να είναι μία εφικτή επιλογή λόγω της μικρότερης διακύμανσης από το ένα τμήμα του δρόμου στο άλλο (McMillan et al., 2010).

Οι Pocock et al. (2019) μελέτησαν δομημένα περιβάλλοντα γειτονιών με σχολεία, καθώς μπορούν να επηρεάσουν τις σχολικές συνήθειες των εφήβων όσον αφορά στην ενεργό κινητικότητα. Ωστόσο, επειδή τα υφιστάμενα εργαλεία ελέγχου των οδών απαιτούν χρόνο και πόρους και δεν εστιάζουν στις σχολικές γειτονιές, η ομάδα αξιολόγησε την αξιοπιστία και τη σκοπιμότητα της χρήσης ενός τροποποιημένου εργαλείου και πρωτοκόλλου ελέγχου (Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes Global - School Neighborhood (MAPS Global-SN)) για την αξιολόγηση δώδεκα σχολείων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο Dunedin της Νέας Ζηλανδίας. Αξιολογήθηκε, επίσης, η σκοπιμότητα ενός συνοπτικού πρωτοκόλλου ελέγχου (έλεγχος μιας πλευράς κάθε τμήματος του δρόμου στη γειτονιά, σε σύγκριση με τις δύο πλευρές). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το τροποποιημένο εργαλείο MAPS Global-SN είχε καλή έως εξαιρετική αξιοπιστία, ενώ το συμπυκνωμένο πρωτόκολλο ελέγχου MAPS Global-SN φάνηκε να αντιπροσωπεύει επαρκώς το πλήρες εργαλείο.

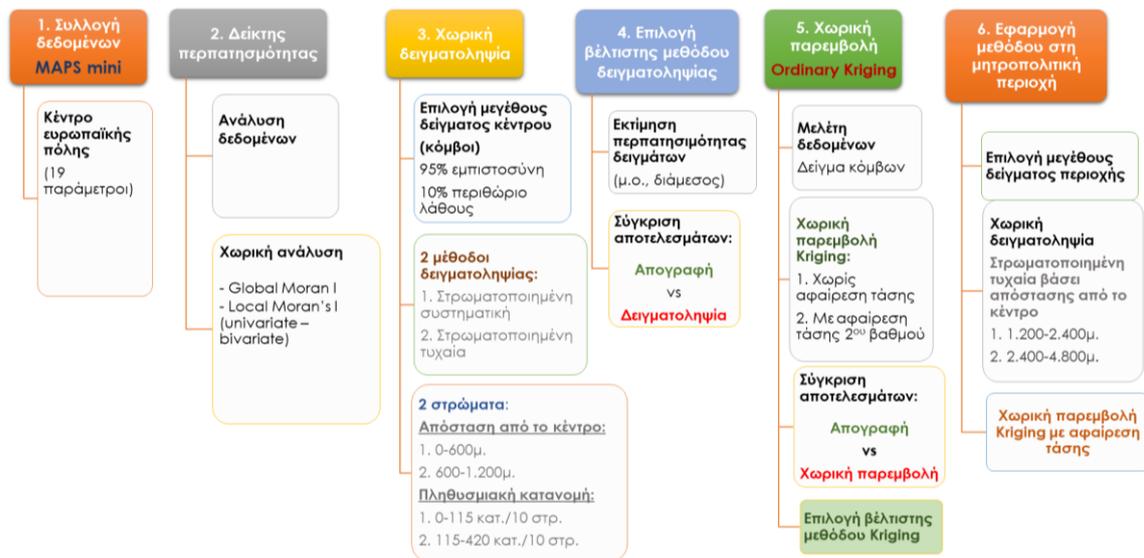
Οι Ghosh et al. (2020) πραγματοποίησαν διαχρονικές αξιολογήσεις σε δύο γειτονιές αφροαμερικανών χαμηλού εισοδήματος σε τρεις περιόδους (έτη 2012, 2015, 2017) και πρότειναν το εργαλείο ελέγχου οδών Pittsburgh Hill / Homewood Research on Neighborhood Change and Health (PHRESH) που αποτελεί μια τροποποίηση παλαιότερων εργαλείων, με έμφαση στα χαρακτηριστικά περιβάλλοντος που σχετίζονται με τη σωματική δραστηριότητα, τον ύπνο και τις παθολόγες συμπεριφορές. Σε κάθε χρονική περίοδο, ελέγχθηκε ένα δείγμα των τμημάτων των δρόμων δύο φορές και αξιολογήθηκε η αξιοπιστία του. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι εμφανίζεται μέτρια ή υψηλή συμφωνία σε κάθε χρονικό σημείο σε ποσοστό 81%.

Έχοντας ως βάση τις προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί στην συντόμευση του χρόνου και τη μείωση του κόστους απογραφής με τα εργαλεία ελέγχου των οδών, η παρούσα εργασία αναπτύσσει και δοκιμάζει μία μέθοδο που βασίζεται στην ιδέα της αξιολόγησης μόνο ενός δείγματος της περιοχής που μελετάται και στη συνέχεια την αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του επιπέδου της περπατησιμότητας σε ολόκληρη την περιοχή με τη χρήση της μεθόδου της χωρικής παρεμβολής. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη των στόχων παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

3 Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της ελκυστικότητας του αστικού χώρου αναφορικά με την μετακίνηση πεζή και με ποδήλατο (περπατησιμότητα), αλλά και για την ανάπτυξη του μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση του ίδιου μεγέθους, λαμβάνοντας υπόψη μέρος των προς αξιολόγηση περιοχών με τη μέθοδο της χωρικής δειγματοληψίας.

Στο Διάγραμμα 3-1 παρουσιάζονται διαγραμματικά τα έξι βασικά βήματα της μεθοδολογίας, η σειρά με την οποία αυτά εφαρμόστηκαν, αλλά και τα επί μέρους βήματα που απαρτίζουν τον κάθε στάδιο μαζί με τις πιο σημαντικές επιλογές που έγιναν σε αυτά.



Διάγραμμα 3-1: Διάγραμμα ροής βημάτων του μεθοδολογικού πλαισίου της παρούσας εργασίας

3.1 Εργαλείο MAPS mini

Το πρώτο βήμα στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν ο προσδιορισμός της ελκυστικότητας του κέντρου ενός αστικού ιστού με γνώμονα τη μετακίνηση των πεζών και των ποδηλάτων, ή αλλιώς την περπατησιμότητα. Η αξιολόγηση της περπατησιμότητας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εργαλείου απογραφής μικροκλίμακας MAPS mini που περιλαμβάνει 15 παραμέτρους προς αξιολόγηση. Πρόκειται για μια απλή μέθοδο για τον αξιολογητή και επιτρέπει τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων χωρίς την ανάγκη επίσκεψης στο πεδίο.

Με δεδομένη την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στον τομέα των μεθόδων απογραφής μικροκλίμακας για την εκτίμηση της περπατησιμότητας, η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί την συντομευμένη μέθοδο MAPS mini, η οποία είναι απλή στη χρήση της για τον αξιολογητή και επιτρέπει τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων ακόμα κι απόσταση, χωρίς την ανάγκη επίσκεψης στο πεδίο. Οι Sallis et al. (2015) απέδειξαν ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου σε σύγκριση με την πλήρη έκδοση της μεθόδου MAPS έχουν υψηλή θετική συσχέτιση με συντελεστή $r = 0,85$, ενώ η συσχέτισή της με τη φυσική δραστηριότητα είναι γραμμική και θετική για όλα τα ηλικιακά γκρουπ.

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος που εφαρμόστηκε διαφοροποιείται σε ορισμένα σημεία από το αρχικό εργαλείο MAPS mini και προστίθενται σε αυτή επιπλέον τέσσερις μεταβλητές, ώστε τελικά το σύνολό τους να είναι δεκαεννέα (19). Οι διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στην πρώτη (S1), τη δεύτερη (S2) και την ενδέκατη (S11), ενώ προστίθενται επιπλέον οι δέκατη τρίτη (S13), η δέκατη τέταρτη (S14), η δέκατη πέμπτη (S15) και η δέκατη έκτη (S16) μεταβλητή. Στην πρώτη μεταβλητή που αφορά στην κατηγορία των χρήσεων γης, δίδεται ένας βαθμός όχι μόνο στους εμπορικούς δρόμους αλλά και στις περιπτώσεις που πάνω από το 50% της πλευράς του δρόμου δεν είναι κατοικία ή κενός χώρος και περιλαμβάνει και χρήσεις όπως εκπαίδευση, τράπεζα, σουπερ μάρκετ, νοσοκομείο κ.λπ.. Στη δεύτερη μεταβλητή λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο τα δημόσια πάρκα, αλλά και οι πλατείες καθώς αποτελούν ζωτικούς χώρους σχεδόν σε όλες τις ευρωπαϊκές πόλεις τόσο για το παιχνίδι των παιδιών, όσο και για τους ενήλικες και τους ηλικιωμένους ως τόπος συνάντησης (Bartzokas et al, 2020). Στην ενδέκατη μεταβλητή που αφορά στο διαχωρισμό του πεζοδρομίου από την κυκλοφορία των οχημάτων, δίδεται ένας βαθμός και στις περιπτώσεις των πεζοδρόμων. Τέλος, αναφορικά με τις επιπλέον τέσσερις μεταβλητές που προστέθηκαν (S13, S14, S15 και S16) θεωρήθηκε ότι η καθεμία ξεχωριστά συμβάλλει στη βελτίωση της περπατησιμότητας μια περιοχής, δίνοντας έμφαση παράλληλα και στην μετακίνηση με το ποδηλάτων με την S15 μεταβλητή που αναφέρεται στην ύπαρξη χώρου στάθμευσης αποκλειστικά για ποδήλατα και την S16 που αφορά στην ύπαρξη σταθμών εγκατεστημένου συστήματος κοινόχρηστων ποδηλάτων. Στον Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν με τη διαφοροποιημένη τη μέθοδο MAPS mini, καθώς και η βαθμολογία που δίδεται για στην καθεμία ανά περίπτωση.

3.2 Συλλογή δεδομένων και υπολογισμός της συνολικής βαθμολογίας περπατησιμότητας

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε δικτυακά και όχι με επίσκεψη στο πεδίο. Οι Phillips et al. (2017) διαπίστωσαν ότι τα αποτελέσματα των εξ αποστάσεως καταγραφών μέσω διαδικτυακών εργαλείων, που πραγματοποιήθηκαν από αξιολογητές που ζουν σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και δεν είναι εξοικειωμένοι με την περιοχή καταγραφής, δείχνουν υψηλή θετική συσχέτιση με τις επιτόπιες καταγραφές του εργαλείου MAPS abbreviated (Cain et al., 2017). Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε από έναν αξιολογητή με τη βοήθεια εικόνων της υπηρεσίας Google Street View, αξιολογώντας την κάθε πλευρά οικοδομικού τετραγώνου και τη σύνδεσή της με την απέναντι πλευρά, ως προς τις μεταβλητές που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω. Η καταγραφή, διαχείριση και μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ArcGIS, έκδοση 10.5 (ESRI, Redlands, CA, USA). Οι καταγραφείσες πλευρές και συνδέσεις αποδόθηκαν με polylines τα οποία προέκυψαν από διάσπαση των οικοδομικών τετραγώνων (ΟΤ) της βάσης European Urban Atlas 2012 η οποία παρέχει πληροφορίες χρήσεων γης σε επίπεδο ΟΤ για πολλές αστικές ευρωπαϊκές περιοχές.

Ο υπολογισμός της βαθμολογίας για κάθε πλευρά ΟΤ με τη σύνδεσή της με την απέναντι πλευρά, προέκυψε αθροίζοντας τους συνολικούς πόντους που έλαβε η πλευρά σε κάθε μεταβλητή, και έπειτα διαιρώντας το αποτέλεσμα με 26, όση είναι δηλαδή η μέγιστη βαθμολογία που μπορεί να λάβει η πλευρά που αξιολογήθηκε.

$$\text{Βαθμολογία περπατησιμότητας ανά πλευρά ΟΤ} = \frac{S1 + S2 + \dots + S15 + S16 + C1_1 + C1_2 + C1_3}{26}$$

Τέλος, υπολογίστηκε ένας συνολικός δείκτης που δίνει την εικόνα της ελκυστικότητας για την πεζή μετακίνηση σε ολόκληρη την περιοχή που πραγματοποιήθηκε η καταγραφή. Αυτός προκύπτει, κατ' αντιστοιχία με τον υπολογισμό του δείκτη ανά πλευρά ΟΤ, από το άθροισμα των σταθμισμένων βαθμολογιών που έχουν λάβει όλες οι πλευρές με βάση το συνολικό τους μήκος, ανά μεταβλητή, διαιρεμένο με τη μέγιστη δυνατή βαθμολογία που είναι 26. Δηλαδή, ο συνολικός δείκτης περπατησιμότητας προκύπτει από τον τύπο:

$$\begin{aligned} & \text{Συνολική βαθμολογία περπατησιμότητας:} \\ & = \frac{S1^* + S2^* + \dots + S15^* + S16^* + C1_1^* + C1_2^* + C1_3^*}{26} \end{aligned}$$

όπου,

$$S1^* = \frac{(\text{Συνολικό μήκος πλευρών με τιμή 0}) \times 0 + (\text{Συνολικό μήκος πλευρών με τιμή 1}) \times 1}{\text{Συνολικό μήκος πλευρών που έχουν λάβει βαθμολογία στην S1}}$$

κ.ο.κ. για τις υπόλοιπες σταθμισμένες συνολικές βαθμολογίες των μεταβλητών.

Πίνακας 3-1: Παράμετροι αξιολόγησης της κάθε πλευράς ΟΤ και τη σύνδεσής της με άλλη πλευρά σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο MAPS mini

Παράμετρος	Περιγραφή	Βαθμολογία	Επεξήγηση
S1	Κατηγορία χρήσης γης	0	Κυρίως κατοικία ή κενός χώρος
		1	Μικτή χρήση (π.χ. εμπορική, εκπαιδευτική κλπ.)
S2	Πρόσβαση σε πάρκο ή πλατεία	0	Χωρίς πρόσβαση σε πάρκο/πλατεία
		1	Μία πρόσβαση σε πάρκο/πλατεία
		2	Δύο ή και περισσότερες προσβάσεις
S3	Στάσεις ΜΜΜ	0	Καμία
		1	Μία
		2	Δύο ή περισσότερες
S4	Δημόσια καθισκά	0	Κανένα
		1	Τουλάχιστον ένα
S5	Δημόσιος αστικός φωτισμός	0	Καθόλου
		1	Μέτριος
		2	Επαρκής
S6	Συντήρηση κτιρίων	0	Τουλάχιστον ένα μη συντηρημένο
		1	Όλα ικανοποιητικά συντηρημένα
S7	Υπαρξη γκράφιτι	0	Τουλάχιστον ένα
		1	Κανένα
S8	Υπαρξη ποδηλατοδρόμου	0	Δεν υπάρχει
		1	Ποδηλατολωρίδα με οριζόντια σήμανση
		2	Ποδηλατόδρομος με φυσικό διαχωριστικό
S9	Υπαρξη πεζοδρομίου	0	Δεν υπάρχει
		1	Υπάρχει
S10	Συντήρηση πεζοδρομίου	0	Κακή ή απουσία πεζοδρομίου
		1	Ικανοποιητική
S11	Διαχωρισμός πεζοδρομίου από τα οχήματα	0	Κανένας ή απουσία πεζοδρομίου
		1	Ναι ή οδός χωρίς κυκλοφορία
S12	Σκίαση πεζοδρομίου	0	Σε ποσοστό 0-25% του πεζοδρομίου
		1	Σε ποσοστό 26-75% του πεζοδρομίου
		2	Σε ποσοστό 76-100% του πεζοδρομίου

Παράμετρος	Περιγραφή	Βαθμολογία	Επεξήγηση
S13	<i>Πλάτος πεζοδρομίου</i>	0	Περπατούν άνετα έως 2 άτομα σε όλο το μήκος
		1	Περπατούν άνετα 3+ άτομα σε όλο το μήκος
S14	<i>Λωρίδες κυκλοφορίας οχημάτων</i>	0	1 λωρίδα ή οδός χωρίς κυκλοφορία οχημάτων
		1	2-3 λωρίδες
		2	4 ή περισσότερες λωρίδες
S15	<i>Χώρος στάθμευσης ποδηλάτων</i>	0	Δεν υπάρχει
		1	Υπάρχει
S16	<i>Σταθμός κοινόχρηστων ποδηλάτων</i>	0	Δεν υπάρχει
		1	Υπάρχει
C1_1	<i>Φωτεινή σηματοδότηση</i>	0	Δεν υπάρχει
		1	Υπάρχει
C1_2	<i>Ράμπες πεζοδρομίου</i>	0	Καμία
		1	Μόνο στη μία πλευρά
		2	Και στις δύο πλευρές
C1_3	<i>Οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών</i>	0	Δεν υπάρχει
		1	Υπάρχει

Πηγή: Bartzokas-Tsiompras et al (2020)

3.3 Χωρική ανάλυση με δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης

Τα στατιστικά μέτρα χωρικής ανάλυσης μπορούν να εντοπίσουν και να αναδείξουν χωρικά πρότυπα μεγεθών τόσο σε ευρύτερη (global) όσο και τοπική (local) κλίμακα. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκαν δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης που εξετάζουν αν η τιμή μιας μεταβλητής στο χώρο συσχετίζεται ή είναι ανεξάρτητη από τις τιμές της σε γειτονικές τοποθεσίες, ανιχνεύοντας έτσι χωρικές συγκεντρώσεις. Όταν διαπιστώνεται αυτοσυσχέτιση οι τιμές μιας χωρικής μεταβλητής εμφανίζονται περισσότερο συγκεντρωμένες παρά διάσπαρτες. Μια θετική χωρική αυτοσυσχέτιση δείχνει ένα χωρικό πρότυπο όπου τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των παρόμοιων τιμών έχουν την τάση να ομαδοποιούνται σε ένα χάρτη, ενώ μια αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση δείχνει ένα χωρικό πρότυπο στο οποίο τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των παρόμοιων τιμών διασκορπίζονται στο χάρτη (Φώτης 2009). Όταν η χωρική αυτοσυσχέτιση δεν έχει στατιστική σημαντικότητα τότε το χωρικό πρότυπο κατανομής εμφανίζεται ως τυχαίο (Chou, 1997).

Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε πρώτα ο σφαιρικός δείκτης global Moran's I, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν το χωρικό πρότυπο της περπατησιμότητας είναι ομαδοποιημένο, τυχαίο ή διασκορπισμένο. Ο δείκτης Moran I ορίζεται ως το μέτρο του συσχετίσης μεταξύ γειτονικών παρατηρήσεων σε μια χωρική διάταξη (Boots and Getis 1988). Ο υπολογισμός του δείκτη Moran I (Moran, 1948) πραγματοποιείται με το πηλίκο της χωρικής συνδιακύμανσης με την συνολική διακύμανση της μεταβλητής. Οι τιμές που προκύπτουν είναι σε κλίμακα από το -1 έως το 1. Οι θετικές τιμές δείχνουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τις αρνητικές τιμές. Η μηδενική τιμή του δείκτη δεν αντιπροσωπεύει καμία χωρική αυτοσυσχέτιση και φανερώνει ένα τυχαίο πρότυπο (Φώτης 2009). Ωστόσο, ο δείκτης global Moran's I δεν υποδεικνύει πού εντοπίζονται χωρικά οι αυτοσυσχετίσεις ούτε πόσο μεγάλες είναι, για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε επιπλέον ο τοπικός δείκτης local Moran's I.

Ο δείκτης local Moran's I είναι ένας τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης (LISA) που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη γεωγραφική ανάλυση προκειμένου να εντοπίσει θερμά και ψυχρά σημεία (hot/cold spots), καθώς και για να τα κατατάξει σε χωρικές συγκεντρώσεις ή χωρικά ακραία (Anselin, 1995). Για να γίνει αυτό, το εργαλείο υπολογίζει τοπικές τιμές του δείκτη Moran I, το Z-score, το p-value, που αντανακλούν τη στατιστική σημαντικότητα της υπολογιζόμενης τιμής του δείκτη.

Θετική τιμή του δείκτη I δείχνει ότι η οντότητα περιβάλλεται από οντότητες με παρόμοιες τιμές. Μια τέτοια οντότητα είναι μέρος μιας συκέντρωσης. Αρνητική τιμή του δείκτη σημαίνει ότι η οντότητα είναι περιτριγυρισμένη από οντότητες με ανόμοιες τιμές. Μια τέτοια οντότητα συνιστά ένα χωρικό ακραίο (spatial outlier). Ο τοπικός δείκτης Moran μπορεί να ερμηνευθεί μόνο στο πλαίσιο της υπολογιζόμενης Z-score ή p-value μέσω των οποίων αναδεικνύονται συμπλέγματα υψηλών τιμών (HH), χαμηλών τιμών (LL) και χωρικών ακραίων όπου υψηλές τιμές περιβάλλονται από χαμηλές (HL) και το αντίστροφο (LH) (Φώτης 2009).

Οι υπολογισμοί των παραπάνω δεικτών έγιναν με τα λογισμικά ArcGIS, έκδοση 10.5 (ESRI), Redlands, CA, USA και GoeDa 1.16.0.6. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μονομεταβλητή (univariate) ανάλυση με τον τοπικό δείκτη Moran's για την κάθε μέση τιμή περπατησιμότητας υπολογισμένης σε κελιά διαστάσεων 100x100μ., χρησιμοποιώντας βάρος απόστασης τον πλησιέστερο γείτονα προς όλες τις κατευθύνσεις (queen contiguity, 1st order). Επίσης, εφαρμόστηκε διμεταβλητή (bivariate) ανάλυση με τον τοπικό δείκτη Moran's, ως μέτρο αναγνώρισης της χωρικής αυτοσυσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων του πληθυσμού και της περπατησιμότητας.

3.4 Χωρική δειγματοληψία

Ο κύριος περιορισμός που αντιμετωπίζουν τα εργαλεία καταγραφής μικροκλίμακας είναι ο αυξημένος χρόνος και πόροι για τη συλλογή των δεδομένων. Ο ίδιος περιορισμός υφίσταται ακόμη και στις συντομευμένες εκδοχές των εργαλείων και το πρόβλημα εντείνεται όσο μεγαλώνει η έκταση της υπό εξέταση περιοχής. Στόχος είναι να προσδιοριστεί η μέθοδος της χωρικής δειγματοληψίας που θα αντιπροσωπεύσει καλύτερα τη συνολική απογραφή του δομημένου περιβάλλοντος, δηλαδή θα δώσει τα βέλτιστα αποτελέσματα στην εκτίμηση του δείκτη της περπατησιμότητας.

Αναμφισβήτητα, ο καλύτερος τρόπος μελέτης των ιδιοτήτων ενός γεωγραφικού πληθυσμού είναι η μελέτη κάθε αντικειμένου ξεχωριστά. Συχνά όμως, δεν είναι αναγκαίο, αλλά ούτε και πρακτικό να αναζητήσουμε τις μετρήσεις ή απαριθμήσεις για ολόκληρο τον πληθυσμό (Φώτης, 2011). Στην περιοχή μελέτης που καταγράφηκε με την ελαφρά τροποποιημένη μέθοδο MAPS mini εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι χωρικής δειγματοληψίας, η στρωματοποιημένη συστηματική και η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία, προκειμένου να προσδιοριστεί εκείνη που δίνει την πλησιέστερη εκτίμηση του δείκτη της περπατησιμότητας στον πραγματικό. Για την κάθε δειγματοληπτική μέθοδο, εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικοί τρόποι στρωματοποίησης, ένας με βάση την απόσταση από το κεντρικότερο σημείο της πόλης σύμφωνα με το Google Maps και ένας με βάση την κατανομή του πληθυσμού στην περιοχή.

Ως πληθυσμός της δειγματοληψίας, θεωρήθηκαν οι κόμβοι του οδικού δικτύου της υπό μελέτη περιοχής. Αυτοί προέκυψαν από τους άξονες των οδών που λήφθηκαν από το Open Street Maps (OSM) και με την εφαρμογή του πρωτοκόλλου δημιουργίας κόμβων (διασταυρώσεων), όπως περιγράφεται στο Neat GIS Protocols, v. 5.1 (2012), στο οποίο ως ελάχιστη ακτίνα συνένωσης γειτονικών κόμβων σε έναν χρησιμοποιήθηκαν τα 10μ.

Στους κόμβους που προέκυψαν αποδόθηκαν οι αντίστοιχες τιμές πυκνότητας του δείκτη της περπατησιμότητας, όπως αυτές προέκυψαν κατά το στάδιο απογραφής της περιοχής. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε πρώτα ένα κανονικοποιημένο αρχείο (raster) πυκνότητας της βαθμολογίας όλων των αξιολογηθαισών πλευρών για κάθε μεταβλητή (Kernel density) με ακτίνα αναζήτησης 400μ.. Στη συνέχεια έγινε η πρόσθεση όλων των κανονικοποιημένων αρχείων των μεταβλητών που προέκυψαν σε ένα και οι τιμές διαιρέθηκαν με τη μέγιστη δυνατή βαθμολογία (26). Από το τελικό κανονικοποιημένο αρχείο αποδόθηκαν τιμές πυκνότητας του δείκτη περπατησιμότητας σε κάθε κόμβο της υπό μελέτη περιοχής. Τα Η περιγραφόμενη διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS, έκδοση 10.5 (ESRI).

3.4.1 Καθορισμός μεγέθους δείγματος

Το μέγεθος του δείγματος των κόμβων υπολογίζεται από τον στατιστικό τύπο:

$$n = (Z_{\alpha/2} \cdot s/\theta)^2$$

όπου,

n = το απαιτούμενο μέγεθος του δείγματος

$Z_{\alpha/2}$ = η τιμή του z για διάστημα εμπιστοσύνης $(100-\alpha)\%$

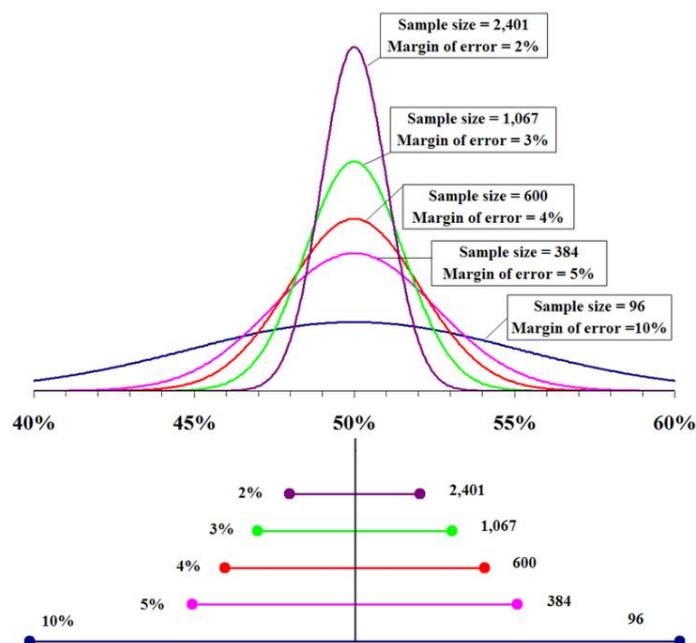
s = η τυπική απόκλιση του δείγματος

θ = το περιθώριο λάθους

Για τον καθορισμό του μεγέθους του δείγματος στην εφαρμογή, επιλέχθηκε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και περιθώριο λάθους 10%, ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν περισσότερο ο απαιτούμενος όγκος καταγραφής και να διαπιστωθεί εάν αυτό δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η σχέση του περιθωρίου λάθους για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης και η αντίστοιχη μεταβολή του μεγέθους του δείγματος περιγράφεται στο παράδειγμα της Εικόνας 3-1.

Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη μέθοδο τους στρωματοποιημένης δειγματοληψίας είναι ο καταμερισμός του συνολικού δειγματικού μεγέθους n στα k διαθέσιμα στρώματα, δηλαδή ο καθορισμός των τιμών των μεγεθών n_1, n_2, \dots, n_k των k απλών τυχαίων δειγμάτων. Αν το δειγματοληπτικό κόστος ανά μονάδα είναι το ίδιο σε όλα τα στρώματα και οι διασπορές των στρωμάτων δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό, τα μεγέθη n_1, n_2, \dots, n_k συνηθίζεται να επιλέγονται έτσι ώστε:

$$\frac{n_i}{N_i} = \frac{n}{N}, \quad i=1, 2, \dots, k.$$



Εικόνα 3-1: Μέγεθος δείγματος και περιθώριο λάθους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, Πηγή: Wikipedia

Ο σχεδιασμός τους είναι γνωστός ως αναλογικός καταμερισμός του n (proportional allocation) και η δειγματοληπτική τεχνική ονομάζεται αναλογική στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία (proportional stratified random sampling). Στην περίπτωση αυτή:

$$n_i = n \frac{N_i}{N}, \quad i=1, 2, \dots, k,$$

δηλαδή, το μέγεθος του δείγματος από ένα στρώμα είναι ανάλογο του ποσοστού των μονάδων του πληθυσμού που το στρώμα εκπροσωπεί (Ξεκαλάκη, 2004). Με τον τρόπο αυτό επιλέχθηκε και το μέγεθος του δείγματος και καταμερίστηκε ανά στρώμα.

3.4.2 Στρωματοποιημένη δειγματοληψία με βάση την απόσταση από το κέντρο

Για τη μελέτη του ευρωπαϊκού αστικού περιβάλλοντος στην οποία επικεντρώθηκε η παρούσα εργασία, θεωρήθηκε ότι το επίπεδο του δείκτη της περπατησιμότητας μεταβάλλεται όσο απομακρυνόμαστε από το εμπορικό και ιστορικό κέντρο της πόλης. Για να επιβεβαιωθεί αυτή η συσχέτιση υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης των δύο μεταβλητών. Έτσι, το διευρυμένο εμπορικό κέντρο της πόλης χωρίστηκε σε δύο κυκλικές ζώνες (buffers) με κέντρο τους το κεντρικότερο σημείο τους. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται σε ακτίνα έως 600μ. από το κέντρο, ενώ το δεύτερο σε ακτίνα από 600 – 1200μ. από το κέντρο. Για το κάθε στρώμα εφαρμόστηκε συστηματική και τυχαία δειγματοληψία.

3.4.2.1 Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία

Στην τεχνική της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας και λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του δείγματος ανά στρώμα (αριθμός κόμβων), δημιουργήθηκαν δύο κάναβοι που καλύπτουν την περιοχή καταγραφής, τους ανά δειγματοληπτικό στρώμα, με τυχαία αρχή αξόνων (x,y) και μέγεθος κελιού κατάλληλων διαστάσεων ώστε ο αριθμός των κελιών να αντιστοιχεί στο μέγεθος του δείγματος ανά στρώμα. Στη συνέχεια λήφθηκε για κάθε κελί ο πλησιέστερος κόμβος στο κέντρο του και με αυτό τον τρόπο συγκεντρώθηκε το δείγμα των κόμβων για τα δύο στρώματα.

3.4.2.2 Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία

Για την στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία λήφθηκαν το απαραίτητο δείγμα ανά στρώμα με την επιλογή τυχαίων (random) κόμβων από ολόκληρο τον πληθυσμό των κόμβων. Αυτό έγινε με το λογισμικό ArcGIS μία φορά για κάθε στρώμα.

3.4.3 Στρωματοποιημένη δειγματοληψία με βάση την πληθυσμιακή κατανομή στο χώρο

Η δεύτερη τεχνική στρωματοποίησης πραγματοποιήθηκε με βάση τη χωρική κατανομή του πληθυσμού στην περιοχή. Τα πληθυσμιακά δεδομένα λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων τους Ευρωπαϊκής Επιτροπής Data Challenge on Integration of Migrants in Cities (Data for Integration – D4I). Πρόκειται για δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης σε επίπεδο κανάβου σημείων 100x100μ. τα οποία συγκεντρώθηκαν από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (J.R.C.) τους Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η προέλευσή τους είναι από τους εθνικές στατιστικές αρχές 8 κρατών μελών τους Ε.Ε. (Γερμανία, Γαλλία, Ισπανία Ιταλία, Ολλανδία, Ιρλανδία, Πορτογαλία, Ηνωμένο Βασίλειο) και διατίθενται μόνο για ερευνητικούς σκοπούς. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν, επίσης, στατιστικά στοιχεία απογραφής του πληθυσμού (2011) με την πληθυσμιακή συγκέντρωση ανά ιθαγένεια/ χώρα γέννησης και παρέχονται για τις 8 χώρες σε ανάλυση 100x100μ. Επίσης, συνοδεύονται από βοηθητικά γεωγραφικά δεδομένα και συμπληρωματικές πληροφορίες (NUTS, FUA, Communes). Για τα πληθυσμιακά δεδομένα D4I διατίθεται υπηρεσία θέασης στη διεύθυνση: https://ec.europa.eu/knowledge4policy/visualisation/maps-migrants-communities-cities_en (Ηλεκτρονική πρόσβαση, 18.10.2020).

Δημιουργήθηκαν και εδώ δύο στρώματα με την κατανομή ολόκληρου του στατιστικού πληθυσμού των κόμβων βάσει του πληθυσμού των κατοίκων. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία κανάβου με κελί διαστάσεων 100x100μ., όση και η χωρική ανάλυση των πληθυσμιακών δεδομένων με το κέντρο του κάθε κελιού να αντιστοιχεί στα πληθυσμιακά σημεία του D4I. Έτσι, θεωρώντας ότι όλη η επιφάνεια κάθε κελιού έχει τον πληθυσμό του σημείου στο κέντρο του, οι κόμβοι που περιέχονται σε ένα κελί έλαβαν τον πληθυσμό του κελιού. Για να διαπιστωθεί η συσχέτιση, υπολογίστηκε και σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής συσχέτισης Spearman's. Τέλος, δημιουργήθηκαν δύο πληθυσμιακές κλάσεις (quantile), η πρώτη από 0-115 κατοίκους ανά 10 στρ. και η δεύτερη από 115-420 κατοίκους ανά 10στρ., οι οποίες και αποτέλεσαν τα δύο δειγματοληπτικά στρώματα.

3.4.3.1 Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία

Κατ' αντιστοιχία με τη μέθοδο που εφαρμόστηκε στη στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία με βάση την απόσταση από το κέντρο, δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο τους κανάβος για κάθε στρώμα, και το δείγμα λήφθηκε από τους κόμβους που ήταν πλησιέστερα στα κέντρα των κελιών των κανάβων.

3.4.3.2 Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία

Ομοίως με τη στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με βάση την απόσταση από το κέντρο έγινε η επιλογή τυχαίων κόμβων ανά στρώμα σύμφωνα με το απαιτούμενο μέγεθος το δείγματος.

3.4.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δειγματοληψίας

Στο αμέσως επόμενο βήμα αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα των διαφορετικών μεθόδων δειγματοληψίας. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της δειγματοληψίας με αυτά της πλήρους καταγραφής με το εργαλείο MAPS mini. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο μέσος και ο διάμεσος δείκτης περπατησιμότητας για τους κόμβους (1)

ολόκληρου του στατιστικού πληθυσμού της περιοχής απογραφής, (2) του δείγματος της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο, (3) του δείγματος της στρωματοποιημένης τυχασίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο, (4) του δείγματος της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας με στρωματοποίηση τον πληθυσμό, (5) του δείγματος της στρωματοποιημένης τυχασίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση τον πληθυσμό.

Η σύγκριση των δεικτών περπατησιμότητας των τεσσάρων δειγματοληπτικών δοκιμών με το δείκτη περπατησιμότητας του στατιστικού πληθυσμού των κόμβων ανέδειξε τη στρωματοποιημένη τυχασία δειγματοληψία με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο, ως τη βέλτιστη μέθοδο για την αντιπροσώπευση του συνόλου της υπό μελέτη περιοχής για την ακριβέστερη εκτίμηση του δείκτη της περπατησιμότητας.

3.4.5 Εφαρμογή βέλτιστης δειγματοληπτικής μεθόδου στην μητροπολιτική περιοχή τους υπό εξέταση πόλης.

Η βέλτιστη δειγματοληπτική μέθοδος εφαρμόστηκε στη μητροπολιτική περιοχή της πόλης εφαρμογής εξωτερικά της απογεγραμμένης περιοχής. Για να επιτευχθεί αυτό, δημιουργήθηκαν οι οδικοί κόμβοι με τον τρόπο που έχει περιγραφεί στην παράγραφο 3.4 (Χωρική δειγματοληψία) και ακολουθήθηκε η πιο πάνω μεθοδολογία για τον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος για το νέο στατιστικό πληθυσμό των κόμβων.

Δημιουργήθηκαν και σε αυτή την περιοχή δύο στρώματα με βάση την απόσταση του κεντρικότερου σημείου του κέντρου, όπως αυτό καθορίστηκε στα προηγούμενα, από τα κεντροειδή των συνοικιών περιοχής δειγματοληψίας, σε απόσταση έως 2.400μ. για το πρώτο στρώμα και έως 4.800μ. για το δεύτερο. Για τα στρώματα έγινε η παραδοχή ότι η επίδραση στην ελκυστικότητά της πόλης για την πεζή μετακίνηση είναι περισσότερο άμεση όσο για περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στο ιστορικό και εμπορικό της κέντρο, ενώ μειώνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση από αυτό. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν στρώματα μεγαλύτερου εύρους απόστασης από το κέντρο σε σχέση με την κεντρική περιοχή.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκε το δείγμα και έγινε η απογραφή με το τροποποιημένο εργαλείο MAPS mini όλων των πλευρών των δρόμων που η συμβολή τους δημιουργεί τους κόμβους του δείγματος. Ο μέσος όρος των δεικτών περπατησιμότητας των απογεγραμμένων πλευρών ανά κόμβο δίνει το δείκτη περπατησιμότητας του κόμβου.

3.5 Χωρική παρεμβολή Kriging

Η γεωστατιστική μέθοδος χωρικής συσχέτισης Kriging αποτελεί μία οικογένεια γενικευμένων αλγορίθμων ελαχίστων τετραγώνων (Li et al., 2008). Ως μέθοδος πρόγνωσης δημιουργήθηκε από τον Γάλλο μαθηματικό Georges Matheron με τη θεωρία του για τις περιφερειακές μεταβλητές (regionalized variables), που βασίστηκε στη διατριβή του νότιοαφρικανού μηχανικού ορυχείων Danie G.Krige, ο οποίος ανέπτυξε τη μέθοδο για την εκτίμηση αποθεμάτων μετάλλων στη Νότια Αφρική κατά τη δεκαετία του 1950. Η μέθοδος χρησιμοποιείται από τις αρχές του 1970, αρχικά στις μεταλλευτικές βιομηχανίες της δυτικής Ευρώπης και της Νότιας Αφρικής, ενώ σήμερα η χρήση της έχει επεκταθεί σε πολυάριθμα πεδία (πετρέλαιο, εδαφολογία, σεισμολογία, υδρολογία κ.λπ.) σε Αμερική, Αυστραλία, Αφρική και Ασία. (Δερμάνης, 2009)

Σύμφωνα με τον Bohling (2005), η εφαρμογή των μεθόδων Kriging είναι βέλτιστη μεταξύ όλων των ανεπηρέαστων εκτιμητριών όταν: (α) Η κατανομή της πιθανότητας είναι κοντά στην

κανονική κατανομή, (β) η συνάρτηση συμμεταβλητότητας και το βαριόγραμμα είναι ανεξάρτητα από τη θέση των εξεταζόμενων σημείων.

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι βασίζονται σε τυχαίες διεργασίες με εξάρτηση (dependence). Η εξάρτηση αυτή καλείται αυτοσυσχέτιση, και γνωρίζοντάς την μπορούν να γίνουν προβλέψεις. Το Kriging βασίζεται: (α) στην εκτίμηση του βαριογράμματος και των συναρτήσεων συμμεταβλητότητας των στατιστικά εξαρτώμενων τιμών (χωρική αυτοσυσχέτιση) και (β) στην πρόβλεψη των άγνωστων τιμών με χρήση γενικευμένων γραμμικών τεχνικών παλινδρόμησης. Λόγω των δύο παραπάνω διαδοχικών βημάτων, έχει επικρατήσει ότι στη γεωστατιστική τα δεδομένα χρησιμοποιούνται πρώτα για την εκτίμηση της χωρικής αυτοσυσχέτισης και έπειτα για την πρόβλεψη των άγνωστων τιμών. (de Smith et al., 2013)

Το μαθηματικό μοντέλο της μεθόδου Kriging αποδίδει βάρη στις τιμές των γνωστών σημείων για την πρόβλεψη τιμών στα άγνωστα σημεία. Ο γενικός μαθηματικός τύπος για τη μέθοδο είναι:

$$\hat{Z}(s_o) = \sum_1^N w_i Z(s_i)$$

όπου $Z(s_i)$ η μετρημένη τιμή στο σημείο i , w_i το άγνωστο βάρος για τη μετρημένη τιμή στο σημείο i , το σημείο πρόβλεψης και N ο αριθμός των σημείων μέτρησης.

Στη μέθοδο Kriging τα βάρη εξαρτώνται όχι μόνο από την απόσταση μεταξύ του γνωστού σημείου και του σημείου πρόβλεψης, αλλά και από τη συνολική χωρική διάταξη μεταξύ των γνωστών σημείων. Ο υπολογισμός της χωρικής αυτοσυσχέτισης επιτρέπει τη χρήση της χωρικής διάταξης στον υπολογισμό των βαρών μέσω του βαριογράμματος.

Το ημιβαριόγραμμα αποτελεί βασικό εργαλείο της χωρικής ανάλυσης της μεθόδου και είναι η γραφική παράσταση της ημιμεταβλητότητας $\gamma(h)$ ως προς την απόσταση h . Δίδει, δηλαδή, πληροφορίες για τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών μιας τυχαίας συνάρτησης και των μεταξύ τους αποστάσεων στο χώρο. Για τη δημιουργία του ημιβαριογράμματος, κάθε ζευγάρι σημείων πρέπει να ομαδοποιηθεί βάσει της μεταξύ τους απόστασης, μιας και είναι δύσκολο να απεικονιστούν όλα τα ζεύγη σε ένα διάγραμμα. Για κάθε κλάση σημείων, τη λεγόμενη lag bin, υπολογίζεται η μέση ημιμεταβλητότητα $\gamma(h)$, η οποία τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος ενώ στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται οι αποστάσεις (lag distances), δηλαδή τα εύρη των κλάσεων. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται εμπειρικό ημιβαριόγραμμα (empirical semivariogram). Η απεικόνιση όλων των ζευγών χωρίς ομαδοποίηση αποτελεί το νέφος του βαριογράμματος.

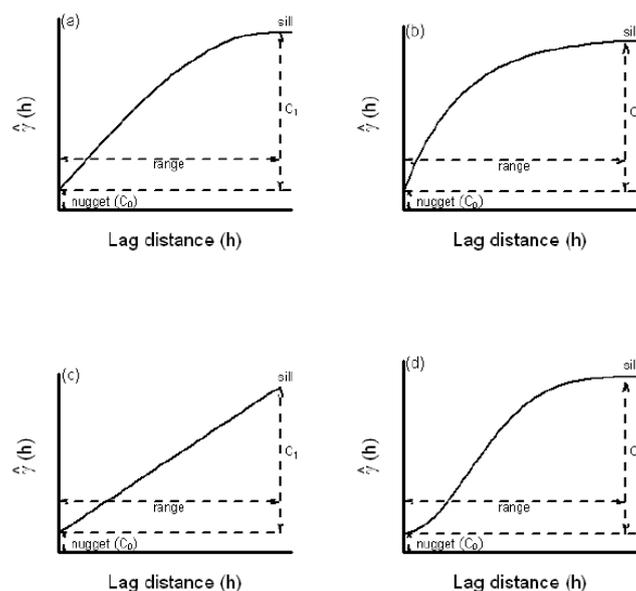
Μετά τη δημιουργία του εμπειρικού ημιβαριογράμματος απαιτείται η προσαρμογή κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων (θεωρητικό ημιβαριόγραμμα) που να περιγράφουν με τη βέλτιστη σαφήνεια τη χωρική διακύμανση της φυσικής ιδιότητας που εξετάζεται. Ο λόγος που απαιτείται η προσαρμογή αυτή είναι ότι το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα δεν παρέχει πληροφορία για τους τις πιθανές διευθύνσεις και αποστάσεις.

Τα πιο συνήθη θεωρητικά μοντέλα που εφαρμόζονται στο νέφος είναι το γραμμικό (linear), το σφαιρικό (spherical), το εκθετικό (exponential) και το μοντέλο Gauss (Gaussian), (Εικόνα 3-2). Στην Εικόνα 3-2 Απεικονίζεται ένα τυπικό ημιβαριόγραμμα με τα βασικά χαρακτηριστικά του:

1. Η εκτιμηθείσα καμπύλη μπορεί να διέρχεται από την αρχή των αξόνων αλλά να τέμνει τον κατακόρυφο άξονα σε σημείο με θετική τιμή. Η τιμή αυτή, που είναι γνωστή ως μικρομετατόπιση (nugget), είναι η χωρική διακύμανση που οφείλεται στο συστηματικό λάθος μέτρησης και δειγματοληψίας, σε μικρομεταβολές δηλαδή τους ιδιότητες που δεν μπορούν να ανιχνευθούν στην κλίμακα δειγματοληψίας ή σε τους άγνωστες πηγές.

2. Το εύρος (range) είναι το τμήμα του ημιβαριογράμματος που δείχνει συνεχή αύξηση της ημιμεταβλητότητας αυξανόμενης της απόστασης ανάμεσα σε δύο θέσεις. Μέσα στα όρια του εύρους οι κοντινές μεταξύ τους θέσεις είναι πιο όμοιες, δηλαδή χωρικά εξαρτημένες, ενώ σημεία που τα χωρίζουν αποστάσεις μεγαλύτερες του εύρους δεν είναι χωρικά εξαρτημένα. Αν η απόσταση που χωρίζει ένα άγνωστο σημείο από ένα γνωστό είναι μεγαλύτερη από το εύρος τότε η συνεισφορά του γνωστού σημείου δεν είναι σημαντική γιατί είναι πολύ μακριά.

3. Η τιμή του κατακόρυφου άξονα γ στην οποία το μοντέλο φτάνει το εύρος ονομάζεται κατώφλι (sill), ενώ η διαφορά του nugget από το κατώφλι ονομάζεται μερικό κατώφλι (partial sill). Ουσιαστικά, είναι το ανώτερο όριο που φτάνει η τιμή $\gamma(h)$, όσο αυξάνεται η τιμή h . Αυτό σημαίνει ότι σε μεγάλες αποστάσεις θεωρητικά δεν υπάρχει αυτοσυσχετισμός του φαινομένου μεταξύ των σημείων του δείγματος.



Εικόνα 3-2: Τυπικά θεωρητικά μοντέλα ημιβαριογράμματος α) Σφαιρικό β) Εκθετικό γ) Γραμμικό δ) Gaussian (Πηγή: Li et al., 2008)

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου Kriging, ωστόσο στη μεθοδολογία της χωρικής παρεμβολής για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το σύνηθες Kriging (ordinary Kriging). Είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη παραλλαγή και η βασική θεώρηση της είναι ότι η γενικευμένη (συνολική) μέση τιμή μ είναι σταθερή αλλά άγνωστη και δε χρειάζεται να εκτιμηθεί από τις παρατηρούμενες τιμές. Δηλαδή, η σχέση παίρνει τη μορφή:

$$Z(\mathbf{s}) = \mu + \varepsilon(\mathbf{s})$$

Οι τιμές που προκύπτουν από τη μέθοδο, είναι γραμμικός συνδυασμός των αρχικών τιμών σταθμισμένων με βάρη που εξαρτώνται από τη χωρική συσχέτιση τους.

3.5.1 Εκτίμηση του σφάλματος και αξιολόγηση της μεθόδου

Για τον προσδιορισμό του σφάλματος και την αξιολόγηση της μεθόδου, χρησιμοποιείται ευρέως η διασταυρούμενη επικύρωση (cross validation). Η μέθοδος αυτή εξαιρεί την τιμή ενός σημείου και την υπολογίζει την εκτίμησή της από τις τιμές των υπολοίπων. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται για το σύνολο των τιμών και στη συνέχεια ακολουθεί η σύγκριση μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης τιμής για κάθε σημείο.

Έτσι, μέθοδοι με μικρότερο σφάλμα στα γνωστά σημεία, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποδίδουν καλύτερα παντού και με βάση τη διασταυρούμενη επικύρωση είναι δυνατό να ελεγχθεί το μοντέλο βαριογράμματος με τη μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης. Επιπλέον, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την ακρίβεια των αρχικών παραδοχών και την ποιότητα των δεδομένων. (Johnston et al., 2003, Li et al., 2008)

Κατά την εφαρμογή της διασταυρούμενης επικύρωσης στη μέθοδο Kriging, υπολογίζονται οι ακόλουθοι δείκτες από τις πραγματικές και εκτιμώμενες τιμές: (Johnston et al., 2003)

- μέσο σφάλμα πρόβλεψης (Mean Prediction Error, MPE)
- ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης (Root Mean Square Prediction Error- RMSPE)
- μέσο τυπικό σφάλμα (Average Standard Error-ASE)
- μέσο τυποποιημένο σφάλμα πρόβλεψης (Mean Standardized Prediction Error-MSPE)
- ρίζα του μέσου τετραγωνικού τυποποιημένου σφάλματος (Root Mean Square Standardized Error-RMSSE)

Ο δείκτης MPE χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του βαθμού επιρροής στις προβλέψεις (bias indicator), αλλά πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή ως δείκτης ακρίβειας, διότι οι αρνητικές και θετικές τιμές απαλείφονται με αποτέλεσμα ο δείκτης να είναι χαμηλότερος από το πραγματικό σφάλμα (Li et al., 2008). Εάν η μέθοδος παρεμβολής είναι ανεπηρέαστη, τότε ο MPE πρέπει να είναι μηδέν. Επίσης, αξιόπιστη θεωρείται μια μέθοδος όταν ο δείκτης RMSPE είναι ίσος με τη μονάδα. Εάν είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα τότε οι τιμές της υπό εξέταση μεταβλητής έχουν υποεκτιμηθεί και αντίστροφα. Ο δείκτης RMSPE, θα πρέπει να παίρνει όσο το δυνατόν μικρότερες τιμές και αποτελεί ένα μέτρο για το μέγεθος του σφάλματος στις προβλέψεις. Είναι όμως ευαίσθητος σε ακραίες τιμές καθώς προσδίδει μεγάλη βαρύτητα σε μεγάλες τιμές σφάλματος. Τέλος, ο δείκτης ASE πρέπει να βρίσκεται κοντά στον RMSPE. Εάν είναι μικρότερος του RMSPE τότε οι τιμές της μεταβλητής έχουν υποεκτιμηθεί και αντίστροφα. (Johnston et al., 2003, Li et al., 2008).

Μία ακόμη μέθοδος για την αξιολόγηση του μοντέλου/βαριογράμματος που χρησιμοποιείται στη μέθοδο Kriging, είναι η Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis) του βαριογράμματος. Μετρά τη μεταβολή στο αποτέλεσμα (output) του μοντέλου, όταν οι μεταβλητές εισόδου (input) αλλάζουν. Η διαδικασία αυτή βοηθάει στον υπολογισμό του λάθους που μπορεί να παράγει το μοντέλο για κάθε τέτοια αλλαγή και εμβαθύνει την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών εισόδου-εξόδου του μοντέλου.

Στη μέθοδο Kriging μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά του βαριογράμματος, δηλαδή τις παραμέτρους nugget, range και partial sill, υπολογίζονται κάθε φορά διαφορετικές τιμές πρόβλεψης για τα σημεία που εξετάζονται. Εάν η προβλεπόμενη τιμή έχει μεγάλη απόκλιση από τη μετρημένη τιμή (μεγάλη τυπική απόκλιση σ), τότε το βαριόγραμμα θεωρείται «ευαίσθητο» και αντίστροφα. Εάν ένα μοντέλο βαριογράμματος προκύπτει «ευαίσθητο» στις αλλαγές, τότε πρέπει να αντικαθίσταται από άλλο.

Στις επιλογές αυτές είναι πολύ σημαντική η μελέτη και κατανόηση του υπό εξέταση φαινομένου και της φύσης των δεδομένων. Οι Johnston et al. (2003) προτείνουν την ακόλουθη προσέγγιση όταν αναλύεται ένα χωρικό φαινόμενο:

1. Απεικόνιση των χωρικών δεδομένων
2. Εξερεύνηση των χωρικών δεδομένων
3. Επιλογή ενός μοντέλου για τη δημιουργία της επιφάνειας πρόβλεψης
4. Αξιολόγηση του μοντέλου και εκτίμηση του σφάλματος
5. Σύγκριση των μοντέλων και επιλογή του καταλληλότερου

Με βάση τη θεωρία της μεθόδου Kriging εφαρμόστηκε η χωρική παρεμβολή, στην εξ ολοκλήρου απογεγραμμένη περιοχή του κέντρου, με βάση τις τιμές του δείκτη περπατησιμότητας των κόμβων του δείγματος. Πραγματοποιήθηκαν δύο βασικές δοκιμές με τη χρήση διαφορετικών παραμέτρων της μεθόδου Kriging και με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS προκειμένου να προσδιοριστεί αυτή που αντιπροσωπεύει καλύτερα την απογεγραμμένη περιοχή.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση του επιπέδου περπατησιμότητας μέσω της χωρικής παρεμβολής με τη μέθοδο Kriging περιλάμβανε τα ακόλουθα βήματα: (α) αρχικά διαπιστώθηκε ότι τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή, (β) στη συνέχεια μελετήθηκε αν τα δεδομένα ακολουθούν κάποιο συστηματικό πρότυπο/ τάση (trend) προκειμένου αυτό να αφαιρεθεί για τη διαδικασία της χωρικής παρεμβολής (γ) υπολογίστηκε για τα δεδομένα ο σφαιρικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης global Moran's I ώστε να επιβεβαιωθεί ότι το χωρικό πρότυπο είναι ομαδοποιημένο, (δ) επιλέχθηκαν οι τιμές lag size και number of lags για να δημιουργηθεί το διάγραμμα ημιμεταβλητότητας, (ε) επιλέχθηκαν οι βέλτιστοι παράμετροι χωρικής παρεμβολής για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα, δηλαδή να προκύπτουν τα μικρότερα/βέλτιστα υπολογιζόμενα σφάλματα.

Για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου χωρικής παρεμβολής που προέκυψαν από τις δύο δοκιμές, τα κανονικοποιημένα (raster) αρχεία της μεθόδου Kriging συγκρίθηκαν με τη χρήση του συντελεστή συσχέτισης spearman με το κανονικοποιημένο (raster) αρχείο πυκνότητας της βαθμολογίας (Kernel density) που δημιουργήθηκε στα προηγούμενα βήματα της εργασίας. Τέλος, η επιλεγείσα τεχνική χωρικής παρεμβολής Kriging εφαρμόστηκε στην ευρύτερη (μητροπολιτική) περιοχή που περιβάλλει την περιοχή μελέτης.

Στο επόμενο Κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η εφαρμογή και αξιολόγηση του μεθοδολογικού πλαισίου στο κέντρο της Μάλαγα και στη συνέχεια στη μητροπολιτική περιοχή της πόλης.

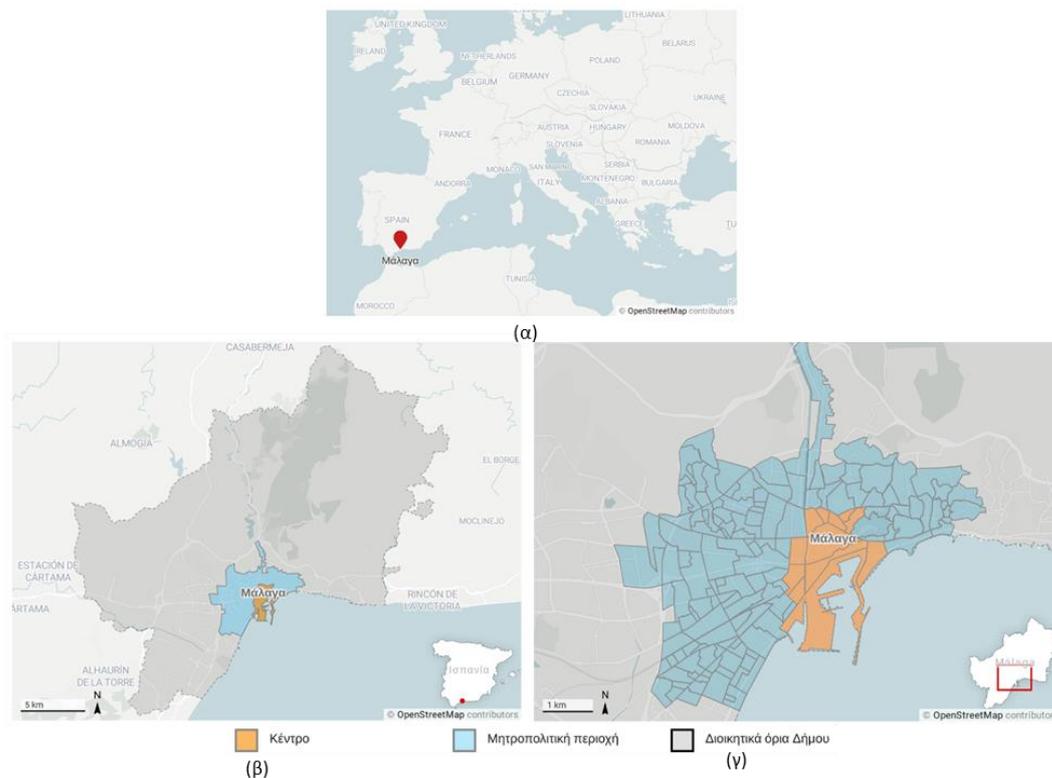
4 Εφαρμογή

4.1 Περιοχή μελέτης, η πόλη της Μάλαγα

Η Μάλαγα είναι πόλη και δήμος της Ισπανίας, αλλά και πρωτεύουσα της ομώνυμης Επαρχίας και βρίσκεται στην Αυτοδιοικούμενη Κοινότητα της Ανδαλουσίας (Εικόνα 4-1). Ο δήμος της Μάλαγα έχει έκταση 398,25 χμ² και τον διασχίζουν δύο ποταμοί, ο Γκουαδαλμεδίνα και ο Γκουαδαλόρθε. Έχει πληθυσμό 574.654 κατοίκους (απογραφή 2019) και είναι η έκτη πόλη σε πληθυσμό της Ισπανίας και η δεύτερη της Ανδαλουσίας. Επίσης είναι η μεγαλύτερη παραλιακή πόλη με τους περισσότερους κατοίκους στη νότια Ισπανία.

Αποτελεί το κέντρο μίας διευρυμένης μητροπολιτικής περιοχής που ξεπερνάει τα όρια του δήμου της και περιλαμβάνει ακόμη δώδεκα δήμους που αθροιστικά αριθμούν περίπου ένα εκατομμύριο κατοίκους, ενώ εκτιμάται ότι είναι η πέμπτη μεγαλύτερη μητροπολιτική περιοχή της Ισπανίας. Από το τέλος του 20ου αιώνα η Μάλαγα αποτελεί πόλο έλξης μεταναστευτικών ροών. Το 2018 ο αριθμός των μεταναστών ήταν 43.563 κάτοικοι, δηλαδή ποσοστό 7,62% του πληθυσμού της (Estadística del Padrón Continuo, 2018).

Μέχρι και τον 20^ο αιώνα, η δυτική όχθη του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα ήταν το αστικό προάστιο και η βιομηχανική περιοχή στην οποία κατοικούσε η εργατική τάξη. Από το 1950 άρχισαν να αναπτύσσονται αστικές γειτονίες με φτωχό όμως αστικό σχεδιασμό και ελλείψεις σε υποδομές και υπηρεσίες, εικόνα που διατηρήθηκε μέχρι το 1990. Το 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή περιέλαβε τη Μάλαγα ανάμεσα σε άλλες υποψήφιες πόλεις που έλαβαν τη χρηματοδότηση URBAN την περίοδο 2007-2013, ως πόλη με βέλτιστες πρακτικές σε σχέση με την αστική ανάπτυξη.



Εικόνα 4-1: Η πόλη της Μάλαγα (α) Στον ευρωπαϊκό χώρο, (α) Διοικητικά όρια του δήμου της Μάλαγα, (β) Εμπορικό και ιστορικό κέντρο της πόλης (πορτοκαλί) και υπό μελέτη αστική μητροπολιτική περιοχή της πόλης (μπλε).

4.1.1 Σημεία ενδιαφέροντος - Ορόσημα

Η Μάλαγα θεωρείται προορισμός ιστορικού ενδιαφέροντος και το παλιό ιστορικό κέντρο της εκτείνεται μέχρι το λιμάνι στα νότια της πόλης και βρίσκεται στα ανατολικά του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα. Στο ιστορικό της κέντρο βρίσκεται το Γιβραλφάρο, ένας λόφος ύψους 130μ. όπου πάνω και γύρω του χωροθετούνται αρκετά από τα μνημεία της πόλης, όπως το Κάστρο του Γιβραλφάρο και το φρούριο του Αλκαθάμπα της μουσουλμανικής περιόδου.

Στη βόρεια πλευρά του Αλκαθάμπα βρίσκεται το Ρωμαϊκό Θέατρο που χτίστηκε στις αρχές του 1^{ου} αιώνα, ενώ στους δυτικούς πρόποδες του Γιβραλφάρο βρίσκεται ο Καθεδρικός Ναός που χτίστηκε μετά τη χριστιανική κατάκτηση της πόλης. Δίπλα στον καθεδρικό ναό βρίσκεται το Επισκοπικό Παλάτι, ένα κλασικό μπαρόκ κτίριο.

Το Πάρκο της Μάλαγα, είναι ένας υποτροπικός βοτανικός κήπος παράλληλα στο ποτάμι, με διαδρόμους περιπάτου μήκους σχεδόν ενός χιλιομέτρου, μεταξύ της πλατείας Plaza de la Marina, προς τα δυτικά, και της Plaza de toros Malagueta, ανατολικά. Πλαισιώνεται από σημαντικά κτίρια, όπως το Δημαρχείο, την έδρα της Τράπεζας της Ισπανίας, το Πανεπιστήμιο της Μάλαγα και το Μουσείο Καλών Τεχνών.

Η Alameda Principal που είναι η κύρια οδική αρτηρία του ιστορικού κέντρου πλαισιώνεται από ψηλούς παλαιούς φοίνικες και διαθέτει πολύ μεγάλα πεζοδρόμια για περίπατο τα οποία και βρίσκονται υπό ανάπλαση από το δήμο. Κάθετα σε αυτή, η οδός Marqués de Larios, κληρονομιά πολεοδομικού σχεδιασμού της πόλης του 19ου αιώνα, είναι ένας μεγάλου πλάτους πεζόδρομος που συνδέει την Plaza de la Constitución (Πλατεία Συντάγματος) με το λιμάνι της Μάλαγα. Πλαισιωμένη από μια σειρά αξιόλογων κτιρίων είναι ο εμπορικότερος δρόμος της πόλης όπου πραγματοποιούνται σχεδόν όλες οι μεγάλες εκδηλώσεις της. Επίσης, ξεχωρίζει η πλατεία Plaza de la Merced στην οποία βρίσκεται το ίδρυμα Casa Natal de Picasso, ενώ λίγο νοτιότερα βρίσκεται το μουσείο Museo Picasso Málaga.

4.1.2 Οικονομική δραστηριότητα

Σύμφωνα με το Caixa Economic Yearbook 2013, η Μάλαγα είναι η τέταρτη ισπανική πόλη σε μέγεθος οικονομικής δραστηριότητας. Έχει σημαντική δραστηριότητα στον κλάδο των νέων τεχνολογιών, ενώ σημαντική πηγή εισοδήματος οφείλεται στον τουρισμό, ο οποίος ενισχύεται από το αεροδρόμιο της Μάλαγα Κόστα ντελ Σολ που θεωρείται διατροπικό (intermodal) κέντρο της νότιας Ισπανίας μεγάλης στρατηγικής σημασίας. Το 2018 καταγράφηκαν 19.021.704 επιβάτες σε 14.313 πτήσεις. Επίσης, τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές βελτιώσεις στις υποδομές της πόλης, όπως η δημιουργία νέου σταθμού για την εξυπηρέτηση της κρουαζιέρας στο λιμάνι, αλλά και νέες πολιτιστικές εγκαταστάσεις όπως το Εμπορικό Εκθεσιακό και Συνεδριακό Κέντρο. Αξιοσημείωτη είναι και η ανάπτυξη της βιομηχανίας νέων τεχνολογιών, που εντοπίζεται κυρίως στο Τεχνολογικό Πάρκο της Ανδαλουσίας.

4.1.3 ΜΜΜ και αστική κινητικότητα

Διαθέτει δύο γραμμές μετρό από το 2014 οι οποίες συνδέουν την κεντρική περιοχή με την περιοχή Carretera de Cádiz νοτιοδυτικά του κέντρου, την πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της πόλης και με την πανεπιστημιούπολη Teatinos, μέσω της περιοχής Cruz de Humilladero, μια άλλη περιοχές με μεγάλο πληθυσμό.

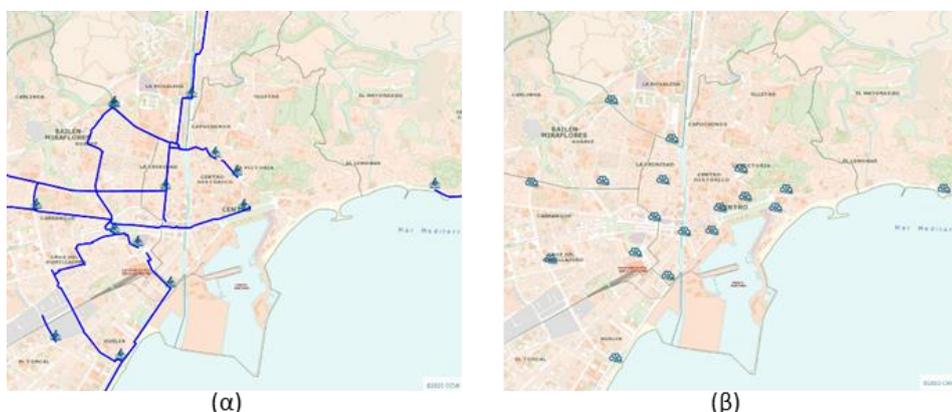
Το δίκτυο των αστικών λεωφορείων αποτελείται από 43 γραμμές, συμπεριλαμβανομένων τριών κυκλικών γραμμών που περιβάλλουν την πόλη και τριών νυχτερινών γραμμών, οι οποίες συνδέουν κάθε σημείο της πόλης και έχουν την Alameda Principal ως την αφετηρία

τους. Διαθέτει στόλο 261 οχημάτων και κάποια από αυτά κινούνται με φυσικό αέριο, ενώ κυκλοφορούν και ορισμένα υβριδικά μικρά λεωφορεία.

Ο μέσος χρόνος που αφιερώνουν οι κάτοικοι στις δημόσιες συγκοινωνίες στη Μάλαγα από και προς την εργασία ανά ημέρα της εβδομάδας είναι 49 λεπτά, ενώ το 6% των ανθρώπων καταναλώνουν περισσότερες από 2 ώρες κάθε μέρα. Ο μέσος χρόνος που περιμένουν σε μια στάση ή σταθμό είναι 9 λεπτά, ενώ το 8% των ανθρώπων περιμένουν περισσότερο από 20 λεπτά την ημέρα. Η μέση απόσταση που ταξιδεύουν συνήθως σε μία μετάβαση είναι 4,1 χλμ., ενώ το 1% ταξιδεύει περισσότερο από 12 χλμ. σε μία κατεύθυνση (Índice de Transporte Público de Moovit, 2017).

Οι κάτοικοι της Μάλαγα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιωτικά τους οχήματα ιδιαίτερα σε αστικά προάστια με κακή σύνδεση με ΜΜΜ. Αυτό συνδυάζεται με την έντονη κουλτούρα του αυτοκινήτου που επικρατεί στην περιοχή, με αποτέλεσμα τα ιδιωτικά οχήματα να έχουν μερίδιο 42% στις αστικές μετακινήσεις μεταξύ των διαθέσιμων μέσων μετακίνησης. Αυτό οδηγεί σε κυκλοφοριακές συμφορήσεις κυρίως στις κεντρικές περιοχές της πόλης (CIVITAS 2MOVE2 Project, 2015).

Από την άλλη, παρότι το ποδήλατο και τα ΜΜΜ κατέχουν ποσοστά 0,4% και 12,6%, αντίστοιχα, στο μερίδιο των μέσων μετακίνησης, δίνεται βαρύτητα από τις τοπικές αρχές στις βιώσιμες μετακινήσεις με υλοποίηση σημαντικών πρωτοβουλιών, όπως την κατασκευή ποδηλατολωρίδων μήκους 30χλμ. (Εικόνα 4-2α), αλλαγές στα δρομολόγια και τις συχνότητες των λεωφορειακών γραμμών κ.ά. Παράλληλα, προσφέρεται η δημόσια υπηρεσία δανεισμού ποδηλάτων, γνωστή ως *málagabici*, που ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2013, ενισχύοντας το στόχο ενσωμάτωσης του ποδηλάτου ως μέσου μεταφοράς στην πόλη. Διαθέτει περισσότερα από 300 ποδήλατα που διανέμονται στους 21 σταθμούς σε διάφορες περιοχές της πόλης, με μεγαλύτερη παρουσία στις γειτονιές που διαθέτουν λωρίδες ποδηλάτων (Εικόνα 4-2β).



Εικόνα 4-2: (α) Δίκτυο ποδηλατοδρόμων μήκους 30 χλμ. (β) Σταθμοί κοινόχρηστων ποδηλάτων *málagabici* (Πηγή: Ayuntamiento de Málaga, Geoportal).

Όσον αφορά στην πεζή μετακίνηση, χαρακτηριστικό είναι το εκτεταμένο δίκτυο πεζοδρόμων στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης, το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί περαιτέρω. Επίσης, αξιοσημείωτες είναι οι αστικές αναπλάσεις σε πλατείες, πάρκα και πεζόδρομους κυρίως στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης.

4.2 Συλλογή δεδομένων και ποσοτικοποίηση περπατησιμότητας

Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το τροποποιημένο εργαλείο καταγραφής στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος των οδών, MAPS mini. Στις ακόλουθες

παραγράφους παρουσιάζεται μία αναλυτική περιγραφή του εργαλείου και του τρόπου συλλογής των δεδομένων, των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στον υπολογισμό των επιπέδων περπατησιμότητας και πώς αυτά κατανέμονται χωρικά στην περιοχή του κέντρου της Μάλαγα.

4.2.1 Συλλογή δεδομένων με το εργαλείο οδών MAPS mini

Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το τροποποιημένο εργαλείο καταγραφής στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος των οδών, MAPS mini. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα ελαφρώς τροποποιημένο εργαλείο που περιλαμβάνει 19 μεταβλητές προς αξιολόγηση. Η αξιολόγηση των πλευρών των οδικών τμημάτων πραγματοποιήθηκε με διαδικτυακά εργαλεία και συγκεκριμένα με τις εικόνες Street View της Google. Η βαθμολογία όλων των πλευρών των οδών της περιοχής μελέτης ποσοτικοποιεί το βαθμό ελκυστικότητας του αστικού χώρου ως προς την ενεργή μετακίνηση (περπάτημα, ποδηλασία).

Οι διαδικασίες της καταγραφής, διαχείρισης και στη συνέχεια επεξεργασίας των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό ArcGIS, έκδοση 10.5 (ESRI, Redlands, CA, USA). Οι καταγραφείσες πλευρές και συνδέσεις αποδόθηκαν με polylines που προέκυψαν από τη διάσπαση των οικοδομικών τετραγώνων (ΟΤ) της βάσης European Urban Atlas 2012 η οποία παρέχει πληροφορίες χρήσεων γης σε επίπεδο ΟΤ για διάφορες αστικές ευρωπαϊκές περιοχές. Οι συνδέσεις μεταξύ των πεζοδρομίων των οδικών τμημάτων για την πεζή μετακίνηση που πραγματοποιήθηκαν, σχεδιάστηκαν σε όλες τις διασταυρώσεις των οδών με τις απέναντί τους, πλην ορισμένων περιπτώσεων που ήταν οι ακόλουθες: (α) όταν ο δρόμος με τον οποίο διασταυρώνεται η πλευρά που καταγράφεται έχει τρεις ή περισσότερες λωρίδες κυκλοφορίας με εξαίρεση τις περιπτώσεις που υπάρχει οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών ή/και φωτεινός σηματοδότης για τη διέλευση πεζών, (β) όταν η διασταύρωση έχει τη μορφή «T» και η διέλευση των πεζών διακόπτεται μετά τη διασταύρωση με την κάθετη οδό (Εικόνα 4-3) και (γ) όταν η διασταύρωση είναι «Π» και μόνο στη σύνδεση όπου δεν υπάρχει διάβαση πεζών ή/και φωτεινός σηματοδότης (Εικόνα 4-4).



Εικόνα 4-3: Παράδειγμα διασταύρωσης τύπου T, Calle Constanca. Με κίτρινο χρώμα επισημαίνονται οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-4: Παράδειγμα διασταύρωσης τύπου Π, Calle Cuarteles. Με κίτρινο χρώμα επισημαίνονται οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν (Πηγή: Google Street View)

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι μεταβλητές του δομημένου περιβάλλοντος ως προς τις οποίες αξιολογήθηκαν τα οδικά τμήματα του κέντρου της Μάλαγα και παράλληλα περιγράφονται τα κριτήρια με τα οποία έλαβαν τις βαθμολογίες ανά μεταβλητή, καθώς και σε τι αντιστοιχεί κάθε βαθμολογία. Παράλληλα, παρουσιάζονται και χαρακτηριστικά παραδείγματα ανά μεταβλητή.

4.2.1.1 Χρήσεις γης

Η μεταβλητή των κατηγοριών χρήσεων γης εξετάζει τις χρήσεις των ισογείων των κτιρίων των οδικών τμημάτων που εξετάζονται. Εάν ποσοστό μεγαλύτερο του 50% των εξεταζόμενων προσόψεων έχει χρήση κατοικίας, τότε η αντίστοιχη μεταβλητή λαμβάνει την τιμή μηδέν. Επίσης, η μεταβλητή λαμβάνει την τιμή μηδέν σε χρήσεις συνεργείων, βιομηχανίας/βιοτεχνίας, χώρων στάθμευσης, κενούς ή εγκαταλελειμμένους χώρους και γενικά όταν η χρήση δεν αντιστοιχεί σε δραστηριότητα που προσελκύει μετακινήσεις οποιουδήποτε σκοπού, όπως εργασία, αναψυχή, εκπαίδευση κ.λπ. (Εικόνα 4-5).



Εικόνα 4-5: Παράδειγμα χρήσης γης κατοικίας όπου η αντίστοιχη μεταβλητή παίρνει την τιμή μηδέν, Calle Ancha del Carmen (Πηγή: Google Street View)

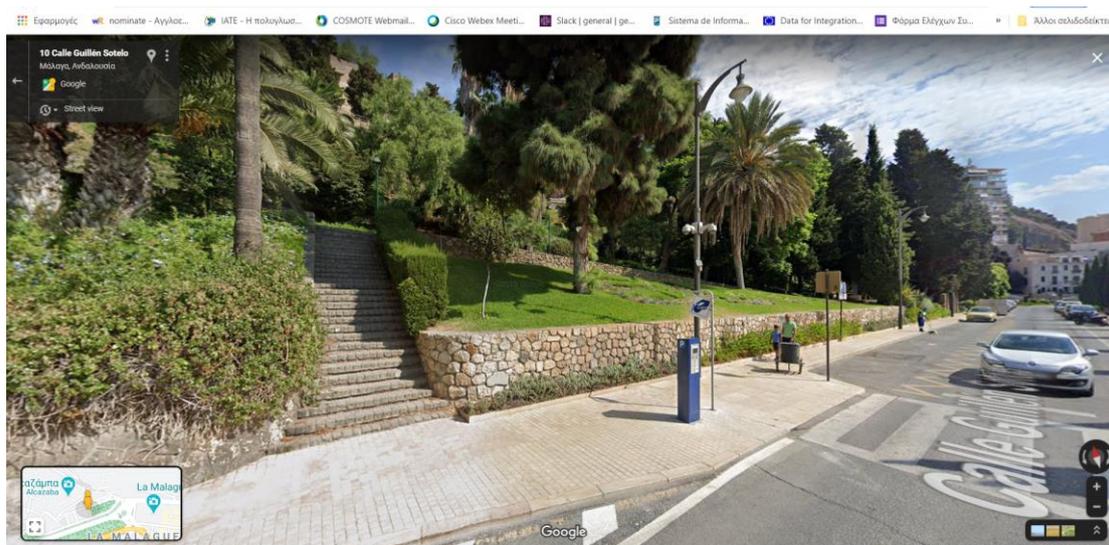
Αντίθετα, εάν περισσότερες από τις μισές εισόδους του εξεταζόμενου πεζοδρομίου αφορούν σε ενεργές χρήσεις όπως εμπορικές δραστηριότητες, εκπαίδευση, εργασία κ.λπ. και γενικά χρήσεις που προσελκύουν αστικές μετακινήσεις, τότε η αντίστοιχη μεταβλητή λαμβάνει την τιμή ένα (Εικόνα 4-6).



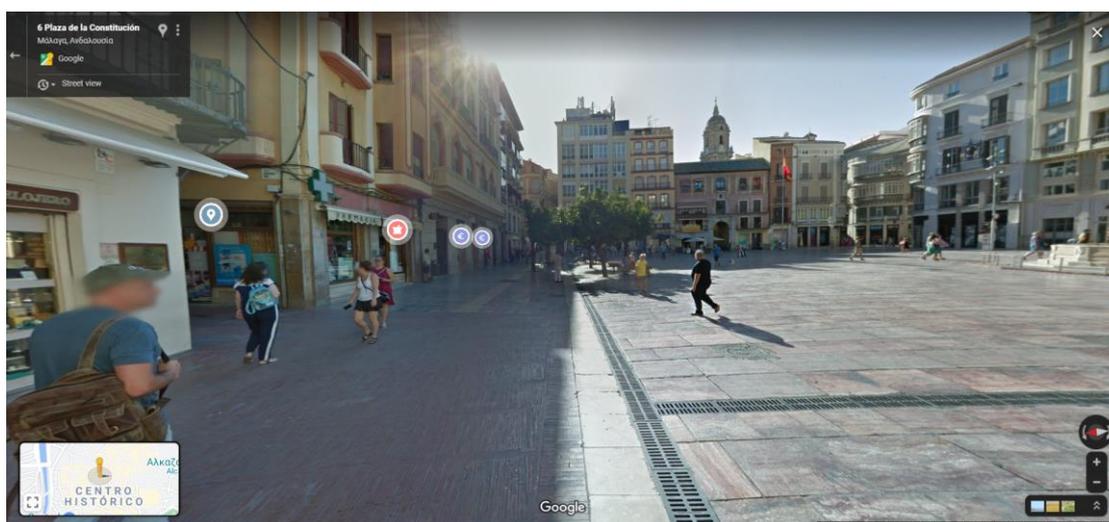
Εικόνα 4-6: Παράδειγμα οδού με χρήσεις εμπορικές όπου η αντίστοιχη μεταβλητή παίρνει την τιμή ένα, Calle Ancha del Carmen (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.2 Προσβάσεις σε πάρκο/πλατεία

Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται στον αριθμό των προσβάσεων που έχει το εξεταζόμενο τμήμα σε πάρκα ή πλατείες, με τα τμήματα που δεν έχουν καμία πρόσβαση να λαμβάνουν την τιμή μηδέν, ενώ τα τμήματα που έχουν πρόσβαση να βαθμολογούνται με ένα όταν αυτή είναι μία και με δύο όταν οι προσβάσεις σε πάρκο ή πλατεία είναι δύο ή και περισσότερες (Εικόνα 4-7). Όταν το υπό εξέταση πεζοδρόμιο έχει φυσικό διαχωριστικό (π.χ. τοίχιο, κιγκλιδώματα) από το πάρκο ή την πλατεία που δε δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης στους πεζούς, τότε η βαθμολογία μηδενίζεται. Αντίθετα, όταν σε όλο το μήκος του πεζοδρομίου η πρόσβαση στο πάρκο/πλατεία είναι ελεύθερη, τότε η αντίστοιχη μεταβλητή λαμβάνει τη μέγιστη βαθμολογία, δηλαδή ίση με δύο. Τέλος, όταν ο δρόμος που αξιολογείται είναι πεζόδρομος και μόνο η μία πλευρά του έχει πρόσβαση σε πλατεία/πάρκο, τότε και οι δύο εξεταζόμενες πλευρές του πεζοδρομίου λαμβάνουν την ίδια τιμή στη μεταβλητή της πρόσβασης, αφού λόγω της πεζοδρόμησης η πρόσβαση είναι ίδια και ανεμπόδιστη και για τις δύο πλευρές του δρόμου. (Εικόνα 4-8).



Εικόνα 4-7: Παράδειγμα πλευράς με μία πρόσβαση σε πάρκο και τιμή μεταβλητής ίση με 1, Calle Guillén Sotelo (Πηγή: Google Street View)



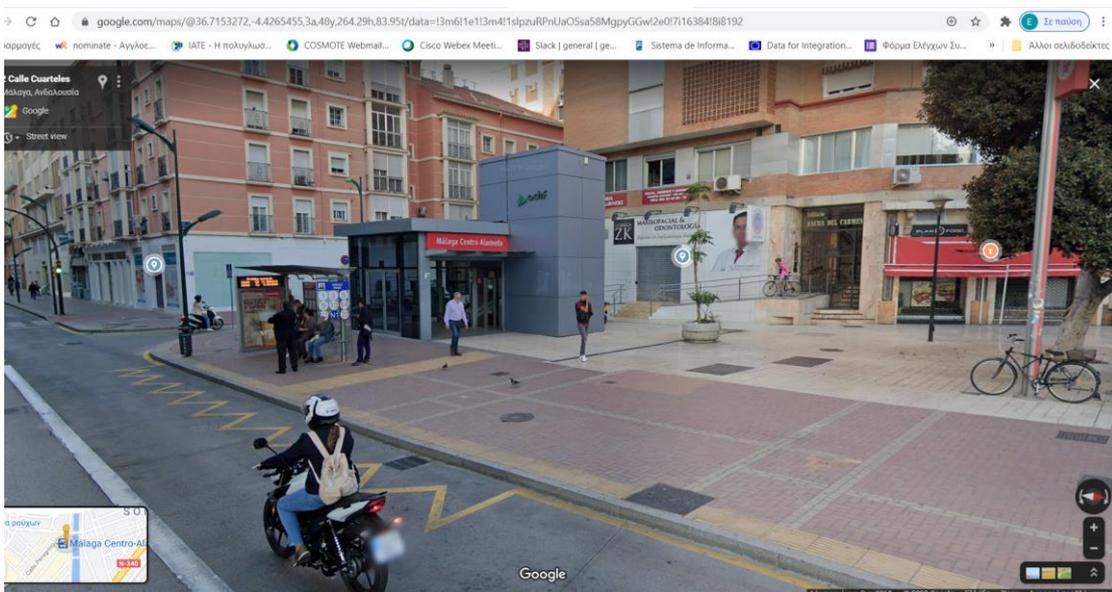
Εικόνα 4-8: Πεζόδρομος όπου τα αξιολογούμενα τμήματα εκατέρωθεν λαμβάνουν την τιμή 2 για τη μεταβλητή πρόσβασης σε πάρκο ή πλατεία, Plaza de la Constitución (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.3 Στάσεις/σταθμοί MMM

Η επόμενη παράμετρος αξιολογεί την ύπαρξη στάσεων ή σταθμών Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (MMM) στο υπό εξέταση τμήμα. Όταν το οδικό τμήμα που αξιολογείται έχει μία στάση/ σταθμό λαμβάνει ένα βαθμό, ενώ δύο βαθμούς λαμβάνει όταν έχει δύο ή περισσότερες στάσεις (Εικόνες 4-9 και 4-10). Όταν η πλευρά δεν έχει καμία στάση δεν παίρνει βαθμούς και η βαθμολογία μηδενίζεται. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που η στάση είναι τοποθετημένη σε πεζοδρόμιο/νησίδα παράλληλη του πεζοδρομίου που αξιολογείται, τότε αυτή θεωρείται ότι ανήκει στο υπό αξιολόγηση πεζοδρόμιο και λαμβάνει την αντίστοιχη βαθμολογία.



Εικόνα 4-9: Παράδειγμα πεζοδρομίου με δύο στάσεις λεωφορειακών γραμμών που λαμβάνει βαθμολογία 2, Alameda Principal (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-10: Παράδειγμα πεζοδρομίου με στάση πεζοδρομίου και σταθμό μετρό που λαμβάνει στην αντίστοιχη μεταβλητή τη βαθμολογία 2, Calle Cuarteles (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.4 Δημόσια καθιστικά

Η επόμενη μεταβλητή αφορά στον αστικό δημόσιο εξοπλισμό που δίνει τη δυνατότητα στους πεζούς να κάνουν στάση ή να αναπαυθούν όπως παγκάκια ή οποιουδήποτε άλλου είδους δημόσια καθιστικά. Δίδεται ένας βαθμός στην υπό αξιολόγηση πλευρά του ΟΤ όταν υπάρχει τουλάχιστον ένα καθιστικό δημόσια χρήσης και η παράμετρος μηδενίζεται όταν δεν υπάρχει κανένα. Από την αξιολόγηση εξαιρούνται καθιστικά σώματα που είναι ενσωματωμένα σε στάσεις λεωφορείων, όπως και κάθε είδους ιδιωτικός εξοπλισμός όπως τραπεζοκαθίσματα από καφετέριες κ.λπ. Όταν ο δρόμος που αξιολογείται είναι πεζόδρομος, τότε στην περίπτωση ύπαρξης δημόσιων καθιστικών, η βαθμολογία μπαίνει και στις δύο πλευρές του δρόμου (Εικόνα 4-11).



Εικόνα 4-11: Πεζόδρομος με την ύπαρξη δημόσιων καθιστικών σωμάτων, Calle Casas de Campos (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.5 Δημόσιος φωτισμός

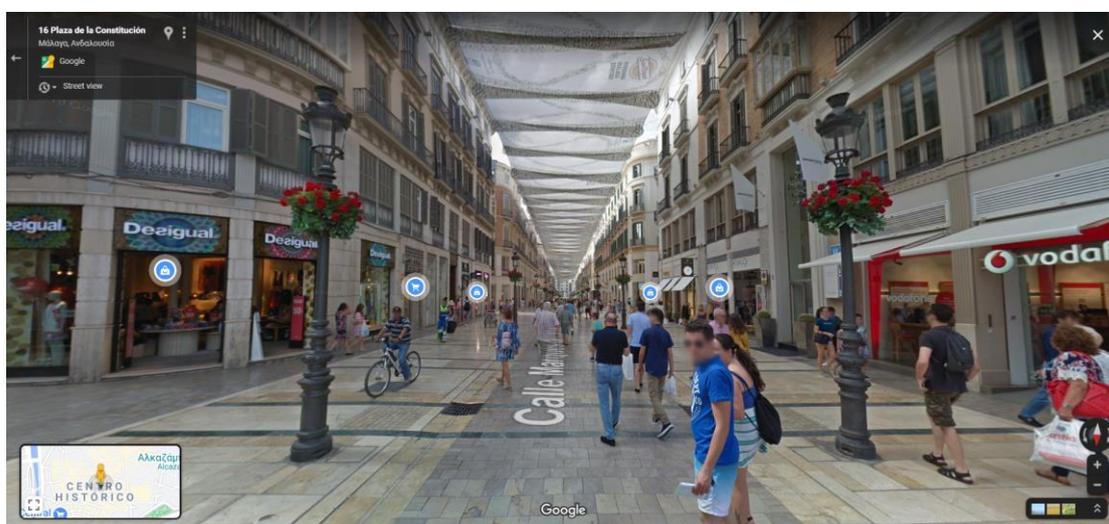
Η συγκεκριμένη μεταβλητή αφορά στην ύπαρξη και την ένταση του δημόσιου αστικού φωτισμού της πλευράς της οδού που εξετάζεται. Αφορά αποκλειστικά δημόσια φωτιστικά σώματα και δεν υπολογίζονται στη βαθμολογία οποιουδήποτε είδους ιδιωτικά φωτιστικά. Η πλευρά που εξετάζεται λαμβάνει την τιμή μηδέν όταν δεν υπάρχει κανένα φωτιστικό σώμα, την τιμή ένα όταν υπάρχει τουλάχιστον ένα, ενώ λαμβάνει την τιμή δύο όταν ο φωτισμός είναι έντονος και υπάρχει πυκνότητα φωτιστικών εκατέρωθεν του δρόμου (Εικόνες 4-12, 4-13, 4-14).



Εικόνα 4-12 Παράδειγμα δρόμου χωρίς κανένα φωτιστικό σώμα εκατέρωθεν, Calle Huerta del Obispo (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-13: Παράδειγμα πλευράς με ικανοποιητικό φωτισμό (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-14: Παράδειγμα πλευράς με επαρκή/ έντονο φωτισμό, Plaza de la Constitución (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.6 Επίπεδο συντήρησης κτιρίων

Η επόμενη παράμετρος που αξιολογήθηκε είναι αυτή που σχετίζεται με το επίπεδο συντήρησης των όψεων των κτιρίων των οδικών πλευρών. Η μεταβλητή λαμβάνει ένα βαθμό όταν η συντήρηση όλων των κτιρίων είναι από ικανοποιητική έως άριστη, ενώ μηδενίζεται όταν τα έστω και ένα κτίριο στο υπό αξιολόγηση τμήμα έχει εμφανείς φθορές στην πρόσοψή του και χρήζει συντήρησης. Η μεταβλητή μηδενίζεται επίσης, όταν στην υπό εξέταση πλευρά ΟΤ υπάρχει τουλάχιστον ένα κτίριο στο οποίο κατά το χρόνο λήψης της φωτογραφίας του Google Street View που εξετάζεται, πραγματοποιούνται οικοδομικές εργασίες ή εργασίες συντήρησης (Εικόνες 4-15 και 4-16).

Όταν η πλευρά της οδού που αξιολογείται είναι πλευρά πάρκου ή πλατείας στην οποία δεν υπάρχουν κτίσματα, τότε η μεταβλητή της συντήρησης λαμβάνει την αντίστοιχη βαθμολογία αξιολογώντας την κατάσταση του πάρκου ή της πλατείας και του εξοπλισμού του.



Εικόνα 4-15: Πλευρά οδού με προσόψεις κτιρίων με πολύ καλό επίπεδο συντήρησης, Calle Sebastián Souvirón (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-16: Παράδειγμα δρόμου με όψεις κτιρίων με φθορές που χρήζουν συντήρησης (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.7 Βανδαλισμοί κτιρίων με γκράφιτι

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι προσόψεις των κτιρίων ως προς την ύπαρξη γκράφιτι σε αυτές. Εάν στην υπό εξέταση πλευρά εντοπίζεται τουλάχιστον ένα γκράφιτι, τότε η αντίστοιχη μεταβλητή λαμβάνει την τιμή μηδέν, ενώ όταν δεν υπάρχει ούτε ένα τότε παίρνει ένα βαθμό (Εικόνα 4-17). Σημειώνεται ότι δε λαμβάνονται υπόψη γκράφιτι σε κινητές κατασκευές που δεν αποτελούν μέρος του κτιρίου, όπως είναι οι υπαίθριοι κατανεμητές (ΚΑΦΑΟ) τηλεπικοινωνιών κ.λπ.

Όταν το οδικό τμήμα που αξιολογείται είναι πεζοδρόμιο πλατείας ή πάρκου, τότε αξιολογείται ως προς την ύπαρξη γκράφιτι το σύνολο του πάρκου/ πλατείας ως προς τα δομικά του στοιχεία και τον εξοπλισμό του.

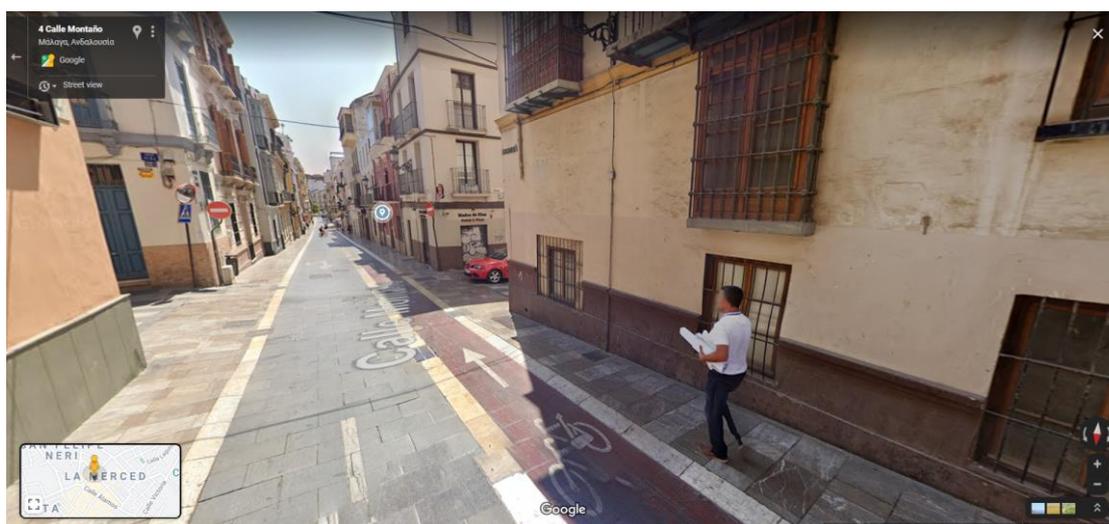


Εικόνα 4-17: Πλευρά οδού με πρόσοψη κτιρίου με βανδαλισμούς από γκράφιτι όπου η αντίστοιχη μεταβλητή μηδενίζεται, Calle Vendeja (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.8 Ύπαρξη ποδηλατοδρόμου

Όταν στην υπό αξιολόγηση πλευρά ΟΤ δεν υπάρχει ποδηλατόδρομος, τότε η βαθμολογία της μεταβλητής μηδενίζεται. Όταν υπάρχει ποδηλατόδρομος που διαχωρίζεται από την κυκλοφορία των οχημάτων μόνο με οριζόντια σήμανση τότε η βαθμολογία που δίδεται είναι ένα (Εικόνα 4-18), ενώ όταν ο ποδηλατόδρομος διαχωρίζεται με φυσικό διαχωρισμό από την κυκλοφορία των οχημάτων (Εικόνα 4-19) τότε η πλευρά λαμβάνει δύο βαθμούς. Ως φυσικό διαχωριστικά εννοούνται όλες οι μόνιμες ή μη κατασκευές που τον διαχωρίζουν από τα οχήματα είτε ποδηλατόδρομοι που είναι ενσωματωμένοι στο πεζοδρόμιο του δρόμου.

Επισημαίνεται ότι στις περιπτώσεις των πεζοδρόμων η μεταβλητή που αφορά στους ποδηλατόδρομους λαμβάνει την τιμή ένα μόνο εφόσον υπάρχει αντίστοιχη κατακόρυφη σήμανση που επιτρέπει ρητά τη διέλευση των ποδηλάτων.



Εικόνα 4-18 Παράδειγμα ποδηλατολωρίδας με οριζόντια σήμανση και χωρίς φυσικό διαχωρισμό από την κυκλοφορία των οχημάτων, Calle Montaña (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-19: Παράδειγμα ποδηλατολωρίδας με φυσικό διαχωρισμό από την κυκλοφορία των οχημάτων, Av. de Cervantes (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.9 Υπαρξη πεζοδρομίου

Η μεταβλητή που αφορά στην ύπαρξη ή μη πεζοδρομίου δίνει ένα βαθμό στην πλευρά που εξετάζεται όταν σε ποσοστό πάνω από το 50% του συνολικού μήκους της υπάρχει κατασκευασμένο πεζοδρόμιο, ενώ αντίθετα λαμβάνει τη βαθμολογία μηδέν όταν στο ίδιο ποσοστό του μήκους της δεν υπάρχει πεζοδρόμιο. Στην συγκεκριμένη μεταβλητή η βαθμολογία αποδίδεται ανεξάρτητα από το επίπεδο συντήρησης ή τα υλικά κατασκευής του πεζοδρομίου που αξιολογείται (Εικόνα 4-20 και 4-21).



Εικόνα 4-20 Περίπτωση πλευράς οδού με κατασκευασμένο πεζοδρόμιο σε μήκος πάνω από 50%, Calle Fernando Camino (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-21: Περίπτωση πλευράς οδού με πεζοδρόμιο με απουσία πεζοδρομίου, Calle Vital Aza (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.10 Επίπεδο συντήρησης πεζοδρομίου

Η επόμενη παράμετρος βάσει της οποίας αξιολογείται η πλευρά του ΟΤ είναι το επίπεδο συντήρησης του πεζοδρομίου. Συγκεκριμένα, αν στο τμήμα που εξετάζεται υπάρχουν εμφανείς φθορές στο πεζοδρόμιο και κρίνεται ότι χρήζει συντήρησης, τότε η μεταβλητή λαμβάνει την τιμή 0. Αντίθετα, όταν το επίπεδο συντήρησης είναι ικανοποιητικό η πλευρά βαθμολογείται με τη μονάδα (Εικόνες 4-22 και 4-23).

Η αξιολόγηση πραγματοποιείται από τον αξιολογητή ανεξαρτήτως των υλικών κατασκευής του πεζοδρομίου ή του επιπέδου καθαριότητας. Πεζοδρόμια τα οποία δεν έχουν επικίνδυνες φθορές για τους διερχόμενους κρίνονται γενικά ικανοποιητικά ως προς το επίπεδο συντήρησής τους.



Εικόνα 4-22: Παράδειγμα πεζοδρομίου με άριστο επίπεδο συντήρησης, Plaza Enrique García-Herrera (Πηγή: Google Street View)

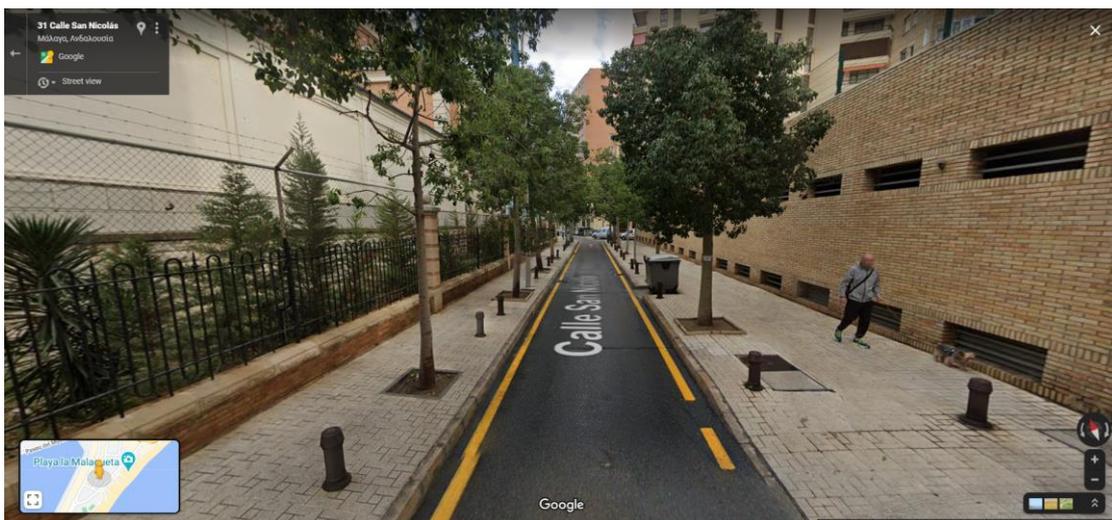


Εικόνα 4-23: Παράδειγμα πεζοδρομίου με φθορές το οποίο αξιολογείται με μηδέν στη βαθμολογία (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.11 Διαχωρισμός πεζοδρομίου από τα οχήματα

Η μεταβλητή που αξιολογεί τα επίπεδα της περπατησιμότητας στις πλευρές των ΟΤ, εξετάζει αν υπάρχει φυσικός διαχωρισμός του πεζοδρομίου από την κυκλοφορία των οχημάτων με τεχνικές κατασκευές όπως κολωνάκια, κιγκλιδώματα κ.λπ. Στις περιπτώσεις που πάνω από το 50% του μήκους του πεζοδρομίου που αξιολογείται έχει διαχωριστικά από τα οχήματα δίδεται ένας βαθμός, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η μεταβλητή δε λαμβάνει κανένα βαθμό και μηδενίζεται (Εικόνες 4-24 και 4-25).

Ως διαχωριστικά δε λαμβάνονται υπόψη οι ποδηλατόδρομοι ή οι δενδροφυτεύσεις του πεζοδρομίου. Επίσης, στις περιπτώσεις των αμιγών πεζοδρόμων όπου εξ ορισμού η κυκλοφορία των οχημάτων είναι απαγορευμένη και η διέλευση των πεζών ασφαλής από αυτά, η μεταβλητή των διαχωριστικών του πεζοδρομίου λαμβάνει επίσης έναν βαθμό.



Εικόνα 4-24: Περίπτωση πεζοδρομίου με διαχωριστικά κολωνάκια από την κυκλοφορία των οχημάτων που βαθμολογείται με 1, Calle San Nicolás (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-25: Περίπτωση πεζοδρομίου με διαχωριστικά (ζαρντινιέρες) από την κυκλοφορία των οχημάτων που βαθμολογείται με 1, Plaza de la Merced (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.12 Σκίαση πεζοδρομίου

Η μεταβλητή που αξιολογεί το επίπεδο σκίασης του πεζοδρομίου βαθμολογείται με μηδέν όταν σε ποσοστό 0%-25% δεν παρέχεται σκίαση για τους πεζούς, με έναν βαθμό όταν σε ποσοστό 26%-75% του μήκους του πεζοδρομίου υπάρχει κάποιου είδους σκίαση από δημόσιο εξοπλισμό είτε από παράλληλη σε αυτό δενδροφύτευση είτε από μόνιμες τεχνικές κατασκευές, όπως στέγαστρα, καμάρες, στοές κ.λπ. και με δύο βαθμούς όταν η σκίαση υπάρχει σε ποσοστό 76%-100% του μήκους του πεζοδρομίου (Εικόνες 4-26 και 4-27).

Για την αποφυγή λανθασμένης εικόνας στις περιπτώσεις πεζοδρομίων με παράλληλη δενδροφύτευση, πραγματοποιείται έλεγχος των εικόνων του Google Street View και από άλλες περιόδους λήψης εφόσον αυτές είναι διαθέσιμες για να ελεγχθεί το φύλλωμα των δένδρων.



Εικόνα 4-26: Παράδειγμα πεζοδρόμου με κάλυψη/σκίαση σε ποσοστό 26%-75% του μήκους του που βαθμολογείται με 1, Pje. Chinitas (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-27: Παραδείγματα πεζοδρομίων με κάλυψη/σκίαση σε ποσοστό 76%-100% του μήκους τους που βαθμολογούνται με 2, Calle Maestranza (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.13 Πλάτος πεζοδρομίου

Η μεταβλητή που σχετίζεται με το πλάτος του πεζοδρομίου λαμβάνει έναν βαθμό όταν σε όλο το μήκος του πεζοδρομίου είναι εφικτό να περπατήσουν παράλληλα, τρία ή και περισσότερα άτομα με άνεση. Σε αντίθετη περίπτωση, το πλάτος του πεζοδρομίου κρίνεται ανεπαρκές για τους πεζούς και τίθεται βαθμολογία ίση με μηδέν. Το πλάτος του πεζοδρομίου θεωρείται ανεπαρκές όταν σε φαρδύ και επαρκές πεζοδρόμιο υπάρχει έστω και ένα σημείο από όπου δε χωρούν να περπατήσουν παράλληλα τρία ή περισσότερα άτομα (Εικόνες 4-28 και 4-29).



Εικόνα 4-28: Πλευρά δρόμου με επαρκές πλάτος πεζοδρομίου που λαμβάνει βαθμολογία 1, Calle Cuartelles (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-29: Πλευρά δρόμου με ανεπαρκές πλάτος πεζοδρομίου που λαμβάνει βαθμολογία 0, Calle Puerto (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.14 Λωρίδες κυκλοφορίας οχημάτων

Η μεταβλητή που αξιολογείται ανάλογα με τον αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας των οχημάτων που έχει ο δρόμος στον οποίο έχει πρόσωπο η πλευρά που αξιολογείται, λαμβάνει δύο βαθμούς όταν η λωρίδα κυκλοφορίας είναι μόνο μία ή όταν ο δρόμος που εξετάζεται είναι αμιγής πεζόδρομος. Επίσης, λαμβάνει έναν βαθμό όταν οι λωρίδες κυκλοφορίας των οχημάτων είναι δύο ή τρεις και τέλος, παίρνει τη βαθμολογία μηδέν όταν οι λωρίδες κυκλοφορίας είναι τέσσερις ή περισσότερες (Εικονες 4-30, 4-31 και 4-32).

Επισημαίνεται ότι οι λωρίδες αποκλειστικής χρήσης ποδηλάτου, οι εσοχές για θέσεις στάθμευσης, καθώς και οι νόμιμες θέσεις στάθμευσης δεν υπολογίζονται στην καταμέτρηση των λωρίδων κυκλοφορίας οχημάτων για την απόδοση της βαθμολογίας στη μεταβλητή.



Εικόνα 4-30: Δρόμος με μία λωρίδα κυκλοφορίας οχημάτων, κάθε πλευρά του λαμβάνει το βαθμό 2, Calle Panaderos (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-31: Δρόμος με δύο λωρίδες κυκλοφορίας οχημάτων, κάθε πλευρά του βαθμολογείται με 1, Plaza Arriola (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-32: Δρόμος έξι λωρίδων κυκλοφορίας οχημάτων - κάθε πλευρά του μηδενίζεται στην αντίστοιχη μεταβλητή, Paseo Del Parque (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.15 Χώροι στάθμευσης ποδηλάτων

Στη συνέχεια αποδόθηκαν βαθμοί στις πλευρές των οδών όπου υπάρχει ειδική διαμόρφωση αλλά και κατακόρυφη σήμανση για τη στάθμευση ποδηλάτων. Συγκεκριμένα, δόθηκε ένας βαθμός στις πλευρές των ΟΤ που εντοπίστηκαν χώροι στάθμευσης ποδηλάτων, ενώ η βαθμολογία της αντίστοιχης μεταβλητή μηδενίστηκε όπου δεν υπάρχει. Για την απόδοση της βαθμολογίας δε λήφθηκαν υπόψη χώροι οι οποίοι είχαν σταθμευμένα ποδήλατα, αλλά δεν έφεραν την κατάλληλη κατακόρυφη σήμανση που επιτρέπει ρητά τη νόμιμη στάθμευσή τους (Εικόνα 4-33).



Εικόνα 4-33: Πεζόδρομος με ειδική κατακόρυφη σήμανση που επιτρέπει τη στάθμευση ποδηλάτων, Plaza Enrique García-Herrera (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.16 Σταθμοί κοινόχρηστων ποδηλάτων

Η τελευταία παράμετρος ως προς την οποία αξιολογήθηκαν οι εκατέρωθεν πλευρές των οδικών τμημάτων είναι αυτή που αφορά στην ύπαρξη σταθμών της υπηρεσίας κοινόχρηστων ποδηλάτων της Μάλαγα που είναι γνωστά ως malagabici. Στις πλευρές που υπήρχαν ειδικά διαμορφωμένοι σταθμοί ενοικίασης και στάθμευσης των κοινόχρηστων ποδηλάτων δόθηκε ένας βαθμός, ενώ όλα τα υπόλοιπα τμήματα στην ίδια μεταβλητή βαθμολογήθηκαν με μηδέν (Εικόνες 4-34 και 4-35).

Οι τρεις μεταβλητές που ακολουθούν και αξιολογήθηκαν στο πλαίσιο του εργαλείου οδών MAPS mini δεν αφορούν τις πλευρές των ΟΤ, αλλά τον τρόπο με τον οποίο αυτές συνδέονται με επίκεντρο την ομαλή και ασφαλή διέλευση των πεζών από τις διασταυρώσεις.



Εικόνα 4-34: Πεζοδρόμιο στο κέντρο της πόλης με σταθμό κοινόχρηστων ποδηλάτων (malagabici), Plaza de la Marina (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-35: Σταθμός κοινόχρηστων ποδηλάτων (*malagabici*) στην πλατεία La Merced (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.17 Φτωινοί σηματοδότες

Η πρώτη μεταβλητή που αξιολογεί τη σύνδεση μεταξύ δύο πεζοδρομίων πλευρών ΟΤ είναι αυτή που εξετάζει την ύπαρξη φτωινού σηματοδότη για τη διέλευση των πεζών. Στην περίπτωση ύπαρξης φτωινού σηματοδότη δίδεται ένας βαθμός, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η τιμή της μεταβλητής μηδενίζεται (Εικόνα 4-36).



Εικόνα 4-36: Σύνδεση πεζοδρομίων με φτωινό σηματοδότη για τη διέλευση των πεζών (βαθμολογία = 1), Calle Atarazanas (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.18 Ράμπες πεζοδρομίου

Επίσης, οι συνδέσεις των οδικών πλευρών εξετάστηκαν ως προς την ύπαρξη ραμπών πεζοδρομίου σε κάθε άκρο της σύνδεσης. Η ύπαρξη ράμπας και στις δύο πλευρές δίδει δύο βαθμούς στην αντίστοιχη μεταβλητή, η ύπαρξη ράμπας στη μία μόνο πλευρά της σύνδεσης δίδει έναν βαθμό, ενώ η απουσία ραμπών και στα δύο άκρα της σύνδεσης βαθμολογείται με μηδέν (Εικόνα 4-37). Δύο βαθμοί δίδονται και στις περιπτώσεις ισοσταθμίας των πεζοδρομίων με το επίπεδο της οδού.

Στην περίπτωση που ένα πεζοδρόμιο δεν είναι κατασκευασμένο σε ποσοστό περισσότερο του 50% του συνολικού μήκος τότε η τυχόν ύπαρξη ράμπας στην εν λόγω πλευρά δε λαμβάνεται υπόψη και δεν προσμετράται στη βαθμολογία.



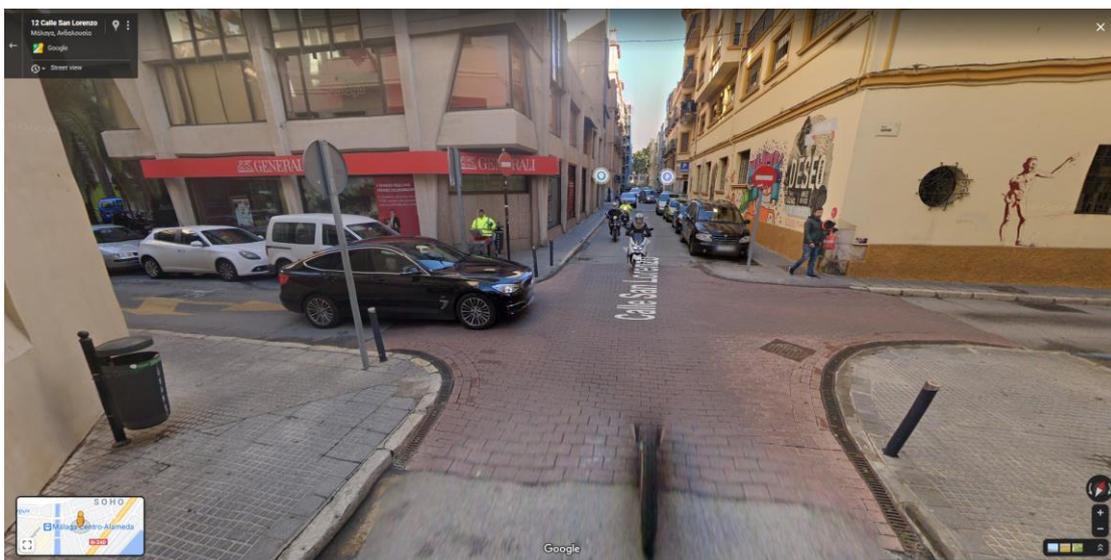
Εικόνα 4-37: Σύνδεση πεζοδρομίων ράμπες εκατέρωθεν της σύνδεσης (βαθμολογία = 2), Calle Torpete (Πηγή: Google Street View)

4.2.1.19 Οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών

Τέλος, οι συνδέσεις αξιολογήθηκαν ως προς της ύπαρξη ή μη οριζόντιας σήμανσης διάβασης πεζών. Οι συνδέσεις με διαβάσεις πεζών έλαβαν ένα βαθμό και όλες οι υπόλοιπες μηδενίστηκαν. Περιπτώσεις διαβάσεων που επισημαίνονται με διαφορετικά υλικά αλλά όχι με διαγράμμιση λευκού χρώματος δε λήφθηκαν υπόψη στη βαθμολογία (Εικόνες 4-38 και 4-39).



Εικόνα 4-38 Περιπτώσεις συνδέσεων πεζοδρομίων με οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών (βαθμολογία=1), Calle Almansa (Πηγή: Google Street View)



Εικόνα 4-39: Παραδείγματα σύνδεσης πεζοδρομίων σε διαστάυρωση χωρίς οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών (βαθμολογία=0), Calle San Lorenzo (Πηγή: Google Street View)

Μετά την αξιολόγηση όλων των οδικών τμημάτων με τις μεταξύ τους συνδέσεις και τη καταγραφή της συνολικής τους βαθμολογίας, προέκυψαν τα αποτελέσματα του επιπέδου περπατησιμότητας για το κέντρο της Μάλαγα, τα οποία παρουσιάζονται και αναλύονται στα επόμενα.

4.2.2 Αποτελέσματα συλλογής δεδομένων

Με το εργαλείο καταγραφής MAPS mini καταγράφηκε το ιστορικό και εμπορικό κέντρο της Μάλαγα, συνολικής έκτασης 3,05 τετ. χλμ. (Εικόνα 4-40). Αποτελείται από δώδεκα διοικητικές περιοχές και εντός του συνυπάρχουν πολλές σημαντικές χρήσεις, όπως αναφέρθηκε στα παραπάνω (εμπορικές, τουριστικές, πολιτιστικές, εκπαίδευσης, κατοικίας

κ.λπ.). Συνολικά αξιολογήθηκαν 2.010 τμήματα οδών που αντιστοιχούν σε μήκος 110,66 χλμ. περπατήσιμου δικτύου.

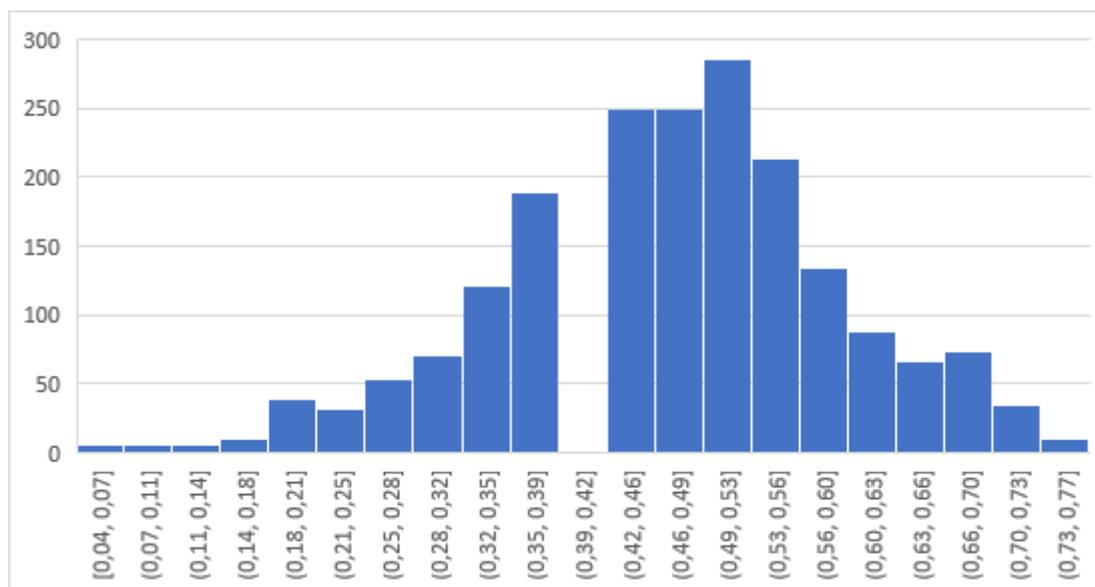


Εικόνα 4-40: Περιοχή απογραφής με το εργαλείο ελέγχου οδών MAPS mini, κέντρο της Μάλαγα

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας και προτού σταθμιστεί με το μήκος των πλευρών των ΟΤ που αξιολογήθηκαν, ο μέσος όρος των τιμών του δείκτη για όλες τις πλευρές είναι ίσος με 0,47 και η διάμεσος 0,46. Η μέγιστη τιμή που υπολογίστηκε ανά τμήμα οδού είναι 0,77 και η ελάχιστη 0,04, ενώ τυπική απόκλιση των τιμών είναι 0,12, η κύρτωση 0,34 και ασυμμετρία -0,24. Για την κανονική κατανομή ισχύουν τα παρακάτω: η μέση τιμή και η διάμεσος είναι ίσες μεταξύ τους, η ασυμμετρία είναι κοντά στο 0 και η κύρτωση θα είναι κοντά στο 3. Για κύρτωση μεγαλύτερη του 3 η κατανομή καλείται λεπτόκυρτη ενώ για κύρτωση μικρότερη του 3 καλείται πλατύκυρτη. Ακόμη, όταν η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη της διαμέσου λέγεται ότι η κατανομή έχει θετική ασυμμετρία και αντίστροφα. (Johnston et al., 2003).

Το ιστόγραμμα των τιμών του δείκτη παρουσιάζεται στο Γράφημα 4-1, όπου ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών που αναγράφονται στον οριζόντιο άξονα. Οι στατιστικές τιμές της κατανομής των τιμών σε συνδυασμό με το ιστόγραμμα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι τιμές του δείκτη περπατησιμότητας ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Φαίνεται ότι τιμές του δείκτη μεταξύ 0,49-0,53 έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (285 τμήματα) και ακολουθούν τη εύρη 0,42-0,46 και 0,46-0,49 με συχνότητες εμφάνισης 250 και 249, αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρείται ότι τα μισά τμήματα που αξιολογήθηκαν (50%) έχουν λάβει τιμές περπατησιμότητας από 0,42 έως 0,56.



Γράφημα 4-1: Ιστογράμμο τιμών δείκτη περπατησιμότητας ανά πλευρά ΟΤ στο κέντρο της Μάλαγα

Τα αποτελέσματα του υπολογιζόμενου δείκτη που προκύπτει όταν σταθμίζεται η βαθμολογία κάθε μεταβλητής με το συνολικό μήκος των τμημάτων που λαμβάνουν τιμή για την αντίστοιχη μεταβλητή, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-2. Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε και ο συνολικός δείκτης περπατησιμότητας ίσος με 42,50%.

Πίνακας 4-1: Δείκτες ανά βαθμολογία για κάθε μεταβλητή MAPS mini (σταθμισμένοι με το συνολικό μήκος πλευρών ΟΤ που έλαβαν τιμή ανά μεταβλητή)

Μεταβλητή		Βαθμολογία		
		0	1	2
S1	Κατηγορία χρήσης γης	64,07%	35,93%	-
S2	Πρόσβαση σε πάρκο ή πλατεία	83,05%	1,55%	15,40%
S3	Στάσεις ΜΜΜ	93,93%	4,27%	1,80%
S4	Δημόσια καθιστικά	83,05%	16,95%	-
S5	Δημόσιος αστικός φωτισμός	1,06%	68,62%	30,32%
S6	Συντήρηση κτιρίων	30,33%	69,67%	-
S7	Υπαρξη γκράφιτι	49,82%	50,18%	-
S8	Υπαρξη ποδηλατοδρόμου	97,72%	0,60%	1,68%
S9	Υπαρξη πεζοδρομίου	2,94%	97,06%	-
S10	Συντήρηση πεζοδρομίου	11,62%	88,38%	-
S11	Διαχωρισμός πεζοδρομίου από τα οχήματα	49,66%	50,34%	-
S12	Σκίαση πεζοδρομίου	66,02%	8,98%	25,00%
S13	Πλάτος πεζοδρομίου	40,95%	59,05%	-
S14	Λωρίδες κυκλοφορίας οχημάτων	13,16%	14,51%	72,33%
S15	Χώρος στάθμευσης ποδηλάτων	97,31%	2,69%	-
S16	Σταθμός κοινόχρηστων ποδηλάτων	99,29%	0,71%	-
C1_1	Φωτεινή σηματοδότηση	76,25%	23,75%	-
C1_2	Ράμπες πεζοδρομίου	19,07%	3,23%	77,70%
C1_3	Οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών	39,84%	60,16%	-
Συνολική βαθμολογία		42,50%		

Παρατηρώντας αναλυτικότερα τη βαθμολογία ανά μεταβλητή για το κέντρο της Μάλαγα, διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος του (64,07%) έχει ως κύρια χρήση ισογείου μη εμπορικές ή ψυχαγωγικές χρήσεις. Ποσοστό 15,14% των καταγεγραμμένων τμημάτων έχει πάνω από δύο προσβάσεις σε πάρκο ή πλατεία σε αντίθεση με το 83,05% που δεν έχει καθόλου πρόσβαση. Τα πεζοδρόμια που έχουν τουλάχιστον μία στάση MMM είναι μόλις 4,27%, ενώ δύο ή και περισσότερες στάσεις έχει το 1,80%.

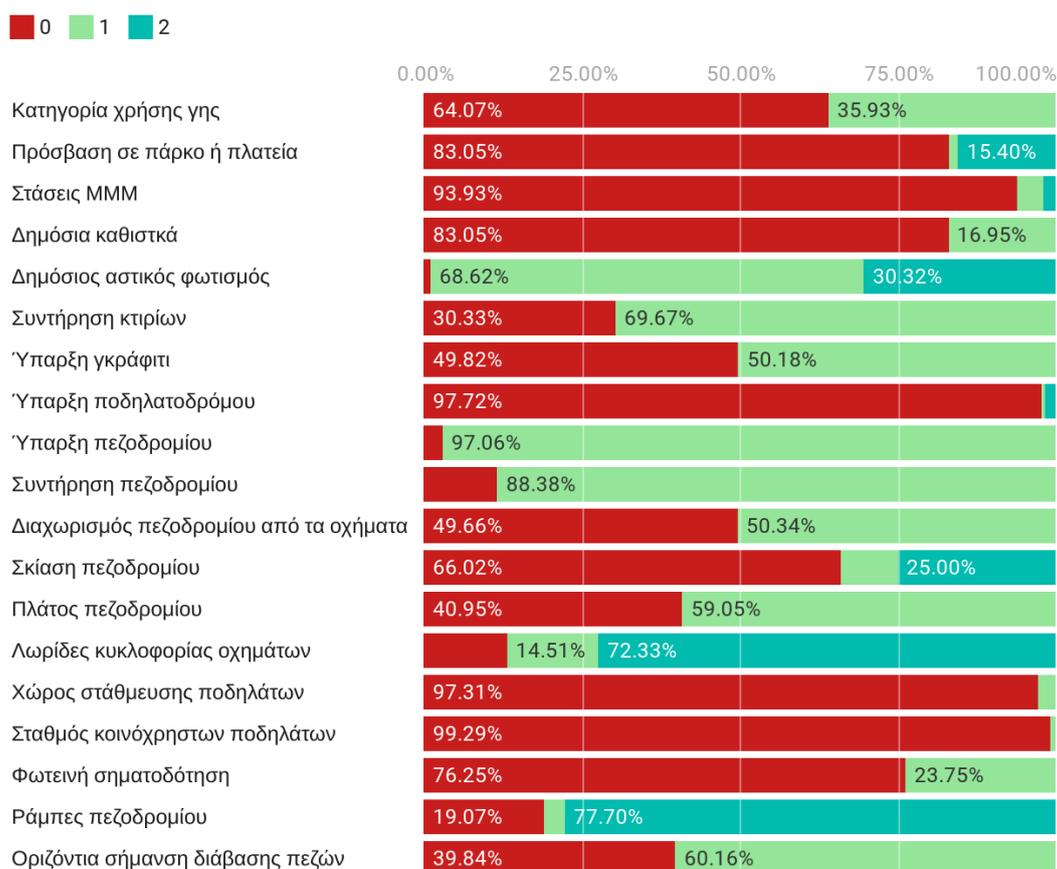
Όσον αφορά στα δημόσια καθιστικά, αυτά υπάρχουν ως εξοπλισμός στο 16,95% των οδικών τμημάτων. Επίσης, φαίνεται ότι το κέντρο της Μάλαγα έχει καλές επιδόσεις και στο δημόσιο φωτισμό, καθώς το 30,32% των οδικών πλευρών έχει έντονο φωτισμό, ενώ μόλις το 1,06% δε φωτίζεται καθόλου. Η κατάσταση των όψεων των κτιρίων είναι καλή στο 69,67% που κρίνεται όχι αρκετά ικανοποιητικό, ενώ μεγαλύτερο είναι το πρόβλημα στο ποσοστό βανδαλισμών από γκράφιτι που ανέρχεται στο 50,18%, δηλαδή τα μισά τμήματα που αξιολογήθηκαν είχαν γκράφιτι.

Υποδομή για ποδηλατολωρίδα ή ποδηλατόδρομο έχει το 2,28% των αξιολογηθέντων τμημάτων, ενώ απουσία πεζοδρομίου σε ποσοστό πάνω από 50% του μήκος του πεζοδρομίου εμφανίζεται στο 2,97% των τμημάτων. Σε μεγάλο βαθμό τα πεζοδρόμια είναι καλά συντηρημένα (88,38%), ενώ πάνω από τα μισά πεζοδρόμια (59,05%) είναι φυσικά διαχωρισμένα από την κυκλοφορία των οχημάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στους πολυάριθμους πεζοδρόμους του ιστορικού και εμπορικού κέντρου της πόλης, αφού ακριβώς τα μισά τμήματα (50%) που βαθμολογήθηκαν ήταν πεζοδρόμοι. Στον ίδιο λόγο αποδίδεται κυρίως το μεγάλο ποσοστό (59,05%) των τμημάτων που το πλάτος του πεζοδρομίου τους είναι επαρκές για να περπατήσουν δύο ή και περισσότερα άτομα παράλληλα.

Τα πεζοδρόμια διαθέτουν σκίαση σε ποσοστό άνω του 25% του μήκους του πεζοδρομίου στο 33,98% των τμημάτων. Οι δρόμοι στο μεγαλύτερο μέρος τους (72,33%) είναι μία λωρίδα κυκλοφορίας ή είναι δρόμους που δεν επιτρέπεται η κυκλοφορία οχημάτων, ενώ παράλληλα, σε ποσοστό 13,6% οι λωρίδες κυκλοφορίας είναι τέσσερις ή περισσότερες. Αναφορικά με τους χώρους με ειδική κατακόρυφη σήμανση όπου επιτρέπεται η στάθμευση ποδηλάτων, αυτοί εντοπίζονται στο 2,69% των καταγεγραμμένων πλευρών, ενώ μόλις στο 0,71% είναι εγκατεστημένοι σταθμοί κοινόχρηστων ποδηλάτων βραχυχρόνιας μίσθωσης.

Τέλος, όσον αφορά τις συνδέσεις των οδικών τμημάτων με τα απέναντί τους στις διασταυρώσεις, το 76,25% αυτών δε διαθέτει φωτεινό σηματοδότη, αντίθετα, αρκετά υψηλό ποσοστό (77,70%) διαθέτει ράμπα και στις δύο πλευρές του πεζοδρομίου, ενώ το 60,16% διαθέτει οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών. Τα ποσοστά της βαθμολογίας για κάθε μεταβλητή παρουσιάζονται γραφικά στο Γράφημα 4-2.

Ποσοστά ανά βαθμολογία μεταβλητής MAPS mini



Created with Datawrapper

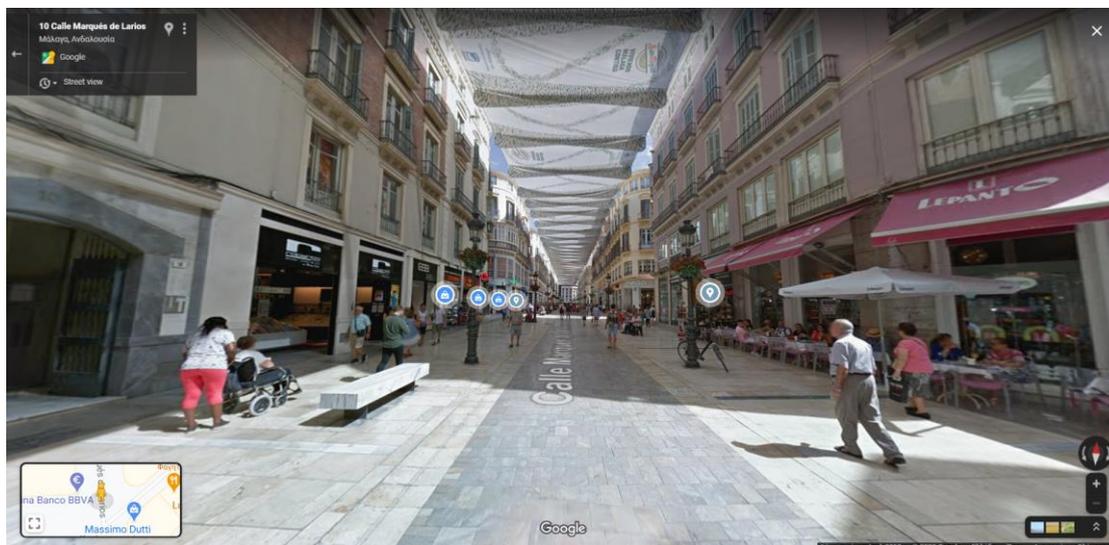
Γράφημα 4-2: Ποσοστιαία κατανομή βαθμολογίας ανά αξιολογηθείσα μεταβλητή MAPS mini

4.2.3 Πυκνότητα βαθμολογίας MAPS mini ανά μεταβλητή

Για την καλύτερη και πιο εποπτική μελέτη της περιοχής ανά αξιολογηθείσα μεταβλητή του δείκτη, δημιουργήθηκαν οι χάρτες των Εικόνων 4-42, 4-45 και 4-46 στους οποίους απεικονίζονται οι χωρικές πυκνώσεις και αραιώσεις των βαθμολογιών ανά μεταβλητή. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία κανονικοποιημένων (raster) εικόνων πυκνότητας (Kernel density). Η χαρτογραφική απεικόνιση δίνει τη δυνατότητα της χωρικής ερμηνείας των τιμών των μεταβλητών και την αναλυτικότερη κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην ελκυστικότητα για την πεζή μετακίνηση.

Από την Εικόνα 4-42 και τη μεταβλητή που αξιολογεί τις χρήσεις γης (S1) παρατηρείται ότι ως κύρια χρήση γης την εμπορική/ ψυχαγωγική/ εκπαιδευτική δραστηριότητα έχει κατά κύριο λόγο η περιοχή που είναι κατασκευασμένο το δίκτυο των πεζοδρόμων της πόλης και αποτελεί την καρδιά του ιστορικού κέντρου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την περιοχή βόρεια της οδού Alameda Principal και σε αυτήν βρίσκονται η πλατεία Συντάγματος, η εμπορική Calle Marqués de Larios (Εικόνα 4-41) και ο Καθεδρικός Ναός. Επίσης παρουσιάζεται πυκνωση εμπορικών χρήσεων στην περιοχή Malagueta και προς τη θάλασσα, περιοχή στην οποία πρόσφατα έγινε μεγάλη ανάπτυξη του παραλιακού μετώπου με κατασκευή πάρκων και καταστημάτων ψυχαγωγίας.

Οι προσβάσεις σε πάρκα ή πλατείες (S2) είναι εμφανώς πιο πυκνές γύρω από το μεγάλο Πάρκο της Μάλαγα, αλλά και στην πιο πάνω αναφερόμενη παραλιακή περιοχή δυτικά της Malagueta. Οι στάσεις των MMM (S3) εμφανίζονται πυκνότερες κατά μήκος της Alameda Principal, που αποτελεί αφετηρία πολλών λεωφορειακών γραμμών που συνδέουν το κέντρο της πόλης με περιαστικές περιοχές. Αυτή η συγκέντρωση είναι εμφανής και στην προέκτασή της δυτικά του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα, τη λεωφόρο Andaluçia.

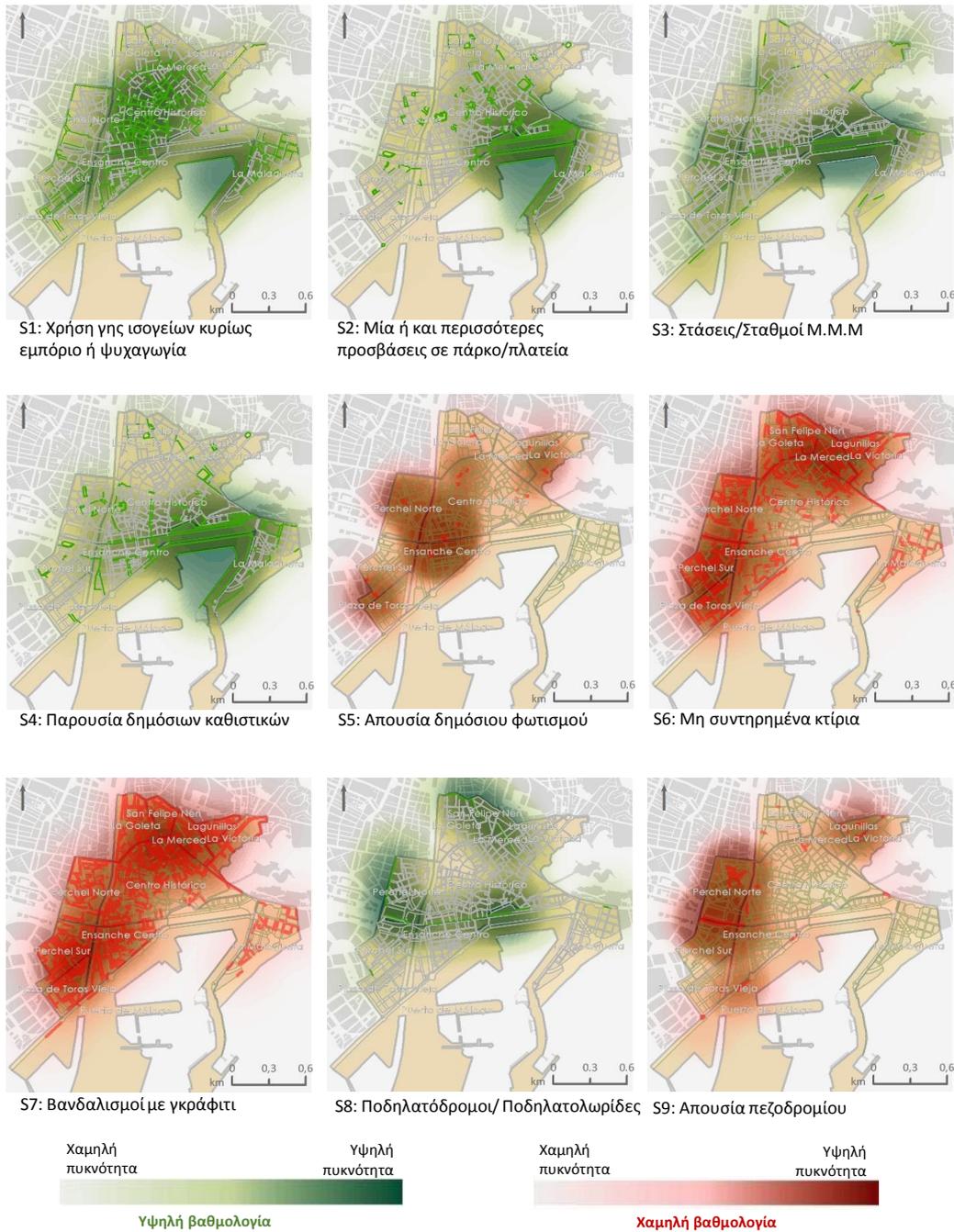


Εικόνα 4-41: Ο κεντρικός εμπορικός πεζόδρομος Calle Marqués de Larios (Πηγή: Street View, Google Maps)

Η ύπαρξη δημόσιων καθιστικών (S4), όπως και στη μεταβλητή S2 είναι εντονότερη εκεί που υπάρχουν οι δύο μεγάλοι ανοιχτοί χώροι πάρκων, αλλά και σε μεγάλες πλατείες, όπως η πλατεία La Merced. Αντίθετα, τα λιγοστά τμήματα (κόκκινο χρώμα) από τα οποία απουσιάζει ο αστικός δημόσιος φωτισμός (S5) βρίσκονται διασκορπισμένα σε όλη την περιοχή μελέτης. Η πύκνωση που εμφανίζεται γύρω από την οδό Alameda Principal αφορά κυρίως σε μικρά τμήματα οδών που βρίσκονται υπό ανάπτυξη.

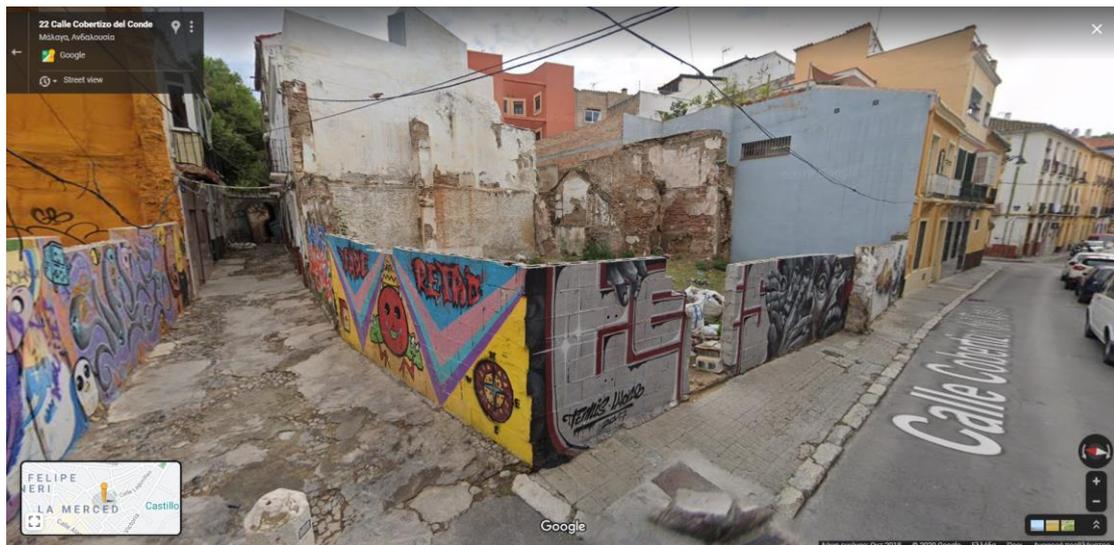
Τα μη συντηρημένα κτίρια της πόλης (S6) φαίνεται ότι χωροθετούνται περιμετρικά των εμπορικών χρήσεων του εμπορικού κέντρου και εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές κατοικίας, συμπέρασμα που συνάγεται από τη σύγκριση με την εικόνα της μεταβλητής των χρήσεων γης (S1). Εξαιρεση αποτελεί ο εμπορικός δρόμος Calle Salitre στα δυτικά της περιοχής μελέτης. Η εικόνα της πόλης όσον αφορά τη χωρική κατανομή των βανδαλισμών των όψεων των κτιρίων με γκράφιτι (S7), δείχνει την έκταση του προβλήματος και τη διάσπαρτη χωροθέτησή τους. Μεγαλύτερες πυκνώσεις απαντώνται δυτικά του Γκουαδαλμεδίνα στη συνοικία Plaza del Toros Vieja που είναι κυρίως περιοχή κατοικίας.

Το δίκτυο των ποδηλατοδρόμων και ποδηλατολωρίδων (S8) αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος της οδού Alameda Principal, αλλά και στην προέκτασή της δυτικά του ποταμού. Παράλληλα, μεγάλου μήκους ποδηλατολωρίδα ξεκινά από την πλατεία La Merced και προς τα βόρεια και την περιοχή κατοικίας San Felipe Neri. Ολοκληρωτική απουσία υποδομών πεζοδρόμιου (S9) εντοπίζεται δυτικά του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα, μπροστά από το εμπορικό Polígono Alameda από όπου διέρχεται δρόμος οκτώ λωρίδων κυκλοφορίας, καθώς και στη βόρεια αυτού συνοικία Perchel Norte. Παράλληλα, κακοσυντηρημένα πεζοδρόμια (Εικόνα 4-42, S10) συγκεντρώνονται, επίσης, στις πιο πάνω περιοχές, αλλά και βορειοδυτικά του ιστορικού και εμπορικού κέντρου στις συνοικίες La Victoria και Lagunillas (Εικόνα 4-42).



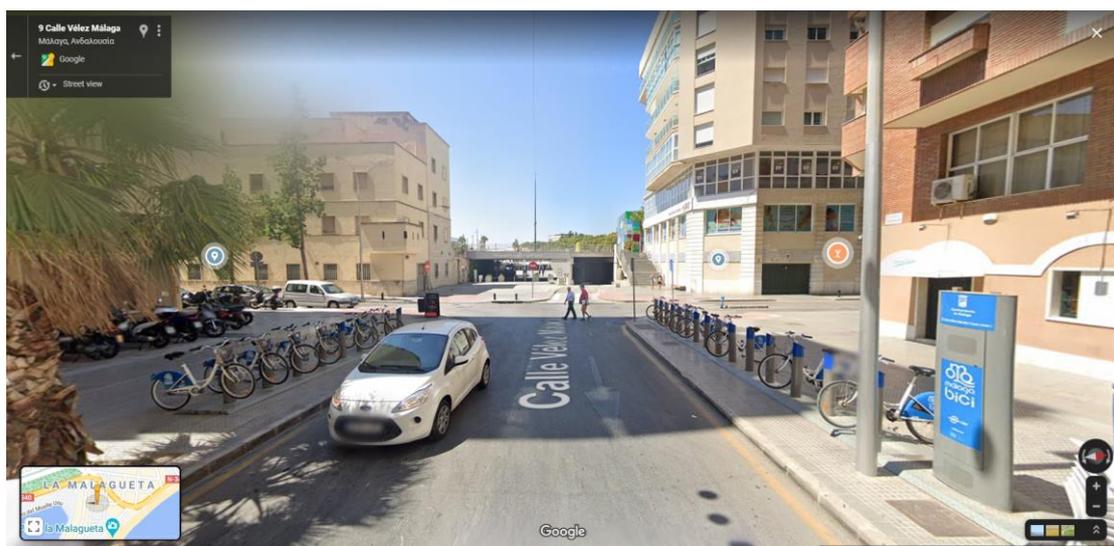
Εικόνα 4-42: Πυκνότητα βαθμολογίας ανά μεταβλητή (S1 – S9) και πλευρές οδών που έλαθαν την αντίστοιχη τιμή στη μεταβλητή (πράσινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 1 ή 2, κόκκινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 0)

Η εντονότερη συγκέντρωση δρόμων με διαχωρισμό των πεζοδρομίων από την κυκλοφορία (Εικόνα 4-45, S11) παρουσιάζεται στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης, μεγαλύτερο μέρος του οποίου είναι αμιγείς πεζόδρομοι, ενώ τα πεζοδρόμια που διαθέτουν σκίαση σε ποσοστό περισσότερο από το 25% του συνολικού τους μήκους (S12) χωροθετούνται κυρίως στα νότια της πόλης περιμετρικά του Πάρκου της Μάλαγα αλλά και στο παραλιακό μέτωπο. Αντίθετα, η ανεπαρκής ή καθόλου σκίαση φαίνεται ότι κυριαρχεί στο μεγαλύτερο μέρος της πόλης και χωρικά κατανέμεται σχεδόν σε όλη την επιφάνειά της (Εικόνα 4-45).

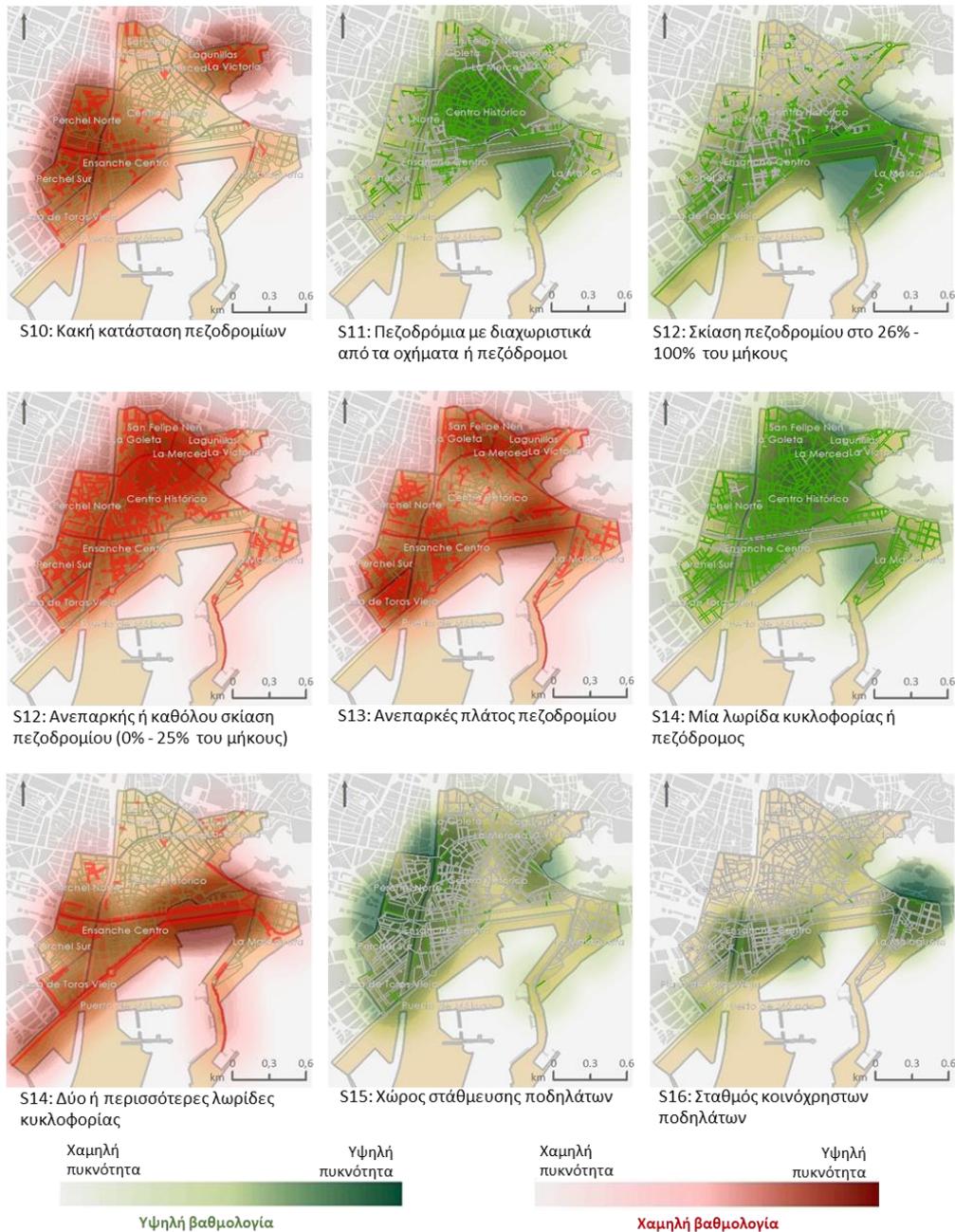


Εικόνα 4-43: Περίπτωση κακής κατάστασης πεζοδρομίου (S10=0) στη συνοικία La Victoria (Πηγή: Street View, Google Maps)

Πεζοδρόμια με ανεπαρκές πλάτος (S13) εντοπίζονται περιμετρικά και έξω από το ιστορικό κέντρο με τους πολυάριθμους πεζόδρομους, διάσπαρτα σε όλη την υπόλοιπη έκταση της περιοχής μελέτης. Παράλληλα, οι περισσότεροι δρόμοι έχουν μία λωρίδα κυκλοφορίας οχημάτων ή είναι δρόμοι που απαγορεύεται η κυκλοφορία οχημάτων (S14) με εξαίρεση τους δύο μεγάλους οδικούς άξονες της Alameda Principal αλλά και της παραλιακής Carretera Nacional N-340 που ανήκει στο εθνικό οδικό δίκτυο. Οι χώροι όπου επιτρέπεται η στάθμευση ποδηλάτων εντοπίζονται κυρίως δυτικά του ιστορικού κέντρου και κατά μήκος του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα, ενώ οι σταθμοί κοινόχρηστων ποδηλάτων προς ενοικίαση malagabici (S16), που είναι εννέα για την περιοχή μελέτης, βρίσκονται κυρίως από την Alameda Principal και νότια, αλλά και πλησίον της περιοχής που βρίσκεται η αρένα ταυρομαχιών La Malaguetta (Εικόνα 4-45).



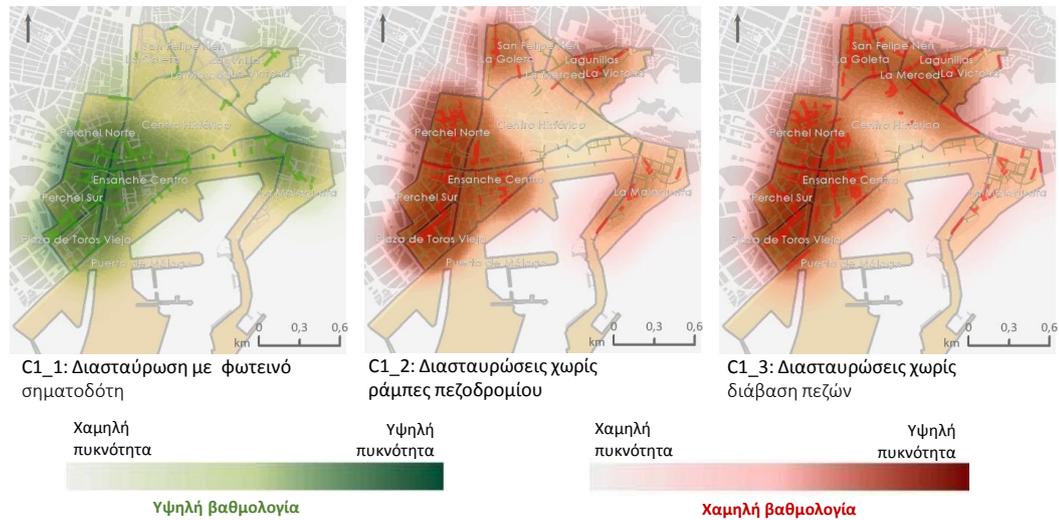
Εικόνα 4-44: Σταθμός κοινόχρηστων ποδηλάτων malagabici (S16=1) στην οδό Velez Malaga νότια της αρένας ταυρομαχιών La Malaguetta (Πηγή: Street View, Google Maps)



Εικόνα 4-45: Πυκνότητα βαθμολογίας ανά μεταβλητή (S10 – S16) και πλευρές οδών που έλαβαν την αντίστοιχη τιμή στη μεταβλητή (πράσινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 1 ή 2, κόκκινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 0)

Όσον αφορά στις συνδέσεις των οδικών τμημάτων μεταξύ τους και εστιάζοντας στην πεζή μετακίνηση, φτωχοί σηματοδότες υπάρχουν κυρίως στις περιοχές γύρω από το ποτάμι (Εικόνα 4-46, C1_1), ενώ, παραδόξως, στην ίδια περιοχή συγκεντρώνονται τόσο οι διασταυρώσεις χωρίς ράμπες πεζοδρομίων (C1_2), όσο και αυτές χωρίς οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών (C1_3). Επιπλέον, συγκέντρωση διασταυρώσεων χωρίς διαβάσεις πεζών εντοπίζονται βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, στις συνοικίες La Goleta, San Felipe Neri και Lagunillas. Τονίζεται ότι αυτή η εικόνα των διαβάσεων για τους πεζούς οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο δίκτυο πεζοδρόμων του ιστορικού και εμπορικού κέντρου, καθώς η σύνδεση

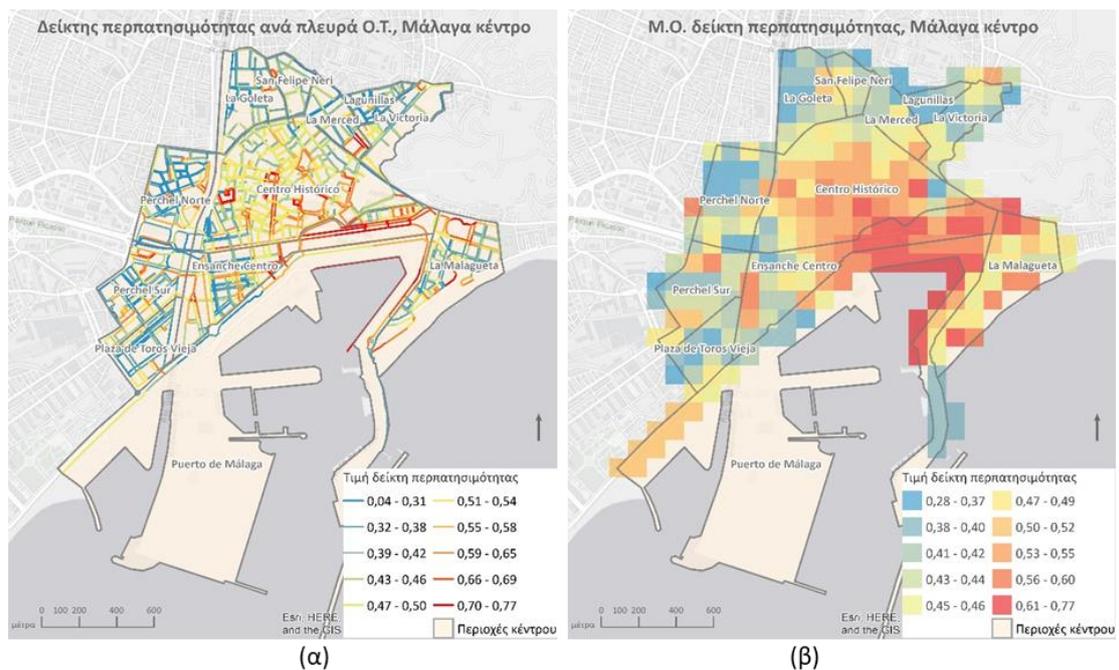
μεταξύ δύο πεζοδρομιών σε διασταύρωση με πεζόδρομο, δε λαμβάνει τιμή στη μεταβλητή (C1_3), αφού εξ ορισμού η σύνδεση των πεζοδρομιών είναι ανεμπόδιση από οχήματα και ασφαλής για τους πεζούς.



Εικόνα 4-46: Πυκνότητα οδών ανάλογα με τη βαθμολογία ανά μεταβλητή (C1_1, C1_2, C1_3) και πλευρές οδών που έλαβαν την αντίστοιχη τιμή (πράσινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 1 ή 2, κόκκινο χρώμα: βαθμολογία ίση με 0)

4.2.4 Δείκτης περπατησιμότητας

Όταν η διαβάθμιση των τιμών του συνολικού δείκτη περπατησιμότητας απεικονίζεται χωρικά στην περιοχή μελέτης, τόσο ανά τμήμα οδού που αξιολογήθηκε, όσο και σε κάναβο με κελί διαστάσεων 100x100μ., προκύπτουν οι χάρτες της Εικόνας 4-47. Η Εικόνα 4-47β προέκυψε από τον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών του δείκτη περπατησιμότητας που περιέχονται σε κάθε κελί. Η ταξινόμηση των τιμών έγινε σε δέκα κλάσεις, με τις ψηλότερες τιμές να λαμβάνουν κόκκινο χρώμα και τις χαμηλότερες, μπλε.



Εικόνα 4-47: Τιμές δείκτη περπατησιμότητας (α) ανά πλευρά οδού, (β) ανά κελί διαστάσεων 100x100μ.

Φαίνεται ότι οι πιο ψηλές τιμές του δείκτη, μεγαλύτερες του 0,5, εμφανίζονται κυρίως στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης (Centro Histórico) και στο αναπλασμένο παραλιακό μέτωπο. Μάλιστα, τιμές μεγαλύτερες του 0,7 υπολογίζονται σε πάρκα και πλατείες, όπως το Πάρκο της Μάλαγα, το παραλιακό πάρκο, την πλατεία Συντάγματος και την πλατεία La Merced. Η εικόνα αυτή φθίνει σταδιακά όσο μεγαλώνει η απόσταση από το κέντρο με τις περιοχές Perchel Norte, La Goleta, Lagunillas και La Victoria να περιλαμβάνουν τις οδούς που έχουν λάβει τις χαμηλότερες βαθμολογίες, μικρότερες από 0,3.

4.3 Χωρική ανάλυση

Η πιο πάνω απεικόνιση μπορεί να δώσει πληρέστερη εικόνα όταν πραγματοποιείται περαιτέρω χωρική ανάλυση των αποτελεσμάτων της ελκυστικότητας για την πεζή μετακίνηση και υπολογίζονται για το δείκτη περπατησιμότητας οι δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης που περιγράφηκαν στη μεθοδολογία.

4.3.1 Δείκτης Global Moran I

Αρχικά εφαρμόστηκε ο δείκτης Global Moran I για να διαπιστωθεί εάν το χωρικό πρότυπο του δείκτη της περπατησιμότητας είναι ομαδοποιημένο, τυχαίο ή διασκορπισμένο. Για ομοιομορφία στους υπολογισμούς, όλοι οι δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης υπολογίστηκαν για τις τιμές του δείκτη και του πληθυσμού που αντιστοιχούν σε κάναβο διαστάσεων 100x100μ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-2. Τόσο στο δείκτη περπατησιμότητας όσο και στην κατανομή του πληθυσμού, ο δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Global Moran I είναι θετικός και περισσότερο κοντά στη μονάδα, παρά στο μηδέν, γεγονός που καταδεικνύει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση μεταξύ των τιμών του κάθε μεγέθους. Τα παραπάνω δείχνουν ότι το χωρικό πρότυπο κατανομής στο κέντρο της Μάλαγα είναι ομαδοποιημένο τόσο για τον δείκτη περπατησιμότητας, όσο και για τον πληθυσμό.

Πίνακας 4-2: Δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης Global Moran I για τις τιμές του δείκτη περπατησιμότητας και του αριθμού κατοίκων ανά κελί διαστάσεων 100x100μ.

	Δείκτης Global Moran I		
	I	p-value	z-score
Δείκτης περπατησιμότητας	0,621	0	13,300
Κατανομή πληθυσμού	0,695	0	14,831

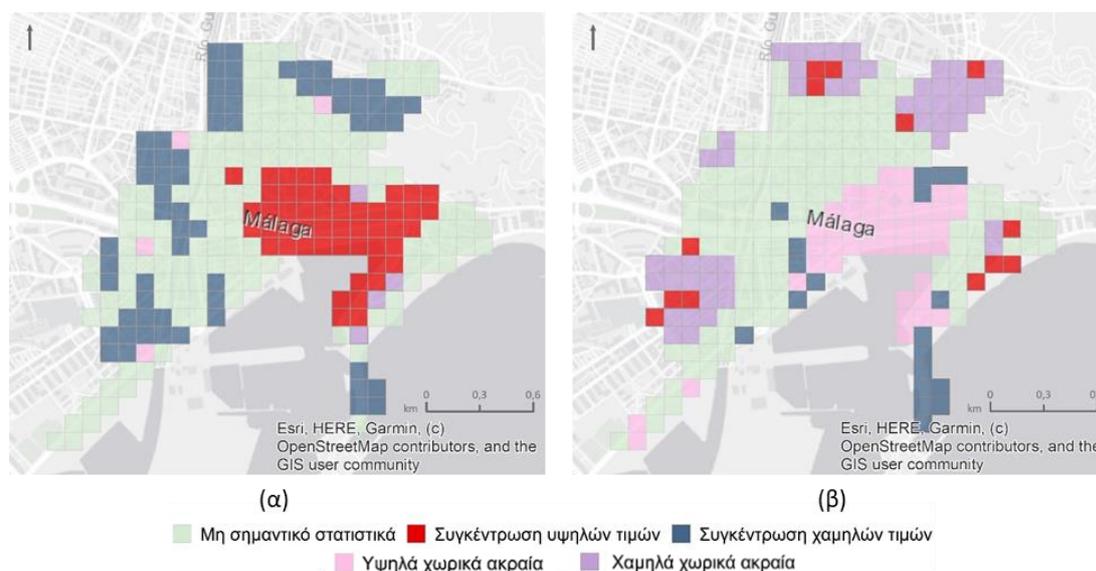
4.3.2 Δείκτης Local Moran's I

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε ο τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran's I, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανά στατιστικά σημαντικές χωρικές ομάδες ($p < 0,05$) που αποτελούν συμπλέγματα υψηλών τιμών (HH), χαμηλών τιμών (LL) και χωρικών ακραίων, όπου υψηλές τιμές περιβάλλονται από χαμηλές (HL) και το αντίστροφο (LH). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μονομεταβλητή (univariate) ανάλυση με τον τοπικό δείκτη Moran's I για την κάθε μέση τιμή περπατησιμότητας υπολογισμένης σε κελιά διαστάσεων 100x100μ., χρησιμοποιώντας βάρος απόστασης τον πλησιέστερο γείτονα προς όλες τις κατευθύνσεις (queen contiguity, 1st order). Επίσης, εφαρμόστηκε διμεταβλητή (bivariate) ανάλυση με τον τοπικό δείκτη Moran's, ως μέτρο αναγνώρισης της χωρικής αυτοσυσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων του πληθυσμού και της περπατησιμότητας, χρησιμοποιώντας το ίδιο βάρος απόστασης με τη μονομεταβλητή ανάλυση. Τα πληθυσμιακά δεδομένα λήφθηκαν από τα

δεδομένα του D4I (Data for Integration) και είναι χωρικής ανάλυσης 100x100μ. Τα κέντρα των κελιών του κανάβου διαστάσεων 100x100μ. βάσει των οποίων υπολογίστηκαν οι δείκτες Local Moran's I, συμπίπτουν με τα σημεία των πληθυσμιακών δεδομένων D4I.

Τα αποτελέσματα της μονομεταβλητής ανάλυσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 4-47α όπου εμφανίζονται οι χωρικές συγκεντρώσεις των τιμών του δείκτη περπατησιμότητας στην περιοχή μελέτης. Παρατηρείται ότι συκέντρωση υψηλών τιμών (HH) εντοπίζεται στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της Μάλαγα, στο Πάρκο της Μάλαγα και νοτιότερα στο πάρκο του παραλιακού μέτωπου, όπως επίσης και περιμετρικά του φρουρίου Αλκαθάμπα και του Δημαρχείου της πόλης. Αντίθετα, συκέντρωση γειτονικών χαμηλών τιμών παρουσιάζεται στις περιοχές Plaza Toros de Vieja, Perchel Norte, La Goleta, Lagunillas και La Victoria που αποτελούν κυρίως περιοχές κατοικίας.

Αυτή η εικόνα επιβεβαιώνεται με τη διμεταβλητή ανάλυση Local Moran's I, όπου εντοπίζονται συνδυαστικά οι στατιστικά σημαντικές χωρικές συστάδες μεταξύ των τιμών του δείκτη περπατησιμότητας και του πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Εικόνα 4-48β). Είναι εμφανής ο εντοπισμός υψηλών χωρικών ακραίων (HL), δηλαδή, περιοχών με ψηλό δείκτη περπατησιμότητας που κατοικούν όμως μικροί αριθμοί πληθυσμού και αφορά κυρίως στις περιοχές του κέντρου που αναφέρθηκαν στην κατηγορία HH της μονομεταβλητής ανάλυσης. Αντίθετα, χαμηλά χωρικά ακραία (LH), δηλαδή περιοχές με χαμηλό δείκτη περπατησιμότητας και μεγάλο πληθυσμό είναι κυρίως οι Plaza Toros de Vieja, La Goleta, Lagunillas και La Victoria.



Εικόνα 4-48: Τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran's I ανά κελί διαστάσεων 100x100μ. (α) μονομεταβλητή ανάλυση δείκτη περπατησιμότητας, (β) διμεταβλητή ανάλυση δείκτη περπατησιμότητας και πληθυσμού.

Τα ποσοστά της έκτασης που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία στατιστικά σημαντικών χωρικά ομάδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-3. Έτσι, παρατηρείται ότι σε ποσοστό 19,46% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης, που αντιστοιχεί σε έκταση 500στρ., εμφανίζονται συστάδες υψηλών τιμών περπατησιμότητας, ενώ αντίθετα σε ποσοστό 24,51% της έκτασης και επιφάνεια 630στρ. εμφανίζονται συστάδες χαμηλών τιμών περπατησιμότητας. Στη διμεταβλητή ανάλυση του δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης, ποσοστό μόλις 12,45% της συνολικής έκτασης που μεταφράζεται σε έκταση 320στρ., παρουσιάζει ψηλό δείκτη περπατησιμότητας σε περιοχές που κατοικεί μεγάλος πληθυσμός και χαμηλές τιμές σε

περιοχές που είναι πιο αραιοκατοικημένες. Αντίθετα, σε επιφάνεια 950στρ., δηλαδή ποσοστό 36,97% της συνολικής επιφάνειας, οι συγκεντρώσεις των τιμών του δείκτη περπατησιμότητας έχουν αρνητική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις του πληθυσμού.

Πίνακας 4-3: Ανάλυση δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran's I για τις τιμές του δείκτη περπατησιμότητας και του αριθμού κατοίκων ανά κελί διαστάσεων 100x100μ.

	Δείκτης Local Moran's I			
	Μονομεταβλητή ανάλυση		Διμεταβλητή ανάλυση	
	Ποσοστό επί του συνόλου	Επιφάνεια (στρ.)	Ποσοστό επί του συνόλου	Επιφάνεια (στρ.)
Συγκέντρωση υψηλών τιμών (HH)	19,46%	500	5,06%	130
Συγκέντρωση χαμηλών τιμών (LL)	24,51%	630	7,39%	190
Χαμηλά χωρικά ακραία (LH)	1,56%	40	19,46%	500
Υψηλά χωρικά ακραία (HL)	1,56%	40	17,51%	450
Στατιστικά μη σημαντικό	52,92%	1360	50,58%	1300
Σύνολο	100%	2570	100%	2570

4.4 Χωρική δειγματοληψία

Στο επόμενο στάδιο, έχοντας συλλέξει τα δεδομένα της περιοχής του κέντρου της Μάλαγα που αφορούν στα επίπεδα της περπατησιμότητας και έχοντας σχηματίσει πλήρη εικόνα για την ελκυστικότητα του κέντρου για περπάτημα, εφαρμόζονται τέσσερις τεχνικές χωρικής δειγματοληψίας στην ίδια περιοχή μελέτης, με σκοπό να επιλεγεί εκείνη που αντιπροσωπεύει καλύτερα την πραγματική κατάσταση που είναι γνωστή από τη διαδικασία της απογραφής. Αυτό επιτυγχάνεται θεωρώντας ως στατιστικό πληθυσμό για την εφαρμογή της δειγματοληψίας τους κόμβους του οδικού δικτύου που απογράφηκε.

Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3 (Μεθοδολογία), οι κόμβοι της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο δημιουργίας κόμβων (διασταυρώσεων) του Neat GIS Protocols, v. 5.1 (2012) και οι τιμές της περπατησιμότητας δόθηκαν σε κάθε κόμβο από την τιμή που έχει στην αντίστοιχη θέση το κανονικοποιημένο αρχείο (raster) της πυκνότητας (Kernel) του δείκτη της περπατησιμότητας για όλη την περιοχή. Ο στατιστικός πληθυσμός των κόμβων που προέκυψαν ήταν 579 για το σύνολο του κέντρου της Μάλαγα.

Στο επόμενο βήμα προσδιορίστηκε ο αριθμός των κόμβων του δείγματος, σύμφωνα με τη στατιστική θεωρία της δειγματοληψίας, που για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και περιθώριο λάθους 10%, το μέγεθος του δείγματος προέκυψε ίσο με 83 κόμβους.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας και της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας. Κάθε μέθοδος εφαρμόστηκε δύο φορές στον πληθυσμό των κόμβων για δύο διαφορετικούς τρόπους στρωματοποίησης, με βάση την απόσταση από ένα σημείο που θεωρήθηκε ως το κέντρο της πόλης και με βάση τον πληθυσμό των κατοίκων της περιοχής μελέτης.

4.4.1 Στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο

Η πρώτη μέθοδος στρωματοποίησης που εφαρμόστηκε βασίζεται στην απόσταση του στατιστικού πληθυσμού των κόμβων από το κέντρο. Η λογική αυτή προέκυψε κατά το στάδιο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων ποσοτικοποίησης του επιπέδου περπατησιμότητας με

τη χρήση του εργαλείου MAPS mini, όπου παρατηρήθηκε ότι τα κεντρικότερα σημεία της πόλης παρουσιάζουν υψηλό δείκτη περπατησιμότητας ο οποίος σταδιακά δείχνει να μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτό.

Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε ένα σημείο ως το κεντρικότερο του κέντρου της Μάλαγα. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση το σημείο που το Google Maps υποδεικνύει ως κέντρο της πόλης. Αυτό είναι το νοτιότερο άκρο της Calle Molina Lario και, παράλλαλα, το δυτικό άκρο του Πάρκου της Μάλαγα. Για να εξακριβωθεί η σχέση μεταξύ της τιμής του δείκτη περπατησιμότητας με την απόσταση από το κέντρο, υπολογίστηκε η τιμή του συντελεστή συσχέτισης Spearman για τις δύο μεταβλητές. Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman r_s προκύπτει από δύο μεταβλητές X και Y για τις οποίες γίνεται ταξινόμηση των παρατηρήσεων κατά αύξουσα ή φθίνουσα τάξη. Αν η συσχέτιση είναι τέλεια, οι παρατηρήσεις έχουν την ίδια κατάταξη και για τις δύο μεταβλητές. Ο συντελεστής Spearman λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[-1,+1]$. Αν οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης είναι κοντά στο 1 ή το -1 υποδηλώνεται ισχυρή συσχέτιση θετική ή αρνητική, αντίστοιχα, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν απουσία συσχέτισης. Ο συντελεστής Spearman υπολογίστηκε ίσος με $-0,78$, γεγονός που δείχνει ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Δηλαδή, όσο μεγαλώνει η απόσταση των κόμβων από το κεντρικό σημείο μειώνεται η τιμή του δείκτη περπατησιμότητας.

Με κέντρο το επιλεγθέν κεντρικό σημείο δημιουργήθηκαν δύο ζώνες επιρροής (στρώματα) ίσου εύρους ώστε να καλυφθούν όλοι οι κόμβοι της περιοχής μελέτης. Το πρώτο στρώμα είναι ο κύκλος ακτίνας 600μ. από το κέντρο και το δεύτερο ο κυκλικός δακτύλιος ακτίνας από 600 έως 1.200μ. από το κέντρο (Εικόνα 4-49).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο αναλογικός καταμερισμός του δείγματος των κόμβων ανάλογα με το ποσοστό του πληθυσμού που εκπροσωπεί το κάθε στρώμα. Έτσι, στο πρώτο στρώμα (0-600μ.) αντιστοιχούν 40 κόμβοι του δείγματος, ενώ στο δεύτερο στρώμα (600μ.-1200μ.) 43 κόμβοι. Οι μέθοδοι δειγματοληψίας ανά τεχνική στρωματοποίησης που εφαρμόστηκαν παρουσιάζονται στα ακόλουθα.

4.4.1.1 Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία με βάση την απόσταση

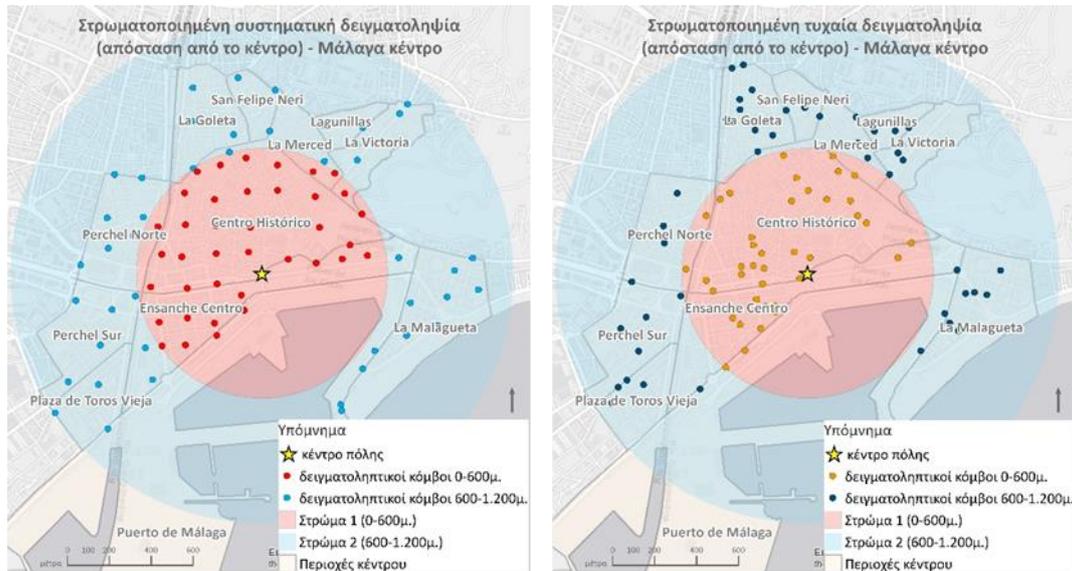
Πρώτα εφαρμόστηκε η μέθοδος της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας με στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο. Για την επιλογή του δείγματος των κόμβων σε κάθε στρώμα δημιουργήθηκε ένας τετραγωνικός κάναβος κατάλληλων διαστάσεων ώστε να καλύπτεται ομοιόμορφα το κάθε στρώμα για να επιλεγθούν οι ζητούμενοι δειγματοληπτικοί κόμβοι ανά στρώμα.

Για το στρώμα 1 η διάσταση των κελιών που δημιουργήθηκαν ήταν $150,5 \times 150,5 \mu$. και για το στρώμα 2, $205 \times 205 \mu$. Σε κάθε κελί επιλέχθηκε ως δείγμα ο κόμβος που βρίσκεται σε κοντινότερη απόσταση από το κεντροειδές (κέντρο) του. Η κατανομή των δειγματοληπτικών κόμβων με ανά στρώμα με τη μέθοδο της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας φαίνεται στην Εικόνα 4-49α.

4.4.1.2 Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με βάση την απόσταση

Έπειτα, επιλέχθηκε το δείγμα των κόμβων με τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο. Τα στρώματα παρέμειναν ίδια με την προηγούμενη δειγματοληψία, όμως η επιλογή του απαραίτητου αριθμού δείγματος κόμβων ανά στρώμα, πραγματοποιήθηκε με τυχαία επιλογή. Η κατανομή

των δειγματοληπτικών κόμβων ανά στρώμα στην περιοχή μελέτης με τη μέθοδο της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας φαίνεται στην Εικόνα 4-49β.



(α)

(β)

Εικόνα 4-49: Στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο της πόλης και δείγμα κόμβων (α) στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας, (β) στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας.

4.4.2 Στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό

Η δεύτερη μέθοδος στρωματοποίησης βασίζεται στην κατανομή του αριθμού των κατοίκων στην περιοχή μελέτης. Όμοια με τη στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της περπατησιμότητας στο κέντρο, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του δείκτη περπατησιμότητας και ο πληθυσμός εμφανίζουν μάλλον αρνητική συσχέτιση. Για να διαπιστωθεί αυτό, υπολογίστηκε και πάλι ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (r_s), των δύο μεταβλητών, τόσο με τον πληθυσμό των δεδομένων D4I (Data for Integration – D4I), όσο και με το κανονικοποιημένο (raster) αρχείο εικόνας της πυκνότητας Kernel του πληθυσμού από την ίδια πηγή.

Ο συντελεστής Spearman μεταξύ του δείκτη περπατησιμότητας και του πληθυσμού υπολογίστηκε ίσος με -0,40, ενώ μεταξύ του δείκτη περπατησιμότητας και της πυκνότητας του πληθυσμού ίσος με -0,34. Ο πρώτος υπολογισμός υποδηλώνει μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών, όχι όμως ισχυρή, ο δεύτερος βρίσκεται αρκετά κοντά στο μηδέν για να θεωρηθεί ότι οι δύο μεταβλητές παρουσιάζουν συσχέτιση. Για το λόγο αυτό, παρά την όχι υψηλή ένδειξη συσχέτισης, θεωρήθηκε ότι υπάρχει μέτριου επιπέδου αρνητική συσχέτιση και πραγματοποιήθηκε η στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό.

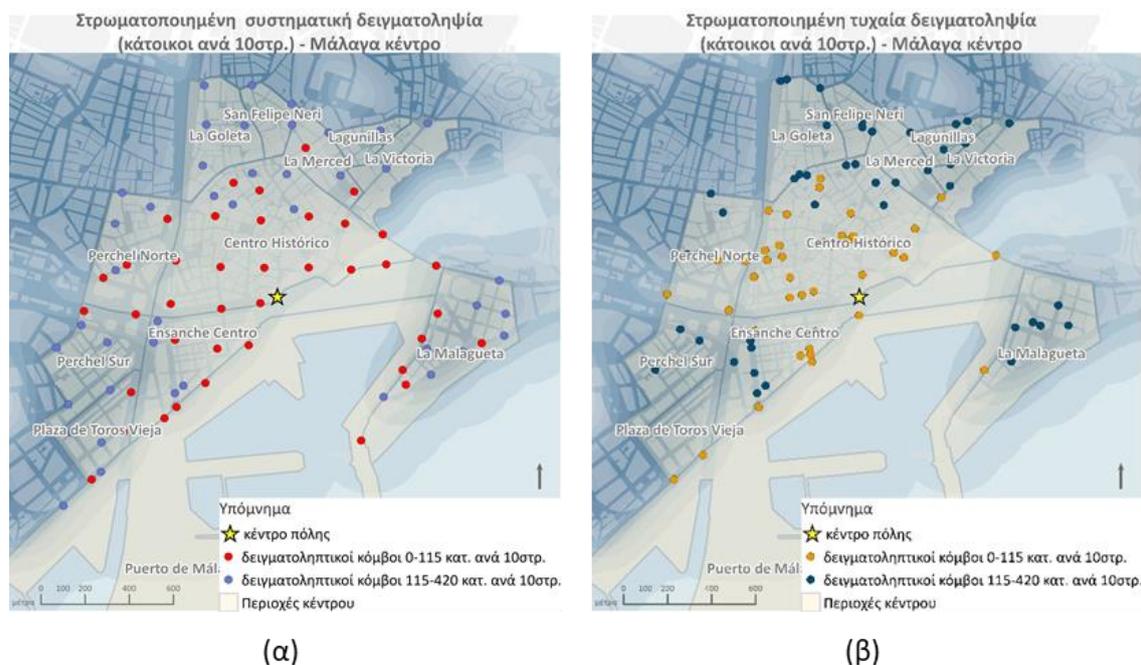
Δημιουργήθηκαν κι εδώ δύο στρώματα, το πρώτο αντιστοιχεί σε κόμβους που εμπίπτουν σε κελιά του πληθυσμιακού κανάβου 100x100μ. με πληθυσμό από 0-115 κατοίκους και το δεύτερο σε κελιά με πληθυσμό 115-420 κατοίκους. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο αναλογικός καταμερισμός του μεγέθους του δείγματος των κόμβων ανάλογα με το ποσοστό του πληθυσμού που εκπροσωπεί το κάθε στρώμα. Έτσι, στο πρώτο στρώμα (0-115 κατ.) αντιστοιχούν 39 κόμβοι του δείγματος, ενώ στο δεύτερο στρώμα (115-420κατ.), 44 κόμβοι.

4.4.2.1 Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία με βάση τον πληθυσμό

Για τη εφαρμογή της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας στα δύο πληθυσμιακά στρώματα, ακολουθήθηκε όμοια τεχνική με σωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο. Έτσι, για την επιλογή του δείγματος των κόμβων σε κάθε στρώμα δημιουργήθηκε κάναβος διαστάσεων κελιού 200x200μ. για το πρώτο στρώμα και 203,5x203,5μ. για το δεύτερο στρώμα. Η κατανομή του δείγματος των κόμβων ανά πληθυσμιακό στρώμα παρουσιάζεται στο χάρτη της Εικόνας 4-50α.

4.4.2.2 Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με βάση τον πληθυσμό

Τέλος, επιλέχθηκε το δείγμα των κόμβων με τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό της περιοχής μελέτης. Τα στρώματα παρέμειναν ίδια και η επιλογή των δειγματοληπτικών κόμβων ανά πληθυσμιακό στρώμα, πραγματοποιήθηκε με τυχαία επιλογή. Η κατανομή των δειγματοληπτικών κόμβων ανά στρώμα στην περιοχή μελέτης με τη μέθοδο της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας φαίνεται στην Εικόνα 4-50β.



Εικόνα 4-50: Στρωματοποίηση με βάση την πληθυσμιακή κατανομή στο κέντρο της πόλης (α) στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας, (β) στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας.

4.4.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δειγματοληψίας

Προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη δειγματοληπτική μέθοδος, για καθεμία από τις τέσσερις μεθόδους που εφαρμόστηκαν, υπολογίστηκαν τα στατιστικά μεγέθη του μέσου όρου και της διαμέσου του δείκτη περπατησιμότητας, ανά δειγματοληπτικό στρώμα για κάθε μέθοδο. Αντίστοιχα, υπολογίστηκαν τα ίδια μεγέθη για ολόκληρο το στατιστικό πληθυσμό των κόμβων και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων, ώστε να διαπιστωθεί ποια μέθοδος απέδωσε καλύτερα τα πραγματικά επίπεδα περπατησιμότητας που προέκυψαν από την απογραφή όλης της περιοχής μελέτης με το εργαλείο οδών MAPS mini.

Τα συγκριτικά αποτελέσματα ανά δειγματοληπτικό στρώμα μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-4, ενώ τα αποτελέσματα για το σύνολο του δείγματος κάθε δειγματοληπτικής μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-5.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι η στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία και με δύο τεχνικές στρωματοποίησης δίνει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εκτίμηση της περπατησιμότητας ανά στρώμα σε σχέση με την στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία. Συγκεκριμένα, όταν η στρωματοποίηση γίνεται με βάση τον πληθυσμό, η ποσοστιαία διαφορά του μέσου δείκτη περπατησιμότητας και της διαμέσου τιμής του δείκτη από αυτές του συνολικού στατιστικού πληθυσμού των κόμβων, είναι για το στρώμα 1, -19,97% και -21,11%, αντίστοιχα, και για στρώμα 2, -10,08% και 16,94%, αντίστοιχα,. Οι αντίστοιχες ποσοστιαίες διαφορές του μέσου όρου και της διαμέσου του δείκτη περπατησιμότητας στη στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία, όταν η στρωματοποίηση γίνεται με βάση την απόσταση από το κέντρο είναι -0,17% και -10,13%, αντίστοιχα, για το στρώμα 1 και -6,85% και -11,37% για το στρώμα 2.

Όταν η σύγκριση πραγματοποιείται με τα αποτελέσματα της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας, οι ποσοστιαίες διαφορές των τιμών της περπατησιμότητας από τον πληθυσμό των κόμβων είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές της συστηματικής. Για την τεχνική της στρωματοποίησης με βάση τον πληθυσμό και το στρώμα 1, η ποσοστιαία διαφορά των μέσων τιμών είναι -1,32% και των διαμέσων 2,95%, ενώ για το στρώμα 2 οι αντίστοιχες διαφορές είναι 3,14% και 1,53%, αντίστοιχα. Ομοίως, οι ποσοστιαίες διαφορές στη στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο, για το στρώμα 1 είναι 5,46% και -4,46%, αντίστοιχα, και για το στρώμα 2, 3,36% και 4,99%, αντίστοιχα.

Τα συνολικά αποτελέσματα, ωστόσο, ανά μέθοδο δειγματοληψίας εμφανίζονται στον Πίνακα 4-5, όπου οι διαφορές των αποτελεσμάτων του κάθε δείγματος σε σύγκριση με αυτά του συνόλου των κόμβων (πληθυσμός) έχουν υπολογιστεί και για τα δύο στρώματα ανά δείγμα. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, είναι εμφανής η μικρότερη ακρίβεια εκτίμησης του δείκτη περπατησιμότητας με τη στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία και για τις δύο τεχνικές στρωματοποίησης. Όταν η στρωματοποίηση γίνεται με βάση τον πληθυσμό, η διαφορά του μέσου όρου και της διαμέσου του δείκτη περπατησιμότητας είναι -15,81% και -19,37%, αντίστοιχα, ενώ στη στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο, οι αντίστοιχες διαφορές είναι -7,57% και -10,62%.

Αντίθετα, η εκτίμηση του δείκτη είναι πλησιέστερα στην τιμή του δείκτη του στατιστικού πληθυσμού των κόμβων στη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας. Στη στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό, η διαφορά του μέσου όρου και της διαμέσου του δείκτη περπατησιμότητας είναι 0,56% και 2,36%, αντίστοιχα, ενώ στη στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο, οι διαφορές είναι -0,43% και -0,74%, αντίστοιχα.

Συμπερασματικά, θεωρείται ότι η μέθοδος δειγματοληψίας που μπορεί να αντιπροσωπεύσει καλύτερα την περιοχή μελέτης ως προς την εκτίμηση των επιπέδων περπατησιμότητας και να δώσει την ακριβέστερη εκτίμηση του δείκτη είναι η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο της πόλης. Ακολουθεί η εφαρμογή της επιλεχθείσας δειγματοληπτικής μεθόδου στην ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα.

Πίνακας 4-4: Αποτελέσματα των τεσσάρων (4) μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας ανά μέθοδο και στρώμα.

Τύπος στρωματοποίησης	Στρώμα	Πληθυσμός/ Δείγμα	Αριθμός κόμβων	Μέσος δείκτης		%		Διάμεσος δείκτης	
				περπατησι- μότητας	Διαφορά μέσων	Διαφορά μέσων	περπατησι- μότητας	Διαφορά διάμεσων	% Διαφορά διάμεσων
Στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό	Στρώμα 1 0-115 κατ./10στρ.	Όλοι οι κόμβοι	282	21,08			21,15		
		Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία	40	20,80	-0,28	-1,32%	21,77	0,62	2,95%
		Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία	40	16,87	-4,21	-19,97%	16,69	-4,46	-21,11%
	Στρώμα 2 115-420 κατ./10στρ.	Όλοι οι κόμβοι	297	14,28			14,03		
		Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία	43	14,73	0,45	3,14%	14,25	0,22	1,53%
		Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία	43	12,84	-1,44	-10,08%	11,66	-2,38	-16,94%
Στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο	Στρώμα 1 0-600 μ.	Όλοι οι κόμβοι	273	22,88			22,79		
		Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία	39	22,23	1,15	5,46%	21,78	-1,02	-4,46%
		Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία	39	21,04	-0,04	-0,17%	20,48	-2,31	-10,13%
	Στρώμα 2 600-1200 μ.	Όλοι οι κόμβοι	306	12,84			13,10		
		Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία	44	13,27	0,43	3,36%	13,75	0,65	4,99%
		Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία	44	11,96	-0,88	-6,85%	11,61	-1,49	-11,37%

Πίνακας 4-5: Αποτελέσματα των τεσσάρων μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας ανά συνολικό δείγμα για κάθε μέθοδο.

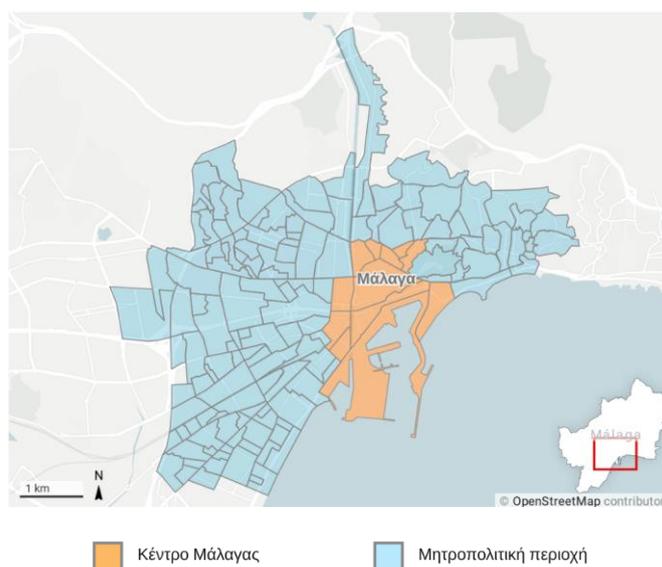
Τύπος στρωματοποίησης	Πληθυσμός/ Δείγμα	Αριθμός κόμβων	Μέσος δείκτης		%		Διάμεσος δείκτης	
			περπατησι- μότητας	Διαφορά μέσων	Διαφορά μέσων	περπατησι- μότητας	Διαφορά διάμεσων	% Διαφορά διάμεσων
Στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό - Όλο το δείγμα	Όλοι οι κόμβοι	579	17,56			17,46		
	Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία	83	17,66	0,10	0,56%	17,87	0,41	2,36%
	Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία	83	14,78	-2,78	-15,81%	14,08	-3,38	-19,37%
Στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο - Όλο το δείγμα	Όλοι οι κόμβοι	579	17,56			17,65		
	Στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία	83	17,48	-0,08	-0,43%	17,52	-0,13	-0,74%
	Στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία	83	16,23	-1,33	-7,57%	15,78	-1,87	-10,62%

4.4.4 Εφαρμογή δειγματοληψίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα

Η εφαρμογή της βέλτιστης μεθόδου δειγματοληψίας επιλέχθηκε να εφαρμοστεί στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα, που αποτελεί τον βασικό αστικό ιστό της πόλης. Πρόκειται για μια έκταση επιφάνειας 21 τετ. χλμ. που υποδιαιρείται σε 135 μικρότερες διοικητικές περιοχές/ συνοικίες, 147 μαζί με αυτές του κέντρου της Μάλαγα (Εικόνα 4-51).

4.4.4.1 Στρωματοποίηση και επιλογή δείγματος

Αρχικά δημιουργήθηκαν οι κόμβοι του οδικού δικτύου με τον τρόπο που περιεγράφηκε στα προηγούμενα, ώστε να προκύψει ο στατιστικός πληθυσμός των κόμβων της περιοχής. Συνολικά προέκυψαν 2.913 κόμβοι από τους οποίους λήφθηκε το δείγμα. Πρώτα προσδιορίστηκαν τα στρώματα της δειγματοληψίας με τη λογική αποδείχθηκε ως η βέλτιστη μέθοδος στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μεθόδων δειγματοληψίας.



Εικόνα 4-51: Μητροπολιτική περιοχή και κέντρο της Μάλαγα

Έτσι, δημιουργήθηκαν δύο στρώματα απόστασης έως 2.400μ. από το κέντρο της πόλης το πρώτο και έως 4.800μ. από το κέντρο το δεύτερο. Όρια των στρωμάτων αποτέλεσαν τα διοικητικά όρια των 135 περιοχών της μητροπολιτικής περιοχής, ενώ οι αποστάσεις από το κέντρο υπολογίστηκαν από τα κεντροειδή των πολυγώνων των διοικητικών ορίων. Η επιλογή των στρωμάτων έγινε με την παραδοχή ότι η επίδραση της απόστασης από το κέντρο της πόλης στα επίπεδα της περπατησιμότητας είναι λιγότερο έντονη όσο μεγαλώνει η απόσταση. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν στρώματα μεγαλύτερου εύρους από το κεντρικό σημείο σε σχέση με την περιοχή του κέντρου. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν τα δύο στρώματα όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 4-52 και επιλέχθηκε το δείγμα με τυχαία επιλογή των κόμβων ανά στρώμα που με τον καταμερισμό ανά στρώμα αντιστοιχεί σε 52 κόμβους για το πρώτο στρώμα και 42 κόμβους για το δεύτερο. Ακολουθεί η αξιολόγηση των οδικών πλευρών του δείγματος και ο υπολογισμός του δείκτη περπατησιμότητας της μητροπολιτικής περιοχής της πόλης, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 4-52: Στρώματα δειγματοληψίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα και κατανομή των κόμβων του δείγματος στα στρώματα.

4.4.4.2 Υπολογισμός του δείκτη περπατησιμότητας του δείγματος με το εργαλείο MAPS mini

Για την εκτίμηση του επιπέδου περπατησιμότητας πραγματοποιήθηκε η απογραφή με το τροποποιημένο εργαλείο οδών MAPS mini όλων των κλάδων των δρόμων που η συμβολή τους δημιουργεί τους κόμβους του δείγματος. Συνολικά αξιολογήθηκαν 565 τμήματα οδών συνολικού μήκους 45,17 χλμ. Ο μέσος όρος των δεικτών περπατησιμότητας των απογεγραμμένων πλευρών ανά κόμβο έδωσε την τιμή του δείκτη περπατησιμότητας για κάθε κόμβο. Τα αποτελέσματα του εκτιμηθέντος δείκτη στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα εμφανίζονται στον Πίνακα 4-5.

Πίνακας 4-6: Μέσος όρος και διάμεση τιμή δείκτη περπατησιμότητας ανά στρώμα και συνολικά για το δείγμα των κόμβων της μητροπολιτικής περιοχής της Μάλαγα και σύγκριση με τα αποτελέσματα της απογραφής στο κέντρο.

	Πληθυσμός/ Δείγμα/ Στρώμα	Αριθμός κόμβων	Μέσος δείκτης περπατησιμότητας	Διάμεσος δείκτη περπατησιμότητας
Μητροπολιτική περιοχή Μάλαγα	Στρώμα 1 (1.200μ.-2.400μ.)	52	0,39	0,38
	Στρώμα 2 (2.400μ.-4.800μ.)	42	0,38	0,38
	Όλο το δείγμα	94	0,39	0,38
Κέντρο Μάλαγα	Αποτέλεσμα απογραφής	-	0,47	0,46

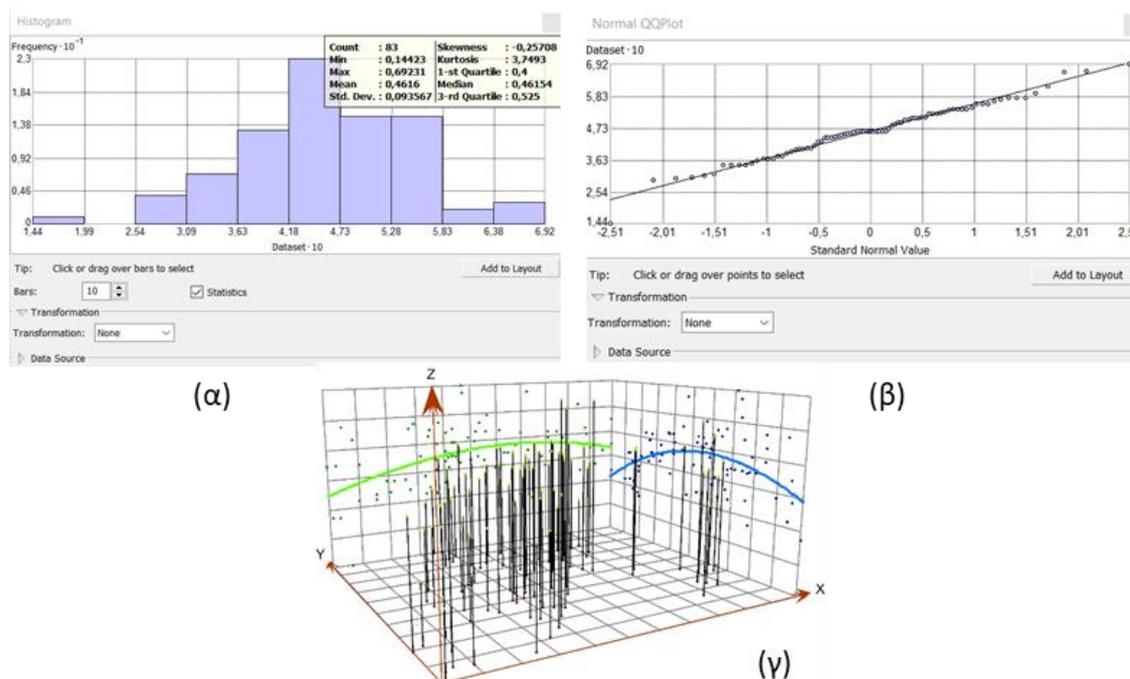
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με το μέσο όρο και τη διάμεση τιμή του δείκτη περπατησιμότητας που προέκυψε από την πλήρη απογραφή του κέντρου με το εργαλείο οδών MAPS mini, παρατηρείται ότι το επίπεδο περπατησιμότητας στο κέντρο της Μάλαγα είναι υψηλότερο στο κέντρο της πόλης (0,47) από ότι στη μητροπολιτική περιοχή που περιβάλλει το κέντρο (0,39). Το επόμενο στάδιο αφορά στην εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής όπως αναλύεται στα επόμενα.

4.5 Χωρική παρεμβολή

Στο τελικό στάδιο της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε χωρική παρεμβολή με τη συνήθη μέθοδο Kriging (ordinary Kriging) προκειμένου να αναπαρασταθεί και να εκτιμηθεί το επίπεδο της περπατησιμότητας σε όλη την έκταση της περιοχής στην οποία πραγματοποιήθηκε η χωρική δειγματοληψία. Για να διαπιστωθεί ποια είναι η μέθοδος που μπορεί να περιγράψει καλύτερα την περπατησιμότητα, εφαρμόστηκε αρχικά στην περιοχή του κέντρου της Μάλαγα, ώστε να επιλεγθεί η καλύτερη δυνατή μέθοδος. Στη συνέχεια, η επιλεγθείσα μέθοδος εφαρμόστηκε στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, δηλαδή στο κέντρο και τη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα συνολικά.

Αρχικά, έγινε η μελέτη των δεδομένων στα οποία θα εφαρμοστεί η χωρική παρεμβολή, που για την περιοχή του κέντρου είναι οι 83 κόμβοι που προέκυψαν από τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση βάσει την απόσταση από το κέντρο, και η τιμές του δείκτη περπατησιμότητας σε καθένα από αυτά. Έτσι, από το ιστόγραμμα των δεδομένων (Γράφημα 4-3α), φαίνεται ότι η κατανομή πλησιάζει στην κανονική. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις στατιστικές ποσότητες που υπολογίσθηκαν, αφού η μέση τιμή (0,462) είναι ίση με τη διάμεσο (0,462) και η ασυμμετρία (-0,257) είναι κοντά στο μηδέν. Επιπλέον, από το QQ plot (Γράφημα 4-3β) επιβεβαιώνεται ότι η κατανομή πλησιάζει στην κανονική, καθώς τα σημεία ακολουθούν ικανοποιητικά τη γραφική παράσταση. Τέλος, στο Γράφημα 4-3γ απεικονίζεται η γενική τάση των δεδομένων, η οποία φαίνεται ότι εκφράζεται από πολυώνυμο 2ου βαθμού.

Έπειτα, υπολογίστηκε ο χωρικός δείκτης αυτοσυσχέτισης Global Moran I. Ο δείκτης προέκυψε ίσος με 0,348, το z-score ίσο με 4,987 και η p-value ίση με 0. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι το χωρικό πρότυπο των κόμβων είναι ομαδοποιημένο.



Γράφημα 4-3: Μελέτη δεδομένων χωρικής παρεμβολής στο κέντρο της Μάλαγα (α) ιστόγραμμα, (β) Normal qq-plot, (γ) μελέτη ύπαρξης τάσης

4.5.1 Χωρική παρεμβολή Kriging χωρίς την αφαίρεση τάσης στο κέντρο της Μάλαγα

Η πρώτη μέθοδος ordinary Kriging εφαρμόστηκε στους δειγματοληπτικούς κόμβους του κέντρου της Μάλαγα χωρίς την αφαίρεση τάσης. Από έντεκα διαθέσιμα μοντέλα και ύστερα από δοκιμές επιλέχθηκε το εκθετικό (exponential), ενώ επιλέχθηκε να μην εφαρμοστεί ανισοτροπία.

Στον αριθμό (number of lags) και το εύρος των ομάδων (lag size) επιλέχθηκαν τα μεγέθη 10 και 100, αντίστοιχα. Ένας κανόνας για τον υπολογισμό του βέλτιστου εύρους είναι το γινόμενο του εύρους επί τον αριθμό των ομάδων να είναι ίσο με το μισό της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ των σημείων. Τη λογική αυτή ακολουθεί και το λογισμικό (ArcGIS, έκδοση 10.5) για τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων (Johnston et al., 2003).

Η αστάθεια ενός μοντέλου Kriging αυξάνεται όταν αυξάνεται ο αριθμός των παρατηρήσεων N , που συμμετέχουν στην εκτίμηση της τιμής ενός σημείου, και μειώνεται η αναλογία εύρος ομάδας/εύρος συσχετισμού δεδομένων. Έτσι, μεγαλύτερος αριθμός γειτόνων μπορεί να παράγει μεγαλύτερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα πρόβλεψης από τον μικρό αριθμό. Για το λόγο αυτό, βέλτιστος θεωρείται ο αριθμός των γειτόνων εάν το τυπικό σφάλμα πρόβλεψης για ένα σημείο παραμένει σχεδόν ίδιο καθώς αυξάνεται ο αριθμός των γνωστών σημείων στην υπό εξέταση γειτονιά (Krivoruchko, 2011). Η επιλογή του αριθμού των γειτονικών σημείων στις μεθόδους που εφαρμόστηκαν έγινε με δοκιμές, συνεκτιμώντας τα αποτελέσματα της διασταυρούμενης επικύρωσης (cross validation).

Έτσι, στη διασταυρούμενη επικύρωση το RMSSE προέκυψε ίσο με 1,049, δηλαδή κοντά στη μονάδα, το RMSPE ίσο με 0,081 και κοντά στην τιμή του ASE (0,077), ενώ το MPE (0,002) είναι πολύ κοντά στο 0, που σημαίνει ότι η μέθοδος παρεμβολής είναι ανεπηρέαστη. Το αποτέλεσμα της επιφάνειας της χωρικής παρεμβολής με την πρώτη μέθοδο απεικονίζεται στο χάρτη της Εικόνας 4-53α.

Τέλος, προκειμένου να διαπιστωθεί πόσο κοντά βρίσκεται η εκτιμηθείσα επιφάνεια εκτίμησης του δείκτη περπατησιμότητας με την πρώτη μέθοδο για την περιοχή του κέντρου της Μάλαγα, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης spearman μεταξύ των κανονικοποιημένων αρχείων (raster) του αποτελέσματος της παρεμβολής Kriging με αυτό της πυκνότητας Kernel του δείκτη που προέκυψε από την απογραφή και έχει υπολογιστεί σε προηγούμενα στάδια της εφαρμογής. Αυτό έγινε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS, έκδοση 10.5, αφού πρώτα για κάθε κανονικοποιημένο αρχείο υπολογίστηκε ο μέσος όρος του δείκτη περπατησιμότητας (εκτίμησης και πραγματικής) σε κελί διαστάσεων 100x100μ. Ο συντελεστής συσχέτισης spearman υπολογίστηκε προέκυψε ίσος με 0,228 που υποδηλώνει κακή συσχέτιση.

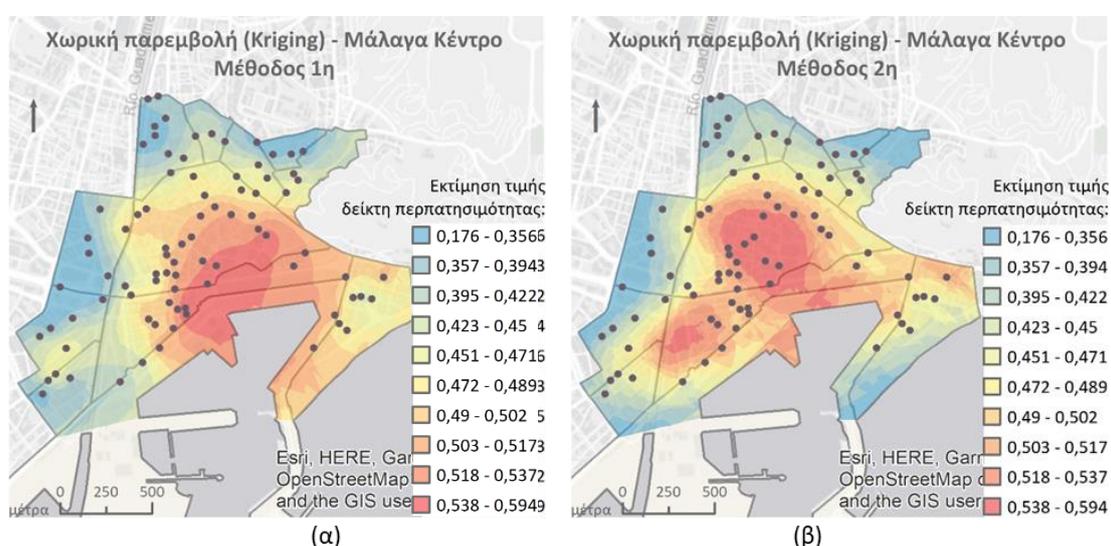
4.5.2 Χωρική παρεμβολή Kriging με αφαίρεση τάσης στο κέντρο της Μάλαγα

Στη δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου ordinary Kriging πραγματοποιήθηκε αφαίρεση τάσης πολυωνύμου 2^{ου} βαθμού. Ομοίως με την πρώτη μέθοδο και ύστερα από δοκιμές επιλέχθηκε το εκθετικό (exponential) μοντέλο, καθώς και να μην εφαρμοστεί ανισοτροπία. Στον αριθμό (number of lags) και το εύρος των ομάδων (lag size) επιλέχθηκαν τα μεγέθη 12 και 50, αντίστοιχα.

Στη διασταυρούμενη επικύρωση το RMSSE προέκυψε ίσο με 1,123, δηλαδή αρκετά κοντά στη μονάδα, το RMSPE ίσο με 0,083 και αρκετά κοντά στην τιμή του ASE (0,073), ενώ το MPE (0,003) είναι πολύ κοντά στο 0, που σημαίνει ότι η μέθοδος παρεμβολής είναι ανεπηρέαστη.

Το αποτέλεσμα της επιφάνειας της χωρικής παρεμβολής με την πρώτη μέθοδο απεικονίζεται στο χάρτη της Εικόνας 4-53β.

Τέλος, υπολογίστηκε και εδώ ο συντελεστής συσχέτισης *spearman* και προέκυψε ίσος με 0,579 που υποδηλώνει αρκετά καλή συσχέτιση με τις απογραφείσες τιμές του δείκτη περπατησιμότητας. Θεωρώντας ότι τα αποτελέσματα της διασταυρούμενης επικύρωσης στην πρώτη μέθοδο χωρικής παρεμβολής είναι επηρεασμένα από το γεγονός ότι δεν αφαιρέθηκε η τάση των αρχικών δεδομένων και συνεκτιμώντας ότι ο συντελεστής συσχέτισης *spearman* με τις πραγματικές τιμές βγαίνει αρκετά ικανοποιητικός, η δεύτερη μέθοδος χωρικής παρεμβολής Kriging με την αφαίρεση τάσης, επιλέχθηκε ως η βέλτιστη για την αναπαράσταση των διακυμάνσεων του δείκτη περπατησιμότητας στο κέντρο της Μάλαγα.



Εικόνα 4-53: Αποτέλεσμα χωρικής παρεμβολής στο κέντρο της Μάλαγα (α) Μέθοδος 1 χωρίς την αφαίρεση τάσης, (β) Μέθοδος 2 με αφαίρεση τάσης

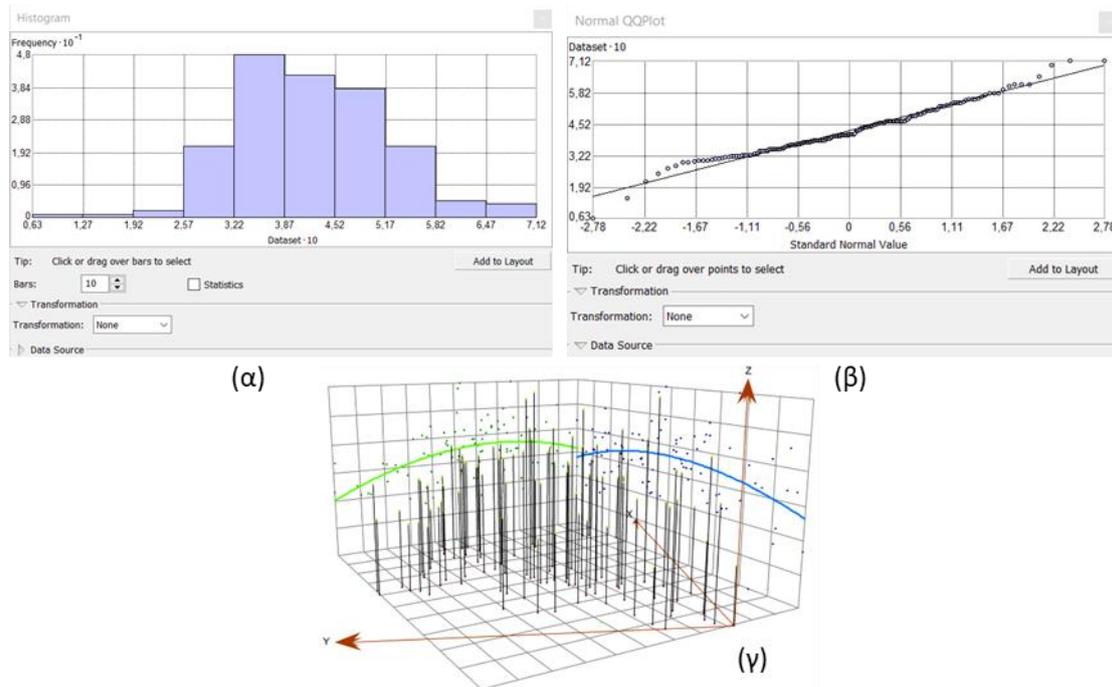
4.5.3 Χωρική παρεμβολή Kriging με αφαίρεση τάσης στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα

Στο τελευταίο στάδιο της εφαρμογής, πραγματοποιήθηκε χωρική παρεμβολή με τη δεύτερη μέθοδο Kriging στην ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα με δεδομένα εισόδου (input) τους 94 κόμβους της περιοχής που προέκυψαν από τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαιάς δειγματοληψίας με στρωματοποίηση βάσει της απόστασης από το κέντρο της πόλης, με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη περπατησιμότητας.

Στη μελέτη των δεδομένων, διαπιστώνεται ότι αυτά πλησιάζουν την κανονική κατανομή (Γράφημα 4-4α). Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις στατιστικές ποσότητες που υπολογίστηκαν, αφού η μέση τιμή (0,462) είναι κοντά στην τιμή της διαμέσου (0,408) και η ασυμμετρία (-0,184) είναι κοντά στο μηδέν. Επιπλέον, από το QQ plot (Γράφημα 4-4β) επιβεβαιώνεται ότι η κατανομή πλησιάζει στην κανονική, καθώς τα σημεία ακολουθούν ικανοποιητικά τη γραφική παράσταση. Επίσης, στο Γράφημα 4-4γ απεικονίζεται η γενική τάση των δεδομένων, η οποία φαίνεται ότι εκφράζεται από πολυώνυμο 2ου βαθμού.

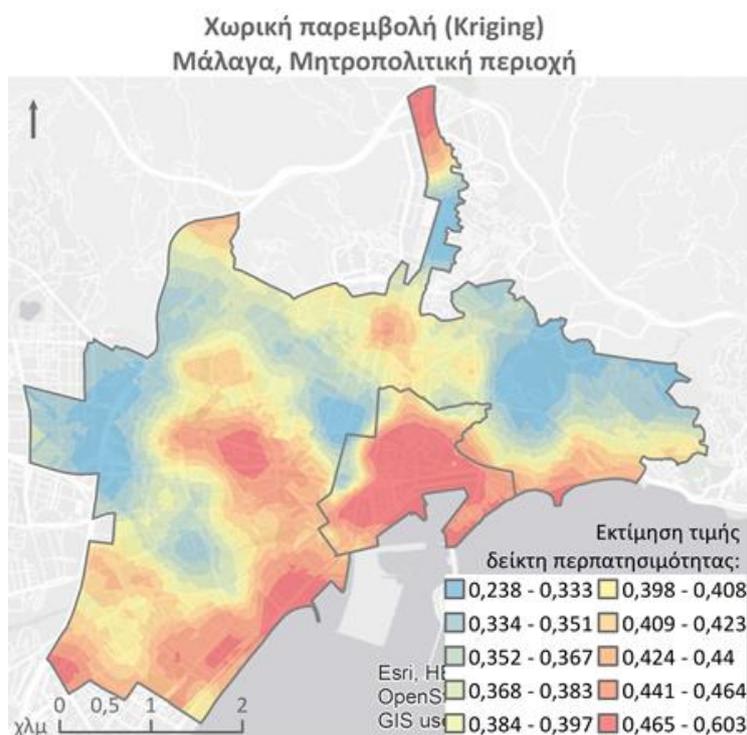
Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ο χωρικός δείκτης αυτοσυσχέτισης Global Moran I. Ο δείκτης προέκυψε ίσος με 0,357, το z-score είναι ίση με 17,263 και η p-value ίση με 0. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το χωρικό πρότυπο των κόμβων είναι ομαδοποιημένο.

Η εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου ordinary Kriging πραγματοποιήθηκε με αφαίρεση τάσης πολωνύμου 2^{ου} βαθμού. Ομοίως με την πρώτη μέθοδο και ύστερα από δοκιμές επιλέχθηκε το εκθετικό (exponential) μοντέλο, καθώς και να μην εφαρμοστεί ανισοτροπία. Στον αριθμό (number of lags) και το εύρος των ομάδων (lag size) επιλέχθηκαν τα μεγέθη 10 και 150, αντίστοιχα.



Γράφημα 4-4: Μελέτη δεδομένων χωρικής παρεμβολής στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα (α) ιστόγραμμα, (β) Normal qq-plot, (γ) μελέτη ύπαρξης τάσης.

Στη διασταυρούμενη επικύρωση το RMSSE προέκυψε ίσο με 0,935 , δηλαδή αρκετά κοντά στη μονάδα, το RMSPE ίσο με 0,081 και πολύ κοντά στην τιμή του ASE (0,087), ενώ το MPE ίσο με 0,001, δηλαδή πολύ κοντά στο 0, που σημαίνει ότι η μέθοδος παρεμβολής είναι ανεπηρέαστη. Το αποτέλεσμα της επιφάνειας της χωρικής παρεμβολής με την πρώτη μέθοδο απεικονίζεται στο χάρτη της Εικόνας 4-54.



Εικόνα 4-54: Αποτέλεσμα χωρικής παρεμβολής στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα

Τα αποτελέσματα της χωρικής παρεμβολής Kriging στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα αναδεικνύουν χαμηλότερα επίπεδα του δείκτη περπατησιμότητας στην εκτεταμένη μητροπολιτική περιοχή σε σύγκριση με αυτά που υπολογίζονται στο κέντρο της Μάλαγα. Οι υψηλότερες τιμές περπατησιμότητας (0,4-0,5) στην ευρεία μητροπολιτική περιοχή εκτός του κέντρου εντοπίζονται στη συνοικία Arroyo del Cuarto που βρίσκεται δυτικά του εμπορικού κέντρου. Αντίθετα, εμφανίζονται έντονα χαμηλές τιμές στα δυτικά στη συνοικία La Barriguila από όπου διέρχονται και διασταυρώνονται μεγάλες οδικές αρτηρίες του εθνικού οδικού δικτύου, αλλά και στα ανατολικά όρια της περιοχής στην αραιοκατοικημένη και με μεγάλες κλίσεις εδάφους περιοχή La Seminario.

Με την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής Kriging στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα κλείνει η εφαρμογή και η διαμόρφωση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου. Ακολουθούν τα συμπεράσματα της μελέτης και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

5 Συμπεράσματα

Σε συνέχεια της έρευνας που έως σήμερα έχει πραγματοποιηθεί στο αντικείμενο της αξιολόγησης της περπατησιμότητας του αστικού χώρου, η παρούσα εργασία επιχείρησε να εκπληρώσει τον ερευνητικό της στόχο που είναι να προτείνει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την ποσοτικοποίηση των επιπέδων της περπατησιμότητας που χρησιμοποιεί το υπάρχον εργαλείο ελέγχου οδών (audit tools) MAPS mini, καταγράφοντας, όμως, δειγματοληπτικά ένα μέρος της υπό μελέτη περιοχής και όχι ολόκληρη την περιοχή. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική στη μείωση του αυξημένου κόστους και χρόνου που υπό άλλες συνθήκες απαιτείται στα περισσότερα εργαλεία οδών κατά τη διαδικασία της απογραφής για τη συλλογή των δεδομένων.

5.1 Επίπεδα δείκτη περπατησιμότητας στο κέντρο της Μάλαγα

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε στην περιοχή του εμπορικού και ιστορικού κέντρου της ισπανικής πόλης Μάλαγα, ώστε να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και να ελεγχθεί η προτεινόμενη μέθοδος. Έτσι, αρχικά, προκειμένου να απαντηθεί το πρώτο ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, δηλαδή η προσπάθεια ποσοτικοποίησης των επιπέδων περπατησιμότητας στο κέντρο της Μάλαγα, αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση του τροποποιημένου εργαλείου MAPS mini που περιλαμβάνει 19 μεταβλητές προς αξιολόγηση.

Η βαθμολογία όλων των πλευρών των δρόμων που καταγράφηκαν στο σύνολο της περιοχής μελέτης έδωσε το βαθμό ελκυστικότητας του αστικού χώρου ως προς την ενεργό μετακίνηση, δηλαδή την περπατησιμότητα. Συνολικά καταγράφηκε επιφάνεια 3,05 τετ. χλμ. που χωρίζεται σε δώδεκα επί μέρους διοικητικές περιοχές και στην οποία συνυπάρχει πληθώρα χρήσεων γης που έλκουν μετακινήσεις (εμπορικές, τουριστικές, πολιτιστικές, εκπαίδευσης, κατοικίας κ.λπ.). Καταγράφηκαν και αξιολογήθηκαν 2.010 τμήματα οδών που αντιστοιχούν σε μήκος 110,66 χλμ. περπατήσιμου δικτύου. Ο συνολικός δείκτης περπατησιμότητας, σταθμισμένος ανά μεταβλητή αξιολόγησης ως προς το συνολικό μήκος των πλευρών, για όλη την περιοχή που καταγράφηκε υπολογίστηκε ίσος με 42,50%.

Η εποπτική θεώρηση των χαρτών που παρουσιάζουν τη χωρική πυκνότητα (Kernel density) της βαθμολογίας ανά αξιολογηθείσα μεταβλητή αποτελεσμάτων του δείκτη ανά αξιολογηθείσα μεταβλητή, έδωσε χρήσιμα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος της περιοχής. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μεγάλη χωρική πύκνωση χρήσεων γης που αφορούν το εμπόριο, την ψυχαγωγία ή την εκπαιδευτική δραστηριότητα στην περιοχή που είναι χωροθετείται το δίκτυο των πεζοδρόμων της πόλης και αποτελεί την καρδιά του ιστορικού και εμπορικού κέντρου (Alameda Principal, πλατεία Συντάγματος, Calle Marqués de Larios). Στο σύνολό τους οι χρήσεις γης που έλκουν το ενδιαφέρον για μετακινήσεις καταλαμβάνουν ποσοστό 64,07% στο σύνολο του δικτύου. Παράλληλα, οι προσβάσεις σε πάρκα ή πλατείες είναι πυκνότερες περιμετρικά του Πάρκου της Μάλαγα και στην προσφάτως αναπλασμένη παραλιακή περιοχή νότια του Πάρκου. Οι στάσεις των MMM είναι εμφανώς πιο πυκνές κατά μήκος της Alameda Principal, που αποτελεί αφετηρία λεωφορειακών γραμμών που συνδέουν το κέντρο της πόλης με περιφερειακές περιοχές.

Η πόλη φωτίζεται ικανοποιητικά σε όλη της την έκταση, ενώ αντίθετα τα κτίρια που δεν είναι επαρκώς συντηρημένα κτίρια και αγγίζουν ποσοστό 30,33% του αξιολογηθέντος δικτύου,

εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές κατοικίας περιμετρικά των εμπορικών χρήσεων του κέντρου. Μεγάλη έκταση καταλαμβάνουν οι όψεις κτιρίων που έχουν βανδαλιστεί με γκράφιτι (49,82% των πλευρών που αξιολογήθηκαν) ενώ χωρικά οι βανδαλισμοί ισοκατανέμονται σε όλη την περιοχή μελέτης με λίγο μεγαλύτερες πυκνώσεις να εμφανίζονται σε περιοχές κατοικίας δυτικά του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα και στη συνοικία Plaza del Toros Vieja.

Στο μεγαλύτερο μέρος του κέντρου που μελετήθηκε υπάρχει κατασκευασμένο δίκτυο πεζοδρομίων (97,06%) τα οποία σε μεγάλο ποσοστό έχουν ικανοποιητικό επίπεδο συντήρησης (88,38%). Τα μη συντηρημένα πεζοδρόμια συγκεντρώνονται κυρίως δυτικά του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα, αλλά και βορειότερα στη συνοικία Perchel Norte. Η μεγαλύτερη χωρική πύκνωση δρόμων με διαχωρισμό των πεζοδρομίων τους από την κυκλοφορία εντοπίζεται στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης, μεγαλύτερο μέρος του οποίου είναι πεζοδρομημένο, ενώ τα πεζοδρόμια που διαθέτουν σκίαση σε ποσοστό περισσότερο από το 25% του συνολικού τους μήκους χωροθετούνται κυρίως στα νότια της πόλης περιμετρικά του Πάρκου της Μάλαγα αλλά και στο παραλιακό μέτωπο. Αντίθετα, η ανεπαρκής ή καθόλου σκίαση είναι κυρίαρχη στο μεγαλύτερο μέρος της (66,02%) διάσπαρτα στην επιφάνειά της.

Τα πεζοδρόμια με ανεπαρκές πλάτος (40,95%) χωροθετούνται διάσπαρτα σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης περιμετρικά και εκτός του ιστορικού και εμπορικού κέντρου όπου είναι κατασκευασμένο το δίκτυο των πεζοδρόμων. Επίσης, οι δρόμοι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους έχουν μία λωρίδα κυκλοφορίας ή είναι δρόμοι που απαγορεύεται η κυκλοφορία οχημάτων (72,33%), με εξαίρεση τους δύο κεντρικές οδικές αρτηρίες Alameda Principal και Carretera Nacional N-340, τον παραλιακό δρόμο που ανήκει στο εθνικό οδικό δίκτυο. Οι χώροι που επιτρέπεται η στάθμευση των ποδηλάτων συγκεντρώνονται κυρίως δυτικά του ιστορικού κέντρου και κατά μήκος του ποταμού Γκουαδαλμεδίνα, ενώ οι σταθμοί κοινόχρηστων ποδηλάτων malagabici που είναι εννέα στον αριθμό για το κέντρο της Μάλαγα, βρίσκονται κυρίως στην Alameda Principal και νοτιότερα, αλλά και στην περιοχή La Malaguetta.

Φωτεινοί σηματοδότες για τη διέλευση των πεζών υπάρχουν στο 23,75% των πλευρών που αξιολογήθηκαν και εντοπίζονται κυρίως στις περιοχές γύρω από το ποτάμι. Το παράδοξο είναι ότι στην ίδια περιοχή συγκεντρώνονται τόσο οι διασταυρώσεις χωρίς ράμπες πεζοδρομίων (19,07%), όσο και αυτές χωρίς οριζόντια σήμανση διάβασης πεζών (39,84%). Εντούτοις, τα πεζοδρόμια που διαθέτουν ράμπες και στις δύο πλευρές της σύνδεσης ανέρχονται σε ποσοστό 77,70% των καταγραφών, γεγονός που δείχνει το αρκετά ψηλό επίπεδο συνδέσεων με μέριμνα για άτομα με μειωμένη κινητικότητα. Παράλληλα, επισημαίνεται ότι η χωρική πύκνωση των διαβάσεων για τη διέλευση των πεζών απλώνεται περιμετρικά του εμπορικού κέντρου που υπάρχει το μεγάλο δίκτυο πεζοδρόμων, αφού η σύνδεση μεταξύ δύο πεζοδρομίων σε διασταύρωση με πεζόδρομο, δε λαμβάνει τιμή στη μεταβλητή.

Στη συνολική εικόνα του δείκτη, οι υψηλότερες τιμές, μεγαλύτερες του 0,5, εντοπίζονται κυρίως στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης (διοικητική περιοχή Centro Histórico) και στο αναπλασμένο παραλιακό μέτωπο. Οι μέγιστες τιμές του δείκτη, μεγαλύτερες του 0,7, υπολογίζονται σε πάρκα και πλατείες, όπως το Πάρκο της Μάλαγα, το παραλιακό πάρκο, την πλατεία Συντάγματος και την πλατεία La Merced. Η εικόνα αυτή φθίνει σταδιακά όσο μεγαλώνει η απόσταση από το κέντρο με τις περιοχές Perchel Norte, La Goleta, Lagunillas και La Victoria να περιλαμβάνουν τις οδούς με τις χαμηλότερες βαθμολογίες, μικρότερες από 0,3.

Οι δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης για λόγους ομοιομορφίας των αποτελεσμάτων, υπολογίστηκαν σε κάναβο διαστάσεων 100x100μ. Η εφαρμογή του δείκτη Global Moran I στο δείκτη περπατησιμότητας αλλά και στην κατανομή του πληθυσμού έδειξε ότι το χωρικό πρότυπο κατανομής στο κέντρο της Μάλαγα είναι ομαδοποιημένο τόσο για τον δείκτη περπατησιμότητας, όσο και για τον πληθυσμό. Ο τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran's I στη μονομεταβλητή (univariate) ανάλυση ανέδειξε συγκέντρωση υψηλών τιμών (HH) στο ιστορικό και εμπορικό κέντρο της Μάλαγα, στο Πάρκο της Μάλαγα και νοτιότερα στο πάρκο του παραλιακού μέτωπου, όπως επίσης και περιμετρικά του φρουρίου Αλκαθάμπα και του Δημαρχείου της πόλης. Αντίθετα, συγκέντρωση γειτονικών χαμηλών τιμών παρουσιάζεται στις περιοχές Plaza Toros de Vieja, Perchel Norte, La Goleta, Lagunillas και La Victoria που αποτελούν κυρίως περιοχές κατοικίας. Ποσοστό 19,46% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης, που αντιστοιχεί σε έκταση 500στρ., εμφανίζει συστάδες υψηλών τιμών περπατησιμότητας, ενώ αντίθετα ποσοστό 24,51% της έκτασης και επιφάνεια 630στρ. εμφανίζονται συστάδες χαμηλών τιμών περπατησιμότητας.

Αντίστοιχα, η διμεταβλητή (bivariate) ανάλυση με τον τοπικό δείκτη Moran's I, που εντοπίζει συνδυαστικά τις στατιστικά σημαντικές χωρικές συγκεντρώσεις μεταξύ των τιμών του δείκτη περπατησιμότητας και του πληθυσμού της περιοχής μελέτης, αναδεικνύει υψηλά χωρικά ακραία (HL), δηλαδή, περιοχές με ψηλό δείκτη περπατησιμότητας που κατοικούν όμως μικροί αριθμοί πληθυσμού, κυρίως στις περιοχές του κέντρου που αναφέρθηκαν στην κατηγορία HH της μονομεταβλητής ανάλυσης. Αντίθετα, χαμηλά χωρικά ακραία (LH), δηλαδή περιοχές με χαμηλό δείκτη περπατησιμότητας και υψηλά νούμερα πληθυσμού εντοπίζονται κυρίως στις περιοχές Plaza Toros de Vieja, La Goleta, Lagunillas και La Victoria. Ποσοστό μόλις 12,45% της συνολικής έκτασης του κέντρου (320στρ.) παρουσιάζει ψηλό δείκτη περπατησιμότητας σε περιοχές που κατοικεί μεγάλος πληθυσμός και χαμηλές τιμές σε περιοχές που είναι πιο αραιοκατοικημένες. Αντίθετα, σε επιφάνεια 950στρ., δηλαδή ποσοστό 36,97% της συνολικής επιφάνειας, οι συγκεντρώσεις των τιμών του δείκτη περπατησιμότητας έχουν αρνητική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις του πληθυσμού, δηλαδή, υψηλές τιμές του δείκτη εντοπίζονται σε περιοχές με μικρότερο πληθυσμό και το αντίστροφο.

5.2 Αποτελέσματα βέλτιστης μεθόδου δειγματοληψίας

Το επόμενο ερευνητικό ερώτημα που αφορά στην επιλογή των βέλτιστων μεθόδων χωρικής δειγματοληψίας και χωρικής παρεμβολής για την ικανοποιητική εκτίμηση των αποτελεσμάτων της απογραφής για τον υπολογισμό της περπατησιμότητας ξεκίνησε με τον προσδιορισμό του μεγέθους (αριθμού κόμβων του δείγματος) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και περιθώριο λάθους 10%, από το στατιστικό πληθυσμό των 579 κόμβων για το σύνολο του κέντρου της Μάλαγα. Το μέγεθος του δείγματος προέκυψε ίσο με 83 κόμβους.

Έπειτα, εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι της στρωματοποιημένης συστηματικής δειγματοληψίας και της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας. Κάθε μέθοδος εφαρμόστηκε δύο φορές στον πληθυσμό των κόμβων για δύο διαφορετικούς τρόπους στρωματοποίησης, με βάση την απόσταση από ένα σημείο που θεωρήθηκε ως το κέντρο της πόλης και με βάση τον πληθυσμό των κατοίκων της περιοχής μελέτης.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία και με δύο τεχνικές στρωματοποίησης δίνει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εκτίμηση της περπατησιμότητας ανά στρώμα σε σχέση με την στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία. Όταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων της

απογραφής πραγματοποιείται με τα αποτελέσματα της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας, οι ποσοστιαίες διαφορές των τιμών της περπατησιμότητας από τον πληθυσμό των κόμβων είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές της συστηματικής. Για την τεχνική της στρωματοποίησης με βάση τον πληθυσμό και το στρώμα 1, η ποσοστιαία διαφορά των μέσων τιμών είναι -1,32% και των διαμέσων 2,95%, ενώ για το στρώμα 2 οι αντίστοιχες διαφορές είναι 3,14% και 1,53%, αντίστοιχα. Ομοίως, οι ποσοστιαίες διαφορές στη στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο, για το στρώμα 1 είναι 5,46% και -4,46%, αντίστοιχα, και για το στρώμα 2, 3,36% και 4,99%, αντίστοιχα.

Τα συνολικά αποτελέσματα της κάθε μεθόδου δειγματοληψίας συνολικά, σε σύγκριση με αυτά του συνόλου των κόμβων (στατιστικός πληθυσμός) έδειξαν μικρότερη ακρίβεια εκτίμησης του δείκτη περπατησιμότητας με τη στρωματοποιημένη συστηματική δειγματοληψία και για τις δύο τεχνικές στρωματοποίησης. Στη στρωματοποίηση βάσει του πληθυσμού, η διαφορά του μέσου όρου και της διαμέσου του δείκτη περπατησιμότητας είναι -15,81% και -19,37%, αντίστοιχα, ενώ στη στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο, οι αντίστοιχες διαφορές είναι -7,57% και -10,62%. Αντίθετα, η εκτίμηση του δείκτη ήταν πλησιέστερα στην τιμή του δείκτη του στατιστικού πληθυσμού των κόμβων στη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας. Στη στρωματοποίηση με βάση τον πληθυσμό, η διαφορά του μέσου όρου και της διαμέσου του δείκτη περπατησιμότητας είναι 0,56% και 2,36%, αντίστοιχα, ενώ στη στρωματοποίηση με βάση την απόσταση από το κέντρο, οι διαφορές είναι -0,43% και -0,74%, αντίστοιχα.

Έτσι, ως βέλτιστη μέθοδος δειγματοληψίας για την αντιπροσώπευση της περιοχή μελέτης ως προς την εκτίμηση των επιπέδων περπατησιμότητας επιλέχθηκε η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία με στρωματοποίηση την απόσταση από το κέντρο της πόλης.

5.3 Αποτελέσματα βέλτιστης μεθόδου χωρικής παρεμβολής Kriging

Το τελευταίο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας περιλάμβανε την εφαρμογή της μεθόδου χωρικής παρεμβολής με τη συνήθη μέθοδο Kriging (ordinary Kriging) στην περιοχή του κέντρου της Μάλαγα προκειμένου να αναπαρασταθεί και να εκτιμηθεί το επίπεδο της περπατησιμότητας σε όλη την έκταση της περιοχής στην οποία πραγματοποιήθηκε η χωρική δειγματοληψία.

Πρώτα, μελετήθηκαν τα δεδομένων στα οποία εφαρμόστηκε η χωρική παρεμβολή, δηλαδή οι 83 δειγματοληπτικοί κόμβοι του κέντρου που προέκυψαν από τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση βάσει την απόσταση από το κέντρο. Τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή, το χωρικό τους πρότυπο είναι ομαδοποιημένο και ακολουθούν μία γενική τάση που εκφράζεται από πολυώνυμο 2ου βαθμού.

Η πρώτη μέθοδος ordinary Kriging εφαρμόστηκε χωρίς την αφαίρεση τάσης. Με την επιλογή του εκθετικού (exponential) μοντέλου και χωρίς την εφαρμογή ανισοτροπίας, επιλέχθηκαν, επίσης, ο αριθμός (number of lags) και το εύρος των ομάδων (lag size) ίσα με 10 και 100, αντίστοιχα. Η επιλογή του αριθμού των γειτονικών σημείων στις μεθόδους που εφαρμόστηκαν έγιναν με δοκιμές, συνεκτιμώντας τα αποτελέσματα της διασταυρούμενης επικύρωσης (cross validation). Στη διασταυρούμενη επικύρωση (cross validation) το RMSSE προέκυψε ίσο με 1,049, δηλαδή κοντά στη μονάδα, το RMSPE ίσο με 0,081 και κοντά στην τιμή του ASE (0,077), ενώ το MPE (0,002) είναι πολύ κοντά στο 0, που σημαίνει ότι η μέθοδος παρεμβολής είναι ανεπηρέαστη. Η αξιολόγηση όμως της σύγκρισης της εκτιμηθείσας

επιφάνειας παρεμβολής για την περπατησιμότητα με αυτή του κανονικοποιημένου αρχείου (raster) της πυκνότητας Kernel με τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης spearman που προέκυψε ίσος με 0,228 που δείχνει μία κακή συσχέτιση.

Στη δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου ordinary Kriging πραγματοποιήθηκε αφαίρεση τάσης πολυωνύμου 2^{ου} βαθμού. Επιλέχθηκε και εδώ το εκθετικό (exponential) μοντέλο, καθώς και η μη εφαρμογή ανισοτροπίας. Στον αριθμό (number of lags) και το εύρος των ομάδων (lag size) επιλέχθηκαν τα μεγέθη 12 και 50, αντίστοιχα. Στη διασταυρούμενη επικύρωση το RMSSE προέκυψε ίσο με 1,123, το RMSPE ίσο με 0,083, το ASE ίσο με 0,073 και το MPE ίσο με 0,003 που υποδηλώνει μία ανεπηρεάστη μέθοδο. Ο συντελεστής συσχέτισης spearman υπολογίστηκε ίσος με 0,579 που δείχνει αρκετά καλή συσχέτιση με τις απογραφείσες τιμές του δείκτη περπατησιμότητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι αποτελέσματα της διασταυρούμενης επικύρωσης στην πρώτη μέθοδο χωρικής παρεμβολής είναι επηρεασμένα από το γεγονός ότι δεν αφαιρέθηκε η τάση των δεδομένων και συνεκτιμώντας ότι ο συντελεστής συσχέτισης spearman είναι ικανοποιητικός στη δεύτερη μέθοδο, η μέθοδος ordinary Kriging με την αφαίρεση πολυωνυμικής τάσης 2^{ου} βαθμού επιλέχθηκε ως η βέλτιστη για την αναπαράσταση των διακυμάνσεων του δείκτη περπατησιμότητας στο κέντρο της Μάλαγα.

5.4 Εφαρμογή μεθοδολογίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα, έκτασης 21 τετ. χλμ. που ξεκίνησε με την εφαρμογή της βέλτιστης μεθόδου χωρικής δειγματοληψίας, έδωσε ένα δείγμα 94 κόμβων (52 κόμβους για το πρώτο στρώμα και 42 κόμβους για το δεύτερο) από το στατιστικό πληθυσμό των 2.913 κόμβων. Η στρωματοποίηση έγινε με την παραδοχή ότι η επίδραση της απόστασης από το κέντρο της πόλης στα επίπεδα της περπατησιμότητας είναι λιγότερο έντονη όσο μεγαλώνει η απόσταση. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν στρώματα μεγαλύτερου εύρους από το κέντρο σε σχέση με την περιοχή του κέντρου.

Για την εκτίμηση του επιπέδου περπατησιμότητας στο δείγμα πραγματοποιήθηκε η απογραφή με το τροποποιημένο εργαλείο οδών MAPS mini όλων των κλάδων των δρόμων που η συμβολή τους δημιουργεί τους κόμβους του δείγματος, κατά συνέπεια, αξιολογήθηκαν 565 τμήματα οδών συνολικού μήκους 45,17 χλμ.

Η μελέτη των δεδομένων, δηλαδή, των δειγματοληπτικών κόμβων της μητροπολιτικής περιοχής που προέκυψαν από τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας με στρωματοποίηση βάσει της απόστασης από το κέντρο της πόλης έδειξε ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή, το χωρικό τους πρότυπο είναι ομαδοποιημένο και ακολουθούν μία γενική τάση που εκφράζεται από πολυώνυμο 2ου βαθμού. Η εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής με τη δεύτερη μέθοδο Kriging (με αφαίρεση τάσης) με επιλογή αριθμού (number of lags) και το εύρος ομάδων (lag size) ίσων με 10 και 150, αντίστοιχα, έδωσε ικανοποιητική εκτίμηση σφαλμάτων στη διασταυρούμενη επικύρωση, (RMSSE = 0,935, RMSPE = 0,081, ASE = 0,087 και MPE = 0,001).

Ο χάρτης (Εικόνα 4-54) που παρουσιάζει τη συνολική εικόνα περπατησιμότητας με την προτεινόμενη μεθοδολογία στην ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή της Μάλαγα δείχνει ότι είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά του κέντρου, παρότι η επιφάνεια της είναι κατά επτά φορές μεγαλύτερη από την επιφάνεια του κέντρου. Έτσι, αναδεικνύεται μία ανισότητα του δομημένου περιβάλλοντος μητροπολιτική της περιοχή σε σχέση με το εμπορικό και ιστορικό κέντρο της Μάλαγα, αφού τα χαρακτηριστικά του φαίνεται να είναι πιο υποβαθμισμένα. Η μεθοδολογία που προτείνεται αποδεικνύεται αρκετά ικανοποιητική ως προς τα

αποτελέσματά της και θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσει έναν εναλλακτικό τρόπο εκτίμησης των επιπέδων της περπατησιμότητας σε εκτεταμένες περιοχές, όπου τα εργαλεία απογραφής των οδών μπορούν να είναι εξαντλητικά ή και απαγορευτικά.

5.5 Προτάσεις

Το πεδίο για έρευνα στον τομέα των εργαλείων οδών προς την κατεύθυνση της εξεύρεσης μεθόδων που μειώνουν τους μεγάλους χρόνους απογραφής και τους αυξημένους πόρους είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης και αποτελεί πρόσφορο έδαφος για περαιτέρω μελέτη. Οι προσπάθειες που έχουν έως σήμερα πραγματοποιηθεί δεν έχουν φτάσει σε σημείο να προκρίνουν συνολικά μεθοδολογίες που έχουν δοκιμαστεί, απευθύνονται σε διαφορετικά αστικά περιβάλλοντα και προσπερνούν τα βασικά εμπόδια καταγραφής των παραμέτρων του δομημένου περιβάλλοντος για την αξιολόγηση της περπατησιμότητας.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που προτάθηκε με την παρούσα εργασία έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα στο στάδιο της αξιολόγησής της στην πόλη της Μάλαγα και θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για περισσότερη διερεύνηση προς την κατεύθυνση της χωρικής δειγματοληψίας και της αναπαράστασης των επιπέδων της περπατησιμότητας με ενιαία επιφάνεια με τη μέθοδο της χωρικής παρεμβολής. Κάποιες από τις παραμέτρους της θα μπορούσαν να μελετηθούν σε μεγαλύτερο εύρος σε μελλοντικές έρευνες, όπως να πραγματοποιηθούν δοκιμές και άλλων τεχνικών στρωματοποίησης, να μελετηθούν και να συγκριθούν τα αποτελέσματα για διαφορετικά μεγέθη δειγμάτων (μεταβολή επιπέδου εμπιστοσύνης και περιθωρίου λάθους), αλλά και να διενεργηθεί μία εις βάθος διερεύνηση των διαφόρων μεθόδων χωρικής παρεμβολής.

6 Βιβλιογραφικές αναφορές

Αγγλόφωνη βιβλιογραφία:

Anselin, L., Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), pp. 93–115, 1995

Ayuntamiento de Málaga, Centro Municipal de Informática, Geoportal, <http://cemi.malaga.eu/es/callejero-municipal/geoportal/#.X5NkplgzZPY>.

Bartzokas Tsiompras, A., Photis, Y.N., “Global indicators for pedestrian streets by city”, Mendeley Data, V1, 2020, doi: 10.17632/fs9xxhh5yh.1

Bartzokas Tsiompras, A., Photis, Y.N., Does neighborhood walkability affect ethnic diversity in Berlin, *European Journal of Geography*, vol.11(1), pp.150-172, 2020

Bartzokas-Tsiompras, A., Paraskevopoulos, Y., Sfikaki, A., Photis, Y.N. (2021), Addressing street network accessibility inequities for wheelchair users in fifteen European city centers, *Advances in Intelligent Systems and Computing series*, vol.1278, pp.1-10, doi: 10.1007/978-3-030-61075-3_98

Bartzokas-Tsiompras, A., Photis, Y., & Tampouraki, E. (2020). Is walkability equally distributed among downtowners? Evaluating the pedestrian streetscapes of eight European capitals using a micro-scale audit approach. *International Journal of Transport Development and Integration*, 4(1), 75 - 92. doi:10.2495/TDI-V4-N1-75-92

Bartzokas-Tsiompras, A., Photis, Y.N. Measuring rapid transit accessibility and equity in migrant communities across 17 European cities (2019) *International Journal of Transport Development and Integration*, 3 (3), pp. 245-258. DOI: 10.2495/TDI-V3-N3-245-258

Bartzokas-Tsiompras, A., Photis, Y.N. What matters when it comes to "walk and the city"? Defining a weighted GIS-based walkability index (2017) *Transportation Research Procedia*, 24, pp. 523-530. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.06.001

Bauman, A.E., Reis, R.S., Sallis, J.F., Wells, J.C., Loos, R.J., Martin, B.W., 2012. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? *Lancet* 380 (9838), 258–271

Bethlehem, J.R., et al., The SPOTLIGHT virtual audit tool: A valid and reliable tool to assess obesogenic characteristics of the built environment. *International Journal of Health Geographics*, 13(1), p. art. no. 52, 2014.

Bohling, G., 2005. Kriging, Department of Chemical and Petroleum Engineering Courses (C&PE 940), University of Kansas, USA

Booz & Company, Study on the financing needs in the area of sustainable urban mobility, Final Report - Executive Summary, Prepared for: Directorate-General for Mobility and Transport ref: R01063, March 2012

Booz & Company. «Study on the financing needs in the area of sustainable urban mobility». ec.europa.eu/transport/themes/urban/studies. (2012)

Brownson, R., Hoehner, C., Day, K., Forsyth, A, and Sallis, J. (2009). Measuring the Built Environment for Physical Activity: State of the Science. *American journal of preventive medicine*. 36. S99-123.e12. 10.1016/j.amepre.2009.01.005.

Cain, K.L., et al., Developing and validating an abbreviated version of the Microscale Audit for Pedestrian Streetscapes (MAPS-Abbreviated). *Journal of Transport and Health*, 5, pp. 84–96, 2017.

Cain, K.L., et al., Development and reliability of a streetscape observation instrument for international use: MAPS-global. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 15(1), p. art. no. 19, 2018.

Cain, K.L., Millstein, R.A., Sallis, J.F., Conway, T.L., Gavand, K.A., Frank, L.D., Saelens, B.E., Geremia, C.M., Chapman, J., Adams, M.A., Glanz, K., King, A.C., 2014. Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Social. Sci. Med.* 116, 82–92.

Chou, Yue-Hong, (1997), *Exploring Spatial Analysis in GIS*, Sante Fe: On Word Press

Clifton, K.J., Livi Smith, A.D. & Rodriguez, D., The development and testing of an audit for the pedestrian environment. *Landscape and Urban Planning*, 20(1-2), pp. 95–110, 2007.

Dannenberg, A.L., Cramer, T.W. & Gibson, C.J., Assessing the walkability of the workplace: A new audit tool. *American Journal of Health Promotion*, 20(1), pp. 39–44, 2005.

Datos y estadísticas de uso del transporte público en Málaga. Índice de Transporte Público de Moovit. Consultado el 23 de agosto de 2017

Day, K., Boarnet, M., Alfonzo, M. & Forsyth, A., The Irvine-Minnesota inventory to measure built environments: Development. *American Journal of Preventive Medicine*, 30(2), pp. 144–152, 2006.

De Smith, M., Goodchild, M. and Longley, P., 2013. *Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*, 4th Edition, e-book, The Winchelsea Press, Winchelsea, UK

Estadística del Padrón Continuo a 1 de enero de 2018. Datos por municipios. Población por sexo, municipios y país de nacionalidad. 29. Málaga".

European Commission, *Handbook on the external costs of transport*, 4.K83, January 2019, v1.1, https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable-transport/internalisation-transport-external-costs_en

European Environment Agency, *Urban Atlas 2012*. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-urbanatlas#tab-gis-data>. [Accessed 10 8 2019].

Forsyth, A. (2015), What is a walkable place? The walkability debate in urban design. *Urban Design International*. 20, 4: 274-292.

Frank, L.D., Sallis, J.F., Saelens, B.E., Leary, L., Cain, L., Conway, T.L., Hess, P.M., 2010, The development of a walkability index: Application to the neighborhood quality of life study, *British Journal of Sports Medicine*, 44 (13), pp. 924-933

Ghosh, B., Hunter, G., Sloan, J., Collins, R., Richardson, A., Troxel, W., Colabianchi, N., and Dubowitz, T. (2020). An Audit Tool for Longitudinal Assessment of Health-Related Characteristics of Urban Neighborhoods: Implementation Methods and Reliability Results. 10.21203/rs.2.23465/v1.

Hoehner CM, Brennan Ramirez LK, Elliott MB, Handy SL, Brownson RC: Perceived and objective environmental measures and physical activity among urban adults. *Am J Prev Med* 2005, 28(2 Suppl 2):105-116.

Johnston, K., Jay, M., Hoef, V., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2003. Using ArcGIS Geostatistical Analyst, ESRI Publications, USA

Koschinsky, J., Talen, E., Alfonso, M. & Lee, S., How walkable is Walker's paradise? *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(2), pp. 343–363, 2017.

Krivoruchko, K., 2011. *Spatial Statistical Data Analysis for GIS Users*, e-book, ESRI Press, New York, USA

Leslie, E., Butterworth, I., and Edwards, M. 2006. Measuring the walkability of local communities using Geographic Information Systems data. *Walk21-VII, The Next Steps, The 7th International Conference on Walking and Liveable Communities*, October 23-25, Melbourne.

Li, J. and Heap, A.D., 2008. A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, *Geoscience Australia, Record 2008/23*, 137 pp.

McMillan, T.E. et al. (2010). Neighborhood sampling: how many streets must an auditor walk? *Int J Behav Nutr Phys Act*, 7, 20. doi:10.1186/1479-5868-7-20

Millstein, R.A., Cain, K.L., Sallis, J.F. et al. Development, scoring, and reliability of the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *BMC Public Health* 13, 403 (2013). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-403>

Moran, P.A.P. (1948): «The Interpretation of Statistical Maps». *Journal of the Royal Statistical Society B Vol. 10*, pp. 243-51.

National Institute of Statistics (ed.). *Population by sex, municipalities and nationality (main nationalities)*. Retrieved September 17, 2011.

Neat GIS Protocols (Neighborhood Environment for Active Transport-Geographic Information Systems). VERSION 5.1 January 2012. www.designforhealth.net.

Owen, N., Cerin, E., Leslie, E., duToit, L., Coffee, N., Frank, L.D., Bauman, A.E., Hugo, G., Saelens, B.E., Sallis, J.F., 2007, Neighborhood Walkability and the Walking Behavior of Australian Adults, *American Journal of Preventive Medicine*, 33 (5), pp. 387-395

Phillips, C.B., Engelberg, J.K., Geremia, C.M., Zhu, W., Kurka, J., Cain, K.L., Sallis, J.F., Conway, T.L., and Adams, M.A. (2017). Online versus in-person comparison of Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) assessments: Reliability of alternate methods. *International Journal of Health Geographics*, 16:27. DOI 10.1186/s12942-017-0101-0

Pocock, T., Moore, A., Molina-García, J., Queralt, A. and Mandic, S. (2020). School Neighbourhood Built Environment Assessment for Adolescents' Active Transport to School: Modification of an Environmental Audit Tool and Protocol (MAPS Global-SN). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17. 2194. 10.3390/ijerph17072194.

Sallis, J.F., Cain, K.L., Conway, T.L., Gavand, K.A., Millstein, R.A., Geremia, C.M., Frank, L.D., Saelens, B.E., Glanz, K., King, A.C., 2015. Is your neighborhood designed to support physical activity? A brief streetscape audit tool. *Prev. Chronic Dis.* 12, E141.

Southworth, M. (2005). Designing the Walkable City. *Journal of Urban Planning and Development.* 131. 246-257. 10.1061/(ASCE)0733-9488(2005)131:4(246).

Zhu, W., et al., Reliability between online raters with varying familiarities of a region: Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Landscape and Urban Planning*, 167, pp. 240–248, 2017.

Ελληνική βιβλιογραφία:

Ανδρικοπούλου, Ε. (2019). Μεταναστευτικές κοινότητες στις σύγχρονες πόλεις: Διερεύνηση της επίδρασης της περπατησιμότητας στη χωροθέτησή τους στις κεντρικές περιοχές τριών ευρωπαϊκών πόλεων. Διπλωματική Εργασία, Π.Μ.Σ. "Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος", Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας . Βόλος.

Δερμάνης Α., 2009. Η μέθοδος Kriging από τη σκοπιά της θεωρίας πρόγνωσης τυχαίων πεδίων, ΥΔΡΟΓΑΙΑ Τιμητικός Τόμος στον Καθ. Δ.Τζιμόπουλο, Έκδοση Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ειδικό Ελεγκτικό Συνέδριο, Ειδική Έκθεση «Βιώσιμη αστική κινητικότητα στην ΕΕ: Δεν είναι δυνατή η επίτευξη ουσιαστικής βελτίωσης χωρίς δέσμευση από πλευράς των κρατών μελών» Ευρωπαϊκή Ένωση, 2020

Μπαρτζώκας-Τσιόμπρας, Α. (2013). Walk and the city. Ανάπτυξη και Εφαρμογή ενός Συνδυαστικού Δείκτη "περπατησιμότητας" (walkability) σε Περιβάλλον GIS. Μελέτη Περίπτωσης: Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου. Διπλωματική Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. "Πολεοδομία Χωροταξία", Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.

Ξεκαλάκη Ε., Τεχνικές Δειγματοληψίας, Β' Έκδοση, 2004, Αθήνα

Φώτης, Γ. (2009). Ποσοτική Χωρική Ανάλυση. Αθήνα: Γκοβόστης Εκδοτική ΑΒΕΕ

Φώτης, Γ. (2011). Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος Εφαρμογές Γεωπληροφορικής – Γ.Σ.Π.