



Department of Transportation
Planning and Engineering
School of Civil Engineering
National Technical University of Athens

Παράγοντες που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα

Διπλωματική εργασία



Ηλίας Π. Αμερικάνος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτήν την Διπλωματική Εργασία, καθώς και για την υποστήριξη και την εξαιρετική συνεργασία μας σε όλα τα στάδια της. Επίσης, του είμαι ευγνώμων για την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου προσέφερε.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την κ. Αρμίρα Κονταξή, Υποψήφια Διδάκτορα ΕΜΠ, για την βοήθεια και τις καίριες υποδείξεις της, την ατέλειωτη υπομονή και επιμονή της και την υποστήριξη που μου προσέφερε, απαντώντας σε πολλά ερωτήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για την αγάπη, την ηθική και υλική υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τους φίλους μου για τις όμορφες και δύσκολες στιγμές που μοιραστήκαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Ιούλιος 2024
Ηλίας Αμερικάνος

Παράγοντες που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα

Ηλίας Αμερικάνος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΣΥΝΟΨΗ

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα. Για το σκοπό αυτό αναλύονται τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από επί τόπου μετρήσεις με οπτική παρακολούθηση στους οδικούς άξονες της Αθήνας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά το έτος 2021 και 2023. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της στατιστικής μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης. Μέσω των μοντέλων εξετάστηκε κατά πόσο και με ποιο τρόπο η κάθε παράμετρος επηρεάζει την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες. Αναπτύχθηκαν συνολικά δύο μοντέλα, το πρώτο για το έτος του 2021 και το δεύτερο για το έτος του 2023. Από τις αναλύσεις προέκυψαν πως οι παράγοντες που είναι κρίσιμοι για την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες είναι ο αριθμός λωρίδων, το μήκος της οδού, το είδος των οχημάτων, η ώρα της ημέρας καθώς και η κατεύθυνση προς την οποία κινούνται τα οχήματα.

Λέξεις κλειδιά: οδική ασφάλεια, λεωφορειολωρίδες, παραβατικότητα, επί τόπου μετρήσεις, γραμμική παλινδρόμηση

Factors Influencing Bus Lane Violations in Athens

Ilias Amerikanos

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

ABSTRACT

The aim of this thesis is to investigate the factors that influence violations on the bus lanes in Athens. For this purpose, data collected from on-site measurements using visual observation on the roads of Athens were analyzed. The measurements were conducted in the year 2021 and 2023. The analysis was carried out using the statistical method of linear regression. The models examined the extent to which each parameter affects violations on the bus lanes. Two models were developed in total, one for the year 2021 and another for the year 2023. The analyses revealed that the critical factors influencing bus lane violations include the number of lanes, the length of the road, the type of vehicles, the time of day, and the direction in which the vehicles are traveling.

Keywords: road safety, bus lanes, violations, on-site measurements, linear regression

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τα έτη 2021 και 2023. Σκοπός της μελέτης είναι να εντοπιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραβατικότητα και να αναλυθεί πώς αυτές οι επιδράσεις έχουν μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου.

Συγκεκριμένα, η έρευνα πραγματοποιήθηκε μέσω ανάλυσης δεδομένων παραβατικότητας που συλλέχθηκαν σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η ανάλυση περιλάμβανε δύο φάσεις: την πρώτη το 2021 και τη δεύτερη το 2023. Τα δεδομένα περιλάμβαναν πληροφορίες όπως ο αριθμός των λωρίδων (Lanes), το μήκος των λεωφορειολωρίδων (Length), ο τύπος των οχημάτων (Vehicle_type), η κατεύθυνση της κυκλοφορίας (Direction) κ.α.

Μετά την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων και τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, αναπτύχθηκαν δύο μαθηματικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της παραβατικότητας για τα έτη 2021 και 2023. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα.

Μοντέλα παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα								
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Μοντέλο 2021				Μοντέλο 2023			
	βι	Pr(> t)	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*	βι	Pr(> t)	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*
(Intercept)	-1.743	1.49E-15	-	-	-6.990	0.00023	-	-
Lanes	0.219	0.000105	1.244	1	1.109	0.01346	3.031	1
Length	0.606	1.82E-14	1.834	1.474	1.616	4.65E-08	5.033	1.660
Vehicle_typeBuses	3.31E-15	-	-	-	-1.02E-14	-	-	-
Vehicle_typeBuses public	3.64E-14	-	-	-	8.59E-15	-	-	-
Vehicle_typeCars	6.476	< 2e-16	649.368	521.913	8.405	< 2e-16	4469.358	1474.391
Vehicle_typePTWs	1.77E-15	-	-	-	2.80E-14	-	-	-
Vehicle_typeTaxi	3.837	< 2e-16	46.386	37.282	3.843	< 2e-16	46.665	15.394
Vehicle_typeTrucks	0.460	0.024452	1.584	1.273	0.262	-	-	-
Time_of_dayMorning	1.208	< 2e-16	3.347	2.690	-	-	-	-
Directiontowards downtown	-	-	-	-	1.183	< 2e-16	3.264	1.077
R ²	0.4153				0.6598			

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν συμπεράσματα που σχετίζονται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματά της. Σε αυτό το υποκεφάλαιο, επιχειρείται να δοθούν απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά μέσω της σύνθεσης των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα κύρια συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- Οι σταθερές (intercepts) των δύο μοντέλων δείχνουν την βασική παραβατικότητα όταν όλες οι άλλες μεταβλητές είναι μηδενικές. Η τιμή της σταθεράς και στα δύο μοντέλα είναι αρνητική, υποδηλώνοντας χαμηλή βασική παραβατικότητα.
- Ο αριθμός των λωρίδων έχει θετική επίδραση στην παραβατικότητα και στα δύο μοντέλα. Αυτό σημαίνει ότι περισσότερες λωρίδες συνδέονται με αυξημένη παραβατικότητα, πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης κυκλοφορίας και των αυξημένων ευκαιριών για παραβάσεις.

- Το μήκος της διαδρομής παρουσιάζει επίσης θετική συσχέτιση με την παραβατικότητα. Οι μεγαλύτερες διαδρομές συνδέονται με μεγαλύτερη παραβατικότητα, πιθανώς λόγω της αυξημένης πιθανότητας παραβάσεων σε μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Ο τύπος του οχήματος παίζει σημαντικό ρόλο στην παραβατικότητα. Τα αυτοκίνητα και τα ταξί έχουν υψηλότερους συντελεστές παραβατικότητας σε σύγκριση με τα φορτηγά, υποδεικνύοντας ότι οι οδηγοί αυτών των οχημάτων είναι πιο πιθανό να παραβιάζουν τους κανόνες κυκλοφορίας.
- Η ώρα της ημέρας επηρεάζει την παραβατικότητα. Οι παραβάσεις είναι υψηλότερες το πρωί, πιθανώς λόγω της βιασύνης και της αυξημένης κυκλοφορίας εκείνη την ώρα.
- Η στατιστική ανάλυση επιβεβαίωσε ότι οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο την παραβατικότητα είναι ο αριθμός των λωρίδων και το μήκος της διαδρομής. Αυτές οι μεταβλητές έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση της παραβατικότητας στα μοντέλα.
- Η μείωση των παραβάσεων από το 2021 στο 2023 υποδηλώνει ότι οι προσπάθειες για βελτίωση της επιτήρησης και ενημέρωσης των οδηγών είχαν θετικά αποτελέσματα. Ωστόσο, τα ταξί εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική κατηγορία παραβατών, γεγονός που δείχνει την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις σε αυτή την κατηγορία οχημάτων. Παρά τη βελτίωση, οι παραβάσεις εξακολουθούν να αποτελούν πρόβλημα, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για συνεχή βελτίωση στην επιτήρηση, την εφαρμογή των κανόνων και την ενημέρωση των οδηγών. Οι αναλύσεις αυτές προσφέρουν μια βάση για την κατανόηση των τάσεων στην παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας και αναδεικνύουν την ανάγκη για συνεχείς προσπάθειες βελτίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών και της οδικής ασφάλειας.
- Τέλος, από την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, προκύπτει ότι η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τις κρίσιμες παραμέτρους που επηρεάζουν την παραβατικότητα και γενικότερα την κυκλοφοριακή συμπεριφορά των οδηγών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	10
1.1 Γενική ανασκόπηση	10
1.2 Στόχος.....	11
1.3 Μεθοδολογία	12
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	14
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	16
2.1 Εισαγωγή	16
2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες	16
2.3 Εφαρμογή λεωφορειολωρίδων	17
2.3.1 Σχεδιασμός και Υποδομή.....	17
2.3.2 Επιβολή κανόνων και Ποινικές Διαδικασίες	17
2.3.3 Ευαισθητοποίηση και Εκπαίδευση	18
2.3.4 Τεχνολογία και Έλεγχος.....	19
2.3.5 Κοινωνικοοικονομικοί Παράγοντες	20
2.3.6 Επικοινωνία και Ενημέρωση	20
2.4 Σύνοψη	21
3. Θεωρητικό υπόβαθρο	23
3.1 Εισαγωγή	23
3.2 Βασικές έννοιες στατιστικής.....	23
3.3 Βασικές μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.....	24
3.3.1 Γραμμική παλινδρόμηση	24
3.3.1.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	25
3.3.1.2 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	25
3.3.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση.....	26
3.3.3 Κατανομή Poisson	26
3.4 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	27
3.4.1 Συντελεστές εξίσωσης.....	27
3.4.2 Συσχέτιση παραμέτρων	27
3.4.3 Ελαστικότητα	27
3.4.4 Στατιστική Σημαντικότητα	27
3.4.5 Συντελεστής Προσαρμογής R^2	29
4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	30
4.1 Εισαγωγή	30
4.2 Συλλογή στοιχείων	30
4.2.1 Μετρήσεις 2021 και 2023.....	30
4.2.2 Διαδικασία καταγραφής δεδομένων	31
4.3 Επεξεργασία δεδομένων	32
4.3.1 Βάση δεδομένων	32

4.3.2 Περιγραφικά στοιχεία δεδομένων	34
4.3.3 Γενικά σχόλια – παρατηρήσεις	39
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα	41
5.1 Εισαγωγή	41
5.2 Πρωταρχικά στάδια κώδικα - έλεγχος συσχέτισης μεταβλητών...	41
5.3 Ανάπτυξη μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R.....	42
5.4 Επεξήγηση αποτελεσμάτων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R	43
5.5 Μοντέλο 1: Παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα κατά το έτος 2021	44
5.5.1 Ανάπτυξη μοντέλου	44
5.5.2 Ποιότητα μοντέλου	45
5.5.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	45
5.5.4 Σχετική επιρροή μεταβλητών	46
5.6 Μοντέλο 2: Παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα κατά το έτος 2023	48
5.6.1 Ανάπτυξη μοντέλου	48
5.6.2 Ποιότητα μοντέλου	49
5.6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	50
5.6.4 Σχετική Επίδραση Μεταβλητών	51
5.7 Συνδυασμένη αξιολόγηση μοντέλων 1 και 2	51
6. Συμπεράσματα	54
6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων	54
6.2 Συμπεράσματα.....	55
6.3 Συγκριτική Ανάλυση Δεδομένων 2021 και 2023.....	56
6.4 Προτάσεις για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.....	57
6.5 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	58
7. Βιβλιογραφία	59

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική ανασκόπηση

Η κυκλοφορία αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο που επηρεάζει τόσο την καθημερινή ζωή όσο και την οικονομία και το περιβάλλον. Οι πόλεις σε όλο τον κόσμο αντιμετωπίζουν προκλήσεις όσον αφορά την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, τη βελτίωση της πρόσβασης στις δημόσιες μεταφορές και τη μείωση των εκπομπών αερίων. Σε περιοχές με μεγάλη ανάπτυξη, η κίνηση μπορεί να έχει επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών λόγω της ρύπανσης του αέρα και του θορύβου. Ωστόσο, οι νέες τεχνολογίες και οι καινοτόμες προσεγγίσεις μπορούν να βοηθήσουν στην **ανάπτυξη βιώσιμων και έξυπνων συστημάτων μεταφορών** που θα εξυπηρετούν τις ανάγκες της κοινότητας. Μέσω της διαφάνειας, της συνεργασίας και της καινοτομίας, μπορούμε να δημιουργήσουμε πιο βιώσιμες και ανθρωποκεντρικές πόλεις που θα προσφέρουν υψηλή ποιότητα ζωής στους κατοίκους τους.

Η κίνηση σε μια μεγάλη πόλη όπως η Αθήνα αποτελεί ένα σύνθετο και δυναμικό σύστημα, το οποίο εξελίσσεται διαρκώς σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των κατοίκων της. Καθημερινά, χιλιάδες άνθρωποι κινούνται από το ένα σημείο της πόλης στο άλλο, δημιουργώντας ένα σύνθετο πλέγμα κυκλοφορίας. Σε αυτό το πλαίσιο, οι **λεωφορειολωρίδες αναδεικνύονται ως κρίσιμος μηχανισμός** για την αποσυμφόρηση των οδών και την προώθηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Ωστόσο, η αποτελεσματική λειτουργία τους συχνά απειλείται από την ανεξέλεγκτη παραβατικότητα, δημιουργώντας μια συνεχή πρόκληση για τους αρμόδιους φορείς. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα έρευνα στοχεύει στην εξερεύνηση και ανάλυση της κατάστασης των λεωφορειολωρίδων στην πρωτεύουσα, καθώς και στην πρόταση στρατηγικών που θα συμβάλουν στη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής και την ενίσχυση της ασφάλειας στις οδούς.

Η πόλη της Αθήνας, ως μία από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη, αντιμετωπίζει μοναδικές προκλήσεις στον τομέα της κυκλοφορίας και των μεταφορών. Με εκατοντάδες χιλιάδες οχήματα και εκατομμύρια ανθρώπους να μετακινούνται καθημερινά, η κυκλοφορία μπορεί να είναι εξαιρετικά πυκνή και ανεξέλεγκτη. Οι οδηγοί συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα όπως η καθυστέρηση, η συμφόρηση και ο κίνδυνος ατυχημάτων. Επιπλέον, η **παραβατικότητα**, όπως η παράνομη στάθμευση και η παράβαση των κανόνων κυκλοφορίας, επιδεινώνει ακόμα περισσότερο την κατάσταση.

Ωστόσο, η πόλη επίσης διαθέτει μια ποικιλία μέσων μαζικής μεταφοράς, όπως λεωφορεία, τρόλεϊ, μετρό και τραμ, που παρέχουν εναλλακτικές λύσεις για τη μετακίνηση των πολιτών. Η ανάπτυξη του μετρό της Αθήνας τα τελευταία χρόνια έχει συμβάλει στην αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας και στη βελτίωση της

πρόσβασης στο κέντρο της πόλης. Ωστόσο, υπάρχει ακόμα μεγάλο περιθώριο βελτίωσης, κυρίως όσον αφορά στην ασφάλεια, τη συντήρηση και την επέκταση του δικτύου μέσω μαζικής μεταφοράς. Μέσω διαρθρωτικών μεταρρυθμίσεων και επενδύσεων σε **υποδομές και τεχνολογίες**, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα πιο αποτελεσματικό και βιώσιμο σύστημα μεταφορών που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες των κατοίκων και θα συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής στην πρωτεύουσα.

Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις, απαιτείται ένα σύνολο άμεσων μέτρων, όπως η **επέκταση και η βελτίωση του δικτύου λεωφορείων**, η ενίσχυση των ποδηλατικών δικτύων και η προώθηση της περιπατητικής κίνησης. Επιπλέον, η χρήση της τεχνολογίας μπορεί να διευκολύνει τη διαχείριση της κυκλοφορίας και να παρέχει στους πολίτες πληροφορίες για τις εναλλακτικές διαδρομές και τα μέσα μεταφοράς. Επίσης, η αποτελεσματική επιβολή των κανονισμών και η προώθηση της συνείδησης του κοινού για την ασφάλεια και τη συμμόρφωση μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της παραβατικότητας.

Μέσω αυτών των προσπαθειών, μπορεί η Αθήνα να εξελιχθεί σε μια πιο αειφόρο και φιλική προς τον πολίτη πόλη, που προσφέρει υψηλής ποιότητας ζωή και **βελτιωμένες συνθήκες μετακίνησης** για όλους τους κατοίκους της.

Οι **λεωφορειολωρίδες** αποτελούν ένα σημαντικό μέσο για την αποφόρτιση της κυκλοφορίας και την ενίσχυση της χρήσης των δημόσιων μέσων μαζικής μεταφοράς στην Αθήνα. Ωστόσο, η αποτελεσματική λειτουργία τους συχνά παρεμποδίζεται από την παραβατικότητα και τη μη συμμόρφωση των οδηγών. Παράνομη στάθμευση, παράβαση των κανόνων κυκλοφορίας και ανεύθυνη συμπεριφορά στις λωρίδες αυτές απειλούν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα του δικτύου.

Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία των λεωφορειολωρίδων, απαιτείται η συνεργασία των αρχών και η συστηματική επιβολή των κανονισμών. Η χρήση της τεχνολογίας, όπως κάμερες και συστήματα παρακολούθησης, μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο και στην ανίχνευση παραβάσεων. Επίσης, η ενίσχυση της ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού για τη σημασία της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μιας πιο ασφαλούς και αποδοτικής κυκλοφορίας στις λεωφορειολωρίδες. Μέσω αυτών των προσπαθειών, οι λεωφορειολωρίδες μπορούν να λειτουργήσουν ως αποτελεσματικό εργαλείο για την αποδόμηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης καλύτερη εξυπηρέτηση των μετακινουμένων και την προαγωγή της βιώσιμης μετακίνησης στην πόλη.

1.2 Στόχος

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα**, αξιοποιώντας δεδομένα από επί τόπου μετρήσεις. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά που καταγράφηκαν από τις

επί τόπου μετρήσεις αλλά και τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και καθορίζουν την παραβατικότητα των λεωφορειολωρίδων στην Αθήνα.

Πιο αναλυτικά, για την εκπλήρωση του παραπάνω στόχου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις περισσότερες και μεγαλύτερες οδούς στην Αθήνα, που περιέχουν λεωφορειολωρίδες. Συγκεκριμένα, **οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο περιόδους:** τον Μάιο και Ιούνιο του 2021 και το Νοέμβριο του 2023. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν εισήχθησαν σε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel το οποίο περιείχε όλα τα στοιχεία κατά τις ώρες μέτρησης καθώς και το είδος της παραβατικότητας.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν **μαθηματικά στατιστικά μοντέλα** για να αναλυθεί η επιρροή του κάθε παράγοντα στην παραβατικότητα που προκαλείται επί των λεωφορειολωρίδων.

Αξιοποιήθηκαν στατιστικά μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την ανάλυση των παραβάσεων στις λεωφορειολωρίδες τα έτη 2021 και 2023. Το μοντέλο του 2021 περιλάμβανε ως ανεξάρτητες μεταβλητές το είδος οχήματος, το μήκος της οδού, τον αριθμό λωρίδων και την χρονική περίοδο της ημέρας. Αντίστοιχα, το μοντέλο του 2023 συμπεριέλαβε τις ίδιες μεταβλητές, προσθέτοντας και την κατεύθυνση της οδού. Αυτή η ανάλυση μας βοήθησε να κατανοήσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν τον αριθμό των παραβάσεων στις λεωφορειολωρίδες, εντοπίζοντας τάσεις και διαφορές μεταξύ των δύο ετών, καθώς και την επίδραση της κατεύθυνσης της οδού το 2023.

Μέσω των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την ανάλυση, θα επιτραπεί η κατανόηση του βαθμού και του τρόπου με τον οποίο διάφοροι παράγοντες, όπως οι συνθήκες κυκλοφορίας και η ώρα επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας. Συγχρόνως, τα συμπεράσματα της έρευνας αναμένεται να αποφέρουν πολλαπλά και σημαντικά οφέλη, στην διαχείριση της κυκλοφορίας και στην καλύτερη λειτουργία των δημόσιων συγκοινωνιών και τελικώς στην **αναβάθμιση της εξυπηρέτησης των μετακινουμένων.**

1.3 Μεθοδολογία

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας. Περιγράφονται τα διάφορα στάδια της έρευνας, οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων, καθώς και τα εργαλεία και οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας.

Αρχικά καθορίστηκε το θέμα και ο στόχος της παρούσας εργασίας. Ακολούθησε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση, ώστε να υπάρξει εξοικείωση με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας μέσω της μελέτης σχετικών ερευνών και επιστημονικών κειμένων, κυρίως από την παγκόσμια βιβλιογραφία. Μέσα από αυτήν την ανασκόπηση αντλήθηκαν δεδομένα για τα αποτελέσματα των

μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και επιλέχθηκε η καταλληλότερη μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων.

Το επόμενο βήμα ήταν η εύρεση του τρόπου συλλογής στοιχείων, τα οποία θα επιτρέπουν τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς των οδηγών με την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες.

Για τη διαδικασία αυτή, εφαρμόστηκε η προαναφερθείσα διαδικασία επιμέτρησης η οποία ουσιαστικά αφορούσε την καταγραφή του κάθε οχήματος, αλλά και του τύπου οχήματος που εισχωρούσε εντός των λεωφορειολωρίδων, νόμιμα είτε παράνομα.

Στη συνέχεια, αποφασίστηκε η χρήση μιας μεθόδου στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων, για την οποία απαιτούνταν η ύπαρξη μιας σταθερής βάσης δεδομένων. Μετά την κατάλληλη επεξεργασία των δύο βάσεων δεδομένων για την προετοιμασία τους για χρήση, εισήχθησαν σε εξειδικευμένο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού R. Μετά από διάφορες δοκιμές, επιλέχθηκε η γραμμική παλινδρόμηση ως κατάλληλο μοντέλο για την ανάλυση των δεδομένων.

Η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν ο αριθμός οχημάτων που εισέρχονται παράνομα στις λεωφορειολωρίδες (Count_violation). Η συσχέτιση που έγινε αφορούσε την επίδραση του είδους οχήματος, του μήκους της οδού, του αριθμού λωρίδων, της χρονικής περιόδου της ημέρας (για το 2021) και της κατεύθυνσης της οδού (προστέθηκε το 2023) στον αριθμό των παραβάσεων.

Μετά την αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τον βαθμό επιρροής του κάθε παράγοντα στην παραβατικότητα των λεωφορειολωρίδων της Αθήνας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας:

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ
ΣΤΟΧΟΥ



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ



ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Διάγραμμα 1.1 Διάγραμμα ροής σταδίων εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζεται η δομή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μέσω μιας συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του κάθε κεφαλαίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο, που λειτουργεί ως εισαγωγή, αναδεικνύεται η σημασία του θέματος και περιγράφονται οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας. Επιπλέον, δίνεται έμφαση στον στόχο της έρευνας, που είναι να κατανοήσει και να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ των παραγόντων αυτών και της παραβατικότητας. Μέσω ενός διαγράμματος ροής παρουσιάζεται η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί στην εργασία, ενώ επισημαίνεται επίσης η δομή της, προετοιμάζοντας τον αναγνώστη για τα επόμενα κεφάλαια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης ερευνών που ακολούθησαν παρόμοια μεθοδολογία συλλογής δεδομένων. Αναλύεται η έννοια της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες, εξετάζοντας τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αυξημένη παραβατικότητα και τα συνεπακόλουθά της. Τέλος, πραγματοποιείται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων αυτών των ερευνών, με σχολιασμό και ερμηνεία των ευρημάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, δίνεται εκτενής ανάλυση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε. Εστιάζεται στη μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης, εξηγώντας λεπτομερώς τον λόγο επιλογής αυτής της στατιστικής ανάλυσης. Τα κριτήρια επιλογής βασίστηκαν στα χαρακτηριστικά της μεθόδου και τις απαιτήσεις της εργασίας. Στο τέλος του κεφαλαίου, περιγράφονται λεπτομερώς τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση ειδικού λογισμικού στατιστικής ανάλυσης, προετοιμάζοντας το έδαφος για τα επόμενα βήματα της έρευνας.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναλύει τη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που απαιτούνται για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, περιγράφεται η μέθοδος συλλογής δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τους σκοπούς της έρευνας. Στη συνέχεια, με τη χρήση λογισμικών όπως το R Studio και το Microsoft Excel, δημιουργούνται συγκεντρωτικοί πίνακες, οι οποίοι βοηθούν στην καλύτερη περιγραφή των χαρακτηριστικών του δείγματος. Τέλος, πραγματοποιείται επεξεργασία των δεδομένων για να προσαρμοστούν στην απαιτούμενη τελική τους μορφή, ενώ γίνεται και η εισαγωγή της βάσης δεδομένων στο πρόγραμμα της R Studio για περαιτέρω ανάλυση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία και αξιολόγηση των μοντέλων, καθώς και η εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Εισάγονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, με έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους που πραγματοποιούνται για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Οι διαδικασίες ελέγχου πραγματοποιούνται με προσοχή και συστηματικότητα, ώστε να διασφαλίσουν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των αναλύσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με σαφήνεια και αναλύονται εκτενώς, επιτρέποντας έτσι την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μοντέλων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την προηγούμενη ανάλυση και εξέταση των δεδομένων. Εδώ γίνεται μια σύνοψη των κυριότερων σημείων της εργασίας, επισημαίνοντας τις κύριες παραμέτρους που επηρέασαν τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια, διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση, τονίζοντας τη σημασία των ευρημάτων και τις ενδεχόμενες εφαρμογές τους. Τέλος, παρουσιάζονται προτάσεις για πιθανές μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις, προσδιορίζοντας περιοχές που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση και ανάπτυξη, προκειμένου να βελτιωθεί η οδική ασφάλεια και να εμβαθυνθεί η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθενται οι αναφορές στη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της Διπλωματικής Εργασίας. Αυτός ο κατάλογος περιλαμβάνει τις επιστημονικές έρευνες, τα άρθρα και τα βιβλία που αναφέρονται άμεσα στο θέμα της εργασίας και συνέβαλαν στην κατανόηση, την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων. Αυτή η ενότητα λειτουργεί ως αναφορά για το πλαίσιο εργασίας και τις προηγούμενες μελέτες πάνω στο ίδιο θέμα.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Περιλαμβάνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από συναφείς έρευνες και δημοσιεύσεις της ελληνικής και της διεθνούς βιβλιογραφίας, που αφορούν λεωφορειολωρίδες σε διάφορες πόλεις του κόσμου. Συγκεκριμένα, αναζητήθηκαν άρθρα και έρευνες που έδειχναν παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η παραβατικότητα στις λωρίδες αυτές είτε κατά τον σχεδιασμό τους είτε κατά την αναδιαμόρφωσή τους. Για κάθε εργασία γίνεται συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και στα συμπεράσματα που προέκυψαν. Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προσδιορίστηκε το ακριβές αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και επιλέχθηκε η καταλληλότερη μεθοδολογία.

2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες

Η σημασία της επιβολής των κανονισμών και η επίδρασή της στις παραβιάσεις των λωρίδων λεωφορείων έχει αναλυθεί εκτενώς στην έρευνα των Κεμπαπτζόγλου et al. (2011). Οι ερευνητές επισημαίνουν ότι οι παραβάσεις αυτές μπορεί να συνδέονται με την αυξημένη κίνηση σε παρακείμενες λωρίδες, ενώ η αντίληψη για περιορισμένη επιβολή αποτελεί επιπρόσθετο παράγοντα παραβάσεων. Σε περιοχές με λιγότερες λωρίδες, το πρόβλημα των παραβιάσεων εμφανίζεται περισσότερο έντονα, αναδεικνύοντας την ανάγκη για αποτελεσματική επιβολή.

Είναι ενδιαφέρον που τα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως οι παραβάσεις συνδέονται με μειωμένες ταχύτητες των λεωφορείων. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κατά περίπου 0,4 χλμ/ώρα για κάθε ταξί που παραβιάζει τη λωρίδα λεωφορείων αναδεικνύει την άμεση σύνδεση μεταξύ των παραβάσεων και της λειτουργίας των λεωφορείων. Με βάση τη συχνότητα των παραβάσεων, παρατηρείται ότι η μείωση της μέσης ταχύτητας μπορεί να φτάσει περίπου 10%, ένα ποσοστό που μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στον ρυθμό κυκλοφορίας των λεωφορείων.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ευελιξία, επιτρέποντας την εφαρμογή σε άλλες πόλεις με παρόμοιες συνθήκες κυκλοφορίας και χαρακτηριστικά λειτουργίας ταξί. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι χρήσιμη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της επιβολής και των παραβάσεων σε διάφορα αστικά περιβάλλοντα.

Τέλος, η έρευνα προτείνει την επανεξέταση των αδειών για ταξί, καθώς και για μοτοσικλέτες που εισέρχονται στις λωρίδες λεωφορείων. Η αύξηση της επιβολής και η επανεξέταση των αδειών μπορεί να συμβάλει στην βελτίωση της λειτουργίας των λωρίδων λεωφορείων και στη μείωση των παραβιάσεων.

2.3 Εφαρμογή λεωφορειολωρίδων

2.3.1 Σχεδιασμός και Υποδομή

Ο σχεδιασμός των λεωφορειολωρίδων αναδεικνύεται ως καθοριστικός παράγοντας στη μείωση της παραβατικότητας. Η έρευνα των Chen και Ma (2017) επισημαίνει τη σημασία των παραμέτρων όπως το πλάτος της λωρίδας, η σωστή σήμανση, και η συνδεσιμότητα με άλλα μέσα μεταφοράς, καθώς και την ανάγκη για καινοτόμους σχεδιαστικούς προσεγγίσεις.

Σύμφωνα με τους Giuffre και Zhang (2018), ο σχεδιασμός των συστημάτων γρήγορης μεταφοράς λεωφορείων (BRT) παίζει κεντρικό ρόλο στη διαχείριση της παραβατικότητας, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των δημόσιων μεταφορών.

Η κατάλληλη υποδομή και ο σωστός σχεδιασμός των λεωφορειολωρίδων αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη μείωση της παραβατικότητας. Συγκεκριμένες έρευνες (Smith et al., 2018) έχουν επισημάνει ότι η έλλειψη κατάλληλων πινακίδων, φωτοσημάτων και οδοστρωμάτων μπορεί να ενθαρρύνει την παραβατικότητα.

Επιπλέον, οι έλεγχοι πρόσβασης και εξόδου από τις λεωφορειολωρίδες, καθώς και η κατάλληλη σήμανση, είναι καθοριστικοί παράγοντες (Jones & Brown, 2019). Η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των υποδομών και των δρόμων μπορεί να δημιουργήσει σημεία προσέγκυσης για παραβατικές συμπεριφορές.

Συνοπτικά, ο σχεδιασμός των λεωφορειολωρίδων και η κατάλληλη υποδομή αποτελούν κλειδιά στην αντιμετώπιση της παραβατικότητας, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα και την ομαλή λειτουργία των λεωφορειολωρίδων. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες αυτοί κατά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των συστημάτων μεταφορών, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή αποτελεσματικότητα και να περιοριστεί η παραβατικότητα.

2.3.2 Επιβολή κανόνων και Ποινικές Διαδικασίες

Η επιβολή αυστηρών κανόνων και η αποτελεσματική εφαρμογή ποινικών διαδικασιών αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Η έρευνα των Levinson και Xie (2008) έχει επισημάνει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η εφαρμογή των κανόνων στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς των χρηστών των λεωφορειολωρίδων.

Η συγκέντρωση πόρων στην αστυνομία και η συνεργασία με τους υπεύθυνους της εφαρμογής των κανόνων αποτελούν βασικά στοιχεία για την αντιμετώπιση της παραβατικότητας. Επιπλέον, η συνεχής εκπαίδευση των αστυνομικών για την αντιμετώπιση ειδικών καταστάσεων στις λεωφορειολωρίδες είναι απαραίτητη. Η

ένταξη των αστυνομικών σε εκπαιδευτικά προγράμματα που επικεντρώνονται στην καλύτερη κατανόηση του ρόλου τους στην επίβλεψη των λεωφορειολωρίδων και την αντιμετώπιση τυχόν παραβατικής συμπεριφοράς είναι θεμελιώδεις για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας της επιβολής.

Πέραν των ποινικών κυρώσεων, η εφαρμογή προληπτικών μέτρων, όπως η προστασία των λεωφορειολωρίδων με φυσικά ή τεχνολογικά μέσα, αποτελεί απαραίτητη πτυχή. Η χρήση περιφραγμάτων, καμερών και αισθητήρων σε σημεία εισόδου και εξόδου των λεωφορειολωρίδων μπορεί να είναι αποτελεσματική στον έλεγχο της συμμόρφωσης. Τα προληπτικά μέτρα αυτά όχι μόνο δημιουργούν ένα αποτρεπτικό περιβάλλον αλλά επίσης παρέχουν εργαλεία για την αποτελεσματική διαχείριση της παραβατικότητας.

Οι πολιτικές που αφορούν στη διαχείριση της κυκλοφορίας και των λεωφορειολωρίδων επηρεάζουν σημαντικά την παραβατικότητα. Μελέτες (Garcia & Rodriguez, 2020) έχουν αναδείξει τον ρόλο των πολιτικών που προωθούν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και επιβραβεύουν τη συμμόρφωση των οδηγών.

Επιπλέον, οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες όπως η ανεργία και η φτώχεια επηρεάζουν τη συμπεριφορά των οδηγών (Brown & Smith, 2017). Υψηλά επίπεδα οικονομικής ανασφάλειας μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη τάση για παραβατικές πράξεις προκειμένου να εξοικονομήσουν χρόνο και πόρους.

2.3.3 Ευαισθητοποίηση και Εκπαίδευση

Η ευαισθητοποίηση και η εκπαίδευση αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες, καθώς επικεντρώνονται στην αλλαγή της συμπεριφοράς των οδηγών και την ενίσχυση της συνειδητοποίησής τους. Σύμφωνα με την έρευνα των Qu και Wang (2010), τα εκπαιδευτικά προγράμματα και οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης αναδεικνύονται ως καίριοι παράγοντες στην ανατροπή της συμπεριφοράς των οδηγών σχετικά με τις λεωφορειολωρίδες.

Η εκπαίδευση αποτελεί πλούσιο πεδίο δράσης για την επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών. Σύμφωνα με τους Rutter και Quine (1996), η εκπαίδευση μπορεί να προάγει θετικές αλλαγές στη συμπεριφορά και να ενισχύσει τη συνειδητοποίηση των οδηγών. Ειδικά όσον αφορά τους οδηγούς επαγγελματικών οχημάτων, η εκπαίδευση προσφέρει μια πολύτιμη ευκαιρία για να ενισχυθεί ο σεβασμός προς τους κανονισμούς και να μειωθεί η παραβατικότητα.

Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν προγράμματα ευαισθητοποίησης που να επικεντρώνονται ειδικά σε περιπτώσεις όπως αυτή των λεωφορειολωρίδων, προωθώντας τη συμμόρφωση με τους κανόνες και την ασφαλή οδήγηση. Με τη συνεχή εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων, μπορεί να δημιουργηθεί μια κουλτούρα σεβασμού προς την ορθή χρήση των λεωφορειολωρίδων.

Προτείνεται η δημιουργία προγραμμάτων που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες της τεχνολογίας για να προσεγγίσουν αποτελεσματικά το κοινό. Συνδυάζοντας εκπαιδευτικά περιεχόμενα με διαδραστικά ψηφιακά εργαλεία, μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη ενσυναίσθηση και συμμετοχή των οδηγών στην προσπάθεια μείωσης της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες.

Τέλος, η ανάγκη για συνεχείς αξιολογήσεις και προσαρμογές στα εκπαιδευτικά προγράμματα αναδεικνύεται ως σημαντική. Με την επιστημονική καταγραφή και ανάλυση των αποτελεσμάτων, είναι δυνατόν να προσαρμοστούν οι προσεγγίσεις εκπαίδευσης, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική αντιμετώπιση των παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες.

2.3.4 Τεχνολογία και Έλεγχος

Η χρήση της τεχνολογίας αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τον έλεγχο και τη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Η έρευνα των Sayed και Zein (2012) εστιάζει στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της αυτοματοποιημένης εποπτείας στην πρόληψη της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Η χρήση καμερών και συστημάτων επιτήρησης σε συνδυασμό με αυτόματα συστήματα προειδοποίησης μπορεί να αποτρέψει την παραβατική συμπεριφορά.

Επιπλέον, η έρευνα του Wu και Abdel-Aty (2010) επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα γρήγορης μεταφοράς λεωφορείων επηρεάζουν την ασφάλεια. Η ενσωμάτωση τεχνολογικών καινοτομιών όπως συστήματα προειδοποίησης σύγκρουσης και αυτόνομη οδήγηση στα λεωφορεία μπορεί να συμβάλει στη μείωση των ατυχημάτων και, συνεπώς, στην ελαχιστοποίηση της παραβατικότητας.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Hu et al. (2021), παρατηρείται ότι η υιοθέτηση της τεχνολογίας Intelligent Transportation Systems (ITS) μπορεί να συμβάλει στην επίλυση προβλημάτων παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Η χρήση τεχνολογικών λύσεων, όπως συστήματα παρακολούθησης και αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου, ενισχύει την επιβολή των κανόνων και μπορεί να αποτρέψει τις παραβατικές συμπεριφορές.

Επιπλέον, σύμφωνα με έρευνα του Wang et al. (2019), η συμμετοχή της κοινότητας και των ενδιαφερομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό των λεωφορειολωρίδων είναι κρίσιμη. Η συνεργασία με τους κατοίκους, επιχειρήσεις και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα αποτελέσματα, διασφαλίζοντας ότι ο σχεδιασμός αντανακλά πραγματικές ανάγκες και περιορίζει την παραβατικότητα.

Επιπλέον, η έρευνα του Li et al. (2022) επικεντρώνεται στη σημασία της ψηφιακής επικοινωνίας και των εφαρμογών για την προώθηση ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης του κοινού. Η χρήση κινητών εφαρμογών και διαδικτυακών πλατφορμών για να διακινηθούν εκπαιδευτικά υλικά και ενημερώσεις μπορεί να

ενθαρρύνει τη συμμετοχή του κοινού στην προσπάθεια για μείωση της παραβατικότητας.

Συνολικά, η εφαρμογή της τεχνολογίας ITS, η ενεργή συμμετοχή της κοινότητας, και η χρήση ψηφιακών μέσων για ευαισθητοποίηση αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες.

2.3.5 Κοινωνικοοικονομικοί Παράγοντες

Οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες ασκούν σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά των χρηστών και των οδηγών στις λεωφορειολωρίδες. Η έρευνα των Zhang και Murray (2014) εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο οι παράγοντες όπως η εισοδηματική κατάσταση και οι κοινωνικές συνθήκες επηρεάζουν τη συμμόρφωση και τη χρήση των λεωφορειολωρίδων.

Η έρευνα του Litman (2011) εστιάζεται στην αξιολόγηση της οικονομικής αξίας της πεζοπορίας, προσφέροντας προοπτικές για τη βελτίωση των συνθηκών μετακίνησης. Οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επηρεάζουν την αντίληψη και τη συμπεριφορά των ατόμων έναντι της χρήσης των λεωφορειολωρίδων, και επομένως, αποτελούν παράγοντα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αντιμετώπιση της παραβατικότητας.

Συνοπτικά, η επιβολή αυστηρών κανόνων με αποτελεσματική εφαρμογή ποινικών διαδικασιών, η ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση των οδηγών, η χρήση της τεχνολογίας για τον έλεγχο και η λήψη υπόψη των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων αποτελούν καίριες πτυχές για τη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Η συνδυασμένη εφαρμογή αυτών των παραγόντων αναδεικνύεται ως αναγκαία για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής λειτουργίας των λεωφορειολωρίδων και την εξασφάλιση της υψηλής ποιότητας υπηρεσιών δημόσιας συγκοινωνίας.

2.3.6 Επικοινωνία και Ενημέρωση

Η διασφάλιση αποτελεσματικής επικοινωνίας και ενημέρωσης των οδηγών αναδεικνύεται ως ουσιαστική διαδικασία για τη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Σύμφωνα με την έρευνα των Williams et al. (2019), η εκμετάλλευση των τεχνολογικών εφαρμογών, όπως οι εφαρμογές κινητών τηλεφώνων, αποτελεί αποτελεσματικό μέσο για τη διακίνηση πληροφοριών που αφορούν τους κανονισμούς και τα σημεία παρακολούθησης των λεωφορειολωρίδων. Αυτή η προσέγγιση δίνει τη δυνατότητα στους οδηγούς να λαμβάνουν άμεσα και ενημερωμένα δεδομένα σχετικά με τους κανόνες κυκλοφορίας, προσφέροντας ταυτόχρονα ευκαιρίες για την ενίσχυση της συμμόρφωσής τους.

Στη συνέχεια, είναι σημαντικό να επισημανθεί η ψυχολογική διάσταση της επικοινωνίας με τους οδηγούς. Σύμφωνα με έρευνες που διενεργήθηκαν από τους Miller & Johnson (2018), προσεγγίσεις που επικεντρώνονται στη θετική ενίσχυση

και την αυτοεκτίμηση μπορούν να επιφέρουν θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη συμμόρφωση των οδηγών. Η ενθάρρυνση της θετικής συμπεριφοράς και η υποστήριξη της αυτοεκτίμησης των οδηγών μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της συνειδητοποίησης τους για τη σημασία της σωστής χρήσης των λεωφορειολωρίδων.

Επιπλέον, οι επικοινωνιακές προσεγγίσεις θα πρέπει να επικεντρώνονται στη δημιουργία ενός θετικού κλίματος γύρω από τους κανονισμούς και τη σημασία της τήρησής τους. Με την κατάλληλη επικοινωνία, μπορεί να διαμορφωθεί μια αίσθηση κοινωνικής υπευθυνότητας, προωθώντας τον σεβασμό προς τους κανονισμούς κυκλοφορίας και ενισχύοντας την αποτελεσματική λειτουργία των λεωφορειολωρίδων.

Τέλος, η συνεχής ενημέρωση και αξιολόγηση των μέτρων επικοινωνίας αποτελεί καθοριστικό στοιχείο. Με την συγκέντρωση δεδομένων σχετικά με την αποδοτικότητα των επικοινωνιακών προσεγγίσεων, είναι δυνατόν να προσαρμοστούν και να βελτιωθούν στοχευμένα τα εκπαιδευτικά μηνύματα και οι δράσεις, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες.

2.4 Σύνοψη

Η παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες αντιμετωπίζεται ως σημαντικό πρόβλημα στην αστική κυκλοφορία, έχοντας επιπτώσεις στην ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα των μεταφορικών συστημάτων και το περιβάλλον. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, **η ανάλυση των παραγόντων που συντελούν στην παραβατικότητα** αποκαλύπτει την ανάγκη για ολοκληρωμένες προτάσεις που θα βασίζονται σε διάφορες πτυχές, από τον σχεδιασμό υποδομής έως την κοινωνική ευαισθητοποίηση.

Ο **βελτιωμένος σχεδιασμός της υποδομής** αποτελεί κεντρική πτυχή για τη μείωση της παραβατικότητας. Η αναβάθμιση της σήμανσης, η διαχείριση σημείων εισόδου/εξόδου, και η βελτίωση του οδοστρώματος αποτελούν ζωτικά μέτρα. Επιπλέον, η ενίσχυση των μέσων παρακολούθησης μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο της συμμόρφωσης.

Η **συμμετοχή της κοινωνίας** αποτελεί βασική πτυχή για την επιτυχία των προτεινόμενων μέτρων. Εκπαιδευτικά προγράμματα που επικεντρώνονται στη σημασία της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς και στις επιπτώσεις της παραβατικότητας μπορούν να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση των πολιτών και να προωθήσουν θετική συμπεριφορά.

Η ενσωμάτωση της **καινοτομίας και της τεχνολογίας** αποτελεί ακόμη ένα κλειδί για την αντιμετώπιση της παραβατικότητας. Η χρήση εφαρμογών κινητών τηλεφώνων για ενημέρωση και παρακολούθηση, μαζί με την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων κυκλοφορίας, μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των μέτρων που λαμβάνονται.

Συνολικά, η εφαρμογή αυτών των προτάσεων απαιτεί **συνεργασία, συντονισμό** και δέσμευση από πολλούς φορείς, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ασφαλές και αποτελεσματικό σύστημα μεταφορών στις αστικές περιοχές.

3. Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εξήγηση της θεωρητικής βάσης που αποτέλεσε το υπόβαθρο για τη σύνταξη της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, θα επικεντρωθούμε σε ορισμένες κεντρικές στατιστικές έννοιες. Επιπλέον, θα εξετάσουμε λεπτομερώς τη βασική μέθοδο ανάλυσης που εφαρμόστηκε για την επεξεργασία των δεδομένων, συγκεκριμένα τη μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης.

Στη συνέχεια, θα δώσουμε έμφαση στη μεθοδολογία συλλογής των δεδομένων και στα κριτήρια που εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό της αποδοχής της προαναφερθείσας στατιστικής ανάλυσης. Μέσα από αυτήν τη διαδικασία, αναδεικνύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τη διασφάλιση της εγκυρότητας της στατιστικής ανάλυσης που υιοθετήθηκε.

3.2 Βασικές έννοιες στατιστικής

Το σύνολο των καθορισμένων στοιχείων του χαρακτηριστικού που αφορά τη στατιστική έρευνα ονομάζεται πληθυσμός (population). Ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός. Λόγω αδυναμίας εξέτασης του συνόλου του πληθυσμού μελετάται ένα υποσύνολο αυτού, το δείγμα (sample). Όλα τα στοιχεία που ανήκουν στο δείγμα ανήκουν και στον πληθυσμό χωρίς να ισχύει το αντίστροφο. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη μελέτη του δείγματος θα ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια για ολόκληρο τον πληθυσμό μόνο εάν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού.

Με τον όρο μεταβλητές (variables) εννοούνται τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν να μετρηθούν και να καταγραφούν σε ένα σύνολο ατόμων. Οι μεταβλητές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ποιοτικές μεταβλητές (qualitative variables): Είναι οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Η χρήση αριθμών για την παράσταση των τιμών μίας τέτοιας μεταβλητής είναι καθαρά συμβολική και δεν έχει την έννοια της μέτρησης.
- Ποσοτικές μεταβλητές (quantitative variables): Είναι οι μεταβλητές με τιμές αριθμούς, που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις διακριτές και τις συνεχείς.
 - Μια μεταβλητή θεωρείται διακριτή όταν η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορεί να έχουν δύο τιμές της, είναι σταθερή ποσότητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα θεωρείται ο αριθμός των ατυχημάτων σε ένα χρονικό διάστημα.
 - Ενώ, ορίζεται ως συνεχής όταν δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα, δηλαδή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε

τιμή σε ένα διάστημα τιμών. Για παράδειγμα τέτοια μεταβλητή μπορεί να θεωρηθεί η απόσταση, για την οποία η διαφορά ανάμεσα σε δύο τιμές θα μπορούσε να είναι χιλιόμετρα, μέτρα, δεκατόμετρα, εκατοστά, χιλιοστά.

Επίσης, δύο από τα πιο σημαντικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται στη στατιστική και υπάρχουν σε όλες τις κατανομές είναι η μέση τιμή και η διακύμανση. Ως μέση τιμή (E) ορίζεται το άθροισμα των τιμών δια το πλήθος αυτών.

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_v)}{v} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v x_i$$

Ενώ, ως διακύμανση (var) ορίζεται ο «μέσος όρος των τετραγώνων διαφορών από το μέσο όρο». Η διακύμανση είναι ίση με 0 εάν όλες οι τιμές της μεταβλητής είναι ίσες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση. Όταν η διακύμανση είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή, αυτό ονομάζεται υπερδιασπορά και είναι μεγαλύτερη από 1. Εάν είναι μικρότερη από 1 από αυτή είναι γνωστή ως υποδιαστολή.

$$S^2 = \frac{1}{v-1} \sum_{i=1}^v (x_i - \bar{x})^2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ($correlation\ coefficient$) εκφράζει τον βαθμό και τον τρόπο που δύο τυχαίες μεταβλητές συσχετίζονται. Οι τιμές που λαμβάνει είναι στο διάστημα $[-1, 1]$.

3.3 Βασικές μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης

Ο κλάδος της στατιστικής που εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να καθίσταται δυνατή η πρόβλεψη της μίας από τις υπόλοιπες, ονομάζεται ανάλυση παλινδρόμησης ($regression\ analysis$). Με τον όρο εξαρτημένη μεταβλητή εννοείται εκείνη της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ ο όρος ανεξάρτητη αποδίδεται στη μεταβλητή η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία, αλλά “καθοδηγείται” από την εξαρτημένη μεταβλητή. Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μία στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Παρακάτω αναλύεται η γραμμική παλινδρόμηση, η οποία περιέγραψε το δείγμα και έγινε αποδεκτή και η λογαριθμοκανονική, η οποία απορρίφθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων.

3.3.1 Γραμμική παλινδρόμηση

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής και ακολουθεί κανονική κατανομή, γίνεται χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης.

Κατά τη συγκεκριμένη μέθοδο γίνεται ο υπολογισμός της συνάρτησης χρησιμότητας κάποιου γεγονότος σε σχέση με παράγοντες που το επηρεάζουν, καταλήγοντας έτσι σε ένα γραμμικό μαθηματικό πρότυπο. Με βάση αυτό το μαθηματικό πρότυπο υπολογίζεται η πιθανότητα πραγματοποίησης του γεγονότος (πρότυπο πρόβλεψης πιθανότητας).

Όταν μια εξαρτημένη μεταβλητή εξαρτάται γραμμικά μόνο από μια ανεξάρτητη μεταβλητή γίνεται αναφορά σε απλή παλινδρόμηση, ενώ αν εξαρτάται από περισσότερες περιγράφεται από την πολλαπλή παλινδρόμηση.

3.3.1.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση (Simple Linear Regression)

Η μέθοδος δίνεται από την παρακάτω σχέση. Οι παράμετροι α και β προσδιορίζονται με σκοπό τη βέλτιστη περιγραφή της γραμμικής εξάρτησης της εξαρτημένης μεταβλητής y από την ανεξάρτητη μεταβλητή x . Κάθε ζεύγος των τιμών α και β καθορίζει και μια διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή. Ο σταθερός όρος α είναι η τιμή του y για x ίσο με το μηδέν, ενώ ο συντελεστής παλινδρόμησης β (regression coefficient) αποτελεί την κλίση της ευθείας. Η τυχαία μεταβλητή ϵ_i ονομάζεται σφάλμα παλινδρόμησης (regression error) και ορίζεται ως η διαφορά της y_i από τη δεσμευμένη μέση τιμή $E(Y|X=x_i)$.

$$y_i = \alpha + \beta \cdot x_i + \epsilon_i$$

3.3.1.2 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression)

Η παρακάτω εξίσωση αποτυπώνει τη συγκεκριμένη μέθοδο. Πριν την εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να γίνει έλεγχος εάν πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Δηλαδή να εξασφαλιστεί η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{1i} + \beta_2 \cdot x_{2i} + \dots + \beta_n \cdot x_{ni} + \epsilon_i$$

όπου:

y_i : η εξαρτημένη μεταβλητή

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης

$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$: οι ανεξάρτητες μεταβλητές

ϵ_i : το σφάλμα παλινδρόμησης

Οι παράμετροι εκτιμώνται με τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων (least squares method). Ο προσδιορισμός των συντελεστών β_i δίνει μια προσεγγιστική ευθεία που συνδέει τις τιμές της μεταβλητής Y , δοθέντων των τιμών της μεταβλητής X . Η ευθεία που προκύπτει ονομάζεται ευθεία παλινδρόμησης της Y πάνω στην X . Σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων (X, Y) από την ευθεία να είναι ελάχιστο.

3.3.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι και αυτή γραμμική. Στη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης. Υπολογίζονται από την ανάλυση της παλινδρόμησης με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων. Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

3.3.3 Κατανομή Poisson

Η κατανομή Poisson χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τον αριθμό των συμβάντων που συμβαίνουν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα, όταν τα συμβάντα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και συμβαίνουν με σταθερό ρυθμό. Ο μέσος ρυθμός, συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα λ , αντιπροσωπεύει τον αναμενόμενο αριθμό συμβάντων σε ένα διάστημα μονάδας (π.χ., ένα δευτερόλεπτο, μια ώρα, ένα τετράγωνο μέτρο).

Η πιθανοφάνεια μιας συγκεκριμένης τιμής k , δηλαδή το πλήθος των συμβάντων που συμβαίνουν, δίνεται από τον τύπο:

$$P(X = k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

Σε αυτήν την εξίσωση:

- e είναι η σταθερά Euler (περίπου 2.71828).
- λ είναι ο μέσος ρυθμός συμβάντων.
- k είναι ο αριθμός των συμβάντων που μας ενδιαφέρει.
- $k!$ είναι ο παραγωγικός του k .

Το μοντέλο Poisson είναι κατάλληλο όταν έχουμε σπάνια συμβάντα και η πιθανότητα τους είναι μικρή, αλλά υπάρχει μια σταθερή σχέση μεταξύ των συμβάντων και του χρόνου ή του χώρου.

Για παράδειγμα, αν μελετάμε τον αριθμό των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων που συμβαίνουν σε έναν δρόμο κάθε μέρα και ο μέσος αριθμός αυτών των ατυχημάτων είναι γνωστός, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την κατανομή Poisson για να υπολογίσουμε την πιθανότητα να συμβεί ένα συγκεκριμένο πλήθος ατυχημάτων σε μια συγκεκριμένη ημέρα.

3.4 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Τα κριτήρια βάσει των οποίων πραγματοποιείται η αξιολόγηση ενός μαθηματικού προτύπου μετά τη διαμόρφωσή του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i της εκάστοτε εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου καθώς και το σφάλμα της εξίσωσης.

3.4.1 Συντελεστές εξίσωσης

Σχετικά με τους συντελεστές της εξίσωσης της λογιστικής παλινδρόμησης ως κριτήριο αποδοχής του μοντέλου απαιτείται λογική ερμηνεία των προσήμων τους. Αρχικά, εξετάζεται το πρόσημο. Θετικό πρόσημο του συντελεστή β_i συνεπάγεται αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντιθέτως, αρνητικό πρόσημο δηλώνει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Επίσης, πρέπει να ερμηνεύεται λογικά και η τιμή του συντελεστή, καθώς αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής (x_i) κατά μία μονάδα οδηγεί σε αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής κατά β_i μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

3.4.2 Συσχέτιση παραμέτρων

Όταν ο συντελεστής συσχέτισης έχει τιμές κοντά στο «1» δηλώνουν ισχυρή θετική συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο «-1» δηλώνουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση και τιμές κοντά στο 0 δηλώνουν γραμμική ανεξαρτησία μεταξύ των δύο μεταβλητών. Στο μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόζεται, είναι αναγκαίο οι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές να μην εμφανίζουν συσχέτιση μεταξύ τους (correlation), καθώς αν δύο μεταβλητές είναι μεταξύ τους συσχετισμένες, έχουν δηλαδή correlation μεγαλύτερο από 0,5 ή -0,5 δυσκολεύει την εύρεση ακρίβειας της επιρροής τους στο μοντέλο.

3.4.3 Ελαστικότητα

Η ελαστικότητα αποτελεί δείκτη ο οποίος υποδεικνύει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Θεωρείται πιο σωστό να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί 1% μεταβολή της ανεξάρτητης. Για γραμμικά μοντέλα και συνεχείς μεταβλητές η ελαστικότητα εκφράζεται ως εξής:

$$e_i = \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \cdot \frac{X_i}{Y_i} = \beta_i \cdot \frac{X_i}{Y_i}$$

Για διακριτές μεταβλητές χρησιμοποιείται η έννοια της ψευδοελαστικότητας, η οποία περιγράφει τη μεταβολή στην τιμή της πιθανότητας επιλογής κατά τη μετάβαση από τη μία τιμή της διακριτής μεταβλητής στην άλλη. Η ψευδοελαστικότητα υπολογίζεται μέσω της παρακάτω μαθηματικής σχέσης:

$$E_{x_{ivk}}^{P_i} = e^{\beta_{ik}} \frac{\sum_{i=1}^I e^{\beta_i x_n}}{\sum_{i=1}^I e^{\Delta(\beta_i x_n)}} - 1, \text{ όπου:}$$

- I , το πλήθος των πιθανών επιλογών
- x_{ivk} , η τιμή της μεταβλητής k , για την εναλλακτική i , του ατόμου v
- $\Delta(\beta_i x_n)$, η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της x_{vk} έχει μεταβληθεί από 0 σε 1
- $\beta_i x_n$, η αντίστοιχη τιμή όταν η x_{ivk} έχει τιμή 0
- β_{ik} , η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής x_{vk}

3.4.4 Στατιστική Σημαντικότητα

Ένας από τους σημαντικότερους ελέγχους για την αξιολόγηση του προτύπου είναι ο έλεγχος t-test/ratio/stat (κριτήριο t κατανομής StudentStudent). Μέσω του δείκτη t-stat προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή η επιλογή των μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν στο τελικό πρότυπο. Ο t-ratio αναφέρεται σε καθεμιά από τις μεταβλητές ξεχωριστά. Ο δείκτης αυτός είναι στην ουσία το αποτέλεσμα της διαίρεσης της εκτιμώμενης για το συντελεστή τιμής δια της τυπικής απόκλισής της. Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέγεθος που παρουσιάζει τη συνέπεια με την οποία έχει υπολογιστεί η τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή. Ο συντελεστής t-stat εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

t-stat = β_i / s.e., όπου s.e. το τυπικό σφάλμα (standard error)

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η μείωση του τυπικού σφάλματος επιφέρει αύξηση του συντελεστή t-stat και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t-stat κατά απόλυτη τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Αν η επιρροή αυτή είναι σημαντική τότε η συγκεκριμένη μεταβλητή πρέπει να συμπεριληφθεί στην ανάπτυξη του μαθηματικού προτύπου. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να αποκλειστεί. Οι τιμές που μπορεί να πάρει κυμαίνονται από $-\infty$ έως $+\infty$. Στον πίνακα που παρατίθεται στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή t-stat για το εκάστοτε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Βαθμοί Ελευθερίας	Επίπεδο Εμπιστοσύνης				
	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
80	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Πίνακας 3.1 Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t της κατανομής Student

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, για επίπεδο εμπιστοσύνης 90%, οποιαδήποτε μεταβλητή έχει t-ratio πάνω από 1.282 μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σημαντική επιρροή στο μοντέλο.

3.4.5 Συντελεστής Προσαρμογής R^2

Η συνολική ποιότητα του μοντέλου ελέγχεται με τον συντελεστή προσαρμογής και ως κριτήριο καλής προσαρμογής χρησιμοποιείται ο συντελεστής R^2 . Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας μιας μεταβλητής από μια άλλη και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά στο 1 βρίσκεται η τιμή του R^2 , τόσο πιο ισχυρή είναι η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Συνήθως, η τιμή του R^2 , δεν ξεπερνά το 0.45. Ως εκ τούτου, εάν η τιμή του συντελεστή βρίσκεται πάνω από 0.2 θεωρείται στις περισσότερες περιπτώσεις αποδεκτή. Ο συντελεστής ορίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}, \text{ όπου:}$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 = \beta^2 * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε ένα θεωρητικό υπόβαθρο που κατέληξε στην επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης. Η μέθοδος που επιλέχθηκε ήταν η γραμμική παλινδρόμηση ως στατιστική μέθοδος ανάλυσης. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από επί τόπου μετρήσεις και τη στατιστική επεξεργασία αυτών με στόχο να διερευνηθούν οι παράγοντες παραβατικότητας των λεωφορειολωρίδων στην Αθήνα.

Πιο συγκεκριμένα, το κεφάλαιο αυτό διαιρείται σε δύο υποενότητες. Στην πρώτη, που αφορά τη συλλογή δεδομένων, αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες. Στη δεύτερη ενότητα, επεξεργάζονται τα δεδομένα των μετρήσεων και παρουσιάζονται σε συγκεντρωτικούς πίνακες και γραφήματα. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας προκύπτουν με τη χρήση του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R, ακολουθούμενα από τον αναγκαίο σχολιασμό. Τέλος, μέσω μιας διαδικασίας που θα αναλυθεί παρακάτω, επιτυγχάνεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας.

4.2 Συλλογή στοιχείων

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψε ότι έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες για την παραβατικότητα των λεωφορειολωρίδων σε διεθνές επίπεδο. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις επικεντρώνονται κυρίως στο σχεδιασμό και όχι στην αντιμετώπιση. Βέβαια, στην παρούσα εργασία ο στόχος είναι οι αιτίες της ήδη υπάρχουσας κατάστασης στην πόλη της Αθήνας.

4.2.1 Μετρήσεις 2021 και 2023

Όσον αφορά τη συλλογή των δεδομένων, χωρίζεται σε δύο στάδια: τις μετρήσεις του 2021 και τις μετρήσεις του 2023.

Από τη μία οι μετρήσεις του 2021 πραγματοποιήθηκαν επί τόπου στο πεδίο με οπτική παρακολούθηση από βοηθούς. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν στους κύριους οδικούς άξονες κατά τις ώρες αιχμής (πρωινές και μεσημεριανές ώρες) χωρίς την παρουσία ελέγχου.

Από την άλλη οι μετρήσεις του 2023 πραγματοποιήθηκαν ξανά με οπτική παρακολούθηση, ωστόσο είχαν τοποθετηθεί και κάμερες παρακολούθησης της κυκλοφορίας στους κύριους οδικούς άξονες της Αθήνας. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν στις 2/11/2023 και στις 24/11/2023 στα ίδια σημεία και τις ίδιες ώρες. Αξιοσημείωτο είναι πως τα αποτελέσματα των μετρήσεων του 2023 είναι επηρεασμένα από τις κάμερες παρακολούθησης.

Γενικά, οι κάμερες παρακολούθησης μπορούν να επηρεάσουν την παραβατικότητα των οδηγών με διάφορους τρόπους. Κυρίως, η παρουσία καμερών μπορεί να αποτρέψει τους οδηγούς από το να παραβιάσουν τους κανόνες κυκλοφορίας, καθώς γνωρίζουν ότι υπάρχει πιθανότητα να καταγραφούν και να τιμωρηθούν. Η αίσθηση παρακολούθησης μπορεί να λειτουργήσει αποτρεπτικά, μειώνοντας την παραβατικότητα.

Επίσης, οι κάμερες μπορούν να καταγράψουν παραβάσεις, όπως υπερβολική ταχύτητα, παραβίαση ερυθρού σηματοδότη ή παράνομη στάθμευση, επιτρέποντας στις αρχές να επιβάλουν πρόστιμα ή άλλες κυρώσεις. Η αύξηση της αποτελεσματικότητας στην επιβολή των νόμων μπορεί να μειώσει τη συχνότητα των παραβάσεων.

Ακόμα, παρέχουν αποδεικτικά στοιχεία σε περίπτωση ατυχημάτων ή παραβάσεων. Αυτό μπορεί να διευκολύνει την απονομή δικαιοσύνης και να επιβάλει κυρώσεις σε εκείνους που παραβαίνουν τους κανόνες.

Ειδικότερα, σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν πλέον ειδικές κάμερες τοποθετημένες με σκοπό την καταγραφή των οχημάτων που εισέρχονται παράνομα στις λεωφορειολωρίδες, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με το σύστημα αστυνόμευσης και επιβάλλεται πρόστιμο στους παραβάτες.

Η ανάλυση δεδομένων έδειξε πως όντως οι οδηγοί συμμορφώνονται περισσότερο υπό αυτές τις συνθήκες και δείχνουν μια καλύτερη οδηγική συμπεριφορά εξαιτίας του φόβου επιβολής κυρώσεων.

4.2.2 Διαδικασία καταγραφής δεδομένων

Πρωταρχικό βήμα της διαδικασίας συλλογής δεδομένων ήταν ο καθορισμός των οδικών αξόνων για τις επί τόπου μετρήσεις. Επιλέχθηκε πληθώρα οδών από τις οποίες δεν έλειπαν οι κύριοι οδικοί άξονες της Αθήνας που παρουσιάζουν και πιο συχνό πρόβλημα. Συγκεκριμένα, στις οδούς Φειδιππίδου, Κηφισίας, Αλεξάνδρας, Κυψέλης, Μαυρομματαίων, Παπαδιαμαντοπούλου, Βασιλίσσης Σοφίας, Σίνα, Σταδίου, Αμαλίας, Συγγρού, Λένορμαν, Ηπείρου, Πατησίων, Βασιλέως Κωνσταντίνου, Χαριλάου Τρικούπη, Ακαδημίας, Αθηνάς, Ερατοσθένους, Ιπποκράτους, Πειραιώς για τις μετρήσεις του 2021. Ενώ, για τις μετρήσεις του 2023 στις οδούς Λεωφόρος Μεσογείων - Φειδιππίδου, Λεωφόρος Κηφισίας, Λεωφόρος Αλεξάνδρας, Λεωφόρος Βασιλίσσης Σοφίας. Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις έγιναν και στα δύο ρεύματα της κυκλοφορίας όπου υπήρχαν.

Έπειτα, καθορίστηκαν οι ημέρες και ώρες των μετρήσεων οι οποίες ήταν Τρίτη 25 Μαΐου 2021, Τετάρτη 26 Μαΐου 2021, Παρασκευή 28 Μαΐου 2021, Δευτέρα 31 Μαΐου 2021, Τρίτη 1 Ιουνίου 2021, Τετάρτη 2 Ιουνίου 2021, Δευτέρα 14 Ιουνίου 2021 και Πέμπτη 2 Νοεμβρίου 2023, Παρασκευή 24 Νοεμβρίου 2023. Όπως φαίνεται οι ημέρες ήταν καθημερινές και οι ώρες μέτρησης ήταν ώρες αιχμής πρωινές, μεσημεριανές και απογευματινές. Η κάθε μία διήρκεσε 3 ώρες με

περιόδους των 45 λεπτών και 15 λεπτά περιθώριο για μετάβαση στην επόμενη θέση. Επίσης, ήταν υποδιαιρούμενες σε 15 υποδιαστήματα των 3 λεπτών. Επισημαίνεται πως κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν υπήρχε κάποιο περιστατικό που να επηρέασε την κυκλοφορία όπως εργασίες, ατύχημα, διαδηλώσεις ή απεργίες.

Ακολούθως, ξεκίνησε η διαδικασία καταγραφής όλων των οχημάτων που εισχωρούσαν στις λωρίδες αποκλειστικής χρήσης λεωφορείων, τα οποία χωρίστηκαν σε 6 κατηγορίες: ΤΑΞΙ, Αυτοκίνητα Ι.Χ., Αστικά λεωφορεία, Λεωφορεία, Φορτηγά, Μοτοσυκλέτες, Ποδήλατα/ηλεκτρικά πατίνια.

Από αυτά ΤΑΞΙ, Αυτοκίνητα Ι.Χ. και Φορτηγά λαμβάνονται σαν παράνομα, ενώ τα Αστικά λεωφορεία, Λεωφορεία, Μοτοσυκλέτες, Ποδήλατα/ηλεκτρικά πατίνια νόμιμα.

4.3 Επεξεργασία δεδομένων

Στο επόμενο βήμα που ακολουθεί απαιτήθηκε η δημιουργία μιας ενιαίας βάσης δεδομένων με τη χρήση του προγράμματος Excel. Σε αυτή παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που λήφθηκαν υπόψη τόσο για τις μετρήσεις όσο και για την επεξεργασία των δεδομένων.

4.3.1 Βάση δεδομένων

Η βάση δεδομένων είναι ένας πίνακας που αποτελείται από 14 παραμέτρους (στήλες), οι οποίες είναι:

- Ημερομηνία (Date): η ημερομηνία της μέτρησης
- Οδός (Street): η οδός της μέτρησης
- Τμήμα (Segment): το οδικό τμήμα (κομμάτι της οδού) που λήφθηκε υπόψη
- Κατεύθυνση (Direction): η κατεύθυνση του ρεύματος κυκλοφορίας (διαχωρισμός από/προς κέντρο)
- Ώρα (Time): η περίοδος των 45 λεπτών που έγινε η μέτρηση
- Χρονικό Κομμάτι (Time Slot): υποδιάστημα 3 λεπτών της περιόδου μέτρησης (σύνολο 15 ανά περίοδο)
- Τύπος Οχήματος (Vehicle Type): είδος οχήματος (διαχωρισμός σε 6 κατηγορίες ΤΑΞΙ, Αυτοκίνητα Ι.Χ., Αστικά λεωφορεία, Λεωφορεία, Φορτηγά, Μοτοσυκλέτες, Ποδήλατα/ηλεκτρικά πατίνια)
- Εντός Αθηνών (Inside Athens): ο διαχωρισμός αν το σημείο της μέτρησης είναι εντός ή εκτός της Αθήνας (λήφθηκαν υπόψη μόνο μετρήσεις εντός της Αθήνας)
- Πλήθος (Count): πλήθος οχημάτων που εισήλθαν στις λεωφορειολωρίδες
- Παράβαση (Violation): ύπαρξη παράβασης ή μη
- Μήκος (Length): μήκος οδικού τμήματος μέτρησης
- Λωρίδες (Lanes): αριθμός λωρίδων οδικού τμήματος μέτρησης
- Πλήθος Παραβάσεων (Count of Violations): αριθμός οχημάτων που εισέρχονται παράνομα στις λεωφορειολωρίδες

- Χρονική Περίοδος Της Ημέρας (Time of Day): χρονική περίοδος ημέρας μέτρησης (διαχωρισμός σε πρωί ή μεσημέρι)

Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ο ακόλουθος πίνακας για όλες τις μετρήσεις:

Date - Street	Segment	Direction	Time	Time slot	Vehicle type	Inside Athens	Court	Violation	Length	Lanes	Count violation	Time of day
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	1 Taxi	1 Cars	Yes	2	1	0.55	4	2	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	1 Cars	1 Cars	Yes	2	1	0.55	4	2	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	1 Buses public	1 Buses public	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	1 Trucks	1 Trucks	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	1 PTWs	1 PTWs	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	1 Bicycles/scooters	1 Bicycles/scooters	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 Taxi	2 Taxi	Yes	1	1	0.55	4	1	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 Cars	2 Cars	Yes	3	1	0.55	4	3	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 Buses public	2 Buses public	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 Buses	2 Buses	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 Trucks	2 Trucks	Yes	0	1	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 PTWs	2 PTWs	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	2 Bicycles/scooters	2 Bicycles/scooters	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 Taxi	3 Taxi	Yes	1	1	0.55	4	1	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 Cars	3 Cars	Yes	8	1	0.55	4	8	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 Buses public	3 Buses public	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 Buses	3 Buses	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 Trucks	3 Trucks	Yes	1	1	0.55	4	1	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 PTWs	3 PTWs	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	3 Bicycles/scooters	3 Bicycles/scooters	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 Taxi	4 Taxi	Yes	3	1	0.55	4	3	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 Cars	4 Cars	Yes	6	1	0.55	4	6	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 Buses public	4 Buses public	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 Buses	4 Buses	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 Trucks	4 Trucks	Yes	1	1	0.55	4	1	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 PTWs	4 PTWs	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	4 Bicycles/scooters	4 Bicycles/scooters	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 Taxi	5 Taxi	Yes	4	1	0.55	4	4	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 Cars	5 Cars	Yes	3	1	0.55	4	3	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 Buses public	5 Buses public	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 Buses	5 Buses	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 Trucks	5 Trucks	Yes	0	1	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 PTWs	5 PTWs	Yes	2	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	5 Bicycles/scooters	5 Bicycles/scooters	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 Taxi	6 Taxi	Yes	1	1	0.55	4	1	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 Cars	6 Cars	Yes	10	1	0.55	4	10	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 Buses public	6 Buses public	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 Buses	6 Buses	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 Trucks	6 Trucks	Yes	0	1	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 PTWs	6 PTWs	Yes	2	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	6 Bicycles/scooters	6 Bicycles/scooters	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Taxi	7 Taxi	Yes	3	1	0.55	4	3	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Cars	7 Cars	Yes	8	1	0.55	4	8	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Buses public	7 Buses public	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Buses	7 Buses	Yes	0	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Trucks	7 Trucks	Yes	1	1	0.55	4	1	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 PTWs	7 PTWs	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Bicycles/scooters	7 Bicycles/scooters	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning
25/5/2021 Fedipidou	Mihalakopoulou-Kifissias	towards downtown	07:34:08-19	7 Cars	7 Cars	Yes	1	0	0.55	4	0	0 Morning

Πίνακας 4.1 Βάση δεδομένων

Έτσι, μπορούμε για κάθε υποδιάστημα να γνωρίζουμε πόσα οχήματα (νόμιμα ή παράνομα) εισήλθαν στις λωφορειολωρίδες.

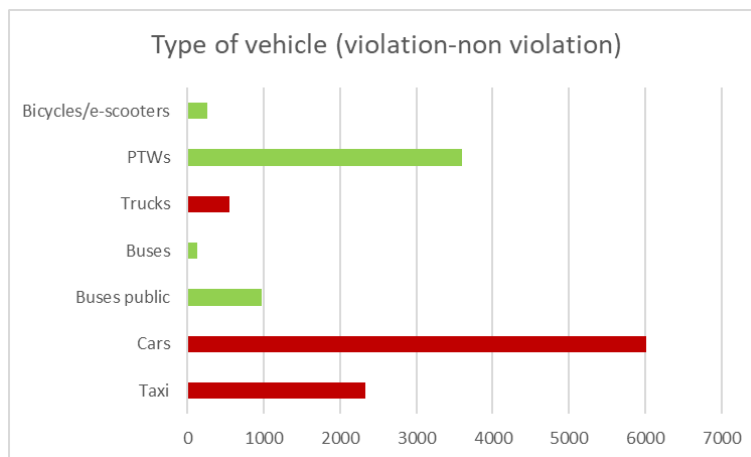
4.3.2 Περιγραφικά στοιχεία δεδομένων

Στη συνέχεια απεικονίζονται περιγραφικά στοιχεία των δεδομένων και διαγράμματα από τα οποία έγινε μια πρώτη ανάλυση και εκτίμηση πριν τη διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 2021

Type of vehicle	Counts	Violation
Taxi	2326	16.79% Yes
Cars	6013	43.41% Yes
Buses public	976	7.05% No
Buses	132	0.95% No
Trucks	547	3.95% Yes
PTWs	3602	26.00% No
Bicycles/e-scooters	256	1.85% No
Sum	13852	100.00%

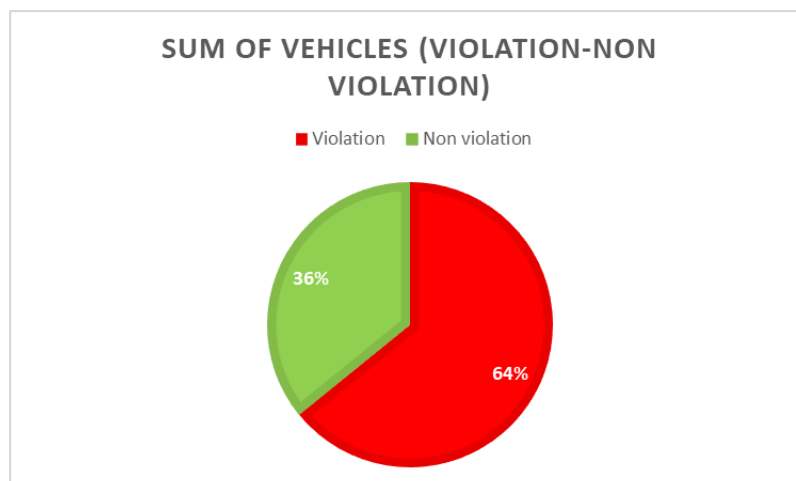
Πίνακας 4.2 Είδος οχήματος (παράβαση – μη παράβαση) 2021



Διάγραμμα 4.1 Είδος οχήματος (παράβαση – μη παράβαση) 2021

Violation	Counts	Violation
Violation	8886	64.15%
Non violation	4966	35.85%
Sum	13852	100.00%

Πίνακας 4.3 Σύνολο οχημάτων (παράβαση – μη παράβαση) 2021



Διάγραμμα 4.2 Σύνολο οχημάτων (παράβαση – μη παράβαση) 2021

Time of day	Violation	Non_violation	Counts
Morning	5376	2679	8055
Afternoon	3510	2287	5797

Πίνακας 4.4 Ώρα ημέρας (παράβαση – μη παράβαση) 2021

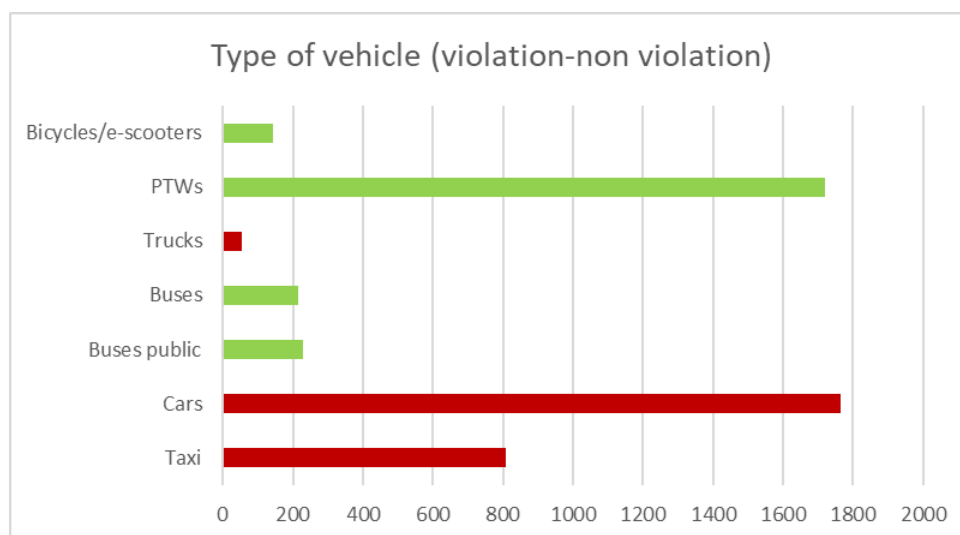


Διάγραμμα 4.3 Ώρα ημέρας (παράβαση – μη παράβαση) 2021

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 2023

Type of vehicle	Counts		Violation
Taxi	807	16.36%	Yes
Cars	1765	35.78%	Yes
Buses public	228	4.62%	No
Buses	214	4.34%	No
Trucks	55	1.11%	Yes
PTWs	1719	34.85%	No
Bicycles/e-scooters	145	2.94%	No
Sum	4933	100.00%	

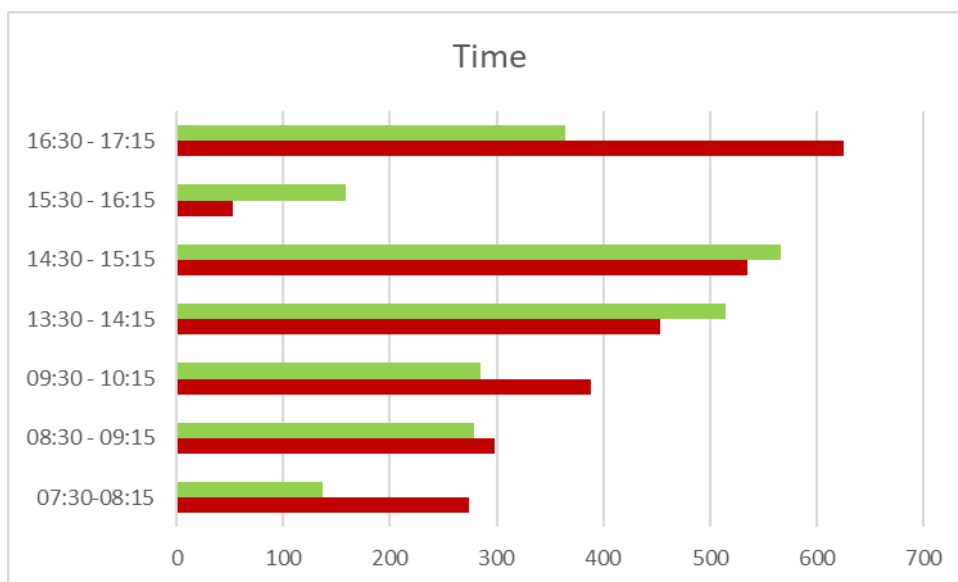
Πίνακας 4.5 Είδος οχήματος (παράβαση – μη παράβαση) 2023



Διάγραμμα 4.4 Είδος οχήματος (παράβαση – μη παράβαση) 2023

Time	Counts	Counts_violation	Non_violation
07:30-08:15	411	274	137
08:30 - 09:15	577	298	279
09:30 - 10:15	673	388	285
13:30 - 14:15	968	453	515
14:30 - 15:15	1102	535	567
15:30 - 16:15	212	53	159
16:30 - 17:15	990	626	364

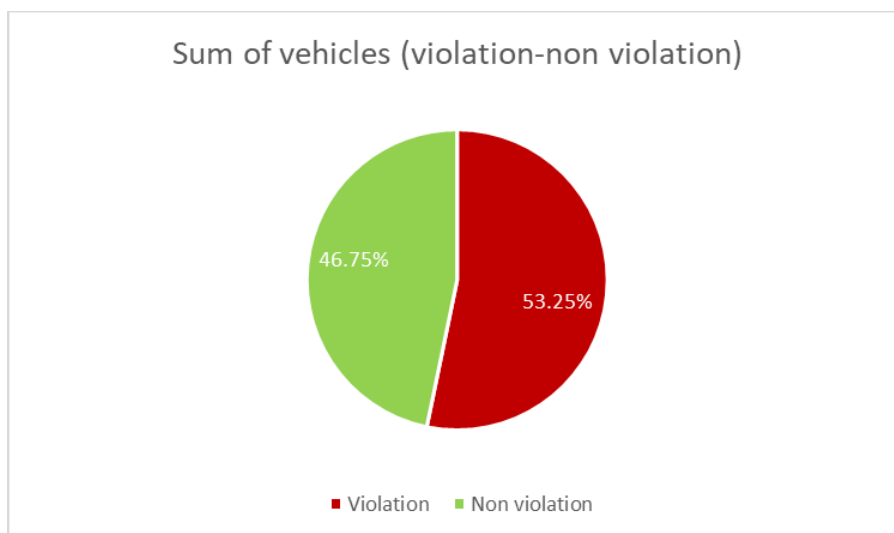
Πίνακας 4.6 Περίοδος (παράβαση – μη παράβαση) 2023



Διάγραμμα 4.5 Περίοδος (παράβαση – μη παράβαση) 2023

Sum of vehicles	Counts	
Violation	2627	53.25%
Non violation	2306	46.75%
Sum	4933	100.00%

Πίνακας 4.7 Σύνολο οχημάτων (παράβαση – μη παράβαση) 2023



Διάγραμμα 4.6 Σύνολο οχημάτων (παράβαση – μη παράβαση) 2023

Street	Direction	Counts_violation	Non_violation
L. Mesogeion - Feidipidou	towards downtown	274	137
L.Kifisias	from downtown	298	279
	towards downtown	388	285
L. Alexandras	from downtown	453	515
	towards downtown	535	567
L. Vas. Sofias	from downtown	53	159
	towards downtown	626	364

Πίνακας 4.8 Οδικό τμήμα (παράβαση – μη παράβαση) 2023



Διάγραμμα 4.7 Οδικό τμήμα (παράβαση – μη παράβαση) 2023

Time of day	Violation	Non_violation	Counts
Morning	960	701	1661
Afternoon	1667	1605	3272

Πίνακας 4.9 Ώρα ημέρας (παράβαση – μη παράβαση) 2023

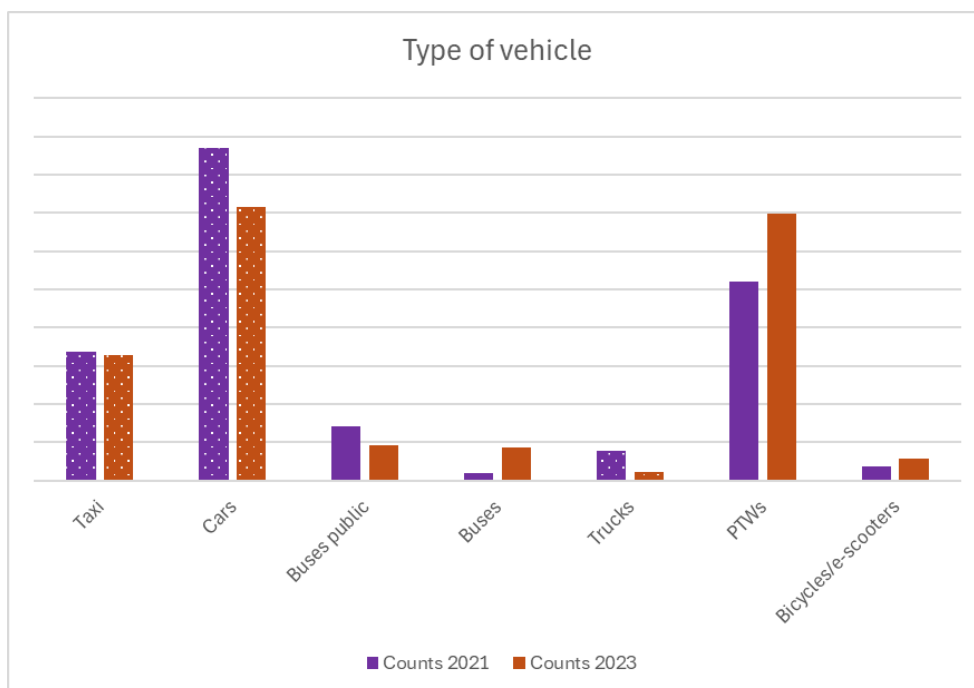


Διάγραμμα 4.8 Ώρα ημέρας (παράβαση – μη παράβαση) 2023

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΤΩΝ 2021 -2023

Type of vehicle	Counts 2021	Counts 2021	Counts 2023	Counts 2023	Violation
Taxi	2326	16.79%	807	16.36%	Yes
Cars	6013	43.41%	1765	35.78%	Yes
Buses public	976	7.05%	228	4.62%	No
Buses	132	0.95%	214	4.34%	No
Trucks	547	3.95%	55	1.11%	Yes
PTWs	3602	26.00%	1719	34.85%	No
Bicycles/e-scooters	256	1.85%	145	2.94%	No
Sum	13852	100.00%	4933	100.00%	

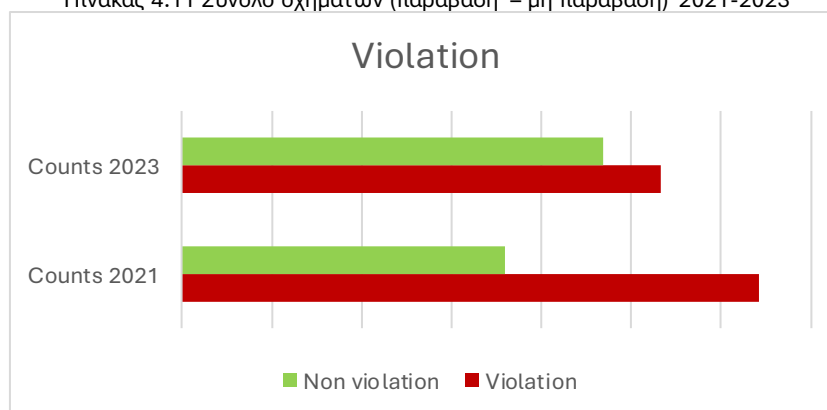
Πίνακας 4.10 Είδος οχήματος (παράβαση – μη παράβαση) 2021-2023



Διάγραμμα 4.9 Είδος οχήματος (παράβαση – μη παράβαση) 2021-2023

Violation	Counts 2021	Counts 2021	Counts 2023	Counts 2023
Violation	8886	64.15%	2627	53.25%
Non violation	4966	35.85%	2306	46.75%
Sum	13852	100.00%	4933	100.00%

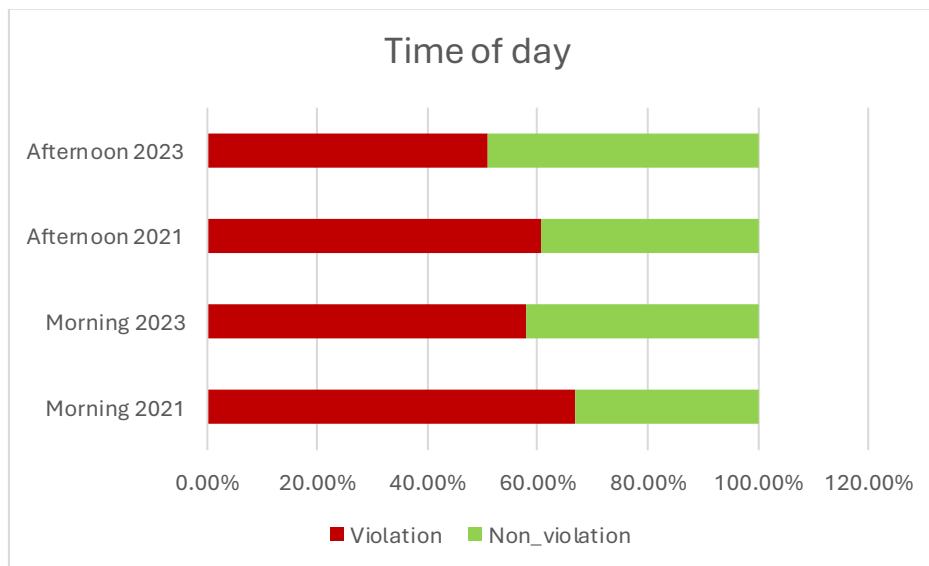
Πίνακας 4.11 Σύνολο οχημάτων (παράβαση – μη παράβαση) 2021-2023



Πίνακας 4.10 Σύνολο οχημάτων (παράβαση – μη παράβαση) 2021-2023

Time of day	Violation	Non_violation
Morning 2021	66.74%	33.26%
Morning 2023	57.80%	42.20%
Afternoon 2021	60.55%	39.45%
Afternoon 2023	50.95%	49.05%

Πίνακας 4.12 Ωρα ημέρας (παράβαση – μη παράβαση) 2021-2023



Πίνακας 4.11 Ωρα ημέρας (παράβαση – μη παράβαση) 2021-2023

4.3.3 Γενικά σχόλια - παρατηρήσεις

Μετά από μία εξέταση των ανωτέρω στοιχείων και διαγραμμάτων διαπιστώθηκαν τα εξής:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 2021

- Κατά το έτος 2021 τα επιβατικά Ι.Χ. και ΤΑΞΙ αποτελούν παραπάνω από τα μισά οχήματα (περίπου 65%), το οποίο υποδηλώνει την μη τήρηση των κανόνων από τους οδηγούς
- Τα επιβατικά Ι.Χ., αν και είναι η πιο πολυάριθμη κατηγορία, έχουν επίσης και τις περισσότερες παραβάσεις, κάτι που μπορεί να υποδεικνύει είτε τη μεγάλη χρήση τους είτε χαμηλή συμμόρφωση με τους κανόνες κυκλοφορίας.
- Τα ταξί παρουσιάζουν σημαντικό ποσοστό παραβάσεων υποδεικνύοντας πιθανώς την ανάγκη για πιο αυστηρούς ελέγχους σε αυτή την κατηγορία.
- Τα φορτηγά, παρά το μικρότερο ποσοστό τους, καταγράφουν επίσης παραβάσεις, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει προβλήματα στην τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας από τους οδηγούς φορτηγών
- Το ποσοστό των μη παραβάσεων (36%) είναι σχετικά χαμηλό, υποδεικνύοντας ότι λιγότερο από το ένα τρίτο των οχημάτων τηρεί τους κανόνες κυκλοφορίας εντός των λεωφορειολωρίδων

- Οι παραβάσεις είναι περισσότερες το πρωί από ό,τι το απόγευμα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η αυξημένη κυκλοφορία, το άγχος και η βιασύνη των οδηγών να φτάσουν στη δουλειά τους το πρωί.
- Το υψηλότερο ποσοστό παραβάσεων το πρωί υποδηλώνει ότι χρειάζεται αυξημένη επιτήρηση και έλεγχος κατά τις πρωινές ώρες.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 2023

- Τα αυτοκίνητα είναι η πιο πολυάριθμη κατηγορία και έχουν επίσης υψηλό ποσοστό παραβάσεων
- Οι ώρες αιχμής, όπως 07:30 - 08:15 και 16:30 - 17:15, παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά παραβάσεων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε βιασύνη ή άγχος των οδηγών κατά την έναρξη και το τέλος της εργάσιμης ημέρας
- Η περίοδος από 15:30 - 16:15 παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερα ποσοστά παραβάσεων, πιθανώς λόγω μειωμένης κυκλοφορίας ή λιγότερο αγχωμένων οδηγών

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 2021-2023

- Σχετικά με την εξέλιξη από το 2021 στο 2023 η σημαντική κατηγορία παραβατικότητας (επιβατικά Ι.Χ.) παρουσίασαν μείωση, ωστόσο τα ΤΑΞΙ δείχνουν σταθερά σε παρόμοιο ποσοστό
- Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, φαίνεται ότι υπήρξε μια γενική τάση ως προς το σύνολο των οχημάτων για μείωση των παραβάσεων από το 2021 στο 2023, αν και η παραβατικότητα παραμένει υψηλή
- Γενικά, ενώ στο 2021 η παραβατικότητα κατά τις πρωινές ώρες φαίνεται αισθητά μεγαλύτερη, το 2023 φαίνεται σταθερή όλες τις ώρες σε παρόμοια ποσοστά

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας - Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιλαμβάνονται λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή της μεθοδολογίας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Μετά από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικών μελετών, την παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων και την περιγραφή της διαδικασίας συλλογής και επεξεργασίας αυτών, επιλέχθηκε η κατάλληλη μεθοδολογία.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την ανάλυση των στατιστικών δεδομένων της εργασίας είναι η γραμμική παλινδρόμηση (linear regression), η οποία περιεγράφηκε λεπτομερώς στο κεφάλαιο 3 με τίτλο «Θεωρητικό Υπόβαθρο».

Η χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης έγινε για την ανάπτυξη δύο μοντέλων:

- το πρώτο μοντέλο αφορά τις μετρήσεις του 2021
- το δεύτερο μοντέλο αφορά τις μετρήσεις του 2023

Ειδικότερα, αυτό το κεφάλαιο περιγράφει λεπτομερώς τη διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζει τη διαδικασία ανάπτυξης των κατάλληλων μοντέλων. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα ζητήματα αξιοπιστίας των δεδομένων και στις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπισή τους. Ένα ουσιαστικό μέρος των αποτελεσμάτων είναι οι στατιστικοί έλεγχοι που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μεθοδολογιών, μαζί με την περιγραφή τους και την ερμηνεία τους στο πλαίσιο της γενικότερης έρευνας.

5.2 Πρωταρχικά στάδια κώδικα - έλεγχος συσχέτισης μεταβλητών

Ο κώδικας ξεκινά με την εκκαθάριση της κονσόλας χρησιμοποιώντας την εντολή `cat("\014")`. Στη συνέχεια, φορτώνει τη βιβλιοθήκη `readxl` για την ανάγνωση αρχείων Excel. Ακολούθως, διαβάζει το αρχείο Excel `"pt_BusLanes_2021.xlsx"` ή `"pt_BusLanes_2023.xlsx"` αντίστοιχα από τη συγκεκριμένη διαδρομή και αποθηκεύει τα δεδομένα στο dataframe `pt_BusLanes_2023`, το οποίο στη συνέχεια αντιγράφεται στο `Data` για ευκολία χρήσης. Η εντολή `View(Data)` ανοίγει ένα νέο παράθυρο για να προβάλει τα δεδομένα και να επιτρέψει έναν οπτικό έλεγχο.

Αμέσως μετά, χρησιμοποιείται η συνάρτηση `str(Data)` για να εμφανίσει τη δομή του dataframe. Αυτή η συνάρτηση δείχνει τον τύπο και τα πρώτα στοιχεία κάθε στήλης, δίνοντας μια γρήγορη επισκόπηση της δομής των δεδομένων. Ο έλεγχος για κενές τιμές (NA) πραγματοποιείται με τη συνάρτηση `colSums(is.na(Data))`, η

οποία υπολογίζει και εμφανίζει τον αριθμό των κενών τιμών σε κάθε στήλη, εξασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχουν απώλειες δεδομένων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάλυση.

Στη συνέχεια, ο κώδικας μετατρέπει ορισμένες αριθμητικές μεταβλητές σε κατηγορικές (factors) χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `as.factor()`. Αυτές οι μεταβλητές είναι `Street`, `Segment`, `Direction`, `Time`, `Time_slot`, `Vehicle_type`, `Inside_Athens`, `Count`, `Violation`, και `Time_of_day`. Η μετατροπή αυτή είναι σημαντική, καθώς κάποιες αριθμητικές τιμές στην πραγματικότητα αναπαριστούν κατηγορίες και όχι ποσότητες, και πρέπει να αντιμετωπίζονται κατάλληλα στις αναλύσεις που ακολουθούν.

Τέλος, πραγματοποιείται έλεγχος συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Πρώτα, δημιουργείται ένα νέο dataframe `Data_numeric` που περιέχει μόνο τις αριθμητικές στήλες του αρχικού dataframe `Data` χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `sapply(Data, is.numeric)`. Στη συνέχεια, η συνάρτηση `cor(Data_numeric, method = c("pearson"))` υπολογίζει τη συσχέτιση Pearson μεταξύ αυτών των αριθμητικών στηλών, αποκαλύπτοντας πόσο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση μεταξύ κάθε ζεύγους μεταβλητών. Η ίδια ανάλυση πραγματοποιείται επίσης με έναν εναλλακτικό τρόπο επιλογής των αριθμητικών στηλών, χρησιμοποιώντας την `cor(Data[,unlist(lapply(Data, is.numeric))])`.

Πριν από τη δημιουργία των μοντέλων για τον εντοπισμό των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα, είναι σημαντικό να εξεταστεί η συσχέτιση των μεταβλητών. Στόχος είναι να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς και η μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Αν η απόλυτη τιμή της γραμμικής συσχέτισης δύο μεταβλητών πλησιάζει το 1, σημαίνει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση, ενώ αν είναι κοντά στο 0, υποδηλώνει μηδενική συσχέτιση. Στην πράξη, όταν η απόλυτη τιμή του δείκτη συσχέτισης Pearson είναι μικρότερη ή ίση με 0.5-0.6, οι μεταβλητές θεωρούνται ότι έχουν ασθενή συσχέτιση.

Με αυτές τις ενέργειες, ο κώδικας προετοιμάζει τα δεδομένα και εξασφαλίζει ότι είναι κατάλληλα δομημένα και απαλλαγμένα από προβλήματα για την επόμενη φάση της ανάλυσης.

5.3 Ανάπτυξη μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R

Για τον προσδιορισμό των κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα, χρησιμοποιήθηκε η γραμμική παλινδρόμηση. Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης R γίνεται μέσω συγκεκριμένων εντολών.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης στο R, χρησιμοποιείται η συνάρτηση `lm()`. Η εντολή έχει τη μορφή `lm(formula, data)`, όπου το `formula` είναι το σύμβολο που παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών, δηλαδή την εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης, και το `data` είναι το σύνολο δεδομένων που περιέχει τις τιμές αυτών των μεταβλητών.

5.4 Επεξήγηση αποτελεσμάτων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R

- **Residuals (Υπολοίποι):** Οι υπολοίποι είναι οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών τιμών παραβάσεων και των τιμών που προβλέπονται από το μοντέλο. Όταν ο υπόλοιπος είναι μικρός, σημαίνει ότι το μοντέλο μπορεί να προβλέπει με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρούμενες τιμές. Αυτό είναι θετικό, καθώς υποδεικνύει ότι το μοντέλο είναι αποτελεσματικό στην πρόβλεψη των δεδομένων.
- **Coefficients (Συντελεστές):** Οι συντελεστές αναπαριστούν την εκτιμώμενη επίδραση κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή. Όταν ο συντελεστής είναι θετικός, σημαίνει ότι η αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνδέεται με αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής. Αντίστροφα, όταν είναι αρνητικός, μια αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνδέεται με μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής.
 - **Estimate (Εκτιμώμενη τιμή):** Η εκτιμώμενη τιμή είναι η εκτίμηση της επίδρασης κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή. Αν η εκτιμώμενη τιμή είναι θετική, αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνδέεται με αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής. Αν είναι αρνητική, συνδέεται με μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής.
 - **Std. Error (Τυπικό σφάλμα):** Το τυπικό σφάλμα είναι η εκτίμηση της αβεβαιότητας γύρω από την εκτιμώμενη τιμή. Ένα μικρότερο τυπικό σφάλμα υποδεικνύει ότι η εκτιμώμενη τιμή είναι πιο ακριβής και πιο σταθερή.
 - **t value (t-τιμή):** Η t-τιμή μας δείχνει πόσο μακριά είναι η εκτιμώμενη τιμή από το μηδέν σε μονάδες του τυπικού σφάλματος. Ένα μεγαλύτερο απόλυτο τιμής t υποδεικνύει μεγαλύτερη σημαντικότητα της αντίστοιχης ανεξάρτητης μεταβλητής.
 - **Pr(>|t|) (p-value):** Το p-value αξιολογεί τη σημαντικότητα του συντελεστή τους σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή. Ένα χαμηλό p-value (συνήθως < 0.05) υποδεικνύει ότι ο συντελεστής είναι στατιστικά σημαντικός, δηλαδή η ανεξάρτητη μεταβλητή έχει σημαντική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή.

- **Residual standard error (Παραμέτρου του υπολοίπου):** Είναι η εκτιμώμενη τυπική απόκλιση των υπολοίπων. Μια χαμηλή τιμή υποδεικνύει ότι το μοντέλο μπορεί να προβλέψει τις παρατηρούμενες τιμές με σχετικά μικρό σφάλμα, δείχνοντας ότι είναι ακριβές.
- **Multiple R-squared (Πολλαπλό R-τετραγωνικό):** Το πολλαπλό R-τετραγωνικό μετρά το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Ένα υψηλότερο ποσοστό υποδεικνύει ότι το μοντέλο μπορεί να εξηγήσει περισσότερο από τη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής.
- **Adjusted R-squared (Προσαρμοσμένο R-τετραγωνικό):** Το προσαρμοσμένο R-τετραγωνικό λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο. Χρησιμοποιείται για να διαπιστώσουμε αν η προσθήκη νέων μεταβλητών βελτιώνει την προσαρμογή του μοντέλου χωρίς να προκαλεί υπερπροσαρμογή.

5.5 Μοντέλο 1: Παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα κατά το έτος 2021

5.5.1 Ανάπτυξη μοντέλου

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την ανάλυση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα βασίζεται σε γραμμική παλινδρόμηση και χρησιμοποιεί τα ακόλουθα δεδομένα: Lanes (Αριθμός λωρίδων), Length (Μήκος λεωφορειολωρίδας), Vehicle_type (Τύπος οχήματος) και Time_of_day (Χρονική περίοδος της ημέρας).

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει το μοντέλο είναι η εξής:

$$\text{Count_violation} = -1.743 + 0.2185 \cdot \text{Lanes} + 0.6063 \cdot \text{Length} + 6.476 \cdot \text{Vehicle_typeCars} + 3.837 \cdot \text{Vehicle_typeTaxi} + 0.4598 \cdot \text{Vehicle_typeTrucks} + 1.208 \cdot \text{Time_of_dayMorning}$$

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Call:

```
lm(formula = Count_violation ~ Lanes + Length + Vehicle_type + Time_of_day, data = Data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-6.688	-1.212	-0.145	0.845	32.706

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-1.743e+00	2.173e-01	-8.021	1.49e-15	***
Lanes	2.185e-01	5.625e-02	3.884	0.000105	***
Length	6.063e-01	7.873e-02	7.701	1.82e-14	***
Vehicle_typeBuses	3.305e-15	2.042e-01	0.000	1.000000	
Vehicle_typeBuses public	3.639e-14	2.042e-01	0.000	1.000000	

vehicle_typeCars	6.476e+00	2.042e-01	31.706	< 2e-16	***
vehicle_typePTws	1.770e-15	2.042e-01	0.000	1.000000	
vehicle_typeTaxi	3.837e+00	2.042e-01	18.785	< 2e-16	***
vehicle_typeTrucks	4.598e-01	2.042e-01	2.251	0.024452	*
Time_of_dayMorning	1.208e+00	1.138e-01	10.614	< 2e-16	***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.012 on 3035 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.4153, Adjusted R-squared: 0.4135
 F-statistic: 239.5 on 9 and 3035 DF, p-value: < 2.2e-16

5.5.2 Ποιότητα μοντέλου

Η ανάλυση του μοντέλου βασίζεται στα εξής στατιστικά χαρακτηριστικά:

- **Συντελεστής συσχέτισης R^2 :** Ο R^2 του μοντέλου σας είναι 0.4153, που είναι αρκετά ικανοποιητικός για να εξηγήσει το 41.53% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (Count_violation).
- **t-test:** Οι τιμές t-test για τις ανεξάρτητες μεταβλητές δείχνουν ότι είναι σημαντικές, καθώς έχουν t-test που υπερβαίνουν την τιμή 1,2, ενώ τα αντίστοιχα p-values είναι χαμηλά (πιθανότητα < 0.05), υποδεικνύοντας στατιστική σημαντικότητα.
- **Επίπεδο σημαντικότητας:** Οι ανεξάρτητες μεταβλητές και η σταθερά έχουν πιθανώς επίπεδα σημαντικότητας μικρότερα από 0.1, καθώς τα p-values είναι χαμηλά, πιθανώς < 0.05.
- **Συντελεστές (βι) και σταθερός όρος:** Οι συντελεστές και ο σταθερός όρος του μοντέλου είναι αρκετά μικροί, δείχνοντας ότι οι αλλαγές στις ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν μια λογική και αναμενόμενη επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή.
- **Λογική των μεταβλητών και πρόσημά τους:** Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο εξηγούνται με βάση τη λογική της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες, όπως ο αριθμός των λωρίδων, το μήκος της λεωφορειολωρίδας, ο τύπος οχήματος και η χρονική περίοδος της ημέρας.

5.5.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- **Σταθερά (Intercept):** Η εκτιμώμενη τιμή της παραβατικότητας όταν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι μηδενικές είναι -1.743. Αυτό σημαίνει ότι αν όλες οι άλλες μεταβλητές είναι στις αναφερόμενες τιμές τους, αναμένουμε μια παραβατικότητα κοντά σε αυτή την τιμή.

- **Αριθμός Λωρίδων (Lanes):** Κάθε αύξηση κατά μια μονάδα στον αριθμό των λωρίδων συσχετίζεται με αύξηση 0.2185 μονάδων στην παραβατικότητα. Το πρόσημο (θετικό) του συντελεστή υποδηλώνει ότι περισσότερες λωρίδες μπορεί να συνδέονται με μεγαλύτερη παραβατικότητα, ίσως λόγω αυξημένου κινδύνου ατυχημάτων ή αγωνιστικής οδήγησης. Αυτό υποδηλώνει ότι οι λωρίδες επηρεάζουν την οδήγηση και την παραβατικότητα, πιθανώς λόγω της αλλαγής στην κυκλοφορία και της αυξημένης πιθανότητας ατυχημάτων σε συμπυκνωμένες οδικές συνθήκες.
- **Μήκος Διαδρομής (Length):** Κάθε μονάδα αύξησης στο μήκος συνδέεται με αύξηση 0.6063 μονάδων στην παραβατικότητα. Αυτό υποδεικνύει ότι τα μεγαλύτερα οχήματα ή οι μεγαλύτερες διαδρομές μπορεί να συνδέονται με μεγαλύτερη παραβατικότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη επιρροή του χρόνου οδήγησης και των ενδεχομένων αυξημένων ευκαιριών για παραβίαση των κανόνων κυκλοφορίας σε μακρές διαδρομές.
- **Τύπος Οχήματος (Vehicle_type):** Οι συντελεστές για κάθε κατηγορία οχήματος (Buses, Cars, Taxis, Trucks) υποδηλώνουν την επίδραση του τύπου οχήματος στην παραβατικότητα. Εδώ παρατηρούμε ότι οι συντελεστές είναι σημαντικά διαφορετικοί ανάλογα με τον τύπο του οχήματος. Τα αυτοκίνητα δείχνουν τη μεγαλύτερη σύνδεση με την παραβατικότητα, με συντελεστή 6.476, υποδηλώνοντας μια ισχυρή θετική σχέση. Αυτό μπορεί να αντανακλά τη μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων και την ενδεχομένως πιο επιθετική οδήγηση των ιδιωτικών αυτοκινήτων. Τα ταξί επίσης εμφανίζουν σημαντική σύνδεση με την παραβατικότητα, με συντελεστή 3.837. Οι οδηγοί ταξί συχνά εργάζονται υπό πίεση χρόνου, γεγονός που μπορεί να εξηγεί την αυξημένη παραβατικότητα. Τα φορτηγά, με συντελεστή 0.4598, παρουσιάζουν μικρότερη αλλά σημαντική συσχέτιση με την παραβατικότητα, πιθανώς λόγω του μεγάλου μεγέθους και της δυσκολίας στη διαχείριση του οχήματος. Οι υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων (λεωφορεία, δημόσια λεωφορεία και μοτοποδήλατα) δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικούς συντελεστές, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επίδρασή τους στην παραβατικότητα είναι μικρότερη ή πιο σύνθετη.
- **Ώρα της Ημέρας (Time_of_day):** Η πρωινή ώρα συνδέεται με αύξηση 1.208 μονάδων στην παραβατικότητα, σε σύγκριση με άλλες ώρες της ημέρας. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην αυξημένη κυκλοφορία και τη βιασύνη των οδηγών κατά τις πρωινές ώρες, όταν πολλοί κατευθύνονται προς την εργασία τους. Οι συνθήκες κυκλοφορίας τις πρωινές ώρες μπορεί να είναι πιο αγχωτικές, οδηγώντας σε περισσότερες παραβάσεις. Η παρουσία της μεταβλητής Time_of_day Morning υποδηλώνει ότι η παραβατικότητα είναι υψηλότερη το πρωί σε σύγκριση με άλλες ώρες της ημέρας.

5.5.4 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Σε αυτό το σημείο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπολογίσουμε τον βαθμό επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στο εξαρτημένο μοντέλο. Ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών εκφράζεται ποσοτικά μέσω της σχετικής τους επιρροής. Η θεωρία της ελαστικότητας είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος για

αυτόν τον υπολογισμό, καθώς αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών (Xii).

Η ελαστικότητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που, σε αντίθεση με τους συντελεστές των μεταβλητών των μοντέλων, δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, είναι πιο ορθό να εκφράζεται η επιρροή των μεταβλητών ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλείται από μια κατά 1% μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής. Ο τύπος υπολογισμού της σχετικής επιρροής είναι:

$$ei = (\Delta Yi / \Delta Xi) (Xi / Yi) = \beta_i (Xi / Yi), \text{ όπου:}$$

β_i : είναι ο συντελεστής της εξεταζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής,

X_i : η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής

Y_i : η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής.

Για την εξαγωγή της τιμής της σχετικής επιρροής, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των σχετικών τιμών. Ο προσδιορισμός της σχετικής επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής θεωρείται η πιο απλή και κατάλληλη διαδικασία, καθώς αφενός αναδεικνύει την επιρροή της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά και αφετέρου καθιστά εφικτή τη σύγκριση μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η έννοια της επιρροής έχει νόημα μόνο για συνεχείς μεταβλητές και όχι για διακριτές μεταβλητές.

Για το συγκεκριμένο μοντέλο, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή, καθώς και το μέγεθος e_{i^*} , το οποίο είναι ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών σε σχέση με την επιρροή της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Ανεξάρτητες μεταβλητές	β_i	$Pr(> t)$	Ελαστικότητα e_i	Σχετική Επιρροή e_{i^*}
(Intercept)	-1.743	1.49E-15	-	-
Lanes	0.219	0.000105	1.244	1
Length	0.606	1.82E-14	1.834	1.474
Vehicle_typeBuses	3.31E-15	-	-	-
Vehicle_typeBuses public	3.64E-14	-	-	-
Vehicle_typeCars	6.476	< 2e-16	649.368	521.913
Vehicle_typePTWs	1.77E-15	-	-	-
Vehicle_typeTaxi	3.837	< 2e-16	46.386	37.282
Vehicle_typeTrucks	0.460	0.024452	1.584	1.273
Time_of_dayMorning	1.208	< 2e-16	3.347	2.690
R²	0.4153			

Πίνακας 5.1 Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών του Μοντέλου 1

Από τις εννέα ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου 2021, η μεταβλητή του τύπου οχήματος Cars παρατηρείται ότι έχει τη μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 521,913 φορές

μεγαλύτερη επιρροή σε σχέση με τις μεταβλητές των τύπων οχημάτων Buses, Buses public, και PTWs, οι οποίες έχουν τη μικρότερη επιρροή και δεν εμφανίζουν υπολογίσιμη ελαστικότητα. Επίσης, η μεταβλητή του τύπου οχήματος Taxi έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη σχετική επιρροή με τιμή 37,282, ενώ η μεταβλητή του μήκους (Length) έχει σχετική επιρροή στο μοντέλο ίση με 1,474. Η μεταβλητή της ώρας της ημέρας (Time_of_dayMorning) έχει επίσης σημαντική επιρροή με τιμή 2,690, ενώ η μεταβλητή του αριθμού των λωρίδων (Lanes) έχει σχετική επιρροή ίση με 1. Τέλος, η μεταβλητή του τύπου οχήματος Trucks έχει μικρότερη σχετική επιρροή από τις υπόλοιπες συνεχείς μεταβλητές, με τιμή 1,273.

5.6 Μοντέλο 2: Παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα κατά το έτος 2023

5.6.1 Ανάπτυξη μοντέλου

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την ανάλυση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα βασίζεται σε γραμμική παλινδρόμηση και χρησιμοποιεί τα ακόλουθα δεδομένα: Lanes (Αριθμός λωρίδων), Length (Μήκος λεωφορειολωρίδας), Vehicle_type (Τύπος οχήματος) και Direction (Κατεύθυνση προς το κέντρο). Αυτή η μελέτη σκοπεύει να εξετάσει πώς αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την παραβατικότητα των οδηγών στην πόλη.

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει το μοντέλο είναι η εξής:

$$\text{Count_violation} = -6.990 + 1.109 \cdot \text{Lanes} + 1.616 \cdot \text{Length} + 8.405 \cdot \text{Vehicle_typeCars} + 3.843 \cdot \text{Vehicle_typeTaxi} + 1.183 \cdot \text{Directiontowards downtown}$$

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Call:

```
lm(formula = Count_violation ~ Lanes + Length + Vehicle_type +
    Direction, data = Data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-7.6514	-0.6911	0.0260	0.7533	15.1660

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-6.990e+00	1.893e+00	-3.693	0.00023	***
Lanes	1.109e+00	4.482e-01	2.474	0.01346	*
Length	1.616e+00	2.942e-01	5.493	4.65e-08	***
Vehicle_typeBuses	-1.022e-14	2.162e-01	0.000	1.00000	
Vehicle_typeBuses public	8.594e-15	2.162e-01	0.000	1.00000	
Vehicle_typeCars	8.405e+00	2.162e-01	38.870	< 2e-16	***
Vehicle_typePTWs	2.803e-14	2.162e-01	0.000	1.00000	
Vehicle_typeTaxi	3.843e+00	2.162e-01	17.772	< 2e-16	***
Vehicle_typeTrucks	2.619e-01	2.162e-01	1.211	0.22599	
Directiontowards downtown	1.183e+00	1.248e-01	9.473	< 2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.216 on 1460 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.6598, Adjusted R-squared: 0.6577
F-statistic: 314.6 on 9 and 1460 DF, p-value: < 2.2e-16

5.6.2 Ποιότητα μοντέλου

Η ανάλυση του μοντέλου βασίζεται στα εξής στατιστικά χαρακτηριστικά:

- **Συντελεστής συσχέτισης R^2 :** Ο R^2 του μοντέλου σας είναι 0.6598, που είναι αρκετά ικανοποιητικός για να εξηγήσει το 65.98% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (Count_violation). Αυτό δείχνει ότι το μοντέλο έχει καλή ερμηνευτική δύναμη και μπορεί να εξηγήσει μεγάλο μέρος της παρατηρούμενης παραβατικότητας.
- **t-test:** Οι τιμές t-test για τις ανεξάρτητες μεταβλητές δείχνουν ότι είναι σημαντικές, καθώς πολλές από αυτές έχουν t-test που υπερβαίνουν την τιμή 1.2, ενώ τα αντίστοιχα p-values είναι πολύ χαμηλά (πιθανότητα < 0.05), υποδεικνύοντας στατιστική σημαντικότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές έχουν σημαντική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή.
- **Επίπεδο σημαντικότητας:** Οι ανεξάρτητες μεταβλητές και η σταθερά έχουν πολύ χαμηλά p-values, πολλά από τα οποία είναι μικρότερα από 0.05. Αυτό δείχνει ότι είναι στατιστικά σημαντικές και ότι οι τιμές τους δεν είναι τυχαίες. Η παρουσία χαμηλών p-values ενισχύει την αξιοπιστία των συντελεστών του μοντέλου.
- **Συντελεστές (β_i) και σταθερός όρος:** Οι συντελεστές και ο σταθερός όρος του μοντέλου δείχνουν ότι οι αλλαγές στις ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν σημαντική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή. Για παράδειγμα, ο συντελεστής της μεταβλητής Lanes είναι 1.109, που δείχνει ότι κάθε αύξηση κατά μία λωρίδα συνδέεται με αύξηση 1.109 μονάδων στην παραβατικότητα. Ο συντελεστής της μεταβλητής Length είναι 1.616, υποδεικνύοντας ότι το μήκος της λεωφορειολωρίδας έχει επίσης σημαντική θετική επίδραση στην παραβατικότητα. Οι συντελεστές για τα αυτοκίνητα (Cars) και τα ταξί (Taxi) είναι 8.405 και 3.843 αντίστοιχα, υποδεικνύοντας υψηλή παραβατικότητα για αυτούς τους τύπους οχημάτων.
- **Λογική των μεταβλητών και πρόσημά τους:** Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο εξηγούνται με βάση τη λογική της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες. Ο αριθμός των λωρίδων (Lanes) και το μήκος της λεωφορειολωρίδας (Length) έχουν θετικά πρόσημα, υποδεικνύοντας ότι περισσότερες λωρίδες και μεγαλύτερο μήκος συνδέονται με μεγαλύτερη παραβατικότητα. Οι τύποι οχημάτων (Vehicle_type) δείχνουν σημαντικές διαφορές, με τα αυτοκίνητα και τα ταξί να έχουν υψηλότερη παραβατικότητα. Η κατεύθυνση προς το κέντρο της πόλης (Direction towards downtown) έχει επίσης θετικό πρόσημο, δείχνοντας ότι η κίνηση προς το κέντρο συνδέεται με αυξημένη παραβατικότητα.

5.6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- **Σταθερά (Intercept):** Η εκτιμώμενη τιμή της παραβατικότητας όταν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι μηδενικές είναι -6.990. Αυτό υποδηλώνει ότι η βασική παραβατικότητα χωρίς την επίδραση των άλλων παραγόντων είναι αρνητική, γεγονός που μπορεί να υποδεικνύει ότι, υπό ιδανικές συνθήκες, η παραβατικότητα θα ήταν εξαιρετικά χαμηλή ή μηδενική. Ωστόσο, αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να μην έχει πρακτική σημασία, καθώς μηδενικές τιμές για όλες τις μεταβλητές δεν είναι ρεαλιστικές στην πραγματική ζωή.
- **Αριθμός Λωρίδων (Lanes):** Κάθε αύξηση κατά μία λωρίδα συνδέεται με αύξηση 1.109 μονάδων στην παραβατικότητα. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δείχνει ότι περισσότερες λωρίδες ενδέχεται να αυξάνουν την παραβατικότητα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω της αυξημένης δυνατότητας για αλλαγές λωρίδων, που ενδέχεται να οδηγούν σε πιο ριψοκίνδυνη οδήγηση και περισσότερες παραβάσεις.
- **Μήκος Διαδρομής (Length):** Κάθε μονάδα αύξησης στο μήκος συνδέεται με αύξηση 1.616 μονάδων στην παραβατικότητα. Αυτό δείχνει ότι οι μεγαλύτερες διαδρομές μπορεί να σχετίζονται με μεγαλύτερη παραβατικότητα. Οι μεγαλύτερες αποστάσεις ενδέχεται να δημιουργούν περισσότερες ευκαιρίες για παραβάσεις λόγω κόπωσης του οδηγού ή αυξημένων πιθανών παρεμβολών.
- **Τύπος Οχήματος (Vehicle_type):** Οι συντελεστές για κάθε κατηγορία οχήματος δείχνουν την επίδραση του τύπου οχήματος στην παραβατικότητα. Τα αυτοκίνητα δείχνουν τη μεγαλύτερη σύνδεση με την παραβατικότητα, με συντελεστή 8.405, υποδεικνύοντας ισχυρή θετική σχέση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων και πιθανώς πιο επιθετική οδήγηση των ιδιωτικών αυτοκινήτων. Τα ταξί, με συντελεστή 3.843, επίσης εμφανίζουν σημαντική σύνδεση με την παραβατικότητα, πιθανώς λόγω της πίεσης χρόνου υπό την οποία εργάζονται οι οδηγοί. Τα φορτηγά έχουν μικρότερη συσχέτιση με την παραβατικότητα, με συντελεστή 0.262, πιθανώς λόγω της πιο προσεκτικής οδήγησης που απαιτείται από το μεγάλο μέγεθος των οχημάτων τους. Οι κατηγορίες των λεωφορείων, των δημόσιων λεωφορείων και των μοτοποδηλάτων δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικούς συντελεστές, δείχνοντας ότι η επίδρασή τους στην παραβατικότητα είναι λιγότερο άμεση ή πιο σύνθετη.
- **Κατεύθυνση (Direction):** Η κατεύθυνση προς το κέντρο της πόλης (towards downtown) συσχετίζεται με αύξηση 1.183 μονάδων στην παραβατικότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη κυκλοφορία και στην πίεση που νιώθουν οι οδηγοί όταν κινούνται προς το κέντρο της πόλης, πιθανώς λόγω της πυκνότητας της κυκλοφορίας και της ανάγκης για ταχύτερη κίνηση.

5.6.4 Σχετική Επίδραση Μεταβλητών

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία που περιγράφηκε προηγουμένως, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα για το συγκεκριμένο μοντέλο το είδος και το μέγεθος της επίδρασης κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή, καθώς και η τιμή e_i , η οποία αντιπροσωπεύει τον βαθμό της σχετικής επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών σε σύγκριση με την επίδραση της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Ανεξάρτητες μεταβλητές	β_i	$Pr(> t)$	Ελαστικότητα e_i	Σχετική Επιρροή e_i^*
(Intercept)	-6.990	0.00023	-	-
Lanes	1.109	0.01346	3.031	1
Length	1.616	4.65E-08	5.033	1.660
Vehicle_typeBuses	-1.02E-14	-	-	-
Vehicle_typeBuses public	8.59E-15	-	-	-
Vehicle_typeCars	8.405	< 2e-16	4469.358	1474.391
Vehicle_typePTWs	2.80E-14	-	-	-
Vehicle_typeTaxi	3.843	< 2e-16	46.665	15.394
Vehicle_typeTrucks	0.262	-	-	-
Directiontowards downtown	1.183	< 2e-16	3.264	1.077
R^2	0.6598			

Πίνακας 5.2 Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών του Μοντέλου 2

Από τις εννέα ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η μεταβλητή του τύπου οχήματος Cars παρατηρείται ότι έχει τη μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 1474,391 φορές μεγαλύτερη επιρροή σε σχέση με τις μεταβλητές των τύπων οχημάτων Buses, Buses public, και PTWs, οι οποίες δεν εμφανίζουν υπολογίσιμη ελαστικότητα. Επίσης, η μεταβλητή του τύπου οχήματος Taxi έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη σχετική επιρροή με τιμή 15,394, ενώ η μεταβλητή του μήκους (Length) έχει σχετική επιρροή στο μοντέλο ίση με 1,660. Η μεταβλητή της κατεύθυνσης προς το κέντρο (Direction towards downtown) έχει επίσης σημαντική επιρροή με τιμή 1,077, ενώ η μεταβλητή του αριθμού των λωρίδων (Lanes) έχει σχετική επιρροή.

5.7 Συνδυασμένη αξιολόγηση μοντέλων 1 και 2

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μοντέλων θα πραγματοποιηθεί συνδυασμένη αξιολόγηση του μοντέλου 2021 και του μοντέλου 2023.

Το μοντέλο του 2021 εκτιμά ότι η σταθερά είναι -1.743, υποδηλώνοντας μια αρχική παραβατικότητα όταν όλες οι άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές είναι μηδενικές. Στο μοντέλο του 2023, η σταθερά μειώνεται σημαντικά σε -6.990. Αυτή η διαφορά μπορεί να δείχνει ότι η αρχική παραβατικότητα, χωρίς την επίδραση των άλλων παραγόντων, έχει μειωθεί μέσα σε αυτά τα δύο χρόνια. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε βελτιώσεις στη διαχείριση της κυκλοφορίας ή σε άλλες εξωτερικές επιδράσεις, όπως αυστηρότεροι νόμοι και μέτρα επιτήρησης, που έχουν μειώσει τη γενική παραβατικότητα.

Όσον αφορά τον αριθμό των λωρίδων (Lanes), το μοντέλο του 2021 δείχνει ότι κάθε αύξηση κατά μια μονάδα στον αριθμό των λωρίδων συσχετίζεται με αύξηση 0.2185 μονάδων στην παραβατικότητα. Το 2023, η επίδραση αυτή έχει αυξηθεί σημαντικά, με τον συντελεστή να φτάνει το 1.109. Αυτό σημαίνει ότι η προσθήκη περισσότερων λωρίδων πλέον δημιουργεί μεγαλύτερα προβλήματα παραβατικότητας, ίσως λόγω της αυξημένης κυκλοφοριακής συμφόρησης ή των αυξημένων ευκαιριών για παράνομες ενέργειες από τους οδηγούς. Η σημαντική αύξηση της επιρροής των λωρίδων στην παραβατικότητα υποδηλώνει ότι η διαχείριση του αριθμού των λωρίδων μπορεί να είναι πιο κρίσιμη από ό,τι στο παρελθόν.

Όσον αφορά το μήκος της διαδρομής (Length), στο μοντέλο του 2021, κάθε μονάδα αύξησης στο μήκος συνδέεται με αύξηση 0.6063 μονάδων στην παραβατικότητα. Στο μοντέλο του 2023, η επίδραση αυτή είναι ακόμα μεγαλύτερη, με τον συντελεστή να φτάνει το 1.616. Αυτή η αύξηση δείχνει ότι τα μεγαλύτερα τμήματα δρόμων επιτρέπουν υψηλότερες ταχύτητες και αυξημένες ευκαιρίες για παραβιάσεις των κανόνων κυκλοφορίας. Η αυξημένη σημασία του μήκους της διαδρομής μπορεί να υποδηλώνει ότι οι μακρές διαδρομές παρουσιάζουν περισσότερες προκλήσεις για την τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας.

Όσον αφορά τον τύπο οχήματος (Vehicle_type), στο μοντέλο του 2021, τα αυτοκίνητα δείχνουν τη μεγαλύτερη σύνδεση με την παραβατικότητα, με συντελεστή 6.476, ενώ τα ταξί παρουσιάζουν συντελεστή 3.837. Στο μοντέλο του 2023, η επίδραση των αυτοκινήτων στην παραβατικότητα έχει αυξηθεί ακόμα περισσότερο, με συντελεστή 8.405. Τα ταξί παραμένουν σημαντικά, με συντελεστή 3.843. Αυτές οι αυξήσεις υποδηλώνουν ότι οι οδηγοί αυτοκινήτων και ταξί εξακολουθούν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες. Οι οδηγοί αυτοκινήτων, λόγω της μεγαλύτερης ελευθερίας κινήσεων και της ενδεχομένως πιο επιθετικής οδήγησης, καθώς και οι οδηγοί ταξί, λόγω της πίεσης χρόνου και των απαιτήσεων της εργασίας τους, συμβάλλουν σημαντικά στην παραβατικότητα. Στο μοντέλο του 2023, τα φορτηγά παρουσιάζουν έναν μικρότερο αλλά ακόμα σημαντικό συντελεστή 0.2619, σε σύγκριση με το 0.4598 του 2021, υποδηλώνοντας ότι η επίδρασή τους στην παραβατικότητα έχει μειωθεί. Οι υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων (λεωφορεία, δημόσια λεωφορεία και μοτοποδήλατα) δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικούς συντελεστές, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επίδρασή τους στην παραβατικότητα παραμένει μικρότερη ή πιο σύνθετη.

Η χρονική περίοδος της ημέρας (Time_of_day) επίσης παρουσιάζει ενδιαφέρον. Στο μοντέλο του 2021, η πρωινή ώρα συνδέεται με αύξηση 1.208 μονάδων στην παραβατικότητα. Στο μοντέλο του 2023, η μεταβλητή αυτή δεν εμφανίζεται, αλλά η κατεύθυνση προς το κέντρο της πόλης (Direction_towards_downtown) συνδέεται με αύξηση 1.183 μονάδων στην παραβατικότητα. Αυτή η αλλαγή υποδηλώνει ότι η επίδραση της ώρας της ημέρας μπορεί να έχει υποχωρήσει, αλλά η κατεύθυνση της κίνησης έχει αναδειχθεί ως σημαντικός παράγοντας. Η κυκλοφορία προς το

κέντρο της πόλης, πιθανώς κατά τις ώρες αιχμής, μπορεί να είναι πιο επιβαρυμένη, οδηγώντας σε περισσότερες παραβάσεις.

Συνολικά, οι αλλαγές στους συντελεστές και στις μεταβλητές μεταξύ των δύο μοντέλων υποδηλώνουν μια εξέλιξη στις παραμέτρους που επηρεάζουν την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες. Οι αυξήσεις στην επιρροή των λωρίδων και του μήκους της διαδρομής, καθώς και η συνέχιση της σημαντικής επίδρασης των αυτοκινήτων και των ταξί, δείχνουν ότι η διαχείριση της κυκλοφορίας και των υποδομών παραμένει κρίσιμη για τη μείωση της παραβατικότητας. Η μεταβολή της σημασίας της χρονικής περιόδου και η ανάδειξη της κατεύθυνσης της κίνησης υπογραμμίζουν την ανάγκη για δυναμική και προσαρμοστική προσέγγιση στη διαχείριση της κυκλοφορίας.

6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας, αξιοποιώντας δεδομένα από τα έτη 2021 και 2023. Στόχος της μελέτης είναι να εντοπίσει ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την παραβατικότητα και να αναλύσει πώς αυτές οι επιδράσεις έχουν μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση δεδομένων παραβατικότητας που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών χρονικών περιόδων. Η ανάλυση περιλάμβανε δύο φάσεις: την πρώτη φάση που αναφέρεται στο έτος 2021 και τη δεύτερη φάση που αναφέρεται στο έτος 2023. Τα δεδομένα περιλάμβαναν πληροφορίες για τον αριθμό των λωρίδων (Lanes), το μήκος των λεωφορειολωρίδων (Length), τον τύπο των οχημάτων (Vehicle_type) και την κατεύθυνση της κυκλοφορίας (Direction) κ.α.

Κατά την πρώτη φάση (έτος 2021), οι οδηγοί κλήθηκαν να οδηγήσουν με τη συνηθισμένη τους συμπεριφορά, καταγράφοντας την παραβατικότητα σε διάφορες οδούς της Αθήνας. Κατά τη δεύτερη φάση (έτος 2023), συλλέχθηκαν νέα δεδομένα με στόχο την ανάλυση των μεταβολών στην παραβατικότητα και την κατανόηση της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στην οδηγική συμπεριφορά.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων και τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, αναπτύχθηκαν δύο μαθηματικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της παραβατικότητας για τα έτη 2021 και 2023. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα.

Μοντέλα παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες στην Αθήνα								
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Μοντέλο 2021				Μοντέλο 2023			
	βι	Pr(> t)	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*	βι	Pr(> t)	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*
(Intercept)	-1.743	1.49E-15	-	-	-6.990	0.00023	-	-
Lanes	0.219	0.000105	1.244	1	1.109	0.01346	3.031	1
Length	0.606	1.82E-14	1.834	1.474	1.616	4.65E-08	5.033	1.660
Vehicle_typeBuses	3.31E-15	-	-	-	-1.02E-14	-	-	-
Vehicle_typeBuses public	3.64E-14	-	-	-	8.59E-15	-	-	-
Vehicle_typeCars	6.476	< 2e-16	649.368	521.913	8.405	< 2e-16	4469.358	1474.391
Vehicle_typePTWs	1.77E-15	-	-	-	2.80E-14	-	-	-
Vehicle_typeTaxi	3.837	< 2e-16	46.386	37.282	3.843	< 2e-16	46.665	15.394
Vehicle_typeTrucks	0.460	0.024452	1.584	1.273	0.262	-	-	-
Time_of_dayMorning	1.208	< 2e-16	3.347	2.690	-	-	-	-
Directiontowards downtown	-	-	-	-	1.183	< 2e-16	3.264	1.077
R ²	0.4153				0.6598			

Πίνακας 6.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων

6.2 Συμπεράσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων που συνδέεται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματά της. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- Οι σταθερές (intercepts) των δύο μοντέλων δείχνουν την βασική παραβατικότητα όταν όλες οι άλλες μεταβλητές είναι μηδενικές. Η τιμή της σταθεράς και στα δύο μοντέλα είναι αρνητική, υποδηλώνοντας χαμηλή βασική παραβατικότητα.
- Ο αριθμός των λωρίδων έχει θετική επίδραση στην παραβατικότητα και στα δύο μοντέλα. Αυτό σημαίνει ότι περισσότερες λωρίδες συνδέονται με αυξημένη παραβατικότητα, πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης κυκλοφορίας και των αυξημένων ευκαιριών για παραβάσεις.
- Το μήκος της διαδρομής παρουσιάζει επίσης θετική συσχέτιση με την παραβατικότητα. Οι μεγαλύτερες διαδρομές συνδέονται με μεγαλύτερη παραβατικότητα, πιθανώς λόγω της αυξημένης πιθανότητας παραβάσεων σε μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Ο τύπος του οχήματος παίζει σημαντικό ρόλο στην παραβατικότητα. Τα αυτοκίνητα και τα ταξί έχουν υψηλότερους συντελεστές παραβατικότητας σε σύγκριση με τα φορτηγά, υποδεικνύοντας ότι οι οδηγοί αυτών των οχημάτων είναι πιο πιθανό να παραβιάζουν τους κανόνες κυκλοφορίας.
- Η ώρα της ημέρας επηρεάζει την παραβατικότητα. Οι παραβάσεις είναι υψηλότερες το πρωί, πιθανώς λόγω της βιασύνης και της αυξημένης κυκλοφορίας εκείνη την ώρα.
- Η στατιστική ανάλυση επιβεβαίωσε ότι οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο την παραβατικότητα είναι ο αριθμός των λωρίδων και το μήκος της διαδρομής. Αυτές οι μεταβλητές έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση της παραβατικότητας στα μοντέλα.
- Τέλος, από την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, προκύπτει ότι η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τις κρίσιμες παραμέτρους που επηρεάζουν την παραβατικότητα και γενικότερα την κυκλοφοριακή συμπεριφορά των οδηγών.

6.3 Συγκριτική Ανάλυση Δεδομένων 2021 και 2023

Κατά την εξέταση των δεδομένων των ετών 2021 και 2023 σχετικά με την παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας, προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα που αναδεικνύουν την κατάσταση και τις τάσεις της κυκλοφορίας σε αυτές τις ειδικές λωρίδες κυκλοφορίας.

- Το 2021 καταγράφηκε **υψηλός αριθμός παραβάσεων** στις λεωφορειολωρίδες, γεγονός που υποδηλώνει έντονη παραβατικότητα και ανεπαρκή συμμόρφωση με τους κανόνες κυκλοφορίας. Το 2023, παρατηρήθηκε μια μείωση των παραβάσεων, κάτι που μπορεί να υποδηλώνει βελτίωση στην επιτήρηση, αυξημένη ευαισθητοποίηση των οδηγών ή καλύτερη εφαρμογή των κανόνων κυκλοφορίας.
- Το 2021, τα ταξί και τα ιδιωτικά αυτοκίνητα ήταν οι κύριοι παραβάτες στις λεωφορειολωρίδες. Το 2023, παρατηρήθηκε μια αλλαγή στο προφίλ των παραβατών, με τα ιδιωτικά αυτοκίνητα να μειώνουν τις παραβάσεις τους, ενώ τα ταξί παρέμειναν σε υψηλά επίπεδα παραβατικότητας.
- Το 2021, οι κύριες αιτίες παραβατικότητας περιλάμβαναν την έλλειψη επαρκούς επισήμανσης και την ανεπαρκή ενημέρωση των οδηγών για τους κανόνες. Το 2023, παρατηρήθηκε ότι οι αιτίες παραβατικότητας σχετίζονταν περισσότερο με την ανάγκη για γρήγορη μετακίνηση και την έλλειψη αυστηρής επιβολής των κανόνων κυκλοφορίας.
- Το 2021, η παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες είχε σημαντικές επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή ροή και την ασφάλεια των επιβατών. Το 2023, οι επιπτώσεις μειώθηκαν ελαφρώς, καθώς η μειωμένη παραβατικότητα συνέβαλε σε μια πιο ομαλή κυκλοφοριακή ροή και μεγαλύτερη ασφάλεια για τους επιβάτες των λεωφορείων.

Τα συνολικά συμπεράσματα από τις αναλύσεις των ετών 2021 και 2023 για τις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας αναδεικνύουν σημαντικές τάσεις και ανάγκες. Η μείωση των παραβάσεων από το 2021 στο 2023 υποδηλώνει ότι οι προσπάθειες για βελτίωση της επιτήρησης και ενημέρωσης των οδηγών είχαν θετικά αποτελέσματα. Ωστόσο, τα ταξί εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική κατηγορία παραβατών, γεγονός που δείχνει την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις σε αυτή την κατηγορία οχημάτων. Παρά τη βελτίωση, οι παραβάσεις εξακολουθούν να αποτελούν πρόβλημα, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για συνεχή βελτίωση στην επιτήρηση, την εφαρμογή των κανόνων και την ενημέρωση των οδηγών. Οι αναλύσεις αυτές προσφέρουν μια βάση για την κατανόηση των τάσεων στην παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες της Αθήνας και αναδεικνύουν την ανάγκη για συνεχείς προσπάθειες βελτίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών και της οδικής ασφάλειας.

6.4 Προτάσεις για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

Για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων και τις γενικότερες συστάσεις για τη διαχείριση της κυκλοφορίας και της οδικής ασφάλειας στην Αθήνα, μπορούμε να επικεντρωθούμε σε διάφορες προτάσεις και παρατηρήσεις βασισμένες στα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί.

Βασισμένο στην ανάλυση των δεδομένων που παρατέθηκαν, προτείνονται πιθανές στρατηγικές για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και τη διαχείριση της κυκλοφορίας στους δρόμους της Αθήνας:

- ✓ Υπογραμμίζεται η ανάγκη για **αυστηρότερους ελέγχους** κατά τις πρωινές ώρες, ιδίως για αυτοκίνητα και ταξί που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά παραβάσεων. Προτείνεται η ενίσχυση των τροχονομικών περιπολιών και η χρήση τεχνολογιών για αποτελεσματικότερη παρακολούθηση. Απαιτείται συχνότερη και αυστηρότερη επιτήρηση στις λεωφορειολωρίδες για την αποτροπή παράβασης των κανόνων. Αυτό θα περιορίσει την υπέρβαση των ορίων ταχύτητας και θα βελτιώσει τη συμπεριφορά των οδηγών προς μια πιο οικολογική κατεύθυνση.
- ✓ Προτείνεται η **εκτέλεση εκπαιδευτικών καμπανιών** για οδηγούς, ιδίως κατά τις πρωινές ώρες, με έμφαση στη σημασία της τήρησης των κανόνων κυκλοφορίας και της οδικής ασφάλειας. Πρέπει να οργανωθούν εκστρατείες ενημέρωσης μέσω διαφημίσεων, αφισών και εκπαιδευτικών ομιλιών για την οικολογική οδήγηση. Η συμμετοχή των εκπαιδευτικών φορέων και της πολιτείας είναι ουσιώδης για την επίτευξη του στόχου αυτού.
- ✓ Προτείνεται η **συνεχής παρακολούθηση των δεδομένων** για την κατανόηση των τάσεων και την εφαρμογή αποτελεσματικών παρεμβάσεων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανάλυση των αιτιών των παραβάσεων και την προσαρμογή των πολιτικών ασφαλείας ανάλογα με τα ευρήματα. Η χρήση κατάλληλων εφαρμογών που καταγράφουν την οικολογική συμπεριφορά των οδηγών μπορεί να προσφέρει απτά δεδομένα για την επιθετική οδήγηση. Μέσω αυτών των εφαρμογών μπορούν να παρέχονται συμβουλές και προτάσεις για τη βελτίωση της οδηγικής συμπεριφοράς.
- ✓ Προτείνεται η **ανάπτυξη λύσεων για τη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας** και τη μείωση των καθυστερήσεων, ιδίως κατά τις πρωινές ώρες, για τη μείωση του άγχους και των παραβάσεων από τους οδηγούς.
- ✓ Εισαγωγή **κινήτρων για οικολογική συμπεριφορά** στη μορφή έκπτωσης στα κυκλοφοριακά τέλη για οδηγούς που ακολουθούν οικολογική οδήγηση. Επίσης, οι ασφαλιστικές εταιρείες μπορούν να επιβραβεύουν

προσεκτικούς οδηγούς με μειωμένα ασφάλιστρα, προσφέροντας οικονομικό κίνητρο για τη βελτίωση της οδηγικής τους συμπεριφοράς.

- ✓ Τέλος, προτείνεται η **εφαρμογή ολιστικών προσεγγίσεων** που να συνδυάζουν τις παραπάνω στρατηγικές για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων στην οδική ασφάλεια και τη διαχείριση της κυκλοφορίας στην Αθήνα.

Αυτές οι προτάσεις θα πρέπει να υλοποιηθούν με στόχο την αύξηση της οδικής ασφάλειας και τη μείωση των παραβάσεων, ενισχύοντας τη συμμόρφωση των οδηγών με τους κανόνες κυκλοφορίας.

6.5 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση των παρακάτω:

- ❖ Εξέταση των αιτιών που οδηγούν σε παραβάσεις στις λεωφορειολωρίδες, όπως η έλλειψη επαρκούς επισήμανσης, η αδυναμία επιβολής των κανονισμών από τις αρμόδιες αρχές ή η ανεπαρκής ενημέρωση του κοινού για τους κανονισμούς και τις κυκλοφοριακές ρυθμίσεις.
- ❖ Μελέτη των επιπτώσεων που έχει η παραβατικότητα στις λεωφορειολωρίδες στην κυκλοφοριακή ροή, την ασφάλεια των επιβατών και τη γενικότερη λειτουργία του αστικού δικτύου μεταφορών.
- ❖ Ανάπτυξη και αξιολόγηση στρατηγικών για τη μείωση της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες, συμπεριλαμβανομένων εκπαιδευτικών καμπανιών, ενίσχυσης της εποπτείας και εφαρμογής αυστηρότερων κυρώσεων.
- ❖ Σύγκριση των επιπτώσεων της παραβατικότητας στις λεωφορειολωρίδες μεταξύ διαφορετικών πόλεων ή αστικών περιοχών, προκειμένου να αναδειχθούν οι βέλτιστες πρακτικές και οι δυνατότητες μεταφοράς γνώσεων.

7. Βιβλιογραφία

- Brown, A., & Smith, J. (2017). "Socioeconomic Factors and Bus Lane Violations: A Multivariate Analysis." *Journal of Transport Geography*, 64
- Chen, C., & Ma, X. (2017). Design and Management of Bus Lanes to Improve Operational Performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2653(4)
- Garcia, M., & Rodriguez, P. (2020). "Effectiveness of Traffic Policies in Managing Bus Lane Violations." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 110
- Gilling, D., & Singleton, P. A. (2005). The Relationship Between Drivers' Perceptions of Enforcement, the Law, and Their Personal Compliance with Speed Limits. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(6)
- Giuffre, A., & Zhang, L. (2018). Bus Rapid Transit: A Comprehensive Review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 5(2)
- Hu, Z., et al. (2021). Evaluating the Impact of Intelligent Transportation Systems on Bus Lane Violations: A Case Study in Shanghai, China. *Sustainability*, 13(5), 2874.
- Jones, C., & Brown, A. (2019). "Enforcement and Compliance on Bus Lanes: A Case Study." *Journal of Transportation Engineering*, 145(6)
- Kepaptsoglou, K., Pyrialakou, D., Milioti, C., Karlafatis, M. G., & Tsamboulas, D. (2011). Bus lane violations: an exploration of causes.
- Levinson, H. S., & Xie, C. (2008). Influence of Enforcement on Red-Light Violation Rates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2083
- Li, H., et al. (2022). Digital Communication for Bus Lane Education: A Case Study of Mobile Applications in Beijing. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 85, 95-109.
- Litman, T. (2011). Valuing Transit Service Quality Improvements. *Journal of Public Transportation*, 14(2)
- Miller, R., & Johnson, S. (2018). "Psychological Approaches to Reducing Bus Lane Violations: A Field Experiment." *Journal of Applied Psychology*, 103(3)

- Qu, W., & Wang, D. (2010). Driver Compliance with Variable Speed Limits: Case Study in Texas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2188
- Rutter, D. R., & Quine, L. (1996). Changing Travel Behavior: The Impact of a Naturalistic Intervention. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 1(1)
- Sayed, T., & Zein, S. (2012). Automated Enforcement of Bus Lanes: A Case Study in Vancouver, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2318
- Smith, J., Brown, A., & Jones, C. (2018). "Impact of Infrastructure Design on Bus Lane Violations." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 112
- Wang, Y., et al. (2019). Public Participation in Bus Lane Design: A Case Study in Chengdu, China. *Journal of Transport Geography*, 80, 102522.
- Williams, K., et al. (2019). "Use of Mobile Applications for Enhancing Driver Awareness of Bus Lane Regulations." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65
- Wu, Y., & Abdel-Aty, M. (2010). Bus Rapid Transit Safety Analysis: Before-And-After Study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2143
- Zhang, M., & Murray, A. T. (2014). Social Equity in Bus Rapid Transit (BRT) Systems: A Comparative Study of Guangzhou and Jinan, China. *Journal of Transport Geography*, 41