



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική εργασία

Ποσοτικοποίηση οικολογικής οδήγησης με πληθοποριστικά δεδομένα



Μαυρογιάννης Ιωάννης

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επίκ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας ολοκληρώνεται παράλληλα και ο κύκλος των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την ευκαιρία που μου δίνεται θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της αλλά και όλους όσους συντρόφευσαν και στήριξαν τη φοιτητική μου πορεία.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα Καθηγήτρια μου, κυρία Ελένη Βλαχογιάννη, για το αμέριστο ενδιαφέρον της και την όρεξη που επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της διερεύνησης του αντικειμένου της εργασίας. Ιδιαίτερα ωστόσο, θα ήθελα να την ευχαριστήσω γιατί πέρα από τη βοήθεια και τις γνώσεις τις οποίες μου παρείχε, συνέβαλε μέσω των συμβουλών της και των συζητήσεων μας στην εξέλιξη μου ως φοιτητή αλλά και ως άνθρωπο.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα κύριο Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη για την καθοριστική συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας και για την πολύτιμη υποστήριξή του στο προγραμματιστικό κομμάτι της. Ακόμα, τον ευχαριστώ διότι η πόρτα του ήταν πάντοτε ανοιχτή για μένα για ερωτήσεις κάθε φορά που χρειάστηκε και η επικοινωνία μας έκανε την ενασχόληση μου με την εργασία ακόμα πιο ενδιαφέρουσα και γεμάτη προκλήσεις.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στα κοντινά μου άτομα και στους φίλους μου, νέους και παλιούς, για την υποστήριξη τους και για την επαφή μαζί τους. Συνέβαλαν καθοριστικά στη βελτίωση μου ως άτομο και στο να καταγραφεί στη μνήμη μου η κοινή πορεία μας στο ΕΜΠ ως ένα από τα πιο όμορφα ταξίδια της ζωής μου.

Φυσικά, τίποτα από αυτά δε θα ήταν εφικτό χωρίς την πολύτιμη συμπαράσταση των γονιών μου, Χάρη και Φωτεινής, και του αδερφού μου Αναστάση. Τους ευχαριστώ ολόψυχα για όλα αυτά που μου παρείχαν, ηθικά και υλικά.

Τίτλος: Ποσοτικοποίηση οικολογικής οδήγησης με πληθοποριστικά δεδομένα

Συγγραφέας Διπλωματικής Εργασίας: Ιωάννης Μαυρογιάννης
Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επικ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Σύνοψη

Η σύγχρονη πραγματικότητα της ραγδαίας ανάπτυξης των πόλεων και της συνεπαγόμενης αύξησης των Ι.Χ. αυτοκινήτων σε συνδυασμό με τις ενδείξεις επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση και την εφαρμογή οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμων πρακτικών στον τομέα των μεταφορών. Προς αυτήν την κατεύθυνση, πολλοί ερευνητές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην οικολογική οδήγηση, για την οποία έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εισαγωγή ενός δείκτη (eDrive) ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος της οδήγησης και η διερεύνηση της σχέσης του με την κατανάλωση καυσίμου. Για τον προσδιορισμό του δείκτη eDrive χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πραγματικού χρόνου τα οποία περιγράφουν την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη, αλλά και τις κυκλοφοριακές συνθήκες και συλλέγονται μέσω εφαρμογής κινητού τηλεφώνου. Για τη διερεύνηση της σχέσης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου διενεργήθηκαν δύο πειράματα, ένα διευρυμένο το οποίο εξέταζε το θέμα σε επίπεδο συνολικών ταξιδιών ενός χρήστη και ένα ελεγχόμενο το οποίο εξέταζε το θέμα σε επίπεδο διαδρομής. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι σε επίπεδο διαδρομής υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου και ότι η επιρροή της οδηγικής συμπεριφοράς σε αυτήν, είναι σημαντική.

Λέξεις κλειδιά : οικολογική οδήγηση, οδηγική συμπεριφορά, κυκλοφοριακές συνθήκες, κατανάλωση καυσίμου

Title: Quantification of eco-driving using crowdsourcing data

Thesis author: Ioannis Mavrogiannis

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

Abstract

The increased usage of private vehicles resulting from the modern reality of rapidly developing cities and the indications of the deterioration of the greenhouse effect make the investigation and the application of economically and environmentally sustainable solutions necessary. Towards this direction, many researchers have turned their attention to eco-driving. Recent findings indicate that eco-driving has a significant contribution in the reduction of fuel consumption and carbon dioxide emissions. The aim of this diploma thesis is to introduce a quantification metric of the ecological driving footprint and to investigate its relationship with fuel consumption. This index is based on real-time data collected from smartphone sensors. The index is estimated using those data that describe the driving behavior of the user and the traffic conditions during the trip. To investigate the relationship between eDrive and fuel consumption, two experiments were conducted, one expanded, which examined the total trips of a specific user and one supervised, which examined the relationship on a specific route performed by a user. Findings indicate that there is a high correlation of the eDrive index with fuel consumption when examining a specific route, as well as the importance of the influence of driving behavior to fuel consumption.

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

Περίληψη

Η αυξημένη αστικοποίηση και η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τη βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη των Ασιατικών χωρών είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση των οχημάτων Ι.Χ. σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι άμεσες συνέπειες αυτού του φαινομένου είναι πρώτον η επιδείνωση των περιβαλλοντικών φαινομένων που σχετίζονται με τις εκπομπές αέριων ρύπων και δεύτερον η υπερκατανάλωση των γήινων πόρων, οι οποίοι είναι διαρκώς μειούμενοι. Οι ανάγκες για βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης και για στροφή σε βιώσιμες πρακτικές είναι ιδιαίτερως έντονες στην εποχή μας. Πολλοί ερευνητές προτείνουν ως πιθανή λύση για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών και των οικονομικών προβλημάτων στον τομέα των μεταφορών, την οικολογική οδήγηση.

Η οικολογική οδήγηση αποτελείται από κάποιες βασικές αρχές οι οποίες σχετίζονται με την οδηγική συμπεριφορά και με τη συντήρηση του αυτοκινήτου. Από τις πιο βασικές αρχές της οικολογικής οδήγησης είναι η υιοθέτηση μιας πιο μετριοπαθούς οδηγικής συμπεριφοράς και η αποφυγή των απότομων και συχνών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων. Η βιβλιογραφία ανέδειξε ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και παράλληλα σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ωστόσο υπάρχουν ανεξερεύνητα πεδία γύρω από αυτό το ζήτημα. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εισαγωγή ενός δείκτη (eDrive) ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος της οδήγησης και η διερεύνηση της συσχέτισης των μεταβολών του με τις μεταβολές της κατανάλωσης καυσίμου. Ο δείκτης αυτός προσδιορίζεται για κάθε ταξίδι με βάση την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη και τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

Για τη συλλογή δεδομένων πραγματικού χρόνου χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones) Oseven. Η εφαρμογή εκμεταλλευόμενη το

GPS, το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο του κινητού καταγράφει δεδομένα φυσικής οδήγησης του χρήστη. Τα μεγέθη που επιλέχθηκαν για την περιγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς σε σχέση με την οικολογική οδήγηση ήταν η συνολική χρονική διάρκεια υπέρβασης του ορίου ταχύτητας και η συνολική διάρκεια κατά την οποία το όχημα είχε επιτάχυνση μεγαλύτερη των 1.09 m/s^2 , τιμή η οποία έχει προκύψει από προηγούμενες έρευνες κατά την εκπόνηση διπλωματικών εργασιών. Αντίστοιχα, τα μεγέθη που επιλέχθηκαν για την περιγραφή των κυκλοφοριακών συνθηκών ήταν η συνολική χρονική διάρκεια των στάσεων και η συνολική χρονική διάρκεια των επιταχύνσεων από στάση.

Ο δείκτης eDrive υπολογίζεται από την σταδιακή αφαίρεση των παραπάνω χρόνων από το συνολικό χρόνο ταξιδιού προς το συνολικό χρόνο ταξιδιού, κι επομένως λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Από τη στατιστική ανάλυση του δείκτη για τρεις διαφορετικούς χρήστες, οι οποίοι ναι μεν ήξεραν ότι τα ταξίδια τους καταγράφονται αλλά 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.

Για τη διερεύνηση της σχέσης του δείκτη με την κατανάλωση καυσίμου διεξήχθησαν δύο πειράματα. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη διεξαγωγή της εν λόγω έρευνας ήταν η παροχή πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης για χρήστη της εφαρμογής Oseven. Για αυτόν τον σκοπό, αρχικά, χρησιμοποιήθηκε συσκευή συνδεδεμένη στην θύρα On-Board Diagnostics (OBD) του οχήματος. Ωστόσο, η ανίχνευση ενός τεχνικού προβλήματος της συσκευής στην ορθή καταγραφή των δεδομένων, οδήγησε στην υιοθέτηση της χειροκίνητης καταγραφής της μέσης κατανάλωσης καυσίμου, όπως

αυτή εμφανιζόταν στην κεντρική κονσόλα του οχήματος στο τέλος του ταξιδιού, αφού είχε προηγηθεί μηδενισμός στην αρχή του.

Κατά το διευρυμένο πείραμα, καταγράφηκαν δεδομένα όλων των διαδρομών ενός χρήστη. Η επεξεργασία των δεδομένων κατέδειξε ότι δεν υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση των δύο μεγεθών γεγονός που αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στη διαφορετικότητα της γεωμετρίας, και συγκεκριμένα της κλίσης, του οδικού άξονα των διαφορετικών διαδρομών. Προς επίλυση αυτού του θέματος, διεξήχθη και ένα ελεγχόμενο πείραμα το οποίο αποτελούταν από μετρήσεις μίας επιλεγμένης διαδρομής. Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι σε επίπεδο διαδρομής υπάρχει άμεση συσχέτιση του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου, η οποία επηρεάζεται σημαντικά από την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη.

Αντικείμενο μελλοντικών ερευνών, ως προέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε να αποτελέσει η εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του οδικού άξονα του εκάστοτε ταξιδιού στο δείκτη eDrive και η διερεύνηση της σχέσης του με την κατανάλωση καυσίμου στο σύνολο των διαδρομών. Επιπλέον ενδιαφέρον μπορεί να παρουσιάσει και η εισαγωγή συντελεστών βαρύτητας στις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν από το μελετητή καθώς και η διερεύνηση της παραμέτρου του χρονικού διαστήματος υπέρβασης του ορίου ταχύτητας γιατί στις περισσότερες περιπτώσεις, όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα του οχήματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κατανάλωση καυσίμου.

Table of Contents

1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Οι μεταφορές στη σύγχρονη εποχή και η επίδρασή τους στο περιβάλλον	1
1.2. Οι βασικές αρχές της οικολογικής οδήγησης	4
1.3. Οφέλη οικολογικής οδήγησης.....	5
1.4. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	7
1.5. Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	8
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	10
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2. Εναλλακτικά Μέσα Συλλογής Δεδομένων	10
2.3 Κατανάλωση Καυσίμου κατά την Οδήγηση.....	13
2.3.1 Παράγοντες Επιρροής Κατανάλωσης Καυσίμου	13
2.3.2 Οδηγική Συμπεριφορά και Κατανάλωση καυσίμου	16
2.3.3 Αμφισβήτηση Αποτελεσματικότητας Οικολογικής Οδήγησης.....	18
2.4 Μοντέλα Εκτίμησης Κατανάλωσης Καυσίμου	19
2.5 Μοντέλα Οικολογικής Οδήγησης	20
2.6. Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης.....	26
3. Μεθοδολογική προσέγγιση	28
3.1. Μεθοδολογία Ανάλυσης.....	28
3.2 Δείκτης Οικολογικού Αποτυπώματος κατά την Οδήγηση.....	29
3.2. Προδιαγραφές Πειράματος και Περιορισμοί	31
3.2.1 Καταγραφή Δεδομένων	31
3.2.2 Χαρακτηριστικά οχήματος	33

3.2.3 Διεξαγωγή Πειραμάτων.....	34
3.2.3 Επιλογή Διαδρομής.....	34
3.4 Θεωρητικό Υπόβαθρο	37
3.4.1 Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης	37
3.4.2 Αξιολόγηση Μοντέλου Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	38
4. Επεξεργασία και αποτελέσματα	40
4.1. Εισαγωγή.....	40
4.2 Διαθέσιμα Δεδομένα και Περιορισμοί.....	40
4.3 Υπολογισμός και Ανάλυση Δείκτη eDrive	42
4.3.1 Στατιστική ανάλυση δείκτη eDrive και σύγκριση μεταξύ 3 χρηστών	45
4.3.2. Διερεύνηση επιρροής παραμέτρων	47
4.4. Διερεύνηση σχέσης Οικολογικής Οδήγησης με Κατανάλωση Καυσίμου	50
4.4.1. Αποτελέσματα διευρυμένου πειράματος.....	50
4.4.2. Αποτελέσματα ελεγχόμενου πειράματος	53
5. Συμπεράσματα.....	58
5.1 Εισαγωγή.....	58
5.2. Βασικά συμπεράσματα ανάλυσης.....	59
5.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	62
Βιβλιογραφία.....	65

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Σύνοψη επιρροής όλων των παραγόντων στην κατανάλωση καυσίμου. Πηγή: Zhou et al.[21]	15
Πίνακας 2: Παράγοντες επιρροής που λαμβάνονται υπόψιν από τα μοντέλα. Πηγή: [21].....	20
Πίνακας 3: Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του eDrive για συνεχόμενες διαδρομές τυχαίου χρήστη	44
Πίνακας 4: Αλγόριθμος υπολογισμού eDrive για συνεχόμενες διαδρομές τυχαίου χρήστη.....	44
Πίνακας 5: Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του eDrive για μία τυπική διαδρομή τυχαίου χρήστη	45
Πίνακας 6: Αλγόριθμος υπολογισμού eDrive για μία τυπική διαδρομή τυχαίου χρήστη	45
Πίνακας 7: Στατιστικά χαρακτηριστικά δείκτη eDrive	47
Πίνακας 8: Επιρροή παραμέτρων στη διαμόρφωση της τιμής του eDrive	48
Πίνακας 9: Ενδεικτικά δεδομένα όπως προέκυψαν από τη διεξαγωγή του διευρυμένου πειράματος	51
Πίνακας 10: Δεδομένα όπως προέκυψαν από τη διεξαγωγή ελεγχόμενου πειράματος	54
Πίνακας 11: Στατιστικών χαρακτηριστικών ανάλυσης παλινδρόμησης.....	56
Πίνακας 12: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA).....	56

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Μεταβολές στη χρήση του Ι.Χ. αυτοκινήτου από το 1990 έως το 2009 (Πηγή: [3]).	2
Διάγραμμα 2: Απεικόνιση των παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμων. Πηγή: [21].	15
Διάγραμμα 3: Κατανάλωση και CO ₂ σε σχέση με την οδηγική συμπεριφορά. Πηγή: [28]	17
Διάγραμμα 4: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της συμπεριφοράς του οδηγού. Πηγή: [28]	18
Διάγραμμα 5: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου των Ciarla et al.[33].	22

Διάγραμμα 6: Σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου κατά την κανονική οδήγηση και κατά το eco-driving. Πηγή: [34]	24
Διάγραμμα 7: Σύγκριση εκπομπών CO ₂ κατά την κανονική οδήγηση και κατά το eco-driving. Πηγή: [34].....	25
Διάγραμμα 8: Ροή εργασιών Διπλωματικής Εργασίας.....	28
Διάγραμμα 9: Διαδικασία υπολογισμού δείκτη eDrive.....	29
Διάγραμμα 10: Διασπορά τιμών eDrive 100 ταξιδιών 3 χρηστών.....	46
Διάγραμμα 11: Απεικόνιση επιρροής παραμέτρων στον δείκτη οικολογικής οδήγησης.	48
Διάγραμμα 12: Διασπορά των δεδομένων που αναλύθηκαν κατά το διευρυμένο πείραμα	51
Διάγραμμα 13: Διασπορά ενδεικτικών δεδομένων διευρυμένου πειράματος	52
Διάγραμμα 14: Διασπορά δεδομένων ελεγχόμενου πειράματος	55
Διάγραμμα 15: Διάγραμμα Κανονικής Πιθανότητας	57

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Αναπαράσταση διαδικασίας συλλογής δεδομένων μέσω smartphone και OBD.	21
Εικόνα 2: Κεντρική κονσόλα του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των περιμάτων	33
Εικόνα 3: Απεικόνιση της διαδρομής που εκτελέστηκε κατά το ελεγχόμενο πείραμα.....	36

1. Εισαγωγή

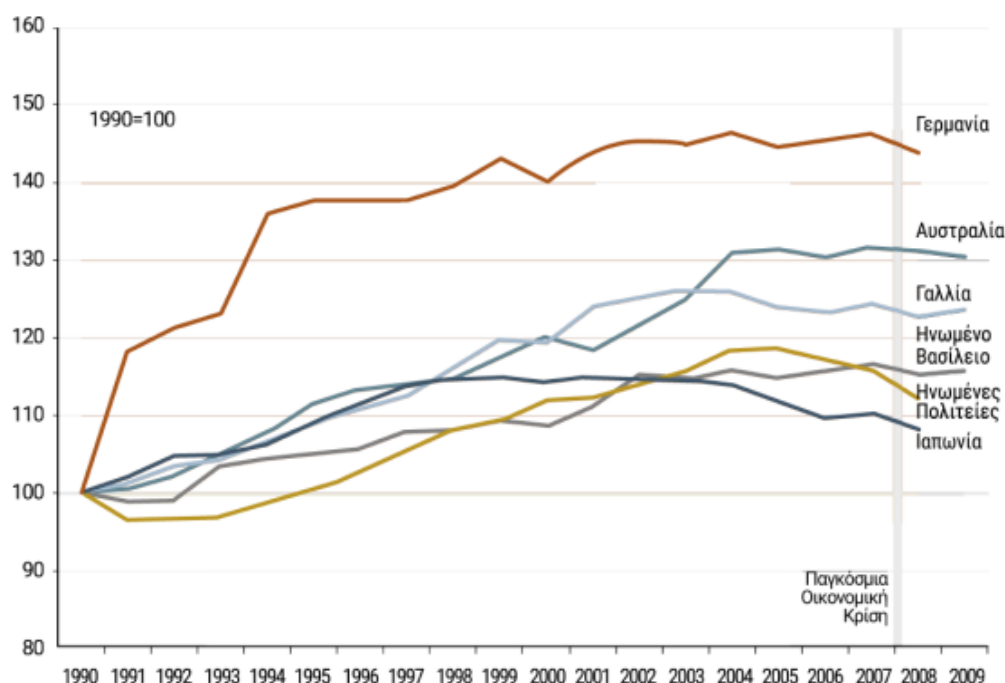
1.1. Οι μεταφορές στη σύγχρονη εποχή και η επίδρασή τους στο περιβάλλον

Η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη, που έχει εκτιναχθεί ήδη από τον προηγούμενο αιώνα, έχει δώσει την ευχέρεια σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού να αυξήσει την κινητικότητά του, τη δυνατότητα δηλαδή να ικανοποιεί τις επιθυμίες του για προσπέλαση συγκεκριμένων προορισμών ή υπηρεσιών.

Παράλληλα, η τεχνολογική πρόοδος αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης των φυσικών πόρων μειώνοντας την κατανάλωση ανά μονάδα, ωστόσο είναι υπαίτια για την αύξηση της συνολικής ζήτησης, η οποία τελικά οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού που καταναλώνονται οι φυσικοί πόροι. Τα μεταφορικά συστήματα έχουν σημαντική επιρροή στο περιβάλλον καθώς ευθύνονται για το 20 - 25% της παγκόσμιας κατανάλωσης και κατά συνέπεια, της εκπομπής ρύπων [1]. Οι τρέχουσες πρακτικές μεταφορών δεν χαρακτηρίζονται ως βιώσιμες, καθώς πρόσφατες έρευνες κατέδειξαν πως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (greenhouse gas emission-GHG) αυξάνονται με ταχύτερο ρυθμό από οποιονδήποτε άλλο τομέα ενεργειακής κατανάλωσης, και ειδικά σε αστικά περιβάλλοντα [2].

Ο τρόπος πραγματοποίησης των μετακινήσεων είναι καθοριστικός για τη συνολική ποσότητα καυσίμων που καταναλώνεται αλλά και για τις συνολικές εκπομπές ρύπων. Η αυξημένη χρήση των Ι.Χ. έναντι των Μέσων Μαζικής Κυκλοφορίας έχει αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Χαρακτηριστικά στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η διαχρονική χρήση του Ι.Χ. αυτοκινήτου από τον Goodwin [3]. Όπως παρατηρείται και στην Εικόνα 1.1, επισημαίνεται ότι στον δυτικό κόσμο η ιδιοκτησία και κατά συνέπεια η χρήση του αυτοκινήτου έχει φτάσει στο ανώτατο σημείο (peak) και σε αυτό έχουν συμβάλει και οι πολιτικές προώθησης των εναλλακτικών προς το Ι.Χ. αυτοκίνητο

μέσων μεταφοράς καθώς και των συνδυασμένων μετακινήσεων που έχουν διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια.



Διάγραμμα 1: Μεταβολές στη χρήση του Ι.Χ. αυτοκινήτου από το 1990 έως το 2009 (Πηγή: [3]).

Η Ευρώπη έχει θέσει πολύ φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των ρύπων από τα Ι.Χ. Ο επίσημος στόχος που είχε τεθεί για το 2015 ήταν 130 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανά χιλιόμετρο για κάθε νέο όχημα που πωλείται, ενώ για το 2021 ο στόχος είναι η μείωση αυτού του μεγέθους στα 95 γραμμάρια ανά χιλιόμετρο, μια μείωση που αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό 18% περίπου σε σχέση με το 2015. Τα δεδομένα μέχρι τώρα είναι ενθαρρυντικά, αφού το 2016 τα νέα οχήματα εξέπεμπαν κατά μέσο όρο 118.1 γραμμάρια CO₂ ανά χιλιόμετρο, υπερκαλύπτοντας σε μεγάλο βαθμό το στόχο του 2015 [4]. Παράλληλα, η Ευρώπη στοχεύει στον περιορισμό της αύξησης του αριθμού των οχημάτων από τα 251 εκατομμύρια ΙΧ το 2015 στα μόλις 258 εκατομμύρια το 2030 [5], γεγονός που αναμένεται να έχει θετικό αντίκτυπο στις εκπομπές CO₂, οι

οποίες θα μειωθούν κατά 30% περίπου από τους 770 εκατομμύρια τόνους ανά έτος στους 539 εκατομμύρια τόνους ανά έτος. Έτσι, στην ιδανική περίπτωση η Ευρώπη θα μπορέσει να μειώσει τους ρύπους από τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται με αυτοκίνητα.

Ωστόσο, τα δεδομένα σε άλλες ηπείρους είναι εντελώς διαφορετικά. Η βιομηχανική ανάπτυξη στην Ασία και η συνεπακόλουθη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων της είχε ως δικαιολογημένη συνέπεια την αύξηση των ενεργειακών αναγκών στις χώρες της Ανατολής. Στη Κίνα ο αριθμός των ΙΧ αναμένεται να αυξηθεί από τα 48 εκατομμύρια το 2010 στα 240 εκατομμύρια το 2030 [6], μια αύξηση της τάξης του 400% σε διάστημα 20 ετών, και αυτό χωρίς να συνυπολογίζεται η αύξηση των δίκυκλων και των φορτηγών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά εμπορευμάτων. Αντίστοιχα ποσοστά ανάπτυξης του αριθμού των ΙΧ αναμένεται να παρατηρηθούν και σε άλλες ταχέως αναπτυσσόμενες οικονομίες της Ασίας, όπως για παράδειγμα η Ινδία, η Ινδονησία κλπ. Σε αυτή τη περίπτωση, ακόμα και η βελτίωση των εκπομπών ρύπων ανά όχημα δεν φαίνεται να οδηγεί σε μείωση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οδικών μεταφορών.

Έτσι, συνολικά η κατάσταση σε παγκόσμιο επίπεδο δεν αναμένεται να βελτιωθεί παρά τη βελτίωση των κινητήρων των οχημάτων. Η ανάγκη για βιώσιμη κινητικότητα, δηλαδή κινητικότητα που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της κοινωνίας να κινείται ελεύθερα, να ενισχύει την προσβασιμότητα, να επικοινωνεί, να επιχειρεί και να αναπτύσσει σχέσεις χωρίς να θυσιάζει άλλες βασικές ανθρώπινες και οικολογικές απαιτήσεις σήμερα αλλά και στο μέλλον, είναι πιο αναγκαία από ποτέ. Η βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των μετακινήσεων, όπως θα φανεί και στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά από τη βελτίωση της οδηγικής συμπεριφοράς. Η ανάγκη βελτίωσης τόσο σε επίπεδο κατανάλωσης καυσίμου όσο και σε επίπεδο εκπομπής ρύπων οδήγησε επιστήμονες και

εθνικούς οργανισμούς στο να προτείνουν το eco-driving, το οποίο αποτελεί και το βασικό θέμα το οποίο πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική.

1.2. Οι βασικές αρχές της οικολογικής οδήγησης

Η οικολογική ή οικονομική οδήγηση (energy-efficient driving ή eco-driving) είναι μια στρατηγική συντήρησης και χρήσης του οχήματος που στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και στην ενεργειακά αποδοτική λειτουργία του οχήματος. Ο όρος πρωτοεμφανίστηκε στην πολιτική συζήτηση προς τα τέλη της δεκαετίας του 1970, ενώ από το 2000 και μετά αποτελεί μέρος της θεωρητικής εκπαίδευσης των νέων οδηγών. Το βασικό πλεονέκτημα του eco-driving είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα και δεν απαιτεί επενδύσεις σε νέα οχήματα και νέες υποδομές καθώς εξαρτάται κυρίως από τον οδηγό. Σύμφωνα με την ένωση αυτοκινητιστών του Ηνωμένου Βασιλείου (Automobile Association) [7] η οικολογική οδήγηση συνοψίζεται σε μέτρα τριών διαφορετικών κατηγοριών: συντήρηση, προετοιμασία και οδήγηση.

1. Συντήρηση

- Τακτική συντήρηση του οχήματος, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- Τακτικός έλεγχος της πίεσης των ελαστικών και της στάθμης του λαδιού στη μηχανή.

2. Προετοιμασία

- Μείωση του περιττού βάρους και των παραγόντων που δημιουργούν αεροδυναμική αντίσταση (π.χ. εσχάρες οροφής).
- Σχεδιασμός ταξιδιού, ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη περιπλάνηση κατά την αναζήτηση της σωστής διαδρομής.
- Συνδυασμός πολλών σύντομων διαδρομών σε μία μεγαλύτερη.
- Αποφυγή οδήγησης για διαδρομές μικρής απόστασης. Το περπάτημα βελτιώνει, εκτός από την ατμόσφαιρα, και την υγεία.

3. Οδήγηση

- Ομαλή οδήγηση, περιορισμός των απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, επιβράδυνση κάνοντας χρήση του συστήματος μετάδοσης της κίνησης του οχήματος.
- Πρόβλεψη των φωτεινών σηματοδοτών και εκκίνηση πέδησης όσο το δυνατόν νωρίτερα. Μείωση ταχύτητας πριν το φωτεινό σηματοδότη και αποφυγή σταματήματος.
- Αλλαγή ταχύτητας στο κιβώτιο στις 2000 με 3000 στροφές (εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος και τον κατασκευαστή).
- Στις χαμηλές ταχύτητες μείωση της χρήσης του κλιματιστικού. Στις υψηλές ταχύτητες αποφυγή ανοικτών παραθύρων (λειτουργούν σαν αερόστατο). Το καλοκαίρι στις μεγάλες ταχύτητες συμφέρει περισσότερο η οδήγηση με κλιματισμό παρά με ανοικτά παράθυρα.
- Τήρηση ορίων ταχύτητας και ασφαλούς απόστασης μεταξύ των οχημάτων.

Σε δοκιμές στις οποίες συμμετείχαν 50 άτομα που εφάρμοσαν τις παραπάνω συμβουλές, η Automobile Association παρατήρησε κατά μέσο όρο 10% μείωση στην κατανάλωση καυσίμων. Η υψηλότερη μείωση που καταγράφηκε ήταν της τάξης του 33%. Ωστόσο, όπως θα διαπιστωθεί και στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί τόσο υψηλό ποσοστό μείωσης σε όλες τις διαδρομές καθώς υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, πέραν της οδηγικής συμπεριφοράς.

1.3. Οφέλη οικολογικής οδήγησης

Συνολικά η οικολογική οδήγηση έχει αποδειχθεί ότι έχει πολλά οφέλη. Αφενός, μέσω του eco-driving επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και κατά συνέπεια της κατανάλωσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές. Επομένως συμβάλλει σημαντικά και

στη μείωση εκπομπών ρύπων και CO₂ που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Επίσης, φαίνεται ότι η υιοθέτηση μιας ομαλούς, μετριοπαθούς οδηγικής συμπεριφοράς δεν ωφελεί μόνο στη μείωση των ρύπων από τα οχήματα, αλλά έχει και θετικές επιπτώσεις στη μείωση των ατυχημάτων [8]. Ένας σημαντικός κανόνας για την επιτυχή εφαρμογή της οικονομικής οδήγησης, είναι η οδήγηση που περιλαμβάνει την αξιολόγηση και πρόβλεψη των συνθηκών κυκλοφορίας από τον οδηγό προκειμένου να διατηρείται ο απαιτούμενος έλεγχος του οχήματος. Αυτό π.χ. σημαίνει ότι ο οδηγός πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσει νωρίτερα την πορεία της οδού που κινείται, ώστε να αποφύγει το περιττό ή απότομο φρενάρισμα. Επομένως με αυτήν την πρόωρη εκτίμηση των χαρακτηριστικών του δρόμου, είναι επίσης δυνατό να προβλεφθεί η πιθανή κατάσταση κυκλοφορίας στον δρόμο. Κάτι τέτοιο συνεπώς παρέχει στον οδηγό περισσότερο χρόνο να αντιδράσει με το σωστό τρόπο σε επικίνδυνες καταστάσεις κυκλοφορίας και να αποφύγει έτσι τα ατυχήματα. Άρα οι οδηγοί που οδηγούν οικονομικά, έμμεσα υιοθετούν έναν πιο ασφαλή τρόπο οδήγησης. Παράλληλα, οι ασφαλιστικές εταιρείες φέρνουν στην αγορά την καινοτομία της τιμολόγησης που εξαρτάται από τον τρόπο οδήγησης (Usage-based motor insurance – UBI). Στο πλαίσιο αυτό εμφανίστηκαν τα προγράμματα PAUD (Pay as you drive) και PHYD (Pay how you drive) [9]. Η κεντρική τους ιδέα βασίζεται στο αντί ο οδηγός να πληρώνει μια προκαθορισμένη τιμή, το μέγεθος των ασφαλίσεων να καθορίζεται από την οδηγική του συμπεριφορά και από το βαθμό έκθεσής του σε οδηγικές καταστάσεις. Επομένως, αυτές οι πρακτικές «τιμωρούν» τους οδηγούς που υιοθετούν επιθετική οδηγική συμπεριφορά και «επιβραβεύουν» τους οδηγούς που οδηγούν ομαλά, μειώνοντας το ύψος των ασφαλίσεων τους.

1.4. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική αποσκοπεί στην εισαγωγή ενός δείκτη ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος ως προϊόν της οδηγικής διαδικασίας και η διερεύνηση της σχέσης των μεταβολών του με τις μεταβολές της κατανάλωσης 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.

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 πραγματοποιούμενη ταξίδι. Τέλος, όπως αποδεικνύεται και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ο δείκτης eDrive δείχνει 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.

1.5. Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Σε αυτήν την υποενότητα παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας και δίνεται μια συνοπτική εικόνα για το περιεχόμενο των κεφαλαίων.

Στο **Κεφάλαιο 1** της διπλωματικής εργασίας γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της 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 τα οποία μπορεί να έχει. 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 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. 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** παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία συλλογής δεδομένων και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. 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 συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν ύστερα 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

2.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη πραγματικότητα της ραγδαίας ανάπτυξης των πόλεων και της συνεπαγόμενης αλματώδους αύξησης των Ι.Χ. μόνο ως δυσμενής μπορεί να κριθεί για τα συστήματα των μεταφορών, τόσο σε επίπεδο κινητικότητας, όσο και σε επίπεδο περιβάλλοντος. Οι αρνητικές ενδείξεις των τελευταίων ετών για την επιτάχυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση των προειδοποιήσεων σχετικά με την ολοένα αυξανόμενη εκπομπή αέριων ρύπων από μηχανές εσωτερικής καύσης και την εντατικοποίηση των προσπάθειών στην κατεύθυνση της ευαισθητοποίησης του κοινού για τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων. Ως αποτέλεσμα, πολλοί ερευνητές αποφάσισαν να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στη διερεύνηση θεμάτων γύρω από την οικονομική οδήγηση προκειμένου να εξετασθούν οι παράγοντες που συνιστούν μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της κατανάλωσης καυσίμου. Απώτερο σκοπό των ερευνών αποτελεί η προσπάθεια για καλλιέργεια μιας νέας νοοτροπίας που θα καταστήσει τις συνθήκες στις μεταφορές βιώσιμες, οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά. Τα παραπάνω αναδεικνύουν την ανάγκη παροχής δεδομένων ευρείας κλίμακας και συσχετιζόμενα με τα χαρακτηριστικά των μετακινήσεων σε ερευνητές, προκειμένου να τα επεξεργασθούν και να εξάγουν συμπεράσματα. Στις επόμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου γίνεται προσπάθεια να παρουσιαστούν αντιπροσωπευτικά δείγματα της έρευνας που έχει γίνει πάνω στο ζήτημα της οικολογικής οδήγησης.

2.2. Εναλλακτικά Μέσα Συλλογής Δεδομένων

Μια βασική έννοια στη νέα τάση συλλογής δεδομένων μέσω έξυπνων κινητών είναι ο πληθοπορισμός (crowdsourcing), όπως ορίζεται από τους Estelles-Arolas & Gonzalez-Ladron-de-Guevara [10]. Ο πληθοπορισμός είναι μια μορφή συλλογικής διαδικτυακής

δραστηριότητας στην οποία ένα άτομο, ένα ίδρυμα, ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ή μία εταιρία προτείνει σε μία ομάδα ατόμων με ποικίλες γνώσεις, ετερογένεια και αριθμό, μέσω μίας ανοικτής πρόσκλησης, την εθελοντική ανάληψη μίας εργασίας. Η ανάληψη της εργασίας από το πλήθος περιλαμβάνει πάντοτε αμοιβαίο όφελος και για τις δύο πλευρές. Το πλήθος θα λάβει την ικανοποίηση μιας συγκεκριμένης ανάγκης, οικονομικής ή κοινωνικής ενώ η άλλη πλευρά θα αξιοποιήσει προς όφελος της αυτά που της προσέφερε το κοινό.

Σε συγκοινωνιακό επίπεδο, ο όρος πληθοπορισμός συναντάται ως crowdsensing και σχετίζεται με την εκτεταμένη χρήση έξυπνων κινητών (smartphones) ως εναλλακτικό μέσο συλλογής δεδομένων για την ανάλυση της ευρύτερης συμπεριφοράς των χρηστών, τόσο κατά την οδήγηση, όσο και κατά τη διάρκεια άλλων δραστηριοτήτων συσχετισμένων με το συγκοινωνιακό σύστημα.

Η χρήση έξυπνων κινητών για την καταγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς κερδίζει διαρκώς έδαφος λόγω των πλεονεκτημάτων τους τόσο σε επίπεδο διαρκώς εξελισσόμενων χαρακτηριστικών όσο και σε σύγκριση με άλλες συνήθειες προσεγγίσεις της τηλεματικής, όπως συσκευές σταθερής θέσης συνδεδεμένες με την on-board diagnostics (OBD) θύρα του οχήματος. Τα κυριότερα εξ' αυτών παρατίθενται παρακάτω [11] – [14]:

- Υψηλή εισχώρηση 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 το 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 την οδηγική συμπεριφορά, σε αντίθεση με τα δεδομένα από GPS.

Από την άλλη, η βιβλιογραφία καταγράφει και ορισμένα μειονεκτήματα της χρήσης έξυπνων κινητών [15]:

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

Τα παραπάνω επηρεάζουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία τους για τη συλλογή δεδομένων συγκριτικά με εγκατεστημένες στο όχημα συσκευές GPS ή IMUs. Οι Paefgen et al. [16] έδειξαν πως τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα υπερεκτιμούν τα κρίσιμα περιστατικά, ενώ οι οδικές συνθήκες και η θέση του κινητού επηρεάζουν ιδιαίτερα την απόδοσή τους.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές για απόπειρες διόρθωσης των πρωτογενών δεδομένων από το επιταχυνσιόμετρο του κινητού. Για παράδειγμα, οι Vlahogianni & Barbounakis [17] ενσωματώνουν έναν αλγόριθμο επαναπροσδιορισμού συσκευής, που εκμεταλλεύεται στοιχεία από το γυροσκόπιο και το GPS και διορθώνει τα δεδομένα του

έξυπνου κινητού. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσεται ένα πλαίσιο Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning), βασισμένο σε rough set theory, προς αναγνώριση κανόνων και μοτίβων οδηγικής συμπεριφοράς.

Η αξιολόγηση των πρωτογενών δεδομένων από τα έξυπνα τηλέφωνα είναι κομβικής σημασίας για τη χρήση τους. Κάποια μέτρα ποιότητας είναι [18]:

- Ακρίβεια (Accuracy): Η συμβατότητα μεταξύ της πραγματικής πληροφορίας και αυτής του αισθητήρα.
- Ακεραιότητα (Integrity): Η εμπιστοσύνη που μπορεί να τοποθετηθεί στις εικονιζόμενες τιμές του συστήματος σε σχέση με της μετρούμενες.
- Διαθεσιμότητα (Availability): Η γεωγραφική κάλυψη για την οποία η πληροφορία του αισθητήρα είναι διαθέσιμη.
- Συνέχεια υπηρεσίας (Continuity of service): Η διαθεσιμότητα της υπηρεσίας σε βάθος χρόνου δίχως απρόβλεπτες διακοπές κατά την αναμενόμενη περίοδο λειτουργίας.

2.3 Κατανάλωση Καυσίμου κατά την Οδήγηση

2.3.1 Παράγοντες Επιρροής Κατανάλωσης Καυσίμου

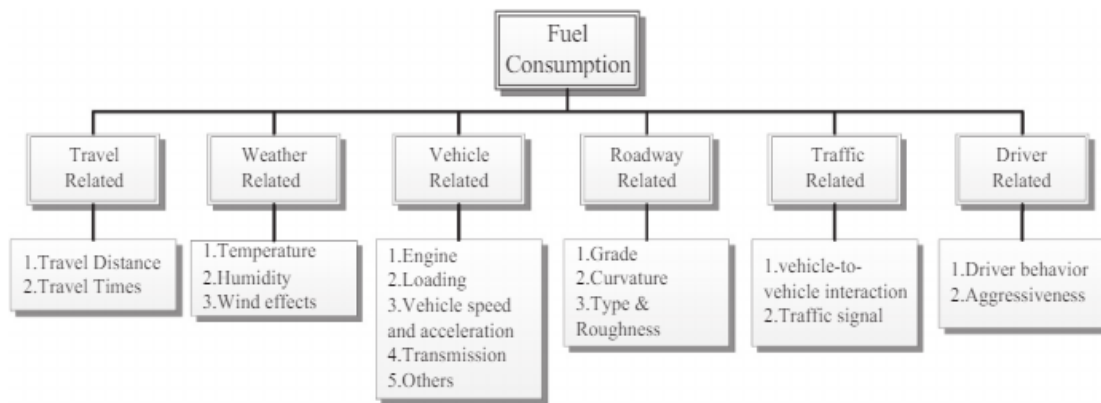
Η βιομηχανία αυτοκίνησης αυτήν την περίοδο δέχεται πίεση λόγω της μείωσης του διαθέσιμου πετρελαίου και των απαιτήσεων που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος [19]. Τα αυτοκίνητα κατανalώνουν μια σημαντική ποσότητα καυσίμων κάθε χρόνο και έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή πολύ μεγάλων ποσοτήτων καυσαερίων. Το 2011 περίπου το 59% του πετρελαίου χρησιμοποιήθηκε για τις μεταφορές και είχε ως αποτέλεσμα το 22% των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως, γίνεται αμέσως αντιληπτή η ανάγκη για κατανόηση του

προβλήματος της υπέρογκης κατανάλωσης καυσίμου και η αναζήτηση πιο βιώσιμων λύσεων.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ενέργεια που καταναλώνεται και τους ρύπους που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα είναι πολυάριθμοι. Σύμφωνα με τους Ahn et al. [20] και Zhou et al. [21], αυτές οι παράμετροι μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι ευρείες κατηγορίες όπως φαίνονται παρακάτω στο Σχήμα 1:

1. Παράγοντες σχετικοί με τις διαδρομές (Travel-related factors): Στους παράγοντες που σχετίζονται με τις διαδρομές περιλαμβάνονται η συνολική απόσταση και ο αριθμός των ταξιδιών που εκτελέσθηκαν κατά την περίοδο ανάλυσης.
2. Παράγοντες σχετικοί με τον καιρό (Weather-related factors): Στους παράγοντες που σχετίζονται με τον καιρό περιλαμβάνονται η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία και η επιρροή του ανέμου.
3. Παράγοντες σχετικοί με το όχημα (Vehicle-related factors): Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που σχετίζονται με το όχημα είναι ο κινητήρας, το φορτίο του οχήματος, η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Το μέγεθος του κινητήρα, ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιεί και αν το όχημα είναι εξοπλισμένο με σύστημα μετεπεξεργασίας των καυσαερίων καθορίζουν άμεσα την επίδοση του οχήματος ως προς την κατανάλωση καυσίμου [22].
4. Παράγοντες που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο (Roadway-related factors): Οι παράγοντες αυτοί αναφέρονται στα φυσικά χαρακτηριστικά ενός δρόμου όπως η κλίση του, η τραχύτητα της επιφάνειας του και η οριζόντια καμπυλότητά του.
5. Παράγοντες που σχετίζονται με τις κυκλοφοριακές συνθήκες (Traffic-related factors): Σε αυτούς του παράγοντες συμπεριλαμβάνεται η ροή της κυκλοφορίας και η σηματοδότηση.
6. Παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό (Driver-related factors): Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται κατά κύριο λόγο παράγοντες που αναφέρονται στην

οδηγική συμπεριφορά και στην επιθετικότητα κατά την οδήγηση, οι οποίες συνήθως προσδιορίζονται και αναγνωρίζονται από τις χρονοσειρές της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Σε σύγκριση με τους άπειρους οδηγούς, οι έμπειροι οδηγοί μπορούν να εξοικονομήσουν καύσιμα λόγω δεξιότητας, προσαρμόζοντας για παράδειγμα την ταχύτητα του οχήματός τους για να αποφύγουν στάση σε σηματοδότες ή μειώνοντας τις έντονες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις σε άλλες περιοχές.



Διάγραμμα 2: Απεικόνιση των παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμων. Πηγή: [21].

Στον Πίνακα 2.1. συνοψίζονται τα ποσοστά επιρροής των εκάστοτε παραμέτρων στην κατανάλωση καυσίμου, όπως προκύπτουν από τη βιβλιογραφία.

Πίνακας 1: Σύνοψη επιρροής όλων των παραγόντων στην κατανάλωση καυσίμου. Πηγή: Zhou et al.[21]

	Travel related	Weather related	Vehicle related	Roadway related	Traffic related	Driver related
Επιρροή (%)	8.73 - 42.15	1	Core	3 - 20	22 - 50	4.35 - 40

Από τον Πίνακα 2.1 προκύπτει ότι για ένα δεδομένο όχημα οι καθορισμένοι παράγοντες όπως ο καιρός, έχουν πολύ μικρή επίδραση και μπορούν να αγνοηθούν. Όμως παράγοντες όπως η οδηγική συμπεριφορά ή η κλίση του δρόμου έχουν έντονη επιρροή και δεν μπορούν να μη λαμβάνονται υπόψη. Οι Zhou et al.[21] αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι κατά την κατάρτιση ενός νέου μοντέλου εκτίμησης της

κατανάλωσης καυσίμου, οι παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό και το οδικό δίκτυο πρέπει να έρχονται σε πρώτη προτεραιότητα, ακολουθούμενοι από τους παράγοντες που σχετίζονται με την διαδρομή και τον καιρό. Τελικώς, μπορούν να εισάγονται παράμετροι που σχετίζονται με την κυκλοφορία.

2.3.2 Οδηγική Συμπεριφορά και Κατανάλωση καυσίμου

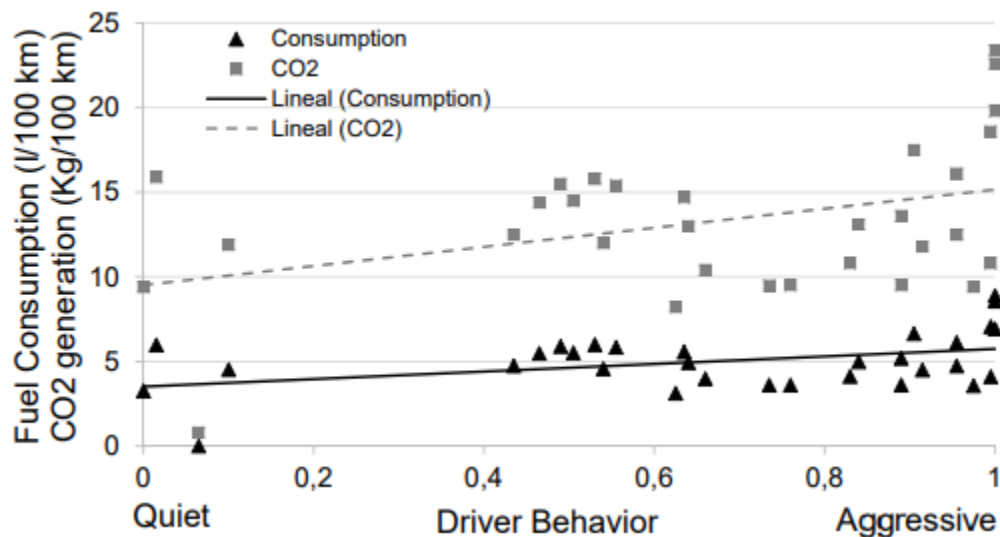
Οι «επιθετικοί» οδηγοί πραγματοποιούν εκκινήσεις με ιδιαιτέρως υψηλή επιτάχυνση, συνηθίζουν να οδηγούν στις υψηλές στροφές του κινητήρα και η ταχύτητα του οχήματός τους παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις και δεν μεταβάλλεται ομαλά. Αντίθετα, οι οδηγοί που επιδεικνύουν μία πιο «μετριοπαθή» συμπεριφορά αποφεύγουν τις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις και τις συχνές αλλαγές της ταχύτητας κίνησης.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η επιθετική οδήγηση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα 30-40% υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου απ' ό,τι η ομαλή οδήγηση ([22] – [25]). Οι Beusen et. Al [26] διεξήγαγαν μια έρευνα στο Βέλγιο, σχετική με το πως η εκμάθηση του eco-driving οδήγησε σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 6%. Οι Zarkadoula et al. [27] παρουσίασαν τα αποτελέσματα ενός πιλοτικού προγράμματος εκμάθησης αρχών του eco-driving σε οδηγούς αστικών λεωφορείων. Όταν οι οδηγοί των λεωφορείων εφάρμοσαν σε ικανοποιητικό βαθμό τις αρχές του eco-driving σημειώθηκε μείωση κατά 4.35 % στα καύσιμα που κατανάλωναν τα λεωφορεία.

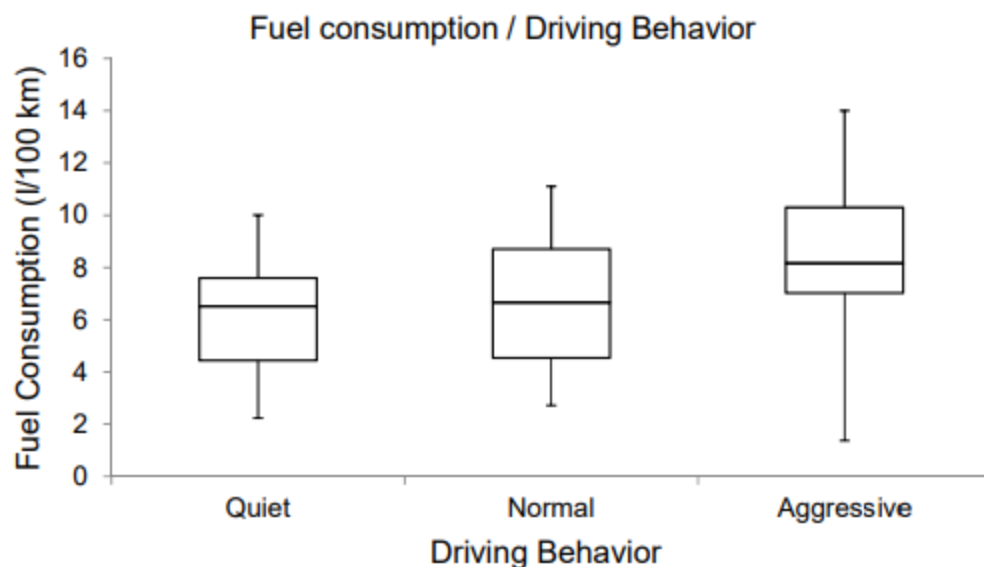
Οι Meseguer et al. [28] δημιούργησαν την πλατφόρμα DrivingStyles με σκοπό τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς των οδηγών και την επίδραση που έχει στην κατανάλωση καυσίμου. Από την ανάλυση δεδομένων από 534 οδηγούς και 75 διαδρομές, μέσω νευρωνικών δικτύων (neural networks), προέκυψε ότι η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά μέσο όρο κατά 1.5 λίτρο ανά 100 χιλιόμετρα όταν η συμπεριφορά του οδηγού γίνεται πιο επιθετική. Στα πειράματα που διεξήγαγαν, ένας

επιθετικός οδηγός είχε κατά μέσο όρο μέση κατανάλωση καυσίμου της τάξεως των 8 L/100km ενώ ένας ήπιος οδηγός 6.6 L/100km και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διαφορά δεν είναι αμελητέα, αφού ένας επιθετικός οδηγός ίσως καταναλώσει 20% παραπάνω καύσιμο από έναν ήπιο. Σε ότι αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ανάλογα με την οδηγική συμπεριφορά μπορούν να αυξηθούν ακόμα και 50%, από 10 σε 15Kg/100km.

Για καλύτερη εποπτεία, τα προαναφερθέντα στοιχεία απεικονίζονται και γραφικά στα Διαγράμματα 2.1 και 2.2. αντίστοιχα. Χαρακτηριστικά στο Διάγραμμα 2.1. για πολύ επιθετικές συμπεριφορές παρατηρείται ότι η μέση κατανάλωση καυσίμου (L/100km) σχεδόν αγγίζει τιμές της τάξεως των 25 L/100km ενώ αντίθετα για ήπιες συμπεριφορές η κατανάλωση μπορεί να πέσει ακόμα και κάτω από την τιμή των 5 L/100km.



Διάγραμμα 3: Κατανάλωση και CO₂ σε σχέση με την οδηγική συμπεριφορά. Πηγή: [28]



Διάγραμμα 4: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της συμπεριφοράς του οδηγού. Πηγή: [28]

2.3.3 Αμφισβήτηση Αποτελεσματικότητας Οικολογικής Οδήγησης

Η πληθώρα των διαφορετικών απόψεων και η έλλειψη συγκεκριμένων και γενικευμένων αποτελεσμάτων είχαν ως αποτέλεσμα να τεθούν υπό αμφισβήτηση οι αρχές του eco-driving. Οι Alam et al. [29] αναφέρουν ότι οι πρακτικές αυτές ενδέχεται να προκαλούν αύξηση της πιθανότητας πρόκλησης ατυχημάτων και αύξηση αέριων ρύπων σε επίπεδο δικτύου. Η μείωση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης από τη μία μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα, αλλά από την άλλη σε επίπεδο δικτύου μπορεί να προκαλέσει αύξηση, καθώς τα οχήματα παραμένουν στην οδό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα [30]. Μια άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι η επιτυχία της εκπαίδευσης των οδηγών. Η έρευνα των Bausen et al. [26] έδειξε ότι οι περισσότεροι οδηγοί μείωσαν την κατανάλωση καυσίμων στα οχήματά τους μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης. Παρ' όλα αυτά, μετά από κάποιο καιρό ορισμένοι κατάφεραν να διατηρήσουν αυτήν τη μείωση, ενώ άλλοι επανήλθαν στα προ εκπαίδευσης επίπεδα κατανάλωσης. Επιπροσθέτως, η χρήση συσκευών που παρέχουν συμβουλές σχετικά με τη βελτίωση της οδήγησης εντός του οχήματος

αυξάνει την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος, ιδιαίτερα σε οδήγηση με υψηλό φόρτο ενασχόλησης, όπως για παράδειγμα σε αστικό περιβάλλον [31].

2.4 Μοντέλα Εκτίμησης Κατανάλωσης Καυσίμου

Οι Faris et al [32] ταξινομήσαν τα μοντέλα εκτίμησης της κατανάλωσης στις εξής πέντε κατηγορίες ανάλογα με:

- Την κλίμακα των μεταβλητών εισόδου (scale of the input variables-based modelling), σε ευρείας κλίμακας (macro) και μικρής κλίμακας (micro).
- Την μαθηματική προσέγγιση του προβλήματος (formulation approach-based modelling), σε αναλυτικά, εμπειρικά, στατιστικά και γραφικά.
- Τον τύπο της επεξηγηματικής μεταβλητής (type of explanatory variable-based modelling) , σε μέσης ταχύτητας, στιγμιαίας ταχύτητας ή ενεργειακά.
- Την ακρίβεια των μηχανικών μεταβλητών (state variable value-based modelling), σε crank angle resolution-based και σε mean-value-based.
- Τον αριθμό των διαστάσεων (number of dimensions-based modelling), σε μίας διάστασης, δύο διαστάσεων και πολλών διαστάσεων.

Οι Zhou et al. [21] κατέταξαν τα μοντέλα εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με την διαφάνεια τους (transparency) ως εξής:

- Μηχανολογικά αναλυτικά (white-box model): τα μοντέλα τα οποία καταρτίζονται με βάση τις φυσικές ή χημικές διεργασίες των κινητήρων χρησιμοποιώντας για παράδειγμα μαθηματικές εξισώσεις για να περιγράψουν για τον κινητήρα τη διαδικασία εισαγωγής αέρα, της συμπίεσης, της καύσης και της εξάτμισης.
- Μοντέλα με βάση τη λειτουργία του κινητήρα (engine-based black-box model): μοντέλο εισόδου-εξόδου. Οι παράμετροι που εισάγονται σε αυτά τα μοντέλα είναι για παράδειγμα η ταχύτητα του κινητήρα, η ροπή του κινητήρα και η ισχύς του.
- Κινηματικά (vehicle-based black-box model): επίσης μοντέλο εισόδου-εξόδου, όπου οι παράμετροι εισόδου μπορούν να είναι η στιγμιαία ταχύτητα και επιτάχυνση του οχήματος ή η μέση ταχύτητα και επιτάχυνση του οχήματος.

- Μοντέλα με βάση το μέσο μεταφοράς (modal-based black-box model): σε αυτά τα μοντέλα εισάγονται παράμετροι όπως ο χρόνος ακινησίας, ο χρόνος της οδήγησης, οι επιβραδύνσεις και οι επιταχύνσεις.
- Μικτά μοντέλα (grey-box model) : είναι τα μοντέλα που βρίσκονται ενδιάμεσα στα άσπρα και τα μαύρα και χαρακτηρίζονται από μερική κατανόηση του εσωτερικού συστήματος.

Γενικότερα τα μηχανολογικά αναλυτικά μοντέλα είναι ντετερμινιστικά και απαιτούν την εις βάθος γνώση των συστημάτων από τους ερευνητές, ενώ τα μαύρα μοντέλα είναι το ακριβώς αντίθετο καθώς περιλαμβάνουν λίγη φυσική στη δομή τους και βασίζονται κυρίως σε πειραματικά δεδομένα. Τα μικτά μοντέλα αποτελούν μια ενδιάμεση κατάσταση καθώς περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό εξισώσεων περιγραφής των εσωτερικών διεργασιών και πειραματικών δεδομένων. Στον Πίνακα 2.2. συνοψίζονται οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψιν της η κάθε κατηγορία μοντέλου.

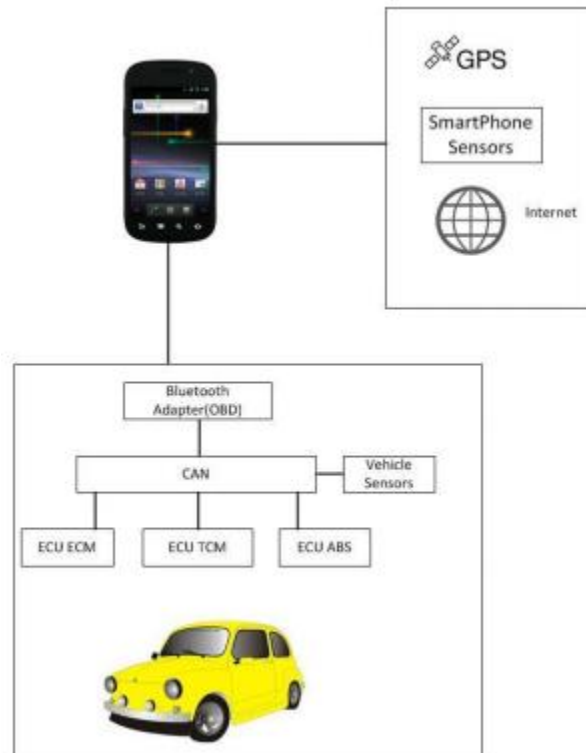
Πίνακας 2: Παράγοντες επιρροής που λαμβάνονται υπόψιν από τα μοντέλα. Πηγή: [21]

	Travel related	Weather related	Vehicle related	Roadway related	Traffic related	Driver related
White-model	✓	x	✓	x	x	x
Black-engine	✓	x	✓	✓	x	✓
Black-vehicle	✓	x	✓	✓	x	✓
Black-modal	✓	x	x	x	✓	x
Grey-model	✓	x	✓	✓	x	✓

2.5 Μοντέλα Οικολογικής Οδήγησης

Στο πλαίσιο διερεύνησης όσων αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές προσπάθειες ανάπτυξης μοντέλων εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και μελέτη και ανάπτυξη τεχνικών που συμβάλλουν στη μείωσή της.

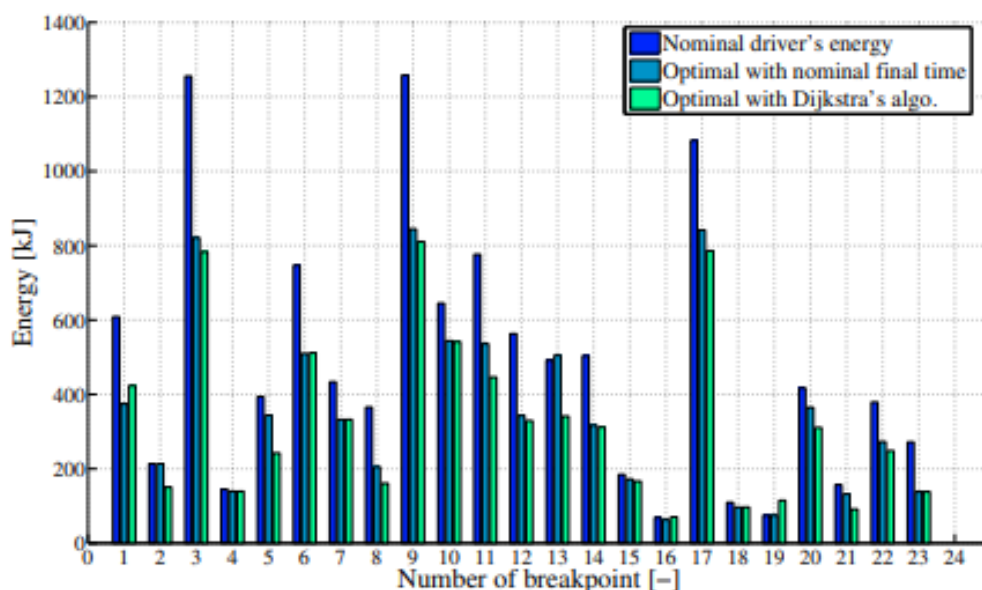
Η ταχέως εξελισσόμενη τεχνολογία που αναβαθμίζει διαρκώς τα smartphone, τα έχει καταστήσει στο επίκεντρο των ερευνών που πραγματοποιούνται γύρω από τη μοντελοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται συνδυαστικά με συσκευές που συνδέονται στην On-Board Diagnostics (OBD) θύρα των οχημάτων όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 1: Αναπαράσταση διαδικασίας συλλογής δεδομένων μέσω smartphone και OBD.

Οι Ciarla et al. [33] προσπάθησαν να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλοντας τη μέση ταχύτητα κίνησης του οχήματος σε κάθε τμήμα της διαδρομής. Μέσω της χρονοσειράς των ταχυτήτων, εξετάζοντας τα σημεία όπου παρουσιάζονται ελάχιστα, χωρίζεται το ταξίδι σε επιμέρους τμήματα. Για κάθε τμήμα υπολογίζεται η βέλτιστη χρονοσειρά ταχύτητας σε όρους ενέργειας. Το τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου, με εφαρμογή του shortest-path αλγορίθμου του Dijkstra, είναι ένα νέο

ταξίδι το οποίο χαρακτηρίζεται από ένα νέο προφί ταχυτήτων, διατηρώντας ίδια την συνολική διάρκεια ταξιδιού και τη συνολική απόσταση που διανύθηκε πετυχαίνοντας όμως χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Στις προσομοιώσεις που διεξήγαγαν τα οφέλη από τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω τροποποίησης της ταχύτητας κίνησης ήταν περίπου 7%. Ενδεικτικά στο Διάγραμμα 2.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας μετά από εφαρμογή του αλγορίθμου για ένα τυχαίο ταξίδι.



Διάγραμμα 5: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου των Ciarla et al.[33].

Οι Husnjak et al. [34] προσέγγισαν το ζήτημα του eco-drive προτείνοντας έναν συνδυασμό αξιοποίησης της τεχνολογίας των έξυπνων κινητών και των On-Board Diagnostics (OBD) για τη συλλογή δεδομένων. Αυτός ο συνδυασμός αποτελεί την πιο διαδεδομένη τάση στις σύγχρονες προσεγγίσεις του ζητήματος. Προκειμένου να

ληφθούν ορθές μετρήσεις καθορίστηκε ο τύπος του κινητήρα (βενζίνης, πετρελαίου, υβριδικός), ο κυβισμός του (ccm) και η ισχύς του (hp). Στη συνέχεια εκτελέστηκε μια διαδρομή 89.5 km τρεις φορές με κανονική οδήγηση (normal driving) και τρεις φορές με οικολογική οδήγηση (eco-driving). Αυτό το οποίο έδωσε επιπλέον αξία στα κατεγγραφόμενα δεδομένα είναι ότι η διαδρομή περιελάμβανε οδήγηση και σε αυτοκινητόδρομο αλλά και σε αστικό περιβάλλον. Επίσης έγινε προσπάθεια οι διαδρομές να εκτελεσθούν την ίδια ώρα και την ίδια ημέρα της εβδομάδας προκειμένου οι μετρήσεις να μην επηρεαστούν από τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Dzenisiuk [35] και το SEI [36] υπάρχουν δύο στάδια για την αποτελεσματική εκτέλεση του eco-driving: πριν το ταξίδι και κατά τη διάρκεια αυτού. Βάσει αυτού όρισαν την αποτελεσματικότητα της οικολογικής οδήγησης ως εξής :

$$E = f(S, T, O, P, I, B, U, R) \quad (1)$$

Όπου :

E: είναι η αποτελεσματικότητα του eco-driving

S: είναι η διατήρηση του οχήματος σύμφωνα με τα πρότυπα του κατασκευαστή

T: είναι η μείωση του μεταφερόμενου φορτίου

O: είναι η διατήρηση της σωστής πίεσης των ελαστικών σύμφωνα με τα πρότυπα του κατασκευαστή

P: είναι οι ομαλές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις

I: είναι η μείωση των χρόνων αδράνειας κατά την οδήγηση

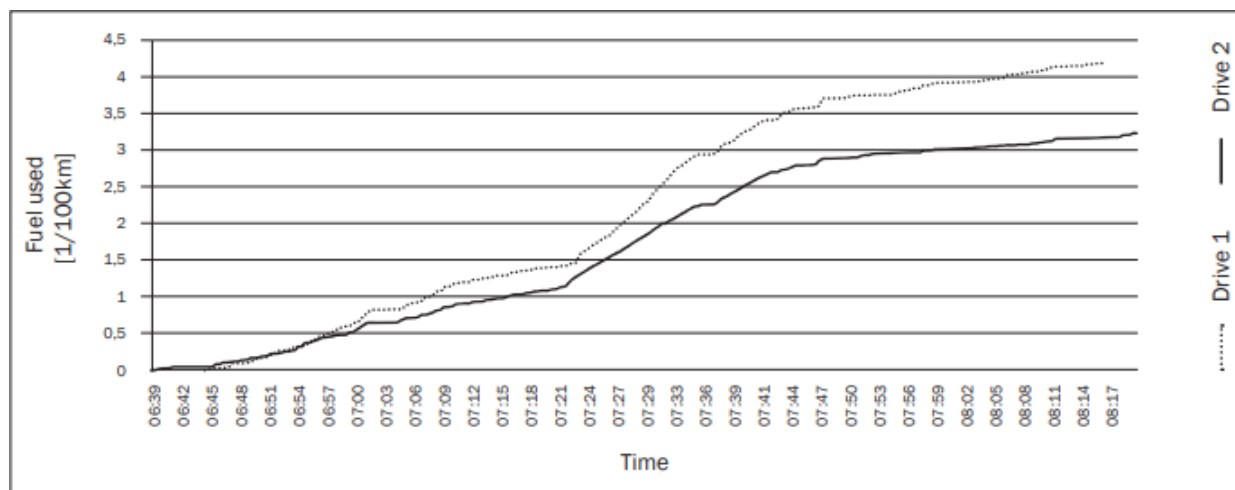
B: είναι το κλείσιμο των παραθύρων κατά την οδήγηση σε υψηλές ταχύτητες

U: είναι η ομαλή επιβράδυνση με χρήση του κινητήρα του οχήματος

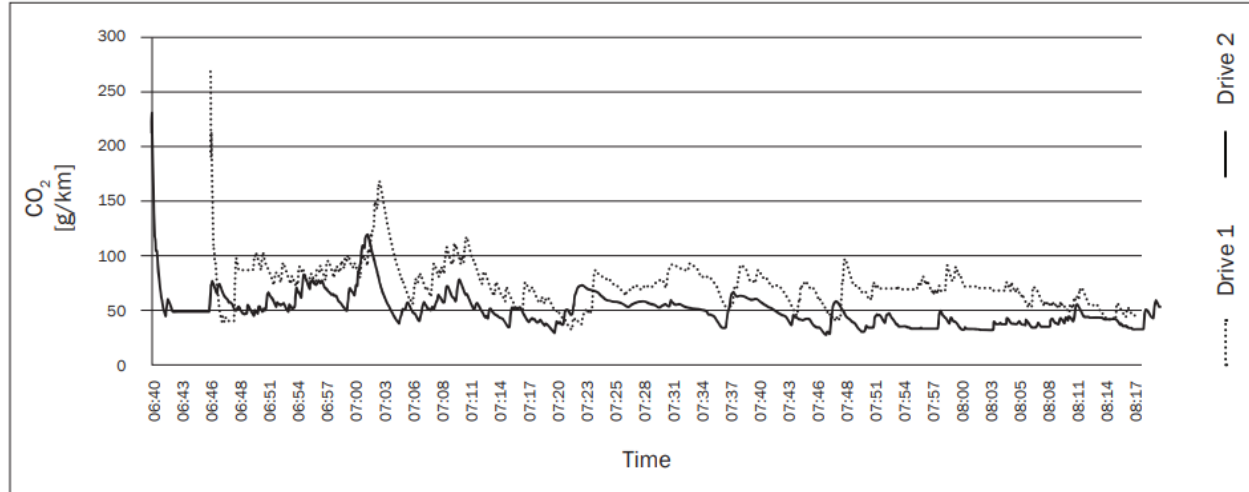
R: είναι η μέγιστη μείωση χρήσης του συστήματος κλιματισμού

Οι μέθοδοι S, T, O εφαρμόζονται πριν το ταξίδι ενώ οι μέθοδοι P, I, B, U, R πρέπει να εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν τα Διαγράμματα 2.4 και 2.5 στα οποία γίνεται σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής CO₂ κατά την κανονική οδήγηση (Drive 1) και κατά το eco-driving (Drive 2).

Όπως ήταν αναμενόμενο, κατά το eco-driving παρατηρείται μείωση τόσο της κατανάλωσης καυσίμου όσο και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αθροιστικά, η οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου κατά το eco-driving ήταν 22.86% ενώ οι εκπομπές ρύπων μειώθηκαν κατά 30.99%.



Διάγραμμα 6: Σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου κατά την κανονική οδήγηση και κατά το eco-driving. Πηγή: [34]



Διάγραμμα 7: Σύγκριση εκπομπών CO₂ κατά την κανονική οδήγηση και κατά το eco-driving. Πηγή: [34]

Οι Kalila et al. [37] συνδύασαν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων που αποτελούνταν από λεπτομερείς καταγραφές κλήσεων από κινητά τηλέφωνα (Call Detail Records) για να εκτιμήσουν τα σημεία προέλευσης – προορισμού για την πόλη Ριάντ της Σαουδικής Αραβίας. Στόχος ήταν η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο πόλης και η διερεύνηση των μεταβολών της σε διαφορετικά σενάρια. Το μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της κατανάλωσης είναι το StreetSmart, το οποίο εκτιμά την κατανάλωση καυσίμου μέσω στοιχείων συντεταγμένων που λαμβάνονται από το GPS των έξυπνων κινητών και από πραγματικές τιμές κατανάλωσης μετρημένες με χρήση OBD-II. Η σχέση από την οποία προκύπτει η κατανάλωση είναι :

$$FC = k_1 T_{idle} + k_2 T_{move} + k_3 \int |a| dx + k_4 L \quad (2)$$

Όπου FC είναι η κατανάλωση καυσίμου μετρημένη σε γαλώνια k_1 , k_2 , k_3 , k_4 είναι συντελεστές ενέργειας που εξαρτώνται από τον τύπο του αυτοκινήτου, T_{idle} και T_{move} είναι οι χρόνοι αδράνειας και κίνησης αντίστοιχα μετρημένοι σε sec, a είναι η επιτάχυνση μετρημένη σε m/s^2 και L είναι η απόσταση που διανήθηκε μετρημένη σε km. Χρησιμοποιώντας ενδεικτικά ως δεδομένα τα οχήματα που είχαν καταγραφεί σε συγκρούσεις που είχαν λάβει χώρα στο Ριάντ προσάρμωσαν τους δείκτες για τις

ανάγκες της έρευνας ενώ για προφίλ ταχυτήτων χρησιμοποίησαν δεδομένα από διαδρομές οχημάτων TAXI κάνοντας την παραδοχή ότι τα προφίλ ταχυτήτων αντανακλούν σε μεγάλο βαθμό τις συνθήκες κυκλοφορίας που επηρεάζουν τόσο τα ταξί, όσο και τα Ι.Χ. Τα τελικά αποτελέσματα των αναλύσεων αποτελούν χρήσιμο εργαλείο ανάλυσης για αυτούς που καλούνται να λάβουν αποφάσεις και να καθορίσουν τις πολιτικές των μετακινήσεων με σκοπό την επίτευξη υψηλότερων οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων.

2.6. Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας γίνεται κατανοητή η ανάγκη διαχείρισης του φαινομένου της διαρκούς και ραγδαίας αύξησης του αριθμού των Ι.Χ. Η αύξηση αυτή συνεπάγεται και αύξηση της συνολικής ποσότητας των ρύπων που εκπέμπονται αλλά και της συνολικής ποσότητας των καυσίμων που καταναλώνονται, ενώ παράλληλα οι διαθέσιμοι πόροι είναι διαρκώς μειούμενοι. Μια λύση άμεσα εφαρμόσιμη που δεν απαιτεί την αναβάθμιση των συγκοινωνιακών υποδομών είναι η εφαρμογή των αρχών της οικολογικής οδήγησης (eco-driving). Οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί έχουν αναδείξει τη χρησιμότητα της, αλλά και την αποτελεσματικότητά της, αφού μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

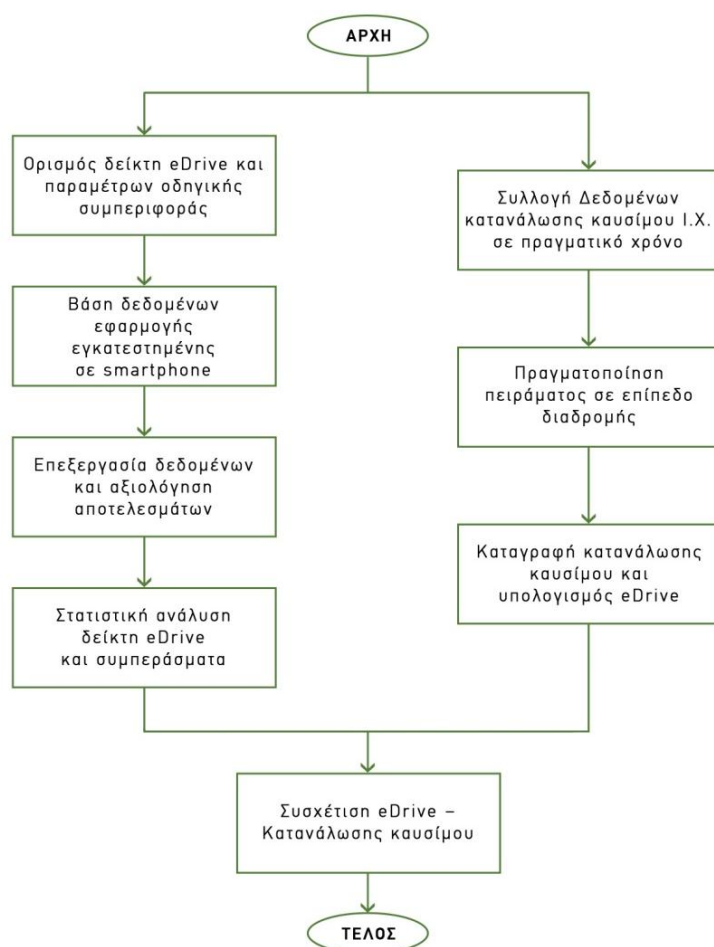
Έχει αποδειχθεί ότι η συμπεριφορά του οδηγού, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί από το προφίλ των ταχυτήτων και των επιταχύνσεων, επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου και κατά συνέπεια τις εκπομπές ρύπων, ενώ έχει διερευνηθεί και η επιρροή άλλων παραμέτρων όπως οι κυκλοφοριακές συνθήκες και η γεωμετρία του οδικού άξονα. Η έρευνα και τα μοντέλα τα οποία είχαν καταρτισθεί για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου τα προηγούμενα χρόνια βασίζονται στην πλειοψηφία τους κατά κύριο λόγο σε μετρήσεις με χρήση OBD ή στην ανάλυση των χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται κατά την καύση.

Σε συγκοινωνιακό επίπεδο, έρευνες ανέδειξαν την αποδοτικότητα των δεδομένων από έξυπνα κινητά (mobile crowdsensing) σε σχέση με εγκατεστημένες συσκευές σταθερής θέσης συνδεδεμένες με το όχημα. Παράλληλα διαπιστώνεται ότι δεν έχει παραγματοποιηθεί αρκετή έρευνα που να βασίζεται σε χρήση δεδομένων από έξυπνα κινητά για την εκτίμηση του οικολογικού αποτυπώματος των οχημάτων, κυρίως λόγω της οδηγικής συμπεριφοράς. Επομένως κρίνεται χρήσιμη η εισαγωγή ενός δείκτη αξιολόγησης της οικολογικής οδήγησης που θα βασίζεται σε δεδομένα προερχόμενα αποκλειστικά από μετρήσεις κινητών τηλεφώνων και η διερεύνηση της σχέσης αυτού του δείκτη με τις πραγματικές τιμές κατανάλωσης που παρατηρούνται.

3. Μεθοδολογική προσέγγιση

3.1. Μεθοδολογία Ανάλυσης

Βασική επιδίωξη της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός μεγέθους μέτρησης-ποσοτικοποίησης της οικολογικής οδήγησης ως προϊόν της οδηγικής συμπεριφοράς του εκάστοτε οδηγού και η διερεύνηση της σχέσης που μπορεί αυτή να έχει με την επιπλέον κατανάλωση καυσίμου από αυτήν που ορίζουν οι κατασκευαστές. Στο Διάγραμμα 3.1 απεικονίζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας.



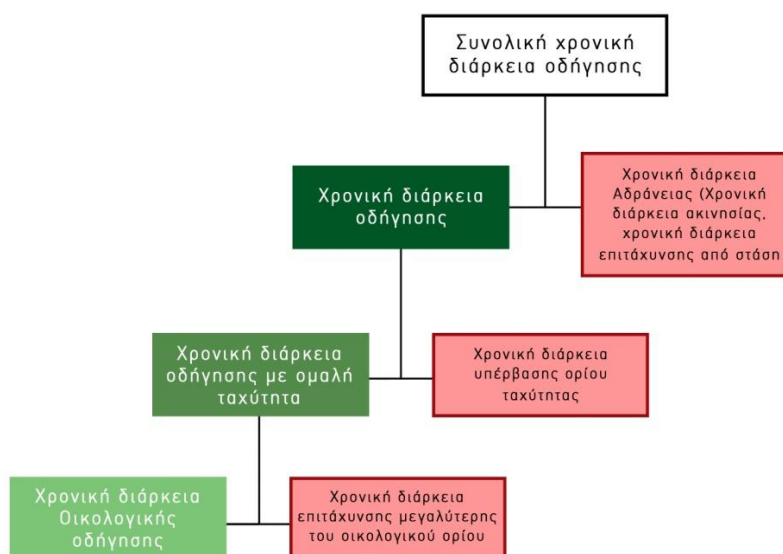
Διάγραμμα 8: Ροή εργασιών Διπλωματικής Εργασίας

3.2 Δείκτης Οικολογικού Αποτυπώματος κατά την Οδήγηση

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 καταγραφόμενα από τον εγκέφαλο του Ι.Χ. Επομένως, για την προσέγγιση του οικολογικού αποτυπώματος (eco footprint) του εκάστοτε Ι.Χ. 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 3.2 περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό της χρονικής διάρκειας Οικολογικής Οδήγησης.



Διάγραμμα 9: Διαδικασία υπολογισμού δείκτη eDrive.

Σύμφωνα και με το Διάγραμμα η Χρονική διάρκεια Οικολογικής οδήγησης προκύπτει από την αφαίρεση ορισμένων χρόνων απο 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 Ι.Χ. μέχρις ώτου 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 πάνω στο ζήτημα.. Για τον προσδιορισμό αυτής της χρονικής διάρκειας υπολογίστηκαν οι στιγμιαίες επιτάχυνσεις 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 που μπορεί να λάβει ο δείκτης είναι η τιμή 1 και αντιπροσωπεύει την βέλτιστη προσέγγιση της οδηγικής διαδικασίας από οικολογική σκοπιά και η ελάχιστη τιμή

που μπορεί να λάβει είναι το 0, το οποίο αντοπροσωπεύει τη χειρίστη προσέγγιση της οδηγικής διαδικασίας σε ότι αφορά το οικολογικό αποτύπωμα. Για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας επεξεργάσθηκαν τα ταξίδια τεσσάρων χρηστών ηλικίας από είκοσι τρία έτη έως πενήντα πέντε, με διαφορετικά χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεικτών eDrive για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

3.2. Προδιαγραφές Πειράματος και Περιορισμοί

3.2.1 Καταγραφή Δεδομένων

Δεδομένα φυσικής οδήγησης

Το κινητό τηλέφωνο μέσω του GPS και του γυροσκοπίου μπορεί να δώσει δεδομένα που αφορούν στη θέση του οχήματος και, επομένως, μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα του και η επιτάχυνση του. Επίσης η θέση του οχήματος μπορεί να συσχετιστεί με τη διαδρομή που ακολουθεί και με τα όρια ταχύτητας της και έτσι να προκύψει η χρονική διάρκεια υπέρβασης του ορίου. Τέλος, οι συνθήκες κίνησης λαμβάνονται υπόψιν από:

- τη συνολική διάρκεια της διαδρομής,
- το χρόνο κατά τον οποίο το όχημα είναι ακινητοποιημένο και καταναλώνει ενέργεια χωρίς να πραγματοποιείται μετακίνηση και
- από το χρόνο που απαιτείται προκειμένου το όχημα να επιταχύνει από ακινησία, καθώς κατά αυτήν την κίνηση η κατανάλωση καυσίμου είναι ιδιαίτερα αυξημένη.

Βέβαια, η αποκλειστική χρήση δεδομένων κινητού τηλεφώνου θέτει αυτομάτως κάποιους περιορισμούς στα διαθέσιμα προς επεξεργασία δεδομένα που επιρεάζουν το οικολογικό αποτύπωμα. Για παράδειγμα μέσω κινητού τηλεφώνου δεν υπάρχει πρόσβαση σε δεδομένα που αφορούν στην κατάσταση του οχήματος, όπως για

παράδειγμα το επίπεδο συντήρησης του κινητήρα ή η πίεση των ελαστικών που επιρεάζουν άμεσα την κατανάλωση καυσίμου. επίσης, αποκλειστικά μέσω κινητού τηλεφώνου δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί καταγραφή των στροφών του κινητήρα και έτσι εν συνέχεια να αξιολογηθεί η χρήση του κιβωτίου ταχυτήτων και οι συνέπειες που αυτή έχει στην κατανάλωση καυσίμου. Τέλος, παρόλο που μέσω του GPS είναι γνωστά το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος της θέσης του κινητού ανά δευτερόλεπτο κίνησης δε βρέθηκε διαθέσιμη βάση δεδομένων η οποία να συσχετίζει αυτά τα δύο με το υψόμετρο της εκάστοτε θέσης με την επαρκή ακρίβεια και έτσι δεν κατέστη δυνατό να υπολογιστεί η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο θέσεων και άρα να ληφθεί υπόψιν η κλίση της οδού κίνησης η οποία μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου.

Ωστόσο ο δείκτης που ορίστηκε προσφέρει μια ικανοποιητική εκτίμηση του οικολογικού αποτυπώματος του εκάστοτε οδηγού βασιζόμενος κυρίως στην οδηγική συμπεριφορά, στον τρόπο δηλαδή που χειρίζεται το όχημά του και στην προσαρμογή του στη νομοθεσία και στις συνθήκες κυκλοφορίας.

Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη διερεύνηση της σχέσης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου είναι η παροχή πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης για τα ταξίδια χρήστη της εφαρμογής Oseven. Προς εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού, αρχικά, χρησιμοποιήθηκε συσκευή που συνδέεται στην On-Board Diagnostics (OBD) θύρα του οχήματος. Ωστόσο, στην πορεία της έρευνας διαπιστώθηκε ότι η συσκευή δεν κατέγραφε ορθά την κατανάλωση καυσίμου. Προς επίλυση αυτού του ζητήματος, επιστρατεύτηκε η λύση της χειροκίνητης καταγραφής της μέσης κατανάλωσης καυσίμου, όπως αυτή αναγραφόταν στην κεντρική κοσνσόλα του οχήματος (Εικόνα 3.1.). Η διαδικασία καταγραφής περιελάμβανε το μηδενισμό του μετρητή του οχήματος

κατά την έναρξη ενός ταξιδιού και την καταγραφή της μέσης κατανάλωσης καυσίμου (L/100km) στο τέλος της διαδρομής.



Εικόνα 2: Κεντρική κονσόλα του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των περιπαμάτων

3.2.2 Χαρακτηριστικά οχήματος

Το όχημα που επιλέχθηκε για την πραγματοποίηση του πειράματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Μάρκα / Μοντέλο : Renault Clio
- Χρονολογία : 2016
- Κυβισμός / Ιπποδύναμη : 898 κ.εκ. / 90 ίπποι
- Καύσιμο : Βενζίνη
- Κατανάλωση καυσίμου : Αστικός κύκλος (L/100km) : 5,7
Υπεραστικός κύκλος (L/100km) : 4,1
Συνδιασμένος κύκλος (L/100km) : 4,7

3.2.3 Διεξαγωγή Πειραμάτων

Διευρυμένο πείραμα

Η διεξαγωγή του διευρυμένου πειράματος αποσκοπούσε στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και του δείκτη eDrive για το σύνολο των ταξιδιών ενός χρήστη. Πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός του δείκτη eDrive μέσω των δεδομένων που συλλέγονταν από την εφαρμογή Oseven για κάθε ταξίδι. Στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα της κατανάλωσης καυσίμου τα οποία καταγράφηκαν χειροκίνητα από το μελετητή. Αυτό το οποίο παρατηρήθηκε ήταν ότι υπήρχε σχετικά μεγάλη διαφοροποίηση στις τιμές της κατανάλωσης για τις ίδιες τιμές του δείκτη. Για παράδειγμα, για την ίδια διαδρομή εκτελεσμένη μπρος και πίσω, δηλαδή από την αφετηρία στο τέρμα και από το τέρμα στην αφετηρία, ενώ οι τιμές του δείκτη eDrive ήταν παραπλήσιες, οι τιμές της κατανάλωσης είχαν σημαντική διαφορά. Αυτό αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στη διαφορετικότητα της κλίσης του οδικού άξονα μεταξύ των διαδρομών, η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και τις συχνές διαδρομές οι οποίες εκτελούνται κυκλικά.

Ελεγχόμενο πείραμα

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω και την αδυναμία εύρεσης δεδομένων υψομέτρου για το σύνολο των θέσεων που βρισκόταν το όχημα κατά την εκτέλεση των διαδρομών, κρίθηκε σκόπιμη η διεξαγωγή ελεγχόμενου πειράματος για τη μελέτη της σχέσης των δύο μεγεθών σε επίπεδο διαδρομής. Επιλέγοντας μια συγκεκριμένη διαδρομή για μελέτη, ουσιαστικά η παράμετρος του υψομέτρου μπορεί να θεωρηθεί σταθερή και η επιρροή της στην κατανάλωση είναι δεδομένη εφόσον επισέρχεται σε όλες τις προς μελέτη διαδρομές.

3.2.3 Επιλογή Διαδρομής

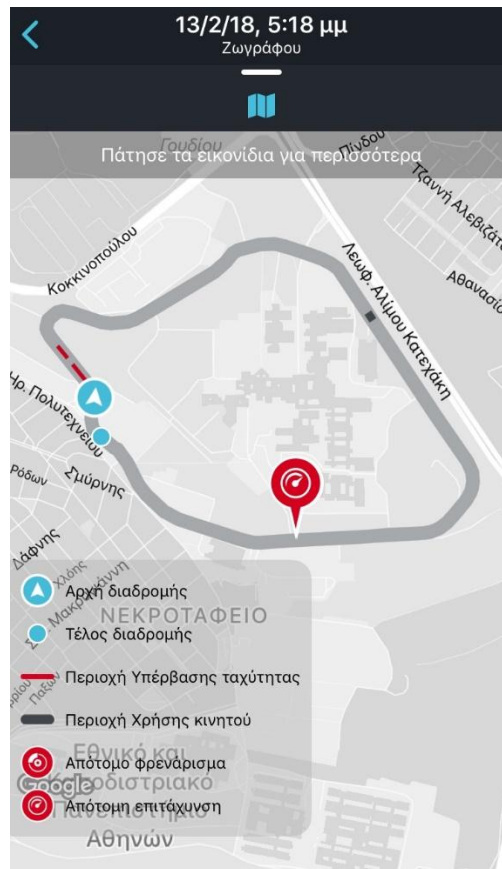
Η διαδρομή που επιλέχθηκε για την εκτέλεση του πειράματος ήταν η κυκλική διαδρομή της Πολυτεχνειούπολης (Εικόνα 2.2). Η διαδρομή αυτή επιλέχθηκε για λόγους

ασφάλειας αλλά και λόγω του ιδιαίτερου χαρακτηριστικού της το οποίο είναι ο σχετικώς αμετάβλητος και χαμηλός κυκλοφοριακός φόρτος της. Αυτό συνεισφέρει σημαντικά στην εστίαση της μελέτης στην επίδραση της οδηγικής συμπεριφοράς στην κατανάλωση.

Πιο συγκεκριμένα, η κάθε μέτρηση περιελάμβανε την εκτέλεση της κυκλικής διαδρομής δύο φορές, έτσι ώστε το συνολικό διανυόμενο μήκος να είναι μεγαλύτερο των πέντε χιλιομέτρων και ο χρόνος οδήγησης μεγαλύτερος των δέκα λεπτών προκειμένου τα συλλεγόμενα δεδομένα να είναι ικανά να οδηγήσουν σε συμπεράσματα. Κατά τη διάρκεια της κάθε διαδρομής η εφαρμογή OSeven κατέγραφε τα δεδομένα φυσικής οδήγησης ανά δευτερόλεπτο και για κάθε διαδρομή, στο τέλος της, ο χρήστης κατέγραφε τη μέση κατανάλωση του οχήματος όπως αυτή αναγραφόταν στην κεντρική κονσόλα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, ο χρήστης μετά το τέλος κάθε διαδρομής έπρεπε να βεβαιώνεται πως η διαδρομή καταγράφηκε σωστά από την εφαρμογή η οποία έχει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ότι ξεκινά την καταγραφή κάποια δευτερόλεπτα μετά από την πραγματική εκκίνηση, αφού ικανοποιηθούν κάποια κριτήρια όπως για παράδειγμα η απομάκρυνση του κινητού από το σημείο εκκίνησης σε απόσταση μεγαλύτερη των διακοσίων μέτρων, η ταχύτητα που καταγράφει το smartphone να είναι μεγαλύτερη των 16 km/h κ.α. και αντίστοιχα τερματίζει την καταγραφή πέντε λεπτά μετά τον πραγματικό τερματισμό του ταξιδιού αφού ο χρήστης αποβιβασθεί από το όχημα και διανύσει κάποια μέτρα πεζός. Αυτή η διαδικασία ήταν ιδιαίτερα κρίσιμη για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν ακριβέστερων μετρήσεων.

Επίσης, κατά τη διάρκεια του πειράματος, το οποίο συνολικά εκτελέστηκε 20 φορές, ο χρήστης επιδίωξε την υιοθέτηση διαφορετικών οδηγικών συμπεριφορών. Από τη μία, έγινε προσπάθεια προσέγγισης της βέλτιστης οδηγικής συμπεριφοράς, η οποία όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα αντιστοιχεί σε τιμή του δείκτη eDrive ίση με 1, δίνοντας

ιδιαίτερη προσοχή στη μη υπέρβαση του ορίου ταχύτητας που για τη συγκεκριμένη διαδρομή είναι τα 40 km/h και στον ομαλό και ήρεμο τρόπο επιτάχυνσης του οχήματος. Από την άλλη, κρίθηκε σκόπιμη και η προσέγγιση χαμηλών τιμών της τιμής του δείκτη eDrive, η οποία μπορούσε να επιτευχθεί από την αύξηση της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων και από την οδήγηση με υψηλότερες ταχύτητες από αυτήν που έχει ορισθεί ως όριο. Βέβαια, η πλειοψηφία των διαδρομών εκτελέστηκε χωρίς να υπάρχει κάποιος στόχος, δηλαδή με τη φυσιολογική συμπεριφορά οδήγησης του χρήστη προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν να ανταποκρίνονται σε πραγματικές καταστάσεις.



Εικόνα 3: Απεικόνιση της διαδρομής που εκτελέστηκε κατά το ελεγχόμενο πείραμα

3.4 Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.4.1 Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης

Αρχικά, για τη διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων του πειράματος απεικονίζονται γραφικά σε ένα διάγραμμα διασποράς και μέσω της Αρχής Ελαχίστων Τετραγώνων προσδιορίζεται η ευθεία που εκφράζει το μοντέλο παλινδρόμησης και έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων ανάμεσα στις πραγματικές τιμές y και στις εκτιμώμενες τιμές $\hat{y}$.

Χρησιμοποιήθηκε το απλό γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης με την παρακάτω μαθηματική εξίσωση :

$$\hat{y} = a + bx$$

όπου :

- $\hat{y}$ είναι η εκτιμώμενη τιμή της μεταβλητής y , όπου σε αυτήν την περίπτωση είναι η κατανάλωση καυσίμου
- a είναι το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y , η τιμή δηλαδή που παίρνει η μεταβλητή y όταν η μεταβλητή $x = 0$
- b είναι η κλίση της γραμμής ή η μέση μεταβολή της μεταβλητής $\hat{y}$ για κάθε μοναδιαία μεταβολή της τιμής της ανεξάρτητης μεταβλητής x
- x είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, όπου σε αυτήν την περίπτωση είναι ο δείκτης eDrive

Τα a και b αντίστοιχα υπολογίζονται ως εξής:

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

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

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

όπου :

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

3.4.2 Αξιολόγηση Μοντέλου Γραμμικής 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

μέχρι 1 και εκφράζει το ποσοστό της διασποράς της εξαρτημένης μεταβλητής y που μπορεί να εξηγηθεί 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 :

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

4. Επεξεργασία και αποτελέσματα

4.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την περιγραφή της συλλογής δεδομένων, την εφαρμογή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη eDrive και για τη διερεύνηση της σχέσης του με την κατανάλωση καυσίμου, και την παρουσίαση των σημαντικότερων αποτελεσμάτων της. Στο πρώτο μέρος αναλύονται τα διαθέσιμα δεδομένα και οι περιορισμοί του προβλήματος. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται ο υπολογισμός του δείκτη οικολογικής οδήγησης eDrive, καθώς και η συγκριτική αξιολόγησή του σε 4 διαφορετικούς χρήστες. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής του δείκτη eDrive με τιμές κατανάλωσης καυσίμου, όπως προέκυψαν από το ελεγχόμενο και το διευρυμένο πείραμα οδήγησης.

4.2 Διαθέσιμα Δεδομένα και Περιορισμοί

Όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από δεδομένα φυσικής οδήγησης που συλλέχθηκαν από τα κινητά τηλέφωνα των οδηγών μέσω της εφαρμογής Oseven Telematics¹. Τα δεδομένα που καταγράφονται από το κινητό τηλέφωνο, μεταδίδονται σε μία κεντρική βάση δεδομένων όπου γίνεται η αποθήκευση και η επεξεργασία τους. Εκεί προκύπτουν τα μεταδεδομένα (metadata) που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν σε μορφή ηλεκτρονικού φύλλου και αποτελούταν από 4.323 εγγραφές που αντιπροσωπεύουν τα ταξίδια 3 χρηστών. Για τη διερεύνηση της σχέσης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση χρησιμοποιήθηκαν 229 ταξίδια, που είναι τα ταξίδια του ενός από τους τρεις διαθέσιμους χρήστες.

¹ www.oseven.io

Το κινητό τηλέφωνο μέσω του GPS και του γυροσκοπίου μπορεί να δώσει δεδομένα που αφορούν στη θέση του οχήματος και επομένως, μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα του και η επιτάχυνση του. Επίσης η θέση του οχήματος μπορεί να συσχετιστεί με τη διαδρομή που ακολουθεί και με τα όρια ταχύτητάς της και έτσι να προκύψει η χρονική διάρκεια υπέρβασης του ορίου, ενώ οι συνθήκες κίνησης μπορούν να ληφθούν υπόψιν πρώτον από τη συνολική διάρκεια της διαδρομής, δεύτερον από το χρόνο κατά τον οποίο το όχημα είναι ακινητοποιημένο και καταναλώνει ενέργεια χωρίς να πραγματοποιείται μετακίνηση και τρίτον από το χρόνο που απαιτείται προκειμένου το όχημα να επιταχύνει από ακινησία καθώς κατά αυτήν την κίνηση η κατανάλωση καυσίμου είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Επομένως οι μεταβλητές(-τα μεταδεδομένα) που χρησιμοποιήθηκαν κατά την παρούσα εργασία είναι :

- `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/s^2)

Ωστόσο, η αποκλειστική χρήση δεδομένων κινητού τηλεφώνου θέτει αυτομάτως κάποιους περιορισμούς στα διαθέσιμα προς επεξεργασία δεδομένα που επηρεάζουν το οικολογικό αποτύπωμα. Για παράδειγμα μέσω κινητού τηλεφώνου δεν υπάρχει πρόσβαση σε δεδομένα που αφορούν την κατάσταση του οχήματος όπως το επίπεδο συντήρησης του κινητήρα ή η πίεση των ελαστικών, που επηρεάζουν άμεσα την κατανάλωση καυσίμου. Επίσης αποκλειστικά μέσω κινητού τηλεφώνου δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί καταγραφή των στροφών του κινητήρα και έτσι εν συνέχεια να αξιολογηθεί η χρήση του κιβωτίου ταχυτήτων και οι συνέπειες που αυτή έχει στην κατανάλωση καυσίμου. Τέλος, παρόλο που μέσω του GPS είναι γνωστά το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος της θέσης του κινητού ανά

δευτερόλεπτο κίνησης δε βρέθηκε διαθέσιμη βάση δεδομένων η οποία να συσχετίζει αυτά τα δύο με το υψόμετρο της εκάστοτε θέσης με την επαρκή ακρίβεια και έτσι δεν κατέστη δυνατό να υπολογιστεί η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο θέσεων και άρα να ληφθεί υπόψιν η κλίση της οδού κίνησης η οποία μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου.

4.3 Υπολογισμός και Ανάλυση Δείκτη 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 επιλέχθηκε η τιμή 1.09 m/s^2 η οποία έχει προκύψει κατά από έρευνες για την εκπόνηση άλλων διπλωματικών εργασιών γύρω από το ζήτημα της οικολογικής οδήγησης.

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 οποίο για κάθε ταξίδι το πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός της στιγμιαίας επιτάχυνσης ως η διαφορά μεταξύ δύο 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 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 acceleration (i) > 1.09 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. 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. Πρωτού ληφθεί αυτό υπόψιν, κατά τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του δείκτη εμφάνιζαν και αρνητικές τιμές οι οποίες δεν έχουν φυσικό νόημα βάσει του τρόπου ορισμού του δείκτη και έπρεπε να απαλειφθούν από το δείγμα.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την κατάρτιση του δείκτη eDrive και αποτελούν τα δεδομένα που εισάγονται στο αλγόριθμο υπολογισμού του για συνεχόμενες διαδρομές τυχαίου χρήστη.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη eDrive για τα δεδομένα εισόδου του Πίνακα 4.1.

Σημειώνεται ότι ο χρόνος Διάρκεια οδήγησης (1) είναι ένα από τα διαθέσιμα metadata και έχει προκύψει από την αφαίρεση του χρόνου στάσεων από τη συνολική χρονική διάρκεια οδήγησης.

Επιπλέον, παρατηρείται ένα μεγάλο εύρος στις τιμές των χρονικών διαρκειών που αφαιρούνται σταδιακά γεγονός που οφείλεται στη διαφορετικότητα των εκτελούμενων διαδρομών ως προς το όριο ταχύτητας, τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τις στάσεις, αλλά και την οδηγική συμπεριφορά που επέδειξε ο χρήστης.

Πίνακας 3: Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του eDrive για συνεχόμενες διαδρομές τυχαίου χρήστη

Διάρκεια οδήγησης (1)	Χρονική διάρκεια επιτάχυνσης από στάση (2)	Χρονική διάρκεια υπέρβασης ορίου ταχύτητας (3)	Χρόνος μη οικολογικής επιτάχυνσης (4)	Χρόνος στάσεων (5)
1092	54	0	13	179
1740	120	64	29	379
1267	147	86	30	972
1137	135	75	28	764
782	49	26	16	159
838	52	21	20	171
1126	45	291	67	173
1309	33	374	29	203
1504	44	394	22	199

Πίνακας 4: Αλγόριθμος υπολογισμού eDrive για συνεχόμενες διαδρομές τυχαίου χρήστη

Χρονική διάρκεια οδήγησης (6)=(1)-(2)	Χρονική διάρκεια οδήγησης με ομαλή ταχύτητα (7)=(6)-(3)	Χρονική διάρκεια Οικολογικής οδήγησης (8)=(7)-(4)	Συνολική χρονική διάρκεια οδήγησης (9)=(1)+(5)	eDrive (10)=(8)/(9)
1079	1079	1066	1258	0.847
1711	1647	1618	2090	0.774
1237	1151	1121	2209	0.507
1109	1034	1006	1873	0.537
766	740	724	925	0.783
818	797	777	989	0.786
1059	768	701	1232	0.569
1280	906	877	1483	0.591
1482	1088	1066	1681	0.634

Σημειώνεται ότι ο χρόνος Διάρκεια οδήγησης (1) είναι ένα από τα διαθέσιμα metadata και έχει προκύψει από την αφαίρεση του χρόνου στάσεων από τη συνολική χρονική διάρκεια οδήγησης.

Επιπλέον, παρατηρείται ένα μεγάλο εύρος στις τιμές των χρονικών διαρκειών που αφαιρούνται σταδιακά γεγονός που οφείλεται στη διαφορετικότητα των

εκτελούμενων διαδρομών ως προς το όριο ταχύτητας, τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τις στάσεις, αλλά και την οδηγική συμπεριφορά που επέδειξε ο χρήστης. Στη συνέχεια στους Πίνακες 4.3 και 4.4. παρατίθενται τα αντίστοιχα δεδομένα εισόδου και ο αλγόριθμος υπολογισμού του δείκτη για μία τυπική διαδρομή ενός χρήστη για να αναδειχθεί η επίδραση της κάθε παραμέτρου στην τελική τιμή του δείκτη.

Πίνακας 5: Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του eDrive για μία τυπική διαδρομή τυχαίου χρήστη

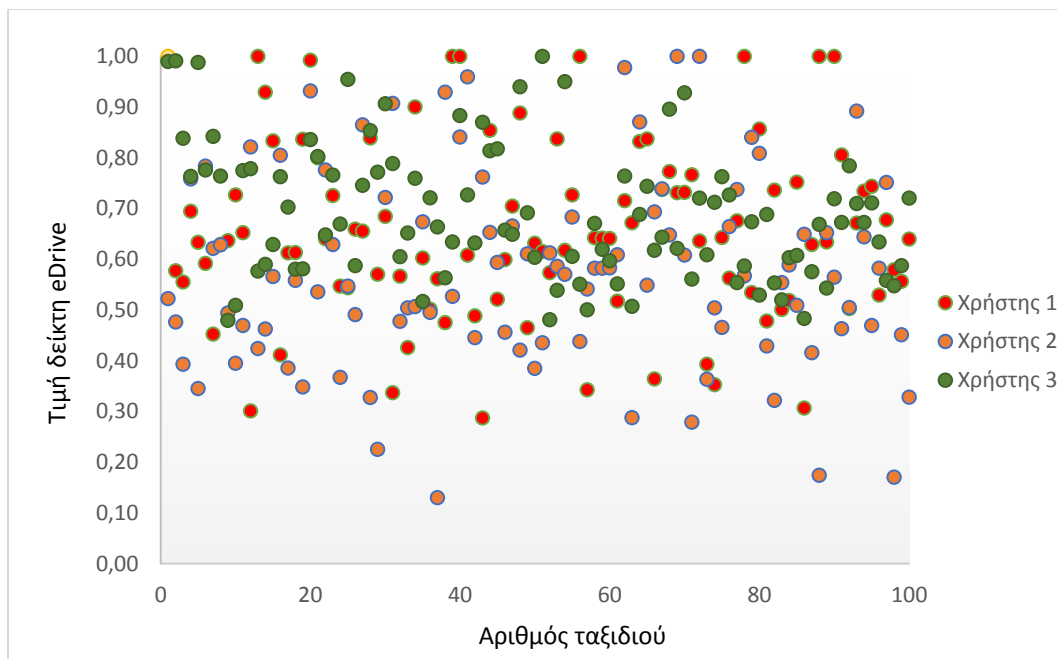
Διάρκεια οδήγησης (1)	Χρονική διάρκεια επιτάχυνσης από στάση (2)	Χρονική διάρκεια υπέρβασης ορίου ταχύτητας (3)	Χρόνος μη οικολογικής επιτάχυνσης (4)	Χρόνος στάσεων (5)
584	7	80	8	25
813	0	3	4	0
691	0	10	13	5
837	27	20	0	28
731	4	18	6	85

Πίνακας 6: Αλγόριθμος υπολογισμού eDrive για μία τυπική διαδρομή τυχαίου χρήστη

Χρονική διάρκεια οδήγησης (6)=(1)-(2)	Χρονική διάρκεια οδήγησης με ομαλή ταχύτητα (7)=(6)-(3)	Χρονική διάρκεια Οικολογικής οδήγησης (8)=(7)-(4)	Συνολική χρονική διάρκεια οδήγησης (9)=(1)+(5)	eDrive (10)=(8)/(9)
576	496	488	601	0.812
809	806	802	809	0.991
678	668	655	683	0.959
837	817	817	865	0.945
725	707	701	810	0.865

4.3.1 Στατιστική ανάλυση δείκτη eDrive και σύγκριση μεταξύ 3 χρηστών

Για καλύτερη εποπτεία της κατανομής των τιμών του δείκτη έχει επιλεγθεί να αποτυπωθούν γραφικά σε ένα διάγραμμα διασποράς (Διάγραμμα 4.1) οι τιμές 100 τυχαίων ταξιδιών κάθε χρήστη.



Διάγραμμα 10: Διασπορά τιμών eDrive 100 ταξιδιών 3 χρηστών

Αυτό το οποίο παρατηρούμε από το Διάγραμμα 4.1 είναι ότι στα 100 τυχαία ταξίδια των τριών χρηστών ο δείκτης eDrive παρουσιάζει ένα μεγάλο εύρος τιμών από 0.10 έως 1, με την πλειοψηφία των τιμών να συγκεντρώνονται στο διάστημα από 0.4 έως 0.8. Η εικόνα αυτή, δηλαδή η συγκέντρωση της πλειοψηφίας των παρατηρήσεων στο κέντρο και της μειοψηφίας στα άκρα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανότατα οι τιμές του δείκτη eDrive ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Από την επεξεργασία όλων των ταξιδιών των 3 χρηστών προέκυψαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείκτη eDrive τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 7: Στατιστικά χαρακτηριστικά δείκτη eDrive

	Εύρος eDrive	Μέση τιμή eDrive	Διάμεσος eDrive	Διασπορά eDrive	Τυπική απόκλιση eDrive
Χρήστης 1	0.601	0.686	0.669	0.021	0.144
Χρήστης 2	0.913	0.575	0.558	0.034	0.186
Χρήστης 3	0.969	0.636	0.616	0.037	0.193
Σταθμισμένος μέσος όρος	0.777	0.627	0.611	0.028	0.167

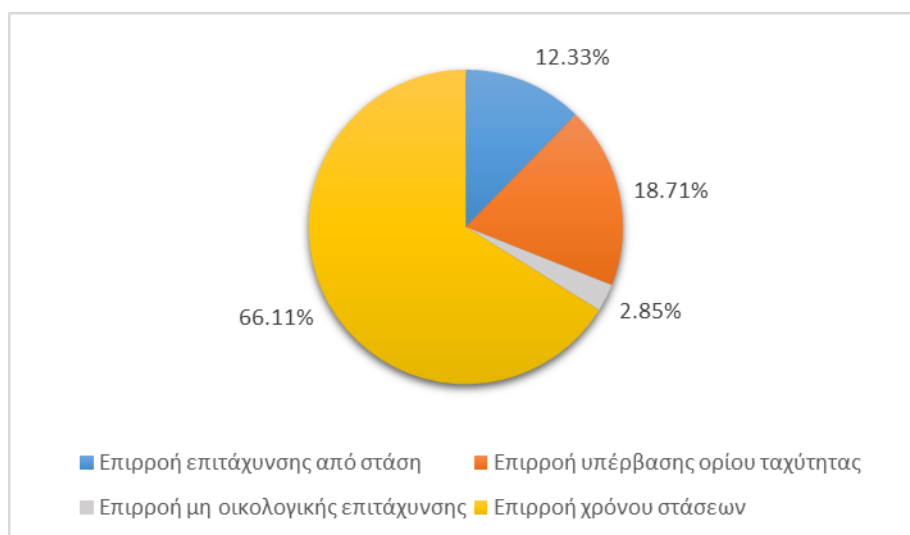
Από τον πίνακα παρατηρείται ότι ο σταθμισμένος μέσος όρος του δείκτη και για τους 3 χρήστες είναι ίσος με 0,627 που σημαίνει ουσιαστικά, ότι στο 62,7% της διάρκειας κάθε ταξιδιού οδηγούν σύμφωνα με το οικολογικό πρότυπο που ορίζει ο δείκτης και το οικολογικό τους αποτύπωμα σε εκείνη τη διάρκεια είναι θετικό, κάτι το οποίο πιθανότατα αποτυπώνεται εν τέλει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων.

4.3.2. Διερεύνηση επιρροής παραμέτρων

Αυτό το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον, είναι η διερεύνηση της επιρροής της κάθε παραμέτρου απομείωσης του δείκτη eDrive στη διαμόρφωση της τελικής τιμής του. Βάσει αυτής θα μπορούσαν για παράδειγμα να διαμορφωθούν οδηγίες προς τους χρήστες οι οποίες θα αποσκοπούν στοχευμένα στη βελτίωση της παραμέτρου της οδηγικής τους συμπεριφοράς που θα έχει την πιο άμεση θετική επίδραση στη αύξηση του δείκτη eDrive και άρα στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων. Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζεται η επιρροή των παραμέτρων, η οποία για καλύτερη εποπτεία απεικονίζεται και στο κυκλικό Διάγραμμα 4.2.

Πίνακας 8: Επιρροή παραμέτρων στη διαμόρφωση της τιμής του eDrive

	Αριθμός ταξιδιών	Επιρροή επιτάχυνσης από στάση	Επιρροή υπέρβασης ορίου ταχύτητας	Επιρροή μη οικολογικής επιτάχυνσης	Επιρροή χρόνου στάσεων
Χρήστης 1	1920	13.25%	13.68%	1.62%	71.44%
Χρήστης 2	2184	11.53%	22.31%	3.87%	62.29%
Χρήστης 3	219	12.21%	26.82%	3.50%	57.46%
Σταθμισμένος μέσος όρος	4323	12.33%	18.71%	2.85%	66.11%



Διάγραμμα 11: Απεικόνιση επιρροής παραμέτρων στον δείκτη οικολογικής οδήγησης.

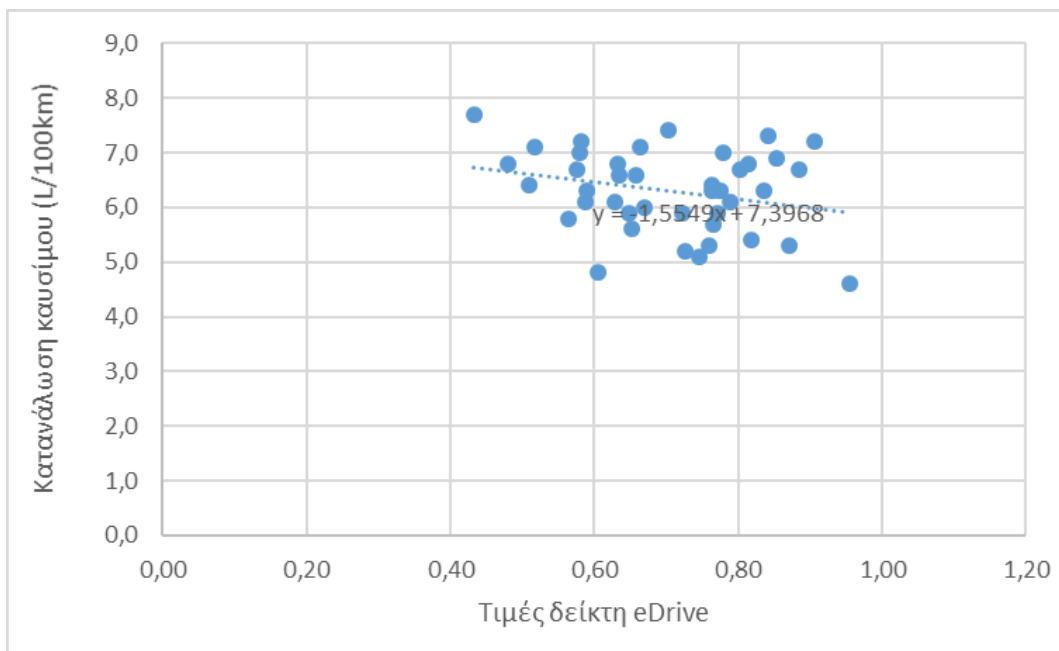
Από τον Πίνακα 4.6 και το Διάγραμμα 4.2 προκύπτει ότι η παράμετρος που έχει τη μεγαλύτερη επιρροή συνολικά είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το όχημα είναι ακινητοποιημένο. Η υψηλή τιμή αυτού του παράγοντα, ο οποίος σχετίζεται με τις κυκλοφοριακές συνθήκες που εκρατούν κατά τη διάρκεια των ταξιδιών, μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι η πλειοψηφία των διαδρομών των χρηστών που εξετάστηκαν έχουν εκτελεσθεί σε αστικό περιβάλλον όπου οι συχνές στάσεις είναι υποχρεωτικές και αναπόφευκτες λόγω της ύπαρξης φαναριών και σηματοδότησης υποχρεωτικής στάσης για έλεγχο (Stop). Από τις παραμέτρους που σχετίζονται με την οδηγική συμπεριφορά, σημαντική επίδραση έχει η διάρκεια κατά την οποία ο χρήστης

υπερβαίνει το όριο ταχύτητας, ενώ η διάρκεια κατά την οποία η επιτάχυνση του οχήματος είναι μεγαλύτερη από $1,09 \text{ m/s}^2$ έχει χαμηλότερη επιρροή. Και οι δύο παραπάνω παράμετροι σχετίζονται με τη χρήση του πεντάλ του γκαζιού και επομένως οι μεταβολές του έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση καυσίμου. Φυσικά, η παράμετρος που αφορά την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας χρήζει περισσότερης διερεύνησης διότι όσο μεγαλύτερη είναι η υπέρβαση του ορίου ταχύτητας τόσο μεγαλύτερη αναμένεται να είναι η επιρροή της στην τελική τιμή της κατανάλωσης καυσίμου.

4.4. Διερεύνηση σχέσης Οικολογικής Οδήγησης με Κατανάλωση Καυσίμου

4.4.1. Αποτελέσματα διευρυμένου πειράματος

Το διευρυμένο πείραμα περιελάμβανε συνολικά 40 διαδρομές 23 εκ των οποίων ήταν διαφορετικές μεταξύ τους ως προς την αφετηρία και το τέρμα. Κατά τη διάρκεια των διαδρομών η εφαρμογή OSeven κατέγραφε δεδομένα ανά δευτερόλεπτο και μετά από την επεξεργασία τους προέκυπταν τα απαραίτητα μεταδεδομένα (metadata) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη eDrive. Παράλληλα ο χρήστης μετά το τέλος κάθε διαδρομής κατέγραφε την κατανάλωση καυσίμου σε L/100km όπως αυτή αναγραφόταν στην κεντρική κονσόλα του οχήματος. Για τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των δύο μεγεθών πραγματοποιήθηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατέδειξαν ότι δεν υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών. Αναλυτικότερα προέκυψε συντελεστής συσχέτισης $r = 0,31$ και συντελεστής προσαρμογής $R^2 = 0,097$. Επομένως είναι κατανοητό ότι οι μεταβολές στο μέγεθος της κατανάλωσης δεν μπορούν να περιγραφούν επαρκώς από τις μεταβολές του δείκτη eDrive. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη φύση των δεδομένων που αναλύθηκαν, αν ληφθεί υπόψιν ότι συνολικά εκτελέστηκαν 23 διαφορετικές διαδρομές με διαφορετικό ανάγλυφο, διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες αλλά και διαφορετικό τύπο οδού κίνησης. Ιδιαίτερα το ανάγλυφο της διαδρομής, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη χρήση του γκαζιού, επηρεάζει σημαντικά την τιμή της κατανάλωσης και η διαφορετικότητα των τιμών της οδηγεί σε αδυναμία ορισμού μοντέλου συσχέτισης της με τον eDrive για όλες συνολικά τις διαδρομές. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς των δεδομένων που αναλύθηκαν κατά το διευρυμένο στο Διάγραμμα 4.3 και ο ενδεικτικός Πίνακας 4.7 μέσω του οποίου γίνεται αντιληπτή η μη ύπαρξη αναλογικής σχέσης μεταξύ του δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου. Για καλύτερη εποπτεία τα δεδομένα του Πίνακα 4.7 αποτυπώνονται και γραφικά στο Διάγραμμα 4.3.



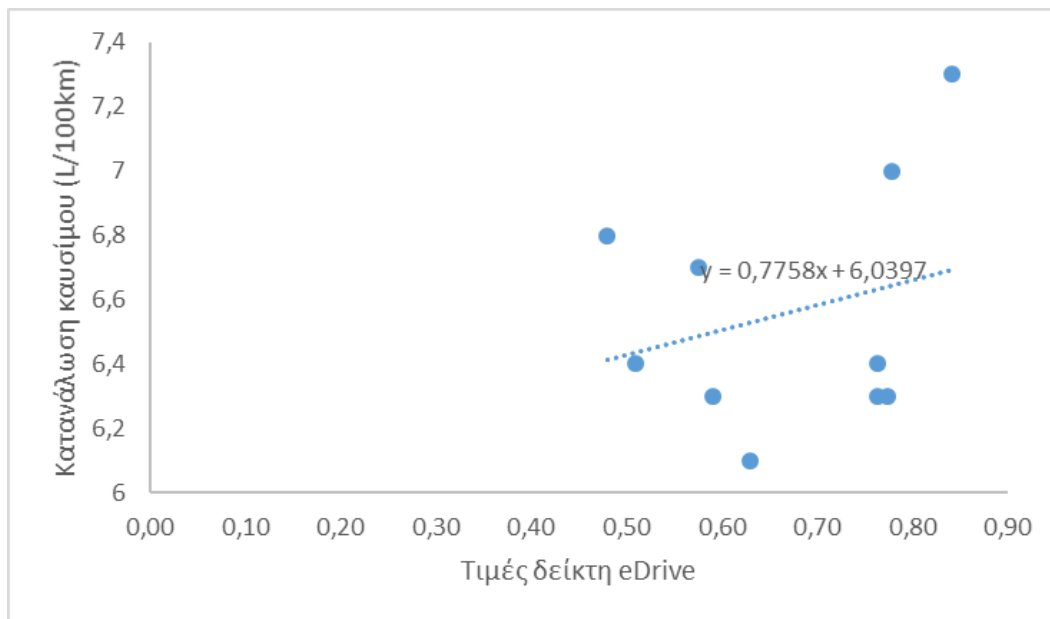
Διάγραμμα 12: Διασπορά των δεδομένων που αναλύθηκαν κατά το διευρυμένο πείραμα

Πίνακας 9: Ενδεικτικά δεδομένα όπως προέκυψαν από τη διεξαγωγή του διευρυμένου πειράματος

eDrive low	μετρημένη κατανάλωση (L/100 km)
0,842	7,3
0,764	6,4
0,480	6,8
0,509	6,4
0,775	6,3
0,778	7
0,577	6,7
0,590	6,3
0,629	6,1
0,763	6,3

Στο Διάγραμμα 4.4, στο οποίο απεικονίζονται ενδεικτικά δέκα ζεύγη τιμών δείκτη eDrive και κατανάλωσης καυσίμου παρατηρείται ότι συνολικά υπάρχει μια τάση αύξησης της τιμής της κατανάλωσης καθώς ο δείκτης eDrive αυξάνεται. Αυτή η τάση η

οποία παρατηρείται στα τυχαίως αυτά επιλεγμένα ταξίδια επηρεάζει συνολικά πολύ αρνητικά το μοντέλο καθώς η αναμενόμενη σχέση μεταξύ του δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου θα ήταν αντιστρόφως ανάλογη. Δηλαδή σε υψηλές τιμές του δείκτη eDrive αναμένεται να αντιστοιχούν χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης. Το παράδοξο το οποίο παρατηρείται στο Διάγραμμα 4.4. , όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αποδίδεται στη διαφορετικότητα των διαδρομών. Βέβαια αν η διαθέσιμη προς επεξεργασία βάση δεδομένων διευρυνθεί, τα αποτελέσματα ενδέχεται να βελτιωθούν σημαντικά εξετάζοντας τον ίδιο χρήστη με συγκεκριμένες τυπικές διαδρομές εκτελεσμένες σε συγκεκριμένη ώρα (π.χ. πρωινή ώρα με κατεύθυνση από την κατοικία προς το χώρο εργασίας).



Διάγραμμα 13: Διασπορά ενδεικτικών δεδομένων διευρυμένου πειράματος

4.4.2. Αποτελέσματα ελεγχόμενου πειράματος

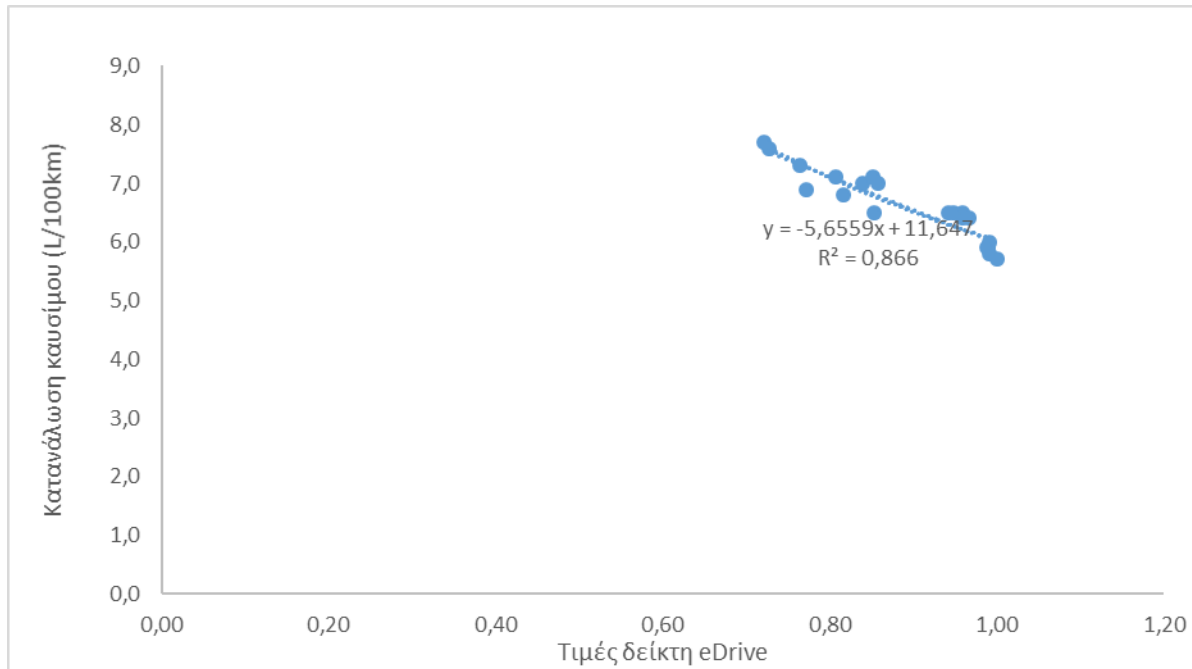
Στην προσπάθεια συσχέτισης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου κρίθηκε χρήσιμο, εφόσον δεν υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα υψομέτρου, να περιοριστεί η επιρροή του παράγοντα του αναγλύφου. Γι αυτόν το λόγο, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3 επιλέχθηκε η μελέτη μίας μεμονωμένης διαδρομής εκτελεσμένης συνολικά 20 φορές. Η μέση διάρκεια της λεπτά ήταν περίπου 10 λεπτά και διαφοροποιούνταν ανάλογα με το οδηγικό στυλ που εκτελούνταν κάθε φορά. Αφού συλλέχθηκαν τα δεδομένα, επεξεργάστηκαν με όμοιο τρόπο με αυτόν που περιγράφεται 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.

Πίνακας 10: 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, κάτι το οποίο δεν συνέβαινε στα δεδομένα διαφορετικών διαδρομών. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι η επίδραση του αναγλύφου να μην 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 14: Διασπορά δεδομένων ελεγχόμενου πειράματος

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

$$fc = -5,656 \text{ eDrive} + 11,647 \quad (3)$$

όπου :

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

Στην παραπάνω εξίσωση ο συντελεστής συσχέτισης r 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 (3) είναι ίσο με 0,22. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αναλυτικά αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης.

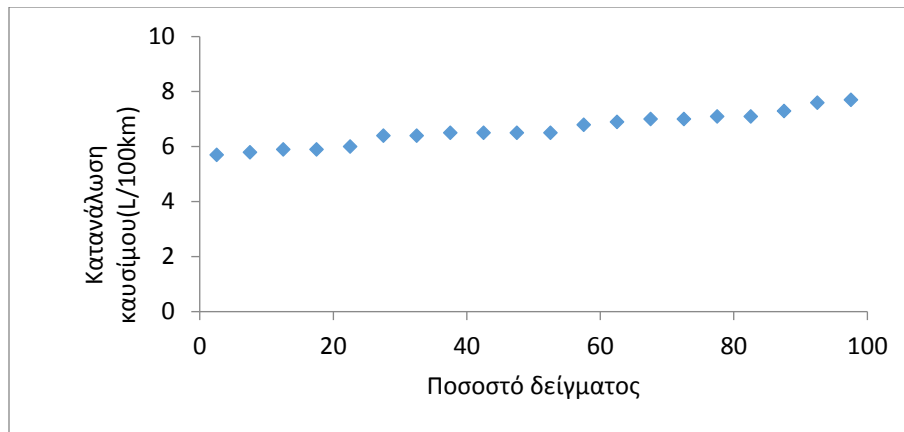
Πίνακας 11: Στατιστικών χαρακτηριστικών ανάλυσης παλινδρόμησης

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

Πίνακας 12: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
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 4.6) , και βάσει της γραμμικότητας που παρατηρείται στην κατανομή των δεδομένων προκύπτει το συμπέρασμα ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή.



Διάγραμμα 15: Διάγραμμα Κανονικής Πιθανότητας

5. Συμπεράσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο συνοψίζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα και την ανάλυση που διεξήχθη σχετικά με το θέμα της οικολογικής οδήγησης. Το ερευνητικό ενδιαφέρον για το θέμα της οδηγικής συμπεριφοράς και της οικολογικής οδήγησης είναι εξαιρετικά έντονο. Ωστόσο, μέχρι τώρα, τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί προέρχονταν κυρίως από πειραματικές διαδικασίες και μετρήσεις. Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών, όπως είναι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones), κατέστησε δυνατή τη συλλογή, την αποθήκευση και τη μετάδοση δεδομένων με υψηλή ακρίβεια και μειωμένο κόστος. Τα δεδομένα αυτά παρέχουν νέες δυνατότητες για την αναλυτική αποτίμηση της επίδρασης της οδηγικής συμπεριφοράς στο περιβάλλον και στην κατανάλωση καυσίμου. Ως εκ τούτου, επιδιώχθηκε η διαμόρφωση ενός δείκτη(eDrive) ποσοτικοποίησης του οικολογικού αποτυπώματος κάθε πραγματοποιούμενης διαδρομής και διερευνήθηκε η σχέση του με την κατανάλωση καυσίμου.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας και την κατάρτιση του δείκτη eDrive χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα φυσικής οδήγησης πραγματικού χρόνου τα οποία συλλέχθηκαν μέσω της εφαρμογής έξυπνων κινητών τηλεφώνων Oseven. Παράλληλα, για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του δείκτη και της κατανάλωσης καυσίμου καταγράφηκαν πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου από τα ταξίδια χρήστη της εφαρμογής Oseven.

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

5.2. Βασικά συμπεράσματα ανάλυσης

Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο δείκτης οικολογικής οδήγησης eDrive, που εξαρτάται από την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη και από τις συνθήκες κυκλοφορίας, παρουσιάζει ένα μεγάλο εύρος τιμών και σε επίπεδο διαδρομής, οι μεταβολές του δείχνουν να είναι ικανές να περιγράψουν ένα ικανοποιητικό ποσοστό των μεταβολών της κατανάλωσης καυσίμου. Η επεξεργασία των δεδομένων των 3 χρηστών, και η διεξαγωγή του διευρυμένου, αλλά και του ελεγχόμενου πειράματος έδωσε πολύτιμα συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση των παραπάνω μεγεθών.

Πιο συγκεκριμένα από την ανάλυση προέκυψε ότι ο δείκτης eDrive διαφοροποιείται ανάλογα με τη συμπεριφορά του οδηγού και τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες κάθε διαδρομής. Τα ταξίδια των προς μελέτη χρηστών ήταν στην πλειοψηφία τους αστικά και αυτό είχε ως αποτέλεσμα συνολικά η τιμή του δείκτη να επηρεάζεται σε μεγάλο ποσοστό από τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για την προσομοίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών, δηλαδή από τη συνολική διάρκεια στάσεων και από τη συνολική διάρκεια επιτάχυνσης από στάση. Αντίστοιχα παρατηρώντας τα δεδομένα κάποιων ταξιδιών που στο μεγαλύτερο μέρος τους η κίνηση πραγματοποιήθηκε σε υπεραστικό περιβάλλον, προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση της τιμής του eDrive την ασκούν οι παράμετροι που προσομοιάζουν την οδηγική συμπεριφορά, δηλαδή η συνολική διάρκεια υπέρβασης του ορίου και η συνολική διάρκεια επιταχύνσεων μεγαλύτερων από το οικολογικό όριο ($1,09 \text{ m/s}^2$). Γενικότερα ο δείκτης eDrive ως μέγεθος δείχνει να είναι ικανό να περιγράψει και να χαρακτηρίσει το οικολογικό αποτύπωμα μιας διαδρομής σε σχέση με άλλες διαδρομές και να αποτυπώσει τη βελτίωση ή την επιδείνωση στην «οικολογική επίδοση» ενός χρήστη στην ίδια διαδρομή.

Αν και ο δείκτης eDrive λαμβάνει υπόψη μόνο την οδηγική συμπεριφορά και τις κυκλοφοριακές συνθήκες αγνοώντας τη γεωμετρία της οδού κίνησης και πιο

συγκεκριμένα τις μεταβολές της κλίσης της, μπορεί να συνδεθεί άμεσα την κατανάλωση καυσίμου σε επίπεδο διαδρομής. Η σχέση που προέκυψε μεταξύ του δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου από το ελεγχόμενο πείραμα ήταν αντιστρόφως ανάλογη, όπως και αναμενόταν. Αυτό σημαίνει ότι όσο ο χρήστης παρουσιάζει ήπια οδηγική συμπεριφορά, δηλαδή όταν δεν υπερβαίνει το όριο ταχύτητας και επιταχύνει πιο ομαλά με τιμές επιτάχυνσης που δεν ξεπερνούν τα $1,09\text{m/s}^2$, και όσο πιο ευνοϊκές είναι οι συνθήκες κυκλοφορίας, δηλαδή δεν τον υποχρεώνουν σε πολλές στάσεις και άρα πολλές επιταχύνσεις από στάση, τόσο μεγαλύτερη η τιμή του δείκτη eDrive και αντίστοιχα τόσο λιγότερη η μέση κατανάλωση καυσίμου ($\text{L}/100\text{km}$) για τη συγκεκριμένη διαδρομή. Σημειώνεται ότι η σχέση (1) που προέκυψε ανταποκρίνεται στη διαδρομή του πειράματος, για συγκεκριμένο όχημα, και δεν έχει καθολική εφαρμογή σε όλες τις διαδρομές. Θεωρητικά, κάθε διαδρομή θα χαρακτηρίζεται από μία σχέση με ίδια μορφή με αυτήν της σχέσης (1), δηλαδή με αρνητική κλίση a και θετικό b , ωστόσο, οι τιμές των a και b θα είναι διαφορετικές. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η διαδρομή που εκτελέστηκε κατά το διευρυμένο πείραμα έχει πολύ χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο και επομένως οι παράμετροι που διαφοροποιούνταν κατά την εκτέλεση της ήταν κυρίως αυτές που χαρακτηρίζουν την οδηγική συμπεριφορά. Επομένως οι μεταβολές των τιμών της κατανάλωσης καυσίμου παρουσίασαν έντονη συσχέτιση με τις μεταβολές στην οδηγική συμπεριφορά. Μια πρακτική εφαρμογή αυτού του συμπεράσματος θα ήταν η αξιοποίηση του σε επίπεδο τυπικών διαδρομών ενός χρήστη. Η πλειοψηφία των χρηστών σε ημερήσιο ή ενδεχομένως σε εβδομαδιαίο επίπεδο πραγματοποιεί μετακινήσεις για συγκεκριμένους σκοπούς. Παραδείγματος χάριν, ένας εργαζόμενος πραγματοποιεί σε σχετικώς σταθερό ωράριο τη μετακίνηση του από το χώρο κατοικίας του προς το χώρο εργασίας του και αντίστροφα τη μετακίνησή του από το χώρο εργασίας του προς το χώρο κατοικίας του. Αυτές οι δύο διαδρομές αποτελούν δύο τυπικές διαδρομές του χρήστη, υπό την έννοια ότι εκτελούνται με σχετικά μεγάλη συχνότητα. Θα μπορούσε

επομένως, με σχετική ευκολία, να προσδιορισθεί το μοντέλο συσχέτισης του δείκτη eDrive με την κατανάλωση καυσίμου (μέσω εισαγωγής δεδομένων κατανάλωσης πραγματικού χρόνου από το χρήστη) και στη συνέχεια το μοντέλο αυτό να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της προβλεπόμενης κατανάλωσης καυσίμου για μελλοντικές διαδρομές, ανάλογα με την τιμή του δείκτη eDrive. Μέσω αυτής της εκτίμησης θα προκύπτουν οδηγίες με σκοπό τη βελτίωση της οδηγικής συμπεριφοράς και ο χρήστης θα ενημερώνεται για το προβλεπόμενο αντίκτυπο που θα έχει αυτή η βελτίωση στη μείωση της κατανάλωσης και έτσι σε βάθος χρόνου θα μειωθούν τα έξοδα μετακίνησης του αλλά παράλληλα θα παρουσιάσει και βελτίωση στην οδήγηση του η οποία θα γίνει αντιληπτή τόσο σε επίπεδο οικολογίας, όσο και σε επίπεδο ασφάλειας.

Οι μεταβολές του δείκτη eDrive σε επίπεδο συνολικών διαδρομών δεν έχουν τη δυνατότητα να περιγράψουν ικανοποιητικά τις μεταβολές της κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό αποδίδεται κατά βάση σε δύο λόγους: Πρώτον, στη γεωμετρία της οδού, η οποία δε λήφθηκε υπόψιν κατά τον ορισμό του eDrive, και αποτελεί βασικό παράγοντα για τον καθορισμό του αναγκαίου επιπέδου χρήσης του γκαζιού. Η διαφορετικότητα στη γεωμετρία μεταξύ των διαδρομών δίνει διαφορετικά ζεύγη τιμών δείκτη eDrive – κατανάλωσης καυσίμου τα οποία στο σύνολο τους, για τη διαθέσιμη βάση δεδομένων, δεν παρουσιάζουν την αναμενόμενη αντιστρόφως ανάλογη σχέση. Η υπάρχουσα σχέση ενδεχομένως να αντιμετωπιστεί αν διευρυνθεί η βάση δεδομένων ή αν στους παράγοντες απομείωσης του δείκτη eDrive προστεθεί και κάποιος όρος ο οποίος θα αφορά τη γεωμετρία της οδού, και συγκεκριμένα την κλίση της.

Δεύτερον, η απόκλιση του δείκτη eDrive από πραγματικές τιμές κατανάλωσης καυσίμου ανεξαρτήτως διαδρομής εξαρτάται από τη διαφορετικότητα των κυκλοφοριακών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε διαδρομή. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ώρα εκτέλεσης της διαδρομής, δηλαδή από το αν εκτελείται

κατά τις ώρες αιχμής ή όχι, και από τον τύπο της οδού κίνησης. Συνθέτοντας μια βάση δεδομένων η οποία αποτελείται από ένα σύνολο διαδρομών οι οποίες διαφέρουν ως προς τα παραπάνω δύο κριτήρια, είναι πιθανό να προκύψει χαμηλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου.

5.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η προσέγγιση του θέματος της παρούσας διπλωματικής επιδέχεται ορισμένες βελτιώσεις και προσθήκες οι οποίες ενδεχομένως θα οδηγήσουν σε αποτελέσματα και συμπεράσματα τα οποία θα έχουν καθολική εφαρμογή για το σύνολο των ταξιδιών ενός χρήστη ή ακόμα και υπό προϋποθέσεις για διαφορετικούς χρήστες.

Πρωτίστως, θα πρέπει να διερευνηθεί ο τρόπος εισαγωγής της παραμέτρου της κλίσης της οδού και η επιρροή που θα έχει αυτή η προσθήκη στη συσχέτιση των νέων τιμών του δείκτη με την κατανάλωση καυσίμου. Προκειμένου να γίνει αυτό θα πρέπει με δεδομένη την ανά δευτερόλεπτο καταγραφή του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους της θέσης που βρίσκεται το κινητό, να βρεθεί τρόπος προσδιορισμού του υψομέτρου της με ικανοποιητική ακρίβεια και με αυτοματοποιημένη διαδικασία για να μπορεί να εφαρμοσθεί για το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων. Αναμένεται αισθητή βελτίωση της σχέσης μεταξύ των δύο μεγεθών και μέσω αυτής θα αναδειχθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια η επίδραση της συμπεριφοράς του οδηγού στην κατανάλωση. Έπειτα, θα είναι δυνατή η κατάρτιση οδηγιών που θα αποσκοπούν στοχευμένα στη βελτίωση ορισμένων παραμέτρων της οδηγικής συμπεριφοράς με απώτερο σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης.

Επιπλέον, ιδιαίτερα χρήσιμη θα είναι 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 κατασκευάσθηκε, λαμβάνεται υπόψιν η χρονική στιγμή κατά την οποία η ταχύτητα του οχήματος είναι μεγαλύτερη

από αυτήν που ορίζει ΚΟΚ στη 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, διότι προκειμένου να φτάσει ένα όχημα 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.

Ακόμα, στις παραμέτρους στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκε από το μελετητή συντελεστής ίσος με τη μονάδα, δηλαδή αντιμετωπίστηκαν όλες ως ισοβαρείς. Στα πλαίσια κάποιας άλλης έρευνας, είναι πιθανό να απαιτείται η επιλογή συντελεστών βαρύτητας, η οποία μπορεί να προκύψει είτε από άλλη έρευνα στα ίδια δεδομένα είτε από τα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Για την αναγωγή του μοντέλου σε επίπεδο πολλών χρηστών, όπου τα οχήματα που χρησιμοποιούν οι χρήστες διαφέρουν μεταξύ τους και επομένως η κατανάλωση που παρατηρείται ανά όχημα για την ίδια διαδρομή διαφοροποιείται, μπορεί να εισαχθεί ένας όρος ο οποίος να ορίζεται ως η διαφορά της παρατηρηθείσας τιμής κατανάλωσης με την κατανάλωση που προβλέπεται από τους κατασκευαστές των οχημάτων. Οι κατασκευαστές παραθέτουν τρεις διαφορετικές πιθανές τιμές κατανάλωσης καυσίμου αστικού κύκλου, μικτού κύκλου και υπεραστικού κύκλου. Επομένως θα μπορούσαν αντίστοιχα να ομαδοποιηθούν τα δεδομένα βάσει του χρόνου κίνησης σε αστικό, αγροτικό (σε αντιστοιχία με το μικτό κύκλο) και υπεραστικό περιβάλλον και να εξετασθεί αρχικά η σχέση μεταξύ δείκτη eDrive και επιπλέον κατανάλωσης από αυτή που ορίζει ο κατασκευαστής σε επίπεδο ταξιδιών ενός χρήστη, και στη συνέχεια να εφαρμοσθεί η ίδια μεθοδολογία σε επίπεδο πολλών χρηστών, για διαφορετικά οχήματα.

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 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.
- Διερεύνηση και ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της οικολογικής οδήγησης στους συνολικούς χρόνους μετακίνησης .

Βιβλιογραφία

- [1] Raadal H.L., Gagnonb L., Modahl I.S., Hanssen O.J. (2011) Life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from the generation of wind and hydro power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 3417–3422
- [2] Pucher J., Dijkstra L. (2003) Promoting safe walking and cycling to improve public health. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1509-1516.
- [3] Goodwin P. (2012) Peak Travel, Peak Car and the Future of Mobility. *International Transport Forum*, (March), 41.
- [4] European Commission. (2016). Reducing CO2 emissions from passenger cars. Ανακτήθηκε από: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
- [5] The International Council on Clean Transportation. (2015). European Vehicle Market Statistics – Pocketbook 2015/16. Ανακτήθηκε από: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU/pocketbook_2015.pdf
- [6] Ma, L., Liang, J., Gao, D., Sun, J., Li, Z. (2012). The future demand of transportation in China: 2030 scenario based on a hybrid model. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 54, 428-437
- [7] Automobile Association. (2017). Drive smart and save. Ανακτήθηκε από: <http://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/drive-smart>
- [8] Eboli, L., Mazzulla, G., Pungillo, G. (2016). Combining speed and acceleration to define car users' safe or unsafe driving behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 68, 113-125

-
- [9] Tselentis D. I., Yannis G., Vlahogianni E. I. (2017). Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 139-148.
- [10] Estelles-Arolas E. & Gonzalez-Ladron-de-Guevara F. (2012) Towards an integrated crowdsourcing definition. *Journal of Information Science* 38(2) 189–200
- [11] 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)
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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)
- [15] 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)
- [16] Paefgen J., Kehr F., Zhai Y., Michahelles F. (2012) Driving behavior analysis with smartphones: insights from a controlled field study. *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* Article No. 36

-
- [17] Vlahogianni E. & Barbounakis E. (2017) Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 79, 196-206
- [18] Skog I. and Händel P. (2009) In-Car Positioning and Navigation Technologies—A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, VOL. 10, NO. 1, MARCH 2009
- [19] Salvi B.L., Subramanian K.A., (2015) Sustainable development of road transportation sector using hydrogen energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, vol. 51(C), pages 1132-1155
- [20] Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., Van, A.M., (2002) Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *J. Transp. Eng.* 128 (2), 182–190
- [21] Zhou M., Jin H., Wang W. (2016) A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D* 49 (2016) 203–218
- [22] Ben C.M., Shmerling E., Kuperman (2013) A. Analytic Modeling of Vehicle Fuel Consumption. *Energies*, 6, 117-127
- [23] Evans L. (1979) Driver behavior effects on fuel consumption in urban driving. *J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 21 (4), 389-398
- [24] Sanchez M., Cano J.C., Kim D. (2006) Predicting traffic lights to improve urban traffic fuel consumption. *2006 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, IEEE pp. 331-336

-
- [25] Berry I.M. (2010) The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of US light-duty vehicles. (PhD Thesis) Massachusetts Institute of Technology
- [26] Beusen B. et al. Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course. *Transportation Research Part D* 14 (2009) 514–520
- [27] Zarkadoula M., Zoidis G., Tritopoulou E. (2007) Training urban bus drivers to promote smart driving: a note on a Greek eco-driving pilot program. *Transportation Research Part D* 12 (2007) 449–451
- [28] 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
- [29] Alam Md., S. McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & Limitations. *Transport Policy*, 35, 42-49
- [30] Wang M., Daamen W., Hoogendoorn S., Arem B.V. (2012). Investigating potential impacts of an optimization-based eco-acc system on traffic and environment. *In: 91st Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2012
- [31] Liu B. S., Lee Y. H. (2006). In vehicle workload assessment: effects of traffic situations and cellular phone use. *Transportation research Part D: Transport and Environment*, 14(7), 514-520
- [32] Faris W.F., Rakha H.A., Kafafy R.I., Idres M., Elmoselhy S. (2011) Vehicle fuel consumption and emission modelling: an in-depth literature review. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, Vol. 6, Nos. 3/4, 2011

-
- [33] Ciarla V., Chasse A., Moulin P. and Ojeda L.L. (2016) Compute Optimal Travel Duration in Eco-Driving applications. *Science Direct IFAC-PapersOnLine* 49-11 (2016) 519–524
- [34] Husnjak S., Forenbacher I., Bucak T. (2015) Evaluation of Eco-Driving Using Smart Mobile Devices. *Traffic & Transportation*, Vol. 27, 2015, No. 4, 335-344
- [35] Dzenisiuk K. (2011) Eco-Driving – Changing truck driver behavior to achieve long-term sustainability results [*MSc Thesis*]. Frederiksberg, Denmark: Copenhagen Business School, Department of International Economics and Management; 2011
- [36] Sustainable Energy Ireland. A guide to Eco-driving. Emission Zero Dublin, Ireland 2013.
- [37] Kalila A., Awwad Z., Clemente R.D., Gonzalez M.C. (2017) Big data Fusion to Estimate Urban Fuel Consumption: A case study of Riyadh. *TRB 2018 Annual Meeting*
- [39] Lind D., Marchal W.G., Wathen S. (2015) Statistical Techniques in BUSINESS & ECONOMICS, Sixteenth version, Mc Graw Hill Education