



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής

Διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα

Διπλωματική Εργασία



ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΑ

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την υποστήριξή του καθώς και για την εκπληκτική συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδιά της. Επιπλέον, οφείλω να τον ευχαριστήσω για τη σωστή καθοδήγηση αλλά και για τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω εξίσου θερμά κα. Αρμίρα Κονταξή, Υποψήφια Διδάκτορα ΕΜΠ, για τη βοήθεια και τις υποδείξεις τους σε σημαντικά ζητήματα της εργασίας, την αμέριστη υπομονή, επιμονή και υποστήριξη που μου έδειξε, δίνοντας απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Απόστολο Ζιακόπουλο, Μετα- Διδάκτορα ΕΜΠ για την κατάλληλη καθοδήγηση σε καίρια ζητήματα της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν στην κ. Ελίνα Φραντζόλα, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά το αρχικό στάδιο της πειραματικής διαδικασίας καθώς και στην εταιρεία OSeven, η οποία παραχώρησε τα πολύ χρήσιμα στοιχεία μέτρησης της συμπεριφοράς οδηγού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια για την αγάπη και την ηθική, αλλά και υλική, υποστήριξή σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για τις πολύ όμορφες αλλά και δύσκολες στιγμές που περάσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Νοέμβριος 2023
Αιμιλία Τριανταφύλλου

Διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα

Αιμιλία Τριανταφύλλου

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

ΣΥΝΟΨΗ

Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Για το σκοπό αυτό αναλύονται τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από 15 οδηγούς οι οποίοι συμμετείχαν σε πείραμα οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες για χρονικό διάστημα έξι μηνών. Κατά τους τέσσερις πρώτους μήνες οι συμμετέχοντες οδήγησαν με τη συνηθισμένη τους συμπεριφορά, ενώ τους επόμενους δύο μήνες κλήθηκαν να οδηγήσουν με οικολογική συμπεριφορά. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της στατιστικής μεθόδου της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Μέσω των μοντέλων παλινδρόμησης εξετάστηκε κατά πόσο χαρακτηριστικά οδήγησης που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων επηρεάζουν και επομένως μπορούν να προβλέψουν την κατανάλωση καυσίμου. Αναπτύχθηκαν συνολικά τρία μοντέλα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου. Το πρώτο αποτελεί το γενικό μοντέλο, το δεύτερο αφορά την πρώτη φάση του πειράματος (συνήθης τρόπος οδήγησης) και το τρίτο την δεύτερη φάση του πειράματος (οικολογική οδήγηση). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με τη βελτίωση του τρόπου οδήγησης των συμμετεχόντων παρατηρήθηκε αξιόλογη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και επιτεύχθηκε ομαλότερη και οικολογικότερη συμπεριφορά των οδηγών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την κατανάλωση καυσίμου είναι η μέση επιτάχυνση και επιβράδυνση, οι απότομες επιταχύνσεις που συνέβησαν ανά χιλιόμετρο, τα απότομα φρεναρίσματα, η διάρκεια του ταξιδιού, η μέση διάρκεια των στάσεων και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Λέξεις κλειδιά: οικολογική οδήγηση, κατανάλωση καυσίμου, συμπεριφορά οδηγού, πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, απότομες επιταχύνσεις, απότομες επιβραδύνσεις, μέση επιτάχυνση, μέση επιβράδυνση

Investigation of the impact of eco-driving on fuel consumption using smartphone data

Aimilia Triantafyllou

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

ABSTRACT

The aim of this Diploma Thesis is the investigation of the impact of eco-driving on fuel consumption using smartphone data. To achieve this objective, data collected from 15 drivers who participated in a naturalistic driving experiment for a period of six months are analyzed. During the first four months, the participants drove in the way they normally would, followed by two months of eco-driving. The analysis was conducted using the statistical method of lognormal regression. Through the regression models it was examined whether driving characteristics recorded by smartphone sensors affect and can therefore predict fuel consumption. In order to analyze the available data, three statistical regression models forecasting fuel consumption were developed. The first is the overall model, the second refers to the first phase of the experiment (baseline driving) and the third to the second phase of the experiment (eco-driving). The results demonstrated that by improving the participants' driving style, a remarkable reduction in fuel consumption was observed; and smoother and more ecological driver behavior was achieved. The parameters that affect the fuel consumption were the average acceleration and deceleration, the harsh acceleration events that occurred per kilometer, the harsh breaking events that occurred per trip, the duration of the trip, the average duration of stops and the demographical characteristics.

Keywords: eco-driving, fuel consumption, driver behavior, naturalistic driving experiment, harsh acceleration, harsh breaking, average acceleration, average deceleration

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα**. Ειδικότερα, επιδιώκεται να βρεθούν ποια χαρακτηριστικά της οδήγησης που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων και τα ερωτηματολόγια μπορούν να προβλέψουν την κατανάλωση του καυσίμου κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Πιο αναλυτικά, πραγματοποιήθηκε ένα **πείραμα** οδήγησης στο οποίο συμμετείχαν 15 οδηγοί σε πραγματικές συνθήκες για χρονικό διάστημα **έξι (6) μηνών** (τέλη Νοεμβρίου – αρχές Μαΐου 2023). Το πείραμα περιλάμβανε δύο στάδια, το πρώτο διάρκειας τεσσάρων (4) μηνών και το δεύτερο δύο (2) μηνών. Κατά το **πρώτο** στάδιο οι οδηγοί κλήθηκαν να οδηγήσουν με τη συνηθισμένη τους συμπεριφορά (Νοέμβριος - Φεβρουάριος), ενώ στο **δεύτερο** (Μάρτιος – Μάιος) κλήθηκαν να οδηγήσουν με οικολογική συμπεριφορά (οι ομαλές επιταχύνσεις, τα έγκαιρα φρεναρίσματα, η τήρηση των ορίων ταχύτητας και ο συντονισμός με τις ταχύτητες των άλλων οχημάτων). Σε παράλληλο χρόνο οι χρήστες συμπλήρωναν σε έναν **πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου** τα χιλιόμετρα που πραγματοποιούσαν μεταξύ γεμισμάτων του ντεπόζιτου και τα λίτρα καυσίμου που εισήγαγαν. Επιπλέον, δόθηκαν στους οδηγούς **ερωτηματολόγια** προκειμένου να αντληθούν δεδομένα για τα δημογραφικά τους χαρακτηριστικά, όπως το φύλο, η ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μια σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν, με τη μέθοδο της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, τρία μαθηματικά μοντέλα. Το πρώτο αποτελεί το γενικό μοντέλο, το δεύτερο αφορά την πρώτη φάση του πειράματος (συνήθης τρόπος οδήγησης) και το τρίτο την δεύτερη φάση του πειράματος (οικολογική οδήγηση). Τα τρία μαθηματικά μοντέλα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μοντέλα Πρόβλεψης των Κρίσιμων Παραγόντων Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου												
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Γενικό Μοντέλο				Μοντέλο Πρώτης Φάσης (Συνήθης Τρόπος Οδήγησης)				Μοντέλο Δεύτερης Φάσης (Οικολογική Οδήγηση)			
	βι	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*	βι	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*	βι	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*
(Intercept)	9.214	-	-	-	-336.8	-	-	-	-191.6	-	-	-
dec_avg	-2.027	-1.700	0.185	-7.149	-	-	-	-	0.648	-1.665	-0.138	6.871
acc_avg	-2.827	1.578	-0.240	9.255	-	-	-	-	-	-	-	-
harsh_acc_per_km	5.794	0.105	0.033	-1.262	-	-	-	-	-	-	-	-
duration_stops_avg	-0.021	22.953	-0.026	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
before_after	-0.116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
veh_date	0.141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
age	-0.231	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dr_exp	0.113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
quest_resp_speed	-0.207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
harsh_brk	-	-	-	-	-0.233	1.436	-0.037	-1.065	-	-	-	-
duration	-	-	-	-	-0.001	1167.467	-0.129	-3.717	0.001	1034.17	0.133	-6.586
licence_date	-	-	-	-	0.167	-	-	-	0.096	-	-	-
daily_trip_dist	-	-	-	-	0.014	22.433	0.035	1.000	-0.007	22.433	-0.02	1.000
vehicle_cc	-	-	-	-	0.001	-	-	-	0.001	-	-	-
R ²	0.9835				0.7243				0.5899			

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία **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:

- Με τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών παρουσιάστηκε **μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου κατά μέσο όρο 8%**. Η οδήγηση με σταθερό ρυθμό, η τήρηση των ορίων ταχύτητας, ο συντονισμός με την ταχύτητα των άλλων οχημάτων, καθώς και ο περιορισμός απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, συνέβαλαν στην εξοικονόμηση καυσίμου σε ικανοποιητικό βαθμό, στη μείωση της ηχορύπανσης καθώς και στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι **το δείγμα αποτελείται από νέους οδηγούς**, οι οποίοι δεν διαθέτουν την κατάλληλη εμπειρία για να προσαρμόσουν την οδήγησή τους σε οικολογική.
- Η **μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου** που εντοπίστηκε **στους οδηγούς** ανήλθε στο **39,09%**.
- Από τα αποτελέσματα του πειράματος επιβεβαιώθηκε ότι **όσο πιο ασφαλής γίνεται η συμπεριφορά των οδηγών τόσο πιο οικολογική γίνεται η οδήγηση**. Κατά συνέπεια η οικολογική οδήγηση προαπαιτεί, αλλά και προωθεί έναν ασφαλή τρόπο οδήγησης, συμβάλλοντας στη μείωση της πιθανότητας σύγκρουσης ή τη σοβαρότητα αυτής, των οδικών ατυχημάτων αλλά της κατανάλωσης καυσίμου. Επισημαίνεται ότι οι ομαλές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αλλά και ταχύτητα με σταθερό ρυθμό, εξοικονομούν καύσιμο, μειώνουν τη φθορά του οχήματος και αποτελούν δείγμα προσεκτικής οδήγησης και σεβασμού προς τους υπόλοιπους οδηγούς.
- Η **μέση επιτάχυνση** φάνηκε να επηρεάζει περισσότερο την κατανάλωση καυσίμου στο γενικό μοντέλο. Στην πρώτη φάση του πειράματος η κατανάλωση καυσίμου επηρεάστηκε περισσότερο από τη **διάρκεια του ταξιδιού**, ενώ στη δεύτερη φάση από τη **μέση επιβράδυνση**. Οι οδηγοί υιοθετώντας μία πιο προσεκτική και οικολογική συμπεριφορά ελάττωσαν τις άσκοπες επιβραδύνσεις, «αφήνοντας εγκαίρως το γκάζι» και επιβραδύνοντας ομαλά.
- Ο **αριθμός των απότομων φρεναρισμάτων** περιορίστηκε κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος, στο υπεραστικό και στο αστικό οδικό δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα μειώθηκε κατά 27%. Δηλαδή η πιο προσεκτική συμπεριφορά οδήγησης και οι ομαλές επιβραδύνσεις συμβάλλουν στην πραγματοποίηση λιγότερων εκρήξεων στον κινητήρα και στην δαπάνη λιγότερης ενέργειας (καύσιμο), η οποία μετατρέπεται σε κινητική.

- Ο **αριθμός των απότομων επιταχύνσεων** μειώνεται κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος και συγκεκριμένα στο υπεραστικό δίκτυο. Γενικά ελαττώνεται κατά **3,79%** και στο υπεραστικό δίκτυο κατά 5,61%. Στο αστικό οδικό δίκτυο παρατηρείται αύξηση των συμβάντων, ενώ στους αυτοκινητοδρόμους είναι σχεδόν σταθερό. Οι οδηγοί βελτιώνουν τις απότομες εκκινήσεις και επιταχύνσεις, μεταβάλλοντας ομαλά την ταχύτητά τους.
- Όσο πιο πρόσφατο είναι το **δίπλωμα οδήγησης** τόσο μικρότερη είναι και η εμπειρία των οδηγών. Οδηγούν πιο απρόσεκτα και επιθετικά αυξάνοντας την κατανάλωση του καυσίμου. Το γεγονός αυτό παρατηρείται ότι επηρεάζει λίγο λιγότερο την αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου στη δεύτερη φάση. Με την αύξηση της **εμπειρίας των οδηγών**, είναι δυσκολότερο να αλλάξουν τον τρόπο οδήγησής του και να τηρήσουν το οικολογικό προφίλ οδήγησης.
- Παρατηρήθηκε ότι η **οικολογική οδήγηση** μπορεί να παρουσιάσει βελτιώσεις στην κατανάλωσης καυσίμου σε έναν κατά κύριο λόγο **παλιό στόλο οχημάτων**, που τα περισσότερα **λειτουργούν χειροκίνητα**.
- Τέλος από την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας, προκύπτει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα περιέχουν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες οι οποίες, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, μπορούν να χρησιμεύσουν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις **κρίσιμες παραμέτρους** που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, αλλά και γενικότερα την κυκλοφοριακή συμπεριφορά των οδηγών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση	1
1.2 Στόχος	2
1.3 Μεθοδολογία	3
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	6
2.1 Εισαγωγή	6
2.2 Οικολογική Οδήγηση.....	6
2.2.1 Κατανάλωση Καυσίμου.....	7
2.2.2 Κατανάλωση Καυσίμου και Τύπος Οδού	10
2.2.3 Οδική Ασφάλεια	11
2.3 Σύνοψη.....	12
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	15
3.1 Εισαγωγή	15
3.2 Βασικές Έννοιες Στατιστικής.....	15
3.3 Βασικές Μέθοδοι Στατιστικής Ανάλυσης	16
3.3.1 Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression)	16
3.3.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση (Lognormal Regression).....	18
3.4 Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου	18
3.4.1 Συντελεστές Εξίσωσης	18
3.4.2 Συσχέτιση Παραμέτρων.....	18
3.4.3 Ελαστικότητα	19
3.4.4 Στατιστική Σημαντικότητα.....	19
3.4.5 Συντελεστής Προσαρμογής R^2	20
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	21
4.1 Εισαγωγή	21
4.2 Συλλογή Στοιχείων	21
4.2.1 Στοιχεία Εφαρμογής OSeven	22
4.2.3 Πειραματική Διαδικασία	25
4.3 Επεξεργασία Στοιχείων	32

4.3.1 Διαμόρφωση Δεδομένων	32
4.3.2 Διαγράμματα	35
4.3.3 Γενικά Σχόλια – Παρατηρήσεις	42
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	43
5.1 Εισαγωγή	43
5.2 Έλεγχος Συσχέτισης Μεταβλητών	43
5.3 Ανάπτυξη Μοντέλων Παλινδρόμησης στο Ειδικό Λογισμικό Στατιστικής Ανάλυσης R.....	44
5.4 Μοντέλο 1: Κρίσιμοι Παράγοντες Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου- Γενικό Μοντέλο.....	45
5.4.1 Ανάπτυξη Μοντέλου.....	45
5.4.2 Ποιότητα Μοντέλου	45
5.4.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	45
5.4.4 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών	47
5.4.5 Ανάλυση Ευαισθησίας	48
5.5 Μοντέλο 2: Κρίσιμοι Παράγοντες Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου- Μοντέλο Πρώτης Φάσης- Συνήθης Τρόπος Οδήγησης	51
5.5.1 Ανάπτυξη Μοντέλου.....	51
5.5.2 Ποιότητα Μοντέλου	51
5.5.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Μοντέλου	51
5.5.4 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών	52
5.6 Μοντέλο 3: Κρίσιμοι Παράγοντες Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου- Μοντέλο Δεύτερης Φάσης-Οικολογική Οδήγηση.....	53
5.6.1 Ανάπτυξη Μοντέλου.....	53
5.6.2 Ποιότητα Μοντέλου	53
5.6.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Μοντέλου	54
5.6.4 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών	54
5.7 Σύγκριση Μοντέλων 2 και 3	55
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	57
6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων	57
6.2 Σύνοψη Αποτελεσμάτων	58
6.3 Προτάσεις για βελτίωση της Οικολογικής Οδήγησης.....	59
6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	60

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
----------------------	----

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Η ολοένα αυξανόμενη τεχνοοικονομική πρόοδος αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της σύγχρονης εποχής. Οι οδικές μεταφορές αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας των ανθρώπων και συμβάλουν στην αναβάθμιση του βιοτικού τους επιπέδου. Στην εποχή μας, οι μεταφορές αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, καθώς πρέπει να παρέχουν ασφαλείς, οικονομικές, γρήγορες, άνετες και φιλικές προς το περιβάλλον μετακινήσεις.

Η κλιματική αλλαγή πλέον θεωρείται για κάθε χώρα, αλλά και παγκοσμίως, ένα μείζονος σημασίας φαινόμενο δεδομένου ότι έχει αξιοσημείωτες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για την παραγωγή του μεγαλύτερου όγκου των αερίων του θερμοκηπίου, που υπολογίζεται περίπου στο 30% των ανθρωπογενών εκπομπών (Xu et al., 2018). Συνεπώς είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της οδήγησης. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει υιοθετηθεί από πολλές χώρες μια νέα **οικολογική συμπεριφορά οδήγησης** γνωστή και ως **ecodriving**.

Η οικολογική οδήγηση είναι ένας τρόπος οδήγησης που επικεντρώνεται **στη μείωση κατανάλωσης καυσίμου, στην ελάττωση εκπομπών αερίων, καθώς και στον περιορισμό οδικών ατυχημάτων**. Μπορεί να εφαρμοστεί σε οχήματα οποιασδήποτε χρονολογίας κατασκευής ή μεγέθους, σε στόλους οχημάτων και σε ιδιώτες.

Τα **βασικά χαρακτηριστικά** της συμπεριφοράς του οδηγού πρέπει να είναι οι ομαλές επιταχύνσεις, τα έγκαιρα φρεναρίσματα, η τήρηση των ορίων ταχύτητας και ο συντονισμός με τις ταχύτητες των άλλων οχημάτων. Ακόμα, έχει καθοριστεί σαν μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, πριν και μετά την αγορά του οχήματος. Οι αποφάσεις που πρέπει να λάβει ένας οδηγός έχουν ταξινομηθεί σε στρατηγικές, τακτικές και λειτουργικές (Sivak and Schoettle, 2012). Οι στρατηγικές αποφάσεις αφορούν την επιλογή του οχήματος και τη συντήρηση αυτού. Οι τακτικές σχετίζονται με την επιλογή της διαδρομής και το πρόσθετο βάρος του οχήματος. Τέλος, οι λειτουργικές αφορούν την συμπεριφορά του οδηγού δηλαδή τη διάρκεια του ρελαντί, την ταχύτητα ανά στροφές ανά λεπτό, τη χρήση του cruise control, τη χρήση κλιματιστικού και την επιθετική οδήγηση.



Εικόνα 1.1.: Απεικόνιση των παραγόντων επιρροής της οικολογικής οδήγησης

Πηγή: Fafoutellis et al., 2020

1.2 Στόχος

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα.**

Πιο αναλυτικά, για την εκπλήρωση του παραπάνω στόχου, πραγματοποιήθηκε ένα **πείραμα** οδήγησης στο οποίο συμμετείχαν 15 οδηγοί σε πραγματικές συνθήκες για χρονικό διάστημα **έξι (6) μηνών** (τέλη Νοεμβρίου – αρχές Μαΐου 2023). Τα δεδομένα του πειράματος συλλέχθηκαν από έξυπνα κινητά τηλέφωνα οδηγών. Το πείραμα περιλάμβανε δύο στάδια, το πρώτο διάρκειας τεσσάρων (4) μηνών και το δεύτερο δύο (2) μηνών. Κατά το **πρώτο** στάδιο οι οδηγοί κλήθηκαν να οδηγήσουν με τη συνηθισμένη τους συμπεριφορά (Νοέμβριος - Φεβρουάριος), ενώ στο **δεύτερο** (Μάρτιος – Μάιος) κλήθηκαν να οδηγήσουν με οικολογική συμπεριφορά. Σε παράλληλο χρόνο οι χρήστες συμπλήρωναν σε έναν **πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου** τα χιλιόμετρα που πραγματοποιούσαν μεταξύ γεμισμάτων του ντεπόζιτου και τα λίτρα καυσίμου που εισήγαγαν. Επιπλέον, δόθηκαν στους οδηγούς **ερωτηματολόγια** προκειμένου να αντληθούν δεδομένα για τα δημογραφικά τους χαρακτηριστικά, όπως το φύλο, η ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν μαθηματικά στατιστικά μοντέλα για να αναλυθεί η σχέση των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς των οδηγών (οικολογικής και μη) και των δημογραφικών χαρακτηριστικών με την κατανάλωση καυσίμου.

Μέσω των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την ανάλυση, θα επιτρέψουν την κατανόηση του βαθμού και του τρόπου με τον οποίο η οικολογική οδήγηση σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά του οδηγού, επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου. Συγχρόνως, τα συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας αναμένεται να αποφέρουν πολλαπλά και σημαντικά οφέλη όχι μόνο στην κοινωνία και το άτομο, αλλά και στο περιβάλλον. Θα συντελέσουν στην εξοικονόμηση της κατανάλωσης καυσίμου, στην ελάττωση της ρύπανσης και στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

1.3 Μεθοδολογία

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά οριστικοποιήθηκε το θέμα της παρούσας εργασίας καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος αυτής. Έπειτα πραγματοποιήθηκε εκτενής **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, ώστε να υπάρξει εξοικείωση με το θέμα της Διπλωματικής Εργασίας μέσα από τη μελέτη αντίστοιχων ερευνών και επιστημονικών κειμένων κυρίως στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Από τα παραπάνω αντλήθηκαν δεδομένα για τα αποτελέσματα πειραμάτων που διεξήχθησαν σε πραγματικές συνθήκες και επιλέχτηκε η καταλληλότερη μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων.

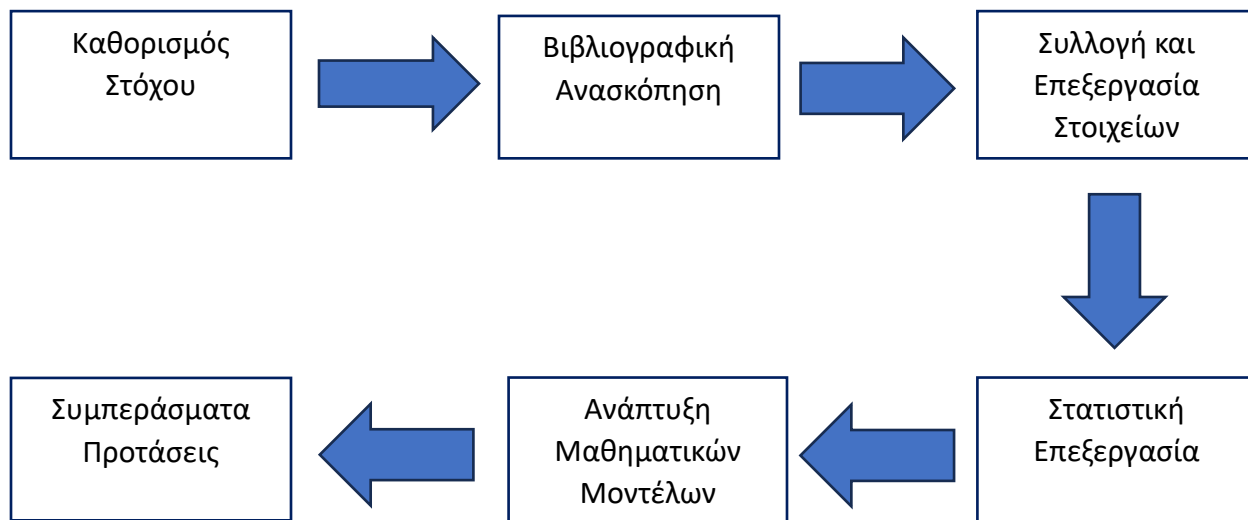
Επόμενο βήμα ήταν η εύρεση του **τρόπου συλλογής στοιχείων**, τα οποία θα επιτρέπουν τη συσχέτιση χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του οδηγού με την κατανάλωση καυσίμου. Για τη διαδικασία αυτή, εφαρμόστηκε ένα καινοτόμο σύστημα συλλογής δεδομένων, μέσα από την εξατομικευμένη καταγραφή της συμπεριφοράς του οδηγού σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων (SmartPhones). Αξιοποιήθηκε η ειδική πλατφόρμα της εταιρείας [OSeven](#) με την αντίστοιχη εφαρμογή σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα για την αποτελεσματική μετάβαση από τη συλλογή στοιχείων στη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων. Η έρευνα συνεχίστηκε με τη συμπλήρωση του πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου από τους ίδιους τους χρήστες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος αλλά και ερωτηματολογίων, βάσει των οποίων συγκεντρώθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα και συγκεκριμένα καταγράφηκαν τα γενικά στοιχεία οδήγησης, οι συνθήκες απέναντι στην οικολογική οδήγηση και τα δημογραφικά στοιχεία του κάθε οδηγού.

Έστερα, επιλέχτηκε η μέθοδος **στατιστικής επεξεργασίας** των στοιχείων και η εισαγωγή της βάσης των δεδομένων της κατανάλωσης καυσίμου και του ερωτηματολογίου σε ηλεκτρονική βάση (Microsoft Excel). Αφού υλοποιήθηκε η κατάλληλη επεξεργασία των τριών βάσεων με σκοπό να είναι έτοιμα προς χρήση, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, τη γλώσσα προγραμματισμού (R). Έπειτα

αναπτύχθηκαν τρία μαθηματικά μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα γενικό μοντέλο (general), ένα μοντέλο για το πρώτο στάδιο του πειράματος (before) και ένα για το δεύτερο στάδιο του πειράματος (after) με τη μέθοδο της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Τα τελικά μοντέλα περιγράφουν σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης την επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη (κατανάλωση καυσίμου).

Μετά την **αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων**, εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τον βαθμό επιρροής της οικολογικής συμπεριφοράς των οδηγών στην κατανάλωση καυσίμου.

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



Διάγραμμα 2.1.: Διάγραμμα ροής σταδίων εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του εκάστοτε κεφαλαίου της.

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί μια εισαγωγή, καθώς είναι η βάση για να γίνει άμεσα αντιληπτό και κατανοητό το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Γίνεται μια αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση. Επίσης γίνεται σαφής ο στόχος της παρούσας εργασίας και επισημαίνεται η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί μέσα από ένα διάγραμμα ροής καθώς και η δομή της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών με συναφή μεθοδολογία συλλογής στοιχείων από

πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Αναλύεται η έννοια της οικολογικής οδήγησης και συσχετίζεται με την κατανάλωση καυσίμου. Ειδικότερα, αυτή συσχετίζεται με την κατανάλωση καυσίμου και τον τύπο οδού και την οδική ασφάλεια. Τέλος, καταγράφονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών και σχολιάζονται.

Το **τρίτο κεφάλαιο**, το οποίο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο, βασίζεται στην ανάλυση της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε στη Διπλωματική Εργασία και συγκεκριμένα στη μέθοδο λογαριθμικής παλινδρόμησης. Πιο συγκεκριμένα επεξηγείται το κριτήριο επιλογής της στατιστικής ανάλυσης που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί με βάση τα χαρακτηριστικά της. Το τελευταίο μέρος αυτού του κεφαλαίου περιλαμβάνει μια σύντομη αναφορά στα βήματα που ακολουθούνται, για την επεξεργασία των δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά περιγράφεται η μέθοδος συλλογής των δεδομένων από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης (OSeven) και ταυτόχρονα γίνεται επεξήγηση ενός αντίστοιχου ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα. Στη συνέχεια, με την βοήθεια του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R και του Microsoft Excel, δημιουργούνται συγκεντρωτικοί πίνακες, οι οποίοι βοηθούν στην καλύτερη περιγραφή των χαρακτηριστικών του δείγματος. Τέλος, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων ώστε να καταλήξουν στην απαραίτητη τελική τους μορφή και έγινε εισαγωγή της βάσης δεδομένων στο πρόγραμμα της R Studio.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύεται λεπτομερώς η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για την δημιουργία των κατάλληλων μοντέλων και την αντίστοιχη εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, με ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων ώστε να είναι αποδεχτά.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή από την ανάλυση των στοιχείων και την εξαγωγή των τελικών μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται μια σύνοψη των κυριότερων σημείων της παρούσας εργασίας, ενώ στη συνέχεια διατυπώνονται τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου επισημαίνονται προτάσεις, οι οποίες μπορούν να αξιοποιήσουν τα αποτελέσματα από αυτήν την έρευνα, με στόχο την βελτίωση της οδικής ασφάλειας και την διεξαγωγή περαιτέρω ερευνών που συσχετίζονται με αυτό το θέμα.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Ειδικότερα πρόκειται για έναν κατάλογο, ο οποίος περιλαμβάνει έρευνες και μελέτες σχετικές με το θέμα της παρούσας εργασίας.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιλαμβάνει **δημοσιευμένες έρευνες της ελληνικής και της διεθνούς βιβλιογραφίας, το αντικείμενο και η μεθοδολογία των οποίων παρουσιάζει συνάφεια με την παρούσα Διπλωματική Εργασία**. Συγκεκριμένα αναζητήθηκαν έρευνες που επικεντρώνονται στην ανάλυση και αναγνώριση της συμπεριφοράς του οδηγού και ιδιαίτερα της οικολογικής οδήγησης. Ακόμη, διερευνήθηκαν και άρθρα που επισημαίνουν τη συσχέτισή της με την κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας, κυρίως, τα δεδομένα πειραμάτων που διεξήχθησαν σε πραγματικές συνθήκες. Μέσω της παρουσίασης των ερευνών θα προκύψει ο **στόχος** της παρούσας μελέτης και η κατάλληλη **μεθοδολογία** για την επίτευξή του.

2.2 Οικολογική Οδήγηση

Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για την παραγωγή του μεγαλύτερου όγκου των αερίων του θερμοκηπίου, που υπολογίζεται περίπου στο 30% των ανθρωπογενών εκπομπών (Xu et al., 2018). Προκειμένου να μειωθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της οδήγησης έχουν δημιουργηθεί νέες τεχνολογίες στα οχήματα, όπως οι καταλύτες, τα εναλλακτικά καύσιμα και οι βελτιώσεις στην αποδοτικότητα της μηχανής (Manzie et al., 2007). Επίσης, σε πολλές χώρες εφαρμόζεται η τιμολόγηση συφόρησης και ενθαρρύνεται η χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (Simeonova et al., 2021; Basagaña et al., 2018). Τις τελευταίες δεκαετίες έχει υιοθετηθεί από πολλές χώρες μια νέα **οικολογική συμπεριφορά οδήγησης** γνωστή και ως **ecodriving**.

Η οικολογική οδήγηση δεν είναι αυστηρά ορισμένη και έχει διαφορετική ορολογία ανά τη χώρα. Είναι ένας τρόπος οδήγησης που **επικεντρώνεται στην εξοικονόμηση της ενέργειας (μείωση κατανάλωσης καυσίμου), στην ενίσχυση της περιβαλλοντικής ποιότητας (μείωση εκπομπών αερίων) και στην οδική ασφάλεια (μείωση οδικών ατυχημάτων)** (Ho et al., 2015; Fafoutellis et al., 2021). Είναι μια πολυδιάστατη έννοια που εξαρτάται από τη συμπεριφορά του οδηγού, την επιλογή της διαδρομής και άλλες επιλογές ή συμπεριφορές που σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμου (ποιότητα καυσίμου, χρήση air-condition, συντήρηση οχήματος, οδήγηση σε ώρες αιχμής και άλλα) (Fafoutellis et al., 2021).

Πιο συγκεκριμένα, η οικολογική οδήγηση εξαρτάται από ορισμένες αποφάσεις που μπορεί να λάβει ένας οδηγός, οι οποίες έχουν ταξινομηθεί σε στρατηγικές, τακτικές και λειτουργικές και επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου (Sivak and Schoettle, 2012). Θα αναλυθούν περαιτέρω στην υποενότητα «2.2.1 Κατανάλωση Καυσίμου».

Προκειμένου να **εφαρμοστεί** η οικολογική οδήγηση πρέπει να: **τηρούνται τα όρια ταχύτητας, να γίνεται συντονισμός με τις ταχύτητες των άλλων οχημάτων, οι στροφές του κινητήρα να είναι κάτω από τις 2000 και να πραγματοποιούνται ομαλές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις** (Yannis, 2022).

Η οικολογική οδήγηση παρουσιάζει θετική επιρροή στο μεταφορικό σύστημα και συγκεκριμένα στο περιβάλλον, στην κυκλοφορία και στην οδική ασφάλεια (Fafoutellis et al., 2021). Ακόμα οι οδηγοί που υιοθετούν αυτή την συμπεριφορά επωφελούνται και οικονομικά (μείωση κατανάλωσης καυσίμου, μείωση εξόδων συντήρησης, μείωση οδικών ατυχημάτων) (Caban et al., 2019; Barić et al., 2013). Επίσης οι οδηγοί είναι περισσότερο κοινωνικά υπεύθυνοι, λόγω της πιο συντηρητικής οδήγησης, της μείωσης άγχους κατά την οδήγηση και της αύξησης της άνεσης για τους οδηγούς και τους επιβάτες (Barić et al., 2013).

Τα **αποτελέσματα** μπορούν να παρατηρηθούν **σε οχήματα οποιασδήποτε χρονολογίας κατασκευής ή μεγέθους, σε στόλους οχημάτων και σε ιδιώτες από την πρώτη μέρα εφαρμογής** (Barkenbus, 2010). Συνεπώς έχει μεγάλες δυνατότητες και ευκολία εφαρμογής σε διάφορες οδικές συνθήκες (Caban et al., 2019).

Ωστόσο η οικολογική οδήγηση μπορεί να παρουσιάσει και **αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον**. Στο πείραμα προσομοίωσης σε διασταυρώσεις των Qian και Chung (2011) διαπιστώθηκε ότι **η ομαλή επιτάχυνση μπορεί να προκαλέσει υψηλές εκπομπές αερίων**. Αντίστοιχα, οι Kobayashi et al. (2012) παρατήρησαν μέσω 10 προσομοιώσεων τυχαίων αριθμών ότι **κατά τις ώρες αιχμής** εμφανίζεται το προαναφερθέν πρόβλημα.

2.2.1 Κατανάλωση Καυσίμου

Σύμφωνα με τους Shivaik και Schoettle (2012) η οικολογική οδήγηση έχει καθοριστεί σαν μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, πριν και μετά την αγορά του οχήματος, που επηρεάζει την κατανάλωση του καυσίμου και τις εκπομπές αερίων ενός οχήματος, με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της οδήγησης. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα «2.2 Οικολογική Οδήγηση», οι αποφάσεις που πρέπει να λάβει ένας οδηγός έχουν ταξινομηθεί σε στρατηγικές, τακτικές και λειτουργικές.

Οι **στρατηγικές αποφάσεις** αφορούν **την επιλογή του οχήματος και τη συντήρηση αυτού**. Συγκεκριμένα στην επιλογή του οχήματος που θα αγοραστεί πρέπει να διερευνηθεί ο τύπος του οχήματος που θα επιλεγεί (Ι.Χ., βανάκι, μοτοσυκλέτα) σε συνδυασμό με τα λίτρα καυσίμου που καταναλώνει και τη διαμόρφωση του (μέγεθος μηχανής και αριθμός εισόδων οχήματος). Είναι σημαντική η συχνή συντήρηση του οχήματος ελέγχοντας το συντονισμό του κινητήρα (βελτίωση χιλιομετρικής κατανάλωσης καυσίμου κατά 4% (EPA, 2022)), την πίεση των ελαστικών (βελτίωση κατανάλωσης καυσίμου κατά 0,6% (EPA, 2022)) και τη χρήση του συστηνόμενου βαθμού λαδιού του κινητήρα (βελτίωση κατανάλωσης καυσίμου κατά 1% - 2% εάν πραγματοποιούνταν χρήση άλλου βαθμού λαδιού (EPA 2022)).

Οι **τακτικές αποφάσεις** σχετίζονται με **την επιλογή της διαδρομής και το πρόσθετο βάρος του οχήματος**. Η επιλογή της διαδρομής εξαρτάται από τον τύπο της οδού (διαφορετική μέση απαιτούμενη ταχύτητα, επιτάχυνση, επιβράδυνση), την κλίση της οδού και την κυκλοφοριακή συμφόρηση (στάθμη εξυπηρέτησης οδού και οδήγηση κατά τις ώρες αιχμής). Σύμφωνα με το EPA fuel economy guide (2022), η μεταφορά μη αναγκαίων

αντικειμένων, για παράδειγμα βάρους 0,5 kg δύναται να αυξήσει την κατανάλωση του καυσίμου κατά 1%. Επιπλέον, η μεταφορά ενός μεγάλου άδειου κουτιού στη σχάρα μπορεί να την αυξήσει κατά 2% - 25%, ανάλογα με τον τύπο της οδού.

Οι **λειτουργικές αποφάσεις** αφορούν την συμπεριφορά του οδηγού δηλαδή τη **διάρκεια του ρελαντί, την ταχύτητα ανά στροφές ανά λεπτό, τη χρήση του cruise control, τη χρήση κλιματιστικού και την επιθετική οδήγηση**. Διερευνήθηκε ότι για να περιοριστεί η μη αναγκαία διάρκεια ρελαντί των Ι.Χ. πρέπει να αφαιρεθούν 5 εκατομμύρια οχήματα από το οδικό δίκτυο των Η.Π.Α προκειμένου να μειωθεί η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές αερίων (USDoe, 2015). Κατά την εκκίνηση της οδήγησης αναπτύσσεται χαμηλή ταχύτητα ανά στροφές ανά λεπτό και αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου, λόγω θερμικών απωλειών στον κινητήρα. Έπειτα επιτυγχάνεται η ταχύτητα που παρέχει τη βέλτιστη απόδοση του κινητήρα και με την αύξηση της ταχύτητας παρατηρείται ξανά μεγάλη κατανάλωση λόγω των απωλειών τριβής στον κινητήρα (Huang et al., 2018). Μέσω της χρήσης του cruise control μελετήθηκε αύξηση της διανυόμενης χιλιομετρικής απόστασης κατά 7% (Edmunds, 2023). Η χρήση του κλιματιστικού προκαλεί μείωση της διανυόμενης χιλιομετρικής απόστασης κατά 5% - 25% (EPA, 2011). Η επιθετική οδήγηση είναι το αντίθετο του προφίλ της οικολογικής συμπεριφοράς, το οποίο χαρακτηρίζεται από ομαλές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα **πειράματα** που πραγματοποιήθηκαν με στόχο τον **υπολογισμό της μείωσης της κατανάλωσης του καυσίμου, λόγω της οικολογικής οδήγησης**.

Με βάση το **συνθετικό άρθρο** των Alam & McNabola (2014) αποδείχτηκε ότι η **οικολογική οδήγηση μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα από 5% μέχρι 40%**.

Στην έρευνα των Michelaraki et al. (2020) διερευνήθηκε η **συσχέτιση της συμπεριφοράς του οδηγού με την κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιώντας δεδομένα κινητών τηλεφώνων**. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από 17 οδηγούς μέσω της εφαρμογής της OSeven για διάρκεια 4 μηνών. Τους πρώτους 2 μήνες οι συμμετέχοντες οδηγούσαν με τη συνήθη τους συμπεριφορά, ενώ του άλλους δύο τους ζητήθηκε να τη βελτιώσουν τηρώντας τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.). Μέσω των κινητών τηλεφώνων καταγράφηκε η ενδεικτική διάρκεια ταξιδιού, η διανυθείσα απόσταση, ο τύπος του οδικού δικτύου και η κλίση (μέσω GPS). Ακόμη, συλλέχθηκε η ώρα της ημέρας οδήγησης (ώρες αιχμής, επικίνδυνες ώρες) και οι καιρικές συνθήκες. Η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου προέκυψε μέσω ενός δελτίου αναφοράς που συμπλήρωναν οι χρήστες κάθε φορά που έβαζαν βενζίνη. Το δελτίο συμπεριλάμβανε την ημέρα γεμίσματος, τα χιλιόμετρα στο κοντέρ και τα λίτρα βενζίνης που εισάχθηκαν. Προέκυψε ότι με την **εφαρμογή του Κ.Ο.Κ. εξοικονομείται καύσιμο κατά 15%**.

Οι Beusen et al. (2009) μελέτησαν τη μακροπρόθεσμη (διάρκεια 10 μήνες) επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου **πριν και μετά την εκπαιδευτική συνεδρία για την οικολογική συμπεριφορά**. Στα οχήματα των 10 οδηγών

τοποθετήθηκαν συσκευές καταγραφής δεδομένων επί οχημάτων (IDVR), οι οποίες εξοπλίστηκαν με ένα σύστημα GPRS, σύνδεση WiFi, ένα σύστημα GPS και μια σύνδεση CAN. Έτσι καταγράφηκε η ακριβής διαδρομή ταξιδιού των συμμετεχόντων και διάφοροι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά των οδηγών (θερμοκρασία κινητήρα, θέση επιταχυντή, επιτάχυνση και επιβράδυνση, στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου). Τα δεδομένα αναλύθηκαν μέσω της μεθόδου παλινδρόμησης μεικτών επιδράσεων (ANOVA). Η μέση κατανάλωση καυσίμου, 4 μήνες μετά την ενημέρωση, **μειώθηκε κατά 5,8%**. Οι περισσότεροι οδηγοί παρουσίασαν άμεση βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου, η οποία ήταν σταθερή κατά την υπόλοιπη περίοδο μελέτης, όμως πολλοί επανήλθαν στις παλιές τους οδηγικές συνήθειες. Το **20% των οδηγών**, δηλαδή 2, **δεν παρουσίασε καμία βελτίωση κατά τη διάρκεια του πειράματος**.

Μέσω της τοποθέτησης μιας εκσυγχρονισμένης συσκευής βελτίωσης της συμπεριφοράς του οδηγού οι Hari et al. (2012) παρατήρησαν ότι **μειώθηκε η κατανάλωση καυσίμου κατά μέσο όρο κατά 7,6% σε 15 οδηγούς βαν**. Η συσκευή παρείχε ηχητική και οπτική ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο με βάση τις επιδόσεις του οδηγού, έχοντας ως στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς του. Το πείραμα διήρκεσε 4 εβδομάδες (2 εβδομάδες χωρίς ανατροφοδότηση και 2 εβδομάδες με ανατροφοδότηση) και διηνύθηκαν 39.000 χλμ. Περαιτέρω ανάλυση έδειξε ότι η εξοικονόμηση της κατανάλωσης οφειλόταν στη μείωση των απότομων επιταχύνσεων και της πρώιμης αλλαγής ταχυτήτων στο κιβώτιο ταχυτήτων προς υψηλότερες ταχύτητες. Επίσης οι συσκευές κατέγραψαν μείωση της απασχόλησης του οδηγού με τα πεντάλ.

Στην έρευνα των Mensing et al. (2011), εφαρμόστηκε η **μέθοδος βελτιστοποίησης δυναμικού προγραμματισμού σε συνδυασμό με τη μέθοδο εύρεσης ρίζας του Brent σε ένα μοντέλο οχήματος**. Στόχος ήταν ο προσδιορισμός της βέλτιστης λειτουργίας του οχήματος για ένα δεδομένο ταξίδι. Δημιουργήθηκαν 3 προφίλ οδήγησης: ένα αρχικό (δεδομένα από οδήγηση σε πραγματικές συνθήκες), ένα οικονομικό (μείωση κατανάλωσης καυσίμου) και ένα οικολογικό (μείωση κατανάλωσης καυσίμου και περιβαλλοντικής ρύπανσης). **Συμπέραναν ότι με το οικονομικό προφίλ επιτυγχάνεται κατανάλωση 6,5L/100 km, ενώ με το οικολογικό 6,7L/100km. Το οικολογικό προφίλ παρουσιάζει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από το αρχικό κατά 26%**.

Οι Meseguer et al. (2015) δημιούργησαν την πλατφόρμα «DrivingStyles» για να ευαισθητοποιήσουν τους οδηγούς για τη συμπεριφορά τους λαμβάνοντας υπόψη την άμεση συσχέτισή της με την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές αερίων. Στο πείραμα συμμετείχαν 264 οδηγοί από διάφορες χώρες και αναλύθηκε η συμπεριφορά τους σε 34 αντιπροσωπευτικές διαδρομές, μέσω δεδομένων από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) των οχημάτων. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η **μη επιθετική και κατ'επέκταση οικονομική και οικολογική συμπεριφορά του οδηγού μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμο από 15% μέχρι 20%**.

Σύμφωνα με το πείραμα των Tulusian et al. (2012), η **εξοικονόμηση καυσίμου** μέσω της οικολογικής οδήγησης δύναται να επιτευχθεί και χωρίς την άμεση συσχέτιση με οικονομικά οφέλη. Στη δοκιμή πεδίου συμμετείχαν 50 οδηγοί εταιρικών οχημάτων (25

στην ομάδα διαχείρισης), οι οποίοι **δεν κατέβαλαν κάποιο χρηματικό ποσό για τα καύσιμα**. Δέχονταν **ανατροφοδότηση από την εφαρμογή DriveGain**, σχετικά με τη σωστή στιγμή αλλαγής ταχύτητας του κιβωτίου ταχυτήτων κατά την επιτάχυνση και την ομαλή επιτάχυνση. Τελικά, **η κατανάλωση καυσίμου μειώθηκε κατά 3,25%**.

Στο πείραμα πεδίου των Rolim et al. (2014) **συμμετείχαν 20 οδηγοί για 1364 ημέρες και 8137 ταξίδια**. Πραγματοποιήθηκε **μια εκπαιδευτική συνεδρία (στους 9 οδηγούς) για την οικολογική οδήγηση στην ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση** και αξιολογώντας τη συμπεριφορά των οδηγών μέσω μιας συσκευής παρακολούθησης επί του οχήματος, το CarChip Pro. **Οι υπόλοιποι οδηγοί δεν έλαβαν καμία πληροφορία**. Αυτός ο ενσωματωμένος καταγραφέας δεδομένων επέτρεψε τον χαρακτηρισμό των προτύπων οδήγησης, συλλέγοντας δεδομένα σχετικά με τις παραμέτρους οδήγησης - όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση - και τις παραμέτρους του κινητήρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μετά τη συνεδρία οι οδηγοί **μείωσαν το χρόνο που αφιέρωναν σε υπερβολική ταχύτητα κατά 24%**. Παρατηρήθηκε επίσης μείωση του αριθμού των εμφανίσεων ακραίων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων. **Η κατανάλωση καυσίμου παρουσίασε μέση μείωση κατά 4,8%, που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση 0,09 MJ/km και 6,56 g/km εκπομπών CO₂ στο στάδιο από τη δεξαμενή μέχρι τον τροχό**. Όσον αφορά τις εκπομπές NO_x παρατηρήθηκε μείωση 8% για αυτή την πειραματική ομάδα.

Οι Wu et al. (2011) ανέπτυξαν και αξιολόγησαν ένα **νέο σύστημα βελτιστοποίησης της οικονομίας καυσίμου (FEOS)** με μεταβλητές εισόδου του οχήματος και του περιβάλλοντός (παράδειγμα την απόσταση μεταξύ των πορειών) και εξόδου τη βέλτιστη τιμή επιτάχυνσης/επιβράδυνσης. Η βέλτιστη τιμή υπολογίστηκε με τη μέθοδο πολλαπλασιαστών Lagrange και αυτές οι τιμές αποστέλλονται στους οδηγούς μέσω της διεπαφής ανθρώπου μηχανή (HMI) ή συστημάτων αυτόματου ελέγχου αυτόνομων οχημάτων. Από τη διεξαγωγή πειραματικής μελέτης για την αξιολόγηση του συστήματος, χωρίς να απειληθεί η οδική ασφάλεια, **οι οδηγοί με τη βοήθεια του FEOS κατανάλωναν σημαντικά λιγότερα καύσιμα από εκείνους χωρίς FEOS σε όλες τις συνθήκες επιτάχυνσης (22-31% συνολική εξοικονόμηση καυσίμου) και στην πλειονότητα των συνθηκών επιβράδυνσης (12-26% συνολική εξοικονόμηση καυσίμου)**.

2.2.2 Κατανάλωση Καυσίμου και Τύπος Οδού

Στην έρευνα των Barla et al. (2016) αξιολογήθηκε το αποτέλεσμα **μιας εκπαιδευτικής συνεδρίας για την οικολογική οδήγηση** στην κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιώντας δεδομένα πάνελ 45 οδηγών που είχαν εισάγει στο όχημα τους συσκευές OBD. Εκτιμήθηκε ένα υπόδειγμα τυχαίων συντελεστών για τη μέτρηση της επίδρασης του μαθήματος κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 10 μηνών. Διαπιστώθηκε ότι το μάθημα οδήγησε σε **μέση μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 4,6% στην πόλη και 2,9% στον αυτοκινητόδρομο**. Οι επιρροές μεταξύ των ατόμων είναι ετερογενείς με τυπική απόκλιση 5%. Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των οδηγών **δεν τις αιτιολόγησαν**. Οι οδηγοί οχημάτων με **χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων** παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερες μειώσεις: **10% στις οδούς της πόλης και 8% στους αυτοκινητόδρομους**.

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι **οι μειώσεις εξασθενούν σταδιακά μετά το μάθημα. Η κατανάλωση στην πόλη μεταβλήθηκε από 4,6% σε 2,5% μέσα σε δέκα μήνες.** Οι μειώσεις στη χρήση καυσίμων στις εθνικές οδούς είναι κατά μέσο όρο 3,5% τις πρώτες δέκα εβδομάδες μετά το μάθημα, αλλά είναι στατιστικά ασήμαντες μετά από περίπου τριάντα εβδομάδες.

Οι Wang et al. (2018) επεξεργάστηκαν τα αποτελέσματα μιας **δοκιμής πεδίου** 718 ταξιδιών πριν την εκπαιδευτική συνεδρία για την οικολογική οδήγηση και 283 μετά, με τη συμμετοχή 12 οδηγών (7 άντρες – 5 γυναίκες) σε μια διαδρομή που αποτελούνταν από διαφορετικούς τύπους οδών (αυτοκινητόδρομος, αστική αρτηρία, αστική συλλεκτήρια οδός και τοπική οδός) στη Μαδρίτη. Οι συμμετέχοντες είχαν εισάγει στο όχημά τους συσκευές OBD και διέθεταν μια εφαρμογή προκειμένου να συλλέγονται δεδομένα για τη συμπεριφορά τους. Μελετήθηκε ότι **μετά την εκπαίδευση έγινε εξοικονόμηση καυσίμου κατά 6,3% ανεξαρτήτως τύπου καυσίμου και οδού.** Ακόμα, οι οδηγοί παρουσίασαν **μεγαλύτερη μείωση σε αυτοκινητοδρόμους (8%) από τοπικές οδούς,** λόγω μεγαλύτερων ταχυτήτων. Τέλος, **η μεγαλύτερη εξοικονόμηση παρατηρήθηκε σε μεγάλα τμήματα αρτηριών με ορισμένο αριθμό κυκλικών κόμβων και διαβάσεων πεζών.**

2.2.3 Οδική Ασφάλεια

Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να προκαλέσει σημαντική βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Η ασφαλής οδήγηση απαιτεί από τους οδηγούς να λάβουν αποφάσεις για την ατομική τους συμπεριφορά, αλλά και για αυτή με τους άλλους χρήστες του οδικού δικτύου. Δηλαδή αποφάσεις που σχετίζονται με την επιλογή ταχύτητας (όρια ταχύτητας ή κυκλοφοριακές συνθήκες), το χειρισμό του οχήματος (ολίσθηση) ή και τις παραβιάσεις των κανονισμών οδικής ασφάλειας (Knapp et al., 2003; Vershuur et al., 2008). Η ελάττωση της ταχύτητας μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης και τη σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων. Ακόμη ενισχύει την αποφυγή των απότομων εκκινήσεων και φρεναρισμάτων, τη διατήρηση της σταθερής ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αυτοκινητοδρόμους, τη μέγιστη κύλιση του οχήματος χωρίς το πάτημα του γκαζιού και την οδήγηση με τη μέγιστη ταχύτητα του κιβωτίου ταχυτήτων. Τα παραπάνω είναι τα βασικά χαρακτηριστικά ασφαλούς οδήγησης, τα οποία επίσης είναι η βάση της οικολογικής οδήγησης (The Alliance of Automobile Manufacturers, 2010; Beusen et al., 2009). Ενώ πολλά από τα παραπάνω χαρακτηριστικά πιθανόν να βελτιώσουν την οδική ασφάλεια, κάποια μπορεί να δράσουν και αρνητικά (για παράδειγμα, μέγιστη κύλιση του οχήματος χωρίς το πάτημα του γκαζιού σε οδό μέσου κυκλοφοριακού φόρτου).

Στο πείραμα του Haworth et al. (2012) παρατηρήθηκε ότι με **10% μείωση της μέσης ταχύτητας, ο αριθμός των οδικών ατυχημάτων ελαττώθηκε κατά 40%.**

Στο πείραμα 3 σταδίων του Toledo et al. (2016) εισάχθηκαν IVDRs (In-Vehicle Data Collectors) σε 150 στρατιωτικά οχήματα, που οδηγούνταν από 350 χρήστες, για διάστημα

μεγαλύτερο του ενός χρόνου. Στο πρώτο στάδιο οι οδηγοί δεν δέχονταν ανατροφοδότηση για τη συμπεριφορά τους. Στο δεύτερο στάδιο μόνο οι επικίνδυνοι οδηγοί δέχονταν προφορική ανατροφοδότηση, ενώ στο τρίτο στάδιο όλοι οι οδηγοί λάμβαναν γραπτή αναφορά ανά 2 εβδομάδες για τη συμπεριφορά τους. Σε κάθε στάδιο αξιολογούνταν δεδομένα των οδηγών για το φρενάρισμα, την πλευρική επιτάχυνση, την ταχύτητα και άλλα. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι **η ανατροφοδότηση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των οδικών ατυχημάτων κατά 8%**.

Η μελέτη του Jamson et al. (2015) συσχετίζει την επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην οδική ασφάλεια, με χρήση **προσομοιωτή**. Οι 22 συμμετέχοντες του πειράματος κλήθηκαν να οδηγήσουν οικολογικά σε λοφώδες έδαφος κλίσης 4% με σταδιακά μεταβαλλόμενη κυκλοφοριακή πυκνότητα χαμηλών ή υψηλών τιμών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα κατά τη **χαμηλή κυκλοφοριακή πυκνότητα** ήταν **μεγαλύτερη η πιθανότητα διατήρησης της απαιτούμενης ταχύτητας, της οικολογικής συμπεριφοράς και της απαιτούμενης απόστασης ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα**. Το αντίθετο παρατηρήθηκε κατά την **υψηλή κυκλοφοριακή πυκνότητα**. Συνεπώς οι οδηγοί παραμέλησαν την οικολογική συμπεριφορά, ώστε να **αποφευχθεί το οδικό ατύχημα**. Ακόμα με τη χρήση οπτικής παρουσίασης (visual display) παρέχοντας δεδομένα όπως, μέση κατανάλωση καυσίμου ταξιδιού και απότομη επιτάχυνση κατά την οδήγηση, **μειώθηκε η προσοχή στο δρόμο, απειλώντας έτσι την οδική ασφάλεια, ακόμη κι αν παρέχονταν πληροφορίες για την οικολογική τους συμπεριφορά**.

Οι αλλαγές στη συμπεριφορά ενός ecodriver οδηγού μπορεί να προκαλέσουν **ασυνήθιστη συμπεριφορά στον ακόλουθο οδηγό** (αύξηση προσπέρασης και εκνευρισμός). Έτσι θα **επηρεαστεί η κυκλοφοριακή απόδοση, η περιβαλλοντική απόδοση και ο κίνδυνος ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο/ στη διασταύρωση** (Ando and Nishihori et al., 2011).

2.3 Σύνοψη

Η διπλωματική εργασία θα επιχειρήσει να αξιοποιήσει τις μεθοδολογίες παλαιότερων ερευνών καλύπτοντας παράλληλα τις ελλείψεις τους. Συνεπώς, με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση καθορίζεται ο **στόχος** της διπλωματικής εργασίας που αφορά στη διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου. Παράλληλα εντοπίστηκε ως **καταλληλότερη μεθοδολογία** αυτή της αξιοποίησης δεδομένων από τα κινητά τηλέφωνα των οδηγών υπό πραγματικές συνθήκες καθώς η συγκεκριμένη μεθοδολογία χρησιμοποιείται από την πλειονότητα των δημοσιευμένων πειραμάτων (Michelaraki et al., 2021) (Meseguer et al., 2015).

Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η οικολογική οδήγηση είναι μια **εύκολα εφαρμόσιμη μέθοδος μείωσης της ρύπανσης του περιβάλλοντος, μέσω μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή της κατανάλωσης καυσίμου, αλλά και της βελτίωσης της οδικής ασφάλειας**. Προκειμένου να εμφανιστούν οι παραπάνω ωφέλειες

ο οδηγός πρέπει να οδηγεί **τηρώντας κάποια μέτρα, να συντηρεί το όχημα του συχνά και να επιλέγει τη βέλτιστη διαδρομή ταξιδιού**. Ο οδηγός πρέπει να μην οδηγεί επιθετικά (ομαλές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις), να τηρεί τα όρια ταχύτητας, να συντονίζει την ταχύτητά του με αυτή των άλλων οχημάτων, οι στροφές του κινητήρα του να είναι κάτω από τις 2000 και η διάρκεια ρελαντί να είναι χαμηλή. Ακόμη η επιστημονική κοινότητα πρέπει να πραγματοποιήσει **επιπλέον διερεύνηση για τον αντίκτυπο της οικολογικής οδήγησης ενός οδηγού σε άλλους μέσω πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες**.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον *Πίνακα 2.1* που ακολουθεί.

Έρευνα	Είδος Μελέτης	Μεθοδολογία (Διάρκεια)	Μείωση κατανάλωσης καυσίμου
Alam και McNabola, 2014	Συνθετικό άρθρο	-	5% - 40%
Michelaraki et al., 2020	Πείραμα πεδίου; Συλλογή δεδομένων από εφαρμογή	17 οδηγοί Ι.Χ., Ελλάδα (4 μήνες)	15%
Beusen et al., 2009	Πείραμα πεδίου; 3 - τύποι ANOVA	10 οδηγοί Ι.Χ., Βέλγιο; (10 μήνες)	5,8%; (20% των οδηγών δεν παρουσίασαν καμία βελτίωση)
Mensing et al., 2014	Ανάπτυξη μοντέλου για κατανάλωση καυσίμου	Έλεγχος αλγορίθμου	26% (οικονομικό προφίλ: 6,5L/100km οικολογικό προφίλ: 6,7L/100km)
Meseguer et al., 2015	Πείραμα πεδίου; Ανατροφοδότηση από εφαρμογή	264 οδηγοί, διάφορες χώρες; (μερικούς μήνες)	15% - 20%
Tulusan et al., 2012	Πείραμα πεδίου; Ανατροφοδότηση από εφαρμογή; Όχι οικονομικά ωφέλη	50 οδηγοί εταιρικών οχημάτων (25 ομάδα διαχείρισης); (8 εβδομάδες)	3,23%
Rolim et al., 2014	Πείραμα πεδίου; Εκπαιδευτική συνεδρία; Περίοδος με ανατροφοδότηση και χωρίς	20 οδηγοί (11 ομάδα διαχείρισης), (1364 ημέρες)	4,80%
Hari et al., 2012	Πείραμα πεδίου; Ανατροφοδότηση από συσκευή	15 οδηγοί βαν, Ην. Βασίλειο; (4 εβδομάδες)	7,60%
Wu et al., 2011	Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος βελτιστοποίησης της οικονομίας καυσίμου	Έλεγχος συστήματος	Συνθήκες επιτάχυνσης: 22-31% Συνθήκες επιβράδυνσης: 12-26%

Barla et al., 2016	Δεδομένα πάνελ; Εκπαιδευτική συνεδρία	45 οδηγοί, Καναδάς; (10 μήνες)	πόλη: 4,6%, 2,9% αυτοκινητόδρομο; Χειροκίνητο: πόλη:10%, αυτοκινητόδρομο: 8%
Wang et al., 2018	Πείραμα πεδίου; Εκπαιδευτική συνεδρία	12 οδηγοί, Μαδρίτη; (2 μήνες)	6,3%; Μεγαλ. σε αυτοκινητόδρομο κατά 8%

Πίνακας 1.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Το **προφίλ του οδηγού** και η αυτοβελτίωσή του μπορούν να σκιαγραφηθούν μέσω της καταγραφής διαφόρων στοιχείων οδήγησης από εφαρμογές κινητού τηλεφώνου και συσκευές OBD. Εκτιμάται **ότι η οικολογική οδήγηση εξοικονομεί μέση κατανάλωση καυσίμου στο 22%**. Η συμπεριφορά των οδηγών **τροποποιείται εντός και εκτός του αυτοκινητοδρόμου**.

Παρατηρείται ότι η **καταλληλότερη και συνηθέστερη μέθοδος εφαρμογής** είναι η πραγματοποίηση μιας **εκπαιδευτικής συνεδρίας για την οικολογική οδήγηση και η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών πριν και μετά από αυτή**. Όπως αναφέρθηκε στις έρευνες το ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου έφθινε με την πάροδο του χρόνου από τη συνεδρία. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η σωστή και συχνή ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των χρηστών για την οικολογική συμπεριφορά προκειμένου να αλλάξει η συμπεριφορά τους στο οδικό δίκτυο. Επίσης, οι κυβερνήσεις μπορούν να μειώσουν τα όρια ταχύτητας και να εγκαταστήσουν συσκευές ανατροφοδότησης πληροφορίας σε οδηγούς Ι.Χ. (Barkenbus, 2010).

Ακόμα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Η οικολογική οδήγηση συμβάλλει στην **εξοικονόμηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά μέσο όρο 22%**.
- Επίσης, συμβάλλει στη **μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κατά 20%**.
- Η βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών μπορεί να οδηγήσει σε **μείωση των οδικών ατυχημάτων κατά 8%**.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων της Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, αναφέρονται ορισμένες θεμελιώδεις στατιστικές έννοιες και η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε, δηλαδή η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση (lognormal distribution)**. Η μέθοδος επιλέχτηκε λόγω του είδους της εξαρτημένης μεταβλητής (κατανάλωση καυσίμου), η οποία λαμβάνει συνεχείς τιμές. Τέλος, αναλύονται οι στατιστικοί έλεγχοι και τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης των παραπάνω μεθόδων στατιστικής ανάλυσης.

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** ($\bar{x}$) 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 δεν περιέγραψε καταλλήλως το δείγμα και απορρίφθηκε, και η λογαριθμοκανονική, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων.

3.3.1 Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression)

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 $E(Y|X=x_i)$.

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

3.3.1.1 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**.

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

όπου:

y_i : η εξαρτημένη μεταβλητή

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

$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{vi}$: 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 (Lognormal Regression)

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:

$$\log(y_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{1i} + \beta_2 \cdot x_{2i} + \dots + \beta_v \cdot x_{vi} + \varepsilon_i$$

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 λογαριθμοκανονικής 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 Student). 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:

$t_{\text{stat}} = \beta_i / \text{s.e.}$, 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 3.2: 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. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης των ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που οδήγησε στην επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης. Επιλέχθηκε η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** ως μέθοδος στατιστικής ανάλυσης. Επόμενο βήμα είναι η συλλογή των στοιχείων από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε και η στατιστική επεξεργασία αυτών, με στόχο τη **διερεύνηση της επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου**.

Ειδικότερα το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο υποενότητες. Στην πρώτη υποενότητα, που αφορά τη συλλογή των στοιχείων, αναλύεται το πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης με πηγή δεδομένων σύγχρονες κινητές συσκευές. Στη δεύτερη υποενότητα επεξεργάζονται τα στοιχεία του πειράματος και παρουσιάζονται σε συγκεντρωτικούς πίνακες και σε γραφήματα. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας προκύπτουν με τη βοήθεια του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R, ακολουθούμενα με τον απαραίτητο σχολιασμό. Τέλος, μέσω της διαδικασίας που θα αναλυθεί παρακάτω γίνεται επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

4.2 Συλλογή Στοιχείων

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψε ότι έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες για τη διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου σε διεθνές επίπεδο. Ωστόσο, στην Ελλάδα έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστες έρευνες με συναφές θέμα με την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Αυτό πιθανόν συμβαίνει καθώς η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης και ο όρος της οικολογικής οδήγησης δεν είναι ευρέως διαδεδομένος και υιοθετημένος στη χώρα μας. Ακόμη, το πείραμα υλοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, θέτοντας έτσι το ζήτημα της προστασίας των προσωπικών δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία η συλλογή των δεδομένων προήλθε με τη **χρήση αισθητήρων από έξυπνα κινητά τηλέφωνα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης**. Επιπλέον, ο κάθε οδηγός κλήθηκε να συμπληρώνει έναν **πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου** καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και να συμπληρώσει ένα **ερωτηματολόγιο** ώστε να συλλεχθούν γενικά στοιχεία συμπεριφοράς κάθε οδηγού, των χαρακτηριστικών του οχήματός του και δημογραφικά στοιχεία.

4.2.1 Στοιχεία Εφαρμογής OSeven

Η **OSeven** είναι μια **εταιρεία τηλεματικής**, η οποία έχει δημιουργήσει μια εφαρμογή κατάλληλη για αρκετές κατηγορίες έξυπνων κινητών με σκοπό να συλλέγει στοιχεία που αφορούν τον **τρόπο οδήγησης και συμπεριφοράς των οδηγών**. Με τα παραπάνω δεδομένα δημιουργεί **προφίλ ατομικής συμπεριφοράς των οδηγών** μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων. Τελικός στόχος της εταιρείας είναι η ενημέρωση των οδηγών για τα αδύναμα στοιχεία της οδήγησής τους και κατ' επέκταση η συνεισφορά σε ένα **ασφαλέστερο οδικό δίκτυο** και σε μια συμπεριφορά των οδηγών **φιλικότερη προς το περιβάλλον** και **οικονομικότερη προς τους ίδιους** τους οδηγούς.

Η **καταγραφή των δεδομένων** ξεκινάει αυτόματα όταν αναγνωρίζεται από τους αισθητήρες των κινητών τηλεφώνων μια κατάσταση οδήγησης και σταματάει αυτόματα όταν αναγνωρίζεται η κατάσταση μη οδήγησης. Η καταγραφή της μη οδήγησης διακόπτεται μετά από διάστημα πέντε λεπτών, καθώς θεωρείται ότι ο οδηγός έκανε μια ολιγόλεπτη στάση και μετά συνέχισε τη διαδρομή του. Σε περίπτωση που η παραπάνω θεώρηση δεν ισχύει απορρίπτεται από τις μεθόδους τεχνικής μάθησης. Τα καταγεγραμμένα στοιχεία προέρχονται από τους διάφορους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone) και αλγόριθμους συγχώνευσης (fusion algorithms) δεδομένων που παρέχονται από το Android (Google) και το iOS (Apple).

Η εφαρμογή κινητού τηλεφώνου που έχει αναπτυχθεί, καταγράφει τη συμπεριφορά του χρήστη χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες της συσκευής (επιταχυνσιόμετρο (Accelerometer), γυροσκόπιο (Gyroscope), μαγνητόμετρο (Magnetometer), GPS (ταχύτητα, πορεία, γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος)). Από το iOS και το Android παρέχεται ο ρυθμός εκτροπής, ο βαθμός έντασης και κύλισης, η γραμμική επιτάχυνση και η βαρύτητα. Για να διαβαστούν τα δεδομένα που κατέγραψαν οι αισθητήρες και να **αποθηκευτούν** προσωρινά στη συσκευή χρησιμοποιείται μια ποικιλία APIs (Application Programming Interface). Έπειτα αυτά τα στοιχεία στέλλονται μέσω σύνδεσης ίντερνετ (είτε με Wi-Fi είτε με κυψελοειδές δίκτυο 3G / 4G) στην κεντρική βάση δεδομένων του OSeven backend office και ταυτόχρονα διαγράφονται από την μνήμη του κινητού τηλεφώνου ώστε να είναι έτοιμο να καταγράψει στην επόμενη διαδρομή. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των δεδομένων:



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα ροής δεδομένων, Πηγή: <https://www.oseven.io/>

Τα δεδομένα αποθηκεύονται χρησιμοποιώντας προηγμένες **τεχνικές κρυπτογράφησης και ασφάλειας δεδομένων**, σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και τις οδηγίες της ΕΕ για την προστασία των προσωπικών δεδομένων (GDPR). Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται υποστηρίζουν τον έλεγχο ταυτότητας του χρήστη και την

κρυπτογράφηση για να αποτρέπεται η πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένα δεδομένα από τρίτους.

Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο της αποθήκευσης των στοιχείων στον εξυπηρετητή, ακολουθεί η **κεντρική επεξεργασία και η μείωση της διάστασης των δεδομένων**, ώστε να μετατραπούν τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε σημαντικές πληροφορίες σχετικές με την οδική ασφάλεια και την οικολογική οδήγηση. Αυτό υλοποιείται με τη χρήση δύο μεγάλων μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων που περιλαμβάνουν δύο οικογένειες τεχνικών, **τεχνικές εξόρυξης μεγάλων δεδομένων** και **αλγόριθμους Machine Learning (ML)**. Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εξής:

- 1) Φιλτράρισμα δεδομένων και ανίχνευση τιμών που αποκλίνουν
- 2) Εξομάλυνση δεδομένων (όπου χρειάζεται)
- 3) Περιοχές υπερβολικής ταχύτητας
- 4) Συμβάντα απότομων επιταχύνσεων
- 5) Συμβάντα απότομων φρεναρισμάτων
- 6) Συμβάντα απότομων στροφών
- 7) Χρήση κινητού τηλεφώνου (ομιλία, σύνταξη μηνυμάτων, πλοήγηση στο διαδίκτυο)
- 8) Οδήγηση εντός επικίνδυνων ωρών (απόσταση σε επικίνδυνες ώρες)
- 9) Τρόπος μετακίνησης (αυτοκίνητο Ι.Χ., μέσα μαζικής μεταφοράς, ποδήλατο, μοτοποδήλατο)
- 10) Καθορισμός οδηγού ή επιβάτη

Ακόμα, υπολογίζεται μια ποικιλία διαφορετικών **μετά-δεδομένων** έπειτα από τη διαδικασία Machine Learning (ML) τα οποία είναι χρήσιμα στον χρήστη ή στην αξιολόγηση της συμπεριφοράς του οδηγού, όπως για παράδειγμα:

➤ **Δείκτες έκθεσης κινδύνου**

- Συνολική απόσταση (απόσταση σε μίλια)
- Διάρκεια οδήγησης Τύπος (τύποι) οδικού δικτύου που χρησιμοποιείται (η θέση δίνεται στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού θέσης (GPS) και ενσωματώνεται σε χορηγούς χαρτών, π.χ. Google, OSM)
- Περίοδος της ημέρας που πραγματοποιήθηκε η οδήγηση (ώρες αιχμής, επικίνδυνες ώρες)
- Καιρικές Συνθήκες
- Σκοπός του ταξιδιού (για επαγγελματική ή προσωπική χρήση) συνδυασμένα με άλλες πηγές δεδομένων (όρια ταχυτήτων και λεπτομερείς χάρτες ατυχημάτων)

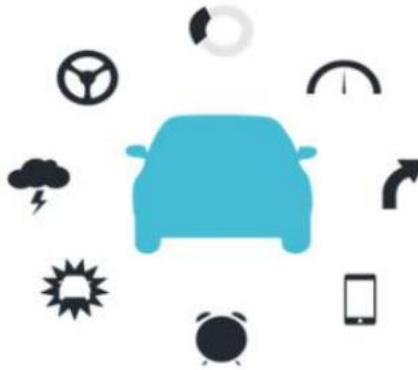
➤ **Δείκτες οδηγικής συμπεριφοράς**

- Υπέρβαση του ορίου ταχύτητας (διάρκεια υπέρβασης του ορίου, υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κλπ.)
- Αριθμός και σοβαρότητα απότομων συμβάντων

- Απότομο φρενάρισμα (επιτάχυνση κατά μήκος)
- Απότομη επιτάχυνση (επιτάχυνση κατά μήκος)
- Απότομες στροφές (γωνιακή ταχύτητα, πλευρική επιτάχυνση, πορεία)
- Οδηγική επιθετικότητα (π.χ. φρενάρισμα, επιτάχυνση)
- Απόσπαση λόγω χρήσης κινητού τηλεφώνου

Κατά τη δεύτερη φάση προστέθηκαν επιπλέον:

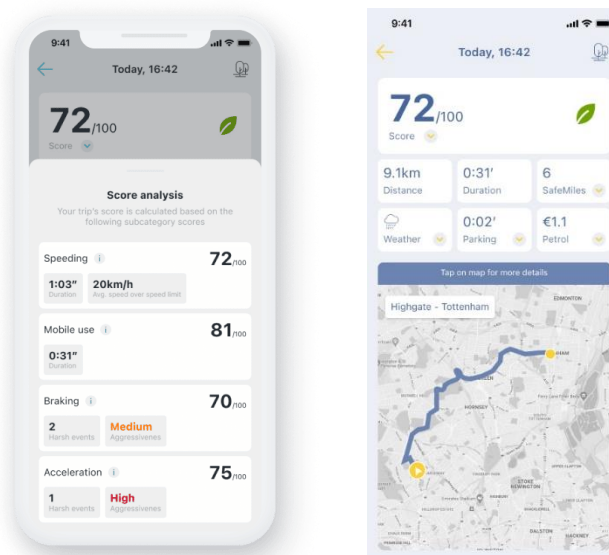
- Κόστος καυσίμου που καταναλώθηκε ανά διαδρομή (η τιμή λίτρου ρυθμίζεται από το χρήστη)
- Χρόνος αναζήτησης θέσης στάθμευσης



Εικόνα 4.2: Δείκτες κινδύνου οδήγησης, Πηγή: OSeven

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων είναι η **ανάπτυξη του μοντέλου οδηγικής συμπεριφοράς**. Η εταιρεία συγκεντρώνει τα δεδομένα και μέσω ενός συστήματος βαθμονόμησης, βαθμονομείται κάθε χρήστης όχι μόνο για κάθε ταξίδι, αλλά και για τη σύνολο αυτών. Η συμπεριφορά του οδηγού καθ'όλη τη διάρκεια οδήγησης και τα σφάλματα που κάνει, αξιολογούνται με την ανάπτυξη ορισμένων δεικτών. Τέλος, αποθηκεύεται όλη η διαδικασία σε μια βάση ανά ταξίδι-διαδρομή για κάθε οδηγό με τελικό στόχο την κατασκευή του τελικού συστήματος βαθμολόγησης του κάθε οδηγού.

Παράλληλα, ο χρήστης με το τέλος του ταξιδιού του μπορεί να δει τη διαδρομή που πραγματοποίησε στο χάρτη, αλλά και σε ποια οδικά τμήματα εμφάνισε επιθετική συμπεριφορά ή έκανε σφάλματα, ώστε να αποφευχθούν παρόμοιες ενέργειες στο μέλλον.



Εικόνα 4.3: Εφαρμογή της OSeven στο κινητό τηλέφωνο, Πηγή: <https://www.oseven.io/>

4.2.3 Πειραματική Διαδικασία

Μέσω μιας εφαρμογής της εταιρείας OSeven, εφαρμόστηκε ένα σύγχρονο σύστημα εξατομικευμένης καταγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς σε πραγματικό χρόνο αξιοποιώντας τους αισθητήρες των σύγχρονων κινητών συσκευών. Για την υλοποίηση του πειράματος αυτού συμμετείχαν **15 οδηγοί σε χρονικό διάστημα έξι (6) μηνών**, από τέλη Νοεμβρίου έως αρχές Μαΐου του 2023, και δημιουργήθηκε μια μεγάλη βάση χιλιάδων διαδρομών.

Το πείραμα αποτελούνταν από δύο στάδια, το πρώτο διάρκειας τεσσάρων (4) μηνών και το δεύτερο δύο (2) μηνών. Κατά το **πρώτο στάδιο** οι οδηγοί κλήθηκαν να οδηγήσουν με τη **συνηθισμένη συμπεριφορά** τους, ενώ στο **δεύτερο** κλήθηκαν να οδηγήσουν με **οικολογική συμπεριφορά**. Κατά τη δεύτερη περίοδο ζητήθηκε από τους οδηγούς να τηρούν τα όρια ταχύτητας, να συντονίζονται με την ταχύτητα των άλλων οχημάτων, να μην πραγματοποιούν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις και γενικά να υιοθετήσουν ένα προφίλ φιλικό προς το περιβάλλον και σεβόμενο τη δικιά τους ασφάλεια, αλλά και τον άλλων χρηστών του οδικού δικτύου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε **αστικό και υπεραστικό περιβάλλον**, αλλά και σε **αυτοκινητόδρομο**.

Σε παράλληλο χρόνο οι χρήστες κάθε φορά που γέμιζαν το ντεπόζιτό τους, συμπλήρωναν σε έναν **πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου την ημερομηνία γεμίσματος, τα χιλιόμετρα που πραγματοποιήσαν μεταξύ γεμισμάτων, τα λίτρα καυσίμου που εισήγαγαν**, καθώς και μια εκτίμηση του ποσοστού των χιλιομέτρων που διένυσαν εκτός πόλης. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου που κλήθηκαν να συμπληρώσουν οι συμμετέχοντες. Συμπληρώθηκε πίνακας ίδιας μορφής και στις δύο φάσεις του πειράματος.

A/A	Ημερομηνία	Χιλιόμετρα Κοντέρ	Λίτρα καυσίμου	Ποσοστό χιλιομέτρων εκτός πόλης
1				
2				
3				
4				

Πίνακας 4.1: Πίνακας καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου

Πριν την έναρξη του πειράματος οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο που χωριζόταν σε τέσσερεις ενότητες: α) Εμπειρία του οδηγού-μετακινήσεις, β) Όχημα, γ) Συμπεριφορά του οδηγού και οικολογική οδήγηση, δ) Δημογραφικά στοιχεία, όπως φαίνονται παρακάτω.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΟΔΗΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ **ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ**

A. ΟΔΗΓΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ - ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

A1) Πότε αποκτήσατε την άδεια οδήγησης του Ι.Χ. σας (έτος);

Κείμενο σύντομης απάντησης

A2) Πόσα χρόνια οδηγική εμπειρία έχετε;

- ☐ 0-2
- ☐ 3-5
- ☐ 6-8
- ☐ 8+

A3) Πόσες ώρες περίπου οδηγείτε την εβδομάδα;

- ☐ <1
- ☐ 1-3
- ☐ 4-9
- ☐ >10

A4) Πόσα χιλιόμετρα κατά μέσο όρο κάνετε εβδομαδιαίως με το όχημά σας εντός πόλης;

- ☐ <10
- ☐ 10-50

- ☐ 50-100
- ☐ >100

A5) Πόσες διαδρομές πραγματοποιείτε κατά μέσο όρο την ημέρα ως οδηγός;

- ☐ 1-2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5+

A6) Ποιο είναι το μέσο ημερήσιο μήκος των διαδρομών σας σε χιλιόμετρα;

Κείμενο σύντομης απάντησης

B. ΟΧΗΜΑ

B1) Το όχημα που χρησιμοποιείτε συνήθως:

- ☐ Ανήκει σε εσάς
- ☐ Το μοιράζεστε με τον/την αδελφό/ή σας
- ☐ Το μοιράζεστε με τους γονείς σας
- ☐ Το νοικιάζετε
- ☐ Είναι εταιρικό όχημα
- ☐ Άλλο

B2) Ποια είναι η χρονολογία κατασκευής του οχήματός σας;

Κείμενο σύντομης απάντησης

B3) Τι καύσιμο καταναλώνει το όχημά σας; (Μπορείτε να επιλέξετε πάνω από μία απάντηση)

- ☐ Βενζίνη
- ☐ Πετρέλαιο
- ☐ Υγραέριο
- ☐ Ηλεκτρικό όχημα

B4) Πόσα χρήματα δαπανάτε μηνιαίως για καύσιμα του οχήματός σας;

- ☐ <50 ευρώ
- ☐ 51-100 ευρώ
- ☐ 101-200 ευρώ
- ☐ >200 ευρώ

B5) Ποιος είναι ο κυβισμός του οχήματός σας; (σε cc)

Κείμενο σύντομης απάντησης

B6) Ποια είναι η μέση κατανάλωση καυσίμου που παρατηρείτε κατά τις διαδρομές σας;

- ☐ <5lt/100 km

- ☐ 5-7lt/100 km
- ☐ 9-12lt/100km
- ☐ 12-15lt/100km
- ☐ >15lt/100 km

B7) Το όχημά σας είναι:

- ☐ Χειροκίνητο
- ☐ Αυτόματο

Γ. ΟΔΗΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΟΔΗΓΗΣΗ

Γ1) Χαρακτηρίστε τον εαυτό σας ως οδηγό

- Πόσο προσεκτικός/η οδηγός πιστεύετε ότι είστε; (1=καθόλου, 5=πάρα πολύ)

- Πόσο επιθετικός/η οδηγός πιστεύετε ότι είστε; (1=καθόλου, 5=πάρα πολύ)

Γ2) Γνωρίζετε τον όρο «οικολογική οδήγηση»;

- ☐ Ναι
- ☐ Όχι

Γ3) Πόσο οικολογικά πιστεύετε ότι οδηγείτε;

Κατάταξη από το 1 μέχρι το 5. (1=καθόλου, 5=πάρα πολύ)

Γ4) Αξιολογείτε εάν οδηγείτε οικολογικά απαντώντας στα παρακάτω:

Κατάταξη από το 1 μέχρι το 5. Το 1 αντιστοιχεί σε Ποτέ, το 2 σε Σπάνια, το 3 σε Μερικές φορές, το 4 σε Συχνά, το 5 σε Πάντα.

- Σέβεστε τα όρια ταχύτητας
- Διατηρείτε, όσο είναι δυνατόν, σταθερή ταχύτητα
- Συντονίζετε με την ταχύτητα των άλλων οχημάτων
- Κρατάτε τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000
- Επιτυγχάνετε την μέγιστη κύλιση του οχήματος χωρίς να πατάτε το γκάζι
- Αποφεύγετε τις απότομες επιταχύνσεις, ξεκινώντας αργά
- Αποφεύγετε τις απότομες επιβραδύνσεις, προβλέποντας να φρενάρετε εγκαίρως
- Αποφεύγετε τις απότομες εναλλαγές ταχύτητας κρατώντας απόσταση από τα άλλα οχήματα
- Δεν πατάτε γκάζι χωρίς λόγο στις κατηφόρες

Γ5) Γνωρίζετε ότι εάν τηρήσετε τα παραπάνω θα έχετε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου 15%-40%, δηλαδή με ντεπόζιτο 50 λίτρων μπορείτε να διανύσετε στην πόλη 550-650 χλμ, αντί για 450 χλμ χωρίς οικολογική οδήγηση;

- ☐ Ναι

☐ Όχι

Δ. ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Δ1) Ποιο είναι το φύλο σας;

- ☐ Άνδρας
- ☐ Γυναίκα
- ☐ Άλλο

Δ2) Ποια είναι η ηλικία σας

Κείμενο σύντομης απάντησης

Δ3) Ποια είναι η οικογενειακή σας κατάσταση;

- ☐ Ανύπαντρος/η
- ☐ Παντρεμένος/η
- ☐ Διαζευγμένος/η
- ☐ Χήρος/α

Δ4) Ποιο είναι το ετήσιο οικογενειακό σας εισόδημα;

- ☐ <10.000 ευρώ
- ☐ 10.000-25.000 ευρώ
- ☐ >25.000 ευρώ

Δ5) Ποιο είναι το μορφωτικό σας επίπεδο;

- ☐ Πρωτοβάθμια
- ☐ Δευτεροβάθμια
- ☐ ΑΕΙ
- ☐ Μεταπτυχιακό
- ☐ Διδακτορικό
- ☐ Άλλο

Δ6) Αξιολογείτε την εφαρμογή της OSeven.

Κατάταξη από το 1 μέχρι το 5. (1=καθόλου, 5=πάρα πολύ)

- Απλή στη χρήση και κατανόηση των πληροφοριών που δίνει
- Με έχει βοηθήσει να βελτιώσω την οδήγησή μου

Δ7) Τι επιπλέον πληροφορίες θα επιθυμούσατε να δείτε στην εφαρμογή;

Κείμενο σύντομης απάντησης

Για τις ανάγκες και το σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, τα δεδομένα αποθηκεύονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η βάση δεδομένων που προέκυψε δόθηκε σε αρχείο Microsoft Excel. Κάθε γραμμή αποτελούσε μια μετακίνηση ενός οδηγού. Κάθε στήλη είχε και μια μεταβλητή για κάθε μετακίνηση.

Οι **μεταβλητές** που δίνονταν ήταν οι εξής:

- identifier: κωδική ονομασία οδηγού
- tripid: κωδική ονομασία διαδρομής
- tripstarted: ημερομηνία και ώρα έναρξης της μετακίνησης
- totaldist: συνολική απόσταση διαδρομής σε χιλιόμετρα (km)
- duration: συνολική διάρκεια διαδρομής σε δευτερόλεπτα (s)
- distance_highway: απόσταση διαδρομής σε αυτοκινητόδρομο (km)
- distance_rural: απόσταση διαδρομής σε υπεραστικό περιβάλλον (km)
- distance_urban: απόσταση διαδρομής σε αστικό περιβάλλον (km)
- avgspeed: μέση ταχύτητα (km/h)
- avgSpeedHighway: μέση ταχύτητα σε αυτοκινητόδρομο (km/h)
- avgSpeedRural: μέση ταχύτητα σε υπεραστικό περιβάλλον (km/h)
- avgSpeedUrban: μέση ταχύτητα σε αστικό περιβάλλον (km/h)
- avgSqSpeeding: μέση ποσοστιαία υπέρβαση του ορίου ταχύτητας (2)
- avgSqSpeeding_highway: μέση ποσοστιαία υπέρβαση του ορίου ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομο (2)
- avgSqSpeeding_rural: μέση ποσοστιαία υπέρβαση του ορίου ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον (2)
- avgSqSpeeding_urban: μέση ποσοστιαία υπέρβαση του ορίου ταχύτητας σε αστικό περιβάλλον (2)
- perc_speeding: ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας
- perc_speeding_highway: ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομο
- perc_speeding_rural: ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον
- perc_speeding_urban: ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας σε αστικό περιβάλλον
- mobileUsage: ποσοστό χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης
- mobileUsage_highway: ποσοστό χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο
- mobileUsage_rural: ποσοστό χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε υπεραστικό περιβάλλον
- mobileUsage_urban: ποσοστό χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε αστικό περιβάλλον
- avaccel: μέση επιτάχυνση (km/h/s)
- av_accel_highway: μέση επιτάχυνση σε αυτοκινητόδρομο (km/h/s)
- av_accel_rural: μέση επιτάχυνση σε υπεραστικό περιβάλλον (km/h/s)
- av_accel_urban: μέση επιτάχυνση σε αστικό περιβάλλον (km/h/s)
- avdecel: μέση επιβράδυνση (km/h/s)

- av_decel_highway: μέση επιβράδυνση σε αυτοκινητόδρομο (km/h/s)
- av_decel_rural: μέση επιβράδυνση σε υπεραστικό περιβάλλον (km/h/s)
- av_decel_urban: μέση επιβράδυνση σε αστικό περιβάλλον (km/h/s)
- ha: απότομη επιτάχυνση (απόλυτος αριθμός)
- ha_highway: απότομη επιτάχυνση σε αυτοκινητόδρομο
- ha_rural: απότομη επιτάχυνση σε υπεραστικό περιβάλλον
- ha_urban: απότομη επιτάχυνση σε αστικό περιβάλλον
- ha_intensity_high: υψηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης
- ha_intensity_medium: μέτρια επιθετικότητα επιτάχυνσης
- ha_intensity_low: χαμηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης
- ha_intensity_highway_high: υψηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης σε αυτοκινητόδρομο
- ha_intensity_highway_medium: μέτρια επιθετικότητα επιτάχυνσης σε αυτοκινητόδρομο
- ha_intensity_highway_low: χαμηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης σε αυτοκινητόδρομο
- ha_intensity_rural_high: υψηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης σε υπεραστικό περιβάλλον
- ha_intensity_rural_medium: μέτρια επιθετικότητα επιτάχυνσης σε υπεραστικό περιβάλλον
- ha_intensity_rural_low: χαμηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης σε υπεραστικό περιβάλλον
- ha_intensity_urban_high: υψηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης σε αστικό περιβάλλον
- ha_intensity_urban_medium: μέτρια επιθετικότητα επιτάχυνσης σε αστικό περιβάλλον
- ha_intensity_urban_low: χαμηλή επιθετικότητα επιτάχυνσης σε αστικό περιβάλλον
- hb: απότομο φρενάρισμα/επιβράδυνση (απόλυτος αριθμός)
- hb_highway: απότομη επιβράδυνση σε αυτοκινητόδρομο
- hb_rural: απότομη επιβράδυνση σε υπεραστικό περιβάλλον
- hb_urban: απότομη επιβράδυνση σε αστικό περιβάλλον
- hb_intensity_high: υψηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος
- hb_intensity_medium: υψηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος
- hb_intensity_low: υψηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος
- hb_intensity_highway_high: υψηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος σε αυτοκινητόδρομο
- hb_intensity_highway_medium: μέτρια επιθετικότητα φρεναρίσματος σε αυτοκινητόδρομο
- hb_intensity_highway_low: χαμηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος σε αυτοκινητόδρομο
- hb_intensity_rural_high: υψηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος σε υπεραστικό περιβάλλον
- hb_intensity_rural_medium: μέτρια επιθετικότητα φρεναρίσματος σε υπεραστικό περιβάλλον
- hb_intensity_rural_low: χαμηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος σε υπεραστικό περιβάλλον
- hb_intensity_urban_high: υψηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος σε αστικό περιβάλλον
- hb_intensity_urban_medium: μέτρια επιθετικότητα φρεναρίσματος σε αστικό περιβάλλον
- hb_intensity_urban_low: χαμηλή επιθετικότητα φρεναρίσματος σε αστικό περιβάλλον
- riskyhoursdistance: οδήγηση σε επικίνδυνες ώρες από τις 22:00 μέχρι τις 05:00 (km)
- smooth_eco: οικολογική οδήγηση (όσο μεγαλύτερη η τιμή τόσο το καλύτερο)
- smooth_eco_highway: οικολογική οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο
- smooth_eco_rural: οικολογική οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον
- smooth_eco_urban: οικολογική οδήγηση σε αστικό περιβάλλον
- acc_30_avg: μέση επιτάχυνση όταν η ταχύτητα είναι μέχρι 30km/h
- acc_3050_avg: μέση επιτάχυνση όταν η ταχύτητα είναι μεταξύ 30-50 km/h
- acc_5090_avg: μέση επιτάχυνση όταν η ταχύτητα είναι μεταξύ 50-90 km/h

- `acc_90_avg`: μέση επιτάχυνση όταν η ταχύτητα είναι πάνω από 90 km/h
- `peak hour`: 0: πρωινές ώρες αιχμής (06:00-10:00), 1: απογευματινές ώρες αιχμής (16:00-20:00), 99: υπόλοιπες ώρες εκτός αιχμής
- `week_day`: ημέρα εβδομάδας (0: Δευτέρα, 1: Τρίτη κλπ.)
- `work_weekend`: 0: καθημερινή, 1: Σαββατοκύριακο

4.3 Επεξεργασία Στοιχείων

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των στοιχείων που συλλέχθηκαν από το πείραμα και το ερωτηματολόγιο. Έπειτα, παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν στη φάση της προκαταρκτικής ανάλυσης, ώστε να κατανοηθούν καλύτερα και να οπτικοποιηθούν τα δεδομένα.

4.3.1 Διαμόρφωση Δεδομένων

Στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τα κινητά τηλέφωνα, και συγκεντρώθηκαν στην κεντρική βάση της OSeven, προστέθηκαν στήλες με **καινούργιες μεταβλητές** οι οποίες κρίθηκαν απαραίτητες για τη συσχέτιση της οδηγικής συμπεριφοράς και της κατανάλωσης καυσίμου. Πρώτα, δημιουργήθηκε η δίτιμη μεταβλητή **before-after** που λαμβάνει τις τιμές 0 και 1, (0 για το before και 1 για το after). Το before αναφέρεται στην «**οδήγηση αναφοράς**», δηλαδή στην αρχική συμπεριφορά των οδηγών-συμμετεχόντων για τους τέσσερις πρώτους μήνες (Νοέμβριο - Φεβρουάριο) του πειράματος κατά τους οποίους οι χρήστες οδηγούν υπό πραγματικές συνθήκες χωρίς να καταβάλουν καμία προσπάθεια. Ενώ, το after αφορά στην «**οικολογική οδήγηση**», δηλαδή στη βελτίωση της οδηγικής τους συμπεριφοράς κατά τους δυο άλλους μήνες (Μάρτιος - Μάιος) όπου οι συμμετέχοντες τηρούν τα χαρακτηριστικά του προφίλ της οικολογικής οδήγησης.

Με βάση τον πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου που συμπλήρωναν οι χρήστες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, υπολογίστηκε η κατανάλωση καυσίμου, για τον κάθε ένα ξεχωριστά, εκφρασμένη σε lt/100km. Αρχικά υπολογίστηκε το πηλίκο των λίτρων καυσίμου που εισάχθηκαν στο ντεπόζιτο προς τα διανυθέντα χιλιόμετρα και πολλαπλασιάστηκε επί το 100 (lt/100km). Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε γέμισμα του ντεπόζιτου. Στη συνέχεια βρέθηκε ο μέσος όρος των λόγων lt/100 km για κάθε χρήστη, στις δύο φάσεις χωριστά. Έτσι δημιουργήθηκαν οι μεταβλητές **Before_lt_perhkm** και **After_lt_perhkm** για κάθε χρήστη στο αντίστοιχο στάδιο του πειράματος. Επιπλέον, σχηματίστηκε οι μεταβλητές **Before_fills** και **After_fills**, οι οποίες εκφράζουν τον αριθμό των γεμισμάτων που έκανε ο κάθε οδηγός τόσο στην α' φάση όσο και στη β' φάση του πειράματος ξεχωριστά και λαμβάνουν τιμές (1,2,3,4 γεμίσματα καυσίμου κλπ.). Ακόμα δημιουργήθηκαν οι μεταβλητές **Avg_B_daily_fills** και **Avg_A_daily_fills**, οι οποίες ο μέσος ημερησίως αριθμός γεμισμάτων για το διάστημα που διήρκεσε η κάθε φάση. Προέκυψαν από τη διαίρεση των Before_fills ή After_fills με τον συνολικό αριθμό ημερών που διήρκεσε η κάθε φάση.

Τέλος, τα δεδομένα των ερωτηματολογίων καταχωρήθηκαν σε έναν πίνακα και αφορούσαν τόσο στα δημογραφικά χαρακτηριστικά τους όσο και στις συνήθειες τους κατά την οδήγηση. Τα ποιοτικά μεγέθη, όπως το φύλο, ο τύπος καυσίμου του οχήματος, κωδικοποιήθηκαν καταλλήλως ώστε να μπορούν να «διαβαστούν» από την R. Κάθε ποιοτικό μέγεθος αντιστοιχήθηκε σε έναν ακέραιο αριθμό. Για παράδειγμα, η οδηγική εμπειρία χωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες 0- 2, 3-5, 6-8, 8+ έτη οι οποίες αντιπροσωπεύονται από τις τιμές 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα. Κατ' ανάλογο τρόπο το φύλο διακρίνεται σε δυο κατηγορίες άντρες και γυναίκες λαμβάνοντας τις τιμές 1 και 2 αντίστοιχα. Σε περίπτωση που κάποιος απαντούσε εάν κάνει απότομα φρεναρίσματα/επιταχύνσεις κατά τη διάρκεια της οδήγησης, στην αντίστοιχη στήλη τοποθετήθηκε 1 (ποτέ), 2 (σπάνια), 3 (μερικές φορές), 4 (συχνά) είτε 5 (πάντα). Παρακάτω, παρουσιάζεται απόσπασμα από τον πίνακα με την κωδικοποίηση των μεταβλητών που προέκυψε από το ερωτηματολόγιο.

ΕΡΩΤΗΣΗ	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΑΠΑΝΤΗΣΗ					
A1	licence_date	date					
A2	dr_exp	1:[0-2]	2:[3-5]	3:[6-8]	4:[>8]		
A3	hours_dr_per_week	1:[<1]	2:[1-3]	3:[4-9]	4:[>10]		
A4	week_dist	1:[<10]	2:[10-50]	3:[50-100]	4:[>100]		
A5	trips_per_day	1:[1-2]	2:[3]	3:[4]	4:[>5]		
A6	daily_trip_dist	number					
B1	veh_owner	1:[owner]	2:[sibling]	3:[parents]	4:[rent]	5:[company]	6:[other]
B2	veh_date	1:[<2005]	2:[2005-2010]	3:[2011-2016]	4:[>2016]		
B3	veh_fuel	1:[gasoline]	2:[diesel]	3:[lpg]	4:[electric]		
B4	fuel_cost	1:[<50]	2:[51-100]	3:[101-200]	4:[>200]		
B5	vehicle_cc	number					
B6	veh_tr_type	1:[manual]	2:[automotive]				
C1	quest_careful	1:[none]	2:[little]	3:[some]	4:[very]	5:[very much]	
C2	quest_harsh	1:[none]	2:[little]	3:[some]	4:[very]	5:[very much]	
C3	term_eco_dr	1:[yes]	2:[no]				
C4	quest_eco_dr	1:[none]	2:[little]	3:[some]	4:[very]	5:[very much]	
	quest_resp_speed	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
	quest_const_speed	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
	quest_coord_others_speed	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
	quest_eng_speed_2000	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
	quest_max_acc	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
	quest_no_harsh_acc	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
	quest_no_harsh_dec	1:[never]	2:[seldom]	3:[some times]	4:[often]	5:[always]	
D1	gender	1:[male]	2:[female]	3:[other]			
D2	age	number					
D3	marital_status	1:[unmarried]	2:[married]	3:[divorced]	4:[widow/er]		
D4	household_income	1:[<10.000]	2:[10.000-25.000]	3:[>25.000]			
D5	education	1:[primary]	2:[secondary]	3:[Bachelor]	4:[MSc]	5:[PhD]	6:[other]

Πίνακας 4.2: Απόσπασμα κωδικοποίησης μεταβλητών ερωτηματολογίου

Έπειτα οι μεταβλητές του ερωτηματολογίου τροποποιήθηκαν καταλλήλως προκειμένου να μπορούν να επεξεργαστούν στο πρόγραμμα. Ένα απόσπασμα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε φαίνεται στις σειρές 12 έως 19 της *Εικόνας 4.2*.

Για να ξεκινήσει το στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε αρχικά η εισαγωγή των τριών αρχείων Excel στο πρόγραμμα της στατιστικής ανάλυσης R μέσω των εντολών **fread** και **read_excel**. Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν όσοι χρήστες είχαν κάνει είτε λιγότερα από δέκα ταξίδια είτε δεν είχαν απαντήσει το ερωτηματολόγιο, με βάση τον κωδικό των συμμετεχόντων. Έπειτα χωρίστηκε η βάση μέσω της εντολής **subset**, σε δύο νέους πίνακες για το πρώτο (before) και το δεύτερο στάδιο (after) του πειράματος, με βάση την τιμή της μεταβλητής **before_after**. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος όλων των ταξιδιών του κάθε χρήστη και με την εντολή **merge** ενώθηκε με τη βάση δεδομένων του ερωτηματολογίου. Τέλος, συγχωνεύθηκαν οι δύο βάσεις δεδομένων σε έναν μεγάλο πίνακα (general).

```

1 library(data.table)
2 library(fread)
3 library(readxl)
4 #
5 #0seven data
6 App_Data <- fread("ecodrive_app_data.csv")
7 #Questionnaire data
8 Ecodrive_questionnaire_data = read_excel("ecodrive_questionnaire_short.xlsx")
9 #Fuel data
10 Ecodrive_fuel_data = read_excel("ecodrive_fuel_short.xlsx")
11
12 ##Convert some numeric variables that should be used as factor (diakrites metavlites)
13 Ecodrive_questionnaire_data$dr_exp=as.factor(Ecodrive_questionnaire_data$dr_exp)
14 Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week=as.factor(Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week)
15 Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week=as.factor(Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week)
16 Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week=as.factor(Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week)
17 #Convert factor variables to numeric
18 Ecodrive_questionnaire_data$dr_exp=as.numeric(Ecodrive_questionnaire_data$dr_exp)
19 Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week=as.numeric(Ecodrive_questionnaire_data$dr_per_week)
20
21 App10 = App_Data[App_Data$identifier %in% names(which(table(App_Data$identifier)>10)),]#keep drivers with more than 10 trips
22 App10$before_after = ifelse(App10$stripstarted < "2022-12-31", 0, 1) #create new variable
23 Ecodrive_fuel_data = na.omit(Ecodrive_fuel_data) #Remove drivers without questionnaire
24 App_eco_perdriver= merge(App10, Ecodrive_fuel_data, by="identifier")
25
26 #subsetting
27 Before_App_eco = subset(App_eco_perdriver, before_after == 0) #Subsetting to keep data before phase change
28 Mean_Before_app_eco_perdriver=aggregate(Before_App_eco[,3:156], by=list(Before_App_eco$identifier), FUN=mean)#mean of trips of each driver for before phase
29 colnames(Mean_Before_app_eco_perdriver)[1]=c("identifier")
30 Before_Dataset=merge(Mean_Before_app_eco_perdriver, Ecodrive_questionnaire_data, by="identifier")
31
32 After_App_eco = subset(App_eco_perdriver, before_after == 1) #Subsetting to keep data after phase change
33 Mean_After_app_eco_perdriver=aggregate(After_App_eco[,3:156], by=list(After_App_eco$identifier), FUN=mean) #mean of trips of each driver for after phase
34 colnames(Mean_After_app_eco_perdriver)[1]=c("identifier")
35 After_Dataset=merge(Mean_After_app_eco_perdriver, Ecodrive_questionnaire_data, by="identifier")
36
37 #combine Before and After Dataset to a general one (General_Dataset is a copy of Before_Dataset and After_Dataset)
38 Dataset=read_excel("General_Dataset.xlsx")

```

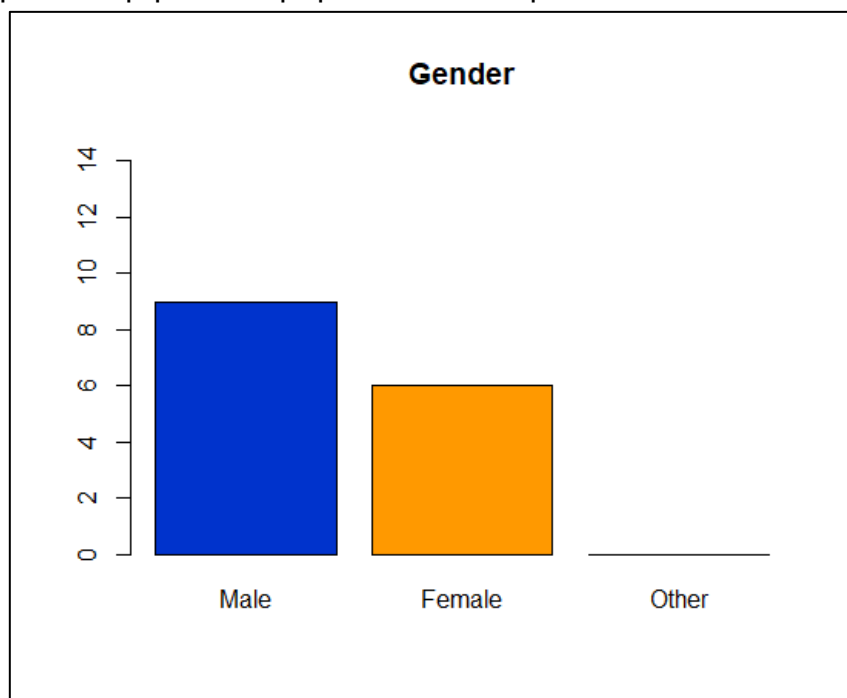
Εικόνα 4.2: Πεδίο εισαγωγής δεδομένων στην R

	identifier	speed_avg	speed_highway_avg	speed_rural_avg	speed_undefined_avg	speed_urban_avg	acc_highway	acc_rural	acc_urban	dec_highway	dec_rural	dec_urban	acc_avg	dec_avg
1	ecodriver101	31.30582	0.0000000	24.44561	0	30.75746	0.000000000	1.2300993	1.264116	0.000000000	-1.3539017	-1.423831	1.326477	-1.491758
2	ecodriver102	35.18715	2.2072040	33.33636	0	32.45554	0.025113867	1.6107661	1.820773	-0.024721760	-1.7827248	-1.973407	1.814222	-1.983105
3	ecodriver103	38.90553	3.2295590	35.43750	0	36.02627	0.016147465	1.0659929	1.334561	-0.022991202	-1.3465599	-1.577233	1.405419	-1.663453
4	ecodriver104	44.99734	5.7751595	44.53007	0	39.27611	0.047816919	1.1548747	1.422548	-0.049063108	-1.4928408	-1.599018	1.407007	-1.636707
5	ecodriver115	31.25692	0.8051204	32.52867	0	28.32408	0.007234904	1.4138017	1.608843	-0.010052521	-1.4539532	-1.521413	1.616303	-1.556107
6	ecodriver117	36.52740	0.0000000	36.15400	0	33.24319	0.000000000	1.5461723	1.653884	0.000000000	-1.5409484	-1.695601	1.665058	-1.662717
7	ecodriver121	36.04984	4.6522158	36.13846	0	29.13692	0.035753805	1.3363429	1.599608	-0.031469678	-1.4236629	-1.747064	1.558158	-1.654530
8	ecodriver122	39.33567	10.4858924	38.44576	0	34.36513	0.077110180	1.1213516	1.395290	-0.071544710	-1.2306293	-1.567860	1.377369	-1.491161

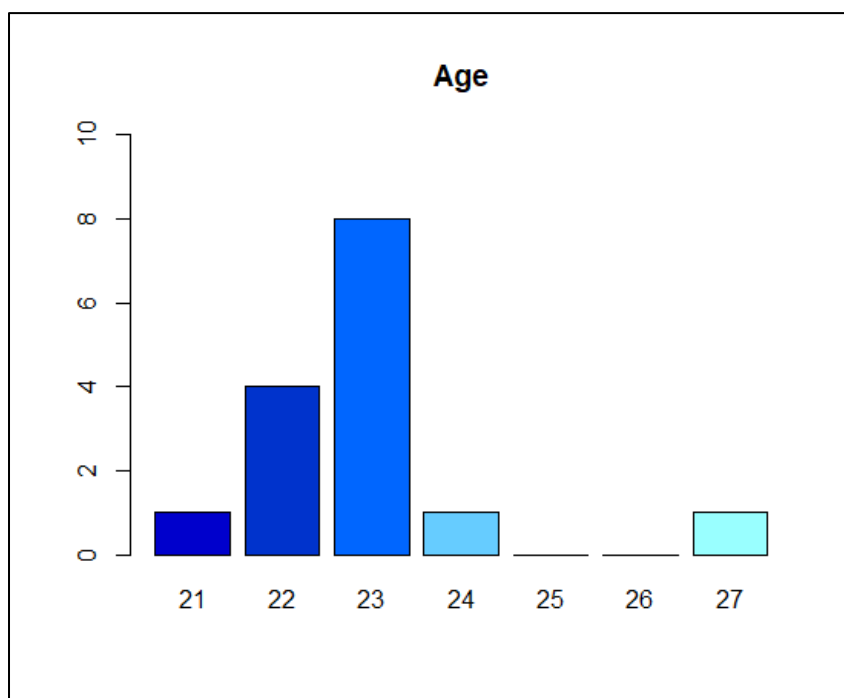
Εικόνα 4.3: Απόσπασμα βάσης δεδομένων στην R

4.3.2 Διαγράμματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα διαγράμματα που προέκυψαν από το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R. Αποτελούν μια προκαταρκτική ανάλυση, η οποία θα συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.

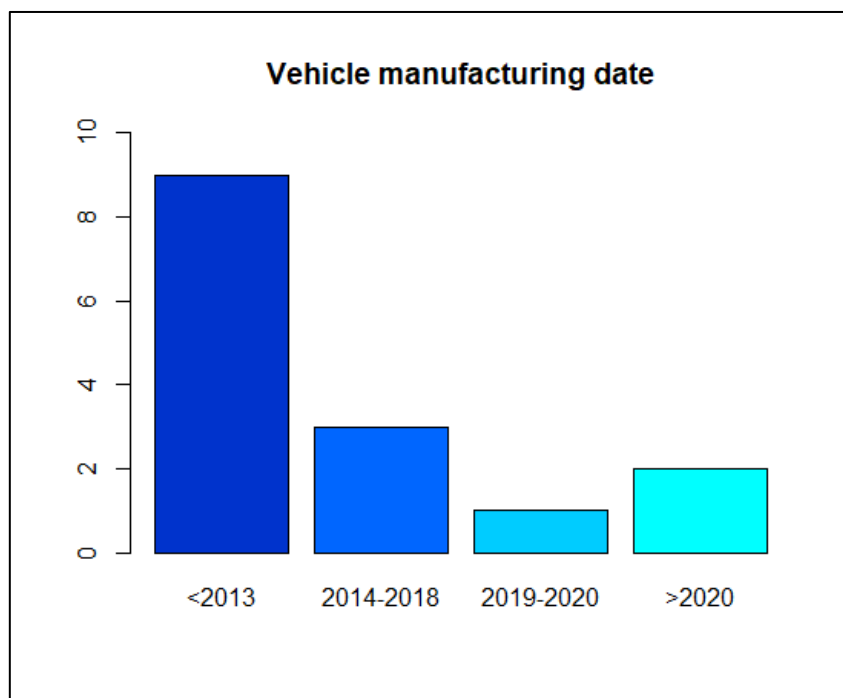


Διάγραμμα 4.1: Φύλο συμμετεχόντων

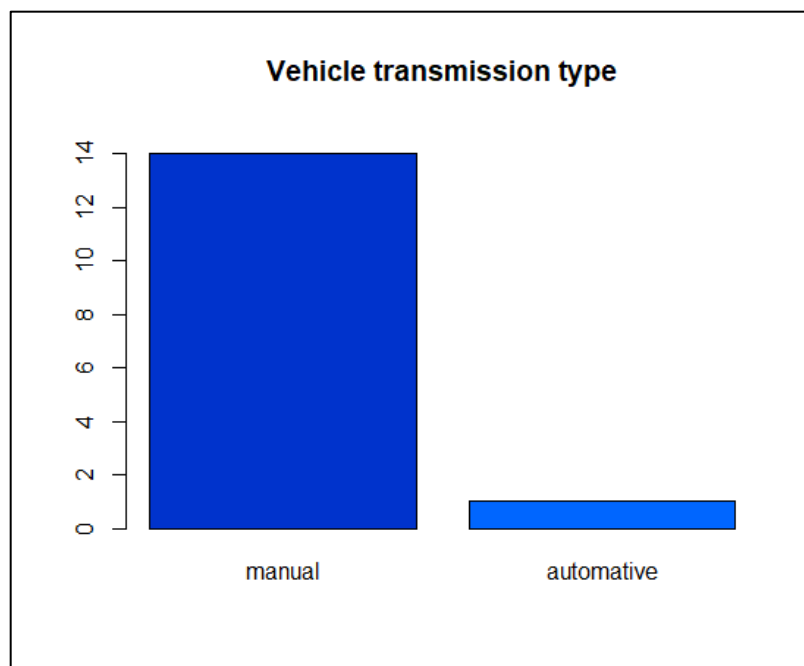


Διάγραμμα 4.2: Ηλικία συμμετεχόντων

Το δείγμα αποτελείται κατά 60% από άνδρες και 40% από γυναίκες. Συνεπώς είναι ισοκατανεμημένο. Ακόμα από το Διάγραμμα 4.2 φαίνεται ότι οι οδηγοί είναι νέοι.

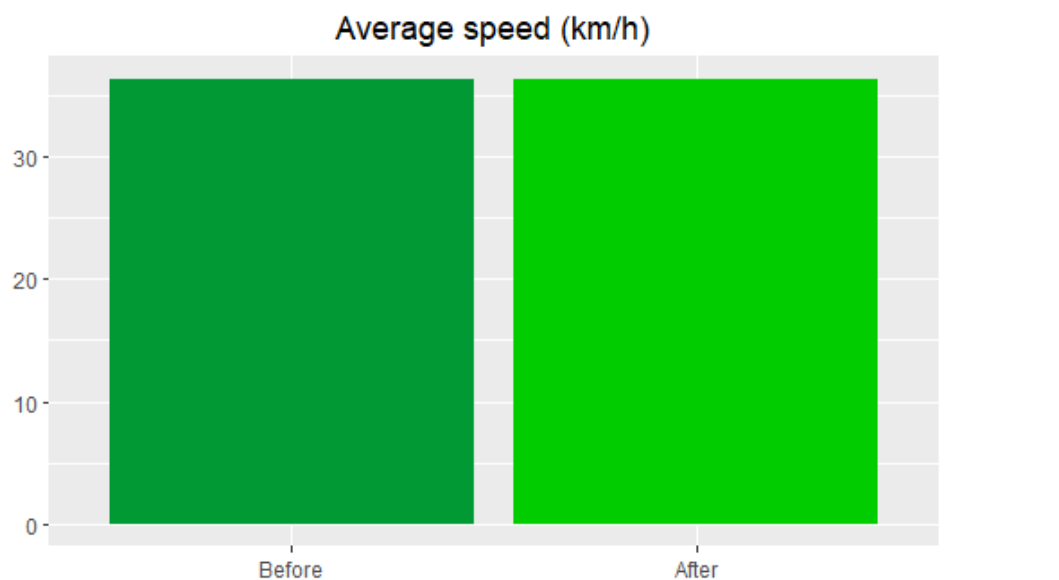


Διάγραμμα 4.3. Έτος κατασκευής οχημάτων

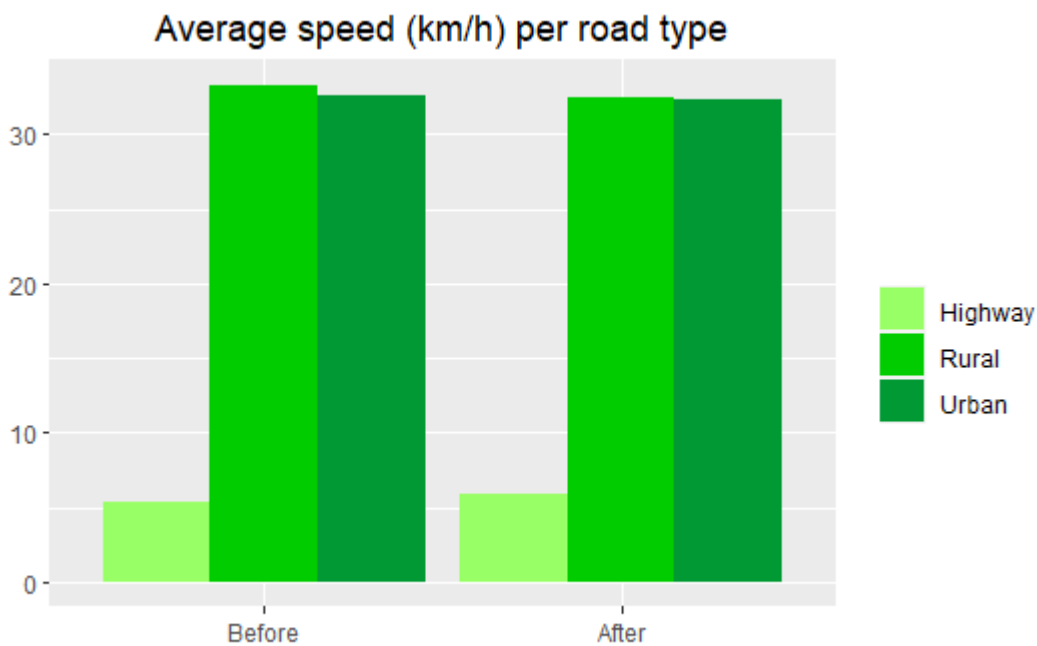


Διάγραμμα 4.4: Χειροκίνητο/ Αυτόματο όχημα

Όσον αφορά τον στόλο των οχημάτων, παρατηρείται ότι είναι παλιός και λειτουργεί χειροκίνητα.

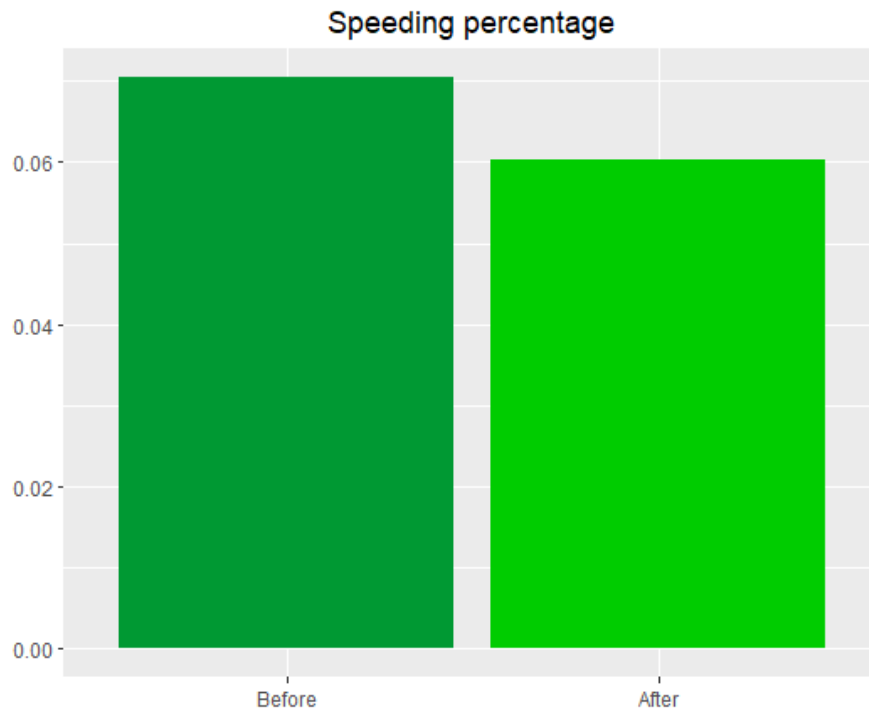


Διάγραμμα 4.5: Μέση ταχύτητα οδήγησης πριν και μετά



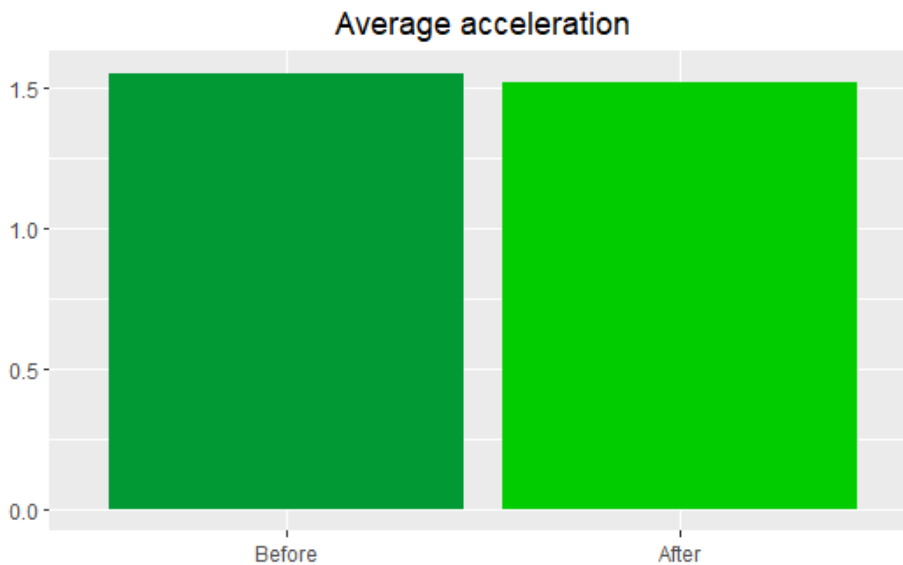
Διάγραμμα 4.6: Μέση ταχύτητα οδήγησης ανά τύπο οδού πριν και μετά

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα οδήγησης των χρηστών δεν μειώθηκε σημαντικά.

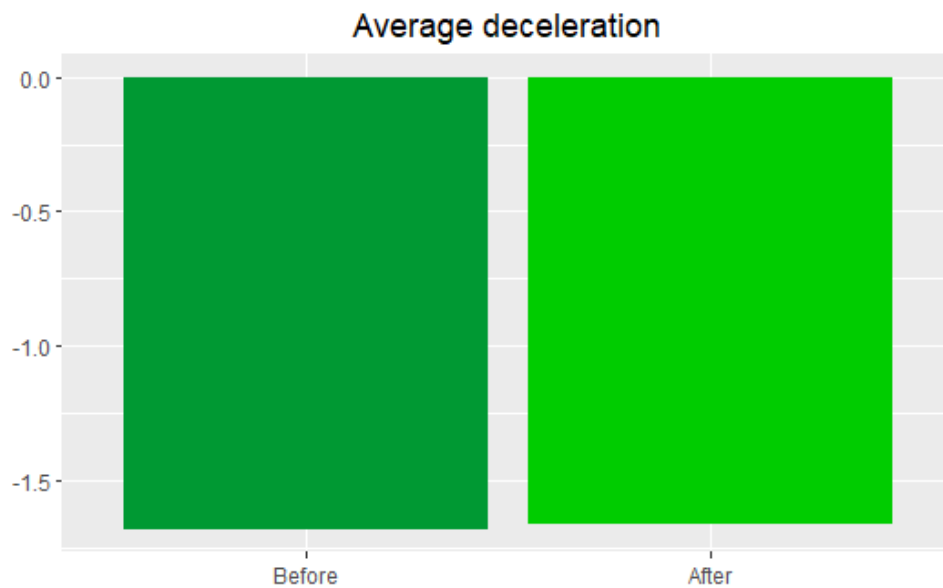


Διάγραμμα 4.7. Ποσοστό υπέρβασης του ορίου ταχύτητας πριν και μετά

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται ότι υπάρχει αξιόλογη μεταβολή του ποσοστού υπέρβασης του ορίου ταχύτητας με μείωση κατά 14,22%.

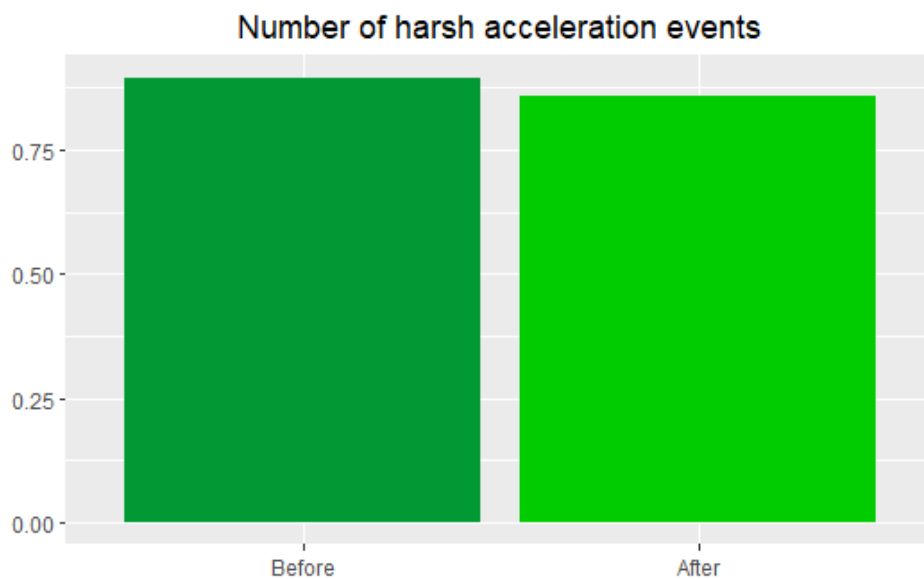


Διάγραμμα 4.8: Μέση επιτάχυνση πριν και μετά

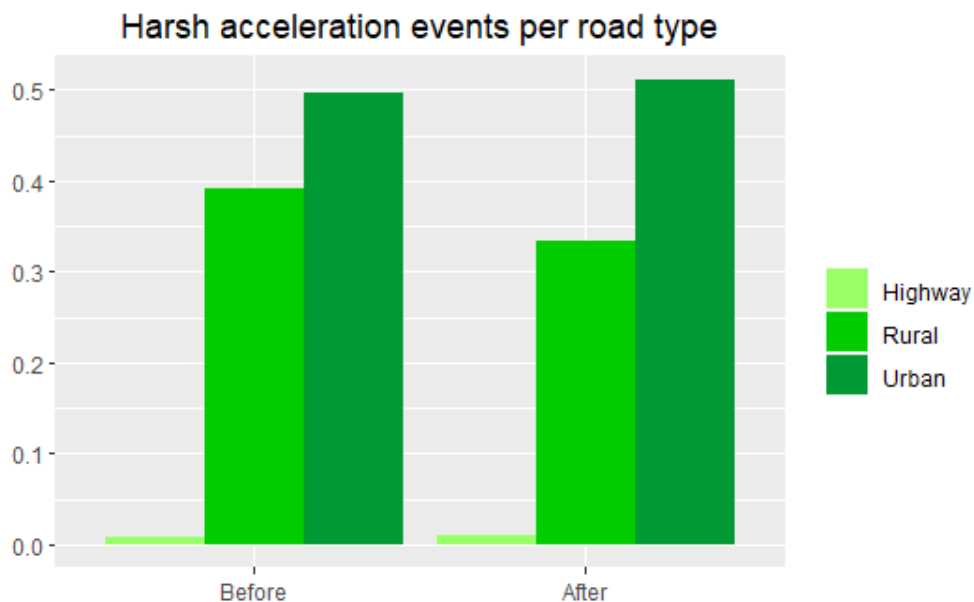


Διάγραμμα 4.9: Μέση επιβράδυνση πριν και μετά

Μετά το πέρας του πειράματος η μέση επιτάχυνση ελαττώθηκε κατά 3,12%, ενώ η μέση επιβράδυνση δεν μειώθηκε καθόλου.

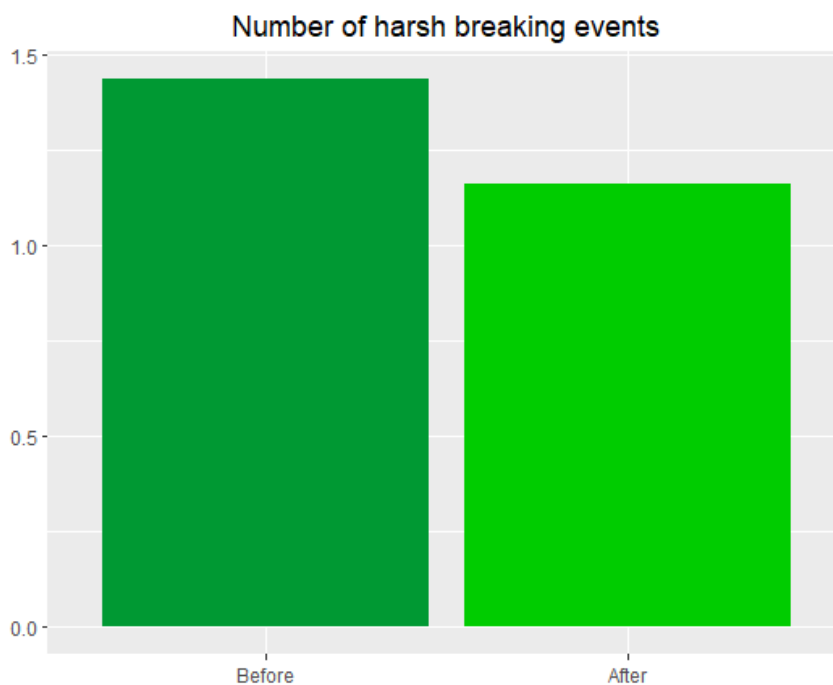


Διάγραμμα 4.100: Αριθμός απότομων επιταχύνσεων πριν και μετά

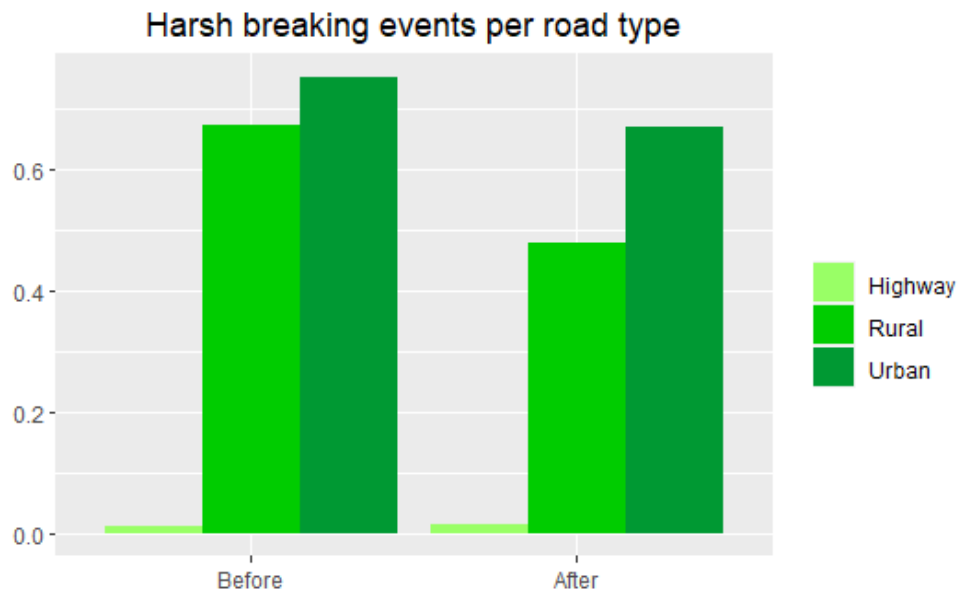


Διάγραμμα 4.11: Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά τύπο οδού πριν και μετά

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων μειώνεται κατά 3,79%. Οι οδηγοί βελτιώνουν τις απότομες εκκινήσεις και επιταχύνσεις, μεταβάλλοντας ομαλά την ταχύτητά τους. Ακόμα ελαττώνεται ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων στο υπεραστικό οδικό δίκτυο κατά 5,61%. Στο αστικό οδικό δίκτυο παρατηρείται αύξηση των συμβάντων, ενώ στους αυτοκινητοδρόμους είναι σχεδόν σταθερό.

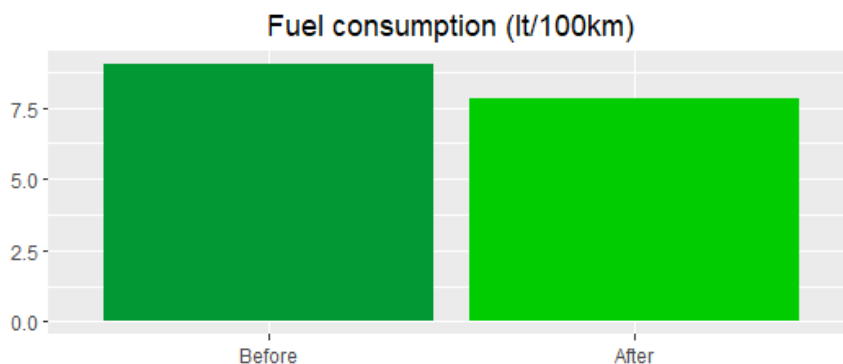


Διάγραμμα 4.11: Αριθμός απότομων φρεναρισμάτων πριν και μετά



Διάγραμμα 4.12: Αριθμός απότομων φρεναρισμάτων ανά τύπο οδού πριν και μετά

Ο αριθμός των απότομων φρεναρισμάτων περιορίστηκε κατά 27,42%. Αυτό φαίνεται στο υπεραστικό και στο αστικό οδικό δίκτυο.



Διάγραμμα 4.13: Μέση κατανάλωση καυσίμου (lt/100km) πριν και μετά

Με αλλαγή της συμπεριφοράς των χρηστών παρουσιάστηκε αξιόλογη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 8,14%. Οι οδηγοί οι οποίοι προσπάθησαν να είναι πιο προσεκτικοί και να υιοθετήσουν ένα προφίλ πιο οικολογικό, παρατήρησαν πως η συμπεριφορά τους απέναντι στην οδήγηση είχε άμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση καυσίμου, και με αυτή τη διαπίστωση εκπληρώνεται σαφώς ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, με τον οποίο συσχετίζεται άμεσα η συμπεριφορά των οδηγών με την κατανάλωση καυσίμων.

4.3.3 Γενικά Σχόλια – Παρατηρήσεις

Μετά την εξέταση των ανωτέρω διαγραμμάτων προέκυψαν τα εξής:

- Με τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών παρουσιάστηκε **μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου κατά μέσο όρο κατά 8,14%**. Εάν είχε μειωθεί ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων και η ταχύτητα οδήγησης, η ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου θα ήταν πολύ μεγαλύτερη.
- Η **μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου** που εντοπίστηκε **στους οδηγούς** ανήλθε στο **39,09%**.
- Ο αριθμός των **απότομων φρεναρισμάτων** περιορίστηκε όταν οι οδηγοί υιοθέτησαν ένα πιο οικολογικό προφίλ. Οι οδηγοί κατάφεραν να μειώσουν τα φρεναρίσματα και τις απότομες στάσεις, τηρώντας τις αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων. Αυτό παρατηρήθηκε κυρίως στο υπεραστικό και στο αστικό οδικό δίκτυο.
- **Όσο περισσότερο βελτιώνεται η συμπεριφορά των οδηγών τόσο περισσότερο ελαττώνεται η μέση επιτάχυνση.** Οι **επιθετικοί** οδηγοί πραγματοποιούν εκκινήσεις με ιδιαίτερως υψηλή επιτάχυνση και συνηθίζουν να οδηγούν με υψηλές στροφές του κινητήρα. Αντίθετα, οι οδηγοί που επιδεικνύουν μια πιο **μετριοπαθή και προσεκτική συμπεριφορά** αποφεύγουν τις απότομες εκκινήσεις και επιταχύνσεις και προσπαθούν να «μην πατάνε τέρμα το γκάζι» κατά τη διάρκεια της οδήγησης τους, μεταβάλλοντας ομαλά την ταχύτητα τους.
- Παρατηρείται ότι η **οικολογική οδήγηση** μπορεί να παρουσιάσει βελτιώσεις στην κατανάλωσης καυσίμου σε έναν κατά κύριο λόγο **παλιό στόλο οχημάτων**, που τα περισσότερα **λειτουργούν χειροκίνητα**.
- Η **οικολογική οδήγηση** μπορεί να **εφαρμοστεί αποτελεσματικά από νέους οδηγούς**. Συνεπώς γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα της εκμάθησής των χαρακτηριστικών σε οδηγούς με μικρή εμπειρία οδήγησης.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας, καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Ύστερα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών, την παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στοιχείων και την περιγραφή της συλλογής και της επεξεργασίας αυτών, επιλέχθηκε η κατάλληλη μεθοδολογία.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων της εργασίας, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 με τίτλο «Θεωρητικό Υπόβαθρο» είναι η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** (lognormal regression).

Η χρήση της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης έγινε για την ανάπτυξη τριών μοντέλων:

- Το πρώτο μοντέλο είναι το γενικό (**general model**) και η βάση δεδομένων του αποτελείται από τα στοιχεία της πρώτης (before) και της δεύτερης (after) φάσης του πειράματος.
- Το δεύτερο μοντέλο είναι της πρώτης φάσης του πειράματος (**before model**) και η βάση δεδομένων του αποτελείται από τα στοιχεία αυτής της φάσης (συνήθης τρόπος οδήγησης).
- Το τρίτο μοντέλο είναι της δεύτερης φάσης του πειράματος (**after model**) και η βάση δεδομένων του αποτελείται από τα στοιχεία αυτής της φάσης (οικολογική οδήγηση).

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται **αναλυτικά τα βήματα** που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην παρουσίαση ζητημάτων αξιοπιστίας των δεδομένων και στις διαδικασίες αντιμετώπισής τους. Αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι στατιστικοί έλεγχοι που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων.

Τέλος, παρατίθενται τα **αποτελέσματα** που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών, η περιγραφή τους, και η ερμηνεία τους με βάση το γενικότερο πλαίσιο της έρευνας.

5.2 Έλεγχος Συσχέτισης Μεταβλητών

Προτού ξεκινήσει η δημιουργία των μοντέλων για τον προσδιορισμό των κρίσιμων παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμου, πρέπει αρχικά να εξεταστεί η συσχέτιση των μεταβλητών. **Επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και η μηδενική συσχέτιση μεταξύ**

ανεξάρτητων μεταβλητών. Όταν κατά απόλυτη τιμή η γραμμική συσχέτιση δύο μεταβλητών είναι κοντά στη μονάδα, τότε θεωρείται ότι έχουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ όταν είναι κοντά στο μηδέν τότε αντίστοιχα φανερώνουν μηδενική συσχέτιση. Στην πράξη, όταν η απόλυτη τιμή του δείκτη συσχέτισης κατά Pearson r είναι μικρότερη ή ίση του 0.5~0.6 τότε οι μεταβλητές θεωρείται ότι έχουν μικρή συσχέτιση.

Στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης R υπάρχουν αρκετές εντολές οι οποίες μπορούν να υπολογίσουν την γραμμική συσχέτιση μεταξύ δύο ανεξάρτητων μεταβλητών από τις οποίες όμως η πιο απλή είναι η **cor(x, y, method=...)**. Οι **x,y** είναι οι δύο μεταβλητές, για τις οποίες εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση και **method** είναι η μέθοδος ως προς την οποία εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση, για παράδειγμα Pearson. Μετά τον υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης των μεταβλητών με τον παραπάνω τρόπο επιλέχθηκαν οι κατάλληλες ανεξάρτητες μεταβλητές για τα μοντέλα με κριτήριο να μην συσχετίζονται μεταξύ τους.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απόσπασμα του πίνακα συσχέτισης των μεταβλητών και επισημαίνονται με πορτοκαλί χρώμα ποιες από αυτές δεν μπορούν να μπουν μαζί στο ίδιο μοντέλο παλινδρόμησης.

	dec_avg	speed_avg	harsh_brk	before_after	duration	age
dec_avg	1	-0,331	-0,598	0,070	0,090	0,175
speed_avg	-0,331	1	0,651	-0,007	0,324	-0,272
harsh_brk	-0,598	0,651	1	-0,173	0,526	-0,131
before_after	0,070	-0,007	-0,173	1	-0,249	0,000
duration	0,090	0,324	0,526	-0,249	1	0,055
age	0,175	-0,272	-0,131	0,000	0,055	1

Πίνακας 5.1: Απόσπασμα πίνακα συσχέτισης των μεταβλητών της βάσης δεδομένων του Μοντέλου 1

5.3 Ανάπτυξη Μοντέλων Παλινδρόμησης στο Ειδικό Λογισμικό Στατιστικής Ανάλυσης R

Για τον προσδιορισμό των κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης των κρίσιμων παραγόντων επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιήθηκε η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση. Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας στο πρόγραμμα στατιστική ανάλυσης R γίνεται με ορισμένες εντολές.

Για να εφαρμοσθεί η μέθοδος παλινδρόμησης εκτελείται η εντολή **lm(log(formula, data))**. Το **formula** είναι το σύμβολο που παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών, δηλαδή την εξίσωση, και το **data** είναι το σύνολο δεδομένων που δίνει τις τιμές αυτών των μεταβλητών.

5.4 Μοντέλο 1: Κρίσιμοι Παράγοντες Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου- Γενικό Μοντέλο

5.4.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Το συγκεκριμένο μοντέλο κατασκευάστηκε με τη λογαριθμοκανονική μέθοδο και η μαθηματική σχέση που το περιγράφει είναι:

$$\text{LOG}(\text{lt_perhkm}) = 9,214 + 5,794 \cdot \text{harsh_acc_per_km} - 2,827 \cdot \text{acc_avg} - 2,027 \cdot \text{dec_avg} - 0,021 \cdot \text{duration_stops_avg} - 0,116 \cdot \text{before_after} + 0,141 \cdot \text{veh_date} - 0,213 \cdot \text{age} + 0,113 \cdot \text{dr_exp} - 0,207 \cdot \text{quest_resp_speed}$$

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

Parameters	βi	Std. Error	t-value	p-value
(Intercept)	9.214	0.581	15.856	<0,001
harsh_acc_per_km	5.794	0.260	22.253	<0,001
dec_avg	-2.027	0.222	-9.148	<0,001
acc_avg	-2.827	0.278	-10.196	<0,001
duration_stops_avg	-0.021	0.005	-4.239	0.005
before_after	-0.116	0.016	-7.324	<0,001
veh_date	0.141	0.034	4.144	0.006
age	-0.231	0.023	-10.078	<0,001
dr_exp	0.113	0.047	2.387	0.054
quest_resp_speed	-0.207	0.024	-8.692	<0,001
R ²	0.9835			

Πίνακας 5.2: Μεταβλητές στην εξίσωση του Μοντέλου 1

5.4.2 Ποιότητα Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Ο **συντελεστής συσχέτισης R²** είναι πολύ ικανοποιητικός, ίσος με 0,9835.
- Το **t test** είναι μεγαλύτερο από 1,2 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή.
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών και της σταθεράς είναι μικρότερο από 0,1.
- Οι **συντελεστές (βi)** και ο **σταθερός όρος** είναι μικροί.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται με βάση τη λογική.

5.4.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Μοντέλου

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

- Η μέση επιβράδυνση λαμβάνει αρνητικές τιμές από τη βάση δεδομένων. Η μεταβλητή της **μέσης επιβράδυνσης (dec_avg)** έχει αρνητικό πρόσημο και ίσο με -2,027. Υποδηλώνει ότι όσο αυξάνει τη μέση επιβράδυνση ο οδηγός τόσο αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου. Επομένως, όσο υψηλότερος είναι ο μέσος αριθμός των επιβραδύνσεων τόσο υψηλότερες οι ταχύτητες εκκίνησης ή φρεναρίσματος και τόσο υψηλότερη είναι η κατανάλωση καυσίμου.
- Η αύξηση του **αριθμού των συμβάντων απότομης επιτάχυνσης ανά χιλιόμετρο (harsh_acc_per_km)** οδηγεί στην αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 5,794. Επομένως οι οδηγοί πραγματοποιούν απότομες επιταχύνσεις αυξάνοντας την κατανάλωση του καυσίμου, ενδεχομένως διότι οδηγούν με επιθετικότητα.
- Η ανεξάρτητη μεταβλητή της **μέσης επιτάχυνσης (acc_avg)** έχει αρνητικό πρόσημο και ίσο με -2,827, το οποίο υποδηλώνει ότι όσο αυξάνει τη μέση επιτάχυνση ο οδηγός τόσο εξοικονομείται καύσιμο. Αυτό σημαίνει ότι η διατήρηση ενός πιο σταθερού, μετριοπαθούς μοτίβου επιτάχυνσης οδηγεί σε μειωμένη κατανάλωση καυσίμου. Σε συνδυασμό με την προηγούμενη μεταβλητή συμπεραίνουμε ότι γεγονότα απότομης επιτάχυνσης συνδέονται με υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου, όμως διατήρηση μιας ομαλότερης και σταθερότερης μέσης επιτάχυνσης με την πάροδο του χρόνου συνδέεται με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.
- Η μεταβλητή της **μέσης διάρκειας των στάσεων (duration_stops_avg)** έχει αρνητικό πρόσημο και ίσο με -0,021, το οποίο υποδηλώνει ότι όσο αυξάνει τη μέση διάρκεια των στάσεων του ο οδηγός τόσο μειώνεται και η κατανάλωση καυσίμου. Ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες διαδρομές πραγματοποιήθηκαν σε αστικό περιβάλλον όπου υπάρχουν φωτεινοί σηματοδότες και πολλές στάσεις μικρής διάρκειας.
- Το πρόσημο της μεταβλητής **before_after** στο γενικό μοντέλο πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου εμφανίζεται αρνητικό και ίσο με -0,116. Αυτό συνεπάγεται ότι όσο αυξάνεται αυτή η διακριτή μεταβλητή, δηλαδή όσο πλησιάζει την τιμή 1 και κατ' επέκταση όσο η συμπεριφορά των οδηγών γίνεται πιο οικολογική, τόσο μειώνεται ο λογάριθμος της κατανάλωσης καυσίμου. Η οικολογική και προσεκτική οδήγηση μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση καυσίμου.
- Επίσης η μεταβλητή του **έτους κατασκευής του οχήματος (veh_date)** επηρεάζει το ποσοστό κατανάλωσης καυσίμου. Με την αύξηση αυτής της μεταβλητής αυξάνεται και η εξαρτημένη μεταβλητή κατά 0,141. Όσο παλαιότερος είναι ο στόλος τόσο μικρότερη είναι και η κατανάλωση καυσίμου. Οι οδηγοί με παλαιότερα οχήματα πιθανόν νιώθουν λιγότερη ασφάλεια από αυτούς με νεότερα και έτσι, οδηγούν πιο προσεκτικά και πιο οικολογικά.
- Καθώς αυξάνεται η **ηλικία (age)** των οδηγών, γίνονται πιο προσεκτικοί και οδηγούν λιγότερο απότομα. Η παραπάνω διατύπωση επιβεβαιώνεται από το αρνητικό πρόσημο της ανεξάρτητης μεταβλητής με τιμή ίση με -0,231.
- Με την αύξηση της **εμπειρίας των οδηγών (dr_exp)**, είναι δυσκολότερο να αλλάξουν τον τρόπο οδήγησής του και να τηρήσουν το οικολογικό προφίλ οδήγησης. Έτσι εξηγείται η μεταβλητή με θετικό πρόσημο και ίση με 0,113.

- Οι οδηγοί διερωτήθηκαν στο ερωτηματολόγιο εάν τηρούν τα όρια ταχύτητας και οι δυνατές απαντήσεις ήταν: ποτέ, σπάνια, μερικές φορές, συχνά και πάντα. Οι απαντήσεις αυτές έχουν κωδικοποιηθεί αντίστοιχα με τα νούμερα 1, 2, 3, 4 και 5. Η μεταβλητή του ερωτηματολογίου, στην οποία **οι οδηγοί διερωτώνται εάν τηρούν τα όρια ταχύτητας (quest_resp_speed)**, βελτιστοποιεί την κατανάλωση καύσιμου με μείωση κατά -0,207. Καθώς η μεταβλητή αυξάνεται, δηλαδή η απάντηση των οδηγών είναι συχνά ή πάντα, η κατανάλωση του καυσίμου μειώνεται. Τονίζεται, έτσι, η σημασία της τήρησης των ορίων της ταχύτητας στην εξοικονόμηση του καυσίμου.

5.4.4 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών

Σε αυτό το σημείο είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο υπολογισμός του βαθμού επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών του παραπάνω μοντέλου στην εξαρτημένη μεταβλητή. Ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών εκφράζεται ποσοτικά μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής. Η θεωρία της ελαστικότητας είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος υπολογισμού του παραπάνω μεγέθους και μέσω αυτής της διαδικασίας αντικατοπτρίζεται η ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσοτέρων ανεξάρτητων μεταβλητών (X_i). 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 είχε αναφερθεί και στο κεφάλαιο 3 είναι ορθότερο να εκφραστεί η επιρροή των μεταβλητών ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η κατά 1% μεταβολή της ανεξάρτητης ενώ ο τύπος υπολογισμού της σχετικής επιρροής είναι:

$$ei = (\Delta Y_i / \Delta X_i) (X_i / Y_i) = \beta_i (X_i / Y_i), \text{ όπου:}$$

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 ανωτέρων τιμών.

Επίσης ο προσδιορισμός της σχετικής επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής, θεωρείται η πιο απλή και κατάλληλη διαδικασία, ικανή αφενός να αναδείξει την επιρροή της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, αφετέρου να καταστήσει εφικτή τη σύγκριση μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι η έννοια της επιρροής έχει νόημα **μόνο** για **συνεχείς μεταβλητές** και όχι για διακριτές μεταβλητές.

Για το συγκεκριμένο μοντέλο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη καθώς και το μέγεθος ei^* όπου είναι ο βαθμός της **σχετικής επιρροής** των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Parameters	βi	Μέση τιμή μεταβλητής	Ελαστικότητα ει	Σχετική Επιρροή ει*
dec_avg	-2,027	-1,700	0,185	-7,149
harsh_acc_per_km	5,794	0,105	0,033	-1,262
acc_avg	-2,827	1,578	-0,240	9,255
duration_stops_avg	-0,021	22,953	-0,026	1,000

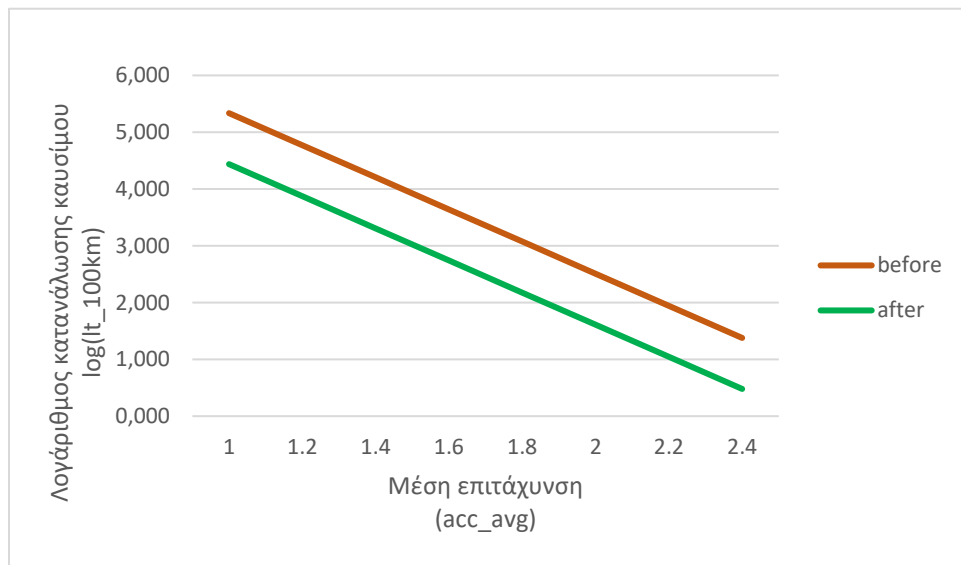
Πίνακας 5.3: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών του Μοντέλου 1

Από τις τέσσερις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η μεταβλητή της **μέσης επιτάχυνσης (acc_avg)** παρατηρείται ότι έχει την μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 9,255 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μέση διάρκεια των στάσεων (duration_stops_avg) η οποία έχει την μικρότερη επιρροή. Επίσης η μεταβλητή της μέσης επιβράδυνσης (dec_avg) έχει την αμέσως μικρότερη σχετική επιρροή με τιμή 7,149, ενώ ο αριθμός των συμβάντων απότομης επιτάχυνσης ανά χιλιόμετρο (harsh_acc_per_km), έχει σχετική επιρροή στο μοντέλο ίση με 1,262.

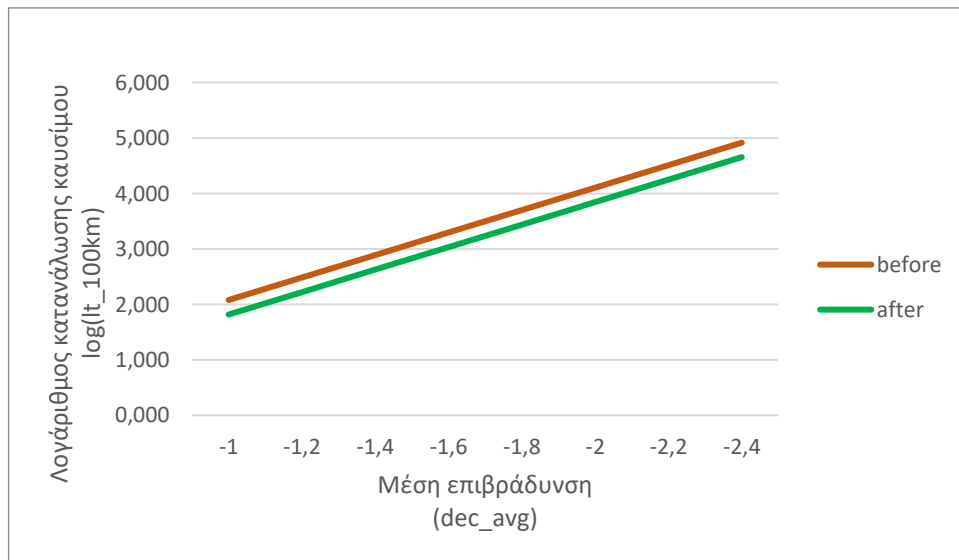
5.4.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Με στόχο την **καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή**, που προβλέπει το πρότυπο της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, αναπτύχθηκαν τα διαγράμματα ευαισθησίας που ακολουθούν. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα περιγράφουν την ευαισθησία της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής δηλαδή, την κατανάλωση καυσίμου, **όταν μεταβάλλεται μία εκ των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών και οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές.**

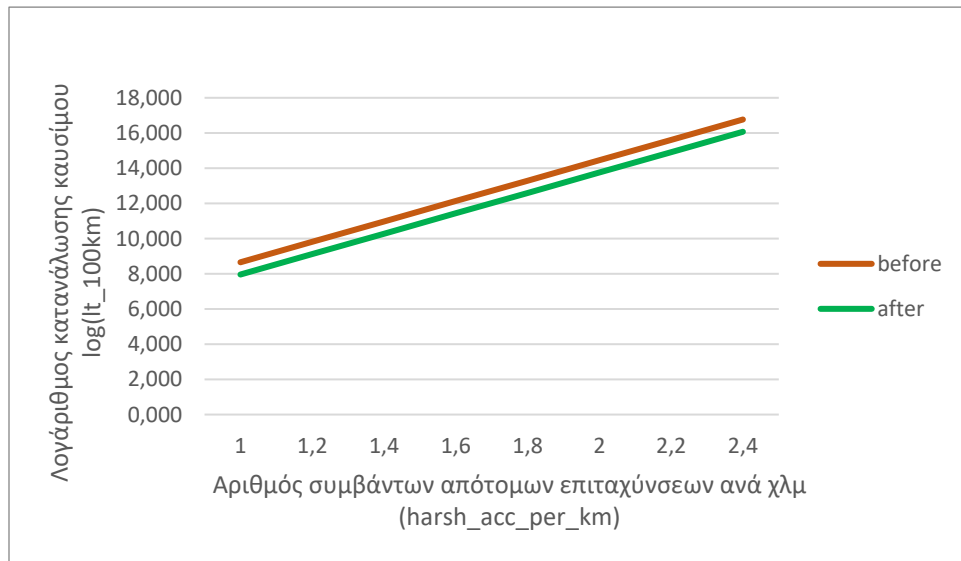
Επειδή όμως οι συνδυασμοί είναι πολλοί είτε λόγω των τιμών που μπορούν να δοθούν στις ανεξάρτητες μεταβλητές είτε λόγω των διαφορετικών απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί συνδυασμοί και κατ' επέκταση διαφορετικά διαγράμματα. Επομένως για το γενικό αλλά και για τα υπόλοιπα μοντέλα, θα παρουσιαστούν ενδεικτικά διαγράμματα με κάποια ενδιαφέροντα αποτελέσματα.



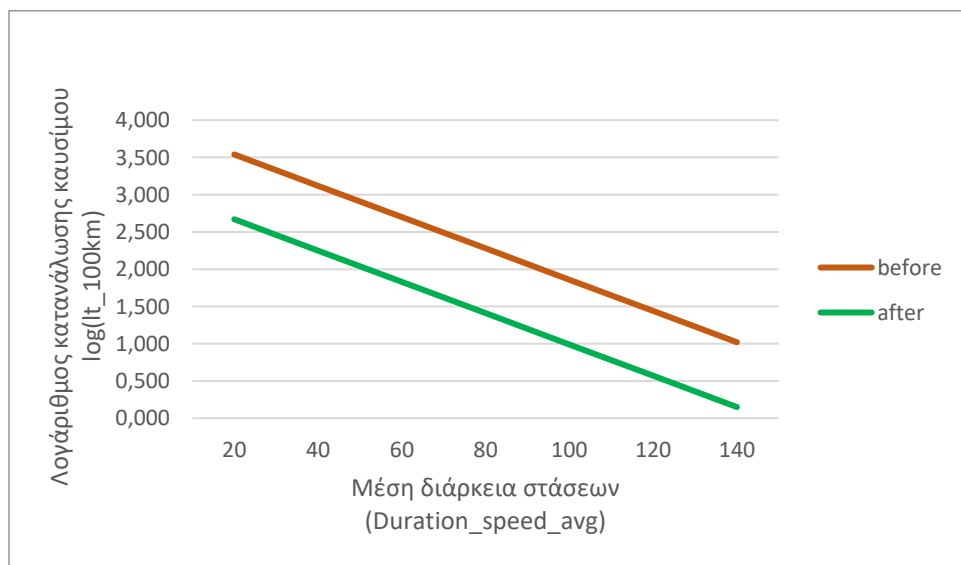
Διάγραμμα 5.14: Μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μέσης επιτάχυνσης ανά φάση του πειράματος



Διάγραμμα 5.15: Μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μέσης επιβράδυνσης σε κάθε φάση του πειράματος



Διάγραμμα 5.16: Μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου του αριθμού των συμβάντων των απότομων επιταχύνσεων σε κάθε φάση του πειράματος



Διάγραμμα 5.17: Μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μέσης διάρκειας των στάσεων σε κάθε φάση του πειράματος

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι όποια μεταβλητή και αν τροποποιηθεί, οι καμπύλες που προκύπτουν είναι παράλληλες. Επίσης, διαπιστώνεται ότι κατά τη **δεύτερη φάση του πειράματος**, σε κάθε περίπτωση, **εξοικονομείται καύσιμο**. Όσο αυξάνεται η μέση επιτάχυνση και η μέση διάρκεια των στάσεων τόσο μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου. Αντίθετα, με την αύξηση της μέσης επιβράδυνσης και του αριθμού των συμβάντων των απότομων επιταχύνσεων, η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται, το οποίο είναι λογικό. Όμως, από τα Διάγραμμα 5.2 και Διάγραμμα 5.3 φαίνεται ότι η απόσταση των ευθειών που περιγράφουν τα μοντέλα των δύο φάσεων του πειράματος

δεν είναι τόσο μεγάλη. Έτσι, η τροποποίηση των μεταβλητών δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου.

5.5 Μοντέλο 2: Κρίσιμοι Παράγοντες Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου- Μοντέλο Πρώτης Φάσης- Συνήθης Τρόπος Οδήγησης

5.5.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Το συγκεκριμένο μοντέλο κατασκευάστηκε με τη λογαριθμοκανονική μέθοδο και η μαθηματική σχέση που το περιγράφει είναι:

$$\text{LOG}(\text{before_lt_perhkm}) = -336,8 - 0,233 \cdot \text{harsh_brk} - 0,636 \cdot \text{dec_avg} - 0,001 \cdot \text{duration} + 0,167 \cdot \text{license_date} + 0,014 \cdot \text{daily_trip_dist} + 0,001 \cdot \text{vehicle_cc}$$

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

Parameters	βi	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	-336.8	65.180	-5.168	<0,001
harsh_brk	-0.233	0.108	-2.161	0.063
dec_avg	-	-	-	-
duration	-0.001	0.0003	2.504	0.037
license_date	0.167	0.030	5.161	<0,001
daily_trip_dist	0.014	0.004	-3.780	0.005
vehicle_cc	0.001	0.0002	3.540	0.007
R ²	0.7243			

Πίνακας 5.4: Μεταβλητές στην εξίσωση του Μοντέλου 2

5.5.2 Ποιότητα Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Ο **συντελεστής συσχέτισης R²** είναι πολύ ικανοποιητικός, ίσος με 0,7243.
- Το **t test** είναι μεγαλύτερο από 1,2 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή.
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών και της σταθεράς είναι μικρότερο από 0,1.
- Οι **συντελεστές (βi)** είναι μικροί και ο σταθερός όρος είναι μεγάλος.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται με βάση τη λογική.

5.5.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Μοντέλου

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

- Η αύξηση του **αριθμού των συμβάντων απότομων φρεναρισμάτων (harsh_brk)** οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά -0,233. Επίσης, είναι πιθανό όταν αφήνει ο οδηγός το γκάζι κατά τη διάρκεια του απότομου φρεναρίσματος, ο κινητήρας να «πέφτει» πιο γρήγορα στο ρελαντί, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου.
- Η μεταβλητή της **μέσης επιβράδυνσης (dec_avg)** δεν είναι στατιστικά σημαντική.
- Το πρόσημο της μεταβλητή της **συνολικής διάρκειας του ταξιδιού (duration)** είναι αρνητικό και ίσο με -0,001. Ενδεχομένως ερμηνεύεται ότι όσο αυξάνεται η διάρκεια του ταξιδιού και ο οδηγός είναι πιο συγκεντρωμένος στην οδήγηση, τόσο μειώνεται η κατανάλωση του καυσίμου.
- Όσο πιο πρόσφατο είναι το **δίπλωμα οδήγησης (license_date)** τόσο μικρότερη είναι και η εμπειρία των οδηγών. Οδηγούν πιο απρόσεκτα και επιθετικά αυξάνοντας την κατανάλωση του καυσίμου. Έτσι εξηγείται η μεταβλητή με θετικό πρόσημο και ίση με 0,113.
- Οι οδηγοί διερωτήθηκαν στο ερωτηματολόγιο πόσα χλμ διανύουν τη μέρα και η απάντησή τους ήταν κάποια αριθμητική τιμή. Όταν αυξάνεται η τιμή των **χλμ που διανύουν ημερησίως οι οδηγοί (daily_trip_dist)** αυξάνεται η κατανάλωση του καυσίμου κατά 0,014. Εκφράζει ότι όσο περισσότερα χλμ διανύουν οι οδηγοί, δηλαδή όσο μεγαλύτερα είναι τα ταξίδια τους, τόσο περισσότερο κουράζονται, γίνονται επιθετικότεροι και λιγότερο προσεκτικοί.
- Τέλος, όσο μεγαλύτερος είναι ο **κυβισμός του οχήματος (veh_cc)**, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις του κινητήρα σε καύσιμο. Η παραπάνω διατύπωση επιβεβαιώνεται από το θετικό πρόσημο της ανεξάρτητης μεταβλητής με τιμή ίση με 0,001.

5.5.4 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών

Με βάση την ίδια μεθοδολογία που τονίστηκε προηγουμένως, παρουσιάζονται για το συγκεκριμένο μοντέλο στον παρακάτω πίνακα το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη καθώς και το μέγεθος e_i^* όπου είναι ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Parameters	β_i	Μέση τιμή μεταβλητής	Ελαστικότητα e_i	Σχετική Επιρροή e_i^*
harsh_brk	-0,233	1,436	-0,037	-1,065
dec_avg	-	-	-	-
duration	-0,001	1167,467	-0,129	-3,717
daily_trip_dist	0,014	22,433	-0,026	1,000

Πίνακας 5.5: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών του Μοντέλου 2

Από τις τέσσερις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η μεταβλητή τη **διάρκεια του ταξιδιού (duration)** παρατηρείται ότι έχει την μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 3,717 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τον αριθμό των χλμ που διανύουν οι οδηγοί ημερησίως (daily_trip_dist), η οποία έχει την μικρότερη επιρροή. Επίσης η μεταβλητή του

αριθμού των αριθμού των συμβάντων απότομων φρεναρισμάτων (harsh_brk) έχει την αμέσως μικρότερη επιρροή με τιμή 1,065.

5.6 Μοντέλο 3: Κρίσιμοι Παράγοντες Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου- Μοντέλο Δεύτερης Φάσης-Οικολογική Οδήγηση

5.6.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Το συγκεκριμένο μοντέλο κατασκευάστηκε με τη λογαριθμοκανονική μέθοδο και η μαθηματική σχέση που το περιγράφει είναι:

$$\text{LOG(after_lt_perhkm)} = -191,6 + 0,08 \cdot \text{harsh_brk} + 0,636 \cdot \text{dec_avg} + 0,001 \cdot \text{duration} + 0,096 \cdot \text{license_date} - 0,007 \cdot \text{daily_trip_dist} + 0,001 \cdot \text{vehicle_cc}$$

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

Parameters	β_i	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	-191,6	62,440	-3,069	0,015
harsh_brk	-	-	-	-
dec_avg	0,648	0,335	1,937	0,089
duration	0,001	0,0003	2,653	0,029
license_date	0,096	0,031	3,102	0,015
daily_trip_dist	-0,007	0,003	-2,278	0,052
vehicle_cc	0,001	0,0001	3,276	0,011
R^2	0,5899			

Πίνακας 5.6: Μεταβλητές στην εξίσωση του Μοντέλου 3

5.6.2 Ποιότητα Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Ο **συντελεστής συσχέτισης R^2** είναι πολύ ικανοποιητικός, ίσος με 0,5899.
- Το **t test** είναι μεγαλύτερο από 1,2 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή.
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών και της σταθεράς είναι μικρότερο από 0,1, εκτός από τη μεταβλητή harsh_brk.
- Οι **συντελεστές (β_i)** είναι μικροί και ο σταθερός όρος είναι μεγάλος.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται με βάση τη λογική.

5.6.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Μοντέλου

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

- Η μεταβλητή του **αριθμού των απότομων φρεναρισμάτων (harsh_brk)** δεν είναι στατιστικά σημαντική.
- Η μέση επιβράδυνση λαμβάνει αρνητικές τιμές από τη βάση δεδομένων. Η μεταβλητή της **μέσης επιβράδυνσης (dec_avg)** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,648. Υποδηλώνει ότι όσο αυξάνει τη μέση επιβράδυνση ο οδηγός τόσο μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου. Επομένως, όσο υψηλότερος είναι ο μέσος αριθμός των επιβραδύνσεων τόσο χαμηλότερες οι ταχύτητες εκκίνησης ή φρεναρίσματος και τόσο χαμηλότερη είναι η κατανάλωση καυσίμου. Οι οδηγοί συμπεριφέρονται πιο οικολογικά.
- Το πρόσημο της μεταβλητή της **συνολικής διάρκειας του ταξιδιού (duration)** είναι θετικό και ίσο με 0,001 και έτσι, η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται. Ενδεχομένως ερμηνεύεται ότι όσο αυξάνεται η διάρκεια του ταξιδιού και ο οδηγός είναι πιο κουρασμένος, τόσο αυξάνεται η κατανάλωση του καυσίμου.
- Όσο πιο πρόσφατο είναι το **δίπλωμα οδήγησης (license_date)** τόσο μικρότερη είναι και η εμπειρία των οδηγών. Οδηγούν πιο απρόσεκτα και επιθετικά αυξάνοντας την κατανάλωση του καυσίμου. Οι νέοι οδηγοί είναι δυσκολότερο να ακολουθήσουν μια πιο οικολογική συμπεριφορά. Έτσι εξηγείται η μεταβλητή με θετικό πρόσημο και ίση με 0,096.
- Οι οδηγοί διερωτήθηκαν στο ερωτηματολόγιο πόσα χλμ διανύουν τη μέρα και η απάντησή τους ήταν κάποια αριθμητική τιμή. Όταν αυξάνεται η τιμή των **χλμ που διανύουν ημερησίως οι οδηγοί (daily_trip_dist)** μειώνεται η κατανάλωση του καυσίμου κατά 0,007. Εκφράζει ότι όσο περισσότερα χλμ διανύουν οι οδηγοί, δηλαδή όσο μεγαλύτερα είναι τα ταξίδια τους, τόσο πιο συγκεντρωμένοι είναι.
- Τέλος, όσο μεγαλύτερος είναι ο **κυβισμός του οχήματος (veh_cc)**, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις του κινητήρα σε καύσιμο. Η παραπάνω διατύπωση επιβεβαιώνεται από το θετικό πρόσημο της ανεξάρτητης μεταβλητής με τιμή ίση με 0,001.

5.6.4 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών

Με βάση την ίδια μεθοδολογία που τονίστηκε προηγουμένως, παρουσιάζονται για το συγκεκριμένο μοντέλο στον παρακάτω πίνακα το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη καθώς και το μέγεθος ϵ_i^* όπου είναι ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Parameters	β_i	Μέση τιμή μεταβλητής	Ελαστικότητα ϵ_i	Σχετική Επιρροή ϵ_i^*
harsh_brk	-	-	-	-
dec_avg	0,648	-1,665	-0,138	6,871
duration	0,001	1034,17	0,133	-6,586
daily_trip_dist	-0,007	22,433	0,035	1,000

Πίνακας 5.7: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών του Μοντέλου 3

Από τις τέσσερις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η μεταβλητή της **μέσης επιβράδυνσης (dec_avg)** παρατηρείται ότι έχει την μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 6,871 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τον αριθμό των χλμ που διανύουν οι οδηγοί ημερησίως (daily_trip_dist), η οποία έχει την μικρότερη επιρροή. Επίσης η μεταβλητή της διάρκειας του ταξιδιού (duration) έχει την αμέσως μικρότερη επιρροή με τιμή 6,586.

5.7 Συνδυασμένη Αξιολόγηση Μοντέλων 2 και 3

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μοντέλων θα πραγματοποιηθεί συνδυασμένη αξιολόγηση του μοντέλου της πρώτης φάσης του πειράματος (συνήθης τρόπος οδήγησης οδήγηση-μοντέλο 2) με το μοντέλο που περιγράφει τη δεύτερη φάση του πειράματος (οικολογική οδήγηση-μοντέλο 3).

Parameters	Μοντέλο Πρώτης Φάσης (Συνήθης Τρόπος Οδήγησης)				Μοντέλο Δεύτερης Φάσης (Οικολογική Οδήγηση)			
	β_i	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ϵ_i	Σχετική Επιρροή ϵ_i^*	β_i	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ϵ_i	Σχετική Επιρροή ϵ_i^*
(Intercept)	-336.8	-	-	-	-191.6	-	-	-
dec_avg	-	-	-	-	0.648	-1.665	-0.138	6.871
harsh_brk	-0.233	1.436	-0.037	-1.065	-	-	-	-
duration	-0.001	1167.47	-0.129	-3.717	0.001	1034.17	0.133	-6.586
license_date	0.167	-	-	-	0.096	-	-	-
daily_trip_dist	0.014	22.433	-0.035	1.000	-0.007	22.433	-0.020	1.000
vehicle_cc	0.001	-	-	-	0.001	-	-	-
R ²	0.7243				0.5899			

Πίνακας 5.8: Κρίσιμοι παράγοντες πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου για τα Μοντέλα 2 και 3

- Η τιμή του **σταθερού όρου** και στις δύο περιπτώσεις είναι υψηλή. Δηλαδή, εάν μηδενιστούν οι ανεξάρτητες μεταβλητές, η εξαρτημένη μεταβλητή (κατανάλωση καυσίμου) θα έχει υψηλή τιμή, καθώς εξαρτάται και από άλλους παράγοντες που δεν έχουν συμπεριληφθεί στην εξίσωση.

- Η συνολική **διάρκεια του ταξιδιού (duration)** επιδρά στην κατανάλωση καυσίμου σε μικρό βαθμό και στις δύο περιπτώσεις, αλλά στην πρώτη φάση του πειράματος συμβάλλει στη μείωση αυτής. Ενδεχομένως το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η μέση τιμή της διάρκειας ταξιδιού στη δεύτερη φάση είναι μικρότερη.
- Όσο πιο πρόσφατο είναι το **δίπλωμα οδήγησης (license_date)** τόσο μικρότερη είναι και η εμπειρία των οδηγών. Οδηγούν πιο απρόσεκτα και επιθετικά αυξάνοντας την κατανάλωση του καυσίμου. Το γεγονός αυτό παρατηρείται ότι επηρεάζει λίγο λιγότερο την αύξηση της κατανάλωσης του καυσίμου στη δεύτερη φάση.
- Η μεταβλητή του ερωτηματολογίου, στην οποία διερωτήθηκαν **οι οδηγοί πόσα χλμ διανύουν ημερησίως (daily_trip_dist)** στη δεύτερη φάση του πειράματος έχει διαφορετικό πρόσημο από την πρώτη. Επίσης η μέση τιμή της είναι σταθερή. Στην πρώτη φάση του πειράματος η αύξηση της μεταβλητής οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου, ενώ στη δεύτερη σε μείωση.
- Τέλος, όσο μεγαλύτερος είναι ο **κυβισμός του οχήματος (veh_cc)** τόσο μεγαλύτερη και η κατανάλωση καυσίμου, το οποίο είναι λογικό. Η μεταβλητή αυτή έχει την ίδια επίδραση στην ανεξάρτητη μεταβλητή και στις δύο φάσεις.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα**. Ειδικότερα, επιδιώκεται να βρεθούν ποια χαρακτηριστικά της οδήγησης που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων και τα ερωτηματολόγια μπορούν να προβλέψουν την κατανάλωση του καυσίμου κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Πιο αναλυτικά, πραγματοποιήθηκε ένα **πείραμα** οδήγησης στο οποίο συμμετείχαν 30 οδηγοί σε πραγματικές συνθήκες (15 με πλήρη στοιχεία) για χρονικό διάστημα **έξι (6) μηνών** (τέλη Νοεμβρίου – αρχές Μαΐου 2023). Το πείραμα περιλάμβανε δύο στάδια, το πρώτο διάρκειας τεσσάρων (4) μηνών και το δεύτερο δύο (2) μηνών. Κατά το **πρώτο** στάδιο οι οδηγοί κλήθηκαν να οδηγήσουν με τη συνηθισμένη τους συμπεριφορά (Νοέμβριος - Φεβρουάριος), ενώ στο **δεύτερο** (Μάρτιος – Μάιος) κλήθηκαν να οδηγήσουν με οικολογική συμπεριφορά (οι ομαλές επιταχύνσεις, τα έγκαιρα φρεναρίσματα, η τήρηση των ορίων ταχύτητας και ο συντονισμός με τις ταχύτητες των άλλων οχημάτων). Σε παράλληλο χρόνο οι χρήστες συμπλήρωναν σε έναν **πίνακα καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου** τα χιλιόμετρα που πραγματοποιούσαν μεταξύ γεμισμάτων του ντεπόζιτου και τα λίτρα καυσίμου που εισήγαγαν. Επιπλέον, δόθηκαν στους οδηγούς **ερωτηματολόγια** προκειμένου να αντληθούν δεδομένα για τα δημογραφικά τους χαρακτηριστικά, όπως το φύλο, η ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μια σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν, με τη μέθοδο της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, τρία μαθηματικά μοντέλα. Το πρώτο αποτελεί το γενικό μοντέλο, το δεύτερο αφορά την πρώτη φάση του πειράματος (συνήθης τρόπος οδήγησης οδήγηση) και το τρίτο την δεύτερη φάση του πειράματος (οικολογική οδήγηση). Τα τρία μαθηματικά μοντέλα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μοντέλα Πρόβλεψης των Κρίσιμων Παραγόντων Επιρροής της Κατανάλωσης Καυσίμου												
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Γενικό Μοντέλο				Μοντέλο Πρώτης Φάσης (Συνήθης Τρόπος Οδήγησης)				Μοντέλο Δεύτερης Φάσης (Οικολογική Οδήγηση)			
	βι	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ei	Σχετική Επιρροή ei*	βι	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ei	Σχετική Επιρροή ei*	βι	Μέση τιμή	Ελαστικότητα ei	Σχετική Επιρροή ei*
(Intercept)	9.214	-	-	-	-336.8	-	-	-	-191.6	-	-	-
dec_avg	-2.027	-1.700	0.185	-7.149	-	-	-	-	0.648	-1.665	-0.138	6.871
acc_avg	-2.827	1.578	-0.240	9.255	-	-	-	-	-	-	-	-
harsh_acc_per_km	5.794	0.105	0.033	-1.262	-	-	-	-	-	-	-	-
duration_stops_avg	-0.021	22.953	-0.026	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
before_after	-0.116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
veh_date	0.141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
age	-0.231	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dr_exp	0.113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
quest_resp_speed	-0.207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
harsh_brk	-	-	-	-	-0.233	1.436	-0.037	-1.065	-	-	-	-
duration	-	-	-	-	-0.001	1167.467	-0.129	-3.717	0.001	1034.17	0.133	-6.586
licence_date	-	-	-	-	0.167	-	-	-	0.096	-	-	-
daily_trip_dist	-	-	-	-	0.014	22.433	0.035	1.000	-0.007	22.433	-0.02	1.000
vehicle_cc	-	-	-	-	0.001	-	-	-	0.001	-	-	-
R ²	0.9835				0.7243				0.5899			

Πίνακας 6.4: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων

6.2 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία **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:

- Με τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών παρουσιάστηκε **μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου κατά μέσο όρο 8%**. Η οδήγηση με σταθερό ρυθμό, η τήρηση των ορίων ταχύτητας, ο συντονισμός με την ταχύτητα των άλλων οχημάτων, καθώς και ο περιορισμός απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, συνέβαλαν στην εξοικονόμηση καυσίμου σε ικανοποιητικό βαθμό, στη μείωση της ηχορύπανσης καθώς και στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι **το δείγμα αποτελείται από νέους οδηγούς**, οι οποίοι δεν διαθέτουν την κατάλληλη εμπειρία για να προσαρμόσουν την οδήγησή τους σε οικολογική.
- Η **μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου** που εντοπίστηκε **στους οδηγούς** ανήλθε στο **39,09%**.
- Από τα αποτελέσματα του πειράματος επιβεβαιώθηκε ότι **όσο πιο ασφαλής γίνεται η συμπεριφορά των οδηγών τόσο πιο οικολογική γίνεται η οδήγηση**. Κατά συνέπεια η οικολογική οδήγηση προαπαιτεί, αλλά και προωθεί έναν ασφαλή τρόπο οδήγησης, συμβάλλοντας στη μείωση της πιθανότητας σύγκρουσης ή τη σοβαρότητα αυτής, των οδικών ατυχημάτων αλλά της κατανάλωσης καυσίμου. Επισημαίνεται ότι οι ομαλές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αλλά και ταχύτητα με σταθερό ρυθμό, εξοικονομούν καύσιμο, μειώνουν τη φθορά του οχήματος και αποτελούν δείγμα προσεκτικής οδήγησης και σεβασμού προς τους υπόλοιπους οδηγούς.
- Η **μέση επιτάχυνση** φάνηκε να επηρεάζει περισσότερο την κατανάλωση καυσίμου στο γενικό μοντέλο. Στην πρώτη φάση του πειράματος η κατανάλωση καυσίμου επηρεάστηκε περισσότερο από τη **διάρκεια του ταξιδιού**, ενώ στη δεύτερη φάση από τη **μέση επιβράδυνση**. Οι οδηγοί υιοθετώντας μία πιο προσεκτική και οικολογική συμπεριφορά ελάττωσαν τις άσκοπες επιβραδύνσεις, «αφήνοντας εγκαίρως το γκάζι» και επιβραδύνοντας ομαλά.
- Ο **αριθμός των απότομων φρεναρισμάτων** περιορίστηκε κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος, στο υπεραστικό και στο αστικό οδικό δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα μειώθηκε κατά 27%. Δηλαδή η πιο προσεκτική συμπεριφορά οδήγησης και οι ομαλές επιβραδύνσεις συμβάλλουν στην πραγματοποίηση λιγότερων εκρήξεων στον

κινητήρα και στην δαπάνη λιγότερης ενέργειας (καύσιμο), η οποία μετατρέπεται σε κινητική.

- Ο **αριθμός των απότομων επιταχύνσεων** μειώνεται κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος και συγκεκριμένα στο υπεραστικό δίκτυο. Γενικά ελαττώνεται κατά **3,79%** και στο υπεραστικό δίκτυο κατά 5,61%. Στο αστικό οδικό δίκτυο παρατηρείται αύξηση των συμβάντων, ενώ στους αυτοκινητοδρόμους είναι σχεδόν σταθερό. Οι οδηγοί βελτιώνουν τις απότομες εκκινήσεις και επιταχύνσεις, μεταβάλλοντας ομαλά την ταχύτητά τους.
- Όσο πιο πρόσφατο είναι το **δίπλωμα οδήγησης** τόσο μικρότερη είναι και η εμπειρία των οδηγών. Οδηγούν πιο απρόσεκτα και επιθετικά αυξάνοντας την κατανάλωση του καυσίμου. Το γεγονός αυτό παρατηρείται ότι επηρεάζει λίγο λιγότερο την αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου στη δεύτερη φάση. Με την αύξηση της **εμπειρίας των οδηγών**, είναι δυσκολότερο να αλλάξουν τον τρόπο οδήγησής του και να τηρήσουν το οικολογικό προφίλ οδήγησης.
- Παρατηρήθηκε ότι η **οικολογική οδήγηση** μπορεί να παρουσιάσει βελτιώσεις στην κατανάλωσης καυσίμου σε έναν κατά κύριο λόγο **παλιό στόλο οχημάτων**, που τα περισσότερα **λειτουργούν χειροκίνητα**.
- Τέλος από την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας, προκύπτει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα περιέχουν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες οι οποίες, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, μπορούν να χρησιμεύσουν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις **κρίσιμες παραμέτρους** που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, αλλά και γενικότερα την κυκλοφοριακή συμπεριφορά των οδηγών.

6.3 Προτάσεις για βελτίωση της Οικολογικής Οδήγησης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της Εργασίας αυτής, επιχειρείται η παράθεση μιας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας καθώς και στη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας:

- Πρώτα από όλα, σημαντική κρίνεται η **ενημέρωση** και η ευαισθητοποίηση όλων των χρηστών της οδού για θέματα οικολογικής συμπεριφοράς στην οδήγηση και η προώθηση της ασφάλειας στο οδικό δίκτυο. Άλλωστε, η οικολογική οδήγηση έχει διπλό πλεονέκτημα, τόσο ως προς την ασφάλεια όσο και ως προς την κατανάλωση καυσίμου. Απαιτείται ένα **ολοκληρωμένο σχέδιο δράσης**, μέσω εκστρατειών ενημέρωσης (διαφημίσεις, αφίσες, ομιλίες) που θα διοργανωθούν από εκπαιδευτικούς φορείς και γενικότερα την Πολιτεία σε δημόσιους χώρους.

- Ακόμα, απαιτείται **συχνότερη και αυστηρότερη αστυνόμευση**. Έτσι, θα περιοριστεί η υπέρβαση των ορίων ταχύτητας, θα αποφευχθούν τα απότομα φρεναρίσματα και θα τηρούνται επαρκείς αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων, δηλαδή η οικολογική οδήγηση. Μέσα από αυτή τη διαδικασία θα επικρατούν ασφαλέστερες συνθήκες κυκλοφορίας για τους οδηγούς, αλλά και για τους ευάλωτους χρήστες και θα είναι ευκολότερο οι οδηγοί να έχουν μια οικολογική συμπεριφορά.
- Επίσης, η εξέλιξη της τεχνολογίας δίνει την δυνατότητα στους οδηγούς μέσω **κατάλληλων εφαρμογών** να ενημερώνονται είτε κατά την διάρκεια της οδήγησης είτε με το πέρας αυτής για την οικολογική συμπεριφορά τους. Μπορούν να καταγράφονται όλες οι ενδείξεις που συσχετίζονται με το φαινόμενο της επιθετικής και κατ' επέκταση μη οικολογικής συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια της οδήγησης και να παρέχονται συμβουλές και προτάσεις για βελτίωση των οδηγιών.
- Πολύ σημαντική θα ήταν η **εισαγωγή κινήτρων** με τη μορφή έκπτωσης στα κυκλοφοριακά τέλη ανάλογα με την οικολογική ή μη συμπεριφορά του οδηγού. Ακόμα, οι ασφαλιστικές εταιρείες οχημάτων θα μπορούσαν να επιβραβεύουν τους προσεκτικούς οδηγούς με μειωμένα ασφάλιστρα για όσους δεν εμπλέκονται σε οδικά ατυχήματα. Αυτή η τακτική ενδεχομένως θα δώσει οικονομικό κίνητρο σε όλους τους οδηγούς με στόχο τη βελτίωση της οδηγικής τους συμπεριφοράς, τη μείωση των ατυχημάτων, τον περιορισμό της άσκοπης κατανάλωσης καυσίμων και αέριων ρύπων.

6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

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

- Το πείραμα θα παρουσίαζε ενδιαφέρον με **μεγαλύτερο δείγμα οδηγών διαφόρων ηλικιών**, καθώς τα αποτελέσματα θα ήταν πιο αξιόπιστα.
- Ακόμα, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν έρευνες σε **διαφορετικές συνθήκες κυκλοφορίας** (χαμηλού/υψηλού φόρτου) και **συνθήκες οδήγησης** (χρήση κλιματισμού, ανοιχτά/κλειστά παράθυρα, πρωινές/βραδινές ώρες). Τα μοντέλα θα μπορούσαν να περιγράφουν τις συνθήκες σε **διαφορετικούς τύπους οδού** (αυτοκινητόδρομοι, αστικό και υπεραστικό οδικό δίκτυο).
- Επιπλέον, η καταγραφή της κατανάλωσης καυσίμου θα μπορούσε να γίνεται αυτόματα μέσω μιας συσκευής συνδεδεμένης στην θύρα **On-Board Diagnostics (OBD)** του οχήματος.

- Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια αντίστοιχη διερεύνηση για τους **οδηγούς μοτοσυκλετών** αφού χαρακτηρίζονται πιο ευάλωτοι χρήστες σε σχέση με του χρήστες των Ι.Χ. και είναι εκτεθειμένοι σε περισσότερους κινδύνους καθώς πραγματοποιούν συχνότερα επικίνδυνους ελιγμούς και προσπεράσεις και υπερβαίνουν πιο τακτικά τα όρια ταχυτήτων.
- Το πείραμα θα ήταν χρήσιμο εάν ο στόλος των οχημάτων αποτελούνταν από **ηλεκτρικά οχήματα** ή εάν υπήρχαν **μοντέλα** με βάση τον **τύπο καυσίμου των οχημάτων**.
- Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι οι έρευνες για την οικολογική οδήγηση πρέπει να γίνονται πιο συχνά, καθώς είναι πολύ χρήσιμες.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαννής, Γ. (2022). Πόσο απαραίτητη είναι η οικολογική οδήγηση σήμερα; URL <https://www.georgeyannis.gr/%cf%80%cf%8c%cf%83%ce%bf-%ce%b1%cf%80%ce%b1%cf%81%ce%b1%ce%af%cf%84%ce%b7%cf%84%ce%b7-%ce%b5%ce%af%ce%bd%ce%b1%ce%b9-%cf%83%ce%ae%ce%bc%ce%b5%cf%81%ce%b1-%ce%b7-%ce%bf%ce%b9%ce%ba%ce%bf%ce%bb%ce%bf/> (ανακτήθηκε στις 14.03.2023)
2. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. (1990) Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
3. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας (1994) "Οδική Ασφάλεια." Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
4. Alam, M. S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. *Transport Policy*, 35, 42-49.
5. Ando, R., & Nishihori, Y. (2011). How does driving behavior change when following an eco-driving car? *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 577-587.
6. Barić, D., Zovak, G., & Periša, M. (2013). Effects of eco-drive education on the reduction of fuel consumption and CO2 emissions. *Promet-Traffic&Transportation*, 25(3), 265-272.
7. Barkenbus, J. N. (2010). Eco-driving: An overlooked climate change initiative. *Energy policy*, 38(2), 762-769.
8. Barla, P., Gilbert-Gonthier, M., Castro, M. A. L., & Miranda-Moreno, L. (2017). Eco-driving training and fuel consumption: Impact, heterogeneity and sustainability. *Energy Economics*, 62, 187-194.
9. Basagaña, X., Triguero-Mas, M., Agis, D., Pérez, N., Reche, C., Alastuey, A., & Querol, X. (2018). Effect of public transport strikes on air pollution levels in Barcelona (Spain). *Science of the total environment*, 610, 1076-1082.
10. Beusen, B., Broekx, S., Denys, T., Beckx, C., Degraeuwe, B., Gijssbers, M., ... & Panis, L. I. (2009). Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course. *Transportation research part D: transport and environment*, 14(7), 514-520.

11. Caban, J., Vrabel, J., Šarkan, B., & Ignaciuk, P. (2019). About eco-driving, genesis, challenges and benefits, application possibilities. *Transportation Research Procedia*, 40, 1281-1288.
12. Edmunds, 2023. We test the tips. URL <http://www.edmunds.com/fuel-economy/we-test-the-tips.html> (ανακτήθηκε στις 14.03.2023)
13. EPA (Environmental Protection Agency), 2011 and 2022 EPA fuel economy guide, 2011 and 2022. URL <https://www.fueleconomy.gov/feg/download.shtml> (ανακτήθηκε στις 14.03.2023)
14. Fafoutellis, P., Mantouka, E. G., & Vlahogianni, E. I. (2020). Eco-driving and its impacts on fuel efficiency: An overview of technologies and data-driven methods. *Sustainability*, 13(1), 226.
15. Hari, D., Brace, C. J., Vagg, C., Poxon, J., & Ash, L. (2012). Analysis of a driver behaviour improvement tool to reduce fuel consumption. In 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE) (pp. 208-213). IEEE.
16. Haworth, N., & Symmons, M. (2001). The relationship between fuel economy and safety outcomes.
17. Ho, S. H., Wong, Y. D., & Chang, V. W. C. (2015). What can eco-driving do for sustainable road transport? Perspectives from a city (Singapore) eco-driving programme. *Sustainable Cities and Society*, 14, 82-88.
18. Huang, Y., Ng, E. C., Zhou, J. L., Surawski, N. C., Chan, E. F., & Hong, G. (2018). Eco-driving technology for sustainable road transport: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 596-609.
19. Jamson, S. L., Hibberd, D. L., & Jamson, A. H. (2015). Drivers' ability to learn eco-driving skills; effects on fuel efficient and safe driving behaviour. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 657-668.
20. Knapp, K., Giesse, K., & Lee, W. (2003). Urban Four-Lane Undivided to Three-lane Roadway Conversion Guidelines. *Proceedings of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, August, Ames, Iowa.
21. Kobayashi, I., Tsubota, Y., & Kawashima, H. (2007). Eco-driving simulation: Evaluation of eco-driving within a network using traffic simulation. *WIT Transactions on The Built Environment*, 96.

22. Manzie, C., Watson, H., & Halgamuge, S. (2007). Fuel economy improvements for urban driving: Hybrid vs. intelligent vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 15(1), 1-16.
23. Mensing, F., Bideaux, E., Trigui, R., Ribet, J., & Jeanneret, B. (2014). Eco-driving: An economic or ecologic driving style?. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 110-121.
24. Meseguer, J. E., Calafate, C. T., Cano, J. C., & Manzoni, P. (2015, January). Assessing the impact of driving behavior on instantaneous fuel consumption. In *2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)* (pp. 443-448). IEEE.
25. Michelarakia, E., Kontaxia, A., Papantonioua, P., & Yannisa, G. (2020). Correlation of driver behaviour and fuel consumption using data from smartphones. In *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA* (Conference cancelled).
26. OSeven Telematics, (2023), <https://oseven.io/>
27. Qian, G., & Chung, E. (2011). Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation. In *Proceedings of the 34th Australasian Transport Research Forum* (pp. 1-11). The Planning and Transport Research Centre (PATREC).
28. Rolim, C. C., Baptista, P. C., Duarte, G. O., & Farias, T. L. (2014). Impacts of on-board devices and training on light duty vehicle driving behavior. *Procedia-social and behavioral sciences*, 111, 711-720.
29. Simeonova, E., Currie, J., Nilsson, P., & Walker, R. (2021). Congestion pricing, air pollution, and children's health. *Journal of Human Resources*, 56(4), 971-996.
30. Sivak, M., & Schoettle, B. (2012). Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. *Transport Policy*, 22, 96-99.
31. Toledo, G., & Shiftan, Y. (2016). Can feedback from in-vehicle data recorders improve driver behavior and reduce fuel consumption? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 194-204.
32. Tulusan, J., Staake, T., & Fleisch, E. (2012, September). Providing eco-driving feedback to corporate car drivers: what impact does a smartphone application have on their fuel efficiency? In *Proceedings of the 2012 ACM conference on ubiquitous computing* (pp. 212-215).

33. USDoE. Idling reduction for personal vehicles; 2015.
34. Verschuur, W., & Hurts, K., (2008). Modeling safe and unsafe driving behaviour. *Acc Anal and Prevention*, 40 (2), 644-656.
35. Wang, Y., & Boggio-Marzet, A. (2018). Evaluation of eco-driving training for fuel efficiency and emissions reduction according to road type. *Sustainability*, 10(11), 3891.
36. Wu, C., Zhao, G., & Ou, B. (2011). A fuel economy optimization system with applications in vehicles with human drivers and autonomous vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(7), 515-524.
37. Xu, Z.; Wei, T.; Easa, S.; Zhao, X.; Qu, X. Modeling Relationship between Truck Fuel Consumption and Driving Behavior Using Data from Internet of Vehicles. *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.* 2018, 33, 209–219