



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ



Παναγιώτα Κουρεντή

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ως εκ τούτου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην ολοκλήρωση της.

Κατ' αρχάς στον επιβλέποντα της εργασίας κύριο Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την ανάθεση του θέματος της Διπλωματικής Εργασίας και για την άψογη συνεργασία που είχαμε στο πλαίσιο εκπλήρωσης αυτής.

Εν συνεχεία, στον υποψήφιο διδάκτορα κύριο Μάριο Σεκαδάκη ο οποίος συντέλεσε τα μέγιστα με την καθοριστική και ουσιαστική του συνδρομή και καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας. Επίσης, σημαντικός ήταν και ο ρόλος του κύριου Απόστολου Ζιακόπουλου, μεταδιδακτορικού Ε.Μ.Π..

Έπειτα, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσους συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία, καθώς ο ρόλος τους ήταν καταλυτικός στην υλοποίηση του πειραματικού μέρους της εργασίας.

Τέλος, στους φίλους και συγγενείς μου για την ψυχολογική υποστήριξη και την δύναμη που μου έδιναν καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

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

Σύνοψη

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση ωφελειών της οικολογικής οδήγησης σε υπεραστικό και ορεινό υπεραστικό περιβάλλον. Για την επίτευξη του στόχου, πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία στον προσομοιωτή οδήγησης μέσω της οποίας συλλέχθηκαν τα οδηγικά στοιχεία 39 συμμετεχόντων. Για την ολοκλήρωση της συλλογής των απαραίτητων δεδομένων έγινε επίσης και ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων μέσω έρευνας ερωτηματολογίου. Η οδήγηση από τους συμμετέχοντες πραγματοποιήθηκε για κάθε σενάριο δύο (2) φορές. Αρχικά, πριν την ενημέρωση και έπειτα μετά την ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε μέσω στατιστικής ανάλυσης, και συγκεκριμένα με την δημιουργία στατιστικών μοντέλων, γραμμικής και διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης. Τα μαθηματικά μοντέλα αφορούν στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, στην εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα, στην εκπομπή οξειδίων του αζώτου, στην κατανάλωση καυσίμου καθώς και στην πιθανότητα ατυχήματος. Βασικά συμπεράσματα αποτελούν ότι η οικολογική οδήγηση μειώνει τις εκπομπές των ρύπων στην ατμόσφαιρα, μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και μειώνει την πιθανότητα οδικού ατυχήματος. Τέλος, το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, σε σχέση με το υπεραστικό, παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές ρύπων, αυξημένη κατανάλωσης καυσίμου του οχήματος, καθώς και αυξημένη πιθανότητας ατυχήματος.

Λέξεις κλειδιά: οικολογική οδήγηση, προσομοιωτής οδήγησης, υπεραστικό δίκτυο, ορεινό υπεραστικό δίκτυο, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, κατανάλωση καυσίμου, οδικά ατυχήματα, παλινδρόμηση

INVESTIGATION OF ECO-DRIVING BENEFITS AT THE RURAL NETWORK USING DRIVING SIMULATOR

Panagiota Kourenti
Supervisor: George Yannis, Professor N.T.U.A.

Abstract

The scope of this diploma thesis is to investigate the impact of eco-driving in rural and mountainous rural roads. To achieve this objective, driving data from 39 participants were collected and the experimental procedure was carried out using a driving simulator. To complete the collection of the necessary data, the driving characteristics of the participants were collected through a questionnaire survey. The driving experiment was completed two (2) times for each scenario, one before and one after informing the participants about eco-driving. The analysis of the data was performed through statistical analysis, specifically by creating statistical models using linear and binomial logistic regression. The regression models were developed for carbon dioxide emission, carbon monoxide emission, nitrogen oxide emission, fuel consumption and accident probability. The key conclusions of this thesis are that eco-driving reduces the emission of pollutants into the atmosphere, the fuel consumption of vehicles and the probability of road accidents. Finally, driving in the mountainous rural network is associated with an increase in environmental pollutant emissions, fuel consumption and road accident probability compared to the rural network.

Keywords: eco-driving, driving simulator, rural roads, mountainous rural network, carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x), fuel consumption, road accidents, regression

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **διερεύνηση των ωφελειών της οικολογικής οδήγησης στο υπεραστικό δίκτυο με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης**. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου, στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και στην πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Συγκεκριμένα, η πειραματική διαδικασία έγινε με τη βοήθεια **προσομοιωτή οδήγησης** και συμμετείχαν 39 οδηγοί, νεαρής ηλικίας (18-30 ετών), οι οποίοι βοήθησαν στη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων μέσω της συμπεριφοράς οδήγησής τους και μέσω ενός ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν. Οι συμμετέχοντες οδήγησαν σε συνθήκες υπεραστικού και ορεινού υπεραστικού περιβάλλοντος. Έπειτα, ενημερώθηκαν για την οικολογική οδήγηση και οδήγησαν ξανά τα ίδια σενάρια, ακολουθώντας τις οικολογικές οδηγίες.

Τα δεδομένα που εξήγαγε ο προσομοιωτής οδήγησης, επεξεργάστηκαν κατάλληλα μέσω της **στατιστικής ανάλυσης** με τη βοήθεια της **γλώσσας προγραμματισμού R** και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου, για κάθε συμμετέχοντα, οδήγησαν στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συνολικού πίνακα δεδομένων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε γραμμική και διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση, ώστε να προβλεφθεί η εκπομπή των ρύπων και η πιθανότητα ατυχήματος. Πραγματοποιήθηκε πλήθος δοκιμών πάνω στα μοντέλα πρόβλεψης ώστε να πληρούν τα κριτήρια ποιότητας και τελικώς να είναι αποδεχτά. Τα μαθηματικά μοντέλα που προέκυψαν είναι για την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος, την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου καθώς και για την πιθανότητα ατυχήματος.

Στους Πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται **συνοπτικά τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης**, τα οποία περιλαμβάνουν επίσης τις τιμές ελαστικότητας, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή η σχετική επιρροή μεταξύ των μεταβλητών. Μέσω των πινάκων, θα γίνουν κατανοητά τα συμπεράσματα που θα ακολουθήσουν.

Πίνακας 1: Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο πιθανότητας ατυχήματος

Ανεξάρτητες Μεταβλητές		Πιθανότητα ατυχήματος			
		B	Wald	e	e*
Διακριτές	Σενάρια οικολογικής οδήγησης	-2,516	-5,977	-0,662	1,82
	Περιβάλλον οδήγησης	0,689	1,731	14,365	-39,54
	Τα χρήματα που ξοδεύει μηνιαία για καύσιμα	-0,233	-2,479	-0,363	1,00
	Κατανόηση μείωσης ορίων ταχύτητας	-1,220	-2,378	2,932	-8,07
Συνεχείς	Ηλικία οδηγού	-0,410	-2,224	-0,072	

Πίνακας 2: Γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσασερίων και εκπομπών ρύπων.

	Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Εκπομπή διοξειδίου άνθρακα				Εκπομπή μονοξειδίου άνθρακα				Εκπομπή οξειδίων αζώτου				Κατανάλωση καυσίμου			
		B	t	e	e*	B	t	e	e*	B	t	e	e*	B	t	e	e*
Διακριτές	Σενάριο οικολογικής οδήγησης	-19,450	-5,940	-0,059	9,553	-0,219	-9,751	-0,293	7,065	-0,020	-11,534	-0,347	20,000	-1,050	-6,791	-0,070	1,630
	Περιβάλλον οδήγησης	-40,306	-12,181	-0,121	19,797	-0,064	-2,770	-0,086	2,065	-0,004	-2,168	-0,069	4,000	-1,870	-11,678	-0,130	2,890
	Αριθμός των διαδρομών εντός μιας μέρας	-2,036	-2,099	-0,006	1,000					-0,001	-2,220	-0,017	1,000				
	Τα χρήματα που ξοδεύει για καύσιμα					-0,031	-2,309	-0,041	1,000								
	Φύλο οδηγού													-0,650	4,262	-0,040	1,000
Συνεχείς	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου	4,829	14,124	0,0001	-					0,002	6,002	0,0003	-				
	Μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του	-18,047	-2,644	-0,0004	-												
	Τυπική απόκλιση πλευρικής επιτάχυνσης	6,388	3,326	0,0002	-												
	Χρόνος μέχρι την υπέρβαση της οδικής συνοριακής γραμμής					0,00010	2,689	0,000001	-								
	Τυπική απόκλιση ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου					0,012	4,284	0,0002	-								
	Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου (m)									-0,009	-2,120	-0,002	-	-0,874	-2,374	-0,0006	-
	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη													-0,095	-10,987	-0,00006	-
	R2	0,836				0,625				0,638				0,784			

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το προηγούμενο κεφάλαιο, σε συνδυασμό με τα μαθηματικά μοντέλα και τη σχετική επιρροή μεταξύ των μεταβλητών που παρουσιάζονται του Πίνακα 6.2 και διατυπώνονται στη συνέχεια.

- **Ο οδηγός που έχει υιοθετήσει οικολογική συμπεριφορά έχει λιγότερες πιθανότητες να εμπλακεί σε ατύχημα.** Αυτό πιθανώς συμβαίνει, διότι ο οδηγός που οδηγεί οικολογικά διατηρεί πιο χαμηλές ταχύτητες και αποφεύγει απότομες επιβραδύνσεις και γενικότερα έχει περισσότερο χρόνο αντίδρασης και πέδησης.
- **Η οικολογική συμπεριφορά του οδηγού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εκπομπής των ρύπων στην ατμόσφαιρα** (διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου), γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στη διατήρηση σταθερών και μικρότερων ταχυτήτων από τον οδηγό ώστε να αποφεύγονται -όσο είναι δυνατό- απότομες αλλαγές της ταχύτητας.
- **Επιπλέον, με την οικολογική συμπεριφορά του οδηγού μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου.** Βασικός κανόνας της οικολογικής οδήγησης είναι η διατήρηση σταθερών και χαμηλών ταχυτήτων και η εναρμόνιση της ταχύτητας του οχήματος με την ταχύτητα των άλλων οδηγών. Συνεπώς, αποφεύγονται οι επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις του οχήματος και κατά συνέπεια η αύξηση της χρήσης του πεντάλ γκαζιού.
- **Το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου αυξάνει την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα,** γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο ότι ο οδηγός που κάνει περισσότερο απότομη χρήση του πεντάλ φρένου

κάνει επίσης περισσότερο απότομη χρήση του πεντάλ γκαζιού για την κίνηση του οχήματος.

- Αντίθετα, **το ποσοστό χρήσης πεντάλ συμπλέκτη μειώνει την κατανάλωση καυσίμου** καθώς ενδεχομένως οδηγεί σε καλύτερη σχέση του κιβωτίου ταχυτήτων και κατά συνέπεια σε καλύτερη απόδοση του κινητήρα και χαμηλότερες στροφές, δηλαδή μειώνονται η τριβή και οι ενεργειακές απώλειες.
- Επίσης, **ο οδηγός που τείνει να οδηγεί προς τη δεξιά πλευρά του οδοστρώματος** πιθανώς παρουσιάζει πιο προσεκτικό προφίλ οδήγησης σε σύγκριση με τους οδηγούς που οδηγούν πιο κοντά στην αριστερή λωρίδα που πιθανώς υποδηλώνει επιθετικό προφίλ και διάθεση για προσπέραση και κατά συνέπεια **μειώνει την εκπομπή των ρύπων στην ατμόσφαιρα και την κατανάλωση καυσίμου.**
- Επιπλέον, **η αποδοχή του οδηγού της μείωσης των ορίων ταχύτητας** δείχνει πιθανώς ότι έχει αυξημένη οδηγική συνείδηση, δηλαδή ότι είναι προσεκτικός οδηγός με χαμηλότερες ταχύτητες οδήγησης με αποτέλεσμα να **μειώνεται και η πιθανότητα να εμπλακεί σε οδικό ατύχημα.**

Στα στατιστικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, επιπλέον της επιρροής της οικολογικής οδήγησης διερευνήθηκε και η επιρροή επιπλέον παραγόντων στα οδικά ατυχήματα, στις εκπομπές ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου, όπως αναφέρεται παρακάτω.

- Τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας έχουν χαμηλότερο κίνδυνο να εμπλακούν σε κάποιο ατύχημα. Η ηλικία του οδηγού σχετίζεται πιθανώς με την εμπειρία του στην οδήγηση καθώς και τη λιγότερο επιθετική συμπεριφορά.
 - Επίσης, παρατηρείται ότι το περιβάλλον οδήγησης έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος. Πιο συγκεκριμένα, **στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο παρατηρείται μεγάλη αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος**, παρόλο που ταυτόχρονα παρατηρείται μικρότερη μέση ταχύτητα οδήγησης. Η αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος πιθανώς οφείλεται στη δυσκολία της φύσης του περιβάλλοντος, δηλαδή, της δυσκολίας ορατότητας σε απότομες στροφές με μεγάλη κλίση.
 - **Το ορεινό υπεραστικό περιβάλλον** έχει μεγάλες διακυμάνσεις στην κλίση και στη γεωμετρία του οδοστρώματος σε σχέση με το απλό υπεραστικό, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση του ποσοστού χρήσης του πεντάλ φρένου και γκάζι από τον οδηγό. Συνεπώς, **αυξάνει τις εκπομπές των ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου.**
 - **Ο μέσος αριθμός των διαδρομών που οδηγεί ο συμμετέχοντας μέσα στη μέρα μειώνει την εκπομπή ρύπων** στο περιβάλλον και συγκεκριμένα στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου. Γεγονός που πιθανώς αποδίδεται στο ότι ο οδηγός που διανύει περισσότερες διαδρομές μέσα στη μέρα του έχει μεγαλύτερη εμπειρία.
 - **Η εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα μειώνεται με την αύξηση των χρημάτων που διαθέτει ο κάθε συμμετέχοντας για τις μετακινήσεις του** μέσα σε ένα μήνα. Το ποσό των χρημάτων πιθανώς να είναι ανάλογο με τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει και την εμπειρία του στην οδήγηση.
-

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Γενική ανασκόπηση	1
1.2. Στόχος	3
1.3. Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας	3
1.4. Δομή.....	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	6
2.1 Γενικά.....	6
2.2 Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες.....	6
2.3 Σύνοψη	8
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	11
3.1. Εισαγωγή.....	11
3.2. Μαθηματικά πρότυπα.....	11
3.3. Κριτήρια αποδοχής μοντέλου	12
3.4. Εξήγηση αποτελεσμάτων	14
3.5. Λειτουργία λογισμικού στατιστικής ανάλυσης.....	15
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	17
4.1. Εισαγωγή.....	17
4.2. Πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης	17
4.3. Επεξεργασία στοιχείων.....	22
4.4 Βάση δεδομένων	28
4.5 Περιγραφικά χαρακτηριστικά δείγματος.....	29
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	31
5.1. Γενικά.....	31
5.2. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή του Διοξειδίου του άνθρακα.....	31
5.3. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα.....	38
5.4. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου.....	44
5.5. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την κατανάλωση καυσίμου.....	50
5.6. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την πιθανότητα ατυχήματος	56
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων	62
6.2 Συνολικά συμπεράσματα	63
6.3 Προτάσεις για προαγωγή του οικολογικού τρόπου οδήγησης	65

6.4 Περαιτέρω έρευνα.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	69

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.Γενική ανασκόπηση

Η ενέργεια αποτελεί έναν τομέα στρατηγικής σημασίας και κρίνεται απαραίτητη στη ζωή των ανθρώπων καθώς είναι χρήσιμη σε πολλούς τομείς της ζωής, όπως στη μεταφορά ανθρώπων και προϊόντων. Ένα ζήτημα με το οποίο έρχεται αντιμέτωπη η κοινωνία είναι η **έλλειψη των ενεργειακών πόρων**. Οι ορυκτοί πόροι (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) που διαθέτει η Ευρώπη δεν είναι ανεξάντλητοι και θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη μέριμνα για τη σωστή διαχείριση τους. Για να επιτευχθεί η σημερινή ποιότητα ζωής, χρειάζονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση (ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση του νερού, του εδάφους, επιπτώσεις στο κλίμα). Συνεπώς, ο στόχος είναι η κατανάλωση όσο το δυνατόν λιγότερης ενέργειας σε ατομικό επίπεδο, διατηρώντας παράλληλα το βιοτικό επίπεδο και τις σύγχρονες ανέσεις. Αυτό είναι εφικτό εφόσον καταβληθεί συνολικά προσπάθεια στην κατανάλωση της ενέργειας με καλύτερο και αποδοτικότερο τρόπο.

Η **ατμοσφαιρική ρύπανση** έχει αναδειχθεί σε μείζον πρόβλημα των σύγχρονων κοινωνιών καθώς είναι επιβλαβής σε ποικίλους παράγοντες, όπως στην υγεία των ανθρώπων και του περιβάλλοντος που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Ο τομέας των μεταφορών, ο οποίος αποτελεί μια από τις κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης καταγράφει αύξηση εκπομπών σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Οι μεταφορές ευθύνονται για το 30% σχεδόν των συνολικών εκπομπών CO₂ της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), εκ των οποίων το 72% προέρχεται συγκεκριμένα από τις οδικές μεταφορές. Οι οδικές μεταφορές έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή περιβαλλοντικών ρύπων όπως είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO_x), τα παράγωγα του άνθρακα (CO₂, CO) και τα αιωρούμενα σωματίδια. Στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελεί το σχέδιο δράσης για μηδενική ρύπανση το οποίο υπολογίζεται ότι θα οδηγήσει σε μείωση των πρόωρων θανάτων κατά 55% έως το 2030. Εντούτοις, θα απαιτηθούν περαιτέρω προσπάθειες για την επίτευξη του οράματος μηδενικής ρύπανσης για το 2050 σχετικά με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε επίπεδα που δεν θεωρούνται πλέον επιβλαβή για την υγεία.

Η υγεία των ανθρώπων είναι ένας βασικός παράγοντας με τον οποίον είναι άρρηκτα συνδεδεμένη η ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς σύμφωνα με την ανάλυση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΕΑ, 2023), η ατμοσφαιρική ρύπανση εξακολουθεί να αποτελεί τον μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο για την υγεία στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα, η κακή ποιότητα του αέρα, ιδίως στις αστικές περιοχές έχει συνδεθεί με **χρόνιες ασθένειες και πρόωρους θανάτους**. Σύμφωνα με τις πρόσφατες εκτιμήσεις του ΕΟΠ, το 2020 τουλάχιστον 238.000 άνθρωποι πέθαναν πρόωρα στην ΕΕ λόγω έκθεσης σε ρύπανση από ΑΣ_{2,5} (μικρά αιωρούμενα σωματίδια) άνω του επιπέδου των 5 μg/m³ των κατευθυντήριων γραμμών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2023). Η ρύπανση από διοξείδιο του αζώτου οδήγησε σε 49.000 πρόωρους θανάτους στην ΕΕ και η έκθεση σε όζον σε 24.000.

Ακόμα, σύμφωνα με την Υπηρεσία Κλιματικής Αλλαγής Copernicus (2023), η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που παράγονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα προκαλεί άνοδο στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία του πλανήτη. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αντιπροσωπεύει σχεδόν το 80% του όγκου όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ το 2021. Κάποιες από τις **επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής** είναι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, ακραία καιρικά φαινόμενα και έντονες

βροχοπτώσεις, ενώ άλλες περιοχές δοκιμάζονται από καύσωνες και περιόδους μακράς ξηρασίας.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση επίσης, **βλάπτει τη βιοποικιλότητα και ζημιώνει τις γεωργικές καλλιέργειες** και τα δάση, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές ζημιές. Σύμφωνα με την ανάλυση του ΕΟΠ, το 59% των δασικών περιοχών και το 6% των γεωργικών εκτάσεων της Ευρώπης εκτέθηκαν σε ζημιογόνα επίπεδα τροποσφαιρικού όζοντος το 2020. Το όζον που υπάρχει στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικούν άνθρωποι) αποτελεί ρύπο και είναι ένα αέριο που δεν εκπέμπεται άμεσα, αλλά προκαλείται από την αντίδραση των εκπομπών ρύπων από τους σωλήνες εξάτμισης των οχημάτων σε συνδυασμό με ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως την ηλιακή ακτινοβολία. Οι **οικονομικές ζημιές** λόγω των επιπτώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος στις καλλιέργειες σίτου το 2019 ανήλθαν συνολικά σε περίπου 1,4 δισ. ευρώ σε 35 ευρωπαϊκές χώρες (EEA, 2023).

Τέλος, η **οδική ασφάλεια** είναι ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα που απαιτεί διαρκή εγρήγορση σε όλα τα επίπεδα καθώς σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν σήμερα την κύρια αιτία θανάτου παιδιών και νέων ηλικίας 5 έως 29 ετών σε ολόκληρο τον κόσμο (WHO, 2023). Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέση στόχο για την επίτευξη του «οράματος για μηδενικές απώλειες».

Παγκοσμίως, 1,35 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο εξαιτίας **τροχαίων ατυχημάτων**, ενώ 20 με 50 εκατομμύρια τραυματίζονται. Περισσότεροι από τους μισούς θανάτους και τραυματισμούς στο οδικό δίκτυο αφορούν ευάλωτους χρήστες του δρόμου, όπως πεζούς, ποδηλάτες και μοτοσικλετιστές. Εκτός από τον ανθρώπινο πόνο και το κοινωνικό τίμημα που προκαλείται από το παραπάνω φαινόμενο, οι τραυματισμοί λόγω οδικών τροχαίων ατυχημάτων έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις εθνικές οικονομίες, με το κόστος για τα κράτη να ανέρχεται περίπου στο 3% του ετήσιου ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος τους σύμφωνα με στοιχεία από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2023). Συνεπώς, η προσπάθεια μείωσης των οδικών ατυχημάτων σε ατομικό επίπεδο είναι ύψιστης σημασίας.

Σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Αστυνομίας (ΕΛ.ΑΣ), η **κύρια αιτία των οδικών τροχαίων ατυχημάτων** συνδέεται αποκλειστικά με τους οδηγούς. Οι πιο συνηθισμένες αιτίες είναι η υπερβολική ταχύτητα, η κίνηση στο αντίθετο ρεύμα, η απόσπαση προσοχής και η παραβίαση προτεραιότητας και σηματοδότη.

Από τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής υπηρεσίας (ΕΛΣΤΑΤ) το 2019, το 11% των θυμάτων σε οδικά τροχαία ατυχήματα (οδηγοί, επιβάτες ή πεζοί) ανήκαν στην ηλικιακή ομάδα 18-24 ετών, ενώ το 7,3% των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων έλαβαν χώρα σε αυτοκινητόδρομους της χώρας.

1.2. Στόχος

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, ο τομέας των μεταφορών καλείται να αντιμετωπίσει σε καθημερινή βάση ένα μεγάλο πλήθος προβλημάτων όπως είναι έλλειψη των ενεργειακών πόρων του πλανήτη, η ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς και ο θάνατος ή ο τραυματισμός ατόμων μέσω των οδικών ατυχημάτων. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την υιοθέτηση ενός πιο οικολογικού τρόπου οδήγησης από τους πολίτες. Η οικολογική οδήγηση επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής κανόνων οδικής συμπεριφοράς, όπως είναι η αποφυγή απότομων επιβραδύνσεων και επιταχύνσεων, ο συγχρονισμός της ταχύτητας του οχήματος με των υπολοίπων οχημάτων του δικτύου, η συμμόρφωση του οδηγού με τα επιτρεπόμενα όρια ταχύτητας κλπ.

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι **η διερεύνηση των ωφελειών της οικολογικής οδήγησης στο υπεραστικό δίκτυο με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης**. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου και στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και στην πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων συμπεριφοράς οδηγού στον προσομοιωτή οδήγησης, από ένα δείγμα συμμετεχόντων και σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των οδηγών που συλλέχτηκαν μέσω ερωτηματολογίου, έγινε επιλογή και εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης, ώστε να προκύψουν ορθά συμπεράσματα. Επιπλέον, δημιουργήθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της δημιουργίας ορθών μαθηματικών μοντέλων που ποσοτικοποιούν την επιρροή της οικολογικής οδήγησης σε διάφορους παράγοντες (π.χ. αποφυγή ατυχημάτων).

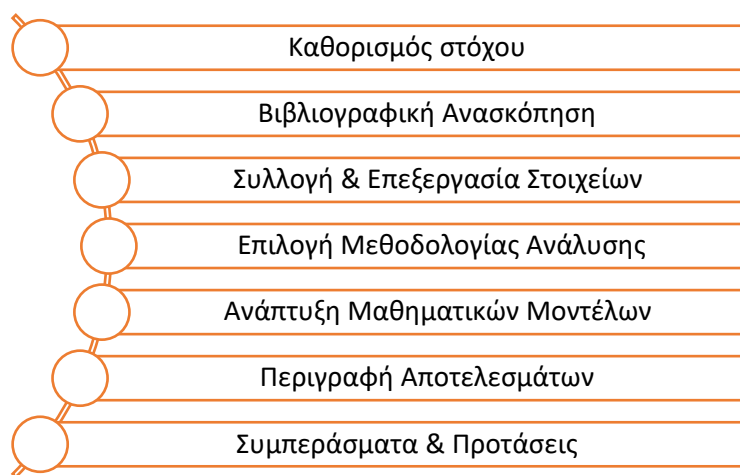
1.3. Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση της **μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε**. Αρχικά, καθορίστηκε το θέμα της μελέτης σε συνδυασμό με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, δηλαδή την αναζήτηση συναφών ερευνών και μεθοδολογιών ανάλυσης από πρόσφατη διεθνή βιβλιογραφία, με σκοπό την εύρεση των ζητημάτων που απαιτούν έρευνα. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η επιλογή του κατάλληλου περιβάλλοντος οδήγησης στον προσομοιωτή έτσι ώστε να γίνει η συλλογή των στοιχείων για την έρευνα. Για τη συλλογή των στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν αφενός η διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας με τη χρήση του προσομοιωτή οδήγησης και αφετέρου ερωτηματολόγια.

Έπειτα από τη συλλογή των δεδομένων, θα έπρεπε να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία τους ώστε να γίνει η επιλογή του τρόπου ανάλυσής τους. Με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R θα αναπτυχθούν τα κατάλληλα γραμμικά και διωνυμικά μαθηματικά μοντέλα ώστε να προκύψουν ορθά συμπεράσματα. Τα μοντέλα θα προβλέπουν την επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου, στην εκπομπή ρύπων και στη μεταβολή της πιθανότητας ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο. Ως τελευταίο βήμα ορίζεται η σωστή ερμηνεία των μοντέλων αυτών που θα μας βοηθήσει να καταλήξουμε στα αποτελέσματα, δηλαδή στα συμπεράσματα της έρευνας τα οποία συνοψίζονται για να γίνουν πιο κατανοητά καθώς και στην

αποτύπωση των προτάσεων για περαιτέρω έρευνα, οι οποίες θα συμβάλουν στη μελλοντική διερεύνηση του αντικειμένου της μελέτης αυτής.

Τα **βήματα της μεθοδολογίας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας** παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Γράφημα 1.1).



Γράφημα 1.1: Βήματα μεθοδολογίας Διπλωματικής Εργασίας

1.4. Δομή

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η δομή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μέσω της σύνοψης των κεφαλαίων που την απαρτίζουν, έτσι ώστε να υπάρχει μια ροή μεταξύ των κεφαλαίων της.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το **Κεφάλαιο 1**, στο οποίο γίνεται μια εισαγωγική παρουσίαση των προβλημάτων που θα εξεταστούν με την παρούσα Διπλωματική Εργασία, δηλαδή τα θέματα της έλλειψης ενεργειακών πόρων, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της οδικής ασφάλειας. Επίσης, καθορίζεται ο στόχος της και η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος, παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας ώστε να έχει συνοχή και να γίνει πιο κατανοητή.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση, δηλαδή γίνεται μια αναζήτηση σε σχετικές έρευνες και μεθοδολογίες με σκοπό να βρεθούν αφενός χρήσιμα ευρήματα για τη Διπλωματική Εργασία και αφετέρου πιθανές ελλείψεις που υπάρχουν στις συναφείς έρευνες. Οι ελλείψεις θα καθορίσουν τον σκοπό και το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και θα αποφασιστούν με τη βοήθεια ενός συνοπτικού πίνακα με τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Στο **Κεφάλαιο 3** πραγματοποιείται η επεξήγηση του θεωρητικού υπόβαθρου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση των δεδομένων. Αρχικά, παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν, περιγράφονται οι τύποι των μαθηματικών μοντέλων και οι απαραίτητοι έλεγχοι που θα πραγματοποιηθούν ώστε να είναι αποδεκτά. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εντολές της γλώσσας προγραμματισμού που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να ολοκληρωθεί ορθά η στατιστική ανάλυση.

Έπειτα, στο **Κεφάλαιο 4** ακολουθεί η επεξήγηση της συλλογής και της επεξεργασίας των απαραίτητων δεδομένων που συλλέχτηκαν. Αναλύεται ο τρόπος συλλογής των δεδομένων μέσω του πειράματος που διεξήχθη στον προσομοιωτή οδήγησης, τα χαρακτηριστικά του πειράματος, τα σενάρια οδήγησης και τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η εξαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων μέσω της κατάλληλης γλώσσας προγραμματισμού. Τέλος, πραγματοποιείται μια συνοπτική παράθεση κάποιων ενδεικτικών χαρακτηριστικών του δείγματος των συμμετεχόντων.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται εκτενώς τα μαθηματικά μοντέλα που προέκυψαν από την ανάλυση, σε συνδυασμό με τα βήματα που ακολουθήθηκαν και την επεξήγηση των συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα απαραίτητα κριτήρια αποδοχής των μοντέλων και κάποιες γενικές στατιστικές πληροφορίες. Τα μοντέλα διακρίνονται σε μοντέλα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου του οχήματος, της εκπομπής ρύπων και σε μοντέλο πρόβλεψης της πιθανότητας ατυχήματος.

Στο **Κεφάλαιο 6** περιγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα μαθηματικά μοντέλα και η ερμηνεία τους. Ακόμα, παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σχετική με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται μια λίστα με τη βιβλιογραφία της Διπλωματικής Εργασίας, η οποία περιλαμβάνει όλες τις πηγές και τις έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίησή της.

2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γενικά

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έχει δύο βασικούς σκοπούς. Αφενός τον προσδιορισμό του αντικειμένου μελέτης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και αφετέρου την επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας για την ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν μέσα από την πειραματική διαδικασία. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία παρουσίαση ερευνών οι οποίες πραγματεύονται παραπλήσια θεματολογία με την εν λόγω Διπλωματική Εργασία. Οι έρευνες που παρατίθενται εξετάζουν τη συσχέτιση μεταξύ του οικολογικού τρόπου οδήγησης και διαφόρων παραμέτρων όπως είναι η εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, ο περιορισμός της εκπομπής περιβαλλοντικών ρύπων καθώς και η μείωση των ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο. Η ενδελεχής ανάλυση των ερευνητικών μελετών αποσκοπεί στην ανίχνευση παραμέτρων που δεν έχουν εξεταστεί επαρκώς και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελέτης.

2.2 Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες

2.2.1 Η επίδραση του οικολογικού τρόπου οδήγησης στη μείωση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων

Ο ρόλος της οικολογικής οδήγησης στην **προστασία του περιβάλλοντος** μέσω της δραστηκής μείωσης της εκπομπής περιβαλλοντικών ρύπων αναδεικνύεται από ένα μεγάλο πλήθος ερευνών. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη μελέτη των Arroyo-López et al. (2022) η εφαρμογή των βασικών αρχών οικολογικής οδήγησης από μία μεταφορική εταιρία στο Μεξικό ήταν επαρκής για τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ κατά 13kg/ διαδρομή. Η μείωση του παραγόμενου CO₂ παρατηρήθηκε σε όλους τους τύπους οδικού δικτύου και αποδόθηκε στην αποφυγή απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων καθώς και στην αποφυγή ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και η έρευνα των Morello et al. (2016) η οποία έγινε με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης σε αστικό οδικό δίκτυο ενώ η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο. Στόχος της έρευνας ήταν η συσχέτιση μεταξύ του οικολογικού τρόπου οδήγησης και της μείωσης των καυσαερίων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια: ελεύθερη οδήγηση, οδήγηση σε δρόμο με φυσιολογική κίνηση και οδήγηση σε δρόμο με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια έγιναν 5 δοκιμές με το 0%, 25%, 50%, 75 % και 100% των οδηγών να εφαρμόζουν οικολογική συμπεριφορά αντιστοίχως. Τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η οικολογική οδήγηση είχε ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ κατά 10-15% στα σενάρια ελεύθερης κυκλοφορίας και ήπιας κυκλοφορικής συμφόρησης ενώ δεν είχε κάποιο στατιστικώς σημαντικό αντίκτυπο στο σενάριο οδήγησης σε δρόμο με μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Παράλληλα παρατηρήθηκε μείωση στη μέση ταχύτητα οδήγησης σε όλα τα σενάρια (13,7%, 22,3%, 36,0% αντιστοίχως).

2.2.2 Η επίδρασή του οικολογικού τρόπου οδήγησης στην εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων.

Σε μία εποχή που η ενεργειακή κρίση αποτελεί μείζον πρόβλημα, η **εξοικονόμηση καυσίμων** μέσω του οικολογικού τρόπου οδήγησης είναι ζωτικής σημασίας για την ομαλή λειτουργία της κοινωνίας. Αναλυτικότερα, με βάση την έρευνα των Barla et al. (2017) η εκπαίδευση των οδηγών πάνω στην οικολογική οδήγηση είχε ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων σε αστικό δίκτυο και αυτοκινητόδρομο κατά 4,6% και 2,9% αντιστοίχως. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι το ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμων φαίνεται να φθίνει σημαντικά 10 μήνες μετά το σεμινάριο εκπαίδευσης των οδηγών. Παρόμοια συμπεράσματα ανέδειξε και η έρευνα των Rolim et al. (2014) που κατέγραψε μείωση της κατανάλωσης κατά 4,8% σε αστικό περιβάλλον. Μια ακόμη έρευνα που αναγνωρίζει το θετικό αντίκτυπο της οικολογικής οδήγησης στον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων είναι αυτή των Wang et al. (2018), η οποία έλαβε υπόψιν διάφορες παραμέτρους όπως είναι ο τύπος του οδικού δικτύου, ο τύπος των καυσίμων και οι καιρικές συνθήκες. Σύμφωνα με τα πορίσματα αυτής της έρευνας η εκπαίδευση των οδηγών πάνω στον οικολογικό τρόπο οδήγησης οδήγησε στην εξοικονόμηση ως και 6,3% ανεξάρτητα από τον τύπο του καυσίμου. Παράλληλα, η μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμων διαπιστώθηκε με μεγάλα αστικά οδικά δίκτυα ενώ η μεγαλύτερη δυσκολία προσαρμογής σε οικολογικό τρόπο οδήγησης παρατηρήθηκε σε αυτοκινητοδρόμους με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η μεγάλη σημασία της εκπαίδευσης πάνω στον οικολογικό τρόπο οδήγησης διαφαίνεται από μία ακόμη έρευνα των Jeffreys et al. (2018), η οποία διεξήχθη σε μεγάλα αστικά κέντρα της Αυστραλίας με τη συμμετοχή 1056 οδηγών εκ των οποίων οι 853 έλαβαν ειδική εκπαίδευση πάνω στην οικολογική οδήγηση και οι υπόλοιποι 203 αποτελούσαν την ομάδα ελέγχου. Τα τελικά συμπεράσματα της παραπάνω έρευνας αποκαλύπτουν μείωση στη μέση κατανάλωση κατά 4.6% ή 0,51 lt/100km συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου.

Τέλος, παρατίθενται τρεις έρευνες οι οποίες ερευνούν την εξοικονόμηση καυσίμων σε λεωφορεία μετά από αλλαγή της συμπεριφοράς του οδηγού και την εφαρμογή ενός οικολογικού τρόπου οδήγησης από την πλευρά των οδηγών. Η πρώτη έρευνα έγινε από τους Strömberg et al. (2013) σε αστικό δίκτυο με τη συμμετοχή 56 οδηγών και παρουσίασε μείωση στην κατανάλωση καυσίμων κατά 6,8% με σημαντική ελάττωση σε φαινόμενα απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων. Αντιστοίχως, η δεύτερη έρευνα των Boriboonsomsin et al. (2011) με συμμετοχή 20 οδηγών αποκάλυψε εξοικονόμηση καυσίμων κατά 6% σε αστικά δίκτυα και κατά 1% σε αυτοκινητόδρομους. Ακόμα πιο θετικά ήταν τα αποτελέσματα της τρίτης μελέτης των Henning et al. (2008) η οποία έγινε σε όλους τους τύπους οδικού δικτύου με τη συμμετοχή συνολικά 300 οδηγών και είχε ως συμπέρασμα την εξοικονόμηση καυσίμων κατά 25% βραχυπρόθεσμα και κατά 10% μακροπρόθεσμα.

2.2.3 Η επίδρασή του οικολογικού τρόπου οδήγησης στην ασφαλή οδήγηση και στον περιορισμό των ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Η **οδηγική ασφάλεια και η πρόληψη θανατηφόρων ατυχημάτων στην ασφάλτο** είναι ζωτικής σημασίας δεδομένου ότι τα ατυχήματα εξακολουθούν να αποτελούν την πρώτη αιτία θανάτου για ηλικίες 1-45 ετών. Η υιοθέτηση ενός οικολογικού τρόπου οδήγησης φαίνεται να έχει θετική επίδραση στην ασφάλεια του οδηγού και των επιβατών εφόσον προϋποθέτει την

οδήγηση εντός των φυσιολογικών ορίων ταχύτητας και την αποφυγή απότομων επιταχύνσεων. Η έρευνα των Nævestad et al. (2022) αναδεικνύει ακριβώς αυτό το γεγονός. Πραγματοποιήθηκε στη Νορβηγία, αφορά όλους τους τύπους οδικού δικτύου και περιλαμβάνει τη μελέτη 3 μεταφορικών εταιριών (A,B,C) οι οποίες είχαν 200,140 και 110 οδηγούς αντίστοιχα. Κάθε μία από τις μεταφορικές εταιρίες εξυπηρετούσε διαφορετικές περιοχές οι οποίες εμφάνιζαν διαφορές ως προς την προσβασιμότητα αλλά και την ποιότητα του οδικού δικτύου. Σε όλες τις εταιρίες παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση των ατυχημάτων στο δρόμο μετά από εφαρμογή των βασικών κανόνων οικολογικής οδήγησης. Σε παραπλήσια συμπεράσματα κατέληξε και η έρευνα των Dehkordi et al. (2019) σε εικονικό περιβάλλον με τη χρήση του αλγορίθμου entitled modified distance-based dynamic programming (MDDP) η οποία ανέδειξε ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμων κατά 14,8% χωρίς να αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος οδήγησης και διατηρώντας ένα υψηλό επίπεδο οδηγικής ασφάλειας.

Ολοκληρώνοντας, μια έρευνα των Allison (2022) et al. επιχειρεί να αποτυπώσει το **ψυχολογικό αντίκτυπο** που είχε η εφαρμογή των βασικών κανόνων και αρχών στους οδηγούς με τη χρήση ειδικών ερωτηματολογίων. Φάνηκε ότι ενώ η οικολογική οδήγηση είχε αρνητικό αντίκτυπο στην ψυχολογική διάθεση των οδηγών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (λόγω των περιορισμών που θέτει), μακροπρόθεσμα όμως συνδέθηκε με αύξηση της αυτοπεποίθησης και του αισθήματος ικανοποίησης των οδηγών καθώς και διατήρηση υψηλού επιπέδου εγρήγορσης.

2.3 Σύνοψη

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αναφερθέντα δεδομένα που προέκυψαν από τις εν λόγω έρευνες έγινε η σύνταξη του παρακάτω πίνακα ο οποίος συνοψίζει τα βασικά στοιχεία και πορίσματα που έχουν προκύψει μέχρι στιγμής.

ΕΡΕΥΝΑ	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΤΥΠΟΣ ΟΔΟΥ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
Eugenio Morello et al. (2016)	Εκπομπές CO ₂ , μέση ταχύτητα	Αστικό	Μικροσκοπική μελέτη : 1.000, 5.000, 7.500 αυτοκίνητα/ώρα σε συνθήκες ελεύθερης κυκλοφορίας, φυσιολογικής και αυξημένης κυκλοφοριακής συμφόρησης αντιστοίχως Μακροσκοπική μελέτη: 31.000, 168.000, 254.000 διαδρομές αντιστοίχως	- Μείωση μέσης ταχύτητας - Μείωση εκπομπών CO₂
Philippe Barla et al. (2017)	Κατανάλωση καυσίμων	Αστικό περιβάλλον, αυτοκινητόδρομοι	59 συμμετέχοντες	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων
Rolim et al. (2014)	Κατανάλωση καυσίμων	Αστικό περιβάλλον	20 οδηγοί (11 εκ των οποίων αποτελούν την ομάδα ελέγχου)	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων

Craig K. Allison et al. (2022)	Ψυχολογική διάθεση των οδηγών	Αστικό, επαρχιακό οδικό δίκτυο, αυτοκινητόδρομοι	36 οδηγοί	- Αρνητικό αντίκτυπο στην ψυχολογική διάθεση των οδηγών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. - Αύξηση της αυτοπεποίθησης και αισθήματος ικανοποίησης μακροπρόθεσμα
Pilar Arroyo-López et al. (2022)	Εκπομπές CO ₂ , κατανάλωση καυσίμων	Αστικό, επαρχιακό οδικό δίκτυο, αυτοκινητόδρομοι (Μεξικό)	55 οδηγοί, 150 διαδρομές	- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου - Περιορισμός της εκπομπής CO₂
Ian Jeffreys et al. (2018)	Εξοικονόμηση καυσίμων	Αστικό οδικό δίκτυο Brisbane, Moreton Bay κ.α. (Αυστραλία)	1056 οδηγοί εκ των οποίων οι 853 έλαβαν ειδική εκπαίδευση πάνω στην οικολογική οδήγηση και οι υπόλοιποι 203 αποτελούσαν την ομάδα ελέγχου	Περιορισμός της κατανάλωσης καυσίμων συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου
Sepehr G. Dehkordi et al. (2019)	Κατανάλωση καυσίμων, οδηγική ασφάλεια			- Μείωση στην κατανάλωση καυσίμων - Μείωση κινδύνου για ατύχημα
Tor-Olav Nævestad et al. (2022)	Οδηγική ασφάλεια, εξοικονόμηση καυσίμων	Αστικά, επαρχιακά δίκτυα, αυτοκινητόδρομοι (Νορβηγία)	3 μεταφορικές εταιρίες- χρήση φορτηγών Α: 200 οδηγοί Β: 140 οδηγοί Γ: 110 οδηγοί	- Μείωση του κινδύνου για ατύχημα - Μείωση στην κατανάλωση καυσίμων
Yang Wang et al. (2018)	Εκπομπές CO ₂ Κατανάλωση καυσίμων	Αστικά, επαρχιακά δίκτυα, αυτοκινητόδρομοι	12 οδηγοί	- Περιορισμός της κατανάλωσης καυσίμων ανεξάρτητα από τον τύπο καυσίμου - Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμων παρατηρήθηκε σε μεγάλα αστικά οδικά δίκτυα
Helena K. Strömberg et al. (2013)	Κατανάλωση καυσίμων	16 km αστικό δίκτυο	54 οδηγοί λεωφορείου	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων
Boriboonsomsin K et al. (2011)	Κατανάλωση καυσίμων	Αστικό δίκτυο, αυτοκινητόδρομοι	20 οδηγοί λεωφορείου	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων
Henning W et al. (2008)	Κατανάλωση καυσίμων	Αστικό, επαρχιακό οδικό δίκτυο, αυτοκινητόδρομοι	300 οδηγοί λεωφορείου	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στη συσχέτιση της οικολογικής οδήγησης με την εξοικονόμηση καυσίμων σε αστικά κυρίως δίκτυα και σε μεγάλους αυτοκινητοδρόμους. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία **θα δοθεί έμφαση σε υπεραστικά και ορεινά υπεραστικά δίκτυα** τα οποία έχουν αρκετές ιδιαιτερότητες (απότομες ανηφόρες / κατηφόρες, αιφνίδια εμπόδια στον δρόμο κ.α.) και τροποποιούν την οδηγική συμπεριφορά καθιστώντας απαιτητική την εφαρμογή των βασικών κανόνων οικολογικής οδήγησης.

Ένα άλλο στοιχείο που δεν λαμβάνεται σημαντικά υπόψιν στην υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι το φύλο και η ηλικία των οδηγών. Στις περισσότερες έρευνες συμμετέχουν μεγαλύτερης ηλικίας – έμπειροι οδηγοί που δουλεύουν στο χώρο των μεταφορών.

Η παρούσα Διπλωματική **θα επικεντρωθεί κυρίως στην επίδραση που έχει η εφαρμογή των βασικών αρχών της οικολογικής οδήγησης σε νεότερα άτομα** καθώς και στις διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην οδηγική συμπεριφορά ανάλογα με το φύλο, την ηλικία και τον τύπο του οδικού δικτύου.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1. Εισαγωγή

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** της παρούσας **Διπλωματικής Εργασίας** σύμφωνα με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η **στατιστική ανάλυση** με σκοπό να δημιουργηθούν τα κατάλληλα μοντέλα που θα δώσουν ορθά αποτελέσματα. Τα μαθηματικά πρότυπα που επιλέχτηκαν είναι η γραμμική παλινδρόμηση και η διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση, για τις συνεχείς και διακριτές μεταβλητές, αντίστοιχα. Οι μεταβλητές συλλέγονται από την πειραματική διαδικασία στον προσομοιωτή οδήγησης και από τα ερωτηματολόγια.

3.2. Μαθηματικά πρότυπα

3.2.1. Γραμμικό μοντέλο

Χρησιμοποιώντας τη γραμμική παλινδρόμηση καταλήγουμε στο γραμμικό μοντέλο, το οποίο προκύπτει από την ανάπτυξη εξίσωσης. Για τη γραμμική παλινδρόμηση πρέπει να μοντελοποιηθεί η σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y (που ακολουθεί κανονική κατανομή) και μίας ή περισσότερων επεξηγηματικών μεταβλητών (ή ανεξάρτητων μεταβλητών) X και η οποία περιγράφεται από την εξίσωση του μοντέλου. Η μεταβλητή Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή της οποίας γίνεται η πρόβλεψη των τιμών της και η μεταβλητή ή οι μεταβλητές X είναι εξαρτημένες μεταβλητές που έχουν δεδομένες τιμές και χρησιμοποιούνται για την εύρεση της εξαρτημένης.

Η μορφή της εξίσωσης είναι η εξής:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \varepsilon_i, \quad (3.1)$$

όπου

n : το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: οι συντελεστές παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών $X_1, X_2, \dots, X_n$

β_0 : ο σταθερός όρος της εξίσωσης (δηλαδή η τιμή του Y όταν $X_1, X_2, \dots, X_n = 0$)

ε_i : το σφάλμα παλινδρόμησης, το οποίο προσεγγίζει τη διαφορά της προβλεπόμενης με την πραγματική τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Y .

Για τη βελτίωση της ακρίβειας του μοντέλου και τη διευκόλυνση της εκτέλεσης της ανάλυσης, πραγματοποιήθηκε λογαριθμικός μετασχηματισμός καθώς τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν θετικές τιμές και πιθανώς να παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση.

3.2.2. Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο

Με παρόμοιο τρόπο προκύπτει και το διωνυμικό λογιστικό μοντέλο με τη διαφορά ότι η εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι διακριτή και για τη διαμόρφωση της χρησιμοποιήθηκε η **λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης**.

Η μορφή της εξίσωσης είναι η εξής:

$$Y_i = \ln \frac{P_i}{1-P_i} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni}, \quad (3.2)$$

όπου

n : το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: οι συντελεστές παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών $x_1, x_2, \dots, x_n$

β_0 : ο σταθερός όρος της εξίσωσης (δηλαδή η τιμή του y όταν $x_1, x_2, \dots, x_n = 0$)

P_i : η προβλεπόμενη πιθανότητα, η οποία λαμβάνει τιμές από 0 (αποτυχία) έως 1 (επιτυχία).

Η εξαρτημένη μεταβλητή Y παίρνει την τιμή 1 με πιθανότητα επιτυχίας P και την τιμή 0 με πιθανότητα αποτυχίας $1-P$.

3.3. Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Αφού διαμορφωθούν τα μοντέλα που αναλύονται στο παραπάνω κεφάλαιο, χρειάζεται να γίνει έλεγχος διάφορων **παραγόντων για την αξιολόγηση και την αποδοχή** τους. Βασική προϋπόθεση για την αποδοχή του μοντέλου είναι οι τιμές της μεταβλητής Y των γραμμικών μοντέλων να ακολουθούν κανονική κατανομή. Επίσης, πρέπει να γίνει έλεγχος μεταξύ των συσχετίσεων των μεταβλητών ώστε να μην χρησιμοποιηθούν μεταβλητές με μεγάλη συσχέτιση και επηρεαστεί το αποτέλεσμα του μοντέλου. Αυτό σημαίνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές θα πρέπει να είναι γραμμικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά κριτήρια τα οποία ελέγχονται για την αποδοχή των μοντέλων.

Λογική εξήγηση των συντελεστών του μοντέλου

Εφόσον ολοκληρωθεί η εξίσωση του μοντέλου, εξετάζεται αν τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης έχουν λογική ερμηνεία. Στην περίπτωση που αυτό δεν ισχύει, το μοντέλο θα πρέπει να απορριφθεί. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται έλεγχος σε όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές βάσει του πρόσημου. Αν αναμένεται αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης το πρόσημο της πρέπει να είναι θετικό, ενώ εάν αναμένεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης πρέπει να είναι αρνητικό.

Στατιστική σημαντικότητα

Μια ακόμα προϋπόθεση για την αποδοχή του μοντέλου είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης να έχει υψηλή τιμή. Για την ακρίβεια, η αξιολόγηση στα γραμμικά μοντέλα γίνεται βάσει του ελέγχου t -test (κριτήριο κατανομής Student) με τον συντελεστή t να προσδιορίζει τη στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών για την επιλογή των κατάλληλων, δηλαδή αυτών με την υψηλότερη τιμή. Αντίστοιχα, για τα διωνυμικά λογιστικά μοντέλα, η αξιολόγηση γίνεται βάσει του συντελεστή z value.

Ο τύπος του t-test είναι ο εξής:

$$t_i = \frac{\beta_i}{s\beta_i} \quad (3.3)$$

Ο τύπος του z value είναι ο εξής:

$$z_i = \frac{\beta_i}{s\beta_i} \quad (3.4)$$

Και στις δύο περιπτώσεις:

β_i : οι συντελεστές παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών X_i

$s\beta_i$: το τυπικό σφάλμα των συντελεστών παλινδρόμησης β_i .

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% μια ενδεικτική τιμή του συντελεστή t και z είναι το 1,7 καθώς και το 1,3 για επίπεδο εμπιστοσύνης 90%.

Ποιότητα μοντέλου

Στα γραμμικά μοντέλα μετά τον έλεγχο των παραπάνω προϋποθέσεων για τη διαμόρφωση της τελικής εξίσωσης, πραγματοποιείται και ο υπολογισμός του συντελεστή προσδιορισμού για τον έλεγχο της ποιότητας του.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}, \quad (3.5)$$

όπου Y_i : η παρατηρηθείσα ανεξάρτητη μεταβλητή

$\hat{Y}_i$: η προβλεπόμενη ανεξάρτητη μεταβλητή, από την πρόβλεψη του μοντέλου

$\bar{Y}$: η μέση τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής Y_i

n: το σύνολο των τιμών της ανεξάρτητης μεταβλητής Y_i

και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1.

Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X , δηλαδή τόσο πιο ορθή είναι η πρόβλεψη του μοντέλου και ελαχιστοποιείται το σφάλμα.

Αντίθετα, για τα λογιστικά μοντέλα δεν πραγματοποιείται έλεγχος του συντελεστή προσδιορισμού R^2 καθώς σε αυτήν την περίπτωση επιζητείται η εκτίμηση της σχέσης που αναπτύσσεται μεταξύ της εξαρτημένης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Συνεπώς, στα λογιστικά μοντέλα γίνεται έλεγχος του ποσοστού πρόβλεψης του μοντέλου, το οποίο ζητείται να έχει τιμή μεγαλύτερη του 65%.

Σφάλμα

Σχετικά με το σφάλμα της εξίσωσης του μοντέλου, αυτό θα πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

1. Να ακολουθεί κανονική κατανομή
2. Να έχει σταθερή διασπορά $\text{Var}(\varepsilon_i) = \sigma_\varepsilon^2 = c$
3. Να έχει μηδενική συσχέτιση, $\rho(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$, $\forall i \neq j$ Η διασπορά του σφάλματος σχετίζεται με τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Αυτό σημαίνει ότι, όσο μεγαλύτερο είναι το R^2 , τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη του μαθηματικού μοντέλου.

3.4. Εξήγηση αποτελεσμάτων

Έπειτα, πραγματοποιείται η **επεξήγηση των αποτελεσμάτων του μαθηματικού μοντέλου** και γίνεται ο προσδιορισμός των παρακάτω στοιχείων:

Εξήγηση σχέσεων εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η εξαρτημένη μεταβλητή επηρεάζεται από τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης. Αυτό σημαίνει ότι το θετικό πρόσημο του συντελεστή αυξάνει την τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, το αρνητικό πρόσημο του συντελεστή μειώνει την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης.

Επιβεβαίωση (ή όχι) διεθνούς βιβλιογραφίας

Μετά την ολοκλήρωση των μοντέλων και την επεξήγηση της σχέσης της εξαρτημένης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων ε τα αποτελέσματα τη διεθνούς βιβλιογραφίας. Με αυτόν τον τρόπο, επιβεβαιώνονται ή όχι τα στοιχεία που συλλέχθηκαν με τη βοήθεια της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Ελαστικότητα

Τέλος, για την ολοκλήρωση της επεξήγησης των αποτελεσμάτων, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ελαστικότητας. Συγκεκριμένα, προσδιορίζεται η ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής όταν μεταβάλλονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Η ευαισθησία εκφράζεται ως μία επί τις εκατό μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής ως αποτέλεσμα μιας 1% μεταβολής στην ανεξάρτητη μεταβλητή. Η τιμή της ελαστικότητας είναι χρήσιμη επειδή είναι μέγεθος αδιάστατο, αντίθετα με τις υπολογισμένες παραμέτρους παλινδρόμησης, που εξαρτώνται από τις μονάδες μέτρησης.

Ο τύπος της ελαστικότητας για γραμμικά μοντέλα είναι ο εξής:

$$e_i = \left(\frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) \left(\frac{X_i}{Y_i} \right) \quad (3.6)$$

Και χρησιμοποιείται μόνο στις περιπτώσεις των συνεχών μεταβλητών. Στις περιπτώσεις των διακριτών μεταβλητών χρησιμοποιείται η έννοια της ψεύδοελαστικότητας, η οποία περιγράφει τη μεταβολή στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλείται από μια μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μία κλάση των τιμών της.

Για τις διακριτές μεταβλητές ο τύπος είναι ο εξής:

$$E_{x_{ink}}^{P_i} = e^{\beta_{ik}} \frac{\sum_{l=1}^L e^{\beta_{il} x_n}}{\sum_{l=1}^L e^{\Delta(\beta_{il} x_n)}} - 1, \quad (3.7)$$

όπου

L : το πλήθος των πιθανών επιλογών

P_i : η πιθανότητα της εναλλακτικής i

x_{ink} : η τιμή της μεταβλητής k , για την εναλλακτική i , του ατόμου n

$\Delta(\beta_{il} x_n)$: η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της x_{ink} έχει μεταβληθεί από 0 σε 1

β_{ik} : η αντίστοιχη τιμή όταν η x_{nk} έχει τιμή 0

β_{ik} : η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής x_{nk}

Για τις συνεχείς μεταβλητές ο τύπος είναι ο εξής:

$$E_{x_{ink}}^{P_i} = [1 - \sum_{i=1}^I P_n(i)] x_{ink} \beta_{ik}, \quad (3.8)$$

όπου

I: το πλήθος των πιθανών επιλογών

P_i : η πιθανότητα της εναλλακτικής i

x_{ink} : η τιμή της μεταβλητής k, για την εναλλακτική i, του ατόμου n

β_{ik} : η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής x_{nk}

3.5. Λειτουργία λογισμικού στατιστικής ανάλυσης

Για τη δημιουργία και τον έλεγχο της αποδοχής των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η **γλώσσα προγραμματισμού R** με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης readxl. Συγκεκριμένα, για την ανάπτυξη των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής εντολές:

- Για γραμμικό μοντέλο:

data <- read_excel(mastertable): Στο πλαίσιο mastertable τοποθετείται ο ολοκληρωμένος πίνακας που έχει δημιουργηθεί και εξηγείται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, ώστε να εισαχθούν οι πληροφορίες στη γλώσσα προγραμματισμού R και να μπορέσουν να επεξεργαστούν.

model <- lm(Dependent ~ Independent(s)): Στο πλαίσιο Dependent εισάγεται η εξαρτημένη μεταβλητή και στο πλαίσιο Independent(s) οι ανεξάρτητες, οι οποίες θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο. Με την εντολή αυτή, δημιουργείται το γραμμικό μοντέλο που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής και θα αποθηκευτεί ο πίνακας με το μοντέλο παλινδρόμησης.

cor_matrix1 <- cor(data[, c(Dependent, Independent(s))]: Αντίστοιχα με την προηγούμενη εντολή, στο πλαίσιο Dependent εισάγεται η εξαρτημένη μεταβλητή και στο πλαίσιο Independent(s) οι ανεξάρτητες. Με την εντολή αυτή, δημιουργείται ο πίνακας συσχέτισης της εξαρτημένης με των ανεξάρτητων μεταβλητών που περιέχει χρήσιμα στοιχεία, όπως τους συντελεστές παλινδρόμησης (β_i), τα τυπικά σφάλματα αυτών ($s\beta_i$), το επίπεδο εμπιστοσύνης με τους συντελεστές t-test (t_i), το επίπεδο σημαντικότητας (Sig_i), τον συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και το τυπικό σφάλμα του μοντέλου (Std. Error).

print(cor_matrix) και summary(model): Πραγματοποιείται εκτύπωση των δύο άνω αποτελεσμάτων αντίστοιχα.

y <- readxl::read_excel("C:/Users/....xlsx", sheet = "...", range = "...")

x1 <- readxl::read_excel("C:/Users/....xlsx", sheet = "...", range = "..."): Με τη βοήθεια των παραπάνω συναρτήσεων δημιουργήθηκε η μεταβλητή y που περιέχει μια λίστα με τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής και αντίστοιχα η μεταβλητή x1 περιέχει μια λίστα με τις τιμές της

ανεξάρτητης. Στην περίπτωση της ύπαρξης παραπάνω από μιας ανεξάρτητης μεταβλητής δημιουργήθηκαν με τον ίδιο τρόπο οι μεταβλητές x_2 , x_3 κλπ.

`cor(x1, x2, method = "correlation coefficient")`: Στο πλαίσιο `correlation coefficient` εισάγεται ο συντελεστής συσχέτισης που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά, δηλαδή ο Pearson και ο Spearman. Με τη βοήθεια αυτής της εντολής υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών x_1 και x_2 .

`cor.test(x1, x2, method = "correlation coefficient")`: Αντίστοιχα με την προηγούμενη εντολή, στο πλαίσιο `correlation coefficient` εισάγεται ο συντελεστής συσχέτισης που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά. Με τη βοήθεια αυτής της εντολής υπολογίστηκε η σημαντικότητα του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών x_1 και x_2 . Επίσης, δημιουργήθηκαν στατιστικά στοιχεία που εκτιμούν τη σημαντικότητα της συσχέτισης, όπως το `t-test` και το `p-value`. Το `p-value` αξιολογεί το εάν η συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική.

`result <- cor.test(x2, x1, method = "correlation coefficient")`: Με την εντολή αυτή, υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης που θα τοποθετηθεί στο πλαίσιο `correlation coefficient` μεταξύ των μεταβλητών x_1 και x_2 και αποθηκεύει το αποτέλεσμα στη μεταβλητή `result`.

`result$estimate`: Πραγματοποιείται η εκτύπωση του αποτελέσματος της μεταβλητής `result`.

`result$p.value`: Πραγματοποιείται η εκτύπωση της τιμής `p-value`

- Για διωνυμικό λογιστικό μοντέλο:

Χρησιμοποιούνται οι ίδιες εντολές που αναφέρθηκαν για το γραμμικό μοντέλο. Επιπλέον χρησιμοποιούνται και οι εξής εντολές:

`summary(model)$coef[, "Pr(>|z|)"]`: Με την εντολή αυτή υπολογίζεται η τιμή του Wald test για τους συντελεστές του πίνακα `model`.

`df <- summary(model)$df`: Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τους βαθμούς ελευθερίας για τους συντελεστές του πίνακα `model`.

`print(wald test)` και `print(df)`: Πραγματοποιείται εκτύπωση των δύο άνω αποτελεσμάτων αντίστοιχα.

`pmodel=predict(model, data)`: Με τη βοήθεια της εντολής αυτής, χρησιμοποιείται ο πίνακας `model` που έχει δημιουργηθεί για να προβλέψει τιμές με βάση τα δεδομένα που παρέχονται στο `data`. Οι προβλέψεις αυτές αποθηκεύονται στην μεταβλητή `pmodel`.

`tab=table(pmodel>0.5, data$Events)`: Με τη βοήθεια αυτής της εντολής δημιουργείται ένας πίνακας συχνοτήτων `tab` με τη βοήθεια των προβλέψεων `pmodel` και την πραγματική κατάσταση που βρίσκεται σε ένα αρχείο με όνομα `Events`. Συγκεκριμένα, ο πίνακας `tab` περιέχει τις προβλέψεις που είναι μεγαλύτερες από 0,5 (ορθές και λανθασμένες) καθώς και τις προβλέψεις που είναι μικρότερες από 0,5 (ορθές και λανθασμένες).

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1. Εισαγωγή

Η ενδελεχής εξέταση και ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας οδήγησε στην επιλογή του θεωρητικού υποβάθρου για τον καθορισμό του αντικειμένου έρευνας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η πειραματική διαδικασία, η οποία αποσκοπεί στη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, έγινε με τη χρήση **προσομοιωτή οδήγησης σε συνθήκες υπεραστικής οδού** και πιο συγκεκριμένα σε υπεραστικό και ορεινό υπεραστικό δίκτυο. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον προσομοιωτή οδήγησης θα επεξεργαστούν κατάλληλα με τη χρήση στατιστικών μοντέλων ώστε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα για τον **ρόλο της οικολογικής οδήγησης** στον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων καθώς και στη βελτίωση της συμπεριφοράς των νέων οδηγών μέσω της μείωσης της πιθανότητας ατυχημάτων. Οι βασικές μέθοδοι που επιλέχθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων από το εν λόγω πείραμα είναι η γραμμική και λογιστική παλινδρόμηση

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί ο σκοπός του πειράματος και η χρήση του προσομοιωτή οδήγησης. Ακόμα, θα υπάρχει αναλυτική περιγραφή της εκτέλεσης του πειράματος, δηλαδή, ο τρόπος με τον οποίον έγινε η συλλογή και η επεξεργασία των στοιχείων, αφενός του προσομοιωτή οδήγησης και αφετέρου του ερωτηματολογίου που μοιράστηκε σε όλους τους συμμετέχοντες του πειράματος. Τέλος, θα αναλυθούν τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος.

4.2. Πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης

4.2.1. Στόχος του πειράματος

Με τη βοήθεια του προσομοιωτή οδήγησης εξετάστηκε ο **βαθμός που επηρεάζονται οι οδηγικές συμπεριφορές νέων οδηγών (18-30 ετών) πριν και μετά την ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση**. Τα αποτελέσματα θα μελετηθούν λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά των οδηγών που συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίου καθώς και το οδικό περιβάλλον που κλήθηκαν να οδηγήσουν (υπεραστικό και ορεινό υπεραστικό)

4.2.2. Προσομοιωτής

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στον προσομοιωτή οδήγησης (Driving Simulation FPF) της Γερμανικής εταιρείας Foerst, που διαθέτει το εργαστήριο Κυκλοφοριακής Τεχνικής του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.. Οι πραγματικές συνθήκες οδήγησης προσομοιώνονται ρεαλιστικά όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1, καθώς, ο προσομοιωτής διαθέτει εξωτερικά χαρακτηριστικά παρόμοια με ενός οχήματος (ρυθμιζόμενο κάθισμα οδήγησης, τιμόνι, γκάζι, φρένο, συμπλέκτη, πίνακα οργάνων οχήματος, κιβώτιο πέντε (5) ταχυτήτων, φλας, υαλοκαθαριστήρες, φώτα, κόρνα και μίζα). Επιπλέον, διαθέτει και ρεαλιστικό ψηφιακό περιβάλλον οδήγησης, το οποίο διακρίνεται στην εικόνα 4.2, μέσω τριών (3) LCD40” οθονών.



Εικόνα 4.1: Εξωτερικά χαρακτηριστικά προσομοιωτή οδήγησης



Εικόνα 4.2: Ψηφιακό περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης

Το ψηφιακό περιβάλλον εκτός από την απεικόνιση του οδικού δικτύου και του οδοστρώματος, διαθέτει δύο εξωτερικούς και έναν κεντρικό καθρέπτη, προσφέροντας με αυτό τον τρόπο πλήρη έλεγχο του οχήματος. Επιπρόσθετα, μέσω υπολογιστή παρέχεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ πολλών οδικών συνθηκών (τύπος της οδού, κυκλοφοριακές συνθήκες και περιβάλλον). Συγκεκριμένα, για τους σκοπούς της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας έχει επιλεγεί η οδήγηση σε υπεραστική οδό και ορεινή υπεραστική οδό με κανονικό κυκλοφοριακό φόρτο και καλές καιρικές συνθήκες. Ακόμα, στις οδικές συνθήκες συμπεριλήφθηκαν τυχαία γεγονότα τα οποία μπορούν να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες όπως η εμφάνιση ενός εμποδίου (Εικόνα 4.3) ή μία μη αναμενόμενη συμπεριφορά άλλου οχήματος, τα οποία θα αποσκοπήσουν στη μελέτη της αλλαγής της συμπεριφοράς του οδηγού σε επικίνδυνες καταστάσεις πριν και μετά την εφαρμογή ενός οικολογικού τρόπου οδήγησης.



Εικόνα 4.3: Εμφάνιση εμποδίου

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων που πραγματοποιούνται με τον προσομοιωτή οδήγησης καταγράφονται έως και 60 μετρήσεις το δευτερόλεπτο για κάθε μεταβλητή. Τα δεδομένα αυτά εξάγονται αυτόματα από το πρόγραμμα μέσω αρχείου μορφής κειμένου για κάθε διαφορετικό σενάριο οδήγησης και συμμετέχοντα. Οι μεταβλητές παρουσιάζονται με την ονομασία τους, όπως παρατίθενται από τον προσομοιωτή οδήγησης και την επεξήγηση τους στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Μεταβλητές προσομοιωτή οδήγησης

Variable	Explanation
Time	current real-time in milliseconds since start of the drive.
x-pos	x-position of vehicle in m.
y-pos	y-position of vehicle in m.
z-pos	z-position of vehicle in m.
Road	road number of the vehicle in [int].
Richt	direction of the vehicle on the road in [BOOL] (0/1).
Rdist	distance of the vehicle from the beginning of the drive in m.
rspur	track of the vehicle from the middle of the road in m.
ralpha	direction of the vehicle compared to the road direction in degrees.
Dist	driven course in meters since begin of the drive.
Speed	actual speed in km/h.
Brk	brake pedal position in percent.
Acc	gas pedal position in percent.
Clutch	clutch pedal position in percent.
Gear	chosen gear (0 = idle, 6 = reverse).
RPM	motor revolution in 1/min.
HWay	headway, distance to the ahead driving vehicle in m.
DLeft	distance to the left road board in m.
DRicht	distance to the right road board in m.
Wheel	steering wheel position in degrees.
Thead	time to headway, i.e., to collision with the ahead driving vehicle in ms.
TTL	time to line crossing, time until the road border line is exceeded, in ms.

TTC	time to collision (all obstacles), in ms.
AccLat	acceleration lateral, in m/s ²
AccLon	acceleration longitudinal, in m/s ²
EvVis	event-visible-flag/event-indication, 0 = no event, 1 = event.
EvDist	event-distance in m.
ErrlNo	number of the most important driving failure since the last data set
ErrlVal	state date belonging to the failure, content varies according to type of failure.
Err2No	number of the next driving failure (maybe empty).
Err2Val	additional date to failure 2.
Err3No	number of the further driving failure (maybe empty).
Err3Val	additional date to failure 3.

4.2.3. Σενάρια πειράματος

Τα σενάρια που μελετώνται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι για υπεραστικό τύπο οδού (Εικόνα 4.4) και ορεινό υπεραστικό (Εικόνα 4.5). Τα ψηφιακά υπεραστικά περιβάλλοντα που παρέχονται από τον προσομοιωτή περιλαμβάνουν μια συγκεκριμένη διαδρομή που παρέχει μία (1) λωρίδα ανά κατεύθυνση για το ορεινό υπεραστικό δίκτυο και μια (1) λωρίδα ανά κατεύθυνση για το υπεραστικό δίκτυο. Επιπρόσθετα, κατά μήκος της οδού έχουμε τοποθετήσει δύο (2) τυχαία συμβάντα - επικίνδυνα γεγονότα - για κάθε περίπτωση οδικού δικτύου καθώς και κατάλληλη σήμανση.



Εικόνα 4.4: Υπεραστικό περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης

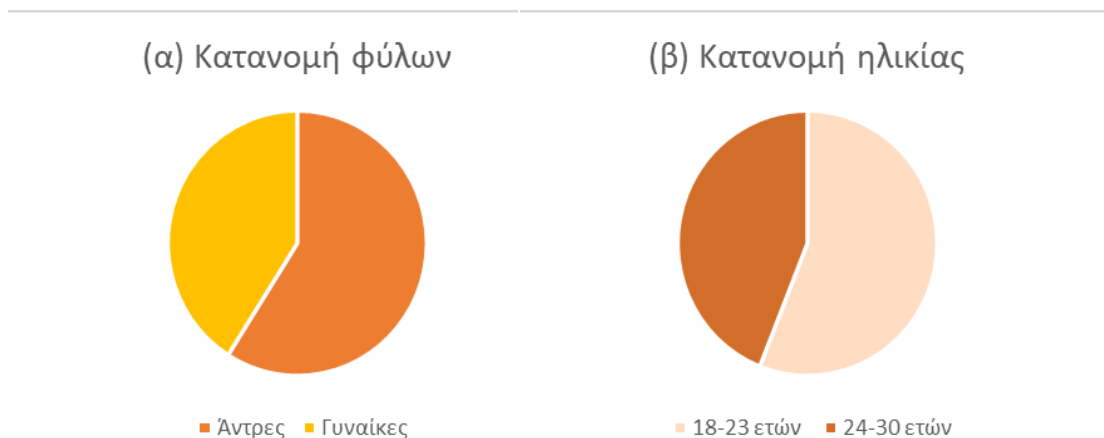


Εικόνα 4.5: Ορεινό υπεραστικό περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης

Αρχικά, οι οδηγοί οι οποίοι συμμετείχαν στο πείραμα οδήγησαν στον προσομοιωτή οδήγησης σύμφωνα με την τυπική οδηγική τους συμπεριφορά. Στη συνέχεια, ενημερώθηκαν για τα οφέλη και τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η οικολογική οδήγηση και κλήθηκαν ξανά να οδηγήσουν στα ίδια σενάρια σύμφωνα με τους κανόνες της οικολογικής οδήγησης.

4.2.4 Συμμετέχοντες

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, επιλέχθηκαν ως ομάδα δείγματος 39 εθελοντές οδηγοί, 23 άντρες και 16 γυναίκες. Όλοι οι οδηγοί είναι **νεαρής ηλικίας (18 – 30 ετών) και έχουν στην κατοχή τους δίπλωμα οδήγησης**. Ένα επιπλέον κοινό στοιχείο των οδηγών, είναι το γεγονός ότι έχουν σημαντική εμπειρία οδήγησης, γεγονός το οποίο τους επιτρέπει να αλλάξουν την οδηγική τους συμπεριφορά σε πιο οικολογική στη δεύτερη φάση του πειράματος. Οι εθελοντές χωρίστηκαν σε δύο ηλικιακές ομάδες, των 18-23 και 24-30 ετών, ώστε να διαφοροποιηθεί η οδηγική τους συμπεριφορά βάσει της οδηγικής τους εμπειρίας, καθώς οι νέοι ηλικιακά οδηγοί κατέχουν μικρότερη εμπειρία στην οδήγηση. Από τους 39 οδηγούς που συμμετείχαν στο πείραμα, οι 22 ανήκουν στην πρώτη ηλικιακή ομάδα και οι 17 στη δεύτερη. Τα ποσοστά της κατανομής τους σύμφωνα με το γράφημα 4.1 είναι βάσει του φύλου 59% άντρες, 41% γυναίκες και βάσει της ηλικιακής ομάδας 56% ηλικίας 18-23 και 44% 24-30 ετών.



Γράφημα 4.1: Κατανομή (α) φύλου και (β) ηλικιακής ομάδας συμμετεχόντων πειράματος

4.2.5 Προετοιμασία και εφαρμογή πειράματος

Το πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης πραγματοποιήθηκε μεταξύ τέλη Μαρτίου και αρχές Απριλίου του 2023 και συμμετείχαν 39 εθελοντές οδηγοί. Για τη σωστή εφαρμογή του πειράματος ήταν απαραίτητη η **προετοιμασία των σεναρίων καθώς και το σχέδιο υλοποίησής τους**, ώστε να επιτευχθούν παρόμοιες συνθήκες για όλους τους οδηγούς.

Πριν την έναρξη των πειραμάτων, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να οδηγήσουν μερικά λεπτά σε μια **δοκιμαστική διαδρομή** στον προσομοιωτή οδήγησης, διαφορετική από των σεναρίων, με σκοπό να αποφευχθούν τυχόν λάθη που οφείλονται στις ιδιαιτερότητες και τις

διαφορές του περιβάλλοντος προσομοίωσης και του ίδιου του προσομοιωτή οδήγησης σε σχέση με τις πραγματικές οδηγικές συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα, η δοκιμαστική διαδρομή τελείωνε όταν ο συμμετέχοντας είχε αποκτήσει επαρκή εξοικείωση με τους παράγοντες που διαφέρουν από το συμβατικό αυτοκίνητο, όπως η θέση του κιβωτίου ταχυτήτων και η αίσθηση του τιμονιού.

Μετά τη δοκιμαστική διαδρομή, οι 39 συμμετέχοντες κλήθηκαν να οδηγήσουν στον προσομοιωτή οδήγησης σε δύο (2) σενάρια, το ένα υπεραστικό και το άλλο ορεινό υπεραστικό. Στη συνέχεια, συμπλήρωσαν ένα **ερωτηματολόγιο**, το οποίο παρατίθεται στο Παράρτημα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και αφού ενημερώθηκαν για την οικολογική οδήγηση, τους ζητήθηκε να οδηγήσουν ξανά τα δύο (2) σενάρια λαμβάνοντας υπ' όψη τις πληροφορίες που τους δόθηκαν αναφορικά με τον οικολογικό τρόπο οδήγησης. Επιπλέον, η σειρά που εκτελούνταν τα σενάρια ήταν τυχαία, δηλαδή δεν υπήρχε σταθερή αλληλουχία των διαδρομών από τον κάθε οδηγό. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται το φαινόμενο της δυσκολίας προσαρμογής στο πρώτο σενάριο καθώς το γεγονός αυτό, θα ήταν πολύ πιθανό να οδηγήσει σε αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Ο συντονιστής του πειράματος κατέγραφε τη σειρά των σεναρίων που οδηγούσε ο κάθε συμμετέχοντας καθώς και τυχόν παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος που θα έπρεπε να ληφθούν υπ' όψη στην επερχόμενη ανάλυση. Σε όλα τα σενάρια υπήρχαν δύο (2) συμβάντα, δηλαδή επικίνδυνα γεγονότα, στα οποία ο οδηγός καλείται να πάρει γρήγορες αποφάσεις για την αποφυγή ατυχήματος.



Εικόνα 4.6: Δοκιμαστική διαδρομή

4.3. Επεξεργασία στοιχείων

4.3.1. Επεξεργασία ερωτηματολογίων

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκε η συλλογή και επεξεργασία των ερωτηματολογίων των 39 συμμετεχόντων ώστε να συμπεριληφθούν τα στοιχεία στη βάση δεδομένων για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Για την καταχώρηση των στοιχείων πρέπει να πραγματοποιηθεί η κωδικοποίηση των ερωτήσεων και των μεταβλητών με κάποιο λογικό και κοινό σύστημα όπως παρατίθενται και στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Ονομασία μεταβλητών ερωτηματολογίου / Κωδικοποίηση απαντήσεων

Ερωτήσεις Ερωτηματολογίου										Ονομασία Μεταβλητών
1. Οδική εμπειρία συμμετέχοντα										
Q1.1.	Πόσα χρόνια έχετε το δίπλωμα οδήγησης;		ετών							years license
Q1.2.	Πόσα χρόνια οδηγείτε;		ετών							years drive
Q1.3	Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε επαρχιακή οδό;	1: [1]	2: [2]	3: [3]	4: [4]	5: [5]	6: [6]	7: [7]	8: [λιγότερες]	days rural
Q1.4.	Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε επαρχιακή οδό;	1: [<20]	2: [20-50]	3: [50-100]	4: [100-150]	5: [>150]				km rural
Q1.5.	Πόσες διαδρομές κάνετε τη μέρα;	0: [0]	1: [1]	2: [2]	3: [3]	4: [4]	5: [5]	6: [>5]		routes per day
Q1.6.	Πόσα χιλιόμετρα διανύετε κατά μέσο όρο τη μέρα;		χιλιόμετρα							km per day
2. Οχημα										
Q2.1.	Κατοχή οχήματος;	1: [Ναι]	2: [Όχι]							vehicle ownership
Q2.2.	Τι καύσιμο χρησιμοποιείται κυρίως για τις μετακινήσεις σας;	1: [βενζίνη]	2: [πετρέλαιο]	3: [υγραέριο]	4: [φυσικό αέριο]	5: [ηλεκτροκίνηση]				fuel
Q2.3	Πόσα χρήματα ξοδεύετε τον μήνα για καύσιμο για τις μετακινήσεις σας;	1: [<50]	2: [51-100]	3: [101-200]	4: [>200]					money month
Q2.4.	Τι χρονολογίας είναι το όχημα που οδηγείτε;		έτος							vehicle age
3. Οδική συμπεριφορά συμμετέχοντα και οικολογική οδήγηση										
Q3.1.	Γνωρίζετε τον όρο «οικολογική οδήγηση»;	1: [Ναι]	2: [Όχι]							eco knowledge
Q3.2.	Θεωρείτε ότι οδηγείτε οικολογικά;	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				eco driving
Q3.3	Συμφωνείτε με την μείωση των όριων ταχύτητας για οικολογικό σκοπό;	1: [καθόλου]	2: [λίγο]	3: [αρκετά]	4: [πολύ]	5: [πάρα πολύ]				speed limits
Q3.4.	Αξιολογείτε εάν οδηγείτε οικολογικά απαντώντας στα παρακάτω:									
Q3.4.1.	Σέβεστε τα όρια ταχύτητας και οδηγείται με χαμηλές ταχύτητες	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				low speeds
Q3.4.2.	Διατηρείτε, όσο είναι δυνατόν, σταθερή ταχύτητα	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				constant speed
Q3.4.3.	Συντονίζετε με την ταχύτητα των άλλων οχημάτων	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				speed coordination
Q3.4.4.	Κρατάτε τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				engine speed
Q3.4.5.	Αποφεύγετε τις απότομες επιταχύνσεις, ξεκινώντας αργά	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				acceleration
Q3.4.6.	Αποφεύγετε τις απότομες επιβραδύνσεις, προβλέποντας να φρενάρετε εγκαίρως	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				deceleration
Q3.4.7.	Αποφεύγετε τις απότομες εναλλαγές ταχύτητας κρατώντας απόσταση από τα άλλα οχήματα	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				vehicle distance
Q3.4.8.	Δεν πατάτε γκάζι χωρίς λόγο στις κατηφόρες	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				downhill
Q3.4.9.	Παίρνουμε φόρα για να ανέβουμε τις ανηφόρες	1: [καθόλου]	2: [σπάνια]	3: [μερικές φορές]	4: [συχνά]	5: [συνέχεια]				uphill
Q3.5.	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;	1: [Ναι]	2: [Όχι]							fuel reduction
Q3.6.	Πόσο σημαντική θεωρείτε την οικολογική οδήγηση;	1: [καθόλου]	2: [λίγο]	3: [αρκετά]	4: [πολύ]	5: [πάρα πολύ]				eco important
4. Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα										
Q4.1.	Ηλικία									age
Q4.2.	Φύλο	1: [Αντρας]	2: [Γυναίκα]	3: [Άλλο]						gender
Q4.3	Σας αρέσει η οδήγηση;	1: [Ναι]	2: [Όχι]							like drv
Q4.4.	Ποια είναι η οικογενειακή σας κατάσταση;	1: [Ανύπαντρός/η]	2: [Γαμνημένος/η]	3: [Διαζευγμένος/η]	4: [Χήρος/α]					marital status
Q4.5.	Ποιο είναι το ετήσιο οικογενειακό σας εισόδημα;	1: [<10000]	2: [10000-25000]	3: [>25000]						annual family income
Q4.6.	Ποιο είναι το μορφωτικό σας επίπεδο;	1: [Πρωτοβάθμια]	2: [Δευτεροβάθμια]	3: [ΑΕΙ]	4: [Μεταπτυχιακό]	5: [Διδακτορικό]	6: [Άλλο]			educational level

Έπειτα από την κωδικοποίηση καταγράφηκαν οι απαντήσεις του κάθε συμμετέχοντα σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα (39 συμμετέχοντες επί 31 ερωτήσεις), του οποίου απόσπασμα φαίνεται στην Εικόνα 4.7.

Εικόνα 4.7: Απόσπασμα πίνακα αποτελεσμάτων ερωτηματολογίου

participant	years license	years drive	days rural	km rural	routes_per_day	km per day	vehicle ownership	fuel
1	5	5	2	1	2	15	1	1
2	4	3,5	8	1	1	5	1	1
3	3	2	8	1	3	20	1	1
4	1,5	1,5	8	1	2	5	1	1
5	4	3,5	8	1	3	15	2	1
6	4	3	8	1	2	30	2	2
7	4	4	5	2	1	10	1	1
8	2	2	8	1	6	50	1	1
9	4	3	8	1	2	10	1	1
10	11	11	3	1	3	20	1	1

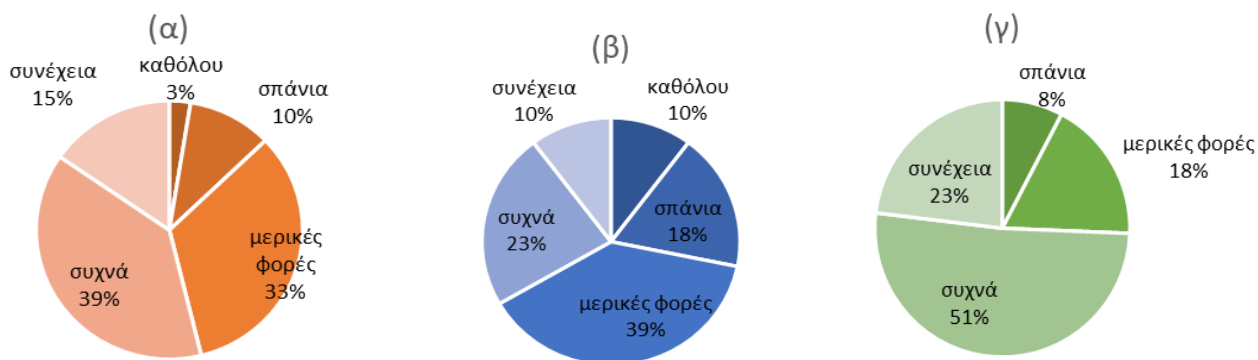
Βάσει των απαντήσεων δημιουργήθηκαν ενδεικτικά τα παρακάτω γραφήματα για τις οικολογικές οδηγικές συμπεριφορές των συμμετεχόντων. Για την ακρίβεια, δημιουργήθηκαν τα γραφήματα:

(α) Πόσο συχνά σέβονται τα όρια ταχύτητας και οδηγούν με χαμηλές ταχύτητες

(β) Πόσο συχνά κρατάνε τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000

(γ) Πόσο συχνά αποφεύγουν τις απότομες επιβραδύνσεις, προβλέποντας να φρενάρουν εγκαίρως

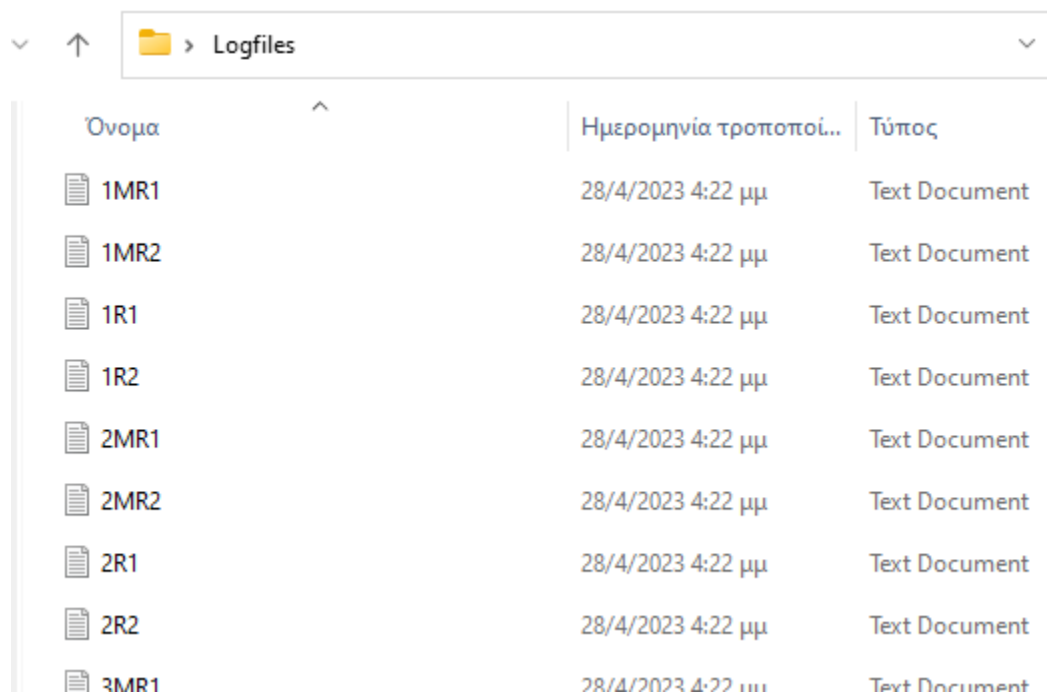
Παρατηρούμε ότι οι οδηγοί σε μεγαλύτερο ποσοστό προσέχουν τις απότομες επιβραδύνσεις, έπειτα να μην ξεπερνάνε τα όρια ταχύτητας και τέλος να κρατάνε τις στροφές του κινητήρα σε χαμηλά επίπεδα.



Γράφημα 4.2: (α) low speeds (β) engine speed (γ) deceleration.

4.3.2. Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος

Έπειτα από την ολοκλήρωση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε η **συλλογή και η οργάνωση των στοιχείων** που εξάγονται από τον προσομοιωτή οδήγησης σε μορφή κειμένου (*.txt). Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, γινόταν η καταγραφή έως και 60 τιμών το δευτερόλεπτο για κάθε μια από τις μεταβλητές. Για την επεξεργασία των μετρήσεων, δημιουργήθηκε ένας φάκελος Logfiles με τα αρχεία (*.txt) του κάθε συμμετέχοντα και για τα τέσσερα (4) σενάρια που κλήθηκε να οδηγήσει. Τα ονόματα των αρχείων που περιλαμβάνει ο φάκελος αποτελούνται από τον αριθμό του συμμετέχοντα και το σενάριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7, όπου παρατίθεται ένα απόσπασμα με τη μορφή του φακέλου Logfiles και την κωδικοποίηση των ονομασιών των αρχείων (*.txt). Για την ακρίβεια ο αριθμός στην αρχή της ονομασίας συμβολίζει τον αριθμό του συμμετέχοντα. Το MR (Mountainous Rural) συμβολίζει το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, το R (Rural) συμβολίζει το υπεραστικό δίκτυο και οι δείκτες 1 και 2 συμβολίζουν τον μη οικολογικό και οικολογικό τρόπο οδήγησης αντίστοιχα.



Όνομα	Ημερομηνία τροποποι...	Τύπος
1MR1	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
1MR2	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
1R1	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
1R2	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
2MR1	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
2MR2	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
2R1	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
2R2	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document
3MR1	28/4/2023 4:22 μμ	Text Document

Εικόνα 4.8: Απόσπασμα κωδικοποίησης αρχείων (*.txt) στον φάκελο Logfiles.

Σκοπός της επεξεργασίας των μετρήσεων ήταν η δημιουργία ενός συγκεντρωτικού πίνακα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων **database**, η οποία περιλάμβανε τον φάκελο Logfiles με τα αρχεία των συμμετεχόντων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.8.

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει τη μέση τιμή ("Avg") και η τυπική απόκλιση ("Std") από τα δεδομένα που εξήγαγε ο προσομοιωτής οδήγησης για κάθε συνδυασμό των συμμετεχόντων και του σεναρίου που οδήγησαν.

Τέλος, μέσω του κώδικα, υπολογίστηκαν τα “Events” που συνέβησαν στη διάρκεια της οδήγησης του συμμετέχοντα στον προσομοιωτή οδήγησης, δηλαδή τις φορές που ο συμμετέχοντας δεν πρόλαβε να ακινητοποιήσει το όχημα ή να αποφύγει κάποιο εμπόδιο.

4.3.3. Υπολογισμός εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου

Για την ολοκλήρωση του πίνακα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και τύποι από την έρευνα Xiaohua Zhao et al. (2015) όπου υπολογίστηκαν οι δείκτες VSP, CO₂, CO, HC, NO_x και FC.

Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης VSP (Vehicle Specific Power) συμβολίζει το μοντέλο μικροσκοπικών εκπομπών που βασίζεται στην κατανομή της ειδικής ισχύος του οχήματος και υπολογίζεται με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R, από την παρακάτω σχέση (4.1):

$$VSP = \frac{0,156461v + 0,00200193v^2 + 0,000492646v^3 + 1,4788va}{1,4788} \quad (4.1)$$

Όπου v συμβολίζεται η ταχύτητα του οχήματος ανά δευτερόλεπτο (m/s)
και a συμβολίζεται η επιτάχυνση του οχήματος ανά δευτερόλεπτο (m/s²)

Ο δείκτης CO₂ συμβολίζει το Διοξείδιο του Άνθρακα, ο δείκτης CO συμβολίζει το Μονοξείδιο του Άνθρακα, ο δείκτης HC συμβολίζει τους Υδρογονάνθρακες και ο δείκτης NO_x συμβολίζει τα οξείδια του Αζώτου που παράγονται σε κάθε διαδρομή από τους συμμετέχοντες του πειράματος.

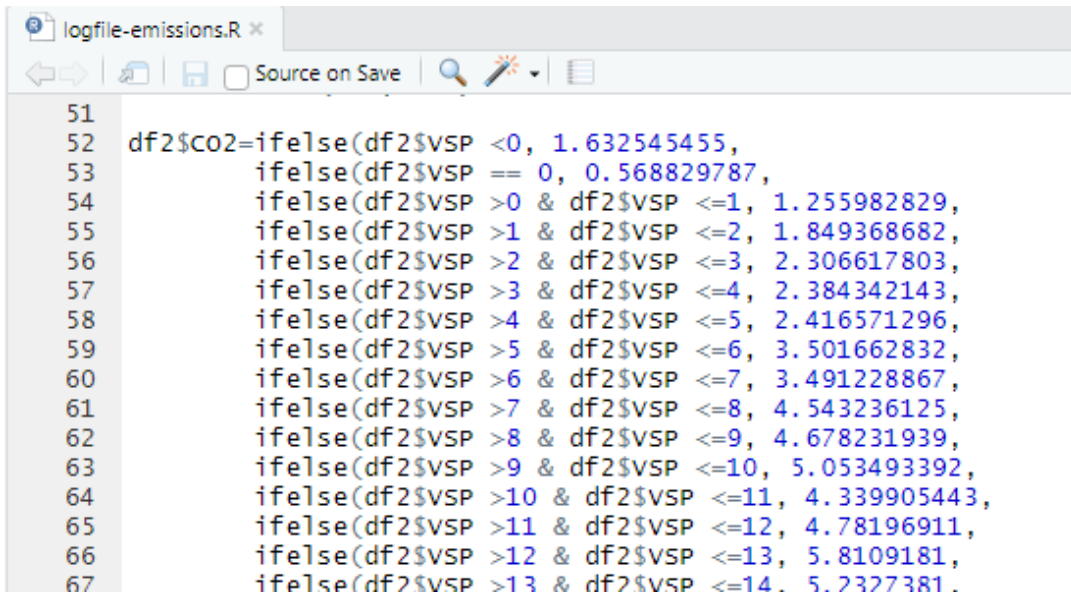
Σε επόμενο στάδιο, για τον υπολογισμό των δεικτών CO₂, CO, HC και NO_x, δημιουργήθηκε ένας κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού R, απόσπασμα του οποίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.9, ο οποίος συσχετίζει τις τιμές του VSP που υπολογίστηκαν ανά δευτερόλεπτο με τιμές των δεικτών. Στη συνέχεια, αθροίστηκαν οι τιμές των δεικτών για κάθε συμμετέχοντα και για κάθε σενάριο για να υπολογιστούν οι συνολικοί ρύποι που προκλήθηκαν.

Η συσχέτιση του VSP με τους δείκτες CO₂, CO, HC και NO_x παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3 που περιλαμβάνεται στην έρευνα Xiaohua Zhao et al. (2015).

Πίνακας 4.3: Η σχέση του δείκτη VSP (g/s) με τους ρύπους CO₂, CO, HC και NO_x.

VSP bins	CO ₂	CO	HC	NO _x
<0	1,632545455	0,00217615	0,000438919	0,000073716
0	0,568829787	0,00110017	0,000135847	0,000007291
(0, 1]	1,255982829	0,003240577	0,000254022	0,00012592
(1, 2]	1,849368682	0,003378486	0,000299352	0,000183509
(2, 3]	2,306617803	0,003476258	0,000352772	0,000181848
(3, 4]	2,384342143	0,003559317	0,000415724	0,000174986
(4, 5]	2,416571296	0,003653089	0,00048991	0,000165734
(5, 6]	3,501662832	0,003782998	0,000577334	0,000188866
(6, 7]	3,491228867	0,00397447	0,000680359	0,000227813
(7, 8]	4,543236125	0,00425293	0,000801769	0,000298345
(8, 9]	4,678231939	0,004643802	0,000944845	0,000476234

(9, 10]	5,053493392	0,005172511	0,001113453	0,000537252
(10, 11]	4,339905443	0,005864483	0,001312148	0,00058717
(11, 12]	4,78196911	0,006745142	0,001421257	0,000686759
(12, 13]	5,8109181	0,007839914	0,001444166	0,000896791
(13, 14]	5,2327381	0,010074223	0,001504755	0,001158038
(14, 15]	5,4149725	0,010773495	0,001561731	0,00120127
(15, 16]	6,2459078	0,013563155	0,001615094	0,001417259
(16, 17]	6,0417608	0,014868627	0,001672916	0,001446777
(17, 18]	6,3793126	0,017415336	0,00177098	0,001620595
(18, 19]	6,2072115	0,020328708	0,001783503	0,001909484
(19, 20]	6,8681762	0,023634167	0,002024126	0,001924216
(20, 21]	7,3175052	0,027357139	0,001870938	0,002265563
(21, 22]	7,6165789	0,031523048	0,00209393	0,002334295
(22, 23]	7,8234731	0,03465732	0,002074634	0,002431184
(23, 24]	8,0016609	0,03828538	0,002211921	0,002857002
>24	8,3430313	0,040932652	0,002232765	0,00271252



```

51
52 df2$CO2=ifelse(df2$VSP <0, 1.632545455,
53               ifelse(df2$VSP == 0, 0.568829787,
54               ifelse(df2$VSP >0 & df2$VSP <=1, 1.255982829,
55               ifelse(df2$VSP >1 & df2$VSP <=2, 1.849368682,
56               ifelse(df2$VSP >2 & df2$VSP <=3, 2.306617803,
57               ifelse(df2$VSP >3 & df2$VSP <=4, 2.384342143,
58               ifelse(df2$VSP >4 & df2$VSP <=5, 2.416571296,
59               ifelse(df2$VSP >5 & df2$VSP <=6, 3.501662832,
60               ifelse(df2$VSP >6 & df2$VSP <=7, 3.491228867,
61               ifelse(df2$VSP >7 & df2$VSP <=8, 4.543236125,
62               ifelse(df2$VSP >8 & df2$VSP <=9, 4.678231939,
63               ifelse(df2$VSP >9 & df2$VSP <=10, 5.053493392,
64               ifelse(df2$VSP >10 & df2$VSP <=11, 4.339905443,
65               ifelse(df2$VSP >11 & df2$VSP <=12, 4.78196911,
66               ifelse(df2$VSP >12 & df2$VSP <=13, 5.8109181,
67               ifelse(df2$VSP >13 & df2$VSP <=14, 5.2327381,

```

Εικόνα 4.9: Απόσπασμα κώδικα στη γλώσσα προγραμματισμού R για την εύρεση του CO₂.

Τέλος, γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη FC (Fuel Consumption), δηλαδή της κατανάλωσης καυσίμου μέσω της μεθόδου του ισοζυγίου του Άνθρακα. Οι εκπομπές ρύπων ανά χιλιόμετρο υπολογίζονται σε συνδυασμό με την απόσταση διαδρομής του οχήματος από την παρακάτω σχέση (2) Xiaohua Zhao et al. (2015):

$$FC = (0,866M_{HC} + 0,4286M_{CO} + 0,2727M_{CO2}) \times 0,156 \quad (4.2)$$

Όπου, ως M_{HC} συμβολίζεται η εκπομπή των υδρογονανθράκων ανά χιλιόμετρο (g/km), ως M_{CO} συμβολίζεται η εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο (g/km) και ως M_{CO2} συμβολίζεται η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο (g/km).

4.4 Βάση δεδομένων

Το αποτέλεσμα των διαδικασιών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα 4.3.2 οδήγησαν στη δημιουργία ενός **συγκεντρωτικού πίνακα** (mastertable), απόσπασμα του οποίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.12. Ακόμα, για τη δημιουργία του συγκεντρωτικού πίνακα, προστέθηκαν τα στοιχεία του ερωτηματολογίου του κάθε συμμετέχοντα όπως κωδικοποιήθηκαν και απεικονίζονται στην Εικόνα 4.6.

participant	scenario	Avgx-pos	Avgy-pos	Avgz-pos	Avgyaw	Avgroad	Avgricht	Avgdist	Avgrspur	Avgalpha
1	MR1	-654,2688	32,30742	-304,662	-0,31984	3,2253	0,0133	687,865	1,42171	2,88271
1	MR2	-627,5536	33,98699	-301,605	-0,32151	3,25953	0,01443	736,489	1,87515	2,937
1	R1	224,6402	0,189951	-2092,24	1,04785	1,99975	0	1285,89	1,62626	3,8418
1	R2	264,0853	0,189956	-2136,6	1,02438	1,99978	0	1361,49	1,61358	3,75475
2	MR1	-639,3315	39,04754	-252,358	-0,21495	3,18374	0,01376	792,77	1,59251	3,92338
2	MR2	-726,0397	29,15409	-314,964	-0,67999	3,15449	0,01023	608,359	1,91704	4,16845
2	R1	262,1579	0,18995	-2103,64	1,20852	1,99975	0	1337,19	1,51241	3,85862
2	R2	290,1483	0,189961	-2146,25	1,20382	1,99981	0	1400,73	1,50643	3,89725
3	MR1	-608,1791	37,90198	-265,066	-0,29785	3,24339	0,016	790,797	1,472	3,37067
3	MR2	-641,5982	32,08368	-318,3	-0,21416	3,24576	0,01656	688,846	1,73917	2,93779
3	R1	263,0688	0,19	-2112,83	1,17299	1,99979	0	1345,8	1,65922	3,79319
3	R2	282,3737	0,189961	-2139,41	1,08291	2,00118	0,0002	1383,85	1,67415	3,77613
4	MR1	-618,3041	42,19994	-230,806	-0,18357	3,20375	0,01904	845,304	1,62486	2,32282
4	MR2	-638,6436	33,55701	-299,957	-0,41257	3,23896	0,01646	713,394	2,02617	3,18182
4	R1	260,5687	0,189947	-2145,62	1,18572	2,00108	0,00027	1367,98	1,7245	4,07972
4	R2	260,4322	0,189963	-2119,95	0,98874	2,00075	0,00019	1331,33	1,75958	3,19725

Εικόνα 4.12: Απόσπασμα πίνακα από την επεξεργασία μετρήσεων του πειράματος

Τέλος, προστέθηκαν τα αποτελέσματα του υπολογισμού των εκπομπών της ενότητας 4.3.3, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.13 ώστε να ολοκληρωθεί ο τελικός συγκεντρωτικός πίνακας mastertable.

participant	scenario	VSP	CO2	CO2/km	CO	CO/km	HC	NOx	Nox/km	FC	Dist (m)	Dist(km)
1	MR1	1,68365	383,296	179,74	0,70022	0,32836	0,06204	0,03803	0,01784	7,67226	2132,5	2,1325
1	MR2	1,61804	375,901	177,393	0,68671	0,32407	0,06085	0,0373	0,0176	7,57205	2119,03	2,11903
1	R1	2,92017	465,533	162,297	0,7016	0,24459	0,0712	0,0367	0,0128	6,924	2868,41	2,86841
1	R2	2,17787	524,004	184,628	0,78972	0,27825	0,08014	0,04131	0,01456	7,87671	2838,16	2,83816
2	MR1	1,27513	473,758	223,355	0,86548	0,40803	0,07669	0,04701	0,02216	9,53396	2121,1	2,1211
2	MR2	0,68152	494,084	234,202	1,27479	0,60427	0,09993	0,04953	0,02348	10,01	2109,65	2,10965
2	R1	2,92188	477,721	166,262	0,71996	0,25057	0,07306	0,03766	0,01311	7,09318	2873,3	2,8733
2	R2	1,77469	477,302	167,668	0,87195	0,3063	0,07726	0,04736	0,01664	7,15694	2846,71	2,84671
3	MR1	1,12126	489,169	230,088	0,89363	0,42033	0,07918	0,04854	0,02283	9,82135	2126,01	2,12601
3	MR2	1,16653	476,593	225,657	0,87066	0,41224	0,07714	0,04729	0,02239	9,6322	2112,03	2,11203
3	R1	2,01148	551,222	193,611	0,83074	0,29179	0,0843	0,04346	0,01526	8,25995	2847,06	2,84706
3	R2	1,80513	471,356	165,893	0,86109	0,30306	0,0763	0,04677	0,01646	7,08119	2841,32	2,84132
4	MR1	1,27682	464,48	216,09	0,84853	0,39476	0,07518	0,04609	0,02144	9,22387	2149,47	2,14947
4	MR2	1,13373	483,068	227,45	0,88248	0,41551	0,07819	0,04793	0,02257	9,70876	2123,84	2,12384
4	R1	3,34087	448,397	155,373	0,66936	0,23194	0,07818	0,03291	0,0114	6,62892	2885,94	2,88594
4	R2	1,72159	501,282	174,898	0,91576	0,31951	0,08114	0,04974	0,01735	7,46556	2866,14	2,86614

Εικόνα 4.13: Απόσπασμα πίνακα από τον υπολογισμό των εκπομπών

4.5 Περιγραφικά χαρακτηριστικά δείγματος

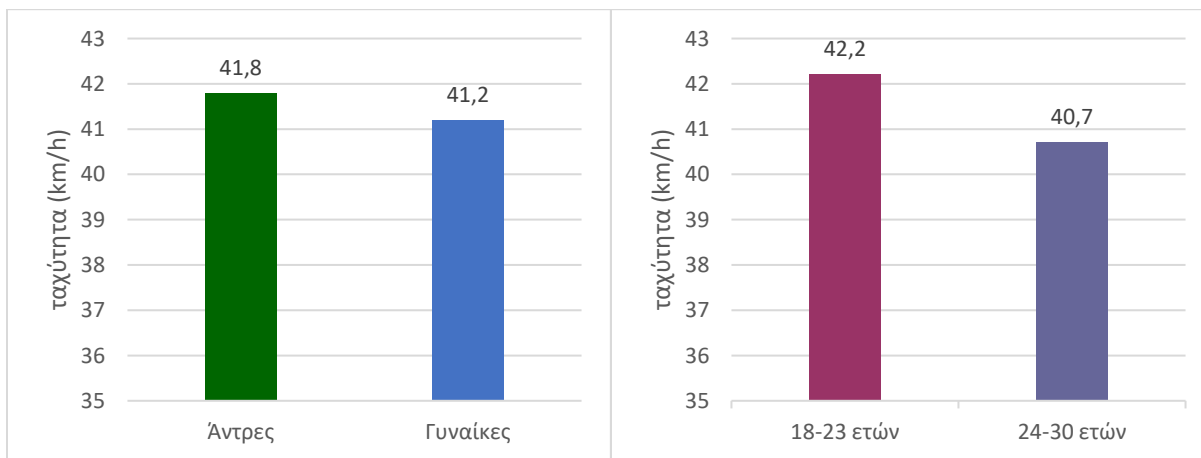
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση των δεδομένων, κρίθηκε χρήσιμο να παρουσιαστούν ενδεικτικά χαρακτηριστικά του δείγματος από τον προσομοιωτή οδήγησης, ώστε να δημιουργηθεί μια πρώτη εικόνα συσχέτισης μεταξύ των εξαρτημένων και των ανεξάρτητων μεταβλητών.

- Η **ταχύτητα οδήγησης** παρουσιάζεται αρκετά μειωμένη στα σενάρια όπου ο συμμετέχοντας κλήθηκε να οδηγήσει οικολογικά σε σχέση με τη φυσιολογική του οδηγική συμπεριφορά. Μικρότερη μείωση της ταχύτητας παρατηρείται στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο, καθώς λόγω της φύσης του περιβάλλοντος δεν ήταν εφικτές οι υψηλές ταχύτητες.
- Το **ποσοστό της χρήσης του πεντάλ φρένου** παρουσιάζει μείωση στα σενάρια της οικολογικής οδήγησης, με αυξημένη μείωση στο υπεραστικό δίκτυο σε σχέση με το ορεινό υπεραστικό.
- Το **ποσοστό της χρήσης του πεντάλ συμπλέκτη** αυξάνεται στα σενάρια της οικολογικής οδήγησης και παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση στο ορεινό υπεραστικό περιβάλλον.

Πίνακας 4.4: Βασικές τιμές μετρήσεων για κάθε σενάριο οδήγησης

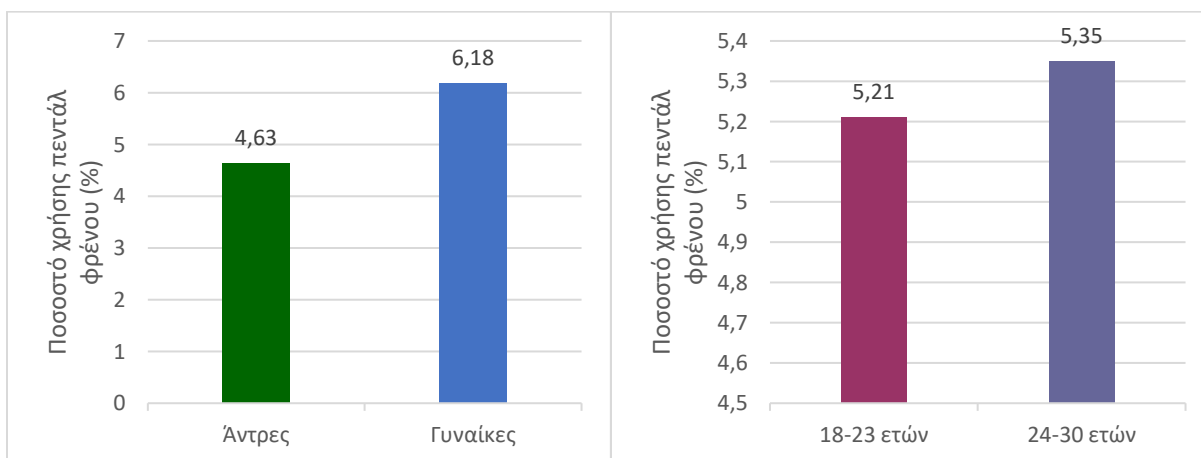
	Μη οικολογικό ορεινό υπεραστικό δίκτυο	Οικολογικό ορεινό υπεραστικό δίκτυο	Μη οικολογικό υπεραστικό δίκτυο	Οικολογικό υπεραστικό δίκτυο
Ταχύτητα (km/h)	37,77	32,66	52,24	43,48
Ποσοστό χρήσης πεντάλ φρένου (%)	7,75	5,08	4,68	3,55
Ποσοστό χρήσης πεντάλ συμπλέκτη(%)	73,63	78,86	80,82	85,34

Τέλος, παρουσιάζεται η **σύγκριση των ενδεικτικών χαρακτηριστικών** οδήγησης που αναφέρθηκαν παραπάνω ως προς το φύλο και την ηλικιακή ομάδα του οδηγού. Από το Γράφημα 4.3, οι άντρες και οι γυναίκες παρουσιάζουν παρόμοια οδηγική συμπεριφορά σε σχέση με την ταχύτητα. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην ταχύτητα των αντρών. Ακόμα, μεγαλύτερη ταχύτητα παρουσιάζουν οι οδηγοί της μικρότερης ηλικιακής ομάδας.

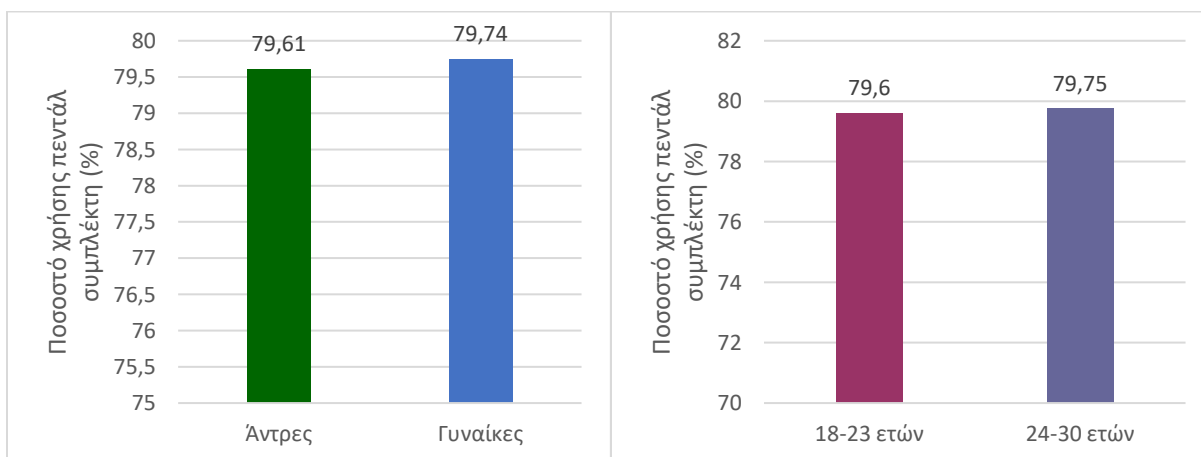


Γράφημα 4.3: Μέση ταχύτητα (α) ανά φύλο και (β) ηλικιακή ομάδα

Από τα Γραφήματα 4.4 και 4.5 που παρουσιάζονται παρακάτω παρατηρείται ότι τα πεντάλ του φρένου και του συμπλέκτη χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις γυναίκες οδηγούς στη μια περίπτωση και από τη μεγαλύτερη ηλικιακή ομάδα, στην άλλη περίπτωση. Ακόμα, παρατηρείται αρκετά εντονότερη διαφορά στη χρήση του φρένου, απ' ό,τι στη χρήση του συμπλέκτη, όπου η διαφορά των ποσοστών είναι ανεπαίσθητη.



Γράφημα 4.4: Μέσο ποσοστό χρήσης πεντάλ φρένου ανά (α) φύλο και (β) ηλικιακή ομάδα



Γράφημα 4.5: Μέσο ποσοστό χρήσης πεντάλ συμπλέκτη ανά (α) φύλο και (β) ηλικιακή ομάδα

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Γενικά

Στο παρόν Κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας με σκοπό την ανάπτυξη πέντε (5) μαθηματικών μοντέλων και τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από αυτήν. Πιο συγκεκριμένα, τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν είναι για την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτει μετά την καύση του καυσίμου του οχήματος, για την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα, για την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου, για την κατανάλωση του καυσίμου και τέλος, για την πιθανότητα ατυχήματος. Τα μαθηματικά μοντέλα αναπτύχθηκαν από τα στοιχεία των βάσεων δεδομένων με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R, μέσω πλήθους δοκιμών, ώστε να επιλεγθούν τα κατάλληλα, τα οποία πληρούν όλα τα κριτήρια αποδοχής. Για κάθε ένα από τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν, παρουσιάζεται η εξίσωση και η στατιστική σημαντικότητα του, που περιλαμβάνει τα στοιχεία των μεταβλητών, σε συνδυασμό με την επεξήγηση τους. Ακόμα, περιλαμβάνεται η ποιότητα του μοντέλου που υποδηλώνει την ύπαρξη καλής προσαρμογής του μοντέλου καθώς και η διαχωρισμένη συσχέτιση των μεταβλητών του σε διακριτές και συνεχείς με τη μέθοδο Spearman και Pearson αντίστοιχα. Τέλος, παρουσιάζονται μερικά χρήσιμα χαρακτηριστικά των μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική, όπως η συχνότητα, τα ποσοστά, το σύνολο τιμών, η μέγιστη, η ελάχιστη, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των μεταβλητών, καθώς και ο βαθμός επιρροής και η ανάλυση της ευαισθησίας τους.

5.2. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα

5.2.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Έπειτα από πολλές δοκιμές με τα δεδομένα από τον προσομοιωτή οδήγησης και τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, προέκυψε ένα γραμμικό μοντέλο με χρήση λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης για την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\text{Log (CO}_2\text{/km)} = 309,057 - 19,45 \text{ Eco} - 40,306 \text{ Environment} - 2,036 \text{ RoutesPerDay} + 6,648 \text{ AvgBrk} - 19,485 \text{ AvgDLeft} + 8,583 \text{ StdAccLat}$$

Επεξήγηση μεταβλητών:

Εξαρτημένη μεταβλητή

- CO₂/km: Εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο οδήγησης (g/km) (συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

- Eco: Σενάριο οικολογικής οδήγησης
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Environment: Περιβάλλον οδήγησης
Ορεινό υπεραστικό δίκτυο: 0, Υπεραστικό δίκτυο: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- RoutesPerDay: Ο μέσος αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας
0 διαδρομές: 0, 1 διαδρομή: 1, ..., περισσότερες από 5 διαδρομές: 6
(διακριτή μεταβλητή)
- AvgBrk: Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση
(συνεχής μεταβλητή)
- AvgDLeft: Μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του δρόμου (m)
(συνεχής μεταβλητή)
- StdAccLat: Τυπική απόκλιση πλευρικής επιτάχυνσης (m/s^2)
(συνεχής μεταβλητή)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.1) παρουσιάζονται τα στοιχεία τα οποία εξάγονται από το ειδικό λογισμικό για τις μεταβλητές του μοντέλου. Όσον αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου, παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του *t test* για κάθε μεταβλητή είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05. Συνεπώς, το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Ακόμα, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία.

Πίνακας 5.1: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Coefficients: CO2/km				
	Estimate	Std.Error	t value	Sig
(Constant)	309,057	7,533	41,028	0,000 ***
Eco	-19,450	3,274	-5,940	0,000 ***
Environment	-40,306	3,309	-12,181	0,000 ***
RoutesPerDay	-2,036	0,970	-2,099	0,038 *
AvgBrk	6,648	0,471	14,124	0,000 ***
AvgDLeft	-19,485	7,370	-2,644	0,009 **
StdAccLat	8,583	2,580	3,326	0,001 **

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Σύμφωνα με τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης:

Το **σενάριο οικολογικής οδήγησης** προκαλεί μείωση της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο οδήγησης στο σενάριο όπου ο οδηγός κλήθηκε να οδηγήσει οικολογικά. Στην οικολογική οδήγηση ζητήθηκε από τους οδηγούς να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και στροφές του κινητήρα και να μην κάνουν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του οχήματος.

Σε **περιβάλλον οδήγησης** υπεραστικού δικτύου γίνεται επίσης μικρότερη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, όπου το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου και γκαζιού είναι αυξημένο από τον οδηγό, εφόσον είναι αυξημένες οι απότομες κλίσεις του οδοστρώματος.

Ο **μέσος αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας**, πιθανώς είναι ανάλογος με την εμπειρία του στην οδήγηση. Συνεπώς, όσο περισσότερο μετακινείται με το όχημα του, μικραίνει την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Όσο αυξάνεται ο **μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου** κατά την οδήγηση, αυξάνεται και η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα στο σύστημα φρένων της οδήγησης λόγω της τριβής μεταξύ των φρένων και των δίσκων και δημιουργείται απώλεια ενέργειας που οδηγεί σε μείωση της κινητικής ενέργειας του οχήματος. Κατά συνέπεια, η αύξηση της χρήσης του πεντάλ φρένου απαιτεί περισσότερη ενέργεια από τον κινητήρα για να διατηρήσει την κίνηση του οχήματος και αυξάνεται η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα που δημιουργείται με την καύση του καυσίμου καθώς ο οδηγός χρειάζεται περισσότερο γκάζι και κατά συνέπεια, ο κινητήρας παρέχει περισσότερη ισχύ για να αντισταθμίσει τις απώλειες ενέργειας.

Όσο αυξάνεται ο **μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του δρόμου** μειώνεται η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ο οδηγός που τείνει να οδηγεί προς τη δεξιά πλευρά του οδοστρώματος πιθανώς παρουσιάζει πιο προσεκτικό προφίλ οδήγησης σε σύγκριση με τους οδηγούς που οδηγούν πιο κοντά στην αριστερή λωρίδα που πιθανώς υποδηλώνει επιθετικό προφίλ και διάθεση για προσπέραση.

Όσο αυξάνεται η **τυπική απόκλιση πλευρικής επιτάχυνσης**, αυξάνεται και η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα. Η τυπική απόκλιση σε αυτήν την περίπτωση υποδηλώνει ότι ο οδηγός δεν πραγματοποιεί τόσο σταθερή πορεία στις περιπτώσεις όπου το όχημα αλλάζει κατεύθυνση κίνησης, για παράδειγμα σε κάποια στροφή.

5.2.2. Στατιστική σημαντικότητα και ποιότητα μοντέλου

Παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή του μοντέλου, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου R^2 έχει τιμή 0,836 όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Ποιότητα μοντέλου

Στατιστικά παλινδρόμησης: CO2	
R	0,915
R Square	0,836
Adjusted R Square	0,830
Std. Error of the Estimate	18,968

5.2.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Για τη συσχέτιση των μεταβλητών, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός τους μεταξύ διακριτών και συνεχών μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η συσχέτιση Spearman για τις διακριτές μεταβλητές (Eco, Environment και Gender) και προέκυψε ο Πίνακας 5.3 που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζεται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς όλες οι τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες του 0,4.

Πίνακας 5.3: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

		Eco	Environment	RoutesPerDay
Spearman's rho	Eco	Correlation Coefficient	1	-0,006
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	Environment	Correlation Coefficient	-0,006	1
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	RoutesPerDay	Correlation Coefficient	-0,002	0,002
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156

Αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των συνεχών μεταβλητών με τη συσχέτιση Pearson, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.4). Η συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών δεν παρουσιάζεται υψηλή καθώς όλες οι τιμές είναι μικρότερες του 0,4

Πίνακας 5.4: Συσχέτιση συνεχών μεταβλητών

		AvgBrk	AvgDLeft	StdAccLat
Pearson's rho	AvgBrk	Correlation Coefficient	1	-0,134
		Sig. (2-tailed)		0,090
		N	156	156
	AvgDLeft	Correlation Coefficient	-0,134	1
		Sig. (2-tailed)	0,090	0,018
		N	156	156
	StdAccLat	Correlation Coefficient	0,180	-0,179
		Sig. (2-tailed)	0,021	0,018
		N	156	156

5.2.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.5) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά για την κάθε **διακριτή μεταβλητή** σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική, όπως η συχνότητα και τα ποσοστά.

Πίνακας 5.5: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Eco				RoutesPerDay			
Valid		Frequency	Percent	Valid		Frequency	Percent
	0	78	50%		1	16	11%
	1	78	50%		2	60	43%
	Total	156			3	16	11%
Environment			4		28	20%	
Valid		Frequency	Percent		5	12	9%
	0	78	50%		6	8	6%
	1	78	50%		7	0	0%
	Total	156			Total	140	

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των **συνεχών μεταβλητών** σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.6: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
AvgBrk	156	0,381	25,997	5,268	3,591
AvgDLeft	156	-0,198	1,179	0,704	0,213
StdAccLat	156	0,008	4,106	0,242	0,643

5.2.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

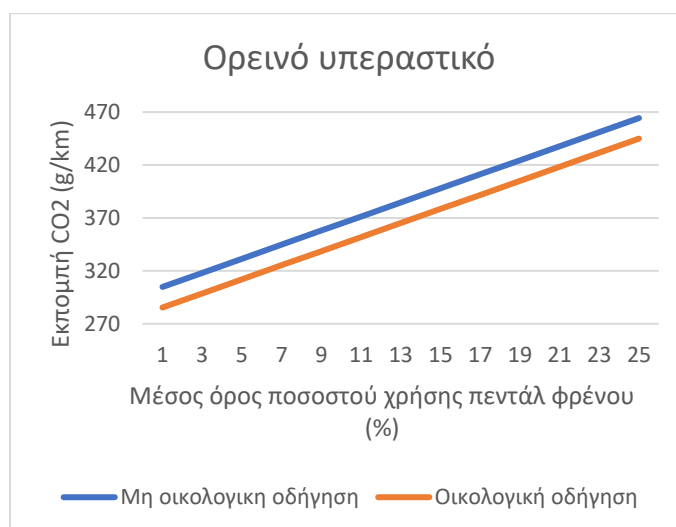
Στη συνέχεια, για να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα, υπολογίζεται η ελαστικότητα e και ο βαθμός της σχετικής επιρροής e^* , δηλαδή ο λόγος των ανεξάρτητων μεταβλητών προς την ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στην εξαρτημένη. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.7, τη μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα παρατηρείται να την έχει το περιβάλλον οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα, η επιρροή του περιβάλλοντος είναι 20 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή που έχει ο αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μίας μέρας, όπου είναι η μικρότερη. Αντίστοιχα, ο διαχωρισμός του τρόπου οδήγησης του οδηγού σε οικολογικός και μη οικολογικός έχει επιρροή 9,5 φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή. Για τις συνεχείς μεταβλητές τη μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα παρατηρείται να την έχει ο μέσος όρος της απόστασης από την αριστερή πλευρά του δρόμου. Συγκεκριμένα, έχει επιρροή 3 φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή, δηλαδή το μέσο όρο ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση. Η τυπική απόκλιση της πλευρικής επιτάχυνσης επηρεάζει 1,3 φορές περισσότερο την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα από τη μικρότερη τιμή.

Πίνακας 5.7: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

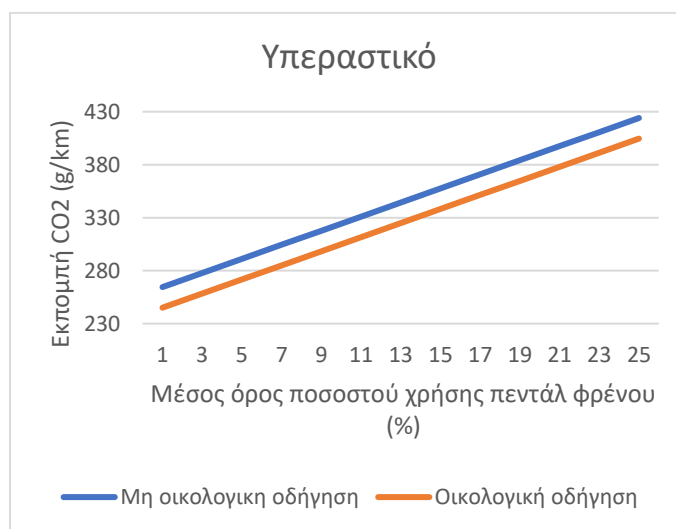
	Ανεξάρτητες μεταβλητές	B	t	e	e^*
Διακριτές	Σενάριο οικολογικής οδήγησης	-19,45	-5,94	-0,059	9,55
	Περιβάλλον οδήγησης	-40,306	-12,181	-0,121	19,80
	Αριθμός διαδρομών τη μέρα	-2,036	-2,099	-0,006	1,00
Συνεχείς	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση	6,648	14,124	0,0002	1,00
	Μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του δρόμου	-19,485	-2,644	0,0006	2,93
	Τυπική απόκλιση πλευρικής επιτάχυνσης	8,583	3,326	0,0003	1,29

5.2.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση της ευαισθησίας της μεταβλητής AvgBrk (Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση (%)) δημιουργήθηκαν τα Διαγράμματα 5.1 και 5.2 στα οποία παρουσιάζεται η επιρροή της μεταβλητής σε σχέση με την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα με οικολογικό και μη οικολογικό τρόπο οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό και υπεραστικό περιβάλλον αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.1: Επιρροή του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης.



Διάγραμμα 5.2: Επιρροή του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης.

(StdAccLat=1, RoutesPerDay=0, AvgDLeft=0)

Παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση δικτύου, ο οικολογικός τρόπος οδήγησης μειώνει την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αλλά οι τιμές του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο. Ακόμα, οι τιμές του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου.

5.3. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα

5.3.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Έπειτα από πολλές δοκιμές με τα δεδομένα από τον προσομοιωτή οδήγησης και τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, προέκυψε ένα γραμμικό μοντέλο με χρήση λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης για την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\text{Log (CO/km)} = 0,512 - 0,219 \text{ Eco} - 0,064 \text{ Environment} - 0,031 \text{ MoneyPerMonth} + 0,00005 \text{ AvgTTL} - 0,012 \text{ StdBrk}$$

Επεξήγηση μεταβλητών:

Εξαρτημένη μεταβλητή

- CO/km: Εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο οδήγησης (g/km) (συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

- Eco: Σενάριο οικολογικής οδήγησης
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Environment: Περιβάλλον οδήγησης
Ορεινό υπεραστικό δίκτυο: 0, Υπεραστικό δίκτυο: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- MoneyPerMonth: Τα χρήματα που ξοδεύει ο συμμετέχοντας τον μήνα για το καύσιμο του οχήματος του
Λιγότερα από 50€: 1, 51-100€: 2, 101-200€: 3, περισσότερα από 200€: 4
(διακριτή μεταβλητή)
- AvgTTL : Ο χρόνος που χρειάζεται το όχημα μέχρι την υπέρβαση της οδικής συνοριακής γραμμής (ms)
(συνεχής μεταβλητή)
- StdBrk: Τυπική απόκλιση ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση
(συνεχής μεταβλητή)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.8) παρουσιάζονται τα στοιχεία τα οποία εξάγονται από το ειδικό λογισμικό για τις μεταβλητές του μοντέλου. Όσον αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου, παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του t test για κάθε μεταβλητή είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05. Συνεπώς, το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Ακόμα, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία.

Πίνακας 5.8: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Coefficients: CO/km				
	Estimate	Std.Error	t value	Sig
(Constant)	0,512	0,0615	8,331	0,000 ***
Eco	-0,219	0,0225	-9,751	0,000 ***
Environment	-0,064	0,023	-2,770	0,006 **
MoneyPerMonth	-0,031	0,013	-2,309	0,023 *
AvgTTL	0,00005	0,00002	2,689	0,008 **
StdBrk	0,012	0,003	4,284	0,000 ***

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Το **σενάριο οικολογικής οδήγησης** προκαλεί μείωση της εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο οδήγησης στο σενάριο όπου ο οδηγός κλήθηκε να οδηγήσει οικολογικά. Στην οικολογική οδήγηση ζητήθηκε από τους οδηγούς να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και στροφές του κινητήρα και να μην κάνουν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του οχήματος.

Σε **περιβάλλον οδήγησης** υπεραστικού δικτύου γίνεται επίσης μικρότερη εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, όπου το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου και γκάζι είναι αυξημένο από τον οδηγό, εφόσον είναι αυξημένες οι απότομες κλίσεις του οδοστρώματος.

Τα **χρήματα που ξοδεύει ο κάθε συμμετέχοντας τον μήνα για τις μετακινήσεις του**, είναι ανάλογα με τα χιλιόμετρα και την εμπειρία του στην οδήγηση. Συνεπώς, όσο περισσότερο μετακινείται με το όχημα του, μικραίνει την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Όσο περισσότερο **χρόνο χρειάζεται το όχημα μέχρι να υπερβεί την οδική συνοριακή γραμμή**, αυξάνεται η εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα. Ο οδηγός που τείνει να οδηγεί προς τη δεξιά πλευρά του οδοστρώματος πιθανώς παρουσιάζει πιο προσεκτικό προφίλ οδήγησης σε σύγκριση με τους οδηγούς που οδηγούν πιο κοντά στην αριστερή λωρίδα που πιθανώς υποδηλώνει επιθετικό προφίλ και διάθεση για προσπέραση.

Η αύξηση της **τυπικής απόκλισης του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση** αυξάνει και την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα καθώς η αυξημένη τυπική απόκλιση σε αυτήν την περίπτωση πιθανώς υποδηλώνει ότι ο οδηγός δεν πραγματοποιεί τόσο σταθερές κινήσεις στην οδήγηση του και κατά συνέπεια δεν τηρεί τους κανόνες της οικολογικής οδήγησης καθώς κάνει απότομη οδήγηση και έχει μεγάλη διακύμανση της συμπεριφοράς του.

5.3.2. Ποιότητα μοντέλου

Παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή του μοντέλου, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου R^2 έχει τιμή 0,625 όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9: Ποιότητα μοντέλου

Στατιστικά παλινδρόμησης: CO	
R	0,791
R Square	0,625
Adjusted R Square	0,613
Std. Error of the Estimate	0,134

5.3.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Για τη συσχέτιση των μεταβλητών, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός τους μεταξύ διακριτών και συνεχών μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η συσχέτιση Spearman για τις διακριτές μεταβλητές (Eco και Environment) και προέκυψε ο Πίνακας 5.10 που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζεται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς όλες οι τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες του 0,4.

Πίνακας 5.10: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

		Eco	Environment	MoneyPerMonth
Spearman's rho	Eco	Correlation Coefficient	1	-0,0003
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	Environment	Correlation Coefficient	-0,006	1
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	MoneyPerMonth	Correlation Coefficient	-0,0003	-0,0003
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156

Αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των εξαρτημένων συνεχών μεταβλητών με τη συσχέτιση Pearson, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.11). Παρουσιάζεται μέτρια συσχέτιση μεταξύ των συνεχών μεταβλητών.

Πίνακας 5.11: Συσχέτιση συνεχών μεταβλητών

			AvgTTL	StdBrk
Pearson's rho	AvgTTL	Correlation Coefficient	1	0,592
		Sig. (2-tailed)		0,000
		N	156	156
	StdBrk	Correlation Coefficient	0,592	1
		Sig. (2-tailed)	0,000	
		N	156	156

5.3.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.12) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.12: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Eco				Environment				MoneyPerMonth			
Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent
	0	78	50%		0	78	50%		1	40	26%
	1	78	50%		1	78	50%		2	80	51%
	Total	156			Total	156			3	28	18%
							4		8	5%	
							Total		156		

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των συνεχών μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.13: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
AvgTTL	156	200,65	5510,93	1200,42	788,79
StdBrk	156	3,34	33,64	17,54	4,75

5.3.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

Στη συνέχεια, για να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα, υπολογίζεται η ελαστικότητα e και ο βαθμός της σχετικής επιρροής e^* , δηλαδή ο λόγος των ανεξάρτητων μεταβλητών προς την ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στην εξαρτημένη. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.14, τη μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα παρατηρείται να την έχει ο διαχωρισμός του τρόπου οδήγησης σε οικολογικό και μη οικολογικό. Πιο συγκεκριμένα, η επιρροή του είναι 7 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή που έχουν τα χρήματα που ξοδεύει τον μήνα ο κάθε οδηγός για τα καύσιμα του οχήματος του, όπου είναι η μικρότερη. Αντίστοιχα, ο διαχωρισμός του περιβάλλοντος οδήγησης έχει επιρροή 2 φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή. Για τις συνεχείς μεταβλητές παρατηρείται ότι η τυπική απόκλιση του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση επηρεάζει 25,5 φορές περισσότερο την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα από τον χρόνο που χρειάζεται το όχημα μέχρι την υπέρβαση της οδικής συνοριακής γραμμής.

Πίνακας 5.14: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

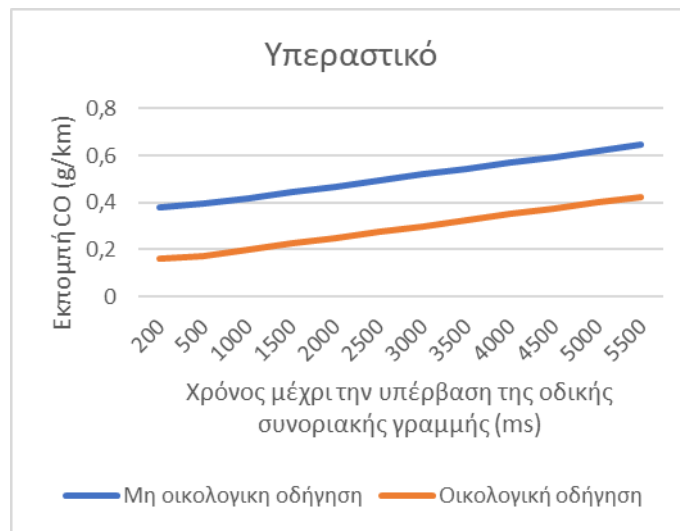
	Ανεξάρτητες μεταβλητές	B	t	e	e*
Διακριτές	Σενάριο οικολογικής οδήγησης	-0,22	-9,75	-0,293	7,06
	Περιβάλλον οδήγησης	-0,06	-2,77	-0,086	2,06
	Χρήματα που ξοδεύει ο συμμετέχοντας τον μήνα για το καύσιμο του οχήματος του	-0,03	-2,31	-0,041	1,00
Συνεχείς	Χρόνος που χρειάζεται το όχημα μέχρι την υπέρβαση της οδικής συνοριακής γραμμής	0,0001	2,69	0,00001	1,00
	Τυπική απόκλιση ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση	0,012	4,28	0,0002	25,5

5.3.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση της ευαισθησίας της μεταβλητής AvgTTL (Μέσος όρος χρόνου μέχρι την υπέρβαση της συνοριακής γραμμής (ms)) δημιουργήθηκαν τα Διαγράμματα 5.3 και 5.4 στα οποία παρουσιάζεται η επιρροή της μεταβλητής σε σχέση με την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα με οικολογικό και μη οικολογικό τρόπο οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό και υπεραστικό περιβάλλον αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.1: Επιρροή του χρόνου μέχρι την υπέρβαση της συνοριακής γραμμής κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης



Διάγραμμα 5.2: Επιρροή του χρόνου μέχρι την υπέρβαση της συνοριακής γραμμής κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης

(MoneyPerMonth=1, StdBrk=4)

Παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση δικτύου, ο οικολογικός τρόπος οδήγησης μειώνει την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αλλά οι τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο. Ακόμα, οι τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του χρόνου μέχρι την υπέρβαση της συνοριακής γραμμής κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

5.4. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου

5.4.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Έπειτα από πολλές δοκιμές με τα δεδομένα από τον προσομοιωτή οδήγησης και τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, προέκυψε ένα γραμμικό μοντέλο με χρήση λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης για την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου ανά χιλιόμετρο και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\text{Log (NO}_x\text{/km)} = 0,062 - 0,020 \text{ Eco} - 0,004 \text{ Environment} - 0,001 \text{ RoutesPerDay} + 0,002 \text{ AvgBrk} - 0,009 \text{ Avgrspur}$$

Επεξήγηση μεταβλητών:

Εξαρτημένη μεταβλητή

- NO_x/km: Εκπομπή οξειδίων του αζώτου ανά χιλιόμετρο οδήγησης (g/km) (συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

- Eco: Σενάριο οικολογικής οδήγησης
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Environment: Περιβάλλον οδήγησης
Ορεινό υπεραστικό δίκτυο: 0, Υπεραστικό δίκτυο: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- RoutesPerDay: Ο μέσος αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας
0 διαδρομές: 0, 1 διαδρομή: 1, 2 διαδρομές: 2, 3 διαδρομές: 3, 4 διαδρομές: 4, 5 διαδρομές: 5, περισσότερες από 5 διαδρομές: 6
(διακριτή μεταβλητή)
- AvgBrk: Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση (συνεχής μεταβλητή)
- Avgrspur: Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου (m) (συνεχής μεταβλητή)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.15) παρουσιάζονται τα στοιχεία τα οποία εξάγονται από το ειδικό λογισμικό για τις μεταβλητές του μοντέλου. Όσον αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου, παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του t test για κάθε μεταβλητή είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05. Συνεπώς, το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Ακόμα, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία.

Πίνακας 5.15: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Coefficients: NOx/km				
	<i>Estimate</i>	<i>Std.Error</i>	<i>t value</i>	<i>Sig</i>
(Constant)	0,062	0,007	9,033	0,000 ***
Eco	-0,020	0,002	-11,534	0,000 ***
Environment	-0,004	0,002	-2,168	0,032 *
RoutesPerDay	-0,001	0,001	-2,220	0,028 *
AvgBrk	0,002	0,0003	6,002	0,000 ***
Avgrspur	-0,009	0,004	-2,120	0,036 *

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Το **σενάριο οικολογικής οδήγησης** προκαλεί μείωση εκπομπής των οξειδίων του αζώτου ανά χιλιόμετρο οδήγησης στο σενάριο όπου ο οδηγός κλήθηκε να οδηγήσει οικολογικά. Στην οικολογική οδήγηση ζητήθηκε από τους οδηγούς να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και στροφές του κινητήρα και να μην κάνουν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του οχήματος.

Σε **περιβάλλον οδήγησης** υπεραστικού δικτύου γίνεται επίσης μικρότερη εκπομπή οξειδίων του αζώτου σε σύγκριση με το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, όπου το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου και γκάζι είναι αυξημένο από τον οδηγό, εφόσον είναι αυξημένες οι απότομες κλίσεις του οδοστρώματος.

Ο **μέσος αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας**, πιθανώς είναι ανάλογος με την εμπειρία του στην οδήγηση. Συνεπώς, όσο περισσότερο μετακινείται με το όχημα του, μικραίνει την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα.

Όσο αυξάνεται ο **μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου** κατά την οδήγηση, αυξάνεται και η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα στο σύστημα φρένων της οδήγησης λόγω της τριβής μεταξύ των φρένων και των δίσκων και δημιουργείται απώλεια ενέργειας που οδηγεί σε μείωση της κινητικής ενέργειας του οχήματος. Κατά συνέπεια, η αύξηση της χρήσης του πεντάλ φρένου απαιτεί περισσότερη ενέργεια από τον κινητήρα για να διατηρήσει την κίνηση του οχήματος και αυξάνεται η εκπομπή των οξειδίων του αζώτου που δημιουργείται με την καύση του καυσίμου καθώς ο οδηγός χρειάζεται περισσότερο γκάζι και κατά συνέπεια, ο κινητήρας παρέχει περισσότερη ισχύ για να αντισταθμίσει τις απώλειες ενέργειας.

Η αύξηση του **ίχνους του οχήματος από τη μέση του δρόμου** υποδηλώνει οδήγηση πιο κοντά στη δεξιά λωρίδα του δρόμου και πιθανώς ένα πιο συντηρητικό προφίλ οδήγησης από τον οδηγό, χωρίς διάθεση για προσπάθεια και κατά συνέπεια μείωση των οξειδίων του αζώτου

5.4.2. Ποιότητα μοντέλου

Παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή του μοντέλου, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου R^2 έχει τιμή 0,638 όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.16.

Πίνακας 5.16: Ποιότητα μοντέλου

Στατιστικά παλινδρόμησης: NOx	
R	0,799
R Square	0,638
Adjusted R Square	0,626
Std. Error of the Estimate	0,010

5.4.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Για τη συσχέτιση των μεταβλητών, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός τους μεταξύ διακριτών και συνεχών μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η συσχέτιση Spearman για τις διακριτές μεταβλητές (Eco, Environment και RoutesPerDay) και προέκυψε ο Πίνακας 5.17 που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζεται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς όλες οι τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες του 0,4.

Πίνακας 5.17: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

		Eco	Environment	RoutesPerDay
Spearman's rho	Eco	Correlation Coefficient	1	-0,006
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	Environment	Correlation Coefficient	-0,006	1
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	RoutesPerDay	Correlation Coefficient	-0,002	-0,002
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156

Αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των συνεχών μεταβλητών με τη συσχέτιση Pearson, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.18). Παρατηρείτε χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς η τιμή είναι κατά πολύ μικρότερη του 0,4.

Πίνακας 5.18: Συσχέτιση συνεχών μεταβλητών

			AvgBrk	Avgrspur
Pearson's rho	AvgBrk	Correlation Coefficient	1	-0,092
		Sig. (2-tailed)		0,254
		N	156	156
	Avgrspur	Correlation Coefficient	-0,092	1
		Sig. (2-tailed)	0,254	
		N	156	156

5.4.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.19) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.19: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Eco				RoutesPerDay			
Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent
	0	78	50%		1	16	11%
	1	78	50%		2	60	43%
	Total	156			3	16	11%
Environment			4		28	20%	
Valid	Frequency		Percent		5	12	9%
	0	78	50%		6	8	6%
	1	78	50%		7	0	0%
	Total	156			Total	140	

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 5.20 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των συνεχών μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.20: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
AvgBrk	156	0,38	26,00	5,27	3,59
Avgrspur	156	0,79	2,03	1,54	0,21

5.4.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

Στη συνέχεια, για να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκπομπή των οξειδίων του αζώτου, υπολογίζεται η ελαστικότητα e και ο βαθμός της σχετικής επιρροής e^* , δηλαδή ο λόγος των ανεξάρτητων μεταβλητών προς την ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στην εξαρτημένη. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.21, τη μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα παρατηρείται να την έχει ο διαχωρισμός του τρόπου οδήγησης σε οικολογικό και μη οικολογικό. Πιο συγκεκριμένα, η επιρροή του είναι 20 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή που έχει ο μέσος αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο κάθε οδηγός με το όχημα του μέσα σε μία μέρα, όπου είναι η μικρότερη. Αντίστοιχα, ο διαχωρισμός του περιβάλλοντος οδήγησης έχει επιρροή 4 φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή. Για τις συνεχείς μεταβλητές, το ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου επηρεάζει την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου 4,5 φορές περισσότερο από το μέσο όρο ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση.

Πίνακας 5.21: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

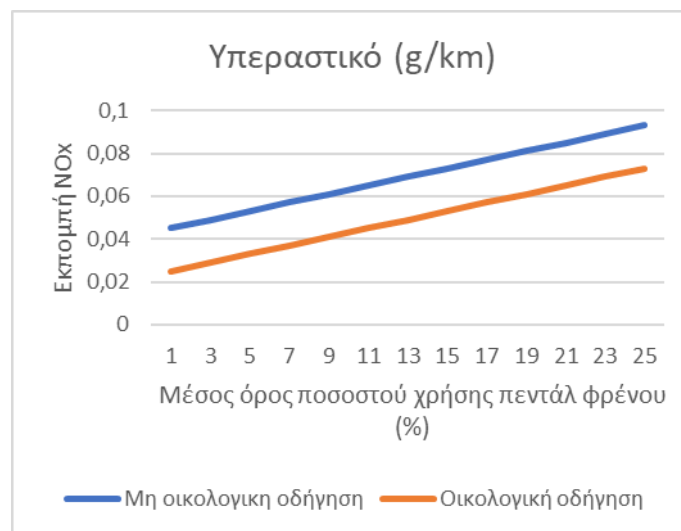
Ανεξάρτητες μεταβλητές		B	t	e	e*
Διακριτές	Σενάριο οικολογικής οδήγησης	-0,02	-11,53	-0,347	20,00
	Περιβάλλον οδήγησης	-0,004	-2,17	-0,069	4,00
	Μέσος αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας	-0,001	-2,22	-0,017	1,00
Συνεχείς	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση	0,002	6,00	0,0003	1,00
	Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου (m)	-0,009	-2,12	-0,002	-4,50

5.4.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση της ευαισθησίας της μεταβλητής AvgBrk (Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση (%)) δημιουργήθηκαν τα Διαγράμματα 5.5 και 5.6 στα οποία παρουσιάζεται η επιρροή της μεταβλητής σε σχέση με την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου με οικολογικό και μη οικολογικό τρόπο οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό και υπεραστικό περιβάλλον αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.5: Επιρροή του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης.



Διάγραμμα 5.6: Επιρροή του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης.

(RoutesPerDay=6, Avgrspur=1)

Παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση δικτύου, ο οικολογικός τρόπος οδήγησης μειώνει την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα, αλλά οι τιμές των οξειδίων του αζώτου αυξάνονται στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο. Ακόμα, οι τιμές των οξειδίων του αζώτου παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου

5.5. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την κατανάλωση καυσίμου

5.5.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Έπειτα από πολλές δοκιμές με τα δεδομένα από τον προσομοιωτή οδήγησης και τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, προέκυψε ένα μοντέλο με λογαριθμοκανονική γραμμική παλινδρόμηση για την κατανάλωση καυσίμου ανά 100 χιλιόμετρα και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\text{Log (FC)} = 22,125 - 1,050 \text{ Eco} - 1,87 \text{ Environment} - 0,646 \text{ Gender} - 0,874 \text{ Avggrspur} - 0,095 \text{ AvgClutch}$$

Επεξήγηση μεταβλητών:

Εξαρτημένη μεταβλητή

- FC: Κατανάλωση καυσίμου ανά 100 χιλιόμετρα οδήγησης (l/100km)
(συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

- Eco: Σενάριο οικολογικής οδήγησης
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Environment: Περιβάλλον οδήγησης
Ορεινό υπεραστικό δίκτυο: 0, Υπεραστικό δίκτυο: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Gender: Φύλο οδηγού
Αντρας: 1, Γυναίκα: 2
(διακριτή μεταβλητή)
- Avggrspur: Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου (m)
(συνεχής μεταβλητή)
- AvgClutch: Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη κατά την οδήγηση
(συνεχής μεταβλητή)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.22) παρουσιάζονται τα στοιχεία τα οποία εξάγονται από το ειδικό λογισμικό για τις μεταβλητές του μοντέλου. Όσον αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου, παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του t test για κάθε μεταβλητή είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05. Συνεπώς, το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Ακόμα, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία.

Πίνακας 5.22: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Coefficients: FC/km				
	<i>Estimate</i>	<i>Std.Error</i>	<i>t value</i>	<i>Sig</i>
(Constant)	22,125	0,836	26,458	0,000 ***
Eco	-1,050	0,155	-6,791	0,000 ***
Environment	-1,870	0,160	-11,678	0,000 ***
Gender	-0,646	0,152	4,262	0,000 ***
Avgspur	-0,874	0,368	-2,374	0,019 *
AvgClutch	-0,095	0,009	-10,987	0,000 ***

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Το **σενάριο οικολογικής οδήγησης** προκαλεί μείωση της κατανάλωσης καυσίμου ανά χιλιόμετρο οδήγησης στο σενάριο όπου ο οδηγός κλήθηκε να οδηγήσει οικολογικά. Στην οικολογική οδήγηση ζητήθηκε από τους οδηγούς να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και στροφές του κινητήρα και να μην κάνουν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του οχήματος.

Σε **περιβάλλον οδήγησης** υπεραστικού δικτύου γίνεται επίσης μικρότερη κατανάλωση καυσίμου σε σύγκριση με το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, όπου το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου και γκάζι είναι αυξημένο από τον οδηγό, εφόσον είναι αυξημένες οι απότομες κλίσεις του οδοστρώματος.

Το **φύλο** του συμμετέχοντα έχει επίσης ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου. Παρατηρήθηκε μεγαλύτερη κατανάλωση από τις γυναίκες, καθώς όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, οι γυναίκες οδηγοί έκαναν αυξημένη χρήση του πεντάλ φρένου σε σύγκριση με τους άντρες οδηγούς, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές.

Η αύξηση του **ίχνους του οχήματος από τη μέση του δρόμου** υποδηλώνει οδήγηση πιο κοντά στη δεξιά λωρίδα του δρόμου και πιθανώς ένα πιο συντηρητικό προφίλ οδήγησης από τον οδηγό, χωρίς διάθεση για προσπέραση και κατά συνέπεια μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Ο **μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη** από τους συμμετέχοντες κατά την οδήγηση μείωσε της κατανάλωσης καυσίμου καθώς οδηγεί σε καλύτερη σχέση του κιβωτίου ταχυτήτων και κατά συνέπεια σε καλύτερη απόδοση του κινητήρα και χαμηλότερες περιστροφές, δηλαδή μειώνεται η τριβή και οι ενεργειακές απώλειες.

5.5.2. Ποιότητα μοντέλου

Παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή του μοντέλου, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου R^2 έχει τιμή 0,784 όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.23.

Πίνακας 5.23: Ποιότητα μοντέλου

Στατιστικά παλινδρόμησης: FC	
R	0,886
R Square	0,784
Adjusted R Square	0,777
Std. Error of the Estimate	0,930

5.5.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Για τη συσχέτιση των μεταβλητών, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός τους μεταξύ διακριτών και συνεχών μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η συσχέτιση Spearman για τις διακριτές μεταβλητές (Eco, Environment και MoneyPerMonth) και προέκυψε ο Πίνακας 5.24 που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζεται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς όλες οι τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες του 0,4.

Πίνακας 5.24: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

		Eco	Environment	MoneyPerMonth
Spearman's rho	Eco	Correlation Coefficient	1	-0,006
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	Environment	Correlation Coefficient	-0,006	1
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156
	Gender	Correlation Coefficient	-0,005	-0,005
		Sig. (2-tailed)	1	1
		N	156	156

Αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των συνεχών μεταβλητών με τη συσχέτιση Pearson, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.25). Παρατηρείτε χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς η τιμή είναι κατά πολύ μικρότερη του 0,4.

Πίνακας 5.25: Συσχέτιση συνεχών μεταβλητών

			Avgrspur	AvgClutch
Pearson's rho	Avgrspur	Correlation Coefficient	1	0,0003
		Sig. (2-tailed)		0,114
		N	156	156
	AvgClutch	Correlation Coefficient	-0,0003	1
		Sig. (2-tailed)	0,114	
		N	156	156

5.5.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.26) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.26: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Eco				Environment				Gender			
Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent
	0	78	50%		0	78	50%		1	92	59%
	1	78	50%		1	78	50%		2	64	41%
	Total	156			Total	156			Total	156	

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 5.27 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των συνεχών μεταβλητών σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.27: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
AvgClutch	156	0,38	93,29	79,66	9,71
Avgrspur	156	0,79	2,03	1,55	0,21

5.5.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

Στη συνέχεια, για να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην κατανάλωση καυσίμου, υπολογίζεται η ελαστικότητα e και ο βαθμός της σχετικής επιρροής e^* , δηλαδή ο λόγος των ανεξάρτητων μεταβλητών προς την ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στην εξαρτημένη. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.28, τη μεγαλύτερη επιρροή στην κατανάλωση καυσίμου παρατηρείται να την έχει το περιβάλλον οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα, η

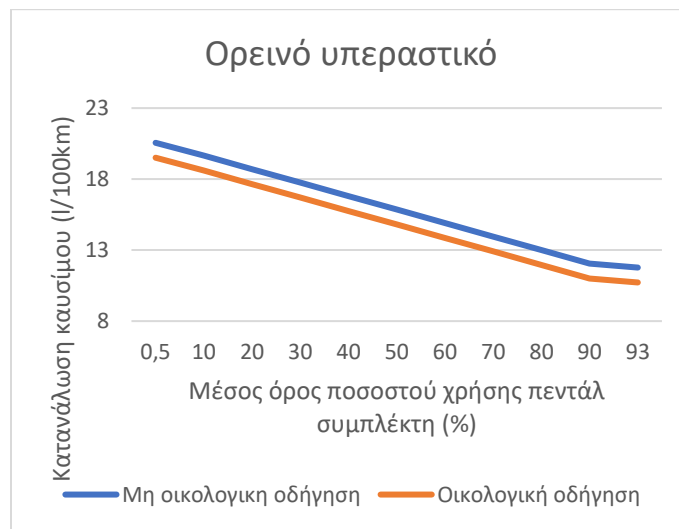
επιρροή του περιβάλλοντος είναι 3 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή που το φύλο του οδηγού, όπου είναι η μικρότερη. Αντίστοιχα, ο διαχωρισμός του τρόπου οδήγησης του οδηγού σε οικολογικός και μη οικολογικός έχει επιρροή 1,6 φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή. Ο μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη επηρεάζει 9,2 φορές περισσότερο την κατανάλωση καυσίμου από το ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου.

Πίνακας 5.28: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

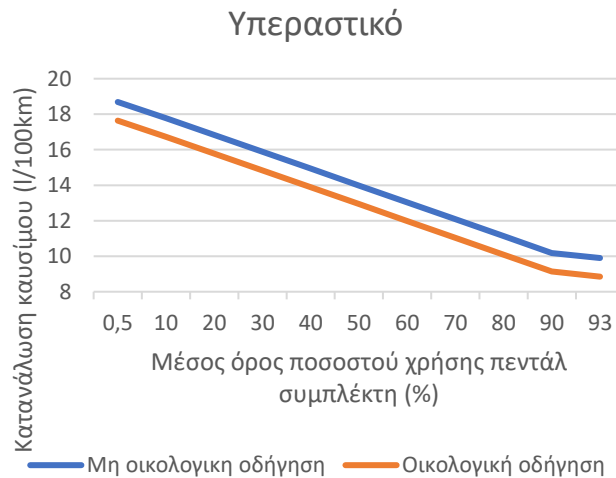
	Ανεξάρτητες μεταβλητές	B	t	e	e*
Διακριτές	Σενάριο οικολογικής οδήγησης	-1,05	-6,79	-0,07	1,63
	Περιβάλλον οδήγησης	-1,87	-11,68	-0,13	2,89
	Φύλο οδηγού	-0,646	4,26	-0,04	1,00
Συνεχείς	Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου	-0,874	-2,38	-0,0006	1,00
	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη	0,095	-10,99	-0,00006	9,20

5.2.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση της ευαισθησίας της μεταβλητής AvgClutch (Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη κατά την οδήγηση) δημιουργήθηκαν τα Διαγράμματα 5.7 και 5.8 στα οποία παρουσιάζεται η επιρροή της μεταβλητής σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου με οικολογικό και μη οικολογικό τρόπο οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό και υπεραστικό περιβάλλον αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.7: Επιρροή του ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης



Διάγραμμα 5.8: Επιρροή του ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης

(Gender=1, Avgrspur=1)

Παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση δικτύου, ο οικολογικός τρόπος οδήγησης μειώνει την κατανάλωση καυσίμου, αλλά οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου αυξάνονται στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο. Ακόμα, οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου παρουσιάζουν μείωση με την αύξηση του ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη.

5.6. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την πιθανότητα ατυχήματος

5.6.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Έπειτα από πολλές δοκιμές με τα δεδομένα από τον προσομοιωτή οδήγησης και τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, προέκυψε ένα διωνυμικό λογιστικό μοντέλο για την πιθανότητα ατυχήματος και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\text{Accident Probability} = \frac{e^{\text{NumOfCrashesAverage}}}{e^{\text{NumOfCrashesAverage}} + 1}$$

NumOfCrashesAverage = 9,248 – 2,516 Eco + 0,689 Environment – 0,233 Age – 1,22 FuelMoney – 0,41 SpeedLimits

Επεξήγηση μεταβλητών:

Εξαρτημένη μεταβλητή

- NumOfCrashesAverage: Ύπαρξη ατυχήματος
Όχι: 0, ναι: 1
(διακριτή μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

- Eco: Σενάριο οικολογικής οδήγησης
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Environment: Περιβάλλον οδήγησης
Ορεινό υπεραστικό δίκτυο: 0, Υπεραστικό δίκτυο: 1
(διακριτή μεταβλητή)
- Age: Ηλικία οδηγού (18-30 ετών)
(συνεχής μεταβλητή)
- FuelMoney: Τα χρήματα που ξοδεύει ο συμμετέχοντας τον μήνα για το καύσιμο του οχήματος του
0-100€: 1, περισσότερα από 101:2
(διατεταγμένη μεταβλητή)
- SpeedLimits: Συμφωνεί ο συμμετέχοντας με τη μείωση των ορίων ταχύτητας
Καθόλου:1, Λίγο:2, Αρκετά:3, Πολύ:4, Πάρα πολύ: 5
(διακριτή μεταβλητή)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.29) παρουσιάζονται τα στοιχεία τα οποία εξάγονται από το ειδικό λογισμικό για τις μεταβλητές του μοντέλου. Όσον αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου, παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του t test για κάθε μεταβλητή είναι μεγαλύτερες από 1,7. Οι τιμές του Sig. είναι μικρότερες από 0,05, δηλαδή το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, εκτός από τις τιμές του Sig του Environment που έχουν επίπεδο εμπιστοσύνης 90%. Ακόμα, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, τα πρόσημα των

συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία.

Πίνακας 5.29: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

	Coefficients: Events			
	B	S.E.	z value	Sig
(Constant)	9,248	2,613	3,540	0,000 ***
Eco	-2,516	0,421	-5,977	0,000 ***
Environment	0,689	0,398	1,731	0,083 .
Age	-0,233	0,094	-2,479	0,013 *
FuelMoney	-1,220	0,513	-2,378	0,017 *
SpeedLimits	-0,410	0,184	-2,224	0,026 *

. Επίπεδο εμπιστοσύνης 90%

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Το **σενάριο οικολογικής οδήγησης** προκαλεί μείωση της πιθανότητας ο οδηγός να εμπλακεί σε ατύχημα σενάριο όπου ο οδηγός κλήθηκε να οδηγήσει οικολογικά. Στην οικολογική οδήγηση ζητήθηκε από τους οδηγούς να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και στροφές του κινητήρα και να μην κάνουν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του οχήματος.

Σε **περιβάλλον οδήγησης** υπεραστικού δικτύου υπάρχει επίσης μικρότερη πιθανότητα ο οδηγός να εμπλακεί σε ατύχημα σε σύγκριση με το ορεινό υπεραστικό δίκτυο, όπου το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου και γκάζι είναι αυξημένο από τον οδηγό, εφόσον είναι αυξημένες οι απότομες κλίσεις του οδοστρώματος.

Η **ηλικία του οδηγού** σχετίζεται πιθανώς με την εμπειρία του στην οδήγηση. Συνεπώς, με την αύξηση της ηλικίας του έχει λιγότερες πιθανότητες να εμπλακεί σε κάποιο ατύχημα.

Τα **χρήματα που ξοδεύει ο κάθε συμμετέχοντας τον μήνα για τις μετακινήσεις του**, πιθανώς είναι ανάλογα με τα χιλιόμετρα και την εμπειρία του στην οδήγηση. Συνεπώς, όσο περισσότερο μετακινείται με το όχημα του, μειώνεται η πιθανότητα να εμπλακεί σε κάποιο ατύχημα.

Η **συμμόρφωση του οδηγού για τη μείωση των ορίων ταχύτητας**, επίσης προκαλεί πιθανή μείωση των ατυχημάτων που εμπλέκεται ο οδηγός καθώς κατά πάσα πιθανότητα δείχνει ότι έχει αυξημένη οδηγική συνείδηση, δηλαδή ότι είναι προσεκτικός οδηγός με μικρότερες ταχύτητες οδήγησης.

5.2.2. Στατιστική σημαντικότητα και ποιότητα μοντέλου

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.30) παρουσιάζεται η πιθανότητα επιτυχημένης πρόβλεψης του μοντέλου για την πραγματοποίηση ή μη ατυχήματος. Παρατηρείται σχετικά καλό ποσοστό επιτυχημένης πρόβλεψης του μοντέλου και στις δύο περιπτώσεις μη ύπαρξης ή ύπαρξης ατυχήματος, με ποσοστά 73,3% και 83,3% αντίστοιχα.

Πίνακας 5.30: Ποσοστό πρόβλεψης μοντέλου

Observed	Predicted		
	Num of		Percentage Correct
	CrashesAverage		
	0	1	
Num of CrashesAverage	0	6624	73,3
	1	1155	83,3
Overall Percentage			78,3

5.2.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Για τη συσχέτιση των μεταβλητών, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός τους μεταξύ διακριτών και συνεχών μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η συσχέτιση Spearman για τις διακριτές μεταβλητές (Eco, Environment, FuelMoney και SpeedLimits) και προέκυψε ο Πίνακας 5.31 που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζεται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς όλες οι τιμές είναι μικρότερες του 0,4.

Πίνακας 5.31: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

		Eco	Environment	FuelMoney	SpeedLimits	
Spearman's rho	Eco	Correlation Coefficient	1	-0,006	-0,004	-0,0006
		Sig. (2-tailed)		1	1	1
		N	156	156	156	156
	Environment	Correlation Coefficient	-0,006	1	-0,004	-0,001
		Sig. (2-tailed)	1		1	1
		N	156	156	156	156
	FuelMoney	Correlation Coefficient	-0,004	0,004	1,000	-0,343
		Sig. (2-tailed)	1	1		0,00001
		N	156	156	156	156
	SpeedLimits	Correlation Coefficient	-0,0006	-0,0006	-0,343	1
		Sig. (2-tailed)	1	1	0,00001	
		N	156	156	156	156

5.2.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.32) παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των **διακριτών μεταβλητών** σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.32: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Eco				Gender				Environment			
Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent
	0	78	50%		1	16	11%		0	78	50%
	1	78	50%		2	40	29%		1	78	50%
	Total	156			3	36	26%		Total	156	
FuelMoney				Valid	Frequency		Percent	Valid	Frequency		Percent
Valid	1	120	77%		4	48	34%		0	78	50%
	2	36	23%		5	16	11%		1	78	50%
	Total	156			Total	140			Total	156	

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 5.33 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά της **συνεχούς μεταβλητής** σύμφωνα με την περιγραφική στατιστική.

Πίνακας 5.33: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Age	156	21	30	23,82	2,21

5.2.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

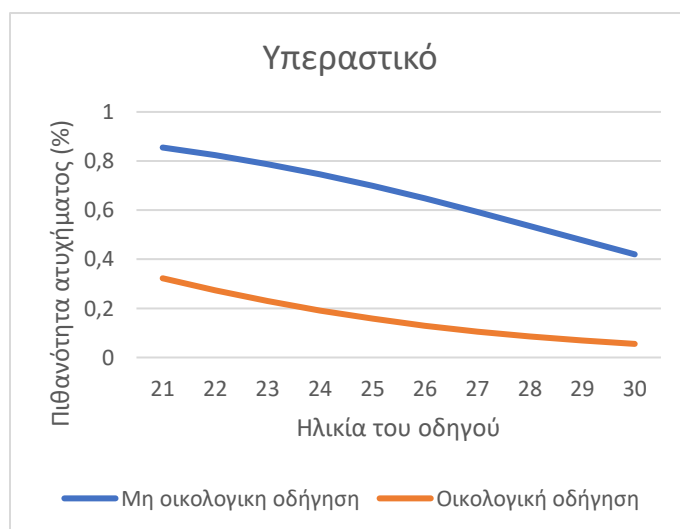
Στη συνέχεια, για να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην πιθανότητα ατυχήματος, υπολογίζεται η ελαστικότητα e και ο βαθμός της σχετικής επιρροής e^* , δηλαδή ο λόγος των ανεξάρτητων μεταβλητών προς την ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στην εξαρτημένη. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.34, τη μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος παρατηρείται να την έχει το περιβάλλον οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα, η επιρροή του περιβάλλοντος είναι 39,5 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή που έχουν τα χρήματα που ξοδεύει ο συμμετέχοντας τον μήνα για το καύσιμο του οχήματος του, όπου είναι η μικρότερη. Ο διαχωρισμός του τρόπου οδήγησης του οδηγού σε οικολογικός και μη οικολογικός έχει επιρροή 1,8 φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή. Το αν συμφωνεί ο συμμετέχοντας με τη μείωση των ορίων ταχύτητας επηρεάζει 8 φορές περισσότερο από την ηλικία του οδηγού αντίστοιχα.

Πίνακας 5.34: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

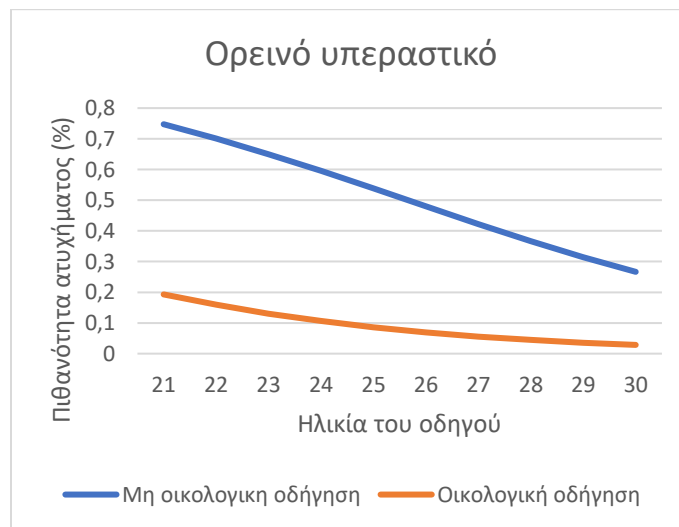
Ανεξάρτητες Μεταβλητές		Πιθανότητα ατυχήματος			
		B	Wald	e	e*
Διακριτές	Σενάρια οικολογικής οδήγησης	-2,516	-5,977	-0,662	1,82
	Περιβάλλον οδήγησης	0,689	1,731	14,365	-39,54
	Τα χρήματα που ξοδεύει μηνιαία για καύσιμα	-0,233	-2,479	-0,363	1,00
	Αποδοχή μείωσης ορίων ταχύτητας	-1,220	-2,378	2,932	-8,07
Συνεχείς	Ηλικία οδηγού	-0,410	-2,224	-0,072	

5.2.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση της ευαισθησίας της μεταβλητής age (Ηλικία του οδηγού) δημιουργήθηκαν τα Διαγράμματα 5.9 και 5.10 στα οποία παρουσιάζεται η επιρροή της μεταβλητής σε σχέση με την πιθανότητα ατυχήματος με οικολογικό και μη οικολογικό τρόπο οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό και υπεραστικό περιβάλλον αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.9: Επιρροή της ηλικίας του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ορεινό υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης



Διάγραμμα 5.10: Επιρροή της ηλικίας του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε υπεραστικό δίκτυο με οικολογικό/μη οικολογικό τρόπο οδήγησης

(FuelMoney=1, SpeedLimits=5)

Παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση δικτύου, ο οικολογικός τρόπος οδήγησης μειώνει αισθητά την πιθανότητα ατυχήματος κατά τη διάρκεια της οδήγησης, με αύξηση της πιθανότητας στο υπεραστικό δίκτυο. Ακόμα, οι τιμές της πιθανότητας ατυχήματος παρουσιάζουν μείωση με την αύξηση της ηλικίας του οδηγού.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **διερεύνηση των ωφελειών της οικολογικής οδήγησης στο υπεραστικό δίκτυο με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης**. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην κατανάλωση καυσίμου και στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και στην πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Συγκεκριμένα, η πειραματική διαδικασία έγινε με τη βοήθεια **προσομοιωτή οδήγησης** και συμμετείχαν 39 οδηγοί, νεαρής ηλικίας (18-30 ετών), οι οποίοι βοήθησαν στη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων μέσω της συμπεριφοράς οδήγησής τους και μέσω ενός ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν. Οι συμμετέχοντες οδήγησαν σε συνθήκες υπεραστικού και ορεινού υπεραστικού περιβάλλοντος. Έπειτα, ενημερώθηκαν για την οικολογική οδήγηση και οδήγησαν ξανά τα ίδια σενάρια, ακολουθώντας τις οικολογικές οδηγίες.

Τα δεδομένα που εξήγαγε ο προσομοιωτής οδήγησης, επεξεργάστηκαν κατάλληλα μέσω της **στατιστικής ανάλυσης** με τη βοήθεια της **γλώσσας προγραμματισμού R** και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου, για κάθε συμμετέχοντα, οδήγησαν στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συνολικού πίνακα δεδομένων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε γραμμική και διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση, ώστε να προβλεφθεί η εκπομπή των ρύπων και η πιθανότητα ατυχήματος. Πραγματοποιήθηκε πλήθος δοκιμών πάνω στα μοντέλα πρόβλεψης ώστε να πληρούν τα κριτήρια ποιότητας και τελικώς να είναι αποδεχτά. Τα μαθηματικά μοντέλα που προέκυψαν είναι για την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος, την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου καθώς και για την πιθανότητα ατυχήματος.

Στον Πίνακα 6.1 και 6.2 που ακολουθούν, παρουσιάζονται **συνοπτικά τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης**, τα οποία περιλαμβάνουν επίσης τις τιμές ελαστικότητας, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή η σχετική επιρροή μεταξύ των μεταβλητών. Μέσω των πινάκων, θα γίνουν κατανοητά τα συμπεράσματα που θα ακολουθήσουν.

Πίνακας 6.1: Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο πιθανότητας ατυχήματος

Ανεξάρτητες Μεταβλητές		Πιθανότητα ατυχήματος			
		B	Wald	e	e*
Διακριτές	Σενάρια οικολογικής οδήγησης	-2,516	-5,977	-0,662	1,82
	Περιβάλλον οδήγησης	0,689	1,731	14,365	-39,54
	Τα χρήματα που ξοδεύει μηνιαία για καύσιμα	-0,233	-2,479	-0,363	1,00
	Αποδοχή μείωσης ορίων ταχύτητας	-1,220	-2,378	2,932	-8,07
Συνεχείς	Ηλικία οδηγού	-0,410	-2,224	-0,072	

Πίνακας 6.2: Γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσαερίων και εκπομπών ρύπων.

	Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Εκπομπή διοξειδίου άνθρακα				Εκπομπή μονοξειδίου άνθρακα				Εκπομπή οξειδίων αζώτου				Κατανάλωση καυσίμου			
		B	t	e	e*	B	t	e	e*	B	t	e	e*	B	t	e	e*
Διακριτές	Σενάριο οικολογικής οδήγησης	-19,450	-5,940	-0,059	9,55	-0,219	-9,751	-0,293	7,06	-0,020	-11,534	-0,347	20,00	-1,050	-6,791	-0,07	1,63
	Περιβάλλον οδήγησης	-40,306	-12,181	-0,121	19,80	-0,064	-2,770	-0,086	2,06	-0,004	-2,168	-0,069	4,00	-1,870	-11,678	-0,13	2,89
	Αριθμός των διαδρομών εντός μιας μέρας	-2,036	-2,099	-0,006	1,00					-0,001	-2,220	-0,017	1,00				
	Τα χρήματα που ξοδεύει για καύσιμα					-0,031	-2,309	-0,041	1,00								
	Φύλο οδηγού													-0,646	4,262	-0,040	1,00
Συνεχείς	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου	6,648	14,124	0,0002	1,00					0,002	6,002	0,0003	1,00				
	Μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του	-19,485	-2,644	0,0006	2,93												
	Τυπική απόκλιση πλευρικής επιτάχυνσης	8,583	3,326	0,0003	1,29												
	Χρόνος μέχρι την υπέρβαση της οδικής συνοριακής γραμμής					0,00005	2,689	0,000001	1,00								
	Τυπική απόκλιση ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου					0,012	4,284	0,0002	25,50								
	Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου (m)									-0,009	-2,120	-0,002	-4,50	-0,874	-2,374	-0,0006	1,00
	Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη													-0,095	-10,987	-0,00006	9,20
	R2	0,836				0,625				0,638				0,784			

6.2 Συνολικά συμπεράσματα

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το προηγούμενο κεφάλαιο, σε συνδυασμό με τα μαθηματικά μοντέλα και τη σχετική επιρροή μεταξύ των μεταβλητών που παρουσιάζονται του Πίνακα 6.2 και διατυπώνονται στη συνέχεια.

- **Ο οδηγός που έχει υιοθετήσει οικολογική συμπεριφορά έχει λιγότερες πιθανότητες να εμπλακεί σε ατύχημα.** Αυτό πιθανώς συμβαίνει, διότι ο οδηγός που οδηγεί οικολογικά διατηρεί πιο χαμηλές ταχύτητες και αποφεύγει απότομες επιβραδύνσεις και γενικότερα έχει περισσότερο χρόνο αντίδρασης και πέδησης.
- **Η οικολογική συμπεριφορά του οδηγού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εκπομπής των ρύπων στην ατμόσφαιρα** (διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου), γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στη διατήρηση σταθερών και μικρότερων ταχυτήτων από τον οδηγό ώστε να αποφεύγονται -όσο είναι δυνατό- απότομες αλλαγές της ταχύτητας.
- **Επιπλέον, με την οικολογική συμπεριφορά του οδηγού μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου.** Βασικός κανόνας της οικολογικής οδήγησης είναι η διατήρηση σταθερών και χαμηλών ταχυτήτων και η εναρμόνιση της ταχύτητας του οχήματος με την ταχύτητα των άλλων οδηγών. Συνεπώς, αποφεύγονται οι επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις του οχήματος και κατά συνέπεια η αύξηση της χρήσης του πεντάλ γκαζιού.
- **Το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου αυξάνει την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα,** γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο ότι ο οδηγός που κάνει περισσότερο απότομη χρήση του πεντάλ φρένου

κάνει επίσης περισσότερο απότομη χρήση του πεντάλ γκαζιού για την κίνηση του οχήματος.

- Αντίθετα, **το ποσοστό χρήσης πεντάλ συμπλέκτη μειώνει την κατανάλωση καυσίμου** καθώς ενδεχομένως οδηγεί σε καλύτερη σχέση του κιβωτίου ταχυτήτων και κατά συνέπεια σε καλύτερη απόδοση του κινητήρα και χαμηλότερες στροφές, δηλαδή μειώνονται η τριβή και οι ενεργειακές απώλειες.
- Επίσης, **ο οδηγός που τείνει να οδηγεί προς τη δεξιά πλευρά του οδοστρώματος** πιθανώς παρουσιάζει πιο προσεκτικό προφίλ οδήγησης σε σύγκριση με τους οδηγούς που οδηγούν πιο κοντά στην αριστερή λωρίδα που πιθανώς υποδηλώνει επιθετικό προφίλ και διάθεση για προσπέραση και κατά συνέπεια **μειώνει την εκπομπή των ρύπων στην ατμόσφαιρα και την κατανάλωση καυσίμου.**
- Επιπλέον, **η αποδοχή του οδηγού της μείωσης των ορίων ταχύτητας** δείχνει πιθανώς ότι έχει αυξημένη οδηγική συνείδηση, δηλαδή ότι είναι προσεκτικός οδηγός με χαμηλότερες ταχύτητες οδήγησης με αποτέλεσμα να **μειώνεται και η πιθανότητα να εμπλακεί σε οδικό ατύχημα.**

Στα στατιστικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, επιπλέον της επιρροής της οικολογικής οδήγησης διερευνήθηκε και η επιρροή επιπλέον παραγόντων στα οδικά ατυχήματα, στις εκπομπές ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου, όπως αναφέρεται παρακάτω.

- Τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας έχουν χαμηλότερο κίνδυνο να εμπλακούν σε κάποιο ατύχημα. Η ηλικία του οδηγού σχετίζεται πιθανώς με την εμπειρία του στην οδήγηση καθώς τη λιγότερο επιθετική συμπεριφορά.
- Επίσης, παρατηρείται ότι το περιβάλλον οδήγησης έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος. Πιο συγκεκριμένα, **στο ορεινό υπεραστικό δίκτυο παρατηρείται μεγάλη αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος**, παρόλο που ταυτόχρονα παρατηρείται μικρότερη μέση ταχύτητα οδήγησης. Η αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος πιθανώς οφείλεται στη δυσκολία της φύσης του περιβάλλοντος, δηλαδή, της δυσκολίας ορατότητας σε απότομες στροφές με μεγάλη κλίση.
- **Το ορεινό υπεραστικό περιβάλλον** έχει μεγάλες διακυμάνσεις στην κλίση και στη γεωμετρία του οδοστρώματος σε σχέση με το απλό υπεραστικό, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση του ποσοστού χρήσης του πεντάλ φρένου και γκάζι από τον οδηγό. Συνεπώς, **αυξάνει τις εκπομπές των ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου.**
- **Ο μέσος αριθμός των διαδρομών που οδηγεί ο συμμετέχοντας μέσα στη μέρα μειώνει την εκπομπή ρύπων** στο περιβάλλον και συγκεκριμένα στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου. Γεγονός που πιθανώς αποδίδεται στο ότι ο οδηγός που διανύει περισσότερες διαδρομές μέσα στη μέρα του έχει μεγαλύτερη εμπειρία.
- **Η εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα μειώνεται με την αύξηση των χρημάτων που διαθέτει ο κάθε συμμετέχοντας για τις μετακινήσεις του** μέσα σε ένα μήνα. Το ποσό των χρημάτων πιθανώς να είναι ανάλογο με τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει και την εμπειρία του στην οδήγηση.

6.3 Προτάσεις για προαγωγή του οικολογικού τρόπου οδήγησης

Από τα πορίσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας διαφαίνεται η μεγάλη συμβολή της οικολογικής οδήγησης στον περιορισμό των ατυχημάτων, στη μείωση των εκπομπών περιβαλλοντικών ρύπων καθώς και στην εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων κατά την οδήγηση σε υπεραστικά και ορεινά υπεραστικά δίκτυα. Επομένως καθίσταται αναγκαία η **θέσπιση κάποιων μέτρων από την πολιτεία** τα οποία θα έχουν ως βασικό στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς του οδηγού μέσω του οικολογικού τρόπου οδήγησης.

Αρχικά, **τα κέντρα εκπαίδευσης θα πρέπει να παρέχουν υψηλού βαθμού κατάρτιση στους υποψήφιους οδηγούς πάνω στην οικολογική οδήγηση** τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Ειδικότερα, θα πρέπει να υπάρξει αναβάθμιση και αναθεώρηση των υφιστάμενων εγχειριδίων έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι βασικές αρχές και κανόνες της οικολογικής συμπεριφοράς του οδηγού.

Παράλληλα, αντίστοιχες παρεμβάσεις απαιτείται να γίνουν και στο επίπεδο του σχολείου με την ενίσχυση των **εκπαιδευτικών προγραμμάτων κυκλοφοριακής αγωγής** έτσι ώστε να υπάρχει εξοικείωση πάνω στην οικολογική οδήγηση από μικρή ηλικία.

Η προαγωγή του οικολογικού τρόπου οδήγησης μπορεί να επιτευχθεί και μέσω της ευαισθητοποίησης του γενικού πληθυσμού πάνω στα θέματα της ρύπανσης του περιβάλλοντος καθώς και των ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο. Για τον σκοπό αυτό καθίσταται χρήσιμη η **διοργάνωση εκδηλώσεων σε επίπεδο δήμου/ κοινότητας** οι οποίες θα αποσκοπούν στην ενημέρωση των πολιτών πάνω στα εν λόγω θέματα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η δια βίου μάθηση των οδηγών, ιδιαίτερα εκείνων που ανήκουν στην τρίτη ηλικία και ενδεχομένως δεν έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες μέσω του διαδικτύου λόγω μικρότερου βαθμού εξοικείωσης με την τεχνολογία.

Ολοκληρώνοντας, η **ανάπτυξη των έξυπνων συστημάτων ελέγχου στα νέα αυτοκίνητα** καλείται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αλλαγή της συμπεριφοράς των οδηγών. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν την τήρηση ασφαλούς απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, την έγκαιρη πέδηση όταν ανιχνεύεται εμπόδιο στο δρόμο, την τήρηση των ορίων οδήγησης με αναγνώριση της σηματοδότησης καθώς και την ανίχνευση της κόπωσης του οδηγού. Η αξιοποίηση όλων αυτών των καινοτόμων τεχνολογιών μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερο οικολογική οδήγησης και να έχει θετικό αντίκτυπο στην οδική ασφάλεια με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος και μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

6.4 Περαιτέρω έρευνα

Λαμβάνοντας υπόψη την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας έγινε αντιληπτό ότι υπάρχουν αρκετά θέματα που δεν έχουν ερευνηθεί λεπτομερώς αναφορικά με τον οικολογικό τρόπο οδήγησης. Επομένως, θα παρατεθούν ορισμένες **προτάσεις** οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν **για τη διενέργεια μελλοντικών ερευνών και πειραμάτων** πάνω στον οικολογικό τρόπο οδήγησης.

- Συμμετοχή **μεγαλύτερου αριθμού οδηγών** προκειμένου να προκύψουν περισσότερα στατιστικά σημαντικά συμπεράσματα πάνω στις θετικές επιδράσεις του οικολογικού τρόπου οδήγησης.
- Συμμετοχή **όλων των ηλικιακών ομάδων** καθώς και εκπροσώπηση ατόμων που ζουν σε υπεραστικές περιοχές και χωριά.
- Οδήγηση σε **διαφορετικές καιρικές συνθήκες** (π.χ. περιορισμένη ορατότητα λόγω ομίχλης, ολισθηρό οδόστρωμα λόγω βροχής, κακή ποιότητα οδοστρώματος σε επαρχιακούς δρόμους).
- Εφαρμογή **διαφορετικών αιφνίδιων και μη αναμενόμενων γεγονότων** κατά την οδήγηση με τον προσομοιωτή (π.χ. επικίνδυνοι ελιγμοί αυτοκινήτων σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, διάσχιση δρόμου από πεζό ο οποίος παραβιάζει την ένδειξη του σηματοδότη).
- Αξιοποίηση **διαφορετικών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης** από εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την παρούσα Διπλωματική Εργασία.
- Διερεύνηση της επιρροής του οικολογικού τρόπου οδήγησης στην εξοικονόμηση καυσίμων και στη μείωση των καυσαερίων ανάλογα με τον **τύπο καυσίμου που χρησιμοποιεί το όχημα** (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρικό ρεύμα ή συνδυασμός αυτών).
- Αξιοποίηση των **σύγχρονων έξυπνων συστημάτων ελέγχου** του οχήματος για διερεύνηση της επιρροής τους στην οικολογική οδήγηση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allison Craig K., Stanton Neville A., Fleming James M., Xingda Yan, Lot Roberto, “How does eco-driving make us feel? Considering the psychological effects of eco-driving”, *Applied Ergonomics* Volume 101, May 2022, 103680
2. Arroyo-López Pilar, Velázquez-Martínez Josué C., Gámez-Pérez Karla M., “Past behavior as a predictor of eco-driving practices: The case of a sustained intervention in a Mexican transportation company”, *International Journal of Sustainable Transportation* Volume 16, Issue 11, 2022, Pages 989-1002
3. Barla Philippe, Gilbert-Gonthier Mathieu, Castro Marco Antonio Lopez, Miranda-Moreno Luis, “Eco-driving training and fuel consumption: Impact, heterogeneity and sustainability”, *Energy Economics* Volume 62, February 2017, Pages 187-194
4. Boriboonsomsin, K.; Barth, M.J.; Vu, A. “Evaluation of driving behavior and attitude toward eco-driving”, In *Proceedings of the Transportation Research Board 90th Annual Meeting*, Washington, DC, USA, 23–27 January 2011
5. CDC (Centers for Disease Control and Prevention) “Leading Causes of Death and Injury”, 2023, <https://www.cdc.gov/injury/wisqars/animated-leading-causes.html>
6. Dehkordi Sepehr G., Larue Grégoire S., Cholette Michael E., Rakotonirainy Andry, Rakha Hesham A., “Ecological and safe driving: A model predictive control approach considering spatial and temporal constraints”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Volume 67, February 2019, Pages 208-222
7. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, «Air quality in Europe», 2023, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/air-quality-in-europe-2022>
8. Henning, W., “Ford-Eco-Driving–Best Practice Training & Evaluation, Improving Fuel Economy, Reducing CO₂”, In *Proceedings of the Ecodriven Final Conference*, Prague, Czech Republic, 12–13 November 2008
9. Jeffreys Ian, Graves Genevieve, Roth Michael, “Evaluation of eco-driving training for vehicle fuel use and emission reduction: A case study in Australia”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Volume 60, May 2018, Pages 85-91
10. Morello Eugenio, Toffolo Silvana, Magra Giorgio, “Impact analysis of ecodriving behavior using suitable simulation platform (ICT-EMISSIONS project)”, 6th *Transport Research Arena* April 18-21, Torino, 2016
11. Nævestad Tor-Olav, “Eco driving as a road safety measure: Before and after study of three companies”, *Institute of Transport Economics*, Gaustadalléen, Oslo, 2022
12. Rolim Catarina C., Baptistaa Patricia C., Duartea Gonçalo O., Farias Tiago L., “Impacts of on-board devices and training on Light Duty Vehicle Driving Behavior”, a *IDMEC - Instituto Superior Técnico*, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2014

13. Strömberg Helena K., Karlsson I.C. MariAnne, “Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers – Results from a field trial“, Design & Human Factors, Product and Production Development, Chalmers University of Technology, SE-412 96 Göteborg, Sweden, 2013
14. Wang Yang and Boggio-Marzet Alessandra, “Evaluation of Eco-Driving Training for Fuel Efficiency and Emissions Reduction According to Road Type“, Transport Research Centre, TRANSyT, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018
15. WHO (World Health Organization) “Road traffic injuries“, 2022, <https://www.who.int>
16. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ, Στατιστικά στοιχεία τροχαίας, <https://www.astynomia.gr/>
17. ΕΛΣΤΑΤ, Οδικά τροχαία ατυχήματα, 2021, <http://www.statistics.gr/>
18. ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ Κλιματική αλλαγή: <<Τα αέρια του θερμοκηπίου που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη>>, 2023, <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/el/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/draft-treaty-establishing-a-constitution-for-europe>
19. Κανελλαΐδης Γ., Γιαννής Γ., Βαρδάκη Σ., Λαΐου Α., “Ανάπτυξη Στρατηγικού Σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, 2011-2020“, Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Οδοποιίας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα, 2012
20. Κοκκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., “Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική με Εφαρμογές“, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2010
21. Πετρίδης Δ., “Ανάλυση Πολυμεταβλητών Τεχνικών, Εφαρμογές Περιπτώσεων“, Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015
22. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Γκόλιας Ι. Κ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ. Χ., “Κυκλοφοριακή Τεχνική” Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2009
23. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας, “Οδική Ασφάλεια” Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994
24. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ. Χ., Τσαμπούλας Δ. Α., “Διαχείριση Κυκλοφορίας” Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 199

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Έντυπο 1: Ερωτηματολόγιο πειράματος

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 5 - 15773 ΖΩΓΡΑΦΟΥ
ΤΗΛ.: 210 772 1285, 210 772 1331 - email: transport@mail.ntua.gr



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPT. OF TRANSPORTATION PLANNING AND ENGINEERING
HEROON POLYTECHNIQOU 5 - GR-15773 ZOGRAFOU - ATHENS
Phone: +30 210 772 1285, +30 210 772 1331 - email: transport@mail.ntua.gr

www.transport.ntua.gr

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Α/Α συμμετέχοντα: ____.

Ημερομηνία πειράματος: ____/____/____.

A. Οδική εμπειρία συμμετέχοντα:

- 1 Πόσα χρόνια έχετε το δίπλωμα οδήγησης; ____χρόνια_
- 2 Πόσα χρόνια οδηγείτε; ____χρόνια
- 3 Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα **εντός πόλης**;
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7
☐ Λιγότερες: ____ημέρες κατά τη διάρκεια ενός μήνα.
- 4 Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα **σε αυτοκινητόδρομο**;
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7
☐ Λιγότερες: ____ημέρες κατά τη διάρκεια ενός μήνα.
- 5 Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα **σε επαρχιακή οδό** (όχι αυτοκινητόδρομος);
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7
☐ Λιγότερες: ____ημέρες κατά τη διάρκεια ενός μήνα.
- 6 Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα **εντός πόλης**;
☐ <20 ☐ 20-50 ☐ 50-100 ☐ 100-150 ☐ >150
- 7 Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα **σε αυτοκινητόδρομο**;
☐ <20 ☐ 20-50 ☐ 50-100 ☐ 100-150 ☐ >150

8 Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα **σε επαρχιακή οδό** (όχι αυτοκινητόδρομος);

☐ <20 ☐ 20-50 ☐ 50-100 ☐ 100-150 ☐ >150

9 Πόσες διαδρομές κάνετε τη μέρα;

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ >5

10 Πόσα χιλιόμετρα διανύετε κατά μέσο όρο τη μέρα; _____χιλιόμετρα_

B. Όχημα:

1 Κατοχή οχήματος:

☐ Ναι ☐ Όχι

2 Τι καύσιμο χρησιμοποιείται κυρίως για τις μετακινήσεις σας:

☐ βενζίνη ☐ πετρέλαιο ☐ υγραέριο ☐ φυσικό αέριο ☐ ηλεκτροκίνηση

3 Πόσα χρήματα ξοδεύετε τον μήνα για καύσιμο για τις μετακινήσεις σας;

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

4 Τι χρονολογίας είναι το όχημα που οδηγείτε; _____έτος

Γ. Οδική συμπεριφορά συμμετέχοντα και οικολογική οδήγηση:

1 Γνωρίζετε τον όρο «οικολογική οδήγηση»;

☐ Ναι ☐ Όχι

2 Θεωρείτε ότι οδηγείτε οικολογικά:

☐ καθόλου ☐ σπάνια ☐ μερικές φορές ☐ συχνά ☐ συνέχεια

3 Συμφωνείτε με τη **μείωση των όριων ταχύτητας** για οικολογικό σκοπό:

☐ καθόλου ☐ λίγο ☐ αρκετά ☐ πολύ ☐ πάρα πολύ

4 Αξιολογείτε εάν οδηγείτε οικολογικά απαντώντας στα παρακάτω:

Κατάταξη από το 1 μέχρι το 5.

Το 1 αντιστοιχεί σε καθόλου, το 2 σε σπάνια, το 3 σε μερικές φορές, το 4 σε συχνά, το 5 σε συνέχεια.

- ☐ Σέβεστε τα όρια ταχύτητας και οδηγείται με χαμηλές ταχύτητες
☐ Διατηρείτε, όσο είναι δυνατόν, σταθερή ταχύτητα
☐ Συντονίζετε με την ταχύτητα των άλλων οχημάτων
☐ Κρατάτε τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000
☐ 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
☐ Παίρνουμε φόρα για να ανέβουμε τις ανηφόρες
- 5 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
- 6 Πόσο **σημαντική** θεωρείτε την οικολογική οδήγηση:
- ☐ καθόλου ☐ λίγο ☐ αρκετά ☐ πολύ ☐ πάρα πολύ

Δ. Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα:

- 1 Ηλικία: _____ ετών
- 2 Φύλο: ☐ Άντρας ☐ Γυναίκα ☐ Άλλο
- 3 Σας αρέσει η οδήγηση; ☐ Ναι ☐ Όχι ☐ Ουδέτερο
- 4 Ποια είναι η οικογενειακή σας κατάσταση;
- ☐ Ανύπαντρος/η ☐ Παντρεμένος/η ☐ Διαζευγμένος/η ☐ Χήρος/α
- 5 Ποιο είναι το ετήσιο οικογενειακό σας εισόδημα;
- ☐ <10.000 ευρώ ☐ 10.000-25.000 ευρώ ☐ >25.000 ευρώ
- 6 Ποιο είναι το μορφωτικό σας επίπεδο;
- ☐ Πρωτοβάθμια ☐ Δευτεροβάθμια ☐ ΑΕΙ ☐ Μεταπτυχιακό
☐ Διδακτορικό ☐ Άλλο