



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**Εντοπισμός και Ανάλυση Χρονικής Διάρκειας Αναζήτησης
Θέσης Στάθμευσης σε Αστικά Δίκτυα με Δεδομένα από
Έξυπνα Κινητά Τηλέφωνα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δρόσου Βαΐα

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Επείκουρη Καθηγήτρια Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και συνεπώς των προπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της αλλά και όλους όσους συντρόφευσαν και στήριξαν τη φοιτητική μου πορεία.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και επιβλέπουσα Καθηγήτρια στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, για την εμπιστοσύνη της και την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να την ευχαριστήσω για τη σωστή καθοδήγηση αλλά και τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα κύριο Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη, ο οποίος συνέβαλε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας. Ακόμα τον ευχαριστώ, διότι κάθε φορά που χρειάστηκε ήταν έτοιμος να απαντήσει στις ερωτήσεις μου και να με καθοδηγήσει.

Επιπρόσθετα, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ και στην εταιρεία OSeven, η οποία παραχώρησε τα πολύ χρήσιμα στοιχεία μέτρησης της οδηγικής συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Και φυσικά τίποτα δεν θα ήταν εφικτό χωρίς την οικογένεια και τους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου με την ηθική υποστήριξη και την συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2019
Δρόσου Βαΐα

“Εντοπισμός και Ανάλυση Χρονικής Διάρκειας Αναζήτησης Θέσης Στάθμευσης σε Αστικά Δίκτυα με Δεδομένα από Έξυπνα Κινητά Τηλέφωνα”

Δρόσου Βαΐα

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικής προσέγγισης για τον εντοπισμό και την ανάλυση της χρονικής διάρκειας αναζήτησης ελεύθερης θέσης στάθμευσης σε αστικά δίκτυα, αξιοποιώντας λεπτομερή δεδομένα από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Για τις ανάγκες της εργασίας, αναπτύσσεται μοντέλο αναζήτησης στάθμευσης, το οποίο είναι σε θέση να ποσοτικοποιήσει τον χρόνο και την επιπλέον απόσταση που απαιτείται, ώστε να βρεθεί κενή θέση στάθμευσης. Επίσης, υπολογίζεται η απόσταση περπατήματος από τη θέση στάθμευσης προς τον τελικό προορισμό. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται σε βάση δεδομένων από διαδρομές τυχαίων οδηγών, οι οποίες συλλέχτηκαν από εφαρμογή για έξυπνα κινητά τηλέφωνα και αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στη συνέχεια, με την βοήθεια του αλγόριθμου DBSCAN οι χρόνοι αναζήτησης στάθμευσης ομαδοποιούνται, προκειμένου να βρεθούν συγκεκριμένες περιοχές όπου παρουσιάζουν προβλήματα στάθμευσης. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι υπάρχουν τριάντα διακριτές περιοχές στην Αττική, οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς τα στατιστικά χαρακτηριστικά των διαρκειών στάθμευσης.

Λέξεις κλειδιά: αναζήτηση στάθμευση, αστικό δίκτυο, έξυπνα κινητά τηλέφωνα, ομαδοποίηση

“Detecting and Analyzing the Duration of Cruising for Parking Space in Urban Road Networks Using Smartphone Data”

Drosou Vaia

Supervisor: Eleni I. Vlahogianni, Assistant Professor NTUA

Abstract

The aim of this diploma thesis is to develop a methodological approach for detecting and analyzing the duration of cruising for parking in urban road networks using smartphones data. For this purpose, a parking search scheme is developed, able to quantify the distance and time spent for searching for parking space. Furthermore, walking distance from the parking space to the final destination is calculated. The proposed methodology is implemented in a database, which contains urban trips originating from random drivers as they collected from a mobile phone application and concern the wider area of Athens. Further, in order to detect the difficulty in finding a parking space, a clustering of the study area is performed using DBSCAN algorithm. The algorithm results in the separation of the database in thirty distinct clusters, which differ in the statistical characteristics of the parking search time.

Keywords: cruising for parking, urban networks, smartphone sensing, clustering

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της αστικοποίησης σε συνδυασμό με την ραγδαία αύξηση του αριθμού των ιδιωτικών οχημάτων, έχουν οδηγήσει στην έντονη συμφόρηση των οδών, ιδίως στα κέντρα των πόλεων, όπου η εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα είναι έντονη. Το πρόβλημα της στάθμευσης καθίσταται εμφανές δεδομένου ότι ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης επί της οδού παραμένει σταθερός παρόλο της αύξησης των Ι.Χ. οχημάτων. Η αύξηση του μέσου χρόνου αναζήτησης κενής θέσης στάθμευσης έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση του οδικού δικτύου και κατ' επέκταση την επιβάρυνση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Ο χρόνος ταξιδιού αυξάνεται και το αντίκτυπο στον οδηγό είναι εμφανές. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, η διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς σε θέματα στάθμευσης αποτελεί πλέον το επίκεντρο πολλών ερευνών.

Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να εξηγήσουν την συμπεριφορά του οδηγού ως μία απόφαση που στηρίζεται σε οικονομικούς παράγοντες και πιο συγκεκριμένα στην διαφορά του κόστους στάθμευσης επί της οδού και του κόστους σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον υπολογισμό της απόστασης και του χρόνου που ο οδηγός αναζητά στάθμευση. Στηριζόμενοι κυρίως σε δεδομένα GPS και ερωτηματολόγια, οι έρευνες στοχεύουν στην ανάλυση της συμπεριφοράς των οδηγών βασιζόμενοι στο κόστος για τους επιβάτες.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικής προσέγγισης για τον εντοπισμό της διάρκειας αναζήτησης ελεύθερης θέσης στάθμευσης σε αστικά δίκτυα με τη χρήση δεδομένων από έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται μοντέλο ποσοτικοποίησης της επιπλέον απόστασης και του επιπλέον χρόνου που απαιτείται ώστε ο οδηγός να εντοπίσει κενή θέση στάθμευσης. Επίσης υπολογίζεται η απόσταση περπατήματος που απαιτείται από την θέση που ο οδηγός παρκάρει έως τον τελικό προορισμό. Στην συνέχεια ακολουθεί στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου και ομαδοποίηση τους, με στόχο τον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών με έντονο πρόβλημα στάθμευσης.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου ως βάση δεδομένων χρησιμοποιούνται 14.538 ταξίδια, προερχόμενα από τυχαίους οδηγούς και τα οποία συλλέχτηκαν από την εφαρμογή της OSeven Telematics μέσω έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Τα πραγματικά αυτά δεδομένα κρίνονται επαρκή για τον υπολογισμό του χρόνου και της απόστασης αναζήτησης στάθμευσης, δεδομένου ότι τα μόνα στοιχεία που απαιτούνται είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες των καταγεγραμμένων σημείων κάθε ταξιδιού καθώς και η ταχύτητα κίνησης του οχήματος.

Από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων στο σύνολό τους, ο χρόνος αναζήτησης στάθμευσης για το μεγαλύτερο ποσοστό των διαδρομών εντός Αττικής προκύπτει μικρότερος από ένα (1) λεπτό. Παρόλα αυτά δεν είναι δυνατό να εξαχθεί κάποιο σαφές συμπέρασμα καθώς τα ταξίδια αφορούν την Αττική και όχι κάθε περιοχή ξεχωριστά. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο η διερεύνηση της στάθμευσης ανά περιοχές, όπου παρουσιάζονται επαρκή δεδομένα.

Για την ομαδοποίηση των διαρκειών αναζήτησης θέσης στάθμευσης παρά το κράσπεδο, γίνεται χρήση του αλγόριθμου DBSCAN. Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες παραμέτρους και έχοντας ως βάση την πυκνότητα των σημείων-στοιχείων (γεωγραφικές συντεταγμένες θέσης στάθμευσης κάθε ταξιδιού) δημιουργούνται τριάντα (30) ομάδες. Στη συνέχεια, με βάση την τοποθεσία και το ενδιαφέρον που παρουσιάζει κάθε περιοχή, επιλέγονται τέσσερις από τις τριάντα ομάδες και πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση για κάθε μία από αυτές. Οι ομάδες που επιλέγονται αφορούν τις περιοχές Κέντρο Αθήνας, Νέο Φάληρο, Ζωγράφου-Ιλίσια και Χαλάνδρι. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης η εύρεση στάθμευσης και για τις τέσσερις αυτές ομάδες απαιτεί σε πολλές περιπτώσεις αρκετό χρόνο. Παρόλα αυτά ο χρόνος αυτός δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανά περιοχή.

Η ανάπτυξη του αλγόριθμου, εκπλήρωσε τον σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δημιουργώντας ένα μεθοδολογικό εργαλείο ποσοτικοποίησης της χρονικής διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης. Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι η δυσκολία εύρεσης στάθμευσης εντός Αττικής διαφέρει ανά περιοχή και εξαρτάται από την επισκεψιμότητα. Σε μέρη με πυκνό οδικό δίκτυο και έντονη εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα, ο χρόνος αναζήτησης στάθμευσης είναι υψηλός. Επίσης η ανάλυση των αποτελεσμάτων ανέδειξε ότι, η στάθμευση εξαρτάται και από την χρονική στιγμή που ο οδηγός ψάχνει να παρκάρει. Τέλος, ότι η συμπεριφορά του οδηγού σε θέματα ανοχής αναζήτησης στάθμευσης εξαρτάται και από την συνολική διανυόμενη απόσταση κάθε διαδρομής.

Η παρούσα ανάλυση θα μπορούσε να επεκταθεί αναλύοντας περαιτέρω τις διάρκειες αναζήτησης στάθμευσης σε σχέση με τον σκοπό του ταξιδιού, καθώς όπως έχει διαπιστωθεί επηρεάζει την ανεκτικότητα του οδηγού στην σπατάλη χρόνου. Επίσης, ο περαιτέρω έλεγχος μέσω στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων για τον εντοπισμό της κρισιμότητας των χρόνων, θα μπορούσε να αποτελέσει καθοριστικός παράγοντας για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Το Πρόβλημα της Στάθμευσης.....	1
1.2	Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	3
1.3	Δομή Διπλωματικής Εργασίας	4
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	6
2.1	Αναζήτηση Θέσης Στάθμευσης.....	6
2.1.1	Θεωρητικές Προσεγγίσεις.....	7
2.1.2	Εμπειρικές Προσεγγίσεις.....	9
2.1.3	Προσεγγίσεις Οδηγούμενες από Δεδομένα	10
2.2	Σημείο Έναρξης Αναζήτησης Θέσης Στάθμευσης.....	16
2.3	Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας	17
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	19
3.1	Προσέγγιση και Διάγραμμα Ροής Εργασιών	19
3.2	Βάση Δεδομένων	21
3.3	Ανάπτυξη Αλγορίθμου Εντοπισμού Διάρκειας Αναζήτησης Στάθμευσης	22
3.4	Στατιστική Ανάλυση	27
3.5	Συσταδοποίηση	28
3.5.1	Αλγόριθμος DBSCAN.....	30
4	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
4.1	Χρόνος και Απόσταση Αναζήτησης Στάθμευσης	35
4.2	Απόσταση Περπατήματος Προς Τον Τελικό Προορισμό.....	38
4.3	Χρονική Διακύμανση της Διάρκειας Αναζήτησης Στάθμευσης	39
4.4	Ανίχνευση Κρίσιμων Περιοχών	41
4.5	Στατιστική Ανάλυση Κρίσιμων Περιοχών	45

5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
5.1	Γενικά.....	57
5.2	Βασικά Συμπεράσματα	58
5.3	Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	60
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1: Χρόνος οδήγησης εντός κύκλου 800 μέτρων γύρω από τον τελικό προορισμό (Πηγή: Montini et al., 2012).	13
Διάγραμμα 2.2: Απόσταση οδήγησης εντός κύκλου 800 μέτρων γύρω από τον τελικό προορισμό (Πηγή: Montini et al., 2012).	13
Διάγραμμα 2.3: Κατανομή χρόνου αναζήτησης στάθμευσης στο Turnhout (Πηγή: Van der Waerden et al., (2015).	14
Διάγραμμα 2.4: Ποσοστό οχημάτων που αναζητούν στάθμευση στην περιοχή Τελ Αβίβ (Πηγή: Martens et al., 2012).	16
Διάγραμμα 3.1: Σχηματική Απεικόνιση Μεθοδολογικής Προσέγγισης.	20
Διάγραμμα 4.1: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης (σε λεπτά) εντός Αττικής. .	36
Διάγραμμα 4.2: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης (σε χιλιόμετρα) για διαδρομές εντός Αττικής.	36
Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα συσχέτισης συνολικής απόστασης και απόστασης αναζήτησης στάθμευσης.	37
Διάγραμμα 4.4: Διανυόμενη απόσταση περπατήματος (σε χιλιόμετρα) από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό, για ταξίδια εντός Αττικής	38
Διάγραμμα 4.5: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης ανά ημέρα εντός Αττικής. .	39
Διάγραμμα 4.6: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης ανά ώρα εντός Αττικής.	40
Διάγραμμα 4.7: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης ανά μήνα εντός Αττικής. ...	40
Διάγραμμα 4.8: Απόσταση σημείου από τον k-κοντινότερο γείτονα.	43
Διάγραμμα 4.9: Απόσταση σημείου από τον k-κοντινότερο γείτονα (σε μεγένθυση).	43
Διάγραμμα 4.10: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Κέντρου Αθήνας	46
Διάγραμμα 4.11: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Νέας Σμύρνης.	46
Διάγραμμα 4.12: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Χαλανδρίου	46
Διάγραμμα 4.13: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Ζωγράφου-Ιλίσια	47

Διάγραμμα 4.14: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Κέντρου Αθήνας- Νέας Σμύρνης.	49
Διάγραμμα 4.15: Απόστασης περπατήματος περιοχής Κέντρου Αθήνας-Νέας Σμύρνης.	49
Διάγραμμα 4.16: Χρονική διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης Κέντρου Αθήνας- Νέας Σμύρνης.	50
Διάγραμμα 4.17: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης (σε χιλιόμετρα) για διαδρομές εντός Χαλανδρίου.	52
Διάγραμμα 4.18: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης (σε λεπτά) για διαδρομές εντός Χαλανδρίου.	52
Διάγραμμα 4.19: Απόσταση περπατήματος (σε χιλιόμετρα) από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό για διαδρομές εντός Χαλανδρίου.	53
Διάγραμμα 4.20: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης (σε χιλιόμετρα) για διαδρομές εντός Ζωγράφου-Ιλισίων.	55
Διάγραμμα 4.21: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης (σε λεπτά) για διαδρομές εντός Ζωγράφου-Ιλισίων.	55
Διάγραμμα 4.22: Απόσταση περπατήματος (σε χιλιόμετρα) από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό, για διαδρομές εντός Ζωγράφου-Ιλισίων.	56

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Κοστολόγηση στάθμευσης επί της οδού και αναζήτηση στάθμευσης (Πηγή: Shour, 2006).....	8
Εικόνα 2.2: Απεικόνιση εφαρμογής πληθοπορισμού σε αστικό επίπεδο.	11
Εικόνα 3.1: Διαδικασία εντοπισμού αρχής αναζήτησης θέσης στάθμευσης...24	
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου σε QGIS.....	27
Εικόνα 4.1: Χάρτης Αττικής με συσταδοποιημένα γεγονότα (α).....	44
Εικόνα 4.2: Χάρτης Αττικής με τα συσταδοποιημένα γεγονότα (β).	44
Εικόνα 4.3: Απεικόνιση ομάδας κέντρου Αθήνας στο χάρτη.....	48
Εικόνα 4.4: Απεικόνιση ομάδας Νέας Σμύρνης στο χάρτη.....	48
Εικόνα 4.5: Απεικόνιση ομάδας Χαλανδρίου στο χάρτη.....	51

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Αποτελέσματα παλαιότερων ερευνών σχετικά με την στάθμευση (Πηγή: Shour, 2006).....	3
Πίνακας 3.1: Βάση Δεδομένων Μοντέλου	21
Πίνακας 3.2: Παράδειγμα παρουσίασης αποτελεσμάτων μοντέλου.	26
Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο DBSCAN.	42
Πίνακας 4.2: Αριθμός συστάδων προς ανάλυση.....	45
Πίνακας 4.3: Μέτρα θέσεως και μεταβλητότητας της απόστασης αναζήτησης στάθμευσης μεταξύ των διαφορετικών ομάδων.	45

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το Πρόβλημα της Στάθμευσης

Η εύρεση χώρου στάθμευσης σε αστικές περιοχές αποτελεί καθημερινή πρόκληση για τους οδηγούς σε όλο τον κόσμο. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού, οδήγησε σε αύξηση του αριθμού δείκτη ιδιοκτησίας Ι.Χ. αυτοκινήτων. Όλο και περισσότερα αυτοκίνητα βρίσκονται σε κυκλοφορία καθημερινά και όλο και περισσότεροι οδηγοί αντιμετωπίζουν προβλήματα αναζήτησης θέσεως στάθμευσης.

Σύμφωνα με έρευνα για το έτος 2015, ο αριθμός οχημάτων στην Ευρώπη παρουσίασε συνολική αύξηση 9% σε σύγκριση με το έτος 2005 (Διεθνής Σύνδεσμος Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (www.oica.net)). Συγκεκριμένα για την Ελλάδα το έτος 2015, καταγράφηκαν 6.205 κυκλοφορούντα οχήματα ανά 1.000 κατοίκους, εκ των οποίων τα 1.100 αφορούσαν μη επιβατικά οχήματα. Εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως παρόλο της μικρής της έκτασης, η Ελλάδα καταλαμβάνει την 25^η θέση παγκοσμίως σε σχέση με το συνολικό αριθμό κυκλοφορούντων οχημάτων.

Αύξηση του αριθμού των κυκλοφορούντων οχημάτων συνεπάγεται με αύξηση της αναγκαιότητας ύπαρξης θέσεων παρκινγκ. Πρακτικά όλες οι μεγαλουπόλεις αντιμετωπίζουν προβλήματα εύρεσης θέσεως στάθμευσης ιδίως στο κέντρο των δραστηριοτήτων τους. Η στάθμευση μπορεί να γίνει είτε επί της οδού είτε σε δημόσιους ή ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, στις μεγάλες πόλεις η στάθμευση παρά το κράσπεδο είναι κατά κύριο λόγο ελεγχόμενη και δίνεται προτεραιότητα κυρίως στην εξυπηρέτηση των κατοίκων της περιοχής. Παρόλα αυτά συχνά, κατά την διάρκεια της ημέρας, ο αριθμός σταθμευμένων οχημάτων επί της οδού υπερβαίνει την μέγιστη χωρητικότητα γεγονός που οφείλεται στη παράνομη στάθμευση (Arnott 2006).

Η αναζήτηση θέσης στάθμευσης, ευρέως γνωστή ως 'Cruising for Parking Space' στη διεθνή βιβλιογραφία, αποτέλεσε θέμα ανησυχίας ήδη από το ξεκίνημα της μαζικής παραγωγής αυτοκινήτων. Οι επιπτώσεις της αναζήτησης στάθμευσης είναι πολλές και ιδιαίτερα ζημιογόνες τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο. Τα προβλήματα που συνδέονται με την αναζήτηση αυτή, απορρέουν από τις επιπλέον χιλιομετρικές αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα γύρω από τον τελικό προορισμό τους, προκειμένου να εξασφαλίσουν μια κοντινή θέση στάθμευσης. Μερικά από τα προβλήματα αυτά είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η μόλυνση της ατμόσφαιρας και κατ'

επέκταση του περιβάλλοντος, η κατανάλωση ενέργειας, η σπατάλη χρόνου αλλά και ο εκνευρισμός του οδηγού και των συνεπιβατών του. Με λίγα λόγια λοιπόν, αποτέλεσμα του μεγάλου χρόνου αναζήτησης θέσεως στάθμευσης είναι η αύξηση της πιθανότητας δημιουργίας ατυχήματος αλλά και η μείωση της ανταγωνιστικής οικονομίας της κάθε περιοχής όπου η εύρεση θέσεως στάθμευσης είναι ιδιαίτερα δύσκολη ή οι εναλλακτικές στάθμευσης δεν είναι προσιτές προς του οδηγούς.

Καθημερινά η αναζήτηση κενής θέσης στάθμευσης δημιουργεί ένα ποσοστό οχημάτων που προστίθεται στην ροή κυκλοφορίας επί της οδού, επιβαρύνοντας την. Παρόλα αυτά, το επιπλέον αυτό ποσοστό δεν είναι ορατό λόγω του γεγονότος ότι αποτελούν μέρος της υπόλοιπης κυκλοφορίας των οχημάτων που ταξιδεύουν προς έναν διαφορετικό προορισμό. Αυτός είναι και ο λόγος που οι περισσότεροι συγκοινωνιολόγοι μηχανικοί αγνοούν φαινόμενα αναζήτησης στάθμευσης. Υπάρχουν όμως και ερευνητές, οι οποίοι έχουν προσπαθήσει να μελετήσουν αυτό το φαινόμενο και να ανακαλύψουν τρόπους αντιμετώπισης τους.

Το 2006 ο Shourp προσπάθησε να συγκεντρώσει παλαιότερες σχετικές έρευνες με την αναζήτηση στάθμευσης (Shourp, 2006). Οι έρευνες αυτές πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 1927 και 2001 σε έντεκα (11) πόλεις τεσσάρων (4) ηπείρων. Τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κυρίως βιντεοσκοπήσεις της κυκλοφορίας, ερωτηματολόγια που απευθύνονταν στους οδηγούς και δοκιμαστικές προσπάθειες αναζήτησης θέσεως στάθμευσης. Στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ερευνών.

Πίνακας 1.1: Αποτελέσματα παλαιότερων ερευνών σχετικά με την στάθμευση (Πηγή: Shoup, 2006)

Year	City	Share of traffic cruising (percent)	Average search time (min)
1927	Detroit (1)	19%	
1927	Detroit (2)	34%	
1933	Washington		8.0
1960	New Haven	17%	
1965	London (1)		6.1
1965	London (2)		3.5
1965	London (3)		3.6
1977	Freiburg	74%	6.0
1984	Jerusalem		9.0
1985	Cambridge	30%	11.5
1993	Cape Town		12.2
1993	New York (1)	8%	7.9
1993	New York (2)		10.2
1993	New York (3)		13.9
1997	San Francisco		6.5
2001	Sydney		6.5
Average		30	8.1

Όπως προκύπτει, ο χρόνος αναζήτησης θέσεως κυμαίνεται μεταξύ 3,5 και 14 λεπτών, ενώ το ποσοστό των οχημάτων που αναζητά κενή θέση κυμαίνεται μεταξύ 8% και 74% επί του συνολικού ποσοστού κυκλοφορούντων οχημάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν σημαντικό στοιχείο ώστε να αντιληφθεί κανείς την σπουδαιότητα των επιπτώσεων της αναζήτησης στάθμευσης. Το ποσοστό κυκλοφορούντων οχημάτων που ψάχνουν κενή θέση στάθμευσης είναι ιδιαίτερα υψηλό, επιβαρύνοντας σε μεγάλο βαθμό την κυκλοφορία. Ωστόσο, η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το ακριβές ποσοστό και τον χρόνο αναζήτησης θέσεως στάθμευσης δεν είναι δυνατή, καθώς η έρευνα έγινε σε συγκεκριμένες πόλεις όπου η δυσκολία εύρεσης στάθμευσης ήταν αναμενόμενη. Επίσης, τα αποτελέσματα αυτά σχετίζονται με τις συνθήκες κυκλοφορίας και στάθμευσης που επικρατούσαν την περίοδο που διεξήχθησαν οι έρευνες.

1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Στο παρελθόν οι περισσότερες έρευνες σχετικά με την στάθμευση, είχαν ως στόχο τον εντοπισμό του αριθμού των οχημάτων που αναζητούν θέση στάθμευσης. Σήμερα, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον προσδιορισμό του επιπλέον χρόνου και απόστασης που σπαταλούν οι οδηγοί, ψάχνοντας κενή θέση για τα οχήματά τους. Σκοπός τέτοιων ερευνών είναι η απόκτηση

λεπτομερέστερης εικόνας της χωρικής και χρονικής διάστασης της συμπεριφοράς του οδηγού στην εύρεση στάθμευσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη μεθοδολογικής προσέγγισης για τον εντοπισμό και την ανάλυση της χρονικής διάρκειας αναζήτησης ελεύθερης θέσης στάθμευσης σε αστικά δίκτυα, με τη χρήση δεδομένων από έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Με την βοήθεια κατάλληλου μοντέλου θα ποσοτικοποιηθούν η επιπλέον απόσταση και ο επιπλέον χρόνος που απαιτείται για την εύρεση κενής θέσης στάθμευσης στην Αττική. Επίσης θα προσδιοριστεί η απόσταση περπατήματος από την θέση στάθμευσης προς τον τελικό προορισμό του οδηγού. Η ανάπτυξη του μοντέλου θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R και η βάση δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί έχει συλλεχθεί από την εφαρμογή της OSeven Telematics (www.oseven.io).

Στη συνέχεια και με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου θα διεξαχθεί στατιστική ανάλυση της περιοχής που μελετάται και συσταδοποίηση, ώστε να εντοπιστούν οι κρίσιμες περιοχές και πιο συγκεκριμένα τα ακριβή όρια των περιοχών που αντιμετωπίζουν πρόβλημα στάθμευσης. Η ανάλυση πραγματοποιείται με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R και του υπολογιστικού φύλλου Microsoft Excel.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το κεφάλαιο 1, αποτελεί μία γενική ανασκόπηση όπου παρουσιάζεται το πλαίσιο της Διπλωματικής Εργασίας και αναφέρονται τα δεδομένα όπως έχουν προκύψει έως σήμερα, όσον αφορά την στάθμευση. Παρατίθενται ορισμένα γενικά στοιχεία σχετικά με το πρόβλημα της στάθμευσης στην σύγχρονη εποχή καθώς και τις συνέπειες του. Τέλος προσδιορίζεται ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2, περιγράφονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα οποία προκύπτουν από έρευνες που ανακτώνται από διεθνή επιστημονικά περιοδικά, πρακτικά συνεδρίων και επιστημονικά βιβλία. Συγκεκριμένα, εξετάζονται έρευνες που έχουν ως αντικείμενο μελέτης την οδηγική συμπεριφορά πάνω σε θέματα στάθμευσης και παρουσιάζονται οι μέθοδοι συλλογής των απαιτούμενων στοιχείων. Το κεφάλαιο κλείνει με την σύνοψη και την κριτική αξιολόγηση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Στο κεφάλαιο 3, συγκεντρώνεται η μεθοδολογική προσέγγιση στην οποία βασίστηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Αρχικά παρουσιάζεται ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων που αποτέλεσαν την βάση για την

ανάπτυξη του μοντέλου. Στην συνέχεια παρουσιάζεται λεπτομερώς η διαδικασία δημιουργίας του αλγόριθμου εντοπισμού της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης και περιγράφονται οι παραδοχές που γίνονται για την ανάπτυξη του. Τέλος, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχτηκε η ομαδοποίηση με την χρήση του αλγόριθμου DBSCAN.

Το κεφάλαιο 4, περιλαμβάνει την εφαρμογή του μοντέλου και την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και στην συνέχεια ακολουθεί η ομαδοποίηση αυτών με στόχο τον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών. Τέλος, ακολουθεί η στατιστική ανάλυση τεσσάρων (4) ομάδων, η οποία θα χρησιμεύσει για την μόρφωση των τελικών συμπερασμάτων.

Το κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τα τελικά συνολικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Αρχικά, γίνεται σύνοψη των κυριότερων σημείων της έρευνας και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα αυτής. Επιπρόσθετα, γίνονται προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων και περαιτέρω έρευνα καθώς και προτάσεις βελτίωσης του ήδη υπάρχοντα μοντέλου.

Στο κεφάλαιο 6 παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη εκπλήρωση του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Αναζήτηση Θέσης Στάθμευσης

Η εύρεση κενής θέσης στάθμευσης αποτελεί μια καθημερινή πρόκληση πολλών οδηγών σε πολλές πόλεις παγκοσμίως. Η αύξηση του αριθμού των οχημάτων σε κυκλοφορία και ο περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης εντείνουν το πρόβλημα αναζήτησης κενών θέσεων. Οι οδηγοί που ψάχνουν χώρο για να παρκάρουν σε ώρες αιχμής, έρχονται αντιμέτωποι με το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης ενώ συγχρόνως το εντείνουν. Η κατάσταση αυτή είναι γνωστή ως “cruising for parking space” και αποτελεί κόστος χρόνου και καυσίμων για τους οδηγούς, γενεσιουργό αίτιο επιπλέον κυκλοφοριακής κίνησης και παράγοντα αρνητικής επίδρασης στο περιβάλλον.

Πρόσφατες έρευνες παρουσιάζουν την αναζήτηση θέσης στάθμευσης ως φαινόμενο κοινό και άμεσα εξαρτώμενο από την διάθεση των οδηγών να εξασφαλίσουν προσιτή και βολική θέση στάθμευσης (Kaplan et al. 2011, Lee 2017). Όταν ο οδηγός προσεγγίσει τον τελικό του προορισμό, ξεκινάει την αναζήτηση για διαθέσιμο χώρο στάθμευσης. Το τελευταίο αυτό μέρος του ταξιδιού έχει άμεση σχέση με την «συμπεριφορά του οδηγού όσον αφορά την αναζήτηση στάθμευσης». Βασικά στοιχεία της συμπεριφοράς του αποτελούν ο χρόνος που είναι διατεθειμένος να σπαταλήσει και η διαδρομή που επιλέγει. Και τα δύο αυτά στοιχεία επηρεάζουν σημαντικά τόσο την προσβασιμότητα όσο και την βιωσιμότητα της εκάστοτε περιοχής. Για το λόγο αυτό, τόσο οι τοπικές αρχές όσο και αρκετοί ερευνητές έχουν εστιάσει την προσοχή τους στο ζήτημα της συμπεριφοράς του οδηγού για την εύρεση στάθμευσης.

Οι έρευνες που σχετίζονται με το ζήτημα της στάθμευσης μπορούν να διαχωριστούν σε τρία τμήματα:

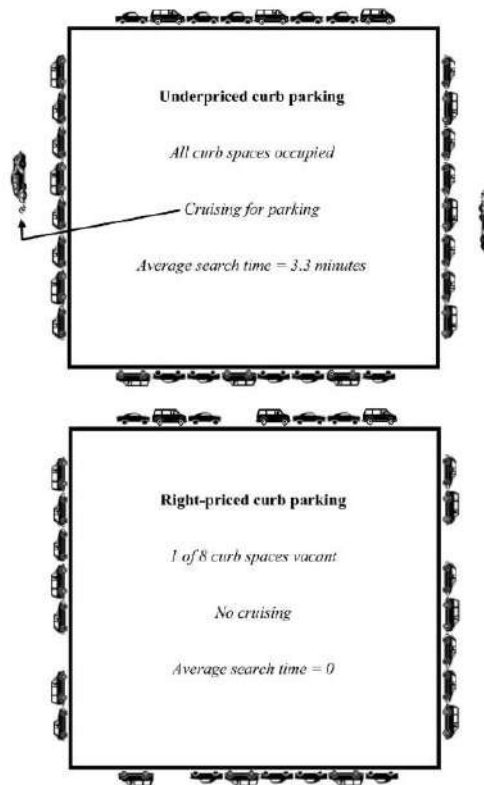
1. Έρευνες που θεωρούν την αναζήτηση στάθμευσης ως απόφαση οικονομική και βασίζονται στην δημιουργία μοντέλων με βάση την συσχέτιση μεταβλητών (θεωρητικές προσεγγίσεις)
2. Έρευνες με εμπειρικές προσεγγίσεις, που βασίζονται κυρίως στην δημιουργία ερωτηματολογίων και στην πραγματοποίηση συνεντεύξεων (εμπειρικές προσεγγίσεις).
3. Έρευνες που βασίζονται στην ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων είτε αποκλειστικά με την χρήση δεδομένων GPS είτε με την εφαρμογή προσομοιώσεων (προσεγγίσεις οδηγούμενες από δεδομένα).

2.1.1 Θεωρητικές Προσεγγίσεις

Ο Shoup (2006) παρουσίασε την αναζήτηση θέσης στάθμευσης ως μια οικονομική απόφαση. Δημιούργησε λοιπόν ένα μοντέλο σχετικά με τον τρόπο που επιλέγουν οι οδηγοί να ψάξουν ή να πληρώσουν για μια κενή θέση στάθμευσης. Οι παράμετροι που έλαβε υπόψη του ήταν το κόστος στάθμευσης επί της οδού, το κόστος στάθμευσης σε ιδιωτικό χώρο, η διάρκεια στάθμευσης, ο χαμένος χρόνος αναζητώντας θέση επί της οδού, η σπατάλη καυσίμου διανύοντας επιπλέον αποστάσεις ώστε να εντοπιστεί κενή θέση, ο αριθμός των επιβαινόντων σε κάθε όχημα, καθώς επίσης και η αξία του χαμένου χρόνου για τους επιβάτες κάθε οχήματος. Επίσης για την δημιουργία του μοντέλου θεωρήθηκε ότι ο χρόνος περπατήματος από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό τόσο για την στάθμευση επί της οδού όσο και για την στάθμευση σε ιδιωτικό χώρο είναι ίδιος.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι η απόφαση του οδηγού να σπαταλήσει χρόνο αναζητώντας θέση στάθμευσης αποτελεί κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα της υποτίμησης του κομίστρου στάθμευσης παρά του κρασπέδου. Υψηλότερο κόστος στάθμευσης σε ιδιωτικό χώρο κάνει τον οδηγό να αναζητά θέση επί της οδού ακόμα και εάν χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να παρκάρει. Το βασικό συμπέρασμα της έρευνας του Shoup ήταν ότι ο χρόνος που χάνει ο οδηγός αναζητώντας θέση στάθμευσης θα μπορέσει να μειωθεί ,εφόσον η κυβέρνηση θέσει το κόστος στάθμευσης επί της οδού ίσο με το κόμιστρο στάθμευσης σε κάποιο ιδιωτικό χώρο.

Ο Shoup προσπάθησε επίσης βασιζόμενος σε παρατηρήσεις από την περιοχή Westwood Village, να απεικονίσει τα αποτελέσματα του μοντέλου του. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται αρχικά η κατάσταση των σταθμευμένων οχημάτων περιμετρικά ενός τετραγώνου στην περίπτωση υποτίμησης της στάθμευσης επί της οδού ενώ ακριβώς από κάτω παρουσιάζεται η κατάσταση των σταθμευμένων οχημάτων στην περίπτωση σωστής κοστολόγησης της στάθμευσης.



Εικόνα 2.1: Κοστολόγηση στάθμευσης επί της οδού και αναζήτηση στάθμευσης (Πηγή: Shoup, 2006).

Οι Arnott & Inci (2006) προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα άλλο μοντέλο, βασιζόμενοι και αυτοί στην θεώρηση ότι ο χρόνος που αναζητά κάποιος θέση στάθμευσης στο κέντρο μιας περιοχής αποτελεί απόφαση που προκύπτει από οικονομικούς παράγοντες. Για τη δημιουργία του μοντέλου έγιναν οι βασικές παραδοχές ότι το κέντρο αποτελεί μια ομοιογενής χωρικά περιοχή, η κίνηση στο κέντρο αποτελεί μία σταθερή κατάσταση, η συμπεριφορά των οδηγών είναι πανομοιότυπη και όλα τα ταξίδια γίνονται με το αυτοκίνητο.

Η κεντρική ιδέα του μοντέλου ήταν ότι η ζήτηση για θέση στάθμευσης στο κέντρο μιας περιοχής συνδέεται τόσο με το χρηματικό κόστος όσο και με το κόστος χρόνου του οδηγού. Επίσης, θεωρήθηκε ότι η στάθμευση είναι δυνατή μόνο επί της οδού ενώ αμέσως μόλις μείνει κενή μία θέση στάθμευσης, ένα άλλο όχημα καταλαμβάνει την θέση αυτή. Τέλος έγινε η παραδοχή ότι η ταχύτητα κίνησης προκύπτει σύμφωνα με το ποσοστό των οχημάτων που αναζητούν θέση στάθμευσης και τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται επί της οδού.

Παρά την απλότητα του μοντέλου, τα συμπεράσματα που προέκυψαν αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση της έννοιας της αναζήτησης θέσεως στάθμευσης. Ένα λοιπόν από τα βασικά συμπεράσματα του μοντέλου είναι ότι η διαδικασία αναζήτησης θέσης

στάθμευσης αποτελεί σημαντικό κόστος για τον οδηγό. Το συνολικό κόστος του ταξιδιού διαπιστώθηκε ότι συνδέεται με την διαθεσιμότητα κενής θέσης στάθμευσης και με την ζήτηση για στάθμευση. Επίσης όσον αφορά το κόμιστρο στάθμευσης, η τιμή του θα πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα ώστε να μειωθεί η διάρκεια αναζήτησης κενής θέσης ενώ συγχρόνως οι θέσεις να παραμείνουν κατά κύριο λόγο κατειλημμένες.

2.1.2 Εμπειρικές Προσεγγίσεις

Οι προσεγγίσεις αυτές στηρίζονται σε δεδομένα που συλλέγονται από ερωτηματολόγια ή συνεντεύξεις, συνεπώς, αποτυπώνουν τη δεδολωμένη συμπεριφορά.

Οι Van Ommeren et al. (2010) με την βοήθεια ερωτηματολογίων προσπάθησαν να ανακαλύψουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των οδηγών όσον αφορά τον τρόπο στάθμευσης. Η έρευνα αφορούσε την Ολλανδία, όπου το κόστος στάθμευσης ήταν όμοιο σε ιδιωτικούς και μη χώρους στάθμευσης. Από την έρευνα αποκλείστηκαν οι οδηγοί οι οποίοι πάρκαραν για εργασία ή για να πάνε στην οικία τους.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι μόλις για το 30% των ταξιδιών που ερευνήθηκαν, οι οδηγοί έψαχναν κενή θέση στάθμευσης και μάλιστα για μέσο χρόνο 36 δευτερόλεπτα. Ουσιαστικά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, το γεγονός ότι το κόστος στάθμευσης επί της οδού δεν διαφέρει από το κόστος στάθμευσης σε κάποιο ιδιωτικό χώρο, οδηγεί σε μείωση του κόστους χρόνου ταξιδιού για τον οδηγό. Επίσης σύμφωνα με την έρευνα, η σπατάλη χρόνου αναζητώντας οικονομικότερη θέση στάθμευσης δεν είναι τυχαία, αλλά παρουσιάζεται κυρίως σε περιοχές όπου αποτελούν εμπορικά κέντρα και κέντρα ψυχαγωγίας. Όπως επισημαίνεται, το πρόβλημα εύρεσης κενής θέσης παρουσιάζει μία χωρική και χρονική διακύμανση, καθώς σχετίζεται με το μέγεθος της περιοχής και πιο συγκεκριμένα με τον αριθμό των οχημάτων που εισέρχονται σε αυτήν, καθώς και με τον χρόνο αφίξεων τους. Τέλος, προτείνεται ως τρόπος επίλυσης του προβλήματος σπατάλης χρόνου αναζητώντας θέση στάθμευσης, η σωστή ενημέρωση των πολιτών σχετικά με το κόστος στάθμευσης και των διαθέσιμων κενών θέσεων.

Οι Lee et al. (2017) πάλι με την χρήση ερωτηματολογίων, προσπάθησαν να εξηγήσουν τις αντιλήψεις και τους παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των οδηγών που χάνουν χρόνο αναζητώντας θέση στάθμευσης. Η έρευνα διεξήχθη με την βοήθεια οδηγών από την πόλη Brisbane της Αυστραλίας και βασίστηκε σε μία ήδη υπάρχουσα έρευνα (Kobus, 2013) και η οποία σχετίζονταν πάλι με την πόλη Brisbane. Στον

Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι διαφορές όσον αφορά την κοστολόγηση στάθμευσης της πόλης Brisbane για τα έτη 2013 και 2015.

Οι Lee et. al. ανακάλυψαν ότι η άγνοια των οδηγών σχετικά με το κόστος στάθμευσης, αποτελεί μία βασική αιτία που τείνει να εντείνει το πρόβλημα της σπατάλης χρόνου αναζητώντας στάθμευση. Επίσης σύμφωνα με την έρευνα όσο περισσότερο ενημερωμένοι είναι οι οδηγοί σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τις συνθήκες στάθμευσης, τόσο λιγότερος είναι και ο χρόνος που ψάχνουν κενή θέση. Τέλος, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χαμηλή τιμή του κομίστρου στάθμευσης επί της οδού, παίζει σημαντικό ρόλο στην ενθάρρυνση των οδηγών για σπατάλη χρόνου αναζητώντας στάθμευση παρά το κράσπεδο.

2.1.3 Προσεγγίσεις Οδηγούμενες από Δεδομένα

Οι προσεγγίσεις αυτές βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα που συλλέγονται από τους χρήστες και συνεπώς αντανakλούν την πραγματική συμπεριφορά των χρηστών. Στα σύγχρονα συστήματα οι προσεγγίσεις αυτές βασίζονται στην έννοια του πληθοπορισμού (crowdsourcing). Ως πληθοπορισμός στα μεταφορικά συστήματα ορίζεται (EStellés-Arolas και González Ladrón-de-Guavara, 2012):

«Μία μορφή συλλογικής διαδικτυακής δραστηριότητας στην οποία ένα άτομο, ένα ίδρυμα, ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ή μια εταιρεία προτείνει σε μία ομάδα ατόμων με ποίκιλες γνώσεις, ετερογένεια και αριθμό, μέσω μιας ανοιχτής πρόσκλησης, να αναλάβουν εθελοντικά μια εργασία. Η ανάληψη της εργασίας, της ποικιλίας πολυπλοκότητας και πολυμορφίας, στην οποία το πλήθος πρέπει να συμμετάσχει προσφέροντας την εργασία, τα χρήματα, τις γνώσεις, την εμπειρία τους, συνεπάγεται πάντα με αμοιβαίο όφελος και από τις δύο πλευρές. Οι χρήστες λαμβάνουν την ικανοποίηση μιας συγκεκριμένης ανάγκης, είτε πρόκειται για οικονομική, κοινωνική αναγνώριση, προσωπική ικανοποίηση, είτε για την ανάπτυξη ατομικών ικανοτήτων, ενώ ο εκκινητής της πρωτοβουλίας αποκτά και χρησιμοποιεί προς όφελος του, αυτά που έχει συνεισφέρει ο χρήστης στο εγχείρημα, τα οποία εξαρτώνται από την δραστηριότητα που έχει αναλάβει ο χρήστης.»

Ο πληθοπορισμός σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένος στα συγκοινωνιακά συστήματα. Ο όρος, ο οποίος εμφανίζεται και ως «mobile crowd sensing» στην αντίστοιχη βιβλιογραφία, αφορά την εκμετάλλευση διαπερατών κινητών συσκευών και την συλλογή αποτελεσματικών δεδομένων, επιτρέποντας την εφαρμογή τους σε έρευνες μεγάλης κλίμακας. Η παρακολούθηση της στάθμευσης, του αστικού περιβάλλοντος και της οδηγικής συμπεριφοράς είναι

μερικές από τις εφαρμογές, όπου η χρήση των έξυπνων κινητών τηλεφώνων έχει ιδιαίτερη απήχηση.

Οι Ma et al. (2014) παρουσίασαν συνοπτικά μέσω μιας εικόνας τον τρόπο εφαρμογής του. Στην Εικόνα 2.2 απεικονίζεται ένα σενάριο εφαρμογής του πληθοπορισμού σε αστικό επίπεδο. Μία ομάδα χρηστών κινητών τηλεφώνων, εξοπλισμένοι με διάφορους αισθητήρες, συσκευές λήψης δεδομένων GPS και μονάδες ασύρματης επικοινωνίας (Bluetooth, Wi-Fi), κινούνται σε μία περιοχή παρακολούθησης, δημιουργώντας δείγματα της πορείας τους και της οδηγικής συμπεριφοράς τους. Τα αισθητήρια αυτά δεδομένα μεταφέρονται στο κέντρο παρακολούθησης, όπου και δημιουργείται ένας χάρτης ανίχνευσης οδηγικών χαρακτηριστικών στην παρακολουθούμενη περιοχή.

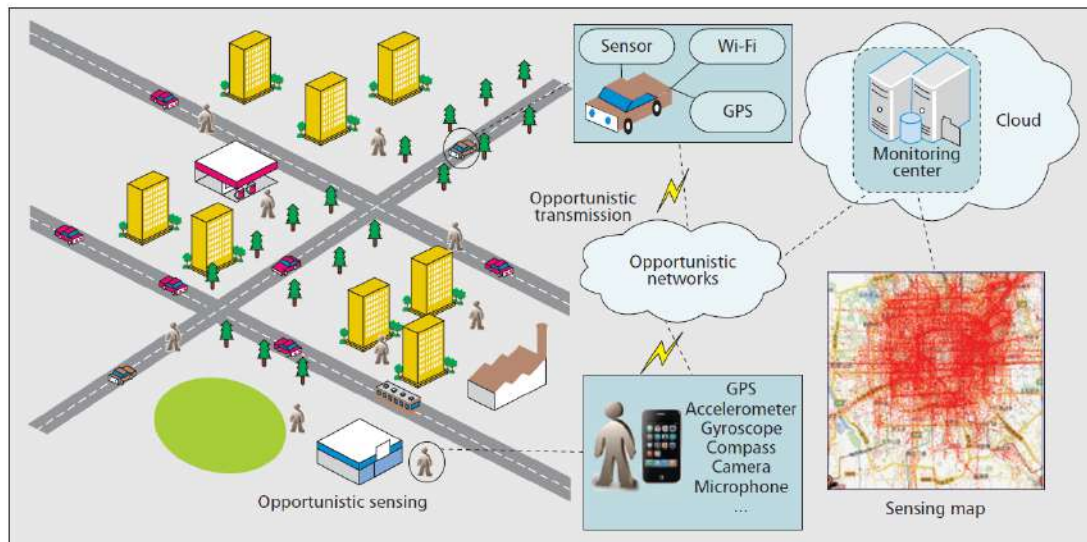


Figure 1. An illustration of opportunistic urban sensing.

Εικόνα 2.2: Απεικόνιση εφαρμογής πληθοπορισμού σε αστικό επίπεδο.

Η χρήση των έξυπνων κινητών τηλεφώνων για την άντληση πληροφοριών, γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλείς. Σύμφωνα με τους Calabrese (2011), Toledo (2008) και Zhao (2000) μερικά από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση τους παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μεγάλη απήχηση στο σύνολο των οδηγών
- Εύκολη εκμετάλλευση των λειτουργιών τους από εφαρμογές
- Χαμηλό κόστος εξοπλισμού καταγραφής
- Ασφαλή μεταφορά και διαχείριση δεδομένων σε online συστήματα
- Δεν απαιτούν σημαντική επεξεργασία των δεδομένων τους σε αντίθεση με δεδομένα από GPS

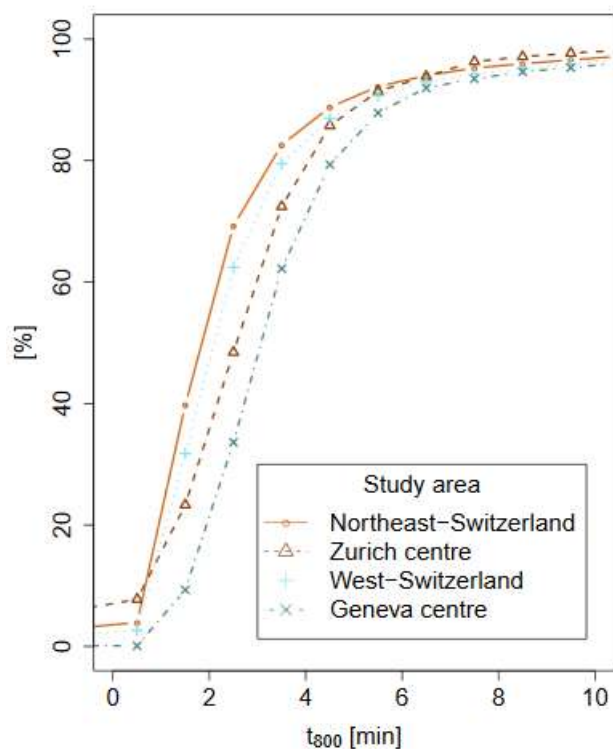
Ωστόσο από την ανάλυση της βιβλιογραφίας προκύπτουν μειονεκτήματα της χρήσης τους. Σύμφωνα με τον Hantel (2014), βασικά μειονεκτήματα της χρήσης του πληθοπορισμού είναι η γρήγορη άντληση μεγάλου μέρους της μπαταρίας του κινητού καθώς και η δημιουργία επιπέδων θορύβου για διαφορετικούς τύπους ταξιδιών με διαφορετικά μέσα μετακίνησης.

Λαμβάνοντας υπόψη την έννοια του πληθοπορισμού προκύπτει ότι η χρήση των Έξυπνων Συστημάτων Μεταφορών και η ανάπτυξη μοντέλων με την χρήση των δεδομένων τους πλεονεκτεί έναντι των εμπειρικών προσεγγίσεων. Πιο συγκεκριμένα, στην δεύτερη ομάδα ο χρόνος και η απόσταση για την εύρεση στάθμευσης εκτιμώνται κατά προσέγγιση, ενώ στην τρίτη ομάδα υπολογίζονται βάσει σχέσεων με την βοήθεια των κατάλληλων μοντέλων.

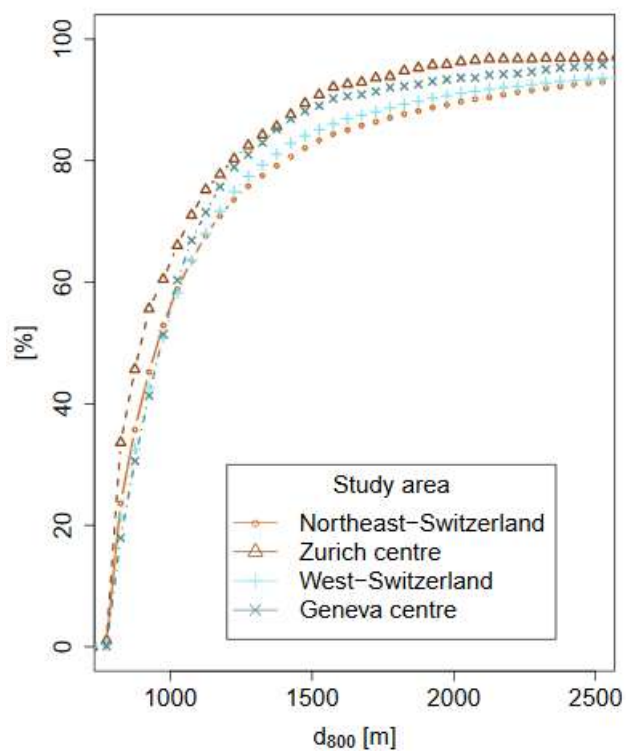
Οι Montini et al. (2012) διεξήγαγαν έρευνα στην περιοχή της Ζυρίχης, χρησιμοποιώντας δεδομένα GPS μέσω της ανοιχτής πηγής δεδομένων POSDAP. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων, βασιζόταν στην θεώρηση ότι ο οδηγός αναζητά θέση στάθμευσης αμέσως μόλις πλησιάσει σε απόσταση 800 μέτρων από τον τελικό του προορισμό.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων αποκλείστηκαν ταξίδια μικρής διάρκειας και η περιοχή χωρίστηκε σε μικρότερα τμήματα. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι η περιοχή της Ζυρίχης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο πρόβλημα με την στάθμευση. Πιο συγκεκριμένα όπως υπολογίστηκε, ο χρόνος οδήγησης εντός του κύκλου αναζητώντας στάθμευση είναι λιγότερος από 4 λεπτά για το 80% των περιπτώσεων σε όλες τις περιοχές που μελετήθηκαν. Αντίστοιχα οι αποστάσεις που διανύουν κυμαίνονται από 1100 μέτρα έως 1400 μέτρα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αναζήτηση στάθμευσης διαφέρει σημαντικά ανά περιοχή ανάλογα με τις χρήσεις γης.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα Διαγράμματα 2.1 και 2.2 που περιγράφουν την διασπορά των τιμών του χρόνου και της απόστασης αναζήτησης στάθμευσης για τις διάφορες περιοχές της Ζυρίχης που μελετήθηκαν, σε σχέση με το ποσοστό των ταξιδιών.



Διάγραμμα 2.1: Χρόνος οδήγησης εντός κύκλου 800 μέτρων γύρω από τον τελικό προορισμό (Πηγή: Montini et al., 2012).



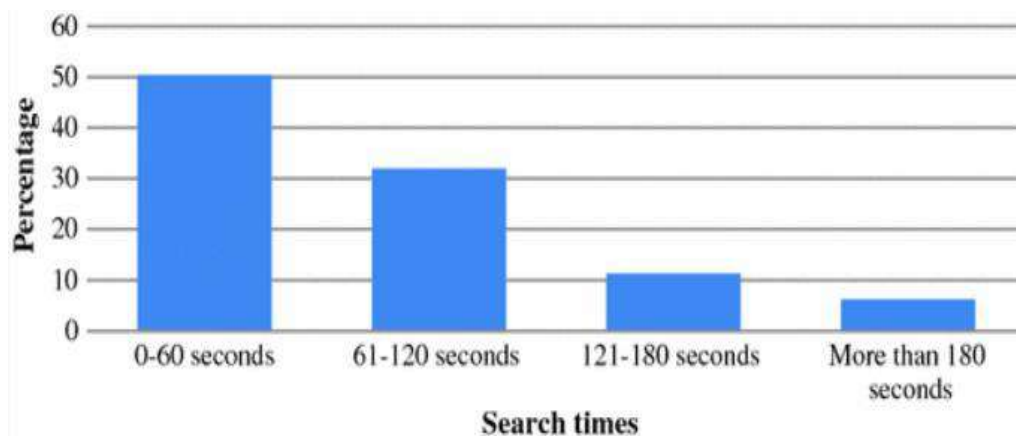
Διάγραμμα 2.2: Απόσταση οδήγησης εντός κύκλου 800 μέτρων γύρω από τον τελικό προορισμό (Πηγή: Montini et al., 2012).

Οι Van der Waerden et al. (2015), έχοντας ως βάση δεδομένων καταγεγραμμένα ταξίδια μέσω GPS, ανέπτυξαν μοντέλο υπολογισμού της χρονικής και χωρικής διακύμανσης των παραμέτρων που επηρεάζουν την συμπεριφορά του οδηγού στην εύρεση στάθμευσης. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στην πόλη Turnhout, Βέλγιο. Ο λόγος που επιλέχθηκε η μικρή αυτή πόλη του Βελγίου είναι ότι ικανοποιεί και τις τέσσερις (4) βασικές απαιτήσεις σύμφωνα με τους Kaplan and Bekhor (2011):

- Έντονη δραστηριότητα και μειωμένη παροχή θέσεων στάθμευσης
- Δυνατότητα επιλογής στάθμευσης επί της οδού και στάθμευσης σε ιδιωτικό χώρο
- Περιοχή έλξης επισκεπτών
- Περιοχή περιορισμένου οδικού δικτύου

Το σημείο έναρξης αναζήτησης στάθμευσης καθορίστηκε από την ταχύτητα. Πιο συγκεκριμένα για μέση ταχύτητα μικρότερη από 23χιλιόμετρα/ώρα (για καταγραφή περισσότερων των 5 περιόδων) και διαφορά ταχύτητας μεταξύ των 2 περιόδων μικρότερη από 5χιλιόμετρα/ώρα, θεωρήθηκε ότι ο οδηγός ψάχνει για κενή θέση.

Από την συλλογή των δεδομένων και την ανάλυση τους, προέκυψε ότι ο μέσος χρόνος ταξιδιού είναι μόλις 14λεπτά (ελάχιστη διάρκεια 1λεπτό, μέγιστη διάρκεια 60λεπτά) και ο μέσος χρόνος αναζήτησης στάθμευσης είναι 1 λεπτό και 18 δευτερόλεπτα (ελάχιστη διάρκεια 0 δευτερόλεπτα, μέγιστη διάρκεια 6λεπτά και 48δευτερόλεπτα).

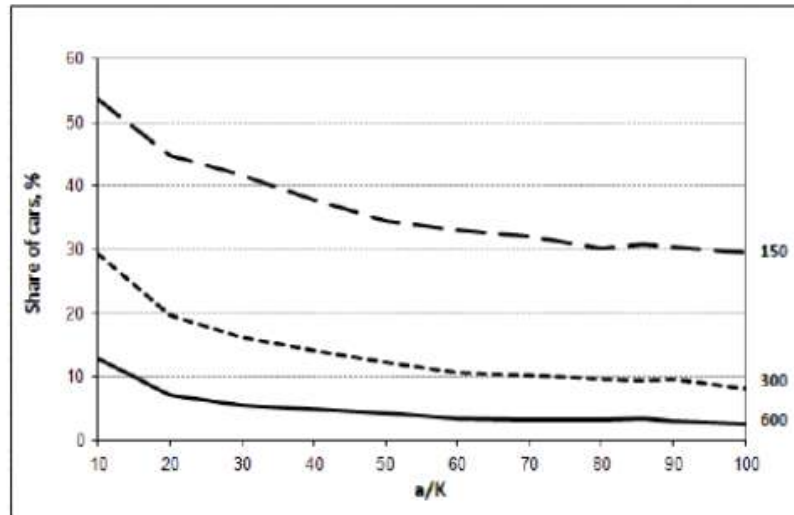


Διάγραμμα 2.3: Κατανομή χρόνου αναζήτησης στάθμευσης στο Turnhout (Πηγή: Van der Waerden et al., (2015).

Σε συνέχεια της έρευνάς τους οι Van der Waerden et al. (2015), χρησιμοποιώντας κατάλληλα ερωτηματολόγια και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του μοντέλου, διαπίστωσαν ότι η χρήση των οδικών τμημάτων ως θέσεις στάθμευσης επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από την απόσταση της περιοχής στάθμευσης από το κέντρο της πόλης, την απόσταση από το κοντινότερη ιδιωτική περιοχή στάθμευσης, την ύπαρξη εμπορικών καταστημάτων και το κόστος που απαιτείται για να παρκάρει το όχημα.

Οι Martens et al. (2012), στην προσπάθειά τους να μελετήσουν το πρόβλημα της αναζήτησης στάθμευσης, δημιούργησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης (το οποίο ονόμασαν PARGAGENT) και ένα θεωρητικό μοντέλο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Τελ Αβίβ, όπου η στάθμευση παρά το κράσπεδο είναι πιο οικονομική από την στάθμευση σε ιδιωτικό χώρο. Κάθε οδηγός στο σύστημα προσομοίωσης, έχει συγκεκριμένη προέλευση, συγκεκριμένο προορισμό και συγκεκριμένη συμπεριφορά. Το μοντέλο προσομοίωσης αρχικά αναγνωρίζει τον προορισμό κάθε ταξιδιού και τον επιθυμητό χρόνο προσέλευσης. Ως αναζήτηση θέσης στάθμευσης νοείται όταν ο οδηγός περάσει από τον τελικό προορισμό, χωρίς να έχει παρκάρει. Η ταχύτητα του κάθε οχήματος κατά την αναζήτηση θεωρείται ότι είναι μικρότερη από 12χιλιόμετρα/ώρα και ότι ο οδηγός προσπαθεί αρχικά να βρει κενή θέση στο δρόμο. Αντιθέτως το θεωρητικό μοντέλο περιγράφει μία μη χωρική κατάσταση, στην οποία οι οδηγοί είναι σε θέση να αξιολογήσουν την κατάσταση των θέσεων στάθμευσης και ως εκ τούτου γνωρίζουν αν υπάρχει οικονομική θέση στάθμευσης. Σε περίπτωση που ο αριθμός ελεύθερων χώρων στάθμευσης είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των αυτοκινήτων που ψάχνουν στάθμευση, τότε κάθε οδηγός παρκάρει αμέσως.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης επιβεβαίωσαν την σημαντικότητα της χωρικής υπόστασης στον σχεδιασμό ενός μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα η πιθανότητα να παρκάρουν κατά την διάρκεια κατεύθυνσης τους στον τελικό προορισμό είναι μικρότερη από 35% και ο μέσος χρόνος για να παρκάρει μεγαλύτερος από 2 λεπτά. Η πιθανότητα να αποτύχουν να βρουν κενή θέση στάθμευσης είναι σχεδόν 10%, ενώ για το 25% των περιπτώσεων ο χρόνος είναι μεγαλύτερος από 5 λεπτά. Μέσω της έρευνάς τους οι Martens et al. (2012) επέδειξαν ότι περίπου το 15% όλων των θέσεων στάθμευσης επί της οδού θα πρέπει να παραμένει κενό, προκειμένου να είναι εύκολη η είσοδος και η έξοδος των οχημάτων.



Διάγραμμα 2.4: Ποσοστό οχημάτων που αναζητούν στάθμευση στην περιοχή Τελ Αβίβ (Πηγή: Martens et al., 2012).

Ωστόσο, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων οι Martens et al. ανακάλυψαν ότι όταν ο ρυθμός άφιξης των οχημάτων είναι υψηλότερος από τον ρυθμό αποχώρησης των αυτοκινήτων, τότε η διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης δεν εξαρτάται από τον αριθμό των οχημάτων που αναζητούν στάθμευση. Με άλλα λόγια, σε τέτοιες περιπτώσεις, η αναζήτηση στάθμευσης θα μπορούσε να περιγραφεί από ένα απλό μαθηματικό μοντέλο.

2.2 Σημείο Έναρξης Αναζήτησης Θέσης Στάθμευσης

Κατά καιρούς, αρκετοί επιστήμονες προσπάθησαν να δώσουν την δικιά τους εκδοχή για την επεξήγηση της έκφρασης «αναζήτησης κενής θέσης στάθμευσης». Για την πλήρη κατανόηση της έκφρασης αυτής, στοιχεία όπως η αρχή και το τέλος της αναζήτησης καθώς και η διαδρομή που ακολουθείται, θα πρέπει να προσδιοριστούν.

Ο Kirke (1993) πρότεινε ως αρχή της αναζήτησης, την αμέσως επόμενη στιγμή όπου το όχημα περνάει από τον επιθυμητό τελικό προορισμό του. Παρόλα αυτά η εκδοχή αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως προβληματική καθώς σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί επακριβώς ο τελικός προορισμός. Για παράδειγμα στην περίπτωση επίσκεψης των εμπορικών καταστημάτων μιας περιοχής, δεν μπορεί να προσδιοριστεί ο επιθυμητός προορισμός ως σημείο με γεωγραφικές συντεταγμένες. Ένας άλλος λόγος που οδηγεί σε απόρριψη της παραπάνω εκδοχής, είναι το

γεγονός ότι υπάρχουν προορισμοί όπως για παράδειγμα μία πλατεία, οι οποίοι δεν είναι δυνατό να διανυθούν από ένα όχημα.

Λίγο αργότερα, ο Birkner (1995) διατύπωσε ως αρχή της έρευνας για κενή θέση στάθμευσης την στιγμή όπου το όχημα συναντά την πρώτη επιθυμητή θέση στάθμευσης, ανεξαρτήτου της διαθεσιμότητας της. Η δυσκολία χρήσης της εκδοχής αυτής, έγκειται στο γεγονός ότι οι σκέψεις των οδηγών σχετικά με την επιθυμητή αρχή αναζήτησης στάθμευσης είναι άγνωστες, όπως επίσης και οι συνθήκες κυκλοφορίας και στάθμευσης κάθε περιοχής.

Οι Montini et al. (2012), στα πλαίσια ανάλυσης της στάθμευσης στην Ελβετία, θεώρησαν ως τμήμα αναζήτησης θέσης παρκινγκ, τον χώρο εντός κύκλου ακτίνας 800 μέτρων γύρω από τον τελικό προορισμό. Με την θεώρηση αυτή, δεν προσδιορίζεται επακριβώς η αρχική επιθυμητή θέση αναζήτησης στάθμευσης αλλά ορίζεται ένα ανώτατο όριο ανεκτής προσπάθειας εύρεσης κενής θέσης, που περιλαμβάνει και την διαδρομή που ακολουθείται από το όχημα αναζητώντας στάθμευση.

2.3 Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας γίνεται κατανοητό ότι ο τρόπος αναζήτησης στάθμευσης επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από δύο βασικούς παράγοντες, το προφίλ του οδηγού όσον αφορά διάφορα χαρακτηριστικά του και την κοστολόγηση της στάθμευσης. Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να αναζητήσουν την σωστή κοστολόγηση της στάθμευσης επί της οδού και της στάθμευσης σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης. Παρόλο που τα αποτελέσματα όλων των ερευνών έδειξαν ότι η διαφορά κόστους στάθμευσης επί της οδού και κόστους σε ιδιωτικούς χώρους, δεν θα πρέπει να είναι μεγάλη, ωστόσο δεν έχει αποδειχτεί ποια είναι η σωστή επιθυμητή κοστολόγηση. Η αδυναμία κοστολόγησης της στάθμευσης έγκειται στο γεγονός ότι, οι ανάγκες στάθμευσης δεν είναι ίδιες σε κάθε περιοχή αλλά διαφέρουν ανάλογα με τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά και τις προσφερόμενες δραστηριότητες.

Η ανάγκη κατανόησης της συμπεριφοράς του οδηγού σε θέματα στάθμευσης έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων. Βασιζόμενοι σε ερωτηματολόγια, συνεντεύξεις, και δεδομένα GPS, οι ερευνητές εστιάζουν στην προσπάθεια υπολογισμού της χρονικής σπατάλης αναζητώντας στάθμευση. Στόχος των ερευνών αυτών είναι να γίνουν κατανοητές οι χωρικές και χρονικές πτυχές της συμπεριφοράς των οδηγών στην αναζήτηση στάθμευσης κυρίως για περιοχές με έντονη εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα.

Επίσης, η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας καθιστά εφικτή την χρήση των έξυπνων κινητών τηλεφώνων ως μεθόδου συλλογής δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά των οδηγών, παρακολουθώντας τη διαδρομή τους με οικονομικό, ακριβή και έγκαιρο τρόπο. Παράλληλα το βάρος των συμμετεχόντων εξαλείφεται σημαντικά, εφόσον δεν συμμετέχουν στην διαδικασία συλλογής των δεδομένων.

Ανακεφαλαιώνοντας, η βιβλιογραφία επιβεβαιώνει την σημασία της στάθμευσης και της κατανόησης της οδηγικής συμπεριφοράς, έχοντας ως στόχο τον περιορισμό του προβλήματος της αναζήτησης στάθμευσης. Παρότι όμως η βιβλιογραφία είναι αρκετά εκτενής, υπάρχουν πεδία που δεν έχουν διερευνηθεί. Η νέα τεχνολογία καθιστά εφικτή την συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να προέρχονται από διαφορετικούς χρήστες, δίνοντας την δυνατότητα διερεύνησης της συμπεριφοράς πολλών διαφορετικών οδηγών. Ωστόσο ο αριθμός των ερευνών που χρησιμοποιούν δεδομένα μέσω έξυπνων κινητών τηλεφώνων είναι περιορισμένος ενώ η έρευνά τους βασίζεται κυρίως στην επεξεργασία δεδομένων συγκεκριμένου αριθμού χρηστών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κρίνεται σκόπιμη η ανάπτυξη ενός μοντέλου ποσοτικοποίησης του χρόνου αναζήτησης θέσεως στάθμευσης με την βοήθεια των έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Ως περιοχή αναζήτησης επιλέγεται ο Νομός Αττικής, όπου δεν έχει διεξαχθεί παρόμοια έρευνα, προκειμένου να αποκτηθεί μία εικόνα σχετικά με την στάθμευση.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά παρουσιάζεται ο τρόπος προσέγγισης του θέματος και στην συνέχεια περιγράφονται λεπτομερώς ο τρόπος δημιουργίας του μοντέλου και ο τρόπος επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

3.1 Προσέγγιση και Διάγραμμα Ροής Εργασιών

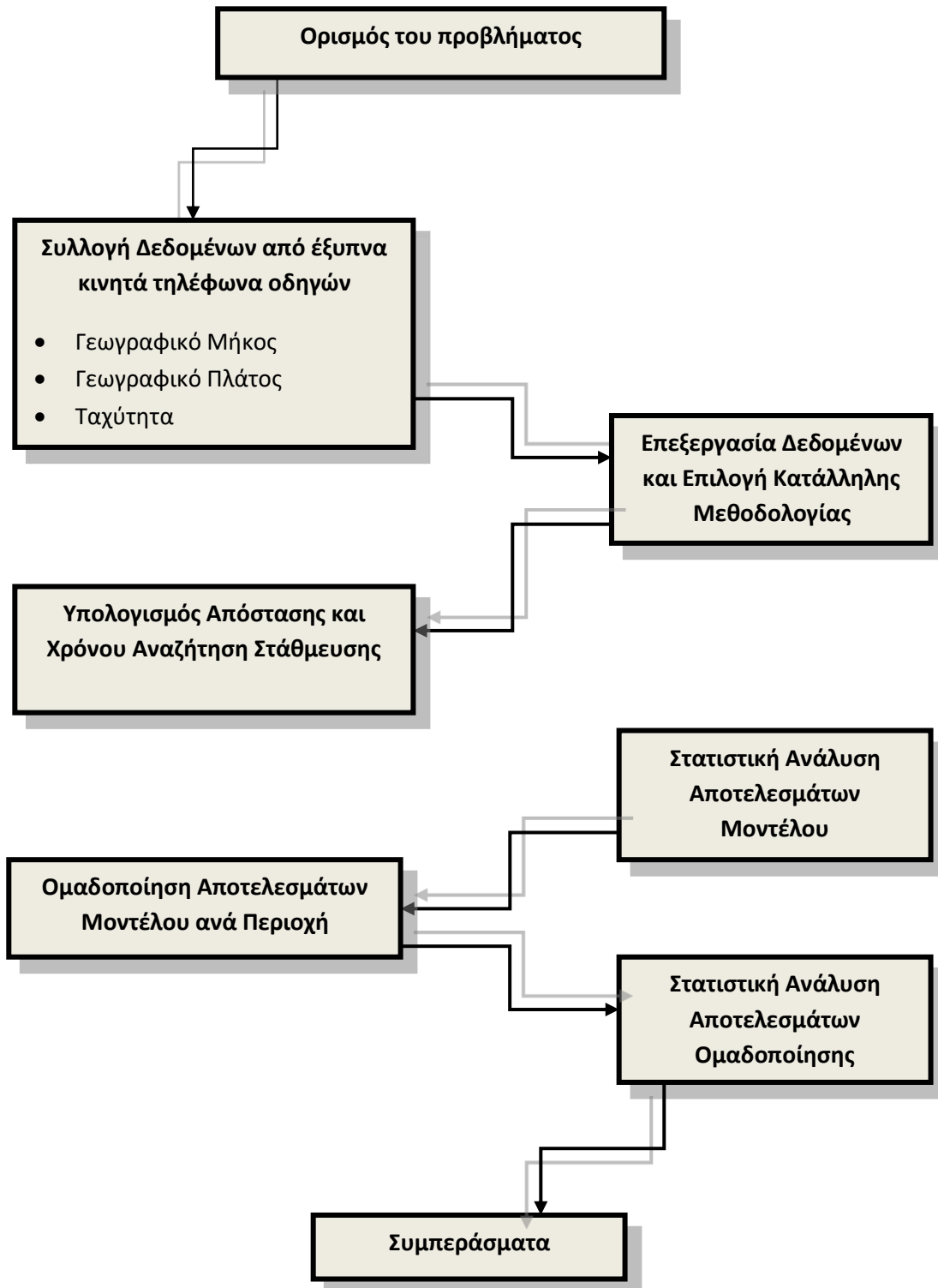
Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκεται η ανάπτυξη αλγόριθμου εντοπισμού της χρονικής διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης σε αστικά δίκτυα. Για την συλλογή των δεδομένων, εφαρμόζεται ένα καινοτόμο σύστημα συλλογής δεδομένων, μέσα από μια εξατομικευμένη καταγραφή της συμπεριφοράς του οδηγού σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Τα καταγεγραμμένα στοιχεία στα οποία βασίζεται το μοντέλο είναι:

- Γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος)
- Ταχύτητα

Αρχικά επιλέγεται η κατάλληλη μεθοδολογία και προσδιορίζονται τα απαιτούμενα στοιχεία. Αναλυτικότερα, αναπτύσσεται κώδικας επεξεργασίας της βάσης δεδομένων, ικανός να ποσοτικοποιήσει την χρονική διάρκεια και την απόσταση που διανύει ο οδηγός αναζητώντας στάθμευση. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση στατιστικής ανάλυσης και την εξαγωγή αρχικών συμπερασμάτων. Το στάδιο που ακολουθεί είναι η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων με στόχο τον εντοπισμό των κρίσιμων περιοχών στάθμευσης. Για την πραγματοποίηση του βήματος αυτού, γίνεται χρήση του αλγόριθμου DBSCAN, ενός αλγόριθμου ικανού να ομαδοποιήσει τα στοιχεία με βάση την πυκνότητά τους. Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης αναλύονται στατιστικά, αξιολογούνται και ερμηνεύονται. Τέλος εξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την στάθμευση στα αστικά δίκτυα.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου λαμβάνονται υπόψη μόνο καταγεγραμμένα ταξίδια. Ο σκοπός του ταξιδιού αλλά και οι κυκλοφοριακές συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνουν χώρα οι διαδρομές, δεν προσδιορίζονται.

Στο Διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται συνοπτικά το διάγραμμα ροής των εργασιών για τον εντοπισμό και την ανάλυση της χρονικής διάρκειας αναζήτησης θέσης στάθμευσης σε αστικά δίκτυα.



Διάγραμμα 3.1: Σχηματική Απεικόνιση Μεθοδολογικής Προσέγγισης.

3.2 Βάση Δεδομένων

Για την διεξαγωγή της παρούσας έρευνας, χρησιμοποιούνται ως βάση δεδομένων, ταξίδια τα οποία περιλαμβάνουν την διαδρομή που ακολουθεί ο οδηγός από την έναρξη του ταξιδιού του έως την προσέλευση του στον τελικό προορισμό. Η βάση δεδομένων αποτελείται από στοιχεία-σημεία τα οποία συλλέχτηκαν από την εφαρμογή της OSeven Telematics μέσω έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Η εφαρμογή ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα, καταγράφοντας τα δεδομένα που λαμβάνει από την αρχή έως το τέλος του ταξιδιού. Στάσεις λίγων λεπτών δεν διακόπτουν την καταγραφή. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή της OSeven Telematics παύει να καταγράφει ταξίδια στα οποία παρατηρείται στάση διαδρομής για χρόνο μεγαλύτερο από 5λεπτά. Βασικό πλεονέκτημα της εφαρμογής είναι η δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων, χωρίς καμία συμμετοχή από το χρήστη.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείται από 14.538 ταξίδια οδηγών κάθε ηλικίας (περίπου 1000 χρήστες). Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν τα ταξίδια είναι 01-12-2017 έως 30-09-2018. Κάθε ταξίδι περιλαμβάνει σημεία που έχουν καταγραφεί ανά ένα δευτερόλεπτο καθ' όλη την διάρκειά του. Κάθε σημείο αποτελείται από 259 μεταβλητές που υπολογίζονται από την εφαρμογή εκ των οποίων για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν οι εξής:

- Ημερομηνία και Χρόνος καταγραφής κάθε σημείου
- Γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε σημείου (σε μοίρες)
- Ταχύτητα οχήματος που καταγράφηκε σε κάθε σημείο (km/h)

Ένα παράδειγμα της μορφής της βάσης δεδομένων σε τελική μορφή όπως χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου, παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 3.1: Βάση Δεδομένων Μοντέλου

loggingTime	Location Latitude	Location Longitude	Location Speed
2018-04-12T21:33:23.000+0300	37.9815	23.7548	31.392
2018-04-12T21:33:24.000+0300	37.9814	23.7549	26.676
2018-04-12T21:33:25.000+0300	37.9814	23.755	23.58
2018-04-12T21:33:26.000+0300	37.9814	23.755	19.08
2018-04-12T21:33:27.000+0300	37.9813	23.755	16.092
2018-04-12T21:33:28.000+0300	37.9813	23.7551	12.78
2018-04-12T21:33:29.000+0300	37.9813	23.7551	7.704
2018-04-12T21:33:30.000+0300	37.9813	23.7551	1.548
2018-04-12T21:33:31.000+0300	37.9813	23.7551	1.548

3.3 Ανάπτυξη Αλγορίθμου Εντοπισμού Διάρκειας Αναζήτησης Στάθμευσης

Αρχικά, για την ανάπτυξη του μοντέλου θεωρείται ότι ο χρήστης δεν είναι εξοικειωμένος με την περιοχή αναζήτησης. Για το λόγο αυτό, ως έναρξη αναζήτησης στάθμευσης ορίζεται η χρονική στιγμή που ο οδηγός θα περάσει σε κοντινότερη απόσταση από τον τελικό του προορισμό. Ως τελικός προορισμός θεωρείται η τελευταία εγγραφή της εφαρμογής της OSeven Telematics σε κάθε διαδρομή. Με αυτό τον τρόπο, για ταξίδια στα οποία ο οδηγός παρκάρει νωρίτερα, δίχως να πλησιάσει αρκετά κοντά στον προορισμό του, ο χρόνος αναζήτησης στάθμευσης αναμένεται να τείνει στο μηδέν.

Κατά την ανάπτυξη του αλγορίθμου, γίνεται προσπάθεια διαχωρισμού της απόστασης και του χρόνου αναζήτησης διαθέσιμης θέσης στάθμευσης από την αντίστοιχη απόσταση και τον αντίστοιχο χρόνο περπατήματος έως τον τελικό προορισμό. Για την πραγματοποίηση αυτού του διαχωρισμού γίνεται η παραδοχή ότι για συνεχόμενες εγγραφές των οποίων η ταχύτητα είναι μικρότερη από 9 χιλιόμετρα ανά ώρα, ο οδηγός κατευθύνεται με τα πόδια προς τον προορισμό του, δηλαδή έχει ήδη παρκάρει σε κάποια θέση.

Για τον υπολογισμό των αποστάσεων μεταξύ δύο σημείων εγγραφής, χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω μαθηματικός τύπος:

$$\begin{aligned} Distance = & \cos(\text{radians}(90 - A2)) * \cos(\text{radians}(90 - A3)) \\ & + \sin(\text{radians}(90 - A2)) \\ & * \sin(\text{radians}(90 - A3)) * \cos(\text{radians}(B2 - B3)) * 6371 \end{aligned} \quad (1)$$

όπου:

(A2,B2) και (A3,B3) είναι το γεωγραφικό μήκος (A) και πλάτος (B) των αντίστοιχων σημείων 2 και 3 σε μοίρες.

6371: η μέση ακτίνα της γης σε χιλιόμετρα.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι για την ανάπτυξη του μοντέλου δεν διευκρινίζεται αν η διαδρομή που ακολουθεί ο οδηγός αποτελεί την ελάχιστη δυνατή διαδρομή κατεύθυνσης προς τον τελικό προορισμό. Αντιθέτως γίνεται η παραδοχή ότι το μήκος που διανύει, αποτελεί προσωπική επιλογή του κάθε

οδηγού σύμφωνα με την εκτίμηση του ως προς την γρήγορη εύρεση κενής θέσης στάθμευσης.

Για την επεξεργασία των δεδομένων επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η γλώσσα προγραμματισμού R σε συνδυασμό με την διεπαφή του RStudio. Η δημιουργία του μοντέλου γίνεται σε στάδια, βασιζόμενοι στις βασικές παραδοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η εφαρμογή του αφορά κάθε ταξίδι ξεχωριστά, προκειμένου να υπολογιστούν οι επιθυμητές ποσοτικοποιημένες τιμές.

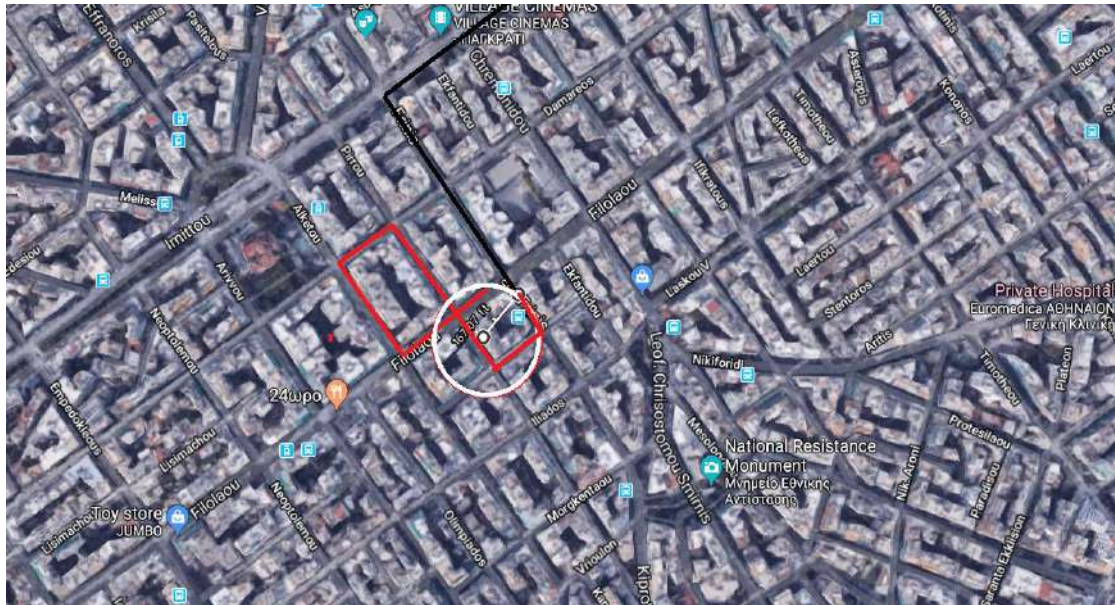
Η εισαγωγή της βάσης δεδομένων στην RStudio πραγματοποιείται με την μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel, με τιμές διαχωρισμένες με κόμμα (csv). Κάθε αρχείο μιας διαδρομής περιλαμβάνει 256 στήλες διαφορετικών μεταβλητών, όπως υπολογίζονται από την εφαρμογή της OSeven Telematics. Οι στήλες που επιλέγονται και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του μοντέλου είναι "locationLongitude", "locationLatitude" και "locationSpeed".

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΕΣΗΣ

Για κάθε σημείο εγγραφής ενός ταξιδιού προσδιορίζεται η απόσταση του από τον τελικό προορισμό. Η απόσταση υπολογίζεται βάσει των γεωγραφικών συντεταγμένων του σημείου, χρησιμοποιώντας την σχέση (1) που παρουσιάστηκε παραπάνω.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, θεωρείται ότι ο οδηγός αναζητά θέση στάθμευσης αμέσως μόλις έρθει σε κοντινή απόσταση από τον τελικό του προορισμό. Για τον υπολογισμό του σημείου αρχής αναζήτησης κάθε ταξιδιού, δημιουργείται η γραφική παράσταση της απόστασης των καταγεγραμμένων σημείων από τον τελικό προορισμό συναρτήσει των σημείων αυτών και υπολογίζονται τα τοπικά ακρότατα. Το πρώτο σημείο που εντοπίζεται, το οποίο έχει τοπικό ακρότατο με απόσταση μικρότερη ή και ίση των 50 μέτρων, σημειώνεται ως αρχή αναζήτησης στάθμευσης. Για ταξίδια, των οποίων οι οδηγοί δεν πλησιάζουν τόσο κοντά στον τελικό προορισμό, επομένως δεν παρατηρείται τοπικό ακρότατο με απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων, ως αρχή αναζήτησης επιλέγεται το πρώτο ελάχιστο τοπικό ακρότατο που καταγράφεται κατά την διάρκεια της διαδρομής. Από το σύνολο των εγγραφών επομένως, ως σημεία αναζήτησης θέσης στάθμευσης θεωρούνται μόνο τα σημεία-στοιχεία που έχουν καταγραφεί από το σημείο αρχής αναζήτησης και μετά. Για τα επόμενα βήματα χρησιμοποιούνται μόνο τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί από την αρχή αναζήτησης στάθμευσης και μετά.

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο τρόπος επιλογής του σημείου όπου ο οδηγός ξεκινά να ψάχνει για κενή θέση στάθμευσης. Η ακτίνα εντοπισμού της έναρξης αναζήτησης θεωρείται 50 μέτρα από τον τελικό προορισμό. Με κόκκινο χρώμα σημειώνεται η διαδρομή αναζήτησης στάθμευσης και με μαύρο χρώμα η διαδρομή του οχήματος πριν την αρχή αναζήτησης.



○ Τελικός προορισμός

Εικόνα 3.1: Διαδικασία εντοπισμού αρχής αναζήτησης θέσης στάθμευσης.

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΚΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ – ΠΕΡΠΑΤΗΜΑΤΟΣ

Για να βρεθεί το σημείο που παρκάρει ο οδηγός, θεωρείται ότι η ταχύτητα περπατήματος που καταγράφεται στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα είναι μικρότερη από 9 χιλιόμετρα ανά ώρα. Για την πραγματοποίηση του βήματος αυτού, δημιουργείται μία καινούρια στήλη, η οποία παίρνει τιμές 1 και 0. Σημεία τα οποία στην καινούρια στήλη χαρακτηρίζονται με την τιμή 0 περιλαμβάνονται στην διαδρομή περπατήματος προς τον τελικό προορισμό, ενώ σημεία με τον χαρακτηρισμό 1 ανήκουν στην διαδικασία αναζήτησης στάθμευσης. Έτσι λοιπόν, αμέσως μόλις εντοπιστεί σημείο εγγραφής με ταχύτητα μικρότερη από 9 χιλιόμετρα ανά ώρα, σημειώνεται στην νέα στήλη ο αριθμός 0. Στην συνέχεια για κάθε σημείο με τον χαρακτηρισμό 0, ελέγχεται αν η διαφορά ταχυτήτων από το προηγούμενο καταγεγραμμένο σημείο είναι μικρότερη από 9 χιλιόμετρα ανά ώρα και αν το επόμενο σημείο χαρακτηρίζεται επίσης από τον αριθμό 0. Σε περίπτωση που δεν ισχύει κάτι από τα παραπάνω, πραγματοποιείται διόρθωση και για το εγγεγραμμένο

σημείο σημειώνεται στην νέα στήλη ο αριθμός 1. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε καταγεγραμμένο σημείο μιας διαδρομής. Εφόσον έχει γίνει η διάκριση αυτή με βάση τις ταχύτητες, εντοπίζονται ποια ζεύγη συντεταγμένων αντιστοιχούν στον αριθμό 1 στην καινούρια στήλη και σημειώνονται ως σημεία που ανήκουν στην διάρκεια αναζήτησης θέσης στάθμευσης. Αντίστοιχα, τα σημεία τα οποία χαρακτηρίζονται από τον αριθμό 0 στην νέα στήλη, ανήκουν στην διαδικασία περπατήματος προς τον τελικό προορισμό.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Για την υπολογισμό της τελικής απόστασης που διανύει το όχημα μέχρις ότου να μπορέσει να παρκάρει, χρησιμοποιούνται μόνο τα στοιχεία-σημεία στα οποία περιλαμβάνεται η τιμή 1 στην νέα στήλη. Βάσει της προαναφερθείσας σχέσης (1) υπολογίζονται αρχικά οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών καταγεγραμμένων σημείων. Στην συνέχεια οι αποστάσεις αυτές προστίθενται μεταξύ τους και προκύπτει το συνολικό διάστημα που διένυσε.

Αντίστοιχα με την παραπάνω διαδικασία, υπολογίζεται και η απόσταση που περπάτησε ο οδηγός σε κάθε ταξίδι κατευθυνόμενος στον τελικό του προορισμό, χρησιμοποιώντας όμως τα καταγεγραμμένα σημεία με τον χαρακτηρισμό 0. Επομένως, η συνολική απόσταση περπατήματος προκύπτει ως άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ των διαδοχικών καταγεγραμμένων σημείων περπατήματος.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ

Στη συνέχεια του μοντέλου υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται από την στιγμή που ξεκινά ο οδηγός να αναζητά ελεύθερη θέση στάθμευσης, έως την στιγμή που φτάνει στον τελικό προορισμό. Ομοίως με πριν, ο χρόνος που απαιτείται για να παρκάρει και ο χρόνος περπατήματος, διαχωρίζονται και υπολογίζονται ξεχωριστά.

Ο υπολογισμός της διάρκειας κατά την οποία ο οδηγός χρειάζεται για να εντοπίσει κενή θέση στάθμευσης γίνεται σύμφωνα με τον αριθμό των συνολικών εγγραφών-σημείων που αποτελείται κάθε καταγραφή ταξιδιού και στα οποία περιέχεται η τιμή 1 στην νέα στήλη. Ο χρόνος προκύπτει ως το γινόμενο του συνολικού αριθμού καταγεγραμμένων σημείων (για την αναζήτηση στάθμευσης) επί 1 δευτερόλεπτο, όσο δηλαδή και η χρονική διαφορά των διαδοχικών σημείων εγγραφής.

Αντίστοιχα και σύμφωνα με τον συνολικό αριθμό σημείων που έχουν καταγραφεί και έχουν χαρακτηριστεί με τον αριθμό 0 στην νέα στήλη, υπολογίζεται η διάρκεια περπατήματος.

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

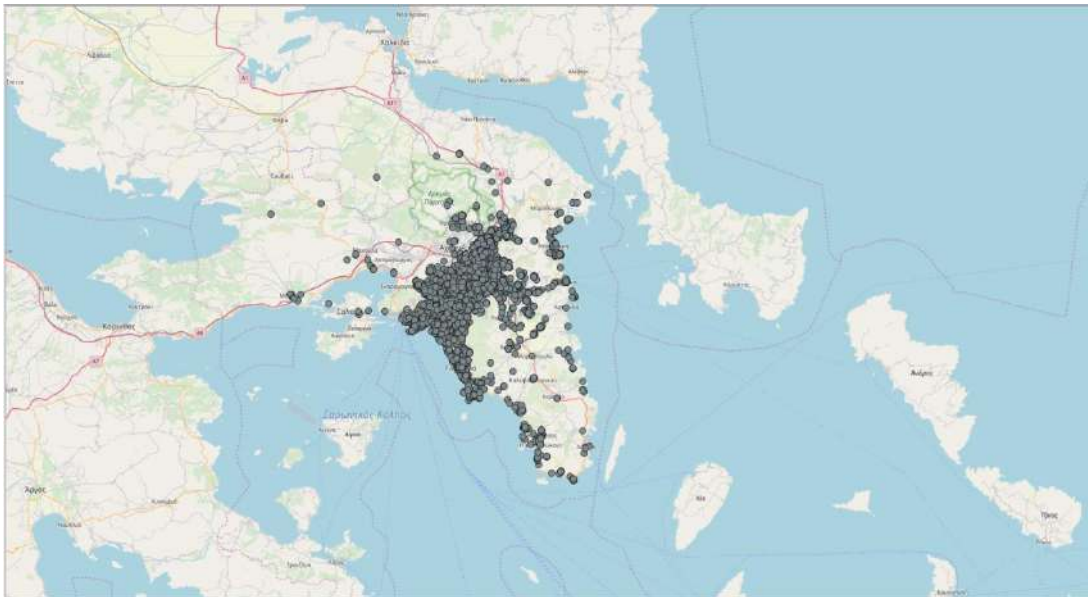
Στο τελικό στάδιο του μοντέλου εφόσον έχει γίνει διαχωρισμός αναζήτησης θέσης στάθμευσης και περπατήματος και έχουν υπολογιστεί οι ποσοτικοποιημένες τιμές που αναφέρθηκαν παραπάνω, δημιουργείται νέο υπολογιστικό φύλλο Excel. Τα δεδομένα που εισάγονται στο φύλλο, περιλαμβάνουν τα στοιχεία του τελικού σημείου καταγραφής της διαδικασίας αναζήτησης στάθμευσης κάθε ταξιδιού. Πιο αναλυτικά για κάθε ταξίδι σημειώνεται η ημερομηνία και η ώρα καταγραφής του, οι γεωγραφικές συντεταγμένες του, το συνολικό διανυόμενο διάστημα αναζήτησης στάθμευσης, συνολικό διανυόμενο διάστημα περπατήματος και ο συνολικός χρόνος αναζήτησης όπως υπολογίζονται σύμφωνα με την μεθοδολογία που παρουσιάζεται παραπάνω. Επίσης για κάθε ταξίδι σημειώνεται και η συνολική διανυόμενη απόσταση, δηλαδή η διαδρομή από την έναρξη του ταξιδιού έως τον τελικό προορισμό.

Πίνακας 3.2: Παράδειγμα παρουσίασης αποτελεσμάτων μοντέλου.

location latitude d	location longitude d	circulation distance	walking distance	circulation duration	totaldist	DATE
38.04415	23.712572	0.140287	0.13624	34	17.1833	9/11/2018 10:44
38.03339	23.709436	0.301076	0.09308	115	2.50812	9/14/2018 18:52
38.02644	23.692784	0.477691	0.08062	334	22.2898	2/17/2018 13:05
38.02969	23.706419	0.166041	0.04335	36	10.3162	12/9/2017 19:17
38.04735	23.697688	0.049111	0.03352	23	23.4274	3/18/2018 14:54
38.03294	23.708412	0.642466	0.10153	134	7.30719	6/12/2018 16:29
38.00868	23.827533	0.616405	0.16282	109	2.87416	6/2/2018 21:38
38.0285	23.715058	0.129084	0.0811	30	1.83922	8/7/2018 20:38
38.04295	23.722786	0.189754	0.13393	51	4.76566	8/1/2018 17:40
38.02349	23.702512	0.070122	0.04952	29	4.75527	7/15/2018 17:39

Οι μονάδες μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι:

- Γεωγραφικές συντεταγμένες σε μοίρες
- Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης σε χιλιόμετρα
- Χρονική διάρκεια αναζήτησης σε δευτερόλεπτα
- Απόσταση περπατήματος από την θέση στάθμευσης προς τον τελικό προορισμό σε χιλιόμετρα
- Συνολική διανυόμενη απόσταση σε χιλιόμετρα



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου σε QGIS.

3.4 Στατιστική Ανάλυση

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα μεγέθη πάνω στα οποία βασίζεται η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Στατιστικοί πίνακες και γραφικές παραστάσεις αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την παρουσίαση των δεδομένων σύντομα και με σαφήνεια.

Αρχικά, χρησιμοποιούνται έννοιες από την περιγραφική στατιστική για τη συνοπτική παρουσίαση του δείγματος και τον έλεγχο της ορθότητας του. Τα στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Αριθμητικός μέσος (Μέση τιμή)
2. Διάμεσος
3. Τυπική Απόκλιση
4. Συντελεστής Μεταβλητότητας

Έπειτα, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου γίνεται και γραφικά με την βοήθεια θηκογραμμάτων (Boxplots), ιστογραμμάτων συχνοτήτων και κυκλικών διαγραμμάτων. Τα αποτελέσματα των τριών αυτών γραφικών παραστάσεων της περιγραφικής στατιστικής προσφέρουν μία πιο σαφή εικόνα των αποτελεσμάτων.

3.5 Συσταδοποίηση

Με τον όρο συσταδοποίηση (ομαδοποίηση) νοείται η διαίρεση ενός συνόλου πληθυσμού στοιχείων-αντικειμένων σε ομάδες μικρότερων πληθυσμών, οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά και διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα. Με απλά λόγια λοιπόν, στόχος της ομαδοποίησης είναι ο διαχωρισμός ενός συνόλου σε ομάδες με όμοια χαρακτηριστικά. Ως αντικείμενα-στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν σημεία ή διανύσματα σε πολυδιάστατο χώρο.

Η ομαδοποίηση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεθόδους εξόρυξης δεδομένων για την ανακάλυψη γνώσεων σε μεγάλες βάσεις δεδομένων. Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικούς τύπους:

- ❖ Fuzzy clustering: τα στοιχεία-αντικείμενα μπορούν να ανήκουν σε περισσότερες από μία ομάδες βάση πιθανοτήτων.
- ❖ Hard clustering: τα στοιχεία-αντικείμενα χωρίζονται σε διαφορετικές ομάδες όπου κάθε στοιχείο ανήκει σε μία μόνο ομάδα. Οι αλγόριθμοι που περιγράφουν αυτόν τον τύπο ομαδοποίησης μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε ομάδες, ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιούν.

Στην κατηγορία των Hard clustering συγκαταλέγονται πέντε διαφορετικοί τύποι αλγόριθμων, ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας των στοιχείων τους. Πιο αναλυτικά για κάθε τύπο αλγόριθμου η διαδικασία συσταδοποίησης περιγράφεται παρακάτω.

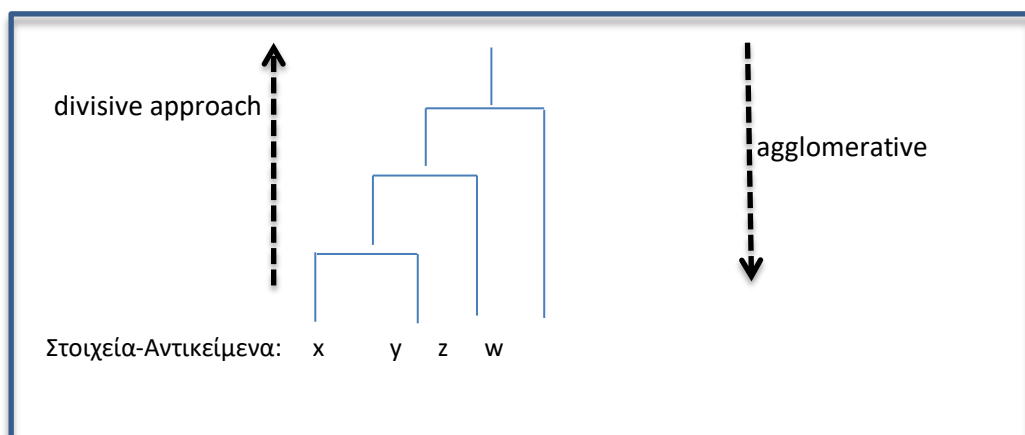
Partitioning algorithms [K-means, K-mediod]:

Οι αλγόριθμοι βασίζονται σε μία επαναληπτική διαδικασία δημιουργίας συστάδων. Αρχικά δίνεται η βάση δεδομένων και ο αριθμός των ομάδων k . Ακολουθεί τυχαία ομαδοποίηση των στοιχείων-αντικειμένων σε συστάδες, έτσι ώστε κάθε ομάδα να περιέχει τουλάχιστον ένα στοιχείο-αντικείμενο και κάθε στοιχείο να ανήκει σε μία ομάδα. Στην συνέχεια χρησιμοποιούνται επαναληπτικές τεχνικές που επαναταξινομούν τα στοιχεία-αντικείμενα σε ομάδες, έως ότου επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτείται από τον χρήστη ο καθορισμός του αριθμού k

ομάδων. Επίσης, η μέθοδος υστερεί και ως προς τον τρόπο σχηματισμού των ομάδων καθώς μόνο σφαιρικά σχήματα μπορούν να καθοριστούν.

Hierarchical algorithms [CHAMELEON, BIRCH, CURE]:

Βασίζονται σε μια ιεραρχική ανάλυση των δεδομένων. Οι αλγόριθμοι αυτού του είδους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, την bottom-up (ή agglomerative) και την top-down (ή divisive approach). Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο που κατανέμονται τα αρχικά δεδομένα σε ομάδες. Στην πρώτη τεχνική κάθε στοιχείο-αντικείμενο τοποθετείται σε μία ομάδα, και στην συνέχεια οι ομάδες ενώνονται κατάλληλα έως τον επιθυμητό αριθμό συστάδων, ενώ στην δεύτερη τεχνική όλα τα στοιχεία-αντικείμενα ανήκουν σε μία ομάδα και διαχωρίζονται έως τον τελικό αριθμό συστάδων. Βασικό μειονέκτημα των αλγόριθμων αυτής της κατηγορίας είναι ότι κάθε βήμα του αλγόριθμου είναι οριστικό. Δηλαδή σε περίπτωση συγχώνευσης ή διαίρεσης ομάδων, η ενέργεια αυτή δεν μπορεί να αναιρεθεί ή να βελτιωθεί.



Σχήμα 3.1: Διαδικασία ιεραρχικής ανάλυσης δεδομένων(Hierarchical algorithms).

Density-based algorithms [DBSCAN, OPTICS]:

Βασίζονται στην πυκνότητα γύρω από κάποιο στοιχείο-αντικείμενο που θεωρείται ομάδα. Η πυκνότητα κάθε περιοχής ρυθμίζεται από το εκάστοτε όριο, σύμφωνα με το οποίο δημιουργείται η ομάδα. Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί στην δημιουργία ομάδων με αυθαίρετα σχήματα και στην εύρεση του θορύβου.

Grid-based algorithms [STING, CLIQUE, WaweCluster]:

Ο χώρος του στοιχείου αντικείμενου ποσοτικοποιείται σε έναν πεπερασμένο αριθμό κυψέλων και οι απαιτούμενες ενέργειες εκτελούνται στον κβαντισμένο χώρο. Ο γρήγορος χρόνος επεξεργασίας, ο οποίος είναι ανεξάρτητος από τον

αριθμό στοιχείων-αντικειμένων της βάσης δεδομένων, αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής.

Model based-algorithms [EM]:

Βρίσκουν καλές προσεγγίσεις των παραμέτρων που ταιριάζουν καλύτερα στα δεδομένα. Παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τους density-based αλγόριθμους, καθώς αναπτύσσουν συγκεκριμένες συστάδες έτσι ώστε να βελτιώνεται το προκαθορισμένο μοντέλο. Ωστόσο, μερικές φορές ξεκινούν με έναν σταθερό αριθμό ομάδων και δεν χρησιμοποιούν την έννοια της πυκνότητας.

3.5.1 Αλγόριθμος DBSCAN

Ο αλγόριθμος DBSCAN μπορεί να χαρακτηριστεί ως κατάλληλος για ομάδες με υψηλή πυκνότητα σημείων, οι οποίες είναι πιθανό να είναι διαχωρισμένες από άλλα σημεία χαμηλότερης πυκνότητας. Για την εφαρμογή του αλγόριθμου απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός δύο βασικών παραμέτρων, του ϵ και του MinPts. Ως ϵ καλείται η ακτίνα της κάθε συστάδας, δηλαδή η μέγιστη απόσταση δύο σημείων-αντικειμένων της ίδιας ομάδας. Ως MinPts καλείται ο ελάχιστος αριθμός στοιχείων-αντικειμένων που είναι απαραίτητος για την δημιουργία μιας ομάδας.

Βασικά πλεονεκτήματα του αλγόριθμου DBSCAN είναι :

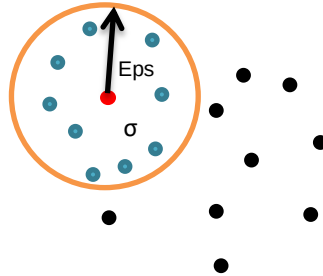
- Μπορεί να χειριστεί συστάδες με διαφορετικά σχήματα και μεγέθη.
- Δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές και διαθέτει καλή ευαισθησία στο θόρυβο.
- Δεν απαιτεί τον προσδιορισμό του συνολικού αριθμού των ομάδων αλλά αρκείται στον προσδιορισμό δύο βασικών παραμέτρων, του ϵ και του MinPts.

Για την κατανόηση της εφαρμογής του αλγόριθμου DBSCAN είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν βασικές έννοιες λειτουργίας.

Στοιχεία τα οποία βρίσκονται εντός ακτίνας ϵ ενός δεδομένου σημείου-αντικειμένου p , ονομάζονται **ϵ -γειτονιά** του p .

Κεντρικό σημείο ονομάζεται ένα στοιχείο-αντικείμενο, όταν η ϵ -γειτονιά του περιέχει τουλάχιστον έναν ελάχιστο αριθμό στοιχείων-αντικειμένων (MinPts). Δηλαδή σε κάθε εφαρμογή του αλγόριθμου ως κεντρικά σημεία

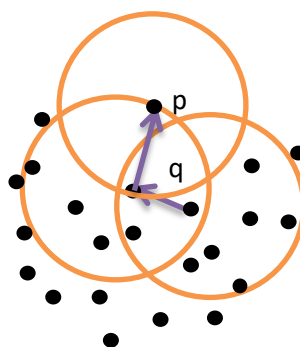
χαρακτηρίζονται τα στοιχεία , τα οποία έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση της τιμής MinPts.



Σχήμα 3.2: σ κεντρικό σημείο.

Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο δεδομένων, θεωρούμε ότι ένα στοιχείο-αντικείμενο είναι **άμεσα πυκνά-προσεγγίσιμο** από ένα άλλο στοιχείο-αντικείμενο, αν βρίσκεται εντός της ϵ -γειτονιάς του και αποτελεί κεντρικό σημείο.

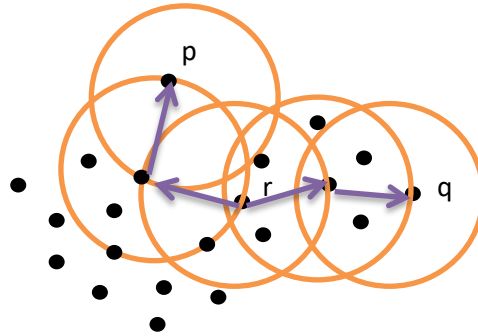
Ένα στοιχείο-αντικείμενο p χαρακτηρίζεται ως **πυκνά-προσεγγίσιμο** σε σχέση με την ϵ -γειτονιά του και το σ -κεντρικό σημείο, αν υπάρχει αλυσίδα στοιχείων-αντικειμένων $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, με $p_1=q$ και $p_n=p$, όπου κάθε p_{i+1} είναι άμεσα πυκνά-προσεγγίσιμο από το p_i όσον αφορά την ϵ -γειτονιά του και το σ -κεντρικό σημείο.



Σχήμα 3.3: p πυκνά –προσεγγίσιμο από q .

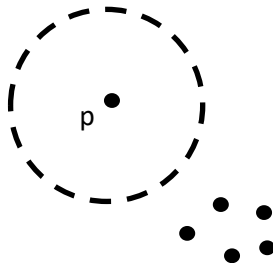
Ένα στοιχείο-αντικείμενο μπορεί να χαρακτηριστεί ως **πυκνά-συνδεδεμένο** από ένα στοιχείο αντικείμενο q σε σχέση με την ϵ -γειτονιά του και το σ -

κεντρικό σημείο, αν υπάρχει ένα στοιχείο–αντικείμενο r της βάσης δεδομένων, τέτοιο ώστε και τα δύο στοιχεία p και q να είναι πυκνά-προσεγγίσιμα από το r σε σχέση με την ε -γειτονιά του και το σ -κεντρικό σημείο.



Σχήμα 3.4 : p και q πυκνά συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω του στοιχείου-αντικειμένου r .

Τέλος στοιχεία-αντικείμενα τα οποία δεν είναι προσεγγίσιμα από άλλα στοιχεία-αντικείμενα και παρουσιάζουν χαμηλή πυκνότητα μπορούν να χαρακτηριστούν ως **θορυβώδης-ακραία**.



Σχήμα 3.5: p ακραίο σημείο (θορυβώδης).

ΒΗΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την εφαρμογή του αλγόριθμου DBSCAN, θα πρέπει αρχικά να καθοριστούν από τον χρήστη οι παράμετροι Eps και $MinPts$. Ο αλγόριθμος ξεκινάει από ένα τυχαίο αυθαίρετο σημείο εκκίνησης, το οποίο δεν έχει επισκεφθεί. Για το σημείο αυτό, εντοπίζει όλα τα γειτονικά σημεία εντός της απόστασης Eps από το σημείο εκκίνησης. Εφόσον ο αριθμός των στοιχείων που βρίσκεται στην ε -γειτονιά του σημείου εκκίνησης είναι επαρκής,

δηλαδή μεγαλύτερος ή ίσος με την τιμή της παραμέτρου MinPts, τότε σχηματίζεται μία συστάδα. Το σημείο εκκίνησης και τα γειτονικά στοιχεία προστίθενται στην δημιουργούμενη συστάδα και το σημείο εκκίνησης σημειώνεται πλέον ως σημείο που έχει επισκεφθεί. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει την διαδικασία αξιολόγησης και για τα υπόλοιπα γειτονικά στοιχεία. Αν ο αριθμός των γειτονικών σημείων είναι μικρότερος από MinPts, το σημείο επισημαίνεται προσωρινά ως θορυβώδη-ακραίο σημείο. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου εξεταστούν όλα τα γειτονικά σημεία και ολοκληρωθεί η διαδικασία εύρεσης της πυκνά-συνδεδεμένης συστάδας. Έπειτα, ο αλγόριθμος συνεχίζει την ίδια επαναληπτική διαδικασία για τα υπόλοιπα μη επισκέψιμα σημεία της βάσης δεδομένων, ώστε να δημιουργηθεί μία νέα συστάδα-ομάδα.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η αξιολόγηση της ομαδοποίησης θα γίνει υπολογίζοντας τρεις βασικούς δείκτες, όπως παρουσιάζονται από τον Dmitri Timašjon. Μέσω των δεικτών αυτών θα πραγματοποιηθεί έλεγχος της ποιότητας και του τύπου των ομάδων.

➤ Coverage(Κάλυψη)

Είναι η αναλογία των στοιχείων μιας ομάδας(C) ως προς τον συνολικό αριθμό στοιχείων στο γράφημα. Ο δείκτης coverage εκφράζει πόσα στοιχεία υπάρχουν σε μία συστάδα(C) και πόσα στοιχεία ερμηνεύονται ως θόρυβος.

$$Coverage(C) = \frac{\text{Συνολικός Αριθμός Στοιχείων Ομάδας}}{\text{Συνολικός Αριθμός Στοιχείων Βάσης Δεδομένων}} \quad (2)$$

➤ Modularity(Προσαρμοστικότητα)

Μέτρο προσδιορισμού της αντοχής του διαιρεμένου γραφήματος σε ενότητες. Με άλλα λόγια, υψηλός δείκτης modularity σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότερα στοιχεία σε μία ενότητα(C), από την αναμενόμενη πρόβλεψη να θεωρηθούν τυχαία.

$$Modularity(C) = \sum_{i \in C} \left(\frac{e_{ii}}{2m} - \left(\frac{\sum_{j \in C} e_{ij}}{2m} \right)^2 \right) \quad (3)$$

m: συνολικός αριθμός στοιχείων στο γράφημα

i,j : στοιχεία ομάδας C

➤ Density(Πυκνότητα)

Υψηλός δείκτης density σημαίνει ότι τα στοιχεία μιας ομάδας(C) συνδέονται μεταξύ τους πολύ δυνατά, ενώ η σύνδεση τους με άλλες ομάδες είναι αρκετά αδύναμη.

$$\text{Density}(C) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{|C|} \sum_{c \in C} \frac{\text{Συνολικός Αριθμός Στοιχείων Ομάδας}(C)}{\binom{c}{2}} \right) \quad (4)$$

$$+ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\text{Συνολικός Αριθμός Στοιχείων Μεταξύ Διαφορετικών Ομάδων}}{\binom{n}{2} - \sum_{c \in C} \binom{|c|}{2}} \right)$$

4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη και δεύτερη ενότητα του κεφαλαίου περιγράφονται τα στατιστικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του αρχικού αλγόριθμου ποσοτικοποίησης της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν διαδρομές που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στην τρίτη ενότητα του κεφαλαίου, προκειμένου να εντοπιστούν οι κρίσιμες περιοχές γίνεται εφαρμογή του αλγόριθμου ομαδοποίησης DBSCAN και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του. Τέλος, ακολουθεί στατιστική ανάλυση συγκεκριμένων κρίσιμων περιοχών προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές δυσκολίες που παρουσιάζουν στην εύρεση στάθμευσης.

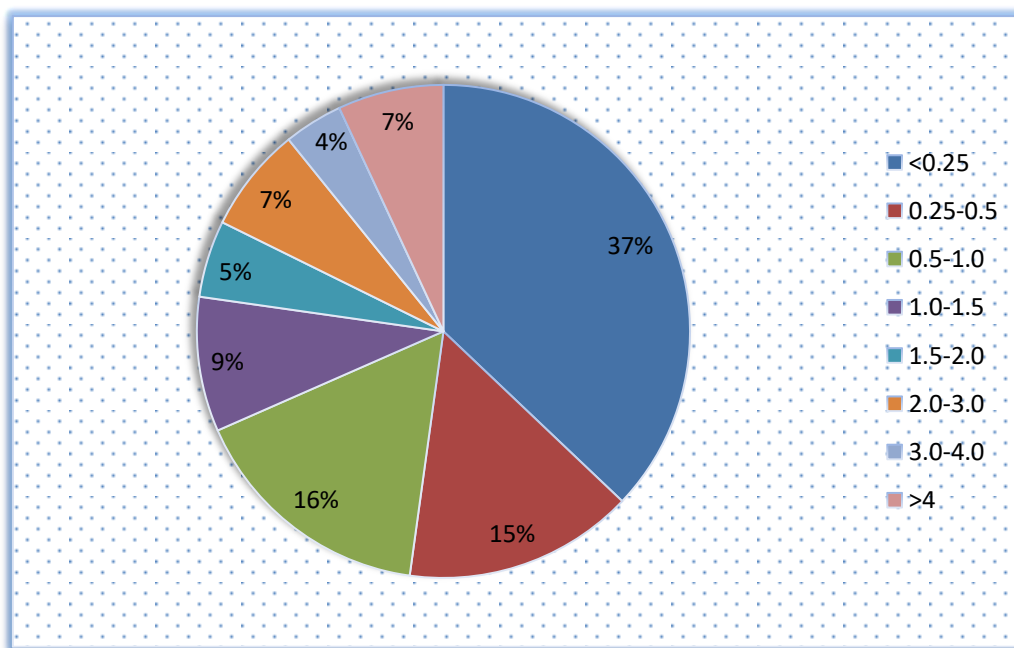
Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του μοντέλου περιλαμβάνει 14.538 ταξίδια. Τα αποτελέσματα εισάγονται σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel “csv”. Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου στάθμευσης, η περιοχή, η χρονική διάρκεια και η διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης, η απόσταση μεταξύ στάθμευσης και τελικού προορισμού και η συνολική διανυόμενη απόσταση της κάθε διαδρομής. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με χρήση λογισμικού υπολογιστικού φύλλου Excel και γλώσσας προγραμματισμού R.

4.1 Χρόνος και Απόσταση Αναζήτησης Στάθμευσης

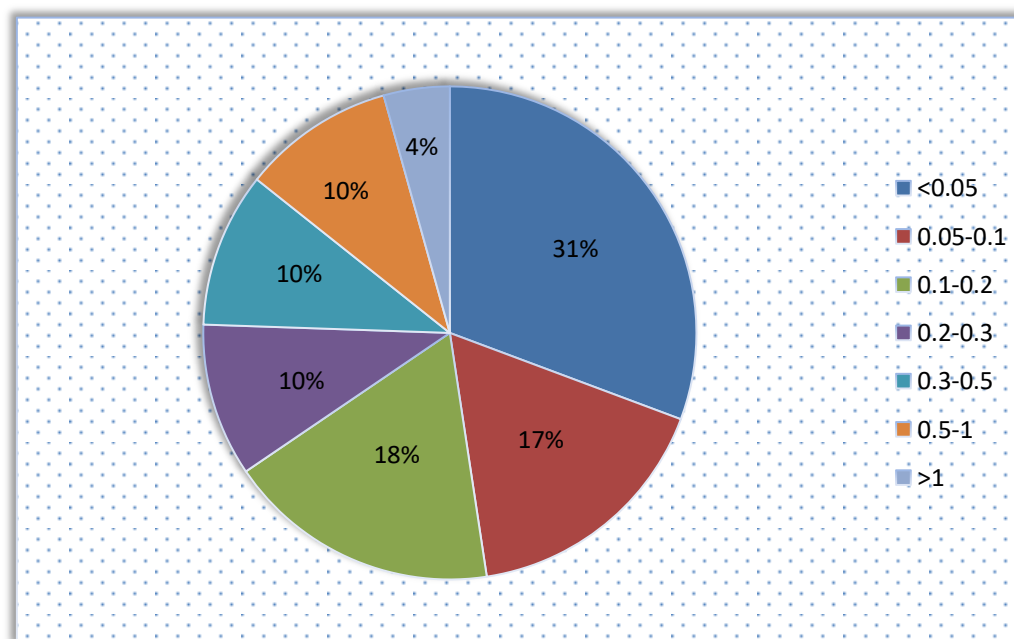
Η επιπλέον απόσταση που διανύει το όχημα αναζητώντας στάθμευση επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από την γνώση του οδηγού για την περιοχή καθώς και από το οδικό δίκτυο της περιοχής, και πιο συγκεκριμένα από την επιλεγόμενη διαδρομή, την ύπαρξη μονόδρομων και τα όρια ταχυτήτων.

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των 14.538 ταξιδιών σχετικά με την διανυόμενη απόσταση και τον χρόνο που ψάχνει ο οδηγός στάθμευση, δημιουργήθηκαν τα Διαγράμματα 4.1 και 4.2.

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων



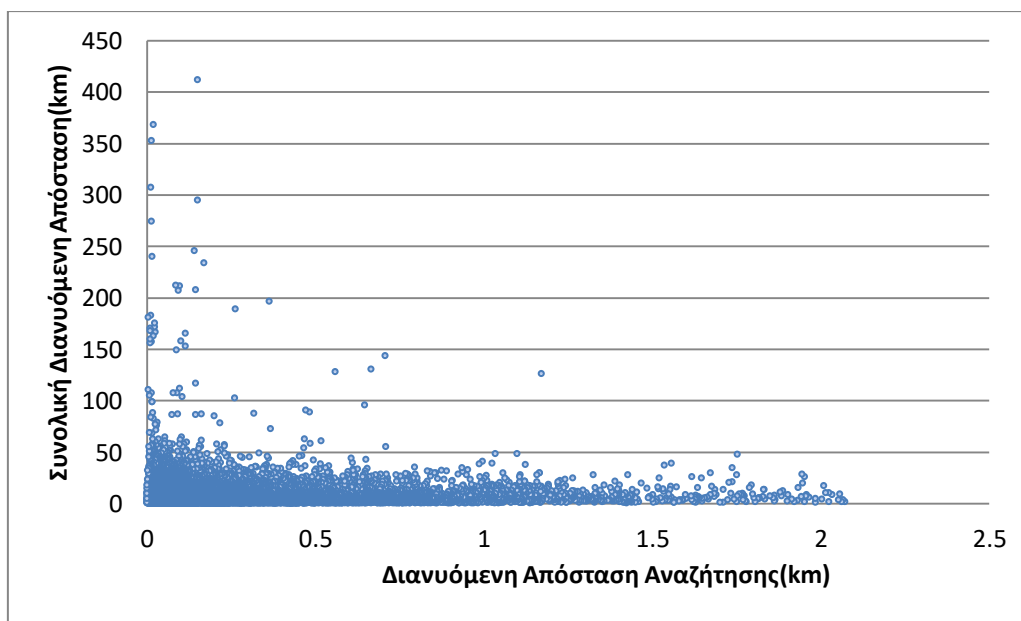
Διάγραμμα 4.1: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης (σε λεπτά) εντός Αττικής.



Διάγραμμα 4.2: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης (σε χιλιόμετρα) για διαδρομές εντός Αττικής.

Όπως παρατηρείται για το μεγαλύτερο ποσοστό των διαδρομών που ερευνήθηκαν (ποσοστό 68% των συνολικών διαδρομών), ο χρόνος αναζήτησης είναι μικρότερος από ένα (1) λεπτό, γεγονός που δείχνει ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα στην στάθμευση. Το αποτέλεσμα αυτό είναι ορατό και από το Διάγραμμα 4.2 όπου η διανυόμενη απόσταση αναζήτησης είναι σχετικά μικρή (για ποσοστό 66% η απόσταση είναι μικρότερη από 200 μέτρα). Επίσης προκύπτει ότι για ποσοστό 37% των οχημάτων ο χρόνος αναζήτησης είναι μικρότερος από 0.25 λεπτά. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι είτε ο οδηγός εντόπισε κενή θέση στάθμευσης αμέσως μόλις πέρασε σε κοντινή απόσταση από τον τελικό προορισμό του είτε πάρκαρα πριν φτάσει στον προορισμό. Σε κάθε περίπτωση ο οδηγός δεν αντιμετωπίζει δυσκολία στην εύρεση στάθμευσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χρόνοι κατά την διαδικασία εύρεσης στάθμευσης αποτελούν άμεση επιρροή και της κυκλοφοριακής συμφόρησης που επικρατεί. Γι αυτό και παρατηρούνται μικρές διανυόμενες αποστάσεις αλλά μεγαλύτεροι χρόνοι, καθώς οι δρόμοι είναι συνωστισμένοι και οι οδηγοί κινούνται με μικρότερες ταχύτητες.



Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα συσχέτισης συνολικής απόστασης και απόστασης αναζήτησης στάθμευσης.

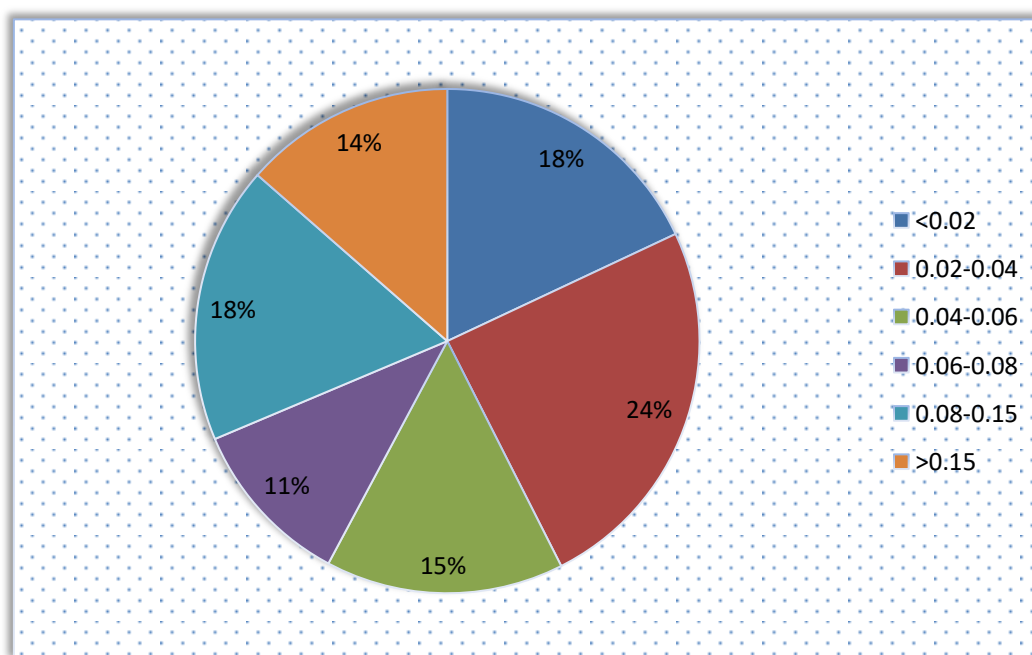
Μία ενδιαφέρουσα απεικόνιση αποτελεί και το διάγραμμα συσχέτισης συνολικής διανυόμενης απόστασης και διανυόμενης απόστασης αναζητώντας στάθμευση. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.3, οδηγοί μεγάλων ταξιδιών σταθμεύουν σύντομα, σε αντίθεση με οδηγούς μικρών διαδρομών που

αναζητούν στάθμευση διανύοντας μεγάλες αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες διανυόμενες αποστάσεις παρατηρούνται από διαδρομές συνολικής απόστασης μικρότερης από 40 χιλιόμετρα. Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται λογικό δεδομένου ότι το κόστος χρόνου για τους οδηγούς μεγάλων διαδρομών είναι μεγαλύτερο από οδηγούς μικρότερων διαδρομών.

4.2 Απόσταση Περπατήματος Προς Τον Τελικό Προορισμό

Στην συνέχεια προκειμένου να εξεταστεί πόσο μακριά παρκάρουν οι οδηγοί από τον τελικό τους προορισμό δημιουργείται το Διάγραμμα 4.3, όπου παρουσιάζονται οι αποστάσεις που διανύουν οι επιβάτες περπατώντας από την θέση στάθμευσης έως τον προορισμό τους.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι, κάποιες από τις αποστάσεις αυτές ενδεχομένως να έχουν υποτιμηθεί, λόγω ολιγόλεπτων στάσεων, καθώς η εφαρμογή της OSeven Telematics παύει να καταγράφει ταξίδια στα οποία παρατηρείται στάση διαδρομής για χρόνο μεγαλύτερο από 5λεπτά.



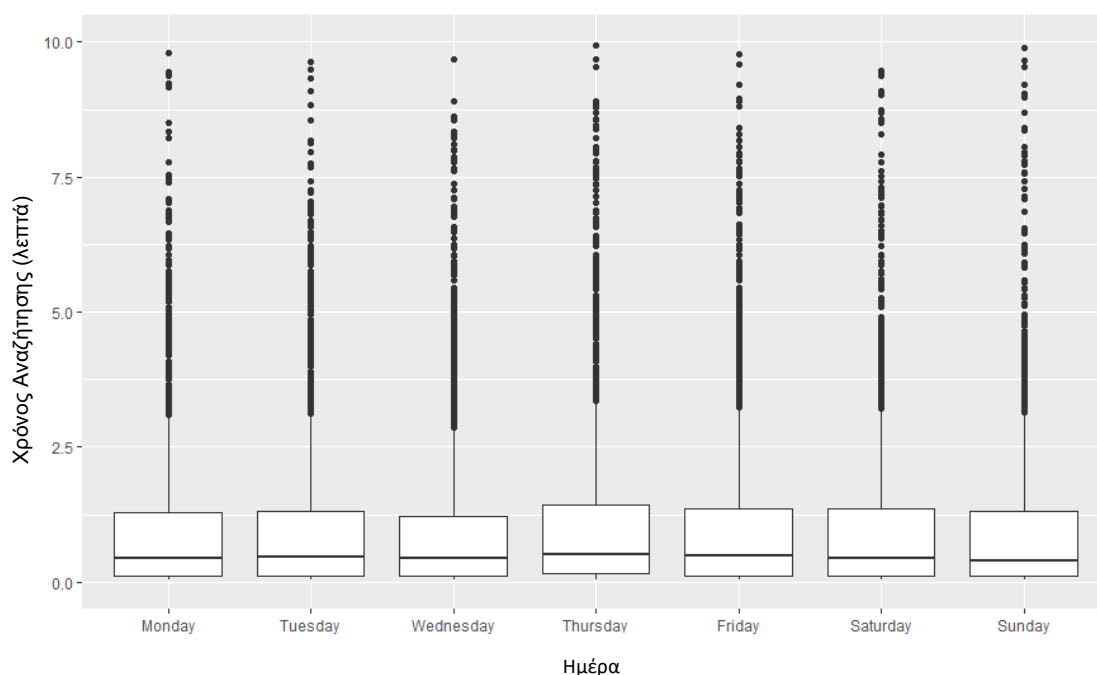
Διάγραμμα 4.4: Διανυόμενη απόσταση περπατήματος (σε χιλιόμετρα) από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό, για ταξίδια εντός Αττικής

Σύμφωνα λοιπόν με το Διάγραμμα 4.4 οι επιβαίνοντες δεν διανύουν μεγάλες αποστάσεις κατευθυνόμενοι προς τον τελικό τους προορισμό. Ειδικότερα

όπως παρατηρείται στο γράφημα, για ποσοστό 14% οι επιβαίνοντες χρειάζεται να περπατήσουν περισσότερο από 150 μέτρα, ενώ για ποσοστό 68% το μήκος περπατήματος είναι μικρότερο από μόλις 80 μέτρα. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με τα Διαγράμματα 4.1 και 4.2, επιβεβαιώνουν ότι η στάθμευση για το μεγαλύτερο ποσοστό των διαδρομών δεν παρουσιάζει προβλήματα.

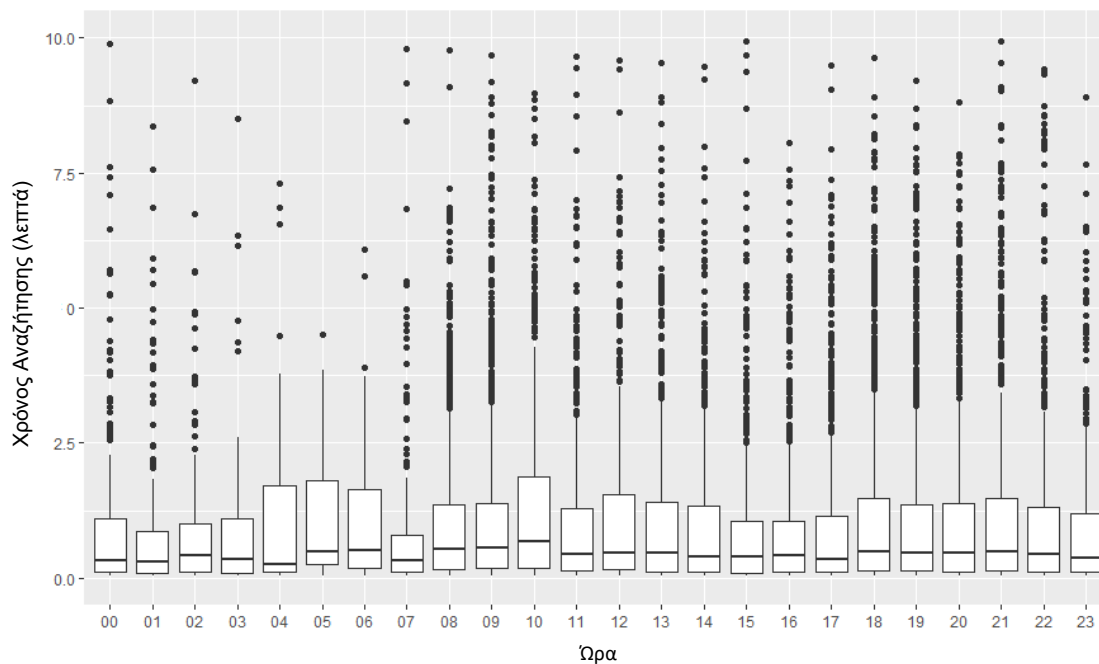
4.3 Χρονική Διακύμανση της Διάρκειας Αναζήτησης Στάθμευσης

Στην συνέχεια εξετάζεται η χρονική διακύμανση των τιμών, προκειμένου να εξακριβωθεί αν επηρεάζεται η στάθμευση από την χρονική στιγμή της αναζήτησης. Δεδομένου ότι οι καμπύλες κυκλοφοριακού φόρτου δεν είναι σταθερές αλλά μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας, του μήνα, αναμένεται ότι και ο φόρτος αναζήτησης στάθμευσης θα μεταβάλλεται και θα παρουσιάζει συμφόρηση σε συγκεκριμένες περιόδους ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων που αναζητούν θέση στάθμευσης και των κυκλοφορούντων οχημάτων στις οδούς.

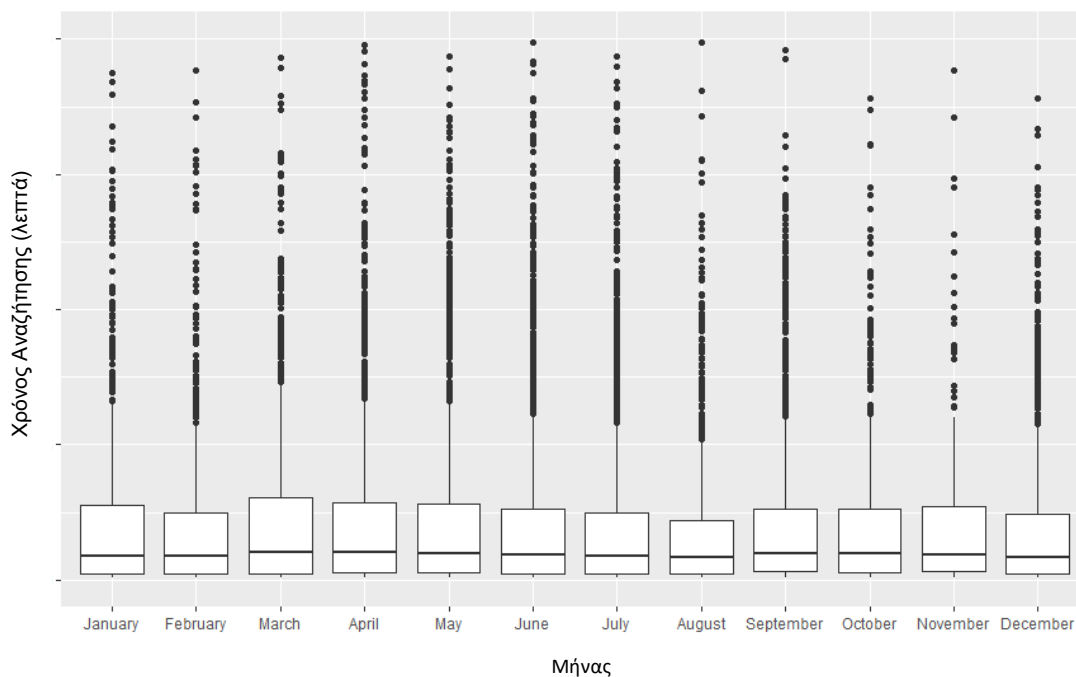


Διάγραμμα 4.5: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης ανά ημέρα εντός Αττικής.

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 4.6: Χρόνος αναζήτησης στάθμευση ανά ώρα εντός Αττικής.



Διάγραμμα 4.7: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης ανά μήνα εντός Αττικής.

Ωστόσο, από τα Διαγράμματα 4.5 και 4.7 που αφορούν την διακύμανση της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης κατά την διάρκεια της εβδομάδας και του χρόνου δεν προκύπτουν σαφή συμπεράσματα. Και στα δύο διαγράμματα δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές στο χρόνο που απαιτείται για να σταθμεύσει και δεν παρατηρείται κάποιο σαφές σημείο κορύφωσης της

διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης. Αντιθέτως στο Διάγραμμα 4.6, το οποίο αφορά τον χρόνο αναζήτησης ανά ώρα, οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στις τιμές των χρόνων είναι πιο έντονες.

Επίσης, από τα Διαγράμματα 4.5, 4.6 και 4.7 παρατηρείται ότι, τόσο σε μηνιαία όσο και σε εβδομαδιαία και καθημερινή βάση υπάρχουν ταξίδια που αποκλίνουν από την προβλεπόμενη διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε κάποια περιοχή (πρόκειται για τα ταξίδια εντός Αττικής και όχι κάθε περιοχής ξεχωριστά), όπου είναι ιδιαίτερα δύσκολο το παρκάρισμα είτε σε ταξίδια τα οποία έλαβαν χώρα σε ώρες αιχμής, όπου η κίνηση των οχημάτων ήταν δύσκολη και η εύρεση θέσης στάθμευσης σπάνια.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα συνολικά, δεν μπορούν να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα εφόσον πρόκειται για ταξίδια εντός του Νομού Αττικής, όπου η στάθμευση πιθανόν να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Για το λόγο αυτό ακολουθεί ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με στόχο τον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών με διαφορετικά στατιστικά χαρακτηριστικά ως προς την διάρκεια στάθμευσης.

4.4 Ανίχνευση Κρίσιμων Περιοχών

Για την συσταδοποίηση των περιοχών αρχικά έγινε προσπάθεια χρήσης του αλγόριθμου-πυκνότητας STDBSCAN, ο οποίος βασίζεται στον αλγόριθμο DBSCAN. Σε αντίθεση με τους υπάρχοντες αλγόριθμους συσταδοποίησης με βάση την πυκνότητα, ο STDBSCAN έχει την ικανότητα εντοπισμού συστάδων σύμφωνα με χωρικές, μη χωρικές και χρονικές τιμές των σημείων-στοιχείων της βάσης δεδομένων. Παρόλα αυτά λόγω των πολύ πυκνών σημείων της βάσης δεδομένων και του χρονικού διαστήματος του ενός έτους στο οποίο πραγματοποιήθηκαν, δεν βρέθηκε κάποιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται, είναι ο DBSCAN ο οποίος βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην πυκνότητα των σημείων. Τα δεδομένα λοιπόν που εισέρχονται στον αλγόριθμο είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες και πιο συγκεκριμένα το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η μορφή της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται.

Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο DBSCAN.

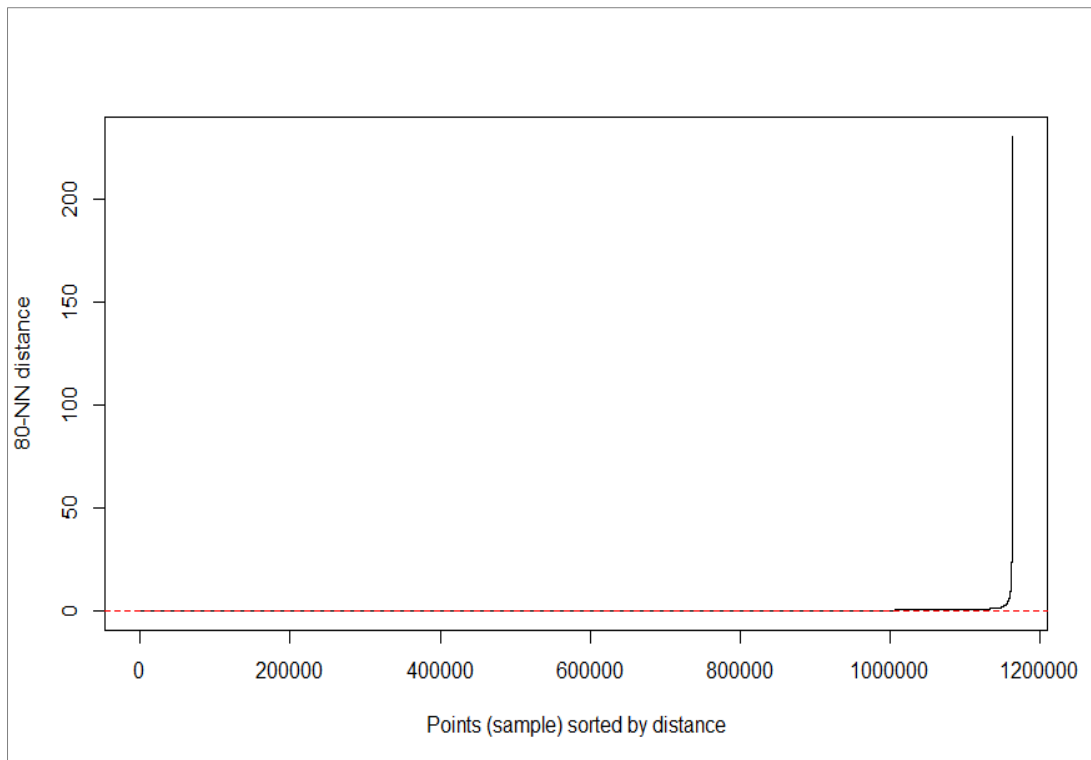
Location Latitude	Location Longitude
38.02542	23.70452
38.04415	23.71257
38.04267	23.72477
38.02868	23.70742
38.02973	23.70694

Για την εφαρμογή του αλγόριθμου απαιτείται ο καθορισμός δύο βασικών παραμέτρων, της ακτίνας κάθε συστάδας ϵ και του ελάχιστου αριθμού στοιχείων-σημείων που ορίζουν μια συστάδα MinPts.

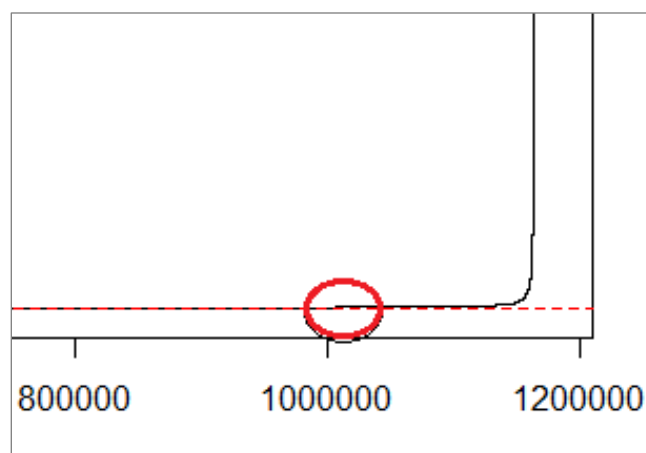
Για την εύρεση της παραμέτρου MinPts δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος. Η επιλογή της τιμής του, γίνεται ανάλογα με τα δεδομένα και τα αποτελέσματα που αναμένονται από την κάθε ανάλυση. Για το λόγο αυτό η επιλογή της τιμής γίνεται ύστερα από μια σειρά επαναλήψεων.

Για τον προσδιορισμό της παραμέτρου ϵ , ελέγχεται η απόσταση κάθε σημείου από τον k -κοντινότερο γείτονα του (k -nearest neighbors distance). Σε μια ομαδοποίηση με παράμετρο MinPts= k αναμένεται ότι, για τα κεντρικά σημεία η απόσταση κάθε σημείου από τον k -κοντινότερο γείτονα τους θα είναι μεταξύ ενός συγκεκριμένου εύρους, ενώ για τα σημεία που προκαλούν θόρυβο η απόσταση κάθε σημείου από τον k -κοντινότερο γείτονα θα είναι πολύ μεγαλύτερη. Έτσι λοιπόν δημιουργείται το διάγραμμα k -distance (Διάγραμμα 4.9) όπου στον άξονα y τοποθετείται η απόσταση κάθε σημείου από τον k -κοντινότερο γείτονα του ενώ στον άξονα x ο αριθμός των αποστάσεων που υπολογίζονται. Από το διάγραμμα αυτό, θεωρείται ότι το σημείο «γονάτου» θα είναι και η παράμετρος Eps που αναζητείται.

Λόγω του ότι η δημιουργία του διαγράμματος k -distance απαιτεί τον προσδιορισμό της παραμέτρου MinPts, ακολουθείται μία επαναληπτική διαδικασία, ελέγχοντας κάθε φορά την ευαισθησία του αλγόριθμου στις διαφορετικές παραμέτρους. Ύστερα από μία σειρά δοκιμών διαφορετικών τιμών k , καταλληλότερη κρίνεται η τιμή $k=MinPts=80$. Μέσω του Διαγράμματος 4.8 και λεπτομερέστερα του Διαγράμματος 4.9 επιλέγεται η τιμή της παραμέτρου $\epsilon=0.003$ χιλιόμετρα.



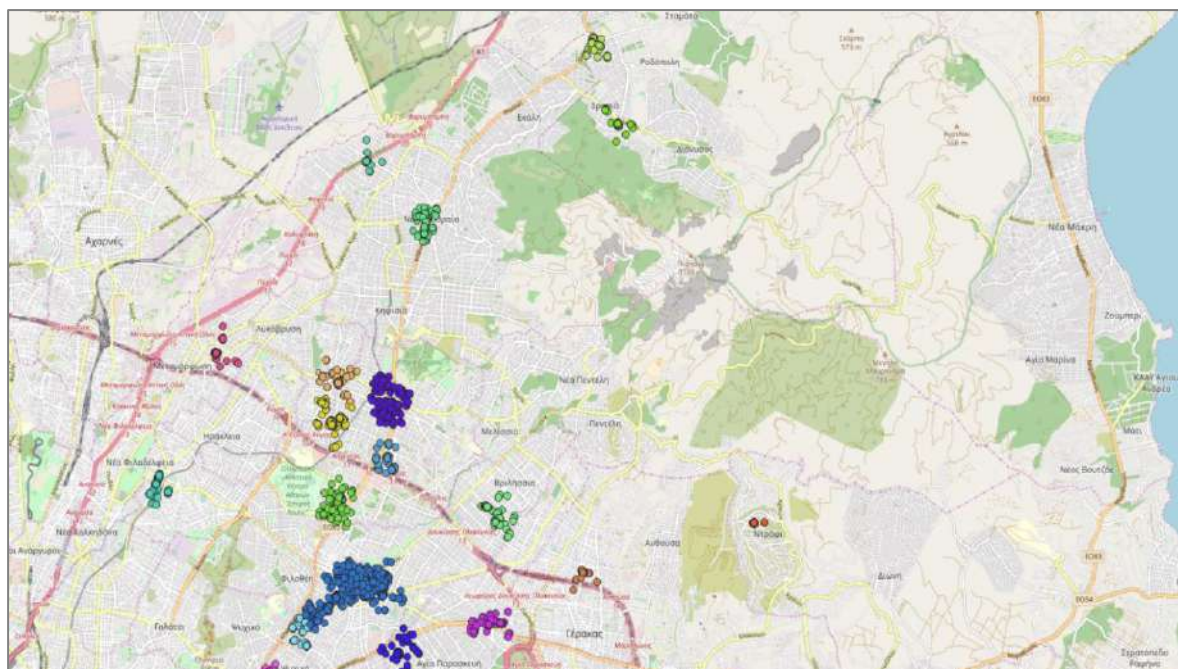
Διάγραμμα 4.8: Απόσταση σημείου από τον k-κοντινότερο γείτονα.



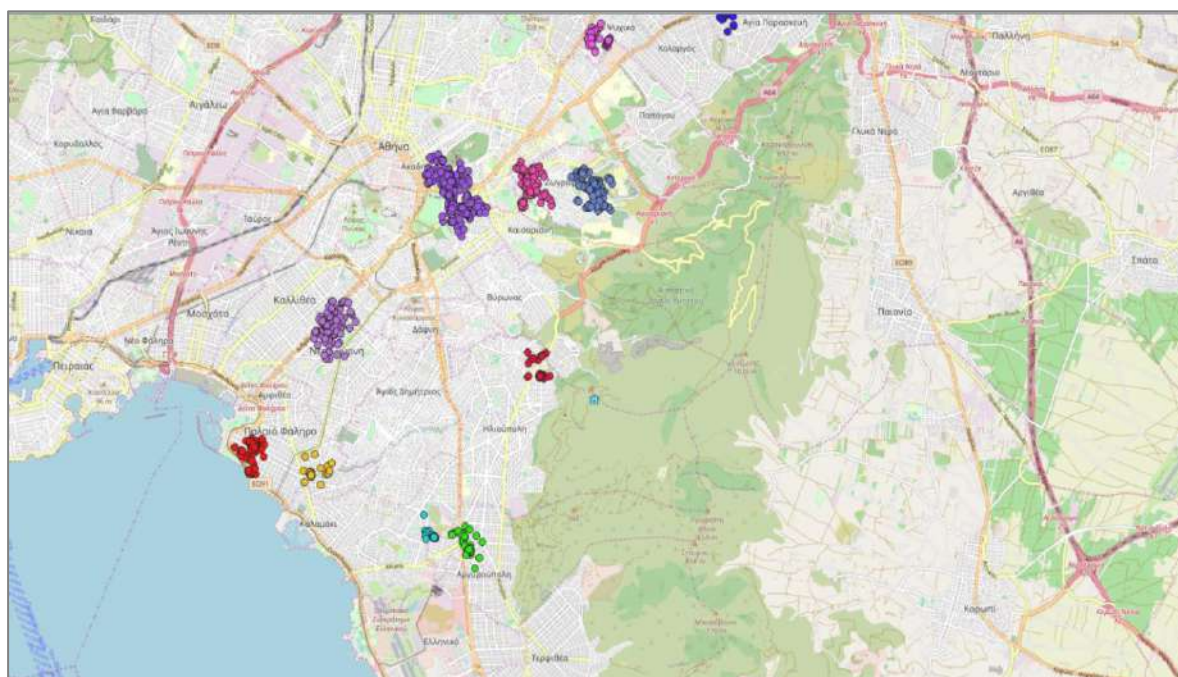
Διάγραμμα 4.9: Απόσταση σημείου από τον k-κοντινότερο γείτονα (σε μεγένθυση).

Με την εφαρμογή του αλγόριθμου DBSCAN για $\epsilon=0.003$ και $\text{MinPts}=80$ δημιουργούνται τριάντα (30) διακριτές ομάδες. Η οπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.1 και 4.2.

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων



Εικόνα 4.1: Χάρτης Αττικής με συσταδοποιημένα γεγονότα (α)



Εικόνα 4.2: Χάρτης Αττικής με τα συσταδοποιημένα γεγονότα (β).

4.5 Στατιστική Ανάλυση Κρίσιμων Περιοχών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των κρίσιμων περιοχών που δημιουργήθηκαν μετά την ομαδοποίηση των δεδομένων σε συστάδες. Σκοπός είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την στάθμευση και την δυσκολία εύρεσης κενών θέσεων στα κέντρα δραστηριοτήτων πολυσύχναστων δήμων. Για τον λόγο αυτό για την στατιστική ανάλυση επιλέγονται και διερευνώνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμευσης τεσσάρων περιοχών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως προς την τοποθεσία τους. Οι ομάδες που ερευνώνται καθώς και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Αριθμός συστάδων προς ανάλυση.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΣΤΑΔΑΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΥΣΤΑΔΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ
1	513	ΚΕΝΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ
2	1190	ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ
3	659	ΧΑΛΑΝΔΡΙ
4	240	ΖΩΓΡΑΦΟΥ-ΙΛΙΣΙΑ

Για την πλήρη εικόνα των ομάδων που προέκυψαν με την εφαρμογή του αλγόριθμου DBSCAN, δημιουργείται ο Πίνακας 4.3, όπου παρουσιάζονται τα βασικά μέτρα θέσεως και μεταβλητότητας κάθε ομάδας. Τα μέτρα αυτά υπολογίζονται σύμφωνα με την απόσταση αναζήτησης στάθμευσης.

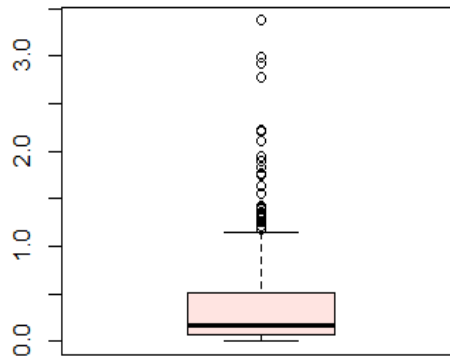
Πίνακας 4.3: Μέτρα θέσεως και μεταβλητότητας της απόστασης αναζήτησης στάθμευσης μεταξύ των διαφορετικών ομάδων.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΕΝΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ	ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	ΧΑΛΑΝΔΡΙ	ΖΩΓΡΑΦΟΥ- ΙΛΙΣΙΑ
MEAN	0.363	0.325	0.303	0.512
MEDIAN	0.175	0.145	0.174	0.369
VAR	0.217	0.197	0.141	0.366
SD	0.466	0.443	0.375	0.605
CV	1.285	1.365	1.238	1.183

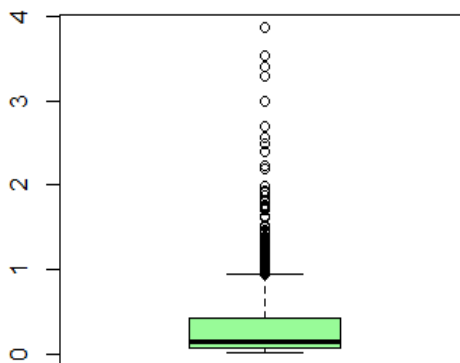
Επίσης για την διαμόρφωση μιας πληρέστερης εικόνας σχετικά με την κατανομή και την διασπορά των τιμών κάθε ομάδας, απαραίτητη κρίνεται η

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

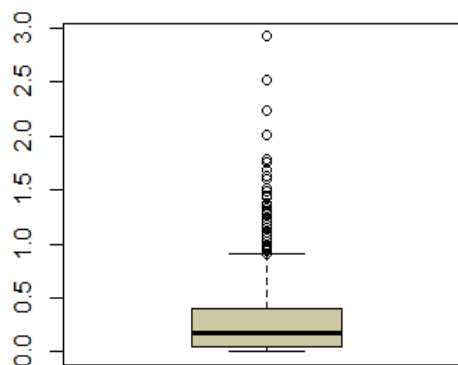
δημιουργία των θηκοδιαγραμμάτων (Boxplot). Η δημιουργία των διαγραμμάτων πραγματοποιείται σύμφωνα με την απόσταση αναζήτησης στάθμευσης.



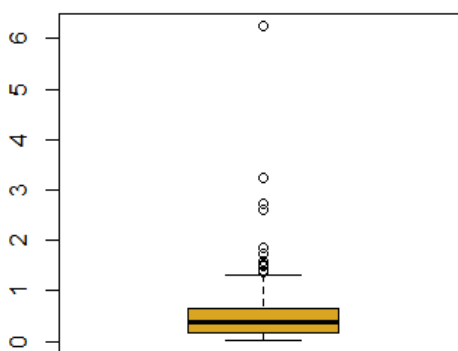
Διάγραμμα 4.10: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Κέντρου Αθήνας



Διάγραμμα 4.11: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Νέας Σμύρνης.



Διάγραμμα 4.12: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Χαλανδρίου



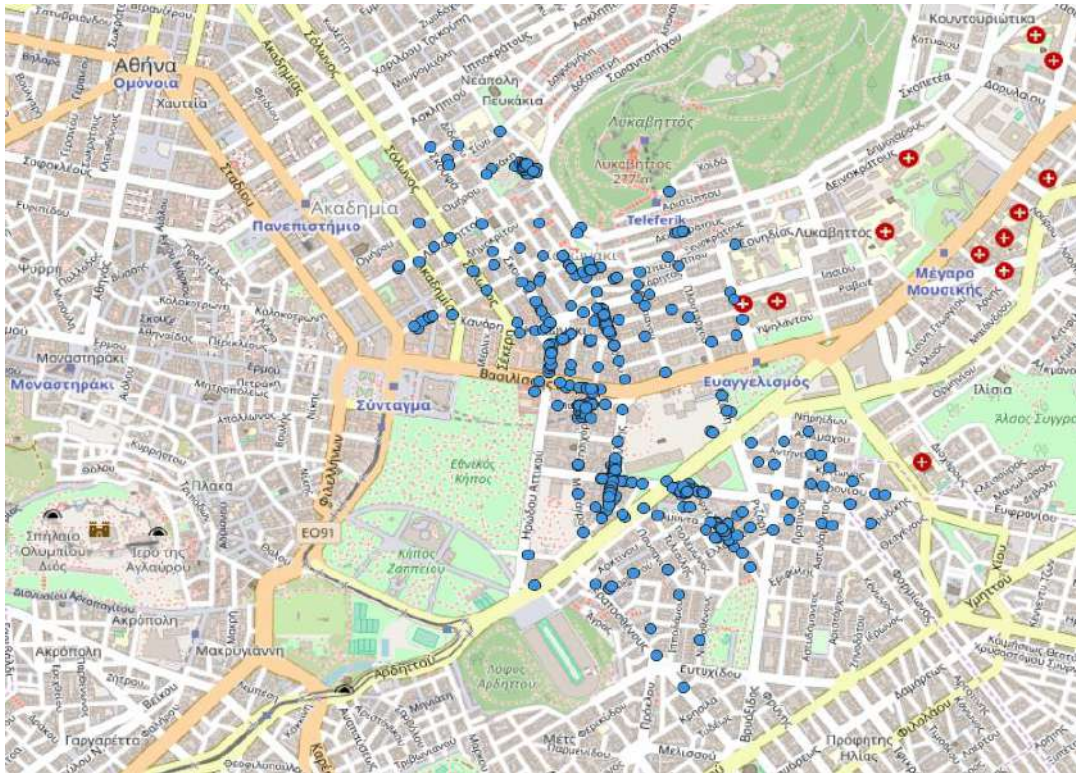
Διάγραμμα 4.13: Απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Ζωγράφου-Ιλίσια

ΚΕΝΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ-ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ

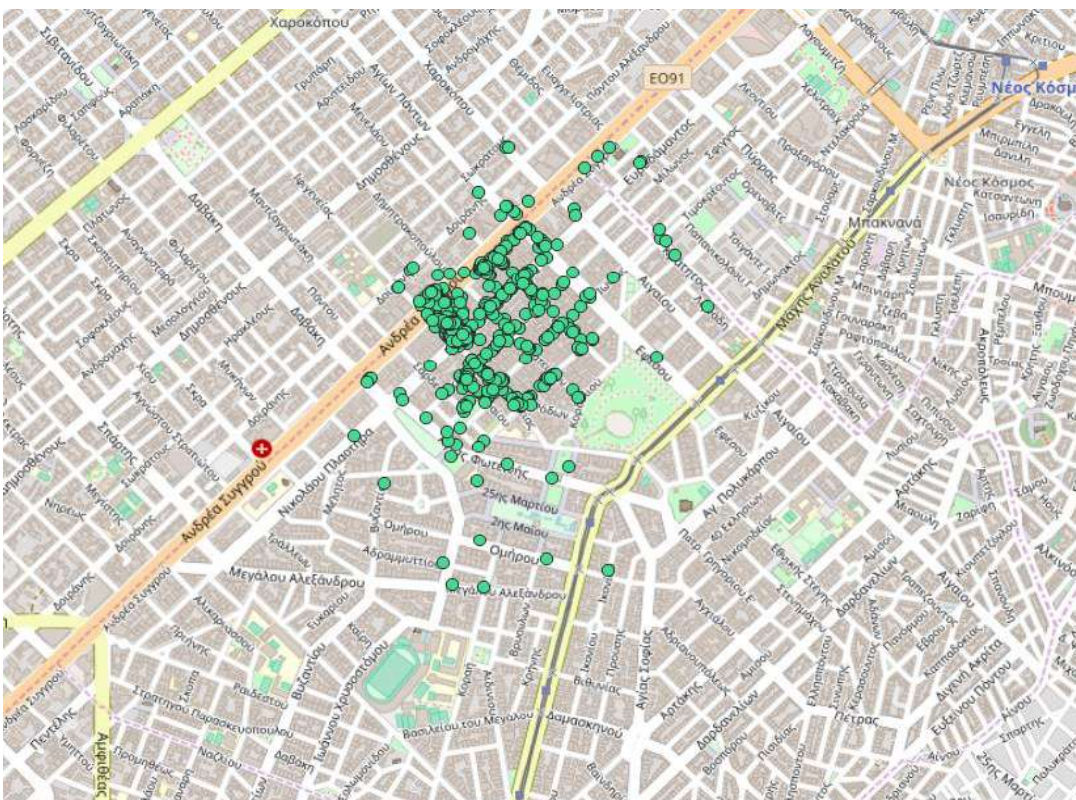
Συγκρίνοντας τα θηκογράμματα και τα μέτρα που υπολογίζονται παραπάνω, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν ομάδες οι οποίες παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς τα μέτρα θέσεως και μεταβλητότητας της διανυόμενης απόστασης αναζήτησης στάθμευσης. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή του κέντρου της Αθήνας (ομάδα 1) και η περιοχή της Νέας Σμύρνης (ομάδα 3) παρουσιάζουν ομοιότητες. Η μέση τιμή τους κυμαίνεται γύρω από 0,35 χιλιόμετρα ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας τους γύρω από το 1,3. Επίσης από τα Διαγράμματα 4.10 και 4.11 διαπιστώνεται ότι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές κινούνται στα ίδια πλαίσια. Τέλος, όσον αφορά την διάμεσο και για τις δύο περιπτώσεις, η τιμή της βρίσκεται κοντά στο κάτω τεταρτημόριο του κάθε θηκογράμματος. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι για το 50% των ταξιδιών τους η διανυόμενη απόσταση αναζητώντας στάθμευση είναι μικρή, δηλαδή μικρότερη της τιμής της διαμέσου, 0,175 χιλιόμετρα για το κέντρο της Αθήνας και 0,145 χιλιόμετρα για την Νέα Σμύρνη.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χωρικές διαστάσεις των δύο αυτών ομάδων στο χάρτη. Όσον αφορά τα ταξίδια στο κέντρο της Αθήνας οι περιοχές που περιλαμβάνονται στην ομάδα είναι ο Ευαγγελισμός, το Κολωνάκι και τα Εξάρχεια. Η επισκεψιμότητα και των τριών αυτών περιοχών είναι μεγάλη λόγω της εμπορικής και της επιχειρηματικής τους δραστηριότητας, των καταστημάτων εστίασης και αναψυχής αλλά και των πολυάριθμων κέντρων παροχής υπηρεσιών υγείας. Από την άλλη πλευρά, η ομάδα της Νέας Σμύρνης αποτελείται κυρίως από ταξίδια που σταθμεύουν σε περιοχή με έντονη επιχειρηματική δραστηριότητα.

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων



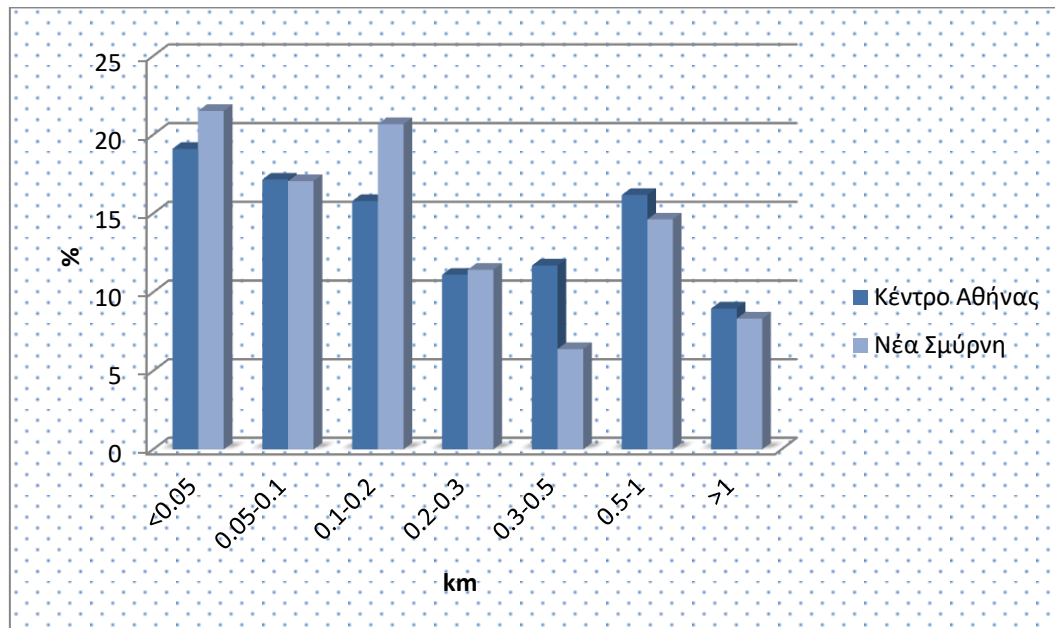
Εικόνα 4.3: Απεικόνιση ομάδας κέντρου Αθήνας στο χάρτη.



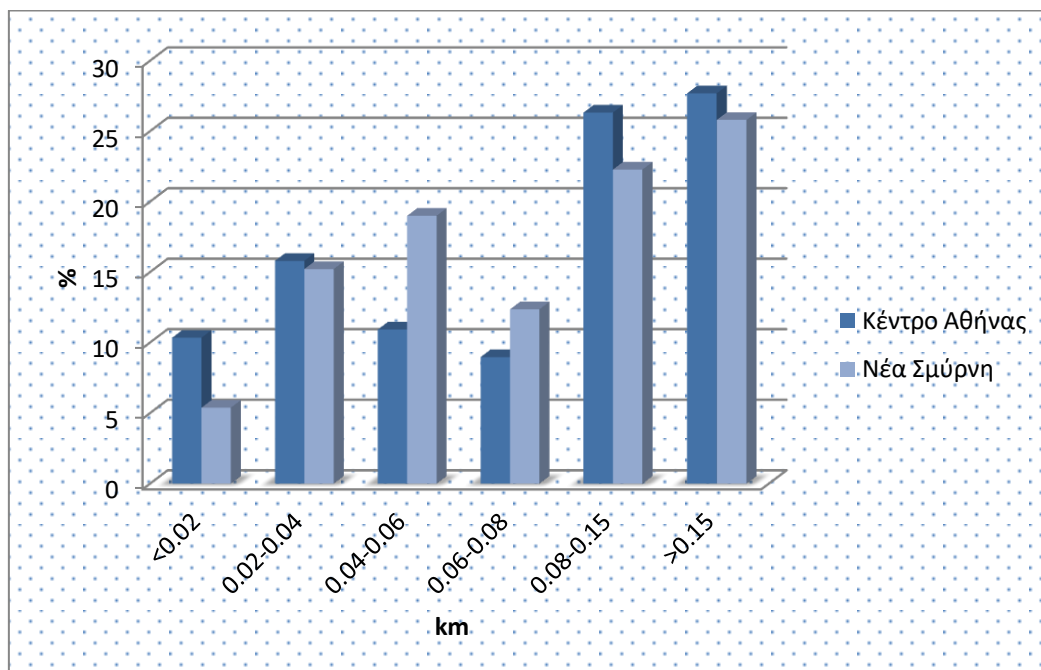
Εικόνα 4.4: Απεικόνιση ομάδας Νέας Σμύρνης στο χάρτη.

Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στη συνέχεια ακολουθούν ιστογράμματα συχνοτήτων, ώστε να επιτευχθεί λεπτομερέστερη ανάλυση των δύο αυτών περιοχών.

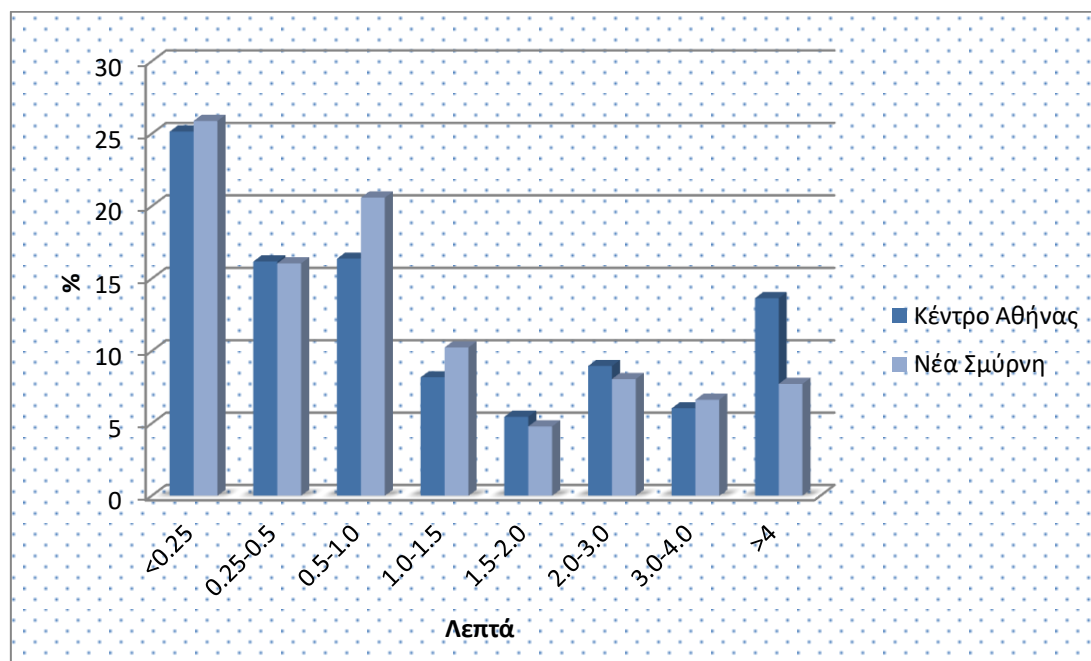


Διάγραμμα 4.14: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης Κέντρου Αθήνας-Νέας Σμύρνης.



Διάγραμμα 4.15: Απόστασης περπατήματος περιοχής Κέντρου Αθήνας-Νέας Σμύρνης.

Από το ιστόγραμμα συχνοτήτων που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.14 και για τις δύο περιοχές προκύπτει ότι για μεγάλο ποσοστό των συνολικών διαδρομών, οι οδηγοί διανύουν μεγάλες αποστάσεις ψάχνοντας στάθμευση. Πιο συγκεκριμένα και στο κέντρο της Αθήνας και στην περιοχή της Νέας Σμύρνης υπάρχει μεγάλος αριθμός διαδρομών με διανυόμενη απόσταση μεγαλύτερη από 500 μέτρα. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα, οι οδηγοί προκειμένου να παρκάρουν, διασχίζουν αποστάσεις μεγαλύτερες και από ένα χιλιόμετρο, γεγονός που υποδεικνύει την δυσκολία εύρεσης κενής θέσης σε συγκεκριμένες περιόδους. Επίσης, σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.15, πολλοί οδηγοί δεν παρκάρουν κοντά στον τελικό τους προορισμό αλλά περπατούν αποστάσεις μεγαλύτερες από 60 μέτρα, επιβεβαιώνοντας έτσι το πρόβλημα της έλλειψης θέσεων στάθμευσης στις περιοχές αυτές.



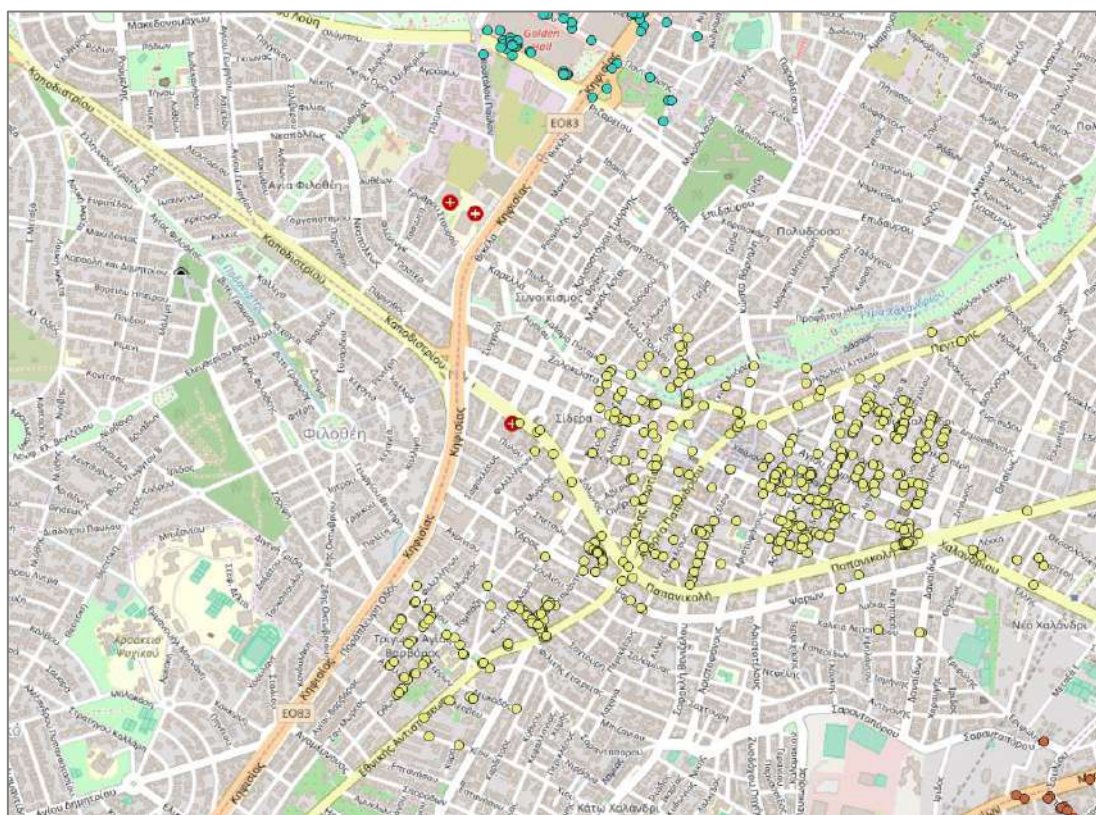
Διάγραμμα 4.16: Χρονική διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης Κέντρου Αθήνας- Νέας Σμύρνης.

Τέλος δημιουργείται το ιστόγραμμα της χρονικής διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης των δύο περιοχών, ώστε να εξεταστεί η διασπορά των τιμών τους. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.16, οι δύο περιοχές παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς την διακύμανση των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα για τις περισσότερες κλάσεις που έχουν δημιουργηθεί, τα ποσοστά των διαδρομών που αντιστοιχούν για κάθε περιοχή κυμαίνονται σε παρόμοια πλαίσια. Ωστόσο, συγκρίνοντας τα Διαγράμματα 4.14 και 4.16 και για τις δύο περιοχές

παρατηρούνται μικρές διαφορές στην διασπορά των τιμών ανάλογα με τους χρόνους και τις αποστάσεις αναζήτησης στάθμευσης. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την κυκλοφοριακή κατάσταση της περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι, μικρές διανυόμενες αποστάσεις πιθανότητα να αντιστοιχούν σε μεγαλύτερους χρόνους λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης. Οι συνωστισμένοι δρόμοι οδηγούν σε μικρότερες ταχύτητες κίνησης των οχημάτων και κατά συνέπεια μεγαλύτερους χρόνους αναζήτησης στάθμευσης.

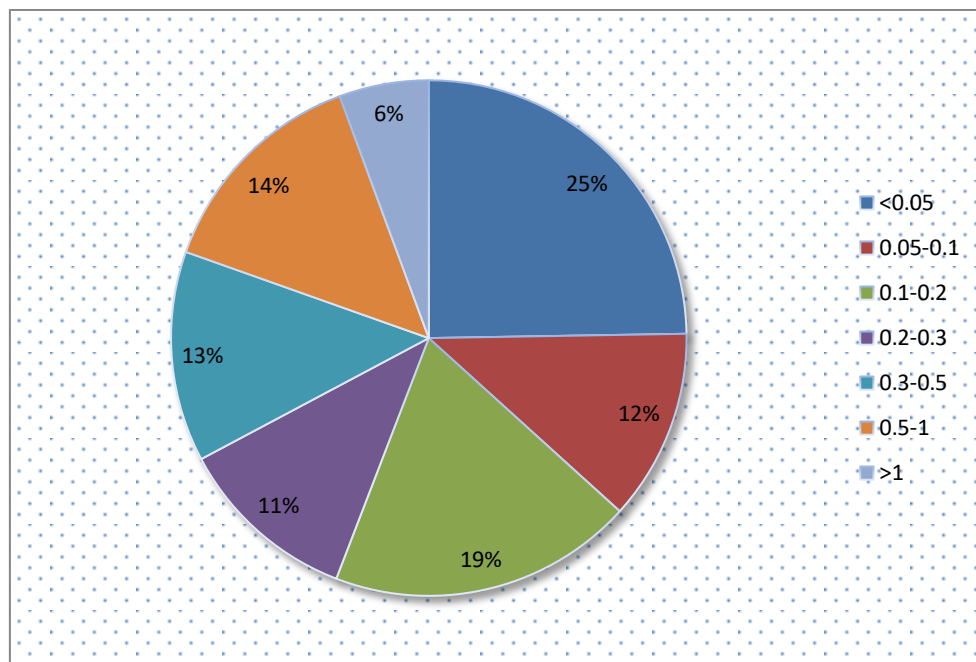
ΧΑΛΑΝΔΡΙ

Όσον αφορά την περιοχή του Χαλανδρίου, η δημιουργούμενη ομάδα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.6, αποτελείται από ταξίδια των οποίων η στάθμευση έχει πραγματοποιηθεί στο κέντρο του Χαλανδρίου, στην περιοχή δηλαδή που αποτελεί πόλο έλξης πολλών καταναλωτών αλλά και κέντρο πολλών ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων. Παράλληλα, αρκετές είναι και οι επιχειρήσεις που εδράζονται στο κέντρο του Χαλανδρίου. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το οδικό δίκτυο της περιοχής, αποτελείται κατά κύριο λόγο από δρόμους μονής κατεύθυνσης και μιας λωρίδας. Λαμβάνοντας υπόψη την δύναμη του κέντρου του Χαλανδρίου αναμένεται ότι η εύρεση χώρου στάθμευσης θα είναι δύσκολη.

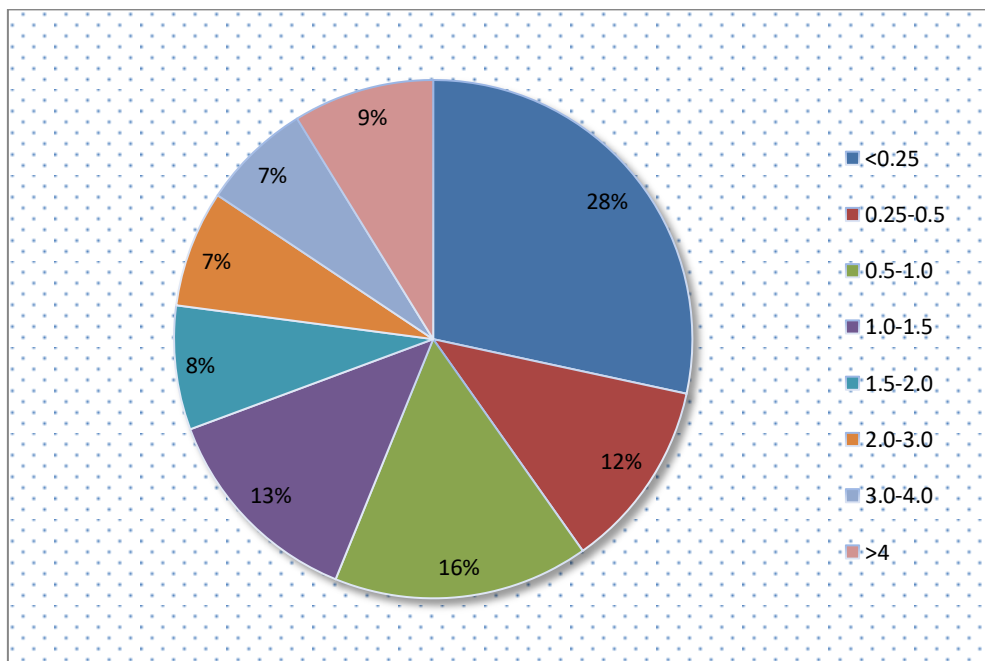


Εικόνα 4.5: Απεικόνιση ομάδας Χαλανδρίου στο χάρτη

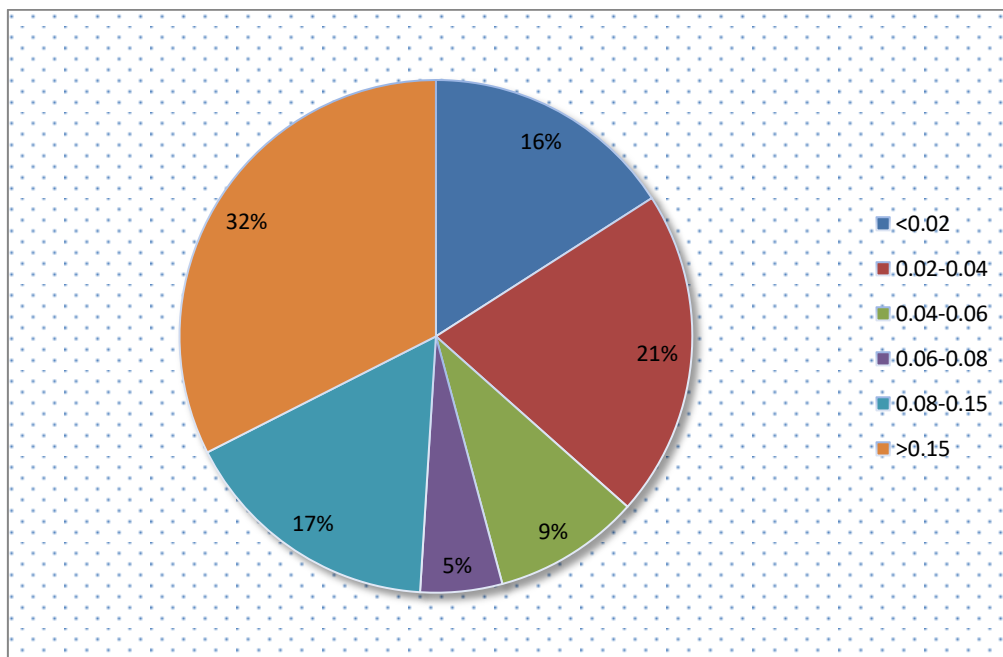
Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 4.17: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης (σε χιλιόμετρα) για διαδρομές εντός Χαλανδρίου.



Διάγραμμα 4.18: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης (σε λεπτά) για διαδρομές εντός Χαλανδρίου.

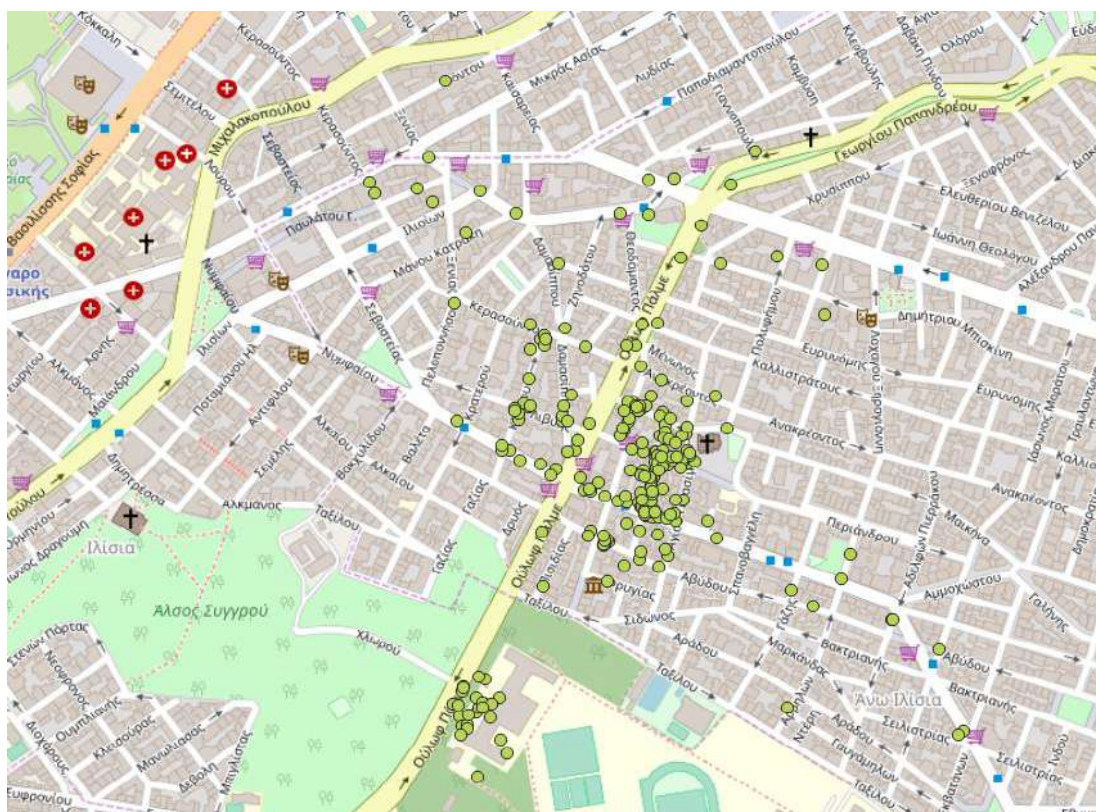


Διάγραμμα 4.19: Απόσταση περπατήματος (σε χιλιόμετρα) από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό για διαδρομές εντός Χαλανδρίου.

Σύμφωνα με τα Διαγράμματα 4.17 και 4.19, για ποσοστό 20% του συνολικού αριθμού των διαδρομών, οι επιπλέον αποστάσεις που διανύουν οι οδηγοί αναζητώντας στάθμευση είναι μεγαλύτερες από 500 μέτρα, ενώ συγχρόνως για ποσοστό 49% του συνόλου, η διαδρομή από την θέση στάθμευσης προς τον τελικό προορισμό είναι μεγαλύτερη από 80 μέτρα. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η στάθμευση στην περιοχή απαιτεί την σπατάλη αρκετού χρόνου. Επίσης σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.18, ο χρόνος που καταναλώνει ο οδηγός ψάχνοντας κενή θέση για να παρκάρει σε αρκετά μεγάλο ποσοστό, σχεδόν 28%, είναι μικρότερος από 0,25 λεπτά. Το ποσοστό αυτό σε συνδυασμό με το ποσοστό 25% στο οποίο οι οδηγοί διανύουν αποστάσεις μικρότερες από 50 μέτρα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αρκετοί οδηγοί αναζητούν στάθμευση πριν φτάσουν στον τελικό προορισμό.

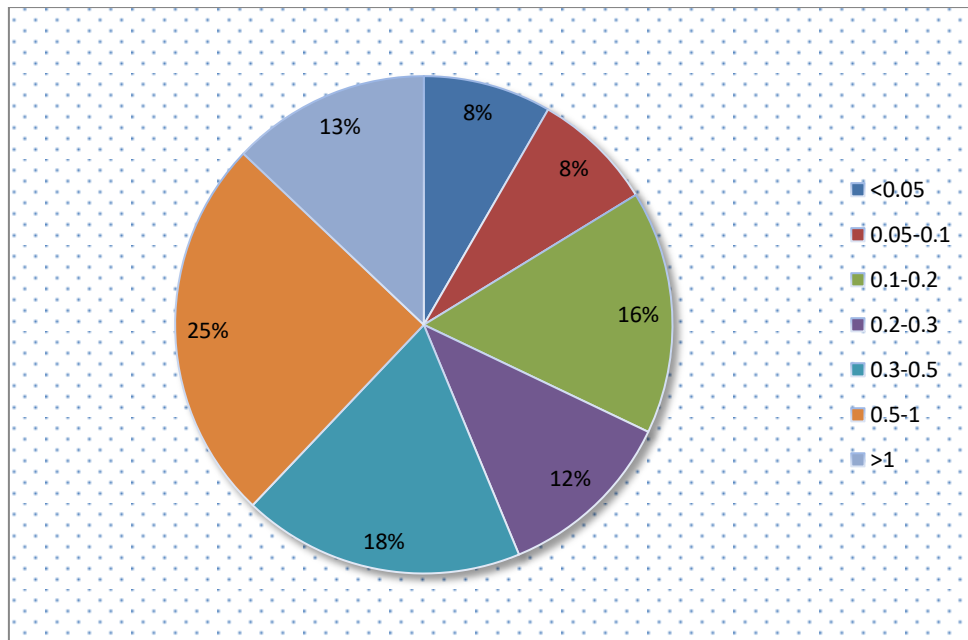
ΖΩΓΡΑΦΟΥ-ΙΛΙΣΙΑ

Στο Εικόνα 4.6 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η δημιουργούμενη ομάδα που περιλαμβάνει τις περιοχές Ζωγράφου και Ιλίσια. Όπως φαίνεται και στο χάρτη, οι περισσότερες θέσεις στάθμευσης βρίσκονται γύρω από τον οδό της Ούλφ Πάλμε. Η Ζωγράφου και τα Ιλίσια αποτελούν περιοχές, όπου διαμένουν πολλοί φοιτητές. Αυτός είναι και ο λόγος των πολλών εναλλακτικών τρόπων ψυχαγωγίας που προσφέρουν. Είναι πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου το οδικό τους δίκτυο αποτελείται κυρίως από στενούς δρόμους, μονής κατεύθυνσης.

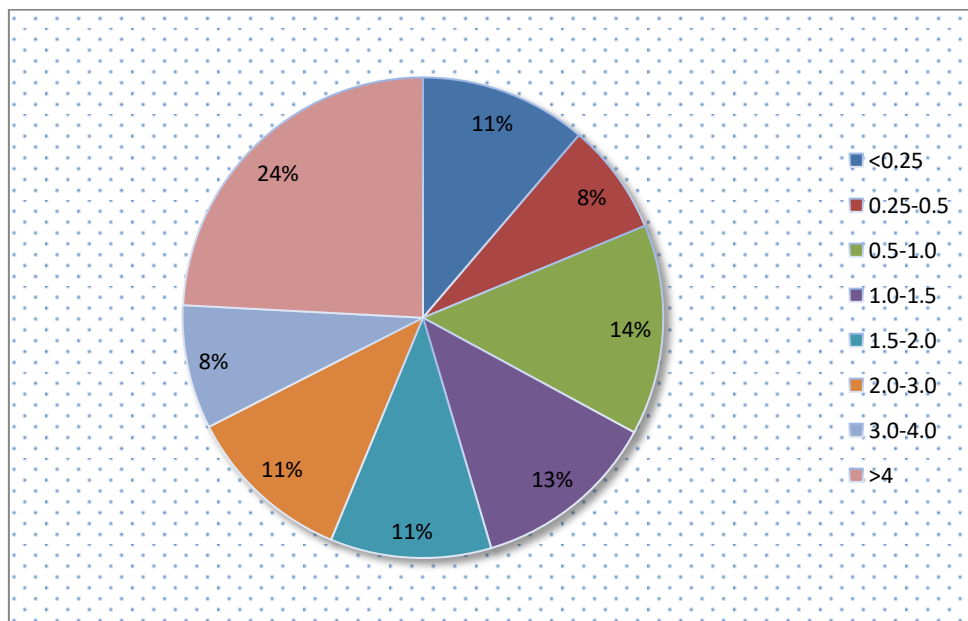


Εικόνα 4.6: Απεικόνιση ομάδας Ζωγράφου-Ιλίσίων στο χάρτη.

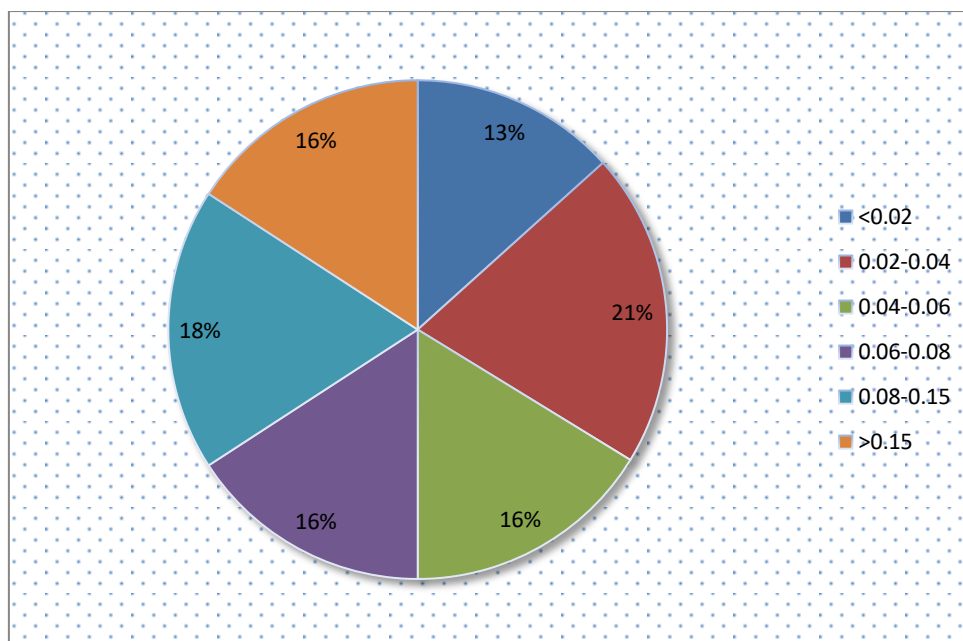
Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 4.20: Διανυόμενη απόσταση αναζήτησης στάθμευσης (σε χιλιόμετρα) για διαδρομές εντός Ζωγράφου-Ιλισίων.



Διάγραμμα 4.21: Χρόνος αναζήτησης στάθμευσης (σε λεπτά) για διαδρομές εντός Ζωγράφου-Ιλισίων.



Διάγραμμα 4.22: Απόσταση περπατήματος (σε χιλιόμετρα) από την θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό, για διαδρομές εντός Ζωγράφου-Ιλίσίων.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω Διαγράμματα 4.20, 4.21 και 4.22, οι οδηγοί αντιμετωπίζουν προβλήματα στάθμευσης στην περιοχή της Ζωγράφου-Ιλίσια. Συγκεκριμένα για αρκετά μεγάλο ποσοστό διαδρομών, γύρω στο 38%, οι οδηγοί διανύουν περισσότερα από 500 μέτρα απόστασης, προκειμένου να παρκάρουν. Αντιθέτως, το ποσοστό των οδηγών που παρκάρουν σύντομα χωρίς να διασχίσουν πολλά μέτρα (λιγότερα από 100 μέτρα) είναι μόλις 16%. Όσον αφορά το χρόνο, σε ποσοστό 24% οι επιβαίνοντες του οχήματος ψάχνουν στάθμευση για χρόνο μεγαλύτερο από 4λεπτά. Τέλος, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 4.22 που αφορά το περπάτημα προς τον τελικό προορισμό, οι οδηγοί δεν βρίσκουν στάθμευση κοντά στον τελικό τους προορισμό.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι, η στάθμευση στην περιοχή Ζωγράφου-Ιλίσια δεν είναι εύκολη. Αντιθέτως πολλές φορές απαιτείται οι οδηγοί να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις ώστε να εξασφαλίσουν κενή θέση στάθμευσης.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός και η ανάλυση της χρονικής διάρκειας αναζήτησης θέσεως στάθμευσης σε αστικά δίκτυα, αξιοποιώντας λεπτομερή δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Για την επίτευξη του στόχου, η δημιουργία ενός μοντέλου ποσοτικοποίησης του χρόνου και της απόστασης που απαιτείται για τον εντοπισμό κενής θέσης, κρίνεται απαραίτητη.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον πάνω στο θέμα της αναζήτησης στάθμευσης είναι εξαιρετικά έντονο. Ωστόσο, αναλύοντας την αντίστοιχη βιβλιογραφία παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζουν αρκετές διαφορές. Το γεγονός αυτό οφείλεται αρχικά στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των περιοχών που αναλύονται. Πιο συγκεκριμένα, η διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης εξαρτάται από την ζήτηση αλλά και την προσφορά θέσεων. Υπάρχουν περιοχές με έντονη επισκεψιμότητα όπου η εύρεση διαθέσιμου χώρου στάθμευσης απαιτεί αρκετό χρόνο, ενώ υπάρχουν και περιοχές όπου η στάθμευση είναι γρήγορη, δίχως την σπατάλη χρόνου. Επίσης, οι διαφορετικοί ορισμοί που δίνονται όσον αφορά την αρχή αναζήτησης στάθμευσης αποτελεί σημαντική αιτία των διαφορετικών αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Παρόλα αυτά η διαδικασία αναζήτησης στάθμευσης θεωρείται σημαντική και αποτελεί το επίκεντρο πολλών ερευνών. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την κατανόηση και την επίλυση του προβλήματος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου, ικανού να ποσοτικοποιήσει τον πραγματικό χρόνο και την πραγματική απόσταση που διανύει ο οδηγός αναζητώντας στάθμευση. Ως βάση δεδομένων χρησιμοποιούνται 14.538 ταξίδια (περίπου 1000 χρήστες), τα οποία προέρχονται από εφαρμογή της OSeven Telematics για έξυπνα κινητά τηλέφωνα και τα οποία πραγματοποιήθηκαν εντός του Νομού Αττικής, κατά την διάρκεια ενός έτους. Η ανάπτυξη του κώδικα επεξεργασίας των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού ανοιχτού κώδικα R. Στην συνέχεια τα αποτελέσματα που προκύπτουν αναλύονται και εξάγονται αρχικά συμπεράσματα σχετικά με την στάθμευση στον Νομό Αττικής. Από την ανάλυση προκύπτει ότι, η εύρεση κενής θέσης στάθμευσης για το μεγαλύτερο ποσοστό των ταξιδιών δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία, μολονότι ο χρόνος αναζήτησης που προκύπτει είναι μικρότερος από 1 λεπτό και η διανυόμενη απόσταση μικρότερη από 200 μέτρα.

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και τον εντοπισμό των κρίσιμων περιοχών αναζήτησης στάθμευσης, πραγματοποιείται ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων του αρχικού αλγόριθμου. Στόχος είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την δυσκολία εύρεσης στάθμευσης συγκεκριμένων περιοχών. Η ομαδοποίηση πραγματοποιείται με χρήση του αλγόριθμου DBSCAN. Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες παραμέτρους και έχοντας ως βάση την πυκνότητα των σημείων-στοιχείων, δημιουργούνται τριάντα κρίσιμες περιοχές. Από το σύνολο των ομάδων επιλέγονται τέσσερις για περαιτέρω ανάλυση. Η επιλογή γίνεται σύμφωνα με το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν ως προς την τοποθεσία τους. Οι ομάδες που επιλέγονται βρίσκονται εντός των περιοχών Κέντρου Αθήνας, Νέου Φαλήρου, Ζωγράφου-Ιλισίων και Χαλανδρίου. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει ότι, η διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης διαφέρει ανά περιοχή επιδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο ότι η δυσκολία στάθμευσης εμφανίζεται σε διακριτές περιοχές όπου η ζήτηση είναι υψηλή.

5.2 Βασικά Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν συμπεράσματα άμεσα συνδεδεμένα με τον αρχικό στόχο της εργασίας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα, όπως προέκυψαν από την σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων.

Αρχικά από την μεθοδολογική προσέγγιση εντοπισμού της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης και την ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και να συμβάλλουν καθοριστικά στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς των οδηγών σε θέματα στάθμευσης. Τα πραγματικά δεδομένα που συλλέγονται μέσω της εφαρμογής, κρίνονται επαρκή και συμβάλλουν καθοριστικά στην ποσοτικοποίηση της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης. Όπως προέκυψε, οι γεωγραφικές συντεταγμένες και η ταχύτητα κάθε καταγεγραμμένου σημείου μιας διαδρομής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της αρχής αναζήτησης θέσης στάθμευσης και του σημείου στάθμευσης του οχήματος.

Ο αλγόριθμος DBSCAN αποδείχτηκε κατάλληλος για την πραγματοποίηση της ομαδοποίησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Έχοντας ως βάση την πυκνότητα των σημείων, ο αλγόριθμος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα εντοπίζοντας κρίσιμες περιοχές στάθμευσης.

Από την προκαταρκτική στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου, προκύπτει ότι η αναζήτηση στάθμευσης στον Νομό Αττικής δεν

παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, για το μεγαλύτερο ποσοστό των αποτελεσμάτων ο πραγματικός χρόνος αναζήτησης στάθμευσης προκύπτει μικρότερος από 1 λεπτό και η διανυόμενη απόσταση μικρότερη από 200 μέτρα. Ωστόσο, αρκετές διαδρομές αποκλίνουν από τις προβλεπόμενες τιμές, γεγονός που μπορεί να οφείλεται είτε στις διαφορετικές περιοχές στις οποίες ανήκουν οι διαδρομές είτε σε πιθανή κυκλοφορική συμφόρηση.

Επίσης, η αναζήτηση στάθμευσης φαίνεται ότι μπορεί να χαρακτηριστεί ως φαινόμενο με χρονικές διαστάσεις. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι ο χρόνος που απαιτείται για τον εντοπισμό ελεύθερης θέσης στάθμευσης, εξαρτάται από την χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα το ταξίδι. Πιο συγκεκριμένα όπως προκύπτει, ο χρόνος αναζήτησης στάθμευσης παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με την ώρα, γεγονός που υποδεικνύει ότι εξαρτάται από την ζήτηση για στάθμευση και τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν.

Επιπλέον, με την χρήση του αλγόριθμου DBSCAN και στην συνέχεια την διεξαγωγή της στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων της ομαδοποίησης προκύπτει η χωρική διάσταση της αναζήτησης στάθμευσης. Όπως αποδεικνύεται η διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης διαφέρει ανά περιοχή και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το σύνολο των διαδρομών εντός Αττικής, εντοπίζονται περιοχές όπου αρκετοί οδηγοί διανύουν μεγάλες αποστάσεις προκειμένου να σταθμεύσουν. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτουν περιοχές όπως η περιοχή Ζωγράφου-Ιλίσια όπου η επιπλέον διανυόμενη απόσταση αναζήτησης θέσης στάθμευσης είναι σε πολλές περιπτώσεις μεγαλύτερη από 500 μέτρα. Αν ληφθεί υπόψη ότι έχει γίνει η παραδοχή ότι, η αρχή αναζήτησης είναι αμέσως μόλις ο οδηγός πλησιάσει στον τελικό του προορισμό, η τιμή αυτή κρίνεται αρκετά μεγάλη.

Η διαδικασία αναζήτησης στάθμευσης σύμφωνα με τα παραπάνω, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως χώρο-χρονικό φαινόμενο. Ο χρόνος αναζήτησης και η απόσταση που απαιτούνται προκειμένου ο οδηγός να εντοπίσει κενή θέση στάθμευσης εξαρτάται από την περίοδο και την περιοχή που λαμβάνει χώρα. Η ζήτηση και η προσφορά στάθμευσης κάθε περιοχής σε κάθε χρονική στιγμή καθώς και ο κυκλοφοριακός φόρτος στο οδικό δίκτυο αποτελούν καθοριστικοί παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την διάρκεια και την απόσταση που απαιτούνται προκειμένου ο οδηγός να σταθμεύσει.

Τέλος, παρατηρείται ότι η χρονική διάρκεια των ταξιδιών επηρεάζει την διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης. Συγκεκριμένα προέκυψε ότι, οδηγοί μεγάλων διαδρομών σταθμεύουν συντομότερα από οδηγούς μικρότερων διαδρομών.

5.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου βασιζόμενου σε δεδομένα έξυπνων κινητών τηλεφώνων, το οποίο είναι σε θέση να εντοπίσει και να ποσοτικοποιήσει την διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης. Για την δημιουργία του μοντέλου έγιναν παραδοχές και προσεγγίσεις, οι οποίες επιδέχονται αλλαγές προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Αρχικά, η βελτίωση των βημάτων που προηγούνται της ανίχνευσης της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης αποτελεί παράγοντα ζωτικής σημασίας προκειμένου να εντοπιστεί η ακριβής θέση τελικού προορισμού. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η διερεύνηση του σκοπού του ταξιδιού, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η συμπεριφορά του οδηγού εξαρτάται από τον τύπο της δραστηριότητας του. Επίσης γνωρίζοντας τον σκοπό του ταξιδιού, θα βρεθεί και η θέση του τελικού προορισμού, αποφεύγοντας τον λανθασμένο εντοπισμό του, λόγω πιθανών ολιγόλεπτων στάσεων. Με τον τρόπο αυτό, θα επιτραπεί ο υπολογισμός της πραγματικής απόστασης περπατήματος από την θέση στάθμευσης προς τον τελικό προορισμό.

Επιπλέον, ένας τρόπος αξιολόγησης του υπολογίσιμου χρόνου αναζήτησης στάθμευσης θα ήταν ο έλεγχος της ταχύτητας του οχήματος, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η διάρκεια μεταξύ αρχής αναζήτησης θέσης και στάθμευσης, οφείλεται στην κυκλοφοριακή συμφόρηση ή στην αδυναμία εύρεσης κενής θέσης.

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την λήψη αποφάσεων του οδηγού ως προς την επιλεγόμενη διαδρομή αναζήτησης, αποτελεί και η γεωμετρία της οδού. Σε μελλοντικές έρευνες θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί συσχέτιση των επιλεγόμενων διαδρομών με τον τύπο κάθε οδού, προκειμένου να διαπιστωθεί ο τρόπος συμπεριφοράς των οδηγών.

Τέλος, όσον αφορά την ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου ο παράγοντας χρόνου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Εφόσον πρόκειται για αποτελέσματα που παρουσιάζουν μεταβολές κατά την διάρκεια του χρόνου και διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, καταλληλότερος αλγόριθμος αναμένεται ο STDBSCAN. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο, προέκταση του DBSCAN, ο οποίος είναι κατάλληλος για την ομαδοποίηση δεδομένων με χώρο-χρονικές μεταβολές.

Στην συνέχεια ακολουθούν προτάσεις για περαιτέρω ανάλυση και έρευνα, οι οποίες θα συμπλήρωναν ενώ συγχρόνως θα βελτίωναν την υπάρχουσα έρευνα.

Πρωτίστως, θα πρέπει να οριστεί η έννοια της κρισιμότητας στους χρόνους. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα έρευνα εντοπίζεται και υπολογίζεται η πραγματική διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης κρίσιμων περιοχών. Ωστόσο θα πρέπει να γίνει περαιτέρω στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου προκειμένου να διερευνηθεί η κυκλική χρονική διακύμανση του χρόνου αναζήτησης, η οποία σχετίζεται με τις χρήσεις γης, τις κυκλοφοριακές συνθήκες και την διαδρομή που επιλέγει ο κάθε οδηγός. Στην συνέχεια και με βάση την κρισιμότητα στους χρόνους θα μπορούσε να αναλυθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου στην κυκλοφορία.

Τέλος, αν ληφθεί υπόψη ότι η βάση δεδομένων αποτελείται από ταξίδια που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια ενός έτους, θα πρέπει να ελεγχθεί η εποχικότητα του φαινομένου. Η ζήτηση για στάθμευση θα πρέπει να αναλυθεί περαιτέρω συναρτήσει του χρόνου, ώστε να εντοπιστεί η διασπορά των τιμών της διάρκειας αναζήτησης στάθμευσης και να εντοπιστούν χρόνοι κορύφωσης του φαινομένου.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2016). Motorization rate 2015. Ανακτήθηκε από <http://www.oica.net/>
- [2] Arnott, R., Inci, E. (2006). An integrated model of downtown parking and traffic congestion. *Journal of Urban Economics*, 60(3), pp. 418-442.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094119006000386>
- [3] Benenson, I., Martens, K., Birfic, S. (2008). PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6), pp. 431-439.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971508000689>
- [4] Birant, D., Kut, A. (2007). ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data. *Data & Knowledge Engineering*, 60(1), pp. 208-221.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169023X06000218>
- [5] Bonsall, P. (2004). Traveller Behavior: Decision-Making in an Unpredictable World. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8(1), pp. 45-60. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15472450490437744>
- [6] Chakraborty, B., Chakma, K., Mukherjee, A. (2016). A Density-Based Clustering Algorithm and Experiments on Student Dataset with Noises using Rough Set Theory. *2016 IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)*, pp. 431-436.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7569290>
- [7] Elbatta, M.T.H., Ashour, W.M. (2013). A Dynamic Method for Discovering Density Varied Clusters. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 6(1).
<https://iugspace.iugaza.edu.ps/handle/20.500.12358/24520>
- [8] Estellés-Arolas, E., González-Ladrón-de-Guevara, F. (2012). Towards an integrated crowdsourcing definition. *Journal of Information Science*, 38(2), pp. 189–200. <https://doi.org/10.1177/0165551512437638>
- [9] Ester, M., Kriegel, HP., Sander, J., Xiaowei, Xu. (1996). A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. *AAAI Press, Menlo Park*.
<https://www.aaai.org/Papers/KDD/1996/KDD96-037.pdf>
- [10] Geroliminis, N. (2015). Cruising-for-parking in congested cities with an MFD representation. *Economics of Transportation*, 4(3), pp. 156-165.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212012215000180>

- [11] Horni, A., Montini, L., Waraich, R., Axhausen, K. (2013). An agent-based cellular automaton cruising-for-parking simulation. *Transportation Letters The International Journal of Transportation Research*, 5, pp. 167-175.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/1942787513Y.0000000004>
- [12] Jones, M., Khan, A., Kulkarni, P., Carnelli, P., Sooriyabandara, M. (2017). ParkUs 2.0: Automated Cruise Detection for Parking Availability Inference. *Proceedings of the 14th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*, pp. 242-251.
<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3144495>
- [13] Kaplan, S., Bekhor, S. (2011). Exploring en-route parking type and parking-search route choice: decision making framework and survey design. *In Proceedings of the 2nd International Choice Modelling Conference*.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.908.2234&rep=rep1&type=pdf>
- [14] Kobus, M.B.W., Gutierrez-i-Puigarnau, E., Rietveld, P., Van Ommeren, J.N. (2013). The on-street parking premium and car drivers' choice between street and garage parking. *Regional Science and Urban Economics*, 43, pp. 395-403.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094119014001089>
- [15] Kokolaki, E., Karaliopoulos, M., Stavrakakis, I. (2012). Opportunistically assisted parking service discovery: Now it helps, now it does not. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(2), pp. 210-227.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574119211000782>
- [16] Laurier, E. (2005). Searching for a parking space. *Intellectica*, 41/42 (2/3) (2005), pp. 101-116. <https://www.era.lib.ed.ac.uk/handle/1842/2309>
- [17] Lee, W. P., Lee, K. H. 2014. Making smartphone service recommendations by predicting users' intentions: A context-aware approach. *Information Sciences*, 277, pp. 21–35.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856411001443>
- [18] Lee, J., Agdas, D., Bake, D. (2017). Cruising for parking: New empirical evidence and influential factors on cruising time. *The Journal of Transportation and Land Use*, 10(1), pp. 931-943.
<https://jtl.org/index.php/jtl/article/view/1142>
- [19] Horni, A., Montini, L., Waraich R., Axhausen, K. (2013). An agent-based cellular automaton cruising-for-parking simulation. *Transportation Letters The International Journal of Transportation Research*, 5, pp. 167-175.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/1942787513Y.0000000004>

- [20] Ma, H., Zhao, D., Yuan, P. (2014). Opportunities in mobile crowd sensing. *IEEE Communication Magazine*, 52 (8), pp. 29-35.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6871666>
- [21] Martens, K., Benenson, I., Levy, N. (2010). The Dilemma of On-Street Parking Policy: Exploring Cruising for Parking Using an Agent-Based Model. *Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics*, 99, pp. 121-138. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-8572-6_7
- [22] Montini, L., Horni, A., Rieser-Schüssler, N., Axhausen, K.W. (2012). Searching for Parking in GPS Data. In: 12th Swiss Transport Research Conference, Ascona, May 2012.
<https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/49659>
- [23] Naranjo, J. E., Gonzalez, C., Garcia R., DePedro T., Pedro T. De. (2006). ACC+Stop&Go Maneuvers With Throttle and Brake Fuzzy Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(2), pp. 213–225.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2006.874723>
- [24] Paefgen, J., Kehr, F., Zhai, Y., Michahelles, F. (2012). Driving behavior analysis with smartphones: Insights from a controlled field study. In *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM 2012*. <https://doi.org/10.1145/2406367.2406412>
- [25] Schüssler, N., Axhausen, K.W. (2008). Identifying trips and activities and their characteristics from GPS raw data without further information. *Paper Presented at the 8th International Conference on Survey Methods in Transport, Annecy, May 2008*. <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/9471/eth-30471-01.pdf>
- [26] Shoup, D. (2006). Cruising for parking. *Transport Policy*, 13, pp. 479-486.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X06000448>
- [27] Su, H., Zheng, K., Huang, J., Jeung, H., Chen, L., Zhou X. (2014). CrowdPlanner: A crowd-based route recommendation system. In *Proceedings -International Conference on Data Engineering*, pp. 1144–1155.
<https://doi.org/10.1109/ICDE.2014.6816730>
- [28] Thompson, R.G., Richardson, A.J. (1998). A Parking Search Model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(3), pp. 159-170.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856497000050>
- [29] Timašjov, D. Evaluating Clustering Techniques.
<https://pdfs.semanticscholar.org/bb93/04e015038bdd9cec78a6f8a3a55ca5af400d.pdf>

- [30] Van der Waerden, P., Timmermans, H., Van Hove, L. (2014). GPS Data and Car Drivers' Parking Search Behavior in the city of Turnhout, Belgium. *Geoinformatics for Intelligent Transportation*, pp. 247-256.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-11463-7_18
- [31] Van Ommeren, J., Wentink, D., Rietveld, P. (2012) . Empirical evidence on cruising for parking. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(1), pp. 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.04.033>
- [32] Vlahogianni, E. I., Barmounakis, E. N. (2017). Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79, pp. 196–206.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.014>
- [33] Αλπάς Μ. (2016). Διερεύνηση της Αποδοχής «Έξυπνων» Εφαρμογών στην Αναζήτηση Θέσης στάθμευσης σε Αστικά Δίκτυα. *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα*
- [34] Γκόλιας Κ. (2016). Ανάπτυξη Συνελκτικών Νευρωνικών Δικτύων για την Αναγνώριση Ελεύθερων Θέσεων Στάθμευσης επί της Οδού. *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα*