



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ



*Ανάπτυξη προτύπου κατανάλωσης καυσίμου με χρήση
δεδομένων οδήγησης*

Διπλωματική εργασία

Παναγιώτης Καρακώστας
Αθήνα, Οκτώβριος 2025

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ελένη Βλαχογιάννη, Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για την ανάθεση και την υποστήριξη της σχετικά με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο Διδάκτορα Χάρη Χαλκιαδάκη ο οποίος ήταν πάντα δίπλα μου σε ότι χρειαστώ και αποτέλεσε έναν εξαιρετικά χρήσιμο συνεργάτη.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Ισιδώρα που η αρωγή της ήταν πολύτιμη και να αφιερώσω στους γονείς μου Γιάννη και Σταυρούλα τις στιγμές αυτές της αποφοίτησης μου, τις οποίες είχαν τόσο ονειρευτεί από την αρχή αλλά δεν καταφέραν να τις ζήσουν. Εύχομαι να παρακολουθούν από ψηλά...

Ανάπτυξη προτύπου κατανάλωσης καυσίμου με χρήση δεδομένων οδήγησης

Παναγιώτης Καρακώστας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ελένη Βλαχογιάννη

Σύνοψη

Σκοπό της παρούσας Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη των προτύπων πρόγνωσης της κατανάλωσης καυσίμου και οικολογικής δρομολόγησης. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση βασίζεται σε συλλογή δεδομένων οδηγικής συμπεριφοράς από τα κινητά τηλέφωνα των χρηστών, καθώς επίσης και δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου από συσκευές OBD εγκατεστημένες στα συμμετέχοντα στο πείραμα οχήματα. Για την μοντελοποίηση προσδιορίζονται κατάλληλοι δείκτες οικολογικής οδήγησης και αναπτύσσονται προχωρημένα πρότυπα παλινδρόμησης. Στη συνέχεια γίνεται ανάπτυξη μεθόδου βαθμολόγησης των οδηγών ανά διαδρομή, με παράγοντες αξιολόγησης την κατανάλωση καυσίμου και την οικολογική οδήγηση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι παράγοντες που συμβάλλουν ώστε να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης καυσίμων είναι κυρίως λειτουργικής φύσεως, ήτοι η μέση ταχύτητα, μέση επιτάχυνση και επιβράδυνση.

Λέξεις κλειδιά: Οικολογική οδήγηση, κατανάλωση καυσίμου, πειράματα φυσικής οδήγησης, κινητά τηλέφωνα, OBD

Development of a fuel consumption model using driving data

Panagiotis Karakostas

Supervisor: Eleni Vlahogianni

Abstract

The purpose of this Diploma thesis is the development of fuel consumption prediction models and ecological routing. The suggested methodological framework is based on the collection of data from the users' mobile phones as well as from the fuel consumption data from OBD devices installed in the vehicles participating in the experiment. For the modeling determination factors of ecological driving and advanced regression models are being determined. In advance, a method was developed to score the drivers per route, with evaluation factors of fuel consumption and ecological driving. The results indicate that factors who contribute to the reduction of fuel consumption are mainly functional such as average speed, average acceleration, and average deceleration.

Keywords: Ecological driving, fuel consumption, on-road driving experiments, mobile phones, OBD

Περίληψη

Η Οικολογική Οδήγηση αποτελεί έννοια πολύπλοκη, εμπεριέχει όρους όπως η οδηγική συμπεριφορά, η επιλογή διαδρομής, καθώς επίσης και το σύνολο των σχετιζόμενων με την κατανάλωση καυσίμων επιλογών ή συμπεριφορών. Κύριες μεταβλητές ορισμού οδηγικής συμπεριφοράς αποτελούν η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Οι πιο συνηθισμένες στρατηγικές οικολογικής οδήγησης βασίζονται στη διατήρηση ταχύτητας στο εύρος των 50 έως 80 χλμ/ώρα καθώς και σύσταση αποφυγής απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων και στη αποφυγή διατήρησης αναμμένου κινητήρα όσο το όχημα παραμένει αδρανοποιημένο, στην οδήγηση με τη μεγαλύτερη δυνατή σχέση μετάδοσης, στη συνετή χρήση κλιματισμού, στην αποφυγή πολλών στάσεων, στην οδήγηση σε ώρες αιχμής και τέλος στη μεταφορά περιττού βάρους.

Η διάδοση των έξυπνων τηλεφώνων λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας έχουν βοηθήσει τους ερευνητές σχετικά με τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων αλλά με το μικρότερο κόστος. Προκειμένου να γίνει παρακολούθηση της οικολογικής οδήγησης, το κινητό τηλέφωνο είναι εξοπλισμένο με αισθητήρα GPS και επιταχυνσιόμετρο, καθώς και άλλους αισθητήρες, που επιτρέπουν την καταγραφή των βασικών μεταβλητών που επηρεάζουν τον τρόπο οδήγησης. Με τη χρήση διαγνωστικών συσκευών επί του οχήματος (OBDs), δίνεται δυνατότητα καταγραφής του πλήθους των άλλων μετρήσεων που σχετίζονται με τις διεργασίες του κινητήρα του οχήματος και την κατανάλωση καυσίμου.

Πλειάδα προτύπων υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα πραγματικής οδήγησης εμπεριέχονται στην πρόσφατη βιβλιογραφία. Η συλλογή πραγματοποιείται μέσω χρήσης έξυπνου τηλεφώνου και OBD. Γίνεται ταξινόμηση των προτύπων αυτών βασιζόμενοι σε τρία κριτήρια:

- Στη θεωρία της Φυσικής και με τη βοήθεια των δεδομένων, ανάλογα με το αν η μαθηματική τους δομή στηρίζεται στους νόμους της Φυσικής ή αν προκύπτει από στατιστικές μεθόδους ή μεθόδους Μηχανικής Μάθησης.
- Σε πρότυπα μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά ανάλογα με τη χρονική ανάλυση των δεδομένων. Αναλυτικότερα, τα μικροσκοπικά πρότυπα κάνουν χρήση χρονοσειρών δεδομένων (ανά δευτερόλεπτο), ενώ τα μακροσκοπικά μέσω των τιμών των ίδιων δεδομένων. Τα μεσοσκοπικά τοποθετούνται ανάμεσα στα δύο.
- Σε πρότυπα λευκού, γκριζού και μαύρου κουτιού, σε σχέση με το αν στηρίζονται στις φυσικές και χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στον κινητήρα (λευκού κουτιού) ή σε άλλου είδους πειραματικά δεδομένα (μαύρου κουτιού). Τα πρότυπα γκριζού κουτιού έχουν στοιχεία και από τις δύο άλλες κατηγορίες.

Από τη ανάλυση της βιβλιογραφίας διαφαίνεται ότι τα περισσότερα πρότυπα αφορούν μεθοδολογίες προερχόμενες από την οικογένεια των προτύπων γραμμικής παλινδρόμησης, ενώ σχετικά πρόσφατα αυξάνονται οι προσεγγίσεις με τεχνικές Μηχανικής Μάθησης. Τα γραμμικά πρότυπα, διαθέτουν μικρότερη ακρίβεια παρά την ευκολότερη επεξήγηση των αποτελεσμάτων, ενώ παραβιάζονται δύο βασικοί περιορισμοί εφαρμογής τους: Η μεγάλου βαθμού, μη γραμμική,

συσχέτιση εξαρτημένων(κατανάλωση καυσίμου) με ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς και η συσχέτιση των ανεξαρτήτων μεταβλητών (π.χ. Ταχύτητα – Σχέση μετάδοσης).

Τέλος, έγινε διερεύνηση των κυριότερων παραγόντων όσων αφορά στην επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου βάσει των προτύπων και των πειραματικών ερευνών της βιβλιογραφίας. Προέκυψαν ως σημαντικότεροι η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Επιπροσθέτως, σημαίνων ρόλο διαδραματίζουν μεταβλητές όπως ο τύπος του οχήματος καθώς και το χρονικό διάστημα στο οποίο το όχημα είναι σε στάση ενώ με τη μηχανή σε λειτουργία.

Κυριότεροι παράγοντες που σχετίζονται με την οικολογική δρομολόγηση αποτελούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, με πιο σημαντικά την κλίση, αλλά κυρίως την ύπαρξη φωτεινών σηματοδοτών και κυκλοφοριακής συμφόρησης, διότι θα αναγκαστεί από αυτά ο οδηγός να κάνει πολυάριθμες στάσεις.

Βασιζόμενοι στα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανάλυσης, έγινε καταρτισμός μεθοδολογικού σχεδίου όσον αφορά στη συλλογή δεδομένων, την περαιτέρω ανάλυση και προτυποποίησή τους. Λήφθηκαν ακόμη υπόψη παραδοχές προτύπου μεσοσκοπικού, μαύρου κουτιού, οδηγούμενο από τα δεδομένα προκειμένου:

- να βασίζεται μόνο σε δεδομένα που συλλέγονται από κινητό τηλέφωνο (λόγω απουσίας OBD στα περισσότερα οχήματα)
- να εστιάζει στις παραμέτρους της οικολογικής οδήγησης
- να χρησιμοποιείται πέρα από τα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Το πείραμα φυσικής οδήγησης χωρίστηκε σε τρεις διακριτές φάσεις. Στην προκαταρκτική φάση υπήρχε συμμετοχή ενός οδηγού, στη δεύτερη φάση δύο οδηγών, ενώ στην τελική φάση του πειράματος 18 οδηγών. Η συνθήκες και το οδηγικό περιβάλλον διαθέταν ετερογένεια χαρακτηριστικών στις τρεις φάσεις του πειράματος. Η προκαταρκτική φάση διέθετε πιο ελεγχόμενες συνθήκες ενώ οι ακόλουθες όχι καθώς γινόταν καταγραφή των συνηθισμένων καθημερινών μετακινήσεων των οδηγών

Εν συνεχεία, εκτιμήθηκαν συγκεκριμένοι αποτύπωσης σημαντικών χαρακτηριστικών των διαδρομών όπως οι συνθήκες της κυκλοφορίας(συμφόρηση), η συμπεριφορά του χρήστη(υπέρβαση ορίου ταχύτητας), και τα χαρακτηριστικά της οδού(κλίση).Η διαμόρφωση των δεικτών έλαβε χώρα με την χρησιμοποίηση των ανεπεξέργαστων (raw) δεδομένων τα οποία καταχωρήθηκαν από τα εξοπλισμένα με τη εφαρμογή και τις συσκευές οχήματα. Η χρήση των δεικτών αυτών σκοπό είχε την ανάπτυξη των προτύπων εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου μέσω διαφόρων στατιστικών μεθόδων μη γραμμικής παλινδρόμησης. Η μέση ταχύτητα, η επιτάχυνση και επιβράδυνση όπως επίσης ο τύπος και η συχνότητα των σταματημάτων όπως και η κλίση αναδεικνύονται ως κυριότεροι παράγοντες εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου σε μία διαδρομή.

Βάσει, επίσης, της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναπτύχθηκε ένα πρότυπο κατανάλωσης καυσίμου με τη βοήθεια αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης. Τέλος, όσον αφορά στην ανάπτυξη προτύπων οικολογικής δρομολόγησης, έγινε εντοπισμός παραγόντων που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των προτεινόμενων στο χρήστη διαδρομών που σκοπός αποτελεί η εξοικονόμηση καυσίμων, χωρίς να είναι απαραίτητα οι συντομότερες.

Συγκεκριμένα, από τις προσεγγίσεις εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου από δεδομένα, μεγαλύτερη επεξηγηματικότητα προέκυψε να έχει το πρότυπο της γραμμικής παλινδρόμησης με δείκτη R^2 ίσο με 0.866, ακολουθούμενο από το πρότυπο ενισχυμένων δέντρων αποφάσεων με δείκτη R^2 ίσο με 0,83 και το πρότυπο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με R^2 ίσο 0.625. Και τα τρία αυτά πρότυπα, καθώς και το πρότυπο κλασματικής πολυωνυμικής παλινδρόμησης πολλαπλών μεταβλητών, που έχει όμως μικρότερη τιμή για τον δείκτη R^2 , παρουσιάζουν ικανοποιητική επεξηγηματικότητα αναφορικά με τις μεταβλητές που υπεισήλθαν στα τελικά πρότυπα και τις φυσικές τους σημασίες σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου.

Εν τέλει, σχηματίστηκε επίσης μέθοδος βαθμολόγησης των οδηγών για κάθε διαδρομή, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την κατανάλωση καυσίμου και της οικολογική οδήγηση. Η παροχή τέτοιου είδους πληροφόρησης στους χρήστες (feedback) ανάλογα με την οδηγική τους συμπεριφορά τους υπάρχει πιθανότητα να έχει θετική επίπτωση όσον αφορά την επιλογή του τρόπου οδήγησης των χρηστών μιας οδού και αύξηση της ευαισθητοποίησης των οδηγών ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της οδηγικής τους συμπεριφοράς. Για τον υπολογισμό της βαθμολογίας σε κάθε διαδρομή αναφορικά με την οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, αναπτύχθηκαν διάφορα πρότυπα που λαμβάνουν ως παραμέτρους την κατανάλωση καυσίμου, την μέση ταχύτητα της διαδρομής και την οικολογική ή μη συμπεριφορά του χρήστη, η οποία καθορίζεται αν επιταχύνει πάνω από 1.09 m/s^2 και αν οδηγεί πάνω από το όριο ταχύτητας. Από αυτά ξεχώρισαν το φθίνον εκθετικό πρότυπο με σύστημα ποινών και το εξατομικευμένο πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών λόγω της ομαλότερης κατανομής των βαθμολογιών τους.

Με την ανάπτυξη κατάλληλων και αξιόπιστων μεθόδων για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου από δεδομένα, γνωρίζοντας από ποια χαρακτηριστικά των διαδρομών και της οδήγησης των χρηστών μιας οδού επηρεάζεται η κατανάλωση καυσίμου και ως προς ποιο βαθμό, καθώς και για την οικολογική βαθμολόγηση των διαδρομών που ακολουθούν οι χρήστες, μπορούν να δημιουργηθούν προχωρημένες εφαρμογές όπως αυτή της εξατομικευμένης οικολογικής δρομολόγησης.

<i>Σύνοψη</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<i>Περίληψη</i>	4
1. Εισαγωγή	9
1.1 Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	9
1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	10
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
2.1 Παράγοντες επιρροής κατανάλωσης καυσίμου.....	11
2.2 Ταξινόμηση προτύπων κατανάλωσης καυσίμων	12
2.3 Πρότυπα υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου.....	14
2.4 Οικολογική Οδήγηση	16
3. Μεθοδολογική Προσέγγιση	25
3.1 Ροή Εργασιών.....	25
3.2 Υπολογισμό Δεικτών Οικολογικής οδήγησης.....	25
3.3 Εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου	27
3.4 Προτυποποίηση οδηγικής συμπεριφοράς και κατανάλωσης καυσίμου	28
3.5 Προδιαγραφές Συλλογής Δεδομένων και Προτυποποίησης	42
4. Εφαρμογή Μεθοδολογίας και Αποτελέσματα	44
4.1 Περιγραφή πειράματος	44
4.2 Προκαταρκτική ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου.....	49
4.4 Περιορισμοί	53
4.5.Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου	54
5. Σύστημα Βαθμολόγησης Διαδρομών	73
5.1 Φθίνον εκθετικό πρότυπο με σύστημα ποινών	74
5.2 Φθίνον εκθετικό πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών	75
5.3 Εξατομικευμένο πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών	76
5.4 Σιγμοειδές πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών.....	77
5.5 Περιορισμοί σύγκρισης πραγματικής και ιδανικής κατανάλωσης καυσίμου	78
5.6 Προτάσεις για τους οδηγούς	79
6. Συμπεράσματα και Προτάσεις	81
6.1 Βασικά Αποτελέσματα	81
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	82

Βιβλιογραφία 83

1. Εισαγωγή

Η Οικολογική Οδήγηση είναι μια σύνθετη έννοια, η οποία χαρακτηρίζεται από μία πολυπαραμετρική προσέγγιση. Στο πλαίσιο αυτό, κάποιες από τις παραμέτρους οι οποίες διέπουν την έννοια της Οικολογικής Οδήγησης είναι: 1) η οδηγική συμπεριφορά, 2) η επιλογή διαδρομής, 3) διάφορες παράμετροι οι οποίες σχετίζονται άμεσα με την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου όπως η χρήση καλής ποιότητας καυσίμου, η χρήση του κλιματισμού και η οδήγηση σε ώρες αιχμής, (Fafoutellis, Mantouka and Vlahogianni, 2020). Η οικολογική οδήγηση επιτυγχάνεται μέσω υιοθέτησης πολιτικών οδήγησης με γνώμονα τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, και συνεπώς του κόστους διαδρομής, παράλληλα όμως της ενίσχυσης της οδικής ασφάλειας. Η οικολογική οδήγηση, ως υποσύνολο ενός σχεδίου Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας έχει συμβολή στη ελάττωση των εκπομπών ρύπων, στη μείωση των επιπέδων θορύβου, στην αύξηση της οδικής ασφάλειας και ευρύτερα στη βελτιστοποίηση των συνθηκών του οδικού δικτύου. Η μεγαλύτερη αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) από τους χρήστες ενός οχήματος μεταφοράς (έξυπνα κινητά τηλέφωνα, OBDs, κ.ά.) συντελεί προς τη δημιουργία συστημάτων παρακολούθησης και καταγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς όπως επίσης και παροχής πληροφοριών προς βελτιστοποίηση αυτής. Η παροχή προσωποποιημένων, σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών γίνεται ευκολότερη με την παρουσία τεχνολογικά προηγμένων εργαλείων εντοπισμού και ταυτοποίησης οχημάτων.

Η ανάπτυξη ενός πρότυπου πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου, με διαθέσιμο ένα υποσύνολο των παραγόντων που την επηρεάζουν, θεωρείται μια απαιτητική διαδικασία (Wickramanayake & Bandara, 2016). Είναι αναγκαίος συνεπώς ο προσεκτικός καθορισμός των παραγόντων που την επηρεάζουν, η εύρεση των εκάστοτε περιορισμών σχετικά με τη συλλογή δεδομένων και ο ενδεδειγμένος καθορισμός σχεδίου συλλογής δεδομένων στην πειραματική φάση.

1.1 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η αξιοποίηση δεδομένων φυσικής οδήγησης για την ανάπτυξη προτύπων κατανάλωσης καυσίμου και συστήματος βαθμολόγησης οικολογικής οδήγησης ανά διαδρομή. Πιο αναλυτικά, συλλέγοντας δεδομένα από τα κινητά τηλέφωνα των χρηστών που συμμετείχαν στο πείραμα πραγματικής οδήγησης δημιουργείται πρότυπο υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου. Μειονεκτήματα των προτύπων αυτών αποτελεί η αγνόηση παραγόντων μεγάλης σημασίας (π.χ. τις κυκλοφοριακές συνθήκες) έχουν όμως ευρεία εφαρμογή και πέραν του πλαισίου της παρούσας διπλωματικής (Yao, Zhao, Liu, et al., 2020).

Πρώτο στάδιο αποτελεί η ανάλυση της έρευνας στην οδηγική συμπεριφορά και την οικολογική οδήγηση και ο καθορισμός των απαιτήσεων σε δεδομένα. Ενδεδειγμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση θα πραγματοποιηθεί ώστε να γίνει ανίχνευση των παραγόντων και χαρακτηριστικών που ορίζουν την οικολογική οδήγηση, και επιπλέον, θα διερευνηθούν μεθοδολογίες και εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των χαρακτηριστικών της οδήγησης μέσω των αισθητήρων των έξυπνων κινητών τηλεφώνων και πώς αυτά σχετίζονται με την οικολογική οδήγηση.

Η διερεύνηση θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια της εφαρμογής EcoDrive (Φαφουτέλλης, Π. et al. (2020)), μιας ολοκληρωμένης υπηρεσίας που λειτουργεί με συσκευές και τεχνολογίες χαμηλού κόστους για την παροχή προτάσεων οικολογικής οδήγησης και πληροφοριών διαφορετικής “οικολογικής” δρομολόγησης.

1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

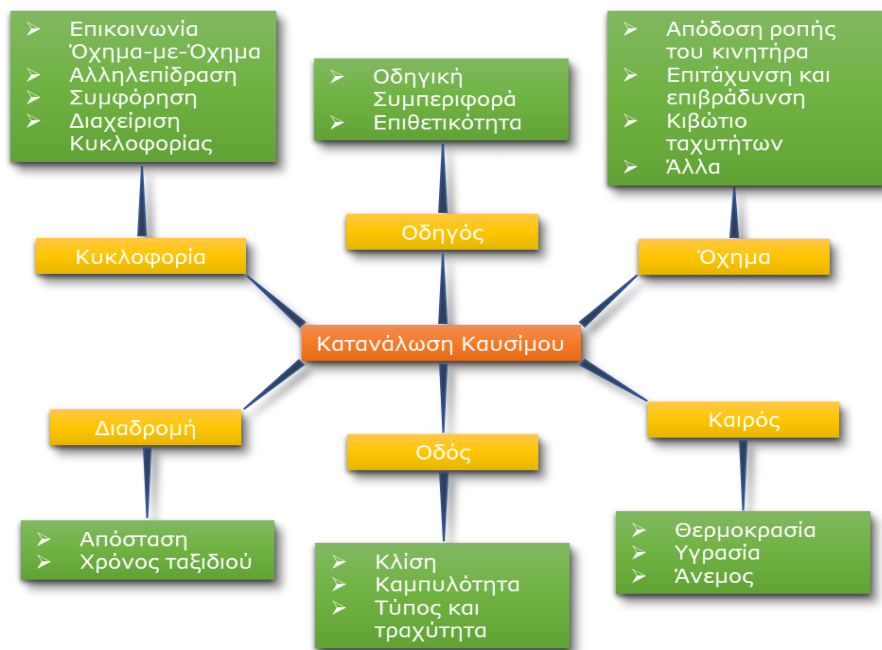
Στα επόμενα κεφάλαια θα αναπτυχθεί το επιστημονικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας, θα παρουσιαστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία η οποία και μετέπειτά θα εφαρμοστεί. Τέλος θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2 θα γίνει μια ενδελεχής ανασκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας και των αντίστοιχων εφαρμογών που έχουν λάβει χώρα, επί των θεμάτων που αφορά η έρευνα, δηλαδή την δημιουργία προτύπων εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου. Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί αναλυτικά η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε επισημαίνοντας τους δείκτες οικολογικής οδήγησης που διερευνήθηκαν και πως έγινε η συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων μέσω του φυσικού πειράματος οδήγησης για την διεκπεραίωση των στόχων της εργασίας. Έπειτα, στο Κεφάλαιο 4 θα παρουσιαστεί η εφαρμογή της μεθοδολογικής προσέγγισης η οποία ακολουθείται και θα συσταθούν τα πρότυπα προτυποποίησης της εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου. Ύστερα, στο Κεφάλαιο 5 θα γίνει αναφορά στα πρότυπα με τα οποία είναι δυνατόν να βαθμολογηθεί μια διαδρομή, αναφορικά με την φιλικότητά του προς το περιβάλλον, και θα δοθούν κάποιες συμβουλές προς του οδηγούς προς την κατεύθυνση της ατομικής οικολογικής συνείδησης. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 θα πραγματοποιηθεί μία παρουσίαση των συμπερασμάτων που προκύπτουν και παράλληλα θα γίνει μία αναφορά σε βήματα για περαιτέρω έρευνα, όπως είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου οικολογικής δρομολόγησης με βάση τα δεδομένα (data driven).

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Παράγοντες επιρροής κατανάλωσης καυσίμου

Η κατανάλωση καυσίμου κατά την οδήγηση επηρεάζεται από μια πληθώρα παραμέτρων που αφορούν στον οδηγό, το όχημα, τη διαδρομή που έχει επιλέξει, τα χαρακτηριστικά της οδού, την κυκλοφορία και τις καιρικές συνθήκες (Zhou, Jin and Wang, 2016). Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται οι έξι (6) κατηγορίες που αναφέρθηκαν, μαζί με ενδεικτικά παραδείγματα των παραγόντων που τις ορίζουν. Η επίδραση της κάθε κατηγορίας αυτών των παραγόντων στην κατανάλωση καυσίμου, μπορεί να εκτιμηθεί όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 (Zhou, Jin and Wang, 2016).



Διάγραμμα 1: Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων.

Πίνακας 1: Επίδραση παραγόντων στην κατανάλωση καυσίμου.

Παράγοντες	Επίδραση
Διαδρομή	8.73% με 42.15%
Καιρικές συνθήκες	1%
Χαρακτηριστικά οδού	3% με 20%
Κυκλοφορία	22% με 50%
Οδηγός	4.35% με 40%

Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι οι άνω αναφερόμενοι παράγοντες οικολογικής οδήγησης οι οποίοι επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου, δύναται να ομαδοποιηθούν περαιτέρω βάσει του επίπεδου απόφασης με το οποίο αυτές σχετίζονται. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα την κατηγοριοποίηση των παραγόντων αυτών σε 3 επίπεδα αποφάσεων (Hu *et al.*, 2016). Τα επίπεδα αυτά είναι:

Στρατηγικό (όχημα): Η επιλογή του οχήματος καθορίζει την κατανάλωση καυσίμου. Η τακτική συντήρηση, η παρακολούθηση της πίεσης των ελαστικών και η χρήση σωστού τύπου λαδιού είναι σημαντικοί παράγοντες για την εξοικονόμηση καυσίμου σε αυτό το επίπεδο απόφασης.

Τακτικό (επιλογή διαδρομής): Η επίγνωση του ημερήσιου προγράμματος του κάθε χρήστη του δικτύου και η πρόβλεψη των κυκλοφοριακών συνθηκών είναι καθοριστικοί παράγοντες ώστε να περιοριστεί η αχρείαση κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, για να αυξηθεί η αποδοτικότητα της κατανάλωσης καυσίμου στο επίπεδο ολόκληρης της διαδρομής, μπορούν να αξιοποιηθούν συσκευές πλοήγησης εντός του οχήματος, ώστε να βοηθήσουν τον οδηγό να οργανώσει το πρόγραμμά του και να προβλέπει τις κυκλοφοριακές συνθήκες εκ των προτέρων.

Λειτουργικό (οδηγός): Η οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου μπορεί να επιτευχθεί από την ομαλή οδήγηση, τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας, την αποφυγή του ρελαντί, την αποφυγή της άσκοπης χρήσης του συστήματος κλιματισμού και της ομαλής αλλαγής ταχυτήτων. Η ομαλή οδήγηση και η σταθερή επιτάχυνση είναι αποδεδειγμένα πιο αποδοτικές τακτικές για την μείωση των εκπομπών άνθρακα από τους παράγοντες οικολογικής οδήγησης των δύο προηγούμενων επιπέδων απόφασης.

2.2 Ταξινόμηση προτύπων κατανάλωσης καυσίμων

Για να μπορέσουν να διερευνηθούν συστηματικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης προτύπων που να αναπαριστούν τις συνθήκες και τους παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση αυτή. Τα διάφορα πρότυπα διερεύνησης της κατανάλωσης καυσίμου που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση κάποια από τα χαρακτηριστικά τους.

Αρχικά, σημαντική θεωρείται η κλίμακα των μεταβλητών του πρότυπου που διερευνάται, η οποία μπορεί να είναι μακροσκοπική, μεσοσκοπική ή μικροσκοπική. Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται μπορεί να αφορά σε αναλυτικά, εμπειρικά, στατιστικά ή γραφικά πρότυπα. Επίσης, υπάρχουν πρότυπα που βασίζονται σε επεξηγηματικές μεταβλητές, όπως η μέση ταχύτητα και η στιγμιαία ταχύτητα, καθώς και πρότυπα που βασίζονται στο είδος ανάλυσης των υπολογισμένων μεταβλητών, όπως για παράδειγμα πρότυπα αναλυτικών ή μέσων τιμών, τα οποία θα μπορούσαν να αφορούν την γωνία της τροχαλίας του στρόφαλου. Τέλος, τα πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση τον αριθμό των διαστάσεων βάσει των οποίων γίνεται η ανάλυση και μπορεί να αφορά πρότυπα καμίας ή μίας διάστασης ή μονής ζώνης, δύο ή και περισσότερων διαστάσεων/ζωνών, (Faris *et al.*, 2011)

Ένα άλλο είδος κατηγοριοποίησης των προτύπων κατανάλωσης καυσίμου είναι βάσει της διαφάνειάς τους και μπορούν να χωριστούν σε 5 κατηγορίες (Zhou, Jin and Wang, 2016).

Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου λευκού-κουτιού (white-box): Βασίζονται στις φυσικές και στις χημικές διαδικασίες του κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις περιγράφονται οι διαδικασίες κατανάλωσης, συμπίεσης, καύσης και εξάτμισης του κινητήρα.

Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μαύρου-κουτιού (black-box) με βάση τον κινητήρα. Οι μεταβλητές εισαγωγής αυτών των προτύπων αφορούν στο επίπεδο του κινητήρα, όπως για παράδειγμα, η ταχύτητα, η ροπή και η ισχύς απόδοσης του κινητήρα.

Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μαύρου-κουτιού (black-box) με βάση το όχημα. Οι μεταβλητές εισαγωγής αυτών των προτύπων αφορούν στο επίπεδο του οχήματος, όπως για παράδειγμα οι στιγμιαίες και οι μέσες τιμές της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του οχήματος.

Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μαύρου-κουτιού (black-box) με βάση τις βασικές λειτουργίες του οχήματος: Γίνεται χρήση των βασικών λειτουργιών του οχήματος σαν δεδομένα εισαγωγής, όπως το ρελαντί, η σταθερή οδήγηση, η επιβράδυνση και η επιτάχυνση.

Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου γκριζου-κουτιού (grey-box): Βρίσκονται ενδιάμεσα από τα πρότυπα λευκού και μαύρου κουτιού, από θέμα κατανόησης των διαδικασιών λειτουργίας του εσωτερικού συστήματος του οχήματος, δηλαδή εννοείται μια μερική κατανόηση του εσωτερικού συστήματος του οχήματος.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση των κατηγοριών των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, όπως φαίνονται στο Διάγραμμα 1, με τα πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου να έχουν ομαδοποιηθεί με βάση την διαφάνειά τους, όπως αναφέρθηκε ακριβώς παραπάνω.

Όπως διαφαίνεται από τον

Πίνακας 2: , διαφορετικά στυλ οδήγησης οδηγούν και σε διαφορετική κατανάλωση και αποδοτικότητα του καυσίμου. Τα υποστηρικτικά συστήματα που υπάρχουν στην αγορά σχετικά με την οικολογική οδήγηση έχουν αποδειχθεί αποδοτικά στο να βελτιώνουν την οδηγική συμπεριφορά και με αυτό τον τρόπο να μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου (Magana and Munoz-Organero, 2016). Για παράδειγμα, πέντε μη οικολογικές συμπεριφορές οδήγησης, γρήγορη επιτάχυνση, απότομη επιβράδυνση, υψηλές στροφές του κινητήρα, πολύ γρήγορη ή μεταβαλλόμενη ταχύτητα σε αυτοκινητόδρομους και πολύ ώρα στο ρελαντί, μπορούν να ανιχνευθούν μέσω ενός υποστηρικτικού συστήματος οικολογικής οδήγησης (Zhao *et al.*, 2015).

Πίνακας 2: Παράγοντες επηρεάζουν τα διαφορετικά πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου.

	Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου λευκού-κουτιού	Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μαύρου-κουτιού με βάση τον κινητήρα	Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μαύρου-κουτιού με βάση το όχημα	Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου μαύρου-κουτιού με βάση τις βασικές λειτουργίες του οχήματος	Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου (γκρίζου κουτιού)
Διαδρομή	X	X	X	X	X
Καιρός					
Οδός		X	X		X
Κυκλοφορία				X	
Οδηγός		X	X		X
Όχημα	X	X	X		X

Η κατανόηση της επίδρασης της απότομης επιτάχυνσης, καθώς και της απόδοσης ροπής του κινητήρα στην κατανάλωση καυσίμου, μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό της διαφοράς μεταξύ των ομαλών και επιθετικών οδηγικών συμπεριφορών. Οι περισσότερες έρευνες όμως που αφορούν στην πρόβλεψη των εκπομπών ρύπων ή της κατανάλωσης καυσίμου, λαμβάνουν υπόψιν μόνο τις μέσες τιμές των επιλεγμένων παραγόντων για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου ή της απόστασης των διαδρομών, (Alam and McNabola, 2014). Λίγες μόνο προσπάθειες έχουν γίνει ώστε να αξιοποιηθούν δεδομένα πραγματικού χρόνου από τα οχήματα και τις κυκλοφοριακές συνθήκες για την πρόβλεψη των ρυπογόνων εκπομπών ή της κατανάλωσης καυσίμου. Η πιο ενδεικτική είναι η προσπάθεια των Hsu, Lim, and Yang (Hsu, Lim and Yang, 2017), στην έρευνα των οποίων έχει αναπτυχθεί ένα μεθοδολογικό πλαίσιο ώστε να εκτιμηθεί ο χρόνος για τον οποίο ένα όχημα είναι σε κατάσταση οικονομίας, αξιοποιώντας δεδομένα από συσκευές OBD-II, εξάγοντας δεδομένα αναφορικά με την ταχύτητα του οχήματος, τις στροφές που αναπτύσσει ο κινητήρας (στροφές ανά λεπτό – rpm), την απόδοση ροπής του κινητήρα και την κατανάλωση καυσίμου. Δεδομένα για την κίνηση του οχήματος μπορούν επίσης να συλλεχθούν από επιταχυνσιόμετρα τριών αξόνων (αισθητήρας G). Για την εκτίμηση της εξοικονόμησης καυσίμου με βάση τα δεδομένα που προέρχονται από τις συσκευές OBD-II, έχουν επίσης αναπτυχθεί και εφαρμοστεί πρότυπα μηχανικής μάθησης, (Magana and Munoz-Organero, 2016). Οι περισσότερες υπάρχουσες μελέτες σχετικά με την πρόβλεψη των εκπομπών ή της κατανάλωσης καυσίμου εξετάζουν μόνο τους μέσους όρους

επιλεγμένων παραγόντων για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου για μια απόσταση ταξιδιού (Saniul Alam and McNabola, 2014).

2.3 Πρότυπα υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου

Η ανάλυση εστιάζεται σε δύο πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου, το VT-micro (Rakha et al., 2004) και το StreetSmart (Kalila and Adham, 2018), τα οποία έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο της διερεύνησης και της προτυποποίησης της κατανάλωσης του καυσίμου από τα διάφορα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους που διέπουν την κίνηση ενός οχήματος (π.χ. επιτάχυνση).

Το πρότυπο εκτίμησης κατανάλωσης καυσίμου VT-micro αποσκοπεί στη προτυποποίηση της κατανάλωσης καυσίμου και των λοιπών ρυπογόνων εκπομπών. Το πρότυπο αυτό χαρακτηρίζεται ως ένα μικροσκοπικό πρότυπο γραμμικής παλινδρόμησης και τα αποτελέσματά του χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2 (R-squared), που αφορά την επεξηγηματικότητα του πρότυπου, μέσω του οποίου υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές ρυπογόνων αερίων (Ahn et al., 2002; Rakha and Ahn, 2003; Rakha, Ahn and Trani, 2004).

Το πρότυπο VT-micro αναπτύχθηκε από πειραματισμούς με πλήθος πολυωνυμικών συνδυασμών των επιπέδων της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν όροι της ταχύτητας και της επιτάχυνσης με δυνάμεις εις την 1^η (γραμμικοί), 2^η (τετραγωνικοί), 3^η (κυβικοί) και 4^η, αξιοποιώντας δεδομένα από δυναμόμετρα εγκατεστημένα στο σασί των οχημάτων από το Εθνικό Εργαστήριο του Oak Ridge (ORNL). Το τελικό πρότυπο παλινδρόμησης περιλαμβάνει έναν συνδυασμό γραμμικών, τετραγωνικών και κυβικών όρων της ταχύτητας και της επιτάχυνσης διότι με αυτό τον τρόπο οδηγεί στον ελάχιστο αριθμό όρων με σχετικά καλή προσαρμογή στα αρχικά δεδομένα (ο δείκτης R^2 ξεπερνά την τιμή 0.92 σε όλες τις μετρήσεις αποδοτικότητας (Measures of Effectiveness - MOE).

Τα δεδομένα του ORNL αποτελούνταν από εννέα οχήματα κανονικών ρυπογόνων εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων έξι ελαφριών συμβατικών οχημάτων και τριών ελαφριών φορτηγών. Αυτά τα οχήματα επιλέχθηκαν ώστε να αναπαραστήσουν ένα μέσο όχημα, το οποίο να είναι συνεπές με τον μέσο όρο πωλήσεων οχημάτων αναφορικά με το εκτόπισμα του κινητήρα, το απόβαρο και τον τύπο των οχημάτων. Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν από το ORNL εμπεριείχαν 1300 με 1600 ξεχωριστές μετρήσεις για κάθε όχημα και συνδυασμούς των MOE, ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας του κάθε οχήματος. Αυτή η μέθοδος έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι στα δεδομένα ρυπογόνων εκπομπών που έχουν συλλεχθεί μόνο από μερικές επαναλήψεις οδήγησης, αφού είναι αδύνατον να καλυφθεί όλο το λειτουργικό εύρος από μόνο μερικές επαναλήψεις οδήγησης. Τυπικά, οι τιμές της επιτάχυνσης ενός οχήματος κυμαίνονται μεταξύ των $-1,5$ και $3,7 \text{ m/s}^2$ σε βήματα των $0,3 \text{ m/s}^2$, ενώ οι τιμές της ταχύτητας κυμαίνονται από 0 ως $33,5 \text{ m/s}$ σε βήματα των $0,3 \text{ m/s}$.

Το πρότυπο StreetSmart ποσοτικοποιεί την ενέργεια που απαιτείται από τα οχήματα για διάφορες συνθήκες κίνησης. Υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμου από δεδομένα

συντεταγμένων GPS προερχόμενα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα και πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου από συσκευές OBD-II.

Αξιοποιώντας τις λεπτομέρειες από το προφίλ ταχύτητας της διαδρομής, το πρότυπο είναι σε θέση να προβλέψει επιτυχώς την κατανάλωση καυσίμου με πάνω από 96% ακρίβεια (Kalila *et al.*, 2018), μία αισθητή βελτίωση συγκριτικά με άλλα πρότυπα που λαμβάνουν υπόψη μόνο συνεχείς μέσες ταχύτητες. Αυτό συμβαίνει διότι οι εκτιμήσεις της μέσης ταχύτητας δεν υπολογίζουν τη διακοπτόμενη οδήγηση (stop and go) που εμφανίζεται λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η διακοπτόμενη οδήγηση όμως, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που οδηγεί στην αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Με άλλα λόγια, η απλούστευση της μέσης ταχύτητας οδηγεί σε χαμηλότερες, ή πιο αισιόδοξες, εκτιμήσεις της κατανάλωσης καυσίμου αφού η αντίσταση του αέρα είναι μικρότερη για μικρότερες ταχύτητες.

Η μαθηματική περιγραφή του πρότυπου είναι η εξής (Kalila *et al.*, 2018):

$$FC = k_1 T_{idle} + k_2 T_{move} + k_3 \int |a| dx + k_4 L \quad (1)$$

όπου:

FC : Η κατανάλωση καυσίμου στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (gallons),

k_1, k_2, k_3 και k_4 : Ενεργειακοί δείκτες βαθμονομημένοι με ξεχωριστά δεδομένα για κάθε ομάδα εύρους της αποδοτικότητας του οχήματος,

T_{idle} και T_{move} : Χρόνοι που το όχημα παρέμεινε σε ρελαντί και σε κίνηση αντίστοιχα (sec),

a : Επιτάχυνση (m/s^2)

L : Διανυόμενη απόσταση (km).

Η αξιοποίηση των παραπάνω προτύπων, είναι πολύ περιορισμένη για δύο κυρίως λόγους: Πρώτον, τα δεδομένα για την κλίση του δρόμου, την ταχύτητα κίνησης και την επιτάχυνση ανά δευτερόλεπτο είναι δύσκολο να ληφθούν, ακόμη και με τη σημερινή τεχνολογία, και, δεύτερον, περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό άλλων παραμέτρων που πρέπει να προσδιοριστούν. Συνεπώς παρά την υψηλή ακρίβεια τους, είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν πρότυπα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμου με μικρότερο όγκο δεδομένων και μικρότερης δυσκολίας λήψης αυτών.

2.4 Οικολογική Οδήγηση

2.4.1 Οικολογική Οδήγηση

Η κλιματική αλλαγή και η μόλυνση του περιβάλλοντος, καθώς και η εξάρτηση από ορυκτούς πόρους για την παραγωγή ενέργειας αποτελούν τις σημαντικότερες απειλές προς τον άνθρωπο στο εγγύς μέλλον.

Η συμφωνία του Παρισιού, στις 12 Δεκεμβρίου 2015, αποτέλεσε το ανάχωμα της προσπάθειας της ανατροπής της κλιματικής αλλαγής και της γρηγορότερης λήψης μέτρων και εφαρμογής ειδικών δράσεων και επενδύσεων που θα βοηθήσουν την ανθρωπότητα να πλησιάσει ένα βιώσιμο μέλλον (Huang et al., 2018). Εξ Ευρωπαϊκής Ενώσεως έχει τεθεί ο στόχος της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050 με έτος αναφοράς το 1990 (European Commission, 2011). Αντίστοιχα το ποσοστό στον τομέα των μεταφορών είναι 60% λόγω της ιδιομορφίας και της ετερογένειας του τομέα.

Είναι πρόδηλο πως ο μεγαλύτερος όγκος αερίων του θερμοκηπίου παράγεται στον τομέα των μεταφορών και υπολογίζεται περίπου στο 30% του συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών (Z. Xu et al., 2018), παρουσιάζοντας αύξηση 22% από το 1990 (European Union, 2014). Από άλλες έρευνες προκύπτει πως καταναλώνεται περίπου το 20 με 25% της παραγόμενης ενέργειας παγκοσμίως στον τομέα των μεταφορών (Stillwater et al., 2017, Huang et al., 2018, Zeng et al., 2016), με το 65-75% της παραπάνω ενέργειας να σχετίζεται με τις οδικές μεταφορές (Huang et al., 2018, Turkensteen, 2017, Zeng et al., 2016). Αποτελεί συνεπώς ευρέως αντιληπτό ότι αποκτά μεγάλη σημασία η μελέτη της κατανάλωσης καυσίμου στις μεταφορές και ειδικότερα τις οδικές, καθώς και η εύρεση μεθόδων για τον περιορισμό της.

Πραγματοποιήθηκαν πλείστες προσπάθειες αύξησης στην εξοικονόμηση καυσίμου και μείωσης των βλαβερών εκπομπών στην ατμόσφαιρα, όπως η αυστηροποίηση των προτύπων (Euro 5 και 6) που αφορούν την άδεια κυκλοφορίας των οχημάτων, κυκλοφορία οχημάτων με μηχανές νέας τεχνολογίας (π.χ. ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα) και καυσίμων καλύτερης ποιότητας καθώς επίσης και εναλλακτικών καυσίμων (καύσιμα περισσότερων οκτανίων, βιοκαύσιμα κ.α.) (Zhou et al., 2016). Τα περιβαλλοντικά θέματα όπως επίσης και η άνοδος της τιμής των καυσίμων, έχουν οδηγήσει πλέον το ενδιαφέρον των οδηγών προς την οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου, κάτι που παρουσιάζεται και στον τρόπο αγοράς νέου οχήματος (Magana & Munoz-Organero, 2016).

Παρόλο που η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και ηλεκτρικών οχημάτων σε συνδυασμό με την επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια πιθανή οριστική λύση των παραπάνω θεμάτων σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, η όσο το δυνατόν μείωση των ρύπων από τον υπάρχοντα στόλο οχημάτων αποτελεί μια ισχυρή εναλλακτική με βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη εφαρμογή (Zeng et al., 2016). Στο πλαίσιο αυτό, τα τελευταία χρόνια αυξήθηκε το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από την έννοια της Οικολογικής Οδήγησης (Eco-Driving).

Η **Οικολογική Οδήγηση** είναι η οδηγική συμπεριφορά αποτελεί παράγοντα εξοικονόμησης καυσίμου και ελάττωσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Έχει να κάνει με τη ρύθμιση της ταχύτητας κίνηση (συναρτήσει και των κυκλοφοριακών συνθηκών) και την εκλογή της βέλτιστης όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου διαδρομής (Hsu et al., 2017). Προφανώς η Οικολογική Οδήγηση χρησιμοποιείται στην περιγραφή της ενεργειακά αποδοτικής χρήσης του οχήματος βασιζόμενη στις αποφάσεις και συμπεριφορές που υιοθετούν οι οδηγοί. Υποσυνείδητα όμως υπάρχει η παραδοχή της βελτίωσης, λόγω της τεχνολογικής ανόδου και

εισαγωγής νέων καυσίμων, της απόδοσης των οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη η οδηγική συμπεριφορά αποτελεί τροχοπέδη καθώς δε συνάδει αντιστοίχως με την ραγδαία βελτίωση της λειτουργίας των οχημάτων. Η επαρκής ενημέρωση και εκπαίδευση των οδηγών, η Οικολογική Οδήγηση θα συνεισφέρει στον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Ayyildiz et al., 2017).

Πιο τυπικά, η Οικολογική Οδήγηση αφορά την υιοθέτηση συμπεριφορών οδήγησης που μεγιστοποιούν την αποδοτικότητα της μηχανής του οχήματος (United Kingdom Dept. of Transport, 2016). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η κατανάλωση μικρότερης ποσότητας καυσίμου σημαίνει επίσης και μείωση των βλαβερών εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Υπολογίζεται ότι η παραγωγή και κατανάλωση ενός λίτρου συμβατικού καυσίμου (βενζίνης ή πετρελαίου) προκαλεί την έκλυση στην ατμόσφαιρα περίπου 2,6 κιλών διοξειδίου του άνθρακα (Meseguer et al., 2017). Η μείωση της ζητούμενης ισχύος της μηχανής του οχήματος, που θα συμβάλει στην εξοικονόμηση καυσίμου και αερίων, μπορεί να θεωρηθεί ως μια μη γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του οχήματος. Για παράδειγμα, το φορτίο της μηχανής είναι μεγαλύτερο κατά την επιτάχυνση μετά από στάση και συνεπώς μία από τις πρακτικές της Οικολογικής Οδήγησης είναι η αποφυγή των πολλών στάσεων. Από την άλλη μεριά όμως, επειδή και η ταχύτητα κίνησης επηρεάζει τη λειτουργία της μηχανής, είναι πιο σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι οι πιο έντονες επιταχύνσεις θα λαμβάνουν χώρα σε χαμηλότερες ταχύτητες κίνησης (Y. Xu et al., 2017).

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η υιοθέτηση οικολογικής οδηγικής συμπεριφοράς μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου σε ποσοστό που κυμαίνεται από 15 έως 25% και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τουλάχιστον 30% (Zhou et al., 2016, Husnjak et al., 2015, Meseguer et al., 2017, Y. Xu et al., 2017). Από την άλλη μεριά, υπολογίζεται ότι η εξοικονόμηση καυσίμου που επιτυγχάνεται λόγω των μηχανών και οχημάτων τελευταίας τεχνολογίας είναι της τάξης του 10-12% (Zhou et al., 2016). Σύμφωνα με άλλες έρευνες, μια συνολικά οικολογική συμπεριφορά, που θα περιλαμβάνει τόσο την αγορά όσο και τη χρήση του οχήματος καθώς και την λήψη οικολογικών αποφάσεων όσον αφορά στις μετακινήσεις, έχουν την προοπτική να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση καυσίμου που θα προσεγγίζει το 40-45% (Sivak & Schoettle, 2012).

Είναι πασιφανές ότι η Οικολογική Οδήγηση αποτελεί έννοια που δεν αφορά μόνο τη συμπεριφορά εν μέσω οδήγησης, αλλά και το σύνολο των αποφάσεων που άμεσα ή έμμεσα σχετίζονται με την εξοικονόμηση καυσίμου και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπως π.χ. η επιλογή οχήματος. Επομένως, η σωστή οδηγική συμπεριφορά (π.χ. επιτάχυνση με ομαλό ρυθμό, διατήρηση κατά το δυνατόν σταθερής ταχύτητας) επιδρά καταλυτικά, κάτι που θα αναλυθεί στη συνέχεια, και επίσης η υλοποίηση άλλων ενεργειών, όπως η συνετή χρήση του κλιματισμού, οδηγούν στη μέγιστη εξοικονόμηση (Magana & Munoz-Organero, 2016).

Στην **Error! Reference source not found.** παρατίθεται το σύνολο των εκφάνσεων της έννοιας της Οικολογικής Οδήγησης.



Εικόνα 1: Η ευρύτερη έννοια της Οικολογικής Οδήγησης

Ο συσχετισμός κατανάλωσης καυσίμου με όσα νωρίτερα αναφέρθηκαν διερευνάται από τις αρχές της ιστορίας της αυτοκίνησης, αλλά παραμένει επίκαιρη διότι, εκτός από τις περιβαλλοντικές της προεκτάσεις, έχει πολλές ακόμα, με σημαντικότερη την οικονομική. Η μείωση του λειτουργικού κόστους διαμέσω της εξοικονόμησης καυσίμων αποτελεί πλέον σημαντικός στόχος των εταιρειών μεταφορών και logistics (Y. Xu et al., 2017).

Η επιρροή των χαρακτηριστικών του οδηγού στην κατανάλωση καυσίμου, θα αναλυθούν εις βάθος εν συνεχεία. Ταυτόχρονα διαδραματίζουν σημαντικότα ρόλο όχι μόνο σε μακροσκοπική κλίμακα (προστασία του περιβάλλοντος, εξοικονόμηση φυσικών πόρων), αλλά και σε μικροσκοπική κλίμακα, υπό το πλαίσιο της ελάττωσης του προσωπικού οικονομικού κόστους για καύσιμα (Zhang et al., 2020).

Συνοψίζοντας, είναι ευκόλως εννοούμενο ότι η Οικολογική Οδήγηση αποτελεί αλληλουχία πρακτικών, αξιολογών για μελέτη και προτυποποίηση με πιο συστηματικό τρόπο, διότι ωθούν στην πιο ταχεία ανακούφιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, τη βελτίωση των συνθηκών στα αστικά κέντρα και γενικά για την επίτευξη των στόχων για ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

2.4.2 Συστάσεις αποδοτικότερης οδήγησης

Η καλή κατανόηση της διαδικασίας της λειτουργίας των μηχανών των οχημάτων οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις συμπεριφορές που οδηγούν σε ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου. Θα παρατεθούν επιφανειακά στοιχεία σχετικά με τη μηχανική

λειτουργίας των βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων εσωτερικής καύσης καθώς δεν αποτελούν αντικείμενο που θα εξεταστεί στην παρούσα διπλωματική.

Έχουν διατυπωθεί από τον Αμερικανικό Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency - EPA) κάποιες οδηγίες και συστάσεις Οικολογικής Οδήγησης σχετικά με τη χρήση των οχημάτων που αφορούν τη χρήση των οχημάτων. (United States Environmental Protection Agency, 2018):

- **Ομαλή οδήγηση:** Οι απότομες επιβραδύνσεις καταναλώνουν μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου. Για την αποφυγή τους, προτείνεται η τήρηση επαρκούς απόστασης από το μπροστινό όχημα.
- **Οδήγηση σε μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης:** Η οδήγηση σε υψηλότερες σχέσεις μετάδοσης οδηγεί σε ελάττωση του ρυθμού λειτουργίας της μηχανής.
- **Διατήρηση σταθερής ταχύτητας:** Η οδήγηση σε σταθερή ταχύτητα οδηγεί σε μείωση την κατανάλωση καυσίμου.
- **Σωστή χρήση του κλιματισμού:** Το κλιματιστικό του αυτοκινήτου καταναλώνει μια σχετικά αυξημένη ποσότητα καυσίμου.
- **Διακοπή λειτουργίας της μηχανής όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση:** Η συγκεκριμένη πρακτική μειώνει και τις εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον.

Το Υπουργείο Μεταφορών του Ηνωμένου Βασιλείου παρουσιάζει την επίδραση των παραπάνω παραγόντων στην κατανάλωση καυσίμου πιο αναλυτικά (United Kingdom Dept. of Transport, 2016). Σχετικά με την οδήγηση εντός αστικού οδικού δικτύου, γίνεται πρόταση ως κυριότερους παράγοντες να αποτελούν η ομαλή οδήγηση και η αποφυγή απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων. Από τη φυσική προκύπτει προφανώς πως η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας καταναλώνεται για την επιτάχυνση του οχήματος (αύξηση κινητικής ενέργειας).

Εν μέσω επιβράδυνσης του οχήματος ή κίνησης σε κατωφέρεια, συστήνεται η αποφυγή άφρασης του οχήματος χωρίς σχέση μετάδοσης («νεκρά»), διότι τα σύγχρονα οχήματα διαθέτουν ικανότητα αντίληψης της κατάστασης και εξοικονόμησης καυσίμων, όταν βέβαια βρίσκονται σε κάποια σχέση μετάδοσης. Πιο αναλυτικά, γίνεται μείωση ροής καυσίμου στη μηχανή, αναγνωρίζοντας ότι το όχημα κινείται μέσω της αδράνειας του οχήματος. Παράλληλα, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί προϋπόθεση η όσο το δυνατόν πιο σύντομη μετάβαση σε μεγαλύτερες σχέσεις μετάδοσης ούτως ώστε η οδήγηση σε χαμηλές στροφές να συντελούν στην εξοικονόμηση μεγάλης ποσότητας καυσίμου.

Λόγω της αντίστασης του αέρα, που είναι η μία από τις δυνάμεις που δρουν αντίρροπα στην κίνηση του οχήματος, αυξάνεται αναλογικά με το τετράγωνο της ταχύτητας κίνησης του οχήματος, είναι επιθυμητή η αποφυγή των υψηλών ταχυτήτων. Δηλαδή με το διπλασιασμό της ταχύτητας, γίνεται τετραπλασιασμός της αντίστασης του αέρα. Αυτό σημαίνει πως μια ανεπαίσθητη αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Επιπροσθέτως, η διατήρηση του αεροδυναμικού σχήματος του οχήματος έχει επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου. Έχοντας ακόμα και ένα ανοιχτό παράθυρο, ιδιαίτερα κατά την κίνηση

με υψηλή ταχύτητα, αυξάνει σημαντικά την αεροδυναμική αντίσταση, τον κυριότερο παράγοντα κατανάλωσης καυσίμου.

Σημαντικό παράγοντα που οδηγεί στην αύξηση κατανάλωσης καυσίμου αποτελεί επίσης ο κλιματισμός. Για το λόγο αυτό οι οδηγοί θα πρέπει να χρησιμοποιούν τον κλιματισμό όσο το δυνατόν λιγότερο. Γίνεται σύσταση, σε χαμηλές ταχύτητες κίνησης να ανοίγονται τα παράθυρα για την ψύξη της καμπίνας του οχήματος, ενώ σε υψηλές ταχύτητες τον κλιματισμό, γιατί το άνοιγμα των παραθύρων οδηγεί σε αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης στο όχημα. Επιπλέον, η μεταφορά περιττού βάρους αυξάνει την απαιτούμενη ισχύ και άρα την ποσότητα καυσίμου για την επιτάχυνση του οχήματος.

Συνεχίζοντας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύσταση προς τους οδηγούς να αποφεύγουν να διατηρούν τη μηχανή του οχήματος σε λειτουργία, όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση. Η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη λειτουργία της μηχανής όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση είναι σημαντικές και αρκετά μεγαλύτερες από αυτές που απαιτούνται για την επανεκκίνηση της μηχανής. Μάλιστα πολλά οχήματα πλέον ενσωματώνουν την τεχνολογία stop-and-go, που διευκολύνει την παραπάνω διαδικασία. Ένας εμπειρικός κανόνας που πρέπει να ακολουθούν οι οδηγοί είναι να σβήνουν τη μηχανή αν πρόκειται το όχημα να μείνει ακινητοποιημένο για μισό έως ένα λεπτό ή περισσότερο.

Τέλος, προτείνεται η έγκαιρη και συστηματική συντήρηση όλων των συστημάτων του οχήματος, από τη μηχανή μέχρι τα ελαστικά, καθώς κάθε τέτοια λεπτομέρεια συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμου. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημαντικότερες συστάσεις για Οικολογική Οδήγηση.

Πίνακας 3: Συστάσεις για Οικολογική Οδήγηση

Προτεινόμενη πρακτική	Σχόλια
Ομαλή επιτάχυνση/επιβράδυνση και διατήρηση σταθερής ταχύτητας	Η επιτάχυνση του οχήματος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας κατανάλωσης καυσίμου
Οδήγηση σε μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης	Η οδήγηση σε χαμηλή σχέση μετάδοσης προκαλεί τη λειτουργία της μηχανής σε υψηλές στροφές
Αποφυγή πολύ υψηλών ταχυτήτων	Η υψηλή ταχύτητα αυξάνει την αεροδυναμική αντίσταση
Συνετή χρήση κλιματισμού	Το κλιματιστικό καταναλώνει σημαντική ποσότητα καυσίμου
Απενεργοποίηση της μηχανής όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση	Η λειτουργία της μηχανής όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση προκαλεί μεγάλη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπή βλαβερών αερίων στην ατμόσφαιρα

Εκτός των παραπάνω, σε πρόσφατη έρευνα γίνεται αναφορά και στην Οικολογική Δρομολόγηση (Y. Xu et al., 2017). Ο οδηγός, πέρα από την οδηγική του συμπεριφορά, πρέπει να προσαρμόζει κατά το δυνατόν και τον προγραμματισμό του ταξιδιού του, ώστε να αποφεύγει τις αντιοικονομικές συμπεριφορές που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

Η κυβέρνηση του Καναδά από την πλευρά της έχει εκδώσει επίσης έναν οδηγό με συμβουλές για την Οικολογική Οδήγηση (Government of Canada, 2020). Εκεί, πέρα από τις συστάσεις για ομαλή επιτάχυνση, διατήρηση σταθερής ταχύτητας, αποφυγή υψηλών ταχυτήτων και διατήρησης της μηχανής σε λειτουργία κατά τη στάση του οχήματος, περιλαμβάνονται και κάποιες επιπλέον. Πρώτον, παροτρύνει τους οδηγούς να υπολογίζουν την κατανάλωση καυσίμου και να χρησιμοποιούν ένα σύστημα (που είναι προεγκατεστημένο σε πολλά οχήματα) απεικόνισης της κατανάλωσης καυσίμου σε πραγματικό χρόνο. Θεωρείται ότι οι οδηγοί που γνωρίζουν τις παραπάνω πληροφορίες είναι πιο πιθανό να ευαισθητοποιηθούν και να ακολουθήσουν τις πολιτικές της Οικολογικής Οδήγησης.

Δεύτερον, οι οδηγοί θα πρέπει να μειώσουν κατά τον δυνατόν τις διαδρομές που πραγματοποιούν με το προσωπικό τους όχημα και να προγραμματίζουν έτσι ώστε να συνδυάζουν δύο ή περισσότερες μετακινήσεις τους ταυτόχρονα.

Οι συμβουλές που παρουσιάστηκαν παραπάνω σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τους βασικότερους παράγοντες κατανάλωσης καυσίμου, και υπονοούν ορισμένες συσχετίσεις με αυτή, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

2.4.3 Παρατήρηση Οικολογικής Οδήγησης

Οι προτεινόμενες πρακτικές που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι ευρέως διαδεδομένες και, όπως αναφέρθηκε, βασίζονται στις μηχανολογικές γνώσεις της λειτουργίας της μηχανής του οχήματος και της επίδρασης των διάφορων παραγόντων σε αυτή. Ωστόσο, αν και έχουν ισχυρή επιστημονική βάση, παραμένουν απλά γενικές συμβουλές προς όλους τους οδηγούς, ώστε να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου του οχήματός τους. Θα πρέπει, λοιπόν, να παρατηρηθεί η εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες και η επίδρασή τους στην κατανάλωση καυσίμου.

Η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων της Οικολογικής Οδήγησης γίνεται συχνά μέσω πειραμάτων οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες. Τα παραπάνω πειράματα περιλαμβάνουν συμμετέχοντες οι οποίοι απλώς οδηγούν με βάση τις καθημερινές τους ανάγκες και συνθήκες, και έτσι αποκαλύπτεται η συμπεριφορά των οδηγών κάτω από τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες, και συσκευές καταγραφής των βασικών μεταβλητών της οδήγησης. Η μέθοδος αυτή διασφαλίζει την εγκυρότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης που θα ακολουθήσει (Zhang et al., 2020).

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως για την καταγραφή των στοιχείων του ταξιδιού είναι οι Διαγνώστες επί του οχήματος, γνωστότεροι ως OBD (On-Board Diagnostic scanners). Οι συγκεκριμένες συσκευές αγοράζονται συνήθως ξεχωριστά από το όχημα και συνδέονται στην αντίστοιχη θύρα του «εγκεφάλου» του οχήματος. Τα δεδομένα που μπορούν να συλλέξουν είναι η κατανάλωση καυσίμου, η ποσότητα των αέριων εκπομπών του οχήματος, ταχύτητα κίνησης, επιτάχυνση, χρήση του φρένου κ.α. και η καταγραφή γίνεται ανά

δευτερόλεπτο κίνησης. Η πλειοψηφία των OBDs είναι πλέον εξοπλισμένα και με αισθητήρα GPS και έτσι μπορούν να καταγράφουν και την ακριβή θέση του οχήματος (Gilman et al., 2015).



Εικόνα 2: Τυπική συσκευή OBD

Επιπρόσθετα, τα σύγχρονα έξυπνα κινητά τηλέφωνα είναι εφοδιασμένα με μια πληθώρα αισθητήρων, μεταξύ των οποίων επιταχυνσιόμετρο και GPS. Αν λάβει κανείς υπόψη του το γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία των οδηγών είναι κάτοχοι και χρήστες έξυπνου κινητού τηλεφώνου, προσφέρουν τη δυνατότητα συλλογής ενός πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων και μάλιστα με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Πράγματι, σε σύγκριση με ένα OBD, ένα έξυπνο τηλέφωνο μπορεί να συλλέξει σε μεγάλο βαθμό τα απαιτούμενα δεδομένα, με εξαίρεση την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές αερίων. Από την άλλη μεριά, προσφέρει ένα πιο μαζικό τρόπο συλλογής δεδομένων, ακόμα και όταν δεν είναι διαθέσιμος ο απαιτούμενος αριθμός OBDs.

Ο συνδυασμός των έξυπνων τηλεφώνων με τα OBDs προσφέρει νέες δυνατότητες, από τις οποίες μπορούν να προκύψουν πολλές εφαρμογές έξυπνων μεταφορικών συστημάτων (Meseguer et al., 2013). Οι δύο συσκευές μπορούν να δράσουν συμπληρωματικά στη δημιουργία μιας πλούσιας βάσης δεδομένων με πολλές μετρήσεις και μεταβλητές σχετικές, όπως ήδη αναφέρθηκε, με την ακριβή θέση του οχήματος, την ταχύτητα κίνησής του, την κατανάλωση καυσίμου και διεργασίες της μηχανής του οχήματος (Ayyildiz et al., 2017).

Η μέθοδος αυτή παρατήρησης της Οικολογικής Οδήγησης και συλλογής των δεδομένων έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε αρκετές έρευνες, σχετικές με την κατανάλωση καυσίμου και όχι μόνο (Magana & Munoz-Organero, 2016; Zhang et al., 2020). Συνήθως συνοδεύεται και με την ανάπτυξη μιας εφαρμογής, η οποία εγκαθίσταται στα τηλέφωνα των συμμετεχόντων και είναι υπεύθυνη για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων, την επικοινωνία με το χρήστη και τη συλλογή επιπλέον δεδομένων από αυτόν (π.χ. μέσω ερωτηματολογίου). Ακόμα, μέσω της εφαρμογής μπορούν οι χρήστες να ενημερώνονται για τις επιδόσεις τους. Όπως μάλιστα έχουν δείξει έρευνες, αποκτώντας γνώση της επιρροής των ενεργειών τους στην κατανάλωση

καυσίμου, οι οδηγοί είναι πιο πιθανό να στραφούν σε περισσότερο οικολογικές πρακτικές (Husnjak et al., 2015).

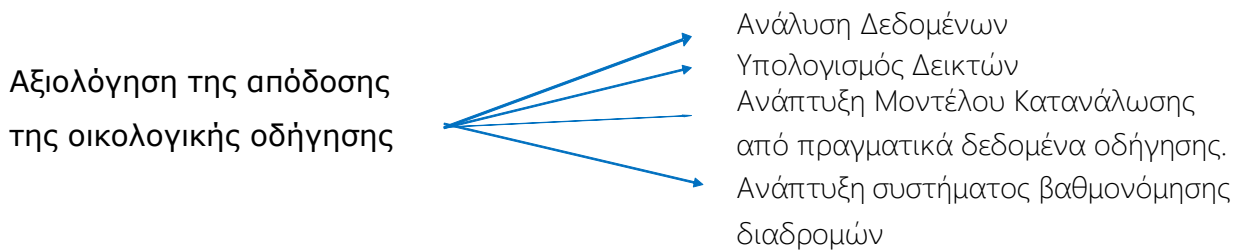
Στο πλαίσιο της διπλωματικής, θα πραγματοποιηθεί ένα πείραμα οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες με χρήση OBDs και έξυπνων τηλεφώνων για τη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων. Εν συνεχεία θα αναπτυχθεί πρότυπο που θα υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμου με αξιοποίηση μόνο των δεδομένων που συλλέγονται από το έξυπνο τηλέφωνο και συνεπώς θα μπορεί να αξιοποιηθεί και πέρα από τα πλαίσια της διπλωματικής για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου, χωρίς να είναι απαραίτητη η κατοχή OBD.

Αν και ο συγκεκριμένος τρόπος συλλογής δεδομένων παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, υπάρχει και ένα βασικό μειονέκτημα: δεν είναι δυνατή η συλλογή εξωτερικών πληροφοριών, όπως είναι οι καιρικές συνθήκες και οι συνθήκες που επικρατούν στο οδικό δίκτυο, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου (Gilman et al., 2015). Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό για ένα πρότυπο που θα αναπτυχθεί να προβλέπει με ακρίβεια την κατανάλωση καυσίμου, χωρίς τη γνώση των παραπάνω δεδομένων.

3. Μεθοδολογική Προσέγγιση

3.1 Ροή Εργασιών

Για την επίτευξη των τιθέμενων στόχων της διπλωματικής εργασίας, αναπτύσσεται η παρακάτω μεθοδολογία ώστε να υπολογιστούν οι σαφώς διακριτοί δείκτες που φαίνονται στο Διάγραμμα 2. Αρχικά, θα γίνει ο υπολογισμός του Eco-Score (που αφορά σε πόντους οικολογικής οδήγησης) **ανά διαδρομή**. Αυτή η βαθμολογία χαρακτηρίζει την οικολογική οδήγηση με βάση το ποσοστό τοις εκατό της διαδρομής κατά το οποίο ο εξεταζόμενος οδηγός εμφανίζει οικολογικά φιλική οδηγική συμπεριφορά. Επιπλέον, θα γίνει ο υπολογισμός του συνολικού Eco-Score **ανά οδηγό**, με βάση το πόσο οικολογικά φιλική είναι γενικά η οδηγική συμπεριφορά του. Τέλος, θα γίνει η ανάπτυξη ενός συστήματος αξιολόγησης της απόδοσης της οικολογικής οδήγησης, βαθμολογώντας όλους τους οδηγούς στη βάση δεδομένων, με βάση την συνολική τους συμπεριφορά.



Διάγραμμα 2:Βήματα μεθοδολογικής προσέγγισης

3.2 Υπολογισμό Δεικτών Οικολογικής οδήγησης

Οι δείκτες αυτοί είναι οι smootheco και Eco Drive. Ο υπολογισμός των δεικτών αυτών βοηθάει στην εκτίμηση του οικολογικού χαρακτήρα των συμπεριφορών οδήγησης των χρηστών. Ταυτόχρονα, μέσω της διερεύνησης διαφόρων παραμέτρων της κίνησης των οχημάτων, όπως της ταχύτητας που αναπτύσσουν, το χρόνο και την απόσταση οδήγησης, μεταξύ άλλων, είναι δυνατόν να προκύψουν αποτελέσματα για τον οικολογικό χαρακτήρα της οδήγησης για την κάθε ξεχωριστή διαδρομή που διερευνάται.

3.2.1 Δείκτης smootheco

Ο δείκτης **smootheco** ανήκει στα μεταδεδομένα (metadata), δηλαδή είναι ένα δεδομένο (data) που περιγράφει άλλα δεδομένα, και αφορά μια παραλλαγή της Θετικής Κινητικής Ενέργειας, υπολογίζει δηλαδή την επιθετικότητα της οδήγησης και εξαρτάται από την συχνότητα και την ένταση της θετικής επιτάχυνσης. Χαμηλές τιμές αυτού του δείκτη φανερώνουν πως ο οδηγός δεν είναι επιθετικός. Ο τύπος του δείκτη smootheco είναι ο εξής:

$$PKE = \frac{\sum(v_i - v_{i-1})^2}{d} \quad (2)$$

όπου, v_i είναι η ταχύτητα ορισμένη σε μέτρα/δευτερόλεπτο και d η απόσταση της διαδρομής σε μέτρα.

3.2.2 Δείκτης *edrive*

Ο δείκτης *edrive* ορίζεται ως το μέρος του χρόνου οδήγησης κατά τον οποίο ένα όχημα λειτουργεί σε κατάσταση οικονομίας (οικολογικός χρόνος οδήγησης):

$$edrive = \frac{eco\ driving\ duration}{total\ driving\ duration} \quad (3)$$

Ο χρόνος οικολογικής οδήγησης ορίζεται από τον χρόνο που απομένει αφαιρώντας τη διάρκεια παραμονής του οχήματος σε ρελαντί (που καθορίζεται από τον αριθμό των στάσεων και τις επιταχύνσεις από ακινησία), τη διάρκεια οδήγησης σε κρίσιμα σημεία γεωμετρίας της οδού (μεγάλες κλίσεις, απότομες στροφές), τη διάρκεια της επιτάχυνσης πάνω από το όριο ταχύτητας και τη διάρκεια των απότομων συμπεριφορών (απότομο φρενάρισμα, απότομη επιτάχυνση), Διάγραμμα 3.

Για τον υπολογισμό της προσαρμογής και της κλίσης της οδού που αναφέρονται στο Διάγραμμα 3, αξιοποιήθηκαν εξωτερικές πηγές υπηρεσιών και πληροφοριών, όπως είναι η ιστοσελίδα OPENSTREETMAPS και το Open Elevation API. Η πλειοψηφία αυτών των πηγών χρησιμοποιούν ψηφιακά πρότυπα υψομέτρου τα οποία έχουν αναπτυχθεί αξιοποιώντας δεδομένα από μια αποστολή της NASA (NASA's Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)).

Για την κλίση της οδού ορίζεται ο χρόνος που το όχημα βρίσκεται υπό κάποια κλίση:

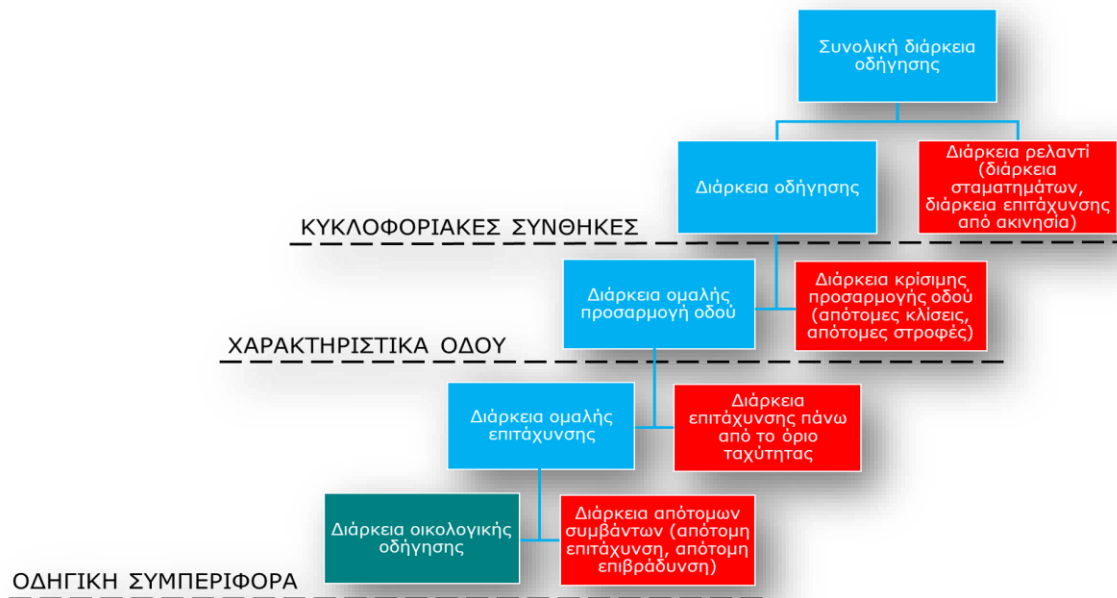
- Ήπια:
eslopem (mild): < 3% για πάνω από 1 χιλιόμετρο ή > 3% για λιγότερο από 1 χιλιόμετρο.
- Απότομη:
eslopes (severe): >3% για πάνω από 1 χιλιόμετρο.

$$eslopem = \frac{time\ mild\ slopes}{driving\ time}, \quad eslopes = \frac{time\ severe\ slopes}{driving\ time} \quad (4)$$

Με βάση τον υπολογισμό του δείκτη *edrive* για όλη την εξεταζόμενη βάση δεδομένων των διαδρομών που έγιναν, μπορεί να δημιουργηθεί μια συνολική κλίμακα για αυτόν (τον δείκτη *edrive*). Αυτή η κλίμακα μπορεί να διαφοροποιείται σε σχέση με το περιβάλλον (αστικό, αυτοκινητόδρομο).

Αυτός ο δείκτης, ποσοτικοποιεί την απώλεια την αποδοτικότητας κατά την οδήγηση λόγω των χαρακτηριστικών της οδού, των κυκλοφοριακών συνθηκών και άλλους παράγοντες που αφορούν στον εκάστοτε οδηγό. Η κρισιμότητα καθενός από αυτούς τους παράγοντες δεν

λαμβάνεται υπόψη. Στην περίπτωση που η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν περιγράφει τη σχέση μεταξύ την κατανάλωσης καυσίμου και της οικολογικής οδήγησης με ικανό επίπεδο λεπτομέρειας, ο δείκτης θα μπορούσε να δομηθεί σαν συνάρτηση τριών διαφορετικών στοιχείων (συμπεριφορά του οδηγού, χαρακτηριστικά της οδού και κυκλοφοριακές συνθήκες – συνθήκες διαδρομής).



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ποσοτικοποίησης του δείκτη edrive.

3.3 Εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου

Η σχέση μεταξύ της οικολογικής οδήγησης και της κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να οριστεί με ακρίβεια (~95%) αξιοποιώντας την ταχύτητα, την επιτάχυνση και την διάρκεια παραμονής του οχήματος σε ρελαντί. Συνήθως για τις παραπάνω μετρήσεις γίνονται πειράματα που χρησιμοποιούν συσκευές OBD-II. Η προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται στην ανάπτυξη (προτυποποίηση) μίας μαθηματικής συσχέτισης μεταξύ των δεικτών οικολογικής οδήγησης (και άλλων παραμέτρων που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση) και της κατανάλωσης καυσίμου από τα δεδομένα που έχουν προκύψει από πραγματικές διαδρομές, τα οποία είναι:

- Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου από συσκευές OBD-II,
- Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου σε πραγματικό χρόνο από ιδιωτικά οχήματα και
- Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου υπολογισμένα ανά δευτερόλεπτο χρησιμοποιώντας τα πρότυπα VT-micro και Street-smart.

Τα πρότυπα που θα αναπτυχθούν, θα πρέπει να αξιολογηθούν σε σχέση με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της οδού που εξετάζεται, τους χρήστες που διερευνώνται και τις κατηγορίες των οχημάτων, μεταξύ άλλων.

3.4 Προτυποποίηση οδηγικής συμπεριφοράς και κατανάλωσης καυσίμου

Λόγω της μεγάλης σημασίας του θέματος της κατανάλωσης καυσίμου και των περιβαλλοντικών προεκτάσεών του, έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς πολλά πρότυπα υπολογισμού της. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια παράθεσης αρκετών προσεγγίσεων διαφορετικού τύπου και αποσαφήνισης των μεθοδολογιών και των χρησιμοποιούμενων δεδομένων.

3.4.1 Θεωρητικός υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου

Μιλώντας υπό τη σκοπιά της επιστήμης της Φυσικής, η ενέργεια που παράγει ο κινητήρας του εν κινήσει οχήματος (καταναλώνοντας καύσιμο) ισούται με το άθροισμα του έργου των αντιτιθέμενων στην κίνηση δυνάμεων και της απαιτούμενης για την επιτάχυνση του οχήματος ενέργειας (Ayyildiz et al., 2017). Ισχύει:

$$E_{tot} = E_{air} + E_{roll} + E_{acc} + E_g + E_{id} \quad (1)$$

Πίνακας 4: Παραγόμενες στον κινητήρα του οχήματος ποσότητες ενέργειας

Συμβολισμός	Επεξήγηση
E_{air}	Το έργο της αεροδυναμικής αντίστασης
E_{roll}	Το έργο της αντίστασης κύλισης (τριβής)
E_{acc}	Η ενέργεια που απαιτείται για την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος
E_g	Το έργο της βαρύτητας, για όχημα κινούμενο σε ανωφέρεια
E_{id}	Η απαιτούμενη ενέργεια για μένει σε λειτουργία ο κινητήρας, ακόμα και όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση

Οι σχέσεις υπολογισμού των παραπάνω ποσοτήτων είναι πολύ σύνθετες και απαιτούν τον προσδιορισμό ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, κάτι που είναι πολύ δύσκολο. Σε μια προσπάθεια να απλοποιηθεί ο υπολογισμός, μένοντας όμως στο ίδιο μήκος κύματος, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο κινητήρας ασκεί στο όχημα (μέσω της ροπής που ασκείται στους τροχούς) μια δύναμη, τη δύναμη έλξης, προκειμένου να υπερνικήσει της δυνάμεις αντίστασης που ασκούνται στο όχημα και να επιτρέψει την επιτάχυνση του οχήματος (Fafoutellis, 2015). Οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα, πέρα από τη δύναμη έλξης, είναι η αντίσταση κύλισης (τριβή), η αεροδυναμική αντίσταση και το βάρος του. Το ισοζύγιο των δυνάμεων κάθε χρονική στιγμή είναι θετικό αν το όχημα επιταχύνει και αρνητικό αν επιβραδύνει. Η δύναμη έλξης δίνεται από τον τύπο:

$$F_{trac} = m * \frac{dv}{dt} + m * g * \sin\theta + F_{aero} + F_{RR} \quad (2)$$

όπου

m: μάζα οχήματος,

dv/dt: Επιτάχυνση οχήματος κάθε χρονική στιγμή,

g: Επιτάχυνση της βαρύτητας,

θ : Κλίση οδού,

F_{aero} : Αεροδυναμική αντίσταση και

F_{RR} : Αντίσταση κύλισης.

Πιο αναλυτικά, η αεροδυναμική αντίσταση και η αντίσταση κύλισης μπορούν να υπολογιστούν από τις παρακάτω απλοποιημένες σχέσεις:

$$F_{RR} = C_{RR} * m * g \quad (3),$$

$$F_{aero} = \frac{1}{2} * C_D * A_f * \rho * v^2 \quad (4),$$

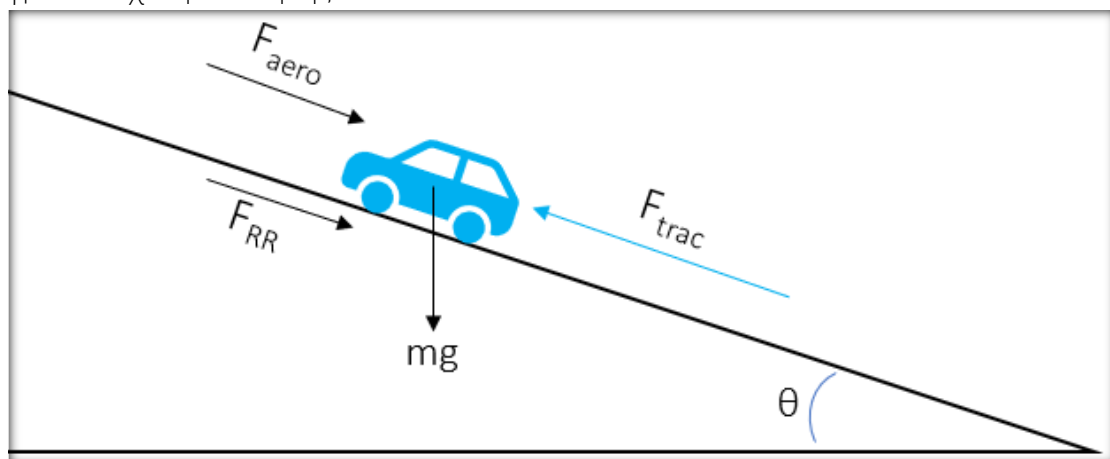
όπου:

C_{RR} , C_D : Συντελεστής τριβής και αεροδυναμικής αντίστασης,

A_f : Εμβαδόν της μπροστινής επιφάνειας του οχήματος,

ρ : Πυκνότητα του αέρα

v : Στιγμιαία ταχύτητα κίνησης.



Εικόνα 3: Δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση ενός οχήματος

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι ο υπολογισμός με βάση της παραπάνω σχέσεις είναι δυσχερές, τόσο λόγω των πολλών παραμέτρων που υπεισέρχονται, όσο και λόγω της ανάγκης για γνώση των τιμών της ταχύτητας, της κλίσης και των υπόλοιπων παραμέτρων σε όλες τις στιγμές του ταξιδιού (ανά δευτερόλεπτο). Παρόλα αυτά έχουν ισχυρό επιστημονικό υπόβαθρο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

3.4.2 Ταξινόμηση προτύπων

Ανατρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία, μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι έχουν προταθεί μια πληθώρα προτύπων για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου, καθένα από τα οποία αξιοποιεί διαφορετικού τύπου δεδομένα και έχει διαφορετική μαθηματική μορφή. Τα τελευταία χρόνια τα πρότυπα έχουν καταφέρει να υπολογίζουν την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται σε κάποια διαδρομή με σφάλμα μικρότερο του 10% (Chen et al., 2017), το οποίο θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό. Σε μια προσπάθεια να συγκεντρώσουμε και να συνοψίσουμε

τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής και συναντώνται συχνότερα στη βιβλιογραφία, καθίσταται δυνατή η κατηγοριοποίηση με βάση διαφορετικά κριτήρια.

Μια πρώτη διάκριση είναι ανάμεσα στα πρότυπα που βασίζονται στη θεωρία της Φυσικής (όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο) και στα οδηγούμενα από τα δεδομένα (data-driven) πρότυπα. Αντιπροσωπευτικά πρότυπα της πρώτης κατηγορίας είναι τα παρακάτω:

1. **VSP (Vehicle Specific Power)**: Το πρότυπο παρουσιάστηκε πρώτη φορά το 1999 (Jiménez-Palacios, 1999) και επιτρέπει τον υπολογισμό τόσο της κατανάλωσης καυσίμου, όσο και των εκπομπών του οχήματος. Περιλαμβάνει την αναλυτική εκτίμηση των δυνάμεων που ασκούνται στο όχημα, δηλαδή της αεροδυναμικής αντίστασης, της αντίστασης κύλισης, του βάρους και της επιτάχυνσης του οχήματος. Το πρότυπο έχει χρησιμοποιηθεί με διάφορες παραλλαγές/απλοποιήσεις στις σχέσεις υπολογισμού.
2. **CMEM (Comprehensive Modal Emission Model)**: Το πρότυπο αναπτύχθηκε επίσης στα τέλη της δεκαετίας του 1990 (An et al., 1997) ως ένα πρότυπο υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου με χρήση μικροσκοπικών δεδομένων. Ομοίως με το VSP, στηρίζεται στον υπολογισμό μικρότερων ποσοτήτων ενέργειας που, αθροιζόμενες, δίνουν τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται. Επίσης, απαιτεί και ένα μεγάλο όγκο δεδομένων ανά δευτερόλεπτο της διαδρομής, όπως την ταχύτητα. Έχει τέλος χρησιμοποιηθεί από έναν μεγάλο αριθμό ερευνητών (Nesamani et al., 2017; Z. Xu et al., 2018).
3. **EMIT (EMissions from Traffic)**: Είναι ένα πρότυπο παρόμοιο με το CMEM, για τον υπολογισμό της στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών των οχημάτων που βασίζεται σε τιμές παραμέτρους ανά δευτερόλεπτο, όπως της ταχύτητας και της επιτάχυνσης (Carpiello et al., 2002).

Από την άλλη μεριά, τα οδηγούμενα από τα δεδομένα πρότυπα προσεγγίζουν την πραγματική τιμή της κατανάλωσης καυσίμου χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους ή τεχνικές Μηχανικής Μάθησης. Σε αυτή την κατηγορία ένα πολύ γνωστό πρότυπο είναι το VT-Micro (Virginia Tech microscopic). Οι απαιτήσεις του σε δεδομένα είναι αντίστοιχες με αυτές των προτύπων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, όμως αυτό στο οποίο διαφέρει είναι ότι δεν αξιοποιεί τις γνωστές από τη Φυσική σχέσεις, αλλά αντίθετα ο αλγόριθμος υπολογισμού προσαρμόζεται στα δεδομένα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το πρότυπο που αναπτύχθηκε με βάση τα πειραματικά δεδομένα είναι μια πολυωνυμική συνάρτηση με όρους έως και τέταρτου βαθμού της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του οχήματος (Rakha et al., 2004).

Γενικότερα, πρότυπα αυτής της κατηγορίας δεν απαιτούν πάντως τόσο αναλυτικά δεδομένα. Η διαδικασία εκπαίδευσής τους μπορεί να περιλαμβάνει και συγκεντρωτικά δεδομένα από το εκάστοτε ταξίδι. Άλλωστε τα συγκεκριμένα πρότυπα που αναφέρθηκαν περιορίζονται πολύ από δύο παράγοντες: Πρώτον, δεδομένα κλίσης της οδού ή ταχύτητας και επιτάχυνσης ανά δευτερόλεπτο είναι δύσκολο να συλλεγούν, ακόμα και με την τεχνολογία της σημερινής εποχής και, δεύτερον, περιλαμβάνουν και πλήθος άλλων παραμέτρων που πρέπει να

προσδιοριστούν. Για παράδειγμα, το VT-Micro περιλαμβάνει 32 τέτοιες παραμέτρους (Z. Xu et al., 2018).

Τέλος, τα πρότυπα της δεύτερης κατηγορίας εστιάζονται κυρίως στην οδηγική συμπεριφορά, μη λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γεωμετρία της οδού, οι συνθήκες της κυκλοφορίας και η κατάσταση του οχήματος. Κατά συνέπεια, δυο ίδιες διαδρομές μπορεί να έχουν μεγάλη διαφορά ως προς την ποσότητα καυσίμου που καταναλώθηκε.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει λογικά και ο επόμενος διαχωρισμός των προτύπων, με βάση αυτή τη φορά το είδος των δεδομένων που απαιτούν, σε μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών (Chen et al., 2017).

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση προτύπων ανάλογα το είδος των δεδομένων εισόδου

Μικροσκοπικά Μοντέλα	Μακροσκοπικά Μοντέλα	Μεσοσκοπικά Μοντέλα
Είναι κατάλληλα στην περίπτωση που είναι διαθέσιμα δεδομένα διαδρομών με την ακριβή θέση των οχημάτων ανά δευτερόλεπτο, διότι απαιτούνται αντίστοιχα χρονοσειρές ταχυτήτων, επιτάχυνσης και άλλων παραμέτρων ανά δευτερόλεπτο. Η συλλογή τέτοιων δεδομένων είναι συχνά δύσκολη σε μεγάλη κλίμακα.	Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου βασίζεται σε μεταβλητές όπως η μέση τιμή της ταχύτητας και της επιτάχυνσης, ο τύπος του οχήματος κ.α. Έτσι, δε λαμβάνουν υπόψη την ετερογένεια στην οδηγική συμπεριφορά, αφού δύο διαδρομές με την ίδια μέση ταχύτητα θα έχουν την ίδια κατανάλωση καυσίμου.	Εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα κάθε μιας από τις άλλες δύο κατηγορίες. Δεν απαιτούν δεδομένα ανά δευτερόλεπτο, αλλά και δεν βασίζονται μόνο στις μέσες τιμές των παραμέτρων. Αντίθετα, χρησιμοποιούν πιο αναλυτικές μετρικές της στατιστικής που σχετίζονται με τη διακύμανση και την κατανομή του κάθε μεγέθους. Σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες, η συλλογή των δεδομένων δεν είναι περισσότερο δυσχερής, ενώ γενικά είναι πιο κατάλληλα για τις περισσότερες εφαρμογές της Οικολογικής Οδήγησης.

Όπως παρουσιάστηκε και νωρίτερα, τα πρότυπα οδηγούμενα από τα δεδομένα μπορεί να ανήκουν και στις τρεις κατηγορίες, ενώ τα περισσότερα βασιζόμενα στη θεωρία της Φυσικής πρότυπα είναι μικροσκοπικά, χωρίς βέβαια και αυτό να είναι απόλυτο.

Τέλος, μια ακόμα ενδιαφέρουσα ταξινόμηση των προτύπων υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου έχει προταθεί από τους Zhou et al., 2016. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση το βαθμό εξάρτησης της μεθοδολογίας υπολογισμού από μεγάλο όγκο πειραματικών δεδομένων ή από την κατανόηση των μηχανολογικών γνώσεων για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου.

Συγκεκριμένα, διακρίνονται τρεις τύποι προτύπων ανάλογα με το βαθμό διαφάνειας των υπολογισμών: λευκού, μαύρου και γκρίζου κουτιού. Τα πρότυπα λευκού κουτιού προκύπτουν κυρίως από τη γνώση της σχετικής θεωρίας και το μαθηματικό τους υπόβαθρο απαιτεί σε

βάθος γνώση της λειτουργίας του κινητήρα και των υποσυστημάτων και είναι σε μεγάλο βαθμό ντετερμινιστικό.

Το αντίθετο των προτύπων λευκού κουτιού είναι τα πρότυπα μαύρου κουτιού. Σε σύγκριση με τα πρότυπα λευκού κουτιού, τα πρότυπα αυτά στερούνται θεωρητικού (μαθηματικού/φυσικού) υποβάθρου στη δομή τους και αξιοποιούν δεδομένα και μετρικές εισόδου ή εξόδου του συστήματος. Τα πρότυπα γκρίζου κουτιού βρίσκονται κάπου ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις και βασίζονται τόσο στη γνώση των βασικών στοιχείων της λειτουργίας των μηχανών, όσο και στη συλλογή πειραματικών δεδομένων και μετρήσεων.

Πιο συγκεκριμένα, τα πρότυπα λευκού κουτιού βασίζονται στις φυσικές και χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον κινητήρα του οχήματος, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις για να περιγράψουν τις διαδικασίες εισαγωγής του καυσίμου στον κινητήρα, συμπίεσης, καύσης και εξάτμισής του. Στα πρότυπα μαύρου κουτιού, η μηχανή θεωρείται η ίδια ένα «μαύρο κουτί», με την έννοια ότι δεν είναι γνωστές ή δεν ενδιαφέρουν οι διεργασίες που συμβαίνουν εντός αυτής, παρά μόνο τα μετρήσιμα αποτελέσματά τους. Διακρίνονται μάλιστα τρεις τύποι τέτοιων προτύπων:

1. Μοντέλα που βασίζονται στη *μηχανή*, στα οποία ως μεταβλητές εισόδου δίνονται μετρικές που σχετίζονται με τη μηχανή, όπως η ταχύτητα περιστροφής (στροφές ανά λεπτό), η ροπή της μηχανής, και η ισχύς.
2. Μοντέλα που βασίζονται στο *όχημα*, με μεταβλητές όπως η στιγμιαία ή μέση ταχύτητα και επιτάχυνση.
3. Μοντέλα που βασίζονται στις *καταστάσεις λειτουργίας*, με μεταβλητές εισόδου τις διάρκειες επιτάχυνσης, κίνησης με σταθερή ταχύτητα, επιβράδυνσης και στάσης με τη μηχανή σε λειτουργία.

Τα πρότυπα μαύρου κουτιού βασίζονται συνήθως σε στατιστικές μεθόδους και μεθόδους Μηχανικής Μάθησης, που εκπαιδεύονται με χρήση πειραματικών δεδομένων που συλλέγονται από πραγματικές διαδρομές. Βασικά μειονεκτήματά τους αποτελούν η συχνή απαίτηση μεγάλου όγκου δεδομένων για την ανάπτυξή τους και η απουσία επεξήγησης ή κατανόησης της φυσικής σημασίας των αποτελεσμάτων. Τα πρότυπα γκρίζου κουτιού από την άλλη, απαιτούν έστω τη μερική γνώση του μηχανολογικού υπόβαθρου, όμως απαιτούν και τη χρήση πειραματικών δεδομένων.

Σχετικά με το πεδίο εφαρμογής του κάθε πρότυπου, ανακύπτει περιορισμός των προτύπων λευκού κουτιού λόγω της απαίτησης για γνώση των μηχανολογικών χαρακτηριστικών του οχήματος από το χρήστη, καθώς και λεπτομερειών σχετικά με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την κατανάλωση του καυσίμου. Γίνεται εφαρμογή πρωτίστως σε εργαστηριακές δοκιμές νέων κινητήρων, παρά για την αξιολόγηση της Οικολογικής Οδήγησης. Επιπλέον, δε λαμβάνουν υπόψη την οδηγική συμπεριφορά του κάθε μεμονωμένου οδηγού, η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί έχει μεγάλη επιρροή και αποτελεί βασικό μας στοιχείο. Τα παραπάνω ισχύουν σε μεγάλο βαθμό και για τα πρότυπα γκρίζου κουτιού. Από την άλλη, η χρήση των

παραπάνω δεδομένων στα πρότυπα μαύρου κουτιού σε συνδυασμό με τη δυνατότητα μεταφοράς τους σε νεότερα δεδομένα τους δίνει ένα πλεονέκτημα σε περίπτωση που απαιτείται υπολογισμός σε μεγάλη κλίμακα.

Γίνεται συνεπώς αντιληπτό ότι το αναπτυχθέν υπό τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πρότυπο δημιουργήθηκε με γνώμονα την εκπλήρωση των τιθέμενων στόχων και θα είναι οδηγούμενο από τα δεδομένα, μεσοσκοπικό και μαύρου κουτιού. Τα προς αξιοποίηση δεδομένα σχετίζονται πρωταρχικώς με την οδηγική συμπεριφορά και θα συλλεγούν μέσω πειράματος οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες.

3.4.3 Ανάπτυξη προτύπων: Μεθοδολογίες και μεταβλητές

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια πρόσφατων ερευνών σχετικά με την Οικολογική Οδήγηση και την κατανάλωση καυσίμου και τα οποία έχουν κοινά χαρακτηριστικά με το πρότυπο που πρόκειται να αναπτυχθεί εν συνεχεία. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μεθοδολογίες και στις μεταβλητές εισόδου που αξιοποιήθηκαν.

Αρχικά, όσον αφορά στις μεθοδολογίες, στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων που μελετήθηκαν χρησιμοποιούνται πρότυπα από την οικογένεια των προτύπων γραμμικής παλινδρόμησης. Τα πρότυπα αυτά παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως είναι το σταθερό μαθηματικό τους υπόβαθρο, η ευκολία στην κατανόηση της δομής του πρότυπου καθώς και η δυνατότητα ερμηνείας των αποτελεσμάτων και της επιρροής του κάθε παράγοντα. Από την άλλη μεριά όμως, δεν επιτυγχάνουν μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό της κατανάλωσης, συγκριτικά με πιο σύνθετα πρότυπα, κυρίως λόγω της υπόθεσης ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών και της κατανάλωσης καυσίμου, η οποία δεν ισχύει στην περίπτωση αυτή (Zhou et al., 2016), τουλάχιστον όχι για όλες τις μεταβλητές. Παραδείγματος χάρη, όπως αναφέρεται με περισσότερη λεπτομέρεια στο επόμενο κεφάλαιο, η αύξηση της ταχύτητας δε συνεπάγεται και αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου, όπως ένα γραμμικό πρότυπο λαμβάνει σαν παραδοχή. Αντίθετα, η κίνηση με μέση ταχύτητα (50-70 χλμ./ώρα) είναι πιο αποδοτική από την κίνηση με χαμηλότερη ταχύτητα ή υψηλότερη.

Δευτερευόντως, κατά την ανάπτυξη γραμμικών προτύπων, είναι απαραίτητη προϋπόθεση η μη ύπαρξη γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Δύο μεταβλητές που χρησιμοποιούνται συχνά και παρουσιάζουν έντονη συσχέτιση είναι η σχέση μετάδοσης και η ταχύτητα, για παράδειγμα. Σε αυτή την περίπτωση, τυπικά, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μία από τις δύο μεταβλητές, αλλιώς η επιρροή της καθεμιάς στην κατανάλωση καυσίμου δε θα υπολογιστεί σωστά (Walnum & Simonsen, 2015).

Αντίθετα, τα πρότυπα Μηχανικής Μάθησης δεν παρουσιάζουν τέτοιους περιορισμούς. Μάλιστα, είναι γνωστά για τη μεγάλη ακρίβεια των προβλέψεών τους, λόγω της ικανότητάς τους να προσαρμόζονται στα δεδομένα εκπαίδευσης, ανεξάρτητα από το βαθμό μη γραμμικότητας μεταξύ ανεξάρτητων και εξαρτημένης μεταβλητής (Yao, Zhao, Liu, et al., 2020).

Όπως συμβαίνει και σε πολλούς άλλους τομείς, η δημοφιλία των προτύπων αυτών στην εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου έχει αυξηθεί πολύ τα τελευταία χρόνια.

Η συλλογή των δεδομένων προκειμένου να αναπτυχθούν τα πρότυπα έχει γίνει με τη χρήση συσκευών OBD που, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, συνοδεύεται και από έξυπνο κινητό τηλέφωνο (για τη συλλογή συμπληρωματικών δεδομένων) με ή χωρίς την αντίστοιχη εφαρμογή. Τέλος, υπάρχει και μία εργασία, όπου αξιοποιήθηκαν συνθετικά δεδομένα προσομοίωσης.

Αναλυτικά οι μεθοδολογίες και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε εργασία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η ταχύτητα κίνησης είναι η παράμετρος που υπεισέρχεται πιο συχνά στον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί η σημαντικότερη παράμετρος. Το ίδιο ισχύει και, κατά δεύτερο λόγο, για την επιτάχυνση. Άλλωστε, οι δύο αυτές μεταβλητές είναι βασικές στον προσδιορισμό της οδηγικής συμπεριφοράς και παίζουν ρόλο και στον προσδιορισμό της οικολογικής συμπεριφοράς.

Η κλίση και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού καθώς και οι καιρικές συνθήκες (που δε συλλέγονται μέσω των OBDs ή των τηλεφώνων, αλλά προστίθενται εκ των υστέρων στη βάση δεδομένων) είναι οι επόμενες πιο συχνές παράμετροι. Παράλληλα, σε πολλά πρότυπα αξιοποιούνται μεταβλητές που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής, οι οποίες συλλέγονται από τα OBDs.

Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι μόνο σε μία από τις μελέτες που παρουσιάζονται έχει αξιοποιηθεί ως μεταβλητή ο χρόνος κατά τον οποίο λειτουργεί η μηχανή ενώ το όχημα είναι σε στάση, παρόλο που είναι μια από τις πιο συχνά αναφερόμενες μη αποδοτικές συμπεριφορές. Τέλος, ο αριθμός των στάσεων και το μήκος της διαδρομής, αν και είναι εύκολα μετρήσιμες παράμετροι, δεν αξιοποιούνται σε μεγάλο αριθμό προτύπων. Αναλυτικά η επιρροή των παραμέτρων στην κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 6: Αναλυτική παρουσίαση σημαντικότερων προτύπων κατανάλωσης καυσίμου

Συγγραφείς και Χρονολογία	Μεθοδολογίες	Πείραμα πραγματικής οδήγησης	Προσομοίωση	Ταχύτητα	Επιτάχυνση	Διάρκεια κίνησης με σταθερή ταχύτητα	Σχέση Μετάδοσης	Χρήση φρένου	Λειτουργία μηχανής (π.χ. ροπή, στροφές ανά λεπτό)	Κλιματισμός	Κλίση οδού	Γεωμετρία οδού (άλλα)	Κυκλοφοριακές συνθήκες	Καιρικές συνθήκες	Μήκος διαδρομής	Βάρος	Διάρκεια λειτουργίας μηχανής ενώ το όχημα βρίσκεται σε στάση	Αριθμός στάσεων
Yao, Zhao, Liu, et al. (2020)	Νευρωνικά Δίκτυα, Random Forests, Support Vector Regression	✓		✓	✓	✓		✓										
Wickramanayake & Bandara (2016)	Νευρωνικά Δίκτυα, Random Forests, Gradient Boosting	✓		✓	✓						✓				✓			
Chen et al. (2017)	Γραμμική παλινδρόμηση		✓	✓	✓						✓	✓						
Z. Xu et al. (2018)	Νευρωνικά Δίκτυα, Γραμμική παλινδρόμηση	✓		✓			✓	✓	✓	✓					✓			
Walnum & Simonsen (2015)	Γραμμική παλινδρόμηση	✓		✓		✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓
Yao, Zhao, Zhang, et al. (2020)	Γραμμική παλινδρόμηση	✓		✓	✓						✓	✓	✓	✓				
Gilman et al. (2015)	Γραμμική παλινδρόμηση, Νευρωνικά Δίκτυα, Δέντρα Αποφάσεων	✓		✓	✓				✓		✓			✓				✓
Wallin (2016)	Γραμμική παλινδρόμηση	✓									✓			✓		✓		
Ping et al. (2019)	LSTM, K-means clustering	✓		✓	✓								✓					

3.4.4 Παράγοντες επιρροής οικολογικής οδήγησης

Η οδηγική συμπεριφορά είναι αποτελεί κύριο παράγοντα επιρροής της κατανάλωσης καυσίμου, όμως συχνά αγνοείται η επιρροή του (Huang et al., 2018). Για παράδειγμα, πρότυπα που βασίζονται μόνο σε εξωτερικούς παράγοντες (καιρικές και κυκλοφοριακές συνθήκες κ.α.) ή αποκλειστικά στα μηχανικά χαρακτηριστικά του οχήματος για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου, δε λαμβάνουν υπόψη την επιρροή των χαρακτηριστικών των διαφορετικών οδηγών. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα όμως, η υιοθέτηση οικολογικής οδηγικής συμπεριφοράς μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου κατά περίπου 25% (Yao, Zhao, Liu, et al., 2020).

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του στυλ οδήγησης σχετίζονται με την ταχύτητα και την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση. Συγκεκριμένα, τα παραπάνω μεγέθη για κάθε διαδρομή συνοψίζονται με χρήση στατιστικών μετρικών, όπως η μέση τιμή, η διακύμανση, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή και η συχνότητα (της επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης) (Zhang et al., 2020).

Πρόκειται να μελετηθεί σε βάθος η οδηγική συμπεριφορά και η επιρροή της στην κατανάλωση καυσίμου βάσει της οποίας θα γίνει και η ανάπτυξη των αντίστοιχων προτύπων..

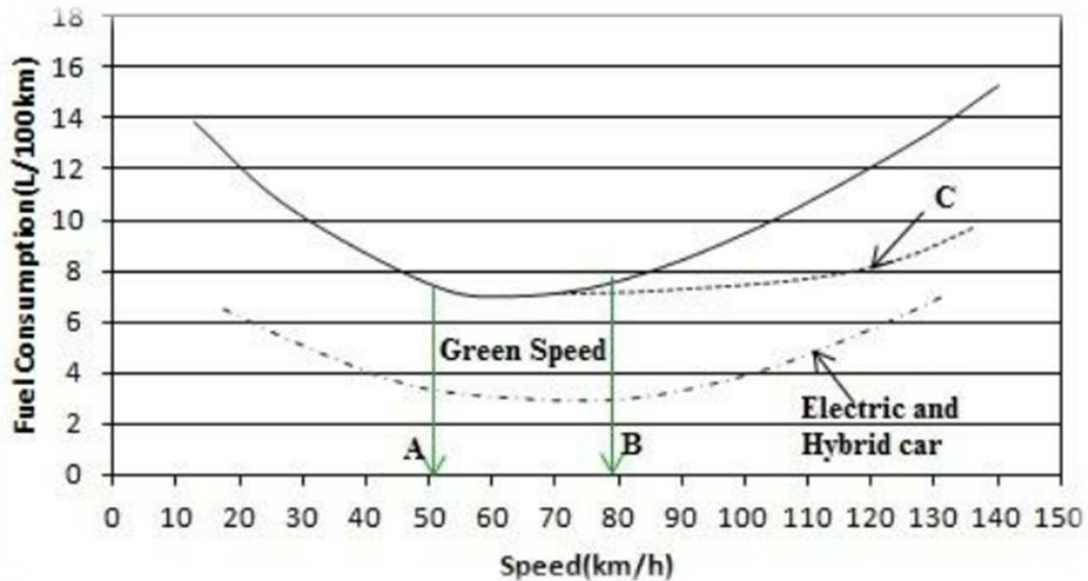
Ταχύτητα

Οι περισσότερες μελέτες αξιοποιούν τη μέση τιμή ή άλλες στατιστικές μετρικές της ταχύτητας στον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου (μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά πρότυπα), ενώ αισθητά λιγότερες αξιοποιούν τη χρονοσειρά της ταχύτητας, δηλαδή τη στιγμιαία τιμή της ανά δευτερόλεπτο (μικροσκοπικά πρότυπα) (Alam & McNabola, 2014). Ανεξάρτητα όμως από την επιλογή της προσέγγισης, η ταχύτητα θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Είναι μάλιστα μία από τις μεταβλητές που, μαζί με την επιτάχυνση, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του στυλ οδήγησης (Zhou et al., 2016).

Ως βέλτιστη πρακτική αναφέρεται η διατήρηση μιας σταθερής ταχύτητας όσο το δυνατόν, ανάλογα και με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Επιπλέον και το επίπεδο της ταχύτητας επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου, καθώς κάθε μηχανή έχει μια βέλτιστη τιμή ταχύτητας, στην οποία λειτουργεί με βέλτιστη αποδοτικότητα. Η κατανάλωση καυσίμου σε χαμηλές ταχύτητες είναι πιο υψηλή λόγω αυξημένων θερμικών απωλειών, στη συνέχεια προσεγγίζει τη βέλτιστη αποδοτικότητα, ενώ σε πολύ υψηλές ταχύτητες πάλι αυξάνεται λόγω απωλειών τριβής στη μηχανή (Huang et al., 2018). Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου – ταχύτητας έχει ένα σχήμα «U». Η βέλτιστη ταχύτητα είναι μεταξύ 50 και 80 χλμ./ώρα, όπως φαίνεται και στο *Διάγραμμα 5*.

Η διατήρηση σταθερής ταχύτητας, από θεωρητικής άποψης, σχετίζεται με τον περιορισμό του καυσίμου που απαιτείται προκειμένου να αυξηθεί η κινητική ενέργεια του οχήματος (Reddy,

2019). Η διατήρηση όσο το δυνατόν σταθερής ταχύτητας μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου από 2 έως 29% (Huang et al., 2018), ανάλογα και με τις υπόλοιπες παραμέτρους.



Διάγραμμα 5: Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου – ταχύτητας (Πηγή: Nasir et al., 2014)

Επιτάχυνση

Η επιτάχυνση είναι η μεταβλητή που κατά κύριο λόγο περιγράφει το προφίλ οδήγησης. Το επιθετικό προφίλ οδήγησης χαρακτηρίζεται από απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, ενώ το αντίθετο ισχύει για το ήρεμο προφίλ, που χαρακτηρίζεται από ομαλές αλλαγές στην ταχύτητα. Κύριος στόχος της Οικολογικής Οδήγησης είναι η μετάβαση των οδηγών από το επιθετικό στο ήρεμο προφίλ (Huang et al., 2018), μιας και η πιο ομαλή οδήγηση επιτρέπει την εξοικονόμηση καυσίμου (Meseguer et al., 2017), για λόγους που σχετίζονται με τις απότομες αυξομειώσεις της κινητικής ενέργειας, αλλά και με τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας, που όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, είναι μεγάλης σημασίας. Ακόμα, κατά την επιτάχυνση του οχήματος, η μηχανή λειτουργεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα (περισσότερες στροφές ανά λεπτό), κάτι που επίσης αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου.

Η επιτάχυνση είναι η σημαντικότερη παράμετρος για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και συμβάλλει στην εξοικονόμηση σε ποσοστό έως και 40% (Huang et al., 2018).

Λειτουργία της μηχανής όσο το όχημα βρίσκεται σε στάση

Η διατήρηση της μηχανής του οχήματος σε λειτουργία ενώ το όχημα βρίσκεται σε στάση θα πρέπει να αποφεύγεται, διότι προκαλεί τη μεγιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου (Huang et al., 2018). Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, υπολογίζεται ότι πάνω από 22 δισεκατομμύρια λίτρα καυσίμων καταναλώνονται μόνο λόγω της συγκεκριμένης αιτίας (US Dept. of Energy, 2015).

Συστήνεται στους οδηγούς να απενεργοποιούν τον κινητήρα του οχήματός τους, αν πρόκειται να μείνει ακινητοποιημένο για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του μισού λεπτού, για παράδειγμα λόγω ενός φωτεινού σηματοδότη. Η ενέργεια που απαιτείται για την επανεκκίνηση της μηχανής είναι λιγότερη από αυτή που καταναλώνεται αν η μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία. Το ποσοστό εξοικονόμησης αν αποφεύγεται η παραπάνω πρακτική είναι έως και 20%, σε συνδυασμό και με τους υπόλοιπους παράγοντες (Zhou et al., 2016).

Οικολογική Δρομολόγηση

Η οικολογική δρομολόγηση αναφέρεται στην επιλογή της διαδρομής που, για ένα συγκεκριμένο ταξίδι, οδηγεί στην ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου (Zhou et al., 2016). Η συγκεκριμένη παράμετρος, ουσιαστικά, σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη γεωμετρία και την κλίση της οδού (επιλέγονται διαδρομές με μικρότερη κλίση), αλλά κυρίως με τις αναμενόμενες κυκλοφοριακές συνθήκες που θα συναντήσει το όχημα, την ύπαρξη φωτεινών σηματοδοτών στη διαδρομή κ.α. Οι οδηγίες σε συνθήκες συμφόρησης, όπως και οι φωτεινοί σηματοδότες, θα ανάγκαζαν τον οδηγό σε πολλές στάσεις, κάτι που δραματικά θα αύξανε την κατανάλωση καυσίμου (ειδικά σε περίπτωση που διατηρούσε τη μηχανή σε λειτουργία, ενώ το όχημα είναι σταματημένο για αρκετή ώρα). Επιπλέον, οι παραπάνω παράγοντες δε θα επέτρεπαν στον οδηγό να κινείται με τη βέλτιστη ταχύτητα, όπως προαναφέρθηκε, αλλά με χαμηλότερη, μειώνοντας περαιτέρω την εξοικονόμηση καυσίμου.

Η ευρύτερη έννοια της οικολογικής δρομολόγησης περιλαμβάνει ακόμα και άλλες αποφάσεις, πέρα της επιλογής διαδρομής, όπως η επιλογή της ώρας αναχώρησης. Οι οδηγοί θα πρέπει να επιλέγουν να πραγματοποιούν τα ταξίδια τους εκτός των ωρών αιχμής, αν αυτό είναι δυνατόν, ώστε να αποφεύγουν τα παραπάνω (Sanguinetti et al., 2017). Η οικολογική δρομολόγηση μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από 10 έως και 25% (Huang et al., 2018; Zeng et al., 2016).

Τύπος οχήματος, τεχνολογία και συντήρηση

Η γνώση των βασικών χαρακτηριστικών του οχήματος είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Όπως είναι γνωστό, οχήματα μεγαλύτερου κυβισμού, για παράδειγμα, καταναλώνουν μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου, σε σχέση με ένα όχημα μικρότερου κυβισμού, πραγματοποιώντας την ίδια διαδρομή, με ίδιες ταχύτητες κίνησης και ίδια οδηγική συμπεριφορά (Zhou et al., 2016). Επομένως, ένα αξιόπιστο πρότυπο πρέπει να διαθέτει την ανάλογη πληροφορία. Το ίδιο ισχύει και για οχήματα νεότερης τεχνολογίας και για οχήματα των οποίων ο οδηγός επιλέγει τη χρήση καυσίμων ανώτερης ποιότητας (Sanguinetti et al., 2017).

Μία ακόμα επιθυμητή πληροφορία είναι και ο βαθμός καλής συντήρησης των συστημάτων των οχημάτων (μηχανή, ελαστικά, φίλτρα κτλ.), ο οποίος εξασφαλίζει την πιο αποδοτική λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης τους.

Άλλοι παράγοντες

Υπάρχουν αρκετοί ακόμα παράγοντες, οι οποίοι αναφέρονται λιγότερο συχνά και έχουν δευτερεύουσα επιρροή στην κατανάλωση καυσίμου. Αρχικά, έρευνες έχουν δείξει ότι η παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω συστήματος που είναι εγκατεστημένο στο όχημα ή έξυπνης εφαρμογής, ωθεί τους οδηγούς να έχουν μία εν γένει πιο οικολογική συμπεριφορά (Hiraoka et al., 2009; Yao, Zhao, Liu, et al., 2020).

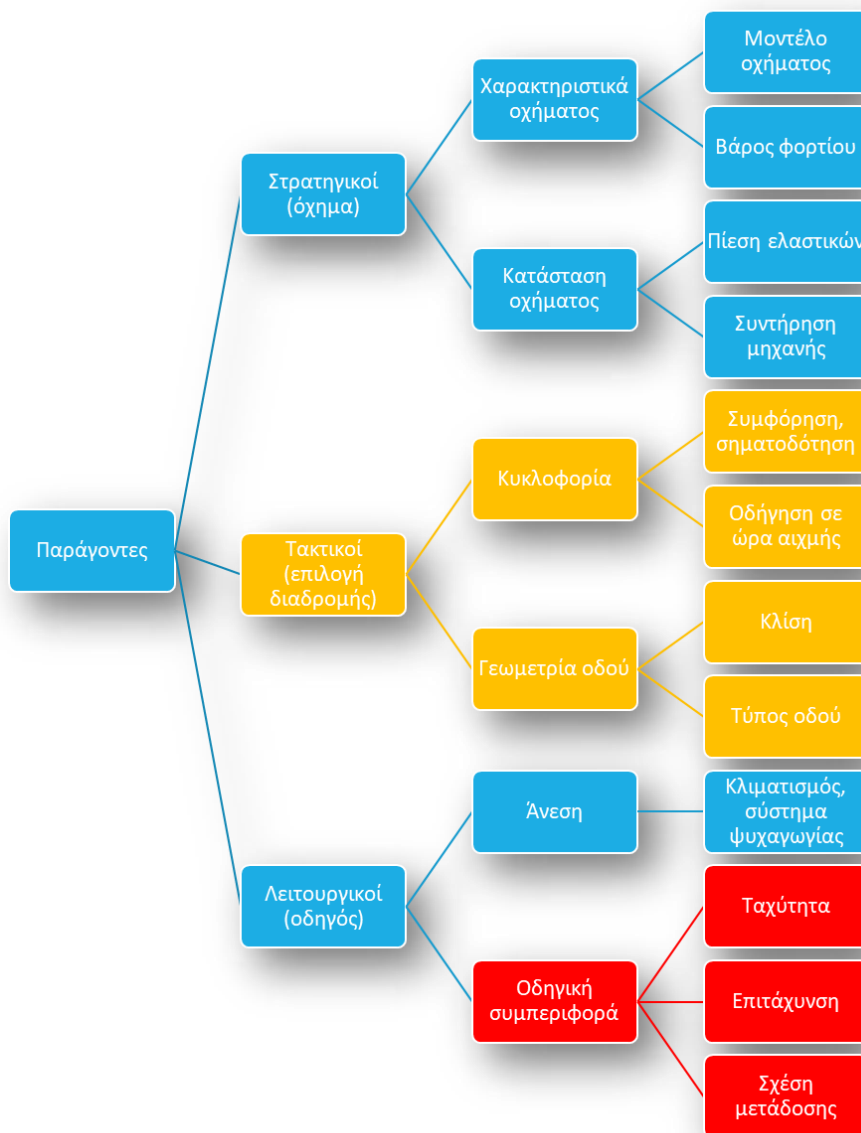
Επιπλέον, οι καιρικές συνθήκες συχνά έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου για διάφορους λόγους. Πρώτον, ακραίες θερμοκρασίες (είτε μικρές είτε μεγάλες) επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής. Δεύτερον, ο δυνατός άνεμος αυξάνει την αεροδυναμική αντίσταση που ασκείται στο όχημα και, τρίτον, φαινόμενα όπως η βροχόπτωση, η ομίχλη και η χιονόπτωση επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού, μην επιτρέποντάς του να εφαρμόζει τις βέλτιστες πρακτικές, όσον αφορά την επιτάχυνση και την ταχύτητα κίνησης (Zhou et al., 2016).

Ακόμα, αναφέρονται σε έναν σημαντικό αριθμό εργασιών η χρήση του κλιματισμού, καθώς και άλλων ηλεκτρικών συστημάτων όπως οι προβολείς φωτισμού, τα συστήματα ψυχαγωγίας κ.α., ως παράμετροι αύξησης της κατανάλωσης καυσίμου (Huang et al., 2018). Τέλος, το μεταφερόμενο βάρος είναι μια ακόμα μεταβλητή, η γνώση της οποίας ενισχύει τη δυνατότητα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου (Sanguinetti et al., 2017).

Βάσει των ανωτέρω πληροφοριών γίνεται ταξινόμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου σε τρεις κατηγορίες, όπως προτείνεται από τους (Hsu et al., 2017):

1. **Στρατηγικοί** παράγοντες, που αφορούν το όχημα
2. **Τακτικοί** παράγοντες, που αφορούν την επιλογή διαδρομής
3. **Λειτουργικοί** παράγοντες που αφορούν τον οδηγό

Οι κατηγορίες παρουσιάζονται αναλυτικά στην Εικόνα 4: . Ακολουθεί και η αναλυτική παρουσίαση των παραγόντων, όπως παρουσιάζονται σε μερικές από τις σημαντικότερες πρόσφατες εργασίες (**Error! Reference source not found.**).



Εικόνα 4: Κατηγορίες παραγόντων με επιρροή στην κατανάλωση καυσίμου

Πίνακας 7: Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων.

Συγγραφείς και Χρονολογία	Ταχύτητα	Επιτάχυνση, στυλ οδήγησης	Δρομολόγηση	Γεωμετρία, χαρακτηριστικά οδού	Κυκλοφοριακές συνθήκες	Λειτουργία μηχανής ενώ το όχημα βρίσκεται σε στάση	Μηχανικά χαρακτηριστικά οχήματος	Συστήματα παρακολούθησης οδήγησης και παροχής συστάσεων	Καιρικές συνθήκες
Meseguer et al. (2017)		✓							
Reddy (2019)	✓	✓				✓			
Zhang et al. (2020)				✓	✓		✓		
Hiraoka et al. (2009)	✓	✓						✓	
Yao, Zhao, Liu, et al. (2020)	✓	✓	x					✓	
Zhao et al. (2015)	✓	✓				✓			
Zhou et al. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Huang et al. (2018)	✓	✓	✓			✓			
Walnum & Simonsen (2015)	✓	✓			x				✓
Sanguinetti et al. (2017)		✓	✓	✓		✓			
Fafoutellis (2015)	✓	✓				✓		✓	
Zeng et al. (2016)			✓						

3.5 Προδιαγραφές Συλλογής Δεδομένων και Προτυποποίησης

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των δεδομένων που αποφασίστηκε να συλλεγούν στην πειραματική φάση της εργασίας, ως προς τα οποία θα γίνει αξιοποίηση στην ανάπτυξη των προτύπων κατανάλωσης καυσίμου, καθώς και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των δεδομένων.

Στόχο αποτελεί η ανάπτυξη ενός πρότυπου αξιόπιστου υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου χρησιμοποιώντας μόνο δεδομένα καταγεγραμμένων από τα κινητά τηλέφωνα των χρηστών και θα αφορούν κατά κύριο λόγο στην οδηγική συμπεριφορά των χρηστών. Συμπληρωματικά, θα συλλεγούν και δεδομένα από OBDs, με κυριότερα την κατανάλωση καυσίμου και την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου.

Τα OBDs δύνανται να συλλέξουν και άλλου τύπου δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων και μετρικών που αφορούν τη λειτουργία του κινητήρα. Ασφαλώς, η κατανάλωση καυσίμου συσχετίζεται άρρηκτα με τέτοιες μεταβλητές και θα ήταν εύκολος ο υπολογισμός της αξιοποιώντας τις. Αυτή η προσέγγιση όμως είναι αντίθετη από τους στόχους της διερεύνησης. Αρχικά, το πρότυπο δε θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά το πέρας της διπλωματικής σε οδηγούς των οποίων τα οχήματα δε θα έχουν εγκατεστημένο OBD και, επιπλέον, δε θα εστίαζε στην οικολογική οδηγική συμπεριφορά ένα τέτοιο πρότυπο. Για το λόγο αυτό, σε όλη την έκταση της παρούσας αναφοράς δόθηκε έμφαση στην οδηγική συμπεριφορά και, επιπλέον, σε μεταβλητές που μπορούν να συλλεγούν στο σύνολό τους αποκλειστικά μέσω έξυπνου τηλεφώνου. Άλλωστε, αν ήταν απαραίτητες για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου μεταβλητές που για τη συλλογή τους απαιτείται OBD, θα λαμβανόταν απευθείας από το OBD η πραγματική τιμή της κατανάλωσης καυσίμου και δε θα είχε νόημα η ανάπτυξη πρότυπου.

Τέλος, θα πραγματοποιηθεί συλλογή δεδομένων τύπου «ημερολογίου διαδρομών», μέσω του «Χρονολογίου» της εφαρμογής «Χάρτες Google». Ένα ημερολόγιο διαδρομών περιλαμβάνει για κάθε μετακίνηση που πραγματοποιεί ένας χρήστης αναλυτικές πληροφορίες για την ώρα άφιξης και αναχώρησης, το σημείο ενδιαφέροντος που επισκέφθηκε (π.χ. πανεπιστήμιο, κατάσταση, εστιατόριο, σούπερ-μάρκετ κ.α.) καθώς και το μέσο μεταφοράς που χρησιμοποίησε, συμπεριλαμβανομένων και διαδρομών που έγιναν με οικολογικά μέσα (περπάτημα, ποδήλατο κ.α.). Τα παραπάνω δεδομένα είναι απαραίτητα, κατά κύριο λόγο, για την ανάπτυξη του προτύπου δρομολόγησης και του συστήματος παροχής συστάσεων για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Πίνακας 8: Σχέδιο συλλογής δεδομένων

Μεταβλητή	Περιγραφή/Σχόλια	Πηγή
Τοποθεσία	Ακριβής τοποθεσία οχήματος ανά δευτερόλεπτο	Τηλέφωνο (και OBD)
Ώρα	Χρονική στιγμή που το όχημα βρίσκεται σε κάθε σημείο	Τηλέφωνο
Ταχύτητα κίνησης	Ταχύτητα κίνησης ανά δευτερόλεπτο	Τηλέφωνο (και OBD)
Κλίση οδού	Η κλίση των οδών όπου κινείται το όχημα	Έμμεσος υπολογισμός από συντεταγμένες
Επιτάχυνση	Επιτάχυνση οχήματος ανά δευτερόλεπτο	Τηλέφωνο (και OBD)
Σκοπός ταξιδιού	Σκοπός – προορισμός κάθε ταξιδιού (π.χ. εργασία, ψώνια, ψυχαγωγία κ.α.)	Διαδικτυακό Ημερολόγιο διαδρομών (Google Timeline)
Λεπτομέρειες κάθε ταξιδιού	Αναλυτική καταγραφή όλων των μετακινήσεων του χρήστη, των σημείων ενδιαφέροντος που επισκέφθηκε, του χρόνου παραμονής στο καθένα, των μέσων μεταφοράς που χρησιμοποίησε	Διαδικτυακό Ημερολόγιο διαδρομών (Google Timeline)
Κατανάλωση καυσίμου	Συνολική κατανάλωση καυσίμου ανά ταξίδι	OBD
Πληροφορίες συμμετέχοντα	Δημογραφικά χαρακτηριστικά, προφίλ κινητικότητας οδηγού, προφίλ οδήγησης, ιστορικό ατυχημάτων	Ερωτηματολόγιο
Χαρακτηριστικά οχήματος	Μοντέλο οχήματος, κυβισμός, παλαιότητα κ.α.	Ερωτηματολόγιο

4. Εφαρμογή Μεθοδολογίας και Αποτελέσματα

4.1 Περιγραφή πειράματος

Για τις ανάγκες της συλλογής δεδομένων και της ανάπτυξης των προτεινόμενων προτύπων, θα πραγματοποιηθεί πείραμα πραγματικής οδήγησης κατά το οποίο οι συμμετέχοντες του πειράματος θα οδηγούν οχήματα εξοπλισμένα με συσκευές OBD και θα έχουν εγκατεστημένη στο κινητό τους τηλέφωνο την εφαρμογή ECODRIVE. Το πείραμα θα γίνει σε τρεις διακριτές φάσεις.

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει μικρά προκαταρκτικά πειράματα τα οποία θα εκτελεστούν από έναν οδηγό και περιλαμβάνουν περιορισμένο αριθμό διαδρομών οδήγησης (20 με 40 διαδρομές) σε αστικό περιβάλλον χωρίς περιορισμούς αλλά και σε ελεγχόμενο περιβάλλον.

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει ένα φυσικό πείραμα οδήγησης όπου 2 οδηγοί θα πραγματοποιήσουν διαδρομές σε διάστημα 4 μηνών προκειμένου να γίνουν οι πρώτες εκτιμήσεις των παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμου και της μορφής των προτύπων που θα αναπτυχθούν.

Τέλος, κατά την τρίτη φάση, θα πραγματοποιηθεί πείραμα πραγματικής οδήγησης κατά το οποίο 18 οδηγοί με οχήματα εφοδιασμένα με τις κατάλληλες συσκευές OBD και αξιοποιώντας την εφαρμογή που αναπτύχθηκε, θα εκτελέσουν τις καθημερινές τους διαδρομές για ένα διάστημα 3 μηνών, των οποίων τα χαρακτηριστικά θα καταγράφουν αυτόματα από τις συσκευές OBD και την εφαρμογή ECODRIVE. Με τον τρόπο αυτό, θα εμπλουτιστούν και θα οριστικοποιηθούν οι παράγοντες επιρροής που διερευνώνται κατά την τελική διαμόρφωση των προτύπων κατανάλωσης καυσίμου στην περίπτωση μας.

4.1.1 Πείραμα: Φάση 1η

Κατά την πρώτη φάση του πειράματος, πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικές δοκιμές με ένα όχημα Peugeot 1001, εξοπλισμένο με συσκευή OBD-II και έναν οδηγό, ηλικίας 22 ετών, που διήρκεσαν μια περίοδο δύο μηνών. Οι διαδρομές που έγιναν ώστε να συλλεχθούν τα ζητούμενα δεδομένα ήταν οι εξής:

- 40 διαδρομές όπου καταγράφηκαν, αξιοποιώντας συσκευή OBD-II, η κατανάλωση καυσίμου ανά διαδρομή και η πραγματική κατανάλωση καυσίμου (για οδήγηση χωρίς περιορισμούς σε αστική περιοχή),
- 20 διαδρομές για τα οποία καταγράφηκε η πραγματική κατανάλωση καυσίμου (για οδήγηση χωρίς περιορισμούς σε αστική περιοχή),
- 20 επαναλαμβανόμενες διαδρομές (στο χώρο του ΕΜΠ, στις εγκαταστάσεις της περιοχής Ζωγράφου) για τα οποία καταγράφηκε, και πάλι αξιοποιώντας συσκευή OBD-II, η κατανάλωση καυσίμου ανά διαδρομή και η πραγματική κατανάλωση καυσίμου (για οδήγηση χωρίς περιορισμούς σε ελεγχόμενη διαδρομή).

Η επιλεγμένη διαδρομή του ελεγχόμενου πειράματος ήταν κυκλική και 3 χιλιόμετρα σε μήκος. Κάθε επανάληψη αποτελούνταν από δύο περάσματα της κυκλικής διαδρομής έτσι ώστε η διάρκεια οδήγησης να είναι μεγαλύτερη των 10 λεπτών και η απόσταση να είναι μεγαλύτερη των 5 χιλιομέτρων. Επιπλέον, για κάθε επανάληψη, ο χρήστης κατέγραφε την κατανάλωση καυσίμου. Σε κάθε επανάληψη ο χρήστης προσπαθούσε να οδηγεί με έναν μεταβλητό τρόπο, επιθετικά, πάνω από το όριο ταχύτητας, να προσομοιάζει την κατάσταση διακοπτόμενης οδήγησης (stop and go) που εμφανίζεται κατά την κυκλοφοριακή συμφόρηση, κανονική οδήγηση κ.λπ., αλλά και ελεύθερα χωρίς να σκέφτεται την διαδικασία του πειράματος. Οι είκοσι (20) πιο αξιόπιστες διαδρομές (σε σχέση με την καταγραφή των τιμών και των αποστάσεων) επιλέχθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία.

4.1.2 Πείραμα: Φάση 2η

Για τη δεύτερη φάση του πειράματος, δύο άνδρες οδηγοί (ηλικίας 22 ετών) επιλέχθηκαν για περαιτέρω δοκιμές. Οι οδηγοί κατέγραψαν τα δεδομένα από τις διαδρομές που έκαναν οδηγώντας τα οχήματά τους, για μια χρονική περίοδο 4 μηνών (Πίνακας 9).

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά οχημάτων δεύτερης πειραματικής φάσης

Μάρκα οχήματος	Χρονολογία κατασκευής	Κυβικά	Ίπποι	Κατανάλωση καυσίμου κατασκευαστή
VW-Golf VI	2010	1400	122	Urban: 8.2 L/100 km Extra-Urban: 5.1 L/100 km Συνδυασμός: 6.2 L/100 km
Renault Clio	2016	900	90	Urban: 5.1 L/100 km Extra Urban: 3.7 L/100 km Συνδυασμός: 4.2 L/100 km

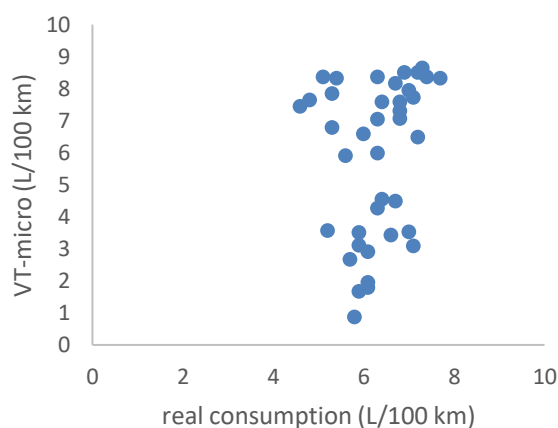
Συνολικά, καταγράφηκαν 288 διαδρομές. Για αυτές τις διαδρομές υπολογίστηκε το υψόμετρο ανά δευτερόλεπτο, όπως έχει προαναφερθεί, αξιοποιώντας εξωτερικές πηγές υπηρεσιών και πληροφοριών, όπως το OPENSTREETMAPS και το Open Elevation API.

Για κάθε μία από τις διαδρομές που εκτελέστηκαν, τα δεδομένα που καταγράφονται ήταν διαθέσιμα μέσω της εφαρμογής του κινητού τηλεφώνου και περιέγραφαν τα κινηματικά χαρακτηριστικά και τον τρόπο οδήγησης του κάθε οδηγού. Παρατίθενται ακολούθως οι χρησιμοποιούμενες μεταβλητές στον Πίνακα 10.

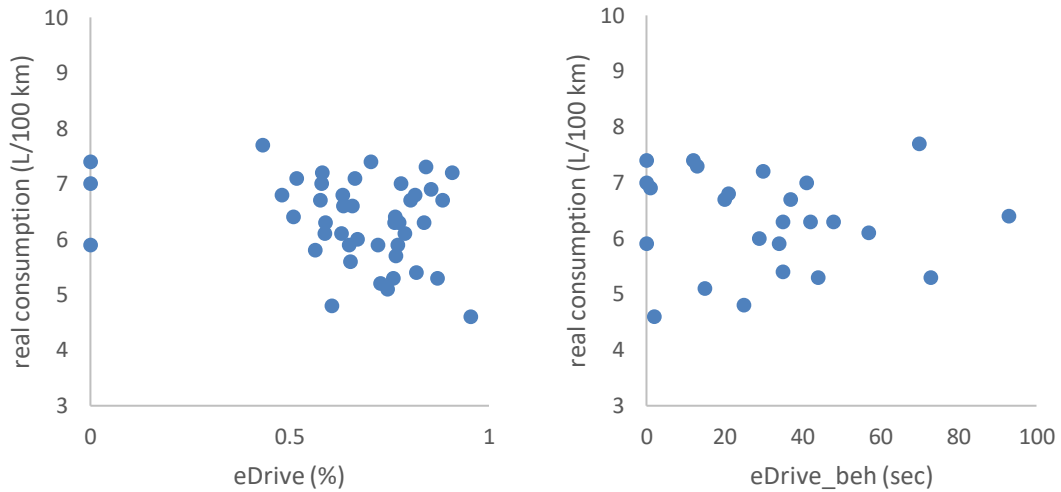
Πίνακας 10: Περιγραφή συλλεγόμενων από smartphone, δεδομένων

Όνομα μεταβλητής	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης
accelfromstop	Η μέση από τις μέγιστες επιταχύνσεις μετά από μια στάση του οχήματος κατά τη διάρκεια μίας διαδρομής	m/s ²
time at stop	Διάρκεια των στάσεων κατά τη διάρκεια μίας διαδρομής	s
total driving duration	Η συνολική διάρκεια της διαδρομής	s
sum_speeding	Ο χρόνος οδήγησης με ταχύτητα πάνω από το όριο ταχύτητας	s
avgspeed	Η μέση ταχύτητα κατά τη διάρκεια της διαδρομής	m/s
non eco accel duration low	Επιτάχυνση πάνω από το κάτω όριο της οικολογικής επιτάχυνσης (=1.09)	m/s ²
slopes	Διάρκεια σε οδούς με κλίση > 3%	s

Τα παρακάτω διαγράμματα διασποράς, Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 5, απεικονίζουν την πραγματική και την εκτιμώμενη κατανάλωση καυσίμου στην εξεταζόμενη βάση δεδομένων. Παρατηρείται πως υπάρχει χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των υπολογισμένων τιμών του πρότυπου VT-micro και των πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου. Επιπλέον, χαμηλή γραμμική συσχέτιση παρατηρείται και μεταξύ των τιμών *edrive_beh*, που αφορά στην διάρκεια μη οικολογικής οδηγικής συμπεριφοράς όπως εξηγείται στο Διάγραμμα 6 (διάρκεια απότομων συμβάντων), και της κατανάλωσης καυσίμου σε ολόκληρη τη βάση δεδομένων, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7.

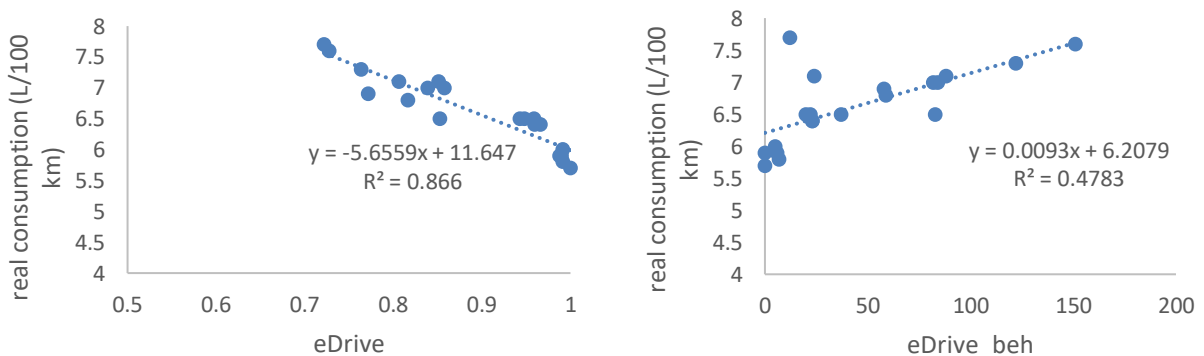


Διάγραμμα 6: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης κατανάλωσης καυσίμου ανά δευτερόλεπτο (για όλες τις διαδρομές).



Διάγραμμα 7: Διαγράμματα διασποράς μεταξύ των τιμών του δείκτη *edrive*(%) (αριστερά), του *edrive_beh* (δευτερόλεπτα) (δεξιά) και της πραγματικής κατανάλωσης καυσίμου ανά δευτερόλεπτο (για όλες τις διαδρομές).

Τέλος, οι 20 διαδρομές των κυκλικών επαναλήψεων που έγιναν στην Πολυτεχνειούπολη του ΕΜΠ στην περιοχή Ζωγράφου με τις συσκευές OBD-II για την κατανάλωση καυσίμου και την πραγματική κατανάλωση καυσίμου (για οδήγηση χωρίς περιορισμούς σε ελεγχόμενη διαδρομή) ανά διαδρομή, φαίνεται να παρουσιάζουν μεγάλη βελτίωση, γεγονός το οποίο αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 8 παρακάτω.



Διάγραμμα 8: Διαγράμματα διασποράς μεταξύ του *edrive* (%) (αριστερά), του *edrive_beh* (δευτερόλεπτα) (δεξιά) και της πραγματικής κατανάλωσης καυσίμου ανά δευτερόλεπτο (διαδρομές κυκλικών επαναλήψεων).

4.1.3 Πείραμα: Φάση 3η

Στην τρίτη φάση του πειράματος καταγράφηκαν ταξίδια που πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες χωρίς περιορισμούς σε αστική περιοχή από 18 οδηγούς. Πιο συγκεκριμένα μέσω εγκατεστημένων συσκευών OBD-II στα οχήματα εξαγόταν η κατανάλωση καυσίμου, ενώ μέσω της εγκατεστημένης

εφαρμογής ECODRIVE από τον εκάστοτε οδηγό εξάγονται οι μεταβλητές και τα μεταδεδομένα του Πίνακα 11 για κάθε διαδρομή ξεχωριστά.

Πίνακας 11: Περιγραφή δεδομένων που συλλέχθηκαν μέσω έξυπνων κινητών τηλεφώνων και μεταδεδομένων

Όνομα μεταβλητής	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης
speed_avg	Μέση ταχύτητα που καταγράφεται σε ένα ταξίδι	km/h
obd_fuel_type	Τύπος καυσίμου που καταναλώνει το όχημα (βενζίνη ή ντίζελ)	-
Duration	Η συνολική διάρκεια του ταξιδιού, συμπεριλαμβανομένων των στάσεων, του περπατήματος κ.λπ.	s
duration_driving	Το ποσοστό της διάρκειας οδήγησης του ταξιδιού	%
harsh_brk	Αριθμός απότομων φρεναρισμάτων (επιβράδυνση πάνω από ένα καθορισμένο όριο)	-
harsh_acc	Αριθμός απότομων επιταχύνσεων (επιτάχυνση πάνω από ένα καθορισμένο όριο)	-
altitude_distance	Το άθροισμα των απόλυτων τιμών των υψομετρικών διαφορών μεταξύ όλων των διαδοχικών σημείων	m
altitude_duration_ascent	Το ποσοστό της συνολικής διάρκειας του ταξιδιού με θετική κλίση	s
altitude_duration_ascent_lt_1	Διάρκεια με θετική κλίση < 1%	s
altitude_duration_ascent_gt_1_lt_3	Διάρκεια με θετική κλίση >1% και <3%	s
altitude_duration_ascent_gt_3_lt_5	Διάρκεια με θετική κλίση >3% και <5%	s
altitude_duration_ascent_gt_5_lt_10	Διάρκεια με θετική κλίση >5% και <10%	s
altitude_duration_ascent_gt_10	Διάρκεια με θετική κλίση >10%	s
acc_avg	Μέση επιτάχυνση	km/h/s
dec_avg	Μέση επιβράδυνση	km/h/s
speeding_percentage	Ποσοστό χρόνου οδήγησης με ταχύτητα πάνω από το όριο ταχύτητας	%
smooth_eco	Δείκτης smooth eco, ο οποίος αποτελεί έκφραση της κινητικής ενέργειας που παράγεται κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Υπολογίζεται ως το άθροισμα των διαφορών των τετραγώνων της τρέχουσας και της προηγούμενης ταχύτητας ανά δευτερόλεπτο προς τη συνολική απόσταση του ταξιδιού	km/h ²
distance_between_stops_avg	Μέση απόσταση μεταξύ στάσεων	km
stops_number	Συνολικός αριθμός στάσεων κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού	-
duration_stops_avg	Η μέση διάρκεια των στάσεων κατά τη	s

	διάρκεια ενός ταξιδιού	
ldling_perc	Το ποσοστό ρελαντί επί της συνολικής διάρκειας του ταξιδιού	%
alt_metric	Το ποσοστό της συνολικής διάρκειας του ταξιδιού με θετική κλίση >1%	%
max_factory	Μέγιστη μέση κατανάλωση καυσίμου βάσει των εργοστασιακών προδιαγραφών	L/100km

Συνολικά καταγράφηκαν παραπάνω από 1300 διαδρομές. Η κατανάλωση καυσίμου, η οποία εξάχθηκε από τις εγκατεστημένες συσκευές OBD-II, μετατράπηκε στην γενική μορφή των L/100km με βάση την διανυόμενη απόσταση ανά διαδρομή.

4.2 Προκαταρκτική ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου

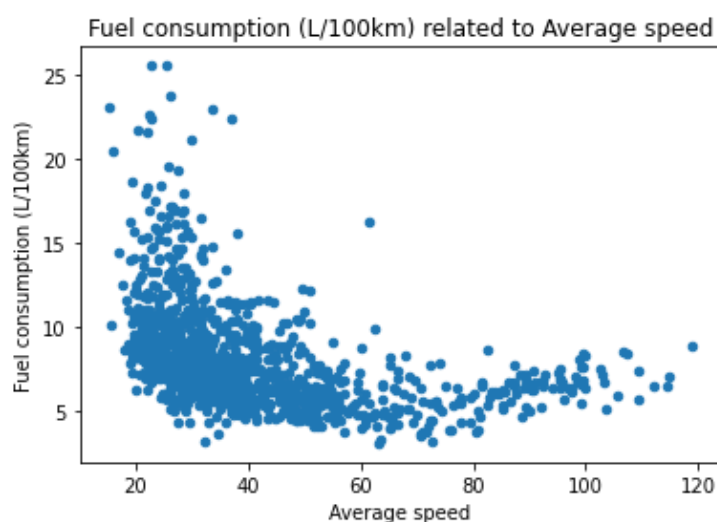
Οι 18 οδηγοί που συμμετείχαν στο τελικό στάδιο του πειράματος είχαν εγκατεστημένη στο όχημά τους μια συσκευή OBD-II και μια έξυπνη εφαρμογή στο κινητό τους, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των σημαντικότερων μεταβλητών που συνδέονται με την οδηγική συμπεριφορά, τον τύπο του οχήματος και τα χαρακτηριστικά της οδού. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε από την εταιρεία Oseven Telematics και είναι συμβατή τόσο με λειτουργικά συστήματα iOS όσο και με Android. Η εφαρμογή αξιοποιεί τους ενσωματωμένους αισθητήρες ενός smartphone για τη συλλογή πολύτιμων δεδομένων που αφορούν, μεταξύ άλλων, τα χαρακτηριστικά του ταξιδιού, την οδηγική συμπεριφορά, την οικολογική συμπεριφορά και τη συμπεριφορά αναζήτησης χώρου στάθμευσης. Η διαδικασία καταγραφής δεδομένων ενεργοποιείται αυτόματα χωρίς να απαιτείται καμία ενέργεια από τον χρήστη. Όλα τα δεδομένα παρασχέθηκαν από την Oseven Telematics σε πλήρως ανώνυμη μορφή. Οι συσκευές OBD-II χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου. Ο συνολικός αριθμός των διαδρομών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα φάση του πειράματος υπερβαίνει τις 1300, με οχήματα τύπου βενζίνης και ντίζελ. Αρχικά, η βάση δεδομένων καθαρίζεται από τυχόν ακραίες τιμές κατανάλωσης καυσίμου που δεν δικαιολογούνται λογικά, όπως η κατανάλωση καυσίμου άνω των 30 L/100km, καθώς και από ακραίες τιμές που σχετίζονται με την υποδομή και οι οποίες επίσης δεν δικαιολογούνται λογικά, όπως οι παράλογες τιμές υψομέτρου, οι οποίες οφείλονται σε σφάλματα μέτρησης. Στη συνέχεια αντιστοιχήθηκαν οι μετρήσεις δεδομένων από OBD και κινητού τηλεφώνου που αναφέρονται στο ίδιο ταξίδι. Τέλος, οι μεταβλητές εισόδου τυποποιήθηκαν γύρω από το 0 με τυπική απόκλιση 1. Μετά τη φάση της προεπεξεργασίας, καταλήγουμε σε 1334 ταξίδια με την κατανομή της κατανάλωσης καυσίμου που παρουσιάζεται στον Πίνακα 12 παρακάτω.

Πίνακας 12: Στατιστικά μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου

Αριθμός ταξιδιών	1334
Μέση κατανάλωση καυσίμου	7.98 L/100km
Τυπική απόκλιση	2.91 L/100km
Ελάχιστη τιμή κατανάλωσης καυσίμου	3.14 L/100km
25% εκατοστημόριο	6.18 L/100km
50% εκατοστημόριο	7.36 L/100km
75% εκατοστημόριο	8.96 L/100km
Μέγιστη τιμή	25.53 L/100km

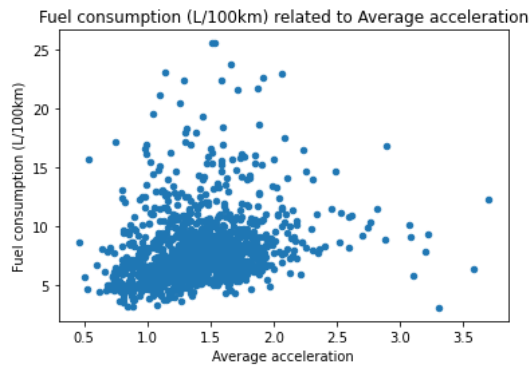
Παρατηρείται ότι η μέση τιμή της κατανάλωσης καυσίμου είναι σχεδόν 8 L/100km, ενώ μόνο το 25% των διαδρομών έχουν τιμή κατανάλωσης καυσίμου μικρότερη από 6,18 L/100km, τα οποία είναι λογικές μετρήσεις για ένα αστικό περιβάλλον. Ακραίες τιμές της κατανάλωσης καυσίμου όπως η μέγιστη, δικαιολογούνται λόγω της αναγωγής μικρής απόστασης ταξιδιών σε 100km.

Για να απεικονιστεί η αντιπροσωπευτικότητα του συνόλου δεδομένων, τα γραφήματα της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τη μέση ταχύτητα (Διάγραμμα 9), τη μέση επιτάχυνση/επιβράδυνση (Διάγραμμα 10, Διάγραμμα 11) αλλά και του ποσοστού της διαδρομής που το όχημα βρίσκεται σε κατάσταση ρελαντί (Διάγραμμα 12) φαίνονται παρακάτω.

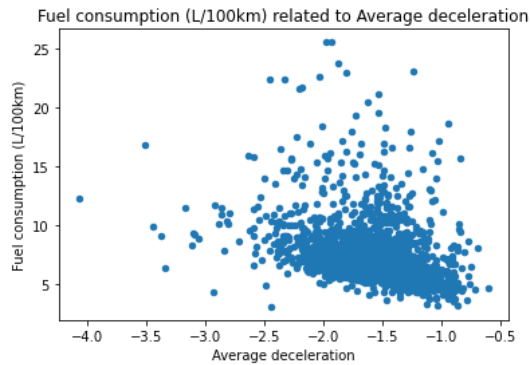


Διάγραμμα 9: Σχέση μεταξύ κατανάλωσης καυσίμου και μέσης ταχύτητας διαδρομής

Το Διάγραμμα 9 δείχνει ότι οι χαμηλότερες τιμές της ταχύτητας συνδέονται με πολύ υψηλή κατανάλωση, ενώ οι τιμές 50-60 km/h φαίνεται να έχουν τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Η διαπίστωση αυτή συνάδει με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών που έχουν εντοπίσει την "πράσινη περιοχή ταχύτητας" που κυμαίνεται μεταξύ [50 - 80] km/h εντός της οποίας επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου.

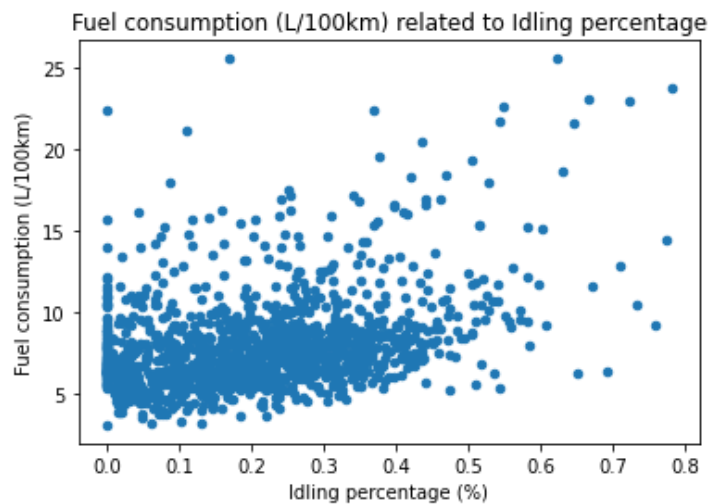


Διάγραμμα 10: Σχέση μεταξύ κατανάλωσης καυσίμου και μέσης επιτάχυνσης



Διάγραμμα 11: Σχέση μεταξύ κατανάλωσης καυσίμου και μέσης επιβράδυνσης

Από τα Διαγράμματα 10,11 φαίνεται ότι η επιθετική οδήγηση (υψηλές τιμές επιτάχυνσης και επιβράδυνσης) είναι ένας παράγοντας που αυξάνει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου.



Διάγραμμα 12: Σχέση μεταξύ κατανάλωσης καυσίμου και ποσοστού οδήγησης σε κατάσταση ρελαντί

Από το Διάγραμμα 12 φαίνεται ότι όταν το ποσοστό της διάρκειας οδήγησης μειώνεται, η κατανάλωση καυσίμου φαίνεται να έχει μια αξιόλογη αύξηση, καθώς υποδηλώνει συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης.

4.3 Υπολογισμός της διάρκειας μη-οικολογικής οδήγησης

Με την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων από το φυσικό πείραμα οδήγησης, επόμενο βήμα είναι η διαμόρφωση των απαιτούμενων παραμέτρων. Τα δεδομένα για αυτές τις παραμέτρους συλλέχθηκαν μέσω των αισθητήρων των κινητών τηλεφώνων των χρηστών και των συσκευών OBD και η τελική τους διαμόρφωση έγινε με την αντιστοίχιση με τις κατάλληλες μεταβλητές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4. Στη συνέχεια, ακολουθεί η εκτίμηση της διάρκειας μη-οικολογικής οδήγησης κάθε διαδρομής για κάθε χρήστη.

Για τον υπολογισμό των διαρκειών, κατά τον οποίο δηλαδή οι οδηγοί παρουσιάζουν μη οικολογική οδηγική συμπεριφορά, αρχικά έγινε ο υπολογισμός κάποιων μεμονωμένων διαρκειών που σχετίζονται με τις τρεις βασικές παραμέτρους: τη κυκλοφορία, τα χαρακτηριστικά της οδού και τη συμπεριφορά οδήγησης, λαμβάνοντας υπόψη κάποιους περιορισμούς, όπως παρουσιάζονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

Για να μπορέσουν να διερευνηθούν αυτές οι παράμετροι, είναι απαραίτητο αρχικά να υπολογιστούν οι παρακάτω δείκτες αξιοποιώντας τα προαναφερθέντα μεταδεδομένα. Οι ακόλουθοι δείκτες υπολογίστηκαν με βάση τη συνολική διάρκεια της κάθε διαδρομής:

- **t_traffic**: που αφορά στη διάρκεια που ο χρήστης βρίσκεται σε συνθήκες συμφόρησης.

$$t_{traffic} = \frac{time (accel\ from\ stop) + time\ at\ stop}{total\ driving\ duration} \quad (5)$$

- **t_behavior_accel**: που αφορά στην επιτάχυνση του χρήστη πάνω από το καθορισμένο όριο (1.09 m/s²).

$$t_{beh_ac} = \frac{time\ where\ acceleration\ is\ above\ a\ threshold\ value}{total\ driving\ duration} \quad (6)$$

- **t_stops**: που αφορά στην διάρκεια που το όχημα ήταν σταματημένο.

$$t_{stops} = \frac{time\ at\ stop}{total\ driving\ duration} \quad (7)$$

- **t_slope**: που αφορά στην κλίση της κάθε οδού και είναι δυνατόν να οριστεί η διάρκεια που το όχημα κινείται σε οδούς με κλίση με τον εξής τρόπο:

- Ήπια: < 3% για πάνω από 1 χιλιόμετρο ή > 3% για λιγότερο από 1 χιλιόμετρο.
- Απότομη: >3% για πάνω από 1 χιλιόμετρο.

$$t_{slope} = \frac{time\ in\ slope > 3\%}{total\ driving\ duration} \quad (8)$$

- **t_behavior_speeding**: ο οποίος αφορά στην διάρκεια που χρήστης οδηγούσε πάνω από το όριο ταχύτητας.

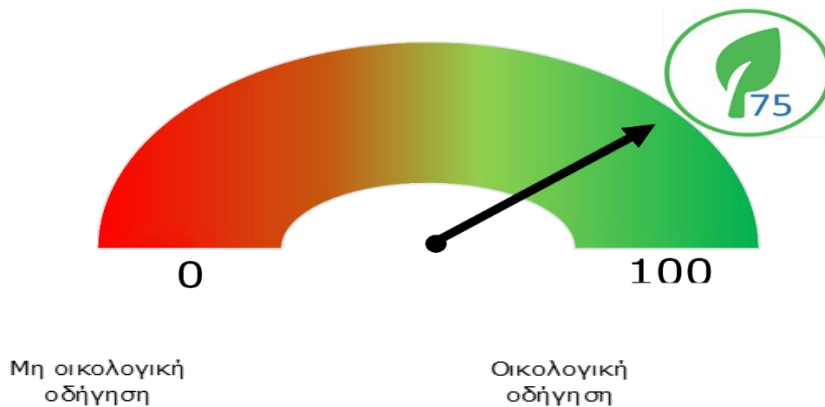
$$t_{beh_sp} = \frac{sum_speeding}{total\ driving\ duration} \quad (9)$$

4.4 Περιορισμοί

Κατά τον υπολογισμό των δεικτών που αφορούν στις ξεχωριστές διάρκειες που αναφέρονται παραπάνω, πρέπει να ληφθούν υπόψιν δύο περιορισμοί:

1. Οι διάρκειες αυτές δεν πρέπει να επικαλύπτονται και επομένως κάποιες θα πρέπει να αφαιρεθούν. Για παράδειγμα, θα πρέπει να υπολογιστεί η διάρκεια που ένα όχημα κινείται σε οδούς με κλίση αλλά που δεν παρατηρούνται απότομες επιταχύνσεις και οδήγηση με ταχύτητα πάνω από το όριο ταχύτητας.
2. Δεν μπορεί να οριστεί το βάρος της κάθε παραμέτρου κατά την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου, αφού δεν συμπεριλαμβάνονται όλες στην ίδια εξίσωση. Η κρισιμότητα κάθε παράγοντα δεν λαμβάνεται υπόψιν. Στην περίπτωση που η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν περιγράφει με ικανοποιητικό επίπεδο λεπτομέρειας τη σχέση μεταξύ της αποδοτικότητας κατά την κατανάλωση καυσίμου και της οικολογικής οδήγησης, ο δείκτης θα πρέπει να δομηθεί σαν μια συνάρτηση των τριών διαφορετικών συστατικών (οδηγική συμπεριφορά, χαρακτηριστικά της οδού και κυκλοφοριακές συνθήκες της διαδρομής)

Ο πιο εύκολος και ξεκάθαρος τρόπος ώστε να αποδοθούν οι αντιπροσωπευτικοί δείκτες οικολογικής οδήγησης σε κάθε διαδρομή, είναι να υπολογιστούν τα ποσοστά (%) της μη οικολογικής οδήγησης καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής (όχι με βάση την διάρκεια οδήγησης). Με αυτό τον τρόπο, αν ένας χρήστης παρουσιάζει μη οικολογική οδηγική συμπεριφορά για το 25% της διαδρομής του, θα επιβραβευτεί με 75 πόντους οικολογικής οδήγησης, κάτι το οποίο διαφαίνεται στην Εικόνα 4



Εικόνα 4: Παράδειγμα οικολογικής βαθμολόγησης της διαδρομής οδηγού

4.5.Πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προτυποποίησης τη κατανάλωσης καυσίμου με διάφορες λογικές, όπως απλή παλινδρόμηση, πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, κλασματική πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και μη γραμμικό πρότυπο με την χρησιμοποίηση ενισχυμένων δέντρων αποφάσεων. Τα πρότυπα της Φάσης 1 και 2, παίρνουν σαν ανεξάρτητες μεταβλητές τους δείκτες t_{traf} , t_{beh_ac} , t_{stops} , t_{slope} , και t_{beh_sp} , όπως αυτοί παρουσιάστηκαν στις εξισώσεις (5)–(9) του προηγούμενου κεφαλαίου, και εξαρτημένη μεταβλητή την κατανάλωση καυσίμου. Στην Φάση 3 δηλαδή σε μη περιορισμένες συνθήκες οδήγησης και σε αστικό περιβάλλον ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιούνται αυτές του διαγράμματος 5 και ως εξαρτημένη η μεταβλητή της κατανάλωσης καυσίμου.

4.5.1 Προτυποποίηση σε Δεδομένα από Ελεγχόμενη Διαδρομή (Φάση 1)

Ένα ακόμα πρότυπο εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου που αναπτύχθηκε, βασίστηκε στην μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Το πρότυπο αυτό προέκυψε από την διερεύνηση της προκαταρκτικής 1^{ης} φάσης του πειράματος φυσικής οδήγησης και συγκεκριμένα τη μελέτη της ελεγχόμενης διαδρομής που εκτελέστηκε συνολικά 20 φορές.

Η μέση διάρκεια της διαδρομής σε αυτή τη φάση ήταν περίπου 10 λεπτά και διαφοροποιούνταν ανάλογα με το οδηγικό στυλ που εκτελούνταν κάθε φορά. Κατά τη διάρκεια των διαδρομών, κατεγράφησαν δεδομένα ανά δευτερόλεπτο και κατόπιν επεξεργασίας προέκυψαν τα απαραίτητα μεταδεδομένα (metadata) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη eDrive. Παρακάτω φαίνονται τα δεδομένα εισόδου και αλγόριθμος για τον υπολογισμό του δείκτη eDrive του παρόντος πρότυπου:

- Χρονική διάρκεια οδήγησης = Διάρκεια οδήγησης – Χρονική διάρκεια επιτάχυνσης από στάση
- Χρονική διάρκεια οδήγησης με ομαλή ταχύτητα = Χρονική διάρκεια οδήγησης – Χρονική διάρκεια υπέρβασης ορίου ταχύτητας
- Χρονική διάρκεια οικολογικής οδήγησης = Χρονική διάρκεια οδήγησης με ομαλή ταχύτητα – Χρόνος μη οικολογικής επιτάχυνσης
- Συνολική χρονική διάρκεια οδήγησης = Διάρκεια οδήγησης + Χρόνος στάσεων

$$eDrive = \frac{\text{Χρονική διάρκεια οικολογικής οδήγησης}}{\text{Συνολική χρονική διάρκεια οδήγησης}} \quad (11)$$

Στα δεδομένα που προέκυψαν παρατηρείται πως η μέγιστη τιμή για τον δείκτη eDrive είναι ίση με 1, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση ίση με 5,7 L/100 km και η ελάχιστη ίση με 0,723, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση 7,7 L/100 km. 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.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για τον ορισμό του πρότυπου περιγραφής της σχέσης μεταξύ του δείκτη eDrive και της κατανάλωσης καυσίμου για τη συγκεκριμένη διαδρομή. Το τελικό πρότυπο γραμμικής παλινδρόμησης που προέκυψε είναι το εξής:

$$fc = -5,656 \text{ eDrive} + 11,647 \quad (12)$$

όπου:

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

Στην παραπάνω εξίσωση ο συντελεστής συσχέτισης r είναι ίσος με 0,93 και ο συντελεστής προσαρμογής R^2 είναι ίσος με 0,866, επομένως συμπεραίνεται πως η συσχέτιση είναι ισχυρή. Η τιμή του συντελεστή προσαρμογής R^2 σημαίνει πως το 86,6% των μεταβολών της κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να εξηγηθεί από τις μεταβολές της τιμής του δείκτη eDrive. Επίσης το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης τιμών κατανάλωσης είναι ίσο με 0,22. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αναλυτικά αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης (Πίνακας 13, Πίνακα 14).

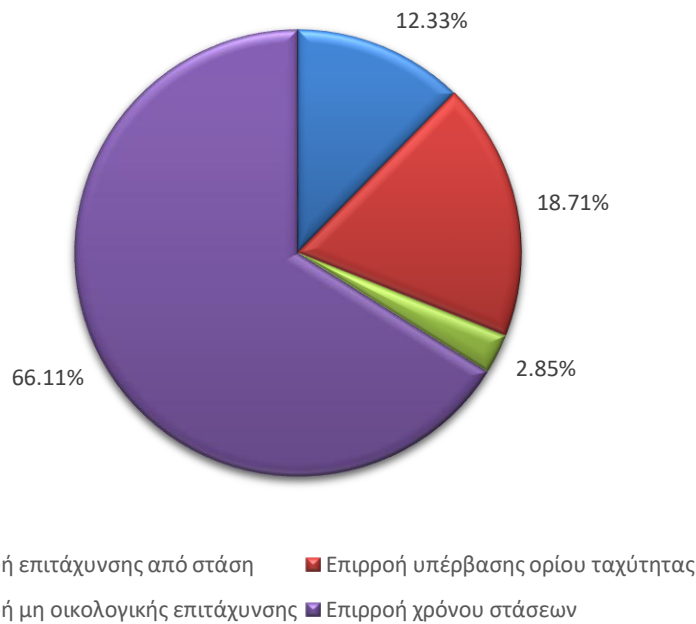
Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Observations
0.931	0.866	0.859	0.221	20

Πίνακας 13: Στατιστικά στοιχεία για την γραμμική παλινδρόμηση

	Df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	5.666	5.666	116.377	0
Residual	18	0.876	0.049		
Total	19	6.542			

Πίνακας 14: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση την επιρροής της κάθε παραμέτρου απομείωσης του δείκτη eDrive στη διαμόρφωση της τελικής τιμής του, Διάγραμμα 13 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.



Διάγραμμα 13: Απεικόνιση επιρροής παραμέτρων στον δείκτη οικολογικής οδήγησης

Από την ανάλυση προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό επιρροής στην απομείωση του δείκτη eDrive καταλαμβάνει η μη οικολογική επιτάχυνση ενώ ακολουθεί η υπέρβαση του ορίου ταχύτητας και η επιτάχυνση από στάση με παρόμοιο ποσοστό επιρροής. Τέλος μικρή αλλά όχι αμελητέα επιρροή στον δείκτη eDrive δείχνει να έχει ο χρόνος των στάσεων.

4.5.2 Προτυποποίηση σε δεδομένα Πειράματος Φυσικής Οδήγησης (Φάση 2)

Το συγκεκριμένο πρότυπο βασίστηκε στην 2^η Φάση του πειράματος πραγματικής οδήγησης που πραγματοποιήθηκε, το οποίο αφορούσε δύο οδηγούς οι οποίοι κατέγραφαν τις διαδρομές τους για μια περίοδο 4 μηνών.

Στη 2^η φάση του πειράματος, οι 288 συνολικά καταγεγραμμένες μέσες καταναλώσεις, διαπιστώνεται ότι κυμαίνονται περί τα 7 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα. Παράλληλα, παρουσιάζεται αρκετά μεγάλο εύρος στις τιμές του δείγματος της τάξης του 7.3 L/100 km, με την μέγιστη τιμή να βρίσκεται στα 11.6 L/100 km. και τη μικρότερη στα 4.3 L/100 km., γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που εντοπίζεται στις κατασκευαστικές καταναλώσεις των δύο οχημάτων.

Αναλύοντας τα δεδομένα που προέκυψαν από τη 2^η φάση του πειράματος, τελικώς δομήθηκε το παρακάτω πρότυπο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης:

$$f.c. = -3.10eDriveb - 6.22eDrivetr - 6.71eDrivegr - 1.11driver + 0.31ph + 1.70pr + 0.16pu + 20.01 \quad (13)$$

όπου:

eDriveb: ορίζεται ως ο δείκτης που εξαρτάται από τις περιπτώσεις ταχύτητας πάνω από το όριο ταχύτητας και απότομες επιταχύνσεις.

$$eDriveb = \frac{\text{total driving duration} - \text{non eco acceleration} - \text{sum speeding}}{\text{total driving duration}} \quad (14)$$

eDrivetr: τα μεγέθη που επηρεάζουν αυτόν τον δείκτη είναι η διάρκεια στάσης σε αναμονή και η διάρκεια επιτάχυνσης από στάση.

$$eDrive.tr = \frac{\text{total driving duration} - \text{time duration stops} - \text{acceleration from stop duration}}{\text{total driving duration}} \quad (15)$$

eDrivegrad: ορίζεται ο δείκτης που εξαρτάται από την κλίση σε κάθε δευτερόλεπτο της εξεταζόμενης διαδρομής και πιο συγκεκριμένα από τη συνολική χρονική διάρκεια κατά την οποία εμφανίζεται κλίση μεγαλύτερη του 3%.

$$eDrive.grad = \frac{\text{total driving duration} - \text{high grad duration}}{\text{total driving duration}} \quad (16)$$

driver: περιλαμβάνει μόνο τις τιμές 1 και 2 που αντιστοιχούν στους δύο οδηγούς του παρόντος πειράματος.

ph, pr, pu: είναι οι μεταβλητές που εκφράζουν το ποσοστό κίνησης του οχήματος σε εθνική οδό (highway), επαρχιακή οδό (rural) και αστικό δρόμο (urban), αντίστοιχα, ανά διαδρομή. Οι τρεις αυτές μεταβλητές προστέθηκαν διότι ανάλογα με τον τύπο της οδού (άρα και τις κυκλοφοριακές συνθήκες) επηρεάζεται και η κατανάλωση καυσίμου. Παρακάτω φαίνονται οι τύποι που υπολογίζουν την κάθε μεταβλητή.

$$ph = \frac{\text{driving duration} - \text{driving duration highway}}{\text{driving duration}} \quad (17)$$

$$pr = \frac{\text{driving duration} - \text{driving duration rural}}{\text{driving duration}} \quad (18)$$

$$pu = \frac{\text{driving duration} - \text{driving duration urban}}{\text{driving duration}} \quad (19)$$

Στους Πίνακες 9 και 10 παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του τελικού πρότυπου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 15, οι μεταβλητές που αφορούν στην συμφόρηση (**eDrive.tr**) και την κλίση των οδών (**eDrive.grad**) επηρεάζουν σημαντικότερα και αρνητικά το πρότυπο έχοντας και σημαντικότητα πρακτικά 100%.

Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Observations
0.791	0.625	0.614	0.798	286

Πίνακας 15: Στατιστικά στοιχεία για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

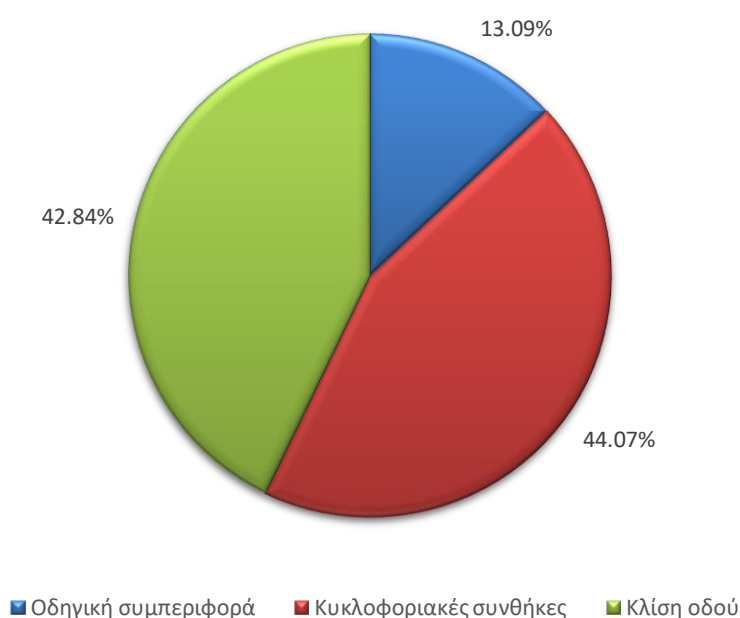
	Df	SS	MS	F	Significance F
Regression	8	294.181	36.7738	57.784	1.029E-54
Residual	277	176.275	0.636		
Total	285	470.456			

Πίνακας 16: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-Value
Intercept	20.010	1.934	10.344	2.027E-21
eDrvie-Beh	-3.103	0.753	-4.122	4.976E-05
eDrive-Traf	-6.220	0.410	-12.443	1.557E-28
eDrvie-Grad	-6.713	0.932	-7.206	5.487E-12
driver	-1.111	0.103	-10.811	5.842E-23
Perc. highway	1.699	0.985	1.726	0.086
Perc. rural	0.163	0.985	1.726	0.086
Perc. urban	0.163	0.969	0.169	0.866
Duration code	-0.320	0.094	-3.413	0.001

Πίνακας 17: Αποτελέσματα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Στο Διάγραμμα 14, παρουσιάζεται η ποσοστιαία επίδραση των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, για τον συνολικό χρόνο μη οικολογικής οδήγησης, προκειμένου να γίνει κατανοητή η επιρροή που ασκεί το κάθε χαρακτηριστικό.



Διάγραμμα 14: Απεικόνιση επιρροής παραμέτρων στον χρόνο μη-οικολογικής οδήγησης

Προκύπτει πως η κλίση και ο κυκλοφοριακός φόρτος ασκούν τη μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση του συνολικού χρόνου μη οικολογικής οδήγησης, κατέχοντας ποσοστά 44.07% και 42.84% αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία

των διαδρομών πραγματοποιήθηκαν σε αστικό περιβάλλον, επομένως υπό άλλες συνθήκες θα αναμενόταν αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα.

4.5.3 Προτυποποίηση με βάση τη διάρκεια διαδρομής

Σε αυτή την πρώτη εφαρμογή προτυποποίησης της εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου θα διερευνηθεί η συσχέτιση των δεικτών που παρουσιάστηκαν στις εξισώσεις (5)-(9) με τη διάρκεια της κάθε διαδρομής, που εκφράζεται μέσω της μεταβλητής *durcat*. Η μεταβλητή ορίζεται μέσα από τρεις κατηγορίες:

- *durcat* = 1: διάρκεια διαδρομής < 600 δευτερόλεπτα,
- *durcat* = 2: διάρκεια διαδρομής > 1200 δευτερόλεπτα και
- *durcat* = 3: οποιαδήποτε από τις περιπτώσεις.

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης για τους δείκτες που φαίνονται στις εξισώσεις (5)-(9), και για κάθε κατηγορία της μεταβλητής *durcat*.

durcat = 1				
Μεταβλητές	Coef.	Std. Err.	P> t	R ²
<i>t_slope</i>	-11.134	6.36	0.111	0.57
<i>t_trafl</i>	6.553	27.125	0.814	
<i>t_stops</i>	-12.476	5.757	0.055	
<i>t_beh_ac</i>	-0.985	29.955	0.974	
<i>t_beh_sp</i>	26.693	18.550	0.181	
σταθερά	-5.473	51.992	0.918	
durcat = 2				
Μεταβλητές	Coef.	Std. Err.	P> t	R ²
<i>t_slope</i>	-5.345	1.313	0.000	0.39
<i>t_trafl</i>	-11.275	6.609	0.091	
<i>t_stops</i>	-4.080	1.339	0.003	
<i>t_beh_ac</i>	3.297	3.366	0.330	
<i>t_beh_sp</i>	0.184	1.371	0.894	
σταθερά	19.724	5.700	0.001	
durcat = 3				
Μεταβλητές	Coef.	Std. Err.	P> t	R ²
<i>t_slope</i>	-9.413	2.083	0.000	0.36
<i>t_trafl</i>	-8.799	6.068	0.149	
<i>t_stops</i>	-4.283	1.073	0.000	
<i>t_beh_ac</i>	2.766	3.054	0.366	
<i>t_beh_sp</i>	-1.949	1.417	0.171	
σταθερά	22.436	5.449	0.000	

Πίνακας 18: Ανάλυση με βάση τη κατηγορία των διαρκειών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η προσαρμογή των δεδομένων στο πρότυπο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης κρίνεται ως μέτρια μιας και οι τιμές του δείκτη R² κυμαίνονται από 0.4 – 0.57. Σε διαδρομές μικρής διάρκειας ή ανεξαρτήτου διάρκειας (*durcat* = 1 και 3), κρίσιμες παράμετροι για την κατανάλωση καυσίμου σε επίπεδο σημαντικότητας 90%, βρέθηκαν η διάρκεια οδήγησης σε οδό με κλίση και η διάρκεια όπου το όχημα ήταν σε στάση. Πιο συγκεκριμένα, και οι

δύο παράμετροι έχουν αρνητική σχέση με την κατανάλωση καυσίμου που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η κατανάλωση του καυσίμου σύμφωνα με το πρότυπο, οι δυο ανεξάρτητες αυτές μεταβλητές μειώνονται, δηλαδή μειώνεται η διάρκεια που το όχημα βρίσκεται σε κλίση ή είναι σταματημένο.

Όμοια αποτελέσματα έχει και ανάλυση για τις διαδρομές με μεγάλη διάρκεια, με την προσθήκη σε επίπεδο σημαντικότητας $\geq 90\%$ και της μεταβλητής που αφορά στην διάρκεια που το όχημα βρίσκεται σε συνθήκες συμφόρησης, πάλι με αρνητική σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή της κατανάλωσης καυσίμου. Τα αποτελέσματα αυτά, πέρα από τις μέτριες τιμές του δείκτη R^2 , δε φαίνεται να συνάδουν και ρεαλιστικά με την ευρύτερη γνώση για την κατανάλωση καυσίμου και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Συγκεκριμένα, θα ήταν αναμενόμενο για παράδειγμα η διάρκεια σε κλίσεις ή σε συνθήκες συμφόρησης να έχουν θετική σχέση με την τιμή της κατανάλωσης καυσίμου. Επομένως, αυτή η προσπάθεια προτυποποίησης της κατανάλωσης καυσίμου με βάση τις διάρκειες της διαδρομής δεν κρίνεται αξιόπιστη.

4.5.4 Συγκριτική ανάλυση

Στη συνέχεια, ορίστηκε η μεταβλητή *difc* ως η σχετική ποσοστιαία διαφορά μεταξύ της πραγματικής κατανάλωσης καυσίμου και της κατανάλωσης καυσίμου που έχει εκτιμηθεί από τον κατασκευαστή του οχήματος με βάση τον τύπο της οδού. Παρόλα αυτά, η ακρίβεια του πρότυπου που αναπτύχθηκε με αυτή τη προσέγγιση, δεν ήταν αποδεκτή, για αυτό το λόγο και τα αποτελέσματα δεν θα παρουσιαστούν, μα κρίθηκε άξιο να αναφερθεί πως έγινε και αυτή η προσπάθεια ανάλυσης.

4.5.5 Κλασματική πολυωνυμική παλινδρόμηση πολλαπλών μεταβλητών

Μια ακόμα προτυποποίηση που αναπτύχθηκε ήταν με βάση την κλασματική πολυωνυμική παλινδρόμηση πολλαπλών μεταβλητών. Τα κλασματικά πολυωνυμικά πρότυπα είναι χρήσιμα όταν υπάρχει η ανάγκη να διατηρηθεί η συνεχής φύση των συνδιακυμάνσεων (covariances) σε ένα πρότυπο παλινδρόμησης, αλλά ενδέχεται κάποιες από τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών να μην είναι γραμμικές. Υπάρχουν δύο μέρη σε αυτή τη διαδικασία: (1) η αναδρομική διαγραφή (backward elimination) των συνδιακυμάνσεων που είναι στατιστικά μη σημαντικές και (2) η επαναληπτική εξέταση της κλίμακας όλων των συνεχών συνδιακυμάνσεων. Οι παράμετροι εισόδου για την παραπάνω περιγραφόμενη μέθοδο παρουσιάζονται στον **Πίνακας**.

Παράμετροι εισόδου	Περιγραφή
smooth_eco	Το άθροισμα των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ προς τελικής και αρχικής ταχύτητας, διαιρεμένης από την απόσταση της διαδρομής
accelfromstop	Η μέση από τις μέγιστες επιταχύνσεις μετά από μια στάση κατά τη διάρκεια μίας διαδρομής
av_speeding_kmh_no_changer	Μέση ταχύτητα πάνω από το όριο ταχύτητας (σε km/h)
avgspeed	Μέση ταχύτητα που καταγράφηκε σε μία διαδρομή
t_slope	Διάρκεια που ένα όχημα κινείται σε κλίσεις
t_stops	Διάρκεια των στάσεων σε μία διαδρομή προς την συνολική διάρκεια της διαδρομής

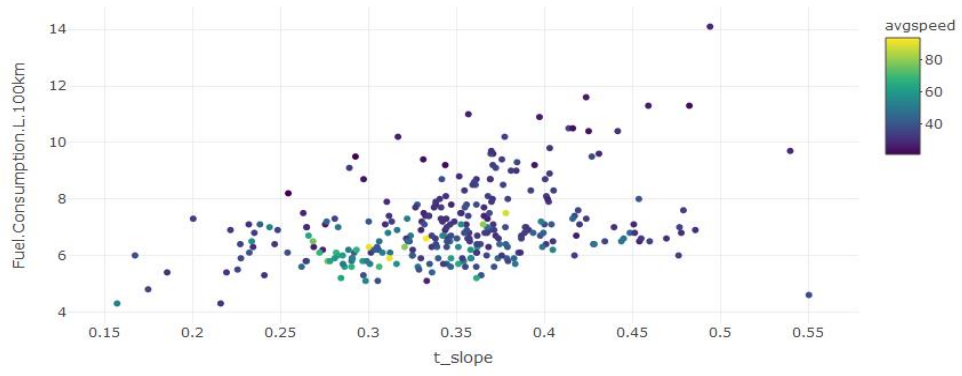
Πίνακας 19: Παράμετροι εισόδου για το πρότυπο κατανάλωσης καυσίμου

Μετά την ανάπτυξη και την εφαρμογή του πρότυπου κλασματικής πολυωνυμικής παλινδρόμησης πολλαπλών μεταβλητών με τις παραπάνω παραμέτρους, τα αποτελέσματα που εξάγονται από αυτό το πρότυπο, *Infc*, ορίζονται ως εξής:

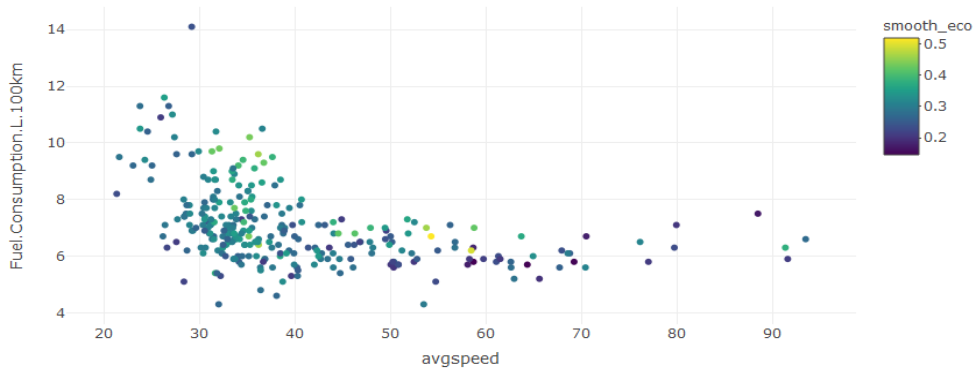
$$Infc: \ln \frac{\text{average fuel consumption}}{100 \text{ χλμ}} \quad (10)$$

Στα ακόλουθα διαγράμματα, Διάγραμμα 15 και Διάγραμμα 16, οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα του πρότυπου *Infc* σε σχέση με τις παραμέτρους του **Πίνακας**. Αρχικά, μπορεί να παρατηρηθεί πως η κατανάλωση καυσίμου φαίνεται να αυξάνει με την αύξηση της διάρκειας οδήγησης σε κλίση και ειδικά για μικρές μέσες ταχύτητες. Επίσης, χαμηλότερες τιμές του δείκτη smooth_eco, που συνεπάγονται μικρή διακύμανση των ταχυτήτων της διαδρομής, σε συνδυασμό με υψηλές μέσες ταχύτητες φαίνεται να οδηγούν σε χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για υψηλό δείκτη smooth_eco με χαμηλές ταχύτητες, Διάγραμμα 15^β και Διάγραμμα 15^γ.

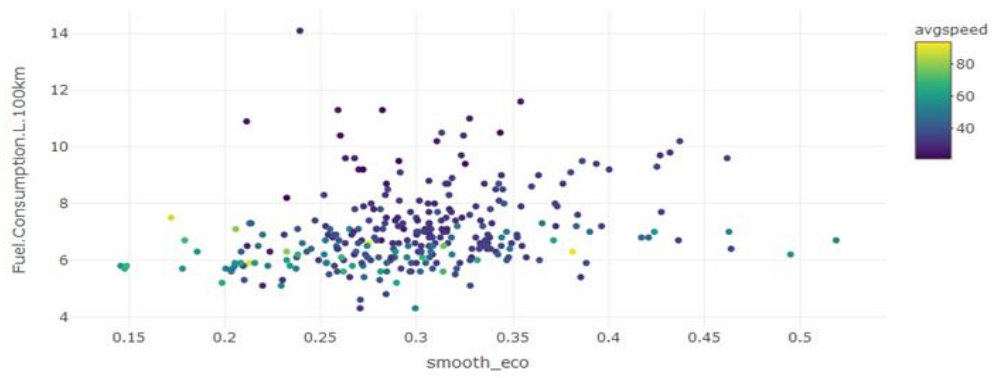
Αναφορικά με την επίδραση των στάσεων στην κατανάλωση καυσίμου, Διάγραμμα 15^δ, είναι φανερό πως, όπως είναι και αναμενόμενο, μεγαλύτερες διάρκειες στάσεων για την κάθε εξεταζόμενη διαδρομή, σε συνδυασμό με χαμηλές μέσες ταχύτητες, που παραπέμπουν σε συνθήκες συμφόρησης, οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου. Τέλος, ο συνδυασμός των χαμηλών μέσων ταχυτήτων, χαμηλών ποσοστών διάρκειας οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας και χαμηλών τιμών επιταχύνσεων από στάση, συνδέονται με αυξημένη κατανάλωση καυσίμου ενώ στον αντίθετο συνδυασμό η κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζεται μειωμένη. (Διάγραμμα 16^ε και Διάγραμμα 16^ς).



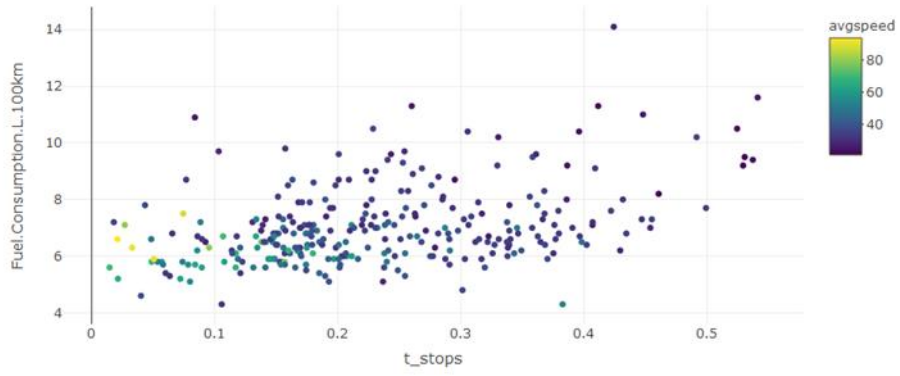
α



β

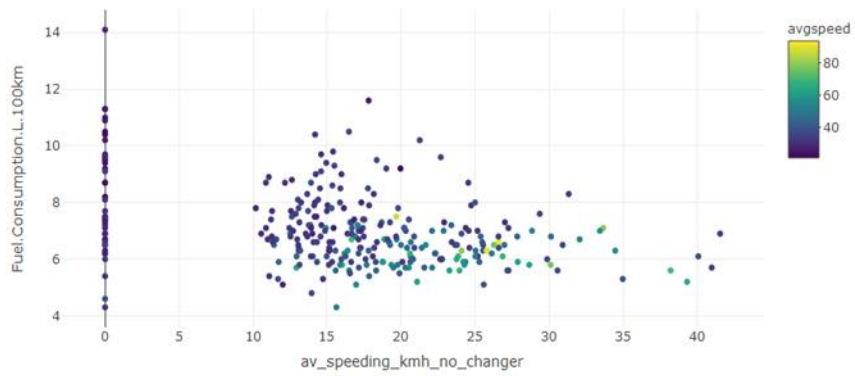


γ

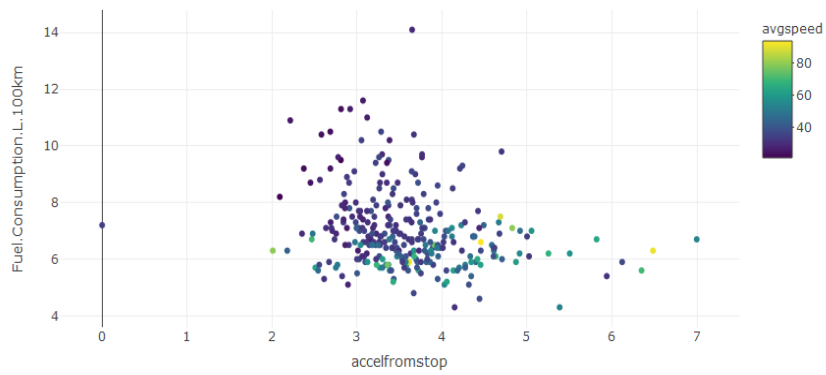


δ

Διάγραμμα 15: Αποτελέσματα πρότυπου Infc α)-δ)



ϵ



ζ

Διάγραμμα 16: Αποτελέσματα πρότυπου Infc ε)-ζ)

Σημειώνεται πως η επιλογή των χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας ευρετικούς (heuristic) και άπληστους (greedy) αλγόριθμους οδηγεί σε παρόμοια δεδομένα εισόδου. Επιπλέον, η επιλογή των καλύτερων κλασματικών πολυωνυμικών συναρτήσεων ελαχιστοποιώντας την διακύμανση (αφαιρώντας εις διπλούν την μεγιστοποιημένη πιθανότητα λογαρίθμου), είναι ξεκάθαρη. Παρόλα αυτά, το να υπάρχει μια λογική βασική συνάρτηση είναι σημαντικό ώστε να υπάρχει αύξηση της εξοικονόμησης, της σταθερότητας και της γενικής χρησιμότητας των επιλεγμένων συναρτήσεων.

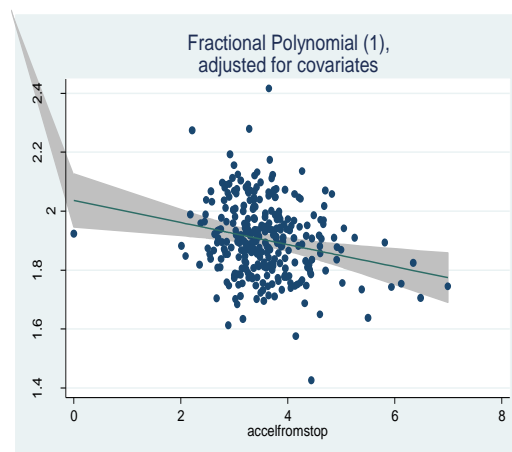
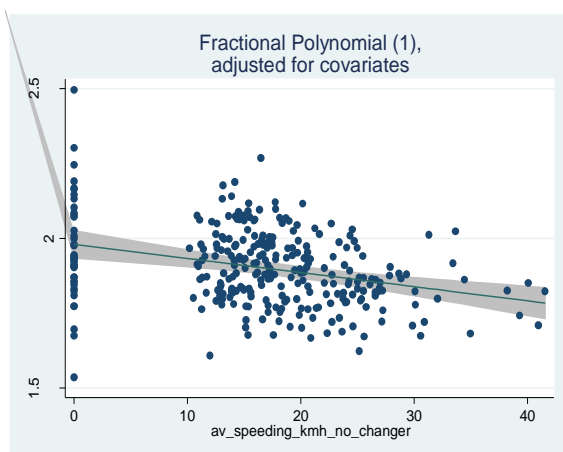
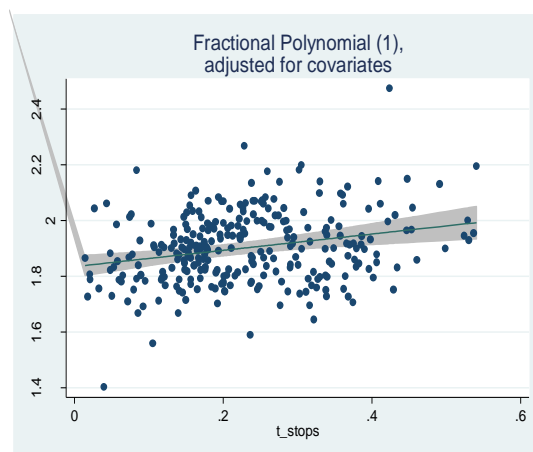
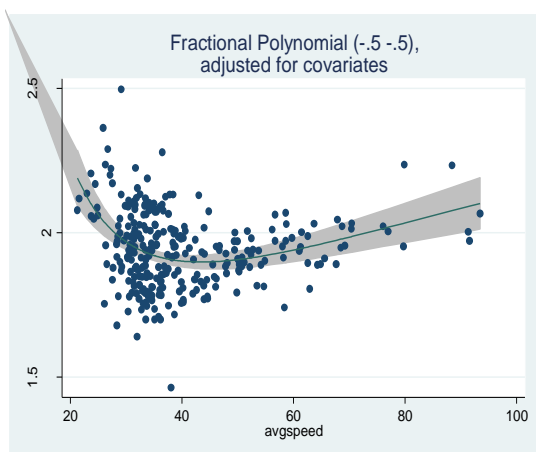
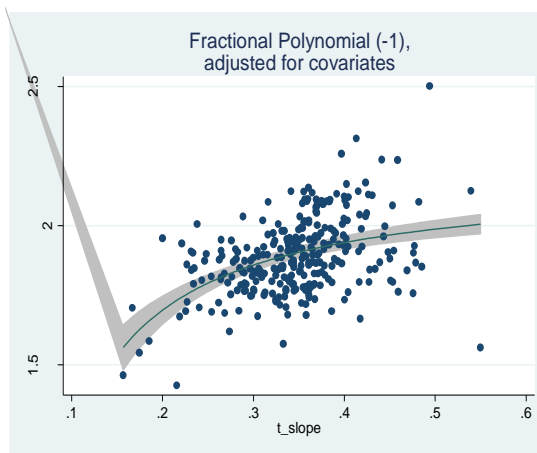
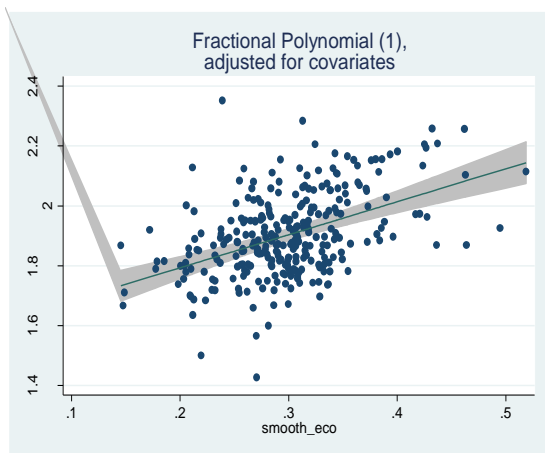
Στη συνέχεια γίνονται οι παρακάτω τροποποιήσεις, προκειμένου να υπολογιστούν οι κατάλληλοι δείκτες:

- $I_{smooth_1} = smooth_eco - 0.299$
- $I_{avgs_1} = X^{-0.5} - 0.5$
- $I_{avgs_2} = X^{-0.5} \ln(X) - 0.6935$
- $X = avgspeed / 10$
- $I_{t_sl_1} = t_slope^{-1} - 2.883$
- $I_{t_st_1} = t_stops - 0.230$
- $I_{av_s_1} = av_speeding_kmh_no_changer - 16.512$
- $I_{acce_1} = accelfromstop - 3.581$

Στον Error! Reference source not found., παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του παραπάνω πρότυπου, στο οποίο αρχικά διαφαίνεται πως όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν επίπεδο σημαντικότητας μεγαλύτερο από 90% και μέτριο δείκτη R^2 ίσο με 0.53. Η μεταβλητή που παρατηρείται να επηρεάζει πιο πολύ το πρότυπο είναι η I_{avgs_2} , που εξαρτάται από την μέση ταχύτητα όπως φαίνεται από τους παραπάνω τύπους, όπως προκύπτει από τους συντελεστές (coefficients) και μάλιστα έχοντας αρνητική συσχέτιση με την κατανάλωση καυσίμου.

Μεταβλητές	Coef.	Std. Err.	P> z	R ²
I_{smooth_1}	1.102	0.156	0.000	0.5311
I_{avgs_1}	-1.968	0.390	0.000	
I_{avgs_2}	-3.714	0.626	0.000	
$I_{t_sl_1}$	-0.097	0.012	0.000	
$I_{t_st_1}$	0.292	0.083	0.001	
$I_{av_s_1}$	-0.005	0.001	0.000	
I_{acce_1}	-0.037	0.012	0.003	
σταθερά	1.902	0.010	0.000	

Πίνακας 20: Αποτελέσματα κλασματικού πολυωνυμικού πρότυπου μετά από 2 επαναλήψεις



Διάγραμμα 17: Σχέσεις μεταξύ του $\ln f_c$ και των κρίσιμων συνδιακυμάνσεων α)-ζ)

Τέλος, στον Πίνακα 21, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του κλασματικού πολυωνυμικού πρότυπου *Infrc*, όπως αναπτύχθηκε τελικώς, με την προσθήκη της μεταβλητής $I_{t\text{ }be_1} = t_beh_sp - 0.687$, η οποία σχετίζεται με τη διάρκεια οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας. Η μεταβλητή $I_{t\text{ }be_1}$ δε φαίνεται να αλλάζει κάτι αξιοσημείωτο στην απόδοση του πρότυπου αφού η ίδια δεν έχει σημαντικότητα πάνω από 90%, ο δείκτης R^2 δεν μεταβλήθηκε και η μεταβλητή I_{avgs_2} συνεχίζει να έχει την ισχυρότερη αρνητική επίδραση στην κατανάλωση του καυσίμου, με βάση το εξεταζόμενο πρότυπο.

Μεταβλητές	Coef.	Std. Err.	P> z	R ²
I_{smooth_1}	1.041	0.162	0.000	0.5342
I_{avgs_1}	-1.368	0.587	0.021	
I_{avgs_2}	-3.075	0.781	0.000	
$I_{t\text{ }sl_1}$	-0.096	0.012	0.000	
$I_{t\text{ }st_1}$	0.313	0.084	0.000	
$I_{av_s_1}$	-0.005	0.001	0.000	
I_{acce_1}	-0.039	0.012	0.002	
$I_{t\text{ }be_1}$	0.282	0.207	0.174	
σταθερά	1.905	0.011	0.000	

Πίνακας 21: Αποτελέσματα τελικού κλασματικού πολυωνυμικού πρότυπου *Infrc*

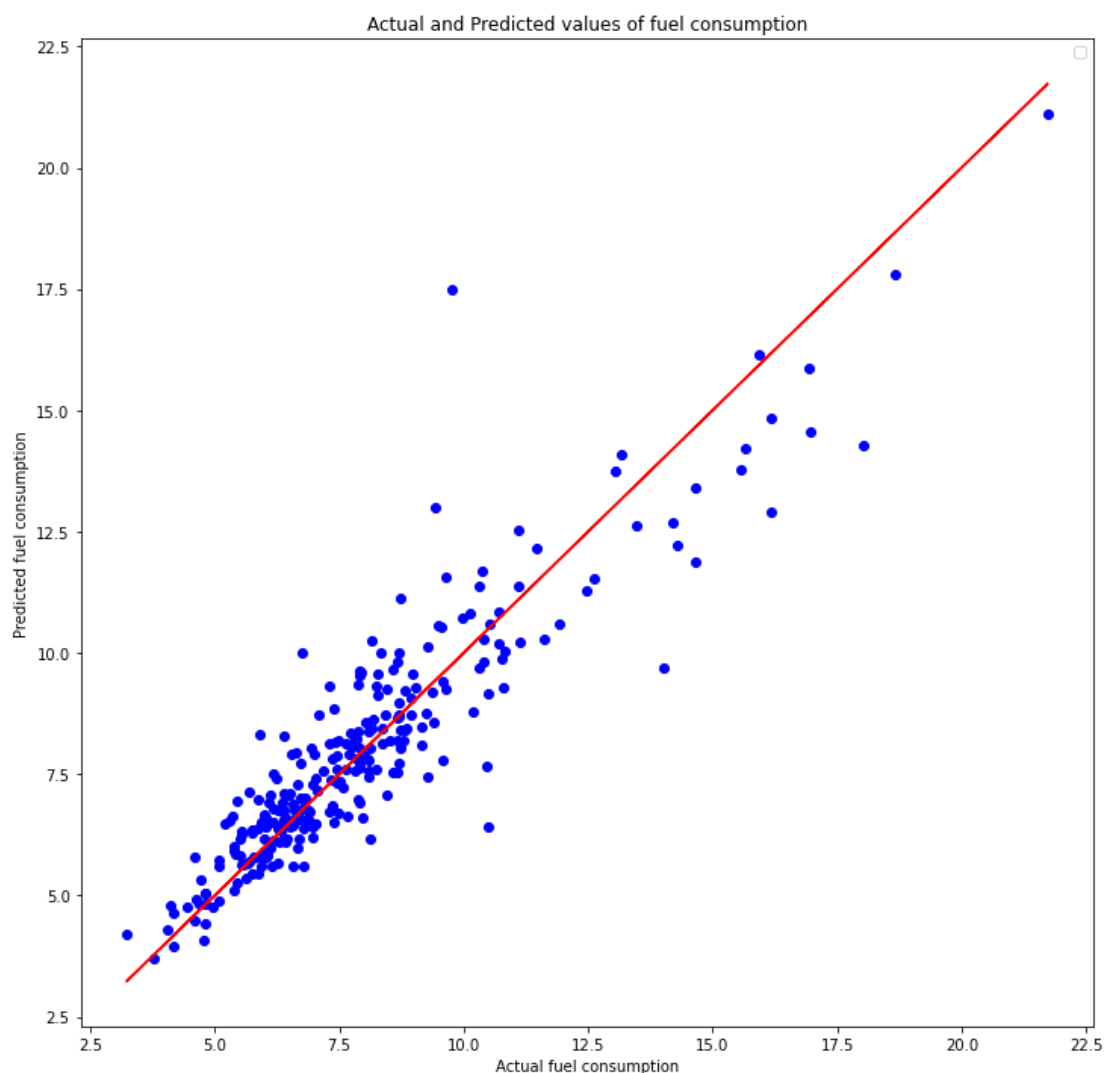
4.5.6 Προτυποποίηση σε εκτεταμένα δεδομένα Πειράματος Φυσικής Οδήγησης (Φάση 3)

Αναπτύσσεται ένα πρότυπο πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου με δεδομένα εισόδου αυτά του Πίνακα 5 και ως αποτέλεσμα την προβλεπόμενη κατανάλωση καυσίμου. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος 'Gradient Boosting Decision Trees που κατατάσσεται στην κατηγορία των ενισχυμένων δέντρων αποφάσεων. Οι επιδόσεις του προτύπου δείχνουν ότι η ποικιλία των μεταβλητών εισόδου που αξιοποιήθηκαν, οι οποίες αντιστοιχούν στο στρατηγικό, τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο λήψης αποφάσεων, επιτρέπουν την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων με αξιοπρεπή ακρίβεια και με ποσοστό σφάλματος μικρότερο του 10%. Οι ακριβείς τιμές των μετρικών σφάλματος και η καλή προσαρμογή του προτύπου πρόβλεψης παρουσιάζονται στον Πίνακα 22. Πρέπει να σημειωθεί ότι προβλέπεται η συγκεντρωτική τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (L/100km) και, συνεπώς, δεν αξιοποιείται ως μεταβλητή εισόδου η συνολική απόσταση του ταξιδιού, η οποία συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, το προτεινόμενο πρότυπο έχει καλύτερες επιδόσεις από τα περισσότερα σύγχρονα πρότυπα κατανάλωσης καυσίμου.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα προτύπου πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμου

Μέσο απόλυτο σφάλμα	0.75
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα	1.27
Διακύμανση	0.83
Προσαρμοσμένο R τετράγωνο	0.83
Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα	9.44 %

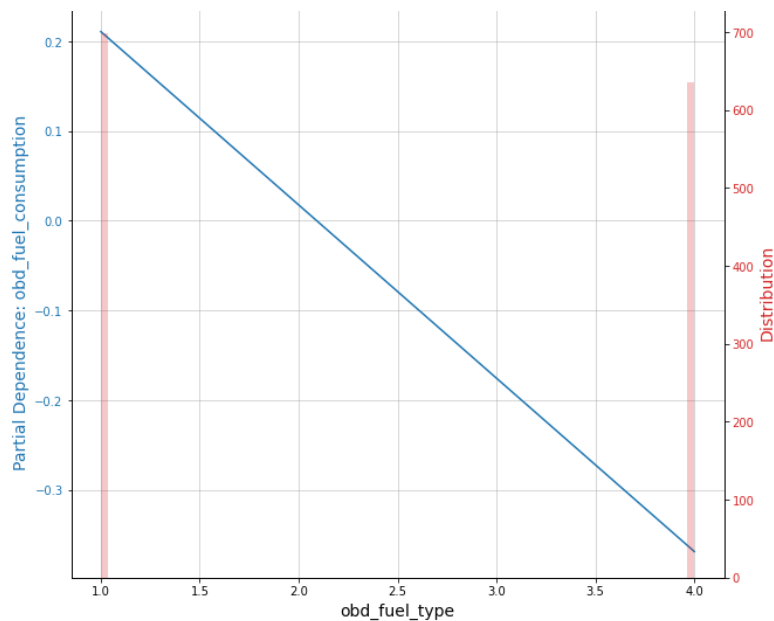
Το Διάγραμμα 18 απεικονίζει το απόλυτο σφάλμα του συνόλου δοκιμών μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής τιμής της κατανάλωσης καυσίμου και δείχνει ότι το πρότυπο καταφέρνει να κατανοήσει την επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στην κατανάλωση καυσίμου με ικανοποιητική ακρίβεια.



Διάγραμμα 18: Διάγραμμα διασποράς της πραγματικής και της προβλεπόμενης κατανάλωσης καυσίμου

Προκειμένου να αποκτήσουμε βαθύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στη μεταβλητή-στόχο της κατανάλωσης καυσίμου, τα διαγράμματα μερικής εξάρτησης και τα ιστογράμματα των ανεξάρτητων μεταβλητών με την μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζονται παρακάτω. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές μερικής εξάρτησης (άξονας y) δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική τιμή της κατανάλωσης καυσίμου αλλά την απόκλιση από τη μέση τιμή της κατανάλωσης καυσίμου. Για παράδειγμα, το 0,2 ερμηνεύεται ως αύξηση κατά 0,2 L/100km στη μέση τιμή της κατανάλωσης καυσίμου για όλες τις περιπτώσεις του δείγματος, ενώ το 0 αντιστοιχεί σε καμία επίδραση.

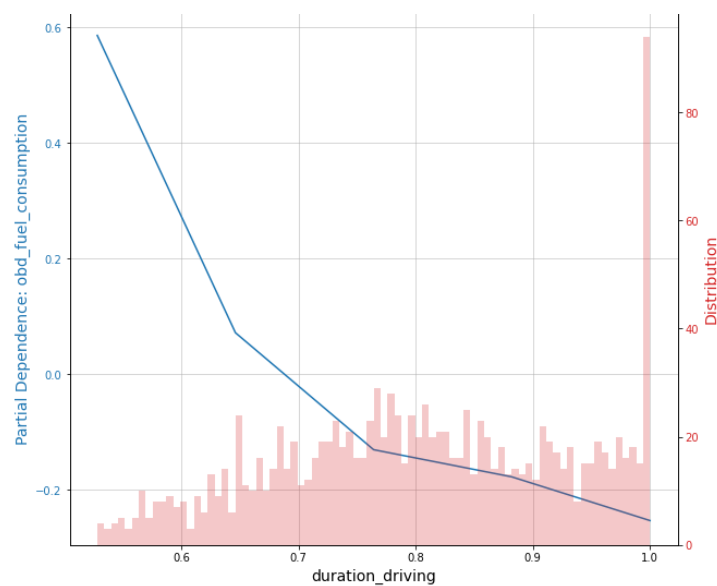
Στο Διάγραμμα 19, παρουσιάζεται το διάγραμμα μερικής εξάρτησης του τύπου καυσίμου (βενζίνη ή πετρέλαιο). Ο τύπος καυσίμου "1" αντιστοιχεί σε βενζινοκινητήρες και "4" σε πετρελαιοκινητήρες.



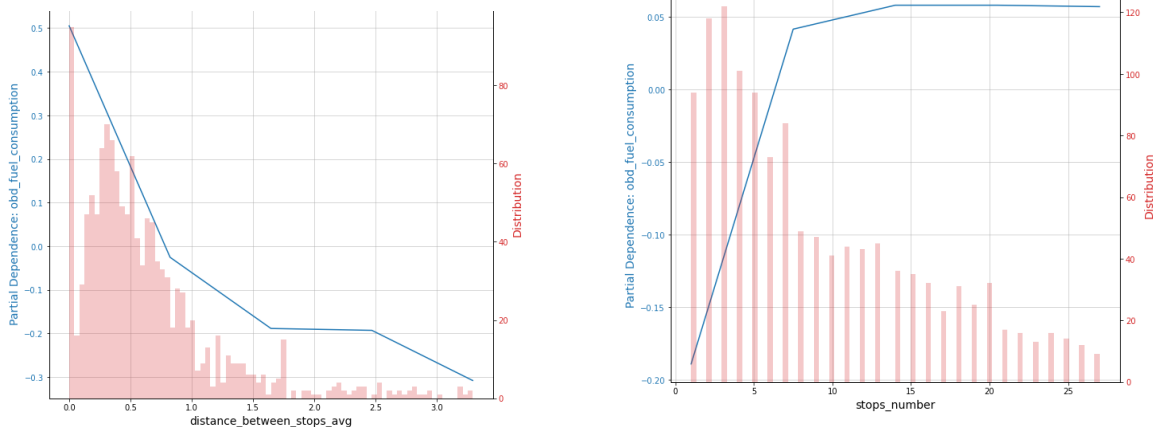
Διάγραμμα 19: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης του τύπου καυσίμου

Από το ιστόγραμμα, φαίνεται ότι οι δύο τύποι αντιπροσωπεύονται σχεδόν εξίσου στο δείγμα, ενώ τα οχήματα με κινητήρες ντίζελ συνδέονται με σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.

Στο Διάγραμμα 20, παρουσιάζεται η μερική εξάρτηση του ποσοστού διάρκειας οδήγησης ενώ στο Διάγραμμα 21 παρουσιάζεται η μερική εξάρτηση του αριθμού των στάσεων και της απόστασης μεταξύ των στάσεων.



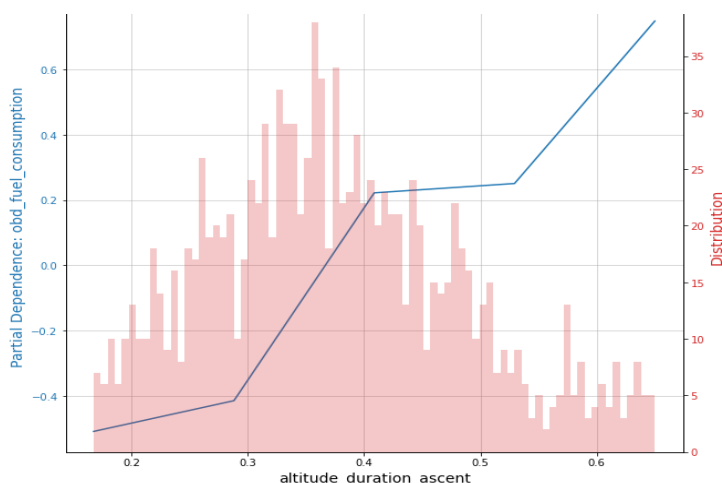
Διάγραμμα 20: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης του ποσοστού οδήγησης



Διάγραμμα 21: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης της απόστασης μεταξύ των στάσεων και του αριθμού των στάσεων

Με βάση τα αποτελέσματα, όταν πραγματοποιείται μικρότερος αριθμός στάσεων κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (μεγαλύτερη διάρκεια οδήγησης), η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται. Τα ίδια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν παρατηρώντας την απόσταση μεταξύ των στάσεων και τον αριθμό των διαγραμμικών στάσεων. Επίσης, συμπεραίνεται ότι η απόσταση μεταξύ των στάσεων είναι πιο σημαντική από τον αριθμό τους, όπως δείχνουν οι απόλυτες τιμές της μερικής εξάρτησης. Επομένως, η οδήγηση σε συνθήκες συμφόρησης, όπου το όχημα πρέπει να σταματά συχνά και το ποσοστό διάρκειας οδήγησης του ταξιδιού είναι χαμηλότερο, αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου.

Επιπλέον, το ποσοστό οδήγησης με θετική κλίση δρόμου συμβάλλει επίσης σημαντικά στην κατανάλωση καυσίμου, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 22 παρακάτω.

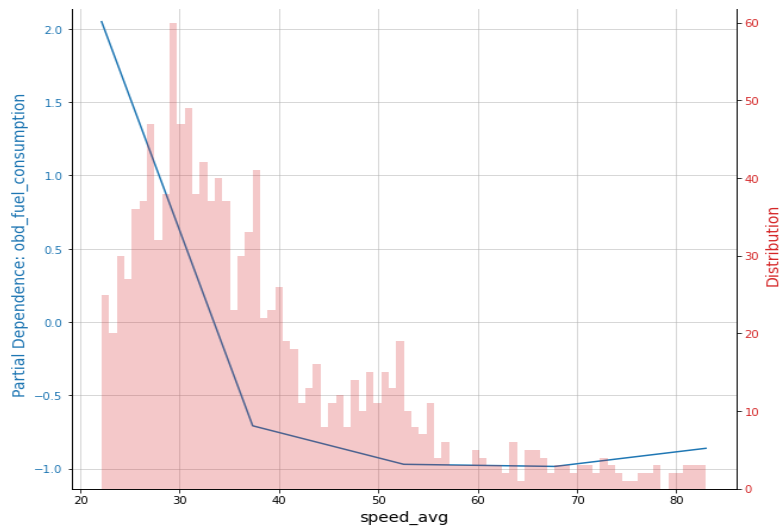


Διάγραμμα 22: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης του ποσοστού οδήγησης με θετική κλίση οδού.

Όσο περισσότερο ένα ταξίδι περιλαμβάνει οδήγηση σε θετική κλίση, τόσο περισσότερο καύσιμο θα καταναλώνεται. Όταν λιγότερο από το 30% του ταξιδιού γίνεται σε κλίση, παρατηρείται μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 0,5 L/100km, αλλά σταδιακά, όταν το ποσοστό αυξάνεται πάνω

από 50%, παρατηρείται επίσης σημαντική αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου, μεγαλύτερη από 0,6 L/100km.

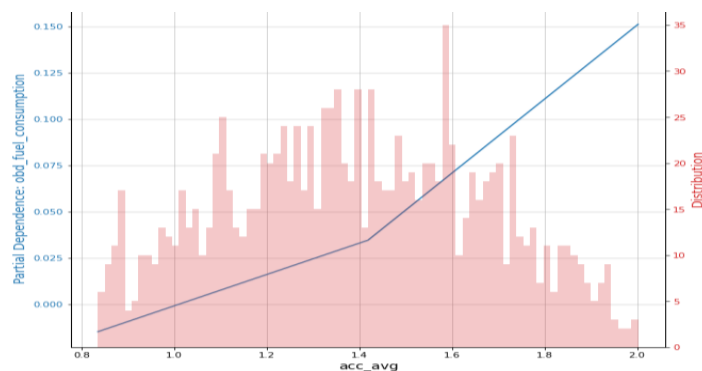
Η μέση ταχύτητα βρέθηκε να είναι η πιο σημαντική μεταβλητή όσον αφορά την επιρροή της στην κατανάλωση καυσίμου. Στο Διάγραμμα 23 φαίνεται η μερική εξάρτηση της σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου.



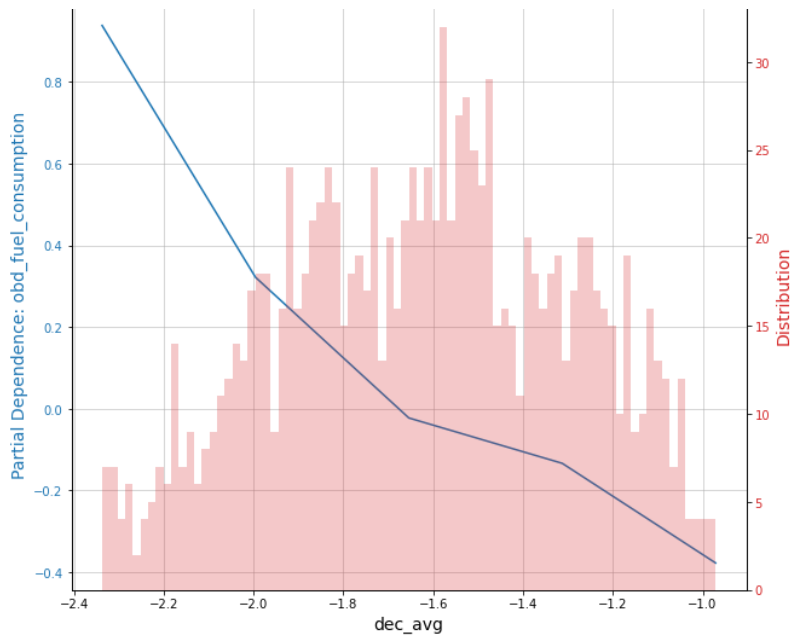
Διάγραμμα 23: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης της μέσης ταχύτητας διαδρομής

Χαμηλότερες τιμές ταχύτητας (περίπου 30 km/h), οι οποίες μπορεί επίσης να συνεπάγονται έντονη συμφόρηση, συνδέονται με πολύ υψηλή κατανάλωση, ενώ τιμές 50-60 km/h είναι βέλτιστες. Όταν η μέση ταχύτητα αυξάνεται πάνω από τα 60 km/h, μπορεί να παρατηρήσουμε μια μικρή αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου.

Επιπλέον, τα Διαγράμματα 23 και 24 της μέσης επιτάχυνσης και της μέσης επιβράδυνσης παρουσιάζονται παρακάτω.



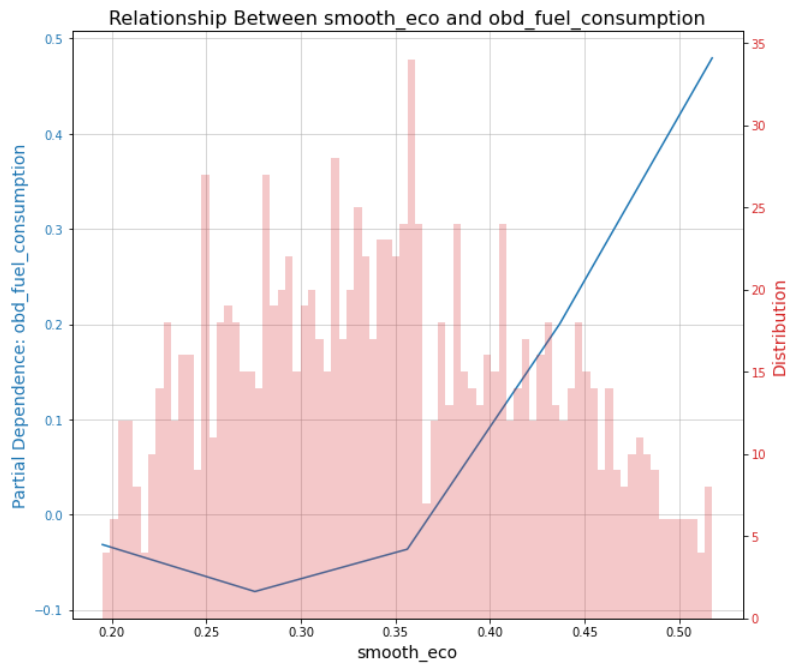
Διάγραμμα 23: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης της μέσης επιτάχυνσης διαδρομής



Διάγραμμα 24: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης της μέσης επιβράδυνσης διαδρομής

Με βάση το Διάγραμμα 23 διαφαίνεται ότι διαδρομές με ομαλότερη επιτάχυνση συνδέονται με χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης καυσίμου, η οποία αυξάνεται σημαντικά μετά από περίπου 1,5 km/h/s. Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από το Διάγραμμα 24 όσον αφορά τη μέση επιβράδυνση. Είναι προφανές ότι η επιθετική οδήγηση (υψηλές τιμές επιτάχυνσης και επιβράδυνσης) είναι ένας παράγοντας που αυξάνει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου.

Τέλος στο Διάγραμμα 25 παρουσιάζεται η μερική εξάρτηση του δείκτη 'smooth_eco' σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο υπολογισμός του δείκτη 'smooth_eco' (το άθροισμα των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ της τελικής και της αρχικής ταχύτητας ανά δευτερόλεπτο, διαιρούμενο με την απόσταση της διαδρομής) περιλαμβάνει την ταχύτητα του οχήματος και τη μεταβολή της μεταξύ διαδοχικών στιγμών (επιτάχυνση/επιβράδυνση). Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της ταχύτητας και της διακύμανσης, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη. Έτσι, πρόκειται για έναν ολοκληρωμένο δείκτη που περιλαμβάνει τις σημαντικότερες μεταβλητές της οδηγικής συμπεριφοράς.



Διάγραμμα 25: Διάγραμμα μερικής εξάρτησης του δείκτη 'smooth_eco'

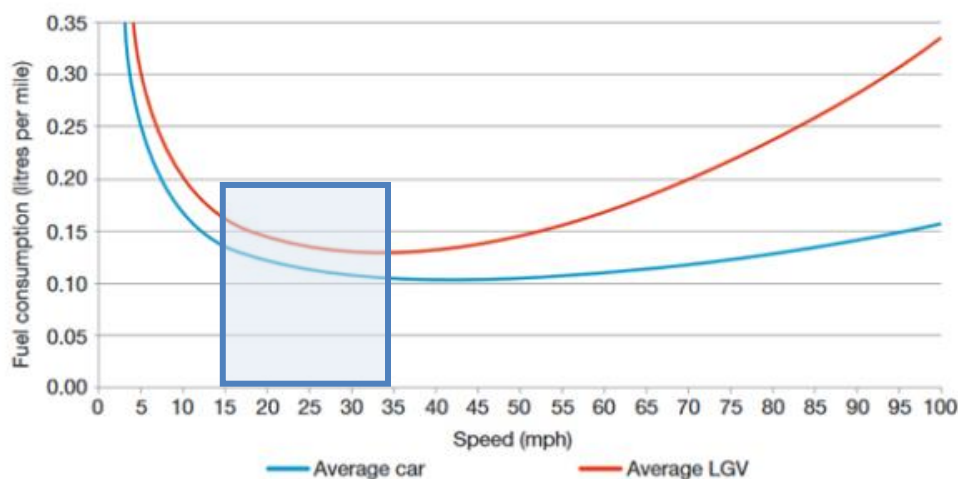
Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 24, οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη δεν έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κατανάλωση καυσίμου. Όταν όμως παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 0,35, ο αντίκτυπος του είναι αρνητικός και μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου άνω των 0,4 L/100km.

5. Σύστημα Βαθμολόγησης Διαδρομών

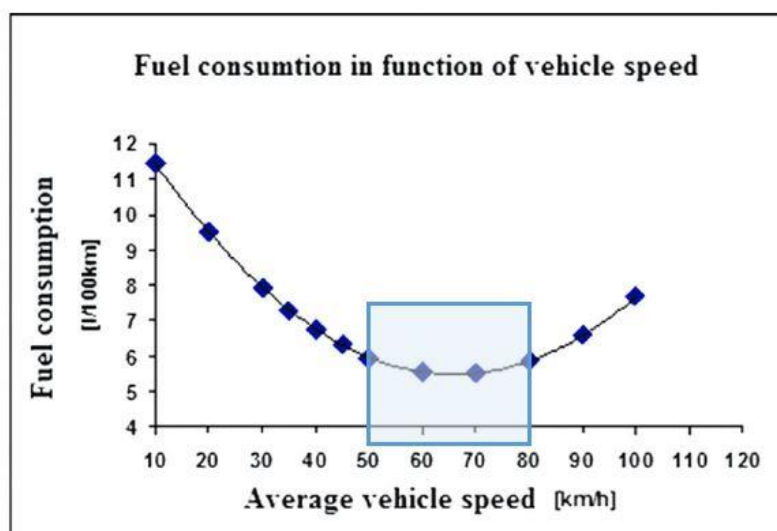
Πολύ χρήσιμο για την προώθηση της οικολογικής οδήγησης, θεωρείται το να μπορούν οι οδηγοί να γνωρίζουν πόσο οικολογικά οδηγούν. Αυτή τη γνώση μπορούν να την έχουν μέσω μια ποσοτικοποίησης του πόσο οικολογική είναι η οδηγική τους συμπεριφορά, δηλαδή μιας βαθμολογίας ανά διαδρομή, η οποία να υποδηλώνει αν ο οδηγός οδήγησε οικολογικά και σε τι βαθμό.

Για να υπολογιστεί η βαθμολογία ανά διαδρομή, υπολογίζεται η μέση κατανάλωση καυσίμου της διαδρομής και το ποσοστό της διαδρομής στο οποίο ο οδηγός παρουσίασε μη οικολογική οδηγική συμπεριφορά ($t_{behavior}$). Πιο συγκεκριμένα, μη οικολογική συμπεριφορά θεωρείται η διάρκεια της διαδρομής όπου η επιτάχυνση είναι πάνω ένα όριο [1.09m/s^2] και η ταχύτητα οδήγησης είναι πάνω από το όριο ταχύτητας.

Στη περίπτωση που δεν παρουσιαστεί καμία από τις παραπάνω συμπεριφορές, $t_{behavior} = 0$, τότε ο οδηγός ανταμείβεται με 100 βαθμούς. Στην περίπτωση όπου το $t_{behavior} \neq 0$, η εκτίμηση της βαθμολογίας λαμβάνει επιπρόσθετα υπόψιν την κατανάλωση του καυσίμου (*fuel*) και τη μέση ταχύτητα της διαδρομής (*avgspeed*). Εφόσον η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου συμπεριλαμβάνει παραμέτρους που δεν περιορίζονται στην συμπεριφορά του οδηγού αλλά συνυπολογίζει τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της οδού, διαφοροποιήσεις στις τιμές της κατανάλωσης οδηγούν σε μικρότερες αλλαγές στη τελική βαθμολογία. Από την άλλη, υψηλότερες τιμές της παραμέτρου $t_{behavior}$, μειώνουν δραστικά την αντίστοιχη βαθμολογία της διαδρομής. Τέλος, εισάγεται ένα δείκτης ο οποίος επιβάλλει ποινές στις περιπτώσεις που η μέση ταχύτητα μιας διαδρομής είναι εκτός των ορίων της “πράσινης περιοχής” η οποία αντιστοιχεί σε τιμές της ταχύτητας που συνδέονται “οικολογική οδήγηση”, όπως φαίνεται τις καμπύλες του Διαγράμματος 26. Αυτή η περιοχή προσδιορίζεται μεταξύ των [45 – 60 km/h], (Box and Bayliss, 2012), ενώ σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Tarulescu, Διάγραμμα 27. Αυτός ο δείκτης παίρνει την τιμή 0,3 αν η μέση ταχύτητα της διαδρομής είναι πάνω από το προαναφερθέν όριο.

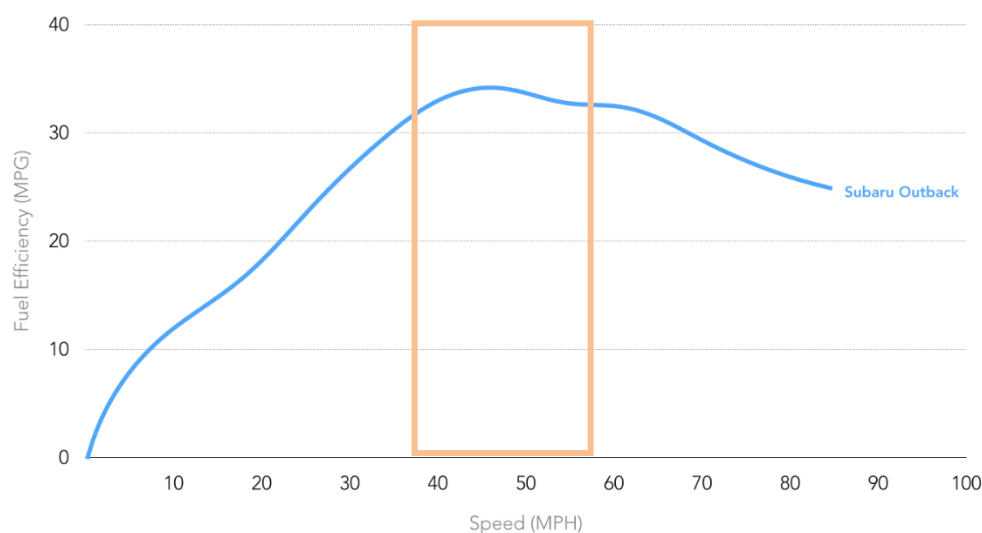


Διάγραμμα 26: Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας και της κατανάλωσης καυσίμου (Πηγή:(Box and Bayliss, 2012))



Διάγραμμα 27: Κατανάλωση καυσίμου και ταχύτητα οχήματος (Πηγή: (Tarulescu and Tarulescu, 2017)).

Στο Διάγραμμα 28, απεικονίζονται συγκεντρωτικά δεδομένα σχετικά με την αποδοτικότητα κατανάλωσης καυσίμου και την ταχύτητα οδήγησης για πάνω από 2000 ώρες οδήγησης με δεκάδες Subaru Outback οχήματα κατά τη διάρκεια των ετών 2009-2013. Όπως παρατηρείται, η αποδοτικότητα κατανάλωσης καυσίμου μεταβάλλεται με την ταχύτητα οδήγησης, ενώ για τιμές της ταχύτητας μεταξύ 40-60 παρατηρείται η μέγιστη απόδοση καυσίμου.



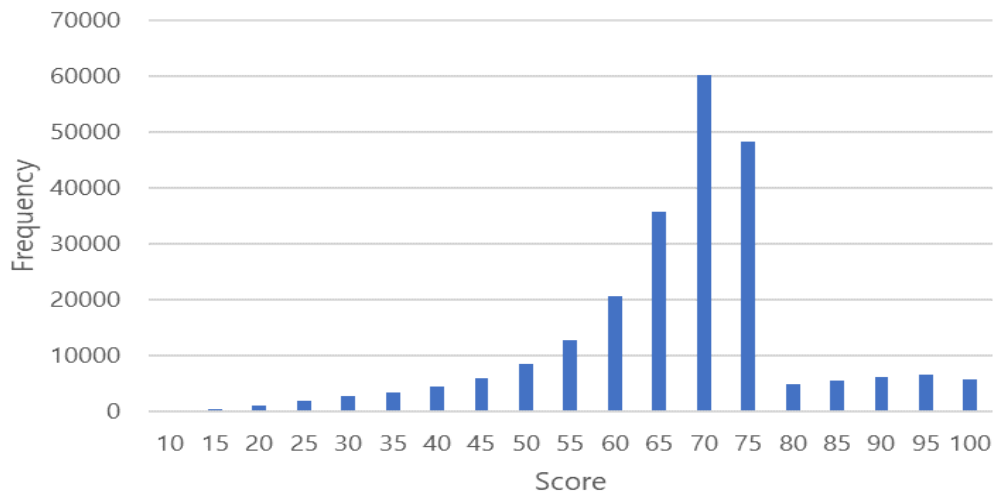
Διάγραμμα 28: Αποδοτικότητα κατανάλωσης καυσίμου και ταχύτητα οχήματος (Πηγή: (Tarulescu and Tarulescu, 2017)).

5.1 Φθίνον εκθετικό πρότυπο με σύστημα ποινών

Μια πρώτη προσέγγιση υπολογισμού μιας βαθμολογίας για το πόσο οικολογική είναι μια διαδρομή, έγινε μέσω ενός φθίνον εκθετικού πρότυπου με ένα σύστημα ποινών, το οποίο βασίζεται στην μη οικολογική οδηγική συμπεριφορά ($t_{behavior}$), όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η εξίσωση, (20), περιγράφει τον υπολογισμό της βαθμολογίας με βάση αυτό το πρότυπο:

$$Score = \begin{cases} 100, & t_{behavior} = 0 \\ 100e^{-fuel \cdot t_{behavior}^{-0.3}}, & t_{behavior} \neq 0 \text{ and } avg\ speed < 45\text{km/h} \\ 100e^{-fuel \cdot t_{behavior}}, & t_{behavior} \neq 0 \text{ and } 45\text{km/h} \leq avg\ speed < 60\text{km/h} \\ 100e^{-fuel \cdot t_{behavior}^{-0.3}}, & t_{behavior} \neq 0 \text{ and } avg\ speed \geq 60\text{km/h} \end{cases} \quad (20)$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (20), η κατανομή των βαθμολογιών των διαδρομών απεικονίζεται στο Διάγραμμα 29. Φαίνεται πως οι περισσότερες διαδρομές έχουν μια πάνω του μετρίου βαθμολογία, κυμαινόμενες στους 60 με 75 πόντους, ενώ πολύ λιγότερες παρουσιάζουν μικρότερη ή περισσότερη βαθμολογία.



Διάγραμμα 29: Κατανομή των βαθμολογιών ανά διαδρομή, Εξίσωση (20).

5.2 Φθίνον εκθετικό πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών

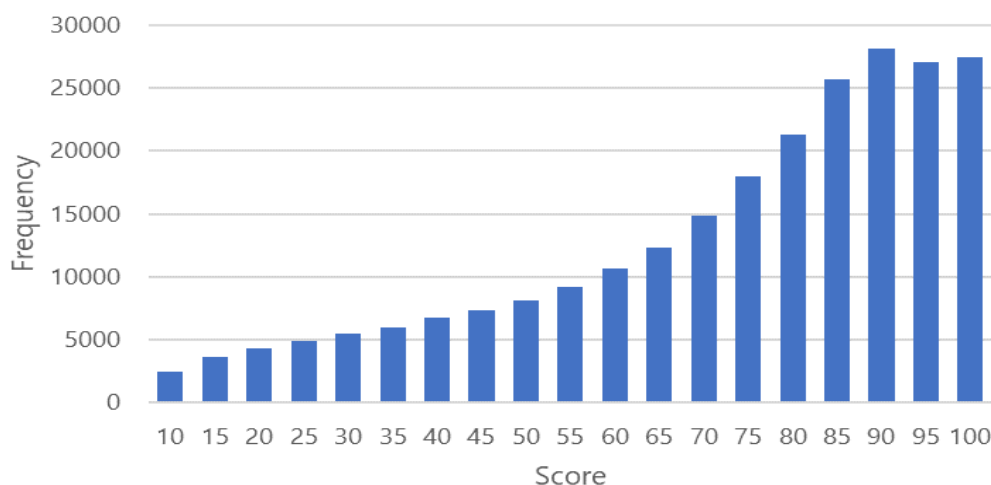
Στοχεύοντας σε μια πιο ομαλή κατανομή των βαθμολογιών οικολογικής οδήγησης, ακολουθώντας τους ίδιους κανόνες βαθμολόγησης που αναφέρθηκαν παραπάνω, σχηματίστηκε η επόμενη εξίσωση (21):

$$Score = 100 \cdot e^{(-10t_{behavior}) \cdot \left(\frac{\ln fuel}{\max(\ln fuel)}\right)^a},$$

$$\text{όπου } a = \begin{cases} 1 - 1.3 \left(\frac{45 - avg\ speed}{150}\right), & avg\ speed > 45\text{km/h} \\ 1, & 45\text{km/h} \leq avg\ speed < 60\text{km/h} \\ 1 - 1.3 \left(\frac{avg\ speed - 60}{200}\right), & avg\ speed \geq 60\text{km/h} \end{cases} \quad (21)$$

Σε αυτή την περίπτωση ο δείκτης που επιβάλλει ποινές στις ταχύτητες που υπερβαίνουν την "πράσινη περιοχή", εξαρτάται από το πόσο μακριά εκτείνεται η μέση ταχύτητα της διαδρομής από

την περιοχή αυτή. Επιπροσθέτως, ο μετρητής της κατανάλωσης καυσίμου κανονικοποιείται με βάση τη μέγιστη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου στη βάση δεδομένων. Τα αποτελέσματα από αυτή τη μεθοδολογία βαθμολόγησης απεικονίζονται στο Διάγραμμα 30. Σε αυτή τη προσέγγιση, φαίνεται πως οι βαθμολογίες συσσωρεύονται προς τις μεγάλες τιμές με την πλειονότητα των περιπτώσεων να είναι βαθμολογείται με πάνω από 75 πόντους και σημαντικό ποσοστό να παίρνει άριστη βαθμολογία 100 πόντων.



Διάγραμμα 30: Κατανομή των βαθμολογιών ανά διαδρομή, Εξίσωση (21).

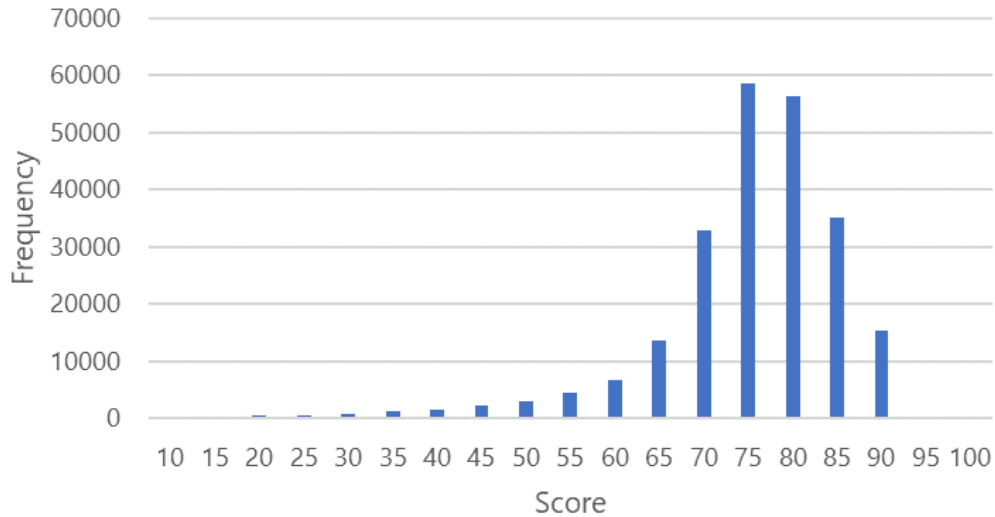
5.3 Εξατομικευμένο πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών

Στην Εξίσωση (22), παρουσιάζεται μια προσπάθεια πιο γενικού υπολογισμού των βαθμολογιών οικολογική οδήγησης. Σε αυτή τη προσπάθεια οι οδηγοί λαμβάνουν ποινές με βάση την απόδοση της οδήγησής τους ακόμα και αν παρουσίαζαν οικολογική οδηγική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους. Η βαθμολογία υπολογίστηκε με βάση την κατανάλωση καυσίμου και την μέση ταχύτητα της διαδρομής. Η εξίσωση που αναπτύχθηκε είναι η παρακάτω:

$$Score = 100 \cdot (1 - t_{behavior}) \cdot \left(1 - 0.25 \frac{\ln fuel}{\max(\ln fuel)}\right) a,$$

$$\text{όπου } a = \begin{cases} 1 - 1.3 \left(\frac{45 - avg\ speed}{150}\right), & avg\ speed > 45\text{km/h} \\ 1, & 45\text{km/h} \leq avg\ speed < 60\text{km/h} \\ 1 - 1.3 \left(\frac{avg\ speed - 60}{200}\right), & avg\ speed \geq 60\text{km/h} \end{cases} \quad (22)$$

Η κατανομή των βαθμολογιών ανά διαδρομή με βάση την Εξίσωση (22) παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 31. Διαφάνεται μια πιο ομαλή κατανομή των βαθμολογιών συγκριτικά με τις προηγούμενες προσεγγίσεις, πάλι συγκεντρωμένων σε μεγάλες τιμές άνω των 70 πόντων και μέχρι του 90 πόντους.



Διάγραμμα 31: Κατανομή των βαθμολογιών ανά διαδρομή, Εξίσωση (22).

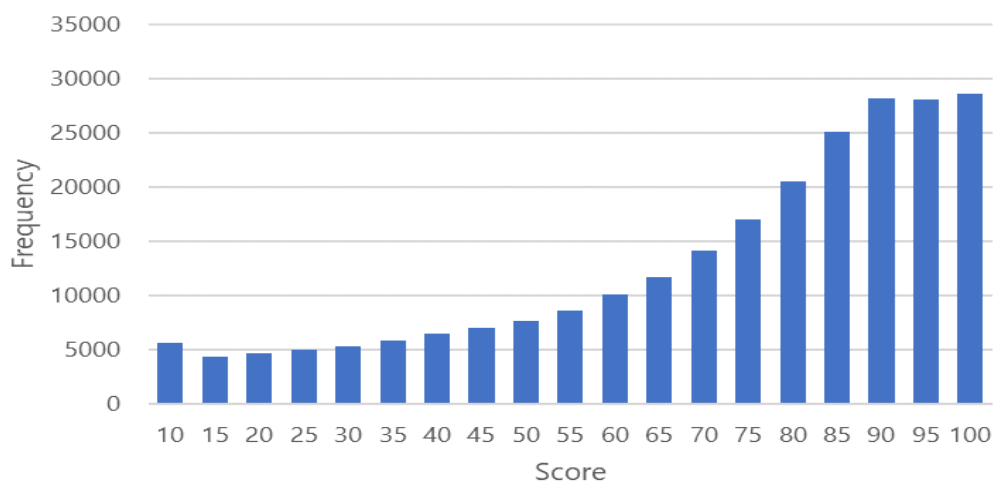
5.4 Σιγμοειδές πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών

Τέλος, αξιοποιήθηκε μια σιγμοειδής συνάρτηση, σε μια τελική προσέγγιση να υπολογιστούν οι ζητούμενες βαθμολογίες οικολογικής οδήγησης των χρηστών της οδού, Εξίσωση (23). Τα αποτελέσματα αυτού του τελικού πρότυπου παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 32. Οι βαθμολογίες φαίνεται πάλι να συσσωρεύονται σε μεγάλες τιμές μέχρι και τους 100 πόντους.

$$Score = \frac{100}{\max(S)} * S,$$

$$\text{όπου} \quad S = \frac{100}{0.5 + e^{3.1 \cdot t_{behavior} \cdot fuel \cdot a}},$$

$$\text{όπου} \quad a = \begin{cases} 1 - 1.2 \left(\frac{45 - avg\ speed}{200} \right), & avg\ speed > 45\ km/h \\ 1, & 45\ km/h \leq avg\ speed < 60\ km/h \\ 1 - 1.2 \left(\frac{avg\ speed - 60}{200} \right), & avg\ speed \geq 60\ km/h \end{cases} \quad (23)$$



Διάγραμμα 32: Σιγμοειδής κατανομή των βαθμολογιών, Εξίσωση (23)

5.5 Περιορισμοί σύγκρισης πραγματικής και ιδανικής κατανάλωσης καυσίμου

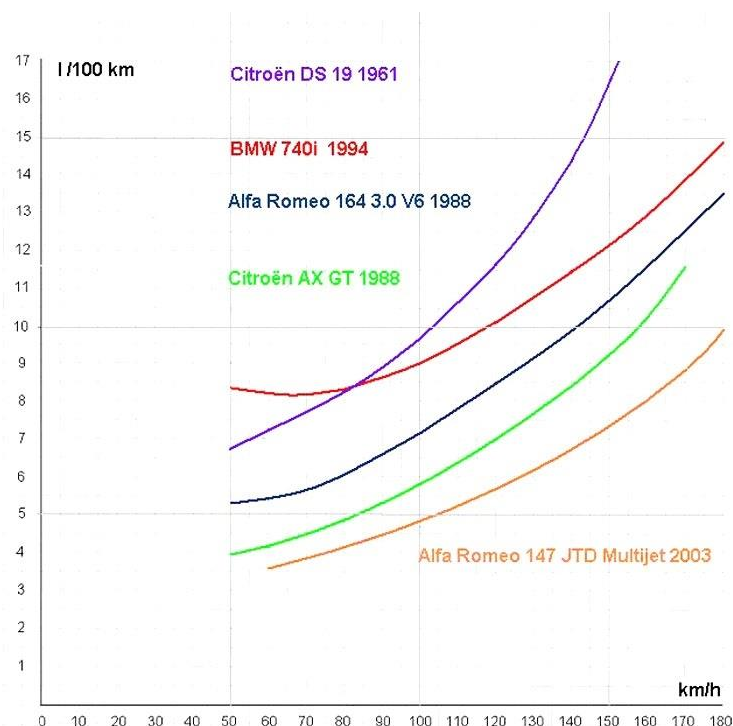
Ένας διαφορετικός τρόπος προκειμένου να επηρεαστεί η αντίληψη των ανθρώπων σχετικά με τις επιπτώσεις των οδηγικών τους συμπεριφορών στο περιβάλλον, είναι να ποσοτικοποιηθεί η χρηματική εξοικονόμηση που θα μπορούσαν να πετύχουν αν υιοθετήσουν μια πιο οικολογική οδηγική συμπεριφορά. Ο ευκολότερος τρόπος είναι να υπολογιστεί η πραγματική κατανάλωση καυσίμου μιας διαδρομής και επιπλέον να εκτιμηθεί η “βέλτιστη” κατανάλωση της ίδιας διαδρομής. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών υπολογισμών θα αντιστοιχεί στην χρηματική εξοικονόμηση του οδηγού και στην βαθμολογία της διαδρομής.

Υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί αναφορικά με τον υπολογισμό μιας βαθμολογίας μίας διαδρομής με βάση τους δείκτες απόδοσης της οικολογικής οδήγησης και της κατανάλωσης καυσίμου. Παρακάτω γίνεται η προσπάθεια να ξεκαθαριστεί γιατί είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να υπολογιστεί μία βαθμολογία που να συγκρίνει την πραγματική και την βέλτιστη συμπεριφορά, με βάση την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου.

1. Αναφορικά με την μέτρηση του υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου, δε μπορεί να οριστεί η “βέλτιστη” κατανάλωση καυσίμου μίας συγκεκριμένης διαδρομής, ειδικά εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα για τον τύπο του οχήματος.
2. Το σύστημα βαθμολόγησης αποσκοπεί στην αξιολόγηση της απόδοσης της οδήγησης και να ανταμείβει ασφαλής και οικολογικές οδηγικές συμπεριφορές. Σε αυτή τη βάση, δεν είναι τόσο δίκαιο να τιμωρείται ο χρήστης όταν οδηγεί μη-οικολογικά. Οι συνθήκες της διαδρομής, συγκεκριμένα η τοπολογία της οδού ή καιρικές συνθήκες δεν εξαρτώνται από τις επιλογές του χρήστη. Παρόλα αυτά, οι παράμετροι που είναι ανεξάρτητοι από την συμπεριφορά του χρήστη λαμβάνονται υπόψιν όταν υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου. Έτσι, μια βαθμολογία που βασίζεται στην κατανάλωση καυσίμου, στη πραγματικότητα δεν απεικονίζει την απόδοση του οδηγού κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής, μα το πόσο καλά

είναι σε θέση να ανταποκριθεί ο συγκεκριμένος τύπος οχήματος στις συγκεκριμένες οδικές συνθήκες.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, Διάγραμμα 33, η κατανάλωση καυσίμου εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο του οχήματος. Ακόμα και για ίδιες ταχύτητες, οι διαφορετικές τεχνολογίες κινητήρων αντιστοιχούν σε διαφορετικές μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου.

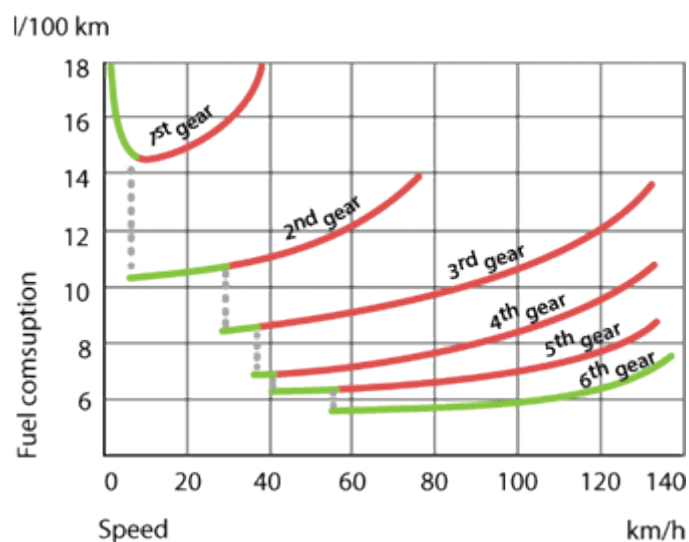


Διάγραμμα 33: Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με διάφορες τεχνολογίες κινητήρων [1961-2003]

5.6 Προτάσεις για τους οδηγούς

Η οδήγηση αποδοτικής κατανάλωσης καυσίμου αφορά την οδήγηση που μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα κατά την κατανάλωση του καυσίμου και ταυτόχρονα μειώνει τις ρυπογόνες εκπομπές καυσαερίων.

Η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται στις χαμηλές ταχύτητες του κιβωτίου ταχυτήτων του οχήματος και με την ταχύτητα, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 34, το οποίο αφορά σε ένα όχημα με μικρό κινητήρα, που σημαίνει πως οι πληροφορίες που παρέχει ισχύουν μα δε μπορούν να θεωρηθούν απόλυτος κανόνας, (*Motive force*, 2021). Επομένως, σε σταθερή ταχύτητα και σε ίδιο δρόμο, η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή ταχύτητα στην υψηλότερη δυνατή ταχύτητα του κιβωτίου ταχυτήτων.



Διάγραμμα 34: Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα. (Πηγή: (Ecomobile, 2021)).

Με σκοπό την υποβοήθηση των οδηγών ώστε να μπορέσουν να υιοθετήσουν συμπεριφορές οικολογικής οδήγησης, είναι χρήσιμο να τους δοθούν κάποιες βασικές συμβουλές οδήγησης.

Πίνακας 23: Βασικές συμβουλές για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου (Πηγή: Προτάσεις από ΕΡΑ, (Your Mileage May Vary, 2021))

Συμβουλή	Περιγραφή
Ομαλή οδήγηση	Είναι πολύ γνωστό πως τα απότομα φρεναρίσματα καταναλώνουν περισσότερο καύσιμο. Είναι καλύτερο να διατηρούνται μεγαλύτερες αποστάσεις από τα προπορευόμενα οχήματα και να αποφεύγεται η έντονη πίεση στα φρένα. Με την ομαλή οδήγηση είναι δυνατόν αυξήσουν τα χιλιόμετρα που διανύονται ανά λίτρο καυσίμου κατά περίπου 15% με 30% σε ταχύτητες αυτοκινητόδρομου και κατά 10% με 40% σε κυκλοφορία συμφόρησης με σταμάτα-ξεκίνα.
Εναλλαγή σε υψηλότερες ταχύτητες του κιβωτίου ταχυτήτων γρηγορότερα	Η διατήρηση όσο πιο υψηλών ταχυτήτων του κιβωτίου ταχυτήτων γίνεται ή ακόμα και η παράλειψη κάποιων ταχυτήτων, βελτιώνει την εξοικονόμηση του καυσίμου.
Αποφυγή των υπερβολικών ταχυτήτων	Η διατήρηση μια σταθερής ταχύτητας όχι μόνο αυξάνει την οδηγική ασφάλεια, αλλά μειώνει και την κατανάλωση καυσίμου. Προτείνεται να υπάρχει διπλή συνειδητή σκέψη πριν ασκηθεί περισσότερη πίεση στο γκάτζι.
Απενεργοποίηση του κλιματιστικού	Η λειτουργία του κλιματιστικού αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου.
Αποφυγή του ρελαντί	Το να μένει ένα όχημα στο ρελαντί, όχι μόνο αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου, μα αυξάνει και τις ρυπογόνες εκπομπές καυσαερίων.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε εκτενής διερεύνηση και ανάλυση της βιβλιογραφίας σχετικά με την Οικολογική Οδήγηση και την κατανάλωση καυσίμου. Παρουσιάστηκαν και εφαρμόστηκαν μεθοδολογίες προτυποποίησης της εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου αξιοποιώντας δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων και συσκευών OBD. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού οργανώθηκε και εκτελέστηκε πείραμα φυσικής οδήγησης με διάφορα στάδια εφαρμογής αναφορικά με τους οδηγούς, τον χρόνο διάρκειας της κάθε φάσης και τις συνθήκες οδήγησης του πειράματος, ώστε τα πρότυπα και οι προτάσεις που θα αναπτυχθούν να αφορούν πραγματικά δεδομένα χρηστών του οδικού δικτύου. Μετά από εκτενή αναζήτηση στην διεθνή βιβλιογραφία και την διερεύνηση ανάλογων εφαρμογών, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία που οδήγησε στα πρότυπα που παρουσιάστηκαν τόσο για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου, όσο και για την βαθμολόγηση των διαδρομών των χρηστών.

6.1 Βασικά Αποτελέσματα

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, αρχικά συμπεραίνεται πως ο μεγαλύτερος διαθέσιμος πειραματικός αριθμός διαδρομών διαμορφώνει και μια πιο αξιόπιστη και ολοκληρωμένη βάση δεδομένων για την ανάπτυξη των επιζητούμενων εξατομικευμένων προτύπων εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου. Πολύ σημαντική επίσης αποδεικνύεται και η ορθή επιλογή των παραμέτρων που επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση από τη πληθώρα των δεδομένων που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος. Επιπλέον, καθοριστικής σημασίας είναι η στοχευμένη διαμόρφωση των κατάλληλων δεικτών της μη-οικολογικής οδήγησης που έδωσε τη δυνατότητα να διερευνηθούν οι συμπεριφορές των χρηστών αλλά και οι συνθήκες της εκάστοτε διαδρομής που οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου.

Μετά τη διερεύνηση και την ανάπτυξη των προτύπων κατανάλωσης καυσίμου και της βαθμολόγησης των διαδρομών των χρηστών, προέκυψαν αξιόπιστες προτυποποιήσεις της κατανάλωσης του καυσίμου, από δεδομένα που μπορούν δυνητικά να καταγραφούν και σε πραγματικό χρόνο οδήγησης. Συγκεκριμένα, από τις προσεγγίσεις εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου από δεδομένα, μεγαλύτερη επεξηγηματικότητα προέκυψε να έχει το πρότυπο της γραμμικής παλινδρόμησης με δείκτη R^2 ίσο με 0.866, ακολουθούμενο από το πρότυπο ενισχυμένων δέντρων αποφάσεων με δείκτη R^2 ίσο με 0,83 και το πρότυπο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με R^2 ίσο 0.625. Και τα τρία αυτά πρότυπα, καθώς και το πρότυπο κλασματικής πολυωνυμικής παλινδρόμησης πολλαπλών μεταβλητών, που έχει όμως μικρότερη τιμή για τον δείκτη R^2 , παρουσιάζουν ικανοποιητική επεξηγηματικότητα αναφορικά με τις μεταβλητές που υπεισήλθαν στα τελικά πρότυπα και τις φυσικές τους σημασίες σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου. Από τα παραπάνω πρότυπα, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πρότυπο ενισχυμένων δέντρων αποφάσεων είναι το περισσότερο υποσχόμενο σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, καθώς λαμβάνει υπόψιν στο σχεδιασμό του προτύπου μεγαλύτερη πληθώρα τόσο ταξιδιών όσο και οδηγών. Επιπλέον, οι μετρικές σφάλματος του συγκεκριμένου προτύπου στην εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου ξεπερνούν την πλειοψηφία των άλλων προτεινόμενων προτύπων στην πρόσφατη βιβλιογραφία, με ποσοστό σφάλματος μικρότερο από 10%. Επίσης, τα αντίστοιχα διαγράμματα μερικής εξάρτησης έδειξαν ότι οι λειτουργικοί παράγοντες λήψης αποφάσεων έχουν

τη μεγαλύτερη επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου και, πιο συγκεκριμένα, η μέση ταχύτητα και η μέση επιτάχυνση και επιβράδυνση. Τέλος, πολύ σημαντικές μεταβλητές φαίνεται να είναι το ποσοστό οδήγησης με θετική κλίση (τακτικό επίπεδο λήψης αποφάσεων) και η μέγιστη κατανάλωση καυσίμου με βάση τις προδιαγραφές του εργοστασίου (στρατηγικό επίπεδο λήψης αποφάσεων). Οι σημαντικότεροι δείκτες που φαίνεται να επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου με βάση τα προαναφερθέντα πρότυπα είναι οι δείκτες που αφορούν την μη οικολογική επιτάχυνση, την κλίση του εδάφους της οδού, την μέση ταχύτητα της διαδρομής και την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αναφορικά με τον υπολογισμό βαθμολογίας για το πόσο οικολογική είναι μια διαδρομή, το φθίνον εκθετικό πρότυπο με σύστημα ποινών και το εξατομικευμένο πρότυπο με δυναμικό σύστημα ποινών, φαίνονται να παρουσιάζουν τις πιο ομαλές κατανομές βαθμολογιών.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι σε θέση να δώσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για την οδηγική συμπεριφορά του εκάστοτε οδηγού και να τη συσχετίσουν με την κατανάλωση καυσίμου που προκύπτει με ικανοποιητική και συστηματική ακρίβεια και αξιοπιστία. Με αυτό το τρόπο, μπορούν να διαμορφωθούν εξατομικευμένες προτάσεις για τη βελτίωση του οικολογικού αποτυπώματός του κάθε χρήστη κατά την οδήγησή του σε αστικά περιβάλλοντα. Κατά συνέπεια, μπορούν να αξιοποιηθούν και να στελεχώσουν πιο αναπτυγμένες εφαρμογές, όπως η δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου εξατομικευμένης οικολογικής δρομολόγησης και προώθησης της οικολογικής οδηγικής συμπεριφοράς των χρηστών που θα χρησιμοποιούν την εφαρμογή ECODRIVE(Φαφουτέλλης, Π. et al. (2020))

Βιβλιογραφία

- Alam, M. S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. *Transport Policy*, 35, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.016>
- An, F., Barth, M., Norbeck, J., & Ross, M. (1997). Development of Comprehensive Modal Emissions Model: Operating Under Hot-Stabilized Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1587(1), 52–62. <https://doi.org/10.3141/1587-07>
- Ayyildiz, K., Cavallaro, F., Nocera, S., & Willenbrock, R. (2017). Reducing fuel consumption and carbon emissions through eco-drive training. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.01.006>
- Cappiello, A., Chabini, I., Nam, E. K., Luè, A., & Abou Zeid, M. (2002). A statistical model of vehicle emissions and fuel consumption. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2002-Janua*, 801–809. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2002.1041322>
- Chen, Y., Zhu, L., Gonder, J., Young, S., & Walkowicz, K. (2017). Data-driven fuel consumption estimation: A multivariate adaptive regression spline approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 83, 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.003>
- European Commission. (2011). *Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System*.
- European Union. (2014). *EU energy in figures, Statistical Pocketbook 2014*.
- Fafoutellis, P. (2015). *Fuel consumption of heavy-duty trucks*.
- Gilman, E., Keskinarkaus, A., Tamminen, S., Pirttikangas, S., Röning, J., & Riekk, J. (2015). Personalised assistance for fuel-efficient driving. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58(PD), 681–705. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.007>
- Government of Canada. (2020). *Fuel-efficient driving techniques*. <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-efficiency-transportation/personal-vehicles/fuel-efficient-driving-techniques/21038>
- Hiraoka, T., Matsumoto, S., Yamabe, S., & Terakado, Y. (2009). Quantitative evaluation of eco-driving on fuel consumption based on driving simulator experiments. <https://www.researchgate.net/publication/234054282>
- Hsu, C. Y., Lim, S. S., & Yang, C. S. (2017). Data mining for enhanced driving effectiveness: an eco-driving behaviour analysis model for better driving decisions. *International Journal of Production Research*, 55(23), 7096–7109. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1349946>
- Huang, Y., Ng, E. C. Y., Zhou, J. L., Surawski, N. C., Chan, E. F. C., & Hong, G. (2018). Eco-driving technology for sustainable road transport: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

93(June), 596–609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.030>

- Husnjak, S., Forenbacher, I., & Bucak, T. (2015). Evaluation of Eco-Driving Using Smart Mobile Devices. *PROMET - Traffic&Transportation*, 27(4), 335–344. <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i4.1712>
- Jiménez-Palacios, L. J. (1999). Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing. Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Magana, V. C., & Munoz-Organero, M. (2016). Artemisa: A Personal Driving Assistant for Fuel Saving. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15(10), 2437–2451. <https://doi.org/10.1109/TMC.2015.2504976>
- Meseguer, J. E., Calafate, C. T., Cano, J. C., & Manzoni, P. (2013). DrivingStyles: A smartphone application to assess driver behavior. *Proceedings - International Symposium on Computers and Communications*, 535–540. <https://doi.org/10.1109/ISCC.2013.6755001>
- 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. <https://doi.org/10.1109/JCN.2017.000025>
- Nasir, M. K., Md Noor, R., Kalam, M. A., & Masum, B. M. (2014). Reduction of fuel consumption and exhaust pollutant using intelligent transport systems. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/836375>
- Nesamani, K. S., Saphores, J. D., McNally, M. G., & Jayakrishnan, R. (2017). Estimating impacts of emission specific characteristics on vehicle operation for quantifying air pollutant emissions and energy use. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 4(3), 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.05.007>
- Rakha, H., Ahn, K., & Trani, A. (2004). Development of VT-Micro model for estimating hot stabilized light duty vehicle and truck emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(1), 49–74. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(03\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(03)00054-3)
- Reddy, N. R. (2019). Driving Behaviour Classification: An Eco-driving Approach.
- Sanguinetti, A., Kurani, K., & Davies, J. (2017). The many reasons your mileage may vary: Toward a unifying typology of eco-driving behaviors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.005>
- Sivak, M., & Schoettle, B. (2012). Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. *Transport Policy*, 22, 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.010>
- Stillwater, T., Kurani, K. S., & Mokhtarian, P. L. (2017). The combined effects of driver attitudes and in-vehicle feedback on fuel economy. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.013>

- United Kingdom Dept. of Transport. (2016). Advising fuel efficient driving techniques for your fleet.
- United States Environmental Protection Agency. (2018). Your Mileage May Vary. <https://www.epa.gov/greenvehicles/your-mileage-may-vary>
- US Dept. of Energy. (2015). Idling Reduction for Personal Vehicles.
- Wallin, G. Z. (2016). A supervised learning approach to estimate the drivers impact on fuel consumption A heavy-duty vehicle case study.
- Walnum, H. J., & Simonsen, M. (2015). Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks. *Transportation Research Part D*, 36, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.016>
- Wickramanayake, S., & Bandara, D. H. M. N. (2016). Fuel consumption prediction of fleet vehicles using Machine Learning: A comparative study. 2nd International Moratuwa Engineering Research Conference, MERCon 2016, 90–95. <https://doi.org/10.1109/MERCon.2016.7480121>
- Xu, Y., Li, H., Liu, H., Rodgers, M. O., & Guensler, R. L. (2017). Eco-driving for transit: An effective strategy to conserve fuel and emissions. *Applied Energy*, 194, 784–797. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.101>
- Xu, Z., Wei, T., Easa, S., Zhao, X., & Qu, X. (2018). Modeling Relationship between Truck Fuel Consumption and Driving Behavior Using Data from Internet of Vehicles. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 33(3), 209–219. <https://doi.org/10.1111/mice.12344>
- Yao, Y., Zhao, X., Liu, C., Rong, J., Zhang, Y., Dong, Z., Su, Y., & Chen, F. (2020). Vehicle Fuel Consumption Prediction Method Based on Driving Behavior Data Collected from Smartphones. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9263605>
- Yao, Y., Zhao, X., Zhang, Y., Chen, C., & Rong, J. (2020). Modeling of individual vehicle safety and fuel consumption under comprehensive external conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102224>
- Zeng, W., Miwa, T., & Morikawa, T. (2016). Prediction of vehicle CO2 emission and its application to eco-routing navigation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 68, 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.04.007>
- Zhang, H., Sun, J., & Tian, Y. (2020). The impact of socio-demographic characteristics and driving behaviors on fuel efficiency. *Transportation Research Part D*, 88(September), 102565. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102565>
- 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: Transport and Environment*, 49(5), 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008>

- Ahn, K. et al. (2002) 'Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels', *Journal of Transportation Engineering*, 128(2), pp. 182–190. doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:2(182).
- Alam, M. S. and McNabola, A. (2014) 'A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations', *Transport Policy*, 35, pp. 42–49. doi: 10.1016/j.tranpol.2014.05.016.
- Barkenbus, J. N. (2010) 'Eco-driving: An overlooked climate change initiative', *Energy Policy*, 38(2), pp. 762–769. doi: 10.1016/j.enpol.2009.10.021.
- Boriboonsomsin, K. (2015) 'Reducing the Carbon Footprint of Freight Movement through Eco-Driving Programs for Heavy-Duty Trucks', C Davis: National Center for Sustainable Transportation. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/90v1336v>.
- Box, E. and Bayliss, D. (2012) Speed limits: a review of evidence. Available at: https://www.racfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/speed_limits-box_bayliss-aug2012.pdf.
- Buhaug, H. and Urdal, H. (2013) 'An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities', *Global Environmental Change*, 23(1), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2012.10.016.
- C2ES (2021) Reducing Your Transportation Footprint. Available at: <https://www.c2es.org/content/reducing-your-transportation-footprint/>.
- Ecomobile (2021) Motive force. Available at: https://ecomobile.gouv.qc.ca/en/bases/motive_force.php.
- Epa.gov (2021) Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Available at: <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>.
- Fafoutellis, P., Mantouka, E. G. and Vlahogianni, E. I. (2020) 'Eco-Driving and Its Impacts on Fuel Efficiency: An Overview of Technologies and Data-Driven Methods', *Sustainability*, 13(1), p. 226. doi: 10.3390/su13010226.
- Faris, W. F. et al. (2011) 'Vehicle fuel consumption and emission modelling: an in-depth literature review', *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 6(3/4), p. 318. doi: 10.1504/IJVSMT.2011.044232.
- Hsu, C. Y., Lim, S. S. and Yang, C. S. (2017) 'Data mining for enhanced driving effectiveness: an eco-driving behaviour analysis model for better driving decisions', *International Journal of Production Research*, 55(23), pp. 7096–7109. doi: 10.1080/00207543.2017.1349946.
- Hu, J. et al. (2016) 'Integrated optimal eco-driving on rolling terrain for hybrid electric vehicle with vehicle-infrastructure communication', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 68(2016), pp. 228–244. doi: 10.1016/j.trc.2016.04.009.

- Huang, Y. et al. (2018) 'Eco-driving technology for sustainable road transport: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, pp. 596–609. doi: 10.1016/j.rser.2018.05.030.
- Kalila, A. et al. (2018) 'Big Data Fusion to Estimate Urban Fuel Consumption: A Case Study of Riyadh', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(24), pp. 49–59. doi: 10.1177/0361198118798461.
- Magana, V. C. and Munoz-Organero, M. (2016) 'Artemisa: A Personal Driving Assistant for Fuel Saving', *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15(10), pp. 2437–2451. doi: 10.1109/TMC.2015.2504976.
- Mavrogiannis, I. et al. (2018) Using Smartphones to Identify Ecological Driving Footprint.
- Md. Saniul Alam, Aonghus McNabola, A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations, *Transport Policy*, Volume 35, 2014, Pages 42-49, ISSN 0967-070X, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.016>.
- Mensing, F. et al. (2014) 'Eco-driving: An economic or ecologic driving style?', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, pp. 110–121. doi: 10.1016/j.trc.2013.10.013.
- Mirabella, N. and Allacker, K. (2020) 'City Environmental Footprint: insights and application of an innovative LCA-based method to evaluate urban environmental impacts', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(4), p. 042047. doi: 10.1088/1755-1315/588/4/042047.
- Motive force (2021) MERN, Energy Transition Sector. Available at: https://ecomobile.gouv.qc.ca/en/bases/motive_force.php.
- Nummelin, M. (2021) EU climate policy. Available at: <https://ym.fi/en/eu-climate-policy>.
- Rakha, H. and Ahn, K. (2003) 'Closure to "estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels"', *Journal of Transportation Engineering*, 129(5), pp. 579–581. doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:5(579).
- Rakha, H., Ahn, K. and Trani, A. (2004) 'Development of VT-Micro model for estimating hot stabilized light duty vehicle and truck emissions', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(1), pp. 49–74. doi: 10.1016/S1361-9209(03)00054-3.
- Ramanathan, R. (2000) 'Link between population and number of vehicles', *Cities*, 17(4), pp. 263–269. doi: 10.1016/S0264-2751(00)00022-6.
- Ramirez, J. D., Huertas, J. I. and Peralta, N. G. (2019) 'Aggregated Metrics to Assess Fuel Consumption in Freight Fleets', in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Thailand*. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Jenny-Diaz-Ramirez/publication/334680575_Aggregated_Metrics_to_Assess_Fuel_Consumption_in_Freight_Fleets/links/5d39c987a6fdcc370a5fd11e/Aggregated-Metrics-to-Assess-Fuel-Consumption-in-Freight-

Fleets.pdf.

- Statharas, S. et al. (2021) 'Simulating the Evolution of Business Models for Electricity Recharging Infrastructure Development by 2030: A Case Study for Greece', *Energies*, 14(9), p. 2345. doi: 10.3390/en14092345.
- Tarulescu, S. and Tarulescu, R. (2017) 'Urban Transportation Solutions for the CO2 Emissions Reduction Contributions', in *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. Cham: Springer International Publishing, pp. 442–450. doi: 10.1007/978-3-319-45447-4_49.
- De Vlieger, I., De Keukeleere, D. and Kretschmar, J. . (2000) 'Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars', *Atmospheric Environment*, 34(27), pp. 4649–4655. doi: 10.1016/S1352-2310(00)00217-X.
- Your Mileage May Vary (2021) United States Environmental Protection Agency.
- Zhao, X. et al. (2015) 'Development of a driving simulator based eco-driving support system', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, pp. 631–641. doi: 10.1016/j.trc.2015.03.030.
- Zhou, M., Jin, H. and Wang, W. (2016) 'A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49(5), pp. 203–218. doi: 10.1016/j.trd.2016.09.008.
- Φαφουτέλλης, Π. et al. (2020) Παράγοντες οικολογικής οδηγικής συμπεριφοράς και εργαλεία οικολογικής δρομολόγησης. Παραδοτέο 2.1. του έργου EcoDrive στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Επιχειρηματικότητα, Ανταγωνιστικότητα και Καινοτομία» (ΕΠΑνεΚ) του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου.