



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**Συσχέτιση Κατανάλωσης Καυσίμου με
Κυκλοφοριακά και Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά και
Χαρακτηριστικά Οδηγικής Συμπεριφοράς**



Διπλωματική εργασία

Ιωάννης Ν. Καλογεράς

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Ευχαριστίες

Το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί και την ολοκλήρωση των σπουδών μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την δυνατότητα που μου δίνεται, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους μου συμπαράσθηκαν και ενίσχυσαν με τον τρόπο τους τις προσπάθειες μου τα τελευταία χρόνια.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Ελένη Βλαχογιάννη για την πολύτιμη βοήθεια της σε όλο το διάστημα ενασχόλησης μου με την διπλωματική εργασία και να εκφράσω το θαυμασμό μου για την ευελιξία και την ψυχραιμία που επέδειξε στις όποιες δυσκολίες παρουσιάστηκαν στη μακρά αυτή διαδρομή. Εκτός του πλαισίου της εργασίας, θα ήθελα να την ευχαριστήσω και για την γενικότερη συμβουλευτική στάση και διάθεση που έδειξε προς το πρόσωπο μου, γεγονός που με έκανε «πλουσιότερο» ως φοιτητή αλλά και ως άνθρωπο.

Έπειτα θα ήθελα να σταθώ στην αμέριστη συμπαράσταση που έλαβα από τα κοντινά μου πρόσωπα, τους φίλους μου εντός και εκτός σχολής, που ήταν εκεί για μένα σε όλο αυτό το ταξίδι, στις καλές και στις δύσκολες στιγμές μου, με έκαναν να νιώσω σίγουρος για τον εαυτό μου και μου έδιναν ώθηση και κουράγιο να συνεχίσω όταν το είχα ανάγκη.

Τέλος, όλα τα παραπάνω θα ήταν απλά μία ιδέα ή ένα άπιαστο όνειρο, χωρίς την ανεκτίμητης αξίας συμπαράσταση και αγάπη που εξέλαβα από το σπίτι μου, την οικογένεια μου. Ευχαριστώ λοιπόν ολόψυχα τους γονείς μου Νίκο και Τζίνα, την αδερφή μου Μάρη, τον Δημήτρη και την Ίνγκα, για τα εφόδια που μου παρείχαν υλικά και ηθικά, τα οποία με διαμόρφωσαν σε πολύ μεγάλο βαθμό ως άνθρωπο και μου δίνουν την δύναμη να στέκομαι στα πόδια μου και να πετυχαίνω τους στόχους μου.

Συσχέτιση Κατανάλωσης Καυσίμου με Κυκλοφοριακά και Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά και Χαρακτηριστικά Οδηγικής Συμπεριφοράς

Ιωάννης Καλογεράς

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επικ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Η εκτεταμένη χρήση του αυτοκινήτου ως κυρίου μέσου μεταφοράς στη διάρκεια του εικοστού αιώνα είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση των ιδιωτικών οχημάτων παγκοσμίως, γεγονός που επέτεινε τις ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι κρίνεται αναγκαία η προσπάθεια ανάδειξης μεθόδων και προτύπων συμπεριφοράς στον τομέα των συγκοινωνιών, που θα μετριάσουν τις συνέπειες του φαινομένου και συνακόλουθα τις προεκτάσεις του. Για τον λόγο τούτο, έχουν γίνει αρκετές έρευνες και μελέτες, που στόχο έχουν να αναδείξουν τη σημασία της οικολογικής οδήγησης, του θετικού της αντίκτυπου στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και κατά συνέπεια στην ελάττωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει μια μεθοδολογική προσέγγιση για την ποσοτικοποίηση του οικολογικού αποτυπώματος της οδήγησης και τη συσχέτισή του με την κατανάλωση καυσίμου. Για τον υπολογισμό του δείκτη, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πραγματικού χρόνου, τα οποία αποτύπωσαν την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη, τις κυκλοφοριακές συνθήκες καθώς και τα γεωμετρικά στοιχεία της οδού και συλλέχθηκαν μέσω εφαρμογής έξυπνου κινητού τηλεφώνου. Για την παραγωγή των δεδομένων διεξήχθησαν δύο πειράματα ένα διευρυμένο το οποίο εξέταζε το θέμα σε επίπεδο συνόλου διαδρομών ενός χρήστη και ένα ελεγχόμενο το οποίο εξέταζε το θέμα σε επίπεδο διαδρομής. Εν συνεχεία, κάνοντας χρήση των εν λόγω δεδομένων δημιουργήθηκε ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, με σκοπό την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου. Το μοντέλο αυτό, βάσει των στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, κρίθηκε αξιόπιστο.

Λέξεις κλειδιά: οικολογική οδήγηση, οδηγική συμπεριφορά, κυκλοφοριακές συνθήκες, κλίση οδού, εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου

Correlation between Fuel Consumption and Traffic, Geometrical and Drivers' Behavior Characteristics

Ioannis Kalogeris

Supervisor: Eleni I. Vlahogianni, Ass. Professor of NTUA

The extensive use of the car as the main means of transport during the twentieth century has resulted in the rapid increase in the number of private vehicles worldwide, which intensified the negative impact of the phenomenon of the greenhouse effect on the atmosphere. It is therefore necessary to try to identify methods and patterns of behavior in the transport sector that will mitigate the consequences and subsequently its repercussions.

On this basis, a number of surveys and studies have been conducted, aiming at highlighting the importance of eco-driving and its direct positive impact on the atmosphere, deriving from the reduction of fuel consumption which in turn leads to a reduction of carbon dioxide emissions. This diploma thesis proposes a methodological approach with a view to quantifying the ecological footprint of driving and examining its correlation with fuel consumption. To calculate the index, real-time data, collected via a smart mobile phone application, were used that reflected the user's driving behavior, traffic conditions and geometric elements of the road. As far as the data collection is concerned two experiments were conducted, an expanded one examining the subject on the basis of the total trips made by a user and a controlled one, on the basis of a single route. Then, using these data, a multi-linear regression model was created to predict fuel consumption. This model, based on the statistical analyses performed, was considered to be reliable.

Keywords: eco-driving, driving behavior, traffic conditions, gradient, fuel consumption estimation

Περίληψη

Καθ' όλη την διάρκεια του εικοστού αιώνα η συμβολή του αυτοκινήτου στην βελτίωση της καθημερινότητας του πολίτη απεδείχθη εξαιρετικά σημαντική και παρότι αμφιλεγόμενη, το αυτοκίνητο χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και έχει γίνει ο πιο δημοφιλής τρόπος μεταφοράς στις ανεπτυγμένες χώρες. Στις χώρες αυτές, οι επιπτώσεις από την χρήση του, έχουν οδηγήσει σε όξυνση του κυκλοφοριακού προβλήματος και κατά συνέπεια σε μείωση του επιπέδου εξυπηρέτησης του χρήστη, μεγαλύτερα κόστη ανά χρήστη ανά απόσταση, ενώ παράλληλα έχει παρατηρηθεί ιδιαίτερος αρνητικό αντίκτυπο προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της εκτεταμένης χρήσης αυτοκινήτων προκύπτουν από την κατασπατάληση των μη ανανεώσιμων πηγών και την εκπομπή βλαβερών για την ατμόσφαιρα αερίων, που οδηγούν στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επομένως η εφαρμογή πρακτικών φιλικότερων προς το περιβάλλον στον τομέα της οδήγησης που παράλληλα εξασφαλίζουν βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης, κρίνεται απολύτως αναγκαία. Προκειμένου λοιπόν, να περιοριστούν τα προαναφερθέντα προβλήματα αρκετοί ερευνητές δίνουν έμφαση στην εφαρμογή της οικολογικής οδήγησης.

Η οικολογική οδήγηση επηρεάζεται σημαντικά από τη συμπεριφορά του οδηγού, ο οποίος καλείται να υιοθετήσει ένα συντηρητικότερο προφίλ με γνώμονα την χαμηλή κατανάλωση καυσίμου και την ασφαλή οδήγηση. Η οικολογική οδήγηση επιτυγχάνεται αποφεύγοντας κατά το δυνατόν τις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αλλά και διατηρώντας τη ταχύτητα του οχήματος κάτω του επιτρεπόμενου ορίου. Έρευνες γύρω από το εν λόγω ζήτημα απέδειξαν ότι η εφαρμογή της οδηγεί σε αξιόλογες μειώσεις της μέσης κατανάλωσης καυσίμου και κατά συνέπεια σε μειώσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Βασιζόμενη στις ήδη υπάρχουσες αναλύσεις πάνω στο ζήτημα της οικολογικής οδήγησης, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο την εισαγωγή ενός δείκτη ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος της οδήγησης (eDrive) και εξετάζει την συσχέτιση της διακύμανσης του, με τη διακύμανση της κατανάλωσης καυσίμου. Ο δείκτης αυτός αποτελεί μία μορφή αξιολόγησης της οδηγικής συμπεριφοράς του χρήστη συναρτήσει των κυκλοφοριακών συνθηκών και προσδιορίζεται ξεχωριστά για κάθε διαδρομή.

Ο δείκτης eDrive εκφράζεται μέσω ενός κλάσματος με αριθμητή τον συνολικό χρόνο οικολογικής οδήγησης και παρονομαστή τη συνολική διάρκεια ταξιδιού και ως εκ τούτου μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 1. Προκειμένου να υπολογιστεί ο αριθμητής, ορίστηκαν οι συνθήκες που θα πρέπει να ικανοποιούνται, έτσι ώστε να θεωρηθεί η οδήγηση οικολογική. Συνοπτικά, ο συνολικός χρόνος οικολογικής οδήγησης ισούται με τη συνολική διάρκεια του ταξιδιού μειωμένη κατά τα χρονικά διαστήματα στα οποία ο οδηγός:

1. κινείται με ταχύτητα πέραν του ορίου ταχύτητας,
2. κινείται με επιτάχυνση άνω του «οικολογικού» ορίου που είναι 1.09 m/s^2 (έχει οριστεί σε προηγούμενες διπλωματικές εργασίες),
3. είναι σε στάση, επιταχύνει από στάση.
4. κινείται σε οδικό τμήμα με κατά μήκος κλίση που ξεπερνά το 3%

Για τον υπολογισμό του δείκτη σε κάθε ταξίδι, βάσει των ανωτέρω, έπρεπε αρχικώς να γίνει η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Για τη συλλογή των δεδομένων πραγματικού χρόνου, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή της Oseven για έξυπνα κινητά τηλέφωνα, η οποία εκμεταλλευόμενη το GPS, το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο του κινητού καταγράφει δεδομένα φυσικής οδήγησης του χρήστη.

Με τον μέχρι πρότινος ορισμό του eDrive, δεν έχει συμπεριληφθεί η γεωμετρία της οδού και κατά συνέπεια η κλίση του δρόμου, στους παράγοντες επιρροής του δείκτη. Όπως γίνεται αντιληπτό, η κλίση μπορεί να αποτελέσει καίριο παράγοντα επιρροής της κατανάλωσης και για αυτόν ακριβώς τον λόγο στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μία προσπάθεια τροποποίησης του δείκτη, στηριζόμενη σε υψομετρικά δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν μέσω του GPS της Google και επέτρεπαν στον μελετητή να γνωρίζει την κλίση ανά δευτερόλεπτο. Ο περιορισμός που τέθηκε στο επίπεδο της κλίσης, ήταν να μην υπερβαίνει το 3% και με βάση αυτό, αφού υπολογιζόταν η χρονική διάρκεια κατά την οποία το όχημα κινείτο σε κλίση άνω του ορίου, γινόταν η αφαίρεση του εν λόγω χρονικού διαστήματος από τον αριθμητή του κλάσματος προκειμένου να προκύψει ο νέος δείκτης eDrive.

Για τη διερεύνηση της σχέσης του δείκτη με την κατανάλωση καυσίμου διεξήχθησαν δύο πειράματα. Το ένα πείραμα ήταν ελεγχόμενο, δηλαδή αφορούσε σε μία επιλεγμένη κλειστή διαδρομή -η οποία θα εξάλειφε την επιρροή της κλίσης στην μετέπειτα ανάλυση- με στόχο να εξετασθεί η συσχέτιση της κατανάλωσης καυσίμου με τον δείκτη eDrive, όπως αρχικά είχε οριστεί. Τα αποτελέσματα κατέγραψαν μία αξιοσημείωτη συσχέτιση μεταξύ της οδηγικής συμπεριφοράς του χρήστη και της κατανάλωσης καυσίμου. Προκειμένου να διαπιστωθεί το κατά πόσο θα μπορούσαν να υπάρξουν ανάλογες συσχετίσεις σε μη ελεγχόμενες διαδρομές, πραγματοποιήθηκε το γενικευμένο πείραμα και παράλληλα χρησιμοποιήθηκε ο eDrive, σύμφωνα με τον νέο ορισμό που δόθηκε. Για τις ανάγκες του δεύτερου πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δύο χρήστες, οι οποίοι κατέγραφαν χειροκίνητα τη μέση κατανάλωση καυσίμου όπως αυτή εμφανιζόταν στην κεντρική κονσόλα του οχήματος στο τέλος του ταξιδιού, αφού είχε προηγηθεί μηδενισμός κατά την εκκίνηση του. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο νέος δείκτης ενίσχυσε σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την αξιοπιστία της πρόβλεψης της κατανάλωσης και επιβεβαίωσε την αρχική υπόθεση περί επιρροής της κλίσης.

Επιπροσθέτως, από τη στατιστική ανάλυση του δείκτη που πραγματοποιήθηκε για τους δύο οδηγούς, οι οποίοι αν και ήξεραν ότι τα ταξίδια τους καταγράφονται δεν είχαν συγκεκριμένες οδηγίες, προέκυψε ότι η πιο σημαντική παράμετρος επιρροής του δείκτη είναι ο συνολικός χρόνος στάσεων. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η πλειοψηφία των ταξιδιών και των τριών χρηστών εκτελέσθηκαν σε αστικό περιβάλλον όπου οι στάσεις είναι συχνές και υποχρεωτικές λόγω της πυκνής σηματοδότησης.

Αντικείμενο μελλοντικών ερευνών, θα μπορούσε να αποτελέσει η εξέταση της πιθανότητας εισαγωγής του μοντέλου που δημιουργήθηκε σε κάποιο πλοηγό με σκοπό να προσφέρει μία επιπλέον επιλογή στις προτεινόμενες διαδρομές, η οποία θα είναι η οικονομικότερη. Ενδιαφέρον επίσης μπορεί να παρουσιάσει και η εισαγωγή συντελεστών βαρύτητας στις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν από το μελετητή, με σκοπό να επιτευχθούν ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά αξιοπιστίας στο υπάρχον μοντέλο.

1.	Εισαγωγή.....	1
1.1	Άνθρωπος και μεταφορές	4
	Εναλλακτικοί τύποι καυσίμου	4
1.2	Οικολογική οδήγηση	8
	Ορισμός	8
	Προσαρμογή στην οικολογική οδήγηση	8
	Οι χρυσοί κανόνες της οικολογικής οδήγησης	8
	Οφέλη οικολογικής οδήγησης	9
1.3	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	14
1.4	Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	15
2.	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	16
	Εισαγωγή	16
2.1	Πληθοπορισμός	16
	Αρνητικά πληθοπορισμού	16
	Θετικά πληθοπορισμού	17
	Κίνητρα για συμμετοχή	17
2.2	Έξυπνα συγκοινωνιακά συστήματα	17
2.3	Επιλογή διαδρομής βάσει κατανάλωσης	22
2.4	Έξυπνα τηλέφωνα και συσκευές υποβοήθησης	24
2.5	Παράγοντες επιρροής οικολογικής οδήγησης	27
2.6	Αμφισβήτηση αποτελεσματικότητας οικολογικής οδήγησης	29
2.7	Εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου	30
2.8	Συμπεράσματα βιβλιογραφίας	31
3.	Μεθοδολογική Προσέγγιση	34
	Εισαγωγή	34
3.1	Εφαρμογή έξυπνου τηλεφώνου	34
3.2	Ταξίδια-Συλλογή δεδομένων	35
	Ορισμός	35
	Χαρακτηριστικά οχήματος	36
3.3	Βάση δεδομένων	39
3.4	Συλλογή δεδομένων διαδρομών	39
3.5	Συγκεντρωτικά στοιχεία ταξιδιών	40

3.6 Υπολογισμός δείκτη eDrive ανά ταξίδι	40
3. 6. 1 Κλασσική μέθοδος υπολογισμού	40
3. 6. 2 Επαναπροσδιορισμός δείκτη eDrive	42
3.7 Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης	43
Ορισμός	43
3.7.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση	43
3.7.2 Πολλαπλή Παλινδρόμηση	44
3.7.3 Αξιολόγηση Μοντέλων Παλινδρόμησης	44
3.8 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	45
4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων	46
Εισαγωγή	46
4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού eDrive	46
Εισαγωγή στα πειράματα	47
4.2 Ελεγχόμενο πείραμα	47
4.3 Διευρυμένο πείραμα	51
Α εκδοχή	51
Β εκδοχή	60
4.4 Διερεύνηση επιρροής παραμέτρων	67
5. Συμπεράσματα	68
Εισαγωγή	68
5.1 Βασικά συμπεράσματα ανάλυσης	69
5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	72
6. Βιβλιογραφία	74

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Επίδραση οδήγησης σε υψηλές στροφές κινητήρα στον παραγόμενο θόρυβο	12
Εικόνα 2.1: Mobile crowdsensing	18
Εικόνα 2.2:	20
Εικόνα 2.3: Περιβάλλον εφαρμογής.....	21
Εικόνα 2.4: Περιβάλλον εφαρμογής DriveGain.....	24
Εικόνα 3.1: Διαδρομή ελεγχόμενου πειράματος μέσα από την εφαρμογή Oseven	37
Εικόνα 4.1: Απαιτούμενη μορφή αρχείου για εισαγωγή στην πλατφόρμα	61

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Μεταβολή ποσοστού CO ₂ από μεταφορές ανά τα χρόνια	1
Διάγραμμα 1.2: Ποσοστιαία κατανομή πηγών CO ₂	2
Διάγραμμα 1.3: Πωλήσεις οχημάτων ανά τύπο καυσίμου για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018.....	6
Διάγραμμα 2.1: Καταναλώσεις καυσίμου και CO ₂ κατηγοριοποιημένες βάσει επιθετικότητας οδήγησης.....	21
Διάγραμμα 2.2: Στατιστική ανάλυση κατανάλωσης καυσίμου βάσει επιθετικότητας οδήγησης	22
Διάγραμμα 2.3: Δομή πειράματος	25
Διάγραμμα 3.1: Μεθοδολογία υπολογισμού δείκτη eDrive.....	41
Διάγραμμα 4.1: Διασπορά δεδομένων ελεγχόμενου πειράματος	49
Διάγραμμα 4.2: Διάγραμμα Κανονικής Πιθανότητας	50
Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα διασποράς τιμών μέσης κατανάλωσης	52
Διάγραμμα 4.4: Ποσοστιαία επιρροή «παραβάσεων» στον συνολικό χρόνο μη οικολογικής οδήγησης	67

Ευρετήριο Πινάκων

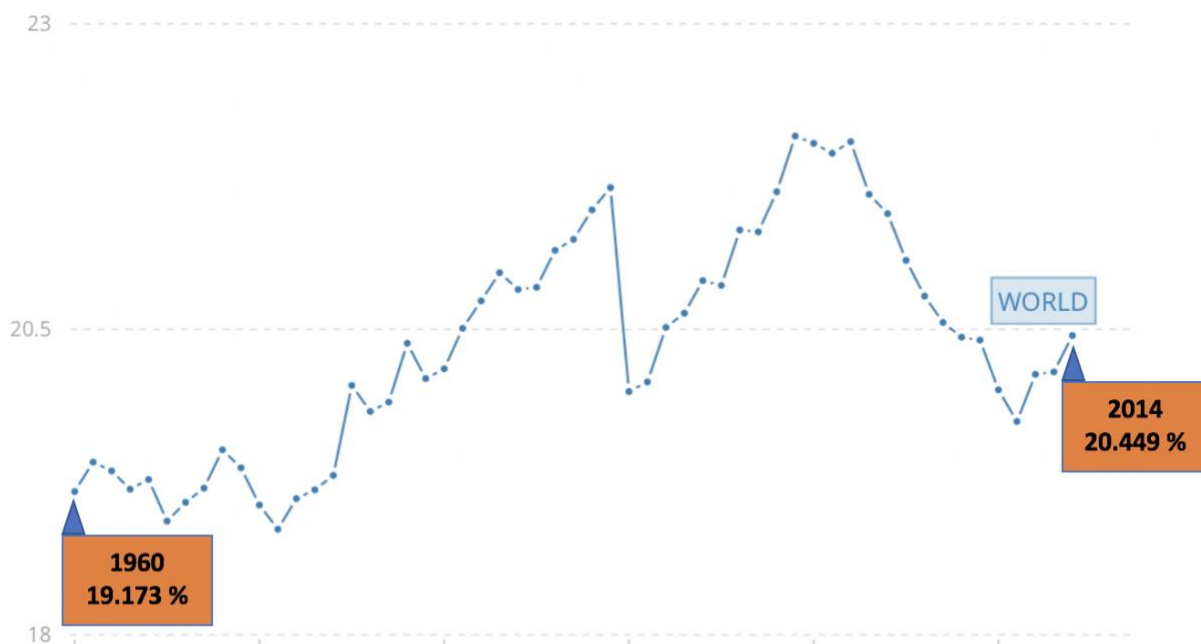
Πίνακας 1.1: Πωλήσεις οχημάτων με καύσιμο εναλλακτικής ισχύος για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018	6
Πίνακας 1.2: Πωλήσεις πετρελαιοκίνητων οχημάτων για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018.....	7
Πίνακας 1.3: Πωλήσεις βενζινοκίνητων οχημάτων για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018	7
Πίνακας 2.1: Παράγοντες επιρροής εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμου	28
Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά οχήματος χρήστη 1	36
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά οχήματος χρήστη 2	36
Πίνακας 4.1: Δεδομένα όπως προέκυψαν από τη διεξαγωγή ελεγχόμενου πειράματος	48
Πίνακας 4.2: Στατιστικών χαρακτηριστικών ανάλυσης παλινδρόμησης	50
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)	50
Πίνακας 4.4: Στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου	51
Πίνακας 4.5: Στατιστικά στοιχεία δείκτη eDrive	53
Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f(eDrive)$	54
Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive, driver)$	55
Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive, driver, p.h, p.r, p.u)$	56
Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive, driver, p.h, p.r, p.u, d.c)$	58
Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{beh}, eDrive_{traf}, driver, p.h, p.r, p.u)$	59
Πίνακας 4.11: Στατιστικά στοιχεία νέου δείκτη eDrive	62
Πίνακας 4.12: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{new}, driver)$	63
Πίνακας 4.13: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{beh}, eDrive_{traf}, eDrive_{grad}, driver)$	64
Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{beh}, eDrive_{traf}, eDrive_{grad}, driver, p.h, p.r, p.u)$	65

Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{beh}, eDrive_{traf},$ $eDrive_{grad}, driver, p.h, p.r, p.u, d.c)$	66
--	----

1. Εισαγωγή

Τη σήμερον ημέρα, δίνεται όλο και περισσότερη βαρύτητα στο περιβάλλον και την προστασία του. Επιστήμονες από όλο τον κόσμο ασχολούνται με την εύρεση μεθόδων περιορισμού εκπομπών των ρύπων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τις καθημερινές ενασχολήσεις του ανθρώπου, που έχουν ως αποτέλεσμα οι επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η συνακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη να παίρνουν όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις. Είναι ευρέως γνωστό ότι ένας βασικός παράγοντας επιδείνωσης του φαινομένου της ρύπανσης της ατμόσφαιρας δεν είναι άλλος από τα καυσαέρια που αποβάλλονται καθημερινώς από τις εξατμίσεις των οχημάτων που χρησιμοποιεί για τις ανάγκες του ο άνθρωπος.

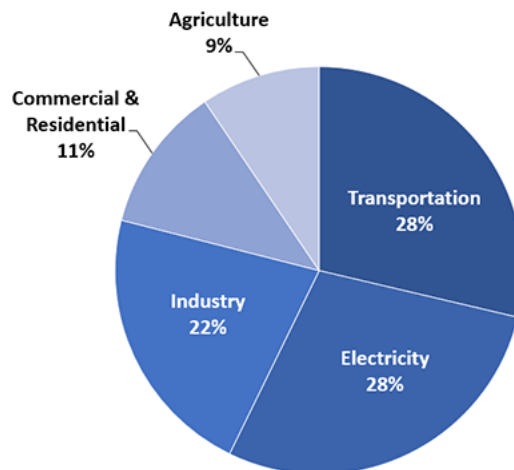
Στο *Διάγραμμα 1.1* που ακολουθεί φαίνεται η εξέλιξη του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που απελευθερώνεται από μεταφορές παγκοσμίως ανά έτος. Κάθε σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε ένα ημερολογιακό έτος ξεκινώντας από το έτος 1960 και καταλήγοντας στο 2014 ενώ η κατακόρυφη στήλη αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο ποσοστό.



Διάγραμμα 1.1: Μεταβολή ποσοστού CO_2 από μεταφορές ανά έτος (Πηγή: [1])

Ενδεικτικά στο *Διάγραμμα 1.2* που ακολουθεί φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των πηγών του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα στις ΗΠΑ το έτος 2016.

Total U.S. Greenhouse Gas Emissions by Economic Sector in 2016



Διάγραμμα 1.2: Ποσοστιαία κατανομή πηγών CO₂ (Πηγή: [2])

Τα αέρια του θερμοκηπίου που εκλύονται καθημερινά στην ατμόσφαιρα παγιδεύουν τη θερμότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Κατά την διάρκεια των τελευταίων 150 χρόνων οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες ενοχοποιούνται κατά κύριο λόγο για την αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. [3] Στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα που προηγήθηκε, η καύση ορυκτών καυσίμων για τις μεταφορές τον ηλεκτρισμό και την θέρμανση, αξιολογούνται ως οι βασικότερες πηγές αυτών των εκπομπών.

Μεταφορές (28,5% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για το 2016) - Ο τομέας των μεταφορών προκαλεί το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη μεταφορά προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων για τα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, τα πλοία, τα τρένα και τα αεροπλάνα. Πάνω από το 90% του καυσίμου που χρησιμοποιείται για τις μεταφορές περιλαμβάνει βενζίνη και πετρέλαιο. [4]

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (28,4% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2016) - Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παράγει το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με περίπου το 68% της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, κυρίως άνθρακα και φυσικού αερίου. [5]

Βιομηχανία (22% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2016) - Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων για ενέργεια, καθώς και από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ορισμένες χημικές αντιδράσεις που είναι απαραίτητες για την παραγωγή αγαθών από πρώτες ύλες.

Επιχειρήσεις και οικιακή χρήση (11% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2016)

- Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από επιχειρήσεις και κατοικίες προέρχονται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θερμότητας, τη χρήση ορισμένων προϊόντων που περιέχουν αέρια του θερμοκηπίου και τη διαχείριση των αποβλήτων.

Γεωργία (9% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για το 2016) - Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη γεωργία προέρχονται από ζώα όπως οι αγελάδες, τα γεωργικά εδάφη και την παραγωγή ρυζιού.

Χρήση γης και δασοκομία (αντιστάθμιση 11% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για το 2016) - Οι εκτάσεις γης μπορούν να λειτουργήσουν ως λεκάνες απορροής (απορρόφηση CO₂ από την ατμόσφαιρα) ή ως πηγή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

1.1 Άνθρωπος και μεταφορές

Δεδομένου, ότι ο σύγχρονος άνθρωπος εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα μηχανοκίνητα οχήματα και οι ανάγκες του πλέον, σε αντίθεση με το παρελθόν, επιτάσσουν τη χρήση οχημάτων θα ήταν άσκοπο να γίνει ανάλυση περί προσπάθειας περιορισμού της χρήσης των μέσων μεταφοράς. Έτσι προκύπτει η ανάγκη για εντατικοποίηση των προσπαθειών ελάττωσης των καυσαερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τα οχήματα.

Σε πρωτεύουσες κρατών και γενικώς σε μεγάλες πόλεις όπου το κυκλοφοριακό πρόβλημα είναι πολύ αυξημένο, το ζήτημα αυτό αντιμετωπίζεται με την θέσπιση μέτρων όπως περιορισμούς και ανώτατα όρια σε ότι αφορά στην εκπομπή επιζήμιων αερίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζεται η κίνηση οχημάτων που δε πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές και να ασκείται ακόμα μεγαλύτερη πίεση στις αυτοκινητοβιομηχανίες, προκειμένου να δημιουργήσουν μηχανές φιλικότερες προς το περιβάλλον. Τα οχήματα αυτά καθαυτά δεν αποτελούν τη μοναδική πηγή προβλημάτων, καθώς πολύ μεγάλη επιρροή ασκεί και ο χρήστης αυτών. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρξει η απαραίτητη κινητοποίηση με στόχο την ευαισθητοποίηση του ανθρώπου, προκειμένου να γίνει πιο «οικολογικός» ως οδηγός και να ενισχύσει και εκείνος με τη σειρά του την όλη προσπάθεια που καταβάλλεται για την προστασία του περιβάλλοντος. Για να κατακτηθεί όμως αυτό απαιτείται μία μακρά διαδικασία διαπαιδαγώγησης των μελλοντικών οδηγών από την παιδική τους ηλικία, προσδοκώντας μέσα από την μύηση αυτή να αντιληφθούν την αναγκαιότητα αλλαγής μοντέλου οδηγικής συμπεριφοράς και υιοθέτησης της οικολογικής οδήγησης ως τη μόνη λύση στην κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος.

Θα πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι ένας οδηγός με οικολογική συνείδηση συμβάλλει καθοριστικά και επί του πρακτέου στη μείωση των ρύπων που εκπέμπει το όχημα του. Καλό θα είναι να τονιστεί η ανάγκη συλλογικής και συντονισμένης προσπάθειας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να προκύψουν σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Άλλωστε, η ενδεχόμενη αδιαφορία ενός οδηγού ως προς την οικολογική οδήγηση δεν επηρεάζει μόνον τον ίδιο αλλά και ολόκληρη την κοινωνία.

Εναλλακτικοί τύποι καυσίμου

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της μείωσης των εκπομπών, οι αυτοκινητοβιομηχανίες σπαταλούν πολύ μεγάλα κεφάλαια σε εναλλακτικούς τρόπους κίνησης όπως ηλεκτροκίνηση, υγραέριο, υβριδικό, κτλ. Πιο συγκεκριμένα το πρώτο τρίμηνο του 2018, το 37,9% των νέων μοντέλων επιβατικών αυτοκινήτων σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήταν πετρελαιοκίνητα, το 55,5% της αγοράς ήταν βενζινοκίνητα αυτοκίνητα -ποσοστό που τα κατατάσσει στην κορυφή των προτιμήσεων- το 4,8% αυτοκίνητα εναλλακτικής ισχύος και τέλος το 1,7% ηλεκτροκίνητα οχήματα.

Οι καταγεγραμμένες πωλήσεις πετρελαιοκίνητων οχημάτων για το πρώτο τρίμηνο του 2018 ήταν 1.574.333 δηλαδή κατά 322.622 (ή 17%) λιγότερες από το ίδιο διάστημα του έτους 2017. Αυτή η πτώση της ζήτησης για τα οχήματα diesel αντισταθμίστηκε σε μεγάλο βαθμό από την αύξηση των πωλήσεων βενζίνης. Η ζήτηση για νέα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα αυξήθηκε σημαντικά (+ 14,6%) από τον Ιανουάριο έως τον Μάρτιο του 2018, με τις πωλήσεις να ανέρχονται σε 2.303.129 μονάδες - περίπου 300.000 περισσότερες από πέρυσι.

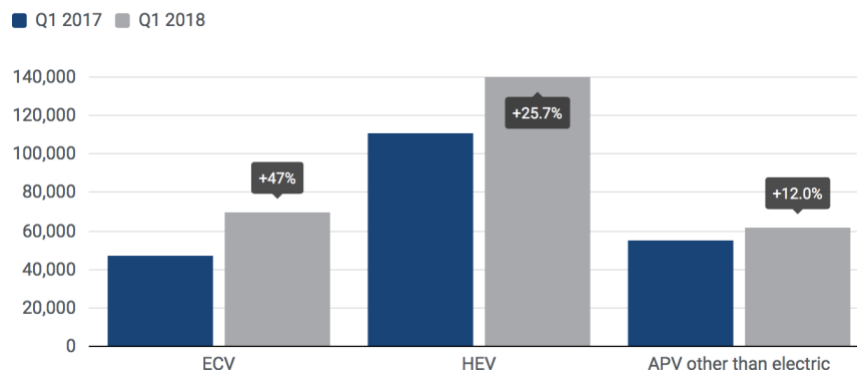
Οχήματα εναλλακτικής ισχύος

Μέχρι στιγμής το 2018, η ζήτηση της ΕΕ για οχήματα με εναλλακτική ισχύ αυξήθηκε κατά + 26,9%. Οι εγγραφές ηλεκτρικών μπαταριών (+ 34,3%) και ηλεκτρικών αυτοκινήτων (+ 60,2%) αντιπροσωπεύουν την ισχυρότερη αύξηση - από τον Ιανουάριο έως τον Μάρτιο του 2018 (+ 47,0%), και καταχωρήθηκαν συνολικά 69.898 ηλεκτρικά φορτισμένα αυτοκίνητα. Ταυτόχρονα, 139.556 υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα πωλήθηκαν στην ΕΕ, ήτοι 25,7% περισσότερα από ό, τι το πρώτο τρίμηνο του 2017. Η αγορά των αυτοκινήτων NGV (φυσικό αέριο), LPG (υγροποιημένο αέριο πετρελαίου) και E85¹ ξεκίνησε το έτος εξίσου έντονα και η ζήτηση αυξήθηκε κατά 12,0%.

Σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, η Γερμανία σημείωσε τη μεγαλύτερη αύξηση στις πωλήσεις APV (Alternative Powered Vehicles) (+ 73,4%), ακολουθούμενη από την Ισπανία (+ 53,4%) και τη Γαλλία (+ 15,3%). Η ζήτηση για οχήματα εναλλακτικής ισχύος συνέχισε να αυξάνεται και στο Ηνωμένο Βασίλειο (+ 9,8%) και στην Ιταλία (+ 9,0%), αν και με βραδύτερο ρυθμό.

Στο *Διάγραμμα 1.3* που ακολουθεί φαίνονται οι πωλήσεις των οχημάτων Εναλλακτικής Ισχύος στην ΕΕ για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018, καθώς και οι ποσοστιαίες αυξήσεις για το διάστημα αυτό. Το πρώτο σετ στηλών αναφέρεται σε φορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα (ECV: Electrically chargeable vehicles), το δεύτερο σε υβριδικά οχήματα (HEV: Hybrid electric vehicles) και το τρίτο στις υπόλοιπες κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

¹ E85: εναλλακτικό καύσιμο που αποτελείται από αιθανόλη 85% και 15% βενζίνη.



Διάγραμμα 1.3: Πωλήσεις οχημάτων ανά τύπο καυσίμου για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018 (Πηγή: [6])

Στους Πίνακες 1.1, 1.2, 1.3 που ακολουθούν φαίνονται οι πωλήσεις των οχημάτων με καύσιμο εναλλακτικής ισχύος, των πετρελαιοκίνητων οχημάτων καθώς και των βενζινοκίνητων οχημάτων αντίστοιχα για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018, συμπεριλαμβανομένων και των ποσοστιαίων αυξήσεων ή μειώσεων στις πωλήσεις για τα διαστήματα αυτά. Άξιο σχολιασμού αποτελεί το γεγονός ότι η Ελλάδα κατέχει τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση σε οχήματα που κινούνται με καύσιμο εναλλακτικής ισχύος με ποσοστό 95.1%.

Πίνακας 1.1: Πωλήσεις οχημάτων με καύσιμο εναλλακτικής ισχύος για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018

	Q1 2018	Q1 2017	% Change	Q1 2018	Q1 2017	% Change
AUSTRIA	4,171	3,256	28.1	4,171	3,256	28.1
BELGIUM	9,605	7,935	21.0	9,605	7,935	21.0
BULGARIA	391	241	62.2	391	241	62.2
CZECH REPUBLIC	1,937	1,776	9.1	1,937	1,776	9.1
DENMARK	2,795	1,697	64.7	2,795	1,697	64.7
ESTONIA	350	326	7.4	350	326	7.4
FINLAND	4,771	2,847	67.6	4,771	2,847	67.6
FRANCE	33,400	28,971	15.3	33,400	28,971	15.3
GERMANY	41,377	23,857	73.4	41,377	23,857	73.4
GREECE	1,188	609	95.1	1,188	609	95.1
HUNGARY	1,615	900	79.4	1,615	900	79.4
IRELAND	4,466	2,798	59.6	4,466	2,798	59.6
ITALY	68,127	62,488	9.0	68,127	62,488	9.0
LATVIA	115	78	47.4	115	78	47.4
LITHUANIA	181	146	24.0	181	146	24.0
NETHERLANDS	11,639	7,501	55.2	11,639	7,501	55.2
POLAND	7,785	7,401	5.2	7,785	7,401	5.2
PORTUGAL	3,777	2,156	75.2	3,777	2,156	75.2
ROMANIA	1,137	598	90.1	1,137	598	90.1
SLOVAKIA	849	560	51.6	849	560	51.6
SLOVENIA	631	341	85.0	631	341	85.0
SPAIN	21,851	14,244	53.4	21,851	14,244	53.4
SWEDEN	12,271	9,472	29.6	12,271	9,472	29.6
UNITED KINGDOM	36,693	33,405	9.8	36,693	33,405	9.8
EUROPEAN UNION	271,122	213,603	26.9	271,122	213,603	26.9
EU15	256,131	201,236	27.3	256,131	201,236	27.3
EU (New Members)	14,991	12,367	21.2	14,991	12,367	21.2
NORWAY	19,802	18,916	4.7	19,802	18,916	4.7
SWITZERLAND	4,600	3,579	28.5	4,600	3,579	28.5
EFTA	24,402	22,495	8.5	24,402	22,495	8.5
EU + EFTA	295,524	236,098	25.2	295,524	236,098	25.2
EU15 + EFTA	280,533	223,731	25.4	280,533	223,731	25.4

Πίνακας 1.2: Πωλήσεις πετρελαιοκίνητων οχημάτων για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018

	Q1 2018	Q1 2017	% Change	Q1 2018	Q1 2017	% Change
AUSTRIA	37,879	46,526	-18.6	37,879	46,526	-18.6
BELGIUM	62,247	76,735	-18.9	62,247	76,735	-18.9
BULGARIA	4,810	4,567	5.3	4,810	4,567	5.3
CZECH REPUBLIC	21,679	27,614	-21.5	21,679	27,614	-21.5
DENMARK	20,258	21,092	-4.0	20,258	21,092	-4.0
ESTONIA	3,149	3,035	3.8	3,149	3,035	3.8
FINLAND	8,479	11,154	-24.0	8,479	11,154	-24.0
FRANCE	226,048	256,445	-11.9	226,048	256,445	-11.9
GERMANY	283,766	360,628	-21.3	283,766	360,628	-21.3
GREECE	10,502	10,354	1.4	10,502	10,354	1.4
HUNGARY	7,459	8,299	-10.1	7,459	8,299	-10.1
IRELAND	40,403	50,714	-20.3	40,403	50,714	-20.3
ITALY	316,367	324,732	-2.6	316,367	324,732	-2.6
LATVIA	1,712	1,774	-3.5	1,712	1,774	-3.5
LITHUANIA ¹	2,396	2,288	4.7	2,396	2,288	4.7
NETHERLANDS	21,144	19,814	6.7	21,144	19,814	6.7
POLAND	32,448	34,244	-5.2	32,448	34,244	-5.2
PORTUGAL	34,138	37,553	-9.1	34,138	37,553	-9.1
ROMANIA	13,366	12,439	7.5	13,366	12,439	7.5
SLOVAKIA	11,408	12,602	-9.5	11,408	12,602	-9.5
SLOVENIA	6,746	8,812	-23.4	6,746	8,812	-23.4
SPAIN	130,661	157,986	-17.3	130,661	157,986	-17.3
SWEDEN	36,654	47,030	-22.1	36,654	47,030	-22.1
UNITED KINGDOM	240,614	360,518	-33.3	240,614	360,518	-33.3
EUROPEAN UNION	1,574,333	1,896,955	-17.0	1,574,333	1,896,955	-17.0
EU15	1,469,160	1,781,281	-17.5	1,469,160	1,781,281	-17.5
EU (New Members)	105,173	115,674	-9.1	105,173	115,674	-9.1
NORWAY	6,286	9,630	-34.7	6,286	9,630	-34.7
SWITZERLAND	22,718	27,789	-18.2	22,718	27,789	-18.2
EFTA	29,004	37,419	-22.5	29,004	37,419	-22.5
EU + EFTA	1,603,337	1,934,374	-17.1	1,603,337	1,934,374	-17.1
EU15 + EFTA	1,498,164	1,818,700	-17.6	1,498,164	1,818,700	-17.6

Πίνακας 1.3: Πωλήσεις βενζινοκίνητων οχημάτων για τα πρώτα τρίμηνα του 2017 και του 2018

	Q1 2018	Q1 2017	% Change	Q1 2018	Q1 2017	% Change
AUSTRIA	48,424	38,711	25.1	48,424	38,711	25.1
BELGIUM	93,705	80,039	17.1	93,705	80,039	17.1
BULGARIA	4,546	2,946	54.3	4,546	2,946	54.3
CZECH REPUBLIC	44,238	38,013	16.4	44,238	38,013	16.4
DENMARK	36,505	38,761	-5.8	36,505	38,761	-5.8
ESTONIA	5,052	4,313	17.1	5,052	4,313	17.1
FINLAND	21,163	19,125	10.7	21,163	19,125	10.7
FRANCE	297,394	255,638	16.3	297,394	255,638	16.3
GERMANY	553,467	460,197	20.3	553,467	460,197	20.3
GREECE	15,030	10,125	48.4	15,030	10,125	48.4
HUNGARY	22,535	15,147	48.8	22,535	15,147	48.8
IRELAND	26,926	22,470	19.8	26,926	22,470	19.8
ITALY	189,768	196,019	-3.2	189,768	196,019	-3.2
LATVIA	2,444	2,032	20.3	2,444	2,032	20.3
LITHUANIA ¹	3,901	3,090	26.2	3,901	3,090	26.2
NETHERLANDS	103,240	92,382	11.8	103,240	92,382	11.8
POLAND	99,639	84,287	18.2	99,639	84,287	18.2
PORTUGAL	25,314	20,160	25.6	25,314	20,160	25.6
ROMANIA	14,124	8,770	61.0	14,124	8,770	61.0
SLOVAKIA	15,279	12,815	19.2	15,279	12,815	19.2
SLOVENIA	12,982	9,537	36.1	12,982	9,537	36.1
SPAIN	187,799	135,681	38.4	187,799	135,681	38.4
SWEDEN	38,472	32,902	16.9	38,472	32,902	16.9
UNITED KINGDOM	441,182	426,093	3.5	441,182	426,093	3.5
EUROPEAN UNION	2,303,129	2,009,253	14.6	2,303,129	2,009,253	14.6
EU15	2,078,389	1,828,303	13.7	2,078,389	1,828,303	13.7
EU (New Members)	224,740	180,950	24.2	224,740	180,950	24.2
NORWAY	7,711	9,695	-20.5	7,711	9,695	-20.5
SWITZERLAND	44,771	41,401	8.1	44,771	41,401	8.1
EFTA	52,482	51,096	2.7	52,482	51,096	2.7
EU + EFTA	2,355,611	2,060,349	14.3	2,355,611	2,060,349	14.3
EU15 + EFTA	2,130,871	1,879,399	13.4	2,130,871	1,879,399	13.4

1.2 Οικολογική οδήγηση

Ορισμός

Η οικολογική οδήγηση ή άλλως eco driving είναι ένας πρωτοποριακός και αποτελεσματικός τρόπος οδήγησης που δίνει έμφαση στην εξοικονόμηση καυσίμου, την ταχύτητα και την ασφάλεια και αν και είναι ευρέως διαδεδομένος στον Καναδά και στη Δυτική Ευρώπη αλλά δεν έχει ακόμα λάβει τις αντίστοιχες διαστάσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες. Κάποιες συμβουλές σχετικές με την οικολογική οδήγηση συναντούν καλύτερη εφαρμογή σε οχήματα με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων αλλά οποιοσδήποτε μπορεί να οδηγήσει οικολογικά. Οι τεχνικές του eco driving δεν εξαρτώνται από τον τύπο του οχήματος και μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του καυσίμου είτε σε εμπορικά φορτηγά, είτε σε υβριδικά οχήματα. Στις δύσκολες από οικονομικής απόψεως εποχές που επικρατούν, η βελτίωση της αποδοτικότητας του καυσίμου εξοικονομεί χρήματα και μειώνει τη συλλογική από το πετρέλαιο.

Προσαρμογή στην οικολογική οδήγηση

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), ως εποπτευόμενος φορέας της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης και ως εθνικός συντονιστικός φορέας για την εξοικονόμηση ενέργειας (ΕΞΕ) και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), προωθεί μεταξύ άλλων την βιωσιμότητα στις μεταφορές. Το ΚΑΠΕ, στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του, έχει συμμετάσχει σε αρκετά σχετικά Ευρωπαϊκά και Εθνικά έργα και έχει αποκτήσει σημαντική εμπειρία σε θέματα βελτίωσης της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης των οδικών μεταφορών. Στα πλαίσια του έργου ECODRIVEN προωθεί την Οικονομική, Οικολογική και Ασφαλή Οδήγηση (Eco-Driving). [7]

Οι χρυσοί κανόνες της οικολογικής οδήγησης

Πρόβλεψη κυκλοφοριακής ροής

Ο οδηγός θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσει την κατάσταση της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και να λάβει τις ανάλογες αποφάσεις σχετικά με την πορεία που θα ακολουθήσει. Ακόμα, ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι η διατήρηση απόστασης τουλάχιστον τριών δευτερολέπτων από το προπορευόμενο όχημα, έτσι ώστε να αποφεύγονται τα απότομα φρεναρίσματα.

Διατήρηση σταθερής ταχύτητας σε χαμηλές στροφές κινητήρα

Στόχος είναι η ομαλότητα στην οδήγηση και πιο συγκεκριμένα η επιδίωξη της σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης μέσω της ελαχιστοποίησης των επιταχύνσεων και των επιβραδύνσεων. Στην περίπτωση αυτή συνίσταται η αποφυγή απότομων επιβραδύνσεων και απότομων επιταχύνσεων καθώς οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου αλλά και σε

αυξημένη πιθανότητα ατυχήματος. Τέλος, προτείνεται η χρήση του συστήματος Προσαρμοστικού Ελέγχου Πλοήγησης του οχήματος (Adaptive Cruise Control-ACC), στις περιπτώσεις όπου είναι εφικτό.

Αποφυγή καθυστέρησης στις αλλαγές ταχυτήτων κιβωτίου

Προφανώς η συγκεκριμένη οδηγία αφορά μόνο οδηγούς οχημάτων με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων και αφορά κυρίως περιπτώσεις αλλαγής ταχύτητας σε μεγαλύτερη σε χαμηλότερες στροφές κινητήρα.

Έλεγχος πίεσης ελαστικών ανά τακτά χρονικά διαστήματα

Θα πρέπει αρχικά ο χρήστης να συμβουλευέται το εγχειρίδιο του εκάστοτε οχήματος για την σωστή πίεση στα ελαστικά και στη συνέχεια να γίνεται έλεγχος τουλάχιστον μία φορά κάθε μήνα και απαραίτητα πριν από μεγάλα ταξίδια. Η κατάλληλη πίεση στα ελαστικά μακροπρόθεσμα μπορεί να αποφέρει θεαματικά αποτελέσματα σε ότι αφορά στην κατανάλωση καυσίμου, ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Περιορισμός πρόσθετων φορτίων και ενεργοβόρων λειτουργιών

Η λειτουργία του κλιματιστικού αυξάνει αρκετά την κατανάλωση του οχήματος, οπότε συνίσταται η χρήση του μόνο όταν κρίνεται απαραίτητο. Το ίδιο ασφαλώς ισχύει για όλες τις επιπρόσθετες λειτουργίες του οχήματος, που απαιτούν περαιτέρω κατανάλωση ενέργειας.

Ακόμα ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η αποφυγή της μεταφοράς νεκρών φορτίων όπως για παράδειγμα ξεχασμένα βαριά αντικείμενα στο πορτ μπαγκάζ του οχήματος, καθώς και η αποφυγή καταστάσεων που επηρεάζουν την αεροδυναμική του αυτοκινήτου -όπως η χρήση της ηλιοροφής- ιδίως σε περιπτώσεις κίνησης σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας.

Ασφαλώς οι παραπάνω υποδείξεις βρίσκουν εφαρμογή όταν δεν επηρεάζεται η άνεση του οδηγού και των επιβαίνόντων, είναι δηλαδή απολύτως κατανοητό ότι κανείς δε προτιμά την οδήγηση με κλειστά παράθυρα και κλειστό κλιματισμό σε συνθήκες πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Γενικώς, αξίζει να αναφερθεί ότι σε συνθήκες κίνησης σε εθνική οδό και σε ταχύτητες μεγαλύτερες των 80 χλμ./ώρα η χρήση κλιματιστικού είναι η πιο αποδοτική επιλογή από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας. Αντιθέτως σε συνθήκες κίνησης εντός πόλης και σε συγκριτικά χαμηλές ταχύτητες, συνιστάται το άνοιγμα των παραθύρων αντί του κλιματιστικού. [8]

Οφέλη οικολογικής οδήγησης

Η οικολογική οδήγηση έχει πολλαπλά οφέλη: Δεν εξοικονομεί μόνο καύσιμα και χρήματα, αλλά βελτιώνει την οδική ασφάλεια καθώς και την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Επιπλέον, η οικολογική οδήγηση προσφέρει άμεσα οφέλη στους οδηγούς και τους επιβάτες, όπως η μεγαλύτερη άνεση και η χαλαρή ατμόσφαιρα και όλα αυτά τα οφέλη μπορούν να προκύψουν με ίση ή μικρότερη διάρκεια ταξιδιού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η οικολογική οδήγηση σημαίνει μικρές αλλαγές για τον οδηγό αλλά μεγάλες όσον αφορά στη μείωση του κόστους των καυσίμων και στον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων. [9]

Προσωπικά οφέλη

Μείωση εξόδων

Σύμφωνα με μια εκτενή μελέτη της Fiat (η οποία περιελάμβανε 5.700 οδηγούς σε πέντε χώρες), το Eco-driving εξοικονομεί κατά μέσο όρο το 15% του κόστους των καυσίμων. [10]

Λαμβάνοντας υπόψιν, τον μέσο αριθμό διανυομένων χιλιομέτρων των οχημάτων που είναι 12.285 χλμ./έτος, της μέσης ειδικής κατανάλωσης αυτοκινήτων 7,3 λίτρων / 100 χλμ. και του μέσου κόστους καυσίμων 1,43 ευρώ ανά λίτρο βενζίνης, η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε ετήσια εξοικονόμηση 192,5 ευρώ για κάθε οδηγό ξεχωριστά.[11]-[12]

Η οικολογική οδήγηση μειώνει όχι μόνο το κόστος των καυσίμων, αλλά και το κόστος συντήρησης και το κόστος επισκευής αυτοκινήτων μετά από ατυχήματα. Οι οικολογικοί οδηγοί προκαλούν λιγότερη φθορά στα εξαρτήματα αυτοκινήτων (ελαστικά, φρένα και κινητήρα) και είναι λιγότερο επιρρεπείς σε ατυχήματα.

Συμβατότητα με τους σύγχρονους κινητήρες

Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία των κινητήρων και οι επιδόσεις των αυτοκινήτων βελτιώθηκαν ταχύτατα και ο σωστός τρόπος οδήγησης με τα σύγχρονα αυτοκίνητα (μετά το 1990) διαφέρει σημαντικά από τον τρόπο οδήγησης που διδάσκεται στα σχολεία οδήγησης τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο, οι περισσότεροι οδηγοί που πήραν την άδεια οδήγησής τους πριν από δεκαετίες δεν έχουν προσαρμόσει τον τρόπο οδήγησής τους.

Για παράδειγμα, στη δεκαετία του 1960 και του 1970, οι περισσότερες μεταδόσεις προσέφεραν μόλις τρεις ή τέσσερις ταχύτητες και εδιδάσκετο σε σχολές οδήγησης να γίνεται αλλαγή σε υψηλότερη ταχύτητα γύρω στις 3.000 στροφές ανά λεπτό. Οι σημερινές μεταδόσεις προσφέρουν πέντε ή έξι ταχύτητες και επιτρέπουν την κίνηση σε μειωμένες στροφές του κινητήρα. Οι σύγχρονοι κινητήρες σχεδιάζονται γενικά για να λειτουργούν αποτελεσματικά σε χαμηλές ταχύτητες με το βέλτιστο σημείο απόδοσης να είναι περίπου οι 1.750 περιστροφές ανά λεπτό.

Ως εκ τούτου, η οικολογική οδήγηση συνιστά μια κουλτούρα οδήγησης που ταιριάζει στις σύγχρονες μηχανές και κάνει την καλύτερη χρήση τεχνολογιών προηγμένων οχημάτων. Πρόκειται για ένα ενεργειακά αποδοτικό στυλ οδήγησης μηχανοκίνητων οχημάτων, ιδιαίτερα αυτοκινήτων, σε χαμηλότερες στροφές κινητήρα.

Προστασία των λειτουργιών του αυτοκινήτου

Παρά την πεποίθηση ορισμένων οδηγών, η οικολογική οδήγηση δεν είναι ζημιογόνα για τον κινητήρα σε αντίθεση με την οδήγηση σε υψηλές στροφές, που έχει αρνητικές επιπτώσεις στη συντήρηση. Η τήρηση των συμβουλών για οικολογική οδήγηση οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κινητήρα, των φρένων και των ελαστικών. Μια αυστραλιανή μελέτη διαπίστωσε ότι η οικολογική οδήγηση μείωσε τον αριθμό αλλαγών ταχύτητας και τις χρήσεις των φρένων κατά 29% και 41% αντίστοιχα. [13]

Η ασφαλέστερη συμπεριφορά οδήγησης προκύπτει από την πρόβλεψη του τρόπου οδήγησης, δηλαδή ολιγότερη επιτάχυνση και πέδηση, χαμηλότερη ταχύτητα και προσπέραση, και ένα γενικότερα ολιγότερο αγχωτικό και επιθετικό στυλ οδήγησης.

Μείωση των επιπέδων άγχους και συνακόλουθα ασφαλέστερη οδήγηση

Η οικολογική οδήγηση συνεπάγεται πιο χαλαρή οδήγηση και συνεπώς έχει οφέλη στην υγεία των οδηγών και στην ικανοποίηση που εισπράττουν από την οδήγηση. Η ομαλή χρήση του επιταχυντή, του συστήματος διεύθυνσης, του κιβωτίου ταχυτήτων και των φρένων σημαίνει όχι μόνο αποτελεσματική οδήγηση, αλλά και περισσότερη άνεση για τον οδηγό και τους επιβάτες.

Η ασταθής οδήγηση μπορεί να προκαλέσει αύξηση των επιπέδων άγχους που συχνά επηρεάζει την αυτοσυγκέντρωση των οδηγών, προκαλεί κόπωση και ενίοτε τους καθιστά επιθετικούς. Επιπλέον, ορισμένοι επιβάτες αισθάνονται ανασφαλείς όταν ο οδηγός κινείται με υψηλές ταχύτητες ή κάνει πολλές προσπεράσεις - πράξεις τις οποίες ο οικολογικός οδηγός θα αποφύγει σε πολλές περιπτώσεις. Ως εκ τούτου, η οικολογική οδήγηση έχει ως αποτέλεσμα πιο ευτυχισμένους, πιο υγιείς και πιο υπεύθυνους οδηγούς.

Μεγαλύτερη οδική ασφάλεια

Επιπλέον, η οικολογική οδήγηση βελτιώνει την ασφάλεια της κυκλοφορίας. Σύμφωνα με μια μελέτη που διερεύνησε τις εφαρμογές του Eco driving για λογαριασμό της εταιρίας Hamburg Water του Αμβούργου, το κόστος των τροχαίων ατυχημάτων μειώθηκε κατά 40%, ακολουθώντας τις συμβουλές για οικολογική οδήγηση. [14] Αυτό οφείλεται κυρίως στους οικολογικούς οδηγούς που διατηρούν μεγαλύτερη απόσταση από το προπορευόμενο όχημα.

Αποφυγή απώλειας χρόνου

Όλα τα προαναφερθέντα οφέλη μπορούν να πραγματοποιηθούν με ίσο ή μικρότερο χρόνο ταξιδιού. Η εμπειρία δείχνει ότι οι οικολογικοί οδηγοί δεν χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να φτάσουν στον προορισμό τους, ενώ συχνά είναι ακόμη πιο γρήγοροι, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην επιτάχυνση της ροής της κυκλοφορίας και την αποφυγή των στάσεων.

Φιλικό προς το περιβάλλον και το κλίμα

Σε όλο τον κόσμο οι θερμοκρασίες αυξάνονται και οι ειδικοί ισχυρίζονται ότι το περιβάλλον βρίσκεται υπό την απειλή των τοξικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) καθώς και άλλων αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα καυσαέρια από τα μηχανοκίνητα οχήματα αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες πηγές του προβλήματος. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι κατασκευαστές των οχημάτων έχουν κάνει αξιοσημείωτη πρόοδο στη βελτίωση της τεχνολογίας των κινητήρων και της απόδοσης τους, παρόλα αυτά όμως, οι περισσότεροι οδηγοί δεν έχουν προσαρμόσει το δικό τους τρόπο οδήγησης στα νέα δεδομένα. Κατά μέσο όρο, για κάθε λίτρο βενζίνης που καταναλώνεται από ένα μηχανοκίνητο όχημα 2,2 κιλά διοξειδίου του άνθρακα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από τις εξατμίσεις των οχημάτων. [14]

Ο αντίκτυπος στο τοπικό περιβάλλον από την χρήση κινητήρων εσωτερικής καύσης εξαρτάται από την ποσότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται και την συνοδή έκλυση τοξικών καυσαερίων και σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Επομένως η οικολογική οδήγηση, μειώνει παράλληλα τα επίπεδα της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ως εκ τούτου εάν η οικολογική οδήγηση αποτελέσει τον κανόνα και όχι την εξαίρεση είναι εφικτό να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές αερίων που προέρχονται από τις οδικές μεταφορές.

Μείωση θορύβου

Ο τρόπος οδήγησης έχει πολύ μεγάλο αντίκτυπο στο θόρυβο που παράγεται, έτσι η λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλές στροφές και η αποφυγή των περιττών απότομων επιταχύνσεων αλλά και των υψηλών ταχυτήτων επιτυγχάνουν σημαντική μείωση του θορύβου πρόωσης ενός οχήματος. Ένα αυτοκίνητο που ταξιδεύει με 4.000 στροφές ανά λεπτό παράγει τα ίδια επίπεδα θορύβου με 32 οχήματα που ταξιδεύουν με την ίδια ταχύτητα αλλά με 2.000 στροφές ανά λεπτό (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Επίδραση οδήγησης σε υψηλές στροφές κινητήρα στον παραγόμενο θόρυβο (Πηγή: [15])

Έτσι, η οικολογική οδήγηση μειώνει σημαντικά ένα από τα κύρια προβλήματα που προκαλεί η κυκλοφορία αυτοκινήτων σε αστικές περιοχές.

1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική αποσκοπεί αρχικά στην εισαγωγή ενός δείκτη ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος ως προϊόν της οδηγικής διαδικασίας. Στη συνέχεια γίνεται διερεύνηση της πιθανότητας πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου, χρησιμοποιώντας τον εν λόγω δείκτη σε συνδυασμό με στοιχεία που προκύπτουν από τα δεδομένα της κάθε διαδρομής και είναι συνυφασμένα με την κατανάλωση καυσίμου.

Πιο συγκεκριμένα, εισάγεται ένας νέος δείκτης eDrive ο οποίος βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα φυσικής οδήγησης τα οποία συλλέγονται με έξυπνα κινητά (smartphones). Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό του δείκτη eDrive έχουν τη μορφή χρονικών διαστημάτων και περιγράφουν την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη και τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του κάθε ταξιδιού.

Για την υλοποίηση του στόχου της έρευνας αξιοποιήθηκε βάση δεδομένων της εφαρμογής έξυπνου κινητού τηλεφώνου Oseven, που παρακολουθεί, καταγράφει και αξιολογεί στοιχεία για τις πραγματοποιούμενες μετακινήσεις των χρηστών της. Σημαντικό πλεονέκτημα των δεδομένων αυτών είναι ότι ναι μεν οι χρήστες είναι ενήμεροι ότι τα ταξίδια τους καταγράφονται, αλλά δεν έχουν λάβει οδηγίες σχετικά με την οδήγησή τους και συνεπώς τα δεδομένα αντικατοπτρίζουν πραγματικές συνθήκες κίνησης. Ακόμα χρησιμοποιήθηκε και βάση δεδομένων της Google, που παρείχε υψομετρικά δεδομένα ανά δευτερόλεπτο διαδρομής, γεγονός που βοήθησε στο να ληφθεί υπόψιν η κλίση ως παράγοντας επιρροής της κατανάλωσης καυσίμου.

Για τη διερεύνηση της ύπαρξης σχέσης μεταξύ του νέου δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου διεξήχθησαν δύο ειδών πειράματα: ένα διευρυμένο πείραμα το οποίο περιελάμβανε το σύνολο των διαδρομών ενός χρήστη και ένα ελεγχόμενο το οποίο περιελάμβανε μία συγκεκριμένη διαδρομή. Για την καταγραφή της κατανάλωσης του χρησιμοποιούμενου οχήματος αρχικά αξιοποιήθηκε συσκευή συνδεδεμένη με την On-Board Diagnostics (OBD-II) θύρα του οχήματος, ωστόσο κάποια αδυναμία της συσκευής στην ορθή καταγραφή της κατανάλωσης καυσίμου οδήγησε το μελετητή στο να καταγράφει χειροκίνητα την κατανάλωση όπως αναγράφεται στην κεντρική κονσόλα του οχήματος του, έπειτα από το μηδενισμό της πριν από κάθε πραγματοποιούμενο ταξίδι. Τέλος, όπως αποδεικνύεται και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ο δείκτης eDrive εμφανίζεται να παρουσιάζει ικανοποιητική συσχέτιση με την κατανάλωση καυσίμου σε επίπεδο διαδρομής και αυτό οδηγεί σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα για το πως η βελτίωση της οδηγικής συμπεριφοράς μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Σε αυτήν την υποενότητα παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας και δίδεται μια συνοπτική εικόνα του περιεχομένου των κεφαλαίων.

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής εργασίας και προσδιορίζεται ο στόχος της. Αρχικά παρουσιάζονται τα προβλήματα της σύγχρονης εποχής σε θέματα μεταφορών και οι επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένα γενικά στοιχεία σχετικά με το θέμα της οικολογικής οδήγησης, τις βασικές αρχές της και τα οφέλη για τον άνθρωπο και την κοινωνία. Τέλος, παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση που στηρίχθηκε σε έρευνες που ανακτήθηκαν από διεθνή επιστημονικά περιοδικά, πρακτικά συνεδρίων και επιστημονικά βιβλία, που σχετίζονται με το προς μελέτη θέμα. Αρχικά, εξετάζεται η χρήση εναλλακτικών μέσων συλλογής δεδομένων και η συμβολή τους στη διεξαγωγή ερευνών συγκοινωνιακού ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου και οι επιπτώσεις της οδηγικής συμπεριφοράς σε αυτήν. Τέλος, παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα μοντέλα εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου και της οικολογικής οδήγησης.

Στο **Κεφάλαιο 3** συγκεντρώνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας καθώς και η διαδικασία συλλογής των δεδομένων. Αρχικά, παρατίθεται το διάγραμμα ροής των εργασιών και στη συνέχεια αναλύεται διεξοδικά η πορεία που ακολουθήθηκε, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι λεπτομέρειες της διεξαγωγής πειραμάτων. Παράλληλα, όπου κρίνεται απαραίτητο παρέχεται το θεωρητικό υπόβαθρο προκειμένου ο αναγνώστης να είναι σε θέση να παρακολουθήσει και να κατανοήσει το περιεχόμενο της εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 4** αρχικά παρουσιάζεται ο αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη eDrive και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία του ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη διεξαγωγή των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και η σχέση που προέκυψε μεταξύ του δείκτη και της κατανάλωσης καυσίμου.

Το **Κεφάλαιο 5** περιλαμβάνει τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Επιπρόσθετα, γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, είτε για την επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τη μορφή εισαγωγής νέων μεταβλητών είτε για την ανάπτυξη νέας μεθοδολογίας για την προσέγγιση του ζητήματος του eco-driving.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 6** συγκεντρώνεται η βιβλιογραφία που αξιοποιήθηκε για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Εισαγωγή

Οι συνθήκες ζωής του σύγχρονου ανθρώπου, έχουν επιφέρει ένα κύμα αύξησης της χρήσης Ι.Χ., γεγονός που συνδυάζεται και με ιδιαίτερα αυξημένη εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Αποτέλεσμα αυτής της αύξησης είναι η σταδιακή μείωση της λειτουργικότητας των μεταφορών αλλά και η επιδείνωση του φαινομένου της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Επομένως, η κατάσταση αυτή έχει φέρει στο προσκήνιο το θέμα της οικολογικής οδήγησης, το οποίο είναι πιο επίκαιρο από ποτέ. Η οικολογική οδήγηση αποτελεί ως εκ τούτου θέμα πολλών μελετών και με την παρούσα ανάλυση να μην αποτελεί εξαίρεση. Το σύνολο των μελετών αυτών στοχεύει στην γνωστοποίηση του προβλήματος στο ευρύ κοινό και εν συνεχεία στην ευαισθητοποίηση του. Προκειμένου να φτάσουμε όμως σε αυτό το στάδιο θα πρέπει μέσα από εμπεριστατωμένη έρευνα να εντοπιστούν λύσεις οι οποίες αποδεδειγμένα θα έχουν θετικό αντίκτυπο ως προς το εν λόγω ζήτημα. Τα οφέλη που θα προκύψουν, αν επιτευχθεί αυτός ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι πολλαπλά και αναλύονται σε: οικονομικά, περιβαλλοντικά και στα σχετικά με την λειτουργικότητα των μετακινήσεων. Στην συνέχεια του τρέχοντος κεφαλαίου θα παρουσιαστούν περιληπτικά κάποια αποτελέσματα και συμπεράσματα από μελέτες που έχουν εκπονηθεί πάνω στο ζήτημα της οικολογικής οδήγησης.

2.1 Πληθοπορισμός

Ο πληθοπορισμός (crowdsourcing) αποτελεί ένα μοντέλο, το οποίο διανέμεται διαδικτυακά, είναι χρήσιμο κατά τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων και με την πάροδο των χρόνων παίρνει κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος (Brabham 2008). Ο Brabham προκειμένου να εμβαθύνει στην έννοια του όρου παραθέτει τον ορισμό που έδωσαν οι Jeff Howe και Mark Robinson, κατά τους οποίους ο πληθοπορισμός αντιπροσωπεύει την κίνηση μίας επιχείρησης ή ενός ιδρύματος να αναθέσει μία λειτουργία η οποία αρχικά εκτελούνταν από εργαζομένους σε ένα απροσδιόριστο και γενικώς μεγάλο δίκτυο ανθρώπων, με τη μορφή ανοικτής πρότασης. Αυτό μπορεί να πάρει τη μορφή ομότιμης παραγωγής όταν η εργασία γίνεται μέσω ομαδικής δουλειάς αλλά συχνά αναλαμβάνεται και ατομικά. Το κρίσιμο προαπαιτούμενο, είναι η χρήση της μορφής της ανοικτής πρότασης και το μεγάλο δίκτυο από μελλοντικούς «εργάτες».[16]-[17]

Αρνητικά πληθοπορισμού

Στον τομέα της παραγωγής θα μπορούσε κανείς να πει ότι η πνευματική εργασία στην οποία υποβάλλεται μία ομάδα ανθρώπων κοστίζει πολύ περισσότερο από τα χρήματα που τελικά θα διατεθούν για την ιδέα που θα επικρατήσει. Αυτό σημαίνει ότι οι εταιρίες έχουν πολύ μεγάλα κέρδη από την ιδέα ή την εργασία των θεωρητικώς «εργαζομένων» τους, ενώ πληρώνουν πολύ λιγότερα χρήματα από αυτά που θα αναγκάζονταν να πληρώσουν εάν είχαν προσλάβει μία άλλη

εταιρία ή έναν ελεύθερο επαγγελματία, που ασχολείται επαγγελματικά και πιθανότατα αποκλειστικά με την εκτέλεση αντίστοιχων εργασιών.

Θετικά πληθοπορισμού

Από μία αντίθετη οπτική γωνία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μία πρώτης τάξεως ευκαιρία για το κοινό να υψώσει το ανάστημά του σε μία παγκόσμια καπιταλιστική οικονομία. Ο πληθοπορισμός προσφέρει την ευκαιρία της επιχειρηματικότητας ή το λιγότερο μία εναλλακτική να αναδυθούν με δημιουργικό τρόπο η ενεργητικότητα και η δυναμική ανήσυχων ανθρώπων. . Οι Lakhani et al. (2007) αναγνώρισαν την επιθυμία για απόκτηση νέων δεξιοτήτων και του πάθους για επίλυση προβλημάτων και εξερεύνησης σε παραγωγή ευρείας κλίμακας (βλέπε, Levy 1984, Ghosh 1998, Raymond, 2003). [18]-[21]

Κίνητρα για συμμετοχή

Ο Brabham (2011), αντλώντας στοιχεία από διάφορες μελέτες, αναφέρει επιγραμματικά μερικά από τα κίνητρα, που θα μπορούσαν να ωθήσουν ένα άτομο να ασχοληθεί με τον πληθοπορισμό, και τα οποία είναι [22]:

- να αποκομίσει χρήματα
- να καλλιεργήσει και να αναπτύξει δημιουργικές δεξιότητες
- να δικτυωθεί με άλλους δημιουργικούς επαγγελματίες
- να ενισχύσει το βιογραφικό του
- να «δοκιμάσει» τον εαυτό του σε ένα δύσκολο πρόβλημα
- να κοινωνικοποιηθεί και να κάνει φίλους
- να απασχολήσει τον εαυτό του σε περίπτωση που πλήττει
- να συνεισφέρει σε ένα μεγάλο έργο κοινού ενδιαφέροντος
- να συνεργαστεί με άλλους
- να περάσει ευχάριστα

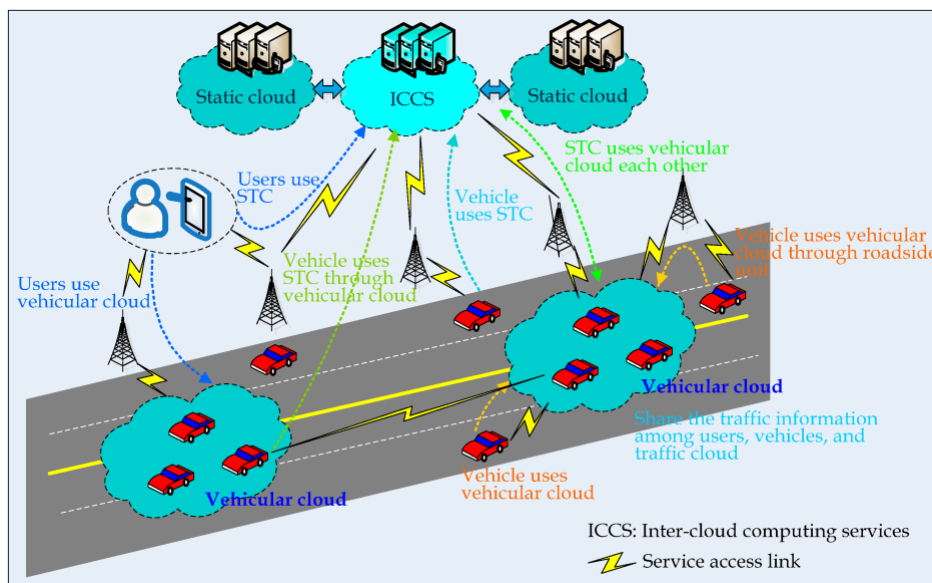
Σε συγκοινωνιακό επίπεδο ο όρος πληθοπορισμός συναντάται ως **mobile crowdsensing** και θα αναλυθεί παρακάτω.

2.2 Έξυπνα συγκοινωνιακά συστήματα

Τα ITS² ή αλλιώς Έξυπνα Συγκοινωνιακά Συστήματα και οι εφαρμογές τους προσελκύουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην έρευνα και στη βιομηχανία (Raghu K. Ganti). Τα ITS κάνουν χρήση διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνίας και ανίχνευσης για να βοηθήσουν τους οδηγούς να παίρνουν σωστές αποφάσεις και προσφέρουν άνετη και ασφαλή οδηγική εμπειρία. Η συλλογή

² Intelligent Transportation Systems

δεδομένων και η διάχυση τους αποτελούν παράγοντες υψίστης σημασίας για την ενδεδειγμένη λειτουργία των ITS εφαρμογών, ενώ για τη δημιουργία τους έχουν ληφθεί υπόψιν πολυάριθμα πρότυπα, αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Ωστόσο τα υπάρχοντα συστήματα βασίζονται στην παραδοχή, ότι τα οχήματα και οι παραπλεύρως του δρόμου συσκευές είναι εξοπλισμένες με δυνατότητες επικοινωνίας και ανίχνευσης. Ένα από τα σημαντικότερα κενά αυτής της προσέγγισης, είναι η ανικανότητα καταγραφής γεγονότων που μπορούν εύκολα να καταγραφούν από τους οδηγούς χρησιμοποιώντας τα κινητά τους τηλέφωνα. [23]



Εικόνα 2.1: Mobile Crowd Sensing for Traffic Prediction in Internet of Vehicles (Πηγή: [24])

Λόγω, λοιπόν της συνεχούς ανάπτυξης νέων τεχνολογιών στον τομέα των επικοινωνιών και της πληροφορίας, επινοήθηκε ο όρος **mobile crowdsensing** και αφορά στην αυξημένη χρήση έξυπνων κινητών ως εναλλακτικό μέσο συλλογής πληροφοριών και δεδομένων με τελικό στόχο την ανάλυση της οδικής συμπεριφοράς.

Η χρήση έξυπνων κινητών για την καταγραφή της οδικής συμπεριφοράς κερδίζει διαρκώς έδαφος λόγω των πλεονεκτημάτων τους τόσο σε επίπεδο διαρκώς εξελισσόμενων χαρακτηριστικών όσο και σε σύγκριση με άλλες συνήθεις προσεγγίσεις της τηλεματικής, όπως συσκευές σταθερής θέσης συνδεδεμένες με την on-board diagnostics (OBD) θύρα του οχήματος. Τα κυριότερα εξ' αυτών παρατίθενται παρακάτω [25] – [28]:

- Υψηλή διεύθυνση στο σύνολο των οδηγών.
- Ευκολία εκμετάλλευσης των λειτουργιών τους μέσω πληθώρας εφαρμογών.
- Χαμηλό κόστος ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού τύπου αισθητήρων IMU (Internal measurement units), όπως επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο αλλά και συστημάτων GNSS (global navigational satellite system).
- Υπερτερούν σε θέματα εγκατάστασης και συντήρησης, ειδικά σε πειράματα που

- Περιλαμβάνουν μεγάλο όγκο οχημάτων.
- Διαρκής βελτίωση της αναλογίας τιμής – απόδοσης.
- Δυνατότητα οπτικοακουστικής αλληλεπίδρασης με τον χρήστη πριν (οργάνωση), κατά τη διάρκεια (γνωμοδότηση για τον τρόπο οδήγησης και επικέντρωση της προσοχής σε κρίσιμες καταστάσεις) και με το πέρας του ταξιδιού (αναφορά επίδοσης – αξιολόγηση).
- Εύκολη και ασφαλής μεταφορά και διατήρηση δεδομένων σε online συστήματα (π.χ. Clouds) χάρη στη δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης.
- Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα κινητά δεν έχουν ανάγκη σημαντικής επεξεργασίας για την εξαγωγή στοιχείων που αφορούν στην οδηγική συμπεριφορά, σε αντίθεση με τα δεδομένα από GPS.

Από την άλλη, η βιβλιογραφία καταγράφει και ορισμένα μειονεκτήματα της χρήσης έξυπνων κινητών [29]:

- Απρόβλεπτη και αυθαίρετη τοποθέτηση στο όχημα.
- Επίπεδα θορύβου δεδομένων για διαφορετικούς τύπους ταξιδιών με διαφορετικά μέσα μετακίνησης.
- Άντληση μεγάλου μέρους της μπαταρίας της συσκευής.

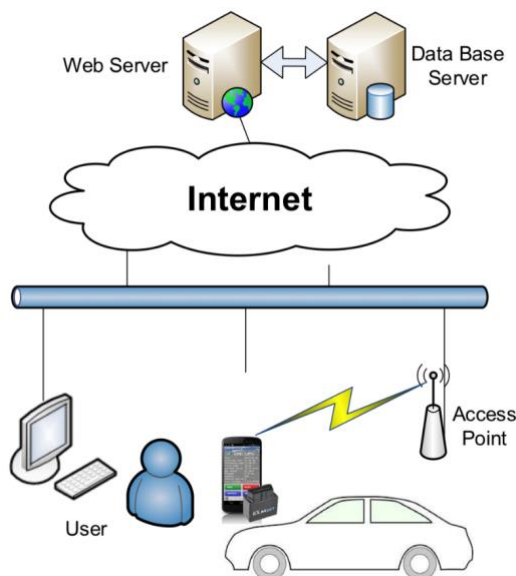
Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό οι προαναφερθέντες παράγοντες μπορούν να θέσουν υπό αμφισβήτηση την αξιοπιστία και την ακρίβεια με την οποία συλλέγονται τα δεδομένα συγκρινόμενα με αυτά των συσκευών που εγκαθίστανται εντός του οχήματος όπως τα GPS³ και τα IMUs⁴. Μέσα από την έρευνα τους οι Paefgen et al. απέδειξαν ότι έξυπνα κινητά τηλέφωνα αντιλαμβάνονται εντονότερα τα πέραν του φυσιολογικού ορίου κρίσιμα περιστατικά αλλά οι συνθήκες της οδού καθώς και η θέση του κινητού εντός του οχήματος επηρεάζουν την απόδοσή τους. [30]

Σειρά από μελέτες και πειράματα έχουν γίνει τελευταίως πάνω στην εκ νέου επεξεργασία και διόρθωση των αρχικών δεδομένων που λαμβάνονται από το επιταχυνσιόμετρο του κινητού. Μία από αυτές συμπεριλαμβάνει έναν αλγόριθμο επανεντοπισμού του έξυπνου κινητού που λαμβάνει δεδομένα από το γυροσκόπιο και το GPS και έτσι διορθώνει τα αρχικώς ανακριβή στοιχεία που λήφθηκαν από τη συσκευή. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα πλαίσιο Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning), στηριζόμενο σε rough set theory που σκοπό έχει την

³ GPS: Global Positioning System

⁴ IMU: Inertial Measurement Unit

αναγνώριση κανόνων και μοτίβων οδηγικής συμπεριφοράς. (Vlahogianni & Barmprounakis, 2017) [31]

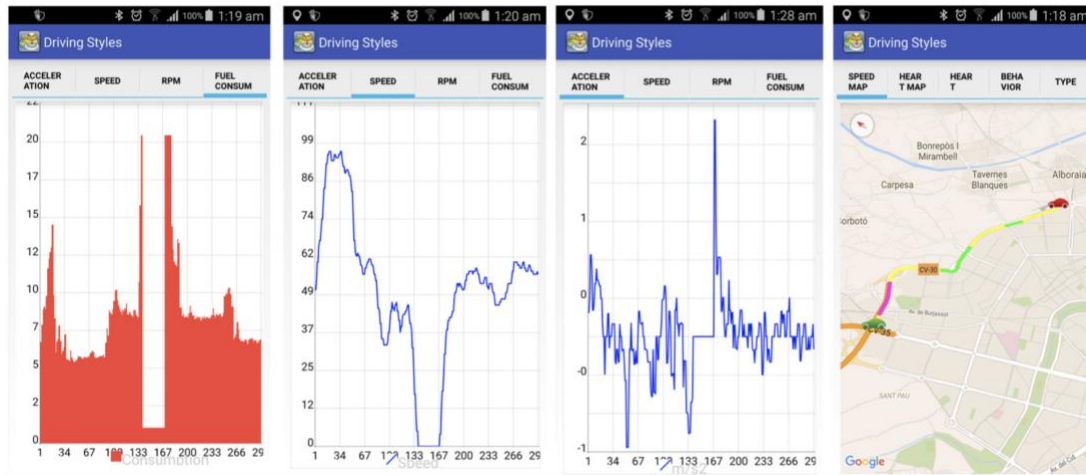


Εικόνα 2.2: Συλλογή δεδομένων μέσω έξυπνων τηλεφώνων (Πηγή: [32])

Τα Έξυπνα Συστήματα Μεταφοράς (ITS) εισάγουν προχωρημένες εφαρμογές που στοχεύουν στην παροχή καινοτόμων υπηρεσιών. Βοηθούν τους χρήστες στη διαχείριση πληροφοριών σχετικών με τα εκάστοτε κυκλοφοριακά δεδομένα και τους δίνουν τη δυνατότητα να είναι καλύτερα ενημερωμένοι σε θέματα ασφάλειας και σε περιβαλλοντικά δεδομένα και τους καθιστούν περισσότερο ευέλικτους. Η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη του κινητού τηλεφώνου ενισχύει σε μεγάλο βαθμό τα συστήματα αυτά αλλά και την συνεργασία των κινητών τηλεφώνων με τα οχήματα και πιο συγκεκριμένα μέσω του συστήματος OBD⁵ που απαιτεί μόνο την ύπαρξη Bluetooth στο κινητό.

Με βάση τα προαναφερθέντα οι δημιουργήθηκε μία πλατφόρμα για κινητά τηλέφωνα, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον χαρακτηρισμό των οδηγών, βασισμένη στην οδηγική τους συμπεριφορά (Meseguer et al.). Ακολουθεί μία εικόνα από το περιβάλλον της πλατφόρμας σε Android λογισμικό στην Εικόνα 2.3.

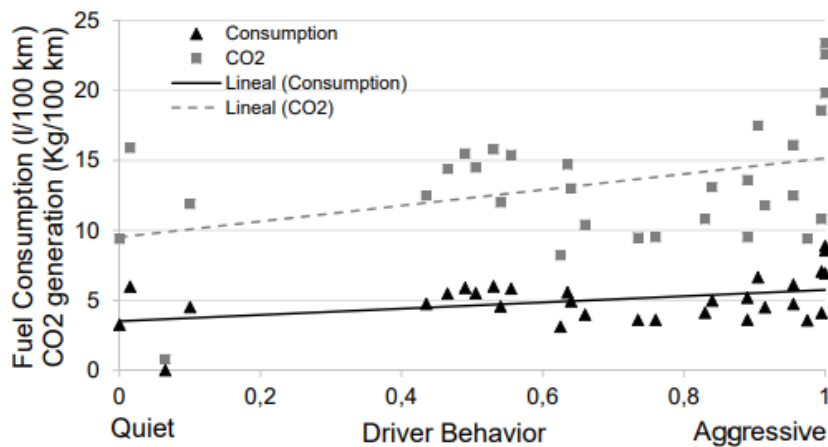
⁵ OBD: On Board Diagnostics



Εικόνα 2.3: Περιβάλλον εφαρμογής Driving Styles (Πηγή: [33])

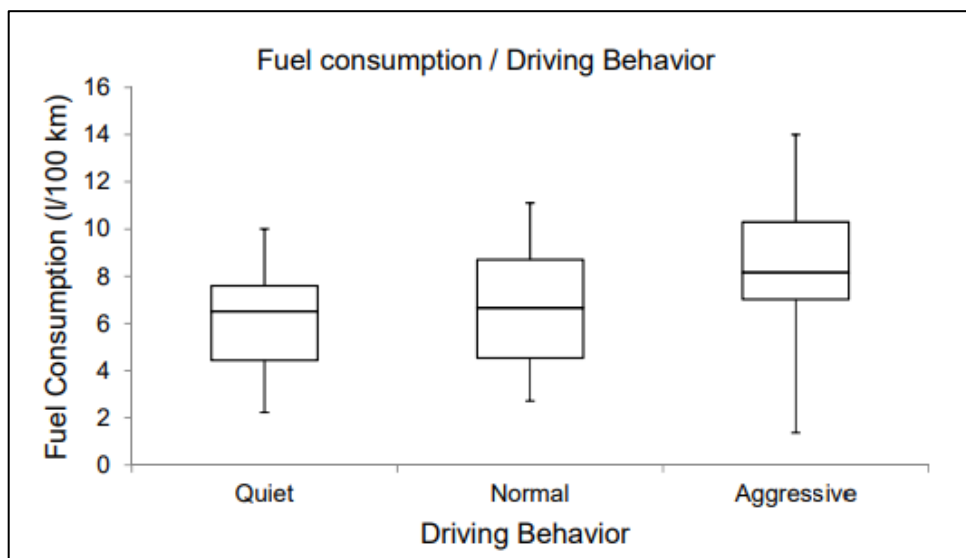
Η μελέτη αυτή είχε ως στόχο την καταγραφή των χαρακτηριστικών του οδηγικού προφίλ διαφορετικών οδηγών, μετρώντας τις σχετικές μεταβολές στις καταναλώσεις καυσίμου. Η επίτευξη του στόχου αυτού βασίστηκε στη συνεργασία 534 οδηγών, από διαφορετικά μέρη του κόσμου (Ινδία, Βραζιλία, Κεντρική Αμερική, Ευρώπη), που χρησιμοποίησαν την πλατφόρμα. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης έγινε ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς σε 75 χαρακτηριστικές διαδρομές, χωρισμένες σε περιόδους των 10 δευτερολέπτων, με τη βοήθεια νευρωνικών δικτύων. Για κάθε τμήμα, το νευρωνικό δίκτυο επέστρεφε την αντίστοιχη συμπεριφορά του οδηγού και τα δεδομένα αυτά ενσωματώθηκαν με τα δεδομένα κατανάλωσης που αντιστοιχούσαν στην διαδρομή αυτή.

Πραγματοποιήθηκαν αρκετοί έλεγχοι, προκειμένου να κριθούν έγκυρες οι αρχικές εκτιμήσεις και το Διάγραμμα 2.1 απεικονίζει τις καταναλώσεις καυσίμου και τις εκπομπές CO₂ καταγεγραμμένες από διαφορετικούς οδηγούς, κατηγοριοποιημένες ανάλογα με οδηγικό τους προφίλ.



Διάγραμμα 2.1: Καταναλώσεις καυσίμου και CO₂ κατηγοριοποιημένες βάσει επιθετικότητας οδήγησης (Πηγή: [33])

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η «επιθετική» οδήγηση προκαλεί σημαντική αύξηση της κατανάλωσης, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την παραγωγή CO₂. Για τη διαμόρφωση πιο σαφέστερης εικόνας των εν λόγω συσχετίσεων, δημιουργήθηκε το **Διάγραμμα 2.2**, το οποίο απεικονίζει τις διαφορές ανάμεσα σε ήπια, φυσιολογική και επιθετική οδηγική συμπεριφορά σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου. Οι επιθετικοί οδηγοί επιδιώκουν γρήγορες εκκινήσεις και επιταχύνσεις, οδηγώντας σε υψηλές στροφές του κινητήρα και προκαλώντας απότομες εναλλαγές ταχύτητας.



Διάγραμμα 2.2: Στατιστική ανάλυση κατανάλωσης καυσίμου βάσει επιθετικότητας οδήγησης (Πηγή: [33])

Είναι φανερό ως εκ τούτου ότι η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται, όταν η συμπεριφορά του οδηγού γίνεται πιο επιθετική με τις μέσες διαφορές να φτάνουν μέχρι και το 1,5 λίτρο/100χλμ. Στα πειράματα παρατηρήθηκε, ότι ένας επιθετικός οδηγός χρησιμοποιεί κατά μέσο όρο 8 λίτρα/100χλμ. και ένας ήρεμος οδηγός μόνο 6,6 λίτρα/100χλμ., το οποίο σημαίνει ότι η διαφορά όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμου δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα καθώς ο πρώτος μπορεί να καταναλώνει μέχρι και 20% περισσότερο καύσιμο. Σε ότι αφορά τις εκπομπές CO₂, αυτές μπορεί να αυξηθούν μέχρι και 50% ανεβαίνοντας από τα 10 κιλά/100χλμ. στα 15 κιλά/100χλμ., ανάλογα με το αν οι οδηγοί είναι ήρεμοι ή επιθετικοί.

Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι άκρως ενδιαφέροντα και εκφράζουν με έμμεσο τρόπο την ανάγκη υιοθέτησης ενός οδηγικού προφίλ πιο φιλικού προς το περιβάλλον από ολοένα και περισσότερους πολίτες.

2.3 Επιλογή διαδρομής βάσει κατανάλωσης

Μέχρι στιγμής οι οδηγοί χρησιμοποιούν τον εκτιμώμενο χρόνο ταξιδιού ή την εκτιμώμενη απόσταση κατά κύριο λόγο ως κριτήριο για την επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσουν προς τον προορισμό τους. Μία νέα προσέγγιση, ερεύνησε τη χρήση ενός συστήματος πλοήγησης το οποίο θα δημιουργούσε μία λίστα με τις πιθανές διαδρομές για τον οδηγό με

κριτήριο αυτή τη φορά την κατανάλωση καυσίμου ανά διαδρομή και κατά συνέπεια την εκπομπή CO₂ (Eva Ericsson et al.) [34]. Η έρευνα βασίστηκε σε μία μεγάλη βάση δεδομένων με πραγματικά μοτίβα κυκλοφοριακής συμφόρησης που αφορούν στο συγκοινωνιακό δίκτυο του Λαντ της Σουηδίας. Κάθε τμήμα του οδικού δικτύου ήταν καταχωρημένο σε έναν ψηφιακό χάρτη και συνδεόταν με μία μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμου για περιπτώσεις χαμηλής συμφόρησης και μία μέση τιμή για περιπτώσεις υψηλής, ανάλογα με τον τύπο του δρόμου και τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Για να αξιολογηθούν οι δυνατότητες του μοντέλου πλοήγησης με κριτήριο την εξοικονόμηση καυσίμου, επιλέχθηκαν 109 πραγματικές διαδρομές μεγαλύτερες των 5 λεπτών, και χρησιμοποιώντας τα προγράμματα ArcGIS, Arcview και Network Analysis, προέκυψε η πιο «οικονομική» διαδρομή, η οποία και συγκρίθηκε με τις αντίστοιχες πιο σύντομες σε χρόνο και σε διάρκεια. Η συνολική κατανάλωση καυσίμου κάθε διαδρομής υπολογίστηκε με την ακόλουθη εξίσωση,

$$T = \sum_{i=1}^n (\text{μήκος τμήματος}_{(i)} \cdot \text{συντελεστή κατανάλωσης καυσίμου}_{(i)})$$

Όπου,

T: συνολική κατανάλωση καυσίμου για μία διαδρομή

n: αριθμός τμημάτων δρόμου

i: τύπος τμήματος δρόμου

Ακόμα εξετάστηκε η επιπλέον ενίσχυση του μοντέλου με τη χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο τα οποία συλλέχθηκαν μέσω 120 οχημάτων καταγραφής. Η πραγματική χρησιμότητα των οχημάτων καταγραφής εντοπίζεται όταν επιβεβαιώνονται και οι τρεις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Η πιθανότητα να συμβεί κάποιο απρόοπτο συμβάν που επηρεάζει την κυκλοφορία κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού
- Η πιθανότητα αυτό το συμβάν να γίνει αντιληπτό από το όχημα καταγραφής
- Η πιθανότητα ύπαρξης μίας εναλλακτικής διαδρομής με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου

Στην περίπτωση της πόλης του Λαντ παρατηρήθηκε πολύ χαμηλή συχνότητα εμπλοκών στην κυκλοφορία επομένως τα οχήματα καταγραφής δεν προσέφεραν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε ποσοστό της τάξης του 46% των διαδρομών που πραγματοποιούνταν στην πόλη, οι οδηγοί αυθόρμητα επέλεγαν διαδρομές πιο «δαπανηρές» σε σχέση με τη βέλτιστη. Αν οι οδηγοί έκαναν χρήση του συστήματος πλοήγησης της εν λόγω μελέτης, υπολογίστηκε ότι θα εξοικονομούσαν κατά μέσο όρο το 8.2% του συνολικού καυσίμου. Αυτό συνεπάγεται συνολική μείωση καυσίμου κατά 4% ως προς ολόκληρη την πόλη του Λαντ.

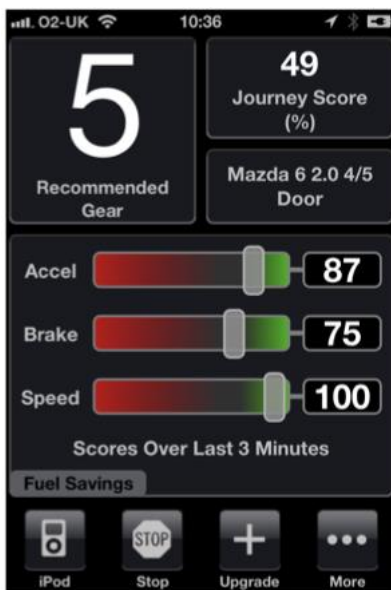
Λόγω της χρονικής στιγμής που πραγματοποιήθηκε η εν λόγω μελέτη τα μέσα που ήταν διαθέσιμα δεν ενίσχυσαν επαρκώς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Πλέον όμως η ύπαρξη των έξυπνων κινητών ανοίγει νέους ορίζοντες στον τομέα της έρευνας.

2.4 Έξυπνα τηλέφωνα και συσκευές υποβοήθησης

Στόχος της έρευνας των *Johannes Tulusan et al.* ήταν να δοθεί μία απάντηση στο ερώτημα του κατά πόσο μία εφαρμογή έξυπνου τηλεφώνου, θα μπορούσε να επηρεάσει την αποδοτικότητα του καυσίμου, με τους χρήστες αυτής να είναι εταιρικοί υπάλληλοι που κινούνται από και προς τον χώρο εργασίας τους.

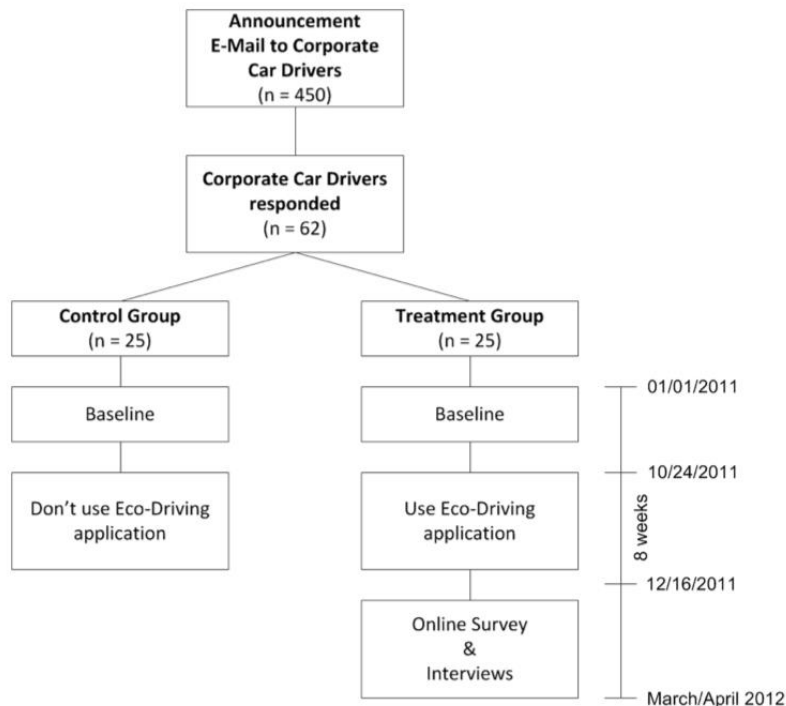
Στη μελέτη αυτή εξετάστηκαν τεχνολογίες που παρέχουν πληροφορίες πάνω στην οδηγική συμπεριφορά και το ενδεχόμενο, αυτές να μπορούν να αποτελέσουν μία καλή προσομοίωση πραγματικών συνθηκών οδήγησης. Αυτό θα βοηθούσε στη δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού μοντέλου πρόβλεψης της κατανάλωσης που ως μελλοντικό στόχο θα είχε τη μείωση του κόστους μεταφοράς και της εκπομπής CO₂ στην ατμόσφαιρα. Προκειμένου το μοντέλο να είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικό και η έρευνα αμερόληπτη, οι συμμετέχοντες δεν είχαν οικονομικά κίνητρα και πιο συγκεκριμένα, το καύσιμο που κατανάλωσαν ήταν πληρωμένο.

Οι συμμετέχοντες στο πείραμα έπρεπε να εγκαταστήσουν στο κινητό τους τηλέφωνο την εφαρμογή DriveGain, η οποία συμβουλεύει τον χρήστη στο θέμα της σωστής εναλλαγής των ταχυτήτων, και αξιολογεί την οδήγηση του. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αξιολόγηση της οδήγησης είναι η ομαλή επιτάχυνση και επιβράδυνση καθώς και η τήρηση του ορίου ταχύτητας. Το περιβάλλον της εφαρμογής της DriveGain Ltd., UK, που χρησιμοποιήθηκε, φαίνεται παρακάτω στην *Εικόνα 2.4*.



Εικόνα 2.4: Περιβάλλον εφαρμογής DriveGain (Πηγή: [35])

Ο χρήστης αξιολογείται σε μία κλίμακα από 0 έως 100 αντιπροσωπεύει την λιγότερο οικολογική οδήγηση και το 100 την ιδανικότερη. Οι τιμές αυτές αλλάζουν ανάλογα με την εξέλιξη της οδήγησης και η ολική αξιολόγηση εμφανίζεται επάνω δεξιά στο πεδίο “Journey Score(%)”. Για μέγιστη αποδοτικότητα η εφαρμογή δείχνει την προτεινόμενη ταχύτητα κιβωτίου κάθε στιγμή (επάνω αριστερά), ανάλογα με την επιτάχυνση/επιβράδυνση και κυριότερα ανάλογα με το μοντέλο του αυτοκινήτου. Ο τρόπος επιλογής των συμμετεχόντων καθώς και η δομή του πειράματος φαίνεται στο *Διάγραμμα 2.5* που ακολουθεί.



Διάγραμμα 2.3: Δομή πειράματος (Πηγή: [35])

Τα αποτελέσματα κατέγραψαν αύξηση κατά 3.23% στην αποδοτικότητα του καυσίμου στους χρήστες που έκαναν χρήση της βοηθητικής εφαρμογής εν συγκρίσει με εκείνους των οποίων τα δεδομένα των διαδρομών απλώς καταγράφονταν ενώ η ομαλή επιτάχυνση έδειξε να έχει μεγαλύτερη επιρροή στην τελική κατανάλωση, από την ομαλή επιβράδυνση και τη μέση ταχύτητα. Τα αποτελέσματα λοιπόν είναι αρκετά ενθαρρυντικά, δεδομένου και του γεγονότος ότι οι οδηγοί δεν είχαν οικονομικά κίνητρα, το οποίο δεν θα ισχύει στις περισσότερες των περιπτώσεων, αφού για τον μέσο οδηγό το καύσιμο που καταναλώνει για τις μετακινήσεις του, αποτελεί προσωπικό έξοδο. Επίσης υπογραμμίζεται και το γεγονός ότι, η μέθοδος που εφαρμόστηκε στο πείραμα, μπορεί να ενταχθεί στη καθημερινότητα των οδηγών χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες και με σχεδόν μηδενικά πρόσθετα έξοδα, καθώς απαιτεί μονάχα την κατοχή ενός έξυπνου κινητού τηλεφώνου και διόλου δεν επηρεάζεται από την παλαιότητα του οχήματος που χρησιμοποιείται.

Επομένως το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι, υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες εξέλιξης στον τομέα των εφαρμογών που προορίζονται για οικολογική οδήγηση και ότι αυτές μπορούν εύκολα να ενταχθούν στην καθημερινότητα των χρηστών, δεδομένα που προκαλούν μεγάλο ενδιαφέρον.

Οι Sanna M. Rempel et al. με την πειραματική τους έρευνα μπήκαν στη διαδικασία να αποδείξουν τη συσχέτιση της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου με διανοητικά μοντέλα οικολογικής οδήγησης. Προκειμένου να υπάρξει μείωση των εκπομπών θα πρέπει να αλλάξει η συμπεριφορά ενός μεγάλου ποσοστού των οδηγών. Η αλλαγή της συμπεριφοράς μπορεί να επιτευχθεί με συστήματα που θα τοποθετούνται εντός του οχήματος και θα προσφέρουν υποδείξεις προς τον οδηγό σε πραγματικό χρόνο σχετικά με παραμέτρους όπως, η πίεση στο πεντάλ του γκαζιού, η σωστή εναλλαγή ταχυτήτων, καθώς και πληροφορίες σχετικές με τα χιλιόμετρα που μπορεί να διανύσει ανά λίτρο καυσίμου. [36]

Ο σκοπός του πειράματος είναι η διερεύνηση του κατά πόσον ένας συμβατικός οδηγός έχει επίγνωση της έννοιας της οικολογικής οδήγησης και το κατά πόσον μπορεί να εφαρμόσει τις γνώσεις του πάνω σε αυτή. Στη μελέτη έγινε χρήση ενός απλού συστήματος εντολών προς τους συμμετέχοντες, με στόχο τον εντοπισμό διαφορών στην συμπεριφορά τους και στις σκέψεις τους, υπό τρία διαφορετικά σενάρια. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε από δεκαέξι οδηγούς να οδηγήσουν:

- με φυσιολογικό τρόπο
- με γνώμονα την ασφάλεια
- με στόχο την οικονομία (ως προς την κατανάλωση καυσίμου)

Οι συμμετέχοντες ενθαρρύνθηκαν να εκφράζουν τις σκέψεις τους, κατά τη διάρκεια του πειράματος και τα λεγόμενα τους κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε συνδυασμό με αυτά που ειπώθηκαν σε συνεντεύξεις που παραχώρησαν, συγκεντρώθηκαν και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση και ανάλυση. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση σε δείκτες επιτάχυνσης και φρεναρίσματος αλλά και σε περιπτώσεις «coasting»⁶ και παθητικής ακολούθησης του προπορευόμενου οχήματος.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι ενώ οι συμμετέχοντες είχαν συναίσθηση της έννοιας της οικολογικής οδήγησης, εν τούτοις δεν έκαναν χρήση των γνώσεων τους όταν κλήθηκαν να οδηγήσουν «με φυσιολογικό τρόπο». Οι οδηγοί επιτάχυναν και επιβράδυναν πιο ομαλά, ενώ οδηγούσαν και σε πιο χαμηλές ταχύτητες όταν κλήθηκαν να οδηγήσουν είτε «με γνώμονα την ασφάλεια» είτε «με στόχο την οικονομία»

⁶ coasting: Συνεχόμενο πάτημα του συμπλέκτη κατά τη διάρκεια στροφών, πάτημα του συμπλέκτη ακόμα και μετά την αλλαγή ταχύτητας, πορεία του αυτοκινήτου με «νεκρά» για οικονομία

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό υπάρχουν δύο οπτικές σχετικά με τα αποτελέσματα. Η μία είναι ενθαρρυντική με την έννοια ότι ο μέσος οδηγός έχει γνώσεις πάνω στην οικολογική οδήγηση και η δεύτερη είναι ανησυχητική από την άποψη ότι ενώ έχει τις γνώσεις δεν συνηθίζει να τις εφαρμόζει στην πράξη, υπό φυσιολογικές συνθήκες. Το πρόβλημα λοιπόν είναι ότι δεν υπάρχει σωστή ενημέρωση σχετικά με τα οφέλη της οικολογικής οδήγησης έτσι ώστε να πεισθεί ο μέσος οδηγός ότι θα πρέπει να την εντάξει στην καθημερινότητα του.

Τέλος, με βάση τα προαναφερθέντα, τονίζεται η σημασία των EDSS⁷ τα οποία αποτελούν συστήματα που θα μπορέσουν να εξαλείψουν τη διστακτικότητα των οδηγών. Αυτό θα επιτευχθεί παραμερίζοντας κάποιες εσφαλμένες αντιλήψεις σε ότι αφορά ενδεχόμενα κόστη ή οφέλη και παράλληλα ενημερώνοντας τους οδηγούς περί αποδοτικών ταχυτήτων και ρεαλιστικών απωλειών χρόνου.

2.5 Παράγοντες επιρροής οικολογικής οδήγησης

Οι Karin Brundell-Freij et al. μελέτησαν την επιρροή των χαρακτηριστικών του δρόμου, του τύπου του οδηγού και την απόδοση του οχήματος στα αστικά πρότυπα οδήγησης. Συγκεκριμένα στην έρευνα τους επισημαίνεται το γεγονός ότι υπάρχει άμεση επιρροή της ταχύτητας της επιτάχυνσης και της επιλογής των ταχυτήτων, στην εκπομπή αερίων και στην κατανάλωση καυσίμου. Στόχος της μελέτης αυτής είναι η καλύτερη κατανόηση των μεταβλητών που επηρεάζουν τα πρότυπα οδήγησης. Κατά τη διάρκεια της έρευνας χρησιμοποιήθηκε μία βάση δεδομένων που περιελάμβανε 14.000 οδηγικά μοτίβα, τα οποία μελετήθηκαν υπό απόλυτα πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες.

Για την υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικού μεγέθους και επιδόσεων αυτοκίνητα, στα οποία ενσωματώθηκαν συσκευές που κατέγραφαν την ταχύτητα και παραμέτρους του κινητήρα, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και τη γεωγραφική θέση σε σχέση με το οδικό δίκτυο, μέσω συσκευών GPS. Η καταγραφή έγινε μεταξύ 45 περίπου οδηγών διαφορετικών ηλικιών και φύλων και τα καταγεγραμμένα οδηγικά μοτίβα αντιπροσωπεύουν 2550 ταξίδια και συνολικά 19.945 χλμ. οδήγησης.

Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί θα παρουσιαστούν οι παράγοντες που απεδείχθη ότι επηρεάζουν σημαντικά την έκλυση αερίων και την κατανάλωση καυσίμου.

⁷ EDSS: Eco-drive support systems

Πίνακας 2.1: Παράγοντες επιρροής εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμου (Πηγή: [37])

	Fuel	CO ₂	HC	NO _x
Παράγοντας επιτάχυνσης που απαιτεί μεγάλη δύναμη				
Τυπική παράμετρος: RPA	++++	++++	+++	++++
Παράγοντας στάσης				
Τυπική παράμετρος: % του χρόνου όπου ταχύτητα < 2 km/h	+++++	+++++		
Παράγοντας αυξομείωσης ταχύτητας. Τυπική παράμετρος: Συχνότητα τοπικών max/min τιμών της καμπύλης ταχύτητας ανά 100 s	++	++		
Παράγοντας επιτάχυνσης που απαιτεί μέτρια δύναμη				
Τυπική παράμετρος: % του χρόνου όπου $v.a$ is 3–6 m²/s³	++	++		
Παράγοντας ακραίας επιτάχυνσης. Τυπική παράμετρος:				
% του χρόνου όπου επιτάχυνση > 1.5 m/s²	++	++	+++++	++++
Παράγοντας για ταχύτητες 50–70 km/h				
Τυπική παράμετρος: % του χρόνου σε ταχύτητες 50–70 km/h	--	--		
Παράγοντας για καθυστερημένη αλλαγή ταχυτήτων από 2 ^η σε 3 ^η . Τυπική παράμετρος: % του χρόνου στροφές κινητήρα: 2500–3500 rpm σε 3^η ταχύτητα	+	+	++	+++
Παράγοντας για ταχύτητα κινητήρα > 3500 rpm. Τυπική παράμετρος:				
% του χρόνου όπου η ταχύτητα > 3500 rpm			++	++
Παράγοντας για μέτρια ταχύτητα κινητήρα σε 2 ^η και 3 ^η ταχύτητα. Τυπική παράμετρος: % του χρόνου στροφές κινητήρα: 1500–2500 rpm σε 2^η ταχύτητα	--	--		--

Σημείωση: Τα σύμβολα συν (+) και πλην (-), συμβολίζουν την τάση και την βαρύτητα του παράγοντα.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, οι παράγοντες επιτάχυνση και χρόνος στάσης είναι μακράν οι πλέον επιδραστικοί σε σχέση με τους υπολοίπους χωρίς όμως να υπάρχει σχέση αλληλεξάρτησης των αιτιών που επηρεάζουν αυτές τις δύο παραμέτρους, καθώς η επιτάχυνση εξαρτάται σε απόλυτο βαθμό από τον οδηγό ενώ ο χρόνος στάσης εξαρτάται ως επί το πλείστον από τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Στην πορεία της μελέτης εξετάστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν: το ποσοστό του χρόνου όπου η ταχύτητα ήταν μικρότερη από 2 km/h, το ποσοστό του χρόνου όπου η επιτάχυνση ήταν μεγαλύτερη από 1.5 m/s², τη συχνότητα έντονης αυξομείωσης της ταχύτητας, το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο είχαμε υψηλές στροφές του κινητήρα με 3^η ταχύτητα και τέλος παράγοντες που επηρεάζουν γενικώς τα μοτίβα οδηγικής συμπεριφοράς.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι την μεγαλύτερη επιρροή στα «σενάρια» που αναφέρθηκαν ανωτέρω έχουν οι μεταβλητές που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της οδού όπως: η ύπαρξη διασταυρώσεων, η πυκνότητα διασταυρώσεων που ελέγχονται από φωτεινούς σηματοδότες, το όριο ταχύτητας, η λειτουργία της οδού και ο τύπος της περιοχής. Διαπιστώθηκε επίσης, ότι η απόδοση του αυτοκινήτου εκφρασμένη σε δείκτη δύναμης στη μάζα ασκεί αρκετά μεγάλη επιρροή. Για τους ηλικιωμένους οδηγούς, η μέση ταχύτητα μειώνεται για όλους τους τύπους δρόμων και ο χρόνος στάσης αυξάνεται συστηματικά στις αρτηρίες.

Τέλος επισημαίνεται, ότι η κατάλληλη κατηγοριοποίηση των οδών θα συντελούσε στη μείωση των εκπομπών ενώ γενικώς ο σχεδιασμός και η καλύτερη οργάνωση της κυκλοφορίας, η απόκτηση οδηγικής παιδείας από τον οδηγό και η βελτίωση του σχεδιασμού των αυτοκινήτων αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες για την προσέγγιση της οικολογικής οδήγησης.

2.6 Αμφισβήτηση αποτελεσματικότητας οικολογικής οδήγησης

Όπως συμβαίνει πολύ συχνά σε ιδέες και απόψεις επιστημονικού περιεχομένου, έτσι και στο δικό μας ζήτημα υπάρχει και η άλλη όψη του νομίσματος. Κάποιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν πρόσφατα αμφισβητούν την αξιοπιστία των σκοπών του Eco-driving και των μελλοντικών του προεκτάσεων (*Alam et al.*). [38]

Πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα σε μία σηματοδοτούμενη διασταύρωση όπου τα οχήματα είχαν ενσωματωμένη δυναμική τεχνολογία Eco Drive. Διαπιστώθηκε ότι θα υπάρχουν οφέλη ενέργειας και εκπομπών σε όλη την κυκλοφορία, ακόμη και σε χαμηλά ποσοστά διείσδυσης στην οδήγηση (5-20%) μεταξύ των οδηγών, εάν η οδήγηση σε συνθήκες οικολογικής οδού ελέγχεται με σήματα κυκλοφορίας (*Xia et al.*, 2011). Ωστόσο, αυτή η έρευνα βασίστηκε στη θεωρία παθητικής ακολούθησης προπορευόμενου οχήματος χωρίς να λαμβάνονται υπόψη πιθανές στροφές στο δίκτυο και έτσι μπορεί να μην αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την οδήγηση υπό ρεαλιστικές συνθήκες. Αντίθετα, μια άλλη ομάδα ερευνητών χρησιμοποίησε μία μικρο-προσομοίωση σε διασταυρώσεις και διαπίστωσε ότι η οικολογική οδήγηση με μέτρια και ομαλή

επιτάχυνση μπορεί να προκαλέσει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις με υψηλότερες συνολικές εκπομπές (Qian and Chung, 2011).[39]-[40]

Ακόμα διάφορες έρευνες υποστήριξαν ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να μειώσει σημαντικά τον κίνδυνο ατυχημάτων, π.χ. 40% μείωση του ποσοστού ατυχημάτων, μείωση του κόστους ατυχημάτων κατά 52% και γενικώς βελτίωση της κυκλοφοριακής ασφάλειας (Haworth and Symmons, 2001, SenterNovem, 2005, Cristea et al.). Ωστόσο, οι αλλαγές στη συμπεριφορά ενός μόνο οικολογικού οδηγού ενδέχεται να προκαλέσουν ασυνήθιστη οδηγική συμπεριφορά στους οδηγούς που τον ακολουθούν στην κυκλοφορία (δηλαδή αυξημένη προσπέραση και ενόχληση), επηρεάζοντας έτσι τόσο την κυκλοφοριακή απόδοση και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις όσο και τους αυξανόμενους κινδύνους ατυχημάτων σε διασταυρώσεις (Ando και Nishihori, 2011). Επομένως, τα αποδεικτικά στοιχεία εδώ θα μπορούσαν να θεωρηθούν σε κάποιο βαθμό αντιφατικά. [40]-[44]

Επιπλέον, η χρήση συσκευών υποβοήθησης οδηγού για τη διευκόλυνση της οικολογικής οδήγησης μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ατυχημάτων προκαλώντας απόσπαση της προσοχής. Ο κίνδυνος μπορεί να αυξηθεί όταν απαιτείται υψηλότερη αυτοσυγκέντρωση, π.χ. σε οδήγηση εντός πόλεως (Liu and Lee, 2006) ή για τους ηλικιωμένους οδηγούς (May et al., 2005). Έχει αναφερθεί ότι τα ηλεκτρονικά βοηθητικά μηνύματα οικολογικής οδήγησης μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τους οδηγούς σε κρίσιμους ελιγμούς και οι συσκευές πλοήγησης μπορούν να δώσουν μεγάλο όγκο πληροφοριών, αυξάνοντας έτσι τους κινδύνους ατυχημάτων (Rouzikhah et al., 2013). Εκτός των προαναφερθέντων παραγόντων, ο κίνδυνος ατυχημάτων επηρεάζεται και από άλλες παραμέτρους όπως ο τύπος των συσκευών, ο τύπος πληροφοριών που διανέμονται στον οδηγό και η θέση των συσκευών στο όχημα. Επομένως, η χρήση συσκευών πλοήγησης για την επιλογή της οικολογικότερης διαδρομής στην αρχή ενός ταξιδιού ενδεχομένως να μην είναι η προτιμότερη από την οπτική της ασφάλειας. [45]-[47]

2.7 Εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου

Δημιουργήθηκε ένα νέο μοντέλο παλινδρόμησης που μπορεί να χρησιμεύσει ως λειτουργία μεταφοράς μεταξύ τεσσάρων παραμέτρων ταξινόμησης που ονομάζονται «ενεργειακοί δείκτες» και της κατανάλωσης καυσίμου συγκεκριμένων οχημάτων με τίτλο Streetsmart. [48] Μέσα από το μοντέλο αυτό φάνηκε ότι η μέση ταχύτητα, που είναι και η συνηθέστερη μεταβλητή που χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί πιθανή κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν είναι αρκετή για να ποσοτικοποιηθεί η επιρροή των κυκλοφοριακών συνθηκών στις καταναλώσεις ενέργειας. Προτιμότερα, χρησιμοποιείται μία μικρογραφία της κυκλοφοριακής κατάστασης, που αποτελεί την λεπτομερή σκιαγράφηση του προφίλ επιτάχυνσης μεμονωμένων οχημάτων, ενός συγκεκριμένου τμήματος οδού. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από OBD-II και συσκευές έξυπνων τηλεφώνων, 600 μιλίων οδήγησης αποδείχτηκε ότι το μοντέλο ήταν ικανό να προβλέψει την κατανάλωση καυσίμου με ακρίβεια μεγαλύτερη του 96%, χρησιμοποιώντας

συντελεστές παλινδρόμησης που λαμβάνονται από ίδιο τύπο οχημάτων και πανομοιότυπο τύπο οδών. Το μέσο σφάλμα πρόβλεψης για όλες τις περιπτώσεις κυμάνθηκε από -2.43% έως 0.06% ενώ το μέγιστο σφάλμα πρόβλεψης ήταν 7.85%.

Συντέθηκε ένα ακόμα μοντέλο εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών, βασισμένο σε δεδομένα στιγμιαίας ταχύτητας και επιταχύνσεως. [49] Για τα μοντέλα ενέργειας και εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που συλλέχθηκαν στο Εθνικό Εργαστήριο του Oak Ridge και περιελάμβαναν μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου και ποσοστού εκπομπών (CO, HC και NOx) για πέντε ελαφρά οχήματα και τρία ελαφρά φορτηγά, συναρτήσει των στιγμιαίων επιπέδων ταχύτητας και επιτάχυνσης του οχήματος. Τα μοντέλα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών βρέθηκαν να είναι πολύ ακριβή, προσεγγίζοντας τα δεδομένα ORNL με συντελεστές προσδιορισμού που κυμαίνονται από 0,92 έως 0,99. Δεδομένου ότι τα μοντέλα χρησιμοποιούν τα στιγμιαία επίπεδα ταχύτητας και επιτάχυνσης του οχήματος ως ανεξάρτητες μεταβλητές, τα μοντέλα αυτά είναι σε θέση να αξιολογούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έργων λειτουργικού επιπέδου όπως τα Intelligent Transportation Systems (ITS). Επιπλέον, αυτά τα μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τις μετρήσεις ταχύτητας του συστήματος Global Positioning System (GPS) για την αξιολόγηση ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων έργων επιχειρησιακού επιπέδου στο πεδίο.

2.8 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας

Η ανάλυση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του οχήματος ή των τύπων οδηγικής συμπεριφοράς σε σχέση με την εκπομπή CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου γενικώς επικεντρώνεται στο όχημα, στον οδηγό ή στο κυκλοφοριακό περιβάλλον. Συχνά έχει στόχο την βελτίωση του ελέγχου του οχήματος ή τη χρησιμοποίηση της γνώσης των οδηγικών συμπεριφορών για τη βελτίωση του κινητήρα και του συστήματος ελέγχου εκπομπών με απώτερο σκοπό την καλύτερευση της περιβαλλοντικής επίδοσης του οχήματος. Παρατηρήθηκε ότι αρκετές μελέτες εστιάζουν στον οδηγό και στην πιθανότητα επιρροής της οδηγικής του συμπεριφοράς, με στόχο την προσέγγιση της οικολογικής οδήγησης, δίνοντας βαρύτητα στην ιδιαίτερως αρνητική επίδραση της επιθετικής οδήγησης. Ακόμα, μελέτες κυκλοφοριακών ροών προσπαθούν να αναλύσουν την επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου και του σχεδιασμού των δρόμων στα μοτίβα οδηγικής συμπεριφοράς. Σημαντικά ζητήματα αποτελούν το κατά πόσο τα ποικίλα χαρακτηριστικά των δρόμων, όπως οι τύποι των διασταυρώσεων, οι τύποι του δρόμου και τα μέτρα για τη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων.

Επιπλέον, αξίζει να τονισθεί η καταλυτική σημασία των smartphone στην διεξαγωγή μελλοντικών ερευνών και πειραμάτων, σχετικών με το ζήτημα της οικολογικής οδήγησης. Με τη πάροδο των χρόνων, και τη βελτίωση των δυνατοτήτων τους πρόκειται να αποτελέσουν θεμέλιο λίθο για τις πλείστες των νέων ερευνών που θα πραγματοποιούνται. Τα βασικά πλεονεκτήματα των smartphone έναντι άλλων συσκευών καταγραφής δεδομένων, είναι ότι οι περισσότεροι

άνθρωποι στις ανεπτυγμένες κοινωνίες διαθέτουν ένα έξυπνο τηλέφωνο στην κατοχή τους, με αποτέλεσμα να μπορούν δυνητικά να προσφέρουν δεδομένα προς εκμετάλλευση, η ευκολία στη χρήση του αλλά και η ιδιαιτέρως ικανοποιητική ακρίβεια των μετρήσεων σε σύγκριση με το χαμηλό τους κόστος. Παρ'όλα αυτά, διατυπώθηκε και η αντίθετη άποψη, που εμφανίζει τη χρήση smartphone κατά την οδήγηση, ως πιθανή αιτία πρόκλησης ατυχημάτων.

Παρά το γεγονός ότι, από τη συντριπτική πλειοψηφία των ερευνών που διεξήχθησαν, προκύπτει η ανάγκη για ανάδειξη της οικολογικής οδήγησης, δεν έχει ακόμα πραγματοποιηθεί κάποιου είδους ποσοτικοποίησης της (και δη με χρήση smartphone), η οποία θα αποτελεί μία μορφή αξιολόγησης της οδηγικής συμπεριφοράς του χρήστη. Το γεγονός αυτό, αποτέλεσε το βασικό κίνητρο για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κατά την οποία θα εξετασθεί λεπτομερώς η δυνατότητα κάλυψης του εν λόγω «κενού».

3. Μεθοδολογική Προσέγγιση

Εισαγωγή

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η προσπάθεια ποσοτικοποίησης της οικολογικής οδήγησης, πιο συγκεκριμένα η έκφραση της μέσω ενός δείκτη eDrive και η εξέταση της συσχέτισης αυτού του δείκτη με την μέση κατανάλωση του οχήματος. Θα γίνει ακόμα διερεύνηση της συσχέτισης της κατανάλωσης καυσίμου και με άλλα μεγέθη πέρα από τον δείκτη οικολογικής οδήγησης. Η μελέτη αυτή έχει ως απώτερο σκοπό την απόδειξη της ύπαρξης ικανοποιητικής συσχέτισης μεταξύ του δείκτη eDrive και της μέσης κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό φυσικά συνεπάγεται ότι ο οδηγός είναι σε θέση, να επηρεάσει ως ένα σημείο με την οδήγηση του την μέση κατανάλωση και άρα τα έξοδα του σε καύσιμα, καθώς και την εκπομπή CO₂. Για την επαλήθευση της υπόθεσης αυτής, χρειάστηκε ένα ευδιάκριτα δομημένο πλάνο και μία αλληλουχία ενεργειών, που θα αποκωδικοποιούσε το πρόβλημα και θα έδινε έμφαση στις πιθανές επιπλοκές και στην αντιμετώπιση τους. Οι επιπλοκές αυτές και οι τρόποι παράκαμψης τους θα αναλυθούν λεπτομερώς στην πορεία της εργασίας αυτής, προκειμένου ο αναγνώστης να αποκτήσει σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα σε ότι αφορά στη δυσκολία της ανάλυσης και των εμποδίων που παρουσιάστηκαν κατά την εξέλιξη της. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η πορεία που ακολουθήθηκε από τον μελετητή για την σταδιακή συλλογή των δεδομένων καθώς και για την εύρεση των μεγεθών που κρίθηκαν αναγκαία για τον προσδιορισμό του δείκτη ενώ παράλληλα θα παρατεθεί εκτεταμένη ανάλυση του κάθε βήματος.

1. Εγκατάσταση εφαρμογής OSeven στο smartphone του χρήστη
2. Πραγματοποίηση ταξιδιών από τον χρήστη
3. Χειροκίνητη καταγραφή δεδομένων μέσης κατανάλωσης ανά ταξίδι
4. Συλλογή data ταξιδιών από OSeven
5. Δημιουργία αρχείου excel με συγκεντρωτικά στοιχεία ταξιδιών
6. Υπολογισμός δείκτη eDrive ανά ταξίδι
7. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων
8. Τελική αξιολόγηση μοντέλου

3.1 Εφαρμογή έξυπνου τηλεφώνου

Προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία της καταγραφής των δεδομένων η πρώτη υποχρέωση του χρήστη ήταν η εγκατάσταση της εφαρμογής της OSeven στο κινητό του τηλέφωνο και η δημιουργία νέου προφίλ οδηγού. Έτσι ο χρήστης έχοντας στην κατοχή του το προσωπικό του έξυπνο τηλέφωνο, διαθέτει κατά τη διάρκεια των διαδρομών του μία «μηχανή»

καταγραφής της οδηγικής του συμπεριφοράς. Επιπλέον, η εφαρμογή διαθέτει ένα σύστημα αξιολόγησης του οδηγού και παρουσιάζει μία βαθμολογία του με άριστα το 100, η οποία αναλύεται σε τέσσερις υποκατηγορίες. Οι υποκατηγορίες αυτές είναι κατά σειρά: Υπέρβαση ταχύτητας, Χρήση κινητού, Φρενάρισμα, Επιτάχυνση. Η βαθμολογία του χρήστη σε κάθε μία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες δίνει τη συνολική μίας διαδρομής. Η μέση βαθμολογία του χρήστη η οποία και εμφανίζεται στην καρτέλα του προφίλ του, υπολογίζεται με τον μέσο όρο των αξιολογήσεων του στο σύνολο των διαδρομών που έχει πραγματοποιήσει. Θα πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι η εφαρμογή δεν απαιτεί χειροκίνητη ενεργοποίηση, διότι διαθέτει αυτοματοποιημένο σύστημα που αναγνωρίζει την απομάκρυνση του κινητού από το σημείο εκκίνησης για περισσότερα από διακόσια μέτρα, όταν αυτή υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο ταχύτητας (περίπου 16 χλμ./ώρα) οπότε και ξεκινάει την καταγραφή. Η δυνατότητα αυτή διευκόλυνε αρκετά τον χρήστη, ο οποίος δεν αναγκαζόταν να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί την εφαρμογή πριν και μετά από κάθε ταξίδι αντίστοιχα. Η εφαρμογή σταματάει την καταγραφή των δεδομένων πέντε λεπτά περίπου μετά την διακοπή οδήγησης από τον χρήστη, αναγνωρίζει την κίνηση πεζή και κατά συνέπεια το τέλος του ταξιδιού και το ταξίδι φορτώνεται μαζί με την βαθμολογία που συγκέντρωσε ο οδηγός.

3.2 Ταξίδια-Συλλογή δεδομένων

Ορισμός

Ο όρος ταξίδι αντιπροσωπεύει μία διαδρομή που έχει πραγματοποιήσει ο χρήστης με το αυτοκίνητο του ως οδηγός και κατά την οποία διανύθηκε απόσταση μεγαλύτερη των τριών χιλιομέτρων. Προκειμένου, η διαδικασία της καταγραφής των ταξιδιών να θεωρηθεί έγκυρη, ο χρήστης μηδενίζει τον μετρητή της κατανάλωσης στην αρχή κάθε διαδρομής και αν στο τέλος της διαδρομής η απόσταση που έχει διανυθεί είναι επαρκής ο χρήστης καταγράφει την μέτρηση που προβάλλεται στο καντράν του αυτοκινήτου, μηδενίζει πάλι τον μετρητή και επαναλαμβάνει τη διαδικασία για τα υπόλοιπα ταξίδια. Στην περίπτωση που ο χρήστης για τον οποιοδήποτε λόγο παρέλειψε να σημειώσει τη μέτρηση ή δεν έκανε τον απαραίτητο μηδενισμό πριν ξεκινήσει τη διαδρομή η εν λόγω διαδρομή θεωρήθηκε άκυρη και δε λήφθηκε υπόψιν στο επόμενο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί, ότι για λόγους ομοιομορφίας της ανάλυσης, διαδρομές με το ίδιο όχημα αλλά με διαφορετικό οδηγό ή διαδρομές με τον χρήστη ως οδηγό σε διαφορετικό όμως όχημα, θεωρήθηκαν επίσης άκυρες και δεν συμπεριλήφθηκαν στο επόμενο στάδιο της ανάλυσης. Κατά τη διάρκεια της μελέτης συλλέχθηκαν δεδομένα ταξιδιών από δύο χρήστες και έγινε η επεξεργασία τους η οποία οδήγησε σε συμπεράσματα που αφορούσαν στο σύνολο των δεδομένων.

Χαρακτηριστικά οχήματος

Κατά την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά οχήματα, ένα από τον κάθε χρήστη.

Χρήστης 1

Τα χαρακτηριστικά του οχήματος του χρήστη 1 φαίνονται στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί:

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά οχήματος χρήστη 1

Μάρκα / Μοντέλο	Volkswagen / Golf	
Χρονολογία	2010	
Κυβισμός / Ιπποδύναμη	1390 κ. εκ. / 122 ίπποι	
Καύσιμο	Βενζίνη	
Κατανάλωση καυσίμου σε	Αστικό κύκλο	8,2 (L/100km)
	Υπεραστικό κύκλο	5,1 (L/100km)
	Συνδυασμένο κύκλο	6,2 (L/100km)

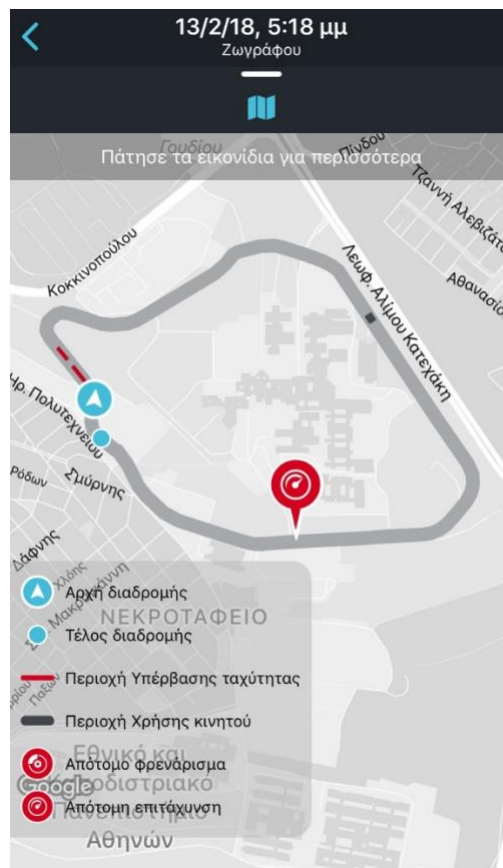
Χρήστης 2

Τα χαρακτηριστικά του οχήματος του χρήστη 2 φαίνονται στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί:

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά οχήματος χρήστη 2

Μάρκα / Μοντέλο	Renault / Clio	
Χρονολογία	2016	
Κυβισμός / Ιπποδύναμη	898 κ. εκ. / 90 ίπποι	
Καύσιμο	Βενζίνη	
Κατανάλωση καυσίμου σε	Αστικό κύκλο	5,7 (L/100km)
	Υπεραστικό κύκλο	4,1 (L/100km)
	Συνδυασμένο κύκλο	4,7 (L/100km)

Το πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκε από τον Χρήστη 2 και αφορούσε στην επανάληψη για σύνολο είκοσι φορών, μίας συγκεκριμένης κλειστής διαδρομής, με την αφομοίωση διαφορετικών προφίλ οδηγικής συμπεριφοράς σε κάθε επανάληψη. Κατά αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να εκμηδενιστεί η επιρροή της κλίσης στη σύγκριση των διαδρομών μεταξύ τους, καθώς η κλίση παραμένει ενιαία για όλες. Η διαδρομή κατά μήκος της οποίας έλαβε χώρα το πείραμα ήταν εκείνη της Πολυτεχνειούπολης (Εικόνα 3.1) που βρίσκεται στο δήμο Ζωγράφου.



Εικόνα 3.1: Διαδρομή ελεγχόμενου πειράματος μέσα από την εφαρμογή Oseven

Η εν λόγω διαδρομή επιλέχθηκε με κριτήρια τα οποία αφορούν, τον σχετικά αμετάβλητο και χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο και την οδηγική ασφάλεια. Αναλυτικότερα, κάθε μέτρηση περιελάμβανε την πραγματοποίηση της κυκλικής αυτής διαδρομής δύο φορές, προκειμένου το συνολικό διανυόμενο μήκος να ξεπερνάει το όριο των πέντε χιλιομέτρων (ο κύκλος είναι τρία χιλιόμετρα) και ο συνολικός χρόνος ταξιδιού να υπερβαίνει τα δέκα λεπτά. Τα κατώτατα αυτά όρια τέθηκαν με στόχο οι μετρήσεις να οδηγήσουν σε ασφαλέστερα συμπεράσματα κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, καθότι όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό σε σύντομες διαδρομές δεν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί εύκολα η επιρροή της οδήγησης του χρήστη στην μέση κατανάλωση.

Όπως αναφέρθηκε επιδιώχθηκε η οδήγηση με ποικίλα προφίλ οδηγικής συμπεριφοράς από τον χρήστη. Για παράδειγμα, έγινε η προσπάθεια προσέγγισης της «τέλειας», από οικολογικής άποψης οδήγησης (που οδηγεί σε $eDrive = 1$), η οποία σχετίζεται με την τήρηση του ορίου ταχύτητας (40 χλμ. /ώρα στη συγκεκριμένη διαδρομή) καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής καθώς και της ομαλής επιτάχυνσης, με σκοπό την διατήρησή της χαμηλότερα του «οικολογικού» ορίου (οικολογικό όριο επιτάχυνσης: $a = 1.09 \text{ m/s}^2$). Επίσης, έγινε προσπάθεια απόδοσης χαμηλότερων τιμών του δείκτη $eDrive$, υιοθετώντας σκοπίμως πιο επιθετική συμπεριφορά κατά την οδήγηση, η οποία οδήγησε σε υπέρβαση του ορίου ταχύτητας, καθώς και υπέρβαση του ορίου επιτάχυνσης, σε όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία της διαδρομής. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι ως επί το πλείστον τα πειράματα διεξήχθησαν, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες και σύμφωνα με την οδική συμπεριφορά του οδηγού στην καθημερινότητα του, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται σε ρεαλιστικές καταστάσεις.

Πείραμα II - Διευρυμένο

Στη συνέχεια, έγινε η απόπειρα γενίκευσης του πειράματος σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και συγκεκριμένα σε περιπτώσεις καθημερινής μετακίνησης των δύο χρηστών, χωρίς την προσπάθεια αφομοίωσης κάποιου συγκεκριμένου οδηγικού προφίλ (αντίθετα με το προηγούμενο πείραμα). Το πείραμα αυτό, είχε στόχο την διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του δείκτη $eDrive$ και της κατανάλωσης καυσίμου με σκοπό να εξετασθεί το κατά πόσο ο $eDrive$ μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές μέσο εκτίμησης της κατανάλωσης για οποιαδήποτε διαδρομή και κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες.

Όπως ήταν αναμενόμενο τα αποτελέσματα δεν ήταν σε καμία περίπτωση τα επιθυμητά και ο λόγος σχετίζεται με την διαφοροποίηση της κλίσης, η οποία όπως αποδείχθη έπαιξε πολύ καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η επιρροή της γεωμετρίας της οδού, επισημαίνεται ότι σε περίπτωση όπου έχουμε δύο διαδρομές με όμοια διάρκεια και απόσταση, κατά τις οποίες χρησιμοποιείται το ίδιο όχημα και επίσης συναντώνται ίσες τιμές του δείκτη $eDrive$ (λόγω ίδιας συχνότητας και διάρκειας φαινομένων υπέρβασης ορίου ταχύτητας και οικολογικού ορίου επιτάχυνσης αλλά και διάρκειας στάσεων), λογικά θα έπρεπε να αναμένονται και ίδιες τιμές κατανάλωσης καυσίμου. Κάτι τέτοιο, όμως φυσικά δεν ισχύει στην περίπτωση όπου στη μία διαδρομή εμφανίζονται έντονες κλίσεις και στην άλλη όχι, αντιθέτως η κατανάλωση καυσίμου στην περίπτωση των έντονων κλίσεων αναμένεται, συγκριτικά, πολύ μεγαλύτερη. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη συλλογής υψομετρικών δεδομένων για τον υπολογισμό των κλίσεων κατά μήκος της εκάστοτε διαδρομής και εν συνεχεία η προσαρμογή του δείκτη $eDrive$ με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξηθεί η συσχέτιση του, με την κατανάλωση καυσίμου. Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η εν λόγω προσαρμογή θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα (**6. 2 Επαναπροσδιορισμός δείκτη $eDrive$**).

3.3 Βάση δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση των ταξιδιών από τον χρήστη έπρεπε να συλλεχθούν τα δεδομένα που καταγράφονταν μέσω του κινητού τα οποία είναι συγκεντρωμένα στη βάση δεδομένων της Oseven. Με την συγκέντρωση των δεδομένων αυτών υπήρχαν πλέον διαθέσιμες αναλυτικές πληροφορίες για το κάθε ταξίδι, και στοιχεία συμπεριφοράς του χρήστη σε καθένα από αυτά που σκιαγραφούν και το οδηγικό του προφίλ. Μερικές από αυτές τις πληροφορίες, που αφορούν και άμεσα την μελέτη μας είναι οι ακόλουθες:

- `driving_duration` (διάρκεια οδήγησης χωρίς στάσεις)
- `acceleration_from_stops_duration` (συνολική διάρκεια επιταχύνσεων από στάση)
- `sum_speeding` (συνολική διάρκεια υπέρβασης ορίου ταχύτητας)
- `time_duration_stops` (συνολική διάρκεια στάσεων)
- `non_eco_accel` (συνολική διάρκεια επιτάχυνσης μεγαλύτερης από 1.09 m/s²)

Παρατηρήσεις

Λόγω της καταγραφής των δεδομένων μέσω κινητού δεν είναι εφικτό να ληφθούν υπόψιν κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την κατανάλωση καυσίμου του αυτοκινήτου. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν κυρίως πληροφορίες για την κατάσταση του οχήματος, δηλαδή το κατά πόσον ο κάτοχος του οχήματος φροντίζει να ελέγχει ανά τακτά χρονικά διαστήματα την πίεση των ελαστικών, τη στάθμη λαδιού του κινητήρα αλλά και κατά πόσον είναι συνεπής ως προς τα απαιτούμενα `service` του αυτοκινήτου του. Εκτός από την κατάσταση του οχήματος όμως ιδιαίτερη σημασία έχει και η σταθερότητα της οδηγικής συμπεριφοράς. Εάν για παράδειγμα ο ίδιος χρήστης σε δύο πανομοιότυπα ταξίδια διατηρεί στο μεν ένα υψηλές στροφές και στο άλλο χαμηλές με όμοιες ταχύτητες τότε γίνεται αντιληπτό ότι δυσχεραίνεται η αξιοπιστία του μοντέλου και αλλοιώνεται η ακρίβεια.

3.4 Συλλογή δεδομένων διαδρομών

Για τη συλλογή των δεδομένων των διαδρομών, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή της Oseven Telematics όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα (**3.1 Εφαρμογή έξυπνου τηλεφώνου**). Ο οδηγός μέσω του έξυπνου τηλεφώνου του, χρησιμοποιώντας την εν λόγω εφαρμογή, έχει ενεργοποιήσει την καταγραφή των χαρακτηριστικών που περιγράφουν την κάθε διαδρομή. Τα δεδομένα αυτά «αποστέλλονται» στην εταιρία της Oseven Telematics και αποθηκεύονται στις βάσεις δεδομένων της εταιρίας. Στη συνέχεια ο ερευνητής λαμβάνει τα δεδομένα αυτά από την εταιρία και σε συνδυασμό με τα στοιχεία κατανάλωσης από την χειροκίνητη καταγραφή που έχει πραγματοποιηθεί σε προηγούμενο στάδιο, έχει στη διάθεση του όλα τα απαραίτητα «εργαλεία» για να προχωρήσει στη διαδικασία της ανάλυσης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται έχουν τη μορφή υπολογιστικών φύλλων `excel`, όπου κάθε υπολογιστικό φύλλο αφορά σε μία ξεχωριστή διαδρομή και περιέχει αναλυτικές πληροφορίες και στοιχεία αυτής.

3.5 Συγκεντρωτικά στοιχεία ταξιδιών

Μετά τη συλλογή των δεδομένων, σειρά είχε η οργάνωση τους. Από το κάθε υπολογιστικό φύλλο - διαδρομή εξήχθησαν κάποιες πληροφορίες που σχετίζονταν με την διαδρομή, μερικές από τις οποίες αναφέρθηκαν στην ενότητα **3.3 Βάση δεδομένων**. Στο νέο υπολογιστικό φύλλο που δημιουργήθηκε, κάθε γραμμή αφορούσε σε ξεχωριστή διαδρομή των δύο χρηστών και περιείχε χρήσιμες πληροφορίες, όπως η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η αντίστοιχη διαδρομή, η αφετηρία και ο προορισμός, οι οποίες κατά κύριο λόγο βοηθούσαν στην καλύτερη εποπτεία των υπόλοιπων δεδομένων, προκειμένου δηλαδή να εντοπιστεί ευκολότερα κάποιο πιθανό λάθος αντιστοίχισης των τιμών των μεταβλητών, που μετέπειτα χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση. Κάποιες επιπρόσθετες μεταβλητές που μετέπειτα χρησιμοποιήθηκαν και περιέχονται στο εν λόγω αρχείο είναι οι παρακάτω:

- driving_duration_highway (χρονική διάρκεια οδήγησης σε εθνική οδό σε δευτερόλεπτα)
- driving_duration_urban (χρονική διάρκεια οδήγησης σε αστικό δρόμο σε δευτερόλεπτα)
- driving_duration_rural (χρονική διάρκεια οδήγησης σε επαρχιακό δρόμο σε δευτερόλεπτα)
- duration_code (κατάταξη διαδρομών σε κατηγορίες ανάλογα με τη διάρκεια σε δευτερόλεπτα)
- driver (διαχωρισμός δεδομένων ανά οδηγό-χρήστη)

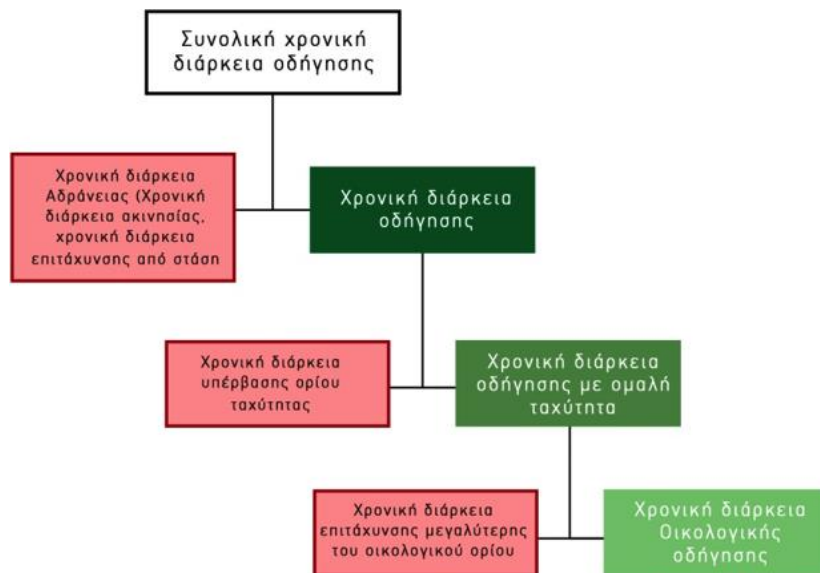
3.6 Υπολογισμός δείκτη eDrive ανά ταξίδι

3. 6. 1 Κλασσική μέθοδος υπολογισμού

Η αποκλειστική χρήση δεδομένων που προέρχονται από μετρήσεις μέσω κινητών τηλεφώνων δεν καθιστά δυνατή την ακριβή ποσοτικοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου η οποία θα απαιτούσε πρόσβαση σε δεδομένα πραγματικού χρόνου καταγεγραμμένα στον εγκέφαλο του οχήματος. Επομένως, για την προσέγγιση του οικολογικού αποτυπώματος (eco footprint) του εκάστοτε οχήματος εισάγεται ένας νέος δείκτης eDrive ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της συνολικής διάρκειας της διαδρομής κατά το οποίο το όχημα κινήθηκε σύμφωνα με το οικολογικό πρότυπο το οποίο ορίζεται στη συνέχεια.

$$eDrive = \frac{\text{Χρονική διάρκεια Οικολογικής Οδήγησης}}{\text{Συνολική Χρονική διάρκεια διαδρομής}}$$

Η διερεύνηση είναι εστιασμένη στην οδηγική συμπεριφορά και στο πως ορισμένες παράμετροί της επηρεάζουν το οικολογικό αποτύπωμα. Στο *Διάγραμμα 3.1* περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό της χρονικής διάρκειας Οικολογικής Οδήγησης.



Διάγραμμα 3.1: Μεθοδολογία υπολογισμού δείκτη eDrive

Σύμφωνα και με το Διάγραμμα η Χρονική διάρκεια Οικολογικής οδήγησης προκύπτει από την αφαίρεση ορισμένων χρονικών διαστημάτων από τη Συνολική διάρκεια οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα αφαιρούνται σταδιακά:

1. Η συνολική χρονική διάρκεια αδράνειας που ορίζεται ως το άθροισμα του χρόνου ακινησίας και του χρόνου επιτάχυνσης από στάση. Στην πρώτη από τις παραπάνω διάρκειες καταναλώνεται ενέργεια χωρίς να υπάρχει κίνηση (π.χ. χρόνος παραμονής σε σηματοδότη), ενώ στη δεύτερη απαιτείται μεγάλο ποσό ενέργειας για την εκκίνηση του οχήματος μέχρις ότου επιτευχθεί μια σταθερή ταχύτητα κίνησης.
2. Η χρονική διάρκεια υπέρβασης ορίου ταχύτητας, η οποία υπολογίζεται ως το άθροισμα των χρονικών στιγμών που το κινητό κινείται πάνω από το όριο ταχύτητας όπως αυτό ορίζεται στον εκάστοτε τύπο οδού κίνησης.
3. Η χρονική διάρκεια κατά την οποία η επιτάχυνση του Ι.Χ. είναι μεγαλύτερη από κάποιο οικολογικό όριο. Σε αυτό το στάδιο ως όριο οικολογικής επιτάχυνσης επιλέχθηκε η τιμή 1.09 m/s^2 η οποία έχει προκύψει από έρευνες προηγούμενων διπλωματικών εργασιών πάνω στο εν λόγω θέμα. Για τον προσδιορισμό αυτής της χρονικής διάρκειας υπολογίστηκαν οι στιγμιαίες επιταχύνσεις του κινητού ως η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών ταχύτητας οι οποίες καταγράφονται ανά δευτερόλεπτο από την εφαρμογή, και αθροίστηκε το πλήθος των χρονικών στιγμών των υπερβάσεων.

Τελικά, υπολογίζεται ο δείκτης eDrive ως το πηλίκο της χρονικής διάρκειας οικολογικής οδήγησης προς τον συνολικό χρόνο οδήγησης. Ο παραπάνω δείκτης ουσιαστικά ποσοτικοποιεί την απώλεια οικολογικής οδήγησης λόγω της οδηγικής συμπεριφοράς του χρήστη και των συνθηκών κυκλοφορίας. Η μέγιστη τιμή την οποίαν μπορεί να λάβει ο δείκτης είναι η τιμή 1 και αντιπροσωπεύει την βέλτιστη προσέγγιση της οδηγικής διαδικασίας από οικολογικής σκοπιάς

και η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει είναι το 0, το οποίο αντιπροσωπεύει τη χειρίστη προσέγγιση της οδηγικής διαδικασίας σε ότι αφορά στο οικολογικό αποτύπωμα. Για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας έγινε επεξεργασία των στοιχείων των ταξιδιών δύο χρηστών, με διαφορετικά χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς και για την διεξαγωγή των συμπερασμάτων συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεικτών eDrive.

3. 6. 2 Επαναπροσδιορισμός δείκτη eDrive

Με την ύπαρξη των υψομετρικών δεδομένων θα μπορούσε πλέον να ληφθεί υπόψιν ο παράγοντας κλίση. Δημιουργήθηκε στη συνέχεια ένας αλγόριθμος οποίος υπολόγιζε την κλίση (**Gradient**) κάνοντας χρήση του γνωστού τύπου που παρατίθεται παρακάτω.

$$\text{Gradient}[i] = \frac{\text{Elevation}[i] - \text{Elevation}[i - 1]}{\text{Spotdistance}[i - 1]}$$

Όπου,

Elevation[i]: υψόμετρο στη θέση i

Ως Spotdistance ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων και υπολογίστηκε με τον τύπο που ακολουθεί με τη βοήθεια των συντεταγμένων.

$$\text{Spotdistance}[i] = \sqrt{(\text{Latitude}[i + 1] - \text{Latitude}[i])^2 + (\text{Longitude}[i + 1] - \text{Longitude}[i])^2}$$

Έτσι έχοντας πλέον την κλίση μπορεί να ορισθεί ο νέος δείκτης eDrive_{new} με δεδομένο ότι έπειτα από δοκιμές το όριο «οικολογικής κλίσης» τέθηκε ως 3%. Αυτό σημαίνει ότι για τα δευτερόλεπτα που διανύθηκαν σε κλίση μεγαλύτερη του 3% δημιουργήθηκε ένας μετρητής K ο οποίος θα άθροιζε τα συνολικά αυτά δευτερόλεπτα και θα υπολόγιζε τον δείκτη eDrive με τον απλό τύπο που φαίνεται παρακάτω.

$$\text{eDrive}_{\text{new}} = \frac{\text{eDrive} - K}{\text{total_driving_duration}}$$

Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί το κατά πόσο η νέα προσέγγιση που πραγματοποιήθηκε βελτιώνει το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που θα δημιουργηθεί για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου.

3.7 Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης

Ορισμός

Η Γραμμική Παλινδρόμηση αποτελεί μία στατιστική μέθοδο η οποία αποσκοπεί στον προσδιορισμό ενός μαθηματικού μοντέλου για την περιγραφή, ερμηνεία και πρόβλεψη των τιμών ενός χαρακτηριστικού (μεταβλητής), σε σχέση με τις τιμές ενός πλήθους άλλων χαρακτηριστικών (μεταβλητών).

3.7.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Σκοπός είναι να προσδιοριστεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο να περιγράφει τη μέση κατανάλωση καυσίμου (*average fuel consumption*) σε σχέση με τον δείκτη οικολογικής οδήγησης (*eDrive*). Το ζήτημα αυτό βασίζεται στην λογική υπόθεση ότι η μέση κατανάλωση καυσίμου μπορεί να «εξαρτάται» από το τον δείκτη οικολογικής οδήγησης. Έτσι γίνεται η θεώρηση ότι οι δύο αυτές μεταβλητές συσχετίζονται γραμμικά μεταξύ τους, επομένως το μαθηματικό μοντέλο το οποίο μπορεί να επιλεγεί και να προσδιοριστεί στα διαθέσιμα δεδομένα, περιγράφεται με τη σχέση που ακολουθεί.

$$Y = \alpha + \beta X$$

όπου,

Y: εξαρτημένη μεταβλητή (μέση κατανάλωση καυσίμου)

X: ανεξάρτητη μεταβλητή (*eDrive*)

και α , β πραγματικοί αριθμοί

Τα α και β υπολογίζονται ως εξής:

$$\beta = r \left(\frac{S_y}{S_x} \right)$$

όπου:

- r είναι ο συντελεστής συσχέτισης και είναι ίσος με: $r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{(n-1)S_xS_y}$
- S_y είναι η τυπική απόκλιση της εξαρτημένης μεταβλητής y
- S_x είναι η τυπική απόκλιση της ανεξάρτητης μεταβλητής x
- n είναι το μέγεθος του δείγματος

$$\alpha = \bar{y} - \beta \bar{x}$$

όπου :

- $\bar{y}$ είναι η μέση τιμή των Y
- $\bar{x}$ είναι η μέση τιμή των X

3.7.2 Πολλαπλή Παλινδρόμηση

Σε αυτή την περίπτωση σκοπός είναι να προσδιοριστεί ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο να περιγράφει να περιγράφει τη μέση κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με περισσότερες από μία μεταβλητές, όπως για παράδειγμα από τον δείκτη οικολογικής οδήγησης και από μία μεταβλητή που θα κατατάσσει τις διαφορετικές διαδρομές σε κλάσεις, ανάλογα με τη χρονική τους διάρκεια. Το ζήτημα αυτό βασίζεται στην λογική υπόθεση ότι η μέση κατανάλωση καυσίμου μπορεί να «εξαρτάται» από τον δείκτη οικολογικής οδήγησης και παράλληλα από την χρονική διάρκεια της διαδρομής. Η εξίσωση της ευθείας επεκτείνεται στο επίπεδο για δύο ανεξάρτητες μεταβλητές και στο υπερεπίπεδο για περισσότερες από δύο ανεξάρτητες μεταβλητές. Το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει μία σχέση αυτής της μορφής είναι το ακόλουθο.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

όπου,

Y : εξαρτημένη μεταβλητή (μέση κατανάλωση καυσίμου)

X_1 : ανεξάρτητη μεταβλητή (eDrive)

X_2 : ανεξάρτητη μεταβλητή (κλάση διαδρομής με βάση τη διάρκεια)

και α, β_1, β_2 πραγματικοί αριθμοί

3.7.3 Αξιολόγηση Μοντέλων Παλινδρόμησης

Τυπικό σφάλμα της εκτίμησης

Ένα μέτρο της διασποράς των παρατηρήσεων y γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης για τυχαίες τιμές της μεταβλητής x . Όσο μικρότερο είναι το τυπικό σφάλμα τόσο πιο κοντά βρίσκονται οι τιμές y στην ευθεία παλινδρόμησης και επομένως τόσο μικρότερο είναι και το σφάλμα του μοντέλου κατά την εκτίμηση της μεταβλητής y . Το τυπικό σφάλμα υπολογίζεται ως εξής:

$$S_{y \cdot x} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 2}}$$

Ο συντελεστής προσαρμογής R^2

Ο συντελεστής R^2 χρησιμοποιείται ως μέτρο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο μοντέλο που έχει προκύψει από την ανάλυση παλινδρόμησης. Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 και εκφράζει το ποσοστό της διασποράς της εξαρτημένης μεταβλητής y που μπορεί να ερμηνευθεί από την διασπορά της μεταβλητής x . Αν και γενικά ο συντελεστής R^2 χρησιμοποιείται συγκριτικά, εντούτοις μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προσοχή και ως αυτούσιο κριτήριο, με ιδανικές τις τιμές κοντά στο 1. Ο συντελεστής προσαρμογής R^2 υπολογίζεται ως εξής:

$$R^2 = \frac{SSR}{SS \text{ Total}} = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}$$

3.8 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Η Στατιστική ανάλυση αποτελεί το τελικό στάδιο και εξαρτάται σε απόλυτο βαθμό από τα μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης που θα δημιουργηθούν σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην Ενότητα 3.7, επομένως θα εξηγηθεί λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων, και αναλυτικά η σταδιακή προσέγγιση του δείκτη eDrive. Θα γίνει λεπτομερής επεξήγηση των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν τα οποία χωρίζονται σε γενικευμένο και ελεγχόμενο και εν συνεχεία θα αξιολογηθούν και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα τους. Επίσης θα πραγματοποιηθούν στατιστικοί έλεγχοι προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα της προσέγγισης περί εξάρτησης της μέσης κατανάλωσης καυσίμου από τον δείκτη οικολογικής οδήγησης eDrive.

4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού eDrive

Πρώτο βήμα πριν την εισαγωγή των δεδομένων στον αλγόριθμο προσδιορισμού του eDrive είναι η επεξεργασία των δεδομένων της στιγμιαίας ταχύτητας για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος κατά τη διάρκεια του οποίου η επιτάχυνση του οχήματος του χρήστη ήταν μεγαλύτερη από το όριο «οικολογικής επιτάχυνσης». Υπενθυμίζεται ότι ως όριο οικολογικής επιτάχυνσης έχει τεθεί η τιμή 1.09 m/s^2 η οποία έχει προκύψει έπειτα από έρευνες για την εκπόνηση άλλων διπλωματικών εργασιών γύρω από το ζήτημα της οικολογικής οδήγησης. Σε περιπτώσεις όπου συναντάται υπέρβαση του επιτρεπόμενου ορίου ταχύτητας, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **speeding** ενώ σε περιπτώσεις όπου συναντάται υπέρβαση του ορίου επιτάχυνσης το φαινόμενο ονομάζεται **harsh acceleration**.

Η εισαγωγή της βάσης δεδομένων στην RStudio έγινε με τη μορφή υπολογιστικού φύλλου με τιμές διαχωρισμένες με κόμμα (.csv) και για την επεξεργασία τους συντάχθηκε αλγόριθμος κατά τον οποίον για κάθε ταξίδι το πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός της στιγμιαίας επιτάχυνσης ως η διαφορά μεταξύ δυο διαδοχικών τιμών ταχύτητας ($a_i = u_i - u_{i-1}$). Το δεύτερο βήμα ήταν ο μηδενισμός ενός μεγέθους S , το οποίο αναπαριστούσε τον συνολικό χρόνο που η επιτάχυνση του οχήματος ήταν μεγαλύτερη από το οικολογικό όριο. Το τρίτο βήμα ήταν η σύγκριση της τιμής της στιγμιαίας επιτάχυνσης με την οριακή τιμή για την οικολογική επιτάχυνση, 1.09 m/s^2 . Σε περίπτωση που ο έλεγχος $\text{acceleration}(i) > 1.09$ (**harsh acceleration**) ήταν αληθής τότε το άθροισμα S αυξανόταν κατά 1. Τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου για κάθε ταξίδι ήταν το ζητούμενο S . Αυτός ο αλγόριθμος εκτελέστηκε επαναληπτικά για να καλυφθούν όλα τα ταξίδια και τα αποτελέσματα του έδωσαν τη στήλη `non_eco_accel`. Με την εισαγωγή αυτού του δεδομένου και με χρήση των δεδομένων `driving_duration`, `acceleration_from_stops_duration`, `sum_speeding` και `time_duration_stops` είναι πλέον εφικτός ο υπολογισμός του eDrive και στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά πίνακες με τα δεδομένα εισόδου στον αλγόριθμο και τη διαδικασία υπολογισμού του eDrive για έναν από τους χρήστες. Σημειώνεται ότι ο αλγόριθμος πέρα από τον υπολογισμό της συνολικής χρονικής διάρκειας των μη οικολογικών επιταχύνσεων εξετάζει τον αν για κάποια δεδομένη χρονική στιγμή υπάρχει και ταυτόχρονη παραβίαση του

ορίου ταχύτητας (**speeding**). Σε περίπτωση που εντοπίζεται και ταυτόχρονη παραβίαση του ορίου το άθροισμα S δεν αυξάνεται, και η μείωση του eDrive για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή χρεώνεται μόνο στην υπέρβαση του ορίου ταχύτητας. Πριν αυτό ληφθεί υπόψιν, τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του δείκτη εμφάνιζαν και αρνητικές τιμές οι οποίες δεν μπορούσαν να ερμηνευθούν βάσει του τρόπου ορισμού του δείκτη και έπρεπε να απαλειφθούν από το δείγμα.

Εισαγωγή στα πειράματα

Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση των στατιστικών αναλύσεων που έγιναν αναλυτικά για το κάθε πείραμα ξεχωριστά έτσι ώστε να υπάρχει μία ξεκάθαρη εικόνα σε ότι αφορά στη μεταξύ τους σύγκριση και αξιολόγηση. Σε πρώτο στάδιο θα γίνει ανάλυση του ελεγχόμενου πειράματος κατά το οποίο έγινε προσπάθεια μηδενισμού της επιρροής της κλίσης και στη συνέχεια θα αναλυθούν κατά σειρά τα αποτελέσματα του γενικευμένου πειράματος -αρχικά χωρίς και έπειτα συμπεριλαμβανομένων- των υψομετρικών δεδομένων.

4.2 Ελεγχόμενο πείραμα

Στην προσπάθεια συσχέτισης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου κρίθηκε χρήσιμο, εφόσον αρχικά δεν υπήρχαν τα απαραίτητα υψομετρικά δεδομένα, να περιοριστεί η επίδραση του ανάγλυφου ως παράγοντα επιρροής. Για αυτόν το λόγο, όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.2, επιλέχθηκε η μελέτη μίας μεμονωμένης διαδρομής εκτελεσμένης συνολικά 20 φορές. Η μέση διάρκεια της διαδρομής ήταν περίπου 10 λεπτά και διαφοροποιείτο ανάλογα με το οδηγικό στυλ που εφαρμοζόταν σε κάθε εκτέλεση. Μετά την συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα και υπολογίζεται ο δείκτης eDrive. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πρώτης ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για το μοντέλο. Ο δείκτης «οικολογικής οδήγησης» eDrive που φαίνεται στον Πίνακα 4.1 υπολογίζεται από την σχέση (1) που ακολουθεί.

$$eDrive = \frac{a-b-c-d-e}{a} \quad (1)$$

Όπου,

a: total driving duration (συνολικός χρόνος οδήγησης με στάσεις)

b: sum speeding (συνολικός χρόνος υπέρβασης ορίου ταχύτητας)

c: non eco acceleration duration (συνολικός χρόνος υπέρβασης οικολογικού ορίου επιτάχυνσης)

d: time duration stops (συνολικός χρόνος στάσεων)

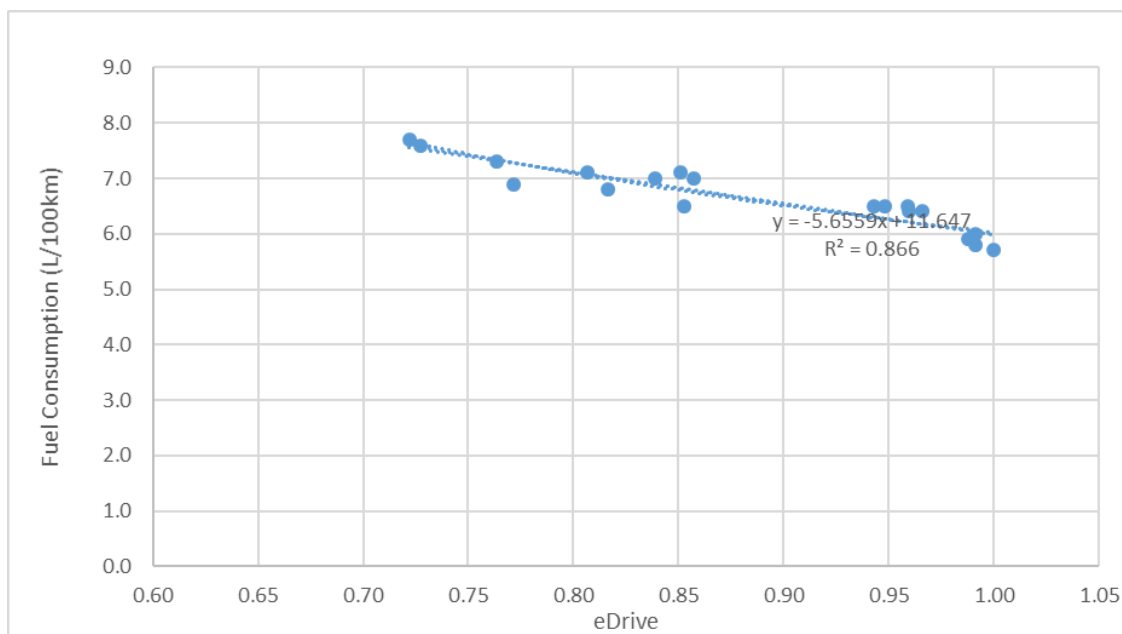
e: acceleration from stop duration (συνολικός χρόνος επιταχύνσεων από στάσεις)

Πίνακας 4.1: Δεδομένα όπως προέκυψαν από τη διεξαγωγή ελεγχόμενου πειράματος

Αριθμός διαδρομής	eDrive low	μετρημένη κατανάλωση (L/100 km)
1	0,727	7,6
2	1,000	5,7
3	0,991	5,8
4	0,959	6,4
5	0,943	6,5
6	0,851	7,1
7	0,772	6,9
8	0,816	6,8
9	0,853	6,5
10	0,959	6,5
11	0,807	7,1
12	0,857	7
13	0,966	6,4
14	0,948	6,5
15	0,990	5,9
16	0,991	6
17	0,839	7
18	0,764	7,3
19	0,988	5,9
20	0,722	7,7

Στα δεδομένα που προέκυψαν παρατηρείται μέγιστη τιμή για το δείκτη eDrive ίση με 1, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση ίση με 5.7 L/100km και ελάχιστη τιμή για το δείκτη eDrive ίση με 0.723, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση 7.7 L/100km. Από τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι η σχέση μεταξύ των τιμών του eDrive και της κατανάλωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη, όπως και αναμενόταν, καθώς σε μεγαλύτερες τιμές του δείκτη αντιστοιχούν μικρότερες τιμές κατανάλωσης ενώ σε μικρότερες τιμές του δείκτη αντιστοιχούν μεγαλύτερες τιμές κατανάλωσης. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι η επίδραση του ανάγλυφου αν και υπεισέρχεται στην τιμή της κατανάλωσης, ωστόσο δεν είναι αυτή που καθορίζει τη διακύμανση της.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης στα δεδομένα για τον ορισμό του μοντέλου περιγραφής της σχέσης μεταξύ του δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου για τη συγκεκριμένη διαδρομή. Στο Διάγραμμα 4.5 απεικονίζεται το διάγραμμα διασποράς των τιμών και η εξίσωση του μοντέλου.



Διάγραμμα 4.1: Διασπορά δεδομένων ελεγχόμενου πειράματος

Η εξίσωση του γραμμικού μοντέλου που προέκυψε από την ανάλυση παλινδρόμησης είναι:

$$f.c. = -5,656 \text{ eDrive} + 11,647 \quad (2)$$

όπου,

- fc είναι η κατανάλωση καυσίμου σε L/100km
- eDrive η τιμή του δείκτη ($0 \leq \text{eDrive} \leq 1$)

Στην παραπάνω εξίσωση ο συντελεστής συσχέτισης ρ είναι ίσος με 0.93 και ο συντελεστής προσαρμογής R^2 είναι ίσος με 0.866, επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συσχέτιση είναι ισχυρή. Η τιμή του συντελεστή προσαρμογής R^2 ερμηνεύεται ως εξής : το 86.6% των μεταβολών της μεταβλητής y (σε αυτήν την περίπτωση, της κατανάλωσης καυσίμου) μπορεί να εξηγηθεί από τις μεταβολές της τιμής της μεταβλητής x (σε αυτήν την περίπτωση, του δείκτη eDrive). Επίσης το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης τιμών κατανάλωσης μέσω της εξίσωσης (2) είναι ίσο με 0.22. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αναλυτικά αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης.

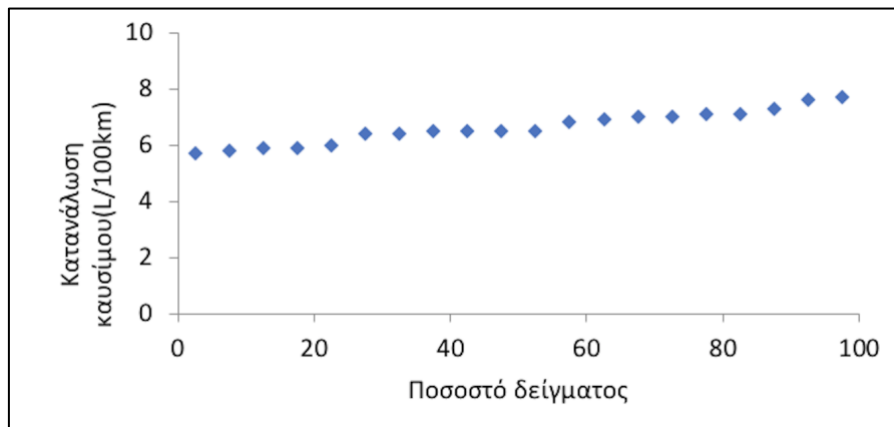
Πίνακας 4.2: Στατιστικών χαρακτηριστικών ανάλυσης παλινδρόμησης

Regression Statistics	
Multiple R	0,931
R Square	0,866
Adjusted R Square	0,859
Standard Error	0,221
Observations	20

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)

ANOVA	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1,000	5,666	5,666	116,377	0,000
Residual	18,000	0,876	0,049		
Total	19,000	6,542			

Τέλος, παρατίθεται το Διάγραμμα Κανονικής πιθανότητας (Διάγραμμα 4.2) , και βάσει της γραμμικότητας που παρατηρείται στην κατανομή των παρατηρήσεων προκύπτει το συμπέρασμα ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή.



Διάγραμμα 4.2: Διάγραμμα Κανονικής Πιθανότητας

Το συμπέρασμα που βγήκε λοιπόν από την παραπάνω ανάλυση είναι ότι παρακάμπτοντας τον παράγοντα της γεωμετρίας της οδού, το μοντέλο προσεγγίζει με ιδιαίτερως ικανοποιητική ακρίβεια την εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η Κατανάλωση καυσίμου. Στην συνέχεια θα εξετασθεί το κατά πόσο μπορεί να δημιουργηθεί ένα γενικευμένο μοντέλο το οποίο θα αποτυπώνει μία ικανοποιητική εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου, υπό κανονικές συνθήκες οδήγησης σε μη ελεγχόμενο περιβάλλον.

4.3 Διευρυμένο πείραμα

Α εκδοχή

Το πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους δύο χρήστες είναι γενικής φύσεως και αφορά τη συλλογή δεδομένων από τυχαίες διαδρομές, χωρίς κάποιο περιορισμό ή κάποια συγκεκριμένη οδηγία προς τους δύο οδηγούς, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να προκύψουν υπό ρεαλιστικές συνθήκες. Στην συνέχεια θα γίνει διερεύνηση της σχέσης της κατανάλωσης καυσίμου με τον eDrive και θα δημιουργηθούν γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης κατά τα οποία θα γίνει σταδιακή προσθήκη ανεξάρτητων μεταβλητών, με στόχο την βελτίωση της αξιοπιστίας του μοντέλου. Πριν από κάθε προσθήκη μίας νέας μεταβλητής θα γίνεται παρουσίαση και αναλυτική εξήγηση της, ξεκινώντας από την εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου που θα είναι για όλες τις περιπτώσεις η Κατανάλωση καυσίμου.

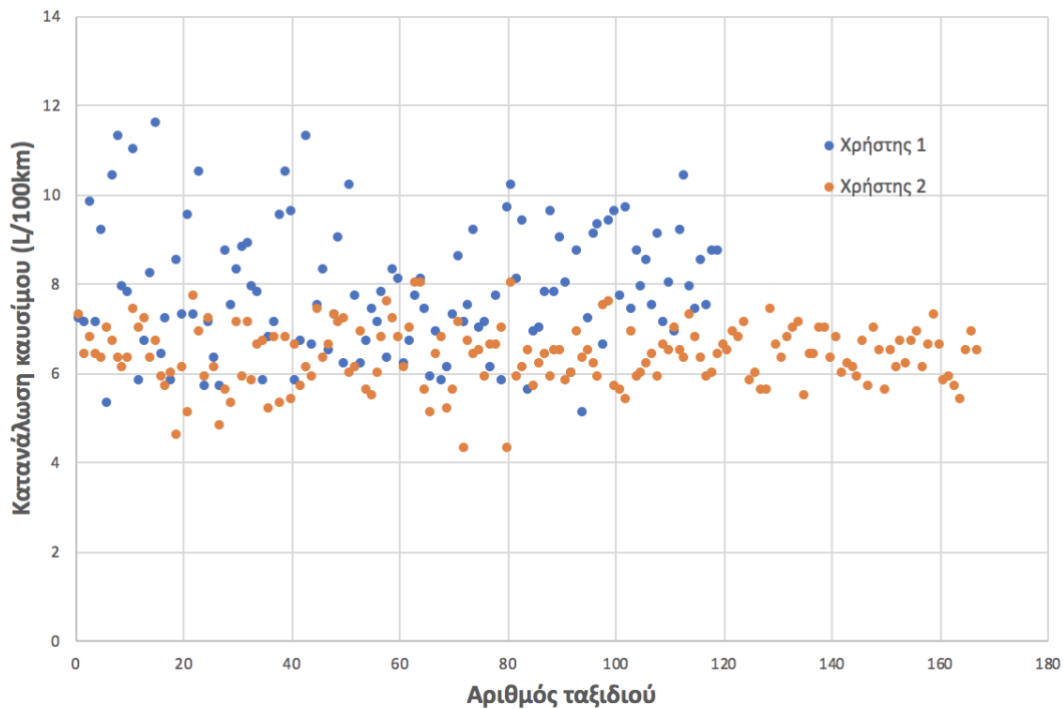
Κατανάλωση Καυσίμου

Το πλέον βασικό μέγεθος στο οποίο εστιάστηκε η μελέτη, είναι η μέση κατανάλωση καυσίμου και εκφράζει τον αριθμό των λίτρων καυσίμου (βενζίνης στην προκειμένη περίπτωση) που καταναλώθηκαν σε μία διαδρομή σε αναλογία διανυόμενης απόστασης 100 χιλιομέτρων. Το μέγεθος αυτό αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή σε όλες τις αναλύσεις παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκαν. Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί φαίνονται μερικά περιγραφικά στατιστικά χαρακτηριστικά, που υπολογίστηκαν στο excel και αφορούν στα στοιχεία κατανάλωσης του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.4: Στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου

Fuel Consumption (L/100km)	
Μέσος όρος	6.98
Τυπικό σφάλμα	0.07597212
Αριθμητικό μέσος	6.7
Συνηθέστερη τιμή	7.1
Τυπική απόκλιση	1.28480512
Διασπορά	1.65072421
Δείκτης κυρτότητας	1.37518229
Δείκτης καμπυλότητα	1.11442519
Εύρος	7.3
Ελάχιστη τιμή	4.3
Μέγιστη τιμή	11.6
Άθροισμα	1996.3
Αριθμός στοιχείων	286

Παρατηρώντας τα άνωθι στοιχεία από 291 συνολικά καταγεγραμμένες μέσες καταναλώσεις διαπιστώνεται ότι οι τιμές κυμαίνονται περί τα 7 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα, με την τιμή των 7.1 λίτρων ανά 100 χιλιόμετρα να συναντάται συχνότερα στο δείγμα. Παράλληλα, φαίνεται αρκετά μεγάλο εύρος στις τιμές του δείγματος της τάξης του 7.3 με την μέγιστη τιμή να βρίσκεται στα 11.6 λίτρα/100χλμ. και τη μικρότερη στα 4.3 λίτρα/100χλμ., γεγονός που οφείλεται εν πολλοίς στη μεγάλη διαφορά που εντοπίζεται στις κατασκευαστικές καταναλώσεις των δύο οχημάτων. Παρακάτω, παρατίθεται ένα διάγραμμα διασποράς, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των 291 τιμών για καλύτερη εποπτεία (Διάγραμμα 4.3).



Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα διασποράς τιμών μέσης κατανάλωσης

Η πλέον σημαντική ανεξάρτητη μεταβλητή της γραμμικής Παλινδρόμησης, είναι, όπως γίνεται αντιληπτό είναι ο δείκτης eDrive, η ύπαρξη του οποίου αποτελεί και την κύρια αφορμή της παρούσας εργασίας. Ο εν λόγω δείκτης έχει οριστεί αναλυτικώς σε προηγούμενο στάδιο και στη συνέχεια παρατίθεται η στατιστική του ανάλυση.

Πίνακας 4.5: Στατιστικά στοιχεία δείκτη eDrive

eDrive	
Μέσος όρος	0.66840792
Τυπικό σφάλμα	0.00676634
Αριθμητικό μέσος	0.66785561
Συνηθέστερη τιμή	-
Τυπική απόκλιση	0.11442926
Διασπορά	0.01309406
Δείκτης κυρτότητας	-0.3620248
Δείκτης καμπυλότητας	-0.0775926
Εύρος	0.56686423
Ελάχιστη τιμή	0.38778971
Μέγιστη τιμή	0.95465394
Άθροισμα	191.164665
Αριθμός στοιχείων	286

Ως διαφαίνεται από την παράθεση των σχετικών δεδομένων, το σύνολο των 286 μετρήσεων δίνουν ένα μέσο όρο της τάξης του 0.67, το οποίο σημαίνει ότι για το 67% του συνολικού χρόνου οδήγησης, εφαρμόζονται οι κανόνες της οικολογικής οδήγησης. Επίσης για λόγους εποπτείας αναφέρεται ότι για τις ίδιες διαδρομές οι τιμές του δείκτη κυμάνθηκαν από 0.39 έως 0.95. Ακολουθεί η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του eDrive και της Κατανάλωσης καυσίμου και η αξιολόγηση του μοντέλου.

A.1] $f.c. = f(eDrive)$

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f(eDrive)$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.230334458
R Square	0.053053963
Adjusted R Square	0.049719646
Standard Error	1.252457897
Observations	286

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	24.9595762	24.9595762	15.91149316	8.45096E-05
Residual	284	445.4968224	1.568650783		
Total	285	470.4563986			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	8.708694447	0.439639113	19.80873446	1.88634E-55
eDrive	-2.58618198	0.648341189	-3.988921303	8.45096E-05

Η εξίσωση Γραμμικής Παλινδρόμησης που προκύπτει από τα παραπάνω είναι η ακόλουθη,

$$f.c. = -2.59eDrive + 8.70$$

Όπως παρατηρούμε όμως ο δείκτης R^2 ισούται με 0,053 και ο δείκτης συσχέτισης με 0,23 γεγονός που αποδεικνύει ότι το παρόν μοντέλο δεν είναι αξιόπιστο και θα πρέπει να βρεθούν τρόποι βελτίωσης του. Ένας βασικός λόγος που οι εν λόγω δείκτες εμφανίζουν τόσο χαμηλές τιμές είναι ότι πλέον σε αντίθεση με το Ελεγχόμενο Πείραμα που παρουσιάστηκε προηγουμένως, έχουμε δύο χρήστες με διαφορετικά οχήματα. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη της ύπαρξης μίας μεταβλητής που θα διαχωρίζει τα δεδομένα των δύο χρηστών. Προκειμένου αυτό για να γίνει σαφέστερο, αναφέρεται ότι στην περίπτωση δύο οχημάτων που θα πραγματοποιήσουν την ίδια διαδρομή ταυτόχρονα με ακριβώς όμοιο τρόπο οδήγησης, αναμένονται ίδιες τιμές του δείκτη eDrive και για τις δύο περιπτώσεις. Κανονικά σύμφωνα με το μοντέλο που προηγήθηκε θα αναμέναμε και ίδιες τιμές κατανάλωσης καυσίμου, κάτι το οποίο φυσικά ισχύει μόνο στην περίπτωση που τα οχήματα είναι ίδια. Στη περίπτωση του πειράματος τα οχήματα είναι διαφορετικά και ως εκ τούτου δημιουργείται η μεταβλητή driver.

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν προστέθηκε η μεταβλητή driver, η οποία περιλαμβάνει μόνο τις τιμές 1 και 2 που αντιστοιχούν στους δύο οδηγούς του παρόντος πειράματος και ακολουθεί η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.

A.2] f.c. = $f(\text{eDrive}, \text{driver})$

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης f.c. = $f(\text{eDrive}, \text{driver})$

Regression Statistics					
Multiple R	0.631594427				
R Square	0.398911521				
Adjusted R Square	0.394663545				
Standard Error	0.999621698				
Observations	286				

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	187.6704773	93.83523865	93.90627517	5.24547E-32
Residual	283	282.7859213	0.999243538		
Total	285	470.4563986			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	11.52091076	0.414355885	27.80438546	6.56598E-83
eDrive	-3.15395006	0.519368616	-6.072661999	4.04033E-09
driver	-1.53588669	0.120361205	-12.76064571	9.15233E-30

Η εξίσωση πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης που προκύπτει από τα παραπάνω είναι η ακόλουθη.

$$\text{f.c.} = -3.15\text{eDrive} - 1.54\text{driver} + 11.52$$

Όπως φαίνεται η επιρροή της νέας μεταβλητής που προστέθηκε ήταν πάρα πολύ μεγάλη καθώς ο δείκτης R^2 αυξήθηκε κατά περίπου εφτά φορές και έφτασε στο 0.39 ενώ και ο δείκτης συσχέτισης υπερδιπλασιάστηκε και έφτασε στο 0.63.

Κρίθηκε σκόπιμο επίσης να προστεθεί μία μεταβλητή που θα εκφράζει το ποσοστό κίνησης του οχήματος σε εθνική οδό, αστικό δρόμο αλλά και επαρχιακή οδό ανά ταξίδι. Λόγω της αδυναμίας έκφρασης της παραπάνω ανάγκης μέσω μίας μόνο μεταβλητής χρησιμοποιήθηκαν αναγκαστικά τρεις οι οποίες εξέφραζαν το ποσοστό κίνησης σε κάθε τύπο δρόμου ξεχωριστά. Ο λόγος για τον οποίον προστέθηκαν οι τρεις μεταβλητές σχετίζεται με το γεγονός ότι ανάλογα με τον τύπο της οδού (άρα και τις κυκλοφοριακές συνθήκες) επηρεάζεται και η κατανάλωση καυσίμου. Παρακάτω φαίνονται οι τύποι που υπολογίζουν την κάθε μεταβλητή.

$$\text{percentage highway} = \frac{\text{driving duration} - \text{driving duration highway}}{\text{driving duration}}$$

$$\text{percentage rural} = \frac{\text{driving duration} - \text{driving duration rural}}{\text{driving duration}}$$

$$\text{percentage urban} = \frac{\text{driving duration} - \text{driving duration urban}}{\text{driving duration}}$$

Στη συνέχεια ακολουθεί η πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση με τις νέες μεταβλητές.

A.3] f.c. = f(eDrive, driver, p.h, p.r, p.u)

Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης f.c. = f(eDrive, driver, p.h, p.r, p.u)

Regression Statistics	
Multiple R	0.72700964
R Square	0.528543017
Adjusted R Square	0.520124142
Standard Error	0.890023985
Observations	286

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	5	248.6564443	49.73128886	62.78072025	9.37497E-44
Residual	280	221.7999543	0.792142694		
Total	285	470.4563986			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	13.77292593	1.841345394	7.479816644	9.63655E-13
eDrive	-3.8685359	0.472256792	-8.191593992	9.2623E-15
driver	-1.32779156	0.11073172	-11.99106775	5.14495E-27
Perc. Highway	-0.40244766	0.873509799	-0.460724837	0.645353665
Perc. rural	-1.05625271	1.034667346	-1.020862132	0.30820098
Perc. urban	-2.79226153	0.99330366	-2.811085511	0.005286065

Όπως φαίνεται η ύπαρξη των νέων μεταβλητών βελτιώνει ακόμα περισσότερο το μοντέλο και συγκεκριμένα το R^2 κατά ένα ποσοστό της τάξης του 25% ενώ τον δείκτη συσχέτισης κατά 17%.

Η εξίσωση πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης που προκύπτει με βάση τα παραπάνω φαίνεται παρακάτω.

$$f.c. = -3.87eDrive - 1.33driver - 0.40pc - 1.06pr - 2.79pu + 13.77$$

Σημαντική κρίθηκε και η επιρροή της διάρκειας της διαδρομής στη διαμόρφωση της τελικής τιμής της Κατανάλωσης καυσίμου και για αυτό τον λόγο δημιουργήθηκε ένας διαχωρισμός με κριτήριο τον συνολικό χρόνο ταξιδιού. Η παρούσα μεταβλητή μπορεί να λάβει τις τιμές 1, 2 και 3 που αντιστοιχούν σε μικρής, μεσαίας και μεγάλης διάρκειας διαδρομές οι οποίες ορίζονται όπως φαίνεται παρακάτω.

μικρή ≤ 5 λεπτά

5 λεπτά $<$ μεσαία ≤ 10 λεπτά

μεγάλη > 10 λεπτά

Στη συνέχεια ακολουθεί η πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση με τη νέα μεταβλητή.

A.4] $f.c. = f(eDrive, driver, p.h, p.r, p.u, d.c)$

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive, driver, p.h, p.r, p.u, d.c)$

Regression Statistics	
Multiple R	0.732440074
R Square	0.536468462
Adjusted R Square	0.526500041
Standard Error	0.884091535
Observations	286

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	6	252.3850204	42.06417006	53.81679863	7.58391E-44
Residual	279	218.0713782	0.781617843		
Total	285	470.4563986			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	14.06753142	1.834038791	7.670247483	2.87837E-13
eDrive	-4.16617114	0.488501357	-8.528474032	9.54948E-16
driver	-1.32654557	0.109995118	-12.06004043	3.08427E-27
Perc. highway	-0.26930947	0.86982602	-0.309613032	0.757086358
Perc. rural	-0.79236704	1.03484802	-0.765684455	0.44451134
Perc. urban	-2.40392543	1.002574706	-2.397751928	0.017153422
Duration code	-0.21909609	0.100313724	-2.184108814	0.029786852

Όπως φαίνεται παραπάνω με τη νέα μεταβλητή υπάρχει μία μικρή βελτίωση στον δείκτη R^2 καθώς και στον δείκτη συσχέτισης.

$$f.c. = -4.17eDrive - 1.33driver - 0.27pc - 0.79pr - 2.40pu - 0.22dc + 14.07$$

Για λόγους καλύτερης εποπτείας των αιτιών που επηρεάζουν την μεταβολή του δείκτη eDrive και κατά συνέπεια της κατανάλωσης καυσίμου, θεωρήθηκε θεμιτός ο διαχωρισμός του δείκτη σε eDrive_{behavior} και σε eDrive_{traffic}, οι οποίοι θα αναλυθούν ακολούθως.

eDrive_{behavior}

Ο παρόν δείκτης εξαρτάται από τις περιπτώσεις **speeding** και **harsh acceleration** και ορίζεται με τον τύπο όπως φαίνεται ακολούθως.

$$eDrive.beh = \frac{total\ driving\ duration - non\ eco\ acceleration - sum\ speeding}{total\ driving\ duration}$$

eDrive_{traffic}

Τα μεγέθη που επηρεάζουν τον δείκτη είναι η διάρκεια στάσης σε αναμονή και η διάρκεια επιτάχυνσης από στάση. Ο τύπος για τον υπολογισμό του είναι ο ακόλουθος.

$$eDrive.tr = \frac{total\ driving\ duration - time\ duration\ stops - acceleration\ from\ stop\ duration}{total\ driving\ duration}$$

Χρησιμοποιώντας τις δύο αυτές μεταβλητές θα γίνει αντικατάσταση του δείκτη eDrive στο μοντέλο και ακολουθούν τα νέα αποτελέσματα της Παλινδρόμησης.

Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{beh}, eDrive_{traf}, driver, p.h, p.r, p.u)$

Regression Statistics					
Multiple R	0.745034611				
R Square	0.555076571				
Adjusted R Square	0.543873464				
Standard Error	0.867720643				
Observations	286				

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	7	261.1393247	37.30561782	49.54665935	2.12957E-45
Residual	278	209.3170739	0.752939115		
Total	285	470.4563986			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	15.82276861	2.006937633	7.884036033	7.25344E-14
eDrive-Beh	-2.499022245	0.814025567	-3.069955474	0.00235266
eDrive-Traf	-4.227099908	0.452919154	-9.333012029	3.40434E-18
driver	-1.239037238	0.110162455	-11.24736405	1.94387E-24
Perc. highway	-0.451248319	0.85750175	-0.526236033	0.599143786
Perc. rural	0.035219381	1.041274013	0.033823356	0.973042283
Perc. urban	-1.371834055	1.028634758	-1.333645441	0.183411726
Duration code	-0.30517386	0.101882515	-2.995350658	0.002988364

Όπως διαπιστώνεται, η τελευταία αλλαγή βελτίωσε κατά περίπου 4% το μοντέλο σε ότι αφορά το R^2 και κατά 1.5% τον δείκτη συσχέτισης. Επίσης, αξίζει να τονισθεί ότι όπως φαίνεται από το μέγεθος *P-value* ο δείκτης $eDrive_{traffic}$ φαίνεται να επηρεάζει σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό το μοντέλο εν συγκρίσει με τον $eDrive_{behavior}$, γεγονός που αποδεικνύει ότι ο υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος επηρεάζει περισσότερο την κατανάλωση καυσίμου από ότι η επιθετικότητα του οδηγού στο εν λόγω παράδειγμα.

Το τελικό μοντέλο πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης που προκύπτει από τα αποτελέσματα που προηγήθηκαν είναι το ακόλουθο.

$$f.c. = -2.5eDriveb - 4.23eDrivetr - 1.24driver - 0.45ph + 0.04pr - 1.37pu - 0.31dc + 15.82$$

Β εκδοχή

Νέα δεδομένα-Υψόμετρα

Όπως αποδείχτηκε από τις αναλύσεις που προηγήθηκαν, ο δείκτης $eDrive$, όπως αυτός έχει οριστεί μέχρι τώρα, δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος παράγοντας πρόβλεψης της κατανάλωσης. Για τον λόγο τούτο και μετά από ενδελεχή μελέτη της πρώτης εκδοχής του πειράματος κρίθηκε απαραίτητη η χρήση κάποιων νέων μεταβλητών που βελτίωσαν σημαντικά το μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης. Παρόλα αυτά δεν έχει ακόμα ληφθεί υπόψιν η επιρροή της γεωμετρίας της οδού στην εκτίμηση της τελικής κατανάλωσης. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω μίας προσαρμογής του δείκτη και θα εξεταστεί το κατά πόσο θα υπάρξει ουσιαστική βελτίωση του μοντέλου, εάν ληφθεί υπόψιν και μελετηθεί η εν λόγω παράμετρος. Για παράδειγμα δύο διαδρομές με ίδιο δείκτη $eDrive$ δεν αντιστοιχούν κατ' ανάγκη σε ίδια μέση κατανάλωση καυσίμου, αντιθέτως μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά, γεγονός που οφείλεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού τα οποία δεν έχουν ληφθεί υπόψιν μέχρις αυτού του σημείου της ανάλυσης. Επομένως, προκειμένου να γίνει μία «διόρθωση» του δείκτη $eDrive$, θα έπρεπε να συγκεντρωθούν υψομετρικά δεδομένα ανά δευτερόλεπτο διαδρομής, που θα αντιστοιχούσαν στα δεδομένα συντεταγμένων που ήδη υπήρχαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή την ενότητα θα πραγματοποιηθούν συγκρίσεις των επιπέδων αξιοπιστίας των νέων μοντέλων Γραμμικής Παλινδρόμησης με των αντίστοιχων του πρώτου πειράματος.

Διαδικασία εύρεσης υψομέτρων

Έπειτα από ενδελεχή έρευνα, για την εύρεση της πηγής από όπου θα συλλέγονταν τα υψομετρικά δεδομένα η ιστοσελίδα www.gpsvisualizer.com κρίθηκε ως η πλέον αξιόπιστη πηγή και τελικώς χρησιμοποιήθηκε παρά το γεγονός ότι δεν εδίδετο η δυνατότητα φόρτωσης πολλαπλών αρχείων (ταξιδιών) ταυτοχρόνως. Ο μελετητής υποχρεώθηκε να φορτώσει μεμονομένα το κάθε αρχείο, διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα η οποία όμως προτιμήθηκε λόγω της ακρίβειας που παρείχε (υψόμετρα ανά δευτερόλεπτο). Επί της ουσίας, η δυνατότητα που

προσέφερε η προαναφερθείσα πλατφόρμα ήταν η «παραγωγή» υψομέτρων μέσω της εισαγωγής συντεταγμένων, όμως προκειμένου να εκτελεστεί η εν λόγω ενέργεια τα αρχεία εισόδου έπρεπε να έχουν συγκεκριμένη μορφή. Αναλυτικότερα, η πλατφόρμα δεχόταν αρχεία επέκτασης (.csv) τα οποία όμως έπρεπε να περιέχουν τις συντεταγμένες σε μία στήλη χωρισμένες με τον χαρακτήρα (;) και ανά δύο να μεσολαβεί κενή σειρά, όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά στην *Εικόνα 4.1*.

	A	B
1	latitude;longitude	
2		
3	38.0187301416;23.6504830086	
4		
5	38.0186753115;23.6505279869	
6		
7	38.018613094;23.6505740645	
8		
9	38.0185554942;23.6507686783	
10		
11	38.0185173824;23.6507803991	
12		
13	38.018485332;23.6508125888	
14		
15	38.018468092;23.6508408627	

Εικόνα 4.1: Απαιτούμενη μορφή αρχείου για εισαγωγή στην πλατφόρμα

Για να αποκτήσουν τα αρχικά αρχεία την απαιτούμενη μορφή δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος μέσω της RStudio ο οποίος με τη χρήση μίας επαναληπτικής διαδικασίας, μετέτρεπε τα αρχικά αρχεία στη μορφή που εμφανίζονται παραπάνω και έτσι ήταν έτοιμα για φόρτωση.

Μετά την εισαγωγή του (.csv) αρχείου η πλατφόρμα παράγει ένα (.txt) αρχείο που περιέχει μεταξύ άλλων μία στήλη με υψομετρικά δεδομένα (altitude) ανά ζευγάρι συντεταγμένων και η στήλη αυτή αντιγράφεται στο αντίστοιχο αρχείο διαδρομής ως τελευταία στήλη και μετονομάζεται σε «Elevation».

Ο νέος δείκτης eDrive υπολογίζεται όπως ορίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ([3.6.2 Επαναπροσδιορισμός δείκτη eDrive](#)) και τα νέα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.11 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.11: Στατιστικά στοιχεία νέου δείκτη eDrive

<i>eDrive_{new}</i>	
Μέσος όρος	0.38687679
Τυπικό σφάλμα	0.00573971
Αριθμητικό μέσος	0.38207919
Συνηθέστερη τιμή	-
Τυπική απόκλιση	0.09706735
Διασπορά	0.00942207
Δείκτης κυρτότητας	0.18741701
Δείκτης καμπυλότητας	0.28060377
Εύρος	0.55690959
Ελάχιστη τιμή	0.14322251
Μέγιστη τιμή	0.7001321
Άθροισμα	110.646762
Αριθμός στοιχείων	286

Παρατηρούνται λοιπόν πολύ μεγάλες διαφορές σε σχέση με τις προηγούμενες τιμές και πιο συγκεκριμένα η μέγιστη τιμή του δείκτη από 0.95 έχει πέσει στο 0.70, η ελάχιστη από 0.39 σε 0.14 ενώ ο μέσος όρος του δείκτη από 0.67 έπεσε στο 0.39. Αυτές οι πολύ μεγάλες πτώσεις του δείκτη είναι απολύτως φυσιολογικές και οφείλονται στο γεγονός ότι τα δευτερόλεπτα στα οποία επικρατεί έντονη κλίση είναι ανεξάρτητα από τις άλλες παραβάσεις. Ακολουθεί η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του νέου δείκτη $eDrive_{new}$ και της Κατανάλωσης καυσίμου και η αξιολόγηση του μοντέλου.

B.1] $f.c. = f(eDrive_{new}, driver)$

Πίνακας 4.12: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(eDrive_{new}, driver)$

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.658405887
R Square	0.433498312
Adjusted R Square	0.429494766
Standard Error	0.970436396
Observations	286

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	203.9420545	101.9710272	108.2786024	1.19666E-35
Residual	283	266.5143441	0.941746799		
Total	285	470.4563986			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	11.09599154	0.305966899	36.26533315	2.1509E-108
$eDrive_{new}$	-4.451895984	0.592760634	-7.510444739	7.74192E-13
driver	-1.511182572	0.116526919	-12.9685277	1.67622E-30

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τα αντίστοιχα του μοντέλου A.2, παρατηρούμε ότι υπάρχει βελτίωση στην αξιοπιστία του μοντέλου της τάξεως του 4.25% για τον συντελεστή συσχέτισης και 8.67% για το R^2 . Έτσι, ουσιαστικά επιβεβαιώνεται σε πρώτο στάδιο η βελτίωση που αναμενόταν με την εισαγωγή του νέου δείκτη και μένει να φανεί αν θα υπάρξουν ανάλογες βελτιώσεις και στα υπόλοιπα μοντέλα που ακολουθούν. Ακολουθεί η συνάρτηση που περιγράφει το μοντέλο.

$$f.c. = -4.45eDrive_{new} - 1.51driver + 11.10$$

Όπως και στη προηγούμενη ενότητα, θεωρήθηκε χρήσιμος ο διαχωρισμός του δείκτη σε $eDrive_{behavior}$ και σε $eDrive_{traffic}$ όπως ακριβώς περιγράφηκε με τη διαφορά ότι θα προστεθεί και ο $eDrive_{gradient}$ που θα εξηγηθεί ακολούθως.

Ο παρών δείκτης εξαρτάται από την κλίση σε κάθε δευτερόλεπτο της εξεταζόμενης διαδρομής και πιο συγκεκριμένα από τη συνολική χρονική διάρκεια κατά την οποία εμφανίζεται κλίση μεγαλύτερη του 3%. Ο τύπος που τον περιγράφει είναι ο ακόλουθος.

$$eDrive.grad = \frac{total\ driving\ duration - highgradduration}{total\ driving\ duration}$$

Επομένως έγινε αντικατάσταση του eDrive_{new} με τους τρεις νέους δείκτες που αναφέρθηκαν και το νέο μοντέλο έχει ως εξής.

B.2] f.c. = f (eDrive-beh, edrive-traf, edrive-grad, driver)

Πίνακας 4.13: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης f.c. = f (eDrive_{beh}, eDrive_{traf}, eDrive_{grad}, driver)

Regression Statistics					
Multiple R	0.729283876				
R Square	0.531854971				
Adjusted R Square	0.525190985				
Standard Error	0.885312789				
Observations	286				

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	250.2145743	62.55364357	79.81033529	3.69565E-45
Residual	281	220.2418243	0.783778734		
Total	285	470.4563986			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	18.15256056	1.327133589	13.67802059	5.44825E-33
eDrive-Beh	-1.00971925	0.714663326	-1.412860032	0.158803532
eDrive-Traf	-5.323832679	0.506005551	-10.52129304	4.80207E-22
eDrive-Grad	-6.304911426	1.001462136	-6.29570625	1.17332E-09
driver	-1.273710625	0.110380506	-11.5392715	1.78774E-25

Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι με τη διάσπαση του δείκτη σε τρία μέρη υπάρχει σαφής βελτίωση των δύο δεικτών και πιο συγκεκριμένα ο δείκτης συσχέτισης αυξήθηκε κατά 10.77% από 0.66 σε 0.73 ενώ το R² αυξήθηκε κατά 22.69% από 0.43 σε 0.53. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι η ανάλυση βαδίζει προς τη σωστή κατεύθυνση και αναμένονται ανάλογα αποτελέσματα στα μοντέλα που θα ακολουθήσουν. Παρακάτω παρατίθεται η συνάρτηση που εκφράζει το μοντέλο που μόλις προηγήθηκε.

$$f.c. = -1.01eDriveb - 5.32eDrivetr - 6.30eDrivegr - 1.27driver + 18.15$$

B.3] f.c. = f (eDrive-beh, edrive-traf, edrive-grad, driver, p.h, p.r, p.u)

Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης f.c. = f (eDrive_{beh}, eDrive_{traf}, eDrive_{grad}, driver, p.h, p.r, p.u)

Regression Statistics	
Multiple R	0.780739262
R Square	0.609553795
Adjusted R Square	0.599722416
Standard Error	0.812864009
Observations	286

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	7	286.7684833	40.96692619	62.00084238	3.4998E-53
Residual	278	183.6879153	0.660747897		
Total	285	470.4563986			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	19.70615045	1.969010419	10.0081494	2.44704E-20
eDrive-Beh	-3.170182467	0.767087636	-4.132751356	4.74871E-05
eDrive-Traf	-5.710948303	0.486149177	-11.74731662	3.84059E-26
eDrive-Grad	-6.644486967	0.949095527	-7.000862168	1.9104E-11
driver	-1.133957295	0.104547433	-10.84634277	4.32836E-23
Perc. highway	0.173257823	0.809428882	0.214049469	0.830665391
Perc. rural	1.132193413	0.989040922	1.144738694	0.253302019
Perc. urban	-0.628572672	0.959042024	-0.655417235	0.512741153

Συνεχίζοντας στο ίδιο μοτίβο με το προηγούμενο πείραμα, προστέθηκαν οι μεταβλητές οι οποίες εκφράζουν τα ποσοστά κίνησης σε κάθε τύπο δρόμου και παρατηρείται εκ νέου βελτίωση του δείκτη συσχέτισης κατά 7.06% και του R² κατά 14.61%. Η σχέση που περιγράφει το παραπάνω μοντέλο είναι η ακόλουθη.

$$f.c. = -3.17eDrive_{beh} - 5.71eDrive_{traf} - 6.64eDrive_{grad} - 1.13driver + 0.17ph + 1.13pr - 0.63pu + 19.71$$

Τέλος, ακολουθεί το τελικό μοντέλο στο οποίο περιλαμβάνονται όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουν παρουσιαστεί, με την προσθήκη της κωδικοποίησης της διαδρομής βάσει συνολικής διάρκειας.

B.4] f.c. = $f(\text{eDrive-beh}, \text{edrive-traf}, \text{edrive-grad}, \text{driver}, \text{p.h}, \text{p.r}, \text{p.u}, \text{d.c})$

Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης $f.c. = f(\text{eDrive}_{\text{beh}}, \text{eDrive}_{\text{traf}}, \text{eDrive}_{\text{grad}}, \text{driver}, \text{p.h}, \text{p.r}, \text{p.u}, \text{d.c})$

Regression Statistics	
Multiple R	0.790765443
R Square	0.625309986
Adjusted R Square	0.614488613
Standard Error	0.79772989
Observations	286

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	8	294.1810838	36.77263548	57.78472181	1.02882E-54
Residual	277	176.2753148	0.636372978		
Total	285	470.4563986			

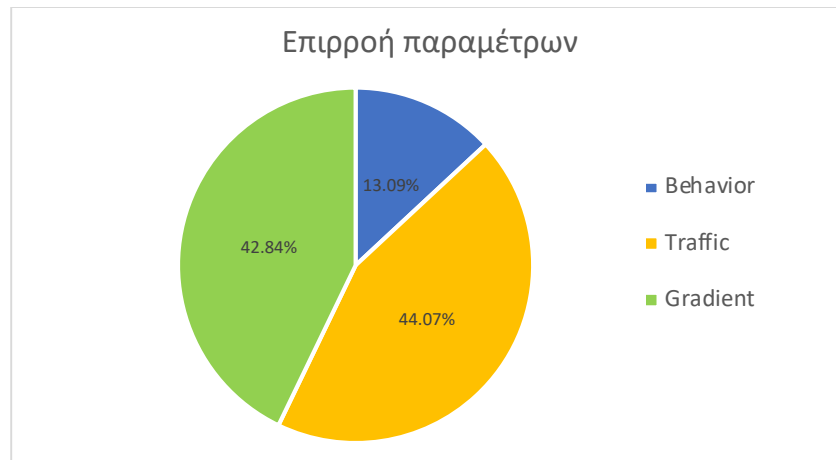
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	20.00993049	1.934399724	10.34425835	2.0269E-21
eDrive-Beh	-3.10377232	0.753057228	-4.121562351	4.97615E-05
eDrive-Traf	-6.220117046	0.499879309	-12.44323766	1.55717E-28
eDrive-Grad	-6.713126444	0.931642114	-7.20569234	5.48673E-12
driver	-1.111493129	0.10281185	-10.8109438	5.84235E-23
Perc. highway	0.306322428	0.795314941	0.385158649	0.70041546
Perc. rural	1.69930209	0.984746996	1.725623026	0.08553046
Perc. urban	0.163357834	0.969367301	0.168520059	0.866297148
Duration code	-0.319746826	0.093686456	-3.412946116	0.000738628

Στο τελικό μοντέλο παρατηρείται μία ελαφριά βελτίωση της τάξεως του 1.28% για τον συντελεστή συσχέτισης και 2.58% για το R^2 εν συγκρίσει με την αμέσως προηγούμενη εκδοχή αλλά παρατηρείται αρκετά αξιόλογη βελτίωση σε σχέση με το αντίστοιχο πλήρες μοντέλο του προηγούμενου πειράματος. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε αύξηση του συντελεστή συσχέτισης κατά 6.14% και αύξηση 12.65% για το R^2 , γεγονός που αποδεικνύει την αξία της επιρροής της κλίσης στη διαμόρφωση του τελικού μοντέλου πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης και η τελική σχέση που εκφράζει την τιμή της κατανάλωσης καυσίμου είναι η ακόλουθη.

$$f.c. = -3.10\text{eDrive}_{\text{beh}} - 6.22\text{eDrive}_{\text{traf}} - 6.71\text{eDrive}_{\text{grad}} - 1.11\text{driver} + 0.31\text{ph} + 1.70\text{pr} + 0.16\text{pu} + 20.01$$

4.4 Διερεύνηση επιρροής παραμέτρων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί σε διαγραμματική μορφή η ποσοστιαία επίδραση των «παραβάσεων» στον συνολικό χρόνο μη οικολογικής οδήγησης, προκειμένου να γίνει αντιληπτό ποιο μέγεθος ασκεί τη μεγαλύτερη επιρροή.



Διάγραμμα 4.4: Ποσοστιαία επιρροή «παραβάσεων» στον συνολικό χρόνο μη οικολογικής οδήγησης.

Ως προκύπτει από την ανάλυση του διαγράμματος η κλίση και ο κυκλοφοριακός φόρτος ασκούν τη μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση του συνολικού χρόνου μη οικολογικής οδήγησης, κατέχοντας ποσοστά 44.07% και 42.84% αντίστοιχα. Αξίζει σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι, η τόσο υψηλή επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου, οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία των διαδρομών πραγματοποιήθηκαν σε αστικό περιβάλλον, επομένως υπό άλλες συνθήκες θα αναμένονταν αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα. Παρά το γεγονός ότι η οδηγική συμπεριφορά κατέχει το μικρότερο ποσοστό, το 13.09% εν τούτοις αντιπροσωπεύει ένα διόλου ευκαταφρόνητο μέγεθος, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι, είναι στην διακριτική ευχέρεια του οδηγού να το εκμηδενίσει.

5. Συμπεράσματα

Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση και των αναλύσεων των αποτελεσμάτων, συνοψίζονται και επισημαίνονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα και την ανάλυση που διεξήχθη σχετικά με το θέμα της οικολογικής οδήγησης. Όπως αναλύθηκε και στο 2^ο Κεφάλαιο (Βιβλιογραφική Ανασκόπηση), υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον για το θέμα της οδηγικής συμπεριφοράς και της οικολογικής οδήγησης. Λόγω της φύσεως του ζητήματος τα περισσότερα εκ των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί για έρευνα, προέρχονται κατά κύριο λόγο από πειραματικές διαδικασίες και μετρήσεις. Σε αυτή τη βάση, η ραγδαία ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνολογίας των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones), έχει ομαλοποιήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη διαδικασία της συλλογής, αποθήκευσης και μετάδοσης των δεδομένων συνδυάζοντας υψηλή ακρίβεια και μειωμένα λειτουργικά κόστη. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται για την διερεύνηση της επίδρασης της οδηγικής συμπεριφοράς στην κατανάλωση καυσίμου και κατά συνέπεια στο περιβάλλον. Προκειμένου να εξετασθεί η επιρροή της οδηγικής συμπεριφοράς, διαμορφώθηκε ένας δείκτης ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος (eDrive) για κάθε εξεταζόμενη διαδρομή και στη συνέχεια μέσω των στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο 4^ο Κεφάλαιο (**Error! Reference source not found.**), υπολογίστηκε αναλυτικά ο βαθμός συσχέτισης του με την κατανάλωση καυσίμου.

Για τις ανάγκες των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο επίπεδο της έρευνας και την τελική διαμόρφωση του δείκτη eDrive, έγινε χρήση δεδομένων φυσικής οδήγησης πραγματικού χρόνου τα οποία συλλέχθηκαν μέσω της εφαρμογής έξυπνων κινητών τηλεφώνων Oseven. Επίσης, λόγω της έλλειψης δυνατότητας συλλογής των δεδομένων κατανάλωσης αυτόματα, οι οδηγοί κατέγραφαν χειροκίνητα την ένδειξη που εμφανιζόταν στο καντράν, μετά το τέλος της κάθε διαδρομής και αφού είχε προηγηθεί μηδενισμός στην αρχή της.

Η μεθοδολογική προσέγγιση η οποία ακολουθήθηκε ήταν χωρισμένη σε δύο διακριτά στάδια. Αρχικά υπολογίστηκε ο δείκτης eDrive ενώ στη συνέχεια εκτελέσθηκαν πειράματα για τη διερεύνηση της σχέσης του με την κατανάλωση σε επίπεδο συνολικών διαδρομών καθώς και σε επίπεδο συγκεκριμένης διαδρομής.

5.1 Βασικά συμπεράσματα ανάλυσης

Μετά την πραγματοποίηση του ελεγχόμενου αλλά και του διευρυμένου πειράματος από τους δύο χρήστες, προέκυψαν κάποια ιδιαίτερος χρήσιμα δεδομένα τα οποία αναλύθηκαν και τελικώς οδήγησαν σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης συμπεριφοράς ο οποίος επηρεάζεται από την οδηγική συμπεριφορά, τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τα γεωμετρικά στοιχεία της οδού, παρουσιάζει ένα μεγάλο εύρος τιμών. Σε επίπεδο διαδρομής, οι μεταβολές του δείχνουν να είναι ικανές να περιγράψουν ένα ικανοποιητικό ποσοστό των μεταβολών της κατανάλωσης καυσίμου.

Επιπρόσθετα, με την πλειοψηφία των ταξιδιών που πραγματοποιήθηκαν και από τους δύο χρήστες να λαμβάνουν χώρο σε αστικό περιβάλλον, αναδείχθηκε η πολύ μεγάλη επίδραση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για την προσομοίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών (συνολική διάρκεια στάσεων, συνολική διάρκεια επιτάχυνσης από στάση) στην διαμόρφωση της τιμής του δείκτη eDrive. Αντιθέτως σε ταξίδια που έλαβαν χώρα σε υπεραστικό περιβάλλον, παρατηρήθηκε η έντονη επιρροή της οδηγικής συμπεριφοράς του χρήστη δηλαδή η συνολική διάρκεια υπέρβασης του ορίου ταχύτητας και η συνολική διάρκεια επιταχύνσεων μεγαλύτερων από το οικολογικό όριο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις σπανιότερες στάσεις που απαιτούνται σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας αλλά και στη δυνατότητα κίνησης με μεγαλύτερες ταχύτητες που προσφέρουν οι δρόμοι αυτού του τύπου.

Με την επιρροή της κλίσης να λαμβάνεται πλέον υπόψιν στην προσαρμογή του νέου δείκτη διαπιστώθηκε ότι ο συγκεκριμένος παράγοντας ασκεί ιδιαίτερος υψηλή επιρροή στον δείκτη οικολογικής οδήγησης και κατά συνέπεια και την κατανάλωση καυσίμου, ανεξαρτήτως του τύπου του δρόμου στον οποίο κινείται ο χρήστης. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι ενώ ο οδηγός μπορεί να ασκήσει απόλυτη (εξαιρουμένων ειδικών καταστάσεων) επιρροή στον $eDrive_{behavior}$ αφομοιώνοντας ένα πιο συντηρητικό προφίλ οδήγησης και εν μέρει να επηρεάσει ως ένα βαθμό τον $eDrive_{traffic}$ επιλέγοντας λιγότερο πολυσύχναστους δρόμους, είναι σχεδόν αδύνατο να διαχειριστεί και να μειώσει κατά βούληση την επιρροή του $eDrive_{gradient}$. Αυτό φυσικά, ισχύει με τα υπάρχοντα δεδομένα στον τομέα της τεχνολογίας αλλά δεν είναι απίθανο στα επόμενα χρόνια να υπάρξει πρόοδος και στο κομμάτι αυτό.

Πραγματοποιώντας μία ανάλυση στα αποτελέσματα του ελεγχόμενου πειράματος - ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του οποίου είναι η «αγνόηση» της επιρροής της κλίσης- διαπιστώνεται ότι επικρατεί αντιστρόφως ανάλογη σχέση του δείκτη eDrive με αυτόν της κατανάλωσης καυσίμου, όπως φυσικά αναμενόταν. Για τον χρήστη, αυτό σημαίνει ότι εάν εφαρμόζει μία ομαλή οδηγική συμπεριφορά, δηλαδή δεν ξεπερνά το όριο ταχύτητας και επιταχύνει με ομαλό τρόπο, μη υπερβαίνοντας το οικολογικό όριο και εφόσον οι συνθήκες κυκλοφορίας είναι ήπιες, τότε οι τιμές του δείκτη eDrive θα είναι μεγαλύτερες και αντιστοίχως οι τιμές της μέσης κατανάλωσης καυσίμου χαμηλότερες. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η σχέση

(2), που ήταν αποτέλεσμα του ελεγχόμενου πειράματος, ανταποκρίνεται στη συγκεκριμένη διαδρομή και για το συγκεκριμένο όχημα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια για άλλα σενάρια διαδρομών και οχημάτων. Σε θεωρητικό επίπεδο θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι κάθε διαδρομή θα περιγράφεται από μία σχέση ανάλογης μορφής δηλαδή με αρνητική κλίση a και θετικό b υπό την προϋπόθεση οι τιμές των a , b να είναι διαφορετικές ανά περίπτωση. Σε ότι αφορά στο ελεγχόμενο πείραμα, παρατηρήθηκε ότι η διαδρομή που εκτελέστηκε παρουσίασε σε γενικές γραμμές πολύ χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι παράμετροι που σχετίζονται με την οδηγική συμπεριφορά να ασκούν τον μεγαλύτερο βαθμό επιρροής στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και ο δείκτης $eDrive_{behavior}$ με την κατανάλωση καυσίμου να εμφανίζουν έντονη συσχέτιση.

Όπως διαπιστώθηκε από τις στατιστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν ο δείκτης $eDrive$ όπως αρχικά είχε οριστεί (χωρίς τον παράγοντα κλίση) δεν ήταν ικανός να περιγράψει τις μεταβολές της κατανάλωσης καυσίμου με συνέπεια για μία τυχαία διαδρομή. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο έγινε η τροποποίηση του, προκειμένου να γίνει μία προσπάθεια δημιουργίας ενός μοντέλου Γραμμικής Παλινδρόμησης, το οποίο θα μπορεί να εφαρμόζεται καθολικά, για οποιαδήποτε διαδρομή και για οποιοδήποτε όχημα. Μέσα από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν και τα διάφορα μοντέλα που δοκιμάστηκαν, διαπιστώθηκε ότι προκειμένου να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά επίπεδα αξιοπιστίας του μοντέλου, θα πρέπει να προστεθούν περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές. Έτσι, σταδιακά προστέθηκαν κάποιες μεταβλητές που όπως αποδείχτηκε ασκούσαν σημαντική επιρροή στην διαμόρφωση της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου και αυτές οι μεταβλητές είναι:

- Driver
- Ποσοστό κίνησης σε εθνική οδό
- Ποσοστό κίνησης σε αστικό δρόμο
- Ποσοστό κίνησης σε επαρχιακή οδό
- Κωδικοποίηση βάσει διάρκειας διαδρομής

Η μεταβλητή $driver$ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η πιο σημαντική καθώς διαχωρίζει τα δεδομένα βάσει του οδηγού και κατά συνέπεια και του οχήματος. Αυτό είναι πολύ βασικό καθώς, τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του διευρυμένου πειράματος είχαν διαφορετικές μέσες καταναλώσεις κατασκευαστή, με αποτέλεσμα ο μη διαχωρισμός των δεδομένων να δημιουργεί «σύγχυση» στο μοντέλο. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη μεταβλητή δε θα είχε καμία χρησιμότητα στη διαμόρφωση του μοντέλου του ελεγχόμενου πειράματος από τη στιγμή που τα δεδομένα συλλέχθηκαν από ένα οδηγό – όχημα.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τρεις μεταβλητές όμοιας φιλοσοφίας, που αποτύπωναν το ποσοστό κίνησης του οχήματος σε κάθε διαφορετικό τύπο δρόμου. Η σημασία των εν λόγω μεταβλητών, έγκειται στο γεγονός ότι η κατανάλωση καυσίμου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό

από την μέση ταχύτητα του οχήματος (επηρεάζει την σχέση κιβωτίου) και τη συνολική διάρκεια στάσεων. Πιο συγκεκριμένα, αναμένονται μεγαλύτερες μέσες ταχύτητες σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, ενώ αντιθέτως αναμένονται περισσότερες στάσεις σε αστικούς δρόμους, λόγω κυκλοφοριακού φόρτου. Επίσης οι μεταβλητές αυτές, δε θα μπορούσαν να έχουν λόγο ύπαρξης στο μοντέλου του πρώτου πειράματος καθώς, όλες οι επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν στον ίδιο ακριβώς τύπο δρόμου.

Η τελευταία μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε, πραγματοποιεί μία κατηγοριοποίηση των διαδρομών βάσει της συνολικής τους διάρκειας. Στόχος της παρούσας μεταβλητής είναι ο έλεγχος του βαθμού επιρροής πιθανών παραβάσεων που πραγματοποιήθηκαν σε μία εξεταζόμενη διαδρομή, σε σχέση με τη διάρκεια της. Αυτό σημαίνει ότι ένα φαινόμενο που θα παρουσιαστεί με όμοιο τρόπο σε δύο περιπτώσεις θα έχει μεγαλύτερη επιρροή στην τιμή της κατανάλωσης καυσίμου της μικρότερης σε διάρκεια διαδρομής. Όπως ακριβώς ισχύει και για τις προηγούμενες μεταβλητές έτσι και η συγκεκριμένη δε θα μπορούσε να βρει εφαρμογή στο μοντέλο του ελεγχόμενου πειράματος, διότι η διάρκεια της κάθε διαδρομής στο σύνολο των επαναλήψεων διαφοροποιούταν ελάχιστα, με αποτέλεσμα όλες οι διαδρομές να ανήκουν στην ίδια τάξη μεγέθους.

Τέλος, έπειτα από εκ νέου δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η διάσπαση του eDrive σε τρία μέρη ανάλογα με την παράβαση, δηλαδή $eDrive_{behavior}$ $eDrive_{traffic}$ $eDrive_{gradient}$, λειτούργησε ευνοϊκότερα ως προς τη διαμόρφωση του τελικού μοντέλου πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης και για τον λόγο τούτο, οι τρεις αυτές νέες μεταβλητές αντικατέστησαν τελικώς τον γενικό δείκτη eDrive. Συμπερασματικά λοιπόν, κάνοντας την τελική αξιολόγηση, σε ότι αφορά στη συσχέτιση της κατανάλωσης καυσίμου με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που προαναφέρθηκαν τα αποτελέσματα είναι ιδιαιτέρως ενθαρρυντικά και πολλά υποσχόμενα, για ακόμα υψηλότερους στόχους.

5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Παρά το γεγονός ότι επιτεύχθηκαν απροσδόκητα υψηλά επίπεδα συσχετίσεων, το θέμα της οικολογικής οδήγησης και της ποσοτικοποίησης της, χρήζει περισσότερης έρευνας και ανάλυσης, καθώς υπάρχει χώρος για βελτίωση και παρακάτω θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποιες ιδέες, που θα μπορούσαν δυνητικά να γίνουν πράξη και να αποφέρουν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα από τα υπάρχοντα.

Αρχικά, ιδιαίτερα χρήσιμη θα μπορούσε να αποδειχτεί η διερεύνηση της παραμέτρου `sum_speeding`, δηλαδή του χρόνου υπέρβασης του ορίου ταχύτητας, η οποία αποτελεί βασικό έλεγχο στο προφίλ ταχυτήτων ενός ταξιδιού. Στο μοντέλο που δημιουργήθηκε, λαμβάνεται υπόψιν η χρονική στιγμή κατά την οποία η ταχύτητα του οχήματος είναι μεγαλύτερη από αυτήν που ορίζει ο ΚΟΚ σε μία συγκεκριμένη οδό, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψιν το πόσο μεγαλύτερη είναι. Αναμένεται για παράδειγμα, σε μία οδό με όριο ταχύτητας περί τα 60 km/h, μία υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κατά 30 km/h να έχει εντονότερη επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου απ' ό,τι μία υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κατά 10 km/h. Αυτό συμβαίνει διότι προκειμένου ένα όχημα να φτάσει την ταχύτητα των 90 km/h, ακόμα και αν επιταχύνει ομαλά, καταναλώνει περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι αν έφθανε την ταχύτητα των 70 km/h.

Θα μπορούσε ακόμα να εξετασθεί η δυνατότητα προσάρτησης του μοντέλου που δημιουργήθηκε σε κάποιο ήδη υπάρχον. Για παράδειγμα η προσθήκη του σε κάποιον πλοηγό, θα μπορούσε να προσφέρει νέες δυνατότητες, όπως η εισαγωγή ενός κριτηρίου που θα σχετίζεται με την οικονομική οδήγηση και θα προτείνει την πιο οικονομικά συμφέρουσα διαδρομή, σε αντίθεση με τα ήδη υπάρχοντα κριτήρια που σχετίζονται με τη διάρκεια της διαδρομής και τα συνολικά διανυόμενα χιλιόμετρα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών επιζήμιων αερίων.

Επιπλέον, όπως είδαμε η προσθήκη νέων μεταβλητών, βελτίωσε αισθητά τα επίπεδα αξιοπιστίας του μοντέλου, επομένως δε θα μπορούσε να απορριφθεί η πιθανότητα ύπαρξης και άλλων μεταβλητών με ανάλογη συνεισφορά. Για παράδειγμα στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν δεν ελήφθη υπόψιν ο παράγοντας της θερμοκρασίας, ή ο παράγοντας των καιρικών συνθηκών. Στην προκειμένη περίπτωση, λόγω του ότι οι μετρήσεις έγιναν στην Ελλάδα όπου σπανίως επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα, πιθανότατα η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής να ήταν αμελητέα αλλά αυτό δεν ισχύει καθολικά.

Επιπρόσθετα, στις παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκε από το μελετητή συντελεστής ίσος με τη μονάδα, δηλαδή αντιμετωπίστηκαν όλες ως ισοβαρείς. Στα πλαίσια κάποιας άλλης έρευνας είναι πιθανόν να απαιτείται η επιλογή συντελεστών βαρύτητας, οι οποίοι να προκύψουν είτε από άλλη έρευνα με τα ίδια δεδομένα είτε από τα ευρήματα της

διεθνούς βιβλιογραφίας και να οδηγήσει στη δημιουργία ενός μοντέλου αντιπροσωπευτικότερου του υπάρχοντος.

Πέρα από τις προτάσεις για τη βελτίωση και τη διεύρυνση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, ανακύπτουν νέα θέματα τα οποία θα μπορούσαν να διερευνηθούν στα πλαίσια άλλων εργασιών. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω :

- Διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ του δείκτη eDrive και των εκπομπών ρύπων σε επίπεδο διαδρομής, χρήστη και διαφορετικών χρηστών.
- Διερεύνηση τρόπων βελτίωσης της οικολογικής οδήγησης όπως αυτή ορίστηκε βάσει του προτύπου (π.χ. εισαγωγή κινήτρων με τη μορφή έκπτωσης στα κυκλοφοριακά τέλη ανάλογα με την οικολογική ή μη συμπεριφορά του οδηγού) και εξεύρεση αποτελεσματικού τρόπου ενημέρωσης των χρηστών για τις επιδόσεις τους στην οικολογική οδήγηση κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός ταξιδιού με σκοπό την άμεση βελτίωση τους.
- Διερεύνηση και ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της οικολογικής οδήγησης στους συνολικούς χρόνους μετακίνησης .

6. Βιβλιογραφία

- [1] The World Bank. (2014). CO₂ emissions from transport. Ανακτήθηκε από <https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.TRAN.ZS>
- [2] United States Environmental Protection Agency. (2016). Sources of Greenhouse Gas Emissions. Ανακτήθηκε από <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- [3] IPCC (2007). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Ανακτήθηκε από <http://www.slvwd.com/agendas/Full/2007/06-07-07/Item%2010b.pdf>
- [4] Suzana Kahn Ribeiro, Shigeki Kobayashi. (2007). Transport and its infrastructure. In Climate Change 2007: Mitigation
- [5] U.S. Energy Information Administration (2016). Electricity Explained – Basics Ανακτήθηκε από https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=electricity_in_the_united_states
- [6] European automobile manufacturers association. (2018). Fuel types of new cars: diesel - 17%; petrol +14.6%; electric +47% in first quarter of 2018 Ανακτήθηκε από <https://www.acea.be/press-releases/article/fuel-types-of-new-cars-diesel-17-petrol-14.6-electric-47-in-first-quarter-o>
- [7] Eco driving. (2015). Οδήγησε Οικολογικά Εξοικονόμησε Χρήματα Σώσε το περιβάλλον Ανακτήθηκε από <http://www.ecodriving.gr/odigise-oikologika/>
- [8] Sustainable America. (2012). What is ecodriving? Ανακτήθηκε από <https://sustainableamerica.org/blog/what-is-ecodriving/>
- [9] Together on the move. (2011). Benefits of Eco-driving Ανακτήθηκε από http://www.together-eu.org/docs/102/TOGETHER_Eco-driving_5_Handout_15.pdf
- [10] Eco-driving Uncovered. (2010). The benefits and challenges of eco-driving.
- [11] Energy Efficient Indicators in Europe. Ανακτήθηκε από www.odyssee-indicators.org

- [12] Europe's Energy Portal. (2011). Fuel prices. Ανακτήθηκε από <https://www.energy.eu>
- [13] Vierboom, Carl Härten, Ingo. (2003). Drive and save with security. Drive safely, economically and environmentally friendly.
- [14] IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [15] Together on the move. (2011). Benefits of Eco-driving Ανακτήθηκε από http://www.together-eu.org/docs/102/TOGETHER_Eco-driving_5_Handout_15.pdf
- [16] Daren C. Brabham. (2008). Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies. Crowdsourcing as a Model for Problem Solving: An Introduction and Cases
- [17] Jeff Howe, Mark Robinson. (2006). Crowdsourcing why the power of the crowd is driving the future of business. Crowdsourcing: A Definition.
- [18] Lakhani, K.R., Jeppesen, L.B., Lohse, P.A. and Panetta, J.A. (2007) The Value of Openness in Scientific Problem Solving (Harvard Business School Working Paper No. 07-050), URL: <http://www.hbs.edu/research/pdf/07-050.pdf>
- [19] Levy, S. (1984) Hackers: Heroes of the Computer Revolution. Garden City, NY: Doubleday.
- [20] Ghosh, R.A. (1998) 'FM Interview with Linus Torvalds: What Motivates Free Software Developers?' First Monday 3(3), URL: http://www.firstmonday.org/issues/issue3_3/torvalds/index.html
- [21] Raymond, E.S. (2003) The Art of UNIX Programming. Boston, MA: Addison Wesley.
- [22] Daren C. Brabham. (2011). THE MYTH OF AMATEUR CROWDS. A critical discourse analysis of crowdsourcing coverage
- [23] Raghu K. Ganti, Fan Ye, Hui Lei. (2011). Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges. IBM T. J. Watson Research Center, Hawthorne, NY

- [24] Jiafu Wan, Jianqi Liu, Zehui Shao, Athanasios V. Vasilakos, Muhammad Imran, Keliang Zhou. (2016). Mobile Crowd Sensing for Traffic Prediction in Internet of Vehicles
- [25] Zhao Y. (2000) Mobile phone location determination and its impact on intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* (Volume: 1, Issue: 1, Mar 2000)
- [26] Toledo T., Musicant O., Lotan T. (2008) In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior. *Transportation Research Part C* 16 (2008) 320–331
- [27] Calabrese F. (2011) Real-Time Urban Monitoring Using Cell Phones: A Case Study in Rome. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, VOL. 12, NO. 1, MARCH 2011
- [28] Lane N., Miluzzo E., Lu H., Peebles D., Choudhury T., Campbell A.T. (2010) A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications Magazine* (Volume: 48, Issue: 9, Sept. 2010)
- [29] Handel P., Skog I., Wahlstrom J., Bonawiede F., Welch R., Ohlsson J., Ohlsson M. (2014) Insurance Telematics: Opportunities and Challenges with the Smartphone Solution. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* (Volume: 6, Issue: 4, winter 2014)
- [30] Johannes Paefgen, Flavius Kehr, Yudan Zhai, Florian Michahelles. (2012). Driving behavior analysis with smartphones: Insights from a controlled field study
- [31] Vlahogianni E. & Barbounakis E. (2017) Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 79, 196-206
- [32] Meseguer Anastasio, J.E.; Tavares De Araujo Cesariny Calafate, C.M.; Cano Escribá, J.C.; Manzoni, P. (2015). Assessing the impact of driving behavior on instantaneous fuel consumption. 12th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2015). IEEE. doi:10.1109/CCNC.2015.7158016.

[33] Meseguer J. E., Toh C.K., Calafate C.T., Cano J. C., Manzoni P. (2017). DrivingStyles: A mobile platform for driving styles and fuel consumption characterization. *Journal of Communications and networks*, 19(2), 162-168

[34] Eva Ericsson, Hanna Larsson, KarinBrundell-Freij. (2006). Transportation Research Part C: Emerging Technologies Volume 14, Issue 6, December 2006, Pages 369-383. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Optimizing route choice for lowest fuel consumption – Potential effects of a new driver support tool

[35] Johannes Tulusan, Thorsten Staake, Elgar Fleisch. (2012). Providing eco-driving feedback to corporate car drivers: what impact does a smartphone application have on their fuel efficiency?

[36] Sanna M.Pampel, Samantha L.Jamson, Daryl L.Hibberd, Yvonne Barnard. (2015). Transportation Research Part C: Emerging Technologies Volume 58, Part D, September 2015, Pages 669-680 Transportation Research Part C: Emerging Technologies. How I reduce fuel consumption: An experimental study on mental models of eco-driving

[37] KarinBrundell-Freij, Eva Ericsson. (2005). Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 10, Issue 3, May 2005, Pages 213-229 Transportation Research Part D: Transport and Environment Influence of street characteristics, driver category and car performance on urban driving patterns

[38] Alam Md., S. McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & Limitations. *Transport Policy*, 35, 42-49

[39] Xia H., Boriboonsomsin, K. and Barth, M. (2011). Indirect network-wide energy/emissions benefits from dynamic eco-driving on signalized corridors. In: 14th International IEEE Conference, ISSN: 2153-0009.

[40] Qian G., Chung, E. (2011). Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation. In: Paper presented at the Australasian Transport Research Forum, 28–30 September 2011, Adelaide

- [41] N. Haworth, M. Symmons. (2001). The Relationship between Fuel Economy and Safety Outcomes Australia Accident Research Centre, Monash University, Victoria (2001), pp. 1-67
- [42] SenterNovem, (2005). Eco-Driving: the smart driving style. Διαθέσιμο στο: <http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/ecodriving.pdf> (accessed 18.03.14).
- [43] Cristea, T.M., Paran, F., Delhomme, P., (2012). The role of motivations for eco-driving and social norms on behavioural Intentions regarding speed limits and time headway. World Academy of Science, Engineering and Technology, 66.
- [44] R. Ando, Y. Nishihori. (2011). How does driving behavior change when following an eco-driving car? Proc. Soc. Behav. Sci., 20 (2011), pp. 577-587
- [45] B.S. Liu, Y.H. Lee. (2006). In-vehicle workload assessment: effects of traffic situations and cellular telephone use. J. Saf. Res., 37 (2006), pp. 99-105
- [46] A. May, T. Ross, Z. Osman. (2005). The design of next generation in-vehicle navigation systems for the older driver. Interact. Comput., 17 (2005), pp. 643-659
- [47] H. Rouzikhah, M. King, A. Rakotonirainy. (2013). Examining the effects of an eco-driving message on driver distraction. Accid. Anal. Prev., 50 (2013), pp. 975-983
- [48] Austin Louis Oehlerking. (2011). StreetSmart: Modeling Vehicle Fuel Consumption with Mobile Phone Sensor Data through a Participatory Sensing Framework
- [49] Kyoungcho Ahn, Hesham Rakha, Antonio Trani, and Michel Van Aerde. (2002). Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels.