



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**Διερεύνηση της Διάρκειας Αναζήτησης Θέσης Στάθμευσης
σε Αστικά Δίκτυα με Μοντέλα Επιβίωσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φωτεινή Νεφέλη Νούσκαλη

Επιβλέπουσα : Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Σχολής Πολιτικών Μηχανικών
ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 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 την Διδάκτορα κυρία Έλενα Μαντούκα, η οποία συνέβαλε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας. Ακόμα την ευχαριστώ, διότι κάθε φορά που χρειάστηκε ήταν έτοιμη 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, Ιούλιος 2019
Φωτεινή Νεφέλη Νούσκαλη

Διερεύνηση της Διάρκειας Αναζήτησης Θέσης Στάθμευσης σε Αστικά Δίκτυα με Μοντέλα Επιβίωσης

Φωτεινή Νεφέλη Νούσκαλη

Επιβλέπουσα : Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης παρά το κράσπεδο σε αστικά δίκτυα με πρότυπα επιβίωσης. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε δεδομένα που έχουν συλλεγεί από κινητά τηλέφωνα και αφορούν διαδρομές εντός της περιφέρειας Αττικής. Η βάση δεδομένων επεκτείνεται με πληροφορίες που αφορούν χωρικά χαρακτηριστικά της περιοχής στάθμευσης, όπως είναι αυτά των χρήσεων γης και του τύπου της οδού στάθμευσης. Η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των προτύπων αναδεικνύει ως σημαντικότερους παράγοντες επιρροής της διάρκειας εύρεσης στάθμευσης την απόσταση περπατήματος από το σημείο στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό, τη συνολική διάρκεια διαδρομής την χρονική περίοδο μέσα στην ημέρα κατά την οποία πραγματοποιείται η μετακίνηση και, τέλος, τις χρήσεις γης.

Λέξεις κλειδιά: αναζήτηση στάθμευσης, αστικό δίκτυο, δεδομένα έξυπνων κινητών τηλεφώνων, γεωπληροφοριακά δεδομένα, ανάλυση επιβίωσης

Survival Analysis of Cruising for Parking Space in Urban Road Networks

Foteini Nefeli Nouskali

Supervisor: Eleni I. Vlahogianni, Associate Professor NTUA

Abstract

The aim of this diploma thesis is to identify the factors that affect cruising for on street parking in urban areas based on survival models. For this purpose, a methodology is developed and implemented in trip smartphone data from trips in the Attica Region. The database is expanded with information on spatial characteristics of parking area such as land use and road type and this was carried out using map matching algorithms. The comparative analysis of different model settings show that the most important factors that affect the cruising for parking is walking distance from the parking point to the final destination, total duration of trip, period of time in the day on which the trip has been made and finally land use of the parking area.

Key words: cruising for parking, urban networks, smartphone sensing, geoinformation data, survival modeling

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αστικοποίηση, η αύξηση του δείκτη ιδιοκτησίας IX καθώς και η μειωμένη ανταγωνιστικότητα των ΜΜΜ έχουν οδηγήσει στην εδραίωση του IX ως του πλέον κραταιού μέσου μεταφοράς στον τομέα των αστικών μετακινήσεων. Αυτή η αλλαγή σε συνδυασμό με την σταδιακή μείωση των χώρων που μπορούν να διατεθούν για ελεύθερη ή ιδιωτική στάθμευση οδηγεί στην εμφάνιση κορεσμού όπου οδηγός περιπλανάται αυξάνοντας την απόσταση και το διάρκεια του ταξιδιού του για να καταφέρει να σταθμεύσει. Το φαινόμενο της περιπλάνησης για εύρεση θέσης στάθμευσης έχει οικονομικό, περιβαλλοντικό, αισθητικό αλλά συγκοινωνιακό αντίκτυπο γιατί επιδρά στη μείωση της προσβασιμότητας σε όλη την έκταση του αστικού ιστού που συγκεντρώνεται η ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος της στάθμευσης σήμερα έχει ενταχθεί στην αστική πολιτική ατζέντα και στον αστικό σχεδιασμό μετακινήσεων ειδικότερα στην εποχή του στοιχήματος επίτευξης της βιώσιμης αστικής κινητικότητας επομένως, η ανάλυση του φαινομένου και η ανάδειξη των διαφορετικών πλευρών του έχει αρχίσει να αποτελεί αντικείμενο των ερευνών των ακαδημαϊκού και όχι μόνο χώρου.

Πολλές έρευνες που έχουν χαρακτηριστεί ως εμπειρικές έχουν ασχοληθεί με το να αναδείξουν την ύπαρξη του προβλήματος και να ποσοτικοποιήσουν τις επιπτώσεις του στην αύξηση της κυκλοφορίας σε αστικές κεντρικές περιοχές, στην αύξηση των ρύπων, στην μειωμένη προσβασιμότητα ενώ, τέλος, έχουν εισάγει την έννοια του χρόνου περιπλάνησης για εύρεση ελεύθερης θέσης στάθμευσης. Ο χρόνος αυτός αποτελεί το κύριο μέτρο έκφρασης της διάστασης του προβλήματος της στάθμευσης και στοχευμένα έχει αποτελέσει αντικείμενο επίσης σημαντικών ερευνών. Αρκετές έρευνες ανέπτυξαν μαθηματικά πρότυπα και αλγόριθμούς που στηρίζονται σε κατάλληλες στην εκάστοτε περίπτωση παραδοχές ώστε να ποσοτικοποιήσουν και να υπολογίσουν το χρόνο ανά περιοχή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια έρευνες προτυποποίησης, είτε σε μακροσκοπική, είτε σε μικροσκοπική κλίμακα αναδεικνύουν τις σχέσεις επίδρασης που υπάρχουν μεταξύ αρκετών παραγόντων και του χρόνου εύρεσης στάθμευσης με στόχο την πρόβλεψη αυτού του χρόνου. Η χρησιμότητα τέτοιων ερευνών είναι μεγάλη, τόσο για τον σχεδιασμό έξυπνων συμβουλευτικών εφαρμογών ή εφαρμογών καθοδήγησης (Intelligent Parking Systems) που βοηθούν στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της στάθμευσης και διευκολύνουν το μεταφορικό έργο του οδηγού, όσο και στο σχεδιασμό και τη διαμόρφωση πολικών στάθμευσης, η εφαρμογή των οποίων θα δώσει αποτελεσματικότερες λύσεις στο πρόβλημα εύρεσης στάθμευσης με παρονομαστή την ολιστική προσέγγιση της ανάπτυξης και βελτίωσης των αστικών μετακινήσεων σε μία βιώσιμη τροχιά.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης παρά το κράσπεδο σε αστικά δίκτυα με πρότυπα επιβίωσης. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε δεδομένα που έχουν συλλεγεί από κινητά τηλέφωνα και αφορούν

διαδρομές εντός της περιφέρειας Αττικής. Η εργασία αυτή στηρίχτηκε σε βάση δεδομένων από δέκτες έξυπνων κινητών τηλεφώνων που παραχωρήθηκε από την εταιρεία OSeven telematics όπου και περιλαμβάνει μεταβλητές που αφορούσαν και αλλά χαρακτηριστικά πέρα από τα χαρακτηριστικά του ταξιδιού, όπως η απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό, η περίοδος ημέρας ή εργάσιμο σαββατοκύριακο όπου πραγματοποιήθηκε το ταξίδι και ο χρόνος περιπλάνησης για εύρεση στάθμευσης. Έμφαση δόθηκε στην μελέτη διερεύνηση των παραγόντων που αφορούσαν τοπικά χαρακτηριστικά των περιοχών προορισμού της Αττικής. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι χρήσεις γης, ο τύπος της οδού, η έκταση και η πληθυσμιακή πυκνότητα. Χαρτογραφημένα δεδομένα υψηλής ακρίβειας για τα παραπάνω χαρακτηριστικά για την περιφέρεια Αττικής που προέρχονται από το πρόγραμμα Αστικός Άτλας 2012 (Urban Atlas 2012) χρησιμοποιήθηκαν και συνενωθήκαν με τη χρήση αλγορίθμων αντιστοίχισης με βάση τα χωρικά χαρακτηριστικά των τοπικών συντεταγμένων, με την αρχική βάση. Στο σύνολο των μεταβλητών της βάσης πραγματοποιήθηκε σύντομη περιγραφική στατιστική ανάλυση.

Στη συνέχεια έγινε προτυποποίηση με μη παραμετρικά πρότυπα Kaplan – Meier διακριτών μεταβλητών. Παραμετρικά πρότυπα πολλών μεταβλητών πρόβλεψης του χρόνου εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης αναπτυχθήκαν σύμφωνα με τη δομή των προτύπων αναλογικού κινδύνου Cox Proportional Hazard Model και επιτάχυνσης χρόνου συμβάντος Accelerated Time Failure Models που αποτελούν πρότυπα παλινδρόμησης. Ακολούθως, αναπτύχθηκε πρότυπο τυχαίας συστάδας δέντρων απόφασης (Random Forest) που αποτελεί πρότυπο μηχανικής μάθησης. Τέλος παρουσιάστηκαν σε συγκριτική αντιπαράθεση η αξιοπιστία και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων όλων των προτύπων και μέσα από το συγκερασμό αυτών αναδείχθηκαν οι παράγοντες που έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην επιρροή και στην πρόβλεψη του χρόνου εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης.

Μέσα από την συγκριτική διερεύνηση διαφορετικών προτύπων στην παρούσα εργασία διαπιστώθηκε η σημαντική επίδραση στη χρονική διάρκεια εύρεσης στάθμευσης των χαρακτηριστικών του ταξιδιού όπως συνολική διανυόμενη απόσταση αλλά κυρίως η συνολική διάρκεια του ταξιδιού, η χρονική κατανομή της ζήτησης όπως η ώρα μέσα στη μέρα που είναι πιο σημαντική από την κατανομή της ζήτησης για στάθμευσης μέσα στις μέρες της εβδομάδας ή τους μήνες. Επιπρόσθετα η χρονική διάρκεια εύρεσης στάθμευσης διαπιστώθηκε ότι σχετίζεται και με την περιοχή του προορισμού της ενδεχόμενης μετακίνησης με τοπικά χαρακτηριστικά όπως η χρήση γης και ο πληθυσμός της περιοχής να είναι σημαντικά και να επηρεάζουν τη διάρκεια στάθμευσης. Τέλος παράγοντες επιλογής του οδηγού όπως ο τύπος της οδού που θα σταθμεύσει, ή απόσταση περπατήματος επηρεάζουν ακόμα περισσότερο τον χρόνο περιπλάνησης για την εύρεση της κατάλληλης θέσης παρά το κράσπεδο.

Η παρούσα ανάλυση θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει παράγοντες όπως ο σκοπός του ταξιδιού, η γεωμετρία της οδού, ο τύπος του οχήματος, ο βαθμός

συνεπιβατισμού και η απόσταση από ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης καθώς αποτελούν παράγοντες που θα μπορούσαν να ασκούν σημαντική επιρροή στο χρόνο εύρεσης στάθμευσης. Ακόμα η ανάλυση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί για περιοχές προορισμού μικρότερου εύρους για παράδειγμα να γίνει για ταξίδια που σταθμεύουν μόνο στο κέντρο της Αθήνας και να εξαχθούν συμπεράσματα προσανατολισμένα σε μικρότερες πιο συγκεκριμένες περιοχές. Τέλος θα μπορούσαν να δημιουργηθούν σύνθετα πρότυπα πρόβλεψης δύο παραγόντων. Θα μπορούσαν να δημιουργηθούν πολυμεταβλητά πρότυπα που να προβλέπουν συνδυαστικά τον χρόνο εύρεσης στάθμευσης και την απόσταση περπατήματος ή τον χρόνο εύρεσης στάθμευσης με τη στάθμευση πάρα την οδό ή εκτός οδού σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στάθμευσης.

Πίνακας περιεχομένων

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Το Πρόβλημα της Στάθμευσης.....	1
1.2 Έξυπνά Συστήματα Στάθμευσης (Intelligent Parking Systems)	3
1.3 Πολιτικές Διαχείρισης Στάθμευσης.....	3
1.4 Συμπεριφορική Προσέγγιση Επιλογών Στάθμευσης	4
1.5 Σκοπός Εργασίας	5
1.6 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	7
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣH.....	9
2.1 Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων Στάθμευσης	9
2.2 Εμπειρικές Έρευνες.....	11
2.3 Προτυποίηση Χρόνων Αναζήτησης Στάθμευσης	13
2.4 Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας.....	15
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	18
3.1 Γενική Θεώρηση.....	18
3.2 Προετοιμασία Γεωπληροφοριακών Δεδομένων	18
3.3 Βασικές Έννοιες στην Ανάλυση Επιβίωσης.....	21
3.3.1 Μεγέθη που προκύπτουν από την κατανομή της συνάρτησης επιβίωσης.....	26
3.3.2 Συνάρτηση Κινδύνου και Αθροιστική Συνάρτηση Κινδύνου	27
3.3.3 Μέθοδος Kaplan – Meier	29
3.3.4 Πρότυπο Αναλογικού Κινδύνου – Cox PH.....	32
3.3.5 Πρότυπο Επιτάχυνσης Χρόνου Έκβασης Γεγονότος - AFT	32
3.3.6 Πρότυπο Συστάδας Δέντρων Απόφασης.....	36
3.4 Περιβάλλον Στατιστικής Επεξεργασίας και Ανάπτυξης Προτύπων.....	38
4.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	41
4.1 Βάση Δεδομένων	41
4.2 Προκαταρκτική Ανάλυση	44
4.3 Αποτελέσματα Προτύπων Kaplan-Meier	52
4.4 Αποτελέσματα Πρότυπου Αναλογικού Κινδύνου - Cox Proportional Hazard Model	58
4.5 Αποτελέσματα Προτύπου Επιτάχυνσης Χρόνου Έκβασης Γεγονότος - Accelerated Failure Time Moles (AFT).....	66
4.6 Πρότυπο Μηχανικής Μάθησης Συστάδα Δέντρων Απόφασης-RF.....	71
4.7 Συγκριτική Παρουσίαση Διαφορετικών προτύπων	74
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
5.1 Γενικά Συμπεράσματα	79

5.2	Βασικά Συμπεράσματα	81
5.3	Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	83
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1 : Μορφή Δεδομένων από δέκτη GPS (Πηγή : Mannini et al. , 2017) _____	10
Πίνακας 2.2 : Χρόνοι αναζήτησης στάθμευσης σε παγκόσμιες μητροπόλεις τον 21ο αι. (Πηγή : Soup 2006) _____	11
Πίνακας 3.1: Κωδικοποίηση χρήσεων γης από το χάρτη γεωπληροφοριών της Αττικής (Πηγή : EU Copernicus Urban Atlas 2012) _____	19
Πίνακας 3. 2 : Πίνακας ζωής για την Ανάλυση Επιβίωσης (Πηγή : Miller 1997) _____	30
Πίνακας 4. 1:Στατιστικά χαρακτηριστικά βασικών συνεχών μεταβλητών βάσης _____	44
Πίνακας 4. 2 : Αποτελέσματα log rank test για τα πρότυπα Kaplan - Meier _____	58
Πίνακας 4. 3 : Ερμηνεία ανεξάρτητων μεταβλητών της βάσης δεδομένων _____	59
Πίνακας 4. 4 : Σύγκριση αποτελεσμάτων διαφορετικών Cox PH προτύπων _____	59
Πίνακας 4. 5 : Αποτελέσματα συντελεστών παραμέτρων προτύπου Cox PH _____	62
Πίνακας 4. 6 : Αποτελέσματα προσαρμογής δεδομένων σε διάφορες κατανομές _____	66
Πίνακας 4. 7 : Σύγκριση μέτρων προσαρμογής κατανομών <i>gen gamma</i> και <i>weibull</i> στα δεδομένα _____	67
Πίνακας 4. 8 : Αποτελέσματα συντελεστών παραμέτρων προτύπου AFT _____	68
Πίνακας 4. 9 : Αποτελέσματα σημαντικότητας παραμέτρων προτύπου μηχανικής μάθησης _____	73
Πίνακας 4. 10 : Σύγκριση αποτελεσμάτων παραμετροποίησης των προτύπων Cox PH και AFT (weibull) _____	75
Πίνακας 4. 11 : Μέτρα αξιοπιστίας προβλέψεων των προτύπων Cox PH και RF _____	76

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1 : Χωρικά κατανεμημένη πιθανότητα περιπλάνησης για εύρεση στάθμευσης , περιοχή διερεύνησης San Francisco (Πηγή : Hampshire et al. , 2016).....	13
Εικόνα 3. 1 : Χάρτης χρήσεων γης Αττικής (Πηγή : EU Copernicus Urban Atlas 2012)	20
Εικόνα 3. 2 : Τρόπος λειτουργίας προτύπου τυχαίας συστάδας δέντρων απόφασης (Πηγή : towardsdatascience.com).....	37
Εικόνα 4. 1 : Χάρτης κατανομής σημείων προορισμού ταξιδιών της θάσης δεδομένων που πραγματοποιήθηκαν εντός Αττικής.....	43
Εικόνα 4. 2 : Βάση δεδομένων τελική διαμόρφωση	43
Εικόνα 4.3 : Απόσπασμα κώδικα - ανάπτυξη προτύπου μηχανικής μάθησης	72
Εικόνα 4. 4 : Σχηματική αντιπαράθεση αποτελεσμάτων των προτύπων Cox PH και RF.....	76

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1 : Χρόνοι αναζήτησης στάθμευσης στη πόλη Turnhout του Βελγίου (Πηγή : Van der Waerden , 20015).....	12
Διάγραμμα 2.2 : Χρόνος (αριστερά) και απόσταση (δεξιά) οδήγησης εντός κύκλου 800m από τον τελικό προορισμό (Πηγή : Montini et al. , 2012)	12
Διάγραμμα 2.3 : Τροχιά κίνησης για αναζήτηση στάθμευσης σε συνθήκες κάτω από τον κορεσμό (αριστερά) και σε συνθήκες κορεσμού (δεξιά) (Πηγή : Gemma et al. , 2017).....	14
Διάγραμμα 3.1 : Διάγραμμα ροής εργασιών.....	18
Διάγραμμα 3.2 : Διάγραμμα επεξήγησης λογοκριμένων δεδομένων της Ανάλυσης Επιβίωσης (Πηγή : webfocusinfocenter.informationbuilders.com)	23
Διάγραμμα 3.3 : Σχηματική διαγραμματική αναπαράσταση τομέων εφαρμογής Ανάλυσης Επιβίωσης	25
Διάγραμμα 3. 4 : Διάγραμμα καμπύλης πιθανότητας επιβίωσης (Πηγή : altisconsulting .com)	26
Διάγραμμα 3. 5 : Συνάρτηση Κινδύνου Ανάλυσης Επιβίωσης (Πηγή : idre.stats-UCLA.com)	28
Διάγραμμα 3. 6 : Αθροιστική Συνάρτηση Κινδύνου Ανάλυσης Επιβίωσης(Πηγή : idre.stats-UCLA.com)	29
Διάγραμμα 3. 7 : Καμπύλες επιβίωσης Kaplan-Meier(Πηγή : datacamp.com).....	31
Διάγραμμα 3. 8 : Καμπύλη επιτάχυνσης - επιβράδυνσης χρόνου για ένα πρότυπο AFT (Πηγή : towardsdatascience.com).....	33
Διάγραμμα 3. 9 : Συγκριτική παρουσίαση των διαγραμμάτων εμφάνισης υπολοίπων για ένα πρότυπο Cox και πρότυπα AFT διαφορετικών κατανομών (Πηγή : datacamp.com)	34
Διάγραμμα 3. 10 : Προσαρμογή προτύπου AFT σε μία κατανομή συναρτήσεις επιβίωσης , κινδύνου , αθροιστικού κινδύνου , πυκνότητας (Πηγή : sciencedirect.com).....	35
Διάγραμμα 4. 1 : Θηκόγραμμα Συνολικής Διάρκειας Ταξιδιού	45
Διάγραμμα 4. 2 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Συνολικής Διάρκειας Ταξιδιών στη Βάση Δεδομένων	45
Διάγραμμα 4. 3 : Θηκόγραμμα Απόστασης Περπατήματος	46
Διάγραμμα 4. 4 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Απόστασης Περπατήματος.....	46
Διάγραμμα 4. 5 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Πληθυσμού Περιοχών Στάθμευσης των Ταξιδιών	47
Διάγραμμα 4. 6 : Περίοδοι Ωρών Αιχμής της Ημέρας	48
Διάγραμμα 4. 7 : Κατανομή των Ταξιδιών στις Ημέρες της εβδομάδας	48
Διάγραμμα 4. 8 :Κατανομή των Ταξιδιών ανά Τύπο Οδού Στάθμευσης	49
Διάγραμμα 4. 9 : Κατανομή των Ταξιδιών ανά Περιοχή Χρήσεων Γης Στάθμευσης	50
Διάγραμμα 4. 10 : Θηκόγραμμα Χρόνου Αναζήτησης Στάθμευσης	50
Διάγραμμα 4. 11 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Χρόνου Εύρεσης Στάθμευσης	51
Διάγραμμα 4. 12 : Απόσταση περπατήματος - Χρόνος εύρεσης στάθμευσης	51
Διάγραμμα 4. 13 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης της βάσης δεδομένων.	52
Διάγραμμα 4. 14 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικές αποστάσεις διαδρομής.	54
Διάγραμμα 4. 15 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικές διάρκειες διαδρομής.	54
Διάγραμμα 4. 16 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετική απόσταση περπατήματος.	55
Διάγραμμα 4. 17 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετική περίοδο αιχμής της ημέρας.....	56
Διάγραμμα 4. 18 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικό τύπο οδού στάθμευσης.....	56

<i>Διάγραμμα 4. 19 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετική χρήση γης</i>	57
<i>Διάγραμμα 4. 20: Διάγραμμά υπολοίπων προτύπου Cox PH - Cox snell residuals</i>	61
<i>Διάγραμμα 4. 21 : Καμπύλη επιβίωσης μοντέλου Cox PH</i>	65
<i>Διάγραμμα 4. 22 : Καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας κινδύνου προτύπου Cox PH.....</i>	65
<i>Διάγραμμα 4. 23 : Συγκριτική παρουσίαση της προσαρμογής των καμπύλων επιβίωσης των κατανομών gengamma (αριστερά) και Weibull (δεξιά) στην καμπύλη επιβίωσης της βάσης δεδομένων.....</i>	67
<i>Διάγραμμα 4. 24 : Καμπύλη επιβίωσης AFT προτύπου</i>	71
<i>Διάγραμμα 4. 25 : Καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης κινδύνου του προτύπου AFT</i>	71
<i>Εικόνα 4.3 : Απόσπασμα κώδικα - ανάπτυξη προτύπου μηχανικής μάθησης</i>	72
<i>Διάγραμμα 4. 26 : Καμπύλη επιβίωσης προτύπου μηχανικής μάθησης RF.....</i>	74
<i>Διάγραμμα 4. 27 : Συγκριτικό διάγραμμα της καμπύλης επιβίωσης των προτύπων Kaplan-Meier , Cox PH, RF</i>	78

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το Πρόβλημα της Στάθμευσης

Το φαινόμενο της στάθμευσης αποτελεί πολυσχιδές ζήτημα διαχρονικά εξελισσόμενο που επηρεάζει όχι μόνο την ποιότητα της μεταφοράς, κυρίως προσώπων, με τη χρήση του πλέον κραταιού μέσου, αυτού του ιδιωτικού οχήματος αλλά και την προσβασιμότητα, την λειτουργικότητα κάθε πιθανού προορισμού με μεγαλύτερη έμφαση στους προορισμούς στον κεντρικό αστικό τομέα. Η τεράστια αύξηση και καθολική εδραίωση του αυτοκινήτου ως μέσου μεταφοράς για τις αστικές μετακινήσεις έχει ανάγει τα ζητήματα που αφορούν στη στάθμευση σε μείζον αντικείμενο ενδιαφέροντος για όλους τους μηχανικούς και σχεδιαστές συστημάτων μεταφορών αλλά και για τις τοπικές αρχές που επωμίζονται την ευθύνη της εύρυθμης ή μη λειτουργίας του οδικού τους δικτύου ειδικότερα όταν τα προβλήματα αυτά βρίσκονται χώρο όπως πολύ πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις με σύνθετα πολεοδομικά σχέδια και κυκλοφοριακά συστήματα. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση των κεντρικών οδικών δικτύων στο αστικό περιβάλλον επαυξάνεται με μερίδιο κυκλοφορίας το οποίο οφείλεται στην εκτεταμένη προσπάθεια εύρεσης χώρου στάθμευσης από πολλούς οδηγούς οι οποίοι, στην προσπάθειά τους να σταθμεύσουν όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο προορισμού τους με το χαμηλότερο ή μηδαμινό χρηματικό κόστος μπαίνουν στη διαδικασία να εντάσσονται στη κυκλοφορία και να ακολουθούν κυκλικές η σπειροειδείς τροχιές σε επιθυμητή ακτίνα έως ότου βρούνε κάποια διαθέσιμη θέση.

Το παραπάνω φαινόμενο στη συγκεντρωτική του μορφή αποτελεί την κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω στάθμευσης και είναι από τα πλέον σημαντικά ζητήματα που επηρεάζουν τους κυκλοφοριακούς φόρτους, το επίπεδο εξυπηρέτησης του οδικού δικτύου σε κρίσιμες ώρες αιχμής έχοντας ακόμα περισσότερες προεκτάσεις σε θέματα προσβασιμότητας, ανάπτυξης δραστηριοτήτων και ελκυστικότητας αστικών περιοχών συνδυαστικά με σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα και προβληματισμούς που ανακύπτουν τον 21^ο αιώνα. Τα αρχικά μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου της περιπλάνησης με στόχο την εύρεση θέσης στάθμευσης ήταν να υπάρξουν επεμβάσεις στη σταθερή υποδομή, διαπλατύνεις των οδών, δημιουργία υπαίθριων ή υπόγειων σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και υπέργειων χώρων στάθμευσης, λύσεις που είχαν μεγάλες χωρικές απαιτήσεις αλλά και επιδράσεις στις παρακείμενες χρήσεις γης συνδεόμενες με υψηλό κόστος και μακροπρόθεσμα μη βιώσιμη προοπτική. Όλα αυτά έδωσαν το έναυσμα στο να υπάρξει σημαντική στροφή στη λειτουργική διερεύνηση του φαινομένου και την εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης που αφορούν ρυθμιστικές πολιτικές απέναντι στο φαινόμενο της στάθμευσης και στη διαχείριση της ζήτησης για στάθμευση.

Βάζοντας στο επίκεντρο της προσοχής τέτοιες λύσεις είναι πολύ σημαντικό να διερευνηθεί η συμπεριφορά των οδηγών κατά την αναζήτηση θέσης στάθμευσης, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί με τον πλέον αποδοτικό τρόπο η διαχείριση του ανθρωπίνου

παράγοντα για την διαχείριση του προβλήματος. Αρχικά η έρευνα προσανατολίζεται σε εμπειρικές αναλύσεις που πιστοποιούν και φέρνουν ποσοτικοποιημένα το πρόβλημα της στάθμευσης στο προσκήνιο (Van de Waerden , et al. 2015), η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση της συμβολής στην κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα ακόμα θέμα εμπειριστατωμένων μελετών (Hampshire et al. 2015) που συνδυάζονται με μελέτες που στοχεύουν στο να παρατηρήσουν το φαινόμενο αυτού του είδους της συμφόρησης σε σύνδεση με το προηγούμενο στάδιο της επιλογής διαδρομών για την σύνδεση της προέλευσης και του προορισμού και της σύνδεσης της με την ευκολότερη, βάση πιθανοτήτων, εύρεση θέσης στάθμευσης (Papinski & Scott 2011). Ακόμα, τη συμβολή στην κυκλοφοριακή συμφόρηση στα πυκνά δομημένα αστικά κέντρα που αποτελούν πόλο δραστηριοτήτων ποικίλης ύλης τις έχουν αναλύσει οι έρευνες των D'Acierno et al. (2006), Shoup (2006), Gallo et al. (2011), Kaplan & Bekhor (2011), Motini et al. (2012). Γενικά, από έρευνες προκύπτει ότι η μέση χρονική καθυστέρηση σε μία μέση διαδρομή εξαιτίας της επιπρόσθετης κυκλοφορίας που οφείλεται σε θέματα στάθμευσης φτάνει το 30% της συνολικής διάρκειας ταξιδιού .

Πολύ σημαντική είναι ανασκόπηση των προβλημάτων που προκύπτουν από το φαινόμενο της στάθμευσης καθώς και η συνειδητοποίηση και ο προσδιορισμός τους ώστε να αντιμετωπιστούν. Η επιπρόσθετη κυκλοφοριακή συμφόρηση εξαιτίας της στάθμευσης πέρα από τις καθυστερήσεις και τη μείωση του επίπεδου εξυπηρέτησης αντανακλάται και σε οικονομικές επιπτώσεις όπως αύξηση κατανάλωσης καυσίμου για καθημερινές μέσες διαδρομές αλλά και σε περιβαλλοντικές σημαντικές επιπτώσεις σε θέματα ηχορύπανσης και ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Kaplan & Bekhor 2011). Το ήδη βεβαρυμμένο πρόβλημα στάθμευσης παρατηρείται ότι εντείνεται από τη σταδιακή μείωση της προσφοράς θέσεων μέσω της απαλλοτρίωσης χώρων στάθμευσης, της ιδιωτικοποίησης άλλων ή της απαγόρευσης στάθμευσης πάρα την οδό. Η προσβασιμότητα και η ελκυστικότητα πολλών περιοχών διακυβεύεται. Επιπρόσθετα προκύπτουν θέματα που υπόκεινται σε ζητήματα της οδικής ασφάλειας των περιοχών καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ατυχημάτων στους δρόμους που πλήττονται από αυξημένη κυκλοφορία αλλά και από συνεχείς προσπάθειες στάθμευσης παρά ή εκτός της οδού. Σύμφωνα με την έρευνα των Karlin -Resnick et al. (2015) το 49% των ατυχημάτων σε οδούς μέσης κυκλοφορίας , το 68% σε συλλεκτήριες οδούς και το 72% σε τοπικές οδούς σχετίζεται με την προσπάθεια του οδηγού να βρει θέση στάθμευσης αλλά και να σταθμεύσει. Οι πλέον βιώσιμες λύσεις λειτουργικής διαχείρισης του φαινομένου της στάθμευσης και των παρελκομένων του όσον αφορά στον αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσα από την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των οδηγών απέναντι σε επιλογές και στρατηγικές συμπεριφορές με βάση τις οποίες διαμορφώνονται οι ενέργειες σε θέματα που αφορούν την στάθμευση.

Οι έρευνες στην στάθμευση καλύπτουν σφαιρικά τις διαφορετικές πλευρές του φαινομένου όντας διαρθρωμένες σε δύο βασικές κατηγορίες τις εμπειρικές έρευνες και τις έρευνες δημιουργίας προτύπου πρόβλεψης σχετικών μεγεθών. Μέσα από τη στατιστική ανάλυση και τη χρήση ποσοτικών μέθοδών περιγράφεται και αναδεικνύεται με τον πλέον εμπειριστατωμένο τρόπο κάθε σημαντική πτυχή του φαινομένου όπως το ποσοστό συμβολής του στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, το ποσοστό της συνολικής

διαδρομής σε χρόνο ή απόσταση, της κατανομής της ζήτησης ανά περιοχή δραστηριότητας και η συμβολή σε οικονομικά θέματα κατανάλωσης ή περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Από την άλλη πλευρά πρότυπα πρόβλεψης χρόνου εύρεσης θέσης στάθμευσης, βοηθούν στην δημιουργία πιο στοχευμένων μέτρων για την αντιμετώπιση των πιθανών προβλημάτων. Θεμελιώδης παράγοντας για την δημιουργία αξιόπιστων μελετών είναι η συλλογή δεδομένων στα οποία βασίζονται οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις των ερευνών για την εξαγωγή φερέγγυων συμπερασμάτων.

1.2 Έξυπνα Συστήματα Στάθμευσης (Intelligent Parking Systems)

Η τεχνητή νοημοσύνη και τα έξυπνα συστήματα είναι πλέον κραταιές τεχνολογίες που βοηθούν την χρηστικότητα της καθημερινότητας σε πολλούς τομείς και φυσικά στον τομέα των μετακινήσεων. Ειδικότερα ως αναφορά τη στάθμευση και τη βελτιστοποίηση της χρονικής διάρκειας εύρεσης θέσης στάθμευσης αναπτύσσονται και στον ευρωπαϊκό χώρο πολλές εφαρμογές έξυπνων κινητών τηλεφώνων που δίνουν τη δυνατότητα πληροφόρησης και καθοδήγησης του οδηγού ώστε να σταθμεύσει πιο εύκολα αξιοποιώντας πληροφορίες που αφορούν την εκτίμηση χρόνου στάθμευσης ή του διαθέσιμου χώρου και θέσεων στάθμευσης συν επικουρικά κάποιες φορές με την εκτίμηση και τη βελτιστοποίηση του κόστους γι' αυτήν την υπηρεσία. Τα Έξυπνα Συστήματα Στάθμευσης (Parking Intelligent Systems) που εκτιμούν το χρόνο εύρεσης στάθμευσης πριν την έναρξη του ταξιδιού και προτείνουν επιλογή διαδρομών ή χώρων στάθμευσης έχουν συμβουλευτικό χαρακτήρα και επηρεάζουν τις επιλογές του οδηγού. Ακόμα οι εφαρμογές πληροφόρησης σε πραγματικό χρόνο καθοδηγούν τον οδηγό άμεσα και στοχευμένα σε διαθέσιμες θέσεις. Τέλος υπάρχουν και οι εφαρμογές αλληλεπίδρασης με το χρήστη όπου σε πραγματικό χρόνο ο οδηγός εισάγει δεδομένα ύπαρξης ελευθέρων θέσεων τα οποία αξιοποιεί η εφαρμογή επίσης σε πραγματικό χρόνο. Από την έρευνα των Jin Cao, Monica Menendez (2018) προκύπτει ότι κατά μέσο όρο μειώνεται ο χρόνος εύρεσης θέσης στάθμευσης έως και 20% μετά την εφαρμογή έξυπνων συστημάτων στάθμευσης.

1.3 Πολιτικές Διαχείρισης Στάθμευσης

Η στάθμευση είναι ένα από τα σημαντικά προβλήματα διαχείρισης του αστικού συστήματος μεταφορών, εξαιτίας της δυσανάλογης αύξησης της ζήτησης για μετακινήσεις, και συγχρόνως μείωσης του διαθέσιμου ελευθέρου χώρου που μπορεί να προσφερθεί για στάθμευση. Φαινόμενα, όπως η αύξηση κυκλοφοριακής συμφόρησης, εξαιτίας πλήθους οχημάτων που αναζητούν στάθμευση, η ηχορύπανση, το αρνητικό οικολογικό αποτύπωμα, η μείωση ελκυστικότητας και προσβασιμότητας καθιστούν το πρόβλημα της στάθμευσης σημαντικό για την ποιότητα των αστικών μετακινήσεων.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή πολιτικών διαχείρισης του προβλήματος γίνεται στο λειτουργικό επίπεδο άμεσης αντιμετώπισης των προβλημάτων όπου εφαρμόζονται πολιτικές ρύθμισης, ελέγχου και περιορισμού της στάθμευσης, ενώ στο αμέσως επόμενο στάδιο εισάγονται οικονομικές πολίτικές τιμολόγησης της στάθμευσης που πλέον μετατρέπεται σε αγαθό και αποκτά οικονομικό και επενδυτικό ενδιαφέρον για την πόλη. Η ανάπτυξη πολιτικών στάθμευσης, σήμερα, την εποχή του στοιχήματος της επίτευξης της βιώσιμης αστικής κινητικότητας επικεντρώνεται στην ποιότητα ζωής, τις περιβαλλοντικές προϋποθέσεις προστασίας και την μείωση του κόστους παροχής νεών χώρων στάθμευσης. Αυτό οδηγεί τους σχεδιαστές αστικών συστημάτων να ενδιαφέρονται για τη διαχείριση της ζήτησης. Η στάθμευση γίνεται μέρος της πολιτικής αστικής ατζέντας και του σχεδιασμού και αποτελεί εργαλείο διέγερσης της τοπικής οικονομίας. Έρευνες που αφορούν στην ερμηνεία, αλλά και τους παράγοντες και τον τρόπο με τον οποίο αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν το χρόνο εύρεσης στάθμευσης, οδηγούν στον σχεδιασμό και την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών πολίτικων διαχείρισης της ζήτησης της στάθμευσης, ενώ συμβάλλουν και στην εισαγωγή νέων πιο καινοτόμων πολιτικών στάθμευσης που διαφοροποιούνται από τις μέχρι τώρα εδραιωμένες. Τέτοιες πολιτικές μπορεί να είναι η στάθμευση σε χώρους μετεπιβίβασης και αλλαγής μέσου, η διαφοροποίηση τιμολόγησης της στάθμευσης και η τιμολόγηση για πραγματικό χρόνο στάθμευσης, η πολλαπλή χρήση χώρων στάθμευσης είτε ως ανά φορά το είδος αξιοποίησης του χώρου είτε τη διαθεσιμότητα του όλη τη διάρκεια της ημέρας ενώ τέλος θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια πολιτική ενοικίασης χώρου στάθμευσης σε άμεση εξάρτηση με τις χρήσεις γης της περιοχής.

1.4 Συμπεριφορική Προσέγγιση Επιλογών Στάθμευσης

Όταν η διαδρομή φτάνει στο τέλος της ο οδηγός ψάχνει μία κατάλληλη θέση για να σταθμεύσει το όχημα του για τη μεγαλύτερη διάρκεια της μέρας κατά την οποία δεν θα το χρησιμοποιεί. Οι προσεγγίσεις, οι ενέργειες του προκειμένου να βρει την καλύτερη και χρησιμότερη για αυτόν θέση αποτελεί ένα πρόβλημα απόφασης κατά το οποίο πρέπει να αξιολογήσει τις πιθανές ευκαιρίες που του δίνονται για στάθμευση και αφού αναλογιστεί ένα σύνολο παραγόντων, να αποφασίσει αν θα σταθμεύσει ή αν θα συνεχίσει να κινείται κυκλικά ψύχγοντας για μία καλύτερη θέση στάθμευσης ((Polak & Axhausen 1990, Shoup 2006). Η τιμή χρέωσης της στάθμευσης, η διάρκεια της επικείμενης στάθμευσης, η τιμή του καυσίμου, ο διαθέσιμος χρόνος εύρεσης θέσης, ο αριθμός των συνεπιβατών, η διαθεσιμότητα των χώρων που προσφέρονται για στάθμευση, ο χρόνος περπατήματος και ο σκοπός του ταξιδιού αποτελούν σημαντικούς παράγοντες αξιολόγησης στη διαδικασία απόφασής επιλογής θέσης στάθμευσης.

Βασικές συνειδητές, ή όχι και τόσο, στρατηγικές συμπεριφορές στην εύρεση θέσης στάθμευσης συνοψίζονται στα παρακάτω προφίλ χρηστών:

- οδηγοί που διαθέτουν ιδιωτικό χώρο στάθμευσης και δεν περιπλανώνται, αλλά κατευθύνονται απευθείας σε αυτόν

- οδηγοί που έχουν προαποφασίσει να σταθμεύσουν πιο μακριά από το σημείο προορισμού τους έχοντας μεγαλύτερη απόσταση περπατήματος γνωρίζοντας όμως ότι θα βρουν θέση στάθμευσης χωρίς να ταλαιπωρηθούν σε περιπλάνηση
- οδηγοί που ψάχνουν για θέσεις ελεύθερες κομίστρου πάρα την οδό σε μικρή απόσταση από τον προορισμό τους διατεθειμένοι να περιπλανηθούν αρκετή ώρα μέχρι να βρούνε διαθέσιμη την αντίστοιχη θέση
- οδηγοί που αναλαμβάνουν ρίσκο παράνομης στάθμευσης με αντάλλαγμα τον μικρό χρόνο περιπλάνησης και μικρή απόσταση από τον τελικό προορισμό
- οδηγοί που καταφεύγουν στην ιδιωτική στάθμευση εκτός οδού πληρώνοντας κόμιστρο έναντι της μεγάλης διάρκειας περιπλάνησης τους για την εύρεση θέσης.

Είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητές και να ιεραρχηθούν οι επιλογές και οι προτιμήσεις των οδηγών όσον αφορά στην στάθμευση. Έρευνες έχουν αναλύσει τη διαδικασία επιλογής των οδηγών και συμπεραίνουν ότι οι βασικές προτιμήσεις και κριτήρια επιλογής είναι ο χρόνος εύρεσης θέσης και η απόσταση περπατήματος από τον προορισμό (Polak & Axhausen 1990). Η επιλογή στη δομή στάθμευσης εξαρτάται από το σκοπό μετακίνησης για παράδειγμα οι μετακινήσεις για εμπορική δραστηριότητα καταλήγουν στην επιλογή στάθμευσης σε πολυώροφη υπόγεια δομή ενώ οι μετακινήσεις για εργασία καταλήγουν σε υπαίθρια στάθμευση (Teknomo & Kazunori 1997). Επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της δομής στάθμευσης είναι χαρακτηριστικά όπως η απαιτούμενη ώρα άφιξης, η συχνότητα του ταξιδιού, καθημερινό, εβδομαδιαίο καθώς και ο σκοπός του ταξιδιού (Thompson & Richardson 1998). Πιο συγκεκριμένα για τους χώρους, υποδομές ή οδοί, που επιλέγονται συχνότερα για στάθμευση είναι αυτές που βρίσκονται σε επίκεντρο εμπορικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων ενώ οι οδοί κοντά σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης δεν παρουσιάζουν λιγότερό ενδιαφέρον για τους οδηγούς (Van Ommeren et. al 2012). Τέλος τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των οδηγών αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν τις επιλογές τους στη στάθμευση (Van Ommeren et al. 2012).

1.5 Σκοπός Εργασίας

Μέχρι σήμερα στην συντριπτική τους πλειοψηφία η περισσότερες έρευνες που διεξάγονται σχετικά με το φαινόμενο της στάθμευσης σε πρώτο επίπεδο αφορούν στη δημιουργία προϋποθέσεων ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης για στάθμευση. Η εκτίμηση του αριθμού των οχημάτων που επιθυμούν να σταθμεύσουν, του βαθμού κατάληψης, αλλά και της προσφοράς των διαθέσιμων θέσεων, ή του διαθέσιμου χώρου που προσφέρεται για στάθμευση αποτελούν το πρώτο βήμα στη διερεύνηση και την προσπάθεια διαχείρισης του φαινομένου της στάθμευσης. Η προσπάθεια ενός οδηγού να σταθμεύσει σε αστικές περιοχές, που η πληθυσμιακή πυκνότητα, επομένως και η πυκνότητα των ταξιδιών με χρήση IX αυξάνει αναλογικά με τις διαθέσιμες δυνατότητες, αποτυπώνεται σε μικροσκοπικό επίπεδο στα αντίστοιχα ανάλογα μεγέθη του χρόνου και της επιπλέον απόστασης ταξιδιού. Αρκετές έρευνες έχουν κάνει

προσπάθεια να ποσοτικοποιήσουν αυτά τα μεγέθη με την ανάπτυξη κατάλληλων αλγόριθμων που σε κάθε εξατομικευμένη περίπτωση έρευνας βασίζονται σε κατάλληλες παραδοχές.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης παρά το κράσπεδο σε αστικά δίκτυα με πρότυπα επιβίωσης. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε δεδομένα που έχουν συλλεγεί από κινητά τηλέφωνα και αφορούν διαδρομές εντός της περιφέρειας Αττικής. Η προσπάθεια πρόβλεψης του χρόνου περιπλάνησης για στάθμευση σε μικροσκοπικό επίπεδο ταξιδιού ή χρήστη με βάση σημαντικά χαρακτηριστικά εμβαθύνει στην ερμηνεία του φαινομένου και φέρνει στην επιφάνεια την ιεράρχηση παραγόντων που συμβάλλουν στη διαδικασία λήψης απόφασης του οδηγού για επιλογές που αφορούν τη στάθμευση επιτρέποντας την κατανόηση και επέμβαση σε διαφορετικούς τομείς με αποτελεσματικό τρόπο ώστε να επιτευχθεί βελτίωση των χρόνων εύρεσης στάθμευσης βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της μετακίνηση μέσα στον αστικό ιστό .

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στην ανάλυση, τόσο των παραγόντων, όσο και του βαθμού επίδρασης στο χρόνο στάθμευσης αναπτύσσονται πρότυπα επιβίωσης, όπως πρότυπα αναλογικού κινδύνου Cox Proportional Hazard Model και επιτάχυνσης χρόνου συμβάντος Accelerated Time Failure Models που αποτελούν πρότυπα παλινδρόμησης. Ακολούθως, αναπτύχθηκε πρότυπο τυχαίας συστάδας δέντρων απόφασης (Random Forest) που αποτελεί πρότυπο μηχανικής μάθησης. Τέλος, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με στόχο να αναδειχθούν οι παράγοντες που έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην επιρροή και στην πρόβλεψη του χρόνου εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης.

Το πεδίο εφαρμογής της παρούσας έρευνας αφορά στον αστικό χώρο της περιφέρειας Αττικής και τα αποτελέσματα εξάγονται για το σύνολο της περιφέρειας. Η βάση δεδομένων αποτελείται από 9310 ταξίδια εντός Αττικής καταγεγραμμένα από το σύστημα της OSeven telematics¹.

Η συμβολή μελλοντικά μιας τέτοιας έρευνας αλλά και άλλων αντίστοιχων στον τομέα των μεταφορών και κυρίως των μεταφορών που αφορούν στην αστική κινητικότητα αλλά και τη βιώσιμη αστική κινητικότητα που αποτελεί το νέο στοίχημα στις μεταφορές είναι ιδιαίτερα σημαντική. Σε άμεσο λειτουργικό επίπεδο η αξιοποίηση προτύπων πρόβλεψης χρόνου στάθμευσης αξιοποιείται σε έξυπνα συστήματα καθοδήγησης για στάθμευση IPS που κερδίζουν χώρο και αποτελεσματικότητα ολοένα και περισσότερο . Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην αξιοποίηση τέτοιων προτύπων πρόβλεψης είτε για προσφορά συμβουλευτικών οδηγιών είτε για την καθοδήγηση μεσώ

¹ www.oseven.io

αξιοποίησης εισροής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης.

Τέλος η λειτουργική αντιμετώπιση του φαινομένου της περιπλάνησης για εύρεση θέσης στάθμευσης ακόμα και με τις εξελιγμένες δυναμικές δυνατότητες που προσφέρουν τα IPS συστήματα δεν είναι ολοκληρωτικά αποτελεσματική καθώς η βελτιστοποίηση του ρυθμού εναλλαγής των σταθμευμένων οχημάτων δεν αποτελεί τον πυρήνα του προβλήματος. Η έλλειψη χώρου και η τοποθέτηση του IX στην πλέον ανταγωνιστική επιλογή μέσου μετακίνησης δημιούργει το πρόβλημα της στάθμευσης. Η αξιοποίηση τέτοιων μελετών που αναδεικνύουν τους παράγοντες επιρροής στο φαινόμενο της στάθμευσης μπορούν να οδηγήσουν σε πιο αποτελεσματικές αποφάσεις αξιοποίησης του μικρού διαθέσιμου χώρου, στην ανάπτυξη πολιτικών ρύθμισης και αποτελεσματικότερων επενδυτικών αποφάσεων.

1.6 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^o : Το δεύτερο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των σημαντικών ερευνών που έχουν συμβάλλει στη διερεύνηση του φαινόμενου της στάθμευσης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση καλύπτει την παράθεση ερευνών που διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο συλλογής δεδομένων δίνοντας βάση στις έρευνας που αξιοποίησαν τα δεδομένα από δέκτες GPS έξυπνων κινητών τηλεφώνων αλλά παρουσιάζει και τη διάκριση των ερευνών που άπτονται στην εμπειρική ανάλυση και στην προτυποποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^o : Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει αναλυτικά όλη τη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διερεύνησης. Παρουσιάζεται αρχικά η δομή και οι βασικές ανάγκες αναδιάταξης και τροποποίησης της δομής της βάσης δεδομένων μέσω των δυνατότητων του λογισμικού QGIS που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση των ταξιδιών και τη χωρική συνένωση των ταξιδιών με τα χωρικά χαρακτηριστικά της περιοχής στάθμευσής όπως είναι οι χρήσεις γης. Ακολούθησε η αναλυτική παρουσίαση του είδους της Ανάλυσης Επιβίωσης ή αλλιώς της Ανάλυσης Χρόνου Γεγονότος που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο όλων των προτύπων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκριτική διερεύνηση της προτυποποίησης του χρόνου εύρεσης στάθμευσης. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκε το μη παραμετρικό πρότυπο Kaplan-Meier, το ημιπαραμετρικό πρότυπο αναλογικού κινδύνου Cox Proportional Hazard Model, το παραμετρικό πρότυπο επιτάχυνσης χρόνου Accelerated Time Failure Model και τέλος το πρότυπο μηχανικής μάθησης της τυχαίας συστάδας δέντρων απόφασης Random Forest Model.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Το τέταρτο κεφάλαιο περιέχει την επέκταση των δεδομένων με τις πληροφορίες χρήσεων γης και του τύπου της οδού στάθμευσης και ακολούθως μιας μικρής στατιστικής ανάλυσης των μεταβλητών της βάσης δεδομένων. Ακόμα περιέχει την πρώτη φάση ανάπτυξης μη παραμετρικών προτύπων για την συσχέτιση του χρόνου στάθμευσης με κάθε παράγοντα ενδιαφέροντος μεμονωμένα. Στη συνέχεια περιέχει την προτυποποίηση, παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων των προτύπων Cox Proportional Hazard Model, Accelerated Time Failure Model, Random Forest model. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των παραπάνω τριών προτύπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Το πέμπτο κεφάλαιο περιέχει 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 των μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Το έκτο κεφάλαιο περιέχει τη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη εκπλήρωση του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων Στάθμευσης

Η συλλογή δεδομένων που αφορούν στις επιλογές διαδρομών, αλλά και τις επιλογές στάθμευσης είναι ένα ιδιαίτερο κεφάλαιο που έχει δυσκολίες, καθώς τα δείγματα πρέπει να είναι ικανά προσεφέρουν αντιπροσωπευτικές πληροφορίες, ακριβείς, διαχειρίσιμες προς επεξεργασία. Ο πρώτος τρόπος συλλογής πληροφοριών είναι οι έρευνες αποκαλυπτώμενης προτίμησης, δεδηλωμένης προτίμησης ή και συνδυαστικές. Συνεντεύξεις και απαντήσεις σε καλά δομημένα ερωτηματολόγια αποτελούν το μέσο για τη συλλογή κάθε είδους πληροφορίας σχετικά με την στάση, την αντίληψη, τις προτιμήσεις του χρήστη, δίνουν την εικόνα για την προσφορά και τη ζήτηση για στάθμευση (Teknomo & Kazunori 1997, Shoup 2006, Van der Waerden et al, 2006, Gallo et al. 2011, Van Ommeren et al. 2012, Weis et al. 2011).

Αρχικά έβρισκαν πρόσφορο έδαφος εφαρμογής τεχνικές συλλογής στοιχείων μέσω της παρακολούθησης ενός οχήματος με άλλο όχημα σε πραγματικό χρόνο (Wright & Orran 1976) ώστε να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της διαδρομής των ταξιδιών όπως η ταχύτητα διαδρομής ή η επιλογής της διαδρομής. Στη συνέχεια άρχισε να χρησιμοποιείται η βιντεοσκόπηση μέσω σταθερών καμερών στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο συλλέγονται σημαντικά στοιχεία για τα οδικά τμήματα που αποτελούν χώρους στάθμευσης όπως είναι ο βαθμός κατάληψης που αφορά την εναλλαγή της στάθμευσης αλλά και για άλλα μεγέθη όπως αυτό του κυκλοφοριακού φόρτου, της πυκνότητας αλλά και της ταχύτητας των οχημάτων (Salomon 1986).

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 και μετά, άρχισε να γίνεται συστηματική χρήση δεκτών σήματος παγκόσμιου γεωγραφικού εντοπισμού και η χρήση του διεθνούς συστήματος τοποθεσίας GPS χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά για ποικίλες εφαρμογές και διευκολύνσεις των χρηστών στην πλοϊγηση τους, ειδικότερα μετά την ενσωμάτων δεκτών GPS σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Μέσα από τα δεδομένα που συλλέγονται από δέκτες GPS μπορούμε να έχουμε πολύ σημαντικές πληροφορίες με μεγάλη σχετικά ακρίβεια και σε μεγάλο όγκο διαθέσιμες χωρίς επιβάρυνση και κόπο των εμπλεκόμενων πλευρών. Με καταγραφές ανά χρονική διάρκεια από ένα έως τρία δευτερόλεπτα μπορεί να καταγράφεται η ακριβής τοποθεσία (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, ύψος) καθώς και η ταχύτητα του οχήματος σε ακριβή χρόνο. Παράδειγμα δεδομένων καταγραφής GPS δίνεται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

Αυτή η μορφή δεδομένων με τον ιδιαίτερο χαρακτήρα δεν έχει ακόμα διερευνηθεί και αξιοποιηθεί από αρκετές έρευνες μέχρι στιγμής ειδικά, όσον αφορά στο θέμα της στάθμευσης. Ο τεράστιος όγκος καταγραφών που είναι δύσκολα διαχειρίσιμος από τον μελετητή, η έλλειψη επιπροσθέτων σημαντικών πληροφορίων όπως συναισθηματική φόρτιση ή αντίληψη του οδηγού, δημογραφικά στοιχεία αλλά και η ιδιαίτερη δυσκολία

προσδιορισμού του σημείου καταγραφής που αντιστοιχεί στο σημείο έναρξης της διαδικασίας εύρεσης θέσης στάθμευσης (Mannini & Gemma 2017) αποτελούν παράγοντες που δεν έχουν ευνοήσει τη χρήση τους έως τώρα.

Πίνακας 2.1 : Μορφή Δεδομένων από δέκτη GPS (Πηγή : Mannini et al. , 2017)

INDEX	An upward numbering of the records/measurements
RCR (ReCord Reason)	Indicates whether the positions were recorded as a condition of time, speed and/or distance. For a normal recording, the "T" value will appear in the data.
DATE	The date of recording
TIME	The time of the recording
VALID	Indicates whether enough satellites determined the position and if so, the value will be "SPS". However, if not enough satellites were found the value will be set to "Estimated"
LONGITUDE	Longitude
N/S	North/South
LATITUDE	Latitude
E/W	East/West
HEIGHT	Height in meters
SPEED	Speed in km/h
PDOP	Position Dilution of Precision. It is the combination of both the horizontal and vertical components of position error caused by satellite geometry. Values between 2 and 4 indicate excellent accuracy
HDOP	Horizontal Dilution of Precision (degree of horizontal accuracy)
VDOP	Vertical Dilution of Precision (degree of horizontal accuracy)

Αρκετές έρευνες στη βιβλιογραφία έχουν συνδυάσει την αξιοποίηση των GPS καταγράφων με συνδυαστικές έρευνες συνεντεύξεων και ερωτηματολογίων που δίνουν ικανοποιητική και σφαιρική προσέγγιση ανάλυσης ειδικότερα πάνω σε θέματα στάθμευσης (Kaplan & Bekhor 2011, Montini et al. 2012, Papinski et al. 2009). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η έρευνα του Papinski ο οποίος χρησιμοποιώντας 31 χρήστες πήρε μέσω συνεντεύξεων απαντήσεις πάνω στην επιλογή διαδρομών για τα ταξίδια τους συμπληρωματικά με καταγραφές από δέκτες GPS που κατέγραφαν τα πραγματικά ταξίδια των συγκεκριμένων χρηστών και στο τέλος συνέκρινε την ταυτοποίηση των δύο παρουσιάζοντας μια ενδελεχή ματιά στον τρόπο σκέψης και απόφασης του χρήστη πάνω στον προγραμματισμό και σχεδιασμό των διαδρομών του αλλά και των αυθόρμητων αποφάσεων που λαμβάνονται στην εξέλιξη του ταξιδιού που οδηγεί στην διαφοροποίηση από τον προγραμματισμό.

Τα δεδομένα από δέκτες GPS συνδυασμένα και με αλλά δεδομένα όπως για παράδειγμα με δεδομένα από προϊόντα βιντεοσκόπησης μπορούν να δώσουν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες για το σημείο έναρξης περιπλάνησης του οδηγού για εύρεση στάθμευσης καθώς αυτό καταδεικνύεται από τις καταγραφές της ταχύτητας του αλλά και των κινήσεων του στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές (Hampsire et al. 2015). Μελέτες όπως αυτή του Van der Waerden (2015) δείχνουν την αξιοποίηση των δεδομένων καταγραφών GPS σε μεγάλο εύρος αφού αξιοποιεί πλήρως τόσο τις

χωρικές όσο και τις χρονικές πληροφορίες αναδεικνύοντας τις πλευρές και την οπτική της επεξεργασίας των δεδομένων μέσα από την οποία εκμαιεύονται συμπεράσματα που αφορούν τις επιλογές στάθμευσης των οδηγών.

2.2 Εμπειρικές Έρευνες

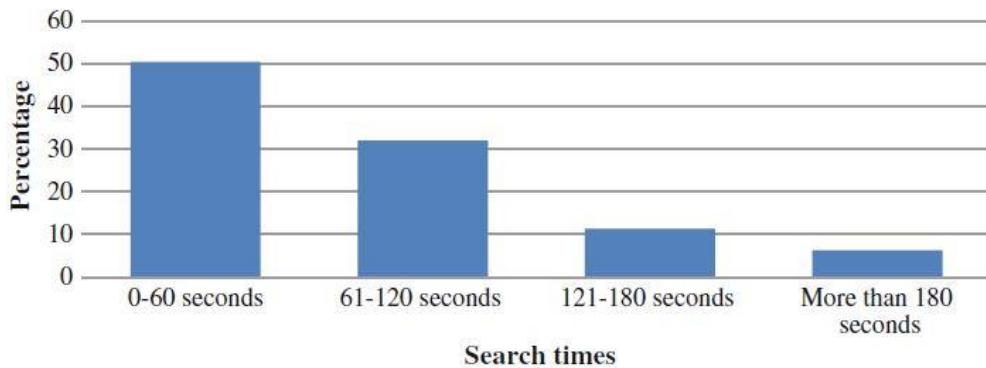
O Shoup (2006), σε μία έρευνα ανάλυσης κόστους εύρεσης θέσης στάθμευσης μέσα από περιπλάνηση έκανε εκτεταμένη αναφορά σε 16 εμπειρικές έρευνες που ποσοτικοποίησαν τα μεγέθη της προσπάθειας για στάθμευση σε χρονική βάση. Συγκεκριμένα όπως αναφέρεται στον Πίνακα 2.2 σε 11 πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών ο μέσος χρόνος περιπλάνησης για στάθμευση ποικίλει μεταξύ 3.5 και 13.9 λεπτά.

Πίνακας 2.2 : Χρόνοι αναζήτησης στάθμευσης σε παγκόσμιες μητροπόλεις τον 21ο αι. (Πηγή : Shoup 2006)

Table 1
Twentieth century cruising

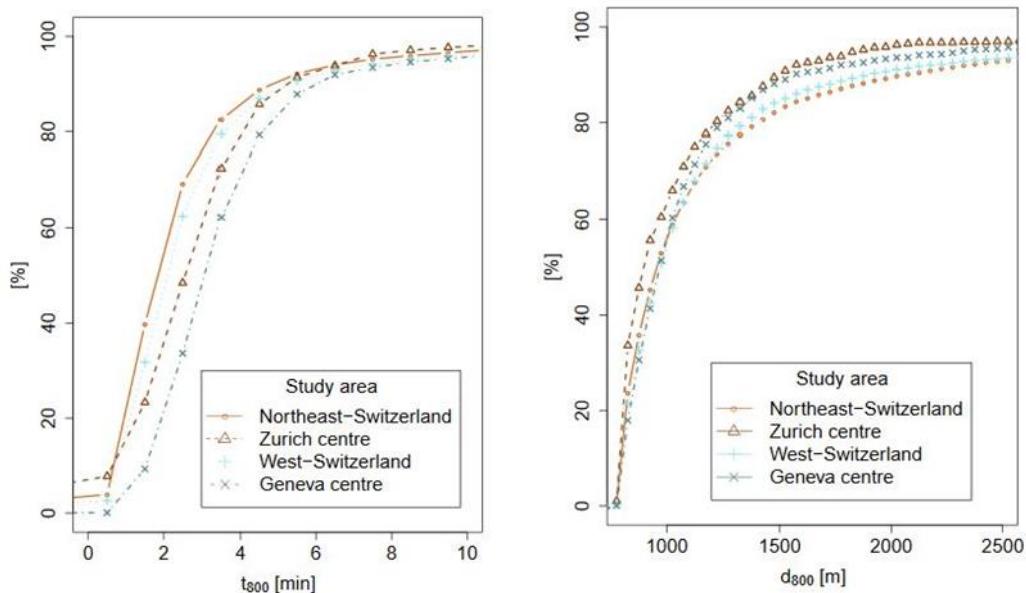
Year	City	Share of traffic cruising (percent)	Average search time (min)
1927	Detroit (1)	19%	
1927	Detroit (2)	34%	
1933	Washington		8.0
1960	New Haven	17%	
1965	London (1)		6.1
1965	London (2)		3.5
1965	London (3)		3.6
1977	Freiburg	74%	6.0
1984	Jerusalem		9.0
1985	Cambridge	30%	11.5
1993	Cape Town		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

Αναφορικά και τον παραπάνω πίνακα που παρουσίασε ο Shoup η επιβάρυνση του κυκλοφοριακού επίπεδου εξυπηρέτησης εξαιτίας της περιπλάνησης για στάθμευση επιβαρύνει εξίσου και την ευρωπαϊκή πραγματικότητα δίνοντας το γενικό ποσοστό του 25% του συνολικού χρόνου ταξιδιού προς ένα πολυσύχναστο ευρωπαϊκό κέντρο να αποτελεί χρόνο εύρεσης θέσης στάθμευσης. Συγκεκριμένα στο Λονδίνο το 30- 40 % του συνολικού χρόνου ταξιδιού αφορούσε χρόνο περιπλάνησης στάθμευσης σύμφωνα με τους Bonsall & Palmer (2004) αντίστοιχα, για την πόλη της Φρανκφούρτης το ποσοστό αυτό ανέρχεται επίσης στο 40% σύμφωνα με τους Polak & Axhausen (1994). Το ποσοστό του 14% του συνολικού χρόνου στάθμευσης στην πόλη Turnhout του Βελγίου αναλογεί σε χρόνους εύρεσης στάθμευσης όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2.1 (Van der Waerden 2015).



Διάγραμμα 2.1 : Χρόνοι αναζήτησης στάθμευσης στη πόλη Turnhout του Βελγίου (Πηγή : Van der Waerden, 20015)

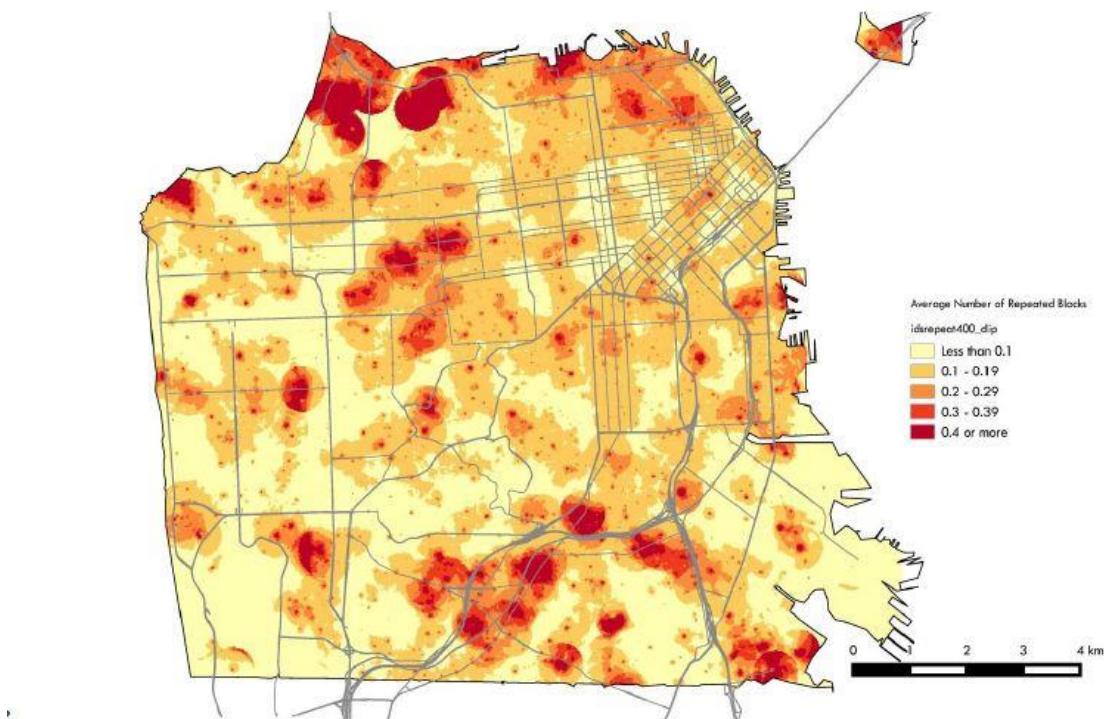
Σε έρευνα που εκπονήθηκε από τον Montini et al. 2012 με περιοχή εφαρμογής διερεύνησης την πόλη της Ζυρίχης εκτιμήθηκε ότι σε περιοχή με μεγάλη επαγγελματική δραστηριότητα οπού εδράζονται αρκετές επιχειρήσεις που προσελκύουν εργατικό δυναμικό ο χρόνος εύρεσης θέσης στάθμευσης είναι κάτω των 4 λεπτών στο 80 % των περιπτώσεων ενώ, η συνολική απόσταση που διανύεται από το σημείο έναρξης της περιπλάνησης για στάθμευση κυμαίνεται μεταξύ των 1100 και των 1400 μέτρων. Το Διάγραμμα 2.2 που ακολουθεί απεικονίζει τα ποσοστά χρόνου και απόστασης αναζήτησης στάθμευσης σε ακτίνα 800 μ. από το σημείο τελικού προορισμού.



Διάγραμμα 2.2 : Χρόνος (αριστερά) και απόσταση (δεξιά) οδήγησης εντός κύκλου 800m από τον τελικό προορισμό (Πηγή : Montini et al. , 2012)

Επίσης ένας μέσος χρόνος εύρεσης θέσης στάθμευσης μετά από επεξεργασία ιχνών GPS από την έρευνα του Karlin – Resnick et al. (2015) για αστική κεντρική περιοχή ανέρχεται στα 62 δευτερόλεπτα. Ο Hampsire et al. (2016) σε μία προσπάθεια χρονικής και χωρικής κατανομής και ποσοτικής ανάλυσης δεδομένων από δέκτες GPS που είχαν συλλεγεί από τρεις διαφορετικές βάσεις δεδομένων για πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών κατάφερε να βγάλει συμπεράσματα για μεγέθη που αφορούν το χρόνο στάθμευσης δημιουργώντας σχηματισμούς που οριοθετούν τη συμπεριφορά του οδηγού καθώς ψάχνει για θέση στάθμευσης. Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται η πιθανότητα αναζήτησης θέσης στάθμευσης σε διάφορες περιοχές.

Figure 4b Probability a Trip Contains Cruising Repeated Blocks (Inverse Distance Weighted Interpolation)



Εικόνα 2.1 : Χωρικά κατανεμημένη πιθανότητα περιπλάνησης για εύρεση στάθμευσης , περιοχή διερεύνησης San Francisco (Πηγή : Hampsire et al. , 2016)

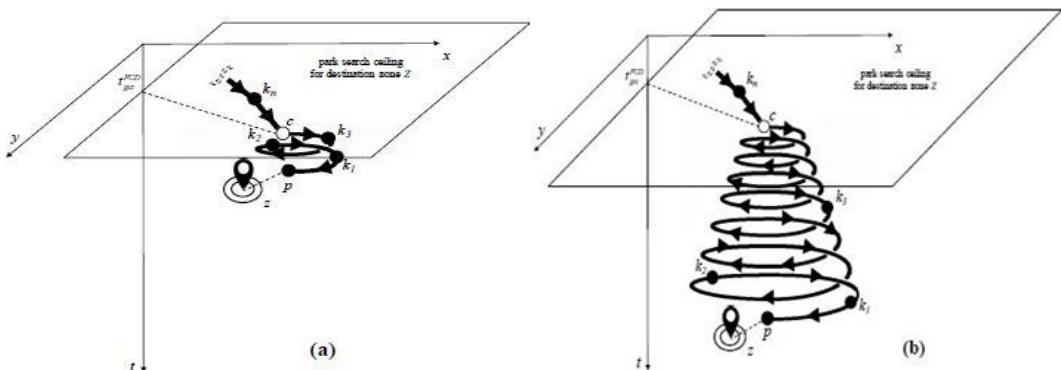
2.3 Προτυποποίηση Χρόνων Αναζήτησης Στάθμευσης

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές μοντέλου διακριμένων μεταβλητών πρόβλεψης και συσχέτισης παραγόντων που καθορίζουν την επιλογή του οδηγού για στάθμευση πάρα την οδό σε συγκεκριμένο οδικό τμήμα είναι το μοντέλο που ανέπτυξε ο Van der Waerden et al. (2015) με χρήση δεδομένων από δέκτες GPS έξυπνων κινητών τηλεφώνων και αποτελεσμάτων έρευνας ερωτηματολογίων δεδηλωμένης προτίμησης.

Παράγοντες που αφορούν τις παρακείμενες στα οδικά τμήματα χρήσεις γης, παράγοντες απόστασης πρόσβασης του τελικού προορισμού και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού μελετώνται και συσχετίζονται με τη συγχότητα επιλογής ενός οδικού τμήματος για στάθμευση παρά την οδό στην περιοχή μελέτης της πόλης Turnhout του Βελγίου.

Ως ιδιαίτερα στατιστικά σημαντικοί παράγοντες με μεγάλο βάρος επιρροής εμφανίζουν η απόσταση περπατήματος από τον προορισμό και το κόστος της στάθμευσης ενώ από τα μέτρα προσαρμογής το F-valued καθιστά την εγκυρότητα του μοντέλου αποδεκτή.

Ακόμα μια προσπάθεια προτυποποίησης της συμπεριφοράς του οδηγού πάνω στις επιλογές στάθμευσης και εκτίμησης του χρόνου που δαπανά για την εύρεση θέσης στάθμευσης έχει γίνει από τους Gemma et al. (2017) όπου το σημείο έναρξης της προσπάθειας εύρεσης στάθμευσης εκτιμήθηκε μέσα από την αποτύπωση των τροχιών που έδωσαν τα ίχνη των δεκτών GPS για το τελευταίο τμήμα της διαδρομής των οχημάτων και αυτή η διαδρομή μπόρεσε να προσδομοιωθεί με σπειροειδή τροχιά με συγκεκριμένο παράγοντα εύρους και ακτίνα σε μία απόσταση από το τελικό προορισμό. Τα πρότυπα των τροχιών φαίνονται στα Διαγράμματα 2.3.



Διάγραμμα 2.3 : Τροχιά κίνησης για αναζήτηση στάθμευσης σε συνθήκες κάτω από τον κορεσμό (αριστερά) και σε συνθήκες κορεσμού (δεξιά) (Πηγή : Gemma et al. , 2017)

Τέλος, μέσα από τον υπολογισμό των διαφορών απόστασης που προκύπτουν από τον αλγόριθμο της συντομότερης διαδρομής και της πραγματικής διαδρομής δημιουργήθηκαν συναρτήσεις πρόβλεψης διαφοράς απόστασης επιτρέποντας την γενίκευση αυτών των διαφορών και για αλλά ζεύγη προέλευσης προορισμού ώστε μέσω τις προστιθέμενης διαφοράς στην συντομότερη διαδρομή να υπολογίζεται ο

χρόνος εύρεσης στάθμευσης ως ο επιπλέον χρόνος που προκύπτει από την επιπλέον απόσταση ταξιδιού αυτό ορίζεται και ως συνάρτηση κενού- απόκλισης.

Οι Young & Fantini (2015) ανέπτυξαν ένα σύνολο αλληλουχίας αλληλένδετων μοντέλων επεξεργασίας χωρικών πληροφορίων με την ικανότητα να δέχεται σε πραγματικό χρόνο και να επεξεργάζεται τα δεδομένα που εισάγουν οι ίδιοι οι χρήστες ώστε να ανιχνεύει πιθανές ελεύθερες θέσεις στάθμευσης ενημερώνοντας στην συνέχεια τους ενδιαφερόμενους οδηγούς για τη διαθεσιμότητα των θέσεων στάθμευσης παρά την οδό και εκτός οδού σε συγκεκριμένες χωρικές ζώνες στάθμευσης.

Η επιλογή διαδρομής σύνδεσης του ζεύγους προέλευσης προορισμού της κάθε μετακίνησης είναι η επιλογή που καθορίζει την φόρτωση του δικτύου και της δημιουργίας της βάσης για τον υπολογισμό του κυκλοφορικού φόρτου και της στάθμης εξυπηρέτησης σε κάθε επιμέρους τμήμα του δικτύου ενώ σε ένα ποσοστό καθορίζεται και καθορίζει τις διαθέσιμες επιλογές και ευκαιρίες για στάθμευση του οδηγού ο οποίος αρκετές φορές επιλέγει την διαδρομή του και με γνώμονα να βρει τις αποδοτικότερες ευκαιρίες εύρεσης θέσης στάθμευσης που πληρούν τις προϋποθέσεις του. Ο αλγόριθμος της συντομότερης διαδρομής μεταξύ κάθε ζεύγους προέλευσης προορισμού εφαρμόζεται σε διπλή βάση πρώτα με βάση τη μικρότερη απόσταση και έπειτα με βάση το μικρότερο χρόνο διαδρομής. Οι πραγματικές διαδρομές που ακολουθήθηκαν και καταγράφηκαν από τους δέκτες GPS κινητών τηλεφώνων συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα των αλγορίθμων με στόχο την ταυτοποίηση των τμημάτων της διαδρομής που εντάχθηκαν στα δύο κριτήρια.

Διαπίστωση της έρευνας του Georgiou (2016) αποτέλεσε ότι το ισχυρότερο κριτήριο επιλογής για τον χρήστη είναι μείωση του χρόνου καθώς οι πραγματικές διαδρομές ταυτίζονταν κατά 75% με τη συντομότερη χρονικά διαδρομή ενώ μόνο κατά 52 % με τη συντομότερη διαδρομή σε απόσταση. Σε σύνδεση με την επιλεγόμενή διαδρομή τα ταξίδια συσχετίστηκαν με την επιλογή στάθμευσης μετά από την επιλογή της διαδρομής τους. Για τη χωρική διάσταση της στάθμευσης παρατηρήθηκε ότι η πλειοψηφία των ταξιδιών καταλήγει σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης κατά 59% ενώ η στάθμευση παρά την οδό ή σε υπαίθριους χώρους ανέρχεται στο παραπλήσιο ποσοστό του 21.7% και 19.3% ενώ όσον αφορά στην χρονική κατανομή της ζήτησης της στάθμευσης σε καθημερινές μέρες μεγιστοποιείται για τις μεσημεριανές ώρες σε αντιδιαστολή με τις ημέρες του Σαββατοκύριακου που φτάνει στη μέγιστη τιμή της τις απογευματινές ώρες.

2.4 Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτουν πολυποίκιλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης απόφασης και επιλογής χώρου στάθμευσης. Μέσα από όλη την ανασκόπηση είτε θεωρητικών προσεγγίσεων, είτε προσεγγίσεων που

βασίζονται σε δεδομένα αναδεικνύονται κυρίως τρεις παράγοντες που επιδρούν στη στάθμευση η συμπεριφορική ιδιαιτερότητα του ατόμου που το οδηγεί σε διαφορετική ιεράρχηση των επιλογών και των προτιμήσεων του, η κοστολόγηση της στάθμευσης και οι δραστηριότητες που καθορίζουν την περιοχή στάθμευσης. Οι τιμολογιακές πολίτικες της στάθμευσης αποτελούν ζήτημα διαχρονικό και μέχρι τώρα δεν έχει υπάρξει μια κοινή οικονομική στρατηγική αντιμετώπισης της ανομοιόμορφης κατανομής της ζήτησης. Η βέλτιστη αντίληψη αποτελεί η εξισορρόπηση του κόστους προσφοράς στάθμευσης πάρα την οδό και εκτός οδού γεγονός που θα οδηγήσει σε μία ισορροπία της ζήτησης αποσυμφορίζοντας τα οδικά τμήματα από τον κορεσμό σταθμευμένων οχημάτων.

Η συμπεριφορά και η στρατηγική των οδηγών απέναντι στη στάθμευση μελετάται ενδελεχώς μέσα από έρευνες που αξιοποιούν κάθε μορφή δεδομένου όπως έρευνες συνεντεύξεων, δεδομένα οπτικής καταγραφής, δεδομένα από δέκτες GPS με αποτέλεσμα να υπάρχει μια εικόνα των προτεραιοτήτων των επιλογών των χρηστών σχετικά με το είδος, τον χρόνο προσπάθειας εύρεσης θέσης στάθμευσης και καταλληλότητας της. Ο συνδυασμός των παραπάνω στοιχείων οδηγεί στο να ανατύσονται θεωρίες, μέτρα και εφαρμογές που θα βελτιστοποιούν τις παραπάνω πτυχές της εύρεσης στάθμευσης. Τέλος τα δεδομένα των δεκτών GPS ειδικότερα των δεκτών GPS των έξυπνων τηλεφώνων είναι πλέον άμεσα, ευκολά διαθέσιμα προσφέροντας μεγάλη ακρίβεια αλλά και άνεση στη συλλογή τους καθώς ο χρήστης δεν εμπλέκεται καθόλου στη διαδικασία συλλογής τους ενώ, τα προηγμένα λογισμικά διαχείρισης τέτοιων καταγραφών δίνουν την δυνατότητα επεξεργασίας και αξιοποίησης τέτοιου όγκου δεδομένων.

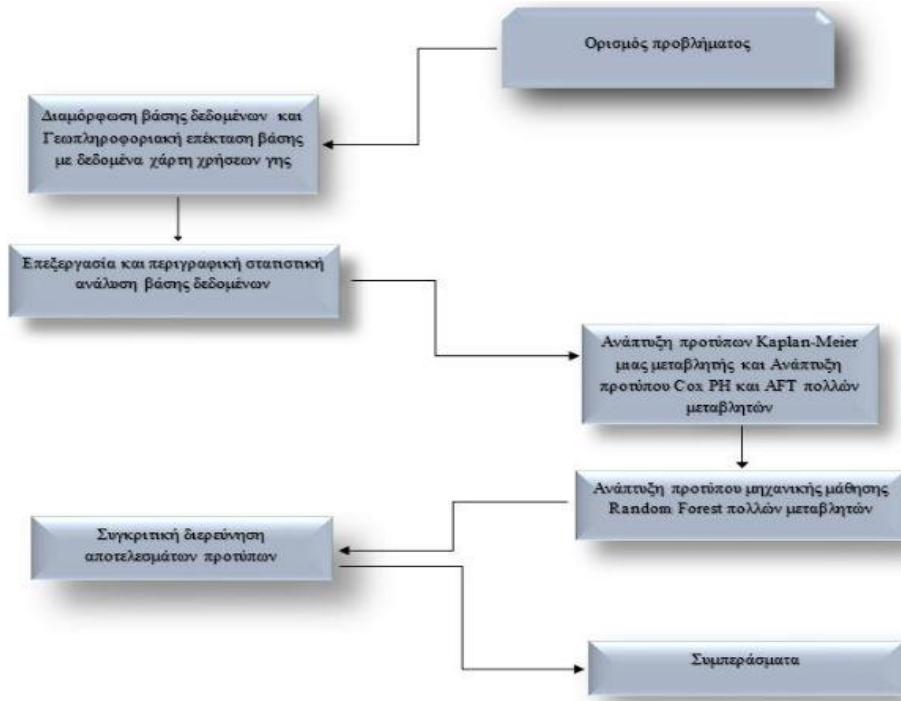
Η ενασχόληση με το ζήτημα της στάθμευσης και ειδικότερα προσανατολισμένα με το χρόνο αναζήτησης θέσης στάθμευσης είναι ιδιαίτερα εκτενής στο σύνολο της βιβλιογραφίας και ειδικά στον τομέα των εμπειρικών ερευνών και των ερευνών ποσοτικοποίησης του φαινομένου. Υπάρχουν βεβαία πολλά πεδία διερεύνησης όσον αφορά την προτυποποίηση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης. Κατά κύριο λόγω η βιβλιογραφία ασχολείται με την δημιουργία παραδοχών και προτύπων που ανιχνεύουν την τροχιά αναζήτησης στάθμευσης γύρω από τον τελικό προορισμό και μετρούν τον χρόνο αναζήτησης ενώ πρότυπα πρόβλεψης αναπτύσσονται κυρίως σε μακροσκοπική βάση μέσα από την εκτίμηση του ισοζυγίου της ζήτησης (αριθμός οχημάτων που αναζητεί στάθμευση σε μία περιοχή μελέτης) και της προσφοράς (διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης). Τα πρότυπα μικροσκοπικής ανάλυσης διερεύνησης παραγόντων που επηρεάζουν το κάθε ταξίδι μεμονωμένα δεν συναντώνται συχνά στη βιβλιογραφία. Ακόμα δεν έχουν δοκιμαστεί αρκετά διαφορετικής δομής πρότυπα μικροσκοπικής ανάλυσης πέραν του προτύπου της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Τέλος το πλήθος των παραγόντων που επιδρά στο φαινόμενο της στάθμευσης είναι ευρύ υπάρχουν πολλοί παράγοντες χαρακτηριστικών του ταξιδιού ή παράγοντες που αφορούν την συμπεριφορά του οδηγού που η επίδρασή τους στο φαινόμενο της στάθμευσης πρέπει να διερευνηθεί.

Συμπερασματικά η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων του φαινομένου της στάθμευσης μας βοηθά να το αντιληφθούμε αλλά είναι πολύ σημαντικό να αναπτύξουμε πρότυπα διαφορετικών δομών και στόχων ώστε να καταφέρουμε να προβλέψουμε και να αξιολογήσουμε παραμέτρους όπως η κατανομή της ζήτησης για στάθμευση ώστε να αναπτυχθούν αποδοτικές εφαρμογές και πολίτικες που θα αποτελέσουν εργαλείο διαχείρισης της ζήτησης με βιώσιμο τρόπο προσφέροντας λύσεις τόσο για τους οδηγούς όσο και για την αισθητική, την προσβασιμότητα και την λειτουργικότητα των περιοχών ενδιαφέροντος. Μια τέτοια διερεύνηση θα ήταν σημαντικό να αναπτυχθεί στην περιοχή της Αττικής στην οποία δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμα εκτεταμένα τέτοιες έρευνες.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.1 Γενική Θεώρηση

Για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας ορίστηκε με σαφήνεια το πρόβλημα το οποίο αποτελεί η διερεύνηση των παραγόντων που επιδρούν στο χρόνου εύρεσης στάθμευσης και η πρόβλεψη αυτού. Αρχικά διαμορφώθηκε η βάση δεδομένων με την επιλογή των παραγόντων η επιρροή των οποίων θεωρήθηκε χρήσιμο να διερευνηθεί ενώ στη συνέχεια η επεκτάθηκε και συμπεριέλαβε μεταβλητές γεωπληροφοριακού χαρακτήρα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν πρότυπα μιας αλλά και πολλών μεταβλητών σύμφωνα με τα πρότυπα Kaplan – Meier, Cox PH, Random Forest. Τέλος έγινε συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων και προέκυψαν τα συμπεράσματα της έρευνας. Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται στο Διάγραμμα Ροής Εργασιών 3.1 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3.1 : Διάγραμμα ροής εργασιών

3.2 Προετοιμασία Γεωπληροφοριακών Δεδομένων

Μια από τις πλέον διαδεδομένες και χρήσιμες πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα γεωγραφικών πληροφοριών αποτελεί αυτή του quantum GIS σε γραφικό περιβάλλον ταυτόσημο με αυτό του GIS δίνει τη δυνατότητα να υποστηρίζει, να επεξεργάζεται και να αναλύει πλήθος γεωγωρικών δεδομένων. Το QGIS διατηρείται από προγραμματιστές εθελοντές οι οποίοι εκδίδουν τακτικά ενημερώσεις και διορθώσεις

σφαλμάτων. Από το 2012, οι προγραμματιστές έχουν μεταφράσει το QGIS σε 48 γλώσσες και η εφαρμογή χρησιμοποιείται διεθνώς σε ακαδημαϊκό και επαγγελματικό περιβάλλον. Πολλές εταιρείες προσφέρουν υπηρεσίες υποστήριξης και ανάπτυξης λειτουργιών. Το QGIS υποστηρίζει τόσο τα στρώματα raster όσο και τα διανύσματα, τα δεδομένα φορέα αποθηκεύονται ως χαρακτηριστικά σημείου, γραμμής ή πολυγώνου.

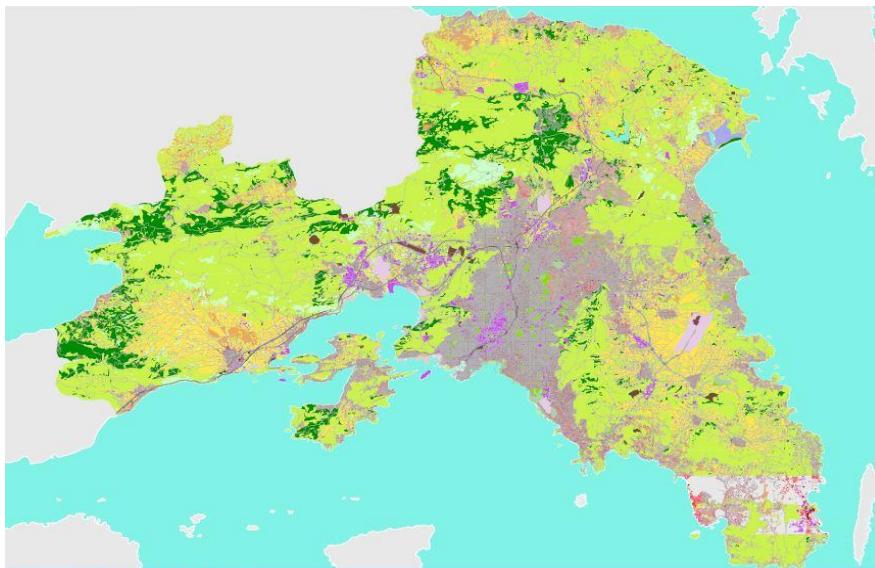
Η χρήση του προγράμματος γεωπληροφοριών κινήθηκε σε δυο άξονες. Αρχικά για την προβολή ολοκληρωμένου ψηφιοποιημένου πολυστρωματικού χάρτη χρήσεων γης της Αττικής με αρκετές βαθμίδες λεπτομέρειας καλύπτοντας συνολικά 27 χρήσης γης εντός της περιφέρειας Αττικής κάνοντας διακρίτες τις περιοχές ορίων τόσο της περιφέρειας όσο και της πόλης των Αθηνών μέσα σε αυτή. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από εγχείρημα του ευρωπαϊκού προγράμματος του επιστημονικού ιδρύματος Κοπέρνικου και αποτελεί το σχέδιο Αστικός Άτλας 2012 (Urban Atlas 2012). Δευτερευόντως τα χάρτης χρήσεων γης εμπεριέχει πίνακα χαρακτηριστικών που συμπλήρωνε τα γεωγραφικά δεδομένα με πληροφορίες για την καδικοποίηση των χρήσεων γης κάθε οριοθετημένης περιοχής του χάρτη, την έκταση της εκάστοτε περιοχής και την πληθυσμιακής της πυκνότητας. Ενδεικτικά παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 3.1 στον οποίο περιέχεται η αρχική καδικοποίηση των χρήσεων γης εντός του νομού Αττικής έως δίνεται από το σχέδιο του Αστικού Άτλαντα 2012.

Πίνακας 3.1: Καδικοποίηση χρήσεων γης από το χάρτη γεωπληροφοριών της Αττικής (Πηγή : EU Copernicus Urban Atlas 2012)

Κωδικός	Χρήσεις Γης
11100	Συνεχής αστικός ιστός
11210	Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός
11220	Ασυνεχής μεσαίας πυκνότητας αστικός ιστός
11230	Ασυνεχής χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός
11240	Ασυνεχής πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός
11300	Απομονωμένες δομές
12100	Βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες
12210	Δρόμοι ιψηλών ταχυτήτων και παρακείμενη γη
12220	Άλλες κατηγορίες οδών και παρακείμενη γη
12230	Σιδηρόδρομος και παρακείμενη γη
12300	Λιμενικές εγκαταστάσεις
12400	Αεροδρόμια
13100	Εγκαταστάσεις εξόρυξης και εκσκαφής ορυκτών
13300	Εργοταξιακοί χώροι
13400	Γη χωρίς πρόσφατη χρήση
14100	Πράσινες αστικές περιοχές
14200	Εγκαταστάσεις αθλητικές και αναψυχής
21000	Καλλιεργήσιμες ετήσιες εκτάσεις
22000	Μόνιμες σοδειές
23000	Βοσκότοποι
24000	Σύνθετες καλλιέργειες
25000	Οπωρώνες στα όρια αστικών περιοχών
31000	Δάση
32000	Περιοχές ποώδους βλάστησης
33000	Ανοιχτοί χώροι με ελάχιστη ή καθόλου βλάστηση
40000	Υγρότοποι
50000	Παραλιακή ζώνη

Στην Εικόνα 3.1 όπου σε μεγάλη λεπτομέρεια αποτυπώνονται οι διάφορες περιοχές εντός της περιφέρειας με τις χρήσεις γης τους και περιοχές πρασίνου.

Βασικός στόχος για την εξαγωγή χωρικών δεδομένων κατανομής των τοποθεσιών των σημείων προορισμού των ταξιδιών αποτελεί η αντιστοίχιση τους σε τοποθεσία με χαρακτηρισμένη χρήση γης. Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας στην πρόβλεψη του χρόνου εύρεσης στάθμευσης αποτελούν οι παρακείμενες χρήσεις γης της τοποθεσίας που καταλήγει το ταξίδι που θα μπορούσε να αποτελέσει και έμμεση ένδειξη και για τον σκοπό του ταξιδιού. Μια τέτοια τεκμηρίωση συσχέτισης θα αποτελούσε πόλο ενδιαφέροντος για χαρακτηρισμό περιοχών με αντίστοιχες χρήσεις γης ως προς το ενδιαφέρον προσέλκυσης μετακινήσεων και μετέπειτα χρόνων εύρεσης στάθμευσης που θα μπορούσε να επηρεάσει τόσο τις επιλογές μέσου των μετακινούμενων όσο και τις δράσεις για τη ρύθμιση της στάθμευσης αλλά και την ανάπτυξη επιχειρηματικών δραστηριοτήτων γύρω από το αντικείμενο της στάθμευσης σε περιοχές με χαρακτηριστική ανάπτυξη συγκεκριμένων χρήσεων γης. Προκειμένου να επιτύχουμε τη συνένωση δεδομένων που αφορούσαν τα σημεία στάθμευσης με τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες καθώς και των χρήσεων γης των περιοχών της Αττικής που ανήκαν αυτά τα σημεία έγινε χρήση του πρόσθετου NNJoin εργαλείου στο περιβάλλον του προγράμματος του QGIS.



Εικόνα 3.1 : Χάρτης χρήσεων γης Αττικής (Πηγή : EU Copernicus Urban Atlas 2012)

Το QGIS NNPlugin μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενώσει δύο διανυσματικά επίπεδα το επίπεδο εισόδου και του πρόσθετου επιπέδου συνένωσης. Όλοι οι συνδυασμοί γεωμετρικών τύπων διανυσματικών επιπέδων υποστηρίζονται. Μια λειτουργία ή και χαρακτηριστικό από το στρώμα εισόδου συνδέεται με το πλησιέστερο χαρακτηριστικό στο στρώμα συνένωσης. Το αποτέλεσμα της ένωσης είναι ένα νέο στρώμα, διανυσματικό επίπεδο με τον ίδιο τύπο γεωμετρίας και σύστημα αναφοράς συντεταγμένων με το στρώμα εισόδου. Η σύνδεση στρωμάτων με διαφορετικά

συστήματα αναφοράς συντεταγμένων (CRS) είναι εφικτή, εφόσον το σύστημα συντεταγμένων του στρώματος της συνένωσης είναι σύστημα συντεταγμένων που μπορεί να προβληθεί σε συμβατό προβολικό σύστημα με το στρώμα βάσης. Οι υπολογισμοί της σύνδεσης και απόστασης εκτελούνται χρησιμοποιώντας το σύστημα συντεταγμένων που είχε το επίπεδο συνένωσης πριν την ένωση με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η σύνδεση θα αποτύχει εάν αποτύχει ο μετασχηματισμός μιας γεωμετρίας χαρακτηριστικών εισόδου στο σύστημα συντεταγμένων του επιπέδου προς ένωση.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει εάν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο επιλεγμένες λειτουργίες, τόσο για το επίπεδο εισόδου/ βάσης όσο και για το επίπεδο προς συνένωση. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να χρησιμοποιήσει μια προσέγγιση της γεωμετρίας εισόδου (centroid - QgsGeometry.centroid). Εάν το επίπεδο βάσης/ εισόδου είναι ένα επίπεδο σημείων και το επίπεδο προς συνένωση δεν είναι ένα στρώμα σημείων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να βασίσει τη σύνδεση στις απλοποιημένες γεωμετρίες του χωρικού δείκτη για το επίπεδο συνένωσης. Τα αποτελέσματα δεν θα είναι ακριβή, αλλά η ταχύτητα θα αυξηθεί. Για τον παραπάνω λόγο με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας είναι επιθυμητό η γεωμετρία του επιπέδου συνένωσης να είναι αυτή που περιέχει γεωμετρίες σημείων. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το πρόθεμα των ιδιοτήτων του layer join στο επίπεδο εξόδου. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το όνομα του επιπέδου αποτελεσμάτων.

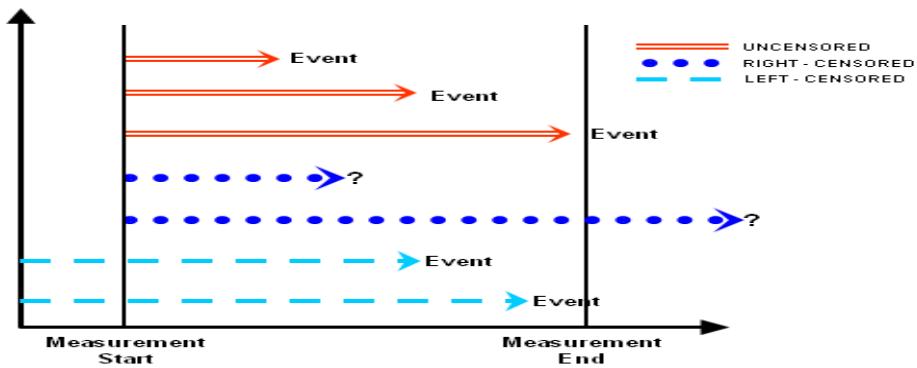
Το στρώμα αποτελεσμάτων είναι ένα στρώμα μνήμης που θα περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά τόσο των συνόλων εισόδου/βάσης όσο και της συνάψεως συνένωσης συνένωσης που περιέχει την απόσταση μεταξύ των ενωμένων χαρακτηριστικών (το προεπιλεγμένο όνομα του χαρακτηριστικού απόστασης είναι "distance", αλλά μπορεί να το αλλάξει ο χρήστης). Εάν λείπει μια γεωμετρία στρώματος εισόδου, το χαρακτηριστικό απόστασης θα οριστεί σε πολύ μεγάλη αρνητική τιμή και όλα τα χαρακτηριστικά του layer join θα είναι NULL. Τα χαρακτηριστικά από το στρώμα προς συνένωση που θα αποκτήσουν ιδιότητες από το στρώμα βάσης / εισόδου θα πάρουν ένα πρόθεμα (η προεπιλογή είναι "join_", αλλά αυτό μπορεί να οριστεί από το χρήστη). Εάν δεν χρησιμοποιείται πρόθεμα σύνδεσης, τα χαρακτηριστικά από το στρώμα σύνδεσης που έχουν το ίδιο όνομα με ένα χαρακτηριστικό στο στρώμα εισόδου δεν θα συμπεριληφθούν στο στρώμα εξόδου.

3.3 Βασικές Έννοιες στην Ανάλυση Επιβίωσης

Ένας από τους κλάδους της στατιστικής με ιδιαίτερη σημασία και εφαρμογές σε πολλούς κλάδους επιστημών αλλά και κοινωνικών εφαρμογών είναι αυτός της

Ανάλυσης επιβίωσης ή διαφορετικά Ανάλυσης χρόνου διεξαγωγής γεγονότος ή τέλος ανάλυση χρονικής προτυποποίησης. Η ανάλυση επιβίωσης συγκροτείται από ένα σύνολο μεθόδων που έχουν ως στόχο να αναλύσουν σύνολα δεδομένων όπου η εξαρτημένη μεταβλητή ενδιαφέροντος είναι η χρονική διάρκεια μέχρι την εμφάνιση ή πραγμάτωση ενός γεγονότος, το γεγονός αυτό θα μπορούσε να είναι ο βιολογικός θάνατος, η μηχανική κατάρρευση κατασκευής, η εύρεση εργασίας, η αποπληρωμή της τοκοχρεολυτικής απόσβεσης δόσεων τραπεζικού δανείου και πληθώρα φυσικά άλλων γεγονότων. Πιο συγκεκριμένα η μορφή των δεδομένων αποτελείται από των αριθμό εξατομικευμένων ανεξάρτητων παρατηρήσεων που συγκροτούν το μέγεθος του δείγματος, την χρονική διάρκεια σε αντίστοιχη μονάδα χρόνου για την οποία παρακολουθείται η εκάστοτε παρατήρηση και η έκβαση του αποτελέσματος, αν δηλαδή πράγματι πραγματοποιήθηκε το γεγονός στη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια παρατήρησης ή όχι. Αρκετές έρευνες έχουν ασχοληθεί τόσο με την επεξήγηση και την παρουσίαση της ανάλυσης επιβίωσης με την εμβάθυνση σε τεχνικούς όρους όσο και με το εύρος του πεδίου εφαρμογής της όπως αυτές των Kleinbaum D.G. (1996) και Hosmer D.W. , Lameshow S. , and May S. (2008) .

Μία από τις βασικότερες ιδιαιτερότητες των δεδομένων και των μεθόδων αυτού του είδους ανάλυσης είναι η ικανότητα αξιόπιστης διαχείρισης «λογοκριμένων δεδομένων» ή αλλιώς censored data. Με τον παραπάνω όρο αναφερόμαστε σε δεδομένα που εμπεριέχουν παρατηρήσεις για τις οποίες δεν γνωρίζουμε την κατάληξη της πορείας τους δηλαδή αν εμφάνισαν ή όχι το γεγονός στην εκάστοτε χρονική διάρκεια. Σε περίπτωση που εξάγεται διερεύνηση με προκαθορισμένο χρονικό ορίζοντα παρακολούθησης του εκάστοτε ατόμου και της παρατήρησης για την εμφάνιση του γεγονότος εντός αυτής της χρονικής διάρκειας, αν το γεγονός δεν πραγματοποιηθεί για ένα πλήθος παρατηρήσεων μετά το πέρας αυτής της χρονικής διάρκειας οι παρατηρήσεις αυτές ονομάζονται « δεξιά λογοκριμένες» η right censored data. Από την άλλη πλευρά για τις παρατηρήσεις που πριν το πέρας της προκαθορισμένης χρονικής διάρκειας εγκατέλειψαν την διερεύνηση και έτσι δεν είναι γνωστό αν υπέστησαν το γεγονός χαρακτηρίζονται ως «αριστερά λογοκριμένες παρατηρήσεις» ή left censored data. Η λογοκρισία είναι ένα σημαντικό ζήτημα στην ανάλυση επιβίωσης, που αντιπροσωπεύει έναν συγκεκριμένο τύπο δεδομένων που λείπουν. Η λογοκρισία που είναι τυχαία και μη ενημερωτική απαιτείται συνήθως για να αποφευχθεί η μεροληψία σε μια ανάλυση επιβίωσης. Στο Διάγραμμα 3.2 δίνεται η παραστατική επεξήγηση της σημασίας των κατηγοριών των λογοκριμένων γεγονότων.



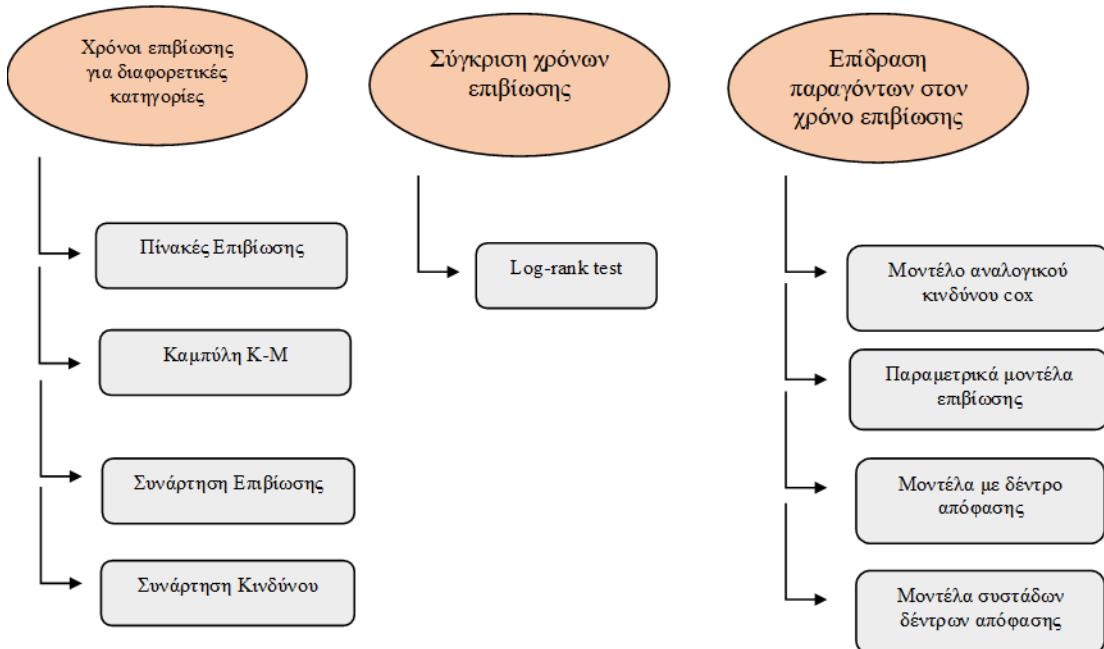
Διάγραμμα 3.2 : Διάγραμμα επεξήγησης λογοκριμένων δεδομένων της Ανάλυσης Επιβίωσης (Πηγή : webfocusinfocenter.informationbuilders.com)

Είναι σημαντικό ερώτημα η σκοπιμότητα χρήσης της συγκεκριμένης ανάλυσης έναντι της κλασσικής μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης για να παραμετροποιηθεί ο χρόνος επιβίωσης ως λειτουργία μιας σειράς μεταβλητών πρόβλεψης. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι ότι δεν μπορεί αποτελεσματικά να χειριστεί τη λογοκρισία των παρατηρήσεων.

Σε αντίθεση με τα μοντέλα συνήθους παλινδρόμησης, οι μέθοδοι επιβίωσης ενσωματώνουν σωστά πληροφορίες και από τα δύο είδη δεδομένων λογοκριμένα και χωρίς λογοκρισίες προκειμένου να γίνει η εκτίμηση σημαντικών παραμέτρων του μοντέλου. Η εξαρτημένη μεταβλητή στην ανάλυση επιβίωσης αποτελείται από δύο μέρη: το ένα είναι ο χρόνος που πέρασε για την εκδήλωση ή όχι του γεγονότος και το άλλο είναι η κατάσταση του γεγονότος ή αλλιώς status, η οποία καταγράφει εάν συνέβη το γεγονός ενδιαφέροντος ή όχι. Στη συνέχεια εκτιμώνται δύο λειτουργίες που εξαρτώνται από το χρόνο, η λειτουργία επιβίωσης (survival function) και η λειτουργία κινδύνου (hazard function). Οι λειτουργίες επιβίωσης και κινδύνου είναι καθοριστικές έννοιες στην ανάλυση επιβίωσης για την περιγραφή της κατανομής των χρόνων εκδήλωσης του γεγονότος. Η λειτουργία επιβίωσης δίνει, για την συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, την πιθανότητα να επιβιώσουν (ή να μην βιώσουν το συμβάν) μέχρι εκείνη τη στιγμή. Η λειτουργία του κίνδυνου δίνει την πιθανότητα να συμβεί το συμβάν, ανά μονάδα χρόνου, δεδομένου ότι ένα άτομο έχει επιβιώσει μέχρι την καθορισμένη ώρα. Οι παραπάνω δύο συναρτήσεις αποτελούν συχνά το άμεσο ενδιαφέρον, πολλά άλλα μεγέθη ενδιαφέροντος όπως η μέση επιβίωση μπορούν έμμεσα να εκτιμηθούν στη συνέχεια εφόσον οι συναρτήσεις του κίνδυνου ή της επιβίωσης είναι ήδη γνωστές. Είναι γενικά ενδιαφέρον και ιδιαίτερα χρήσιμος σκοπός οι έρευνες επιβίωσης να περιγράφουν τη συσχέτιση μεταξύ ενός παράγοντα ενδιαφέροντος, για παράδειγμα εφαρμογή θεραπείας, και του χρόνου εκδήλωσης του συμβάντος, παράδειγμα σε αντιστοιχία η ανάκαμψη από μία ασθένεια, λαμβάνοντας υπόψιν και την παρουσία πολλών μεταβλητών- παραγόντων, όπως η ηλικία, το φύλο κ.α.

Μέσα από τη διερεύνηση της δομής της δικής μας βάσης δεδομένων είναι εύκολο να γίνει αντιληπτό ότι η ανάλυση επιβίωσης ή αλλιώς χρόνου ανάλυσης γεγονότος είναι κατάλληλή προσφέροντας πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη συσχετισμών μεταξύ των παραγόντων της βάσης. Αρχικά, βασικός στόχος είναι ανάπτυξη στατιστικά σημαντικών συσχετίσεων μεταξύ διαφόρων συνεχών και κατηγορηματικών μεταβλητών με την χρονική διάρκεια περιπλάνησης μέχρι την εύρεση θέση στάθμευσης. Η εξαρτημένη μας μεταβλητή είναι ο χρόνος συγκεκριμένα σε δευτερόλεπτα και το γεγονός ενδιαφέροντος είναι η εύρεση θέσης στάθμευσης που σταματά το χρόνο αυτό. Στην περίπτωση της παρούσας διερεύνησης οριθετούμε τη χρονική διάρκεια περιπλάνησης για εύρεση θέσης στάθμευσης στα 30 λεπτά. Τα δεδομένα για την εξαρτημένη μεταβλητή αλλά και για τους περισσοτέρους παράγοντες δεν είναι κανονικά κατανεμημένα γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι θα αναγκαστούμε να ακολουθήσουμε μαθηματικούς μετασχηματισμούς για να επιτύχουμε καλύτερα αποτελέσματα στις μετέπειτα προσπάθειες συσχετίσεων. Αντίστοιχα στα διαγράμματα διασποράς μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών ή του εξαρτημένου χρόνου και των ανεξάρτητων μεταβλητών εμφανίζεται μεγάλη απόκλιση από τη γραμμική συμπεριφορά συσχέτισης γεγονός που αποτέλεσε κύριο ορμητήριο απόφασης στο να γίνει εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης πέραν του μοντέλου της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Στη βάση δεδομένων υπήρχαν λογοκριμένες παρατηρήσεις που αφορούσαν ταξίδια που δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν όντως στάθμευσαν με επιτυχία ωστόσο, ήδη από τον αλγόριθμο παραγωγής των δεδομένων της βάσης των ταξιδιών αφαιρέθηκαν οι χρόνοι των ταξιδιών για τα οποία δεν μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα για τη στάθμευση τους. Για τον παραπάνω λόγο μπορέσαμε να κρατήσουμε στατιστικά στοιχεία γι' αυτά τα ταξίδια αλλά όχι χρόνους έτσι ώστε να μπορούν να ενταχθούν ως λογοκριμένα δεδομένα επομένως, η βάση δεδομένων για τους χρόνους στάθμευσης είναι απαλλαγμένη από τέτοιου είδους δεδομένα.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων και αρκετές προσεγγίσεις για να δημιουργηθούν ικανά μοντέλα συσχέτισης της πιθανότητας του χρόνο επιβίωσης από ένα συμβάν, στις μεθόδους αυτές ανήκουν οι μη παραμετρικές, παραμετρικές, ημι-παραμετρικές. Στις μη παραμετρικές μεθόδους ανήκει η συνάρτηση Kaplan-Meier, στις παραμετρικές μεθόδους η κατανομή πιθανοτήτων των επικείμενων τιμών του χρόνου επιβίωσης πρέπει να ακολουθούν και να προσομοιάζουν με τη κατανομή μέσω της σωστής εκτίμησης παραμέτρων για την προσαρμογή στην εκάστοτε κατανομή. Οι πλέον διαδεδομένες κατανομές είναι οι εκθετική (exponential), Weibull, λογαριθμοκανονική (lognormal) και γάμμα (Gamma) ή γενικευμένη γάμμα (gen Gamma). Τέλος μία ιδιαίτερη κατηγορία μοντέλων που βρίσκει πεδίο εφαρμογής στην ανάλυση επιβίωσης είναι τα μοντέλα ανάπτυξης δέντρων αποφάσεων ή συστάδας δέντρων αποφάσεων. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στο Διάγραμμα 3.3 :



Διάγραμμα 3.3 : Σχηματική διαγραμματική αναπαράσταση τομέων εφαρμογής Ανάλυσης Επιβίωσης

Η συνάρτηση επιβίωσης είναι η πιθανότητα ο χρόνος εκδήλωσης του συμβάντος να είναι αργότερος από κάποιο συγκεκριμένο χρόνο t .

$$S(t) = \Pr(T > t) \quad (1)$$

$S(t)$: Πιθανότητα μη εκδήλωσης του συμβάντος για τουλάχιστον χρονική διάρκεια t

Η συνάρτηση αυτή ορίζεται ως η συμπληρωματική της συνάρτησης επιβίωσης και συμβολίζεται ως $F(t)$:

$$F(t) = \Pr(T \leq t) = 1 - S(t) \quad (2)$$

Εφόσον η συνάρτηση F είναι παραγωγίσιμη ορίζεται η πρώτη παραγωγός της f η οποία ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας συμβάντων event density function και δίνει εποπτικά την εικόνα για τον αριθμό των συμβάντων στη μονάδα του χρόνου:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) \quad (3)$$

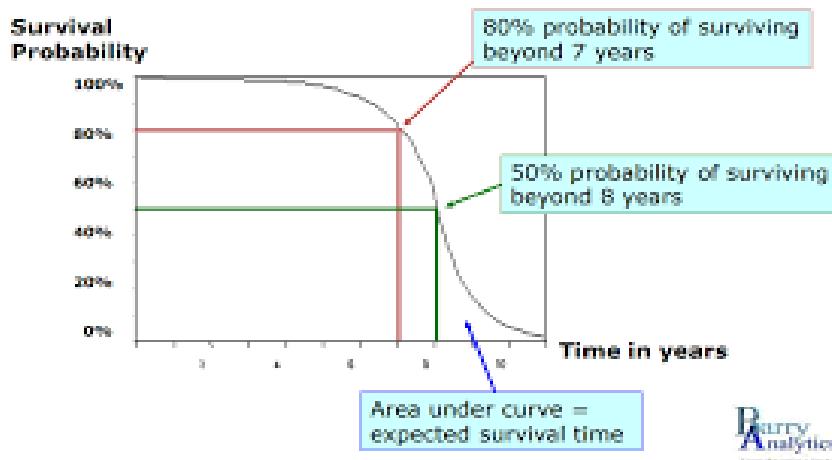
Τέλος η έκφραση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για τη συνάρτηση επιβίωση γίνεται και μέσω της ολοκλήρωσης της συνάρτησης πυκνότητας συμβάντων:

$$S(t) = \Pr(T > t) = \int_t^{\infty} f(u)du = 1 - F(t) \quad (4)$$

Σε διπλή αντιστοιχία λοιπόν η συνάρτηση πυκνότητας συμβάντων εκφράζεται μέσω της συνάρτησης επιβίωσης :

$$s(t) = S'(t) = \frac{d}{dt}S(t) = \frac{d}{dt}\int_t^{\infty} f(u)du = \frac{d}{dt}[1 - F(t)] = -f(t) \quad (5)$$

Στο Διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται ενδεικτικά μία καμπύλη επιβίωσης και η βασική της ερμηνεία που θα χρειαστεί και στην εφαρμογή της στα δικά μας δεδομένα.



Διάγραμμα 3.4 : Διάγραμμα καμπύλης πιθανότητας επιβίωσης (Πηγή : altisconsulting .com)

3.3.1 Μεγέθη που προκύπτουν από την κατανομή της συνάρτησης επιβίωσης

Ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη που υπολογίζονται εμμέσως από τη συνάρτηση επιβίωσης είναι η διαθέσιμη εναπομένουσα χρονική διάρκεια πριν την εκδήλωση συμβάντος μετά από μια καθορισμένη χρονική στιγμή t_0 . Σε κλινικές έρευνες μπορεί να αποτελεί χρόνο ζωής ή χρόνο ανάκαμψης από ασθένεια, σε προβλήματα μηχανικής αξιοπιστίας μπορεί να αποτελεί τρόπο εκτίμησης χρόνου αντικατάστασης εξαρτημάτων ενώ για ένα θέμα στάθμευσης τον εκτιμώμενο χρόνο για να σταθμεύσει αν επιθυμεί να δαπανήσει αυτόν τον χρόνο πέραν του προκαθορισμένου του χρονικού ορίου t_0 .

$$P(T \leq t_0 + t | T > t_0) = \frac{P(t_0 < T \leq t_0 + t)}{P(T > t_0)} = \frac{F(t-t_0) - F(t_0)}{S(t_0)} \quad (6)$$

Η πιθανότητα για μελλοντική επιβίωση- μη εκδήλωση συμβάντος πέραν της χρονικής στιγμής t_0 :

$$\frac{d}{dt} \frac{F(t_0+t)-F(t_0)}{S(t_0)} = \frac{f(t_0+t)}{S(t_0)} \quad (7)$$

Εκτιμώμενος χρόνος μέχρι την εκδήλωση συμβάντος είναι:

$$\frac{1}{S(t_0)} \int_{t_0}^{\infty} t f(t_0 + t) dt = \frac{1}{S(t_0)} \int_{t_0}^{\infty} S(t) dt \quad (8)$$

3.3.2 Συνάρτηση Κινδύνου και Αθροιστική Συνάρτηση Κινδύνου

Η συνάρτηση κινδύνου υπολογίζει την πιθανότητα να εκδηλωθεί το γεγονός σε συγκεκριμένη μονάδα του χρόνου. Στην περίπτωση της περιμετρικής περιπλάνησης με στόχο την στάθμευση αποτελεί την ζητούμενη πιθανότητά να βρεθεί θέση στάθμευσης σε συγκεκριμένη μονάδα χρόνους στο πρώτο λεπτό, στο δεύτερο λεπτό της περιπλάνησης του οδηγού κ.ο.κ. Πιο συγκεκριμένα σε όρους επιβίωσης θέλουμε να υπολογίσουμε για μία παρατήρηση όπου δεν εκδηλώθηκε το γεγονός για μία χρονική διάρκεια t την πιθανότητα να εκδηλωθεί άμεσα το γεγονός σε επόμενη χρονική διάρκεια dt . Η συνάρτηση κινδύνου συμβολίζεται συνήθως με λ :

$$\lambda(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\Pr(t \leq T < t+dt)}{dt * S(t)} = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{S'(t)}{S(t)} \quad (9)$$

Βασικές ιδιότητες που πρέπει πάντα να ικανοποιεί μια συνάρτηση κινδύνου είναι:

$$\forall x \geq 0, (h(x) > 0) \quad (10)$$

&

$$\int_0^{\infty} h(x) dx = \infty \quad (11)$$

Στην πραγματικότητα, ο βαθμός κινδύνου είναι συνήθως πιο ενημερωτικός σχετικά με τον μηχανισμό εκδήλωσης του γεγονότος από τις συναρτήσεις που βασίζονται σε κατανομές του χρόνου επιβίωσης δηλαδή του χρόνου που συνεχίζει να μην διαδραματίζεται ένα συμβάν για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να υπολογίζεται. Συνοψίζοντας τις παραπάνω συνθήκες είναι εμφανές ότι πρόκειται για μία μη αρνητική συνάρτηση οπού το ολοκλήρωμά της απειρίζεται ωστόσο δεν έχει κάποιον άλλο περιορισμό μπορεί να είναι αύξουσα ή φθίνουσα, μη μονότονη, συνεχής ή όχι.

Πολλές φορές είναι σημαντικό να υπολογιστεί για καλύτερη εποπτεία της έννοιας των αποτελεσμάτων η αθροιστική συνάρτηση κινδύνου ώστε να βρεθεί η πιθανότητα εκδήλωσης του συμβάντος μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος και όχι μόνο στη μονάδα του χρόνου. Επομένως η αθροιστική συνάρτηση κινδύνου συμβολίζεται με $\Lambda(t)$ και προκύπτει:

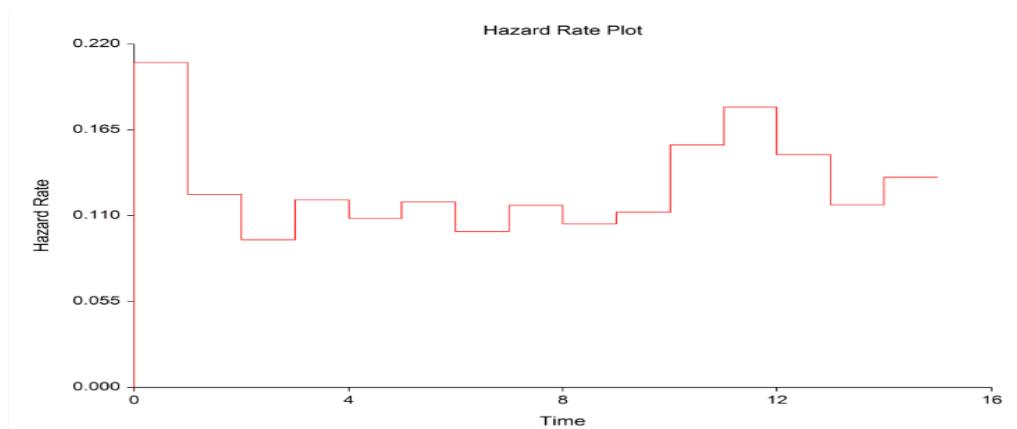
$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(u)du \quad (12)$$

Εξορισμού η $\Lambda(t)$ αυξάνει απειρίζοντας καθώς η $S(t)$ τείνει το μηδέν.

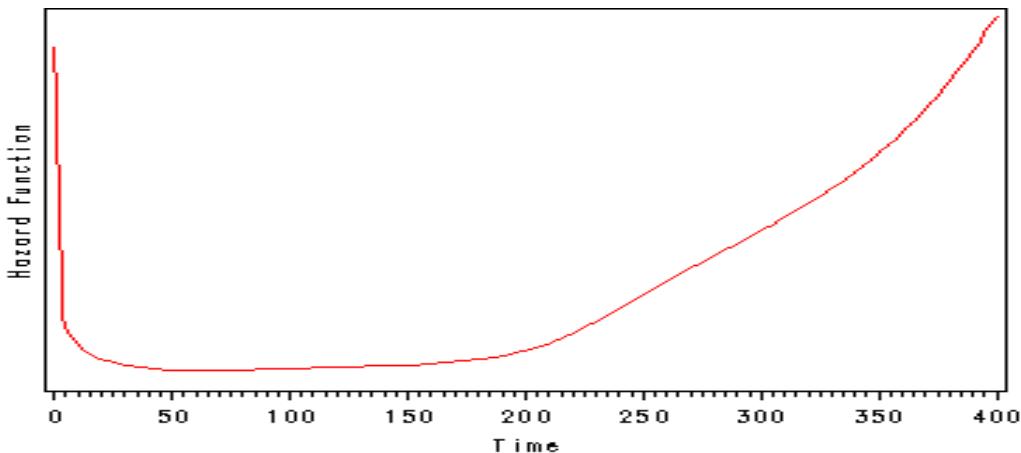
Η σύνδεση σε ολοκληρωμένη παρουσίαση μεταξύ των βασικών συναρτήσεων που αποτελούν την βάση της ανάλυσης επιβίωσης δηλαδή της συνάρτησης επιβίωσης $S(t)$, της αθροιστικές συνάρτησης κίνδυνου $\Lambda(t)$ και της συνάρτησης πυκνότητας $F(t)$ είναι:

$$S(t) = \exp[-\Lambda(t)] = 1 - F(t), t > 0 \quad (13)$$

Στο Διάγραμμα 3.5 απεικονίζεται χαρακτηριστικά η συνάρτηση κινδύνου στην ανάλυση επιβίωσης και στο Διάγραμμα 3.6 δίνεται παράδειγμα της αθροιστικής συνάρτησης κινδύνου.



Διάγραμμα 3.5 : Συνάρτηση Κινδύνου Ανάλυσης Επιβίωσης (Πηγή : idre.stats-UCLA.com)



Διάγραμμα 3. 6 : Αθροιστική Συνάρτηση Κινδύνου Ανάλυσης Επιβίωσης(Πηγή : idre.stats-UCLA.com)

3.3.3 Μέθοδος Kaplan – Meier

Μία σημαντική και διαδεδομένη μη παραμετρική μέθοδός που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και δημιουργία του γραφήματος των πιθανοτήτων επιβίωσης ως συνάρτηση του χρόνου είναι η μέθοδος Kaplan – Meier. Η μέθοδος χρησιμοποιείται και για τον υπολογισμό μέτρων σχετικής θέσης αλλά και άλλων μέτρων περιγραφικής στατιστικής όπως τον υπολογισμό του μέσου για βάσεις δεδομένων που πληρούν τις προδιαγραφές των δεδομένων επιβίωσης. Επίσης προσφέρει σαν μέθοδος τη δυνατότητα της συγκριτικής παρουσίασης και αντιπαραβολής των καμπύλων επιβίωσης για διαφορετικές κατηγορίες μίας κατηγορηματικής μεταβλητής όπως για παράδειγμα τις καμπύλες επιβίωσης ως αναφορά το χρόνο μη εκδήλωσης του γεγονότος της εύρεσης θέσης στάθμευσης για ταξίδια που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε μια από τις επτά διαφορετικές μέρες της εβδομάδας. Μετέπειτα δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της βαρύτητας των διαφορών των πιθανοτήτων επιβίωσης μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών μεταβλητών της ίδιας ομάδας όπως, μεταξύ αντρών και γυναικών ενός πληθυσμού δείγματος κλινικής διερεύνησης ή ατόμων που υπεβλήθησαν σε μία θεραπεία ή όχι στο δείγμα μιας κλινικής διερεύνησης, προκειμένου να διαπιστωθεί αν η διαφορά στο χρόνο επιβίωσης τους είναι σημαντική, μία μέθοδος ελέγχου είναι το log-rank test.

Σημαντικό βήμα για την εκτίμηση της συνάρτησης επιβίωσης είναι η δημιουργία του πίνακα ζωής ή lifetime table. Ο πίνακας αυτός συνοψίζει τα δεδομένα που φέρουν την αντίστοιχη δομή και τα αναδιατάσσει με τρόπο ώστε να παρουσιάζονται οι χρονικές διάρκειες επιβίωσης των παρατηρήσεων καθώς και η εκδήλωση η όχι του γεγονότος ενδιαφέροντος σε αντίστοιχα διακεκριμένα χρονικά διαστήματα. Ο Πίνακας 3.2 που ακολουθεί αποτελεί παράδειγμα πίνακα ζωής.

Πίνακας 3. 2 : Πίνακας ζωής για την Ανάλυση Επιβίωσης (Πηγή : Miller 1997)

time	n.risk	n.event	survival	std.err	lower 95% CI	upper 95% CI
5	23	2	0.913	0.0588	0.8049	1
8	21	2	0.8261	0.079	0.6848	0.996
9	19	1	0.7826	0.086	0.631	0.971
12	18	1	0.7391	0.0916	0.5798	0.942
13	17	1	0.6957	0.0959	0.5309	0.912
18	14	1	0.646	0.1011	0.4753	0.878
23	13	2	0.5466	0.1073	0.3721	0.803
27	11	1	0.4969	0.1084	0.324	0.762
30	9	1	0.4417	0.1095	0.2717	0.718
31	8	1	0.3865	0.1089	0.2225	0.671
33	7	1	0.3313	0.1064	0.1765	0.622
34	6	1	0.2761	0.102	0.1338	0.569
43	5	1	0.2208	0.0954	0.0947	0.515
45	4	1	0.1656	0.086	0.0598	0.458
48	2	1	0.0828	0.0727	0.0148	0.462

Life table for the aml data



Η παραπάνω εικόνα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του πίνακα και της αναδιάταξης δεδομένων χρόνου εκδήλωσης συμβάντος παρουσιάζοντας τον αριθμό των γεγονότων που πραγματοποιήθηκαν και της αναλογίας επιβίωσης ανά χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα η στήλη του χρόνου / (time) δίνει τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες πραγματοποιούνται ή εκδηλώνονται τουλάχιστον ένα ή και παραπάνω γεγονότα, ο αριθμός παρατηρήσεων σε ρύσκο / n.risk είναι ο αριθμός των ατόμων που κινδυνεύουν αμέσως πριν από το χρονικό σημείο t. Η ύπαρξη "κινδύνου" σημαίνει ότι στα άτομα αυτά δεν έχει συμβεί το γεγονός πριν από το χρόνο t επομένως επιβιώνουν σ αυτήν την χρονική βαθμίδα και βρίσκονται σε κίνδυνο να τους συμβεί το γεγονός στη μετέπειτα χρονική εξέλιξη. Ο αριθμός γεγονότων / n. events είναι ο αριθμός των γεγονότων που πραγματοποιήθηκαν σε εκείνο το χρονικό διάστημα ενώ η στήλης της επιβίωσης / survival εκφράζει την αναλογία του ρυθμού επιβίωσης μέχρι εκείνο το χρονικό διάστημα όπως αυτή υπολογίζεται μέσω του Kaplan- Meier.

Η συνάρτηση επιβίωσης εκτιμώμενη από τη μέθοδο Kaplan-Meier είναι:

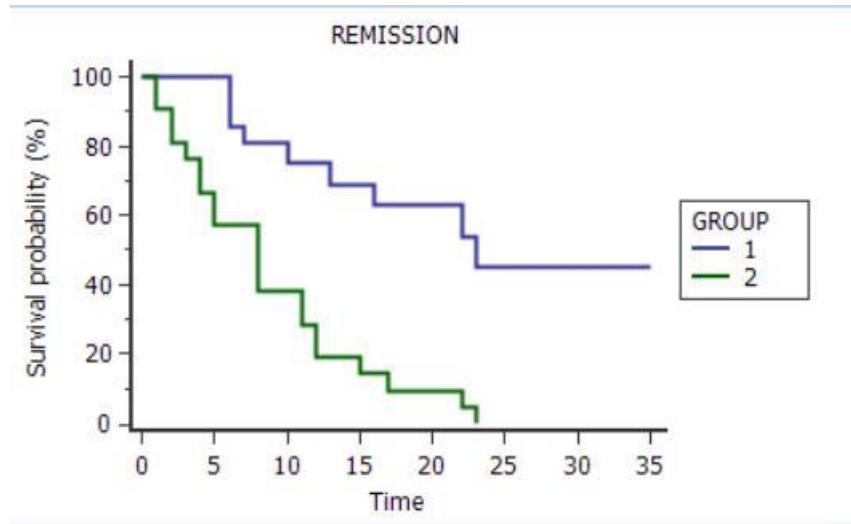
$$S(t) = \prod_{i:t_i \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right) \quad (14)$$

Όπου : t_i χρινική βαθμίδα όπου έχει πραγματοποιηθεί ένα τουλάχιστον γεγονός

d_i Ο αριθμός των γεγονότων που εκδηλώθηκαν κατά τη χρονική στιγμή

n_i Ο αριθμός των ατόμων που επιβίωσαν μεχρι και τη χρονική βαθμίδα t_i

Στη συνέχεια στο Διάγραμμα 3.7 δίνονται οι διαφοροποιημένες καμπύλες επιβίωσης Kaplan-Meier για δύο διαφορετικές κατηγορίες μίας κατηγορηματικής μεταβλητής.



Διάγραμμα 3. 7 : Καμπύλες επιβίωσης Kaplan-Meier(Πηγή : [datacamp.com](https://www.datacamp.com))

Ένα σημαντικό θέμα για την αξιοποίηση της συγκριτικής παρουσίασης της καμπύλης επιβίωσής για επιμέρους κατηγορίες επιμέρους χαρακτηριστικών είναι η αξιολόγηση της σημαντικότητας της διαφοράς στο βαθμό επιβίωσης που παρουσιάζουν. Η διαφορά αυτή για ένα διάστημα εμπιστοσύνης της τάξης του 5% πρέπει να είναι στατιστικά σημαντική έτσι ώστε να μπορεί να επιβεβαιωθεί η διαφορά στην αναλογία του βαθμού επιβίωσης των δυο υποομάδων και να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για τα αίτια αυτής της διαφοράς. Ο διαδεδομένος έλεγχος για την πραγματοποίηση αυτής της διαπίστωσης είναι η εφαρμογή του log-rank test.

Η δοκιμή log-rank συγκρίνει τους χρόνους επιβίωσης δύο ή περισσοτέρων ομάδων. Η μηδενική υπόθεση για τη δοκιμή Log-rank είναι ότι οι επιμέρους υποομάδες έχουν την ίδια καμπύλη επιβίωσης. Γίνεται έλεγχος αν οι παρατηρήσεις στα γεγονότα που έχουν εκδηλωθεί σε κάθε κατηγορία διαφέρει σημαντικά από τον αναμενόμενο αριθμό γεγονότων. Όσο περισσότερο διαφέρει η τάξη του λογαρίθμου (log-rank) τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της αναλογίας στην πιθανότητα επιβίωσης για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα των επιμέρους υποομάδων ωστόσο, για να χαρακτηριστεί αυτή η διαφορά στατιστικά σημαντική και να ληφθεί υπόψιν θα πρέπει το p-value, ο υπολογισμός του οποίου βασίζεται στην chi-square κατανομή, να είναι μικρότερο από το ορισμένο διάστημα εμπιστοσύνης.

3.3.4 Πρότυπο Αναλογικού Κινδύνου – Cox PH

Τα πρότυπα αναλογικού κινδύνου αποτελούν μοντέλα που αναπτύσσονται στα πλαίσια της ανάλυσης επιβίωσης και τις περισσότερες φορές αποτελούν ημιπαραμετρικές μεθόδους. Τα μοντέλα αυτά σχετίζονται με τον χρόνο που περνά πριν την εκδήλωση ενός γεγονότος και την επίδραση που έχουν σε αυτό διάφοροι παράγοντες δηλαδή διαφορετικές ανεξάρτητες μεταβλητές κατηγορηματικές ή συνεχείς, εξαρτώμενες από το χρόνο ή όχι. Σε ένα μοντέλο αναλογικού κινδύνου η αύξηση κατά μια μονάδα μίας ανεξάρτητης μεταβλητής έχει πολλαπλασιαστική επίδραση στον κίνδυνο εκδήλωσης του γεγονότος ανάλυσης. Για παράδειγμα η λήψη ενός φάρμακου μπορεί να μειώσει στο μισό τον κίνδυνο εμφάνισης του γεγονότος που στο ιατρικό πεδίο θα μπορούσε να είναι η επιδείνωση μιας ασθένειας.

Τα πρότυπά που ανήκουν στην ανάλυση επιβίωσης αποτελούνται συνήθως από δύο μέρη: το πρώτο ονομάζεται βασική συνάρτηση κινδύνου (baseline hazard function) που συμβολίζεται ως $\lambda_0(t)$ και περιγράφει την πιθανότητα κινδύνου ανά μονάδα χρόνου για τα βασικά επίπεδα τιμών των μεταβλητών, το δεύτερο μέρος αποτελείται από μεθόδους που υπολογίζουν την μεταβολή του κινδύνου σε απάντηση της μεταβολής των παραγόντων που ενδέχεται να επηρεάζουν τον κίνδυνο αυτό. Η έννοια του αναλογικού κινδύνου στην ουσία περιγράφει ότι η μεταβολή στις ανεξάρτητες μεταβλητές δίνει αναλογική μεταβολή στην αύξηση ή μείωση του κινδύνου εκδήλωσης του γεγονότος ωστόσο στον υπολογισμό της πιθανότητας επιβίωσης στην πάροδο του χρόνου δεν επιδρούν μόνο οι μεταβολές των ανεξαρτήτων μεταβλητών αλλά και η μορφή της βασικής συνάρτησης κινδύνου $\lambda_0(t)$. Ο Sir David Cox παρατήρησε ότι αν ισχύει η αναλογικότητα μεταβολής των μεταβλητών και του βαθμού κινδύνου μπορούμε εν τέλει να εκτιμήσουμε την βαρύτητα επίδρασης των μεταβλητών στην επιβίωση χωρίς να λάβουμε υπόψιν μας την συνάρτηση $\lambda_0(t)$ και αυτό ακριβώς ονομάστηκε μοντέλο αναλογικού κινδύνου του Cox.

Η συνάρτηση του αναλογικού μοντέλου του Cox έχει την παρακάτω μορφή

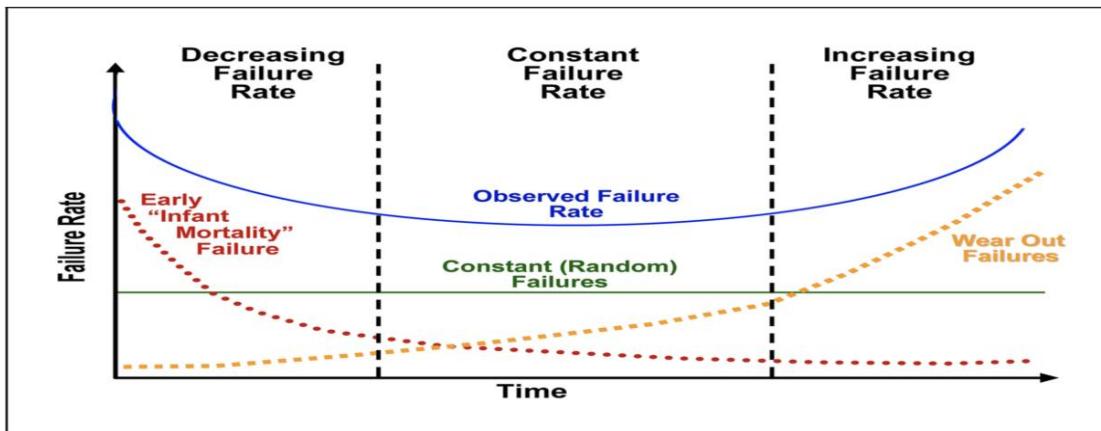
$$\lambda(t|X_i) = \lambda_0(t)e^{b_1X_{i1} + \dots + b_pX_{ip}} \quad (15)$$

Όπου για κάθε παρατήρηση i της βάσης δεδομένων X_1 έως X_p αποτελούν τις πιθανές ανεξάρτητες μεταβλητές.

3.3.5 Πρότυπο Επιτάχυνσης Χρόνου Έκβασης Γεγονότος - AFT

Μία εναλλακτική προσέγγιση για την ανάπτυξη προτύπου πέραν των προτύπων αναλογικού κινδύνου είναι η ανάπτυξη των Accelerated Time Failure Models, αποτελούν παραμετρικά μοντέλα με ανάπτυξη γραμμικών συσχετίσεων. Η κύρια διαφορά μεταξύ των μοντέλων αναλογικού κινδύνου και των AFT μοντέλων αποτελεί

η επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών η οποία, στα PH πρότυπα δρα πολλαπλασιαστικά στον κίνδυνο εκδήλωσης του γεγονότος ενώ στα AFT πρότυπα αφορά και επηρεάζει άμεσα το χρονική διάρκεια μέχρι την εκδήλωση του γεγονότος ή πιο συγκεκριμένα η επίδραση των ανεξάρτητων παραγόντων επιταχύνουν ή επιβραδύνουν με σταθερό ρυθμό την χρονική διάρκεια μέχρι την έκβαση του γεγονότος. Στο Διάγραμμα 3.8 δίνονται οι χαρακτηριστικές περιοχές που περιγράφονται σε μία συνάρτηση κινδύνου που αφορά ένα AFT πρότυπο. Οι περιοχές στις αρχικές χρονικές βαθμίδες με την πιο απότομη αρνητική κλίση δείχνουν ότι επιβραδύνεται ο χρόνος εμφάνισης του συμβάντος σε σχέση με το συνήθη ενώ, οι περιοχές των υψηλών χρόνων εμφάνισης του συμβάντος με την αυξανόμενη θετική κλίση δείχνουν ότι επιταχύνεται ο χρόνος έκβασης των επομένων συμβάντων σε σχέση με τον συνήθη ρυθμό.



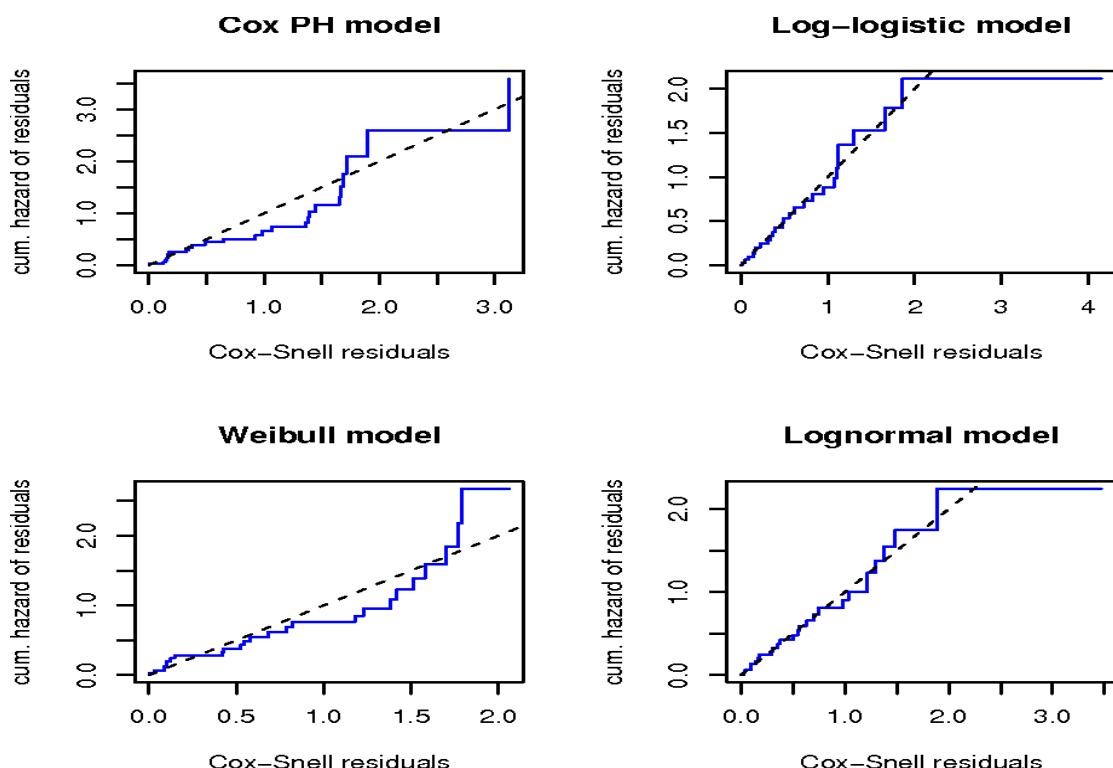
Διάγραμμα 3. 8 : Καμπύλη επιτάχυνσης - επιβράδυνσης χρόνου για ένα πρότυπο AFT (Πηγή : towardsdatascience.com)

Ένα AFT μοντέλο δίνεται σε πολλές μορφές είτε με την ενσωμάτωση της έννοιας της βασικής συνάρτησης κινδύνου που αποτελεί και ημιπαραμετρική μορφή του μοντέλου ωστόσο στην γραμμική πλήρως παραμετρική μορφή του μοντέλο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\log(T_i) = m + b_1 x_1 + \dots + b_p x_p + \sigma \varepsilon_i \quad (16)$$

Ο λογάριθμος της χρονικής διάρκειάς επιβίωσης αποτελεί χρήσιμο βασικό μετασχηματισμό και αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή. Τα x_1 έως x_p είναι οι επεξηγηματικές ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου και οι b_1 έως b_p οι εκτιμώμενοι συντελεστές για κάθε παράγοντα αντίστοιχα. Το ε_i αποτελεί την υπολειπόμενη μη προσδιορισμένη διακύμανση στους λογαριθμικά μετασχηματισμένους χρόνους επιβίωσης και αποτελεί την απόκλιση των τιμών του χρόνου επιβίωσης από το

γραμμικό μέρος του μοντέλου, το ε_i ακολουθεί μία συγκεκριμένη κατανομή. Στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των μερών του μοντέλου έχουμε το m που αποτελεί το σταθερό όρο και το σ που αποτελεί την παράμετρο κλίμακας. Το αρχικό βήμα για την προσαρμογή του μοντέλου αποτελεί η επιλεγόμενη κατανομή που ακολουθεί το ε_i , για κάθε διαφορετική κατανομή που ακολουθεί το ε_i αντίστοιχα ο λογάριθμός των χρόνων επιβίωσης ακολουθεί μία συμβατή αντίστοιχη κατανομή. Για παράδειγμα αν το ε_i ακολουθεί την κανονική κατανομή το $\log(T_i)$ ακολουθεί την λογαριθμοκανονική κατανομή. Στο Διάγραμμα 3.9 δίνεται η συγκριτική παρουσίαση της γραφικής κατανομής των υπολοίπων cox-snell residuals για ένα Cox PH πρότυπο και για AFT πρότυπα που βασίζονται σε διαφορετικές κατανομές.



Διάγραμμα 3.9 : Συγκριτική παρουσίαση των διαγραμμάτων εμφάνισης υπολοίπων για ένα πρότυπο Cox και πρότυπα AFT διαφορετικών κατανομών (Πηγή : [datacamp.com](https://www.datacamp.com))

Πιο συγκεκριμένα η δομή του μοντέλου αρθρώνεται ως εξής:

Συνάρτηση επιβίωσης

$$S(t) = P(T \geq t) \quad (17)$$

$$S(t) = P(\log(T) \geq \log(t)) \quad (18)$$

$$S(t) = P(m + b_1 x_1 + \dots + b_p x_p + \sigma \varepsilon_i \geq \log(t)) \quad (19)$$

$$S(t) = P\left(\varepsilon_i \geq \frac{\log(t) - m - b_1 x_1 - \dots - b_p x_p}{\sigma}\right) \quad (20)$$

$$S(t) = S_{\varepsilon_i} \left(\frac{\log(t) - m - b_1 x_1 - \cdots - b_p x_p}{\sigma} \right) \quad (21)$$

$$S_i(t) = S_{\varepsilon_i}(t) \quad (22)$$

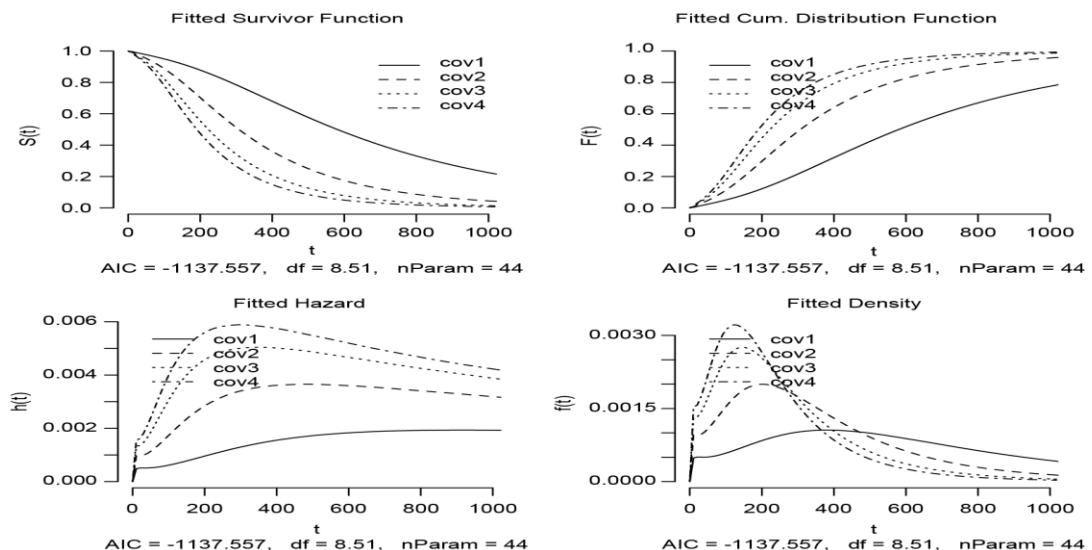
Αθροιστική Συνάρτηση κινδύνου

$$H_i(t) = -\log(S_i(t)) \quad (23)$$

$$H_i(t) = -\log(S_{\varepsilon_i}(t)) \quad (24)$$

$$H_i(t) = H_{\varepsilon_i}(t) \quad (25)$$

Ο επιμέρους υπολογισμός των συναρτήσεων επιβίωσης και αθροιστικού κινδύνου των υπολειπόμενων σφαλμάτων $S_{\varepsilon_i}(t)$ και $H_{\varepsilon_i}(t)$ αντίστοιχα γίνεται με βάση τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της επιλεγμένης κατανομής του σφάλματος ε_i και οδηγεί στον πλήρη προσδιορισμό του ενός AFT προτύπου. Ακολουθεί η συνολική παράθεση όλων των συναρτήσεων που αφορούν την ανάλυση επιβίωσης για ένα AFT πρότυπο ενώ παρατίθενται και οι καμπύλες των πραγματικών δεδομένων για να φαίνεται η γραφική προσαρμογή (Διάγραμμα 3.10).



Διάγραμμα 3. 10 : Προσαρμογή προτύπου AFT σε μία κατανομή / συναρτήσεις επιβίωσης , κινδύνου , αθροιστικού κινδύνου , πυκνότητας (Πηγή : sciedirect.com)

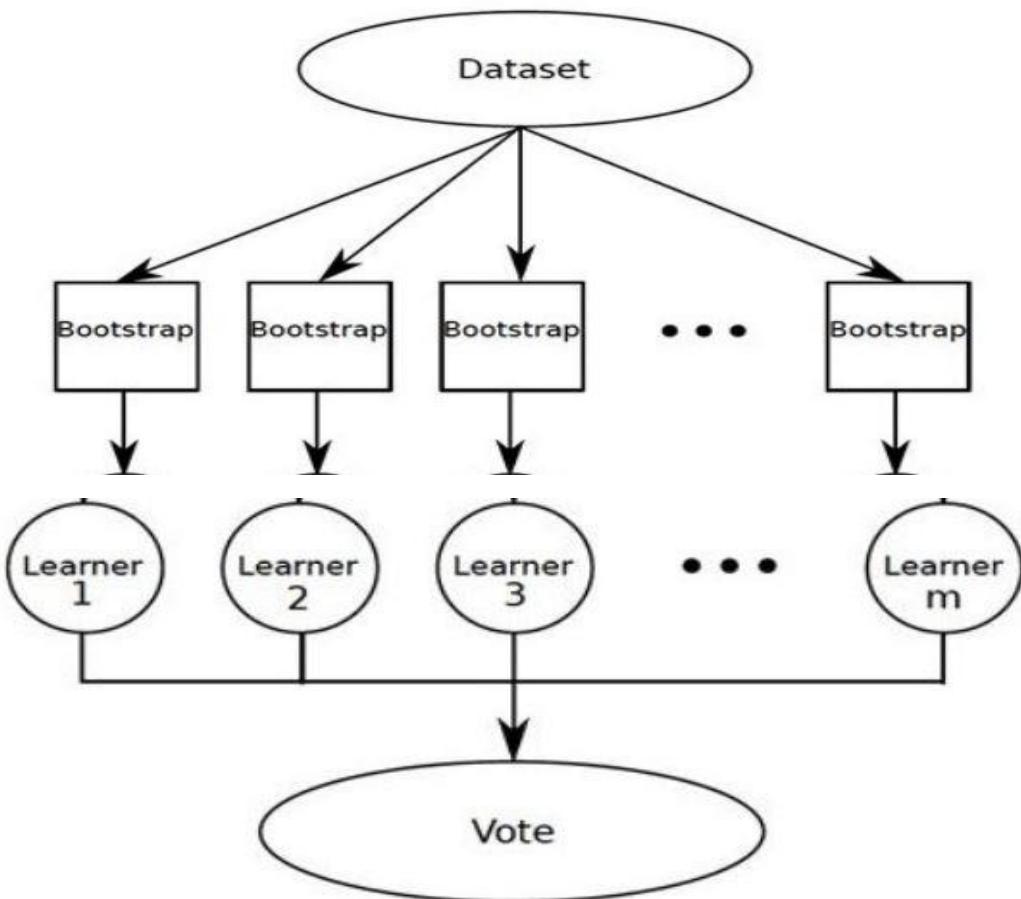
3.3.6 Πρότυπο Συστάδας Δέντρων Απόφασης

Το Πρότυπο Συστάδας Δέντρων Απόφασης (Random Forest -RF) είναι ένας ευέλικτος και εύχρηστος τρόπος να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης ο οποίος παράγει εξαιρετικά αποτελέσματα τις περισσότερες φορές με τον ελάχιστο δυνατό χρόνο να δαπανάται για την ρύθμιση υπερ-παραμέτρων. Έχει κερδίσει τη δημοτικότητα λόγω της απλότητας του και του γεγονότος ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για πρόβλεψη αποτελεσμάτων κατηγορηματικών μεταβλητών όσο και για παλινδρόμηση με τη χρήση συνεχών μεταβλητών. Το τυχαίο δάσος είναι μια τεχνική μηχανικής μάθησης που ανήκει στις κατηγορίες συμψηφισμού, χρησιμοποιεί πολλαπλά δέντρα αποφάσεων και μια στατιστική τεχνική που ονομάζεται bagging. Το bagging μαζί με την τεχνική της ενίσχυσης (boosting) είναι δύο από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές του συμψηφισμού που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση της μεγάλης διακύμανσης και της υψηλής προκατάληψης. Ένα πρότυπο τυχαίου δάσους αντί να υπολογίζει κατά μέσο όρο την πρόβλεψη των δένδρων χρησιμοποιεί δύο βασικές έννοιες που του δίνουν την ιδιότητα της αντικειμενικότητας :

1. Τυχαία υποσύνολα του μέρους της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του μοντέλου
2. Τυχαία υποσύνολα χαρακτηριστικών για κόμβους διαίρεσης των επιμέρους δέντρων απόφασης

Με άλλα λόγια, το τυχαίο δάσος δημιουργεί πολλαπλά δέντρα αποφάσεων και συγχωνεύει τις προβλέψεις τους μαζί για να πάρει μια πιο ακριβή και σταθερή πρόβλεψη αντί να στηριχθεί σε ατομικά δέντρα αποφάσεων.

Βασικό βήμα για την ανάπτυξη του προτύπου είναι η τεχνική bootstrapping ή αλλιώς αναδιάταξη του δείγματος. Διαφορετικές σειρές της βάσης δεδομένων αναδιατάσσονται σε διαφορετική αρίθμηση ξανά και ξανά πριν το δείγμα χωριστεί σε 2/3 για την προσαρμογή του προτύπου και 1/3 για τον έλεγχο των προβλέψεων του προτύπου. Στη συνέχεια το συνεχώς αναπροσαρμοζόμενο δείγμα χωρίζεται σε τυχαία υποσύνολα όσα είναι και τα δέντρα που θέλουμε να δημιουργήσουμε. Κάθε δέντρο σε ένα τυχαίο δάσος μαθαίνει από ένα τυχαίο δείγμα των παρατηρήσεων της βάσης δεδομένων διαφορετικό σε κάθε εφαρμογή ανάπτυξης το προτύπου. Η ιδέα είναι ότι με την δημιουργία κάθε δέντρου από διαφορετικά αναδιατεταγμένα υποσύνολα της βάσης δεδομένων έτσι κάθε δέντρο ξεχωριστά μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση συνολικά όμως, το σύνολο του δάσους θα έχει μικρότερη διακύμανση, αλλά όχι με τον κίνδυνο της αύξηση της μεροληψίας. Συμπερασματικά με την δημιουργία πολλών όχι τόσο καλών δέντρων πρόβλεψης μετά τον συμψηφισμό των αποτελεσμάτων δίνεται ένας πολύ καλύτερος μηχανισμός πρόβλεψης. Ακολουθεί η σχηματική απεικόνιση όλης της επεξεργασίας των δεδομένων ώστε να δημιουργηθούν τα κατάλληλα υποσύνολα στα οποία θα εκπαιδευτεί κάθε δέντρο. Στην Εικόνα 3.2 που ακολουθεί δίνεται σχηματικά η δομή και η έννοια συμψηφισμού των προβλέψεων ομάδας δέντρων που αποτελεί τη χαρακτηριστική δομική διαφοροποίηση αυτού του προτύπου.



Εικόνα 3. 2 : Τρόπος λειτουργίας προτύπου τυχαίας συστάδας δέντρων απόφασης (Πηγή : towardsdatascience.com)

Το επόμενο στοιχείο που αφορά την τεχνική ανάπτυξης αυτού του προτύπου είναι η χρήση υποσυνόλου των παρόντων του μοντέλου σε κάθε δέντρο με τυχαία εναλλαγή ,δηλαδή το κάθε δέντρο χρησιμοποιεί ως κομβικές μεταβλητές διαχωρισμού αποφάσεων διαφορετικές μεταβλητές από το σύνολο των μεταβλητών που έχει τοποθετηθεί στο μοντέλο. Οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε δέντρο επιλέγονται στην τύχη. Αυτό είναι σημαντικό, έτσι ώστε η διακύμανση να είναι κατά όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Εάν το σύνολο δεδομένων περιέχει μερικούς ισχυρούς προγνωστικούς παράγοντες αυτοί οι προγνωστικοί δείκτες θα επιλέγονται συνέχεια ξανά και ξανά στα κορυφαία επίπεδα των δέντρων της συστάδας, έτσι θα έχουμε πολύ παρόμοια δομημένα δέντρα. Με άλλα λόγια, τα δένδρα θα συσχετίζονταν σε μεγάλο βαθμό δίνοντας μεγάλη προκατάληψη αποτελεσμάτων. Κάθε μεμονωμένο δέντρο φέρνει τις δικές του πηγές πληροφοριών στο πρόβλημα καθώς απαρτίζεται από διαφορετικό υποσύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών της και έχει εκπαιδευτεί από δεδομένα διαφορετικού υποσυνόλου της βάσης. Αν χτίσαμε μόνο ένα δέντρο θα είχαμε το αποτέλεσμα της πρόβλεψης βασιζόμενο μόνο σε μία οπτική συμπερασμάτων από τη βάση δεδομένων, αλλά συνδυάζοντας τις προβλέψεις πολλών δέντρων μαζί, οι τελικές πληροφορίες προβλέψεων θα ήταν πολύ πιο διευρυμένες και έγκυρες. Αν αντίθετα, κάθε δέντρο χρησιμοποιήσει το ίδιο σύνολο δεδομένων θα επηρεαστεί σε

μεγάλο βαθμό με τον ίδιο τρόπο εξαιτίας της δομής ή της ιδιαιτερότητας που εμφανίζει η βάση δεδομένων όπως μια ανωμαλία ή μια μεγάλης απόκλισης ακραία τιμή.

Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου πρότυπου είναι πολλά. Μειώνεται ο κίνδυνος υπερπροσαρμογής του μοντέλου, έχει ως εξαγώγιμο αποτέλεσμα τη σχετική σημαντικότητα κάθε παράγοντα πρόβλεψης που έχει χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο, δεν απαιτεί μαθηματικούς μετασχηματισμούς εξομάλυνσης των δεδομένων όπως ο λογάριθμός των τιμών της βάσης, δεν απαιτεί η βάση δεδομένων να εκπληρώνει συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως να είναι κανονικά κατανεμημένα, να συσχετίζονται γραμμικά μεταξύ τους ή να μην παρουσιάζουν ανωμαλίες ή ακραία σημεία. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για συνεχείς και για κατηγορηματικές μεταβλητές ενώ έχει ένα εσωτερικό μηχανισμό αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του το OOB score (out of bag score).

Παρόλη τη δυναμική και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σαν μέθοδος προτύπου έχει και ελαττώματα που το καθιστούν δεύτερη επιλογή. Είναι πιο πολύπλοκο και υπολογιστικά ακριβό από τον απλό αλγόριθμο δέντρων αποφάσεων. Γεγονός που καθιστά το πρότυπο αυτό αργό και αναποτελεσματικό για προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο, καθώς μια ακριβέστερη πρόβλεψη απαιτεί περισσότερα δέντρα. Τέλος όπως και άλλες μέθοδοι προτύπων συμψηφισμού δεν παρέχουν εύκολα και έκδηλα αποτελέσματα ερμηνείας των συσχετισμών που αναπτύσσουν όπως είναι οι συντελεστές στα μοντέλα κλασσικών παλινδρομήσεων.

3.4 Περιβάλλον Στατιστικής Επεξεργασίας και Ανάπτυξης Προτύπων

Για την καλύτερη δυνατή παραμετροποίηση του μοντέλου το λογισμικό ανοικτού κώδικα της R προσφέρει αρκετά πακέτα εντολών που δημιουργούν και προσαρμόζουν τα πρότυπα άλλα και βελτιστοποιούν την προσαρμογή και παραμετροποίηση του μοντέλου. Χαρακτηριστικά στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μία λίστα πακέτων που ανήκουν σε πακέτα ανάλυσης επιβίωσης, σε πακέτα δημιουργίας προτύπων μηχανικής μάθησης αλλά και γενικών πακέτων εισαγωγής και επεξεργασίας συγκεκριμένης μορφής αρχείων αποθήκευσης βάσεων δεδομένων ή πακέτων γραφικών για την δημιουργία διαγραμμάτων. Παρακάτω ακολουθεί η λίστα πακέτων που χρησιμοποιήθηκε.

readxl: Πακέτο εισαγωγής δεδομένων μορφής υπολογιστικού φύλλου excel στην R.

ggplot2: Είναι ένα σύστημα για τη δημιουργία διαγραμμάτων και γραφικών πληροφορίων. Βασίζεται στην «Γραμματική Γραφικών» (The Grammar of Graphics) και λαμβάνει τα δεδομένα εισαγωγής από το χρήστη, τις οδηγίες για τα γραφικά πρότυπα και την αισθητική που επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμοστεί και παράγει το ζητούμενο απεικονιστικό διάγραμμα.

ggfortify: Ενοποιημένα εργαλεία σχεδίασης για στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται συνήθως, όπως είναι αυτά των GLM, χρονοσειρών, οικογενειών PCA, ομαδοποίησης και ανάλυσης επιβίωσης. Το πακέτο προσφέρει μια μοναδική διεπαφή σχεδίασης για αυτά τα αποτελέσματα ανάλυσης και κάνει χρήση των εργαλείων του πακέτου 'ggplot2'.

survival: Περιέχει τις βασικές ρουτίνες της ανάλυσης επιβίωσης, συμπεριλαμβανομένων του ορισμού του αντικειμένου επιβίωσης (πίνακας ζωής – lifetime table), των καμπυλών Kaplan-Meier και Aalen-Johansen, των μοντέλων Cox, και των παραμετρικά επιταχυνόμενων μοντέλων χρόνου αστοχίας AFT.

ranger: Μια γρήγορη εφαρμογή του προτύπου μηχανικής μάθησης της τυχαίας συστάδας δέντρων απόφασης (RF), ιδιαίτερα κατάλληλη για δεδομένα υψηλών διαστάσεων. Χειρίζεται προβλήματα ομαδοποίησης, παλινδρόμησης συνεχών μεταβλητών, ανάλυσης επιβίωσης και δέντρων πρόβλεψης.

dplyr: Ένα γρήγορο, συνεπές εργαλείο για την εργασία με πλαίσια δεδομένων τόσο εντός μνήμης όσο και εκτός μνήμης.

car: Επιτρέπει την δημιουργία παλινδρομήσεων γραμμικών ή μη.

flexsurv: Ευέλικτα παραμετρικά μοντέλα για δεδομένα ανάλυσης επιβίωσης, συμπεριλαμβανομένου του μοντέλου spline του Royston-Parmar περιέχει επίσης τις κατανομές γενικευμένη γάμμα και γενικευμένη κατανομή F. Μπορεί να προσαρμόσει οποιαδήποτε καθορισμένη από το χρήστη παραμετρική κατανομή σε ένα παραμετρικό πρότυπο ανάλυσης επιβίωσης δημιουργώντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ή κινδύνου. Υπάρχουν επίσης εργαλεία για προσαρμογή και πρόβλεψη από πλήρως παραμετρικά μοντέλα πολλαπλών καταστάσεων (multi state models).

KMsurv: Τεχνικές ανάλυσης επιβίωσης για λογοκριμένα ή ελλιπή δεδομένα.

e1071: Λειτουργίες για ανάλυση λανθάνουσας τάξης (latent class analysis), για μετασχηματισμούς Fourier, για ασαφή ομαδοποίηση (fuzzy clustering), για bugged clustering και άλλες ακόμα αναλύσεις.

rms: Είναι μια συλλογή λειτουργιών που βοηθάει στη διαδικασία της προτυποποίησης. Είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη μίας πληθώρας προτύπων παλινδρόμησης όπως τα γραμμικά πρότυπα με δίτιμη μεταβλητή πρόβλεψης ή με συνεχή μεταβλητή πρόβλεψης, τα Cox πρότυπα, τα πρότυπα επιταχυνόμενης αποτυχίας AFT, το πρότυπο Buckley-James και άλλα.

MASS: Λειτουργίες και σύνολα δεδομένων για την υποστήριξη των Venables και Ripley, «Σύγχρονες Εφαρμοσμένες Στατιστικές με S»

4.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

4.1 Βάση Δεδομένων

Για την διεξαγωγή της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα διαδρομής ταξιδιού με ιδιωτικό IX όχημα τα οποία, συλλέχθηκαν από τις καταγραφές δεκτών GPS έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Οι καταγραφές των έξυπνων κινητών τηλεφώνων κατέγραφαν τα στίγματα του οχήματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα των 3 δευτερολέπτων καταγράφοντας τον ακριβή χρόνο καταγραφής, την ταχύτητα του οχήματος και τις γεωγραφικές συντεταγμένες γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους του σημείου καταγραφής. Το λογισμικό καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου της εταιρείας OSeven telematics. Ιδιαίτερες ρυθμίσεις της εφαρμογής που αφορούν τις καταγραφές, πέραν του ρυθμού καταγραφής των δεδομένων, αποτελούν οι ρυθμίσεις λειτουργίας. Η καταγραφή ξεκινά και σταματά αυτόματα χωρίς τη συμμετοχή δεδομένων εισόδου από το χρήστη-οδηγό με την έναρξη και τη λήξη του ταξιδιού ενώ η αυτόματη λήξη της καταγραφής δεδομένων από την εφαρμογή σταματά για στάσεις του οχήματος μεγαλύτερες των 5 λεπτών σημαίνοντας τη λήξη του ταξιδιού. Ο όγκος δεδομένων καταγραφής είναι τεράστιος ενώ συγχρόνως δεν απαιτείται καμία συμβολή από τον χρήστη.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε εν τέλει περιείχε 9310 ταξίδια εντός της περιφέρειας Αττικής από οδηγούς κάθε ηλικίας (περίπου 1000 χρήστες. Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν τα ταξίδια είναι από το 01-12-2017 έως 30-09-2018. Η βάση που χρησιμοποιήθηκε αφορούσε ταξίδια στο σύνολο του ευρωπαϊκού χώρου τα οποία εξείχαν τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Με την συμβολή του QGIS και των γεωχωρικών εργαλείων αποκόπηκαν και διατηρήθηκαν στη βάση μόνο τα ταξίδια εντός της Αττικής. Η διαμόρφωση της βάσης στη τελική μορφή που παραδόθηκε από την εταιρεία OSeven Telematics περιείχε τις ακόλουθες μεταβλητές για κάθε καταγεγραμμένο ταξίδι:

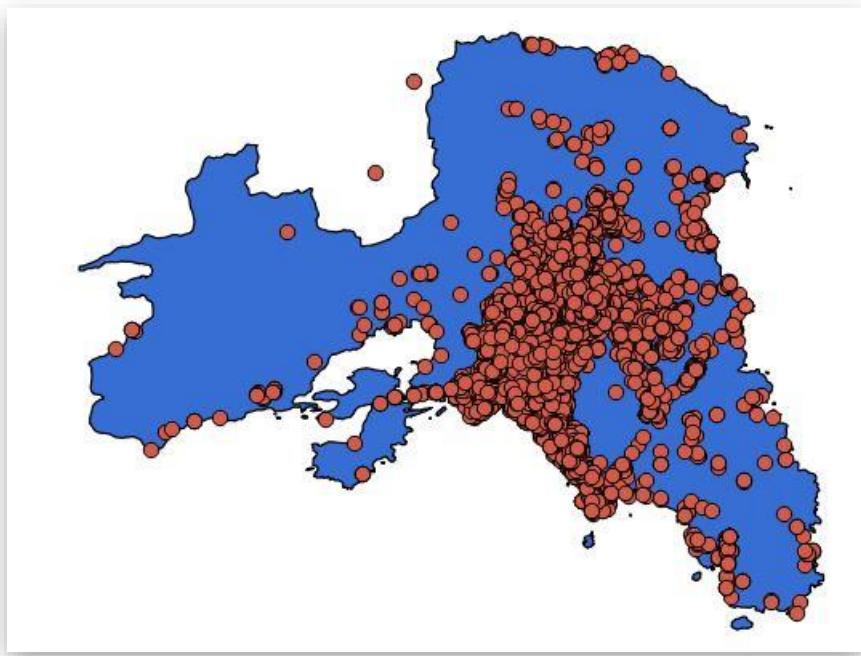
- Συνολική Απόσταση ταξιδιού σε km
- Συνολική Διάρκεια Ταξιδιού σε seconds
- Απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό σε km
- Συνολική Απόσταση για Στάθμευση σε km
- Συνολική Διάρκεια Περιπλάνησης για Στάθμευση σε seconds
- Την περίοδο Αιχμής ή όχι της ημέρας κατά την οποία πραγματοποιήθηκε το ταξίδι
- Την Ημέρα της Εβδομάδας κατά την οποία πραγματοποιήθηκε το ταξίδι
- Συντεταγμένες Γεωγραφικού Μήκους και Πλάτους σε μοίρες μόνο για την αρχή και το τέλος του ταξιδιού μόνο

Ειδικότερη αναφορά πρέπει να γίνει για τα στοιχεία της βάσης δεδομένων που αφορούσαν τα μεγέθη της απόστασης και της διάρκειας περιπλάνησης για στάθμευση τα οποία υπολογίστηκαν μέσου αλγορίθμου που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διεξαγωγής έρευνας προηγούμενης διπλωματικής εργασίας φοιτήτριας στο τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ποσοτικοποίηση και τον υπολογισμό της διάρκειας και της απόστασης αναζήτησης στάθμευσης για ταξίδια που αφορούσαν την Αττική, με βάση τον αλγόριθμο DBSCAN.

Στη συνέχεια ακολούθησε επέκταση των πληροφορίων της ήδη υπάρχουσας βάσης για τις ανάγκες και τους εξειδικευμένους στόχους της παρούσας έρευνας. Για να εκπληρωθεί ο στόχος συσχέτισης και μετέπειτα πρόβλεψης του χρόνου περιπλάνησης για στάθμευση σε σχέση με τις χρήσεις γης της περιοχής στάθμευσης και του τύπου της οδού της περιοχής στάθμευσης πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένα βήματα επεξεργασίας των δεδομένων και γεωχωρικής αντιστοίχισης των σημείων στάθμευσης των ταξιδιών με τον τύπο της οδού στάθμευσης και τις χρήσεις γης της περιοχής. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα χάρτη της Αττικής με υψηλή και λεπτομερή διάκριση των χρήσεων γης εντός της περιφέρειας. Τα δεδομένα αυτά προήλθαν από εγχείρημα της Παγκόσμιας Υπηρεσίας Γης του Κοπέρνικου (Copernicus Global Land Service) που αποτελεί τμήμα της Υπηρεσίας Παρακολούθησης της Γης (Land Monitoring Core Service) στα πλαίσια του πρότζεκτ Αστικός Άτλας (Urban Atlas). Ο Αστικός Άτλας αποτελεί προσπάθεια σε πανευρωπαϊκή κλίμακα αλλά και μετέπειτα σε διευρυμένη κλίμακα που αφορά χώρες των Βολκανίων αλλά και την Τουρκία να δημιουργήσει και να παρέχει για όλες τις λειτουργικές αστικές περιοχές (Functionable Urban Areas) πληροφορίες που αφορούν στην κάλυψη γης και τις χρήσεις γης. Ο Αστικός Άτλας ξεκίνησε το 2006 και συνέχισε το 2012 για επέκτασή σε περισσότερες ακόμα περιοχές της Ευρώπης, χρονιά στην οποία συμπεριλήφθηκαν στη διερεύνηση και οι Ελληνικές περιοχές της Αττικής, της Καλαμάτας, της Λάρισας, του Βόλου, της Καβάλας ενώ αποτελεί κοινή πρωτοβουλία της Γενικής Διεύθυνσης Περιφερειακής και Αστικής Πολιτικής της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της Γενικής Διεύθυνσης Επιχειρήσεων και Βιομηχανίας στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus της ΕΕ με την υποστήριξη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος.

Μέσω του προγράμματος QGIS και του πρόσθετου εργαλείου αντιστοίχισης NNJoin που επιτρέπει τη συνένωση με βάση χωρικά δεδομένα διαφορετικών επιπέδων γεωγραφικών πληροφορίων ολοκληρώνεται η βάση δεδομένων με τις χρήσεις γης, τον τύπο της οδού του σημείου στάθμευσης, της έκτασης του δήμου της περιοχής στάθμευσης και του πληθυσμού της περιοχής στάθμευσης κάθε ταξιδιού. Ακολουθούν οι εικόνες της χωρικής κατανομής των ταξιδιών εντός της Αττικής (Εικόνα 4.1) αλλά και η μορφή της βάσης δεδομένων όπως αυτή χρησιμοποιήθηκε για επεξεργασία από το λογισμικό ανοικτού κώδικα της γλώσσας R (Εικόνα 4.2).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ



Εικόνα 4. 1 : Χάρτης κατανομής σημείων προορισμού ταξιδιών της βάσης δεδομένων που πραγματοποιήθηκαν εντός Αττικής

distance	distance_highway	distance_rural	distance_urban	duration	parking_distance	walking_distance	parking_duration
8,606746	0	1,49277511	7,113970556	2055	0,081247408	0,032048784	22
7,920463	0	0	7,92046292	1178	0,44933322	0,08675632	78
2,821219	0	0	2,821219197	273	0,698958638	0,414293725	82
7,263924	0	0	7,26392414	887	0,014663243	0,081793688	4
7,036527	0	0	7,036527464	1417	0,057051207	0,048237502	10
5,448646	0	0	5,448645608	785	0,015423707	0,012784933	4
6,958357	0	0	6,958357334	677	0,021897165	0,082269529	6
3,052844	0	0,374806047	2,67803805	750	0,383410546	0,194240172	77
7,234553	0	0	7,23455334	1002	0,037727181	0,037729347	9
1,263601	0	0	1,26360077	448	0,81209883	0,041408335	327

parking_duration	peak_hour	tripid	week_day	work_wee	Land_Use	Road_type	join_Shape_Area	join_Pop2012
22	2	F274E253-f	5	1	2	0	23810,12922	15
78	1	48222A01--	6	1	1	0	234734,5774	0
82	2	45C42D48-	0	0	1	0	6164,281555	62
4	0	2B8259BE-	1	0	1	0	3791,461429	28
10	1	C472D27E-	1	0	1	0	13682,16326	219
4	0	FAED7D99-	3	0	1	2	6016,852822	97
6	0	51B03FCC-	4	0	1	0	3791,461429	28
77	0	E2B72806-	4	0	1	2	7189,071814	94
9	2	1276AE79-	5	1	2	0	23810,12922	15
327	2	47E523AB-	5	1	1	0	16178,81273	201

Εικόνα 4. 2 : Βάση δεδομένων τελική διαμόρφωση

4.2 Προκαταρκτική Ανάλυση

Οι βασικές μεταβλητές της βάσης περιγράφονται αναλυτικά σε αυτήν την υποενότητα ώστε να δοθεί η πλήρης περιγραφή και αποτύπωση των βασικών παραμέτρων που αφορούν και καθορίζουν τους παράγοντές της στάθμευσης και αποτυπώνονται στη βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των προτύπων. Τα βασικά χαρακτηριστικά των σημαντικών συνεχών μεταβλητών της βάσης δεδομένων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί.

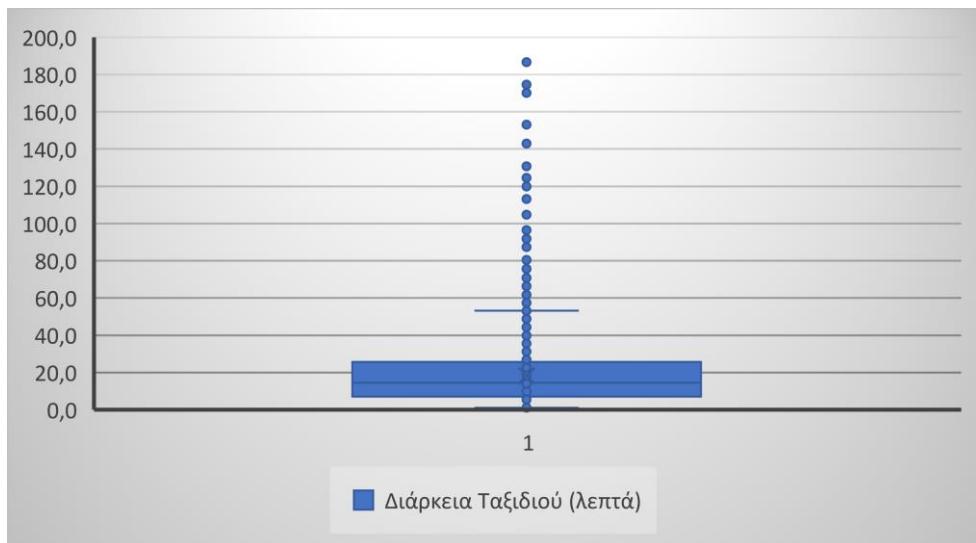
Πίνακας 4. 1: Στατιστικά χαρακτηριστικά βασικών συνεχών μεταβλητών βάσης

	Διάρκεια Ταξιδιού (λεπτά)	Απόσταση Ταξιδιού (χιλιόμετρα)	Διάρκεια Εύρεσης Στάθμευσης (λεπτά)	Απόστασης Εύρεσης Στάθμευσης (μέτρα)	Απόσταση Περπατήματος (μέτρα)
Ελάχιστη τιμή	1	0,5	0,03	0,1	0,1
Διάμεσος	14,5	5,7	0,5	103,2	23,2
Μέση τιμή	18,2	8,9	1,5	305,9	80
Μέγιστη τιμή	186,5	307	29	1500	1000

Χρόνος Διάρκειας Ταξιδιού

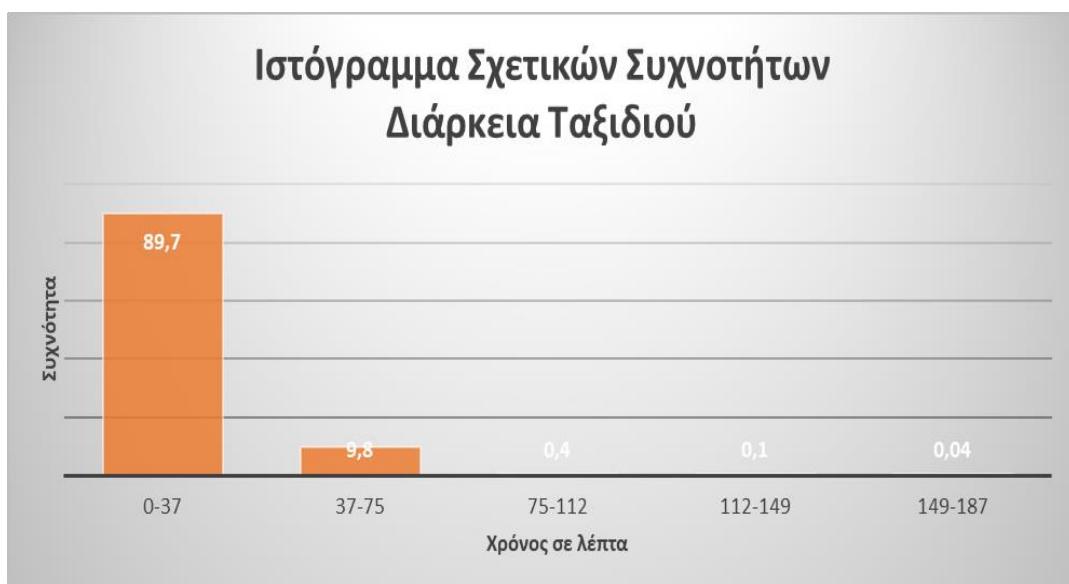
Δίνει την συνολική διάρκεια που σημείωσαν τα ταξίδια εντός της αττικής. Αρχικά δίνεται το θηκόγραμμα (boxplot) (Διάγραμμα 4.1) που αποτυπώνει την κατανομή των τιμών του μεγέθους της διάρκειας ταξιδιών ενώ ακολουθεί το ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων (Διάγραμμα 4.2).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ



Διάγραμμα 4. 1 : Θηκόγραμμα Συνολικής Διάρκειας Ταξιδιού

Παρατηρείται ιδιαίτερο εύρος στις τιμές της διάρκειας που παρουσιάζει, τιμές που εξέχουν από το ενδοτεταρτημοριακό εύρος ενώ η διάμεσος με τη μέση τιμή παρουσιάζουν μια μέση απόκλιση 4 λεπτών (διάμεσος 14 λεπ., μέση τιμή 18 λεπ.) ενώ η ακραία μέγιστη τιμή φτάνει τις 3 ώρες.

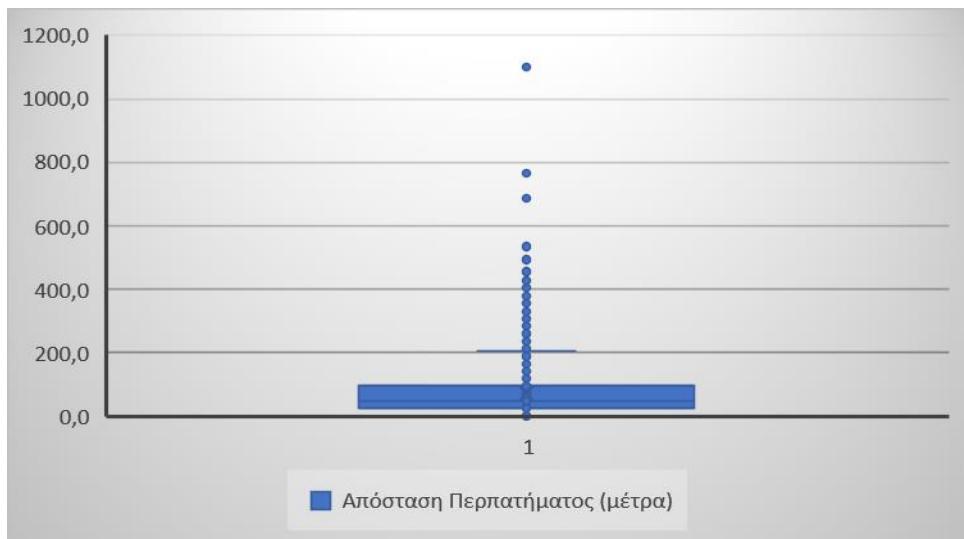


Διάγραμμα 4. 2 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Συνολικής Διάρκειας Ταξιδιών στη Βάση Δεδομένων

Η συντριπτική πλειοψηφία του 90% των ταξιδιών εντός Αττικής φτάνει τα 37 λεπτά ενώ ένα 9,5% φτάνει τη μία ώρα και 25 λεπτά, μεγαλύτερες διάρκειες είναι αμελητέα ποσοστά.

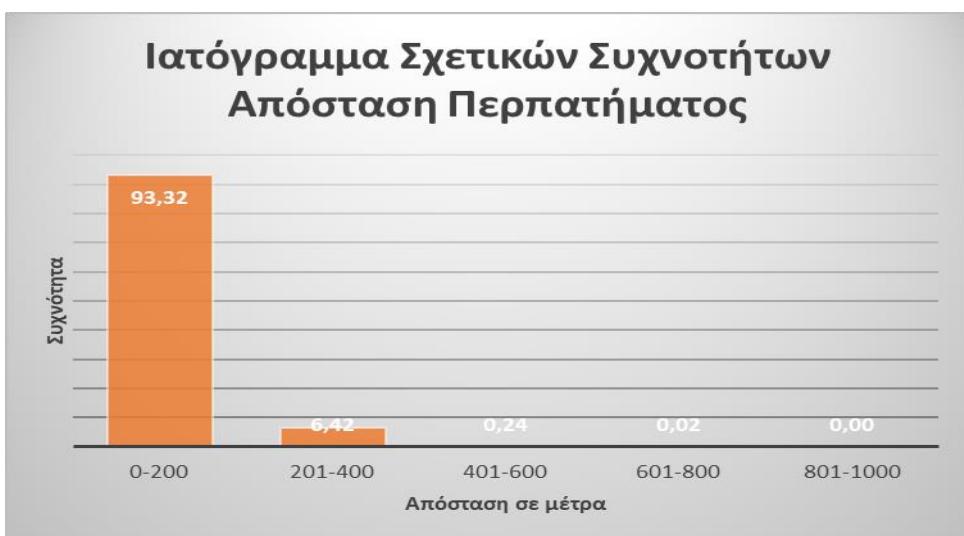
Απόσταση Περπατήματος

Η απόσταση μεταξύ του σημείου στάθμευσης και του τελικού προορισμού είναι πολύ σημαντικός παράγοντάς στρατηγικής σημασίας για την επιλογή του χρήστη να επιλεξεί να σταθμευσει ή να συνέχισε την περιπλάνηση του εώς την ευρέση πιο κοντίνης θέσης στον τελικό του προρισμό. Ακουλουθουν το θηκόγραμμα (Διάγραμμα 4.3) και το ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων της μεταβλητής αυτής (Διάγραμμα 4.4).



Διάγραμμα 4. 3 : Θηκόγραμμα Απόστασης Περπατήματος

Εμφανίζονται τιμές που ξεπερνούν τι 1,5 τον ενδοτεταρτημοριακού εύρους και χαρακτηρίζονται ακραίες με τις πλέον ακραίες να ξεπερνούν τα 1000 μέτρα ενώ η διάμεσος στα 48 μ. και η μέση τιμή στα 72 μ. έχουν μια μέση απόκλιση που δίνει ότι ο αριθμός των ακραίων τιμών δεν είναι μεγάλος ωστόσο ούτε αμελητέος.

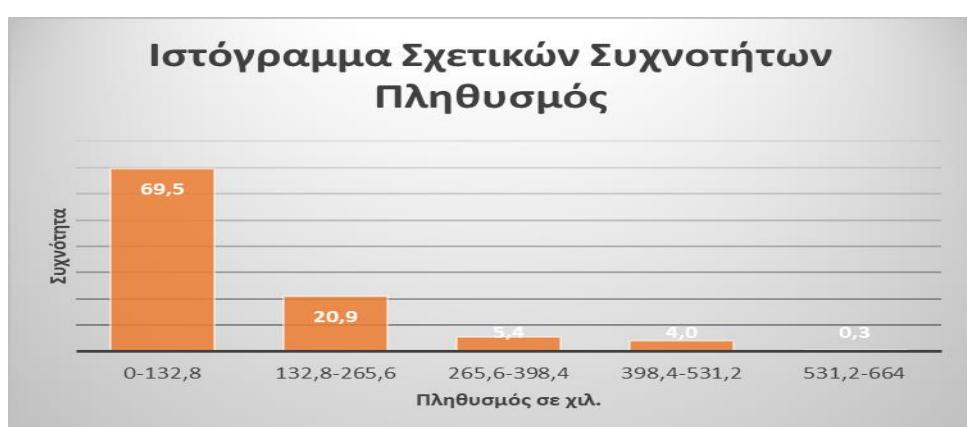


Διάγραμμα 4. 4 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Απόστασης Περπατήματος

Το 93% των ταξιδιών έχει σταθμεύσει σε ακτίνα εντός διακοσίων μέτρων από τον τελικό προορισμό ένα το 7% φτάνει τα 400 μέτρα.

Πληθυσμός Περιοχής στάθμευσης

Μια μεταβλητή με ιδιαίτερη επίδραση στον χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση αποτελεί ο πληθυσμός μόνιμων κατοίκων της περιοχής προορισμού του ταξιδιού καθώς πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές συνήθως εμφανίζουν συχνότερα προβλήματα σε σχέση με τον κορεσμό των θέσεων στάθμευσης. Ακολουθεί το ιστόγραμμα συχνοτήτων (Διάγραμμα 4.5) για τον πληθυσμό των περιοχών προορισμού των ταξιδιών :

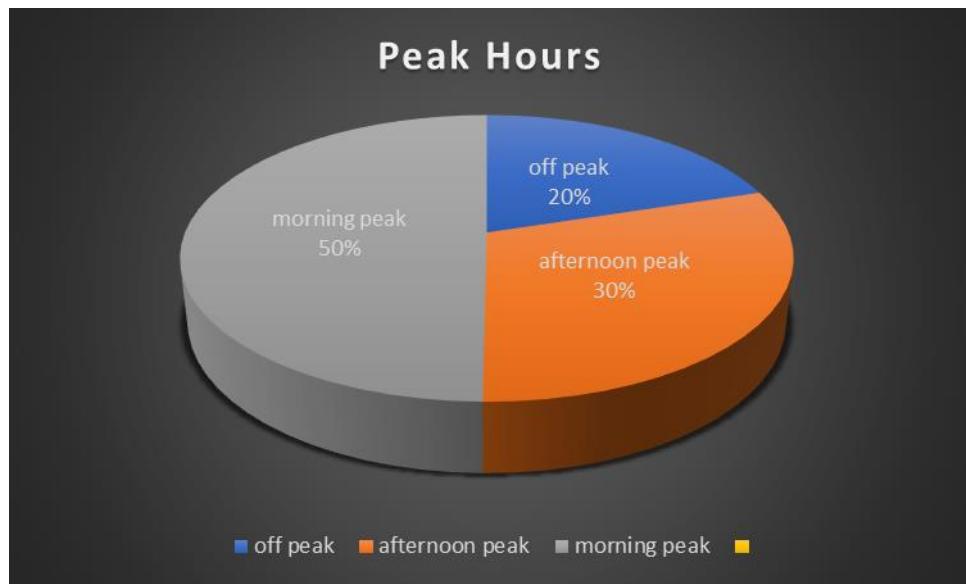


Διάγραμμα 4. 5 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Πληθυσμού Περιοχών Στάθμευσης των Ταξιδιών

Το 69,5% των ταξιδιών καταλήγει σε περιοχές αυξημένης πληθυσμιακής πυκνότητας έως 1332 χιλ. κατοίκων ενώ μόνο το 4% καταλήγει σε περιοχές εξαιρετικά μεγάλου πληθυσμού όπως ο δήμος Αθηναίων που ο πληθυσμός του φτάνει τις 664 χιλ.

Περίοδος Ορών Αιχμής μέσα στην ημέρα

Το αν το ταξίδι πραγματοποιήθηκε εντός ωρών που αποτελούν ώρες αιχμής μεταφορικής ζήτησης είναι καθοριστικός για την εύρεση στάθμευσης ευκολότερα ή δυσκολότερα καθώς η μεταφορική ζήτηση και η ζήτηση για στάθμευση είναι υψηλά συσχετισμένες εφόσον το ΙΧ είναι βασικό μέσο μεταφοράς. Ακολουθεί πίτα ποσοστιαίας ανάλυσης των ταξιδιών στις περιόδους αιχμής ή μη (Διάγραμμα 4.6) :

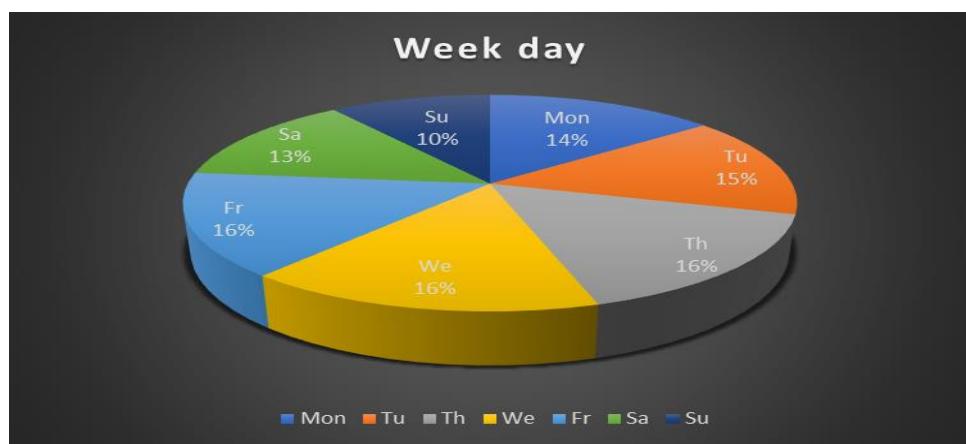


Διάγραμμα 4. 6 : Περίοδοι Ωρών Αιχμής της Ημέρας

Το 50% των ταξιδιών πραγματοποιούνται κατά την πρωινή αιχμή συγκριτικά με την απογευματινή.

Ημέρα της εβδομάδας

Η έρευνα που αφορά την αν η ημέρα της εβδομάδας επηρεάζει τη ζήτηση για στάθμευση είναι σημαντική. Ακολουθεί η πίτα ποσοστών των ταξιδιών που πραγματοποιούνται εντός κάθε μέρας (Διάγραμμα 4.7).

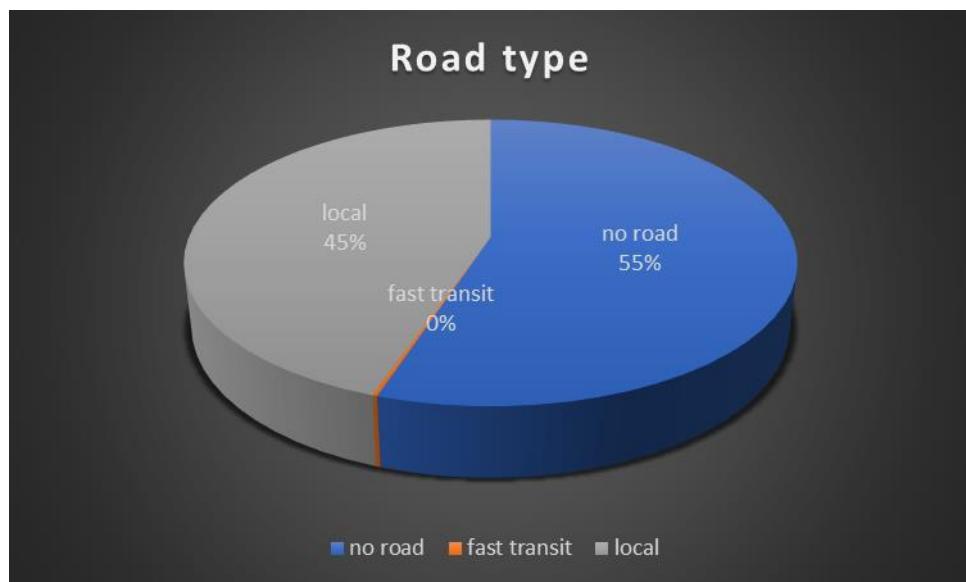


Διάγραμμα 4. 7 : Κατανομή των Ταξιδιών στις Ημέρες της εβδομάδας

Τα ταξίδια κατανέμονται ισάξια μέσα στις καθημερινές μέρες παρουσιάζοντας μια πτώση έως 5% μέσα στις ημέρες του Σαββατοκύριακου.

Τύπος Οδού

Ο τύπος της οδού στην οποία πραγματοποιείται η στάθμευση ή το γεγονός αν το αυτοκίνητο σταθμεύει εκτός οδού. Ακολουθεί πίτα ποσοστών ταξιδιών που σταθμεύουν σε διάφορους τύπους οδών ή έκτος οδού (Διάγραμμα 4.8).

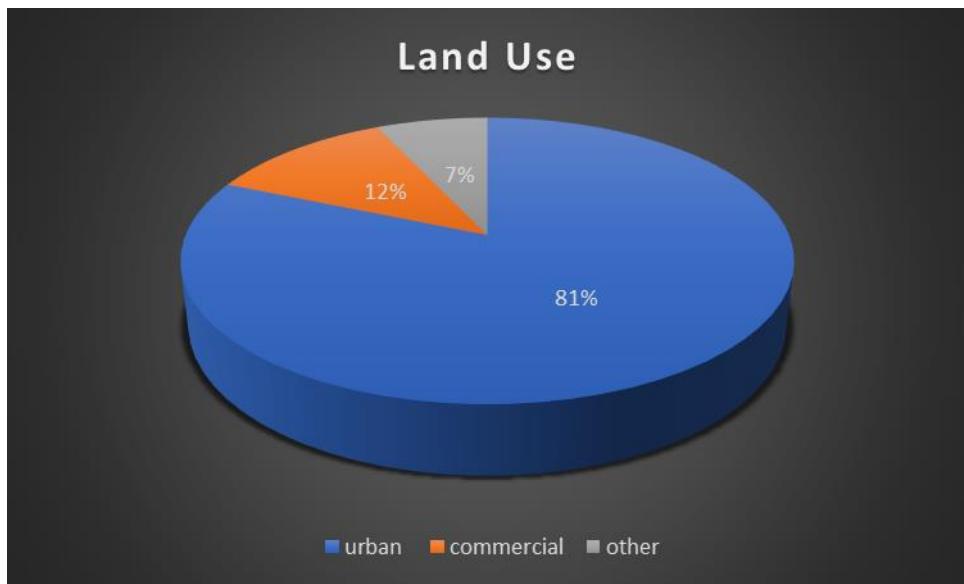


Διάγραμμα 4. 8 :Κατανομή των Ταξιδιών ανά Τύπο Οδού Στάθμευσης

Το 45% των ταξιδιών σταθμεύει σε τοπικές οδούς χαμηλής ταχύτητας το 54,8% έχει σταθμεύσει σε υπαίθριους χώρους εκτός οδού ενώ ένα αμελητέο ποσοστό του 0,2% έχει σταθμεύσει σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας.

Χρήσεις Γης

Οι χρήσεις γης που αναπτύσσονται σε μία περιοχή προορισμού και κατ'επέκταση περιοχή αναζήτησης στάθμευσης ποικίλουν και μπορεί να επηρεάζουν το χρόνο εύρεσης στάθμευσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει να διερευνηθεί αυτό για περιοχές εμπορικής δραστηριότητας ή περιοχές κατοικιών δηλαδή περιοχές απλού αστικού ιστού. Ακολουθεί πίτα ποσοστών ταξιδιών που κατέληξαν σε αντίστοιχες περιοχές χρήσεων γης (Διάγραμμα 4.9):

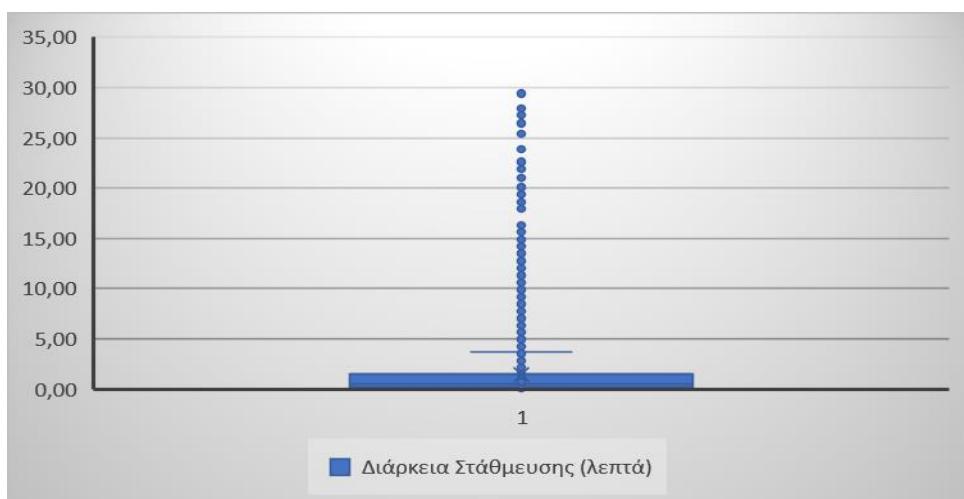


Διάγραμμα 4. 9 : Κατανομή των Ταξιδιών ανά Περιοχή Χρήσεων Γης Στάθμευσης

Το 81% της εκατό των ταξιδιών σταθμεύει στον αστικό ιστό, το 12% σε εμπορικές περιοχές ενώ ένα 7% σε περιοχές με άλλες εξειδικευμένες χρήσεις γης.

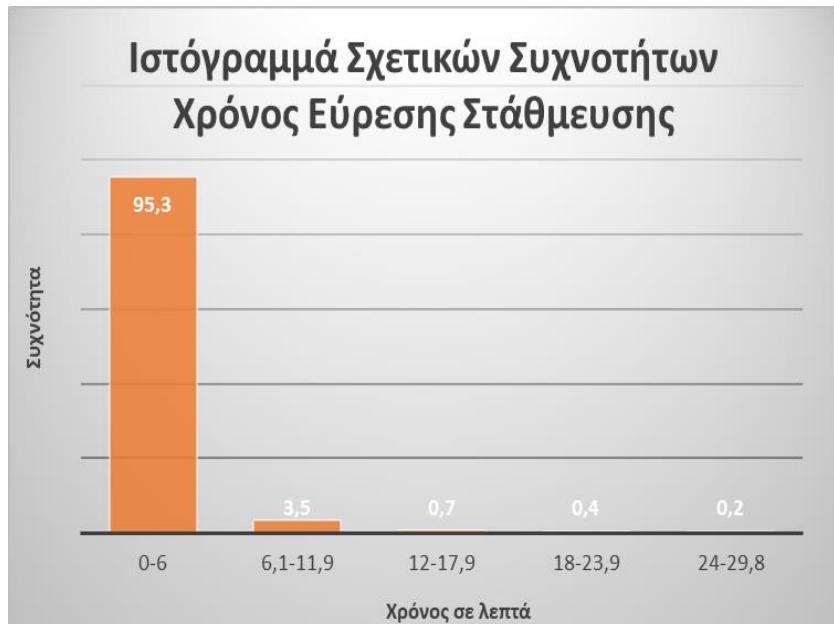
Χρόνος Εύρεσης Στάθμευσης

Η χρονική διάρκεια που θα περιπλανηθεί το όχημα σε μία ακτίνα κοντινού εύρους γύρω από το τελικό σημείο προορισμού του σε κυκλικές ή σπειροειδείς τροχιές μέχρι να σταθμεύσει. Είναι το μέγεθός που αναλύεται και προβλέπεται από τα πρότυπα στην συνέχεια του κεφαλαίου. Ακολουθούν θηκόγραμμα (Διάγραμμα 4.10) και ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων (Διάγραμμα 4.11) για τους χρόνους διάρκειας στάθμευσης των ταξιδιών της βάσης:



Διάγραμμα 4. 10 : Θηκόγραμμα Χρόνου Αναζήτησης Στάθμευσης

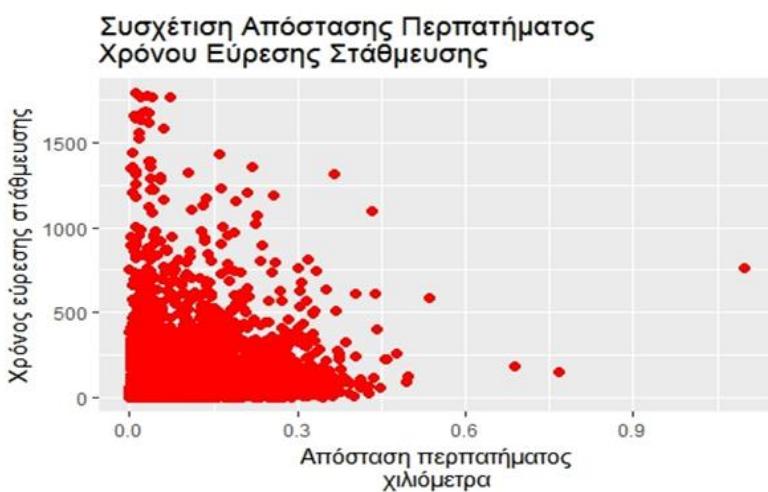
Η διάμεσος με τη μέση τιμή του δείγματος είναι εξαιρετικά κοντά υπάρχουν ωστόσο αρκετά ακραία σημεία που φτάνουν σε διάρκεια στάθμευσης έως μισή ώρα.



Διάγραμμα 4. 11 : Ιστόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Χρόνου Εύρεσης Στάθμευσης

Το 95% των ταξιδιών σταθμεύει εντός έξι λεπτών ένα 3% φτάνει τα 12 λεπτά ενώ διάρκειες άνω των 12 λεπτών αποτελούν ποσοστά μικρότερα του 1%.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχέση της απόστασης περπατήματος με το χρόνο εύρεσης στάθμευσης. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.12, δεν εμφανίζεται γραμμική σχέση μεταξύ τους ενώ όσο αυξάνει η απόσταση περπατήματος μειώνεται ο χρόνος εύρεσης στάθμευσης.



Διάγραμμα 4. 12 : Απόσταση περπατήματος - Χρόνος εύρεσης στάθμευσης

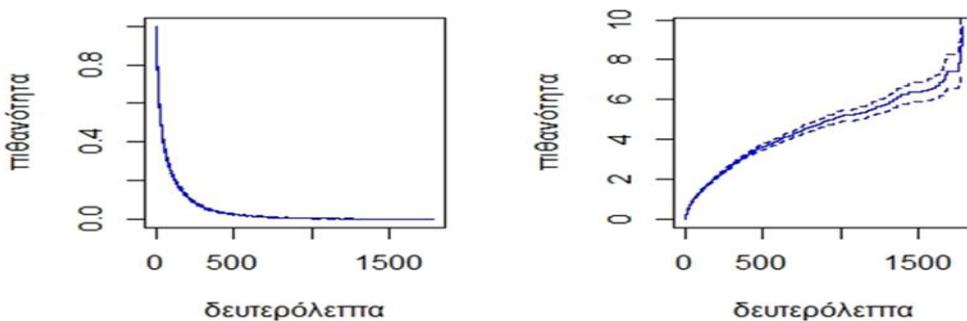
Από την περαιτέρω ανάλυση της βάσης δεδομένων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι μεγαλύτεροι χρόνοι στάθμευσης εμφανίζονται για τις περιόδους αιχμής ενώ εκτός αιχμής έχουν από οκτώ έως τέσσερα λεπτά μικρότερο χρόνο στάθμευσης.
- Σε αστικές οικιστικές περιοχές εμφανίζονται κατά 5 λεπτά χαμηλότεροι χρόνοι στάθμευσης σε σχέση με τις εμπορικές περιοχές ενώ οι χρόνοι στάθμευσης για άλλες χρήσεις γης είναι αρκετά παραπλήσιοι με τους χρόνους στις εμπορικές περιοχές.

Οι μεγαλύτερες αποστάσεις περπατήματος εμφανίζονται για στάθμευση σε αστική οικιστική περιοχή περίπου κατά 100 μέτρα μεγαλύτερες σε σχέση με τις εμπορικές περιοχές ενώ σε περιοχές με διαφορετικές χρήσεις γης εμφανίζονται ακόμα μικρότερες αποστάσεις περπατήματος.

4.3 Αποτελέσματα Προτύπων Kaplan-Meier

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το βασικότερο και πλέον απλό μοντέλο επιβίωσης χωρίς απαιτήσεις παραμετρικής προσαρμογής το πρότυπο Kaplan – Meier. Το συγκεκριμένο πρότυπο δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης της καμπύλης επιβίωσης και μετέπειτα δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης των καμπύλων επιβίωσης για διαφορετικές υποκατηγορίες παρατηρήσεων του δείγματος αναδεικνύοντας έτσι αν παρατηρήσεις που συγκαταλέγονται σε διαφορετικές κατηγορίες ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού παρουσιάζουν διαφορετική ικανότητα επιβίωσης δηλαδή, διαφορετική αναλογία κινδύνου εμφάνισης ενός γεγονότος μέσα στη πάροδο του χρόνου. Επίσης δίνονται οι κατάλληλοι έλεγχοι για τον προσδιορισμό της στατιστικής σημαντικότητας αυτής της διαφοράς. Ο πλέον κατάλληλος έλεγχος είναι το log-rank test. Η απεικόνιση της καμπύλης επιβίωσης των διαθέσιμων δεδομένων αποτελεί την περιγραφή της βάσης δεδομένων και απεικονίζει την πιθανότητα των χρόνων κυκλοφορίας μέχρι ο οδηγός να σταθμεύσει, αυτό ακριβώς αποτυπώνεται και στο Διάγραμμα 4.13. Παρατηρείται ότι το 50% των ταξιδιών που περιπλανήθηκαν με στόχο την στάθμευση αντιμετώπισαν χρόνους κυκλοφορίας της τάξης των δυόμισι λεπτών που αποτελούν ιδιαίτερα ελκυστικούς χρόνους για την εύρεση θέσης στάθμευσης. Ακόμα, στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται η καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας εμφάνισης του γεγονότος.



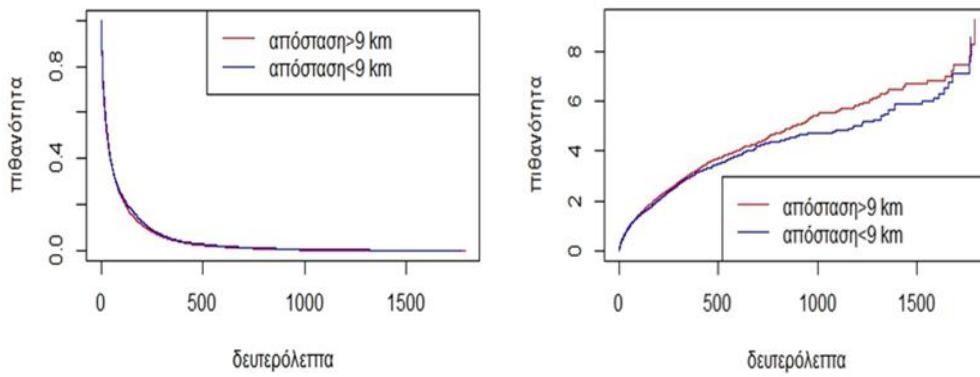
Διάγραμμα 4. 13 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης της βάσης δεδομένων.

Παρατηρείται συμπερασματικά ότι για τον κομβικό χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση μέσα σε 10 λεπτά (500-600 seconds) η πιθανότητα είναι 40% ενώ υπάρχει 50% πιθανότητα για ταξίδια εντός Αττικής να παρουσιάσουν χρόνους κυκλοφορίας για στάθμευση κάτω των 13 λεπτών. Η πιθανότητα να παρουσιαστούν χρόνοι στάθμευσης άνω των 15 λεπτών είναι 40% μια αξιοσημείωτη πιθανότητα που αφορά ένα χρονικό διάστημα που αγγίζει το 50% του συνολικού χρόνου ενός τυπικού μέσης απόστασης ταξιδιού εντός Αττικής άλλα και εντός της πόλης της Αθήνας γεγονός που καθιστά το φαινόμενο της περιπλάνησης για στάθμευση σημαντικό. Συγκρίνοντας κατά αναλογία το διάγραμμα περιπλάνησης και το διάγραμμα αθροιστικής πιθανότητας περιπλάνησης μέχρι την εύρεση στάθμευσης εξάγονται σημαντικές πληροφορίες και γενικότερα συμπεράσματα που αφορούν τη στάθμευση εντός της Αττικής.

Η συσσώρευση των περισσότερων παρατηρήσεων επομένως των χρόνων περιπλάνησης για στάθμευση των περισσότερων ταξιδιών κυμαίνεται μεταξύ των 1-500 δευτερολέπτων αναφορικά αφορούν χρόνους του 1-10 λεπτών όπως φαίνεται από την πλέον έντονη κλίση των καμπύλων στην συγκεκριμένη περιοχή των διαγραμμάτων. Μετά την χρονική διάρκεια των δέκα λεπτών η κλίση της αθροιστική πιθανότητας εύρεσης στάθμευσης μεταβάλλεται με πολύ μικρότερο ρυθμό μεταβολής και αντιστοιχίζονται αισθητά μικρότερες πιθανότητες εύρεσης θέσης στάθμευσης σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται πρότυπα Kaplan – Meier που συσχετίζουν την καμπύλη χρόνου περιπλάνησης για στάθμευση με σημαντικούς επεξηγηματικούς παράγοντές, όπως η απόσταση και η διάρκεια ταξιδιού.

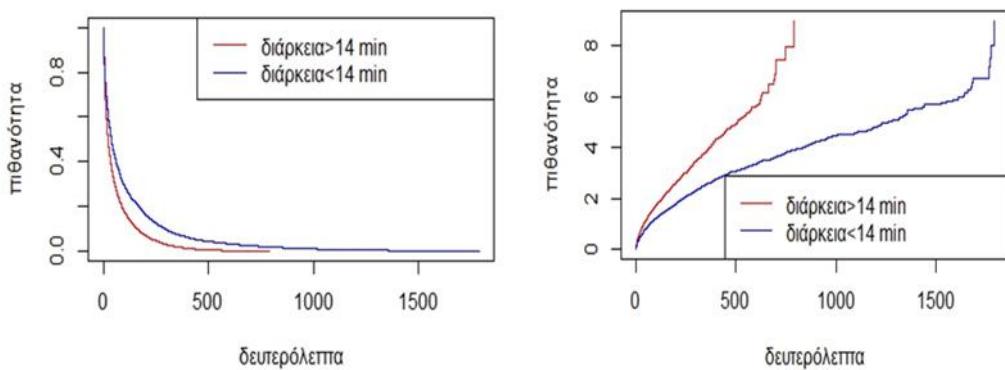
Από το Διάγραμμα 4.14 φαίνεται ότι η απόσταση του ταξιδιού δεν επηρεάζει τη χρονική διάρκεια περιπλάνησης για στάθμευση όσο την επηρεάζει η συνολική διάρκεια του ταξιδιού. Σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια όσα αναφορά την χιλιομετρική απόσταση του ταξιδιού η βάση παρουσιάζει ταξίδια με μέσο όρο απόσταση τα 9 km, το χαρακτηριστικό της απόστασης επηρεάζει τον χρόνο στάθμευσης αλλά όχι στον ίδιο βαθμό που τον επηρεάζει η συνολική διάρκεια του ταξιδιού. Πάνω από τα μισά ταξίδια της βάσης αφορούν αποστάσεις άνω των 9 Km και εμφανίζουν μεγαλύτερους χρόνους στάθμευσης όπως παρουσιάζονται στα διαγράμματα της χρονικής διάρκειας περιπλάνησης για στάθμευση και της αθροιστικής πιθανότητας διάρκειας στάθμευσης.



Διάγραμμα 4. 14 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικές αποστάσεις διαδρομής.

Είναι πιθανότερο για χιλιομετρικά μικρότερης απόστασης ταξίδια να περιπλανηθούν περισσότερο με στόχο τη στάθμευση αλλά με ιδιαίτερα μικρή διαφορά της τάξης των 5%.

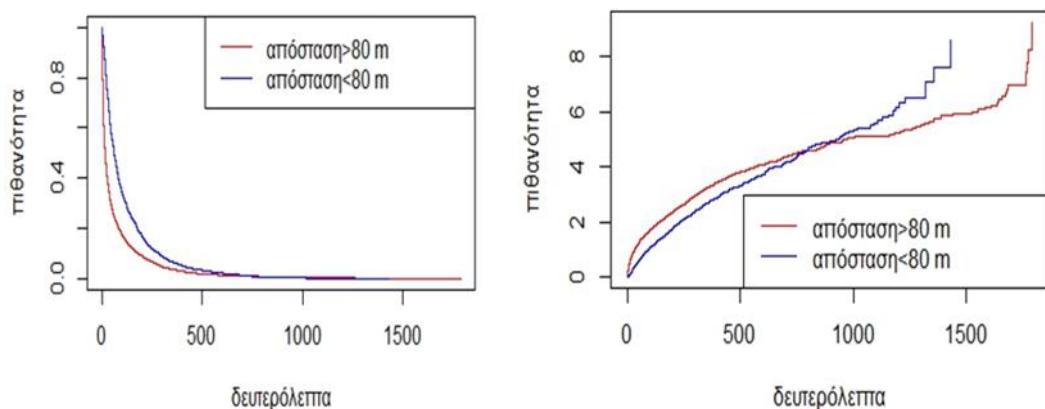
Στο Διάγραμμα 4.15 φαίνονται οι καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικές αποστάσεις διαδρομής. Προκύπτει ότι η διάρκεια ταξιδιού είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για τον χρόνο στάθμευσης. Η πιθανότητα στάθμευσης σε ένα εύρος περιπλάνησης κάτω των 8 λεπτών αυξάνει κατα 20% ένα ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό. Ο χρήστης μετά από ένα επίπονο ταξίδι μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας δεν θα περιπλανηθεί το ίδιο προς εύρεση στάθμευσης συγκριτικά μένα ταξίδι μικρότερης χρονικής διάρκειας.



Διάγραμμα 4. 15 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αθροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικές διάρκειες διαδρομής.

Ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντές αποδοχής μιας θέσης στάθμευσης αποτελεί η απόσταση περπατήματος από τη θέση στάθμευσης έως τον τελικό προορισμό. Η ώρα αιχμής του ταξιδιού, ο σκοπός του ταξιδιού αλλά και οι προσωπικές επιλογές του οδηγού επηρεάζουν το αποδεκτό μέγεθος αυτής της απόστασης. Σημαντικές ανταλλαγές χρησιμότητας πραγματοποιούνται μεταξύ της αποδοχής μία

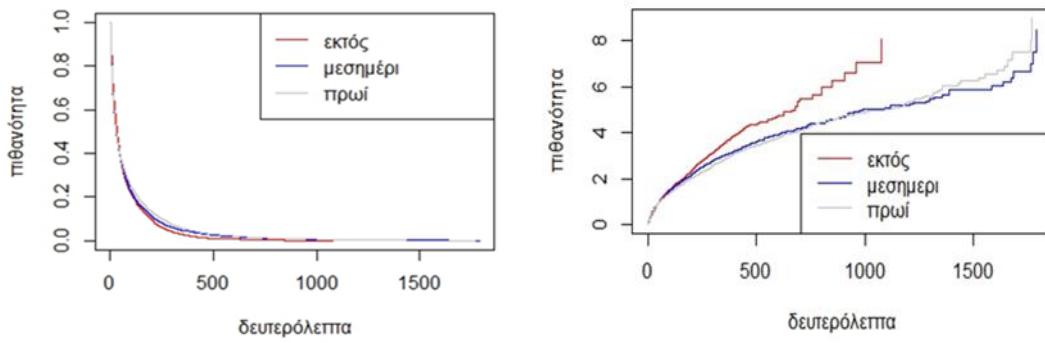
θέσης στάθμευσης σε μικρότερο χρόνο περιπλάνησης ή της μείωσης της απόστασης περπατήματος προσεγγίζοντας κοντινότερη θέση στάθμευσης προς τον τελικό προορισμό αυξάνοντάς τον χρόνο κυκλοφορίας κυρίως σε συνθήκες κορεσμού της ζήτησης για στάθμευση. Τα ταξίδια παρουσιάζουν ιδιαίτερο εύρος απόστασης περπατήματος ώστε η διάμεσος της απόστασης περπατήματος ανέρχεται στα 80 m. Σε συγκριτική παρουσίαση στο Διάγραμμα 4.16 της χρονικής διάρκειας κυκλοφορίας για στάθμευση και της απόστασης περπατήματος που ακολουθεί, παρουσιάζεται η επιρροή αυτού του παράγοντα στο χρόνο στάθμευσης με τη βαρύτητα και τις ιδιαιτερότητες που τον χαρακτηρίζουν.



Διάγραμμα 4. 16 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αδροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετική απόσταση περπατήματος.

Η μεγαλύτερες των 80 μ. αποστάσεις περπατήματος οδηγούν σε μικρότερη διάρκεια αναζήτησης θέσης ενώ, καθιστούν 10% πιθανότερο να βρεθεί θέση σε απόσταση άνω των 80 μ. από τα σημείο προορισμού για χρόνο περιπλάνηση κάτω των 13 λεπτών. Ο χρόνος των 13 λεπτών αποτελεί κομβικό χρονικό διάστημα μετά το πέρας αυτής της διάρκειας αναζήτησης γίνεται πιθανότερο η θέση στάθμευσης που έχει επιλέγει να είναι κάτω των 80 μ. από τον τελικό προορισμό.

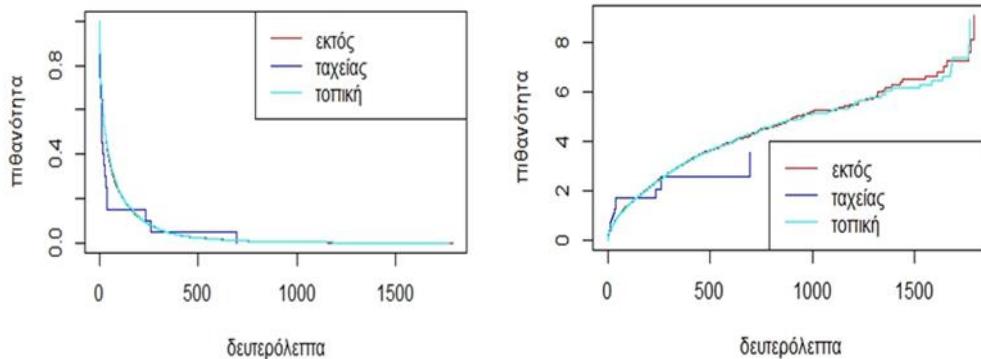
Οι ώρες αιχμής δηλαδή αν το ταξίδι πραγματοποιείται σε ώρα της ημέρας που αποτελεί ώρα πρωινής ή μεσημεριανής αιχμής επηρεάζει έντονα τον χρόνο στάθμευσης. Διακρίνοντας την πρωινή και την απογευματινή αιχμή της ημέρας παρουσιάζονται αρκετές διαφορές. Το Διάγραμμα 4.17 που ακολουθεί δείχνει την επιρροή των χρονικών αιχμών της ζήτησης για μετακίνηση μέσα στη μέρα και τις ποσοτικοποιημένες επιδράσεις που έχει αυτή στην πρόσθετη κυκλοφορία για στάθμευση.



Διάγραμμα 4. 17 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αδροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετική περίοδο αιχμής της ημέρας

Η περίοδος αιχμής μέσα στη μέρα επηρεάζει την διάρκεια εύρεσης στάθμευσης για περιπλανήσεις άνω των 3 λεπτών και οι ώρες εκτός αιχμής οδηγούν σε πιθανές χρονικές διάρκειες στάθμευσης αρκετά μικρότερες. Οι ώρες αιχμής είτε στο πρωινό φάσμα της ημέρας είτε στο απογευματινό επηρεάζουν παρόμοια τη διάρκεια στάθμευσης με την πρωινή αιχμή , να οδηγεί σε ελαφρά μικρότερες διάρκειες περιπλάνησης.

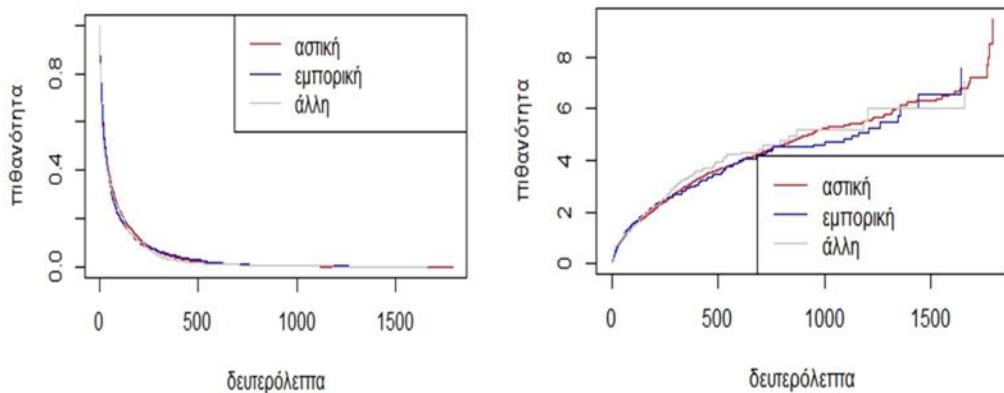
Η στάθμευση πραγματοποιείται είτε σε θέσεις πάρα την οδό που κατά κύριο λόγο αναφέρεται σε δρόμους χαμηλού φόρτου και ταχύτητας και σε αρκετούς διαθέσιμους ελεύθερους χώρους εκτός οδού και τέλος σε ειδικές περιπτώσεις σε δρόμους υψηλών ταχυτήτων. Ο παράγοντας του χώρου της στάθμευσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός και καθορίζει τον χρόνο περιπλάνησης ενώ οι επιδράσεις του αποτυπώνονται στο Διάγραμμα 4.18 που ακολουθεί .



Διάγραμμα 4. 18 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αδροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετικό τύπο οδού στάθμευσης

Η διάρκεια αναζήτησης στάθμευσης είτε πάρα την οδό είτε εκτός οδού έχει σχεδόν ταυτόσημα χαρακτηριστικά ως αναφορά το μέγεθός του χρόνου περιπλάνησης ωστόσο, αυτό που αποτελεί σημαντική διαφορά είναι επιλογή στάθμευσης του οδηγού σε οδό ταχείας κυκλοφορίας. Η στάθμευση σε οδό ταχείας κυκλοφορίας αφορά μικρούς χρόνους περιπλάνησης έως 5 λεπτά γεγονός που καταδεικνύει ότι δεν δαπανά περισσότερο χρόνο και σταθμεύει σε μία οδό που δεν ενδείκνυται αλλά προφανώς αποτελεί λόση ανάγκης για άμεση στάθμευση. Ακόμα είναι φανερό ότι δεν υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα στάθμευσης σε οδό ταχείας κυκλοφορίας για ιδιαίτερα μικρούς χρόνους περιπλάνησης λίγων λεπτών ενώ όταν ο χρόνος περιπλάνησης ξεπερνά τα 5 λεπτά μειώνεται η πιθανότητα να επιλέγει ο δρόμος ταχείας κυκλοφορίας ως χώρος στάθμευσης.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της σύνδεσης και της επίδρασης της χρήσης γης της περιοχής προορισμού και κατ'επέκταση και στάθμευσης στον χρόνο εύρεσης θέσης στάθμευσης. Οι χρήσεις γης που χαρακτηρίζουν μία περιοχή προορισμού θα μπορούσαν να χαρακτηρίζονται από μεταβολή των χρόνων στάθμευσης. Αν η προσπάθεια εύρεσης στάθμευσης ανήκει σε μία περιοχή εμπορικής δραστηριότητας ή σε μία περιοχή κατοικιών ή σε μία περιοχή ψυχαγωγικής δραστηριότητας δίνουν διαφορές στον χρόνο στάθμευσης. Παρακάτω ακολουθεί το Διάγραμμα 4.19 που δίνει διαφορετικές καμπύλες για διαφορετικό τύπο οδού στάθμευσης.



Διάγραμμα 4. 19 : Καμπύλες επιβίωσης (αριστερά) και αδροιστικού κινδύνου (δεξιά) κατά Kaplan-Meier του χρόνου εύρεσης στάθμευσης για διαφορετική χρήση γης

Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση για δύο ευρείες χρήσεις γης για τις περιοχές κατοικίας και για τις περιοχές που συγκεντρώνουν την εμπορική δραστηριότητα ενώ οποιαδήποτε άλλη χρήση γης συγκατηγοριοποιήθηκε στην γενική κατηγορία. Το ενδιαφέρον εντοπίζεται στη σύγκριση των χρήσεων γης της αστικής περιοχής κατοικίας και των περιοχών εμπορικής δραστηριότητας οι οποίες ωστόσο δεν παρουσιάζουν έντονές διαφορές για χρόνους στάθμευσης έως 13 λεπτών υπάρχει διαφορά που κατατάσσει τη στάθμευση από 13 έως 20 λεπτά πιθανότερη επομένως και ευκολότερη σε περιοχές κατοικιών συγκριτικά με τις περιοχές εμπορικής δραστηριότητας.

Για την αξιολόγηση της στατιστικής σημαντικότητας των αποτελεσμάτων των προτύπων Kaplan -Meier έχουν πραγματοποιηθεί τα αντιστοιχα του κάθε προτύπου log rank tests τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.2 .

Πίνακας 4. 2 : Αποτελέσματα log rank test για τα πρότυπα Kaplan - Meier

	Log rank	p-value
Απόσταση Περπατήματος	459	e^-16
Απόσταση Ταξιδιού	49,5	e^-12
Διάρκεια Ταξιδιού	330	e^-16
Ώρα Αιχμής	7,5	0,01
Τύπος Οδού	1,1	0,05
Χρήσεις γης	3,2	0,02

Όλες οι μεταβλητές των προτύπων Kaplan-Meier δίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές επομένως σε πρώτη θεώρηση γίνεται αντίληπτό ότι πρόκειται για παράγοντες που επιδρούν στο χρόνο αναζήτησης στάθμευσης. Οι δύο παράγοντες ώστε που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη επιρροή με συντριπτική διαφορά είναι η απόσταση περπατήματος και η διάρκεια του ταξιδιού . Από τις διακριτές μεταβλητές η ώρα αιχμής παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιρροή.

4.4 Αποτελέσματα Πρότυπου Αναλογικού Κινδύνου - Cox Proportional Hazard Model

Τα πρώτα βήματα επιλογής επεξηγηματικών μεταβλητών καθορίστηκαν από την αξία και τη γενική αντίληψη των παραγόντων που θέλαμε να διερευνήσουμε την επίδρασή τους πάνω στη διάρκεια στάθμευσης εφόσον όπως ήδη έχει αναφερθεί η βάση δεδομένων προσέφερε πολλές πληροφορίες για ειδικά χαρακτηριστικά του ταξιδιού όπως επιταχύνσεις από στάση , υπέρβαση του ορίου ταχύτητας, μέση ταχύτητα, οικολογικούς δείκτες οδήγησης ή από την άλλη πλευρά συμπεριφορικές μεταβλητές που αφορούσαν τον οδηγό.

Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες επίδρασης στο φαινόμενο της περιπλάνησης για στάθμευσης χωρίζονται στα χαρακτηριστικά που αφορούν το ταξίδι, στα χαρακτηριστικά που αφορούν τη χρονική κατανομή της ζήτησης για στάθμευση και τέλος στα χωρικά χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία πραγματοποιείται η

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

στάθμευση. Ακολουθεί ο Πίνακας 4.3 συνοπτικής παρουσίασης των μεταβλητών που επιλέχθηκαν ως κρίσιμες ποιοτικά και ιδιαίτερα σημαντικές για να βρεθούν οι συσχετίσεις μεταξύ αυτών αλλά και του μεγέθους του χρόνου περιπλάνησης.

Πίνακας 4. 3 : Ερμηνεία ανεξάρτητων μεταβλητών της βάσης δεδομένων

Παράγοντας	Περιγραφή
Χαρακτηριστικά Ταξιδιού	
Distance	Συνολική απόσταση ταξιδιού σε χλμ.
Duration	Συνολική διάρκεια ταξιδιού σε δτλ.
Χαρακτηριστικά Χρονικής Τοποθέτησης	
Peak hour	Διάστημα αιχμής μέσα στη μέρα
Week day	Μέρα της εβδομάδας
Work weekend	Σαββατοκύριακο εργασίας
Χαρακτηριστικά Χωρικής Τοποθέτησης	
Shape area	Έκταση περιοχής στάθμευσης σε τ. χλμ.
Population area	Πληθυσμός κατοίκων περιοχής στάθμευσης σε χιλιάδες
Land use	Χρήση γης περιοχής στάθμευσης
Road type	Τύπος οδού στην οποία στάθμευσης

Πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές δοκιμές με όλες τις παραπάνω μεταβλητές ώστε να αναδειχθεί το πρότυπο που έδινε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στη προσαρμογή του προτύπου, στην αξιοπιστία του προτύπου αλλά και στην περιγραφικότητα των μεταβλητών και στη στατιστική σημαντικότητα τους ώστε να διερευνηθεί η συσχέτιση της διάρκειας στάθμευσης με τους παραπάνω παράγοντες.

Ακολουθεί παρουσίαση των επεξηγηματικών ανεξάρτητων μεταβλητών μέσω του Πίνακας 4.4 που περιέχει τα αποτελέσματα προσαρμογής και αξιοπιστίας των προτύπων:

Πίνακας 4. 4 : Σύγκριση αποτελεσμάτων διαφορετικών Cox PH προτύπων

	ΠΡΟΤΥΠΟ 1	ΠΡΟΤΥΠΟ 2	ΠΡΟΤΥΠΟ 3
Λόγος στατιστικά σημαντικών μεταβλητών προς το σύνολο των μεταβλητών	3/8 (0,3)	3/6 (0,5)	5/5 (1)
AIC	150498.7	150760.6	150755.5
Concordance	0,63	0,63	0,634

Η παρουσίαση των μεταβλητών που συμπεριλήφθηκαν σε κάθε πρότυπο παρουσιάζει 3 βασικά στάδια επιλογής παραγόντων που εξασφαλίζουν την καλή προσαρμογή του μοντέλου με την όσο δυνατόν καλύτερη επιλογή παραγόντων τόσο για τη στατιστική τους σημαντικότητα όσο και για την περιγραφική αξιοποίησή τους στο μοντέλο. Το πρώτο πρότυπο περιέχει σχεδόν το σύνολο των μεταβλητών οδηγώντας σε μία καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου καθώς περιέχει περισσότερες μεταβλητές δίνοντας περισσότερα σημεία αναφοράς στην διαδικασία της παλινδρόμησης (παρουσιάζει το μικρότερο AIC). Από την άλλη πλευρά δημιουργείται μία υπερπροσαρμογή του μοντέλου που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αξιοπιστία του ενώ ταυτόχρονα η παρουσία πολλών παραγόντων επεξήγησης του φαινομένου οδηγεί σε μείωση της στατιστικής σημαντικότητας και αλλοίωση της επίδρασης που έχουν πολλοί από τους παράγοντες, κάποιοι από τους οποίους είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, στο αποτέλεσμα πρόβλεψης του μοντέλου.

Στη συνέχεια προσεγγίζεται η επιλογή των παραμέτρων με τη λογική του πρότυπου 2 όπου διατηρούνται μόνο οι ιδιαίτερα σημαντικές στατιστικά μεταβλητές με την πλέον μεγάλη αλληλεπίδραση αυτό επίσης δεν οδηγεί στην καλύτερη εκτίμηση του προτύπου καθώς δίνει μεγαλύτερο AIC χωρίς αύξηση του αριθμού των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών ή της αξιοπιστίας των σωστών προβλέψεων του προτύπου (Concordance).

Συμπερασματικά προκύπτει μια ενδιάμεση προσαρμογή και παραμετροποίηση του μοντέλου όπου εξασφαλίζεται με μια διαδικασία εξισορρόπησης. Η καλύτερη δυνατή προσαρμογή με την υψηλότερη στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων που επιλέγονται δοκιμάζεται στο πρότυπο 3 το οποίο εμφανίζει στατιστική σημαντικότητα στο σύνολο των μεταβλητών του, μικρή αύξηση της αξιοπιστίας του (Cocordance) και τέλος ταυτόχρονη μείωση στο AIC σε σχέση με το πρότυπο 2.

Το μέτρο προσαρμογής που χρησιμοποιήθηκε ήταν το AIC (Akaike's Information Criteria) και μέσω της εντολής 'stepAIC' βελτιστοποιήθηκε η παραμετροποίηση του επιλεγμένου προτύπου ως προς τη διάρκεια και την απόσταση περιπατήματος, την ώρα αιχμής, τις χρήσεις γης και τον τύπο οδού αναδεικνύοντας το πρότυπο 3 ως το πλέον κατάλληλο.

Η εκτίμηση της αξιοπιστίας της καλής προσαρμογής του μοντέλου πραγματοποιείται κυρίως μέσα από το μέτρο AIC ωστόσο και η εκτίμηση της Loglikehood αποτελεί παράγοντα που λήφθηκε υπόψιν. Επίσης για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας του μοντέλου υγινεί χρήση και των loglikelihood ratio test, wald test και logrank test τα οποία έδωσαν αποδεκτά αποτελέσματα.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων αλλά και οι τιμές των κριτηρίων προσαρμογής των μοντέλων:

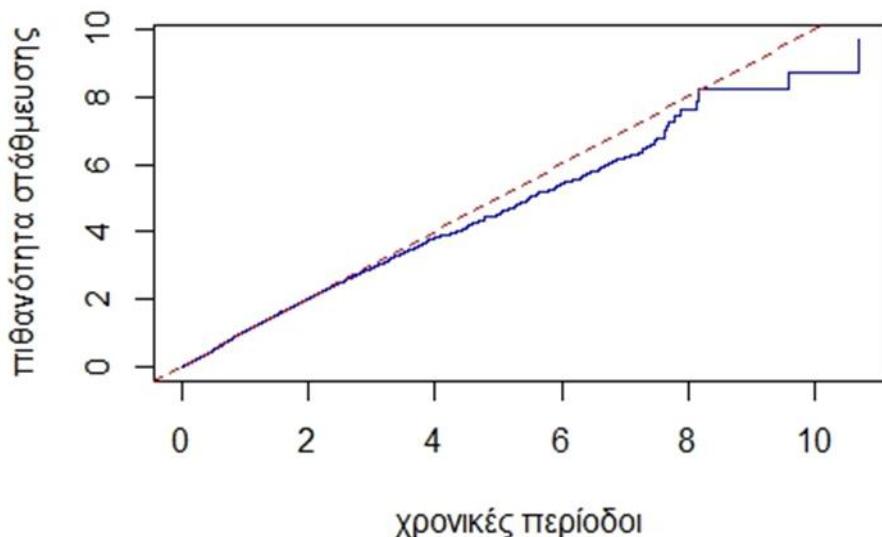
- Likelihood ratio test= 816.7 on 8 df, p=<2e-16
- Wald test = 706.7 on 8 df, p=<2e-16
- Score (logrank) test = 441.4 on 8 df, p=<2e-16

- AIC = 150755.5
- Loglikelihood = -75369.76

- Concordance = 0,634

Η αξιολόγηση του προτύπου cox ολοκληρώνεται μέσα και από τη διερεύνηση της ύπαρξης των υπολειπόμενων τιμών που προκύπτουν μετά την εφαρμογή του προτύπου που φαίνεται στο Διάγραμμα 4.20.

Υπάρχουν στατιστικά σημαντικά σφάλματα για την ώρα αιχμής, την διάρκεια ταξιδιού και την απόσταση περπατήματος ωστόσο η απόκλιση τους (rho) είναι ιδιαίτερα μικρή μη δημιουργώντας πρόβλημα στις εκτιμήσεις των παραμέτρων η απόκλιση αυτή δεν ξεπερνά το 10% στο ακραίο εύρος της.



Διάγραμμα 4. 20: Διάγραμμά υπολοίπων προτύπου Cox PH - Cox snell residuals

Οι συσχετίσεις του μεγέθους της χρονικής περιπλάνησης δίνονται από τα αποτελέσματα του προτύπου καθώς δίνεται και η στατιστική σημαντικότητα του παράγοντα που συμμετέχει στο μοντέλο. Οι συντελεστές των παραμέτρων καθώς και τα ποσοστά αναλογίας κινδύνου παρατίθενται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4. 5 : Αποτελέσματα συντελεστών παραμέτρων προτύπου Cox PH

Παράγοντας	Περιγραφή	Τιμή βάσης για διακεκριμένες μεταβλητές	Συντελεστής	Ποσοστό κινδύνου	p-value
Duration	Διάρκεια ταξιδιού	–	-0,0002	0,99	***
Walking distance	Απόσταση περπατήματος	–	-3,14	0,043	***
Peak hour 1	Πρωινή αιχμή	Peak hour 0 (εκτός αιχμής)	-0,17	0,84	***
Peak hour 2	Απογευματινή αιχμή	Peak hour 0 (εκτός αιχμής)	-0,21	0,80	***
Land use 2	Εμπορικές χρήσεις γης	Land use 1 (αστικός ιστός)	-0,01	0,98	**
Land use 3	Άλλες χρήσεις γης	Land use 1 (αστικός ιστός)	0,12	1,13	**
Road type 1	Οδός ταχείας κυκλοφορίας	Road type 0 (εκτός οδού)	0,16	1,17	
Road type 2	Άλλες κατηγορίες οδών	Road type 0 (εκτός οδού)	-0,01	0,98	*

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του προτύπου έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και δείχνει την τάση επιρροής των συντελεστών, άλλα και μέσα από τα ποσοστά κινδύνου ποσοτικοποιείται και τις επιδράσεις των παραμέτρων στην ανεξάρτητη μεταβλητή δηλαδή στον χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση. Αρχικά το πρότυπο περιλαμβάνει μεταβλητές που ανήκουν σε όλες τις βασικές κατηγορίες χαρακτηριστικών που είχαμε ως στόχο να διερευνήσουμε, συμπεριλαμβάνονται μεταβλητές που αφορούν τα χαρακτηριστικά του ταξιδιού, τη χρονική κατανομή της ζήτησης για στάθμευση άλλα και χαρακτηριστικά χωρικής κατανομής της στάθμευσης με τη πλειοψηφία των μεταβλητών να είναι στατιστικά σημαντικοί και να έχουν βαρύτητα στο μοντέλο. Τα πλέον στατιστικά σημαντικά χαρακτηριστικά αποτελούν τα χαρακτηριστικά τους ταξιδιού (duration ,walking distance) και η χρονική κατανομή της ζήτησης για στάθμευση μέσα στις ώρες τις ημέρας (peak hour). Στη συνέχεια ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης της περιοχής στάθμευσης και τέλος το

χαρακτηριστικό του τύπου της οδού ως αναφορά τη στάθμευση σε τοπικές οδούς και γενικότερα χαμηλότερες κατηγορίες οδών σε σχέση με τις οδούς υψηλών ταχυτήτων.

Διάρκεια ταξιδιού

Παρατηρείται ότι η τάξη του συντελεστή επιρροής είναι αρκετά μικρή επομένως η συνολική διάρκεια ενός ταξιδιού επηρεάζει έγκυρα και συστηματικά τον χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση ωστόσο σε μικρό βαθμό. Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η αύξηση της χρονικής διάρκειας του ταξιδιού οδηγεί σε αύξηση του χρόνου εύρεση στάθμευσης, συγκεκριμένα για αύξηση μίας ποσοτικής μονάδας του χρόνου του ταξιδιού θα έχουμε 10% αύξηση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης.

Απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό

Ο συντελεστής αυτής της παραμέτρου είναι ιδιαίτερα μεγάλος, ο μεγαλύτερος μεταξύ των επιλεγμένων παραμέτρων και κατατάσσει αυτόν τον επεξηγηματικό παράγοντα σε αυτόν με τη μεγαλύτερη επίδραση στο χρόνο στάθμευσης και στην απόφαση του οδηγού που αφορά τη στάθμευση. Φαίνεται χαρακτηριστικά ότι όσο αυξάνεται η απόσταση περπατήματος αυξάνεται ο χρόνος περιπλάνησης για στάθμευση ενώ για μία ποσοστιαία μονάδα αύξησης της απόστασης περπατήματος από τον τελικό προορισμό έχουμε αύξηση 6% του χρόνου περιπλάνησης. Το ποσοστό αυτό είναι ιδιαίτερα μικρό συγκριτικά με το μέγεθος του συντελεστή επίδρασης της παραμέτρου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η βάση δεδομένων περιείχε τις αποστάσεις περπατήματος σε χιλιόμετρα επομένως η μέτρησης της μονάδας του μήκους είναι αρκετά μεγάλη για την τάξη των ζητούμενων αποστάσεων περπατήματος γιαυτό και απομειώνεται το ποσοστό επιρροής στο χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση.

Πρωινή αιχμή

Ο συντελεστής επιρροής είναι μικρός και αρκετά σημαντικός το αρνητικό πρόσημο του δείχνει ότι συγκριτικά με την εύρεσή στάθμευσης για την τιμή βάσης της παραμέτρου δηλαδή για τις ώρες εκτός αιχμής έχουμε αύξηση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης. Σε ποσοτικοποιημένους όρους υπάρχει 16% αύξηση του χρόνου περιπλάνησης σε ώρα πρωινής αιχμής συγκριτικά με το αν η προσπάθεια στάθμευσης πραγματοποιούνταν εκτός αιχμής.

Απογευματινή αιχμή

Ο συντελεστής αυτής της κατηγορίας της παραμέτρου είναι αντίστοιχης δυναμικής με αυτόν για την πρωινή αιχμή και εμφανίζει όπως ήταν αναμενόμενο την ίδια τάση όντας αρνητικός. Επομένως η στάθμευση σε απογευματινή ώρα αιχμής συγκριτικά με τη στάθμευση σε περιόδους της μέρας εκτός αιχμής οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους περιπλάνησης και συγκεκριμένα σε 20% περισσότερο χρόνο περιπλάνησης.

Εμπορικές χρήσεις γης

Η μεταβλητή βάσης όσα αναφορά τις χρήσεις γης αφορά τον αστικό ιστό περιοχών κατοικίας. Παρατηρείται μέσου εύρους επίδρασης των εμπορικών χρήσεων γης στο φαινόμενο της στάθμευσης με αρνητικό αντίκτυπο συγκριτικά με τη μεταβλητή βάσης. Συγκεκριμένα η αύξηση του χρόνου στάθμευσης όταν η στάθμευση πραγματοποιείται σε εμπορικό χώρο από τι σε περιοχή κατοικιών παρουσιάζοντας μία αύξηση 2% στον χρόνο στάθμευσης.

Άλλες χρήσεις γης

Στόχος της παρούσας διερεύνησης ήταν επικεντρωθεί στην επίδραση των δύο βασικότερων χρήσεων γης αυτού της εμπορικής δημόσιας δραστηριότητας και αυτού της κατοικίας και στο πως αυτά τα δύο επηρεάζουν το φαινόμενο της στάθμευσης. Ωστόσο οι χρήσεις γης κατηγοριοποιούνται σένα ευρύ φάσμα υπάρχουν χρήσεις γης για αγροτική δραστηριότητα, για ψυχαγωγική δραστηριότητα, για χώρους μετακινήσεων όπως στάθμευση σε λιμάνια ή αεροδρόμια άλλα και πολλές άλλες όπως ήδη έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογικής προσέγγισης. Εξαιρούνται λοιπόν όλες τις υπόλοιπες χρήσεις γης που δεν αφορούν άμεσα τη διερεύνηση ωστόσο δεν είναι ορθό να αγνοηθούν καθώς έχουν σημαντική συγκριτικά επίδραση η οποία απεικονίζεται στο συντελεστή αυτού του παράγοντα. Ο συντελεστής είναι σημαντικός δηλώνει σημαντική επίδραση και θετική συγκριτικά με την τιμή βάσης ειδικότερα δηλώνει ότι η στάθμευση σε άλλες χρήσεις γης πέραν των κατοικιών γίνεται με μικρότερους χρόνους περιπλάνησης και μάλιστα της τάξης του 13% μικρότερους.

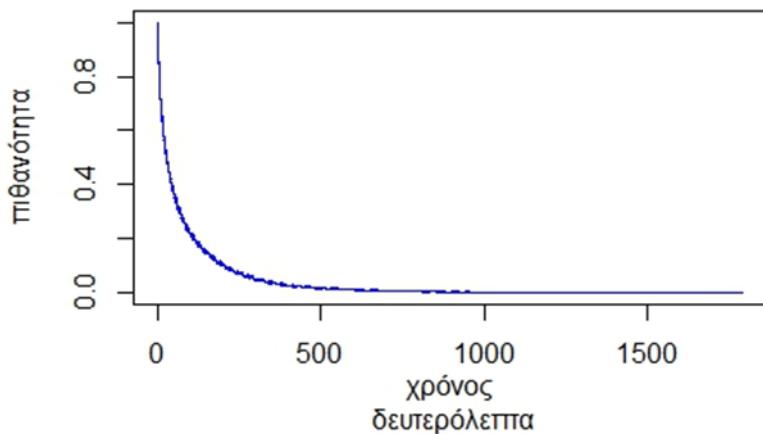
Τύπος οδού στάθμευσης ταχείας κυκλοφορία

Αυτή η παράμετρος εκφράζει αν στάθμευση πραγματοποιήθηκε σε υπαίθριο χώρο έκτος οδού (χωρίς βέβαια να υπάρχει η πληροφορία για ιδιωτικό χώρο στάθμευσης ιδιοκτησία ή επί πληρωμή) ή η στάθμευση έγινε πάρα την οδό και σε αυτήν την περίπτωση κατηγοριοποιήθηκε η οδός σε οδό ταχείας κυκλοφορίας ή σε άλλη κατηγορία οδού. Η επίδραση της στάθμευσης σε οδό ταχείας κυκλοφορίας συγκριτικά με την στάθμευση έκτος οδού είναι σημαντική και θετική. Η στάθμευση σε οδό ταχείας κυκλοφορίας οδηγεί σε μικρότερους χρόνους περιπλάνησης συγκριτικά με τη στάθμευση έκτος οδού και συγκεκριμένα σε 17% μικρότερους χρόνους.

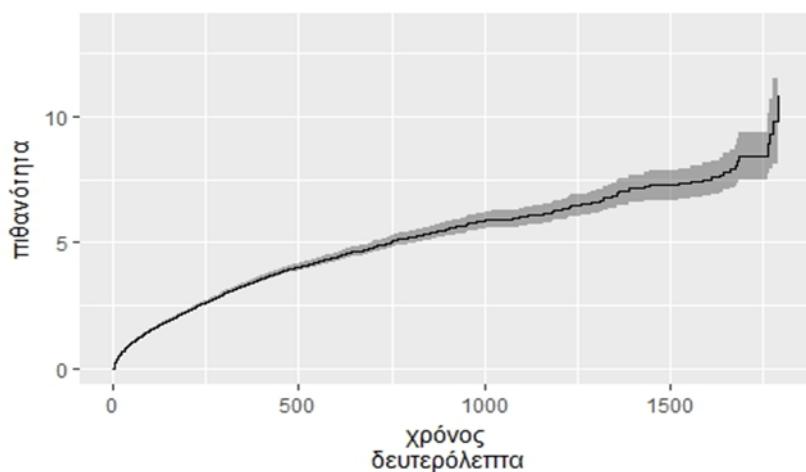
Άλλες κατηγορίες οδών τοπικές οδοί

Για στάθμευση παρά την οδό όταν πρόκειται για τοπική οδό ή μία οδό προδιαγραφών χαμηλότερης ταχύτητας η επίδραση στον χρόνο στάθμευση συγκριτικά με τη στάθμευση εκτός οδού είναι μικρότερης δυναμικής και αρνητική δηλαδή η στάθμευση παρά την οδό όταν πρόκειται για τοπική οδό αυξάνει το χρόνο περιπλάνησης συγκριτικά με τη στάθμευση εκτός οδού και δίνει μία αύξηση 2% στο χρόνο εύρεσης θέσης στάθμευσης.

Στα Διαγράμματα 4.21 και 4.22 φαίνεται η καμπύλη επιβίωσης και η αθροιστική πιθανότητα αναλογικού κινδύνου για τους χρόνους στάθμευσης.



Διάγραμμα 4. 21 : Καμπύλη επιβίωσης μοντέλου Cox PH



Διάγραμμα 4. 22 : Καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας κινδύνου προτύπου Cox PH

Ο ρυθμός αύξησης της πιθανότητας στάθμευσης είναι πιο ραγδαίος για διάρκεια στάθμευσης κάτω των οκτώ λεπτών, χρονική διάρκεια στάθμευσης που είναι η πλέον επιθυμητή. Η πιθανότητα να βρεθεί θέση στάθμευσης κάτω των δώδεκα λεπτών είναι 50% ενώ τέλος μη επιθυμητές ιδιαίτερα μεγάλες χρονικές διάρκειες στάθμευσης που αποτελούν αρνητικούς χρόνους που μειώνουν την ανταγωνιστικότητα του μέσου, χρονικές διάρκειες στάθμευσης άνω των 20 λεπτών έχουν πιθανότητα εμφάνισης 35%.

4.5 Αποτελέσματα Προτύπου Επιτάχυνσης Χρόνου Έκβασης Γεγονότος - Accelerated Failure Time Moles (AFT)

Αρχικά έγινε διεξοδική ανάλυση προσαρμογής γνωστών κατανομών ώστε να αναγνωριστεί η καταλληλότερη κατανομή στην οποία μπορεί να προσαρμοστεί με τον καλύτερο τρόπο η καμπύλη επιβίωσης δηλαδή η καμπύλη περιπλάνησης χρόνου εύρεσης στάθμευσης της βάσης των δεδομένων. Οι κατανομές που ελέγχθηκαν ως προς την ακαταλληλότητας τους ήταν :

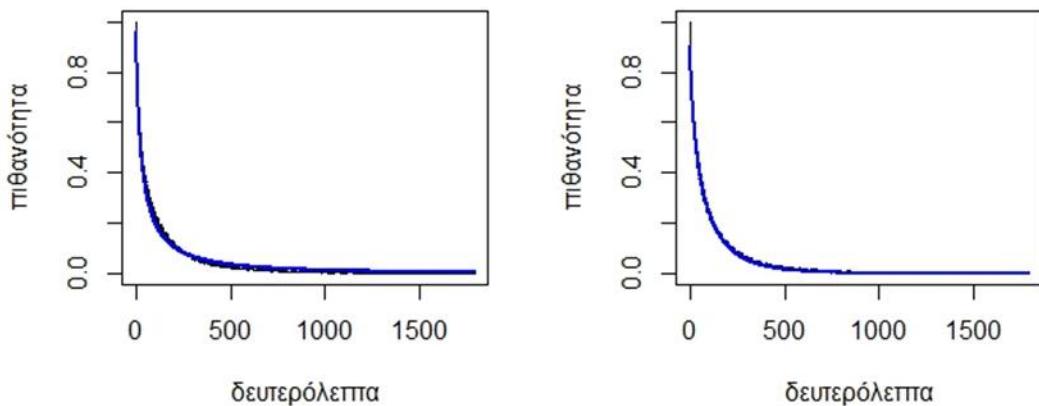
- Exponential
- Weibull
- Gaussian
- Lognormal
- Gamma
- Gengamma
- Genf
- Gompertz

Όλες οι παραπάνω κατανομές προσαρμόστηκαν στη καμπύλη επιβίωσης και αξιολογήθηκε η προσαρμογή τους τόσο γραφικά όσο και με το Akaike's Information Criterion αλλά και την Loglikelihood. Ο Πίνακας 4.6 δίνει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την προσαρμογή των κατανομών .

Πίνακας 4. 6 : Αποτελέσματα προσαρμογής δεδομένων σε διάφορες κατανομές

Κατανομή	AIC	Loglikelihood
Exponential	101548.3	-50773.15
Weibull	98067.47	-49031.73
Gamma	98893.3	-49444.65
Gengamma	96869.14	-48431.57
Gompertz	98867.54	-49431.77
Genf	96871.33	-48431.67

Οι πλέον κατάλληλες κατανομές όπως αναδεικνύει ο συγκριτικός πίνακας παραπάνω είναι η Weibull και η Gengamma (Διάγραμμα 4.23). Η πολύ καλή προσαρμογή και των δύο κατανομών είναι εμφανής επομένως θα δημιουργηθούν πολυπαραμετρικά πρότυπα σύμφωνα και με τις δύο κατανομές.



Διάγραμμα 4. 23 : Συγκριτική παρουσίαση της προσαρμογής των καμπύλων επιβίωσης των κατανομών *gengamma* (αριστερά) και *Weibull* (δεξιά) στην καμπύλη επιβίωσης της βάσης δεδομένων

Για την βέλτιστη επιλογή των επεξηγηματικών ανεξάρτητων μεταβλητών πραγματοποιήθηκαν επίσης αρκετές δοκιμές με όλες τις μεταβλητές βαρύτητας της βάσης δεδομένων και η καλύτερη παραμετροποίηση των προτύπων ήταν παραπλήσια τόσο μεταξύ τους όσο και με την παραμετροποίηση του προτύπου του αναλογικού κινδύνου. Οι παράμετροι που κρίθηκαν σημαντικοί είναι:

- Διάρκεια
- Απόσταση περπατήματος
- Ωρα αιχμής
- Χρήση γης
- Τύπος οδού

Η συγκριτική αντιπαράθεσή των μέτρων προσαρμογής των δύο προτύπων αλλά και της γραφικής προσαρμογής όπου χαρακτηρίζουν την καλή προσαρμογή και αξιοπιστία του μοντέλου συμπεριλαμβάνονται στον Πίνακα 4.7 και αναδεικνύουν την κατανομή Weibull ως την καταλληλότερη για την ανάπτυξή του παραμετρικού προτύπου

Πίνακας 4. 7 : Σύγκριση μέτρων προσαρμογής κατανομών *gen gamma* και *weibull* στα δεδομένα

	Weibull	Gengamma
loglikelihood	-48568.32	14592
AIC	97156.64	-29162

Επιλέγεται να εφαρμοστεί η παραμετροποίηση του πρότυπου συμφωνά με την κατανομή αυτή και να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης του χρόνου εύρεσης στάθμευσης. Σε αυτό το σημείο δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην

ερμηνεία των συντελεστών καθώς η ερμηνεία αυτή πραγματοποιείται με αντίστροφος όρους πρόσημου δηλαδή θετικοί συντελεστές εκφράζουν για την αύξηση του παράγοντα αύξηση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης ενώ αρνητικοί συντελεστές σημαίνουν τη μείωση της διάρκειας στάθμευσης για αυξητική μεταβολή του παράγοντα. Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται οι συντελεστές του παραμετρικού μοντέλου επιταχυνόμενου χρόνου.

Πίνακας 4. 8 : Αποτελέσματα συντελεστών παραμέτρων προτύπου AFT

Παράγοντας	Περιγραφή	Τιμή βάσης για διακεκριμένες μεταβλητές	Συντελεστής	CI 95%
Duration	Διάρκεια ταξιδιού	–	0,0003	(0,0032 έως 0,0037)
Walking distance	Απόσταση περπατήματος	–	4,45	(4 έως 4,8)
Peak hour 1	Πρωινή αιχμή	Peak hour 0 (εκτός αιχμής)	0,22	(0,2 έως 0,3)
Peak hour 2	Απογευματινή αιχμή	Peak hour 0 (εκτός αιχμής)	0,37	(0,2 έως 0,4)
Land use 2	Εμπορικές χρήσεις γης	Land use 1 (αστικός ιστός)	0,01	(-0,08 έως 0,1)
Land use 3	Άλλες χρήσεις γης	Land use 1 (αστικός ιστός)	-0,19	(-0,3 έως -0,07)
Road type 1	Οδός ταχείας κυκλοφορίας	Road type 0 (εκτός οδού)	-0,17	(-0,8 έως 0,4)
Road type 2	Άλλες κατηγορίες οδών	Road type 0 (εκτός οδού)	0,031	(0,02 έως 0,09)

Αρχικά υπάρχει πλήρη αντιστοιχία με το μοντέλο αναλογικού κίνδυνου ως αναφορά τα πρόσημα των συντελεστών (είναι κατά αντιστοιχία αντίθετα) αλλά και ως προς την τάξη μεγέθους του συντελεστή όπου παρατηρείται πλήρης αναλογία.

Διάρκεια ταξιδιού

Παρατηρείται ότι η τάξη του συντελεστή επιρροής είναι αρκετά μικρή επομένως η συνολική διάρκεια ενός ταξιδιού επηρεάζει έγκυρα και συστηματικά τον χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση ωστόσο σε μικρό βαθμό. Το θετικό πρόσημο δηλώνει ότι η αύξηση της χρονικής διάρκειας του ταξιδιού οδηγεί σε αύξηση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης, επομένως επιβραδύνεται ο χρόνος εμφάνισης του γεγονότος δηλαδή της στάθμευσης με ρυθμό 0,03.

Απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό

Ο συντελεστής αυτής της παραμέτρου είναι ιδιαίτερα μεγάλος, ο μεγαλύτερος μεταξύ των επιλεγμένων παραμέτρων και κατατάσσει αυτόν τον επεξηγηματικό παράγοντα σε αυτόν με τη μεγαλύτερη επίδραση στο χρόνο στάθμευσης και στην απόφαση του οδηγού που αφορά τη στάθμευση. Φαίνεται χαρακτηριστικά ότι όσο αυξάνουμε την απόσταση περπατήματος αυξάνουμε το χρόνο περιπλάνησης για στάθμευση, επομένως με την αύξηση της απόστασης περπατήματος επιβραδύνεται η στάθμευση με ρυθμό 4,45 .

Πρωινή αιχμή

Ο συντελεστής επιρροής είναι μέτριος ,το θετικό πρόσημο του δείχνει ότι συγκριτικά με την εύρεσή στάθμευσης για την τιμή βάσης της παραμέτρου δηλαδή για τις ώρες εκτός αιχμής έχουμε αύξηση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης. Συγκεκριμένα σε ώρες πρωινής αιχμής επιβραδύνεται η στάθμευση με ρυθμό 0,2 συγκριτικά με την στάθμευση έκτος ωρών αιχμής.

Απογευματινή αιχμή

Ο συντελεστής αυτής της κατηγορίας της παραμέτρου είναι αντίστοιχης δυναμικής με αυτόν για την πρωινή αιχμή και εμφανίζει όπως ήταν αναμενόμενο την ίδια τάση όντας θετικός. Επομένως η στάθμευση σε απογευματινή ώρα αιχμής συγκριτικά με τη στάθμευση σε περιόδους της μέρας εκτός αιχμής οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους περιπλάνησης και επιβράδυνση της στάθμευσης με ρυθμό 0,3.

Εμπορικές χρήσεις γης

Η μεταβλητή βάσης όσα αναφορά τις χρήσεις γης αφορά τον αστικό ιστό περιοχών κατοικίας. Παρατηρείται μέσου εύρους επίδρασης των εμπορικών χρήσεων γης στο φαινόμενο της στάθμευσης με αρνητικό αντίκτυπο συγκριτικά με τη μεταβλητή βάσης. Συγκεκριμένα η αύξηση του χρόνου στάθμευσης όταν η στάθμευση πραγματοποιείται σε εμπορικό χώρο από τι σε περιοχή κατοικιών και επιβραδύνεται η επίτευξη τα στάθμευσης με ρυθμό 0,011.

Άλλες χρήσεις γης

Στόχος της παρούσας διερεύνησης ήταν επικεντρωθεί στην επίδραση των δύο βασικότερων χρήσεων γης αυτού της εμπορικής δημόσιας δραστηριότητας και αυτού της κατοικίας και πως αυτά τα δύο επηρεάζουν το φαινόμενο της στάθμευσης . Ωστόσο οι χρήσεις γης κατηγοριοποιούνται σένα ευρύ φάσμα υπάρχουν χρήσης γης για αγροτική δραστηριότητα , για ψυχαγωγική δραστηριότητα , για χώρους μετακινήσεων όπως στάθμευση σε λιμάνια ή αεροδρόμια άλλα και πολλές άλλες όπως ήδη έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογικής προσέγγισης. Εξαιρούνται λοιπόν όλες τις

υπόλοιπες χρήσεις γης που δεν αφορούν άμεσα τη διερεύνηση ωστόσο, δεν είναι ορθό να αγνοηθούν καθώς έχουν σημαντικά συγκριτικά επίδραση η οποία απεικονίζεται στο συντελεστή αυτού του παράγοντα. Ο συντελεστής είναι σημαντικός δηλώνει σημαντική επίδραση και θετική συγκριτικά με την τιμή βάσης ειδικότερα δηλώνει ότι η στάθμευση σε άλλες χρήσεις γης πέραν των κατοικιών γίνεται με μικρότερους χρόνους περιπλάνησης και το φαινόμενο της στάθμευσης επιταχύνεται με ρυθμό 0,19.

Τύπος οδού στάθμευσης ταχείας κυκλοφορία

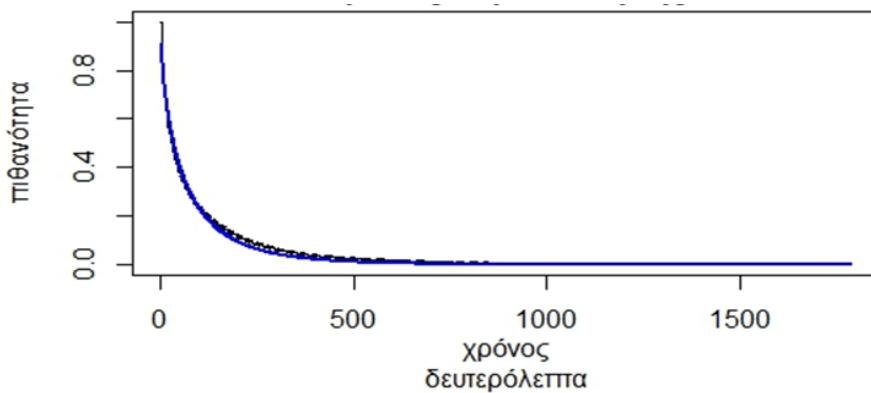
Αυτή η παράμετρος εκφράζει αν η στάθμευση πραγματοποιήθηκε σε υπαίθριο χώρο έκτος οδού (χωρίς βέβαια να υπάρχει η πληροφορία για ιδιωτικό χώρο στάθμευσης ιδιοκτησία ή επί πληρωμή) ή η στάθμευση έγινε πάρα την οδό και σε αυτήν την περίπτωση κατηγοριοποιήθηκε η οδός σε οδό ταχείας κυκλοφορίας ή σε άλλη κατηγορία οδού. Η επίδραση της στάθμευσης σε οδό ταχείας κυκλοφορίας συγκριτικά με την στάθμευση έκτος οδού είναι σημαντική και θετική. Η στάθμευση σε οδό ταχείας κυκλοφορίας οδηγεί σε μικρότερους χρόνους περιπλάνησης συγκριτικά με τη στάθμευση έκτος οδού και επιταχύνει το φαινόμενο της στάθμευσης με ρυθμό 0,17.

Άλλες κατηγορίες οδών τοπικές οδοί

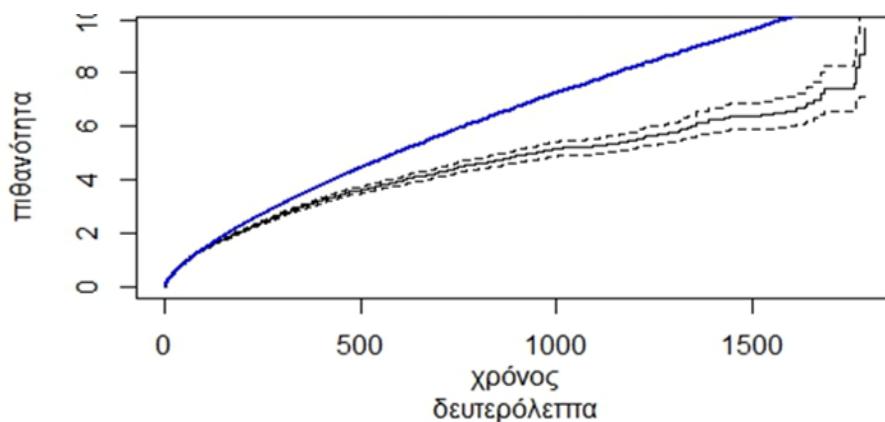
Για στάθμευση παρά την οδό όταν πρόκειται για τοπική οδό ή μία οδό προδιαγραφών χαμηλότερης ταχύτητας η επίδραση στον χρόνο στάθμευση συγκριτικά με τη στάθμευση εκτός οδού είναι μικρότερης δυναμικής και αρνητική δηλαδή η στάθμευση παρα την οδό όταν πρόκειται για τοπική οδό αυξάνει το χρόνο περιπλάνησης συγκριτικά με τη στάθμευση εκτός οδού και επιβραδύνει το φαινόμενο της στάθμευσης με ρυθμό 0,03.

Παρατηρήθηκε συμφωνία του παραμετρικού προτύπου και του ημιπαραμετρικού προτύπου Cox ως αναφορά τα αποτελέσματα τόσο στην τάση επίδρασης στην εξαρτημένη μεταβλητή (δηλαδή αύξηση ή μείωση του χρόνου εύρεσης στάθμευσης) όσο και στο μέγεθος της επίδρασης δηλαδή στην ποσοτική τάξη των συντελεστών παρόλο που η ερμηνεία τους διαφέρει στο λεπτό σημείο της έκφρασης της αναλογίας κινδύνου του Cox μοντέλου και της της χρονικής επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης με συγκεκριμένο ρυθμό της έκφρασης του φαινόμενου όπως αύτη υπολογίζεται από ένα παραμετρικό μοντέλο επιταχυνόμενου χρόνου AFT.

Ακολουθούν το Διάγραμμα 4.24 και το Διάγραμμα 4.25 που περιέχουν την καμπύλη επιβίωσης και την αθροιστική συνάρτηση κινδύνου του προτύπου AFT αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4. 24 : Καμπύλη επιβίωσης AFT προτύπου



Διάγραμμα 4. 25 : Καμπύλη αιθροιστικής συνάρτησης κινδύνου του προτύπου AFT

Μετά τη γραφική προσαρμογή του προτύπου και τη σύγκριση με τη πραγματική καμπύλη χρόνου στάθμευσης της βάσης βλέπουμε ότι υπάρχει μία απόκλιση μεγαλύτερης πιθανότητας ρίσκου ειδικότερα για χρόνους στάθμευσης άνω των 13 λεπτών.

4.6 Πρότυπο Μηχανικής Μάθησης Συστάδα Δέντρων Απόφασης-RF

Η προσέγγιση των μοντέλων πρόβλεψης και ανάλυσης ενός φαινομένου δεν εξαντλείται στα μοντέλα παλινδρόμησης μία ιδιαίτερη κατηγορία προτύπων αποτελούν τα πρότυπα μηχανικής μάθησης τα οποία στηρίζονται στη δημιουργία δέντρων απόφασης. Όπως ήδη έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο της μεθοδολογικής προσέγγισης ένα δέντρο απόφασης απεικονίζει τους κύκλους και την αλληλουχία τις ιεράρχησης παραγόντων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μία απόφασης ξεκινώντας από έναν παράγοντα βάσης ρίζα του δέντρου απόφασης και διαδοχικά συσχετίζοντάς τη σημασία που έχει κάθε μεταβλητή φτάνει στην πρόβλεψη της τιμής που παίρνει τελικά ο παράγοντας πρόβλεψης. Πλέον συνήθεις χρήσεις των μοντέλων με εφαρμογή

των δέντρων απόφασης αφορά κατηγορηματικές εξαρτημένες μεταβλητές ωστόσο με την κατάλληλή προσαρμογή ειδικότερα σε περιπτώσεις πρόβλεψης χρόνου ή χρονικών περιόδων όπως συμβαίνει στην ανάλυση χρόνου γεγονότος τα μοντέλα μηχανικής μάθησης δίνουν εξίσου σημαντικά και αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης δίνοντας την δυνατότητα της ιεράρχησης της σημαντικότητας που χαρακτηρίζει κάθε επιλεγμένη ανεξάρτητη μεταβλητή στην παραμετροποίηση του προτύπου για την πρόβλεψη της τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής.

Το συγκεκριμένο είδος προτύπου δεν βασίζεται στη δημιουργία ενός δέντρου απόφασης αλλά δημιουργείται συστάδα δέντρων και ο συμψηφισμός των αποτελεσμάτων όλων των δέντρων δίνει την τελική πρόβλεψη της συστάδας, δημιουργώντας περισσότερες δοκιμές και επομένως δίνοντας πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Το δείγμα μας ανέρχεται σε 9310 παρατηρήσεις μία τάξη μεγέθους ικανή για να υποστηριχτεί η εφαρμογή ενός τέτοιου μοντέλου μηχανικής μάθησης. Ο αριθμός δέντρων που θα δημιουργηθεί στη συστάδα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον την περίπτωση δέκα δέντρων και η συνήθης προεπιλογή αγγίζει τη δημιουργία 100 δέντρων. Ωστόσο τόσο για λόγους υπολογιστικού φόρτου όσο και εξαιτίας του μεγέθους του δείγματος που δεν είναι υπερβολικά μεγάλο επιλέγεται το κατώτερο όριο δέντρων της συστάδας και εξάγεται πρόβλεψη από συνολικά αποτελέσματα δέκα δέντρων. Η δημιουργία κάθε δέντρου στηρίζεται σημαντικά στη μεταβλητή που αποτελεί τον πρώτο παράγοντα του δέντρου ή αλλιώς τη ρίζα του δέντρου, η επιλογή αυτή πραγματοποιείται τυχαία με την εναλλαγή παραγόντων στη θέση της ρίζας. Ο αριθμός παραγόντων που εναλλάσσονται δίνεται στον κώδικα ως ρύθμιση και στην προκείμενη περίπτωση επιλέγεται να είναι 3 παράγοντες. Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται τμήμα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε και συγκεκριμένα η εντολή ranger του πακέτου rms της R που επέτρεψε την δημιουργία της συστάδας των δέντρων πρόβλεψης.

```
randmodel_1 <- ranger(surv_object ~peak_hour+Road_type+duration+walking_distance+join_Pop2012+Land_Use,
                      data = mydata,
                      seed= 1234,
                      importance = "permutation",
                      mtry =3,
                      verbose = TRUE,
                      num.trees= 10,
                      write.forest=TRUE)
```

Εικόνα 4.3 : Απόσπασμα κώδικα - ανάπτυξη προτύπου μηχανικής μάθησης

Πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές ώστε να αποφασιστεί η παραμετροποίηση του πρότυπου. Διαφορετικοί συνδυασμοί παραγόντων επιρροής έδιναν διαφορετική κατάταξη για τα μεγέθη σημαντικότητας και κάποιες φορές τροποποιούσε και την κατάταξη της αλληλουχίας των παραγόντων που είναι σημαντικοί. Συγχρόνως για την δοκιμή κάθε επιλεγμένου και διαμορφωμένου προτύπου με διαφορετική παραμετροποίηση κάθε φορά υπολογίζονταν και η αποτελεσματικότητα πρόβλεψης του μοντέλου και βάση αυτής πραγματοποιούνταν νέες δοκιμές έως ότου επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα παραμετροποίησης του μοντέλου. Το τελικό πρότυπο που παρουσίασε το πλέον βελτιωμένο σφάλμα πρόβλεψης περιλαμβάνει τις ακόλουθες παραμέτρους :

- Διάρκεια
- Απόσταση περπατήματος
- Ήρα αιχμής
- Χρήσεις γης
- Τύπος οδού
- Πληθυσμός

Μέσω του κώδικα εξάγεται η πληροφορία της σημαντικότητας των παραμέτρων του μοντέλου και το μέγεθος της τάξης της σημαντικότητας. Η κατάταξη της σημαντικότητας δίνεται στον Πίνακα 4.9.

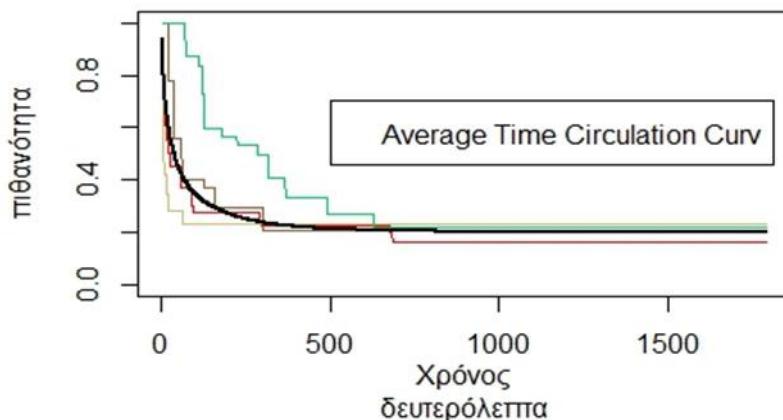
Πίνακας 4. 9 : Αποτελέσματα σημαντικότητας παραμέτρων προτύπου μηχανικής μάθησης

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ
Απόσταση περπατήματος	0.0183
Διάρκεια ταξιδιού	0.0093
Πληθυσμός	0.0074
Χρήσεις γης	0.0046
Ώρα αιχμής	0.0010
Τύπος οδού	0.0008

Η απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας που θα επηρεάσει το χρόνο στάθμευσης στη συνέχεια, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο παράγοντας της συνολικής διάρκειας του ταξιδιού που προηγήθηκε που ωστόσο επηρεάζει λιγότερο το χρόνο διάρκειας στάθμευσης απ' ότι η απόσταση περπατήματος ενώ στην τρίτη θέση σημαντικότητας ανήκει ο πληθυσμός της περιοχής στην οποία πραγματοποιείται η στάθμευση. Τέλος οι χρήσεις γης, ο τύπος οδού και η ώρα αιχμής παρουσιάζουν από το πρώτο έως το τελευταίο την μειωμένη σημαντικότητα που έχουν ως μεταβλητές όταν επιδρούν στο χρόνο στάθμευσης.

Ως μέτρο αξιοπιστίας και αποδοχής του προτύπου χρησιμοποιείται το σφάλμα πρόβλεψης του μοντέλου (predictor error). Το σφάλμα του μοντέλου είναι της τάξης

του 0,4 το οποίο είναι και οριακά αποδεκτό ωστόσο δεν είναι επιθυμητό. Αυτό το σφάλμα κατατάσσει τα αποτελέσματα του μοντέλου να έχουν ποιοτική βαρύτητα οπότε όντως μας δίνεται μία εικόνα για το ποιοι παράμετροι είναι πιο σημαντικοί ή και καθοριστικοί ωστόσο για να μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα το σφάλμα πρέπει να είναι κάτω του 0,3. Στη συνέχεια ακολουθεί η καμπύλη χρονικής διάρκειας στάθμευσης που προκύπτει από τις προβλέψεις αυτού του προτύπου στο Διάγραμμα 4.26.



Διάγραμμα 4. 26 : Καμπύλη επιβίωσης προτύπου μηχανικής μάθησης RF

4.7 Συγκριτική Παρουσίαση Διαφορετικών προτύπων

Αρχικά αναλύονται συγκριτικά τα αποτελέσματα του ημιπαραμετρικού προτύπου αναλογικού κινδύνου Cox και του παραμετρικού προτύπου επιταχυνόμενου χρόνου AFT απλής παλινδρόμησης που έχει προσαρμοστεί στην κατανομή Weibull. Ουσιαστικά τα δύο αυτά μοντέλα δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα καθώς το αποτέλεσμα της πρόβλεψής τους διαφέρει. Στο μοντέλο αναλογικού κινδύνου προβλέπεται η πιθανότητα ρίσκου στο να εκδηλωθεί ένα γεγονός στο πέρασμα τακτών χρονικών διαστημάτων σε μία ενιαία χρονική ροή ενώ στην περίπτωση των μοντέλων επιταχυνόμενου χρόνου προβλέπεται ο ρυθμός επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης της εκδήλωσης του γεγονότος στη συγκεκριμένη περίπτωση, της διάρκειας στάθμευσης και έμμεσα η αύξηση του κινδύνου εκδήλωσης του γεγονότος σε συγκεκριμένο χρόνο. Ωστόσο τα αποτελέσματα των δύο προτύπων είναι συμβατά και καθορίζουν κοινούς παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τον φαινόμενο της στάθμευσης με αντίστοιχες τάσεις. Ακολουθεί συγκριτική αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων του μοντέλων στον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4. 10 : Σύγκριση αποτελεσμάτων παραμετροποίησης των προτύπων Cox PH και AFT (weibull)

Predictors	Cox Proportional Hazard Model	Accelerated Time Failure Model
Duration	-0,0002	0,0003
Walking distance	-3,14	4,45
Peak hour 1	-0,17	0,22
Peak hour 2	-0,21	0,37
Land use 2	-0,01	0,01
Land use 3	0,12	-0,19
Road type 1	0,16	-0,17
Road type 2	-0,01	0,03

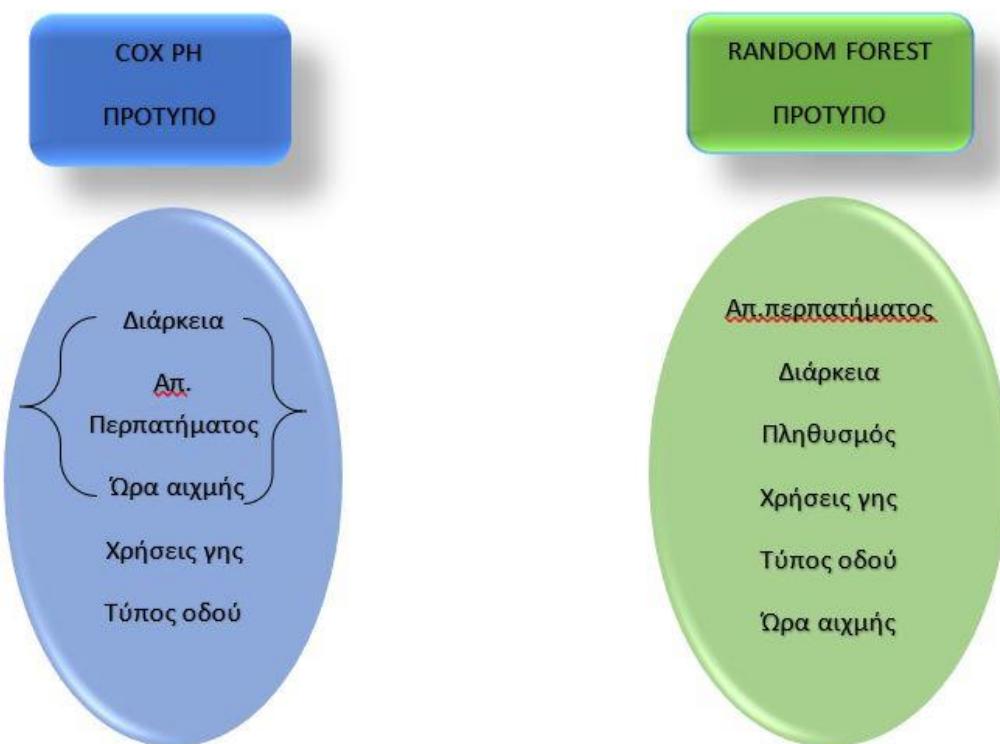
Τα πρόσημα είναι αναμενόμενο να βγαίνουν αντίθετα γιατί ο ανοικτός κώδικας της R στον οποίο έχουν παραμετροποιηθεί τα μοντέλα έχει για αυτές τις δύο κατηγορίες προτύπων αντίθετη ερμηνεία για το ίδιο πρόσημο συντελεστή. Η τάξη μεγέθους των συντελεστών είναι κοινή για κάθε παράμετρο καθώς ενώ υπάρχει μια μικρή διαφορά στην απόλυτη τιμή του συντελεστή όπου το παραμετρικό μοντέλο εμφανίζεται μία μικρή αύξηση συγκριτικά με το μοντέλο αναλογικού κινδύνου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην προσαρμογή των δεδομένων στην καμπύλη Weibull όπου το μοντέλο που δημιουργείται σύμφωνα με την κατανομή βλέπουμε ότι έχει απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα που δίνονται από τη βάση και παρέχει ειδικότερα για χρόνους άνω των 8 λεπτών αυξημένη πιθανότητα έκβασης του γεγονότος δηλαδή στάθμευσης, η οποία θα αύξησε το κινδύνο φράκτης στην περιοχή της καμπύλης AUC (Area Under Curve) παρόλο που αυτό το μέτρο αφορά την αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης συμβολικών κατηγορηματικών μεταβλητών. Το μέγεθος μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα και να εφαρμοστεί και για τα δύο πρότυπα κατά αναλογία δίνοντας ένα συγκρίσιμο μέτρο για την αντιπαράθεση της ευαισθησίας και των δύο προτύπων. Ως αναφορά του μοντέλου αναλογικού κινδύνου υπολογίζεται η πιθανότητα συμφωνίας δύο τυχαίων παρατηρήσεων μέσα στο δείγμα. Με τον όρο συμφωνία εννοείται η πιθανότητα η παρατηρήση που έχει το μικρότερο χρόνο εμφάνισης του γεγονότος να χαρακτηρίζεται και από το μεγαλύτερο ποσοστό ρίσκου ανάμεσα στις δύο τυχαίες παρατηρήσεις. Η διαδικασία ακολουθείται πολλαπλές φορές μέχρι να υπολογιστεί το μέγεθος concordance του προτύπου. Τα μεγέθη για τα δύο πρότυπα δίνονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4. 11 : Μέτρα αξιοπιστίας προβλέψεων των προτύπων Cox PH και RF

Cox PH	concordance	0,634
Random Forest	1-predictor error	0,60

Τα μεγέθη αξιοπιστίας των προτύπων είναι σχεδόν ίδια και οριακά αποδεκτά θα ήταν επιθυμητό να επιτευχθεί ένα ποσοστό άνω του 70%.

Τα πρότυπα ωστόσο παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές και στα αποτελέσματά τους δηλαδή στην καλύτερη δυνατή παραμετροποίηση τους. Ακολουθεί η σχηματική απεικόνιση των ποιοτικών αποτελεσμάτων των δύο προτύπων στην Εικόνα 4.4 .



Εικόνα 4. 4 : Σχηματική αντιπαράθεση αποτελεσμάτων των προτύπων Cox PH και RF

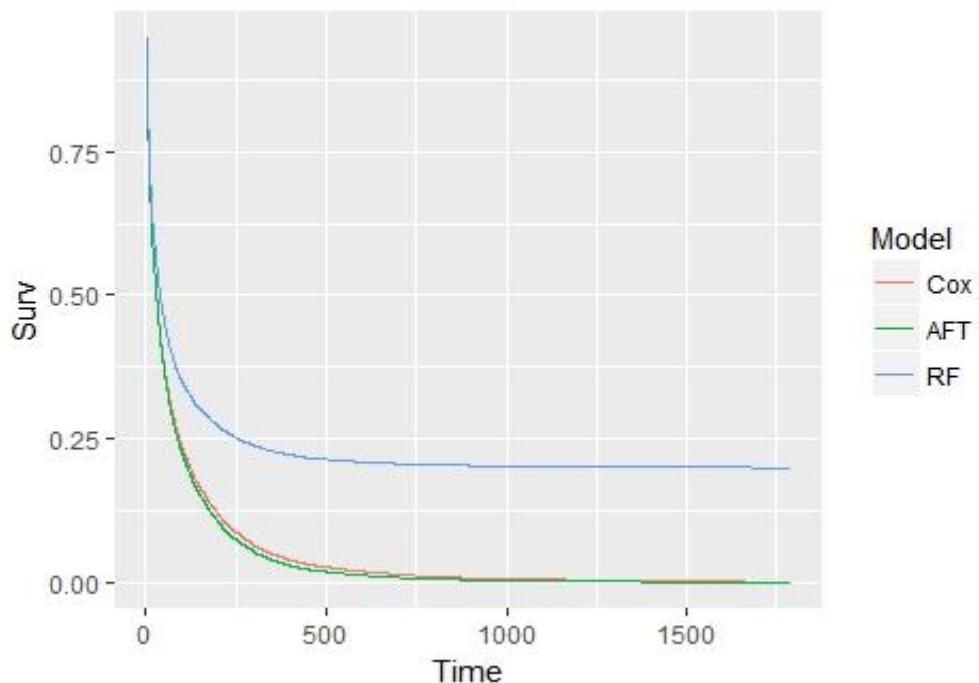
Οι ποιοτικές διαφορές στην παραμετροποίηση των μοντέλων είναι σημαντικές όπως φαίνεται και σχηματικά παραπάνω. Η πρώτη πολύ σημαντική διαφορά είναι ότι στο

πρότυπο μηχανικής μάθησης εισάγεται η μεταβλητή του πληθυσμού της περιοχής στάθμευσης. Η συγκεκριμένη μεταβλητή αποτέλεσε πολύ σημαντική μεταβλητή για το μοντέλο random forest η παρουσία της βελτίωσε πολύ το σφάλμα του μοντέλου μειώνοντας το αλλά έχει και υψηλή σημαντικότητα στην διαδικασία της πρόβλεψης καθώς αποτελεί τον τρίτο πλέον σημαντικό παράγοντα επιρροής στο χρόνο στάθμευσης στην κατάταξη σημαντικότητας το μοντέλου. Στον αντίποδα η μεταβλητή του πληθυσμού δεν ήταν στατιστικά σημαντική για το πρότυπο αναλογικού κινδύνου Cox επομένως εξαιρέθηκε από το μοντέλο προκειμένου να αυξήσει και την καλύτερη προσαρμογή του.

Η διαφορά αυτή είναι σημαντική καθώς η αξιολόγηση του παράγοντα του πληθυσμού είναι σημαντική για να εκτιμηθεί ο χρόνος εύρεσης στάθμευσης κυρίως κάνοντας διακριτές έρευνες πάνω στη στάθμευση από περιοχή σε περιοχή. Τέλος η διαφορά στην παραμετροποίηση των δύο προτύπων δείχνει ότι ο παράγοντας του πληθυσμού ο οποίος θα μπορούσε να αγνοηθεί από το ημιπαραμετρικό Cox πρότυπο έχει βαρύτητα επιρροής στο φαινόμενο της στάθμευσης και πρέπει να εξεταστεί και όχι να αμεληθεί πάρα το αποτέλεσμα του προτύπου Cox.

Επιπρόσθετα το πρότυπο μηχανικής μάθησης ierarχεί και τους 2 πρώτους παράγοντες σημαντικότητας και αναδεικνύει την απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό ως τον πλέον σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τον χρόνο εύρεσης στάθμευσης πληροφορία που δεν παίρνουμε άμεσα από το Cox πρότυπο καθώς δίνει το αποτέλεσμα ότι είναι εξίσου στατιστικά σημαντικοί οι παράγοντες της διάρκειας του ταξιδιού, της απόστασης περπατήματος και της ώρας αιχμής. Τέλος το πρότυπο Cox εμφανίζει τις χρήσεις γης ως λιγότερο σημαντικό παράγοντα απ' ότι η ώρα αιχμής ενώ το πρότυπο random forest θεώρει τις χρήσεις γης στάθμευσης πιο σημαντικό από την ώρα αιχμής. Παρά την διαφορά στην κατάταξη σίγουρά και οι δύο είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της στάθμευσης.

Η σύγκριση των καμπύλων επιβίωσης δηλαδή των καμπύλων πιθανότητας χρόνου περιπλάνησης μέχρι την εύρεση στάθμευσης - χρόνου ακολουθεί στο επόμενο Διάγραμμα 4.27 .



Διάγραμμα 4. 27 : Συγκριτικό διάγραμμα της καμπύλης επιβίωσης των προτύπων Kaplan-Meier , Cox PH, RF

Η γραφική σύγκριση και αντιπαράθεση σε σχέση και με την πραγματική καμπύλη χρόνου περιπλάνησης της βάσης δεδομένων αναδεικνύει το πρότυπο Cox αναλογικού κινδύνου ως το πλέον κατάλληλο για την περιγραφή και την πρόβλεψη της διάρκειας περιπλάνησης για στάθμευση ενώ το πρότυπο μηχανικής μάθησης random forest δίνει αναλογικά αποτελέσματα (παραλληλία καμπύλων επιβίωσης) ωστόσο πιο συντηρητικά καθώς για όλους τους πιθανούς χρόνους περιπλάνησης δίνει αυξημένη κατά 20% πιθανότητα συνεχιζόμενης περιπλάνησης χωρίς την επίτευξη στάθμευσης. Σε όρους κινδύνου δηλαδή πιθανότητας στάθμευσης σε συγκεκριμένη χρονική διάρκεια περιπλάνησης δίνει 20% μικρότερη πιθανότητα το όχημα να σταθμεύσει μετά από συγκεκριμένο χρόνο περιπλάνησης.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τον χρόνο εύρεσης ελεύθερης θέσης στάθμευσης και η πρόβλεψη του χρόνου εύρεσης θέσης στάθμευσης για μετακινήσεις εντός της περιφέρειας Αττικής με πρότυπα επιβίωσης (survival models) που εφαρμόζεται σε βάση δεδομένων από καταγραφές δεκτών GPS έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Η προτυποποίηση που αφορά τον χρόνο αναζήτησης για στάθμευση των οχημάτων που εμπλέκονται στην γενική κυκλοφορία προκειμένου να σταθμεύσουν είναι ιδιαίτερα σημαντική τόσο για λόγους πρόβλεψης και επομένως καλύτερης διαχείρισης του χρόνου του χρήστη αλλά και για λόγους καλύτερης δυνατής αντιμετώπισης του φαινόμενου στα πλαίσια του γενικού στρατηγικού και αναπτυξιακού συστήματος μεταφορών σε μικρότερες ή ευρύτερες περιοχές. Η στάθμευση και κυρίως η διαχείριση της ζήτησης για στάθμευση αποτελεί αναπόσπαστό τμήμα των βασικών ζητημάτων στο τομέα των αστικών μετακινήσεων και της αστικής ανάπτυξης σήμερα.

Στην βιβλιογραφία η προτυποποίηση του χρόνο στάθμευσης αλλά και η διερεύνηση πρόβλεψης των παραγόντων που τον επηρεάζουν έχει μεγάλη έκταση. Πάρα πολλά είδη προτύπων είτε μικροσκοπικά είτε μακροσκοπικά έχουν αναπτυχθεί προσπαθώντας να οριθετήσουν εννοιολογικά και πρακτικά αυτό το φαινόμενο αλλά και να το ποσοτικοποιήσουν. Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις αποτελεί η χωρική μη ομοιογενής εξάπλωση του φαινόμενου. Το φαινόμενο αλλάζει ανάλογα με την περιοχή στην οποία εμφανίζεται. Το γεγονός ότι η μεταβλητή πρόβλεψης και ποσοτικοποίησης είναι η χρονική διάρκεια με την έννοια της συνεχούς μεταβλητής θέτει δυσκολίες στην κατάλληλη επιλογή προτύπου καθώς τα πλέον διαδεδομένα γραμμικά μοντέλα δεν μπορούν να περιγράψουν επαρκώς τις συσχετίσεις για ένα πρότυπο πρόβλεψης χρονικής διάρκειας που δεν εμφανίζει ούτε γραμμικές συσχετίσεις με τι ανεξάρτητες μεταβλητές αλλά ούτε και κανονικότητα στην κατανομή των τιμών του. Τα προτύπα της ανάλυσης χρόνου έκβασης γεγονότος ή αλλιώς ανάλυσης επιβίωσης είναι κατάλληλα και αρκετά αποτελεσματικά στον τομέα πρόβλεψης της διάρκειας εύρεσης στάθμευσης.

Η ανάλυση επιβίωσης ακολουθεί μια παρατήρηση στο πέρασμα οριοθετημένων χρονικών περιόδων μέχρι την έκβαση ή μη ενός γεγονότος. Η διαδικασίας της περιπλάνησης για στάθμευση μέχρι την έκβαση του συμβάντος δηλαδή, της εύρεσης θέσης στάθμευσης συνάδει με τις ουσιαστικές εννοιολογικές προϋποθέσεις για την περιγραφή ενός μεγέθους με τη χρήση της ανάλυσης επιβίωσης ή διαφορετικά ανάλυσης χρόνου συμβάντος. Διάφορα πρότυπα ανήκουν στο οπλοστάσιο μαθηματικών εργαλείων για την αντιμετώπιση βάσεων δεδομένων με τη χρονική διάρκεια ως μεταβλητή πρόβλεψης στη συνεχή της μορφή όπως τα παραμετρικά

πρότυπα επιταχυνόμενου ή επιβραδυνόμενου χρόνου όπως και τα πρότυπα αναλογικού κινδύνου αποτελούν δομές προτύπων που βασίζονται στη θεωρία πιθανοτήτων και μπορούν να περιγράψουν και μη γραμμικές συσχετίσεις.

Αρχικά ήταν σκόπιμο να διερευνηθεί η κατηγορία των παραγόντων αλλά και ο βαθμός συσχέτισης τους με την προσπάθεια εύρεσης στάθμευσης που αποτελεί το τελικό στάδιο ενός ταξιδιού. Τα εύρος των παραγόντων που σχετίζεται με τη στάθμευση είναι ιδιαίτερα μεγάλο από παράγοντες χαρακτηριστικών του ταξιδιού, οικονομικούς παράγοντες, συμπεριφορικούς παράγοντές, οικολογικούς, παράγοντες χρονικής κατανομής της ζήτησης ή και χωρικής κατανομής της ζήτησης. Μέσα από την συγκριτική διερεύνηση διαφορετικών προτύπων στην παρούσα εργασία διαπιστώθηκε η σημαντική επίδραση στη χρονική διάρκεια εύρεσης στάθμευσης των χαρακτηριστικών του ταξιδιού όπως συνολική διανυόμενη απόσταση αλλά κυρίως η συνολική διάρκεια του ταξιδιού, η χρονική κατανομή της ζήτησης όπως η ώρα μέσα στη μέρα που είναι πιο σημαντική από την κατανομή της ζήτησης για στάθμευση μέσα στις μέρες της εβδομάδας ή τους μήνες. Επιπρόσθετα η χρονική διάρκεια εύρεσης στάθμευσης διαπιστώθηκε ότι σχετίζεται και με την περιοχή του προορισμού της ενδεχόμενης μετακίνησης με τοπικά χαρακτηριστικά όπως η χρήση γης και ο πληθυσμός της περιοχής να είναι σημαντικά και να επηρεάζουν τον χρόνο στάθμευσης. Τέλος προάγοντες επιλογής του οδηγού όπως ο τύπος της οδού που θα σταθμεύσει, ή απόσταση περπατήματος επηρεάζουν ακόμα περισσότερο τον χρόνο περιπλάνησης για την εύρεση της κατάλληλης θέσης.

Τα πρότυπα αναλογικού κινδύνου παρουσιάζουν την αναλογία του ρίσκου στην εύρεση θέσης στάθμευσης, γεγονός που δίνει άμεσα και εύκολά ερμηνεύσιμα αποτελέσματα χωρίς την ύπαρξη υψηλών απαιτήσεων παραμετρικής προσαρμογής σε συγκεκριμένες κατανομές όπως απαιτούν τα παραμετρικά πρότυπα επιταχυνόμενου χρόνου. Ωστόσο βασικές κατανομές όπως η γάμμα ή Weibull μπορεί να περιγράψουν τη βάση και να δώσουν αρκετά αξιόπιστες προβλέψεις για την εκτίμηση του χρόνου στάθμευσης.

Τα παραμετρικά και ημιπαραμετρικά πρότυπα δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα ωστόσο είναι δεσμευμένα στο να επηρεάζονται από τάσεις συσχέτισης που εμφανίζονται μέσα στη βάση δεδομένων ή και από την κατανομή των τιμών των δεδομένων. Επίσης η παρούσα έρευνα δεν λαμβάνει υπόψιν της χρονικά μεταβαλλόμενους παράγοντες όπως για παράδειγμα η κατανάλωση καυσίμου κατά τη διάρκεια της περιπλάνησης για στάθμευση. Η ύπαρξη και διερεύνηση τέτοιων παραγόντων θα αποτελούσε σημαντικό πρόβλημα για την ανάπτυξη των παραπάνω δύο προτύπων. Για αυτούς τους λόγους αλλά και για σκοπούς συγκριτικής διερεύνησης των αποτελεσμάτων θεωρήθηκε σκόπιμη η ανάπτυξη ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης και συγκεκριμένα του μοντέλου της τυχαίας συστάδας. Τα πρότυπο μηχανικής μάθησης παρουσιάζει κοινά κατά πλειοψηφία αποτέλεσμα τα με τα υπόλοιπα δύο μοντέλα επικεντρώνεται στους ίδιους παράγοντες που ήδη έχουν προκύψει σημαντικοί με μεγάλη επιρροή, ωστόσο προκύπτουν επιμέρους διαφορές

στην κατάταξη σημαντικότητας των παραγόντων ενώ το πρότυπό μηχανικής μάθησης προσθέτει και τον παράγοντα της πληθυσμιακής πυκνότητας της περιοχής στάθμευσης ως σημαντικό παράγοντα αν και δεν προέκυψε το ίδιο συμπέρασμα και από τα απλά πρότυπα παλινδρόμησης.

5.2 Βασικά Συμπεράσματα

Η πρόβλεψη της χρονικής διαρκείας στάθμευσης μπορεί να συμβάλει στη διαχείριση της ζήτησης και να προσφέρει αναπτυξιακά οφέλη . Είναι μια διαδικασία που θα δώσει λύσεις τόσο σε μακροπρόθεσμο στρατηγικό επίπεδο όσο και σε λειτουργικό επίπεδο , ενώ η ανάπτυξη κατάλληλων και αποτελεσματικών προτύπων για αντίστοιχες συνθήκες αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων στάθμευσης IPS. Σε όλη αυτή την σύγχρονη προσέγγιση σε ερευνητικό επίπεδο είναι τεράστια η συμβολή των έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Η εισαγωγή στην χρηστική καθημερινότητα των μεταφορών των ατόμων αυτής της συσκευής προσθέτει πολλά πλεονεκτήματα και διευρύνει τις δυνατότητες. Αρχικά μεγάλο εύρος δεδομένων μπορούν να συλλεχθούν και να αποθηκευτούν σε αξιοποιήσιμες μορφές για μετέπειτα ερευνητικά εγχειρήματα αλλά επίσης είναι το μέσο εξέλιξης της συμβουλευτικής και των πληροφοριών στις μεταφορές και μπορούν να αξιοποιηθούν με αντίστοιχο τρόπο και δυναμική και για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας της στάθμευσης μέσω της μείωσης του χρόνου εύρεσης στάθμευσης. Επομένως η δημιουργία προτύπων που αφορούν την πρόβλεψη του χρόνου στάθμευσης είναι σημαντική και εφαρμόσιμη στην ανάπτυξη συμβουλευτικών εφαρμογών στάθμευσης για έξυπνα κινητά τηλέφωνα .

Μέσα από την ανάλυση της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία και αποτέλεσε βάση δεδομένων που συλλέχθηκαν μέσω δεκτών GPS έξυπνων κινητών τηλεφώνων ποσοτικοποιήθηκε η επιρροή αρκετών κατηγοριών παραγόντων στον χρόνο στάθμευσης ή διαφορετικά στην πιθανότητα στάθμευσης εντός μίας συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας. Συμφωνά με την μη παραμετρική ανάλυση της βάσης με τη χρήση του μη παραμετρικού προτύπου Kaplan – Meier εξάγονται βασικά συμπεράσματα για την επιρροή κάθε παράγοντά ξεχωριστά στη χρονική διάρκεια στάθμευσης. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του ταξιδιού , η απόσταση του ταξιδιού επηρεάζει την χρονική διάρκεια στάθμευσης ωστόσο όχι με μεγάλο συντελεστή . Αποστάσεις για μεγάλα ταξίδια άνω των 9 km οδηγούν σε μικρότερη πιθανότητα να διαρκέσει η περιπλάνησή για στάθμευση περισσότερο, ωστόσο αυτή η πιθανότητα δεξεπερνά το 3%. Στον αντίποδά το παραπλήσιο χαρακτηριστικό της διάρκειας του ταξιδιού έχει τεράστια επίδραση στο χρόνο στάθμευσης. Για ταξίδια μεγαλύτερα των 14 λεπτών αυξάνεται η πιθανότητα στάθμευσης εντός 5 λεπτών έως και 30% σε σχέση με αυτή για πιο σύντομα χρονικά ταξίδια.

Η απόσταση περπατήματος από τον τελικό προορισμό αναδείχθηκε στον κορυφαίο παράγοντα επιρροής στη χρονική διάρκεια στάθμευσης. Η βελτιστοποίηση και μείωση της απόστασης περπατήματος παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του οδηγού να συνεχίσει την περιπλάνηση για εύρεση μίας πιο κοντινής στάθμευσης. Τα 80 -100μ. απόστασης αποτελούν το πλέον επιθυμητό εύρος . Συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι για διάρκειες στάθμευσης κάτω των 16 λεπτών επιλέγονται μεγαλύτερες αποστάσεις περπατήματος άνω των 80 μέτρων ενώ, για μεγαλύτερες διάρκειες εύρεσης θέσης στάθμευσης η απόσταση περπατήματος πέφτει κάτω από τα 80 μ..

Η επιλογή του οδηγού για τον τύπο της οδού που θα σταθμεύσει και κυρίως για το αν θα σταθμεύσει πάρα την οδό ή εκτός οδού σε υπαίθριο χώρο δεν διαφοροποιεί σημαντικά την πιθανότητα να σταθμεύσει μετά το πέρας μιας συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας. Η χρονική κατανομή και η χωρική κατανομή του ταξιδιού ωστόσο επηρεάζουν σημαντικά την περιπλάνηση για στάθμευση. Χρονικά η πραγματοποίηση της προσπάθειας στάθμευσης σε περιόδους αιχμής της μεταφορικής ζήτησης μέσα στις ώρες της ημέρας παρουσιάζουν αισθητές διαφορές. Η εύρεση θέσης στάθμευσης μέσα σε οχτώ λεπτά είναι 10% λιγότερο πιθανή σε ώρες αιχμής συγκριτικά και με ώρες εκτός αιχμής ενώ αν ο κορεσμός είναι σε υψηλά επίπεδα και η χρονική διάρκεια αυξηθεί πάνω από 15 λεπτά η πιθανότητα εύρεσης στάθμευσης πέφτει σχεδόν 50%. Η χωρική κατανομή και κυρίως οι χρήσεις γης που χαρακτηρίζουν την περιοχή προορισμού επηρεάζει την περιπλάνηση για στάθμευση με τις αστικές περιοχές κατοικίας να εμφανίζουν μικρότερους χρόνους στάθμευσης συγκριτικά με τις δημόσιες εμπορικές περιοχές.

Στα αποτελέσματα του ημιπαραμετρικού προτύπου αναλογικού κινδύνου και του παραμετρικού προτύπου επιταχυνόμενου χρόνου παρουσιάστηκε πλήρης αναλογία. Κοινοί παράγοντες είναι στατιστικά σημαντικοί και για τα δύο πρότυπα με την απόσταση περπατήματος και την περίοδο αιχμής να αποτελούν τις πλέον σημαντικές και για τα δύο πρότυπα ενώ, οι χρήσεις γης να ακολουθούν σε στατιστική σημαντικότητα αλλά και σε βαθμό επιρροής. Το παραμετρικό πρότυπο εμφάνιζε λίγο μεγαλύτερες επιδράσεις κάθε παράγοντα στην χρονική διάρκεια περιπλάνησης για στάθμευση. Το γεγονός αυτό εξηγείται εφόσον η παραμετροποίηση έγινε με προσαρμογή στην κατανομή Weibull προσαρμόζοντας έτσι όλα τα αποτελέσματα με βάση τον τύπο της κατανομής.

Αρκετές διαφοροποιήσεις υπάρχουν μεταξύ της δομής των αποτελεσμάτων του προτύπου μηχανικής μάθησης και των άλλων δύο προτύπων . Σημαντικότερη διαφορά αποτέλεσε η εισαγωγή της μεταβλητής του πληθυσμού της περιοχής προορισμού ως ιδιαίτερα σημαντικής όσον αφορά τη διάρκεια στάθμευσης. Αυτός ο παράγοντας δεν προέκυπτε σημαντικός στα υπόλοιπα πρότυπα με αποτέλεσμα να απορρίπτεται ίσως εξαιτίας ισχυρών συσχετίσεων που αναπτύσσονταν ανάμεσα σε διάφορούς παράγοντες της βάσης που τους καθόριζαν ως ιδιαίτερα σημαντικούς. Επίσης το πρότυπο μηχανικής μάθησης έδωσε μεγαλύτερη βαρύτητα στις χρήσεις γης απ' ότι στην ώρα

αιχμής. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των διαφορετικών προτύπων ίσως καταλήγουμε σε ολοκληρωμένη και σφαιρική διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την στάθμευση χωρίς να αποκλειστούν παράγοντες που είναι σημαντικοί. Οι δύο φιλοσοφίες προτύπων διαφέρουν σε υπολογιστικό χρόνο. Το πρότυπο μηχανικής μάθησης είναι εξαιρετικά πιο χρονοβόρο και υστερεί στη χρήση εισαγωγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε μία περίπτωση αξιοποίησης του στη δημιουργία μιας έξυπνης εφαρμογής καθοδήγησης για στάθμευση. Προσφέρει όμως πολύτιμα πλεονεκτήματα στα πλαίσια μιας έρευνας.

5.3 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Από την αξιολόγηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων προκύπτουν κάποιες βασικές κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα. Αρχικά με βάση αυτή την ανάλυση χρόνου γεγονότος με την επιλογή των συγκεκριμένων προτύπων η έρευνα μπορεί να επεκταθεί με τη διεύρυνση περισσότερων παραγόντων από αυτούς που ήδη έχουν μελετηθεί. Πολύ σημαντικοί παράγοντες όπως η γεωμετρία της οδού στάθμευσης, η τιμολόγηση της ιδιωτικής στάθμευσης ανά περιοχή, η επιλογή της διαδρομής, ο συνεπιβατισμός, η τιμή του καυσίμου αλλά και συμπεριφορικοί παράγοντες που αφορούν τον χρήστη εξατομικευμένα μπορούν να ενταχθούν σε μία μελλοντική διερεύνηση.

Αναλύσεις κλίμακας μπορούν να αποτελέσουν ακόμα μια πλευρά επέκτασης της έρευνας. Η διερεύνηση της επίδρασης των ίδιων παραγόντων στη χρονική διάρκεια στάθμευσης η οποία επαναλαμβάνεται σε διαφορετικές χρονικές βαθμίδες δηλαδή προσδιορισμός του χρόνου στάθμευσης και συγκριτική διερεύνηση για τις διαφορετικές ώρες μέσα στη μέρα, η για διαφορετικά προάστια ή ακόμα για διαφορετικές χρήσεις γης εντός της ίδιας περιοχής. Τα αποτελέσματα τέτοιων ερευνών κλίμακας είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την πολιτική στάθμευσης των τοπικών αρχών.

Μία επίσης ιδιαίτερα σημαντική τάση της έρευνας είναι η δημιουργία συνθετών προτύπων με την τεχνική της συνένωσης (joint models). Η συνένωση πρότυπων μπορεί να δώσει σημαντικά αποτελέσματα και νέες εννοιολογικές προεκτάσεις στην πρόβλεψη μεγεθών στάθμευσης. Η πρόβλεψη της διάρκειας περιπλάνησης για εύρεση στάθμευσης μπορεί να συνενωθεί με την πρόβλεψη περπατήματος από τον τελικό προορισμό ή την επιλογή για ελεύθερη στάθμευση μηδενικού κόστους ή τέλος για στάθμευση παρά την οδό ή εκτός οδού. Η ταυτόχρονη πρόβλεψη διπλού παράγοντα μπορεί να εμφανίσει πιο έκδηλες τάσεις που θα αποτελέσουν τη βάση ανάπτυξης συμπερασμάτων για την εφαρμογή πολίτικων ή κανόνων στάθμευσης ή ακόμα ενδέχεται να παίξουν συμβουλευτικό χαρακτήρα σε πιθανές επενδύσεις που αφορούν τη στάθμευση.

Τέλος σημαντικό παράγοντα βελτιστοποίησης των συνθηκών εξυπηρέτησης του χρήστη αποτελούν τα νέα συστήματα τεχνολογιών. Η στάθμευση ως φαινόμενο που αναδεικνύεται σε σημαντικό πρόβλημα διαχείρισης χρόνου κόστους και άνεσης για τον χρήστη μπαίνει στο κέντρο του ενδιαφέροντος για να αποτελέσει τη βάση ανάπτυξης νέων έξυπνων συστημάτων υποβοήθησης στάθμευσης. Ήδη μεθοδικές προσπάθειες γίνονται για την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών που στην πλειοψηφία τους χρησιμοποιούν την ανάπτυξη προτύπων μακροσκοπικής κλίμακας. Μοντέλα ή και σύνθετα μοντέλα μικροσκοπικής κλίμακας που ενσωματώνουν, πέρα από μεταβλητές που αφορούν την ζήτηση και την προσφορά αυτή κάθε αυτή στη μονάδα του χρόνου, παράγοντες όπως αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα αλλά και συμπεριφορικούς παράγοντες μπορούν να οδηγήσουν σε πιο ακριβή αποτελέσματα προβλέψεων που θα είναι χρήσιμα για να συμβουλέψουν και να καθοδηγήσουν τον οδηγό στο να κάνει επιλογές που θα τον βοηθήσουν να σταθμεύσει πιο γρήγορα με τα επιθυμητά γι' αυτόν κριτήρια.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλπάς Μ. (2016). Διερεύνηση της Αποδοχής «Εξυπνων» Εφαρμογών στην Αναζήτηση Θέσης στάθμευσης σε Αστικά Δίκτυα. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Arnott, R., Inci, E. (2006). An integrated model of downtown parking and traffic congestion. *Journal of Urban Economics*, 60(3), pp. 418-442.

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.

Birant, D., Kut, A. (2007). ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial– temporal data. *Data & Knowledge Engineering*, 60(1), pp. 208-221.

Bonsall, P. (2004). Traveller Behavior: Decision-Makingin an Unpredictable World. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8(1), pp. 45-60.

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.

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).

Estellis-Arolas, E., González-Ladrón-de-Guevara, F. (2012). Towards an integrated crowdsourcing definition. *Journal of Information Science*, 38(2), pp. 189–200.

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.

Geroliminis, N. (2015). Cruising-for-parking in congested cities with an MFD representation. *Economics of Transportation*, 4(3), pp. 156-165.

Γκόλιας Κ. (2016). Ανάπτυξη Συνελικτικών Νευρωνικών Δικτύων για την Αναγνώριση Ελεύθερων Θέσεων Στάθμευσης επί της Οδού. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

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.

International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2016). Motorization rate 2015. <http://www.oica.net/>

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.

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*.

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.

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.

Laurier, E. (2005). Searching for a parking space. *Intellectica*, 41/42 (2/3) (2005), pp. 101-116.

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.

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.

- 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.
- Ma, H., Zhao, D., Yuan, P. (2014). Opportunities in mobile crowd sensing. *IEEE Communication Magazine*, 52 (8), pp. 29-35.
- Montini, L., Horni, A., Rieser-Schössler, N., Axhausen, K.W. (2012). Searching for Parking in GPS Data. In: 12th Swiss Transport Research Conference, Ascona, May 2012.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Vlahogianni, E. I., Bampounakis, E. N. (2017). Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79, pp. 196–206.
- Schössler, 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.
- Shoup, D. (2006). Cruising for parking. *Transport Policy*, 13, pp. 479-486.
- 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.

Thompson, R.G., Richardson, A.J. (1998). A Parking Search Model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(3), pp. 159-170.

Timasjov, D. Evaluating Clustering Techniques.

