



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση ωφελειών της οικολογικής οδήγησης σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο με προσομοιωτή οδήγησης



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

ΣΟΥΣΟΥΝΗ ΜΑΡΙΑ ΙΩΑΝΝΑ

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η συνεισφορά όσων συνέβαλαν για την εκπόνησή της είναι υψίστης σημασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την ανάθεση της παρούσας έρευνας και την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια εκπόνησής της. Η ολοκλήρωση της εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την καθοδήγηση του και τις οδηγίες που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της.

Θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου επίσης, στον υποψήφιο Διδάκτορα κύριο Μάριο Σεκαδάκη για την πολύτιμη βοήθειά του σε σημαντικά ζητήματα της εργασίας, και τις υποδείξεις του σε αρκετά ερωτήματα που προέκυψαν, από το αρχικό στάδιο μέχρι και το πέρας της Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Απόστολο Ζιακόπουλο, Μετα-Διδάκτορα Ε.Μ.Π, για την κατάλληλη καθοδήγηση σε καίρια ζητήματα της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν σε όσους συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία, καθώς ο ρόλος τους ήταν αρκετά σημαντικός για την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθιά την οικογένεια μου και τους φίλους μου, για την άμετρη συμπαράσταση, υποστήριξη και κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου. Υπήρξαν ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και τους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2024
Μαρία-Ιωάννα Σουσουνη

Ανάλυση ωφελειών της οικολογικής οδήγησης σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο με προσομοιωτή οδήγησης

Σουσούνη Μαρία-Ιωάννα

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

Σύνοψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι οι ωφέλειες που μπορεί να επιφέρει η οικολογική οδήγηση σε αστικές οδούς, καθώς και αυτοκινητόδρομους. Για τον σκοπό αυτό, διεξήχθη πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης με τη συμμετοχή 39 ατόμων νεαρής ηλικίας για τη συλλογή των οδικών δεδομένων, των οποίων τα χαρακτηριστικά συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίου. Οι συμμετέχοντες οδήγησαν αρχικά με την καθημερινή τους συμπεριφορά (μη οικολογικά), κι έπειτα από σύντομη ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση, οδήγησαν και οικολογικά. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια στατιστικών μοντέλων. Ειδικότερα, δημιουργήθηκαν μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης, καθώς επίσης και μοντέλα διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης. Τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν αφορούν την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, την εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα, την εκπομπή οξειδίων του αζώτου και την πιθανότητα ατυχήματος του οδηγού. Από την ανάλυση προέκυψε, ότι η οικολογική οδήγηση συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου καθώς και στην πιθανότητα εμπλοκής του οδηγού σε ατύχημα. Τέλος, παρατηρήθηκε πως από τους δύο τύπους οδών που εξετάστηκαν, στο αστικό περιβάλλον η εκπομπή ρύπων είναι μικρότερη σε σχέση με τον αυτοκινητόδρομο, σε αντίθεση με την πιθανότητα ατυχήματος, η οποία είναι μεγαλύτερη.

Λέξεις κλειδιά: οικολογική οδήγηση, προσομοιωτής οδήγησης, αστικό περιβάλλον, αυτοκινητόδρομος, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, οδικά ατυχήματα, παλινδρόμηση

Analysis of eco-driving benefits in urban and highway environments using driving simulator

Sousouni Maria-Ioanna

Supervisor | George Yannis Professor N.T.U.A.

Abstract

The scope of this diploma thesis is to investigate the benefits of eco-driving in urban roads and highways. For this purpose, an experiment was conducted in a driving simulator, and 39 young people participated to collect road data. Additionally in order to gather their stated characteristics, a questionnaire was distributed during the experiment. At first, participants had to drive as usually, and after an eco-driving briefing, they drove ecological. The results were analyzed using statistical models. Linear regression models were deployed, as well as binomial logistic regression models. The developed statistical models were related to carbon dioxide emission, carbon monoxide emission, nitrogen oxide emission and the accident probability. It was shown that eco-driving contributes to reducing the emission of carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxide and the probability of the driver being involved in an accident. Finally, it was observed that of the two types of roads examined, the emission of pollutants reduced in urban environment compared to highways, in contrast to the possibility of an accident, which is higher.

Keywords: eco-driving, driving simulator, urban environment, highway, carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x), road accidents, regression

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, είναι η **ανάλυση ωφελειών της οικολογικής οδήγησης σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο με προσομοιωτή οδήγησης**. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων (CO₂, CO, NO_x) και στην πιθανότητα πρόκλησης οδικών ατυχημάτων.

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε **προσομοιωτή οδήγησης**, με την συμμετοχή 39 ατόμων νεαρής ηλικίας (18-30 ετών), οι οποίοι χρειάστηκε να οδηγήσουν τέσσερις φορές, καθώς επίσης να απαντήσουν ερωτηματολόγιο το οποίο αφορούσε τα χαρακτηριστικά τους και θα συνέβαλλε στην συλλογή δεδομένων. Αρχικά, οδήγησαν τα δύο σενάρια με την καθημερινή τους οδήγηση (μη οικολογικά) και στη συνέχεια οδήγησαν τα ίδια σενάρια με οικολογική συμπεριφορά

Η επεξεργασία των δεδομένων που εξήγαγε ο προσομοιωτής, έγινε μέσω **της γλώσσας προγραμματισμού R** και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου, δημιούργησαν το συνολικό πίνακα δεδομένων. Έπειτα από πλήθος δοκιμών δημιουργήθηκαν μοντέλα πρόβλεψης, χρησιμοποιώντας την γραμμική και διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση, τα οποία σχετίζονται με την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων και την πιθανότητα οδικού ατυχήματος. Τα μαθηματικά μοντέλα που προέκυψαν ικανοποιούν τα κριτήρια ποιότητας και αποδοχής τους, και αφορούν την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου καθώς και την πιθανότητα εμπλοκής του οδηγού σε ατύχημα.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1 και 2) φαίνονται συνοπτικά τα μαθηματικά μοντέλα, καθώς και οι τιμές από τις τιμές της ελαστικότητας τους για τον προσδιορισμό της επιρροής μεταξύ των μεταβλητών.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | B | z value | e | e* |
|------------------------|------------------------------------|---------|---------|--------|-------|
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -2,6079 | -5,222 | -0,900 | 1,037 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | -2,3255 | -4,765 | -0,868 | 1,000 |
| Συνεχείς | Χρόνια κατοχής διπλώματος οδήγησης | -0,2538 | -2,299 | -0,636 | 1,000 |

Πίνακας 1: Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο πιθανότητας ατυχήματος

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) | | | | Εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) | | | | Εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NO _x) | | | |
|------------------------|--|---|--------|-----------|--------|--------------------------------------|---------|--------|--------|--|---------|------------|----------|
| | | B | t | e | e* | B | t | e | e* | B | t | e | e* |
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -0,0938 | -5,107 | -0,014 | 1,000 | -0,48972 | -10,688 | -0,982 | 2,738 | -0,4945 | -11,303 | -0,207 | -2,771 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | 0,3728 | 14,002 | 0,056 | -3,974 | 0,47216 | 7,111 | 0,946 | -2,640 | 1,04 | 19,55 | 0,436 | 5,827 |
| | Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας | -0,02308 | -3,936 | -0,021 | 1,476 | -0,02981 | -2,038 | -0,358 | 1,000 | | | | |
| | Φύλο | | | | | | | | | 0,8924 | 2,051 | 0,075 | 1,000 |
| Συνεχείς | Απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου | 0,01901 | 2,202 | 0,0000288 | 1,000 | 0,07518 | 3,491 | 0,02 | 1,000 | | | | |
| | Χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα | | | | | | | | | -0,000037 | -5,401 | -0,0000002 | 1,000 |
| | Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου | | | | | | | | | 0,8165 | -3,686 | -0,0003 | 2215,138 |
| R ² | | 0,789 | | | | 0,690 | | | | 0,813 | | | |

Πίνακας 2: Γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων

Βάσει των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης, προκύπτουν τα **αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.**

- **Η οικολογική οδήγηση, συμβάλει άμεσα στη μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων,** συγκεκριμένα στη μείωση της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου. Το γεγονός αυτό, πιθανόν οφείλεται στη μείωση της ταχύτητας οδήγησης, το οποίο οδηγεί στην αποφυγή ελιγμών και απότομων εναλλαγών ταχύτητας.
- **Η οικολογική οδηγική συμπεριφορά μπορεί να μειώσει την πιθανότητα του οδηγού να εμπλακεί σε οδικό ατύχημα.** Αυτό πιθανόν να οφείλεται, στο ότι οι οδηγοί με οικολογική συμπεριφορά οδηγούν με σταθερή και μειωμένη ταχύτητα, έτσι σε περίπτωση ατυχήματος έχουν περισσότερο χρόνο αντίδρασης για την αποφυγή του.
- **Ο μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο οδηγός εντός μια μέρας, επηρεάζει την εκπομπή του διοξειδίου και του μονοξειδίου του άνθρακα.** Συγκεκριμένα όσες περισσότερες διαδρομές κάνει, τόσο μικρότερες εκπομπές προκαλεί και αυτό πιθανόν οφείλεται στο ότι, ταυτόχρονα αυξάνεται και η οδηγική του εμπειρία.
- Επιπλέον, **η οδήγηση σε αυτά τα περιβάλλοντα δείχνει να επηρεάζει τις εκπομπές και των τριών ατμοσφαιρικών ρύπων.** Παρατηρείται πως στην οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο αυξάνονται οι εκπομπές των ρύπων σε σχέση με ο αστικό δίκτυο, πιθανόν λόγω του ότι αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες οδήγησης σε τέτοιους τύπους οδών.
- **Το ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου δείχνει να επηρεάζει την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου.** Όσο ο οδηγός απομακρύνεται από τη μέση και οδηγεί πιο κοντά στη δεξιά οριογραμμή της οδού, μειώνονται οι

εκπομπές των ρύπων, ενδεχομένως για τον λόγο ότι πρόκειται για ένα λιγότερο επιθετικό προφίλ οδήγησης, χωρίς διάθεση για προσπέραση.

- Αντίστοιχα, η οδήγηση κοντά στη δεξιά οριογραμμή του δρόμου, δείχνει να ελαττώνει τις εκπομπές του διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα.
- Επίσης, το φύλο του οδηγού επηρεάζει τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου. Πιο συγκεκριμένα, η οδηγική συμπεριφορά των γυναικών παρατηρήθηκε ότι αυξάνει τις εκπομπές, πιθανόν λόγω του ότι δεν οδηγούν με την ίδια σταθερότητα που οδηγούν οι άντρες.
- Ο χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα, μπορεί να συμβάλλει στην εκπομπή ρύπων. Μεγαλύτερος χρόνος συνεπάγεται με μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι ο οδηγός έχει περισσότερο χρόνο να αντιδράσει, οπότε αποφεύγει τις απότομες επιβραδύνσεις.
- Το πόσα χρόνια οι οδηγοί κατέχουν το δίπλωμα οδήγησης, είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα. Οι οδηγοί που κατέχουν περισσότερα χρόνια το δίπλωμα οδήγησης, έχουν λιγότερες πιθανότητες να εμπλακούν σε ατύχημα, ενδεχομένως λόγω της αυξημένης οδηγικής τους εμπειρίας.
- Τέλος, το περιβάλλον οδήγησης συμβάλλει και στην πιθανότητα ατυχήματος, καθώς στο αστικό οδικό δίκτυο, είναι πιο πιθανόν να εμπλακεί ο οδηγός σε ατύχημα απ' ότι στον αυτοκινητόδρομο, πιθανόν επειδή πρόκειται για πιο προστατευμένο περιβάλλον.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 13 |
| 1.1. Γενική Ανασκόπηση | 13 |
| 1.2. Στόχος | 14 |
| 1.3. Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας | 14 |
| 1.4. Δομή | 16 |
| 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 17 |
| 2.1. Γενικά..... | 17 |
| 2.2. Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες..... | 17 |
| 2.3. Σύνοψη | 20 |
| 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ | 23 |
| 3.1. Εισαγωγή..... | 23 |
| 3.2. Μαθηματικά Πρότυπα..... | 23 |
| 3.3. Κριτήρια αποδοχής μοντέλου | 24 |
| 3.4. Εξήγηση αποτελεσμάτων..... | 26 |
| 3.5. Λειτουργία λογισμικού στατιστικής ανάλυσης..... | 27 |
| 4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 29 |
| 4.1. Εισαγωγή..... | 29 |
| 4.2. Πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης..... | 29 |
| 4.3. Επεξεργασία στοιχείων..... | 36 |
| 4.4. Βάση δεδομένων | 42 |
| 4.5. Περιγραφικά χαρακτηριστικά δείγματος..... | 44 |
| 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 49 |
| 5.1. Γενικά..... | 49 |
| 5.2. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα | 49 |
| 5.3. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα .. | 55 |
| 5.4. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου | 60 |
| 5.5. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την πιθανότητα ατυχήματος..... | 67 |
| 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 73 |
| 6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων..... | 73 |
| 6.2. Συνολικά συμπεράσματα..... | 74 |
| 6.3. Προτάσεις για προαγωγή του οικολογικού τρόπου οδήγησης..... | 75 |
| 6.4. Περαιτέρω έρευνα..... | 76 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 78 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 81 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική Ανασκόπηση

Η διερεύνηση και η ανάλυση των **εκπομπών οδικών μεταφορών**, αποτελεί ουσιαστική πτυχή στην σύγχρονη κοινωνία, έχοντας ιδιαίτερη επίδραση στην διασφάλιση της ποιότητας του αέρα και στις προσπάθειες αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Κατά την καύση καυσίμων, παράγονται διάφορες χημικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου (NO_x), του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), καθώς και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις αυτών των εκπομπών συνδέονται με ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην υγεία τόσο των ανθρώπων, όσο και του περιβάλλοντος. Για τον περιορισμό αυτών των αρνητικών επιπτώσεων, έχουν αναληφθεί πολλές πρωτοβουλίες ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον τομέα των μεταφορών.

Η **ατμοσφαιρική ρύπανση** αποτελεί μείζον πρόβλημα για την υγεία για των Ευρωπαίων. Σύμφωνα με την έρευνα Fameli K.M. et al. 2015, το ένα τρίτο των Ευρωπαίων που ζουν σε αστικές περιοχές εκτίθενται σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων, που ξεπερνούν τα προκαθορισμένα πρότυπα ποιότητας αέρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η κυκλοφορία θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους ρυπογόνους τομείς, και σημαντική αιτία για τις υπερβάσεις των οριακών τιμών για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως σε αστικές περιοχές. Τα επιβατικά και τα βαρέα οχήματα είναι οι κύριοι συντελεστές των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x), ενώ παράλληλα τα επιβατικά οχήματα συγκροτούν βασική κατηγορία εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε νομοθεσία για τεχνολογίες κινητήρων και καυσίμων, που έχουν θετικό αντίκτυπο στις εκπομπές λόγω της οδικής κυκλοφορίας. Κατά συνέπεια, οι συνολικές εκπομπές μειώθηκαν σημαντικά (περίοδος αναφοράς 1990–2011), συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών των τριών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Οι **επιπτώσεις που η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επιφέρει στην ανθρώπινη υγεία**, είναι αρκετά δυσμενείς. Οι τυπικές δυσμενείς επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία περιλαμβάνουν καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα και νοσηρότητα, ενώ από πρόσφατες εκτιμήσεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (2020), υπήρξαν 238.000 πρόωροι θάνατοι στην Ευρωπαϊκή Ένωση, λόγω της έκθεσης των ανθρώπων σε ρύπους μικρών αιωρούμενων σωματιδίων.

Μεταξύ αυτών, δυσμενείς είναι οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και για το περιβάλλον, εφόσον συνδέεται άρρηκτα με την **κλιματική αλλαγή**. Η κλιματική αλλαγή με τη μορφή της υπερθέρμανσης του πλανήτη, σε συνδυασμό με άλλα κλιματικά φαινόμενα, οδηγού σε τροποποιήσεις ή ακόμη και εγκατάλειψη ορισμένων περιοχών του πλανήτη. Η αύξηση της θερμοκρασίας προβλέπεται να συνεχιστεί και εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά 1,4-5,8 °C έως το 2100 (Kjellström et al. 2011), δημιουργώντας πρόσθετη επιβάρυνση στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Στην Ελλάδα, ο τομέας των μεταφορών αποτελεί μία από τις βασικότερες πηγές των αερίων

του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας έως και στο 22% των συνολικών εκπομπών (Paschalidou A.K et al 2021).

Η **οικολογική οδήγηση** αναδεικνύεται ως μια σημαντική συμβολή στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Πρόκειται για μία μέθοδο βασισμένη στη συμπεριφορά του οδηγού, και μπορεί να επηρεάσει την οικονομία καυσίμου και την ένταση εκπομπών ενός οχήματος για τη μείωση των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Πέραν αυτών η οικολογική οδήγηση μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση των κινδύνων ατυχημάτων, π.χ. μείωση κατά 40% του ποσοστού ατυχημάτων, μείωση κατά 52% του κόστους ατυχημάτων και βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα **τροχαία ατυχήματα** προκαλούν περίπου 1,3 εκατομμύρια θανάτους και 50 εκατομμύρια τραυματισμούς κάθε χρόνο. Στην Ελλάδα οι νεκροί των τροχαίων ατυχημάτων κυμαίνονται στους 1300 ετησίως, καταλαμβάνοντας μια από τις χαμηλότερες θέσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Yannis 2007). Στα πρόσφατα στατιστικά της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), για το έτος 2021, παρατηρήθηκε αύξηση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων κατά 15,1% σε σύγκριση με τα στατιστικά της προηγούμενης χρονιάς και αύξηση κατά 13,8% των παθόντων. Το μεγαλύτερο ποσοστό νεκρών και παθόντων παρατηρείται στην ηλικιακή ομάδα των 25-49 ετών (36,7%) και σε άνδρες οδηγούς (84%).

1.2. Στόχος

Σύμφωνα με τα δεδομένα της παραπάνω ενότητας, είναι κατανοητό ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση και η έλλειψη οδικής ασφάλειας, μπορούν να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για το περιβάλλον.

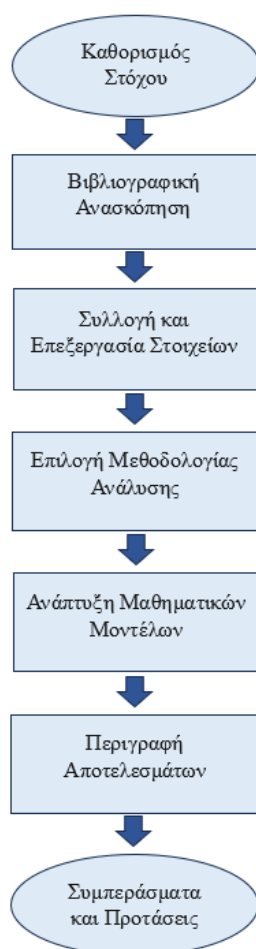
Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, είναι η **ανάλυση ωφελειών της οικολογικής οδήγησης σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο με προσομοιωτή οδήγησης**. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων (CO₂, CO, NO_x) και στην πιθανότητα πρόκλησης οδικών ατυχημάτων.

Για την υλοποίηση της έρευνας, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης, απ' όπου συλλέχθηκαν στοιχεία για την συμπεριφορά του οδηγού, από ένα δείγμα συμμετεχόντων. Σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των οδηγών, τα οποία συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίου, έγινε η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης και η εφαρμογή της, ώστε να προκύψουν ορθά συμπεράσματα. Επίσης, σημαντικός στόχος της εργασίας, αποτελεί η παράθεση του θεωρητικού υποβάθρου, προκειμένου να προκύψουν μαθηματικά μοντέλα, τα οποία ποσοτικοποιούν την επιρροή της οικολογικής οδήγησης σε διάφορους παράγοντες.

1.3. Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο στόχος της διπλωματικής εργασίας, χρειάζεται η **ανάλυση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξή του**. Αφού

καθορίστηκε ο στόχος και παράλληλα επιλέχθηκε το θέμα της μελέτης, είναι αναγκαία η εκτενής έρευνα σχετικών εργασιών και μεθοδολογιών ανάλυσης χρησιμοποιώντας πρόσφατη διεθνή βιβλιογραφία, ώστε να βρεθούν τα ζητήματα στα οποία θα εστιάσει η έρευνα. Σε συνέχεια του καθορισμού της μεθοδολογίας, ακολουθεί η συλλογή των στοιχείων, μέσω της διεξαγωγής πειραματικής διαδικασίας σε κατάλληλο περιβάλλον οδήγησης στον προσομοιωτή. Έπειτα, είναι απαραίτητη η επεξεργασία των στοιχείων, ώστε να επιλεγεί ο κατάλληλος τρόπος ανάλυσης για να προκύψουν ορθά συμπεράσματα. Με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R, θα αναπτυχθούν τα κατάλληλα γραμμικά και διωνυμικά μαθηματικά μοντέλα, τα οποία θα προβλέπουν την επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην εκπομπή ρύπων και συγκεκριμένα των CO₂, CO, NO_x, καθώς και στην πιθανότητα ατυχήματος στο οδικό δίκτυο. Τέλος, καθορίζεται η σωστή ερμηνεία των μοντέλων, τα οποία θα οδηγήσουν στα αποτελέσματα της έρευνας. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τα συμπεράσματα της μελέτης, τα οποία συνοψίζονται με σκοπό να είναι πιο κατανοητά. Ωστόσο, η αναφορά κάποιων προτάσεων για περαιτέρω έρευνα, θα συμβάλουν στη μελλοντική διερεύνηση του αντικειμένου της μελέτης αυτής. Τα βήματα της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Γράφημα 1.1).



Γράφημα 1.1: Βήματα μεθοδολογίας Διπλωματικής Εργασίας

1.4. Δομή

Σε αυτή την ενότητα, καθορίζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας, ώστε να επιτευχθεί ομαλή ροή μεταξύ των κεφαλαίων της. Παρακάτω φαίνεται η σύνοψη των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το **Κεφάλαιο 1**, το οποίο είναι εισαγωγικό κεφάλαιο και συνοψίζει τα θέματα που θα εξεταστούν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Πιο συγκεκριμένα θίγει, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την πιθανότητα ατυχημάτων. Επιπλέον, περιγράφεται ο στόχος και η μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας, παραθέτοντας το διάγραμμα ροής.

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελείται από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία περιέχει συναφείς έρευνες, πειραματικές διαδικασίες και μεθοδολογίες, που παρέχουν χρήσιμα ευρήματα για την παρούσα διπλωματική εργασία. Βάσει των αποτελεσμάτων των ερευνών αυτών, καθώς και παραγόντων που δεν έχουν εξεταστεί πλήρως, καθορίζεται το αντικείμενο της έρευνας της παρούσας εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 3** εξηγείται το θεωρητικό υπόβαθρο που θα χρησιμοποιηθεί για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Αρχικά, περιγράφονται οι τύποι των μαθηματικών μοντέλων, καθώς και τα κριτήρια για την αποδοχή τους. Έπειτα, γίνεται επεξήγηση των εντολών της γλώσσας προγραμματισμού που θα χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη της στατιστικής ανάλυσης.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρατίθεται η συλλογή και η επεξεργασία των στοιχείων που συλλέχθηκαν από τον προσομοιωτή οδήγησης και το ερωτηματολόγιο. Επίσης γίνεται αναλυτική περιγραφή της διεξαγωγής του πειράματος, καθώς και των χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων και των σεναρίων οδήγησης. Στη συνέχεια, περιγράφεται ο τρόπος εξαγωγής των δεδομένων από τον προσομοιωτή και η διαδικασία επεξεργασίας τους με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια ενδιαφέρον χαρακτηριστικά του δείγματος.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, καθώς και τα βήματα που απαιτήθηκαν για να προκύψουν τα μοντέλα. Επιπλέον, ερμηνεύονται οι συντελεστές τους και γίνεται εξέταση των κριτηρίων αποδοχής και της ποιότητάς τους. Τα μοντέλα διακρίνονται σε μοντέλα πρόβλεψης της εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων και σε μοντέλο πρόβλεψης της πιθανότητας ατυχήματος.

Το **Κεφάλαιο 6** περιέχει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των μαθηματικών μοντέλων και επισυνάπτονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σχετικές με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, αναφέρεται η βιβλιογραφία της διπλωματικής εργασίας, η οποία περιλαμβάνει όλες τις πηγές και τις έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνησή της.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Γενικά

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση επικεντρώνεται στον καθορισμό του θέματος της διπλωματικής εργασίας, καθώς και στην εύρεση της βέλτιστης μεθοδολογίας για την ανάλυση του. Πρόκειται για ένα ουσιαδές κεφάλαιο, καθώς παρουσιάζονται έρευνες που σχετίζονται με το θέμα της διπλωματικής εργασίας και τις αντίστοιχες μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν. Οι έρευνες αυτές, εξετάζουν το **πώς η οικολογική οδήγηση μπορεί να συμβάλει στην μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων, καθώς και στην μείωση των οδικών ατυχημάτων**. Ο βασικός στόχος αυτής της προσπάθειας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών των ερευνών, ώστε να καθοριστούν τα στοιχεία που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα.

2.2. Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες

2.2.1. Επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην μείωση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων

Μέσα από την αναζήτηση ερευνών, παρατηρήθηκε ότι η οικολογική οδήγηση έχει συμβάλλει σημαντικά στη **μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων**, οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από 5% έως και 40%.

Η έρευνα των Morello et al. (2016), μοντελοποιήθηκε σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο με κατάλληλη πλατφόρμα προσομοίωσης, και αποσκοπούσε στην επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην μείωση εκπομπών ρύπων. Στα πλαίσια της έρευνας, κατασκευάστηκαν τρία σενάρια σε αστική οδό (το οδικό δίκτυο του Τορίνο). Τα σενάρια αυτά αφορούσαν τρεις κυκλοφοριακές συνθήκες: ελεύθερη, κανονική και με κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για την ανάλυση, χρειάστηκε κάθε σενάριο να πραγματοποιηθεί από 5 κατηγορίες οδηγών με οικολογική συμπεριφορά. Τα ποσοστά των οδηγών που εφαρμόζαν οικολογική οδήγηση σε κάθε κατηγορία, ήταν αντίστοιχα 0%, 25%, 50%, 75% και 100%. Παρατηρήθηκε, ότι στο σενάριο της ελεύθερης οδήγησης η μείωση του CO₂ φτάνει το 15%, ενώ στην οδήγηση με κανονική κυκλοφοριακή συμφόρηση το ποσοστό μειώνεται από 15% σε 10%. Στην περίπτωση της οδήγησης με κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν παρατηρήθηκε καμία βελτίωση, αλλά η συγκεκριμένη συνθήκη αφορά μόνο το 8-10% της ημέρας. Συμπερασματικά, σε περισσότερο από το 90% της καθημερινής κυκλοφοριακής κατάστασης, η οικολογική οδήγηση συμβάλει στη μείωση των εκπομπών CO₂.

Επιπλέον, από την έρευνα των Arroyo-Lopez et al. (2021) συλλέχθηκαν δεδομένα από 55 οδηγούς σε 150 διαδρομές, και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να ελαττώσει την εκπομπή του CO₂, κατά 13 kg/διαδρομή.

Στην Αυστραλία, οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν πάνω από το 17% του συνόλου των αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία χρόνια, στα οποία τα οδικά οχήματα είναι η κύρια πηγή. Στην έρευνα των Zheng et al. 2022, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε

περιβάλλον προσομοίωσης, όπου έγινε αναπαράσταση πραγματικής περιοχής μελέτης. Η περιοχή που επιλέχθηκε περιλαμβάνει ένα σημαντικό περιφερειακό εμπορικό κέντρο στην πόλη Monash στην Μελβούρνη της Αυστραλίας. Ένα τέτοιο κέντρο αναφυγής και επιχειρήσεων βρίσκεται στη γωνία μιας μεγάλης διασταύρωσης και περιβάλλεται από κύριες αρτηρίες και συλλέκτες, καθώς επίσης διαθέτει συνολικά 6 σημεία εισόδου/εξόδου, εκ των οποίων τα 3 συνδέονται με αρτηρία 3 λωρίδων και τα άλλα 3 συνδέονται με συλλεκτικό δρόμο 2 λωρίδων. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι συχνή στην περιοχή μελέτης, γεγονός που διευκολύνει τη συχνή συμπεριφορά του κινητήρα και συμβάλλει στην αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών του οχήματος. Τα χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη είναι η οδηγική συμπεριφορά που επηρεάζει τις εκπομπές και η συμπεριφορά επιλογής όταν πρόκειται να αποφασιστεί εάν θα ληφθεί μια συνιστώμενη επιλογή δρομολόγησης που σχετίζεται με δείκτες εκπομπών. Στο πείραμα συμμετείχαν είκοσι οδηγοί (14 άνδρες και 6 γυναίκες), με τις ηλικίες τους να κυμαίνονται από 21 έως 51. Ολόκληρος ο χρόνος του πειράματος για κάθε συμμετέχοντα ήταν περίπου 12-15 λεπτά, με απόσταση οδήγησης 2 χιλιόμετρα. Για κάθε συμμετέχοντα υπήρχαν τέσσερα σενάρια οδήγησης, εκ των οποίων τα δύο περιείχαν συστάσεις οικολογικής δρομολόγησης. Για να ολοκληρωθεί η οδηγική εργασία, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να έχουν πρόσβαση στο εμπορικό κέντρο τόσο από τη νότια όσο και από τη βόρεια πλευρά. Οι φυσικές αιτίες των εκπομπών των οχημάτων συνδέονται γενικά με τις κινήσεις του οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της επιτάχυνσης και της πέδησης. Έτσι, με το πέρας του πειράματος παρατηρήθηκε πως οι μειώσεις των εκπομπών των οχημάτων εντοπίστηκαν με την εφαρμογή του σχεδίου οικολογικής δρομολόγησης, στο οποίο τα ποσοστά μείωσης για το NO_x, CO και CO₂ ήταν 37,6%, 31,4% και 21,5%, αντίστοιχα.

2.2.2. Επίδραση της οικολογικής οδήγησης βάσει τον τύπο της οδού

Σύμφωνα με την έρευνα των Fontaras et al. (2017), πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε επιβατικό αυτοκίνητο και παρατηρήθηκε πως η κλίση του οδοστρώματος έχει σημαντική επίδραση στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου. Ένα αυτοκίνητο που οδηγείται σε οδό ανηφορικής κλίσης απαιτεί περισσότερη δύναμη από ένα που βρίσκεται σε επίπεδο δρόμο, ενώ ένα αυτοκίνητο που πηγαίνει σε κατηφόρα απαιτεί λιγότερη. Έτσι, εντοπίστηκαν αυξήσεις στην κατανάλωση καυσίμου και των εκπομπών έως και 5%, για αύξηση της κλίσης της οδού έως και 1%, ενώ αντίθετα παρατηρήθηκε μείωση έως και 3,5% για αρνητική κλίση οδού -1%.

Σε παρεμφερή συμπεράσματα καταλήγει και η έρευνα των Bakibillah et al. (2024), στην οποία αναφέρεται πως σε καμπύλο δρόμο, ο οδηγός συνήθως επιβραδύνει για λόγους ασφαλείας, αλλά αφού περάσει το μέσο της στροφής επιταχύνει. Αυτή η επιβράδυνση και επιτάχυνση αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές άνθρακα του οχήματος. Ένα όχημα που κινείται σε οριζόντιες στροφές καταναλώνει 34% επιπλέον καύσιμο και εκπέμπει έως και 91% περισσότερες εκπομπές όταν η ακτίνα είναι 50% χαμηλότερη από το ελάχιστο πρότυπο. Για τον λόγο αυτό προτάθηκε ένα νέο βέλτιστο οικολογικό σύστημα οδήγησης (EDS) χρησιμοποιώντας μη γραμμικό μοντέλο προγνωστικού ελέγχου (MPC) λαμβάνοντας υπόψη διάφορα οδικά

πλαίσια, όπως καμπυλότητες και επιφανειακές συνθήκες. Το όχημα EDS μεταβάλλει ομαλά την ταχύτητά του διατηρώντας επαρκή επιβράδυνση κατά τη διέλευση από το καμπύλο τμήμα και στη συνέχεια επιταχύνει με κατάλληλο επίπεδο επιτάχυνσης για να φτάσει στην ταχύτητα πλεύσης, εξασφαλίζοντας τη χαμηλότερη εκπομπή κατά την επιτάχυνση και το φρενάρισμα.

Τέλος, στην έρευνα των Coloma et al. (2018), εξετάζεται η **επιρροή της οικολογικής οδήγησης σε διάφορους τύπους οδών**, μέσω πειραματικής διαδικασίας σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να οδηγήσουν τέσσερα δρομολόγια, το καθένα σε διαφορετικό τύπο οδού, αρχικά με βάση την οδηγική τους εμπειρία, και στη συνέχεια εφόσον ενημερώθηκαν για την οικολογική οδήγηση, οδήγησαν τα ίδια σενάρια οικολογικά. Οι τέσσερις τύποι οδών ήταν: τοπική οδός, αστική οδός, δευτερεύουσα αρτηριακή οδός και μεγάλη συλλεκτήρια οδός. Η επιρροή της οικολογικής οδήγησης ήταν εμφανής σε όλους τους τύπους οδών, σε μεγαλύτερο βαθμό όμως παρατηρήθηκε στην μεγάλη συλλεκτήρια οδό και σε μικρότερο στην οδήγηση σε αστική οδό.

2.2.3. Επίδραση της οικολογικής οδήγησης στην οδική ασφάλεια

Η οικολογική οδήγηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την **βελτίωση της οδικής ασφάλειας, καθώς και με τη σημαντική μείωση της πιθανότητας ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο**. Αποτέλεσμα της οικολογικής οδήγησης, αποτελεί η μείωση της μέσης ταχύτητας, το οποίο οδηγεί στην μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά 30% εντός πόλης, και σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό εκτός πόλης.

Η μελέτη του Jamson et al. (2015), η οποία πραγματοποιήθηκε σε προσομοιωτή οδήγησης, διερευνά και συγκρίνει τα σχέδια τριών συστημάτων υποβοήθησης οικολογικής οδήγησης εντός του οχήματος. Το πείραμα διαδραματίστηκε με 24 συμμετέχοντες, οι οποίοι οδήγησαν μια διαδρομή 14 χιλιομέτρων με αστικά και αγροτικά τμήματα και εξετάστηκαν αρκετοί παράγοντες κατά τη διάρκεια του. Παρατηρήθηκε ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να μειώσει τις αλλαγές θέσης πεντάλ και κατά συνέπεια να προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα στην οδηγική συμπεριφορά. Επίσης, ενθαρρύνεται η μείωση της ταχύτητας, συμβάλλοντας στην μείωση κατανάλωσης καυσίμου και την αύξηση της ασφάλειας.

Όσον αφορά την έρευνα των Nævestad et al. (2022), η έρευνα έδειξε επίσης ότι τα μέτρα οικολογικής οδήγησης έχουν θετική επίδραση στην οδική ασφάλεια. Η μελέτη περιλαμβάνει τρεις εταιρίες (τις A, B, C) που μελετήθηκαν τρεις φορές σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Εξετάστηκαν συγκεκριμένα τα ατυχήματα με βαρέα οχήματα, τα οποία αποτελούν σημαντική κοινωνική πρόκληση, λόγω του ότι πρόκειται για σοβαρά ατυχήματα με υψηλά ποσοστά νεκρών και σοβαρών τραυματιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, ο κίνδυνος ατυχημάτων στις εταιρίες B και C ελαττώθηκε σημαντικά, σε ποσοστά 52% και 36% αντίστοιχα, ενώ παράλληλα και στην εταιρία A υπήρχε μείωση, αλλά όχι τόσο σημαντική.

Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και η έρευνα των Nævestad και Milch (2020), όπου σε μελέτη 14 εταιριών μεταφοράς εμπορευμάτων, θέσπισαν μέτρα με στόχο την οικονομική οδήγηση και τη διαχείριση της ενέργειας και διαπιστώθηκε ότι οι εταιρίες

έχουν 33% χαμηλότερο κίνδυνο ατυχημάτων στις περιφερειακές μεταφορές και στις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων.

Ολοκληρώνοντας, υπάρχουν μελέτες που διαπιστώνουν ότι η οικολογική οδήγηση αποτελεί αιτία για την μείωση έως και 35-40% των ατυχημάτων (Haworth et al. 2001).

2.3. Σύνοψη

Με βάση τα δεδομένα των παραπάνω ερευνών, προκύπτουν ερωτήματα τα οποία θα επιλυθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς επίσης θα εξεταστούν και θέματα που τίγονται παραπάνω. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας που συνοψίζει βασικά στοιχεία από τις προαναφερόμενες έρευνες.

| ΕΡΕΥΝΑ | ΕΙΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ | ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ |
|----------------------------|--|--|--|
| Morello et al. (2016) | Πείραμα; μοντελοποιήθηκε σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο | Μικροσκοπική μελέτη : 1.000, 5.000, 7.500 αυτοκίνητα/ώρα σε κάθε κυκλοφοριακή συνθήκη αντιστοίχως; Μακροσκοπική μελέτη: 31.000, 168.000, 254.000 διαδρομές αντιστοίχως | <ul style="list-style-type: none"> Μείωση εκπομπών CO₂ |
| Arroyo-Lopez et al. (2021) | Πείραμα | 55 συμμετέχοντες | <ul style="list-style-type: none"> Μείωση εκπομπών του CO₂, κατά 13 kg/διαδρομή |
| Zheng et al. (2022) | Πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης; αναπαράσταση πραγματικής περιοχής μελέτης | 20 συμμετέχοντες | <ul style="list-style-type: none"> Μείωση NO_x, CO και CO₂ σε ποσοστά 37,6%, 31,4% και 21,5%, αντίστοιχα |
| Fontaras et al. (2017) | Πείραμα με επιβατικό αυτοκίνητο | - | <ul style="list-style-type: none"> Αύξηση κατανάλωσης |

| | | | |
|--------------------------|--|----------------------------|---|
| | | | <p>καυσίμου και εκπομπών σε οδούς με θετική κλίση</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Μείωση κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών σε οδούς με αρνητική κλίση |
| Coloma et al. (2018) | Πείραμα σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας σε διαφορετικούς τύπους οδών | 12 συμμετέχοντες | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Μείωση ταχύτητας και κατανάλωσης καυσίμου κυρίως σε μεγάλη συλλεκτήρια οδό |
| Bakibillah et al. (2024) | Πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης | - | <ul style="list-style-type: none"> • Σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου • Μείωση των εκπομπών άνθρακα |
| Jamson et al. (2015) | Πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης | 24 συμμετέχοντες | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Μείωση της ταχύτητας ▪ Μείωση αλλαγών θέσης πεντάλ, οδηγώντας σε ασφαλέστερη οδήγηση |
| Nævestad et al. (2022) | Πείραμα μέσω τριών εταιριών | 3 εταιρίες βαρέων οχημάτων | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Σημαντική μείωση πιθανότητας ατυχημάτων |

| | | | |
|-------------------------|--|--------------------------|--|
| Nævestad & Milch (2020) | Πείραμα; θέσπιση μέτρων οικολογικής οδήγησης | 14 εταιρίες εμπορευμάτων | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Χαμηλότερος κίνδυνος ατυχημάτων |
| Haworth et al. (2001) | Ερευνητικό άρθρο | - | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Μείωση έως και 35-40% των ατυχημάτων |

Πίνακας 2.1: Συνοπτικά στοιχεία και αποτελέσματα από συναφείς έρευνες

Από τα παραπάνω, είναι κατανοητό πως οι επιρροές της οικολογικής οδήγησης έχουν εξεταστεί αρκετά αναλυτικά, σε διάφορες έρευνες, για διάφορους τομείς. Ωστόσο, λίγες μελέτες προσεγγίζουν **τα οφέλη της οικολογικής οδήγησης, εξετάζοντας άτομα νεαρής ηλικίας**, με αποτέλεσμα να χρειάζεται παραπάνω ανάλυση.

Σε αρκετές έρευνες η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε προσομοιωτή οδήγησης, έτσι και στην παρούσα μελέτη διεξήχθη πείραμα σε προσομοιωτή. Η οδήγηση πραγματοποιήθηκε σε αστική οδό και αυτοκινητόδρομο.

Οι συμμετέχοντες που επιλέχθηκαν για την διεξαγωγή του πειράματος ήταν νεαρής ηλικίας (18-30 ετών). Τέλος, στην παρούσα μελέτη φαίνεται πως επηρεάζεται η οδηγική συμπεριφορά και από το φύλο του οδηγού, καθώς και από την οδηγική του εμπειρία.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σύμφωνα με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η **στατιστική ανάλυση** και θα προκύψουν τα κατάλληλα συμπεράσματα. Για τον σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν ως μαθηματικά πρότυπα η γραμμική παλινδρόμηση και η διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση, για τις συνεχείς και τις διακριτές μεταβλητές αντίστοιχα. Πρόκειται για τις μεταβλητές που συλλέχθηκαν από τον προσομοιωτή οδήγησης, καθώς και από τα ερωτηματολόγια.

3.2. Μαθηματικά Πρότυπα

3.2.1. Γραμμικό μοντέλο

Με την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης, προκύπτει το γραμμικό μοντέλο μέσω της ανάπτυξης εξίσωσης. Για την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης, απαιτείται η μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ μίας συνεχής εξαρτημένης μεταβλητής y (η οποία ακολουθεί κανονική κατανομή) και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών x , η οποία περιγράφεται από την εξίσωση του μοντέλου. Η μεταβλητή y αντιπροσωπεύει την εξαρτημένη μεταβλητή, για την οποία γίνεται πρόβλεψη των τιμών της, ενώ οι μεταβλητές x αντιπροσωπεύουν τις εξαρτημένες μεταβλητές που διαθέτουν καθορισμένες τιμές και χρησιμοποιούνται για την εύρεση της εξαρτημένης.

Η μορφή της εξίσωσης είναι η εξής:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i, \quad (3.1)$$

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 .

Να σημειωθεί, ότι προκειμένου να βελτιωθούν τα μοντέλα και να ευνοηθεί η ανάλυση, πραγματοποιήθηκε διαδικασία λογαριθμικού μετασχηματισμού, καθώς τα χρησιμοποιηθέντα δεδομένα παρουσιάζουν θετικές τιμές και πιθανώς να παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση.

3.2.2. Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο

Αντίστοιχα με το γραμμικό μοντέλο, προκύπτει και το διωνυμικό λογιστικό μοντέλο με τη διαφορά ότι η εξαρτημένη μεταβλητή y είναι διακριτή και για τη διαμόρφωσή του 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 λαμβάνει την τιμή 1 με πιθανότητα επιτυχίας P και την τιμή 0 με πιθανότητα αποτυχίας $1-P$.

3.3. Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Έπειτα από την διαμόρφωση των παραπάνω μοντέλων, είναι απαραίτητος ο έλεγχος διαφόρων παραγόντων προκειμένου να αξιολογηθούν και να γίνει αποδεκτή η χρήση τους. Αρχικά, θα πρέπει οι τιμές της μεταβλητής y των γραμμικών μοντέλων, να ακολουθούν κανονική κατανομή. Επιπλέον, βασική προϋπόθεση αποτελεί ο έλεγχος των συσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών, προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση μεταβλητών που είναι υψηλά συσχετισμένες, καθώς αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει το αποτέλεσμα του μοντέλου. Τα βασικά κριτήρια που υποβάλλονται σε έλεγχο για την αποδοχή των μοντέλων είναι τα εξής:

Λογική εξήγηση των συντελεστών του μοντέλου

Με την ολοκλήρωση της εξίσωσης του μοντέλου, εξετάζεται εάν τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης έχουν λογική ερμηνεία. Σε περίπτωση που δεν έχουν, η αντίστοιχη μεταβλητή απορρίπτεται. Αυτό υποδηλώνει ότι γίνεται έλεγχος στις ανεξάρτητες μεταβλητές βάσει του πρόσημου, για το αν αναμένεται αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Το πρόσημο θεωρείται θετικό όταν αναμένεται αύξηση και αρνητικό όταν αναμένεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης.

Στατιστική σημαντικότητα

Επίσης, χρειάζεται να γίνει έλεγχος του επιπέδου εμπιστοσύνης, επιλέγοντας μοντέλα με υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση των γραμμικών μοντέλων 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. Ο τύπος του t-test είναι ο εξής:

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

Για τα διωνυμικά λογιστικά μοντέλα, η αξιολόγηση γίνεται βάσει του συντελεστή z-value. Ο τύπος του z-value είναι ο εξής:

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

όπου και στις δύο περιπτώσεις:

β_i : οι συντελεστές παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών x_i

s_{β_i} : το τυπικό σφάλμα των συντελεστών παλινδρόμησης β_i

Για τους συντελεστές t και z, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ενδείκνυται η τιμή 1,7 και για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% ενδείκνυται η τιμή 1,3.

Ποιότητα μοντέλου

Αφού πραγματοποιηθούν οι παραπάνω έλεγχοι για τα γραμμικά μοντέλα και διαμορφωθεί η τελική εξίσωση, απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή προσδιορισμού για τον έλεγχο της ποιότητάς του. Ο τύπος είναι ο εξής:

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

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

λαμβάνοντας τιμές από 0 έως 1.

Όσο πιο κοντά στη μονάδα βρίσκεται η τιμή του R^2 , τόσο πιο ορθή είναι η προσαρμογή του μοντέλου και ελαχιστοποιείται το σφάλμα.

Αντιθέτως, στα λογιστικά μοντέλα δεν πραγματοποιείται έλεγχος του συντελεστή προσδιορισμού, αλλά πραγματοποιείται έλεγχος του ποσοστού πρόβλεψης του

μοντέλου, το οποίο ζητείται να έχει τιμή μεγαλύτερη του 65%, εφόσον σε αυτά τα μοντέλα επιζητείται η εκτίμηση της σχέσης που αναπτύσσεται μεταξύ της εξαρτημένης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

Σφάλμα

Το σφάλμα της εξίσωσης του μοντέλου θα πρέπει να πληροί τις εξής 3 προϋποθέσεις:

- Να ακολουθεί κανονική κατανομή
- Να έχει σταθερή διασπορά $\text{Var}(\varepsilon_i) = \sigma_\varepsilon^2 = c$
- Να έχει μηδενική συσχέτιση $\rho(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \forall i \neq j$. Η διασπορά του σφάλματος, σχετίζεται με το συντελεστή προσδιορισμού R^2 . 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

Σε συνέχεια των κριτηρίων αποδοχής, ακολουθεί η **επεξήγηση των αποτελεσμάτων του μαθηματικού μοντέλου**, για την οποία χρειάζεται ο προσδιορισμός των παρακάτω στοιχείων:

Εξήγηση σχέσεων εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών

Η εξαρτημένη μεταβλητή επηρεάζεται από τα πρόσημα συντελεστών παλινδρόμησης, οπότε όταν ο συντελεστής έχει θετικό πρόσημο, η ανεξάρτητη μεταβλητή όταν αυξάνεται, αυξάνει ταυτόχρονα και την τιμή της εξαρτημένης. Αντίθετα, όταν ο συντελεστής έχει αρνητικό πρόσημο, η ανεξάρτητη μεταβλητή με την αύξηση της, μειώνει την τιμή της εξαρτημένης.

Επιβεβαίωση (ή όχι) διεθνούς βιβλιογραφίας

Έπειτα, ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων από την εξήγηση της σχέσης της εξαρτημένης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, με τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Έτσι, γίνεται επιβεβαίωση ή όχι των στοιχείων που συλλέχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ελαστικότητα

Τέλος, υπολογίζεται η ελαστικότητα, μέσω της οποίας προσδιορίζεται η ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής όταν μεταβάλλονται οι ανεξάρτητες. Ερμηνεύεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής, που προκύπτει από την μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά 1%. Η τιμή της ελαστικότητας χρησιμεύει, διότι σε αντίθεση με τις υπολογισμένες παραμέτρους παλινδρόμησης που εξαρτώνται από μονάδες μέτρησης, είναι αδιάστατο μέγεθος.

Για τα γραμμικά μοντέλα, ο τύπος της ελαστικότητας είναι ο εξής:

$$e_i = \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right) \left(\frac{x_i}{y_i} \right), \quad (3.6)$$

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση των συνεχών μεταβλητών. Για τις διακριτές μεταβλητές χρησιμοποιείται η έννοια της ψεύδοελαστικότητας, η οποία υπολογίζει την μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλείται από μία μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής από μία κλάση των τιμών της.

Για τις διακριτές μεταβλητές, ο τύπος είναι ο εξής:

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

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

Δ(β_ix_n): η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της x_{ink} έχει μεταβληθεί από 0 σε 1

β_ix_n: 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

Το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία και την αξιολόγηση των μοντέλων, είναι η **γλώσσα προγραμματισμού R**. Για την ανάπτυξη των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής εντολές:

➤ Για γραμμικό μοντέλο

read_excel(): με αυτή την εντολή εισάγεται στο πρόγραμμα ο πίνακας που δημιουργήθηκε στο excel με τα δεδομένα (εξηγείται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο), ώστε να ακολουθήσει η επεξεργασία τους.

lm(log(Dependent) ~ Independent(s)): στο πλαίσιο `Dependent` εισάγεται η εξαρτημένη μεταβλητή και στο πλαίσιο `Independent(s)` εισάγονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο. Έτσι, εκτελείται η γραμμική παλινδρόμηση και εξάγεται το γραμμικό μοντέλο που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής, καθώς επίσης δημιουργείται ο πίνακας με το μοντέλο παλινδρόμησης. Επιπλέον, εξάγονται πληροφορίες όπως οι 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`). Το `log(Dependent)` χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να μετατρέψει τις τιμές του y σε λογαριθμική κλίμακα, ώστε να της δώσει θετικές τιμές.

summary(model): η συνάρτηση χρησιμοποιείται, ώστε να εμφανίσει τα στατιστικά στοιχεία του μοντέλου.

cor(x1, x2, method = "Pearson/Spearman"): υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών x_1 και x_2 . Η παράμετρος `method` χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη μέθοδο υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης, στην προκειμένη περίπτωση `Pearson` και `Spearman`.

➤ Για διωνυμικό λογιστικό μοντέλο

Η διαδικασία εισαγωγής του αρχείου `excel` είναι όμοια με το γραμμικό μοντέλο. Ωστόσο, παρακάτω φαίνονται οι εντολές που διαφέρουν για την ανάπτυξη του μοντέλου:

glm(formula = Dependent ~ Independent(s), family = binomial): με την εντολή αυτή εξάγεται το διωνυμικό λογιστικό μοντέλο. Το `binomial` δηλώνει πως πρόκειται για μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης.

summary(model): ώστε να εμφανιστούν τα στατιστικά στοιχεία του μοντέλου.

pmodel=predict (model, data): χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και την αποθήκευση των προβλέψεων.

tab=table(pmodel>0.5, data\$Events): 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).

tab: εκτυπώνει τον πίνακα συχνοτήτων.

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1. Εισαγωγή

Σε προηγούμενο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση και έγινε παράθεση του θεωρητικού υποβάθρου, απ' όπου επιλέχθηκε η μέθοδος και το αντικείμενο της έρευνας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, απαιτήθηκε η διεξαγωγή πειραματικής διαδικασίας. Η πειραματική διαδικασία, πραγματοποιήθηκε μέσω **προσομοιωτή οδήγησης, σε αστική οδό και αυτοκινητόδρομο**. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάστηκε ως προς την επίδραση της οικολογικής οδήγησης τόσο στην μείωση των εκπομπών ρύπων, όσο και στον περιορισμό των οδικών ατυχημάτων.

Παρακάτω αναφέρεται αρχικά η συλλογή στοιχείων, που συλλέχθηκαν από το πείραμα του προσομοιωτή, καθώς και από ερωτηματολόγια που απαντήθηκαν από τους συμμετέχοντες του πειράματος. Αναφέρονται αναλυτικά η διαδικασία του πειράματος, τα κριτήρια επιλογής των συμμετεχόντων οδηγών, καθώς και τα σενάρια που κλήθηκαν να οδηγήσουν. Στη συνέχεια, αναφέρεται η επεξεργασία των στοιχείων, και οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν για τον σκοπό αυτό.

4.2. Πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης

4.2.1. Στόχος πειράματος

Στόχος του πειράματος, είναι **τα οφέλη που επιφέρει η οικολογική οδήγηση**, κυρίως σε νέους οδηγούς, σε διάφορους τομείς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, εξετάστηκαν οι περιπτώσεις **σε αστικές οδούς και αυτοκινητόδρομους**. Παράλληλα, εξετάζονται επιπλέον στοιχεία, όπως τα χαρακτηριστικά των οδηγών (π.χ. φύλο κτλ), ο χρόνος αντίδρασης των οδηγών, η κατανάλωση καυσίμου και η μείωση ατυχημάτων.

4.2.2. Προσομοιωτής Πειραματικής Διαδικασίας

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη στον προσομοιωτή οδήγησης της γερμανικής εταιρίας Foerst (Εικόνα 4.1), που διαθέτει το εργαστήριο Κυκλοφοριακής Τεχνικής του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.. Τόσο τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του (κάθισμα, τιμόνι, γκάζι, φρένο, συμπλέκτης, κιβώτιο ταχυτήτων, κόρνα, μίζα), όσο και το ψηφιακό του περιβάλλον όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2, (μέσω τριών LCD40'' οθονών) προσομοιώνουν τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης του συμμετέχοντα.



Εικόνα 4.1: Εξωτερικά χαρακτηριστικά προσομοιωτή οδήγησης



Εικόνα 4.2: Ψηφιακό περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης

Ειδικότερα, το ψηφιακό περιβάλλον προσφέρει μια απεικόνιση του οδικού δικτύου από την οπτική γωνία του οδηγού και παρέχει έναν πλήρη έλεγχο μέσω καθρεπτών. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα επιλογής οδήγησης σε διάφορες συνθήκες, οι οποίες αφορούν τον τύπο της οδού (υπεραστική οδός, αστική οδός, αυτοκινητόδρομος), τις κυκλοφοριακές συνθήκες (κανονικός κυκλοφοριακός φόρτος, αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος), τον φωτισμό (ομίχλη, νύχτα, μέρα), και τον καιρό (καλός, βροχή, χιόνι). Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν τυχαία γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της οδήγησης, όπως η διέλευση πεζών ή η εσφαλμένη συμπεριφορά άλλων οχημάτων, καθώς και η εμφάνιση κάποιου εμποδίου (Εικόνα 4.3 και 4.4), και αποσκοπούν στη μελέτη της συμπεριφοράς του οδηγού σε δύσκολες καταστάσεις.



Εικόνα 4.3: Εμφάνιση εμποδίου (πεζός)



Εικόνα 4.4: Εμφάνιση εμποδίου (άγριο ζώο-ελάφι)

Ο προσομοιωτής οδήγησης καταγράφει κατά τη διάρκεια των πειραμάτων περίπου 60 μετρήσεις το δευτερόλεπτο. Τα δεδομένα εξάγονται από το πρόγραμμα με τη μορφή ενός αρχείου κειμένου. Κάθε σενάριο οδήγησης έχει το δικό του αρχείο, το οποίο περιέχει τιμές πολλών μεταβλητών που είναι σημαντικές για την ανάλυση. Αυτές οι τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1, μαζί με την επεξήγηση τους.

| 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. |
| DRight | 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. |
| Err1No | number of the most important driving failure since the last data set. |
| Err1Val | 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. |
| VSP | vehicle specific power. |
| FC | fuel consumption per 100 km. |

Πίνακας 4.1: Μεταβλητές προσομοιωτή οδήγησης

4.2.3. Σενάρια πειράματος

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως έχει ήδη καθοριστεί, **οι τύποι της οδού** για την οποία διεξήχθη το πείραμα είναι **αστική** (Εικόνα 4.5) και **αυτοκινητόδρομος** (Εικόνα 4.6). Τα ψηφιακά αστικά περιβάλλοντα που παρέχονται περιλαμβάνουν μια οδό με δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, με μία ή δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση και κυκλικούς κόμβους για το αστικό δίκτυο, καθώς και δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση για τον αυτοκινητόδρομο. Επιπλέον, στην οδό περιλαμβάνονται φωτεινοί σηματοδότες και κατάλληλη σήμανση. Σε κάθε σενάριο, εμφανίζονταν δύο επικίνδυνα γεγονότα (διέλευση αγριου ζώου-ελάφι ή διέλευση πεζού).



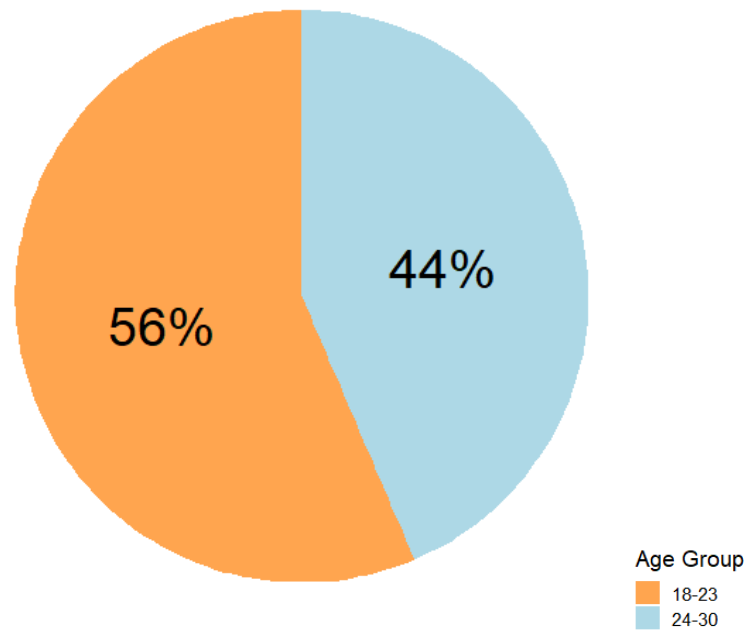
Εικόνα 4.5: Αστικό περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης



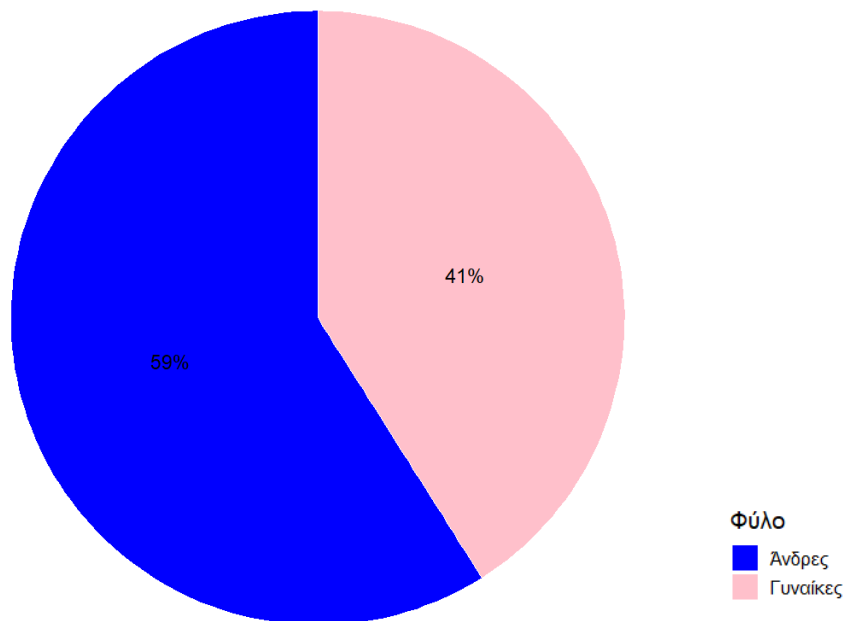
Εικόνα 4.6: Περιβάλλον αυτοκινητόδρομου προσομοιωτή οδήγησης

4.2.4. Συμμετέχοντες

Για την επίτευξη του πειράματος, επιλέχθηκαν νεαροί οδηγοί με κατοχή διπλώματος οδήγησης, δύο ηλικιακών ομάδων, 18-23 ετών και 24-30 ετών, ώστε να εξεταστεί η οδηγική συμπεριφορά ανάλογα την εμπειρία των οδηγών. Επιπλέον, στην επιλογή τους λήφθηκε υπόψιν η ισοκατανομή των φύλων. Συνολικά, συμμετείχαν 39 οδηγοί, 23 άντρες και 16 γυναίκες, με μέσο όρο 4 έτη οδηγικής εμπειρίας. Τα ποσοστά κατανομής τους σύμφωνα με τα Διαγράμματα 4.1α και 4.1β, είναι βάσει της ηλικιακής ομάδας 56% ηλικίας 18-23 και 44% ηλικίας 24-30 και βάσει του φύλου είναι 59% άντρες και 41% γυναίκες.



Διάγραμμα 4.1α: Κατανομή ηλικιακής ομάδας.



Διάγραμμα 4.1β: Κατανομή φύλου.

4.2.5. Προετοιμασία πειράματος

Για την εκτέλεση του πειράματος, απαιτήθηκε μια λεπτομερής προετοιμασία. Αρχικά, χρειάστηκε να συνταχθεί ένα ενημερωτικό φυλλάδιο σχετικά με την οικολογική

οδήγηση. Το φυλλάδιο αυτό, περιείχε τις εξής οδηγίες για το πώς επιτυγχάνεται η οικολογική οδήγηση:

- Οδηγώντας με σταθερές και χαμηλές ταχύτητες
- Κρατώντας τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000
- Συντονίζοντας την ταχύτητα οδήγησης με εκείνη των άλλων οχημάτων και κρατώντας επαρκή απόσταση από αυτά
- Αποφεύγοντας απότομες εναλλαγές ταχύτητας (επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις)
- Αποφεύγοντας το γκάζι στις κατηφόρες, καθώς και παίρνοντας φόρα για να ανέβουμε τις ανηφόρες

Το πείραμα χωρίστηκε σε δύο στάδια. Η ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση, έγινε σε κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά, πριν ξεκινήσει το δεύτερο στάδιο του πειράματος. Τέλος, δημιουργήθηκε ένα ερωτηματολόγιο με σκοπό τον προσδιορισμό του προφίλ του οδηγού, επικεντρώνοντας στην οικολογική οδική συμπεριφορά του συμμετέχοντα.

4.2.6. Εφαρμογή πειράματος

Στο πείραμα, το οποίο διεξήχθη στον προσομοιωτή οδήγησης κατά τη διάρκεια του Μαρτίου του 2023, συμμετείχαν 39 οδηγοί από τους οποίους ζητήθηκε να οδηγήσουν τέσσερις φορές. Κάθε συμμετέχοντας οδήγησε δύο φορές το κάθε σενάριο, αλλά με διαφορετική σειρά πάντα, ώστε να επιτευχθεί η τυχαιότητα στο δείγμα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε **δύο στάδια**. Το πρώτο στάδιο αφορά την μη οικολογική οδήγηση, ενώ το δεύτερο στάδιο αφορά την οικολογική οδήγηση.

- 1^ο Στάδιο

Στην **πρώτη φάση** του σταδίου αυτού, οι συμμετέχοντες οδήγησαν μία δοκιμαστική διαδρομή, προκειμένου να εξοικειωθούν με την οδήγηση στον προσομοιωτή. Η διαδρομή ήταν μία, σε υπεραστικό περιβάλλον την μέρα. Η φάση αυτή διαρκούσε δύο με τρία λεπτά. Σαν **δεύτερη φάση**, οι συμμετέχοντες οδήγησαν σε αστική οδό και αυτοκινητόδρομο, με βάση την οδική τους εμπειρία. Ο χρόνος οδήγησης για κάθε σενάριο, ήταν περίπου τέσσερα λεπτά.

- 2^ο Στάδιο

Πριν το στάδιο αυτό οι συμμετέχοντες καλούνται να απαντήσουν το ερωτηματολόγιο, το οποίο παρατίθεται στο παράρτημα. Σε **πρώτη φάση**, έγινε ενημέρωση στους συμμετέχοντες για το τι είναι και πώς επιτυγχάνεται η οικολογική οδήγηση. Σε **δεύτερη φάση**, οι συμμετέχοντες οδήγησαν ξανά ακριβώς τα ίδια σενάρια και τον ίδιο χρόνο, με την διαφορά ότι αυτή τη φορά οδήγησαν οικολογικά, με βάση την ενημέρωση που έγινε σε προηγούμενη φάση.



Εικόνα 4.7: Δοκιμαστική διαδρομή

4.3. Επεξεργασία στοιχείων

4.3.1. Επεξεργασία ερωτηματολογίων

Σε συνέχεια της συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων από τους συμμετέχοντες, ακολουθεί η επεξεργασία των στοιχείων που συλλέχθηκαν από αυτά. Για την επίτευξη της καταχώρησης των στοιχείων, ώστε να συμπεριληφθούν στη βάση δεδομένων, κρίνεται απαραίτητη η αντιστοίχιση των ερωτήσεων με μεταβλητές και οι απαντήσεις να κωδικοποιηθούν, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Ονομασία μεταβλητών ερωτηματολογίου / Κωδικοποίηση απαντήσεων

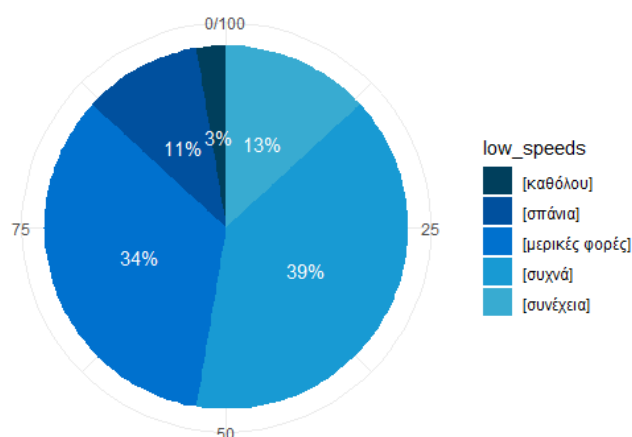
| Ερωτήσεις Ερωτηματολογίου | | | | | | | | | | Όνομασία Μεταβλητών |
|---------------------------|--|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|---------|----------------|----------------------|
| 1. | Οδηγική εμπειρία συμμετέχοντα | | | | | | | | | |
| Q1.1 | Πόσα χρόνια έχετε το δίπλωμα οδήγησης; | | έτη | | | | | | | years license |
| Q1.2 | Πόσα χρόνια οδηγείτε; | | έτη | | | | | | | years drive |
| Q1.3 | Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα εντός πόλης; | 1: [1] | 2: [2] | 3: [3] | 4: [4] | 5: [5] | 6: [6] | 7: [7] | 8: [Λιγότερες] | days urban |
| Q1.4 | Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε αυτοκινητόδρομο; | 1: [1] | 2: [2] | 3: [3] | 4: [4] | 5: [5] | 6: [6] | 7: [7] | 8: [Λιγότερες] | days highway |
| Q1.5 | Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα εντός πόλης; | 1: [<20] | 2: [20-50] | 3: [50-100] | 4: [100-150] | 5: [>150] | | | | km urban |
| Q1.6 | Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε αυτοκινητόδρομο; | 1: [<20] | 2: [20-50] | 3: [50-100] | 4: [100-150] | 5: [>150] | | | | km high |
| Q1.7 | Πόσες διαδρομές κάνετε τη μέρα; | 0: [0] | 1: [1] | 2: [2] | 3: [3] | 4: [4] | 5: [5] | 6: [>5] | | routes_per_day |
| Q1.8 | Πόσα χιλιόμετρα διανύετε κατά μέσο όρο τη μέρα | | χιλιόμετρα | | | | | | | km per day |
| 2. | Όχημα | | | | | | | | | |
| 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: [πέρα πολύ] | | | | speed_limits |
| Q3.4 | Αξιολογίστε εάν οδηγείτε οικολογικά απαντώντας στα παρακάτω: | 1: [καθόλου] | 2: [σπάνια] | 3: [μερικές φορές] | 4: [συχνά] | 5: [συνέχεια] | | | | |
| 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: [πέρα πολύ] | | | | eco_important |
| 4. | Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα | | | | | | | | | |
| Q4.1 | Ηλικία; | | ετών | | | | | | | 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: [Ανύπαντρος/η] | 2: [Παντρεμένος/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 |

Αφού πραγματοποιήθηκε η κωδικοποίηση, χρειάστηκε να καταγραφούν οι απαντήσεις του ερωτηματολογίου κάθε συμμετέχοντα, σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα (με 39 γραμμές και 33 στήλες), του οποίου απόσπασμα φαίνεται στην Εικόνα 4.8.

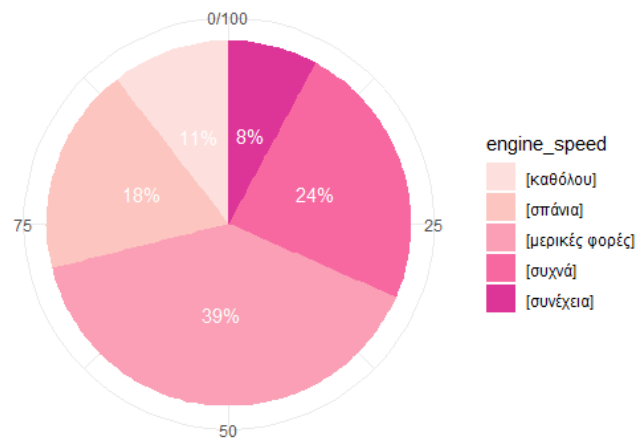
| participant | years license | years drive | days urban | days highway | km urban |
|-------------|---------------|-------------|------------|--------------|----------|
| 1 | 5 | 5 | 7 | 3 | 4 |
| 2 | 4 | 3,5 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 3 | 2 | 6 | 2 | 3 |
| 4 | 1,5 | 1,5 | 4 | 8 | 2 |
| 5 | 4 | 3,5 | 3 | 3 | 2 |
| 6 | 4 | 3 | 4 | 8 | 3 |

Εικόνα 4.8: Απόσπασμα πίνακα αποτελεσμάτων ερωτηματολογίου

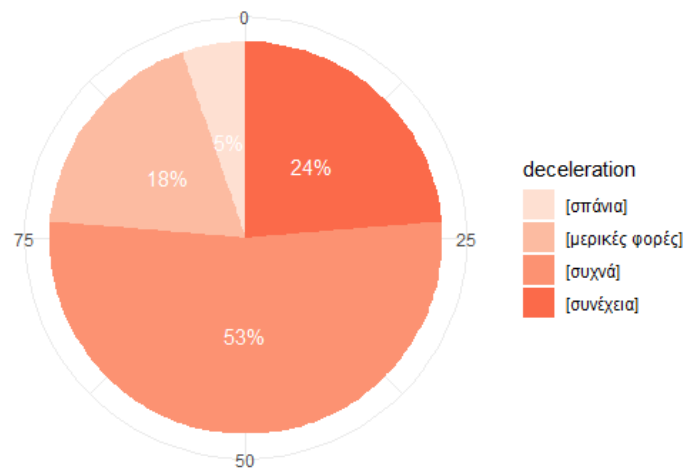
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η οικολογική συμπεριφορά των συμμετεχόντων. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν τα εξής διαγράμματα:



Διάγραμμα 4.2α: Πόσο συχνά οι οδηγοί σέβονται τα όρια και οδηγούν με χαμηλές ταχύτητες



Διάγραμμα 4.2β: Πόσο συχνά οι οδηγοί κρατάνε τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000



Διάγραμμα 4.2γ: Πόσο συχνά οι οδηγοί αποφεύγουν τις απότομες επιβραδύνσεις

Από τα γραφήματα γίνεται αντιληπτό, ότι μεγάλο ποσοστό των συμμετεχόντων οδηγεί συχνά σύμφωνα με τα όρια ταχύτητας και κρατώντας τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000, συγκεκριμένα το 39%, ενώ μικρό ποσοστό δεν οδηγεί καθόλου σύμφωνα με τα όρια ταχύτητας (το 3%) και οδηγεί σπάνια κρατώντας τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000 (το 6%). Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων οδηγεί αποφεύγοντας συχνά τις απότομες επιβραδύνσεις, συγκεκριμένα τα 53% των συμμετεχόντων.

4.3.2. Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος

Αφού ολοκληρώθηκε το πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης, ακολούθησε η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που εξάγονται από τον προσομοιωτή σε μορφή κειμένου txt. Τα αρχεία αυτά αποθηκεύτηκαν στο φάκελο logfiles το καθένα με ονομασία, βάσει τον αριθμό του συμμετέχοντα και το σενάριο οδήγησης (Εικόνα 4.9). Η κωδικοποίηση U συμβολίζει την οδήγηση σε αστική οδό (Urban), η κωδικοποίηση

Η σε αυτοκινητόδρομο (Highway) και οι δείκτες 1, 2 συμβολίζουν την μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης και την οικολογική αντίστοιχα.

| File Name | Creation Date and Time | Size |
|-----------|------------------------|---------|
| 1H1.txt | 23/3/2023 1:11 μμ | 2,49 MB |
| 1H2.txt | 23/3/2023 1:40 μμ | 3,51 MB |
| 1U1.txt | 23/3/2023 12:57 μμ | 3,02 MB |
| 1U2.txt | 23/3/2023 1:25 μμ | 4,00 MB |
| 2H1.txt | 23/3/2023 2:14 μμ | 3,25 MB |
| 2H2.txt | 23/3/2023 2:48 μμ | 3,77 MB |
| 2U1.txt | 23/3/2023 2:04 μμ | 3,68 MB |
| 2U2.txt | 23/3/2023 2:37 μμ | 3,86 MB |
| 3H1.txt | 4/4/2023 1:10 μμ | 2,85 MB |
| 3H2.txt | 4/4/2023 1:10 μμ | |

Εικόνα 4.9: Απόσπασμα κωδικοποίησης των αρχείων txt.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων database, με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R, η οποία περιλάμβανε τη μέση τιμή (“Avg”) και τη τυπική απόκλιση (“Std”) των δεδομένων που εξήγαγε ο προσομοιωτής οδήγησης για κάθε συνδυασμό των συμμετεχόντων και σεναρίου οδήγησης. Επιπλέον, μέσω της R εκτιμήθηκαν τα γεγονότα (“Events”) κατά τη διάρκεια οδήγησης κάθε συμμετέχοντα, δηλαδή τα ατυχήματα λόγω κάποιου εμποδίου.

4.3.3. Υπολογισμός εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου

Πέραν των παραπάνω δεδομένων, χρειάστηκε να υπολογιστούν κάποιοι επιπλέον δείκτες, που δεν συμπεριλαμβάνονταν στα δεδομένα που εξήγαγε ο προσομοιωτής. Αυτοί οι δείκτες ήταν οι VSP, CO₂, CO, HC, NO_x, FC και υπολογίστηκαν βάσει της έρευνας X. Zhao et al. (2015).

Αρχικά, υπολογίστηκε ο δείκτης VSP (vehicle specific power), ο οποίος εκφράζει το μοντέλο μικροσκοπικών εκπομπών που βασίζεται στην κατανομή της ειδικής ισχύος του οχήματος. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ταχύτητα και την επιτάχυνση του οχήματος ανά δευτερόλεπτο, σύμφωνα με τον εξής τύπο:

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

όπου

u: η ταχύτητα του οχήματος ανά δευτερόλεπτο (m/s)

α: η επιτάχυνση του οχήματος ανά δευτερόλεπτο (m/s²)

Έπειτα, με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R υπολογίστηκαν και οι υπόλοιποι δείκτες, CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα), CO (μονοξείδιο του άνθρακα), HC (υδρογονάνθρακες), NO_x (οξειδία του αζώτου), μέσω ενός πίνακα που παραθέτει η έρευνα, ο οποίος συσχετίζει τον δείκτη VSP γραμμάρια ανά δευτερόλεπτα, με τους παραπάνω ρύπους.

Ο προαναφερόμενος πίνακας φαίνεται παρακάτω:

| 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 |

Πίνακας 4.3: Εκπομπές ρύπων βάσει του VSP bins (g/s)

Τέλος, υπολογίζεται ο δείκτης κατανάλωσης καυσίμου FC (Fuel Consumption), μέσω της μεθόδου του ισοζυγίου άνθρακα. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται η εξίσωση της έρευνας X. Zhao et al. (2015), όπου συνδυάζει τις εκπομπές ρύπων ανά χιλιόμετρο με την απόσταση που διανύει το όχημα.

Η σχέση είναι η εξής:

$$FC = (0,866M_{HC} + 0,4286M_{CO} + 0,2727M_{CO_2}) 0,156 , \quad (4.2)$$

όπου

M_{HC} : είναι οι εκπομπές HC ανά χιλιόμετρο (g/km)

M_{CO} : είναι οι εκπομπές CO ανά χιλιόμετρο (g/km)

M_{CO_2} : είναι οι εκπομπές CO₂ ανά χιλιόμετρο (g/km)

```
df$co2=ifelse(df$vsp <0, 1.632545455,  
             ifelse(df$vsp == 0, 0.568829787,  
                   ifelse(df$vsp >0 & df$vsp <=1, 1.255982829,  
                           ifelse(df$vsp >1 & df$vsp <=2, 1.849368682,  
                                   ifelse(df$vsp >2 & df$vsp <=3, 2.306617803,  
                                           ifelse(df$vsp >3 & df$vsp <=4, 2.384342143,  
                                                   ifelse(df$vsp >4 & df$vsp <=5, 2.416  
                                                           ifelse(df$vsp >5 & df$vsp <=6  
                                                                 ifelse(df$vsp >6 & df$  
                                                                                             ifelse(d  
                                                                                                     i
```

Εικόνα 4.10: Απόσπασμα από τον κώδικα, για τον υπολογισμό των δεικτών των ρύπων.

4.4. Βάση δεδομένων

Έπειτα από την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τον προσομοιωτή οδήγησης, τοποθετήθηκαν σε έναν **συγκεντρωτικό πίνακα** (mastertable), καθώς επίσης στον ίδιο πίνακα προστέθηκαν και οι δείκτες που υπολογίστηκαν στην παραπάνω ενότητα, έπειτα από την επεξεργασία τους. Απόσπασμα του συγκεντρωτικού πίνακα, φαίνεται στις Εικόνες 4.11 και 4.12.

| participant | senario | Avgx_pos | Avgy_pos | Avgz_pos | Avgyaw |
|-------------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 1 | H1 | 1567,812 | -0,01 | -1966,41 | 1,31338 |
| 1 | H2 | 1784,794 | -0,01 | -1923,79 | 1,37790 |
| 1 | U1 | 274,673 | -0,00996 | -103,27 | -0,5952 |
| 1 | U2 | 246,5804 | -0,01 | -101,76 | -0,5166 |
| 2 | H1 | 1693,24 | -0,00996 | -1936,24 | 1,33660 |
| 2 | H2 | 1739,676 | -0,00997 | -1929,34 | 1,36738 |
| 2 | U1 | 300,2843 | -0,00997 | -113,714 | 0,39823 |
| 2 | U2 | 277,0401 | -0,01 | -95,7961 | -0,2791 |
| 3 | H1 | 1547,801 | -0,00996 | -1970,18 | 1,31927 |
| 3 | H2 | 1738,046 | -0,00997 | -1943,75 | 1,37970 |
| 3 | U1 | 250,2636 | -0,00996 | -97,9425 | -0,6531 |
| 3 | U2 | 233,3099 | -0,01 | -98,74 | -0,4847 |
| 4 | H1 | 1650,062 | -0,01 | -1966,5 | 1,32136 |
| 4 | H2 | 1789,934 | -0,01 | -1929,03 | 1,37453 |

Εικόνα 4.11: Απόσπασμα συγκεντρωτικού πίνακα από την επεξεργασία μετρήσεων του πειράματος

| VSP | CO2 | CO2_km | CO | CO_km | HC | HC_km | NOx |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2930,721 | 1089,426 | 236,2529 | 3,578247 | 0,775979 | 0,282547 | 0,061273 | 0,047509 |
| 1764,99 | 970,4486 | 212,0069 | 1,346799 | 0,294225 | 0,206552 | 0,045124 | 0,051336 |
| 935,9233 | 647,5781 | 271,9762 | 1,100046 | 0,462008 | 0,135714 | 0,056998 | 0,047099 |
| 729,0162 | 706,3274 | 300,174 | 1,183663 | 0,503031 | 0,134914 | 0,057335 | 0,04271 |
| 2639,03 | 1178,016 | 255,9364 | 2,600791 | 0,565049 | 0,278394 | 0,060484 | 0,047623 |
| 2056,778 | 1101,437 | 240,0153 | 1,598474 | 0,348325 | 0,244765 | 0,053337 | 0,057322 |
| 1113,696 | 754,9655 | 325,0127 | 1,495875 | 0,643974 | 0,169336 | 0,072899 | 0,039361 |
| 876,2266 | 737,7213 | 314,5303 | 1,198373 | 0,510931 | 0,146158 | 0,062315 | 0,041279 |
| 3182,238 | 1216,852 | 257,1201 | 4,006167 | 0,846501 | 0,309307 | 0,065356 | 0,039116 |
| 1565,829 | 949,9041 | 207,968 | 1,283965 | 0,281106 | 0,189813 | 0,041557 | 0,046933 |
| 1162,208 | 733,8575 | 305,9563 | 1,348082 | 0,562036 | 0,152664 | 0,063648 | 0,053533 |
| 744,6157 | 701,6639 | 295,6964 | 1,183964 | 0,498948 | 0,131446 | 0,055394 | 0,043772 |
| 4461,619 | 1212,303 | 257,781 | 5,274766 | 1,121613 | 0,315679 | 0,067125 | 0,091394 |
| 1612,738 | 935,7684 | 203,9564 | 1,330208 | 0,289927 | 0,193859 | 0,042253 | 0,057365 |
| 1369,354 | 706,6282 | 293,1131 | 1,584468 | 0,657246 | 0,160658 | 0,066642 | 0,042796 |
| 954,181 | 815,4564 | 340,3166 | 1,373232 | 0,573094 | 0,166148 | 0,069339 | 0,046928 |
| 2635,383 | 1029,361 | 221,5618 | 2,983075 | 0,642083 | 0,272882 | 0,058736 | 0,087981 |

Εικόνα 4.12: Απόσπασμα πίνακα από τον υπολογισμό των δεικτών

Τέλος, για την ολοκλήρωση του συγκεντρωτικού πίνακα, ήταν απαραίτητο να προστεθούν μαζί με τα δεδομένα του προσομοιωτή και του ρύπου, τα αποτελέσματα από τα ερωτηματολόγια των συμμετεχόντων. Έτσι, ο τελικός συγκεντρωτικός πίνακας, φαίνεται στην Εικόνα 4.13.

| participant | senario | noneco_eco | environment | years_license | years_drive | days_urban | days_hi |
|-------------|---------|------------|-------------|---------------|-------------|------------|---------|
| 1 | H1 | 0 | 1 | 5 | 5 | 7 | 3 |
| 1 | H2 | 1 | 1 | 5 | 5 | 7 | 3 |
| 1 | U1 | 0 | 0 | 5 | 5 | 7 | 3 |
| 1 | U2 | 1 | 0 | 5 | 5 | 7 | 3 |
| 2 | H1 | 0 | 1 | 4 | 3,5 | 1 | 1 |
| 2 | H2 | 1 | 1 | 4 | 3,5 | 1 | 1 |
| 2 | U1 | 0 | 0 | 4 | 3,5 | 1 | 1 |
| 2 | U2 | 1 | 0 | 4 | 3,5 | 1 | 1 |
| 3 | H1 | 0 | 1 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| 3 | H2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| 3 | U1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| 3 | U2 | 1 | 0 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| 4 | H1 | 0 | 1 | 1,5 | 1,5 | 4 | 8 |
| 4 | H2 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 4 | 8 |
| 4 | U1 | 0 | 0 | 1,5 | 1,5 | 4 | 8 |
| 4 | U2 | 1 | 0 | 1,5 | 1,5 | 4 | 8 |
| 5 | H1 | 0 | 1 | 4 | 3,5 | 3 | 3 |

Εικόνα 4.13: Απόσπασμα του τελικού συγκεντρωτικού πίνακα

4.5. Περιγραφικά χαρακτηριστικά δείγματος

Είναι απαραίτητο να παρουσιαστούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του δείγματος από τον προσομοιωτή οδήγησης, ώστε να πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση και να γίνουν κάποιες αρχικές παρατηρήσεις όσον αφορά την συσχέτιση των εξαρτημένων και των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Αρχικά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η **ταχύτητα οδήγησης**, η οποία παρατηρείται ότι μειώθηκε στα σενάρια όπου οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να οδηγήσουν με οικολογική συμπεριφορά, σε μεγαλύτερο βαθμό μάλιστα στο σενάριο του αυτοκινητόδρομου (όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4).

Επίσης, παρατηρήθηκε πως η **απόσταση του οχήματος από τη μέση της οδού** αυξήθηκε στα σενάρια με την οικολογική συμπεριφορά, ενώ αντίθετα η **απόσταση του οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή της οδού** μειώθηκε στα αντίστοιχα σενάρια.

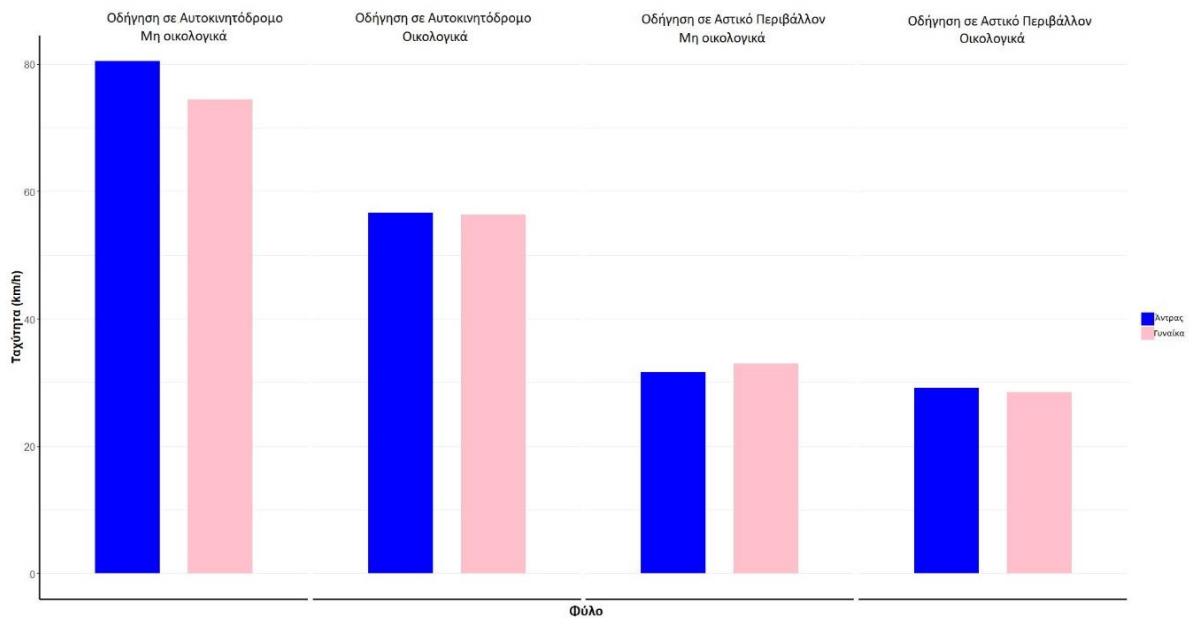
| | μέσοι όροι | | | |
|---|------------------|--|-------------------|---|
| | Αυτοκινητόδρομος | Αυτοκινητόδρομος σε οικολογική οδήγηση | Αστικό περιβάλλον | Αστικό περιβάλλον σε οικολογική οδήγηση |
| ταχύτητα (km/h) | 78 | 57 | 32 | 29 |
| απόσταση του οχήματος από τη μέση του δρόμου σε m | 5,12 | 5,71 | 3,94 | 4,07 |
| απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου σε m | 5,31 | 5,02 | 3,00 | 2,85 |

Πίνακας 4.4: Βασικές τιμές μετρήσεων για κάθε σενάριο οδήγησης

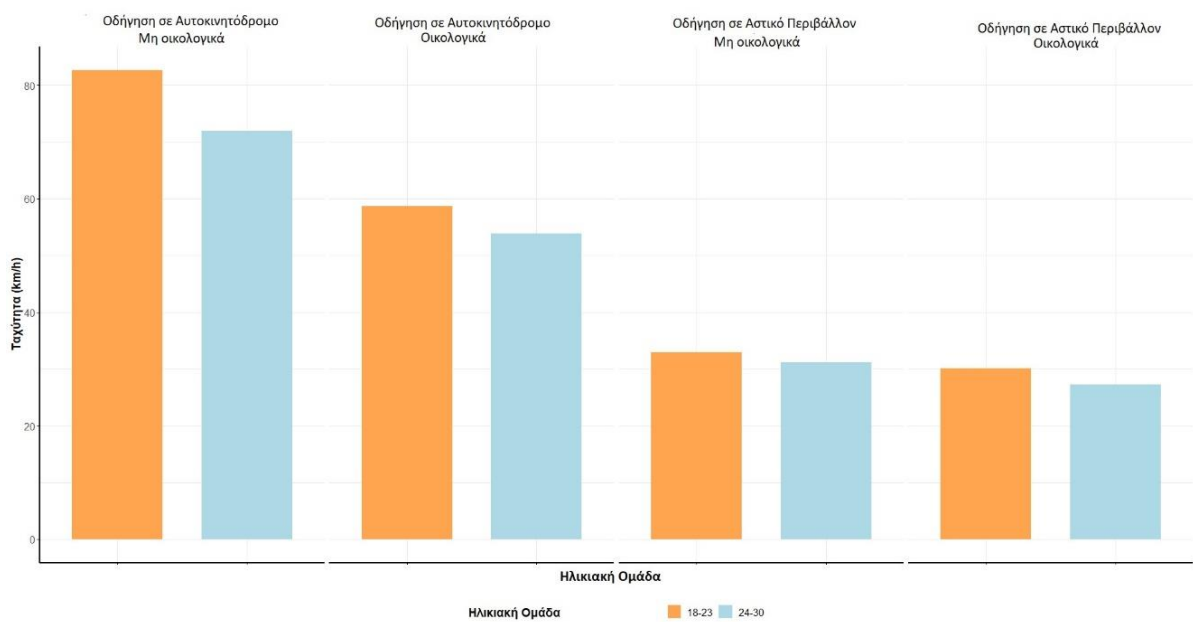
Παρακάτω, παρουσιάζονται διαγράμματα τα οποία συγκρίνουν τις τιμές των παραπάνω χαρακτηριστικών ως προς το φύλο και την ηλικιακή ομάδα του οδηγού.

Συγκεκριμένα στο Διάγραμμα 4.3α, παρατηρείται πως σχεδόν σε όλα τα σενάρια οι άντρες οδηγοί και οι γυναίκες, οδηγούν με παρόμοια ταχύτητα, εκτός από το σενάριο του αυτοκινητόδρομου στην μη οικολογική συμπεριφορά, στο οποίο οι άντρες οδηγούν με μεγαλύτερες ταχύτητες.

Στο Διάγραμμα 4.3β, είναι φανερό πως η μεγαλύτερη ηλικιακή ομάδα των συμμετεχόντων, οδηγεί με μικρότερες ταχύτητες σε όλα τα σενάρια του προσομοιωτή.



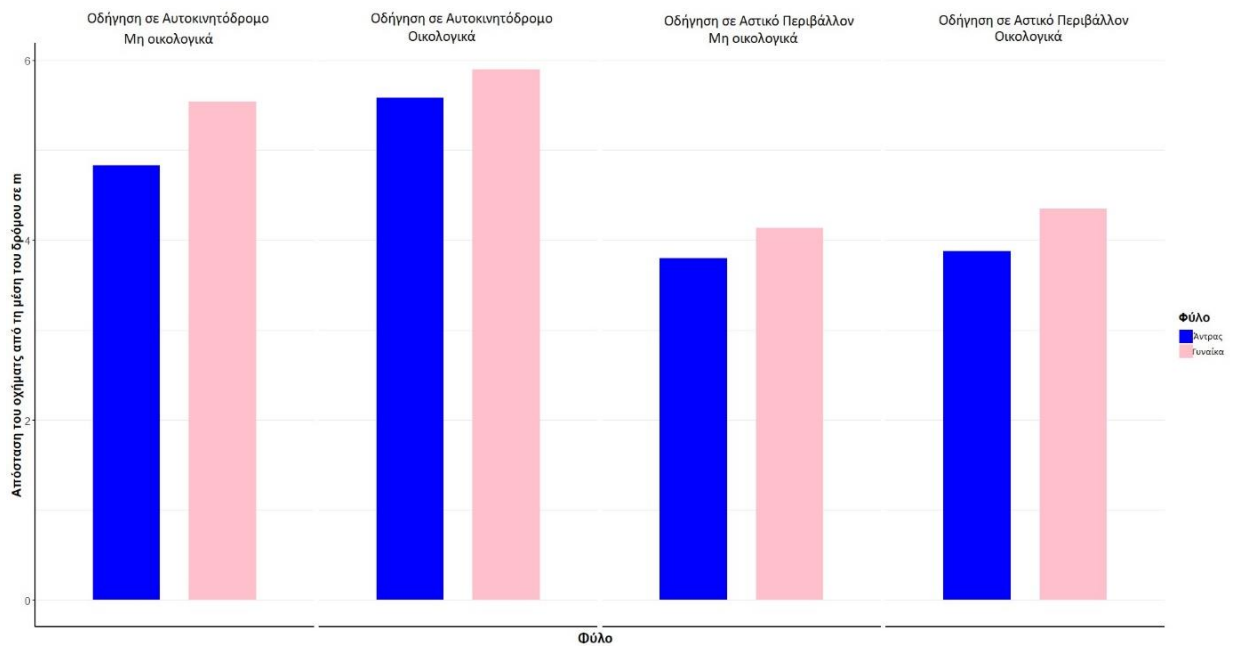
Διάγραμμα 4.3α: Επιρροή της ταχύτητας βάσει το φύλο του οδηγού



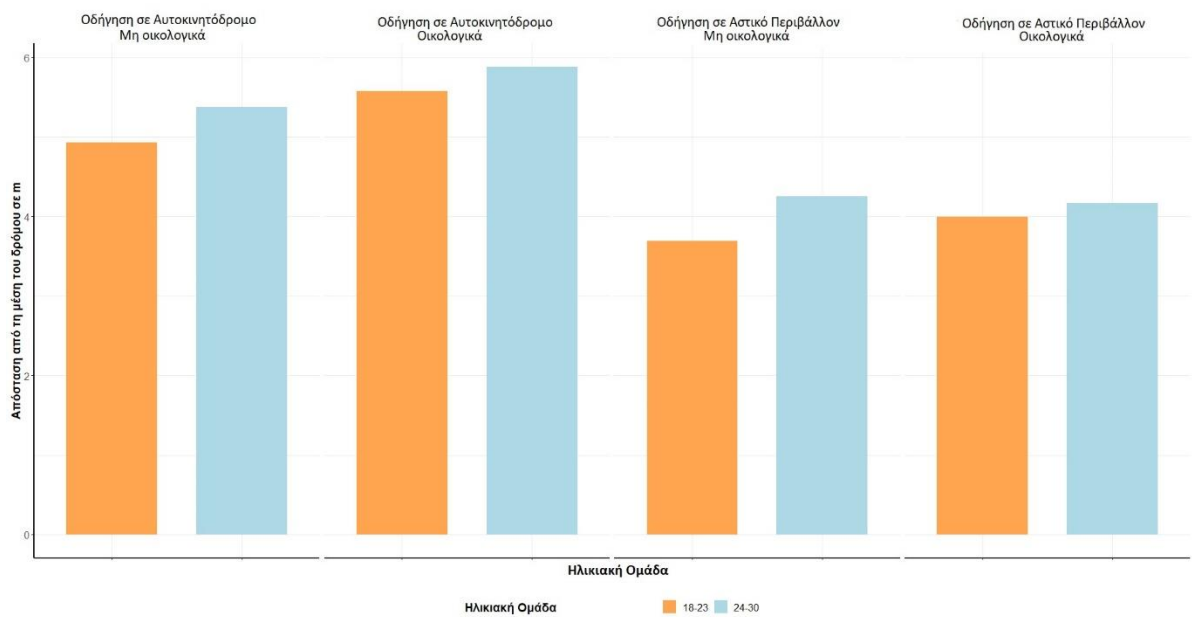
Διάγραμμα 4.3β: Επιρροή της ταχύτητας βάσει την ηλικιακή ομάδα του οδηγού

Από το Διάγραμμα 4.4α, συμπεραίνεται ότι οι γυναίκες συμμετέχοντες οδηγούν διατηρώντας σε όλα τα σενάρια μεγαλύτερη απόσταση από τη μεσαία οριογραμμή της οδού σε σχέση με τους άντρες συμμετέχοντες.

Από το Διάγραμμα 4.4β, προκύπτει πως η μικρότερη ηλικιακή ομάδα των συμμετεχόντων οδηγούν διατηρώντας σε όλα τα σενάρια μικρότερη απόσταση από τη μεσαία οριογραμμή της οδού.

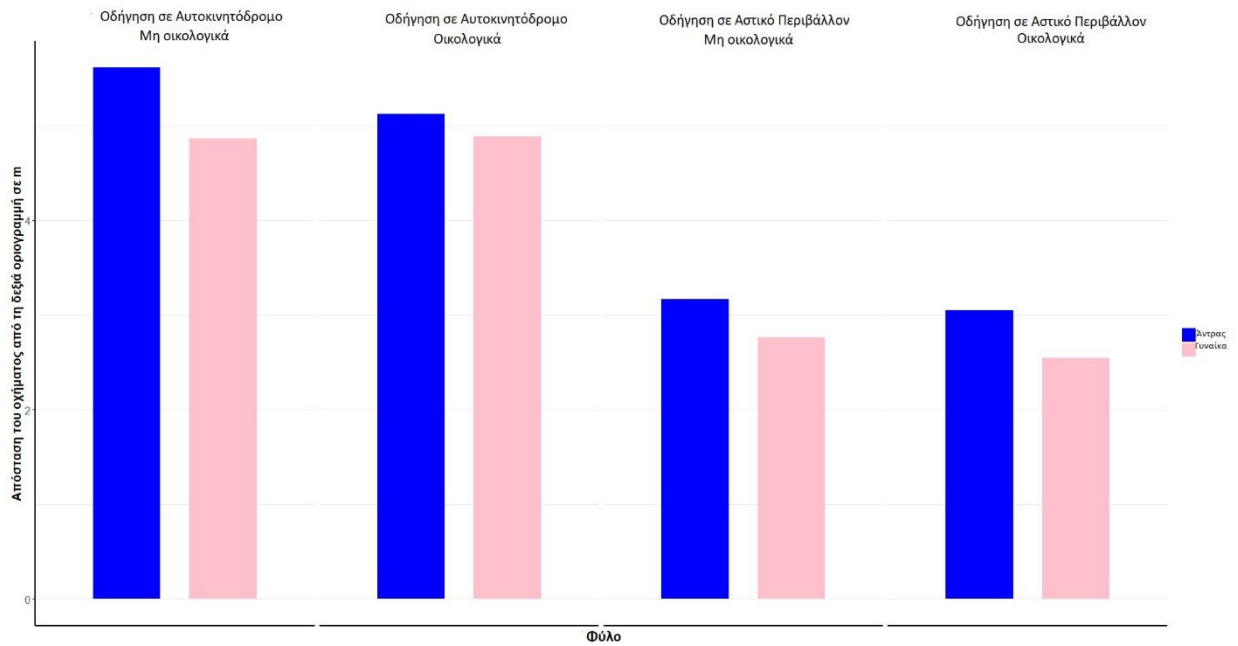


Διάγραμμα 4.4α: Απόσταση από την μέση του δρόμου σε m, βάσει το φύλο του οδηγού

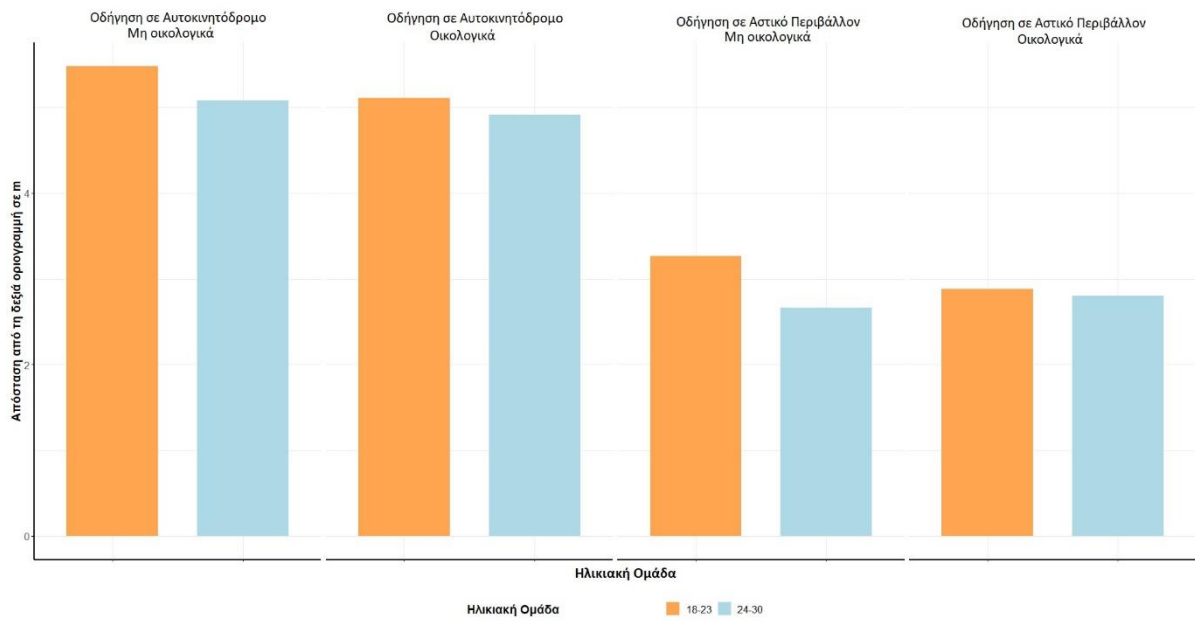


Διάγραμμα 4.4β: Απόσταση από την μέση του δρόμου σε m, βάσει την ηλικιακή ομάδα του οδηγού

Τέλος, από το Διάγραμμα 4.5α είναι σε όλα τα σενάρια οδήγησης εμφανές, ότι οι άντρες συμμετέχοντες διατηρούν μεγαλύτερη απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή της οδού σε σύγκριση με τις γυναίκες συμμετέχοντες, ενώ από το Διάγραμμα 4.5β φαίνεται ότι οι νεότεροι σε ηλικία οδηγοί διατηρούν μεγαλύτερη απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου.



Διάγραμμα 4.5α: Απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή της οδού σε m, βάσει το φύλο του οδηγού



Διάγραμμα 4.5β: Απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή της οδού σε m, βάσει την ηλικιακή ομάδα του οδηγού

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Γενικά

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της εφαρμογής της μεθοδολογίας της στατιστικής ανάλυσης των τεσσάρων μαθηματικών μοντέλων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτήν. Τα μαθηματικά μοντέλα, δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα της βάσης δεδομένων, μέσω δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στη γλώσσα προγραμματισμού R, και αφορούν το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξειδία του αζώτου και την πιθανότητα ατυχήματος. Στις παρακάτω ενότητες, παρουσιάζονται οι εξισώσεις και η στατιστική σημαντικότητα των μαθηματικών μοντέλων, καθώς επίσης γίνεται εξήγηση των ανεξάρτητων μεταβλητών τους. Επιπλέον, παρουσιάζεται η ποιότητα των μοντέλων, η διαχωρισμένη συσχέτιση των μεταβλητών τους σε διακριτές και συνεχείς με τη μέθοδο Spearman και Pearson αντίστοιχα, αλλά και η περιγραφική στατιστική των μεταβλητών, δηλαδή η συχνότητα, τα ποσοστά, το σύνολο τιμών, η μέγιστη, η ελάχιστη, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, και τέλος ο βαθμός επιρροής και η ανάλυση ευαισθησίας τους.

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

5.2.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Το γραμμικό μοντέλο της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο, δημιουργήθηκε εφαρμόζοντας λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\log(\text{CO}_2_km) = 6,6027 - 0,0938 \text{ noneco_eco} + 0,3728 \text{ environment} - 0,02308 \text{ routes_per_day} + 0,01901 \text{ AvgDRight}$$

όπου

Εξαρτημένη μεταβλητή

CO₂_km: Εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο (g/km)
(συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

noneco_eco: Σενάριο οικολογικής συμπεριφοράς

Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)

environment: Περιβάλλον οδήγησης

Αστικό περιβάλλον: 0
Αυτοκινητόδρομος : 1
(διακριτή μεταβλητή)

routes_per_day: Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας

0 διαδρομές: 0, 1 διαδρομή: 1, ..., > 5 διαδρομές: 6
(διακριτή μεταβλητή)

AvgDRight: Απόσταση του οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου σε m
(συνεχής μεταβλητή)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1), παρουσιάζονται τα στοιχεία που εξάγονται από τη γλώσσα προγραμματισμού για τις μεταβλητές του μοντέλου και αφορούν τη στατιστική του σημαντικότητα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, οι τιμές του t test για όλες τις μεταβλητές είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05, οπότε το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επιπλέον, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία (επεξήγηση τους θα γίνει στη συνέχεια).

| Coefficients | | | | |
|----------------|----------|------------|---------|----------|
| | estimate | std. error | t | Sig. |
| intercept | 6,6027 | 0,0321 | 205,419 | 0.00 *** |
| noneco_eco | -0,0938 | 0,0183 | -5,107 | 0.00*** |
| environment | 0,3728 | 0,0266 | 14,002 | 0.00 *** |
| routes_per_day | -0,02308 | 0,0058 | -3,936 | 0.00 *** |
| AvgDRight | 0,01901 | 0,0086 | 2,202 | 0.02* |

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Πίνακας 5.1: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Το αρνητικό πρόσημο στη μεταβλητή του **σεναρίου της οικολογικής οδήγησης**, δηλώνει πως όταν ο οδηγός είχε οικολογική συμπεριφορά, η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα μειωνόταν. Αυτό ήταν αναμενόμενο, διότι ενδεχομένως όταν οι οδηγοί είχαν οικολογική συμπεριφορά, οδηγούσαν με χαμηλότερες ταχύτητες, χαμηλότερες στροφές κινητήρα και απέφευγαν τις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις.

Στη μεταβλητή του **περιβάλλοντος οδήγησης** το πρόσημο είναι θετικό και δηλώνει ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε

αυτοκινητόδρομο, το οποίο είναι λογικό εφόσον στον αυτοκινητόδρομο αναπτύσσονται αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες απ' ότι σε αστικό δίκτυο.

Στο μέσο αριθμό διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας το πρόσημο είναι αρνητικό. Όσο περισσότερο κινείται ο οδηγός στην καθημερινότητα του, αυξάνεται η οδηγική του εμπειρία, επομένως μειώνεται η εκπομπή των ρύπων κατά την οδήγησή του.

Η μεταβλητή της απόστασης του οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή της οδού έχει θετικό πρόσημο, οπότε όσο πιο δεξιά κινείται ο οδηγός μειώνεται η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα, διότι αυτό συνεπάγεται με πιο προσεκτικό προφίλ οδηγού σε σύγκριση με εκείνους που οδηγούν πιο κοντά στην αριστερή λωρίδα που πιθανώς υποδηλώνει επιθετικό προφίλ και διάθεση για προσπέραση.

5.2.2. Στατιστική σημαντικότητα και ποιότητα μοντέλου

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 του μοντέλου ισούται με 0,789, το οποίο δηλώνει ύπαρξη καλής προσαρμογής του μοντέλου, εφόσον είναι αρκετά κοντά στη μονάδα.

| Model | R Square | Adjusted R Square |
|-------|----------|-------------------|
| 1 | 0,789 | 0,783 |

Πίνακας 5.2: Ποιότητα μοντέλου

5.2.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Η συσχέτιση των διακριτών και των συνεχών μεταβλητών γίνεται με διαφορετικούς μεθόδους, συγκεκριμένα με τις μεθόδους Spearman και Pearson αντίστοιχα. Για τις μεταβλητές του μοντέλου που εξετάζεται, χρησιμοποιήθηκε η μεθόδους Spearman, διότι πρόκειται για διακριτές μεταβλητές, και παρατηρήθηκε ότι δεν παρουσιάζεται συσχέτιση μεταξύ τους.

| | | | noneco_eco | environment | routes_per_day |
|-----------------|-------------------------|-----------------------|------------|-------------------------|----------------|
| | | Spearman's rho | noneco_eco | Correlation Coefficient | 1,000 |
| Sig. (2-tailed) | | | | 1,000 | 1,000 |
| N | 156 | | | 156 | 156 |
| environment | Correlation Coefficient | | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| | Sig. (2-tailed) | | 1,000 | | 1,000 |
| | N | | 156 | 156 | 156 |
| routes_per_day | Correlation Coefficient | | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | | 1,000 | 1,000 | |
| | N | | 156 | 156 | 156 |

Πίνακας 5.3: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

5.2.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών, δηλαδή η συχνότητα και τα ποσοστά.

| | | noneco_eco | | | routes_per_day | | |
|--------------|-------|------------|---------|--------------|----------------|-----------|---------|
| Valid | | frequency | percent | Valid | | frequency | percent |
| | 0 | 78 | 50% | | 0 | 16 | 10% |
| | 1 | 78 | 50% | | 1 | 16 | 10% |
| | Total | 156 | | | 2 | 60 | 39% |
| environment | | | | | 3 | 16 | 10% |
| Valid | | frequency | percent | | 4 | 28 | 18% |
| | 0 | 78 | 50% | | 5 | 12 | 8% |
| | 1 | 78 | 50% | | 6 | 8 | 5% |
| | Total | 156 | | | Total | 156 | |

Πίνακας 5.4: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Στον Πίνακα 5.5, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά της συνεχούς μεταβλητής, δηλαδή το σύνολο τιμών, η μέγιστη, ελάχιστη, μέση και τυπική απόκλιση.

| | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation |
|-----------|-----|---------|---------|-------|----------------|
| AvgDRight | 156 | 1,346 | 7,789 | 4,045 | 1,561 |

Πίνακας 5.5: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

5.2.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

Έπειτα, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της ελαστικότητας e και του βαθμού της σχετικής επιρροής e^* , προκειμένου να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.6, μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει το περιβάλλον οδήγηση, του οποίου η επιρροή είναι 3,974 φορές μεγαλύτερη από το αν ο συμμετέχοντας οδηγούσε με οικολογική συμπεριφορά ή όχι, που είναι η μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή. Επίσης, ο μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας, παρουσιάζει μεγάλη επιρροή, συγκεκριμένα 1,476 φορές μεγαλύτερη από την μικρότερη τιμή.

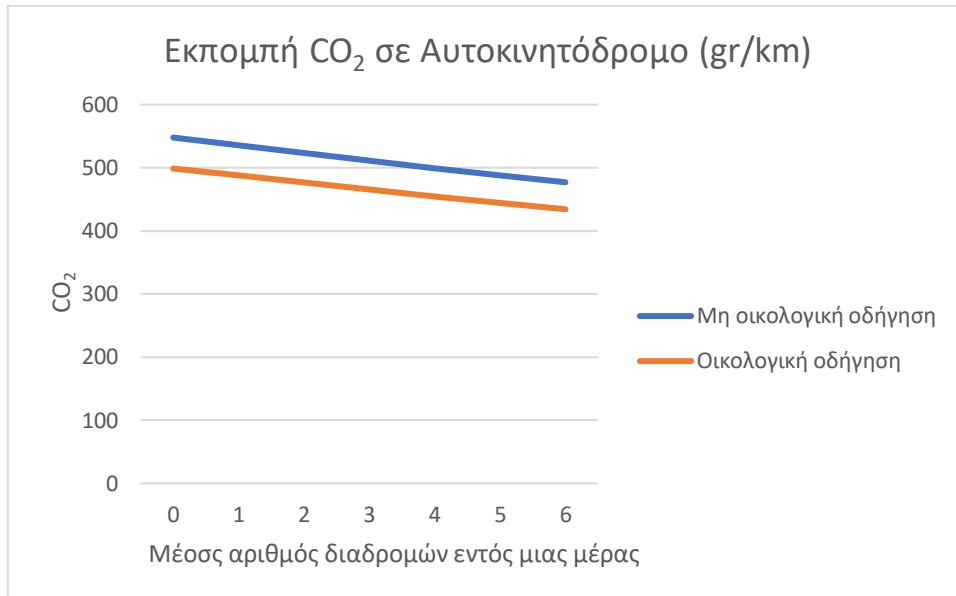
| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | B | t | e | e* |
|------------------------|--|----------|--------|-----------|--------|
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -0,0938 | -5,107 | -0,014 | 1,000 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | 0,3728 | 14,002 | 0,056 | -3,974 |
| | Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας | -0,02308 | -3,936 | -0,021 | 1,476 |
| Συνεχείς | Απόσταση οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου | 0,01901 | 2,202 | 0,0000288 | 1,000 |

Πίνακας 5.6: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

5.2.6. Ανάλυση ευαισθησίας

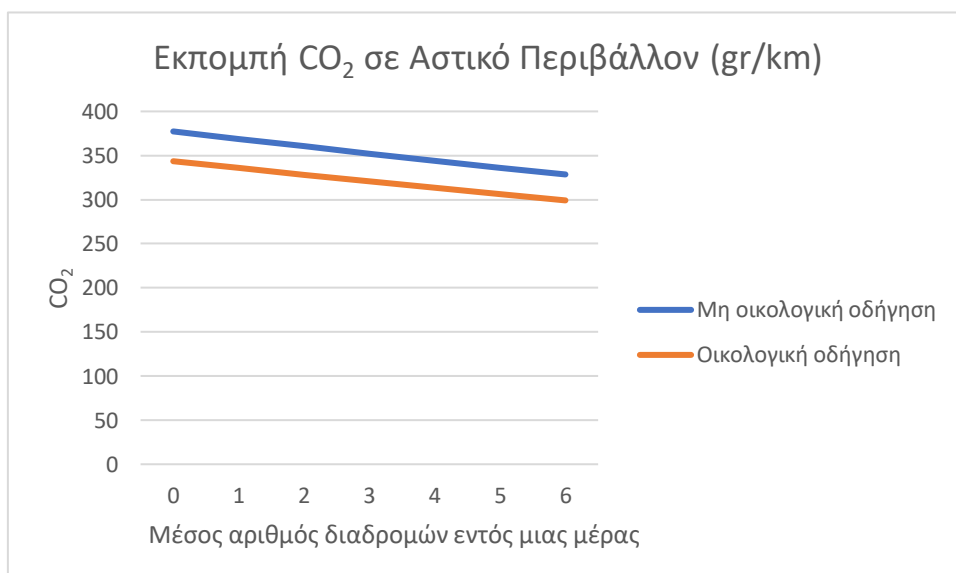
Για την ανάλυση ευαισθησίας της μεταβλητής του μέσου αριθμού διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μίας μέρας, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα

ευαισθησίας (Διάγραμμα 5.1 κα 5.2), στα οποία διακρίνεται η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα, με οικολογική και μη συμπεριφορά οδήγησης, σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο.



Διάγραμμα 5.1: Επιρροή του μέσου αριθμού διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μίας μέρας σε αυτοκινητόδρομο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης

(AvgDRight=4)



Διάγραμμα 5.2: Επιρροή του μέσου αριθμού διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μίας μέρας σε αστικό δίκτυο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης

(AvgDRight=4)

Και στα δύο διαγράμματα, οι εκπομπές των ρύπων μειώνονται όταν οι συμμετέχοντες οδηγούσαν με οικολογική συμπεριφορά, ενώ παράλληλα όσο περισσότερες διαδρομές εκτελεί ο οδηγός τη μέρα, μειώνονται οι εκπομπές ρύπων. Στο διάγραμμα 5.1 παρατηρείται μεγαλύτερη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το διάγραμμα 5.2, ενδεχομένως λόγω της ανάπτυξης μεγαλύτερων ταχυτήτων σε αυτοκινητόδρομο.

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

5.3.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Το γραμμικό μοντέλο της εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο, δημιουργήθηκε εφαρμόζοντας λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\log(\text{CO_km}) = 0,31746 - 0,48972 \text{ noneco_eco} + 0,47216 \text{ environment} - 0,02981 \text{ routes_per_day} + 0,07518 \text{ AvgDRight}$$

όπου

Εξαρτημένη μεταβλητή

CO_km: Εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο (g/km)
(συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

noneco_eco: Σενάριο οικολογικής συμπεριφοράς
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)

environment: Περιβάλλον οδήγησης
Αστικό περιβάλλον: 0
Αυτοκινητόδρομος : 1
(διακριτή μεταβλητή)

routes_per_day: Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας
0 διαδρομές: 0, 1 διαδρομή: 1, ..., > 5 διαδρομές: 6
(διακριτή μεταβλητή)

AvgDRight: Απόσταση του οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου σε m
(συνεχής μεταβλητή)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.7), παρουσιάζονται τα στοιχεία που εξάγονται από τη γλώσσα προγραμματισμού για τις μεταβλητές του μοντέλου και αφορούν τη στατιστική του σημαντικότητα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, οι τιμές του t test για όλες τις μεταβλητές είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05, οπότε το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επιπλέον, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία (επεξήγηση τους θα γίνει στη συνέχεια).

| Coefficients | | | | |
|----------------|----------|------------|---------|----------|
| | estimate | std. error | t | Sig. |
| intercept | 0,31746 | 0,08016 | 3,960 | 0.00 *** |
| noneco_eco | -0,48972 | 0,04582 | -10,688 | 0.00 *** |
| environment | 0,47216 | 0,0664 | 7,111 | 0.00 *** |
| routes_per_day | -0,02981 | 0,01463 | -2,038 | 0.04 * |
| AvgDRight | 0,07518 | 0,02154 | 3,491 | 0.00 *** |

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Πίνακας 5.7: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Το αρνητικό πρόσημο στη μεταβλητή του **σεναρίου της οικολογικής οδήγησης**, δηλώνει πως όταν ο οδηγός είχε οικολογική συμπεριφορά, η εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα μειωνόταν. Αυτό ήταν αναμενόμενο, διότι ενδεχομένως όταν οι οδηγοί είχαν οικολογική συμπεριφορά, οδηγούσαν με χαμηλότερες ταχύτητες, χαμηλότερες στροφές κινητήρα και απέφευγαν τις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις.

Στη μεταβλητή του **περιβάλλοντος οδήγησης** το πρόσημο είναι θετικό και δηλώνει ότι οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε αυτοκινητόδρομο, το οποίο είναι λογικό εφόσον στον αυτοκινητόδρομο αναπτύσσονται αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες απ' ότι σε αστικό δίκτυο.

Στο **μέσο αριθμό διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας** το πρόσημο είναι αρνητικό. Όσο περισσότερο κινείται ο οδηγός, αυξάνεται η οδηγική του εμπειρία, επομένως μειώνεται οι εκπομπές των ρύπων κατά την οδήγησή του.

Η μεταβλητή της **απόστασης του οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή της οδού** έχει θετικό πρόσημο, οπότε όσο πιο δεξιά κινείται ο οδηγός μειώνεται η εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα, διότι αυτό συνεπάγεται με πιο προσεκτικό προφίλ οδηγού σε σύγκριση με εκείνους που οδηγούν πιο κοντά στην αριστερή λωρίδα που πιθανώς υποδηλώνει επιθετικό προφίλ και διάθεση για προσπέραση.

5.3.2. Στατιστική σημαντικότητα και ποιότητα μοντέλου

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 του μοντέλου ισούται με 0,690, το οποίο δηλώνει ύπαρξη καλής προσαρμογής του μοντέλου.

| Model | R Square | Adjusted R Square |
|-------|----------|-------------------|
| 1 | 0,690 | 0,681 |

Πίνακας 5.8: Ποιότητα μοντέλου

5.3.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Η συσχέτιση των διακριτών και των συνεχών μεταβλητών γίνεται με διαφορετικούς μεθόδους, συγκεκριμένα με τις μεθόδους Spearman και Pearson αντίστοιχα. Για τις μεταβλητές του μοντέλου που εξετάζεται, χρησιμοποιήθηκε η μεθόδους Spearman, διότι πρόκειται για διακριτές μεταβλητές, και παρατηρήθηκε ότι δεν παρουσιάζεται συσχέτιση μεταξύ τους.

| | | | noneco_eco | environment | routes_per_day |
|----------------|----------------|-------------------------|------------|-------------|----------------|
| Spearman's rho | noneco_eco | Correlation Coefficient | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | Sig. (2-tailed) | | 1,000 | 1,000 |
| | | N | 156 | 156 | 156 |
| | environment | Correlation Coefficient | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| | | Sig. (2-tailed) | 1,000 | | 1,000 |
| | | N | 156 | 156 | 156 |
| | routes_per_day | Correlation Coefficient | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| | | Sig. (2-tailed) | 1,000 | 1,000 | |
| | | N | 156 | 156 | 156 |

Πίνακας 5.9: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

5.3.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών, δηλαδή η συχνότητα και τα ποσοστά.

| noneco_eco | | | | routes_per_day | | | |
|-------------|-------|-----------|---------|----------------|-------|-----------|---------|
| Valid | | frequency | percent | Valid | | frequency | percent |
| | 0 | 78 | 50% | | 0 | 16 | 10% |
| | 1 | 78 | 50% | | 1 | 16 | 10% |
| | Total | 156 | | | 2 | 60 | 39% |
| environment | | | | | 3 | 16 | 10% |
| Valid | | frequency | percent | | 4 | 28 | 18% |
| | 0 | 78 | 50% | | 5 | 12 | 8% |
| | 1 | 78 | 50% | | 6 | 8 | 5% |
| | Total | 156 | | | Total | 156 | |

Πίνακας 5.10: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Στον Πίνακα 5.5, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά της συνεχούς μεταβλητής, δηλαδή το σύνολο τιμών, η μέγιστη, ελάχιστη, μέση και τυπική απόκλιση.

| | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation |
|-----------|-----|---------|---------|-------|----------------|
| AvgDRight | 156 | 1,346 | 7,789 | 4,045 | 1,561 |

Πίνακας 5.11: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

5.3.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

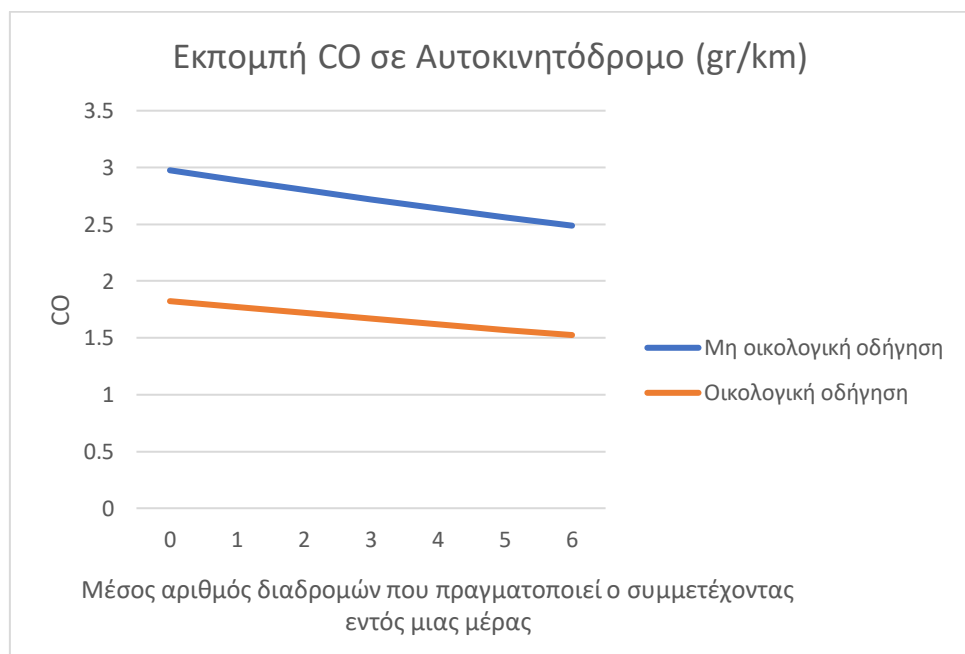
Έπειτα, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της ελαστικότητας ϵ και του βαθμού της σχετικής επιρροής ϵ^* , προκειμένου να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.12, μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει η οικολογική ή μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, της οποίας η επιρροή είναι 2,738 φορές μεγαλύτερη από το μέσο αριθμό διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας, που είναι η μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή. Επίσης, περιβάλλον οδήγησης, παρουσιάζει μεγάλη επιρροή, συγκεκριμένα 2,640 φορές μεγαλύτερη από την μικρότερη τιμή.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | B | t | e | e* |
|------------------------|--|----------|---------|--------|--------|
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -0,48972 | -10,688 | -0,982 | 2,738 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | 0,47216 | 7,111 | 0,946 | -2,640 |
| | Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας | -0,02981 | -2,038 | -0,358 | 1,000 |
| Συνεχείς | Απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου | 0,07518 | 3,491 | 0,002 | 1,000 |

Πίνακας 5.12: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

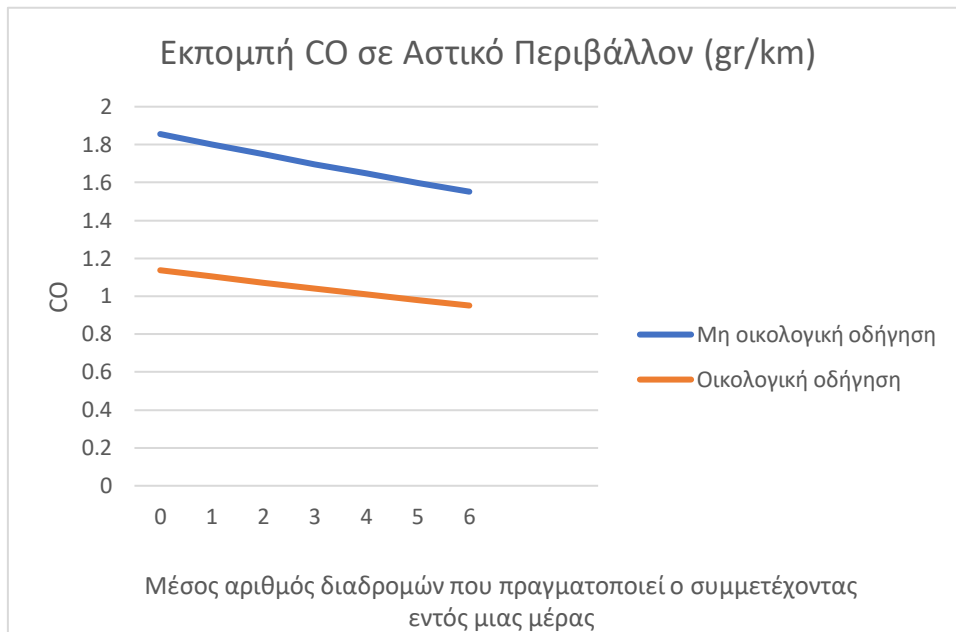
5.3.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση ευαισθησίας της μεταβλητής του μέσου αριθμού διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μίας μέρας, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα ευαισθησίας (Διάγραμμα 5.3 και 5.4), στα οποία διακρίνεται η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στην εκπομπή του μονοξειδίου του άνθρακα, με οικολογική και μη συμπεριφορά οδήγησης, σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο.



Διάγραμμα 5.3: Επιρροή του μέσου αριθμού διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μίας μέρας σε αυτοκινητόδρομο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης

(AvgDRight=4)



Διάγραμμα 5.4: Επιρροή του μέσου αριθμού διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας σε αστικό δίκτυο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης

(AvgDRight=4)

Και στα δύο διαγράμματα, οι εκπομπές των ρύπων μειώνονται όταν οι συμμετέχοντες οδηγούσαν με οικολογική συμπεριφορά, ενώ παράλληλα όσο περισσότερες διαδρομές εκτελεί ο οδηγός τη μέρα, μειώνονται οι εκπομπές ρύπων. Στο διάγραμμα 5.3 παρατηρείται μεγαλύτερη εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το διάγραμμα 5.4, ενδεχομένως λόγω της ανάπτυξης μεγαλύτερων ταχυτήτων σε αυτοκινητόδρομο.

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

5.4.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Το γραμμικό μοντέλο της εκπομπής των οξειδίων του αζώτου ανά χιλιόμετρο, δημιουργήθηκε εφαρμόζοντας λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\log(\text{NO}_x \text{ km}) = -2,149 - 0,4945 \text{ noneco_eco} + 1,04 \text{ environment} - 0,000037 \text{ AvgTTC} - 0,08165 \text{ Avgrspur} + 0,08924 \text{ gender}$$

όπου

Εξαρτημένη μεταβλητή

NO_x_km: Εκπομπή των οξειδίων του αζώτου ανά χιλιόμετρο (g/km)
(συνεχής μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

noneco_eco: Σενάριο οικολογικής συμπεριφοράς
Μη οικολογική συμπεριφορά: 0, Οικολογική συμπεριφορά: 1
(διακριτή μεταβλητή)

environment: Περιβάλλον οδήγησης
Αστικό περιβάλλον: 0
Αυτοκινητόδρομος: 1
(διακριτή μεταβλητή)

AvgTTC: Χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα σε ms
(συνεχής μεταβλητή)

Avgrspur: Ίχνος του οχήματος από τη μέση της οδού σε m
(συνεχής μεταβλητή)

gender: Φύλο οδηγού
Άντρας: 1
Γυναίκα: 2
(διακριτή μεταβλητή)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.13), παρουσιάζονται τα στοιχεία που εξάγονται από τη γλώσσα προγραμματισμού για τις μεταβλητές του μοντέλου και αφορούν τη στατιστική του σημαντικότητα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, οι τιμές του t test για όλες τις μεταβλητές είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05, οπότε το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επιπλέον, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία (επεξήγηση τους θα γίνει στη συνέχεια).

| Coefficients | | | | |
|--------------|-----------|------------|---------|----------|
| | estimate | std. error | t | Sig. |
| intercept | -2,149 | 0,1003 | -21,418 | 0.00 *** |
| noneco_eco | -0,4945 | 0,04375 | -11,303 | 0.00 *** |
| environment | 1,04 | 0,05318 | 19,550 | 0.00 *** |
| AvgTTC | -0,000037 | 0 | -5,401 | 0.00 *** |
| gender | 0,08924 | 0,0435 | 2,051 | 0.04* |
| Avgrspur | -0,08165 | 0,02215 | -3,686 | 0.001 ** |

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Πίνακας 5.13: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Το αρνητικό πρόσημο στη μεταβλητή του **σεναρίου της οικολογικής οδήγησης**, δηλώνει πως όταν ο οδηγός είχε οικολογική συμπεριφορά, η εκπομπή των οξειδίων του αζώτου μειωνόταν. Αυτό ήταν αναμενόμενο, διότι όταν οι οδηγοί είχαν οικολογική συμπεριφορά, οδηγούσαν με χαμηλότερες ταχύτητες, χαμηλότερες στροφές κινητήρα και απέφευγαν τις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις.

Στη μεταβλητή του **περιβάλλοντος οδήγησης** το πρόσημο είναι θετικό και δηλώνει ότι οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου αυξάνονται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε αυτοκινητόδρομο, το οποίο είναι λογικό εφόσον στον αυτοκινητόδρομο αναπτύσσονται αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες απ' ότι σε αστικό δίκτυο.

Στο **χρόνο σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα** το πρόσημο είναι αρνητικό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος σύγκρουσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόσταση που διατηρεί ο οδηγός από το προπορευόμενο όχημα, που σημαίνει ότι αποφεύγει τις απότομες επιβραδύνσεις σε περίπτωση μείωσης της ταχύτητα ή ακινητοποίησης του προπορευόμενου οχήματος. Συνεπώς μειώνονται οι εκπομπές των ρύπων.

Το **φύλο** του οδηγού έχει θετικό πρόσημο, δηλαδή όταν πρόκειται για γυναίκες οδηγούς αυξάνονται οι εκπομπές, πιθανόν διότι οι άντρες οδηγοί συνήθως κινούνται με μεγαλύτερη σταθερότητα.

Η μεταβλητή του **ίχνους του οχήματος από τη μέση της οδού** έχει αρνητικό πρόσημο, οπότε όσο πιο δεξιά κινείται ο οδηγός μειώνεται η εκπομπή των οξειδίων του αζώτου, διότι αυτό συνεπάγεται με πιο προσεκτικό προφίλ οδηγού, που πιθανώς δεν υποδηλώνει διάθεση για προσπέραση.

5.4.2. Στατιστική σημαντικότητα και ποιότητα μοντέλου

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 του μοντέλου ισούται με 0,813, το οποίο δηλώνει υπαρκτή καλή προσαρμογή του μοντέλου, εφόσον είναι αρκετά κοντά στη μονάδα.

| Model | R Square | Adjusted R Square |
|-------|----------|-------------------|
| 1 | 0,813 | 0,806 |

Πίνακας 5.14: Ποιότητα μοντέλου

5.4.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Η συσχέτιση των διακριτών και των συνεχών μεταβλητών γίνεται με διαφορετικούς μεθόδους, συγκεκριμένα με τις μεθόδους Spearman και Pearson αντίστοιχα. Για τις

μεταβλητές του μοντέλου που εξετάζεται, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο μέθοδοι και παρατηρήθηκε ότι δεν παρουσιάζεται συσχέτιση μεταξύ τους, αφού όλες οι τιμές είναι μικρότερες του 0,4.

| | | | noneco_eco | environment | gender |
|-----------------|-------------------------|----------------|------------|-------------------------|--------|
| | | Spearman's rho | noneco_eco | Correlation Coefficient | 1,000 |
| Sig. (2-tailed) | | | | 1,000 | 1,000 |
| N | 156 | | | 156 | 156 |
| environment | Correlation Coefficient | | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| | Sig. (2-tailed) | | 1,000 | | 1,000 |
| | N | | 156 | 156 | 156 |
| gender | Correlation Coefficient | | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | | 1,000 | 1,000 | |
| | N | | 156 | 156 | 156 |

Πίνακας 5.15: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

| | | | AvgTTC | Avgrspur |
|-----------------|-------------------------|---------------|--------|-------------------------|
| | | Pearson's rho | AvgTTC | Correlation Coefficient |
| Sig. (2-tailed) | | | | 0,153 |
| N | 156 | | | 156 |
| Avgrspur | Correlation Coefficient | | 0,115 | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | | 0,153 | |
| | N | | 156 | 156 |

Πίνακας 5.16: Συσχέτιση συνεχών μεταβλητών

5.4.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών, δηλαδή η συχνότητα και τα ποσοστά.

| noneco_eco | | | |
|-------------|-------|-----------|---------|
| Valid | | frequency | percent |
| | 0 | 78 | 50% |
| | 1 | 78 | 50% |
| | Total | 156 | |
| environment | | | |
| Valid | | frequency | percent |
| | 0 | 78 | 50% |
| | 1 | 78 | 50% |
| | Total | 156 | |
| gender | | | |
| Valid | | frequency | percent |
| | 1 | 92 | 59% |
| | 2 | 64 | 41% |
| | Total | 156 | |

Πίνακας 5.17: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Στον Πίνακα 5.18, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά των συνεχών μεταβλητών, δηλαδή το σύνολο τιμών, η μέγιστη, ελάχιστη, μέση και τυπική απόκλιση.

| | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation |
|----------|-----|---------|---------|-------|----------------|
| AvgTTC | 156 | 1,346 | 7,789 | 4,045 | 1,561 |
| Avgrspur | 156 | 2,374 | 7,297 | 4,710 | 1,227 |

Πίνακας 5.18: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

5.4.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

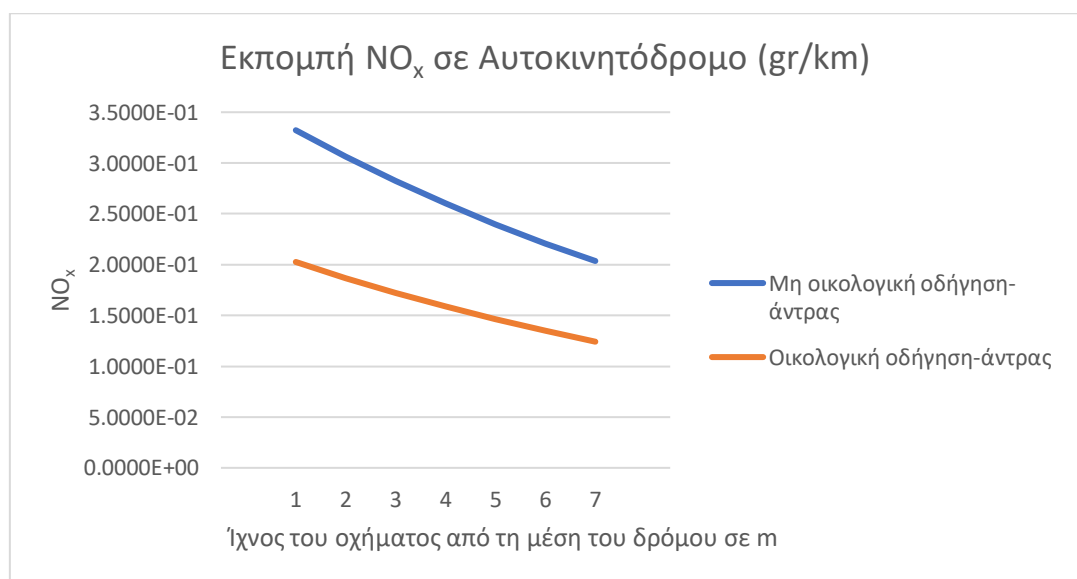
Έπειτα, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της ελαστικότητας ϵ και του βαθμού της σχετικής επιρροής ϵ^* , προκειμένου να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκπομπή των οξειδίων του αζώτου. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.19, μεγαλύτερη επιρροή στην εκπομπή των οξειδίων του αζώτου παρουσιάζει το ίχνος του οχήματος από τη μέση της οδού, του οποίου η επιρροή είναι 2215,138 φορές μεγαλύτερη από το χρόνο σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα, που είναι η μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή. Επίσης, το περιβάλλον οδήγησης, παρουσιάζει μεγάλη επιρροή, συγκεκριμένα 5,827 φορές μεγαλύτερη από την μικρότερη τιμή.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | B | t | e | e* |
|------------------------|--|----------|---------|---------|----------|
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -0,4945 | -11,303 | -0,207 | -2,771 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | 1,04 | 19,55 | 0,436 | 5,827 |
| | Φύλλο | 0,08924 | 2,051 | 0,075 | 1,000 |
| Συνεχείς | Χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα | - | -5,401 | - | 1,000 |
| | Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου | -0,08165 | -3,686 | -0,0003 | 2215,138 |

Πίνακας 5.19: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

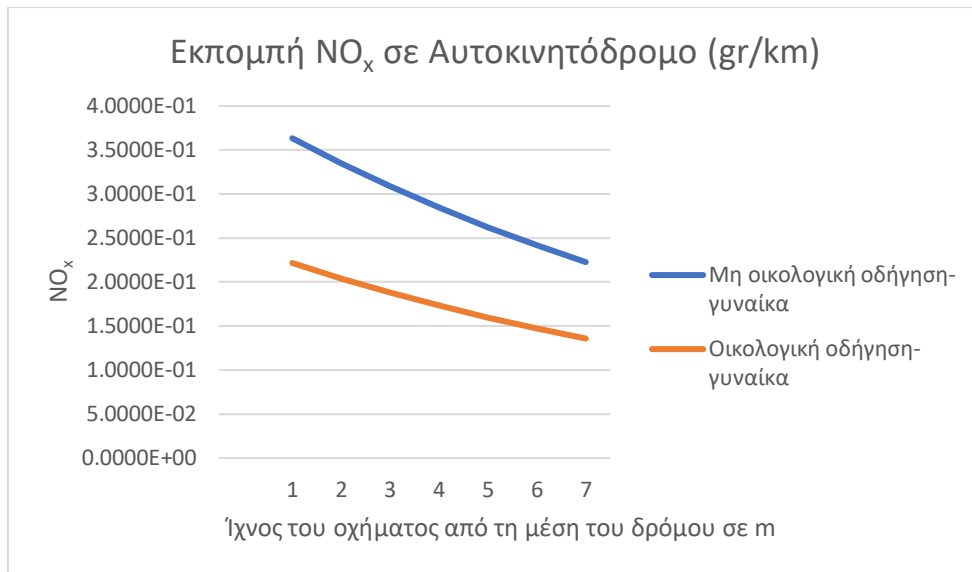
5.4.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση ευαισθησίας της μεταβλητής του ίχνους του οχήματος από τη μέση της οδού, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα ευαισθησίας (Διάγραμμα 5.5α, 5.5β και 5.6α, 5.6β), στα οποία διακρίνεται η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στην εκπομπή των οξειδίων του αζώτου, με οικολογική και μη συμπεριφορά οδήγησης, σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο και συγκριτικά με το φύλλο του οδηγού.



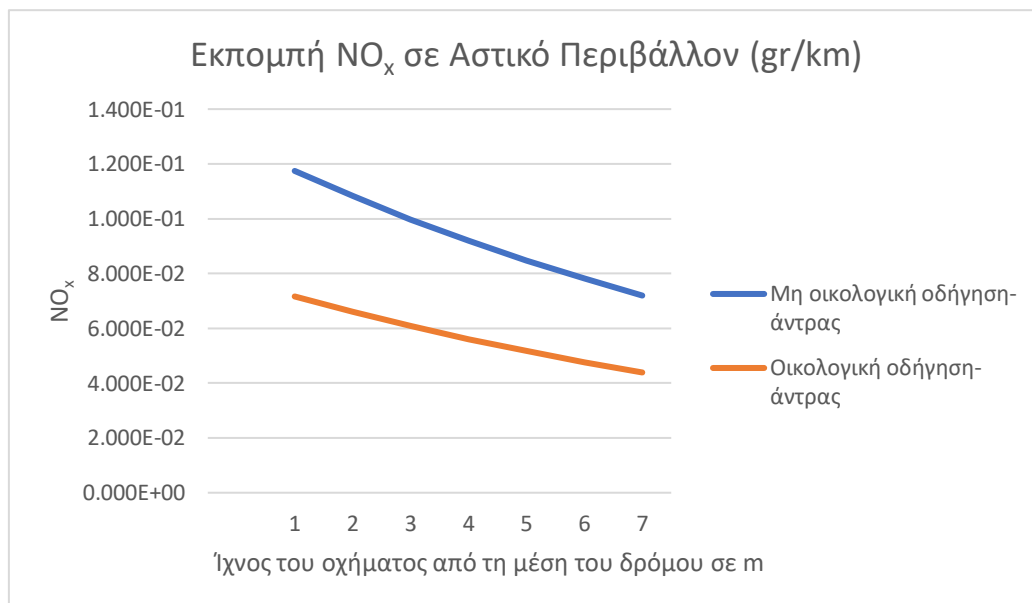
Διάγραμμα 5.5α: Επιρροή ίχνους του οχήματος από τη μέση της οδού σε αυτοκινητόδρομο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, όταν ο οδηγός είναι άντρας

(AvgTTC=15)



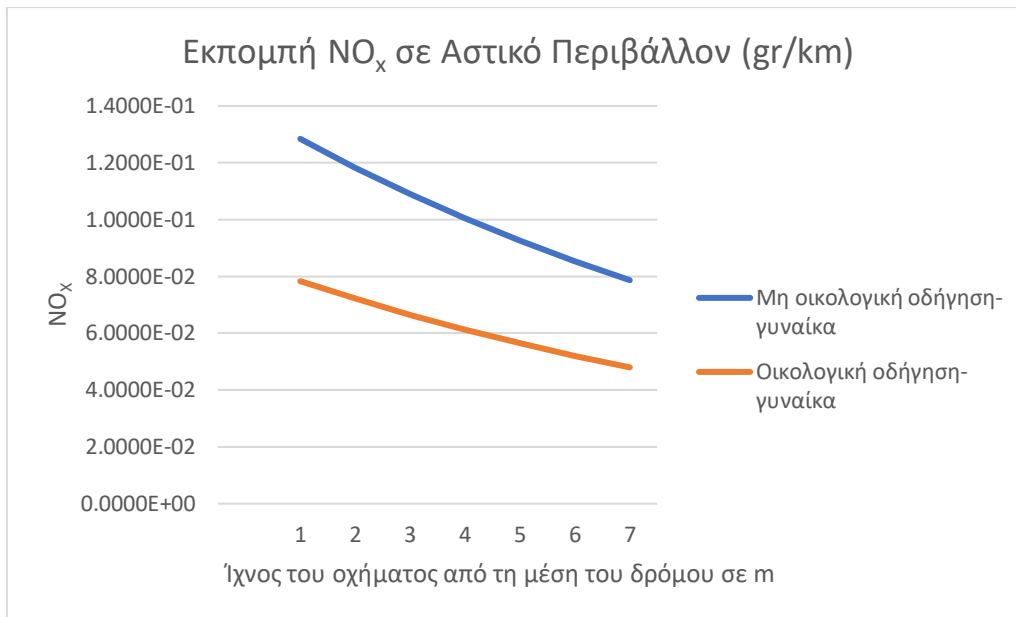
Διάγραμμα 5.5β: Επιρροή ίχνους του οχήματος από τη μέση της οδού σε αυτοκινητόδρομο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, όταν ο οδηγός είναι γυναίκα

(AvgTTC=15)



Διάγραμμα 5.6α: Επιρροή ίχνους του οχήματος από τη μέση της οδού σε αστικό δίκτυο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, όταν ο οδηγός είναι άντρας

(AvgTTC=15)



Διάγραμμα 5.6β: Επιρροή ίχνους του οχήματος από τη μέση της οδού σε αστικό δίκτυο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, όταν ο οδηγός είναι γυναίκα

(AvgTTC=15)

Σε όλα τα διαγράμματα, οι εκπομπές των ρύπων μειώνονται όταν οι συμμετέχοντες οδηγούν με οικολογική συμπεριφορά, ενώ παράλληλα όσο αυξάνεται το ίχνος του οχήματος από τη μέση της οδού, μειώνονται οι εκπομπές ρύπων. Παράλληλα, παρατηρείται πως και για τα δύο περιβάλλοντα οδήγησης, οι εκπομπές ρύπων από άντρες οδηγούς είναι μικρότερες απ' ότι στις γυναίκες.

5.5. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για την πιθανότητα ατυχήματος

5.5.1. Μαθηματικό μοντέλο και στατιστική σημαντικότητα

Το διωνυμικό λογιστικό μοντέλο για την πιθανότητα ατυχήματος, δίνεται από την εξής σχέση:

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

$$\text{NumOfCrashes} = 2,3497 - 2,6079 \text{ noneco_eco} - 2,3255 \text{ environment} - 0,2538 \text{ years_license}$$

όπου

Εξαρτημένη μεταβλητή

NumOfCrashes: Ύπαρξη ατυχήματος

Όχι: 0

Ναι: 1

(διακριτή μεταβλητή)

Ανεξάρτητες μεταβλητές

noneco_eco: Σενάριο οικολογικής συμπεριφοράς

Μη οικολογική συμπεριφορά: 0

Οικολογική συμπεριφορά: 1

(διακριτή μεταβλητή)

environment: Περιβάλλον οδήγησης

Αστικό περιβάλλον: 0

Αυτοκινητόδρομος : 1

(διακριτή μεταβλητή)

years_license: Χρόνια κατοχής διπλώματος οδήγησης

(συνεχής μεταβλητή)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.20), παρουσιάζονται τα στοιχεία που εξάγονται από τη γλώσσα προγραμματισμού για τις μεταβλητές του μοντέλου και αφορούν τη στατιστική του σημαντικότητα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, οι τιμές του z-value για όλες τις μεταβλητές είναι μεγαλύτερες από 1,7 και του Sig. είναι μικρότερες από 0,05, οπότε το μοντέλο έχει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επιπλέον, τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης παρουσιάζουν λογική ερμηνεία (επεξήγηση τους θα γίνει στη συνέχεια).

| Coefficients | | | | |
|---------------|----------|------------|---------|--------------|
| | estimate | std. error | z value | Sig. |
| intercept | 2,3497 | 0,6246 | 3,762 | 0.000169 *** |
| noneco_eco | -2,6079 | 0,4994 | -5,222 | 0.00 *** |
| environment | -2,3255 | 0,488 | -4,765 | 0.00 *** |
| years_license | -0,2538 | 0,1104 | -2,299 | 0,0215 * |

* Επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99%

*** Επίπεδο εμπιστοσύνης 99,9%

Πίνακας 5.20: Στοιχεία των μεταβλητών του μοντέλου

Το αρνητικό πρόσημο στη μεταβλητή του **σεναρίου της οικολογικής οδήγησης**, δηλώνει πως όταν ο οδηγός είχε οικολογική συμπεριφορά, η πιθανότητα να εμπλακεί σε ατύχημα μειωνόταν. Αυτό ήταν αναμενόμενο, διότι όταν οι οδηγοί είχαν οικολογική συμπεριφορά, οδηγούσαν με χαμηλότερες ταχύτητες, χαμηλότερες στροφές κινητήρα και απέφευγαν τις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις, οπότε έχουν περισσότερο χρόνο να αντιδράσουν και να αποφύγουν τη σύγκρουση.

Στη μεταβλητή του **περιβάλλοντος οδήγησης** το πρόσημο είναι αρνητικό και δηλώνει ότι η πιθανότητα ατυχήματος αυξάνεται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε αστικό δίκτυο, το οποίο είναι λογικό εφόσον στο αστικό δίκτυο, ο οδηγός πρέπει επιπλέον να λάβει υπόψιν του, τους σηματοδότες, τις πινακίδες σήμανσης και τους πεζούς. Στο περιβάλλον του αυτοκινητόδρομου ο οδηγός δεν χρειάζεται να επεξεργαστεί αυτές τις πληροφορίες, οπότε εστιάζει καλύτερα κατά την οδήγησή του και μπορεί να αντιδράσει πιο γρήγορα.

Στον **αριθμό των ετών που ο συμμετέχοντας κατέχει το δίπλωμα οδήγησης** το πρόσημο είναι αρνητικό. Όσα περισσότερα χρόνια οδηγεί ο συμμετέχοντας, αυξάνεται η οδηγική του εμπειρία, επομένως μειώνεται η πιθανότητα να εμπλακεί σε ατύχημα.

5.5.2. Στατιστική σημαντικότητα και ποιότητα μοντέλου

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται η πιθανότητα επιτυχημένης πρόβλεψης του μοντέλου για την πραγματοποίηση ή όχι ατυχήματος. Τα ποσοστά επιτυχημένης πρόβλεψης μη ύπαρξης ή ύπαρξης ατυχήματος είναι αρκετά ικανοποιητικά, έχοντας τιμές 80,2% και 77,1% αντίστοιχα, καθώς επίσης και η ακρίβεια των συνολικών προβλέψεων έχει μεγάλη τιμή 79,5%.

| Observed | | Predicted | | |
|--------------------|-------|---------------------------|----|--------------------|
| | | Number of Crashes Average | | Percentage Correct |
| | | 0 | 1 | |
| Number of Crashes | FALSE | 97 | 24 | 80,2% |
| Average | TRUE | 8 | 27 | 77,1% |
| Overall Percentage | | | | 79,5% |

Πίνακας 5.21: Ποσοστό πρόβλεψης μοντέλου

5.5.3. Συσχέτιση μεταβλητών

Για τις μεταβλητές του μοντέλου που εξετάζεται, χρησιμοποιήθηκε η μεθόδους Spearman, διότι πρόκειται για διακριτές μεταβλητές, και παρατηρήθηκε ότι δεν παρουσιάζεται συσχέτιση μεταξύ τους.

| | | | noneco_eco | environment |
|-----------------|-------------------------|----------------|------------|-------------------------|
| | | Spearman's rho | noneco_eco | Correlation Coefficient |
| Sig. (2-tailed) | | | | 1,000 |
| N | 156 | | | 156 |
| environment | Correlation Coefficient | | 0,000 | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | | 1,000 | |
| | N | | 156 | 156 |

Πίνακας 5.22: Συσχέτιση διακριτών μεταβλητών

5.5.4. Περιγραφική στατιστική μεταβλητών

Στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά χαρακτηριστικά των διακριτών μεταβλητών, δηλαδή η συχνότητα και τα ποσοστά.

| noneco_eco | | | |
|-------------|-------|-----------|---------|
| Valid | | frequency | percent |
| | 0 | 78 | 50% |
| | 1 | 78 | 50% |
| | Total | 156 | |
| environment | | | |
| Valid | | frequency | percent |
| | 0 | 78 | 50% |
| | 1 | 78 | 50% |
| | Total | 156 | |

Πίνακας 5.23: Περιγραφική στατιστική των διακριτών μεταβλητών

Στον Πίνακα 5.24, φαίνονται τα περιγραφικά στατιστικά της συνεχούς μεταβλητής, δηλαδή το σύνολο τιμών, η μέγιστη, ελάχιστη, μέση και τυπική απόκλιση.

| | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation |
|---------------|-----|---------|---------|-------|----------------|
| years_license | 156 | 1 | 12 | 4,141 | 2,325 |

Πίνακας 5.24: Περιγραφική στατιστική των συνεχών μεταβλητών

5.5.5. Βαθμός επιρροής μεταβλητών

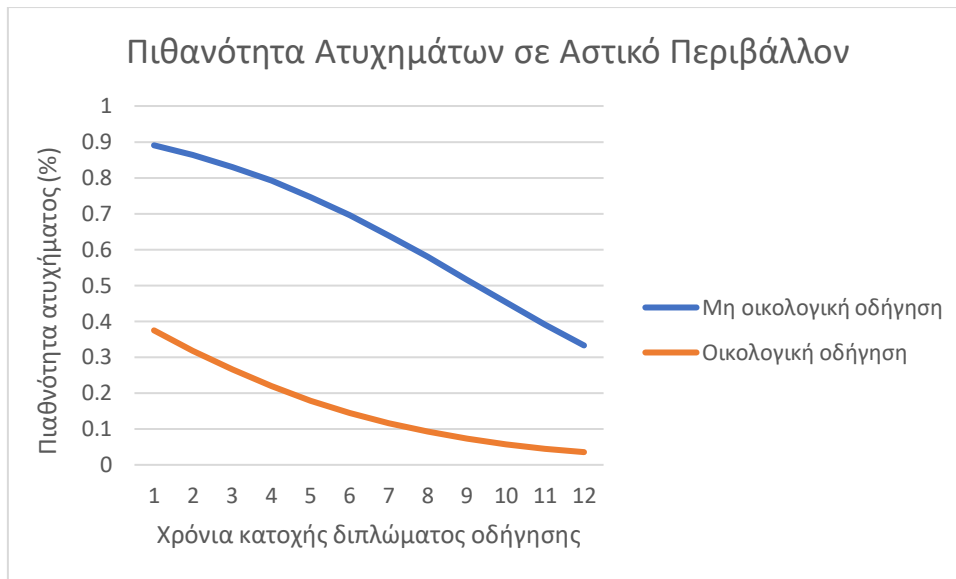
Έπειτα, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της ελαστικότητας e και του βαθμού της σχετικής επιρροής e^* (δηλαδή ο λόγος των ανεξάρτητων μεταβλητών προς την ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στην εξαρτημένη), προκειμένου να βρεθεί ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην πιθανότητα ατυχήματος. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.25, μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος παρουσιάζει η οικολογική ή μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, της οποίας η επιρροή είναι 1,037 φορές μεγαλύτερη από την μικρότερη τιμή.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | B | z value | e | e* |
|------------------------|------------------------------------|---------|---------|--------|-------|
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -2,6079 | -5,222 | -0,900 | 1,037 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | -2,3255 | -4,765 | -0,868 | 1,000 |
| Συνεχείς | Χρόνια κατοχής διπλώματος οδήγησης | -0,2538 | -2,299 | -0,636 | 1,000 |

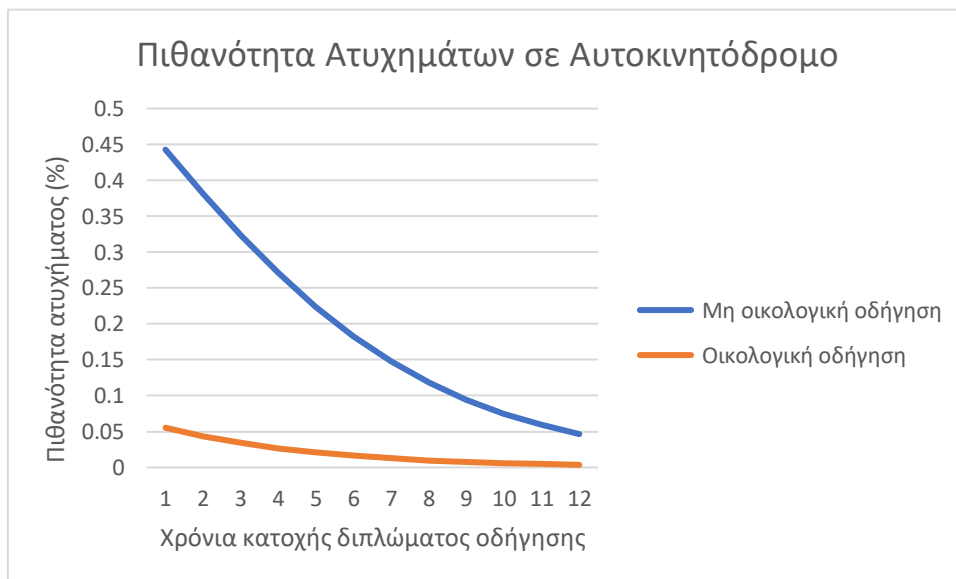
Πίνακας 5.25: Ελαστικότητα ανεξάρτητων μεταβλητών

5.5.6. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση ευαισθησίας της μεταβλητής των χρόνων κατοχής διπλώματος οδήγησης, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα ευαισθησίας (Διάγραμμα 5.7 και 5.8), στα οποία διακρίνεται η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στην πιθανότητα εμπλοκής του οδηγού σε ατύχημα, με οικολογική και μη συμπεριφορά οδήγησης, σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο.



Διάγραμμα 5.7: Επιρροή των χρόνων κατοχής διπλώματος οδήγησης σε αστικό δίκτυο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης



Διάγραμμα 5.8: Επιρροή των χρόνων κατοχής διπλώματος οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο, με οικολογική και μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης

Και στα δύο διαγράμματα, η πιθανότητα του ατυχήματος μειώνεται όταν οι συμμετέχοντες οδηγούσαν με οικολογική συμπεριφορά, ενώ παράλληλα όσα περισσότερα χρόνια κατέχει ο συμμετέχοντας δίπλωμα οδήγησης, τόσο μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάλυση των ωφελειών της οικολογικής οδήγησης σε αστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο με προσομοιωτή οδήγησης. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η επιρροή της οικολογικής οδήγησης στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων και στην πιθανότητα εμπλοκής του οδηγού σε οδικό ατύχημα.

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη σε προσομοιωτή οδήγησης, με την συμμετοχή 39 οδηγών νεαρής ηλικίας (18-30 ετών), των οποίων τα χαρακτηριστικά σχετικά με την συμπεριφορά οδήγησης, συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίου. Οι συμμετέχοντες οδήγησαν 2 σενάρια, το ένα σε αστικό οδικό δίκτυο και το άλλο σε αυτοκινητόδρομο, κι έπειτα από σύντομη ενημέρωση σχετικά με την οικολογική οδήγηση χρειάστηκε να οδηγήσουν ξανά τα ίδια σενάρια με οικολογική συμπεριφορά.

Μετά το πέρας του πειράματος, έγινε εξαγωγή των στοιχείων του προσομοιωτή και ακολούθησε η επεξεργασία τους, πραγματοποιώντας στατιστική ανάλυση. Η στατιστική ανάλυση έγινε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R, και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου, δημιουργήθηκε ο συνολικός πίνακας δεδομένων. Μέσω των μεθόδων της γραμμικής παλινδρόμησης και της διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης, διαμορφώθηκαν τα μαθηματικά μοντέλα, έπειτα από πλήθος δοκιμών. Τα τελικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, προβλέπουν την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και την πιθανότητα ατυχήματος, και πληρούν όλα τα κριτήρια ποιότητας και αποδοχής τους.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 6.1 και 6.2), γίνεται συνοπτική παρουσίαση των μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης, τα οποία οδηγούν στα συμπεράσματα της έρευνας, καθώς και των τιμών της ελαστικότητας, ώστε να γίνει κατανοητή η σχετική επιρροή μεταξύ των μεταβλητών.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | B | z value | e | e* |
|------------------------|------------------------------------|---------|---------|--------|-------|
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -2,6079 | -5,222 | -0,900 | 1,037 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | -2,3255 | -4,765 | -0,868 | 1,000 |
| Συνεχείς | Χρόνια κατοχής διπλώματος οδήγησης | -0,2538 | -2,299 | -0,636 | 1,000 |

Πίνακας 6.1: Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο πιθανότητας ατυχήματος

| Ανεξάρτητες μεταβλητές | | Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) | | | | Εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) | | | | Εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NO _x) | | | |
|------------------------|--|---|--------|-----------|--------|--------------------------------------|---------|--------|--------|--|---------|------------|----------|
| | | B | t | e | e* | B | t | e | e* | B | t | e | e* |
| Διακριτές | Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση | -0,0938 | -5,107 | -0,014 | 1,000 | -0,48972 | -10,688 | -0,982 | 2,738 | -0,4945 | -11,303 | -0,207 | -2,771 |
| | Περιβάλλον οδήγησης | 0,3728 | 14,002 | 0,056 | -3,974 | 0,47216 | 7,111 | 0,946 | -2,640 | 1,04 | 19,55 | 0,436 | 5,827 |
| | Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας | -0,02308 | -3,936 | -0,021 | 1,476 | -0,02981 | -2,038 | -0,358 | 1,000 | | | | |
| | Φύλο | | | | | | | | | 0,8924 | 2,051 | 0,075 | 1,000 |
| Συνεχείς | Απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου | 0,01901 | 2,202 | 0,0000288 | 1,000 | 0,07518 | 3,491 | 0,02 | 1,000 | | | | |
| | Χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα | | | | | | | | | -0,000037 | -5,401 | -0,0000002 | 1,000 |
| | Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου | | | | | | | | | 0,8165 | -3,686 | -0,0003 | 2215,138 |
| R ² | | 0,789 | | | | 0,690 | | | | 0,813 | | | |

Πίνακας 6.2: Γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων

6.2. Συνολικά συμπεράσματα

Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και σε συνδυασμό με τα μαθηματικά μοντέλα που δημιουργήθηκαν και τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2, προκύπτουν τα **αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας**.

- **Η οικολογική οδήγηση, συμβάλει άμεσα στη μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων**, συγκεκριμένα στη μείωση της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου. Το γεγονός αυτό, πιθανόν οφείλεται στη μείωση της ταχύτητας οδήγησης, το οποίο οδηγεί στην αποφυγή ελιγμών και απότομων εναλλαγών ταχύτητας.
- **Η οικολογική οδηγική συμπεριφορά μπορεί να μειώσει την πιθανότητα του οδηγού να εμπλακεί σε οδικό ατύχημα**. Αυτό πιθανόν να οφείλεται, στο ότι οι οδηγοί με οικολογική συμπεριφορά οδηγούν με σταθερή και μειωμένη ταχύτητα, έτσι σε περίπτωση ατυχήματος έχουν περισσότερο χρόνο αντίδρασης για την αποφυγή του.
- **Ο μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο οδηγός εντός μια μέρας, επηρεάζει την εκπομπή του διοξειδίου και του μονοξειδίου του άνθρακα**. Συγκεκριμένα όσες περισσότερες διαδρομές κάνει, τόσο μικρότερες εκπομπές προκαλεί και αυτό πιθανόν οφείλεται στο ότι, ταυτόχρονα αυξάνεται και η οδηγική του εμπειρία.
- Επιπλέον, **η οδήγηση σε αυτά τα περιβάλλοντα δείχνει να επηρεάζει τις εκπομπές και των τριών ατμοσφαιρικών ρύπων**. Παρατηρείται πως στην οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο αυξάνονται οι εκπομπές των ρύπων σε σχέση με

ο αστικό δίκτυο, πιθανών λόγω του ότι αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες οδήγησης σε τέτοιους τύπους οδών.

- **Το ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου δείχνει να επηρεάζει την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου.** Όσο ο οδηγός απομακρύνεται από τη μέση και οδηγεί πιο κοντά στη δεξιά οριογραμμή της οδού, μειώνονται οι εκπομπές των ρύπων, ενδεχομένως για τον λόγο ότι πρόκειται για ένα λιγότερο επιθετικό προφίλ οδήγησης, χωρίς διάθεση για προσπέραση.
- Αντίστοιχα, **η οδήγηση κοντά στη δεξιά οριογραμμή του δρόμου, δείχνει να ελαττώνει τις εκπομπές του διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα.**
- Επίσης, **το φύλο του οδηγού επηρεάζει τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου.** Πιο συγκεκριμένα, η οδηγική συμπεριφορά των γυναικών παρατηρήθηκε ότι αυξάνει τις εκπομπές, πιθανόν λόγω του ότι δεν οδηγούν με την ίδια σταθερότητα που οδηγούν οι άντρες.
- **Ο χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα, μπορεί να συμβάλλει στην εκπομπή ρύπων.** Μεγαλύτερος χρόνος συνεπάγεται με μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι ο οδηγός έχει περισσότερο χρόνο να αντιδράσει, οπότε αποφεύγει τις απότομες επιβραδύνσεις.
- **Το πόσα χρόνια οι οδηγοί κατέχουν το δίπλωμα οδήγησης, είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα.** Οι οδηγοί που κατέχουν περισσότερα χρόνια το δίπλωμα οδήγησης, έχουν λιγότερες πιθανότητες να εμπλακούν σε ατύχημα, ενδεχομένως λόγω της αυξημένης οδηγικής τους εμπειρίας.
- Τέλος, το περιβάλλον οδήγησης συμβάλλει και στην πιθανότητα ατυχήματος, καθώς **στο αστικό οδικό δίκτυο, είναι πιο πιθανόν να εμπλακεί ο οδηγός σε ατύχημα απ' ότι στον αυτοκινητόδρομο,** πιθανόν επειδή πρόκειται για πιο προστατευμένο περιβάλλον.

6.3. Προτάσεις για προαγωγή του οικολογικού τρόπου οδήγησης

Από την παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται αντιληπτό ότι η οικολογική οδήγηση συμβάλλει τόσο στην μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, όσο και στη μείωση της πιθανότητας να εμπλακεί ο οδηγός σε οδικό ατύχημα, στην περίπτωση του αστικού δικτύου και αυτοκινητόδρομου. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η **λήψη μέτρων από την πολιτεία,** τα οποία θα αποσκοπούν στην υιοθέτηση της οικολογικής συμπεριφοράς κατά την οδήγηση.

Στο πλαίσιο αυτό, σημαντική αποτελεί η **συμβολή των κέντρων εκπαίδευσης οδήγησης**, τα οποία οφείλουν να προσφέρουν υψηλού επιπέδου κατάρτιση στους μελλοντικούς οδηγούς. Συγκεκριμένα, απαιτείται αναβάθμιση και αναθεώρηση των υφιστάμενων εγχειριδίων, προκειμένου να συμπεριληφθούν οι βασικές αρχές και κανόνες της οικολογικής συμπεριφοράς, καθώς επίσης και των ωφελειών της, ώστε να γίνει αντιληπτή η σημαντικότητα της.

Ο ρόλος του σχολείου είναι εξίσου σημαντικός, διότι μέσω **εκπαιδευτικών προγραμμάτων** μπορεί να ενημερώσει τους μαθητές για τη σημασία της οικολογικής οδήγησης.

Επιπλέον, με την **ανάπτυξη των έξυπνων συστημάτων ελέγχου και των αυτοματοποιημένων συστημάτων** επιτυγχάνεται η οικολογική οδήγηση. Οι καινοτόμες τεχνολογίες συμβάλλουν όχι μόνο στη μείωση των εκπομπών, αλλά και στην αύξηση της οδικής ασφάλειας. Τέτοιου είδους συστήματα συμβάλλουν στην ασφαλέστερη, οικονομικότερη και πιο περιβαλλοντικά φιλική κυκλοφορία, μέσω της τήρησης των ορίων ταχύτητας, διατηρώντας μια απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα, επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας ανάλογα με τις συνθήκες του οδικού περιβάλλοντος, καθώς και προετοιμάζοντας το όχημα για έκτακτη πέδηση όταν εντοπίζεται πιθανό εμπόδιο.

Τέλος, κρίνεται σημαντικός ο **ρόλος της δημοτικής κοινότητας**, διότι με την **διοργάνωση ενημερωτικών εκδηλώσεων** μπορεί να ενημερώσει τους πολίτες για την οικολογική συμπεριφορά και για τα οφέλη που μπορεί να επιφέρει η οικολογική οδήγηση για τους ίδιους, αλλά και για την κοινωνία. Έτσι, γίνεται δυνατή και η ενημέρωση των μεγαλύτερων σε ηλικία οδηγών, οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι με την τεχνολογία και το διαδίκτυο.

6.4. Περαιτέρω έρευνα

Κατά την εξέταση της βιβλιογραφίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν πολλά θέματα σχετικά με την οικολογική οδήγηση, τα οποία δεν έχουν αναλυθεί επαρκώς. Συνεπώς, παρέχονται **ορισμένες προτάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για μελλοντικές έρευνες και πειράματα** σχετικά με τον οικολογικό τρόπο οδήγησης.

- Εξέταση **μεγαλύτερου δείγματος συμμετεχόντων** για τη διεξαγωγή του πειράματος, ώστε να είναι πιο ακριβής τα μαθηματικά μοντέλα.
- Εξέταση **όλων των ηλικιακών ομάδων**, προκειμένου τα αποτελέσματα να αφορούν μεγαλύτερο πλήθος οδηγών.
- Να πραγματοποιηθούν περισσότερες έρευνες που εξετάζουν την **οδήγηση σε υπεραστικά και ορεινά οδικά δίκτυα**, καθώς οι περισσότερες αφορούν το αστικό δίκτυο.

- Εξέταση οικολογικής οδήγησης με **διαφορετικές καιρικές συνθήκες**, όπως οδήγηση σε βροχή, ομίχλη, χιόνι.
- Εξέταση οδήγησης σε **κακής ποιότητας οδοστρώματα** που παρουσιάζουν φθορές.
- Εφαρμογή **διαφορετικών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης** από εκείνων που αξιοποιήθηκαν για την ανάλυση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
- Διεξαγωγή του πειράματος με **μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο και διαφορετικού είδους μη αναμενόμενα συμβάντα**.
- Διεξαγωγή **πειραματικής διαδικασίας, χρησιμοποιώντας έξυπνα συστήματα ελέγχου του οχήματος**, προκειμένου να εξεταστεί η επιρροή τους στην οικολογική οδήγηση.
- Εξέταση **εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου βάσει τον τύπο καυσίμου του οχήματος** (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρικό ρεύμα ή συνδυασμός αυτών), οδηγώντας με και χωρίς οικολογική συμπεριφορά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barkenbus Jack N., “Eco-driving: An overlooked climate change initiative”, Climate Change Research Network, Vanderbilt University, United States, 2010
2. Md. Saniul Alam, Aonghus McNabola, “A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations”, Dept of Civil, Structural & Environmental Engineering, Trinity College Dublin, Ireland, 2014
3. Fameli K.M., Assimakopoulos V.D., “ Development of a road transport emission inventory for Greece and the Greater Athens Area: Effects of important parameters”, Institute for Environmental Research and Sustainable Development, National Observatory of Athens, Greece, 2015
4. Fontaras Georgios, Zacharof Nikiforos-Georgios, Ciuffo Biagio, “Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe-Laboratory versus real-world emissions”, European Commission, Joint Research Centre, Directorate for Energy, Transport and Climate, Italy, 2017
5. Zheng Nan, Jiang Tanghan, Xu Zheng, “Developing and analyzing eco-driving strategies for on-road emission reduction in urban transport systems - A VR-enabled digital-twin approach”, Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Australia, 2022
6. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, «Air quality in Europe», 2023, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/air-quality-in-europe-2022>
7. Morello Eugenio, Toffolo Silvana, Magra Giorgio, “Impact analysis of ecodriving behaviour using suitable simulation platform (ICT-EMISSIONS project)”, 6th Transport Research Arena April 18-21, Torino, Italy, 2016
8. Nævestad Tor-Olav, “Eco driving as a road safety measure: Before and after study of three companies”, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway, 2022
9. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ, Στατιστικά στοιχεία τροχαίας, <https://www.astynomia.gr/>
10. ΕΛΣΤΑΤ, Οδικά τροχαία ατυχήματα, 2021, <http://www.statistics.gr/>
11. 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

12. Zhao Xiaohua, Wu Yiping, Rong Jian, Zhang Yunlong, “Development of a driving simulator based eco-driving support system”, Beijing University of Technology, College of Metropolitan Transportation, Beijing, China, 2015
13. Paschalidou Anastasia K., Petrou Ilias , Fytianos Georgios, Kassomenos Pavlos, “Anatomy of the atmospheric emissions from the transport sector in Greece: trends and challenges”, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Department of Physics, Department of Environmental Science, Greece, 18 January 2022
14. Γιαννής, Γ. (2022). Πόσο απαραίτητη είναι η οικολογική οδήγηση σήμερα; URL <https://www.georgeyannis.gr/%cf%80%cf%8c%cf%83%ce%bf-%ce%b1%cf%80%ce%b1%cf%81%ce%b1%ce%af%cf%84%ce%b7%cf%84%ce%b7-%ce%b5%ce%af%ce%bd%ce%b1%ce%b9-%cf%83%ce%ae%ce%bc%ce%b5%cf%81%ce%b1-%ce%b7-%ce%bf%ce%b9%ce%ba%ce%bf%ce%bb%ce%bf/> , 14/3/2023
15. Bulletin of the World Health Organization, “Road traffic death coding quality in the WHO Mortality Database”, 2023, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10523810/>
16. Bakibillah A.S.M., Kamal M.A.S., Chee Pin Tan, Hayakawa Tomohisa, Imura Jun-ichi, “Optimal eco-driving scheme for reducing energy consumption and carbon emissions on curved roads”, Department of Systems and Control Engineering, School of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2024
17. Colomaa Francisco Juan, Garcíaa Marta, Wang Yang, “Eco-Driving Effects Depending On The Travelled Road. Correlation Between Fuel Consumption Parameters”, Research Centre (TRANSyT), Universidad Politecnica de Madrid, Department of Construction. University of Extremadura. Avda, Spain, 2018
18. 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
19. Haworth, N., & Symmons, M. (2001). The relationship between fuel economy and safety outcomes

20. Hibberd D.L., Jamson A.H., Jamson S.L., “The design of an in-vehicle assistance system to support eco-driving”, Institute for Transport Studies, University of Leeds, UK, 2015
21. Paschalidou Anastasia K., Petrou Ilias, Fytianos Georgios, Kassomenos Pavlos, “Anatomy of the atmospheric emissions from the transport sector in Greece: trends and challenges”, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace Germany, 2021
22. ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, “Κλιματική αλλαγή: τα αέρια του θερμοκηπίου που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη”, 2023
23. Κοκκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., “Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική με Εφαρμογές”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2010
24. Πετρίδης Δ., “Ανάλυση Πολυμεταβλητών Τεχνικών, Εφαρμογές Περιπτώσεων”, Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015
25. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας, “Οδική Ασφάλεια” Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994

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



www.transport.ntua.gr

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPT. OF TRANSPORTATION PLANNING AND ENGINEERING
HEROON POLYTECHNIUM 5 - GR-15773 ZOGRAFOU - ATHENS
Phone: +30 210 772 1285, +30 210 772 1331 - email: transport@mail.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 Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα **εντός πόλης**;
 <20 20-50 50-100 100-150 >150
- 6 Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα **σε αυτοκινητόδρομο**;
 <20 20-50 50-100 100-150 >150
- 7 Πόσες διαδρομές κάνετε τη μέρα;
 0 1 2 3 4 5 >5
- 8 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 την **μείωση των όριων ταχύτητας** για οικολογικό σκοπό:
- καθόλου λίγο αρκετά πολύ πάρα πολύ
- 4 Αξιολογείστε 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