



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

Διερεύνηση παράνομης στάθμευσης στην Ελλάδα με τη χρήση στατιστικών μοντέλων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζώικα Στεφανία

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Επίκουρος Καθηγητής
ΕΜΠ



Αθήνα, Νοέμβριος 2020

Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται επίσημα ο κύκλος των σπουδών μου ως φοιτήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ως εκ τούτου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την εξαιρετική καθοδήγηση του και τον σημαντικό χρόνο που παρείχε, κατά την προσπάθεια αυτή.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στο κ. Παναγιώτη Τζούρα, που με καθοδήγησε με χρήσιμες συμβουλές, σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της παράνομης στάθμευσης αποτελεί συχνό φαινόμενο των ελληνικών δρόμων και συνεχώς μεγαλώνει με την αύξηση του αριθμού των κυκλοφορούντων. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο προσδιορισμός των αιτιών της παράνομης στάθμευσης εστιάζοντας σε ένα σύνολο μεταβλητών που η επίδραση τους σχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ελληνικών οδών και τη σχέση μεταξύ ζήτησης και προσφοράς χώρου για παράνομη στάθμευση. Ουσιαστικά, μέσα από τη διερεύνηση αυτή αναζητείται η απάντηση σε τέσσερα βασικά ερωτήματα που προκύπτουν, σχετικά με την παράνομη στάθμευση.

Η ανάλυση βασίζεται στην εξέταση διαφόρων ελληνικών οδών και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αυτών, που επιδρούν στα γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Τα απαραίτητα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσα από την υπηρεσία GoogleStreetView και από μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν σε μία πόλη της Ελλάδος, τη Σπάρτη. Το τελικό δείγμα αποτελείται από 248 οδικά τμήματα, με ποικίλα χαρακτηριστικά. Αναπτύχθηκε ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ώστε να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά των δρόμων με τη μεγαλύτερη επιρροή στην παράνομη στάθμευση. Δεδομένα που σχετίζονται με τη γεωμετρία των οδών καθώς επίσης και χαρακτηριστικά ζήτησης και προσφορά χώρου για παράνομη στάθμευση χρησιμοποιήθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές.

Τα αποτελέσματα της έρευνας φανερώνουν πως από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ελληνικών δρόμων η κατεύθυνση της οδού και το μέσο πλάτος οδοστρώματος έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην παράνομη στάθμευση. Συγκεκριμένα, οι αμφίδρομοι προσελκύουν περισσότερα γεγονότα από τους μονόδρομους ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η λωρίδα κυκλοφορίας τόσο περισσότερα παράνομα σταθμευμένα οχήματα εντοπίζονται. Επίσης, προκύπτει πως η ύπαρξη παρόδιας στάθμευσης και θεσμοθετημένων θέσεων περιορίζουν τα φαινόμενα παράνομης στάθμευσης. Σημαντική επιρροή φάνηκε να έχει και η απόσταση της οδού από κέντρο της πόλης καθώς σε οδικά τμήματα κοντά σε αυτό εντοπίστηκαν περισσότερα γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Τέλος, ο αριθμός των αυτοκινήτων που αντιστοιχούν σε κάθε πόλη, κάθε Δήμου επηρέαζε σημαντικά την εμφάνιση του φαινομένου. Με βάση τα παραπάνω προέκυψε, πως η ζήτηση για στάθμευση είναι τελικά πιο ισχυρή από την προσφορά.

Με τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας πραγματοποιείται συνεισφορά στην προσπάθεια προσδιορισμού των πιθανών μέτρων που μπορούν να λάβουν οι μηχανικοί κατά το σχεδιασμό, προκειμένου να μειωθούν τα φαινόμενα παράνομης στάθμευσης και να περιοριστεί στο ελάχιστο η παρέμβαση της αστυνομίας.

Λέξεις – κλειδιά

παράνομη στάθμευση, γεωμετρικά χαρακτηριστικά δρόμων, χαρακτηριστικά ζήτησης χώρου στάθμευσης, χαρακτηριστικά προσφορά χώρου στάθμευσης, πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Abstract

The problem of illegal parking is a common phenomenon on Greek roads and is constantly growing with the increase in the number of traffic. The purpose of this study is to determine the causes of illegal parking focusing on a set of variables whose effect is related to the geometric characteristics of Greek roads and the relationship between demand and supply of space for illegal parking. In essence, this investigation seeks to answer four basic questions that arise about illegal parking.

The analysis is based on the examination of Greek roads and the identification of these characteristics, which affect the events of illegal parking. The necessary data were collected through GoogleStreetView and from field measurements carried out in a city of Greece, Sparta. The final sample consists of 248 road sections, with various characteristics. A multi-linear regression model was developed to identify the characteristic of the roads with the greatest influence on illegal parking. Data related to the geometric of the streets as well as characteristics related to the demand and supplies of space for illegal parking were used as independent variables.

The results of the research show that from all the geometric characteristics of the Greek roads, the direction and the mean width of the road , have the greatest effect on illegal parking. In particular, two-way streets attract more events than one-way streets, while the larger the lane is the more illegally parked vehicles are detected. It also appears that the existence of temporary parking and institutionalized places reduce illegal parking. The distance from the city center also seemed to have a significant impact as more illegal parking incidents were detected in road sections near it. Finally, the number of cars corresponding to each city of each Municipality significantly affected the occurrence of the phenomenon. Based on the above, it emerged that the demand for parking is ultimately stronger than the supply.

The findings of the present investigation contribute to the effort to identify possible measures that engineers can take during the design, in order to reduce the occurrence of illegal parking and to minimize the intervention of the police.

Keywords

illegal parking, geometric characteristics, demand for parking, supply for parking, multiple linear regression.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	9
1.2	ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	11
1.3	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	11
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	13
2.1	ΚΥΡΙΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	13
2.2	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ	13
3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	16
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
3.2	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΘΟΔΟΥ	16
3.3	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	21
3.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	24
4	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	26
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26
4.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	26
4.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ	28
4.4	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΠΑΡΑΝΟΜΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	32
4.5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ GOOGLESTREETVIEW	33
4.6	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ GOOGLESTREETVIEW	34
4.7	ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ	34
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	36
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	36
5.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	36
5.2.1	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΕΧΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	36
5.2.2	ΑΛΛΗΛΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	38
5.2.3	ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ Υ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ	43
5.2.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΣΕ ΖΩΝΕΣ	49
5.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	52
5.4	ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	55
5.5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΣΠΑΡΤΗΣ	56
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	64

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Παράνομη στάθμευση ανά χιλιόμετρο σε διαφορετικές οδούς	15
Εικόνα 3.1: Παράδειγμα καλής διασποράς υπολειμμάτων	25
Εικόνα 4.1: Οδός Σόλωνος	30
Εικόνα 4.2: Οδός Κασσάνδρου	30
Εικόνα 4.3: Λεωφόρος Στρατάρχου Αλέξανδρου Παπάγου	31
Εικόνα 4.4: Οδός Συρακουσών	31
Εικόνα 4.5: Παρουσίαση ζωνών παράνομης στάθμευσης με Φωτογραφίες	33
Εικόνα 5.1: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής y	36
Εικόνα 5.2: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m.....	36
Εικόνα 5.3: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής mwidth.....	37
Εικόνα 5.4: Μέσο πλάτος οδοστρώματος	37
Εικόνα 5.5: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής dist	37
Εικόνα 5.6: Απόσταση από το κέντρο της πόλης	38
Εικόνα 5.7: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής veh	38
Εικόνα 5.8: Συσχέτιση μεταβλητών isl και class1.....	39
Εικόνα 5.9: Συσχέτιση μεταβλητών isl και class2.....	39
Εικόνα 5.10: Συσχέτιση μεταβλητών isl και lane.....	40
Εικόνα 5.11: Συσχέτιση μεταβλητών isl και direc	40
Εικόνα 5.12: Συσχέτιση μεταβλητών isl και park2	40
Εικόνα 5.13: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και class1	41
Εικόνα 5.14: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και class2	41
Εικόνα 5.15: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και direc	42
Εικόνα 5.16: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και lane	42
Εικόνα 5.17: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και equi	42
Εικόνα 5.18: Σχέση μεταξύ y και class1	43
Εικόνα 5.19: Σχέση μεταξύ y και class2	43
Εικόνα 5.20: Σχέση μεταξύ y και direc	44
Εικόνα 5.21: Σχέση μεταξύ y και lane.....	44
Εικόνα 5.22: Σχέση μεταξύ y και isl	45
Εικόνα 5.23: Σχέση μεταξύ y και park1	45
Εικόνα 5.24: Σχέση μεταξύ y και park2	46

Εικόνα 5.25: Σχέση μεταξύ y και equi	46
Εικόνα 5.26: Σχέση μεταξύ y και mark.....	47
Εικόνα 5.27: Σχέση μεταξύ y και pt	47
Εικόνα 5.28: Σχέση μεταξύ y και mwidth	48
Εικόνα 5.29: Σχέση μεταξύ y και dist	48
Εικόνα 5.30: Σχέση μεταξύ y και dist<1000m	49
Εικόνα 5.31: Σχέση μεταξύ y και dist>1000m	49
Εικόνα 5.32: Αρχική μορφή στατιστικού μοντέλου	53
Εικόνα 5.33: Τελική μορφή στατιστικού μοντέλου.....	54
Εικόνα 5.34: Κατανομή υπολοίπων.....	55
Εικόνα 5.35: Απεικόνιση απόκλισης του μοντέλου από τις πραγματικές μετρήσεις.....	57
Εικόνα 5.36: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m που προέκυψαν από τις μετρήσεις πεδίου.....	58
Εικόνα 5.37: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m που προέκυψαν από τις προβλέψεις του μοντέλου.....	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Επιλεγμένες μεταβλητές πρόβλεψης	27
Πίνακας 4.2: Μήκος αστικών δρόμων και αντίστοιχο ποσοστό ανά κατηγορία	29
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά οδού Σόλωνος	30
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά οδού Κασσάνδρου.....	30
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά Λεωφόρου Στρατάρχου Αλέξανδρου Παπάγου	31
Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά οδού Συρακουσών.....	31
Πίνακας 4.7: Κατηγοριοποίηση γεγονότων παράνομης στάθμευσης	32
Πίνακας 5.1: Επίπεδο σημαντικότητας μεταβλητών.....	56
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου στην Σπάρτη	56

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 1 (μονόδρομος με μια λωρίδα).....	50
Διάγραμμα 5.2: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 2 (μονόδρομος με δύο λωρίδες).....	50

Διάγραμμα 5.3: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 3 (αμφίδρομος χωρίς νησίδα με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση)	51
Διάγραμμα 5.4: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 4 (αμφίδρομος με νησίδα και με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση)	51
Διάγραμμα 5.5: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 5 (αμφίδρομος με νησίδα και δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση)	52
Διάγραμμα 5.6: Διασπορά υπολοίπων	57

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ο συνολικός αριθμός των ημερήσιων μετακινήσεων που πραγματοποιούνται σε μια αστική περιοχή αυξάνεται σημαντικά με την πάροδο των χρόνων και καθώς αυξάνεται ο αριθμός αυτοκινήτων που κυκλοφορούν, αυξάνεται και η ζήτηση για χώρο στάθμευσης στα εμπορικά κέντρα των πόλεων. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι οι περιοχές αυτές αποτελούν ουσιαστικά τους πόλους έλξης οικονομικής δραστηριότητας και ως εκ τούτου εκεί καταλήγουν τα περισσότερα ταξίδια. Οι μετακινήσεις που πραγματοποιούνται με ιδιωτικά οχήματα σε μία μητροπολιτική περιοχή μπορούν μάλιστα να ξεπεράσουν το 50% όλων των μετακινήσεων. Το σημαντικό πρόβλημα της παράνομης στάθμευσης αποτελεί χαρακτηριστικό φαινόμενο των ελληνικών πόλεων (ειδικά με τη μορφή double-parking) και συνεχώς μεγαλώνει με τη συνεχή αύξηση του αριθμού των κυκλοφορούντων. Η σημασία που παρουσιάζει η στάθμευση φαίνεται τόσο από το χώρο που διατίθεται για αυτή, όσο και από το χρόνο που το αυτοκίνητο βρίσκεται σε στάθμευση, σε σχέση με το χρόνο κίνησης του. Για τη στάθμευση ενός επιβατικού αυτοκινήτου χρειάζεται επιφάνεια περί τα 25 m², συμπεριλαμβανομένων και των χώρων που είναι απαραίτητοι για πρόσβαση και ελιγμούς. Η επιφάνεια στάθμευσης, που αναλογεί σε ένα άτομο, που χρησιμοποιεί επιβατικό αυτοκίνητο, από και προς την εργασία του, είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των επιφανειών, που αναλογούν σε αυτό το άτομο, για την εργασία και την κατοικία του. Προκύπτει έτσι υψηλή ζήτηση δημόσιου χώρου στάθμευσης, ο οποίος όντας αδύνατο να καλυφθεί από τις περιορισμένες θέσεις στάθμευσης στους ελληνικούς στενούς δρόμους, οδηγεί σε γεγονότα παράνομης στάθμευσης.

Οι συνήθεις τρόποι στάθμευσης που εμφανίζονται στις ελληνικές πόλεις είναι οι:

- Στάθμευση παρά την οδό: καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα των αναγκών και τις περισσότερες φορές είναι ελεύθερη, χωρίς επιπρόσθετο κόστος επιβάρυνσης. Ένα σημαντικό ποσοστό της είναι παράνομο, δημιουργώντας έτσι κυκλοφοριακή συμφόρηση.
- Στάθμευση εκτός οδού:
 - α) Οργανωμένοι χώροι μεγάλης χωρητικότητας (εμφανίζονται σε αρκετά μικρό ποσοστό)
 - β) Ιδιόμορφοι ανοιχτοί χώροι: η στάθμευση των οχημάτων πραγματοποιείται από υπάλληλο (attendant parking), με χρησιμοποίηση όλου του διαθέσιμου χώρου, στις περιόδους αιχμής.

Και οι δύο περιπτώσεις α) και β), οδηγούν σε ελιγμούς στάθμευσης, στις οδούς που περιβάλλουν το οικόπεδο, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τη διερχόμενη κυκλοφορία.

Ο έλεγχος της στάθμευσης στην οδό πραγματοποιείται με την καθιέρωση κανόνων, οι οποίοι δείχνονται με κατάλληλες πινακίδες σήμανσης ή με διαγράμμιση του οδοστρώματος και εφαρμόζονται με αστυνόμευση. Ο έλεγχος αναφέρεται είτε στην ίδια τη στάθμευση είτε στη στάση, για μικρό χρονικό διάστημα, αυτοκινήτων για αποβίβαση ή επιβίβαση επιβατών. Μπορεί να απαγορεύεται η στάθμευση ή η στάση σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου ή για ορισμένες μόνο χρονικές περιόδους, για τις δύο ή για τη μία πλευρά της οδού. Επίσης μπορεί να περιορίζεται η συνολική διάρκεια στάθμευσης κάθε αυτοκινήτου, ιδιαίτερα σε περιοχές που παρατηρείται μεγάλη εναλλαγή στάθμευσης. Οι απαγορεύσεις και οι περιορισμοί στην στάθμευση (και τη στάση) στην οδό,

καθορίζονται σε γενικές γραμμές από τους σχετικούς κανονισμούς που ισχύουν σε κάθε χώρα. Για τη Ελλάδα, περιλαμβάνονται στο Άρθρο 34 του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ). Στο άρθρο αυτό αναφέρεται γενικά στην αρχή, ότι η στάση και η στάθμευση επιτρέπονται αν δεν δημιουργούν κινδύνους ή παρακωλύουν την κυκλοφορία ή αν δεν υπάρχουν σχετικές απαγορευτικές πινακίδες ή διαγραμμίσεις. Ενδεικτικά, κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις απαγόρευσης στάσης και στάθμευσης είναι:

- Επάνω σε διαβάσεις πεζών ή ποδηλατιστών και σε απόσταση μικρότερη από πέντε (5) μέτρα από αυτές.
- Σε απόσταση μικρότερη από δώδεκα (12) μέτρα από στάσεις αστικών, υπεραστικών, ηλεκτροκίνητων λεωφορείων και τροchioδρομικών οχημάτων.
- Σε απόσταση μικρότερη από είκοσι (20) μέτρα από φωτεινούς σηματοδότες και δώδεκα (12) μέτρα από πινακίδες υποχρεωτικής διακοπής πορείας (STOP), ως και σε θέση, στην οποία το όχημα κρύβει, από τους χρήστες της οδού, τη θέα των πινακίδων σήμανσης και σηματοδοτών.
- Πάνω στις νησίδες ασφαλείας ως και στις διαχωριστικές νησίδες.
- Σε πεζοδρόμια, πλατείες, ειδικά ερείσματα που προορίζονται για πεζούς ως και ποδηλατοδρόμους, εκτός αν επιτρέπεται σε αυτούς η στάθμευση με ειδική σήμανση.
- Σε θέση όπου βρίσκεται κεκλιμένο επίπεδο (ράμπα) διάβασης Ατόμων με Αναπηρίες (ΑμεΑ).
- Σε ειδικούς χώρους στάθμευσης οχημάτων Ατόμων με Αναπηρίες (ΑμεΑ).
- Μπροστά από την είσοδο και έξοδο οχημάτων παρόδιου ιδιοκτησίας ως και απέναντι από αυτήν, όταν η οδός είναι στενή και παρεμποδίζεται η είσοδος – έξοδος οχημάτων εξ αυτής.
- Σε θέση από την οποία παρεμποδίζεται όχημα που σταθμεύει κανονικά να εξέλθει από το χώρο που έχει σταθμεύσει.
- Αν το ελεύθερο μέρος της οδού που απομένει είναι ανεπαρκές για την κυκλοφορία των οχημάτων.
- Σε ειδικούς χώρους στάθμευσης επιβατηγών αυτοκινήτων δημόσιας χρήσης (TAXI).
- Στις εισόδους και εξόδους των πεζοδρομίων ως και πάνω σ' αυτούς.

Σημαντικές επιπτώσεις της παράνομης στάθμευσης εντοπίζονται τόσο σε κυκλοφοριακό όσο σε περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο. Αρχικά, ιδιαίτερα σημαντική παρουσιάζεται η επιρροή του φαινομένου παράνομης στάθμευσης στην ταχύτητα των οχημάτων, ειδικά σε δρόμους μεσαίου πλάτους, καθώς μία αύξηση 10% στα επίπεδα στάθμευσης μπορεί να προκαλέσει μείωση στη μέση ταχύτητα, με ρυθμό 1 km/hr, ενώ επηρεάζονται ακόμη περισσότερο τα οχήματα που ταξιδεύουν με ταχύτητες υψηλότερες από τη μέση (Praburam and Koorey, 2015). Μάλιστα, έχει εκτιμηθεί ότι σε μονόδρομους, με ροή κυκλοφορίας 100-700 οχ./ώρα, η πρόθεση για παράνομο παρκάρισμα κυμαίνεται μεταξύ 1-10% του κυκλοφοριακού φόρτου, ενώ σε αμφίδρομους με ροή 100-1200 οχ./ώρα μπορεί να φτάσει μέχρι 70%, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνονται η πρόθεση των οδηγών για παράνομη στάθμευση και ο όγκος κυκλοφορίας, μειώνεται η μέση ταχύτητα των οχημάτων (Kladeftiras and Antoniou, 2012). Ένα ενδεικτικό παράδειγμα των επιπτώσεων παράνομης στάθμευσης, εντοπίζεται στην πόλη της Θεσσαλονίκης όπου, η χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων για τις καθημερινές μετακινήσεις αποτελεί την πρώτη επιλογή, σε ποσοστό 78.26%, με τον δείκτη ιδιοκτησίας των αυτοκινήτων να φτάνει στο 45%. Επίσης, μετά από μετρήσεις πεδίου σε περιόδους αιχμής, προέκυψε ότι το σημαντικότερο πρόβλημα εντοπίζεται στην παραβίαση λωρίδων λεωφορείων και ειδικών χώρων στάθμευσης (Tsakalidis and Tsoleridis, 2015). Φυσικά, σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις που εντοπίζονται και σε περιβαλλοντικό επίπεδο καθώς, λαμβάνοντας διάρκεια παράνομης στάθμευσης από 12 sec έως 1hr, προέκυψε ότι η συμφόρηση που δημιουργείται στις θέσεις που υπάρχουν παράνομα σταθμευμένα οχήματα δημιουργεί μεγάλες εκπομπές περιβαλλοντικών ρύπων (CO₂), σε σχέση με τις θέσεις χωρίς παράνομη στάθμευση (Galatioto and Bell, 2007). Το πρόβλημα γίνεται ακόμα εντονότερο σε περιόδους αιχμής, όπου η παράνομη στάθμευση φαίνεται να επηρεάζει ακόμα περισσότερο την ήδη κρίσιμη κατάσταση της κυκλοφορίας ενώ αυξάνεται αισθητά και ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσουν οι οδηγοί στον προορισμό τους

(Ramadan and Roorda, 2016). Ο χρόνος ταξιδιού επηρεάζεται σημαντικά και από την τοποθεσία, τη συχνότητα και τη διάρκεια του γεγονότος παράνομης στάθμευσης, προκαλώντας έντονα προβλήματα στη κυκλοφορία και εγκυμονώντας κινδύνους σε θέματα ασφάλειας (Gao and Ozbay, 2016). Η παράνομη στάθμευση αυξάνει σημαντικά και τη ροή κυκλοφορίας στους δρόμους καθώς έχει παρατηρηθεί πως για 0,20χ./100μ. δρόμους, η ροή κυκλοφορίας αυξάνεται κατά 20-30%, σε σχέση με τη ροή σε οδούς χωρίς παράνομη στάθμευση (Morillo and Campos, 2016). Σχετικά με το οικονομικό αντίκτυπο της παράνομης στάθμευσης, έχει υπολογιστεί αρκετά υψηλό, ιδιαίτερα σε ότι αφορά την παραβίαση των λωρίδων λεωφορείων. Ενδεικτικά, ανέρχεται στα 0.0325\$/100μ. δρόμου για την πόλη της Βαρκελώνης ενώ για τη Νέα Υόρκη σε 0.0251\$/100μ. δρόμου (Morillo and Campos, 2014). Επιπλέον, δραστηριότητες που αφορούν παράδοση-παραλαβή αγαθών, έχουν σαν αποτέλεσμα την προσωρινή (παράνομη) στάθμευση των οχημάτων με άμεση επίδραση στην κυκλοφορία (Han *et al.*, 2005).

Η έλλειψη αποτελεσματικής αστυνόμευσης στα ελληνικά αστικά κέντρα και σεβασμού από τους οδηγούς στους κανόνες που υπαγορεύονται από τον ΚΟΚ, έχει οδηγήσει στην ύπαρξη πολλών γεγονότων παράνομης στάθμευσης, δημιουργώντας πολλαπλές αρνητικές επιπτώσεις στο μεταφορικό σύστημα, όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρά τις διάφορες προσεγγίσεις για ανάλυση και αξιολόγηση των αρνητικών συνεπειών του προβλήματος, δεν έχει πραγματοποιηθεί αρκετή έρευνα σχετικά με τις αιτίες, πέρα από την οδική συμπεριφορά και την αστυνόμευση, που να οξύνουν το φαινόμενο της παράνομης στάθμευσης. Η σύνδεση της παράνομης στάθμευσης με τη γεωμετρία των οδών είναι αναγκαία προκειμένου να διερευνηθούν τα περιθώρια σχεδιαστικών παρεμβάσεων στην αντιμετώπιση του φαινομένου.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με το πρόβλημα της παράνομης στάθμευσης στις ελληνικές πόλεις, το οποίο συμβάλλει αισθητά στη διόγκωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ο στόχος της έρευνας είναι ο προσδιορισμός των αιτιών της παράνομης στάθμευσης, εστιάζοντας όχι τόσο στη συμπεριφορά των Ελλήνων οδηγών, η οποία θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη, αλλά σε ένα σύνολο μεταβλητών που η επίδρασή τους σχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ελληνικών οδών και τη σχέση μεταξύ ζήτησης και προσφοράς χώρου για παράνομη στάθμευση. Σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν και πρόκειται να απαντηθούν στην εργασία αυτή είναι:

- Ποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδών ελκύουν γεγονότα παράνομης στάθμευσης;
- Μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς χώρου για παράνομη στάθμευση, ποια από τις δύο αντίρροπες δυνάμεις διαδραματίζει σημαντικότερο ρόλο στην αύξηση παράνομης στάθμευσης, σε διάφορα σημεία της πόλης;
- Σε ποια σημεία της οδού υπάρχει συσσώρευση παράνομης στάθμευσης;
- Είναι δυνατόν το πρόβλημα της παράνομης στάθμευσης να αμβλυνθεί μόνο με την αναδιαμόρφωση των αστικών δρόμων ή απαιτείται η υλοποίηση επιπλέον πολιτικών;

Η διπλωματική εργασία δεν αποσκοπεί στην μοντελοποίηση της ζήτησης για στάθμευση γενικά, καθώς αυτό εξαρτάται από ένα πλήθος πολεοδομικών παραμέτρων όπως είναι οι χρήσεις γης που εντοπίζονται. Κύριο μέλημα είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης του σχεδιασμού της οδού, στα φαινόμενα παράνομης στάθμευσης. Με τον τρόπο αυτό, πραγματοποιείται συνεισφορά στην προσπάθεια προσδιορισμού των πιθανών μέτρων που μπορούν να λάβουν οι μηχανικοί κατά το σχεδιασμό, προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα και να περιοριστεί στο ελάχιστο η παρέμβαση της αστυνομίας για την επιβολή ποινών στους παραβάτες.

1.3 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Προκειμένου να απαντηθούν τα ερωτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, ακολουθείται συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση, που περιλαμβάνει μία σειρά βημάτων.

Στην αρχή πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών που επιχείρησαν να προσδιορίσουν τους σημαντικότερους λόγους που οδηγούν σε παράνομη στάθμευση. Κύριος σκοπός του δεύτερου κεφαλαίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των μεταβλητών που αναφέρονται στην κάθε έρευνα και επηρεάζουν σημαντικά την ένταση της παράνομης στάθμευσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ως κύριο μεθοδολογικό εργαλείο έρευνας. Αρχικά πραγματοποιείται περιγραφή της μεθόδου, προσδιορίζοντας τις βασικές μορφές εξισώσεων που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια, προσδιορίζεται η διαδικασία υπολογισμού του στατιστικού γραμμικού μοντέλου, ο τρόπος με τον οποίο αυτό αξιολογείται ενώ στο τέλος αναλύεται η επικύρωση του μοντέλου με χρήση παρατηρήσεων πεδίου.

Στην συνέχεια αναπτύσσεται σχέδιο για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων παράνομης στάθμευσης. Γίνεται αναλυτική περιγραφή των επιλεγμένων μεταβλητών, οδικών τμημάτων και των υποψήφιας ζωνών του δρόμου που υπάρχει συσσώρευση παράνομης στάθμευσης, επεξηγείται η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων από GoogleStreetView και περιγράφεται η διαδικασία συλλογής παρατηρήσεων πεδίου σε μια πόλη της Ελλάδας, την Σπάρτη.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, σε πρώτη φάση, περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης του τελικού στατιστικού μοντέλου με παράθεση στατιστικών αποτελεσμάτων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των επιλεγμένων εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Μέσα σε αυτό βήμα, περιλαμβάνεται και ο υπολογισμός της πυκνότητας παράνομης στάθμευσης ανά υποψήφια ζώνη. Τα τελευταία στοιχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά ώστε να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα του ανεπτυγμένου στατιστικού μοντέλου σε δεύτερη φάση. Στο τέλος του κεφαλαίου, πραγματοποιείται αξιολόγηση της προσαρμογής του μοντέλου σε σχέση με τα συλλεγμένα δεδομένα από το GoogleStreetView και γίνεται σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με τις παρατηρήσεις παράνομης στάθμευσης από την πόλη της Σπάρτης.

Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την παράθεση των κυριότερων συμπερασμάτων που προέκυψαν από την έρευνα αυτή. Στο τέλος, αναπτύσσονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σχετικά με την μοντελοποίηση του φαινομένου της παράνομης στάθμευσης στις ελληνικές πόλεις.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

2.1 ΚΥΡΙΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Τα τελευταία χρόνια, ένας μικρός αριθμός ερευνών, προσπάθησαν να προσεγγίσουν το φαινόμενο της παράνομης στάθμευσης και πιο συγκεκριμένα επικεντρώθηκαν στον προσδιορισμό των σημαντικότερων αιτιών που οδηγούν στα εν λόγω φαινόμενα.

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε και περιέχει τις λίγες συναφείς έρευνες για το θέμα της παράνομης στάθμευσης. Για κάθε μελέτη γίνεται μία συνοπτική αναφορά στο ακριβές αντικείμενο της έρευνας, τη μεθοδολογία και τα συμπεράσματα, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται η σύνοψη όλων αυτών. Στόχος της ανάλυσης αυτής είναι να εντοπιστούν τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των δρόμων που μπορούν να οδηγήσουν στην όξυνση της παράνομης στάθμευσης, καθώς επίσης και ο προσδιορισμός τις επίδρασης μεταβλητών που σχετίζονται με τη ζήτηση για στάθμευση.

2.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

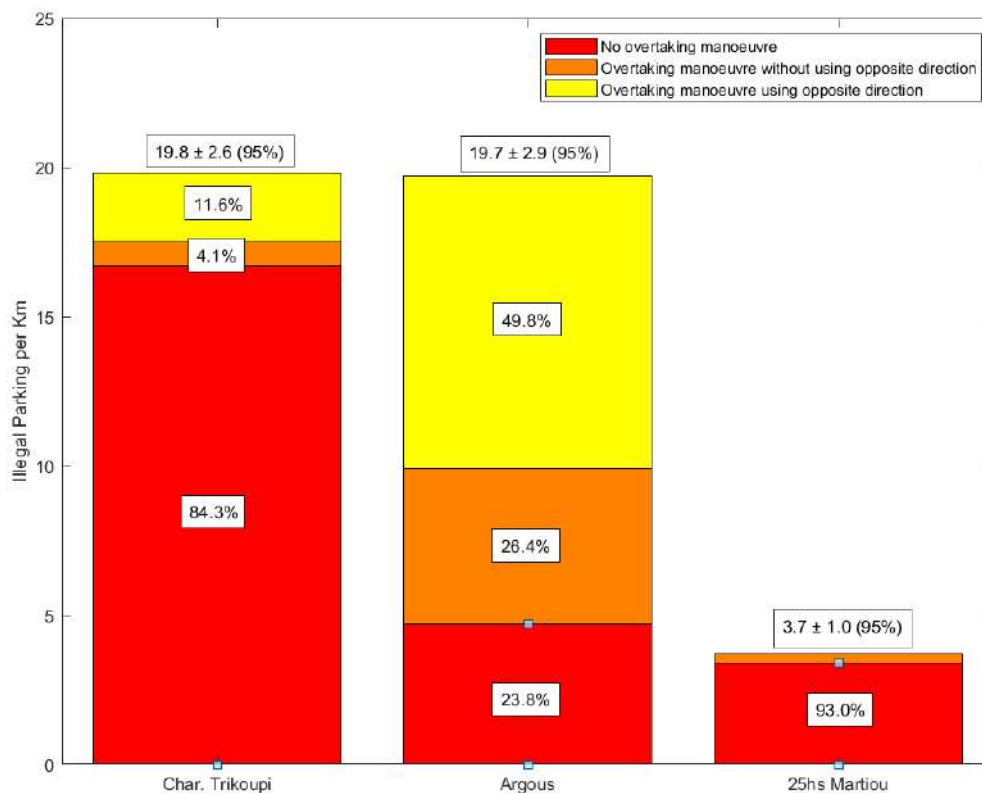
Οι Spilioroulou και Antoniou (2012),πραγματοποίησαν μία έρευνα με στόχο τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των Ελλήνων οδηγών, σε σχέση με το ελεγχόμενο σύστημα στάθμευσης. Εξετάστηκαν για το σκοπό αυτό έξι (6) ελληνικές περιοχές χωρίς ελεγχόμενο σύστημα στάθμευσης (Μαρούσι, Ταύρος, Νέα Ιωνία, Ιεράπετρα, Ναύπλιο και Κως), όπου σε κάθε μία από αυτές συλλέχτηκαν τα απαραίτητα δεδομένα στάθμευσης από προηγούμενες μελέτες κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τα δεδομένα στάθμευσης σε δύο περιοχές της Αθήνας (στο Γουδί και το Κολωνάκι), όπου υπάρχει ελεγχόμενο σύστημα, παρατηρώντας την αλλαγή των χαρακτηριστικών στάθμευσης, τη συμμόρφωση και το επίπεδο επιβολής. Αναλύοντας τα διαγράμματα συσσώρευσης στάθμευσης των περιοχών χωρίς ελεγχόμενο σύστημα στάθμευσης προέκυψαν τα εξής: στην Ιεράπετρα παρατηρήθηκε περισσότερος χώρος παράνομης στάθμευσης την χειμερινή περίοδο σε σχέση με την καλοκαιρινή, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην μειωμένη χρήση του αυτοκίνητου τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω διακοπών κλπ, στην Κω και το Ναύπλιο, η παράνομη στάθμευση καταλαμβάνει περισσότερο χώρο από τη νόμιμη ακόμα κι αν υπάρχουν διαθέσιμες θέσεις για στάθμευση, γεγονός που δηλώνει πως οι οδηγοί επιδιώκουν να σταθμεύσουν όσο πιο κοντά γίνεται στον προορισμό τους, στην περιοχή του Ταύρου και της Νέας Ιωνίας παρατηρήθηκε αρκετά αυξημένη ζήτηση τις πρωινές ώρες, κάτι που ίσως συνδέεται με τη στάθμευση λόγω εργασίας ενώ στο Μαρούσι η ζήτηση για χώρο στάθμευσης ήταν ιδιαίτερα αυξημένη στην περιοχή κοντά στο σιδηροδρομικό σταθμό. Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως επικρατεί η τάση για στάθμευση κοντά στον προορισμό ενώ υπάρχει αυξημένη ζήτηση για στάθμευση ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο τις ώρες αιχμής, όπως οι σιδηροδρομικοί σταθμοί. Όσον αφορά τις περιοχές με ελεγχόμενο σύστημα στάθμευσης, εξετάζοντας ξανά τα διαγράμματα συσσώρευσης αυτών και των κύκλο εργασιών στάθμευσης (έναν αριθμό που προκύπτει αφαιρώντας τη ζήτηση στάθμευσης από την παροχή), παρατηρήθηκαν θετικά αποτελέσματα από την επιβολή του.

Η έρευνα των Gao Jingqin και Kaan Ozbay το 2016 επικεντρώθηκε στον προσδιορισμό των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την εμφάνιση γεγονότων double-parking και την πραγματική συχνότητα με την οποία αυτά συμβαίνουν. Η συλλογή και περιγραφή δεδομένων έγινε με

τρεις τρόπους: α) δεδομένα από παρατηρήσεις πεδίου και από καταγραφή κάμερας DOT, β) εισιτήρια παραβίασης στάθμευσης στην Νέα Υόρκη και γ) αιτήματα από την υπηρεσία 311, που αποτελεί την κύρια πηγή κυβερνητικών πληροφοριών και υπηρεσιών μη έκτακτης ανάγκης. Συλλέχθηκαν πληροφορίες που αφορούσαν την ώρα άφιξης των οχημάτων, την ώρα αναχώρησης, τον όγκο κυκλοφορίας, τον τύπο των οχημάτων και τον συνολικό αριθμό γεγονότων double-parking ενώ, τα χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν σε κάθε περίπτωση ήταν: ο όγκος κυκλοφορίας, ο χώρος στάθμευσης, το μήκος του τετραγώνου, ο βαθμός εμπορικότητας της περιοχής, ο αριθμός λωρίδων, το πλάτος λωρίδων, η ύπαρξη λωρίδων ποδηλάτων και λεωφορείων, η ύπαρξη στάσης ΤΑΞΙ και ο αριθμός των ξενοδοχείων. Οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων ήταν: α) LASSO, β) η επιλογή σταθερότητας και γ) Random Forests, μία μη παραμετρική τεχνική μέθοδος. Οι δείκτες που προέκυψαν για κάθε μία από τις τεχνικές δείχνουν ότι η εμφάνιση ενός γεγονότος double-parking συσχετίζεται με τον μειωμένο όγκο κίνησης, στις περισσότερες περιπτώσεις ενώ, η υψηλή εμπορική χρήση και ο μεγαλύτερος αριθμός ξενοδοχείων, αυξάνει την εμφάνιση των γεγονότων. Και στα τρία μοντέλα, προέκυψαν ως σημαντικότεροι δείκτες: ο αριθμός των δωματίων ξενοδοχείων, ο όγκος κυκλοφορίας, ο βαθμός εμπορικότητας της περιοχής και το μήκος του τετραγώνου. Συγκεκριμένα, για τα τετράγωνα με ξενοδοχεία όπως το New York Hilton ή το Central Park, παρατηρήθηκε ρυθμός στάθμευσης ταξί, με τη μορφή double-parking, κατά 20-30/hr, με τους οδηγούς να μην ανησυχούν για την επιβολή εισιτηρίου παραβίασης στάθμευσης ενώ κάποιες φορές να αγνοούν τα διαθέσιμα σημεία στάθμευσης στην οδό, επιδιώκοντας να σταθμεύσουν όσο πιο κοντά στα ξενοδοχεία. Η εμπορική χρήση της περιοχής παρατηρήθηκε ως ένας σημαντικός παράγοντας και συμπεριλήφθηκε στο μοντέλο λόγω της συμβολής στην καλή εφαρμογή του. Ο όγκος κυκλοφορίας ήταν η μόνη μεταβλητή που αναφερόταν σε χρονικό χαρακτηριστικό ενώ το μήκος του τετραγώνου αποτέλεσε ισχυρή ένδειξη για το είδος της οδού. Σημαντική μεταβλητή ήταν και ο χώρος παρόδιας στάθμευσης. Ωστόσο, υπάρχουν κι άλλοι σημαντικοί παράγοντες όπως ο αριθμός των εστιατορίων, που ενδέχεται να επηρεάζουν την εμφάνιση των γεγονότων, όποτε απαιτείται περαιτέρω έρευνα, εισάγοντας αυτές τις μεταβλητές και επιλέγοντας την εφαρμογή επιπλέον μεθόδων.

Οι Tzouras και Lazaro (2020), διεξάγουν μία έρευνα με στόχο την σύνδεση της παράνομης στάθμευσης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αστικών δρόμων. Ελέγχοντας αν η σύνδεση αυτή είναι πραγματική, προσπάθησαν να επιλέξουν μέτρα κυκλοφορίας που θα μπορούσαν να μετριάσουν το πρόβλημα, σε τέσσερα επίπεδα: 1) αστικό οδικό δίκτυο, 2) αστικό οδικό σχεδιασμό, 3) οδικό εξοπλισμό, 4) διαχείριση. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν τρεις αστικοί εμπορικοί δρόμοι στο Ναύπλιο, διαφορετικοί από άποψη σχεδιασμού διατομής: i) Οδός Χαριλάου Τρικούπη, μεγάλος αστικός δρόμος με λωρίδα κυκλοφορίας 5.25μ. , ii) Οδός Αργούς, πολυσύχναστος εμπορικός δρόμος με πλάτος πεζοδρομίων πάνω από 3.5μ. iii) Οδός 25^{ης} Μαρτίου, αστικός δρόμος με κεντρική νησίδα και πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας 3.5μ. Τα πειράματα οδήγησης πραγματοποιήθηκαν τους χειμερινούς μήνες του 2018, κατά το διάστημα 13:00μμ-14:00μμ. Καλύφθηκαν τα εξής τμήματα: οδός Χαριλάου Τρικούπη 30,54 χλμ με 60 περάσματα, οδός Αργούς 42,16 χλμ με 68 περάσματα και οδός 25^{ης} Μαρτίου 15,6 χλμ με 40 περάσματα. Οι οδηγοί μετρούσαν τα παράνομα σταθμευμένα οχήματα και τους ελιγμούς προσπέρασης που πραγματοποιήσαν σε κάθε περίπτωση. Ο συνολικός αριθμός αυτών διαιρέθηκε με το συνολικό καλυμμένο μήκος σε κάθε δρόμο. Με επιπρόσθετες μετρήσεις βρέθηκαν οι φόρτοι της ώρας αιχμής και υπολογίστηκε η ροή κορεσμού της κάθε κατεύθυνσης, σε κάθε δρόμο. Τα πρώτα συμπεράσματα της έρευνας ήταν τα εξής: οι αμφίδρομοι οδοί με μεγάλες λωρίδες και χωρίς υψηλό λόγο φόρτου ως προς μέγιστη χωρητικότητα προσελκύουν περισσότερα γεγονότα παράνομης στάθμευσης, οι λωρίδες με μικρότερο πλάτος δεν επιλύουν το πρόβλημα αλλά αυξάνουν τον αριθμό των επικίνδυνων ελιγμών προσπέρασης στην αντίθετη κατεύθυνση και η ύπαρξη κεντρική νησίδας είναι καθοριστική για τη μείωση του παράνομου χώρου στάθμευσης. Ειδικότερα, στην οδό Χαριλάου Τρικούπη οι οδηγοί κατάφεραν να προσπεράσουν χωρίς ελιγμό στο 84,3% των γεγονότων παράνομης στάθμευσης ενώ στην οδό Αργούς, ελιγμοί με χρήση χώρου από το αντίθετο ρεύμα ήταν απαραίτητοι σε ποσοστό 84%. Πιθανότερα σημεία παραβατικής συμπεριφοράς εντοπίζονται σε γωνίες, κοντά σε σούπερ μάρκετ, κάδους και στα κενά διαγράμμισης νησίδων ενώ η

ύπαρξη φορτηγών αυξάνει τις εκδηλώσεις παράνομης στάθμευσης. Σε ότι αφορά την αντιμετώπιση του προβλήματος, υποστηρίχτηκε ότι πρώτα πρέπει να καθοριστεί με σαφή τρόπο η ιεράρχηση και η λειτουργικότητα του κάθε δρόμου. Οι λωρίδες κυκλοφορίας με μικρότερο πλάτος και η ύπαρξη κεντρικής νησίδας μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παράνομη στάθμευση, παραχωρώντας περισσότερο χώρο στον πεζό και τον ποδηλάτη. Απαραίτητη είναι και η διαχείριση στάθμευσης όσον αφορά τα παράνομα γεγονότα που σχετίζονται με επιχειρήσεις μεταφοράς εμπορευμάτων.



Εικόνα 2.1: Παράνομη στάθμευση ανά χιλιόμετρο σε διαφορετικές οδούς

Πηγή: Tzouras and Lazaro, 2020

3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε πάρα πολλά προβλήματα υπάρχει ένα σημαντικό ερώτημα σχετικά με το αν μπορούμε να εκτιμήσουμε ή να προβλέψουμε την τιμή μιας ή περισσότερων μεταβλητών κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη διαμόρφωσης μοντέλων τα οποία μας επιτρέπουν την αποτελεσματική πρόβλεψη μιας μεταβλητής Y μέσω πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών X_1, X_2, X_3 . Τα μοντέλα αυτά είναι γνωστά ως μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, που αποτελεί την επέκταση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για περισσότερες από δυο μεταβλητές, έχει ως σκοπό να περιγράψει την σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής Y και των ανεξάρτητων μεταβλητών $X_1, X_2, \dots, X_n$.

Η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επιλέγεται ως η καλύτερη μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγονται στην παρούσα έρευνα. Αυτό οφείλεται στο ότι:

- Η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m, είναι μία συνεχής μεταβλητή
- Είναι δυνατή η πρόβλεψη της, μέσω πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών $X_1, X_2, \dots, X_n$.
- Αποτελεί μία κλασσική μεθοδολογία στατιστικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό των αιτιών ενός προβλήματος

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι βασικές εξισώσεις και τα βήματα για τον προσδιορισμό του στατιστικού μοντέλου, η διαδικασία αξιολόγησης του και η διαδικασία ανάλυσης επικύρωσης του μοντέλου.

3.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΘΟΔΟΥ

Σε κάθε πρόβλημα παλινδρόμησης διακρίνουμε δύο ήδη μεταβλητών: τις ανεξάρτητες ή ελεγχόμενες ή επεξηγηματικές (independent ή explanatory variables ή predictors) και τις εξαρτημένες ή απόκρισης (dependent ή response variables). Σε πειραματικές έρευνες, ως **ανεξάρτητη μεταβλητή X** ορίζεται εκείνη την οποία μπορούμε να ελέγξουμε, δηλαδή να καθορίσουμε τις τιμές της ενώ αντίστοιχα, ως **εξαρτημένη μεταβλητή Y** ορίζεται εκείνη στην οποία αντανακλάται το αποτέλεσμα των μεταβολών στις ανεξάρτητες μεταβλητές. Σε μη πειραματικές έρευνες (δειγματοληψίες), η διάκριση μεταξύ ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών δεν είναι πάντοτε σαφής γιατί καμία μεταβλητή δεν είναι ελεγχόμενη αλλά όλες είναι τυχαίες.

Η σχέση μεταξύ των μεταβλητών διακρίνεται σε δύο μορφές:

- τη συναρτησιακή-προσδιοριστική (deterministic) σχέση ($Y=f(X)$): σε αυτή την περίπτωση όλα τα σημεία του διαγράμματος διασποράς βρίσκονται στην καμπύλη με εξίσωση $Y=f(X)$.
- τη στοχαστική-στατιστική (stochastic, probabilistic) σχέση: εδώ το διάγραμμα διασποράς είναι ένα νέφος σημείων το οποίο πολλές φορές καθορίζει μια ιδεατή γραμμή, που δίνει μία πρώτη εικόνα της σχέσης που συνδέει τις μεταβλητές. Όσο πιο κοντά στην ιδεατή καμπύλη βρίσκονται τα σημεία διασποράς, τόσο πιο ισχυρή είναι η σχέση των μεταβλητών.

Γενικά, δύο μεταβλητές που συνδέονται είτε με συναρτησιακή-προσδιοριστική σχέση είτε με στοχαστική σχέση λέγονται «εξαρτημένες». Αν υπάρχει εξάρτηση μεταξύ δύο μεταβλητών, τότε μπορούμε τη μια από αυτές να τη χαρακτηρίσουμε ως «αιτία» και την άλλη ως «αποτέλεσμα». Αυτό όμως, μόνο στην περίπτωση που η εξάρτηση οφείλεται σε σχέση αιτιότητας των δύο μεταβλητών και όχι σε μια απλή συν-μεταβολή η οποία μπορεί να οφείλεται σε εξάρτηση των δύο μεταβλητών από μια τρίτη μεταβλητή.

Τα βασικά βήματα για την ανάπτυξη του τελικού μοντέλου παλινδρόμησης, συνοψίζονται παρακάτω:

- **Επιλογή ανεξάρτητων μεταβλητών** που θα εξετασθούν και πιθανά θα περιληφθούν στο μοντέλο
- **Ανάλυση της σχέσης κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής με την εξαρτημένη μεταβλητή.** Αν η σχέση αυτών δεν είναι γραμμική, διερευνάται η δυνατότητα χρησιμοποίησης κατάλληλων μετασχηματισμών.
- **Υπολογισμός του πίνακα συντελεστών** συσχέτισης για όλα τα δυνατά ζεύγη μεταβλητών. Σε περίπτωση που δύο μεταβλητές είναι συγγραμμικές επιλέγεται μόνο μία για να περιληφθεί στο μοντέλο και συγκεκριμένα εκείνη που έχει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή και για τη οποία μπορούμε να κάνουμε αξιόπιστες προβλέψεις.
- **Υπολογισμός συντελεστών** της σχέσης παλινδρόμησης. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισάγονται σταδιακά στην εξίσωση και υπολογίζονται κάθε φορά οι διάφοροι **στατιστικοί δείκτες**. Σε κάθε στάδιο, μία μεταβλητή **παραμένει** στην εξίσωση ή **απορρίπτεται** ανάλογα με τη **συμβολή** της στην **αύξηση** της **ακρίβειας** του μοντέλου.
- Υπολογίζονται τα τελικά στατιστικά μεγέθη και ελέγχεται η αξιοπιστία του μοντέλου.

Τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται κατά τη διαδικασία είναι:

- ο **συντελεστής προσδιορισμού** (coefficient of determination) ή **συντελεστής συσχέτισης R^2**
- το **μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκτίμησης** (standard error of the estimate). Χρησιμοποιείται για να συγκριθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τις πραγματικές τιμές που μετρήθηκαν. Ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$y^* - \text{St. Err} < y < y^* + \text{St. Err} \text{πιθανότητα } 68\%$$

$$y^* - 2 \text{ St. Err} < y < y^* + 2 \text{ St. Err} \text{πιθανότητα } 95\%$$

όπου: y η πραγματική τιμή που μετρήθηκε, y^* η τιμή που υπολογίζει το μοντέλο και St. Err το σφάλμα εκτίμησης.

- ο **λόγος t (t-ratio)** που χρησιμοποιείται για να διερευνηθεί η **στατιστική σημαντικότητα** κάθε συντελεστή. Ο λόγος t συγκρίνεται με την κατανομή **t-Student**, με βαθμό ελευθερίας $n-k$, όπου- n είναι το μέγεθος του δείγματος και k ο αριθμός των μεταβλητών στην εξίσωση, περιλαμβανομένης και της ανεξάρτητης. Εάν η **απόλυτη τιμή του t-ratio** ενός συντελεστή είναι **μεγαλύτερη** από την **τιμή t-student** από το σχετικό πίνακα (για δεδομένο το επίπεδο εμπιστοσύνης) τότε η τιμή του συντελεστή είναι **στατιστικά σημαντική**, δηλαδή η τιμή του είναι διάφορη του μηδενός, με βάση ένα επιλεγμένο διάστημα εμπιστοσύνης. Αν συμβαίνει το αντίθετο, τότε η σχετική μεταβλητή **απορρίπτεται** και δεν χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη συναρτησιακή σχέση που διερευνάται.

Η βασική εξίσωση του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης είναι:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3.1)$$

όπου:

- Y είναι η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής
- $X_1, X_2, \dots, X_k$ είναι οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών
- β_0 είναι ο σταθερός όρος
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ είναι οι συντελεστές παλινδρόμησης που περιγράφουν την επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών
- k είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών
- ε είναι το σφάλμα, δηλαδή η διαφορά της πραγματικής τιμής Y από την τιμή $\hat{Y}$ που υπολογίζεται από τη παραπάνω σχέση

Για να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ της Y και των $X_1, X_2, \dots, X_k$ παίρνουμε ένα δείγμα, μεγέθους n και για κάθε άτομο του δείγματος αυτού, καταγράφονται οι τιμές των συγκεκριμένων μεταβλητών. Για παράδειγμα, για το i -άτομο του δείγματος, από την προηγούμενη σχέση προκύπτει:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

Η τελευταία, με τη μορφή πινάκων, γράφεται:

$$Y = BX + E \quad (3.3)$$

όπου:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ 1 & X_{31} & X_{32} & \dots & X_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Η πολλαπλή παλινδρόμηση βασίζεται σε κάποιες παραδοχές:

- Τα σφάλματα ε_i είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και κατανέμονται κανονικά
- Οι αναμενόμενες τιμές (μέσοι όροι) των σφαλμάτων ε_i είναι μηδέν
- Τα σφάλματα ε_i έχουν την ίδια διακύμανση σ_ε^2 , για όλους τους συνδυασμούς των ανεξάρτητων μεταβλητών
- Τα σφάλματα ε_i και ε_j , που αντιστοιχούν σε διαφορετικές επαναλήψεις του προβλήματος, $i \neq j$, θεωρούνται ασυσχέτιστα, δηλ $\text{Cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$, για $i \neq j$

Οι παραπάνω υποθέσεις για τα σφάλματα, συγκεντρώνονται στο θεώρημα Gauss-Markov:

- Γραμμικότητα: $E(\varepsilon_i) = 0$
- Ομοσκεδαστικότητα (homoscedasticity): $V(\varepsilon_i) = \sigma^2 < \infty$
- Ανεξαρτησία: $\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το μοντέλο είναι “μη γραμμικό” ή “εκθετικό”, μπορούμε μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών να το ανάγουμε σε “γραμμικό”.

Προκειμένου λοιπόν, να προσδιοριστούν οι συντελεστές παλινδρόμησης ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$) χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Στόχος είναι η πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής Y μέσω των τιμών $k \geq 1$ των ανεξάρτητων μεταβλητών $X_1, X_2, \dots, X_k$.

Για το σκοπό αυτό συγκεντρώνουμε τα δεδομένα που αφορούν τις τιμές $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$ των ανεξάρτητων μεταβλητών καθώς επίσης και την αντίστοιχη τιμή y_i της εξαρτημένης μεταβλητής Y , για $i=1,2,\dots,v$. Θεωρούμε ότι η τιμή y_i μπορεί να προβλεφθεί μέσω του παρακάτω γραμμικού συνδυασμού:

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} \quad (3.5)$$

Αρα, θα πρέπει να προσδιορίσουμε τις παραμέτρους $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik}) \quad (3.6)$$

να γίνει ελάχιστο. Για να ελαχιστοποιήσουμε το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων

$$g(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) = \sum_{i=1}^v \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^v (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik}))^2 \quad (3.7)$$

αρκεί να λύσουμε το σύστημα που θα προκύψει, αν θέσουμε τις μερικές παραγώγους της $g(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$, ίσες με μηδέν. Από τον μηδενισμό των μερικών παραγώγων προκύπτουν οι ισότητες:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^v (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik})) &= 0 \\ \sum_{i=1}^v x_{i1} (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik})) &= 0 \\ \sum_{i=1}^v x_{i2} (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik})) &= 0 \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^v x_{ik} (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik})) &= 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Οι τελευταίες οδηγούν στο επόμενο σύστημα γραμμικών εξισώσεων, οι οποίες είναι γνωστές με την ονομασία **κανονικές εξισώσεις** (normal equations).

$$v\beta_0 + \left(\sum_{i=1}^v x_{i1}\right)\beta_1 + \left(\sum_{i=1}^v x_{i2}\right)\beta_2 + \dots + \left(\sum_{i=1}^v x_{ik}\right)\beta_k = \sum_{i=1}^v y_i \quad (3.9)$$

$$\left(\sum_{i=1}^v x_{i1}\right)\beta_0 + \left(\sum_{i=1}^v x_{i1}^2\right)\beta_1 + \left(\sum_{i=1}^v x_{i1}x_{i2}\right)\beta_2 + \dots + \left(\sum_{i=1}^v x_{i1}x_{ik}\right)\beta_k = \sum_{i=1}^v x_{i1}y_i$$

$$\left(\sum_{i=1}^v x_{i2}\right)\beta_0 + \left(\sum_{i=1}^v x_{i1}x_{i2}\right)\beta_1 + \left(\sum_{i=1}^v x_{i2}^2\right)\beta_2 + \dots + \left(\sum_{i=1}^v x_{i2}x_{ik}\right)\beta_k = \sum_{i=1}^v x_{i2}y_i$$

:

$$\left(\sum_{i=1}^v x_{ik}\right)\beta_0 + \left(\sum_{i=1}^v x_{ik}x_{i1}\right)\beta_1 + \left(\sum_{i=1}^v x_{ik}x_{i2}\right)\beta_2 + \cdots + \left(\sum_{i=1}^v x_{ik}^2\right)\beta_k = \sum_{i=1}^v x_{ik}y_i$$

Το παραπάνω σύστημα αποτελείται από $p=k+1$ εξισώσεις και περιέχει ως αγνώστους τις παραμέτρους $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, δηλαδή το πλήθος των παραμέτρων είναι $p-1$.

Συγκεντρώνουμε τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών σε ένα πίνακα X , προσθέτοντας συγχρόνως μια πρώτη στήλη με όλα τα στοιχεία της ίσα με 1, οπότε προκύπτει:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2,p-1} \\ 1 & X_{31} & X_{23} & \cdots & X_{3,p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{v1} & X_{v2} & \cdots & X_{v,p-1} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Ο παραπάνω πίνακας διαστάσεων $v \times p$ λέγεται πίνακας σχεδιασμού και τα στοιχεία του χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθούν οι παράμετροι του. Επιπλέον, εισάγονται και τα εξής διανύσματα-στήλες:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_v \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Κάνοντας πολλαπλασιασμό πινάκων, βρίσκω τους πίνακες:

$$\dot{X}X = \begin{bmatrix} v & \sum_{i=1}^v x_{i1} & \sum_{i=1}^v x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^v x_{i,p-1} \\ \sum_{i=1}^v x_{i1} & \sum_{i=1}^v x_{i1}^2 & \sum_{i=1}^v x_{i1}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^v x_{i1}x_{i,p-1} \\ \sum_{i=1}^v x_{i2} & \sum_{i=1}^v x_{i1}x_{i2} & \sum_{i=1}^v x_{i2}^2 & \cdots & \sum_{i=1}^v x_{i2}x_{i,p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^v x_{i,p-1} & \sum_{i=1}^v x_{i1}x_{i,p-1} & \sum_{i=1}^v x_{i2}x_{i,p-1} & \cdots & \sum_{i=1}^v x_{i,p-1}^2 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$\dot{X}y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^v y_i \\ \sum_{i=1}^v x_{i1}y_i \\ \sum_{i=1}^v x_{i2}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^v x_{i,p-1}y_i \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

όπου $\dot{X}$, ο ανάστροφος του πίνακα X . Επομένως, το σύστημα με τη μορφή πινάκων, γράφεται:

$$(\dot{X}X)B = \dot{X}y \quad (3.14)$$

Έχοντας την υπόθεση ότι ο πίνακας $\dot{X}X$ είναι αντιστρέψιμος, τότε για να βρούμε τη λύση του συστήματος, αρκεί να πολλαπλασιάσουμε και τα δύο μέλη τη παραπάνω εξίσωσης με το $(\dot{X}X)^{-1}$, οπότε προκύπτει το εξής:

$$B = (X'X)^{-1}X'Y \quad (3.15)$$

Κάνοντας τον πολλαπλασιασμό των πινάκων προκύπτουν οι ποσότητες $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{p-1}$, οι οποίες ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων. Αυτές ονομάζονται εκτιμήτριες

ελαχίστων τετραγώνων και συμβολίζονται με $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_{p-1}$

3.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την αξιολόγηση της ορθότητας του στατιστικού μοντέλου και της προσαρμογής του στα συλλεγμένα δεδομένα, ελέγχονται τα εξής στοιχεία:

- Το μέγεθος του σταθερού όρου δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο
- Το μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει μεταβλητές που να σχετίζονται με χαρακτηριστικά των μετακινούμενων ή/και δραστηριοτήτων, που δεν παραμένουν αμετάβλητα αλλά εξελίσσονται
- Οι προβλέψεις των μελλοντικών τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών πρέπει να είναι αξιόπιστες
- Τα πρόσημα και το μέγεθος των συντελεστών πρέπει να είναι σύμφωνα με τον βαθμό και τον τύπο της επιρροής που έχουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές, στις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής
- Οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν σχετίζονται. Αν σχετίζονται, τότε δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η επίδραση της καθεμιάς, στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Η πολυσυγγραμμικότητα μεταξύ δύο μεταβλητών μπορεί να οδηγήσει σε παράλογες μορφές της συναρτησιακής σχέσης του μοντέλου

Μετά την εύρεση των εκτιμητριών ελαχίστων τετραγώνων του στατιστικού μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης, το επόμενο βήμα είναι να μελετήσουμε τις προσαρμοσμένες τιμές:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_{p-1} x_{i,p-1} \quad (3.16)$$

$i = 1, 2, \dots, n$, της μεταβλητής απόκρισης Y , καθώς επίσης και τα εκτιμημένα σφάλματα ή υπόλοιπα (residuals)

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_{p-1} x_{i,p-1}) \quad (3.17)$$

$i = 1, 2, \dots, n$. Ορίζοντας τα διανύσματα-στήλες

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad \hat{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \hat{\varepsilon}_1 \\ \hat{\varepsilon}_2 \\ \vdots \\ \hat{\varepsilon}_n \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες:

$$\hat{Y} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2,p-1} \\ 1 & X_{31} & X_{23} & \cdots & X_{3,p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{v2} & X_{v3} & \cdots & X_{v,p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_{p-1} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$\hat{\varepsilon} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{Y}_1 \\ \hat{Y}_2 \\ \vdots \\ \hat{Y}_v \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

δηλαδή: $\hat{Y} = X\hat{\beta}$ και $\hat{\varepsilon} = Y - \hat{Y}$ (3.21)

Αν κάποιος εξέταζε μόνο τις τιμές $y_1, y_2, \dots, y_v$, χωρίς να λαμβάνει υπόψη ότι αυτές αντιστοιχούν σε διαφορετικές (πιθανώς) τιμές $x_1, x_2, \dots, x_v$, θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ως ένα μέτρο διασποράς (μεταβλητότητας) αυτών γύρω από τη μέση τιμή τους $\bar{y}$, **το συνολικό άθροισμα τετραγώνων** (Total Sum of Squares- **SSTO**)

$$SSTO = \sum_{i=1}^v (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3.22)$$

Το SSTO αναλύεται σε δύο επιμέρους αθροίσματα τετραγώνων:

- το **άθροισμα τετραγώνων της παλινδρόμησης**:

$$SSR = \sum_{i=1}^v (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (3.23)$$

- το **άθροισμα τετραγώνων των υπολοίπων**:

$$SSE = \sum_{i=1}^v \hat{\varepsilon}_i^2 = \sum_{i=1}^v (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^v (Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik}))^2 \quad (3.24)$$

Έτσι: $SSTO = SSR + SSE$ (3.25)

Προφανώς, το άθροισμα SSE λαμβάνει μη αρνητικές τιμές και γίνεται μηδέν αν ισχύει: $\hat{\varepsilon}_i = 0$, για όλα τα $i=1,2,\dots,v$. Δεδομένου όμως ότι δεν υπάρχει ένα αντικειμενικό κριτήριο με το οποίο να καθορίζονται ποιες τιμές του SSE θεωρούνται μικρές και ποιές μεγάλες, δημιουργείται ένα ποσοστιαίος δείκτης για την εκτίμηση της ποιότητας (αποτελεσματικότητα, ακρίβεια προσέγγισης) της ευθείας παλινδρόμησης.

Είναι προφανές ότι ισχύει:

$$0 \leq SSR \leq SSTO$$

και ότι το SSR θα πλησιάζει προς το SSTO όταν το $SSE=SSTO-SSR$, παίρνει τιμές κοντά στο 0.

Για να υπολογίσουμε τους βαθμούς ελευθερίας αθροιστικών τετραγώνων με όρους που κατανέμονται με κανονική τυπική κατανομή, μπορούμε χρήση του εξής κανόνα: ο βαθμός ελευθερίας προκύπτει αν από το πλήθος των προσθετέων που χρησιμοποιούνται στο άθροισμα, αφαιρέσουμε το πλήθος των εκτιμητριών που χρησιμοποιούνται. Έτσι, για το συνολικό άθροισμα τετραγώνων SSTO, έχουμε $v-1$

βαθμούς ελευθερίας, αφού έχουμε n προσθετέους και χρησιμοποιείται μία εκτιμήτρια. Για το άθροισμα τετραγώνων των υπολοίπων SSE, έχουμε $n-p$ βαθμούς ελευθερίας, αφού αποτελείται από n προσθετέους και χρησιμοποιούνται p εκτιμήτριες $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_{p-1}$.

Τέλος, για το άθροισμα τετραγώνων της παλινδρόμησης SSR, έχω $p-1$ βαθμούς ελευθερίας. Αν διαιρέσουμε τα αθροίσματα τετραγώνων SSE και SSR με τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας, προκύπτουν τα μέσα αθροίσματα τετραγώνων, δηλαδή:

$$MSE = \frac{SSE}{n-p} \quad \text{και} \quad MSR = \frac{SSR}{p-1} \quad (3.26)$$

Η ποσότητα MSE (αλλιώς συμβολίζεται με s^2) είναι μία αμερόληπτη εκτιμήτρια της άγνωστης διακύμανσης: $\sigma^2 = V(\varepsilon_i) = V(Y_i)$, ενώ η τετραγωνική της ρίζα: $s = \sqrt{MSE}$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αμερόληπτη εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης των ε_i .

Ο λόγος SSR/SSTO χρησιμοποιείται ως δείκτη ποιότητας (δείκτης αξιολόγησης) του στατιστικού μοντέλου. Η ποσότητα

$$R^2 = \frac{SSR}{SSTO} = 1 - \frac{SSE}{SSTO} \quad (3.27)$$

λέγεται **συντελεστής προσδιορισμού** (coefficient of determination), λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και για τις δύο ακραίες τιμές του ισχύουν τα εξής:

a) Αν $R^2 = 1$, θα ισχύει $SSR=SSTO$ οπότε $SSE=0$, δηλαδή

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i = 0 \leftrightarrow \hat{Y}_i = Y_i \quad (3.28)$$

Επομένως, το μοντέλο περιγράφει τέλεια τα διαθέσιμα δεδομένα (έχουμε τέλεια προσαρμογή των δεδομένων στην ευθεία παλινδρόμησης).

b) Αν $R^2 = 0$, θα ισχύει $SSR=0$, δηλαδή

$$\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \leftrightarrow \hat{Y}_i = \bar{Y} \quad (3.29)$$

Επομένως $\beta=0$ και $\hat{\alpha} = \bar{y}$ και η ευθεία παλινδρόμησης παίρνει τη μορφή: $y = \bar{y}$ (ευθεία παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα). Στην περίπτωση αυτή, η πρόβλεψή μας για την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Y είναι συνεχώς η ίδια, χωρίς να επηρεάζεται από τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Έτσι οι ανεξάρτητες μεταβλητές X δε μας δίνουν καμία πληροφορία για την τιμή που θα πάρει η εξαρτημένη μεταβλητή Y και επομένως δεν μας είναι καθόλου χρήσιμες για την πρόβλεψή της.

Ο συντελεστής συσχέτισης (ή προσδιορισμού) μπορεί ακόμα να προκύψει από τον παρακάτω τύπο:

$$R^2 = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{(N-1) \cdot s_x \cdot s_y} \quad (3.30)$$

ενώ, η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.31)$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού εκφράζεται συχνά ως ποσοστό. Τιμές κοντά στο 1 σημαίνουν ότι η ευθεία παλινδρόμησης περνάει πολύ κοντά από τα περισσότερα σημεία, ενώ τιμές κοντά στο 0 σημαίνουν ότι σχεδόν όλα τα σημεία βρίσκονται μακριά από την ευθεία παλινδρόμησης και επομένως

θα πρέπει να αναζητηθεί κάποια άλλη σχέση των ανεξάρτητων μεταβλητών με την εξαρτημένη μεταβλητή.

Συμπεραίνοντας μπορούμε να πούμε πως:

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι το ποσοστό της συνολικής διασποράς (των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y) η οποία εξηγείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητή X (μέσω της ευθείας παλινδρόμησης)

Το υπόλοιπο ποσοστό: $1 - R^2 = \frac{SSE}{SSTO}$, είναι το ποσοστό της συνολικής διασποράς που παραμένει ανεξήγητο από τις X και θα πρέπει να αποδοθεί είτε σε άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν την τιμή της Y (αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν στη διαμόρφωση του μοντέλου) είτε σε φυσική μεταβλητότητα (στατιστική τυχαιότητα) τιμών της Y .

3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η επικύρωση του μοντέλου (model validation) αποτελεί το πιο σημαντικό βήμα στη διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων. Η διαδικασία αυτή αφορά το ίδιο το μοντέλο και συνίσταται στη διερεύνηση του κατά πόσο το μοντέλο αποτελεί μια ικανοποιητική και αποδεκτή αναπαράσταση του συστήματος που προσομοιώνεται. Θεωρητικά, είναι αδύνατο να υπάρξει πλήρης περιγραφή ενός συστήματος και βεβαίως κανένα μοντέλο δεν μπορεί να παραστήσει πλήρως ένα σύστημα, αλλά πάντα αποτελεί μια (λιγότερο ή περισσότερο) ικανοποιητική προσέγγιση. Μπορούμε, ιδανικά, να στοχεύουμε στη διασφάλιση, κατά τον μέγιστο δυνατό βαθμό, του γεγονότος ότι οι αποφάσεις στις οποίες οδηγούμαστε θα είναι όμοιες μ' αυτές στις οποίες θα καταλήγαμε αν μπορούσαμε να πειραματιστούμε με το ίδιο το σύστημα.

Υπάρχουν πολλά στατιστικά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικύρωση μοντέλου. Ένα από τα πιο χρήσιμα είναι η εξέταση των υπολοίπων ως προς την κανονικότητα και την ομοιογένεια της διασποράς τους. Πολλοί τύποι υπολοίπων επιτρέπουν την αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, τα υπόλοιπα ενός προσαρμοσμένου μοντέλου είναι η διαφορά μεταξύ των πραγματικών παρατηρήσεων (observations) και των προβλέψεων (predictions) του μοντέλου.. Η σχέση που εκφράζει τη διαφορά αυτή είναι:

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (3.32)$$

όπου:

- Y_i είναι οι παρατηρηθείσες τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής και
- $\hat{Y}_i$ οι τιμές που έχουν εκτιμηθεί

Η διασπορά των υπολοίπων εξετάζεται με γραφικές απεικονίσεις, στις οποίες τα υπόλοιπα βρίσκονται στον άξονα των Y ενώ οι προβλέψεις του μοντέλου, στον άξονα των X . Είναι φανερό, ότι απαιτείται ένα γράφημα των υπολοίπων τη φορά για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, προκειμένου να εντοπιστεί ποια είναι υπεύθυνη για πιθανή έλλειψη κανονικότητας ενώ για τις προσαρμοσμένες τιμές ένα μόνο γράφημα είναι αρκετό. Ο έλεγχος των υπολοίπων αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της σημαντικότητας της παλινδρόμησης, διότι τεκμηριώνει την ποιότητα της σχηματιζόμενης ευθείας προσαρμογής, με ή χωρίς την ανάγκη μετασχηματισμού των μεταβλητών. Η εγκυρότητα της γραμμικής σχέσης της παλινδρόμησης με τη βοήθεια υπολοίπων βασίζεται στην εκπλήρωση δύο προϋποθέσεων:

- α) Τα υπόλοιπα να ακολουθούν κανονική κατανομή η οποία διαπιστώνεται με τη χρήση ενός από τους ελέγχους: Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, D' Agostino, Anderson-Darling ή γραφικών ελέγχων της κανονικότητας.

- b) Τα υπόλοιπα να μην εκδηλώνουν τάση μεταβολής ως αποτέλεσμα της δράσης των μεταβλητών X και Y .

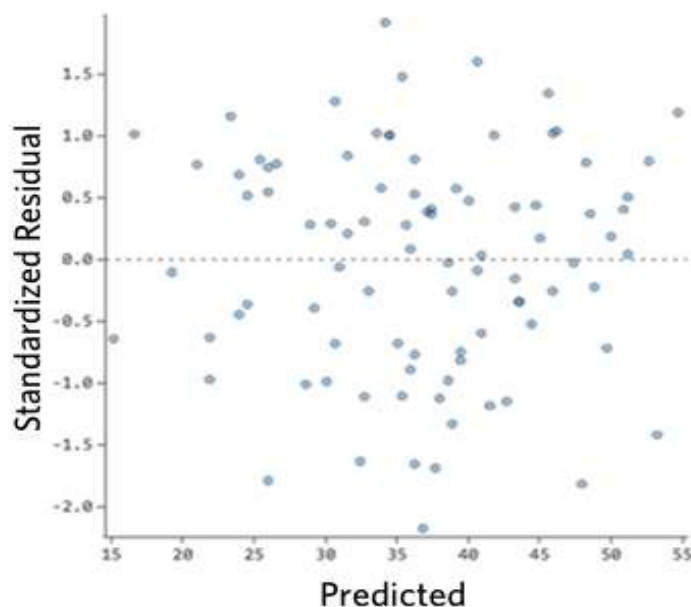
Η δεύτερη αυτή συνθήκη διαπιστώνεται από τη μελέτη δύο γραφημάτων, με τα υπόλοιπα ($Y_i - \hat{Y}_i$) να παρίστανται στον άξονα των Y και στον άξονα των X να παρίστανται στο ένα γράφημα οι πραγματικές τιμές της μεταβλητής Y και στο άλλο οι προσαρμοσμένες τιμές. Αν τα υπόλοιπα κατανέμονται διάσπαρτα και στα δύο γραφήματα, τότε υπάρχει ομοιομορφία της διασποράς, ενώ αναμένεται να έχουν μέσο όρο μηδέν και διακύμανση ανεξάρτητη της μεταβολής. Τότε, όσο πιο κοντά στο μηδέν βρίσκονται τα σημεία, τόσο περισσότερο η πρόβλεψη του μοντέλου πλησιάζει την πραγματικότητα. Από την άλλη, μπορεί να εντοπίζεται ιδιομορφία στη διασπορά των υπολοίπων. Στην περίπτωση αυτή, τα σημεία είτε βρίσκονται αρκετά πάνω από τον άξονα μηδέν (η εξίσωση παίρνει θετικές τιμές) οπότε καταλαβαίνουμε ότι η εκτίμηση του μοντέλου ήταν χαμηλότερη, είτε βρίσκονται κάτω από τον άξονα μηδέν (η εξίσωση παίρνει αρνητικές τιμές), που σημαίνει ότι η εκτίμηση του μοντέλου ήταν αρκετά υψηλή. Η ιδιομορφία αυτή μπορεί να οφείλεται:

- Στην αυξημένη μεταβλητότητα της Y καθώς αυξάνουν οι τιμές X
- Στην έλλειψη γραμμικής σχέσης μεταξύ Y και X

Ένα μοντέλο θεωρείται κατάλληλο όταν τα υπόλοιπα δεν παρουσιάζουν κάποια συστηματική δομή αλλά κινούνται κυρίως σε ένα τυχαίο πλαίσιο. Προκειμένου να προσδιοριστεί η κατανομή των υπολοίπων, ελέγχεται η κατανομή των παρατηρήσεων στο διάγραμμα διασποράς. Μία ιδανική μορφή διαγράμματος διασποράς χαρακτηρίζεται από:

- όσο το δυνατόν συμμετρικά κατανεμημένα σημεία ως προς τον άξονα του μηδενός
- σημεία συγκεντρωμένα κυρίως γύρω από τα χαμηλότερα μεμονωμένα σημεία του άξονα y
- τυχαία σημεία

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μορφή μίας καλής κατανομής υπολοίπων.



Εικόνα 3.1: Παράδειγμα καλής διασποράς υπολοίπων

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέσα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών που προηγήθηκε, έγινε μία προσπάθεια προσδιορισμού των σημαντικότερων αιτιών που μπορεί να οδηγούν σε γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Κάποιες από τις εν λόγω μελέτες φάνηκε να καταλήγουν στο συμπέρασμα πως υπάρχουν γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δρόμων όπως: το πλάτος του δρόμου, η ύπαρξη κεντρικής νησίδας ή το μήκος του κάθε τετραγώνου, που επηρεάζουν τον βαθμό εμφάνισης παράνομης στάθμευσης. Σε άλλες πάλι, ιδιαίτερα σημαντικά κρίθηκαν χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη ζήτηση και την προσφορά για στάθμευση όπως: οι αποστάσεις από το κέντρο της πόλης ή η αποστάσεις από σημεία ύπαρξης σιδηροδρομικών σταθμών, η ύπαρξη παρόδιας στάθμευσης στην οδό, το μέγεθος της πόλης, αν πρόκειται δηλαδή για μία επαρχιακή περιοχή ή για ένα μεγάλο αστικό κέντρο.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επιρροή διαφόρων μεταβλητών στην παράνομη στάθμευση, χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες που παρέχονται από την υπηρεσία GoogleStreetView όπου μέσω της υπηρεσίας αυτής, μπορέσαμε να “περπατήσουμε” σε διάφορους ελληνικούς δρόμους, με όσο το δυνατόν διαφορετικά χαρακτηριστικά και να εντοπίσουμε τα σημεία που εντοπίζεται εντονότερο το πρόβλημα. Οι δρόμοι που επιλέχθηκαν αφορούσαν οδούς είτε σε επαρχιακές πόλεις είτε σε μεγάλα αστικά κέντρα. Η μέθοδος αυτή κρίθηκε ως η καταλληλότερη τόσο λόγω του αριθμού των δρόμων που εξετάστηκαν όσο και λόγω των μεγάλων αποστάσεων που θα έπρεπε να διανυθούν, απαιτώντας πολύ χρόνο, όπως θα συνέβαινε στην περίπτωση επί τόπου μετρήσεων. Επίσης, η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από το σπίτι, κάτι το οποίο υπαγορευόταν από τους κανόνες αποστασιοποίησης για την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας στις ημέρες πανδημίας, λαμβάνοντας υπόψη το παγκόσμιο πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί, όταν και εκπονήθηκε η συγκεκριμένη διπλωματική. Βέβαια, προκειμένου να ελεγχθεί η εγκυρότητα των στατιστικών αποτελεσμάτων, συλλέχθηκαν και ορισμένες παρατηρήσεις από το πεδίο και πιο συγκεκριμένα από την πόλη της Σπάρτης.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Χρησιμοποιώντας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τις εικόνες από τη υπηρεσία GoogleStreetView, καταφέραμε να εντοπίσουμε τα σημεία συσσώρευσης των γεγονότων παράνομης στάθμευσης. Με βάση τα σημεία αυτά, επιλέχθηκαν οι μεταβλητές που θεωρήθηκε πως είχαν σημαντικό ρολό στην ύπαρξη του φαινομένου. Για την καλύτερη κατηγοριοποίηση των δρόμων και την περιγραφή των γεωμετρικών στοιχείων με βάση της μεταβλητές αυτές, αναπτύχθηκε ένας τρόπος κωδικοποίησης.

Αρχικά, οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη γεωμετρία της οδού και θεωρήθηκε πως είχαν κάποια σημαντική επιρροή στην παράνομη στάθμευση ήταν τέσσερις: η κατεύθυνση της οδού (direc), ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας (lane), η ύπαρξη ενδιάμεσης διαχωριστικής νησίδας (isl), οι οποίες είναι τρεις διακριτές μεταβλητές και το μέσο πλάτος οδοστρώματος (mwidth) που είναι μία συνεχής μεταβλητή. Όσον αφορά την κατεύθυνση, οι δρόμοι χωρίστηκαν σε μονής κατεύθυνσης (στην περίπτωση αυτή η μεταβλητή direc έπαιρνε την τιμή 1) και σε διπλής κατεύθυνσης (στην περίπτωση αυτή η μεταβλητή direc έπαιρνε την τιμή 2). Σχετικά με τον αριθμό λωρίδων σε κάθε δρόμο, αν υπήρχε μία λωρίδα κυκλοφορίας, η μεταβλητή lane θα ήταν ίση με 1, ενώ αν υπήρχαν δύο λωρίδες κυκλοφορίας, η μεταβλητή lane θα ήταν ίση με 2. Τέλος, για την μεταβλητή isl, αν υπήρχε διαχωριστική νησίδα στον δρόμο που εξετάζοταν, αυτή έπαιρνε την τιμή 1, διαφορετικά αν δεν

υπήρχε νησίδα, έπαιρνε την τιμή 0. Με βάση τις τρεις αυτές μεταβλητές, προέκυψαν πέντε κατηγορίες διατομών: Διατομή 1 (cross1)- οδός μονής κατεύθυνσης με μία λωρίδα κυκλοφορίας, Διατομή 2 (cross2)- οδός μονής κατεύθυνσης με δύο λωρίδες κυκλοφορίας, Διατομή 3 (cross3)- οδός διπλής κατεύθυνσης, χωρίς διαχωριστική νησίδα και με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, Διατομή 4 (cross4)- οδός διπλής κατεύθυνσης, με διαχωριστική νησίδα και με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και Διατομή 5 (cross5)- οδός διπλής κατεύθυνσης, με διαχωριστική νησίδα και με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Πρόκειται για 5 τυπικές περιπτώσεις που συναντώνται στους ελληνικούς αστικούς δρόμους, εξαιρώντας τις πρωτεύουσες οδούς και τους αστικούς αυτοκινητόδρομους.

Λαμβάνοντας υπόψη, πως μέσα από τις εικόνες της υπηρεσίας GoogleStreetView, δεν ήταν δυνατό να ελέγξουμε τον φόρτο των οχημάτων σε κάθε δρόμο που εξετάσαμε, επιλέξαμε να εισάγουμε μία μεταβλητή (class) που σχετίζεται με την ιεράρχηση της οδού από OpenStreetMap, η οποία διαχωριζόταν σε class1 και class2, αναλόγως με το αν η οδός που εξετάζαμε ήταν δευτερεύουσα ή συλλεκτήρια. Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή αν η οδός ήταν δευτερεύουσα, η μεταβλητή class2 έπαιρνε την τιμή 1 και η μεταβλητή class1 την τιμή 0, ενώ στη περίπτωση της συλλεκτήριας οδού, η μεταβλητή class1 έπαιρνε την τιμή 1 και η class2 την τιμή 0. Τέλος, αν η οδός χαρακτηριζόταν ως κατοικίας, τόσο η μεταβλητή class1 όσο και η class2 έπαιρναν την τιμή 0.

Πίνακας 4.1: Επιλεγμένες μεταβλητές πρόβλεψης

Μεταβλητή	Παράμετρος	Τύπος	Περιγραφή
<u>Σχεδιασμός</u>			
Αριθμός κατευθύνσεων	direc	Διακριτή	1, εάν υπάρχει μία κατεύθυνση 2, εάν υπάρχει δύο κατευθύνσεις
Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας	lane	Διακριτή	1, εάν υπάρχει μία λωρίδα 2, εάν υπάρχει δύο λωρίδες
Κεντρική νησίδα	isl	Dummy	1, εάν υπάρχει κεντρική νησίδα
Διαγράμμιση	mark	Dummy	1, εάν υπάρχει διαγράμμιση
Αστικός εξοπλισμός	equi	Dummy	1, εάν υπάρχει αστικός εξοπλισμός που περιορίζει τη στάθμευση
Στάση ΔΣ	pt	Dummy	1, εάν υπάρχει στάση ΔΣ
Μέσο πλάτος λωρίδας	mwidth	Συνεχής	Μέσο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας σε μέτρα
<u>Ζήτηση</u>			
Απόσταση από το κέντρο πόλης	dist	Συνεχής	Απόσταση από το κέντρο πόλης σε χιλιόμετρα
Αριθμός κυκλοφορόντων οχημάτων	veh	Συνεχής	Αριθμός κυκλοφορόντων οχημάτων στην πόλη αφού διαιρεθεί με το 1000
<u>Προσφορά</u>			
Παρόδια στάθμευση	park1	Dummy	1, εάν υπάρχει παρόδια στάθμευση
Θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης	park2	Dummy	1, εάν υπάρχουν θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης
<u>Κυκλοφοριακός Φόρτος</u>			
Συλλεκτήρια οδός (OSM)	class1	Dummy	1, εάν η οδός είναι συλλεκτήρια
Δευτερεύουσα οδός (OSM)	class2	Dummy	1, εάν η οδός είναι δευτερεύουσα

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι μεταβλητές που και πάλι συνδέονται με την γεωμετρία της οδού αλλά παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την προσφορά θέσεων στάθμευσης σε κάθε δρόμο. Οι μεταβλητές αυτές αφορούσαν την ύπαρξη παρόδιας στάθμευσης (park1) και την ύπαρξη θεσμοθετημένων θέσεων στάθμευσης (park2). Πρόκειται επίσης για δύο διακριτές μεταβλητές. Αν προβλεπόταν παρόδια στάθμευση στην οδό, η μεταβλητή park1 έπαιρνε την τιμή 1 διαφορετικά έπαιρνε την τιμή 0. Όμοια, αν στην οδό υπήρχαν θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης, η μεταβλητή park2 έπαιρνε την τιμή 1 ενώ αν δεν υπήρχαν, έπαιρνε την τιμή 0.

Τέλος, επιλέχθηκαν επιπλέον δύο συνεχείς μεταβλητές που σχετίζονται με τη ζήτηση παράνομης στάθμευσης. Πρόκειται για τη μεταβλητή dist, που εκφράζει την απόσταση της οδού από το κέντρο της πόλης και τη μεταβλητή veh που δηλώνει τον αριθμό των αυτοκινήτων που υπάρχουν σε κάθε Δήμο, πολλαπλασιαζόμενο με το 1000. Για τον υπολογισμό της τελευταίας, λήφθηκαν υπόψη ο δείκτης ιδιοκτησίας αυτοκινήτου ανά περιφερειακή ενότητα της χώρας και ο πληθυσμός του εκάστοτε Δήμου που άνηκε η οδός. Η αξιολόγηση της ζήτησης στηρίχτηκε μόνο σε αυτές τις δύο παραμέτρους, χωρίς την επιλογή επιπλέον, αφού η μοντελοποίηση της δεν αποτελούσε σκοπό της παρούσας διπλωματικής.

Κατά το “πέρασμα” κάθε δρόμου, σημειώθηκαν ποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά εντοπίστηκαν, ενώ επίσης μετρήθηκαν: το συνολικό μήκος κάθε δρόμου (length), το πλάτος του οδοστρώματος (width) και ο συνολικός αριθμός διασταυρώσεων.

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ

Η επιλογή των προς εξέταση οδικών τμημάτων, έγινε με τρόπο ώστε να καλύπτονται κατά το δυνατόν, οι περισσότερες από τις κατηγορίες των μεταβλητών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στόχος ήταν να επιλεγούν δρόμοι με ποικίλα χαρακτηριστικά, ώστε να προκύπτει ίδιο μήκος δρόμου, ανά κατηγορία. Βέβαια, αυτό δεν ήταν εύκολο να επιτευχθεί για όλες τις κατηγορίες, καθώς παρατηρήθηκε πληθώρα διαφορετικών συνδυασμών γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών στις ελληνικές οδούς.

Το αρχείο των επιλεγμένων αστικών δρόμων περιελάμβανε 50 οδούς. Ωστόσο, κάποιες από αυτές διαχωρίστηκαν σε δύο ή τρία τμήματα καθώς παρατηρήθηκε διαφοροποίηση της γεωμετρίας τους. Έτσι, το τελικό σύνολο περιελάμβανε 55 οδούς, με το συνολικό τους μήκος να ανέρχεται σε 39.735,75m. Από αυτούς, 31 βρισκόντουσαν σε Δήμους της Περιφέρειας Αττικής, 4 δρόμοι βρισκόντουσαν στο Δήμο Θεσσαλονίκης και οι υπόλοιποι 20 σε διάφορους Δήμους, εκτός Αττικής και Θεσσαλονίκης.

Όλοι οι δρόμοι ταξινομήθηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Έτσι, προέκυψε το μήκος και το ποσοστό που αντιστοιχούσε σε κάθε μία από τις μεταβλητές. Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τα περιγραφικά στατιστικά των δρόμων που συμπεριλήφθηκαν στο δείγμα της έρευνας.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες μεταβλητές που εξετάστηκαν, παρατηρήθηκε πως το μέσο πλάτος οδοστρώματος παρουσιάζει μία μέση τιμή 5.50m ενώ περίπου το 15% των οδικών τμημάτων έχει $mwidth \leq 3.50m$. Στους περισσότερους δρόμους, η μέση τιμή της απόστασης dist από το κέντρο της πόλης ήταν κοντά στα 700m. Η μεταβλητή dist διαχωρίστηκε έπειτα σε δύο επιμέρους, dist1 και dist2, με βάση την απόσταση του τμήματος από το πολεοδομικό κέντρο της πόλης. Τέλος, ο μέσος δείκτης ιδιοκτησίας οχημάτων ανά Δήμο (veh) φάνηκε να αγγίζει την τιμή $281.45 * 1000$ οχήματα.

Στη συνέχεια, σε κάθε έναν από τους δρόμους, δόθηκε ένας κωδικός αριθμός (ξεκινώντας από το 100 και συνεχίζοντας για 101, 102 κλπ.) και σημειώθηκε η αντίστοιχη κωδικοποίηση με βάση την ύπαρξη ή όχι της εκάστοτε μεταβλητής. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται κάποια χαρακτηριστικά

παραδείγματα των επιλεγμένων δρόμων μαζί με την περιγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους.

Πίνακας 4.2:Μήκος αστικών δρόμων και αντίστοιχο ποσοστό ανά κατηγορία

	Μήκος (m)	Ποσοστό
Κατοικίας	8,126.01	20.45%
Συλλεκτήρια	15,013.29	37.78%
Δευτερεύουσα	16,597.45	41.77%
Μονή	17,095.10	43.02%
Διπλή	22,641.65	56.98%
μία λωρίδα	27,636.34	69.55%
δύο λωρίδες	12,100.41	30.45%
χωρίς νησίδα	29,631.92	74.57%
με νησίδα	10,104.83	25.43%
διατομή 1	10,805.32	27.19%
διατομή 2	6,289.78	15.83%
διατομή 3	12,536.82	31.55%
διατομή 4	2,999.42	7.55%
διατομή 5	7,105.41	17.88%
απαγόρευση στάθμευσης στάθμευση	8,990.94	22.63%
με παρόδια στάθμευση	19,972.65	50.26%
με θεσμοθετημένες θέσεις	10,773.16	27.11%
χωρίς διαγράμμιση	26,127.30	65.75%
με διαγράμμιση	13,609.45	34.25%
κανένα εξοπλισμό	20,052.68	50.46%
με κολωνάκια	19,684.07	49.54%
χωρίς στάσεις ΔΣ	15,127.49	38.07%
με στάσεις ΔΣ	24,609.26	61.93%



Εικόνα 4.1:Οδός Σόλωνος

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά οδού Σόλωνος

Κωδικός οδού	Κατεύθυνση	Λωρίδες/Κατεύθυνση	Νησίδα	Παρόδια στάθμευση	Θεσμοθετημένες θέσεις	Διαγράμμιση	Αστικός εξοπλισμός	Στάσεις ΔΣ
100	Μονή	Δύο	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι



Εικόνα 4.2: Οδός Κασσάνδρου

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά οδού Κασσάνδρου

Κωδικός οδού	Κατεύθυνση	Λωρίδες/Κατεύθυνση	Νησίδα	Παρόδια στάθμευση	Θεσμοθετημένες θέσεις	Διαγράμμιση	Αστικός εξοπλισμός	Στάσεις ΔΣ
103	Μονή	Δύο	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι



Εικόνα 4.3: Λεωφόρος Στρατάρχου Αλέξανδρου Παπάγου

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά Λεωφόρου Στρατάρχου Αλέξανδρου Παπάγου

Κωδικός οδού	Κατεύθυνση	Λωρίδες/Κατεύθυνση	Νησίδα	Παρόδια στάθμευση	Θεσμοθετημένες θέσεις	Διαγράμμιση	Αστικός εξοπλισμός	Στάσεις ΔΣ
105	Διπλή	Μία	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι



Εικόνα 4.4: Οδός Συρακουσών

Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικά οδού Συρακουσών

Κωδικός οδού	Κατεύθυνση	Λωρίδες/Κατεύθυνση	Νησίδα	Παρόδια στάθμευση	Θεσμοθετημένες θέσεις	Διαγράμμιση	Αστικός εξοπλισμός	Στάσεις ΔΣ
110	Διπλή	Μία	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι

4.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΠΑΡΑΝΟΜΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, βασικό βήμα για τον προσδιορισμό των μεταβλητών που επηρεάζουν τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης, ήταν ο προσδιορισμός των σημείων συσσώρευσης αυτών, στις οδούς που εξετάστηκαν. Με τον τρόπο αυτό συγκεντρώθηκαν τα σημαντικότερα σημεία και δημιουργήθηκαν δέκα (10) ζώνες, στις οποίες εντοπίζοντας ως επί το πλείστον φαινόμενα παράνομης στάθμευσης. Προκειμένου να κατηγοριοποιήσουμε έπειτα τα γεγονότα που συλλέξαμε με βάση τις ζώνες αυτές, προσθέσαμε ένα κωδικό σε κάθε ζώνη, διακρίνοντας τες ανά περίπτωση διατομής οδού. Η κωδικοποίηση αυτή φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.7: Κατηγοριοποίηση γεγονότων παράνομης στάθμευσης

		Μία κατεύθυνση		Δύο κατευθύνσεις χωρίς νησίδα	Δύο κατευθύνσεις με νησίδα	
		Μία λωρίδα	Δύο λωρίδες	Μία λωρίδα	Μία λωρίδα	Δύο λωρίδες
z1	Στη λωρίδα κυκλοφορίας δίπλα σε παρόδια στάθμευση ("διπλοπαρκάρισμα")	1101	1201	2101	3101	3201
z2	Στη λωρίδα κυκλοφορίας δίπλα σε θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης ("διπλοπαρκάρισμα")	1102	1202	2102	3102	3202
z3	Στη λωρίδα κυκλοφορίας δίπλα στο πεζοδρόμιο (απαγορεύεται η στάθμευση)	1103	1203	2103	3103	3203
z4	Επάνω στο πεζοδρόμιο ή ποδηλατόδρομο που δεν προστατεύεται από κάγκελα ή κολονάκια	1104	1204	2104	3104	3204
z5	Επάνω στο πεζοδρόμιο ή ποδηλατόδρομο που προστατεύεται από κάγκελα ή κολονάκια	1105	1205	2105	3105	3205
z6	Επάνω στη διάβαση πεζών	1106	1206	2106	3106	3206
z7	Στη λωρίδα κυκλοφορίας δίπλα σε κάδο απορριμμάτων	1107	1207	2107	3107	3207
z8	Κοντά σε περιοχή διασταύρωσης	1108	1208	2108	3108	3208
z9	Στη στάση λεωφορείου ή πιάτσα ταξί	1109	1209	2109	3109	3209
z10	Στη μέση της οδού στο σημείο διακοπής της νησίδας				3110	3210



Εικόνα 4.5: Παρουσίαση ζωνών παράνομης στάθμευσης με Φωτογραφίες

4.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ GOOGLESTREETVIEW

Έχοντας συγκεντρώσει του προς εξέταση αστικούς δρόμους (4.3) και αφού δημιουργήθηκε λίστα ζωνών συσσώρευσης παράνομης στάθμευσης σε ζώνες (0), το επόμενο βήμα επικεντρωνόταν στη συλλογή των δεδομένων από τις εικόνες της υπηρεσίας GoogleStreetView.

Αρχικά, κάθε δρόμος χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα, σε καθένα από τα οποία αντιστοιχούσε ένας αύξων αριθμός, ξεκινώντας από το 1 (ID_measure). Ο συνολικός αριθμός τμημάτων που προέκυψαν με το διαχωρισμό αυτό ήταν 248. Στα τμήματα αυτά, έγινε καταμέτρηση του μήκους (length) και του συνολικού αριθμού των γεγονότων παράνομης στάθμευσης (il_park) που εντοπίστηκαν, μετά το “πέρασμα” του δρόμου μέσα από τις εικόνες. Έτσι, υπολογίστηκε η μεταβλητή y , η οποία σχετίζεται με τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά μήκος τμήματος και η οποία προκύπτει από τον τύπο:

$$y = \frac{il_park}{length} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Το επόμενο βήμα αφορούσε την λεπτομερή καταγραφή κάθε παρατηρούμενου συμβάντος, με βάση τις ζώνες που δημιουργήσαμε. Συγκεκριμένα, σε καθένα από τα τμήματα που χωρίσαμε τους επιλεγμένους δρόμους, έγινε αντιστοίχιση του γεγονότος παράνομης στάθμευσης με τη ζώνη στην οποία αντιστοιχεί. Σε μία βάση δεδομένων συγκεντρώθηκαν όλα τα τμήματα με τον αντίστοιχο αύξων αριθμός τους, τον κωδικό αριθμό που αντιστοιχεί συνολικά στην οδό που ανήκει το τμήμα και τη ζώνη που παρατηρήθηκε καθένα από τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Ανάλογα με τον αριθμό των

γεγονότων που αντιστοιχούσαν σε κάθε τμήμα (il_park), προέκυπτε και ο αριθμός που θα καταγραφόταν το τμήμα, με τον αύξων αριθμό του (ID_measure). Για παράδειγμα, στο δρόμο με κωδικό 113 (δρόμος διατομής 3), στο τμήμα με ID_measure 1, παρατηρήθηκαν τρία (3) γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Συνεπώς, στη βάση δεδομένων σημειώθηκε τρεις (3) φορές το τμήμα με ID_measure1 (αντίστοιχα ο δρόμος 113) ενώ η κατηγοριοποίηση αφορούσε τη ζώνη που εντοπίστηκε κάθε ένα από τα γεγονότα, όπου με βάση τον αντίστοιχο πίνακα, υπήρχε ένα γεγονός στη λωρίδα κυκλοφορίας δίπλα σε παρόδια στάθμευση (μία φορά το 2101) και δύο γεγονότα κοντά σε περιοχή διασταύρωσης (δύο φορές το 2108). Με τον τρόπο αυτό συνεχίστηκε η καταγραφή όλων των γεγονότων, για όλα τα τμήματα των αστικών δρόμων.

4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ GOOGLESTREETVIEW

Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων αφορούσε στη προετοιμασία του κατάλληλου αρχείου, πάνω στο οποίο εφαρμόζοντας τη μέθοδο της παλινδρόμησης, προκύπτει το ζητούμενο μοντέλο. Έχοντας ολοκληρώσει λοιπόν την καταγραφή των γεγονότων παράνομης στάθμευσης, σε όλους τους επιλεγμένους αστικούς δρόμους, δημιουργήσαμε τα εξής αρχεία csv.

- Το αρχείο *x_variables*, ουσιαστικά ένας πίνακας όπου κάθε γραμμή αντιστοιχούσε στο δρόμο που εξετάστηκε, σημειώνοντας τον κωδικό αριθμό του που του δόθηκε στην αρχή και το όνομα του. Οι επόμενες στήλες αντιστοιχούσαν σε κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, με βάση την κατηγοριοποίηση που κάναμε παραπάνω και συγκεκριμένα τις μεταβλητές: class1, class2, direc, lane, isl, park1, park2, mark, equi, pt, dist, veh.
- Το αρχείο *y_variables*, ένας πίνακας ο οποίος προέκυψε από τη βάση δεδομένων (όπως αναφέραμε παραπάνω). Στην πρώτη στήλη αναγραφόταν ο αύξων αριθμός του δρόμου (ID_measure), στη δεύτερη ο κωδικός αριθμός του δρόμου (ID_road), στην τρίτη στήλη η μεταβλητή y που υπολογίσαμε, για κάθε δρόμο.

Προκειμένου να ενώσουμε τα δύο αρχεία σε ένα ενιαίο, στο οποίο θα εφαρμοζόταν και η μέθοδος της παλινδρόμησης, χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Για κάθε ένα από τα υπολογισμένα y του αρχείου *y_variables* και για κάθε έναν από τους 55 δρόμους του *x_variables*, ελέγξαμε σε ποια σημεία υπάρχει ταύτιση προκειμένου να ομαδοποιηθούν κατάλληλα.

Έπειτα, θέλοντας να ελέγξουμε όλες τις μεταβλητές για να καταλήξουμε σε αυτές που ήταν πιο σημαντικές και είχαν σημαντική επιρροή στο φαινόμενο της παράνομης στάθμευσης, εφαρμόσαμε τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού R. Πρόκειται για μια γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα που παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να κάνει υπολογιστική στατιστική και γραφήματα. Παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία προκειμένου να υλοποιηθεί μια στατιστική ανάλυση, κάποια από τα οποία είναι: δημιουργία τυχαίων δειγμάτων, διακριτές και συνεχείς μεταβλητές (Poisson, Gamma, Exponential κλπ), έλεγχοι υποθέσεων, στατιστικά τεστ (Kolmogorov-Smirnoff), δημιουργία γραφημάτων.

4.7 ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Η δεύτερη μέθοδος που επιλέχθηκε για τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, αφορούσε μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν σε μία πόλη της Ελλάδας, τη Σπάρτη. Οι μετρήσεις σχετιζόταν με την καταγραφή γεγονότων παράνομης στάθμευσης και έγιναν με φυσικούς παρατηρητές, τις ώρες αιχμής και συγκεκριμένα το διάστημα 13:00μμ-14:00μμ.

Το τμήμα της πόλης που επιλέχθηκε για τις επί τόπου μετρήσεις, ορίζονταν περιμετρικά από τις οδούς: Θερμοπυλών, Αρχιδάμου, Όθωνος-Αμαλίας και Λεωνιδίου. Κάθε ένας από αυτούς τους δρόμους χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα, ανάλογα με τις καθέτους που σχημάτιζαν οι δρόμοι αυτοί με τους δρόμους εσωτερικά του τετραγώνου. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τους τελευταίους, χωρίζοντας και αυτούς σε επιμέρους τμήματα. Τελικά, η εξέταση περιλάμβανε 18 δρόμους, ενώ τα τμήματα στα οποία αυτοί χωρίστηκαν, ανερχόταν σε 96. Σε κάθε ένα από τα τμήματα αυτά σημειώθηκε ο αριθμός των παράνομα σταθμευμένων οχημάτων.

Επιπλέον, σε κάθε τμήμα εξετάστηκαν ποιες από τις μεταβλητές, που ορίσαμε, υπήρχαν. Τέλος, υπολογίστηκε ο αριθμός των παράνομα σταθμευμένων οχημάτων ανά 100m, πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των παράνομα σταθμευμένων οχημάτων με το 100 και διαιρώντας αυτό με το μήκος του εκάστοτε τμήματος.

Με τον τρόπο αυτό, διαμορφώθηκε η βάση με την τιμή y για κάθε δρόμο, στην οποία έπειτα εφαρμόστηκε το μοντέλο που υπολογίστηκε.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχοντας συλλέξει και επεξεργαστεί όλα τα απαραίτητα δεδομένα της ανάλυσης, ήταν δυνατόν χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού R, να καταλήξουμε στο τελικό μοντέλο παράνομης στάθμευσης. Αρχικά, παρουσιάζονται κάποια περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για το σύνολο των μεταβλητών. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το τελικό μοντέλο και πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι. Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις πεδίου της Σπάρτης.

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

5.2.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΕΧΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

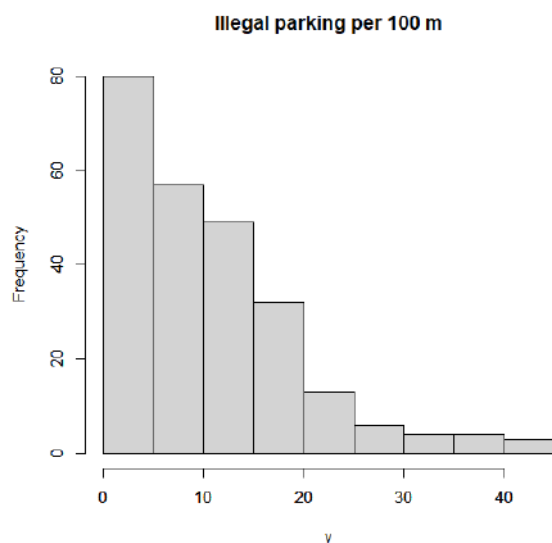
Σε πρώτο στάδιο, ελέγχοντας την συχνότητα εμφάνισης των μεταβλητών y (γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100mδρόμου), $mwidth$ (μέσο πλάτος οδοστρώματος) και $dist$ (απόσταση από το κέντρο της πόλης), παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Τιμές παράνομης στάθμευσης (y) ανά 100m

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.000	4.175	8.668	10.714	15.004	41.772

Εικόνα 5.1: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής y

Από τα στοιχεία της **Εικόνα 3.1**, παρατηρούμε πως η μεταβλητή y παρουσιάζει μία μέση τιμή 10.714 γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Η ελάχιστη τιμή της, που είναι 0, δηλώνει πως στο δείγμα μας υπάρχουν τμήματα δρόμων στα οποία δεν εντοπίζονται γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Από τη άλλη, η μέγιστη τιμή της μεταβλητής φτάνει τα 41.772 γεγονότα. Ωστόσο λαμβάνοντας υπόψη μέσο μήκος αυτοκινήτου είναι περίπου 4.5m, σε 100 μέτρα αντιστοιχούν λιγότερα από 22 παράνομα σταθμευμένα αυτοκίνητα. Αντιλαμβανόμαστε πως στην περίπτωση αυτή, εμφανίζεται τόσο υψηλή η μεταβλητή y λόγω της στάθμευσης πολλών δίκυκλων οχημάτων, γεγονός ιδιαίτερα έντονο στο κέντρο της Αθήνας. Τα παραπάνω φαίνονται και στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 5.2: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m

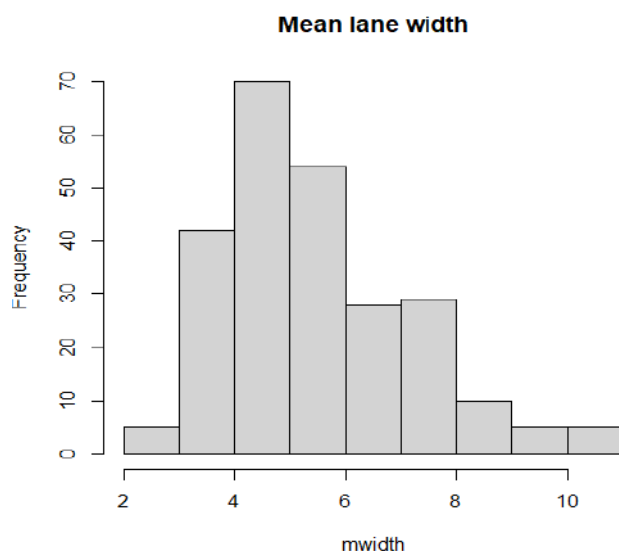
Όπως φαίνεται και εδώ, στην πλειοψηφία των μετρήσεων, η μεταβλητή y παίρνει τιμές από 0 έως 10, ενώ για $y > 10$, μειώνεται η συχνότητα εμφάνισης της μεταβλητής. Παρατηρούμε επίσης και τιμές της μεταβλητής y να ξεπερνούν τα 40.

- Μέσο πλάτος οδοστρώματος (mwidth)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2.500	4.250	5.250	5.498	6.250	11.000

Εικόνα 5.3: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής mwidth

Παρατηρούμε πως το μέσο πλάτος οδοστρώματος έχει ελάχιστη τιμή 2.5m, μέγιστη τιμή 11m και μέση τιμή 5.498m. Ωστόσο, τα 3.5m πλάτος οδοστρώματος επαρκούν για την κυκλοφορία οποιουδήποτε οχήματος, γεγονός που δηλώνει τον αυξημένο χώρο που προβλέπεται τελικά για την κυκλοφορία τους, ενώ στην πραγματικότητα δεν είναι αναγκαίος. Προκύπτει επίσης πως μόλις 36 από αυτά, έχουν πλάτος μικρότερο ή ίσο με 3.5m Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



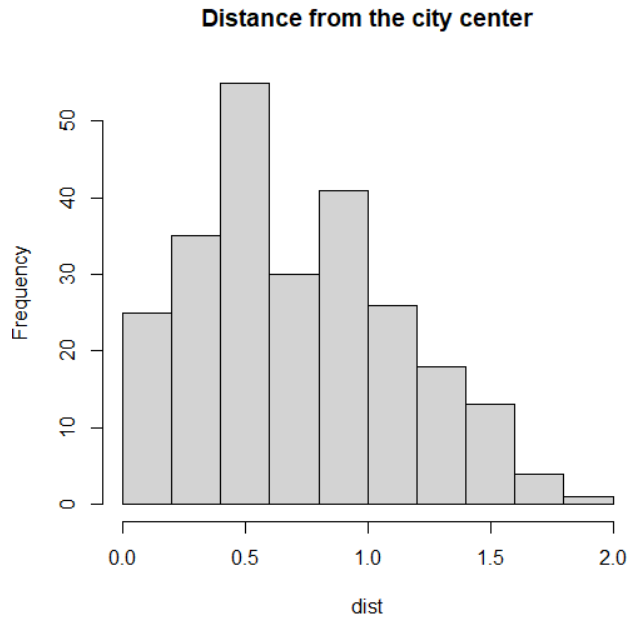
Εικόνα 5.4: Μέσο πλάτος οδοστρώματος

- Απόσταση από το κέντρο της πόλης (dist)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0000	0.4148	0.6483	0.7213	1.0023	1.8683

Εικόνα 5.5: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής dist

Συνοψίζοντας τις αποστάσεις όλων των τμημάτων του δείγματος, από το εκάστοτε κέντρο της πόλης, προέκυψε πως η μεταβλητή $dist$ εμφανίζει ελάχιστη τιμή τα 0m, για οδικά τμήματα που διέρχονται από το κέντρο και μέγιστη τιμή τα 1.8683m. Συγκεκριμένα, μόλις 62 από τα 248 τμήματα του δείγματος απέχουν πάνω από 1000m από το κέντρο της πόλης. Επίσης, παρατηρούμε πως η μέση τιμή του δείγματος είναι 721.3m. Λαμβάνοντας λοιπόν μία μέση ταχύτητα βαδίσματος τα 5km/hr, σε 8.64min κάποιος φτάνει στο κέντρο της πόλης, γεγονός που δηλώνει πως έχουμε συμπεριλάβει αρκετά κεντρικά οδικά τμήματα στο δείγμα μας. Όλα τα παραπάνω φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5.6: Απόσταση από το κέντρο της πόλης

- Δείκτης ιδιοκτησίας οχημάτων ανά Δήμο (veh)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
13.49	59.38	95.72	281.45	664.40	664.40

Εικόνα 5.7: Στατιστικά στοιχεία μεταβλητής veh

Παρατηρούμε πως η ελάχιστη τιμή του δείκτη είναι $13.49 \cdot 1000$ οχ., τιμή που αντιστοιχεί σε οδικά τμήματα Δήμων εκτός Αττικής και Θεσσαλονίκης, η μέγιστη τιμή του $664.40 \cdot 1000$ οχ., τιμή που φαίνεται να αντιστοιχεί στους μεγαλύτερους Δήμους και η μέση τιμή $281.45 \cdot 1000$ οχ.

5.2.2 ΑΛΛΗΛΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω (4.3), οι μεταβλητές που σχετίζονται με την ύπαρξη συλλεκτήριας οδού (class1), την ύπαρξη δευτερεύουσας οδού (class2), την κατεύθυνση της οδού (direc), την παρόδια στάθμευση (park1), τη διαγράμμιση της οδού (mark), τοπ αστικό εξοπλισμό (equi), τις στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας (pt) εμφανίζονται να έχουν καλή κατανομή άρα μπορούν να συμπεριληφθούν στην αρχική σύνταξη του μοντέλου. Από την άλλη, οι μεταβλητές που σχετίζονται με την ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας (isl) και τις θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2) εμφανίζονται σε χαμηλό αριθμό. Συγκεκριμένα, μόλις το 25.43% των τμημάτων παρουσιάζονται να έχουν διαχωριστική νησίδα, ποσοστό που αντιστοιχεί σε 10.104,83m και το 27.11% να έχει θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης, που αντιστοιχεί σε 10.773,16m. Είναι φανερό πως τα μήκη είναι ανάλογα του αριθμού των παρατηρήσεων οπότε και εστιάζουμε στον αριθμό των παρατηρήσεων ανά κατηγορία, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταβλητές.

- Για τη μεταβλητή isl:
 - Παρατηρούνται μόλις 8 παρατηρήσεις οδικών τμημάτων που να διαθέτουν διαχωριστική νησίδα ($isl=1$) και να είναι συλλεκτήριες οδοί (class1), ενώ τα υπόλοιπα 81 εμφανίζονται χωρίς αυτή.

Επίσης, παρατηρούμε πως τα 55 από τα 248 τμήματα στα οποία υπάρχει νησίδα, δεν είναι συλλεκτήριες οδοί. Συνεπώς δεν μπορούν να συμπεριληφθούν και οι δύο μαζί στο τελικό μοντέλο.

Total Observations in Table: 248

isl	class1		Row Total
	0	1	
0	104	81	185
	0.6	0.4	0.7
1	55	8	63
	0.9	0.1	0.3
Column Total	159	89	248

Εικόνα 5.8: Συσχέτιση μεταβλητών isl και class1

- Από τα 248 τμήματα, μόλις τα 8 από αυτά που αφορούν δρόμους με διαχωριστική νησίδα (isl=1), δεν είναι δευτερεύουσες οδοί (class2=0). Τα 155 τμήματα που δεν έχουν διαχωριστική νησίδα (isl=0), δεν είναι επίσης δευτερεύουσες οδοί (class2=0), ενώ τα 30 από τα τμήματα που χαρακτηρίζονται ως δευτερεύουσες οδοί (class2=1), δεν έχουν διαχωριστική νησίδα (isl=0).

Total Observations in Table: 248

isl	class2		Row Total
	0	1	
0	155	30	185
	0.8	0.2	0.7
1	8	55	63
	0.1	0.9	0.3
Column Total	163	85	248

Εικόνα 5.9: Συσχέτιση μεταβλητών isl και class2

- Παρατηρείται σχετικά ικανοποιητική ισορροπία μεταξύ των μεταβλητών isl και lane. Συγκεκριμένα, από τους 171 δρόμους με μία λωρίδα κυκλοφορίας (lane=1), οι 150 δεν έχουν διαχωριστική νησίδα (isl=0), ενώ από τους 77 δρόμους με δύο λωρίδες κυκλοφορίας (lane=2), οι 42 παρουσιάζουν διαχωριστική νησίδα (isl=1).

Total Observations in Table: 248

isl	lane		Row Total
	1	2	
0	150 0.8	35 0.2	185 0.7
1	21 0.3	42 0.7	63 0.3
Column Total	171	77	248

Εικόνα 5.10: Συσχέτιση μεταβλητών isl και lane

- Παρατηρούμε πως σε κανέναν μονόδρομο (direc=1) δεν υπάρχει διαχωριστική νησίδα (δηλαδή να είναι isl=1), κάτι το οποίο είναι απολύτως φυσιολογικό. Επίσης, από τους 126 αμφίδρομους (direc=2), το 50% έχει διαχωριστική νησίδα ενώ το υπόλοιπο 50% δεν έχει.

Total Observations in Table: 248

isl	direc		Row Total
	1	2	
0	122 0.7	63 0.3	185 0.7
1	0 0.0	63 1.0	63 0.3
Column Total	122	126	248

Εικόνα 5.11: Συσχέτιση μεταβλητών isl και direc

- Παρατηρούμε πως υπάρχουν μόλις 7 τμήματα με διαχωριστική νησίδα (isl=1) και συγχρόνως θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=1).

Total Observations in Table: 248

isl	park2		Row Total
	0	1	
0	128 0.7	57 0.3	185 0.7
1	56 0.9	7 0.1	63 0.3
Column Total	184	64	248

Εικόνα 5.12: Συσχέτιση μεταβλητών isl και park2

- Για τη μεταβλητή park2:
- Παρατηρούμε πως από τα 159 τμήματα που δεν είναι συλλεκτήριες οδοί (δηλαδή class1=0), στα 114 δεν υπάρχουν θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=0), ενώ υπάρχουν μόνο 19 τμήματα που είναι συλλεκτήριες οδοί (class1=1) και εμφανίζουν θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=1). Υπάρχει γενικά μία καλή ισορροπία μεταξύ αυτών των μεταβλητών γεγονός που μας επιτρέπει να τις εισάγουμε συγχρόνως στο μοντέλο.

Total Observations in Table: 248

park2	class1		Row Total
	0	1	
0	114	70	184
	0.6	0.4	0.7
1	45	19	64
	0.7	0.3	0.3
Column Total	159	89	248

Εικόνα 5.13: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και class1

- Μόλις σε 7 τμήματα που ανήκουν σε δευτερεύουσα οδό (δηλαδή με class2=1) και σε 57 που δεν ανήκουν σε δευτερεύουσα οδό (δηλαδή class2=0), εμφανίζονται θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=1). Δεν παρατηρείται μία ισορροπία μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών.

Total Observations in Table: 248

park2	class2		Row Total
	0	1	
0	106	78	184
	0.6	0.4	0.7
1	57	7	64
	0.9	0.1	0.3
Column Total	163	85	248

Εικόνα 5.14: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και class2

- Μεταξύ των μεταβλητών park2 και direc παρατηρείται μία σχετική ισορροπία, αφού από τα 184 τμήματα χωρίς θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=0), τα 74 ανήκουν σε μονόδρομους (direc=1) και τα υπόλοιπα 110 σε αμφίδρομους (direc=2). Και οι δύο αυτές μεταβλητές λοιπόν, μπορούν να μπουν στο μοντέλο.

Total Observations in Table: 248

park2	direc		Row Total
	1	2	
0	74 0.4	110 0.6	184 0.7
1	48 0.8	16 0.2	64 0.3
Column Total	122	126	248

Εικόνα 5.15: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και direc

- Όμοια, οι μεταβλητές park2 και lane εμφανίζονται να έχουν κάποια ισορροπία. Εντοπίζονται, 52 τμήματα με μία λωρίδα κυκλοφορίας (lane=1) και 12 με δύο λωρίδες κυκλοφορίας (lane=2), με θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=1).

Total Observations in Table: 248

park2	lane		Row Total
	1	2	
0	119 0.6	65 0.4	184 0.7
1	52 0.8	12 0.2	64 0.3
Column Total	171	77	248

Εικόνα 5.16: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και lane

- Από τα 184 τμήματα χωρίς θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=0), στα 95 δεν υπάρχει αστικός εξοπλισμός ενώ σε 33 τμήματα που εντοπίζεται αστικός εξοπλισμός (equi=1), υπάρχουν και θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (park2=1). Και οι δύο αυτές μεταβλητές μπορούν να μπουν συγχρόνως στο μοντέλο.

Total Observations in Table: 248

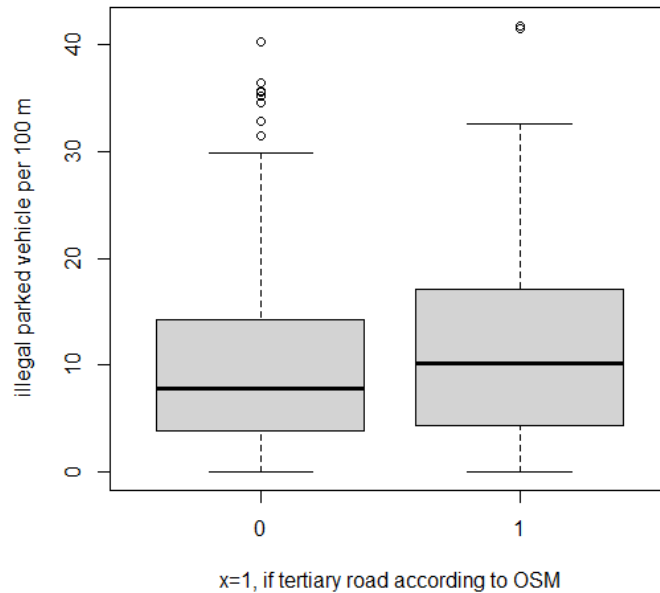
park2	equi		Row Total
	0	1	
0	95 0.5	89 0.5	184 0.7
1	31 0.5	33 0.5	64 0.3
Column Total	126	122	248

Εικόνα 5.17: Συσχέτιση μεταβλητών park2 και equi

5.2.3 ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ Y ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ

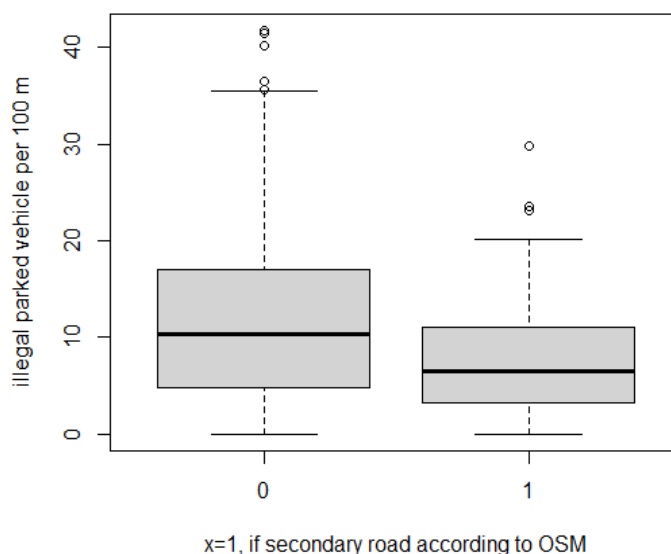
Στο επόμενο στάδιο, ελέγχθηκε η σχέση της εξαρτημένης μεταβλητής y με κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές και προέκυψαν τα παρακάτω:

- **Σχέση y - class1:** Σε συλλεκτήριες οδούς ($\text{class1}=1$) παρατηρούνται περισσότερα, κατά μέσο όρο, γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου.



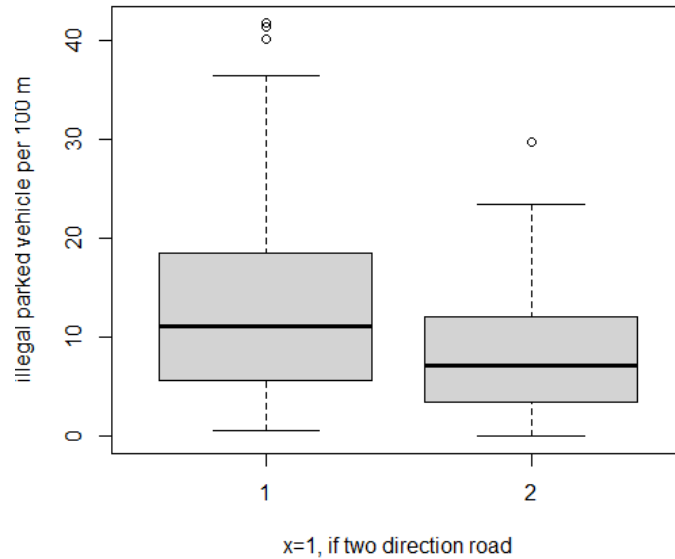
Εικόνα 5.18: Σχέση μεταξύ y και class1

- **Σχέση μεταξύ y - class2:** Σε δευτερεύουσες οδούς ($\text{class2}=1$) παρατηρούνται λιγότερα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου. Ωστόσο, στην προηγούμενη ενότητα είδαμε πως η ύπαρξη νησίδας χαρακτηρίζει μια δευτερεύουσα οδό, άρα δεν μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς ποια από τις δύο αυτές μεταβλητές περιορίζει την παράνομη στάθμευση.



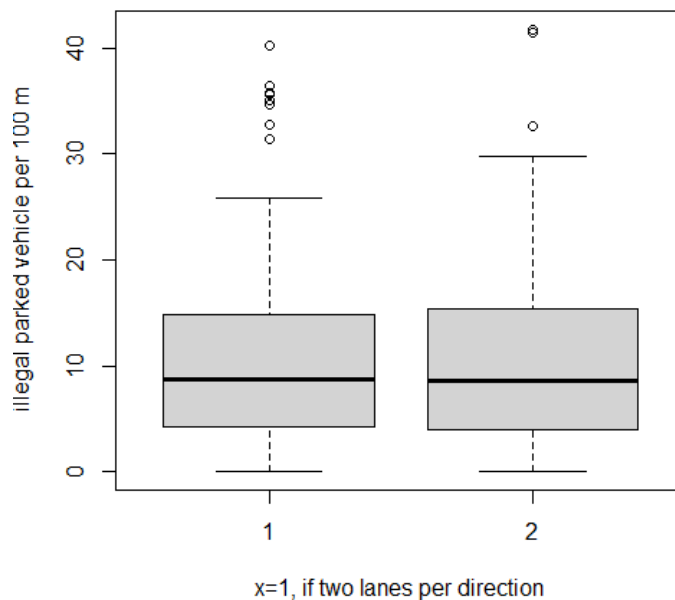
Εικόνα 5.19: Σχέση μεταξύ y και class2

- **Σχέση y- direc:** Οι μονόδρομοι (direc=1) φαίνεται να προσελκύουν περισσότερα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου, από ότι οι αμφίδρομοι (direc=2). Ωστόσο, πρέπει να λάβουμε υπόψη πως οι περισσότεροι από τους μονόδρομους που εξετάστηκαν βρίσκονταν εντός Αττικής, κάτι που έχει σημασία όπως θα φανεί και στη συνέχεια.



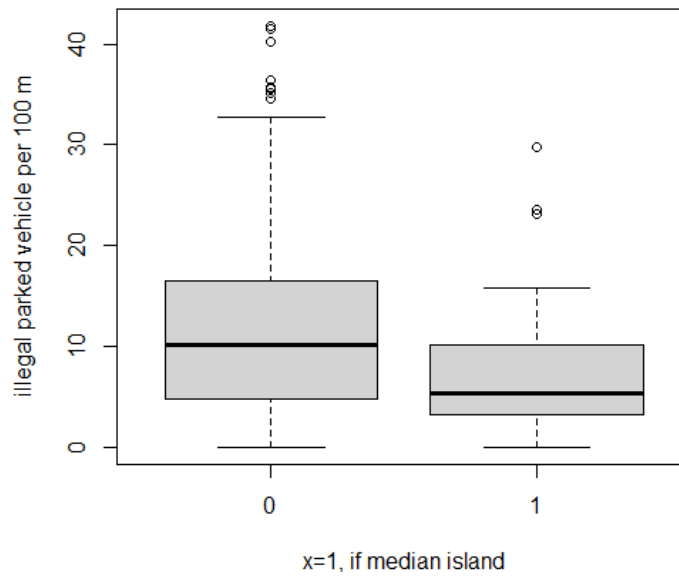
Εικόνα 5.20: Σχέση μεταξύ y και direc

- **Σχέση y- lane:** Υπάρχει πολύ μικρή διαφορά στην εμφάνιση γεγονότων παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου, ανάμεσα στους δρόμους με μία λωρίδα κυκλοφορίας (lane=1) και σε αυτούς με δύο λωρίδες κυκλοφορίας (lane=2).



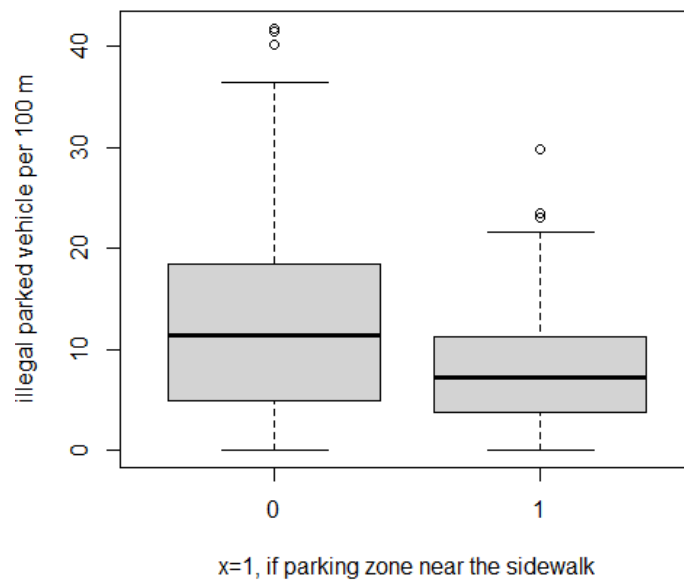
Εικόνα 5.21: Σχέση μεταξύ y και lane

- **Σχέση y- isl:** Η ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας στους δρόμους (isl=1), φαίνεται να μειώνει τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου.



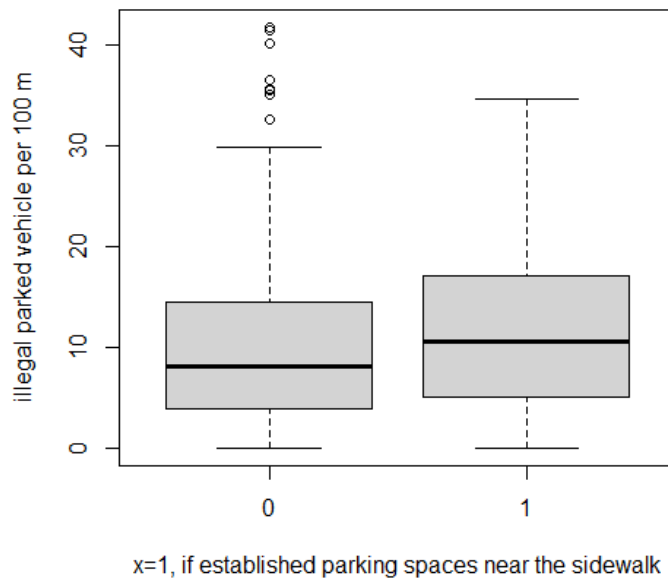
Εικόνα 5.22: Σχέση μεταξύ y και isl

- **Σχέση y - $park1$:** Παρατηρείται ότι η απουσία παρόδιας στάθμευσης ($park1=0$) είναι δυνατόν να αυξήσει τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου.



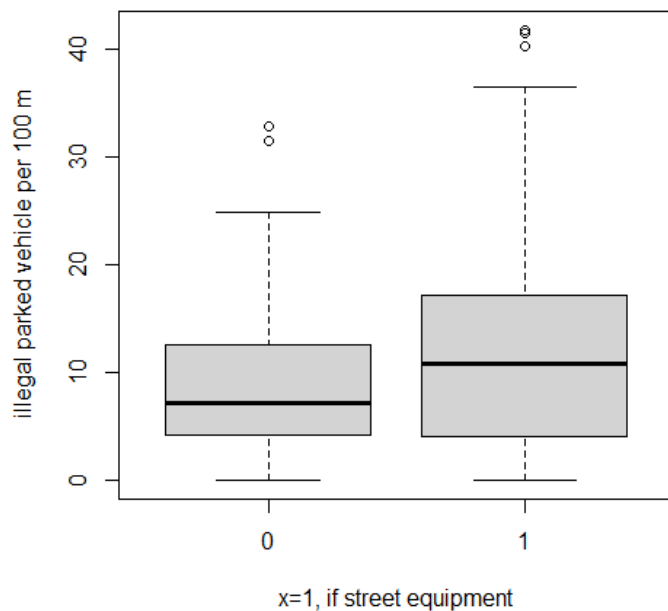
Εικόνα 5.23: Σχέση μεταξύ y και $park1$

- **Σχέση y - $park2$:** Εδώ παρατηρείται ότι η ύπαρξη θεσμοθετημένων θέσεων στάθμευσης ($park2=1$) αυξάνει τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου.



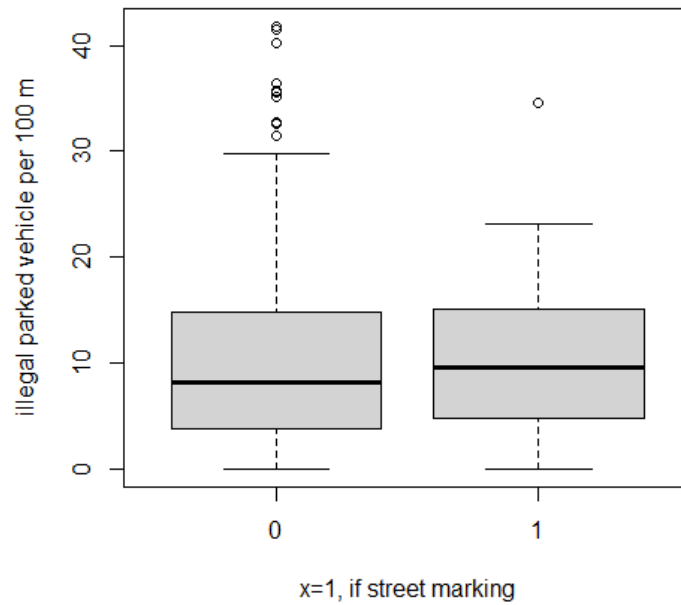
Εικόνα 5.24: Σχέση μεταξύ y και park2

- **Σχέση y- equi:** Η ύπαρξη εξοπλισμού (equi=1) στους αστικούς δρόμους φαίνεται να αυξάνει τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου. Ωστόσο αυτό οφείλεται περισσότερο στην απαγόρευση στάθμευσης που υπάρχει στα σημεία αυτά και προσελκύει περισσότερα γεγονότα παράνομης στάθμευσης, αφού η ζήτηση για στάθμευση είναι μεγαλύτερη από τις θέσεις που προσφέρονται.



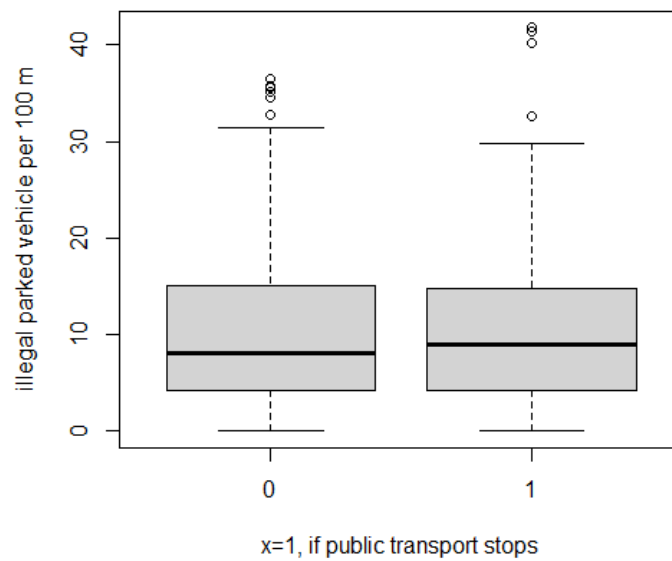
Εικόνα 5.25: Σχέση μεταξύ y και equi

- **Σχέση y- mark:** Σε ότι αφορά τη διαγράμμιση στις οδούς, αυτή δεν φαίνεται να επηρεάζει τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης.



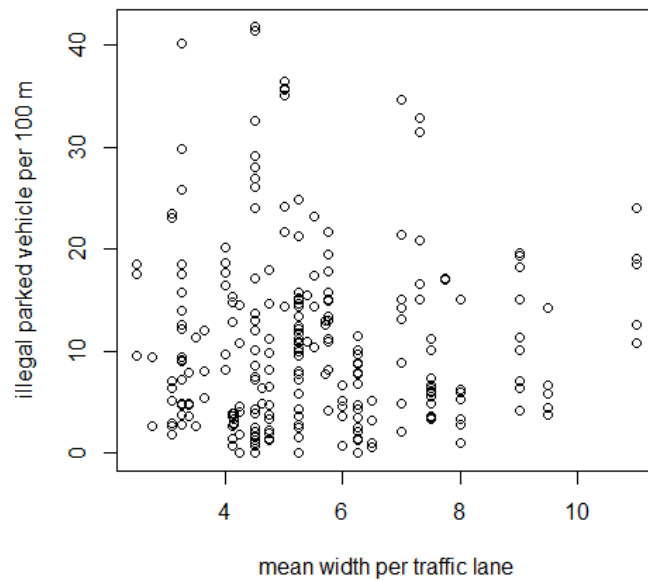
Εικόνα 5.26: Σχέση μεταξύ y και mark

- **Σχέση y - pt:** Η ύπαρξη στάσεων δημόσιας συγκοινωνίας δεν φαίνεται να επηρεάζει τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου.



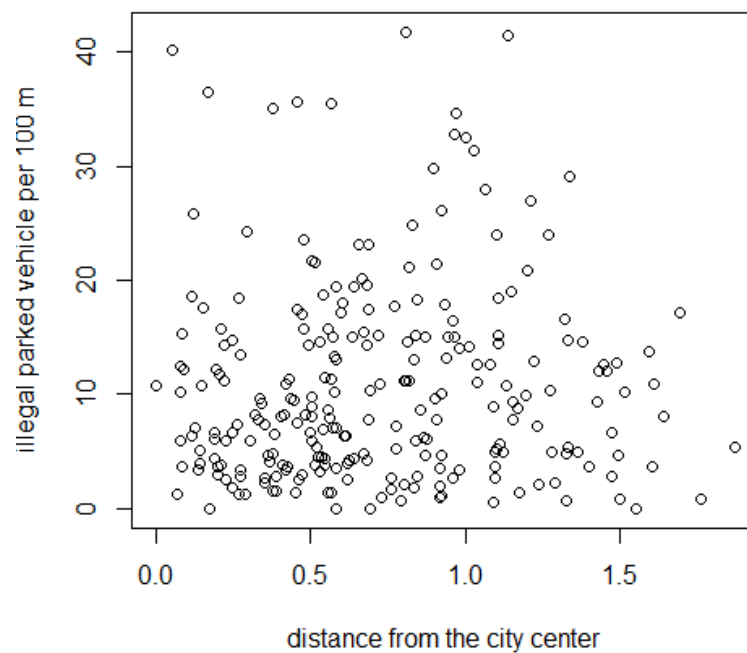
Εικόνα 5.27: Σχέση μεταξύ y και pt

- **Σχέση y - mwidth:** Δεν παρουσιάζεται ουσιαστική συσχέτιση μέσου πλάτους και γεγονότων παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου.



Εικόνα 5.28: Σχέση μεταξύ y και $mwidth$

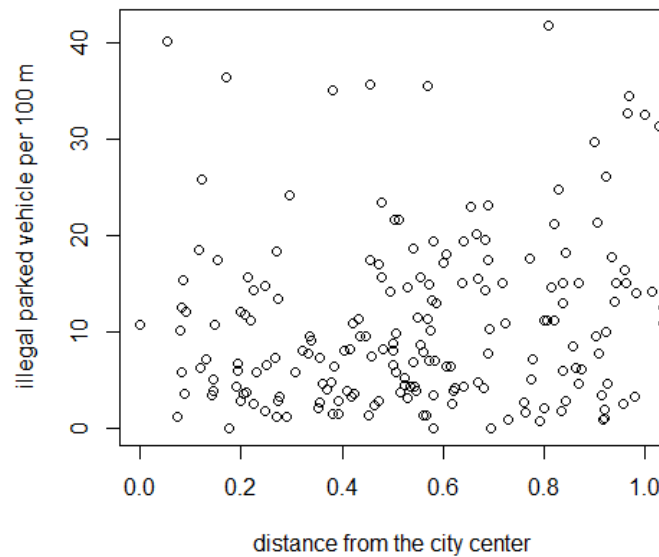
- **Σχέση y - $dist$:** Παρατηρείται διαφορετική συσχέτιση των γεγονότων παράνομης στάθμευσης ανά 100m δρόμου, με την απόσταση από το κέντρο της πόλης ($dist$).



Εικόνα 5.29: Σχέση μεταξύ y και $dist$

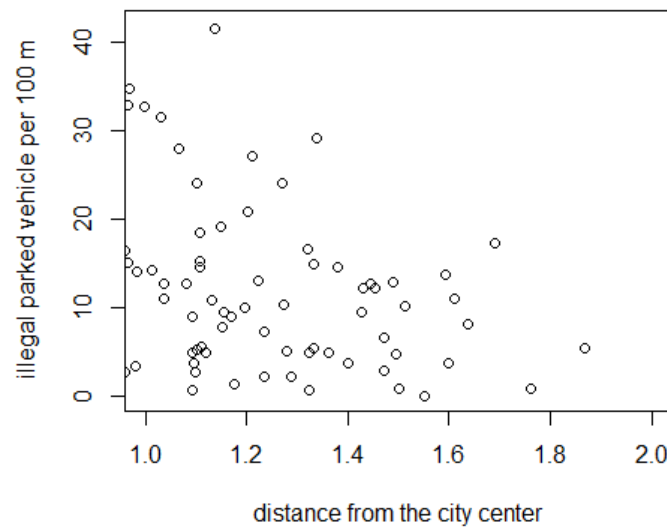
Πράγματι, αυτό φαίνεται ξεκάθαρα αν “χωρίσουμε” το παραπάνω διάγραμμα σε δύο επιμέρους.

- Για $dist < 1000m$: Αν η απόσταση από το κέντρο της πόλης είναι κάτω από 1000m παρατηρείται θετική σχέση μεταξύ των μεταβλητών y και $dist$. Το γεγονός αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από την αυξημένη αστυνόμευση στους δρόμους, όσο πλησιάζουμε προς το κέντρο της πόλης.



Εικόνα 5.30: Σχέση μεταξύ y και $\text{dist} < 1000\text{m}$

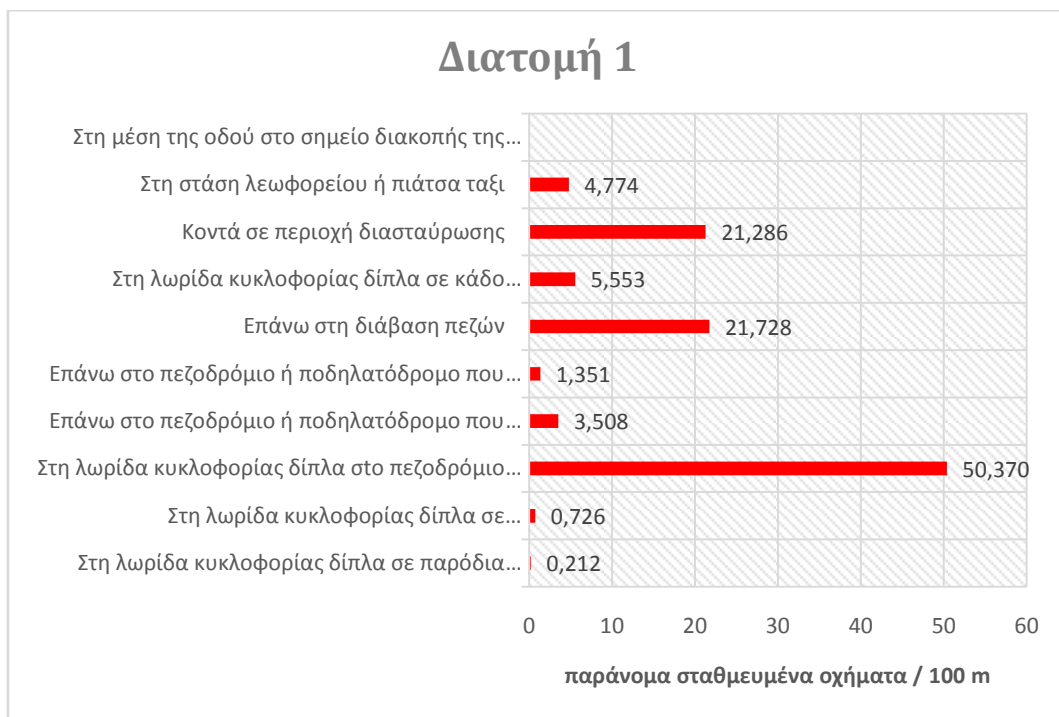
- Για $\text{dist} > 1000\text{m}$: Αν η απόσταση από το κέντρο της πόλης είναι πάνω από 1000m παρατηρείται αρνητική σχέση μεταξύ των μεταβλητών y και dist .



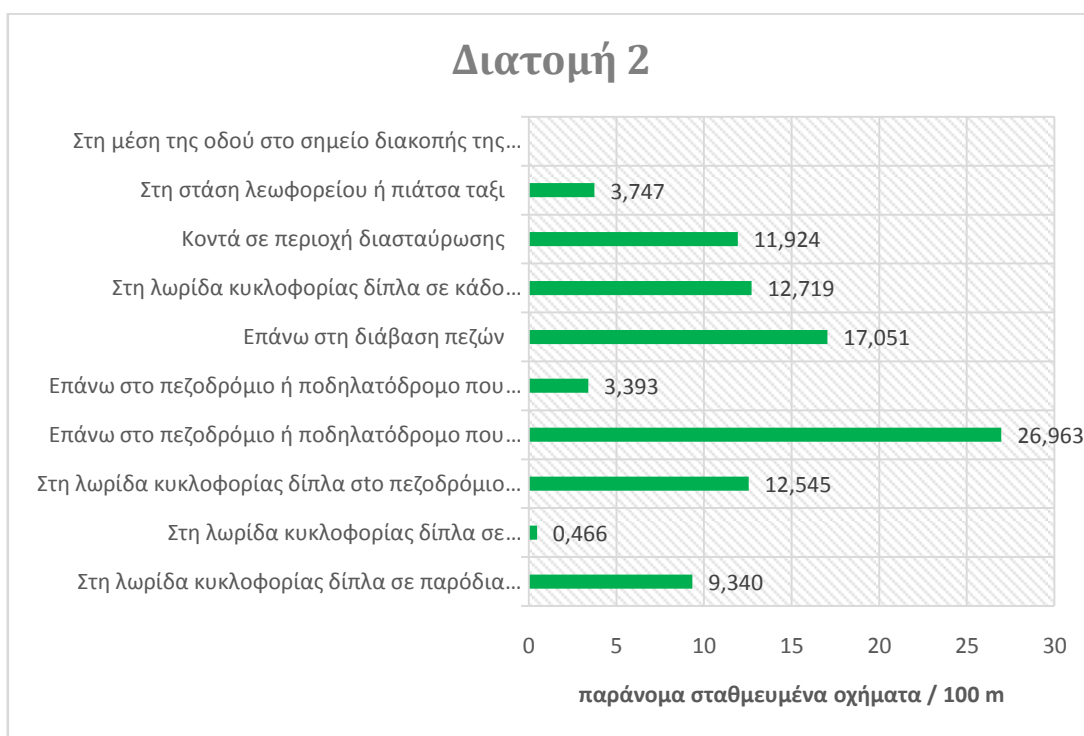
Εικόνα 5.31: Σχέση μεταξύ y και $\text{dist} > 1000\text{m}$

5.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΣΕ ΖΩΝΕΣ

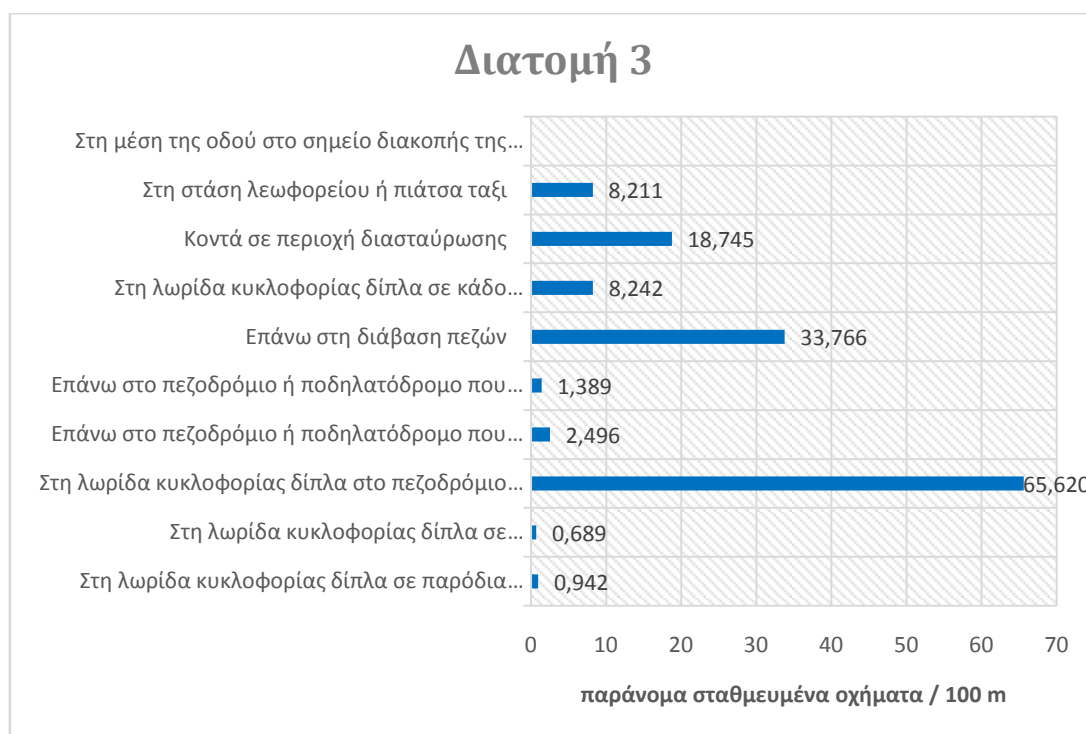
Προκειμένου να εξετάσουμε τη συχνότητα εμφάνισης κάθε ζώνη που παρατηρείται παράνομη στάθμευση, ανάλογα με τη κατηγορία διατομής της οδού, υπολογίσαμε σε κάθε δρόμο, τον αριθμό των παράνομα σταθμευμένων οχημάτων ανά ζώνη, το μήκος που αντιστοιχεί σε κάθε ζώνη για όλους τους δρόμους συνολικά, αθροίζοντας τα επιμέρους μήκη που υπολογίσαμε για την καθεμία, σε κάθε δρόμο ξεχωριστά και τον αριθμό των παράνομα σταθμευμένων οχημάτων ανά 100m και ανά ζώνη. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, για κάθε μία από τις διατομές, φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



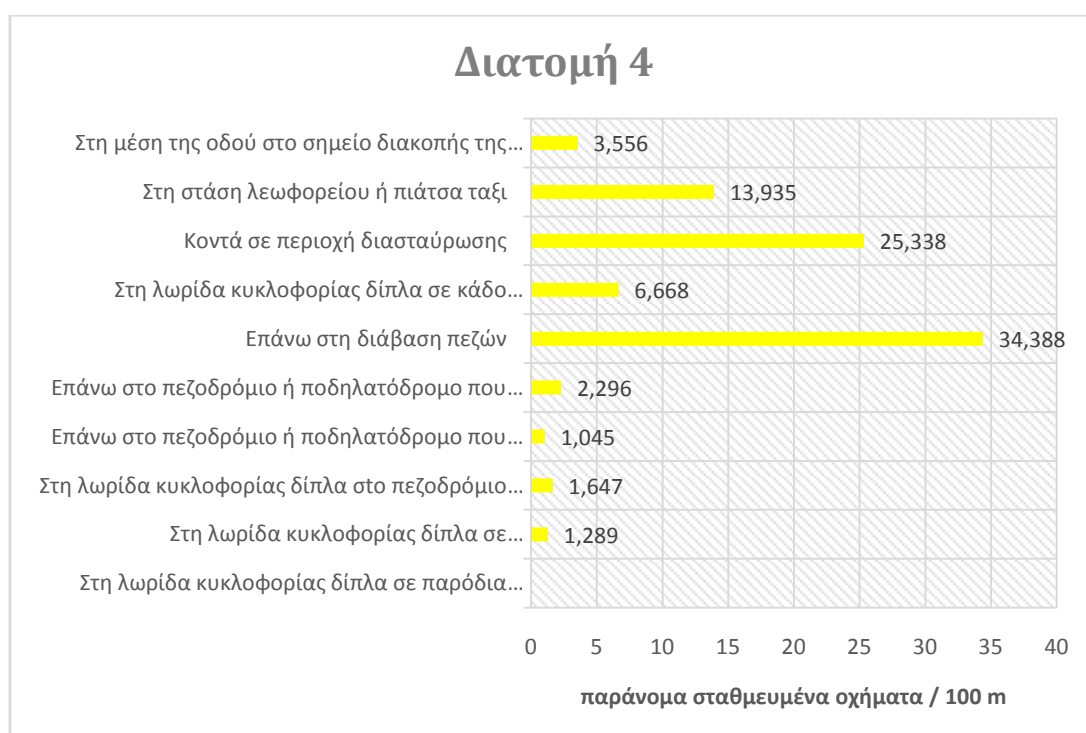
Διάγραμμα 5.1: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 1 (μονόδρομος με μια λωρίδα)



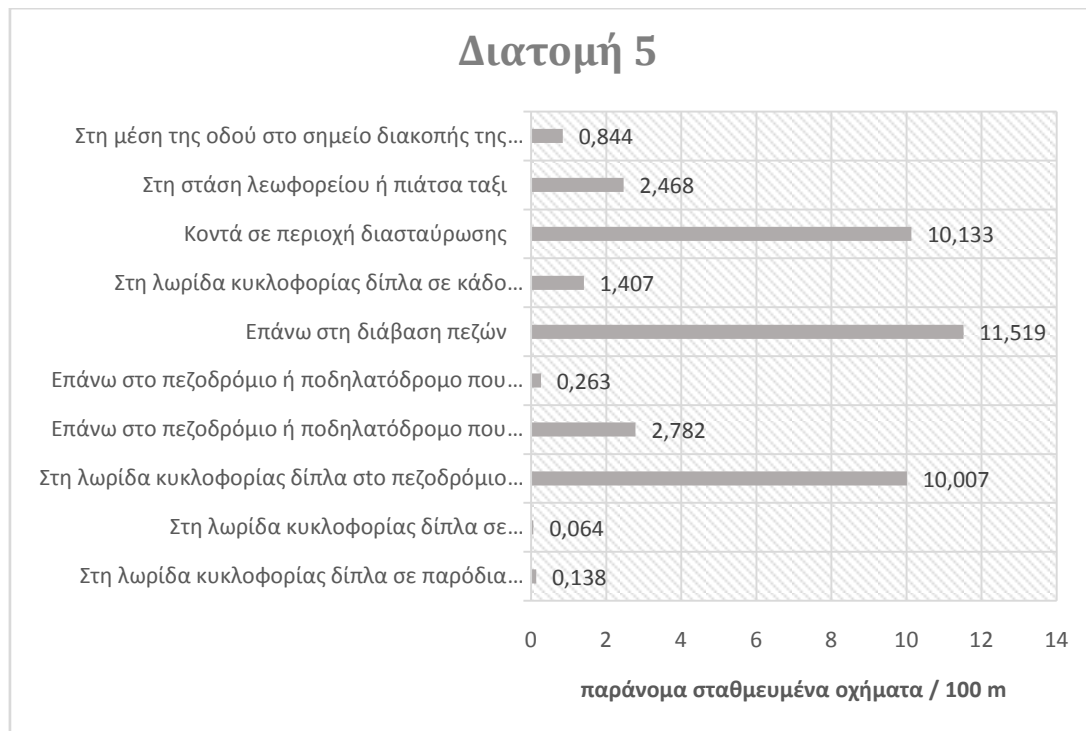
Διάγραμμα 5.2: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 2 (μονόδρομος με δύο λωρίδες)



Διάγραμμα 5.3: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 3 (αμφίδρομος χωρίς νησίδα με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση)



Διάγραμμα 5.4: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 4 (αμφίδρομος με νησίδα και με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση)



Διάγραμμα 5.5: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα/100m/ζώνη για τη Διατομή 5 (αμφίδρομος με νησίδα και δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση)

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στην προηγούμενη παράγραφο, ελέγξαμε το ρυθμό εμφάνισης κάθε μεταβλητής, τη σχέση κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής με την εξαρτημένη μεταβλητή y , καθώς επίσης και τη σχέση των ανεξάρτητων μεταβλητών ανά δύο μεταξύ τους. Από τον τελευταίο έλεγχο, παρατηρήθηκε συγγραμμικότητα μεταξύ κάποιων μεταβλητών γεγονός που δεν μας επιτρέπει να τις εισάγουμε συγχρόνως στο μοντέλο. Πρόκειται για τις μεταβλητές *class1* και *class2*, οι οποίες δεν εμφανίζουν καλή κατανομή με τη μεταβλητή *isl*, συνεπώς δεν λαμβάνονται υπόψη στη διαμόρφωση του μοντέλου. Το επόμενο βήμα αφορούσε τη διαμόρφωση του στατιστικού μοντέλου. Οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, να εισαχθούν στο μοντέλο ήταν:

- η κατεύθυνση της οδού (*direc*)
- ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας (*lane*)
- η ύπαρξη ενδιάμεσης διαχωριστικής νησίδας (*isl*)
- η παρόδια στάθμευση (*park1*)
- οι θεσμοθετημένες θέσεις στάθμευσης (*park2*)
- ο εξοπλισμός της οδού (*equi*)
- οι αποστάσεις *dist1* και *dist2* που σχετίζονται με την απόσταση της οδού από το κέντρο της πόλης
- η διαγράμμιση της οδού (*mark*)
- οι στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας (*pt*)
- ο αριθμός των οχημάτων ανά κάτοικο που αντιστοιχούν σε κάθε Δήμο (*veh*)
- το μέσο πλάτος οδοστρώματος (*mwidth*)

Στο μοντέλο, θέτουμε την τιμή του σταθερού όρου ίση με το μηδέν. Βέβαια, εφόσον οι διακριτές μεταβλητές *direc* και *lane* δεν μηδενίζονται (η τιμή τους είναι 1 ή 2) και το μέσο πλάτος οδοστρώματος παίρνει ελάχιστη τιμή ίση με 2.5m, η ευθεία της εξίσωσης που αντιστοιχεί στο μοντέλο δεν μπορεί να διέλθει από την αρχή των αξόνων. Συνεπώς, οι παραπάνω τρεις μεταβλητές, που σχετίζονται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου, μπορούν να δημιουργήσουν έναν σταθερό όρο. Η αρχική μορφή λοιπόν που προκύπτει για το μοντέλο φαίνεται παρακάτω.

```
Call:
lm(formula = y ~ direc + lane + isl + park1 + park2 + equi +
    dist1 + dist2 + mark + pt + veh + mwidth + 0, data = ill_park_database)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-12.9126  -5.4713  -0.8259   4.6732  27.1291

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
direc      2.334979    1.273168   1.834  0.06791 .
lane       1.837876    1.337233   1.374  0.17063
isl       -2.877934    1.797211  -1.601  0.11064
park1     -3.619238    1.761643  -2.054  0.04103 *
park2     -3.596497    2.008907  -1.790  0.07469 .
equi       2.168010    1.362972   1.591  0.11303
dist1      4.394856    2.197259   2.000  0.04663 *
dist2     -6.946318    3.925081  -1.770  0.07806 .
mark      -0.557872    1.264417  -0.441  0.65947
pt        -0.926277    1.341757  -0.690  0.49066
veh         0.008441    0.002190   3.854  0.00015 ***
mwidth     0.557750    0.308492   1.808  0.07188 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.954 on 236 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6808,    Adjusted R-squared:  0.6645
F-statistic: 41.94 on 12 and 236 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Εικόνα 5.32: Αρχική μορφή στατιστικού μοντέλου

Προκειμένου να φτάσουμε στο τελικό μας μοντέλο, εφαρμόσαμε τη διαδικασία της βηματικής παλινδρόμησης (Stepwise Regression). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει επανέλεγχο των μεταβλητών που έχουν συμπεριληφθεί στο μοντέλο σε προηγούμενα βήματα. Μία μεταβλητή που έχει εισέλθει στο μοντέλο στο αρχικό στάδιο μπορεί να μην χρησιμοποιηθεί σε μεταγενέστερο λόγω της σχέσης της με τις άλλες μεταβλητές που εισήλθαν στο μοντέλο αργότερα από αυτή. Για να ελεγχθεί η πιθανότητα αυτή, σε κάθε βήμα ελέγχεται η μερική F-τιμή για κάθε μεταβλητή που βρίσκεται στο μοντέλο σαν να ήταν η πιο πρόσφατη μεταβλητή που εισήλθε, ανεξάρτητα από το πραγματικό σημείο εισόδου στο μοντέλο. Η μεταβλητή με την μικρότερη μη-στατιστικά σημαντική μερική F-τιμή (αν υπάρχει) αφαιρείται από το μοντέλο. Το μοντέλο προσαρμόζεται τις υπόλοιπες μεταβλητές εκ-νέου. Μερικές F-τιμές υπολογίζονται και ελέγχονται με τον ίδιο τρόπο. Η όλη διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην υπάρχει μεταβλητή που να μπορεί να εισέλθει ή να μην απομακρυνθεί.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε, εφαρμόζοντας τη διαδικασία αυτή, φαίνεται παρακάτω.

```

Call:
lm(formula = y ~ direc + park1 + park2 + dist1 + dist2 + veh +
    mwidth - 1, data = ill_park_database)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-14.5921  -5.3698  -0.9588   4.8649  27.6591

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
direc      2.284751    0.828902   2.756 0.006292 **
park1     -5.215683    1.451872  -3.592 0.000397 ***
park2     -5.061468    1.776133  -2.850 0.004754 **
dist1      6.319147    1.933580   3.268 0.001240 **
dist2     -7.658970    3.821608  -2.004 0.046176 *
veh         0.011108    0.001797   6.181 2.69e-09 ***
mwidth     0.780081    0.287167   2.716 0.007076 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.967 on 241 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.673,    Adjusted R-squared:  0.6635
F-statistic: 70.85 on 7 and 241 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Εικόνα 5.33: Τελική μορφή στατιστικού μοντέλου

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα η τελική μορφή που λαμβάνει το μοντέλο είναι:

$$y = 2.284751 * direc + (-5.215683) * park1 + (-5.061468) * park2 + 6.319147 * dist1 + (-7.658970) * dist2 + 0.011108 * veh + 0.780081 * mwidth \quad (5.1)$$

Ο αριθμός 7.967 είναι η τυπική απόκλιση των σφαλμάτων και δείχνει την ακρίβεια του μοντέλου στις μονάδες μέτρησης της εξαρτημένης μεταβλητής y . Επίσης, εφόσον ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι 0.6635 (δηλαδή περίπου 65%), αντιλαμβανόμαστε πως πρόκειται για ένα μοντέλο καλής γενικά προσαρμογής. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη και τον τελευταίο έλεγχο, καταλαβαίνουμε πως το μοντέλο που προέκυψε διαφέρει αρκετά από το μηδενικό μοντέλο.

Παρατηρούμε ότι οι σημαντικές μεταβλητές είναι αυτές που παρέμειναν στο μοντέλο, δηλαδή: $direc$, $park1$, $park2$, $dist1$, $dist2$, veh , $mwidth$. Προσπαθώντας να ερμηνέυσουμε τις τελικές τιμές των παραμέτρων, συμπαιρνούμε:

- **$direc = 2.284751$**
Η ύπαρξη μονόδρομων αυξάνει την παράνομη στάθμευση κατά 2.284751 οχήματα ανά 100m δρόμου, ενώ η ύπαρξη αμφίδρομων αυξάνει την παράνομη στάθμευση κατά $2 * 2.284751 = 4.569502$ οχήματα ανά 100m δρόμου.
- **$park1 = -5.215683$**
Η ύπαρξη χώρου για παρόδια στάθμευση μειώνει την παράνομη στάθμευση κατά 5.215683 οχήματα ανά 100m δρόμου.
- **$park2 = -5.061468$**
Η ύπαρξη θεσμοθετημένων θέσεων στάθμευσης μειώνει την παράνομη στάθμευση κατά 5.061468 οχήματα ανά 100m δρόμου.

- **dist1= 6.319147**

Για κάθε ένα επιπλέον χιλιόμετρο της οδού, που απέχει κάτω από 1000m από το κέντρο της πόλης, η παράνομη στάθμευση αυξάνεται κατά 6.319147 οχήματα ανά 100m δρόμου.

- **dist2= -7.658970**

Για κάθε ένα επιπλέον χιλιόμετρο της οδού, που απέχει πάνω από 1000m από το κέντρο της πόλης, η παράνομη στάθμευση μειώνεται κατά 7.658970 οχήματα ανά 100m δρόμου.

- **veh= 0.011108**

Για κάθε 1000 επιπλέον οχήματα που κυκλοφορούν στη Δήμο, η παράνομη στάθμευση στους δρόμους του αυξάνεται κατά 0.011108 οχήματα ανά 100m δρόμου.

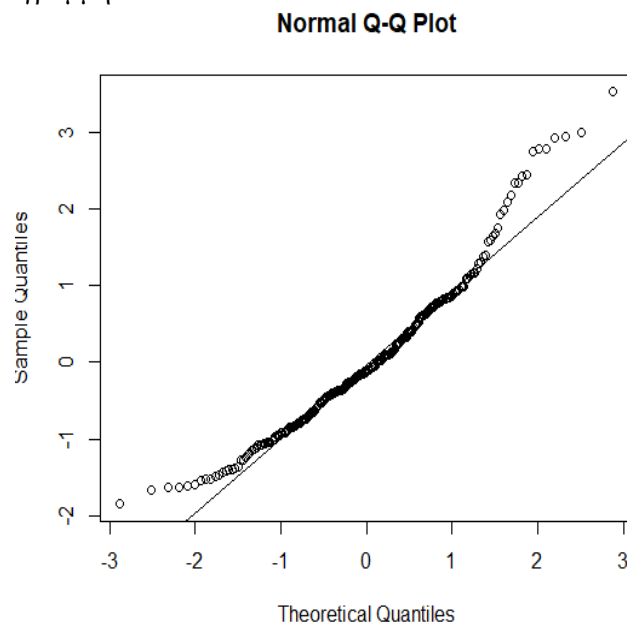
- **mwidth= 0.780081**

Για κάθε ένα επιπρόσθετο μέτρο πλάτους οδοστρώματος, η παράνομη στάθμευση αυξάνεται κατά 0.780081 οχήματα ανά 100m δρόμου.

5.4 ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το επόμενο βήμα, αφορά στους απαραίτητους ελέγχους που πρέπει να γίνουν στο τελικό στατιστικό μοντέλο. Συγκεκριμένα ελέγχονται τα παρακάτω: κανονικότητα υπολοίπων και ομοσκεδαστικότητα συντελεστών.

- **Κανονικότητα υπολοίπων:** το επίπεδο σημαντικότητας που προκύπτει (p-value) είναι ίσο με $5.272e-07$. Αρκετά μικρή τιμή οπότε συμπεραίνουμε πως απορρίπτεται η κανονικότητα υπολοίπων. Πράγματι αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, όπου τα υπόλοιπα δεν σχηματίζουν ευθεία γραμμή.



Εικόνα 5.34: Κατανομή υπολοίπων

- **Ομοσκεδαστικότητα:** Ελέγχοντας κάθε μία από τις μεταβλητές, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 5.1: Επίπεδο σημαντικότητας μεταβλητών

Μεταβλητή	p-value	
Direc	0.06532	>0.05
park1	0.05302	>0.05
park2	0.6971	>0.05
dist1	0.3314	>0.05
dist2	0.2116	>0.05
Veh	0.05330	>0.05
Mwidth	0.0617	>0.05

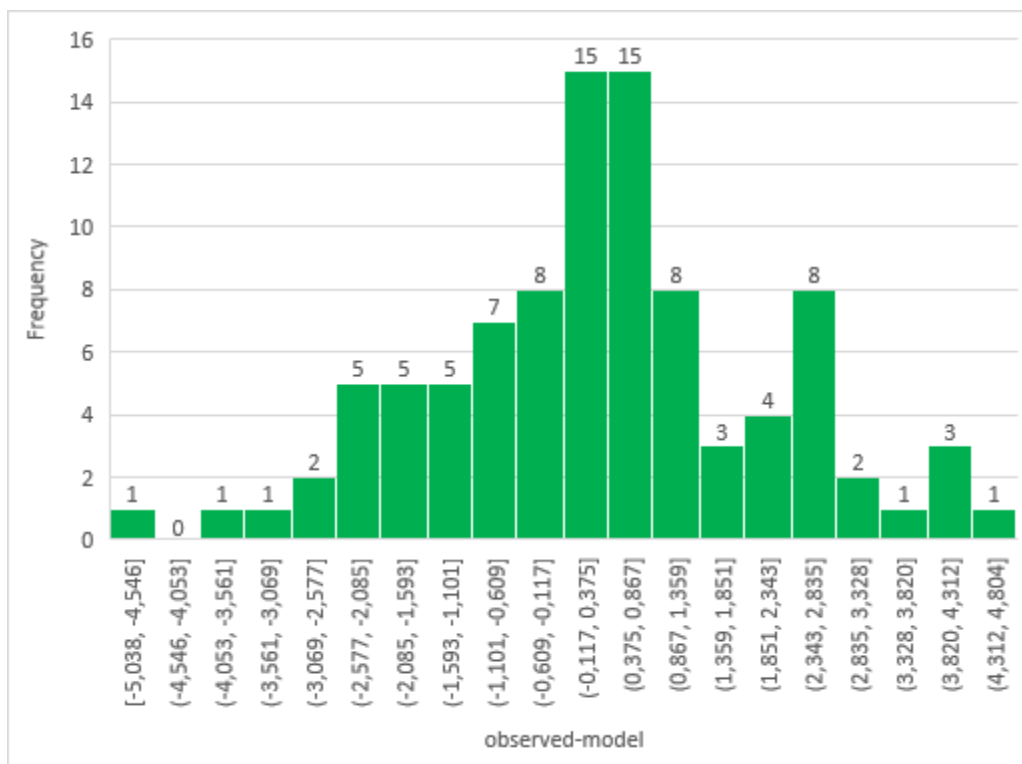
Προκύπτει πως για τις μεταβλητές park2, dist1, dist2, mwidth ισχύει ο έλεγχος ομοσκεδαστικότητας για ένα μεγάλο επίπεδο εμπιστοσύνης. Οι υπόλοιπες μεταβλητές βρίσκονται στο όριο για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΣΠΑΡΤΗΣ

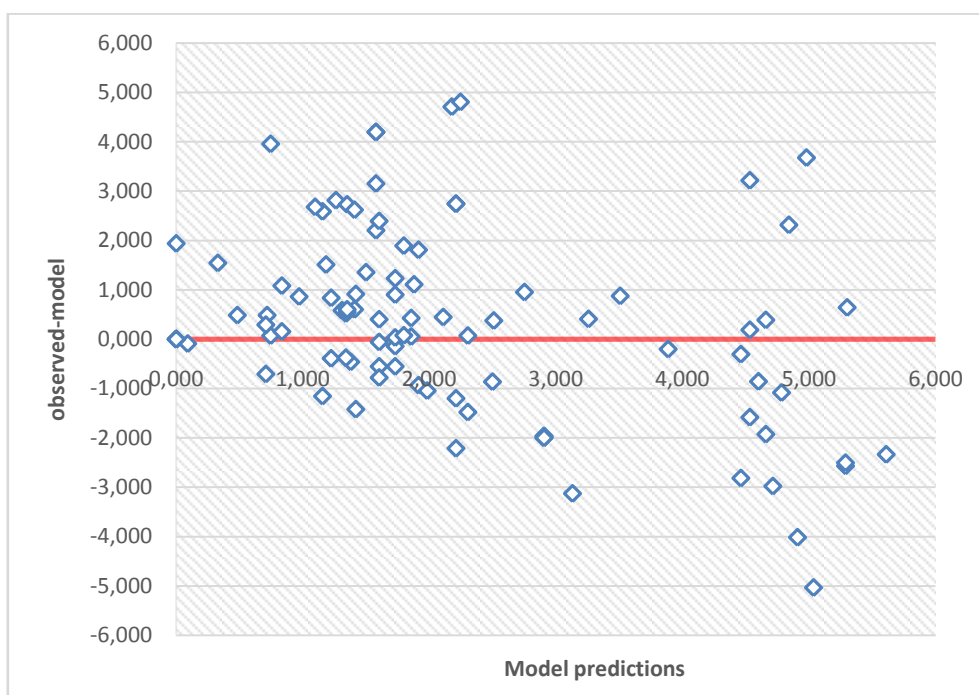
Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του μοντέλου στο οποίο καταλήξαμε και αντικαθιστώντας τις μεταβλητές direc, park1, park2, dist1, dist2, veh και mwidth που αντιστοιχούν σε κάθε δρόμο που εξετάστηκε, προέκυψαν τα παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m δρόμου (model). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Επίσης, στην δεύτερη στήλη, παρουσιάζονται και τα γεγονότα που κατεγράφησαν σε κάθε δρόμο μέσα από τις μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν (observed) ενώ στην τέταρτη στήλη υπολογίστηκε η διαφορά των δύο παραπάνω (observed-model).

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου στην Σπάρτη

Οδός	observed	model	observed-model
Βρασίδου	13	7,11	5,893
Διόσκουρων	9	8,67	0,333
Λυκούργου	18	17,86	0,140
Ευαγγελιστριάς	12	7,31	4,687
Μενελάου	13	13,12	-0,117
Όθωνος Αμαλίας	31	37,17	-6,175
Αγησιλάου	15	9,34	5,665
Λεωνίδου	2	0,10	1,903
Γκορτσόλογλου	6	4,61	1,390
Παλαιολόγου	36	28,05	7,950
Αγ. Νίκωνος	14	9,39	4,611
Χαρμαρέτου	14	13,21	0,790
Αρχιδάμου	27	32,39	-5,388
Θερμοπυλών	17	24,96	-7,956
Χειλώνος	4	3,70	0,295
Σαμέτα	2	3,13	-1,128
Γεμιστού	2	1,38	0,617
Σύνολο	235	221,491	13,509



Εικόνα 5.35: Απεικόνιση απόκλισης του μοντέλου από τις πραγματικές μετρήσεις



Διάγραμμα 5.6: Διασπορά υπολοίπων

Από το διάγραμμα **Διάγραμμα 5.6**, παρατηρούμε πως υπάρχει συμμετρία ως προς κατανομή των υπολοίπων ως προς τον άξονα μηδέν, συνεπώς πρόκειται για τυχαία και όχι συστηματικά σφάλματα.

Με την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψαν 221,491 γεγονότα παράνομης στάθμευσης για όλες τις οδούς συνολικά. Η αντίστοιχη συνολική τιμή που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις πεδίου ανερχόταν σε 235 γεγονότα. Η διαφορά αυτών, ίση με 13.509 γεγονότα, δεν οδηγεί σε μεγάλη απόκλιση του μοντέλου από την πραγματικότητα. Αυτό που επίσης παρατηρούμε, είναι ότι η διαφορά των γεγονότων που μετρήθηκαν επί τόπου με αυτά που υπολογίστηκαν μέσω του μοντέλου, σε κάθε δρόμο δεν είναι σταθερή, γεγονός που δηλώνει και ακολουθείται κανονική κατανομή στα σφάλματα με μέση τιμή το 0. Η μέγιστη διαφορά αντιστοιχεί στην οδό Παλαιολόγου και είναι ίση με 7.950, δηλαδή κατά την εφαρμογή του μοντέλου στον εν λόγω δρόμο, “χάθηκαν” 7.950 γεγονότα παράνομης στάθμευσης.

Στους χάρτες που ακολουθούν, φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m, από τις μετρήσεις και από τις προβλέψεις του μοντέλου αντίστοιχα.



Εικόνα 5.36: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m που προέκυψαν από τις μετρήσεις πεδίου



Εικόνα 5.37: Παράνομα σταθμευμένα οχήματα ανά 100m που προέκυψαν από τις προβλέψεις του μοντέλου

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση του φαινομένου της παράνομης στάθμευσης στις ελληνικές πόλεις. Πιο συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν τα αίτια που οδηγούν σε παραβατική συμπεριφορά, δίνοντας έμφαση σε ένα σύνολο μεταβλητών που η επίδραση τους σχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ελληνικών οδών και τη σχέση μεταξύ ζήτησης και προσφοράς χώρου για παράνομη στάθμευση. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν κατά τη μελέτη συνδέονται άμεσα με τα τέσσερα βασικά ερωτήματα που αναπτύχθηκαν κατά την εισαγωγή και αποτέλεσαν βασικό εργαλείο για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Αρχικά, το πρώτο χαρακτηριστικό που φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την παράνομη στάθμευση και σχετίζεται με τη γεωμετρία της οδού, είναι η κατεύθυνση της. Οι αμφίδρομοι προσελκύουν περισσότερα γεγονότα παράνομης στάθμευσης σε σχέση με τους μονόδρομους, αφού η ύπαρξη μονόδρομου αυξάνει την παράνομη στάθμευση κατά 2.284751 οχ./100m, σε σχέση με τους αμφίδρομους όπου εκεί αυξάνεται κατά 4.569502 οχ./100m. Το γεγονός αυτό δηλώνει πως όσο περισσότερος χώρος για παράνομη στάθμευση υπάρχει, τόσο περισσότερα γεγονότα θα εντοπίζονται. Το μέσο πλάτος του οδοστρώματος ήταν το δεύτερο χαρακτηριστικό με επίδραση στην παράνομη στάθμευση. Μάλιστα, υπολογίζοντας πως για κάθε ένα μέτρο πλάτους οδοστρώματος, η παράνομη στάθμευση αυξάνεται κατά 0.780081 οχ./100m, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως όσο μεγαλύτερη είναι η λωρίδα κυκλοφορίας τόσο περισσότερα παράνομα σταθμευμένα οχήματα θα εντοπίζονται.

Στη συνέχεια, αξιολογήθηκαν οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη ζήτηση και τη προσφορά χώρου για στάθμευση. Από τα αποτελέσματα, προκύπτει πως τόσο η ύπαρξη παρόδιας στάθμευσης όσο και θεσμοθετημένων θέσεων στις οδούς, μειώνουν τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης. Από την άλλη, η γενική απαγόρευση αυξάνει σημαντικά το πρόβλημα. Όσο περισσότερες θέσεις για νόμιμη στάθμευση προσφέρονται τόσο πιο περιορισμένη είναι η εκδήλωση φαινομένων παράνομης στάθμευσης. Επίσης, εξετάζοντας την απόσταση του οδικού τμήματος από το κέντρο της πόλης, προέκυψε πως για τις οδούς που απέχουν κάτω από 1000m, για κάθε ένα επιπλέον χιλιόμετρο η παράνομη στάθμευση αυξάνεται κατά 6.319147 οχ./100m, ενώ για όσες απέχουν πάνω από 1000m, για κάθε ένα επιπλέον χιλιόμετρο η παράνομη στάθμευση μειώνεται κατά 7.658970 οχ./100m, συμπεραίνοντας πως όσο αποκρινόμαστε τελικά από το κέντρο της πόλης, τόσο περιορίζεται το φαινόμενο της παράνομης στάθμευσης. Επίδραση φάνηκε να έχει και ο αριθμός των αυτοκινήτων που αντιστοιχούν σε κάθε πόλη, καθώς για κάθε 1000 επιπλέον οχήματα, η παράνομη στάθμευση αυξάνεται κατά 0.011108 οχ./100m. Οι δύο τελευταίες μεταβλητές που σχετίζονται με τη ζήτηση για στάθμευση, φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη επίδραση, σε σχέση με αυτές που σχετίζονται με τη προσφορά χώρου για παράνομη στάθμευση, γεγονός που δηλώνει πως τελικά η ζήτηση για στάθμευση είναι πιο ισχυρή από την προσφορά.

Από όλες τις ζώνες στις οποίες κατηγοριοποιήσαμε τα γεγονότα παράνομης στάθμευσης που συλλέξαμε στους ελληνικούς δρόμους, τρεις ήταν αυτές που συγκεντρώνουν με διαφορά τα περισσότερα γεγονότα. Η πρώτη αφορά τη στάθμευση δίπλα στο πεζοδρόμιο, σε περιοχές που αυτό απαγορεύεται. Ανεξαρτήτως της διατομής της οδού, αν πρόκειται για μονόδρομο ή αμφίδρομο, για οδούς με μία λωρίδα κυκλοφορίας ή δύο, για οδούς με διαχωριστική νησίδα ή χωρίς αυτή, είναι αρκετά έντονο το φαινόμενο της παράνομης στάθμευσης εκεί όπου δεν επιτρέπεται, γεγονός που δηλώνει πως οι χρήστες θα σταθμεύουν το όχημα τους στο σημείο που τους εξυπηρετεί, αδιαφορώντας για τους κανονισμούς, βρίσκοντας πάντα χώρο. Η δεύτερη ζώνη, στην οποία παρατηρούνται πολλά σταθμευμένα οχήματα, αφορά τη στάθμευση επάνω στη διάβαση πεζών. Το γεγονός αυτό καθιστά αρκετά δύσκολη την κυκλοφορία των πεζών. Τέλος, μεγάλος αριθμός παράνομα σταθμευμένων οχημάτων παρατηρείται και κοντά στις περιοχές διασταυρώσεων, σημεία που η στάθμευση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ορατότητας στους υπόλοιπους οδηγούς. Αυτό οδηγεί και πάλι στο συμπέρασμα πως οι οδηγοί σταθμεύουν το όχημα τους στα σημεία που

επιθυμούν, χωρίς να δίνουν σημασία, αν ενδεχομένως παρεμποδίζει την κυκλοφορία και την ορατότητα των άλλων οδηγών.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εν λόγω μελέτη βασίστηκαν σε συγκεκριμένα δεδομένα άρα κατά της αξιολόγηση αυτών λαμβάνουμε υπόψη και τους περιορισμούς που υπήρχαν. Συγκεκριμένα, δεν εξετάστηκαν πολεοδομικές παράμετροι όπως οι χρήσεις γης που εντοπίζονται σε κάθε οδό, αφού η μοντελοποίηση της ζήτησης δεν αποτελούσε κύριο σκοπό της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, εφόσον η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσα από εικόνες της υπηρεσίας GoogleStreetView, δεν ήταν δυνατόν να γνωρίζουμε την ακριβή ημερομηνία και ώρα καταγραφής των γεγονότων και αν ήταν εντός περιόδων αιχμής. Η ανάλυση έγινε με βάση τα οχήματα συνολικά και όχι ταξινομώντας διαφορετικά μέσα μετακίνησης. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, δικαιολογείται και ο μεγάλος αριθμός παράνομα σταθμευμένων οχημάτων που εντοπίστηκε σε κάποιες οδούς. Όσον αφορά τον φόρτο των οχημάτων, δεν ήταν δυνατόν να εκτιμηθεί ακριβώς. Ωστόσο, έγινε μία προσπάθεια να συμπεριληφθεί αυτή η διάσταση, λαμβάνοντας υπόψη την ιεράρχηση της εκάστοτε οδού, αν δηλαδή πρόκειται για οδό κατοικίας, δευτερεύουσα ή συλλεκτήρια.

Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν, η δημιουργία περισσότερων θεσμοθετημένων θέσεων στις οδούς θα βελτιώνει σημαντικά το φαινόμενο της παράνομης στάθμευσης και μάλιστα ιδιαίτερα όσον αφορά τα δίκυκλα, για τα οποία δεν προβλέπεται συνήθως συγκεκριμένος χώρος για στάθμευση. Επίσης, ο περιορισμός σχετικά του πλάτους του οδοστρώματος, δηλαδή η αποφυγή πολύ μεγάλων λωρίδων κυκλοφορίας, θα μετρίαζε σημαντικά την παράνομη στάθμευση. Ωστόσο πέρα από τις επεμβάσεις στη σχεδιαστική διατομή της οδού, απαιτείται και η υλοποίηση επιπλέον πολιτικών. Η σωστή αστυνόμευση και η εφαρμογή συστημάτων κάμερας στους δρόμους με υψηλή ζήτηση για στάθμευση, θα έδιναν τη δυνατότητα να εντοπιστούν οι περιοχές όπου το πρόβλημα εμφανίζεται εντονότερο, επιτρέποντας στην πολιτεία να επέμβει εκεί, κάνοντας πιο συστηματική την παρουσία της δημοτικής αστυνομίας, η οποία θα επιβάλει αυστηρά ποινές στους παραβάτες.

Κλείνοντας, μια περαιτέρω έρευνα για το πρόβλημα της παράνομης στάθμευσης, η οποία θα επικεντρώνεται κυρίως σε επιπλέον παραμέτρους σχετικοί με τη ζήτηση, θα συνέφερε σημαντικά στην βελτίωση των αποτελεσμάτων. Επίσης, η πραγματοποίηση περισσότερων επί τόπου μετρήσεων για τη συλλογή των δεδομένων, θα έδινε την δυνατότητα να προσδιοριστούν επ' ακριβώς όλοι οι παράμετροι που πιθανότατα επηρεάζουν το φαινόμενο, όπως η ώρα αιχμής ή ο φόρτος των οχημάτων, προσφέροντας περισσότερα στοιχεία για τον προσδιορισμό των αιτίων που οδηγούν στην παράνομη στάθμευση. Λαμβάνοντας επίσης τον μεγάλο όγκο παράνομα σταθμευμένων δίκυκλων που παρατηρήθηκε στην εν λόγω έρευνα, ειδικά στα κέντρα των πόλεων, μία ξεχωριστή ανάλυση αυτών απαιτείται για την αξιολόγηση του προβλήματος που αυτά δημιουργούν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ahmed R. and Matthew R. J. (2016), **“An Integrated Traffic Microsimulation Model of Illegal On-Street Parking in Downtown Toronto”**, Transportation Research Board’s 96th Annual Meeting, Washington, D.C., January 2017.
- 2) Galatioto F. and Bell M.C. **“Simulation of Illegal Double-Parking: Quantifying the Traffic and Pollutant Impacts”**, Proceedings of the 4th International Siiv Congress- Palermo (Italy), 12-14 September 2007.
- 3) Han L. D., Chin S., Franzese O. and Hwang H. (2005), **“Estimating the Impact of Pickup- and Delivery- Related Illegal Parking Activities on Traffic”**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1906, pp. 49-55.
- 4) Jingqin G, and Ozbay K. (2016),**“Modeling Double-Parking Impacts on Urban Streets”**, Submitted on Transportation Research Board’s 95th Annual Meeting, Washington, D.C., 2016.
- 5) Jingqin G. and Ozbay K. (2017), **“A Data-Given Approach to Estimate Double Parking Events Using Machine Learning Techniques”**, Transportation Research Board’s 96th Annual Meeting, Washington, D.C., January 2017.
- 6) Kladeftiras M. and Antoniou C. (2012), **“Simulation-Based Assessment of Double-Parking Impacts on Traffic and Environmental Conditions”**, Transportation Research Board’s 92th Annual Meeting, January 2012.
- 7) Morillo C. and Campos J. M. (2014), **“On-Street Illegal Parking Costs in Urban Areas”** , Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol.160, pp.342-351.
- 8) Morillo C.and Campos J. M. (2016), **“Effect of Illegal On-Street Parking on Travel Times in Urban Environment”**, Proceedings of Transport Engineering Congress XII Congress of Transport Engineering June 7, 8 and 9 Valencia (Spain) organized by Polytechnic University of Valencia, 2016, pp. 2491-2503.
- 9) Praburam G. & Koorey G. (2015), **“Effect of On-street Parking on Traffic Speeds”**, IPENZ Transportation Conference 2015.
- 10) Spiliopoulou C. and Antoniou C. (2012), **“Analysis of Illegal Parking behavior in Greece”**, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 48, pp. 1622-1631.
- 11) Tsoleridis P. and Tsakalidis A. (2015), **“The Impacts of Illegal Parking on the Urban Areas’ Traffic and Environmental Conditions: The Case of the City of Thessaloniki”**, Spatium 2015, Issue 33, pp. 41-46.
- 12) Tzouras P. G. and Lazaro C. P. (2020), **“Illegal parking in urban streets: connection with the geometric characteristics and its mitigation through traffic calming measures”**, Aeichoros, 30, pp. 46-63.
- 13) Κούτρας Μ. και Ευαγγελάρας Χ., 2016. *ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ*, Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Ελληνική Αστυνομία - <http://www.astynomia.gr>
- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών - <https://www.yme.gov.gr>
- Open Street Map - <https://www.openstreetmap.org>

Κώδικας R

.....