



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

«Προσδιορισμός προφίλ οικολογικής
οδήγησης με χρήση δεδομένων πραγματικής
οδήγησης και κατανάλωσης καυσίμου»

Διπλωματική Εργασία



Αθανασοπούλου Ναταλία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ε.Ι Βλαχογιάννη

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

«Η εκπαίδευση είναι η αφύπνιση της δύναμης του νου.»

- Ανδρέας Εμπειρικός

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς εκείνους που συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Οι ευχαριστίες αυτές απευθύνονται σε άτομα που έπαιξαν κρίσιμο ρόλο στην πορεία μου ως φοιτήτρια.

Καταρχάς, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες προς την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Ελένη Βλαχογιάννη. Η κα Βλαχογιάννη αποτελεί τον κύριο λόγο που αυτή η διπλωματική εργασία έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία. Οι συμβουλές και οι επικοινωνιακές κριτικές της ήταν πολύτιμες και βοήθησαν στη βελτίωση αυτής της εργασίας. Είμαι ευγνώμων για την υποστήριξή της και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ερευνήτρια Πολιτικό Μηχανικό - Συγκοινωνιολόγο κα Ελένη Μαντούκα, η οποία συνεργάστηκε μαζί μου κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Η γνώση, η εμπειρία και ο ενθουσιασμός της μεταδόθηκαν σε μένα με τον καλύτερο τρόπο και με καθοδήγησε κατά μήκος όλης αυτής της πορείας. Είμαι ευγνώμων για τον χρόνο και την ενέργεια που αφιέρωσε για να με βοηθήσει σε αυτό το έργο.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν ανιδιοτελώς κατά τη διάρκεια της πορείας μου ως φοιτήτρια. Η υποστήριξη, η ενθάρρυνση και η πίστη σε εμένα ήταν κρίσιμη για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Συνοψίζοντας, αυτή η διπλωματική εργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς την υποστήριξη και τη βοήθεια αυτών των εξαιρετικών ανθρώπων. Είμαι ευγνώμων πέραν των λέξεων και ελπίζω ότι αυτή η εργασία ανταποδίδει την εμπιστοσύνη και την υποστήριξή που μου παρασχέθηκαν.

Τίτλος: «Προσδιορισμός προφίλ οικολογικής οδήγησης με χρήση δεδομένων πραγματικής οδήγησης και κατανάλωσης καυσίμου»

Συγγραφέας Διπλωματικής Εργασίας: Ναταλία Αθανασοπούλου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ελένη Βλαχογιάννη

ΣΥΝΟΨΗ

Η αυξανόμενη κυκλοφορία οχημάτων και η ανεξέλεγκτη εκπομπή αερίων θερμοκηπίου έχουν προκαλέσει ανησυχίες για την ποιότητα του αέρα και τις αλλαγές του κλίματος στην κοινωνία, η οποία αναζητά λύσεις για τη μείωση του αντίκτυπου των οδικών μεταφορών στο περιβάλλον. Προς εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού, η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στον προσδιορισμό των προφίλ οικολογικής οδήγησης με τη χρήση δεδομένων πραγματικής οδήγησης και κατ' επέκταση στη συσχέτιση των προφίλ αυτών με την κατανάλωση καυσίμου. Η ανίχνευση των προφίλ οδήγησης βασίζεται στην εφαρμογή του αλγόριθμου ομαδοποίησης k-means, σε ένα πλήθος δεδομένων διαδρομών συλλεγμένο από έξυπνα κινητά τηλέφωνα και μονάδες OBD εγκατεστημένα σε αυτοκίνητα. Από την ανάλυση προκύπτουν τρία προφίλ συμπεριφοράς οδήγησης, το οικολογικό, το μη οικολογικό και το ενδιάμεσο προφίλ. Στο οικολογικό προφίλ, παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές χαρακτηριστικών οδήγησης, όπως η μέση επιτάχυνση και επιβράδυνση, το ποσοστό της συνολικής μέσης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, καθώς και η μέγιστη επιτάχυνση και επιβράδυνση. Αντίθετα, το μη οικολογικό προφίλ χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές στις περισσότερες από τις ίδιες μεταβλητές. Η κατανάλωση καυσίμου είναι χαμηλότερη στα οικολογικά προφίλ. Παρατηρείται ότι οι μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με την απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση επηρεάζουν περισσότερο τα προφίλ οδήγησης και συμβάλουν στον διαχωρισμό τους με σαφήνεια (συμπαγείς και διαχωρισμένες ομάδες).

Λέξεις κλειδιά: Επιτάχυνση, Επιβράδυνση, Συμπεριφορά Οδήγησης, Προφίλ Οδηγού, Ομαδοποίηση K-μέσων, Οικολογική Οδήγηση, Κατανάλωση Καυσίμου

Title: "Identification of Eco-Driving Profiles Using Real-World Driving Data and Fuel Consumption"

Thesis Author: Natalia Athanasopoulou

Thesis Supervising Professor: Eleni I. Vlahogianni

ABSTRACT

The increasing travel demand and uncontrolled greenhouse gas emissions have raised concerns about air quality and climate change in society, which is seeking solutions to reduce the impact of road transportation on the environment. To serve this purpose, the present thesis aims to identify eco-driving profiles using real driving data, and subsequently, to correlate of these profiles with fuel consumption. The profiles identification is based on k-means clustering on a plethora of data collected from certain drivers using a mobile operating system application and from the On-Board Diagnostics (OBD) unit installed in the drivers' cars. Three driving behaviour profiles emerged: ecological, non-ecological, and intermediate profiles. In the ecological profile, lower values are observed in variables such as average acceleration and deceleration, the percentage of total average acceleration and deceleration, as well as maximum acceleration and deceleration. In contrast, the non-ecological profile is characterized by higher values in most of the same variables. Fuel consumption takes on lower values in ecological profiles. It is observed that variables related to harsh acceleration and deceleration have a greater impact on driving profiles and their efficient identification (dense and separated clusters).

Keywords: Acceleration, Deceleration, Driving Behaviour, Driver Profile, K-Means Clustering, Eco-Driving, Fuel Consumption.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η οικολογική οδήγηση είναι μια σημαντική πρακτική που στοχεύει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των οδικών μεταφορών στο περιβάλλον και στη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ρύπων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ομαλής, τεχνικά υποστηριζόμενης οδήγησης που οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών. Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, η οικολογική οδήγηση έχει θετικές επιπτώσεις στην οικονομία και μπορεί να βελτιώσει την οδική ασφάλεια. Η οικολογική οδήγηση αναπτύσσεται σε τρεις βασικές κατηγορίες αποφάσεων: στρατηγικές, τακτικές και επιχειρησιακές. Κάθε κατηγορία επηρεάζει διαφορετικούς παράγοντες, όπως την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές ρύπων και την εξοικονόμηση ενέργειας. Οι αποφάσεις του οδηγού, όπως η ομαλή οδήγηση και η επιλογή οικολογικών διαδρομών, μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος. Η υπάρχουσα έρευνα επιβεβαιώνει αυτά τα αποτελέσματα, δείχνοντας ποσοστά μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου από 1% έως 20% (1), (2), (3). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι τα εκπαιδευτικά προγράμματα για την οικολογική οδήγηση αποτελούν αποτελεσματικό μέσο για την προώθηση βιώσιμης οδήγησης.

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας λαμβάνει χώρα το παρακάτω πείραμα. Ένα πλήθος δεδομένων συλλέγεται από τα έξυπνα κινητά 25 μοναδικών οδηγών από τον Απρίλιο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2022 με πλήθος διαφορετικών συνθηκών, όπως ώρα, ημέρα, τύπος οδού και άλλα. Η ενέργεια αυτή γίνεται χάρη σε μία αναπτυγμένη εφαρμογή του λειτουργικού συστήματος του έξυπνου κινητού και τη μονάδα OBD που είναι εγκατεστημένη στο αυτοκίνητο κάθε οδηγού για τους σκοπούς του πειράματος. Για τη συγκεκριμένη έρευνα, τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων, η οποία είναι σε μορφή ηλεκτρονικού υπολογιστικού φύλλου, το οποίο διαθέτει 1509 εγγραφές. Μετρήσεις καταγράφονται για 145 μεταβλητές, για κάθε ταξίδι αντίστοιχα.

Για να αναλυθεί η συμπεριφορά οδήγησης, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος K-means για τον χαρακτηρισμό των ταξιδιών, διαιρώντας τα δεδομένα σε συστάδες. Ο αλγόριθμος επιλέγει αυτόματα τον αριθμό των ομάδων και επαναλαμβάνει τη διαδικασία μέχρι να σταθεροποιηθούν τα κέντρα των ομάδων ή να επιτευχθεί ένα όριο επαναλήψεων. Αυτό επιτρέπει την ομαδοποίηση των δεδομένων και την εξαγωγή ποιοτικών πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά οδήγησης.

Για την ανάλυση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων αναπτύσσεται κώδικας που περιλαμβάνει βήματα, όπως φόρτωση βιβλιοθηκών, ανάγνωση βάσης δεδομένων, επιλογή μεταβλητών για την ομαδοποίηση, και προβολή στατιστικών χαρακτηριστικών. Το κύριο αποτέλεσμα είναι η επιλογή των μεταβλητών για τη δημιουργία προφίλ συμπεριφορών οδήγησης, περιλαμβάνοντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων μεταβλητών.

Στην ανάλυση δεδομένων χρηστών, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος K-means για την ομαδοποίηση, με την επιλογή του αριθμού των ομάδων και την αξιολόγηση μέσω του διαγράμματος σιλουέτας. Ο αλγόριθμος εκτελείται πολλές φορές, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διαγράμματα για καλύτερη κατανόηση. Ως βέλτιστος αριθμός ομάδων θεωρήθηκε ο αριθμός τρία. Οι μεταβλητές που επιλέγονται είναι: ο μέσος αριθμός φορών που ο οδηγός επιταχύνει απότομα το όχημα ανά λεπτό, η μέση επιτάχυνση στο εκάστοτε ταξίδι, το 90% του ποσοστού της συνολικής μέσης επιτάχυνσης στο εκάστοτε ταξίδι, ο μέσος αριθμός φορών που ο οδηγός επιβραδύνει απότομα το όχημα ανά λεπτό, η μέση επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι, το 90% του ποσοστού της συνολικής μέσης επιβράδυνσης στο εκάστοτε ταξίδι, η μέγιστη επιτάχυνση στο εκάστοτε ταξίδι, η μέγιστη επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι, το μέτρο οικολογικής οδήγησης που ισούται με την κινητική ενέργεια στη συνολική απόσταση και τέλος η κατανάλωση καυσίμου στο εκάστοτε ταξίδι. Οι ομάδες χαρακτηρίζονται ως οικολογική "eco," ενδιάμεση "moderate," και μη οικολογική "non-eco," βάσει των χαρακτηριστικών τους. Ο δείκτης σιλουέτας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας της ομαδοποίησης, είναι 0,49, υποδεικνύοντας καλό διαχωρισμό των ομάδων.

Η ανάλυση των προφίλ οδήγησης με βάση τις μεταβλητές αποκαλύπτει σημαντικές διαφορές μεταξύ του οικολογικού, μη οικολογικού και ενδιάμεσου προφίλ. Στο οικολογικό προφίλ, παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές σε πολλές μεταβλητές που σχετίζονται με τη συμπεριφορά οδήγησης, όπως η μέση επιτάχυνση και επιβράδυνση, το ποσοστό της συνολικής μέσης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, η κινητική ενέργεια στο ταξίδι καθώς και η μέγιστη επιτάχυνση και επιβράδυνση. Αυτό υποδεικνύει μια στρατηγική οδήγησης που επιδιώκει την οικονομία καυσίμων και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Αντίθετα, το μη οικολογικό προφίλ χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές στις περισσότερες από τις ίδιες μεταβλητές, υποδεικνύοντας μια πιο αυθόρμητη συμπεριφορά οδήγησης με απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Το ενδιάμεσο προφίλ βρίσκεται ανάμεσα σε αυτές τις δύο ακραίες στρατηγικές. Η κατανάλωση καυσίμου είναι χαμηλότερη στο οικολογικό προφίλ, προσφέροντας οικονομικά οφέλη. Τέλος, η χρήση μετρήσεων της κινητικής ενέργειας προς τη διάρκεια του ταξιδιού ως μέτρο οικολογικής οδήγησης

μπορεί να προσδιορίσει ακόμα περισσότερο τις πτυχές της οικολογικής οδήγησης που χαρακτηρίζουν τα διάφορα προφίλ.

Συμπεραίνεται ότι ορισμένα χαρακτηριστικά ή μεταβλητές επηρεάζουν την ομαδοποίηση των δεδομένων περισσότερο από άλλα. Οι μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με την απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση επηρεάζουν περισσότερο τα προφίλ και συμβάλουν στον διαχωρισμό τους με σαφήνεια. Οι μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με την ταχύτητα φαίνεται να παίζουν ρόλο αλλά πιο δευτερεύων στο διαχωρισμό των προφίλ συμπεριφοράς οδήγησης ενώ η μεταβλητή της κατανάλωσης καυσίμου παίζει ακόμη έναν σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση του οικολογικής οδήγησης.

Κατά τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας, δημιουργούνται προβληματισμοί οι οποίοι οδηγούν στην ανάγκη για περαιτέρω έρευνα. Η πειραματική δοκιμή προτείνεται να διεξαχθεί μελλοντικά σε πραγματικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους τύπους δρόμων και διαφορετικές καιρικές ή κυκλοφοριακές συνθήκες. Επιπλέον, οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη κριτηρίων προφίλ για διαφορετικά μεγέθη και είδη πόλεων, καθώς και για διάφορες συνθήκες κυκλοφορίας. Θα ήταν επίσης χρήσιμο να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα της οικολογικής οδήγησης σε διάφορες κοινωνικές και ηλικιακές ομάδες και διαφορετικά φύλα. Σε ενδεχόμενη νέα πειραματική δοκιμή, θα μπορούσαν επίσης να εξεταστούν επιπλέον τύποι οχημάτων, όπως οι μοτοσυκλέτες. Η ανατροφοδότηση των χρηστών σχετικά με τα κριτήρια δημιουργίας προφίλ θα μπορούσε επίσης να αποτελέσει σημαντική προσθήκη στο υφιστάμενο επιστημονικό υλικό. Τέλος, η ανάλυση της συσχέτισης των δεδομένων οδήγησης στο πεδίο της οικολογικής οδήγησης με την Τεχνητή Νοημοσύνη θα ήταν ιδιαίτερως ενδιαφέρουσα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1.	Η σημασία της οικολογικής οδήγησης.....	1
1.2.	Διερεύνηση της συμπεριφοράς οδηγού.....	4
1.3.	Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	5
1.4.	Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	6
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	8
2.1.	Αρχές Οικολογικής Οδήγησης.....	8
2.1.1.	Ορισμός Οικολογικής Οδήγησης.....	8
2.1.2.	Τεχνικές Οικολογικής Οδήγησης.....	9
2.1.3.	Κατηγορίες Αποφάσεων Οδήγησης.....	11
2.1.4.	Υπάρχουσα πολιτική.....	14
2.1.5.	Εκπαιδευτικά προγράμματα.....	16
2.1.6.	Επιπτώσεις Οικολογικής Οδήγησης.....	19
2.2.	Ανίχνευση Προφίλ Οδήγησης.....	24
2.2.1.	Πειράματα Φυσικής Οδήγησης.....	24
2.2.2.	Τεχνολογίες Συλλογής Δεδομένων Οδήγησης.....	26
2.3.	Προφίλ Συμπεριφοράς Οδηγού.....	28
2.3.1.	Εισαγωγή.....	28
2.3.2.	Παράμετροι συμπεριφοράς του οδηγού.....	28
2.3.3.	Διαφορετικά είδη προφίλ οδήγησης.....	31
2.3.4.	Μέθοδοι για την κατηγοριοποίηση οδηγών.....	34
2.4.	Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας.....	38
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	39
3.1.	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	41
3.1.1.	Ομαδοποίηση.....	41
3.1.2.	Μέθοδος K-Means.....	42
3.2.	Περιγραφή πειράματος.....	46
3.2.1.	Συλλογή Δεδομένων.....	46

3.2.2.Βάση δεδομένων	47
3.2.3.Περιγραφή της διαδικασίας Προεργασίας	49
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	51
4.1.Εφαρμογή Ομαδοποίησης k-means.....	51
4.1.1. Φόρτωση Βιβλιοθηκών	51
4.1.2. Διάβασμα της Βάσης Δεδομένων και Επιλογή Μεταβλητών	52
4.1.3.Ομαδοποίηση K-means και Δημιουργία Διαγράμματος Σιλουέτας.....	54
4.2.Περιγραφή Δεύτερου Μέρους Κώδικα – Διαγράμματα	60
4.2.1.Ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό και ανά ομάδα.....	60
4.2.2.Διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων ανά ομάδα	63
4.2.3.Κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις.....	65
4.2.4. Διάγραμμα «Clusplot» σε δύο διαστάσεις	67
4.2.5.Κατανάλωση καυσίμου ανά ομάδα	69
4.2.6. Εξέταση σχέσεων ανά δύο μεταβλητών για τις τρεις ομάδες	71
4.2.7. Συσχέτιση του αριθμού απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα	73
4.2.8. Συσχέτιση του αριθμού απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα	74
4.2.9. Συσχέτιση της μέσης ταχύτητας με το είδος καυσίμου ανά ομάδα	75
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	77
5.1.Βασικά Συμπεράσματα.....	77
5.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	80
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	92

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά άτομο ανάλογα με το μεταφορικά μέσο (Πηγή: 5)	1
Εικόνα 2-1 Χαρακτηριστικά συμπεριφοράς οικολογικής οδήγησης (Πηγή: 14)	8
Εικόνα 2-2 Διαδικασία συλλογής δεδομένων με OBD (Πηγή: 26)	34
Εικόνα 3-1 Οπτικοποίηση μεθόδου K-Means (Πηγή: 99)	42
Εικόνα 4-1 Μέρος αλγορίθμου clustering, φόρτωση βιβλιοθηκών	51
Εικόνα 4-2 Μέρος αλγορίθμου clustering, διάβασμα βάσης δεδομένων και επιλογή μεταβλητών	52
Εικόνα 4-3 Αποτελέσματα αλγορίθμου για χαρακτηριστικά δείγματος ανά μεταβλητή	52
Εικόνα 4-4 Ομαδοποίηση K-means και δημιουργία διαγράμματος σιλουέτας	55
Εικόνα 4-5 Μέρος αλγορίθμου, ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων	61
Εικόνα 4-6 Μέρος αλγορίθμου, ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων	62
Εικόνα 4-7 Μέρος αλγορίθμου, διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων ανά ομάδα	63
Εικόνα 4-8 Μέρος αλγορίθμου, κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις	65
Εικόνα 4-9 Μέρος αλγορίθμου, κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις	67
Εικόνα 4-10 Μέρος αλγορίθμου, κατανάλωση καυσίμου ανά ομάδα	69
Εικόνα 4-11 Μέρος αλγορίθμου, εξέταση σχέσεων ανά δύο μεταβλητών για τις τρεις ομάδες	71
Εικόνα 4-12 Μέρος αλγορίθμου, αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα	73
Εικόνα 4-13 Μέρος αλγορίθμου, αριθμός απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα	74

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2-1 Κατηγορίες αποφάσεων οδήγησης (Πηγή: 6).....	11
Διάγραμμα 2-2 Σχέση κατανάλωσης καυσίμου με ταχύτητα και «πράσινη περιοχή» (Πηγή: 8)	13
Διάγραμμα 2-3 Αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου πριν και μετά την εκπαίδευση της οικολογικής οδήγησης ανά είδος οχήματος (Πηγή: 40).....	16
Διάγραμμα 2-4 Επίδραση Οικολογικής Οδήγησης (%) ανάλογα με το είδος οχημάτων και σύγκριση ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων (Πηγή: 55)	18
Διάγραμμα 2-5 Μέθοδος των Massoud et al. (Πηγή: 86).....	36
Διάγραμμα 2-6 Αλγόριθμος βαθμολογίας απόδοσης καυσίμου Massoud et al. (Πηγή: 86).....	37
Διάγραμμα 3-1 Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας.....	40
Διάγραμμα 3-2 Διάγραμμα ροής διαδικασίας ομαδοποίησης (Πηγή: 101).....	43
Διάγραμμα 3-3 Βέλτιστος αριθμός συστάδων	45
Διάγραμμα 4-1 Διάγραμμα και δείκτης silhouette των τριών συστάδων.....	59
Διάγραμμα 4-2 Ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό για κάθε ομάδα.....	61
Διάγραμμα 4-3 Ιστόγραμμα των απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό για κάθε ομάδα.....	62
Διάγραμμα 4-4 Διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων ανά ομάδα συγκριτικά με την κατανάλωση καυσίμου, το 90% της επιτάχυνσης και το μέτρο οικολογικής οδήγησης.....	64
Διάγραμμα 4-5 Κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις σε σχέση με το 90% των επιβραδύνσεων και το 90% των επιταχύνσεων.....	66
Διάγραμμα 4-6 Κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις ανά χρώμα	68
Διάγραμμα 4-7 Κατανάλωση καυσίμου ανά ομάδα	70
Διάγραμμα 4-8 Εξέταση σχέσεων ανά δύο μεταβλητών για τις τρεις ομάδες	72
Διάγραμμα 4-9 Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα	73
Διάγραμμα 4-10 Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα	74
Διάγραμμα 4-11 Μέση ταχύτητα ανά ομάδα, για κάθε τύπο καυσίμου	75
Διάγραμμα 4-12 Μέγιστη ταχύτητα ανά ομάδα, για κάθε τύπο καυσίμου	76

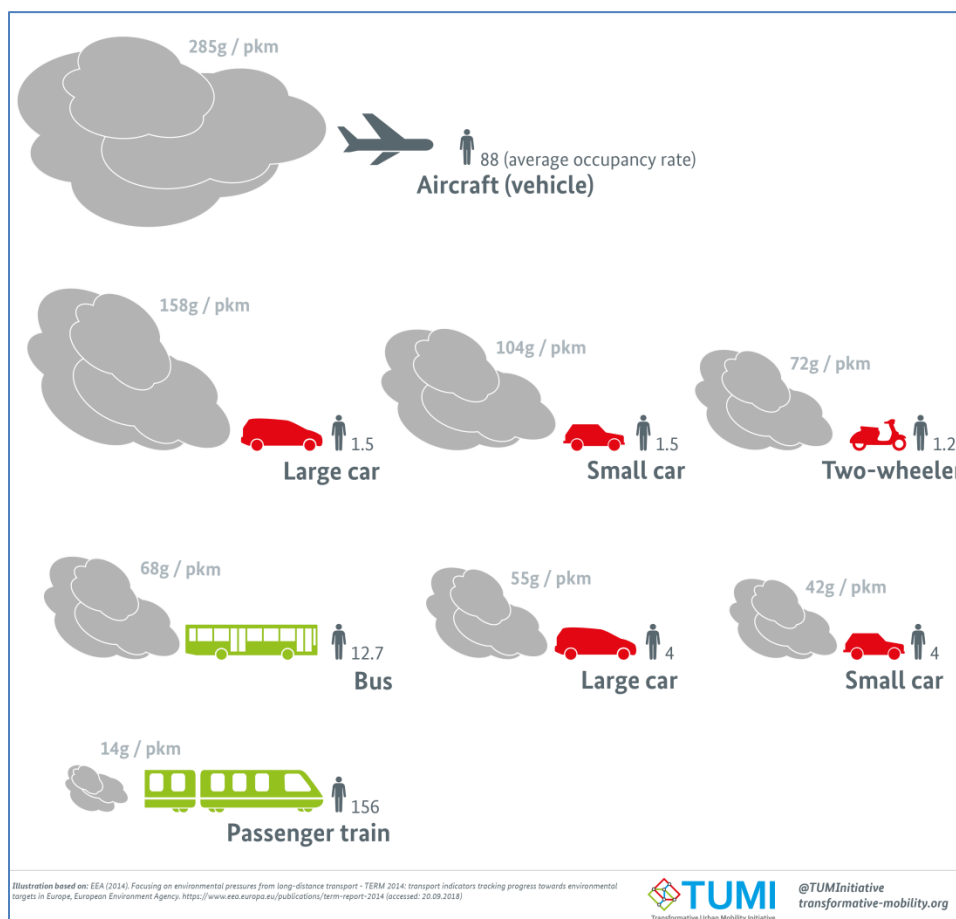
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1 Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν από τη βάση δεδομένων	48
Πίνακας 4-1 Μεταβλητές που επιλέχθηκαν για τον αλγόριθμο	54
Πίνακας 4-2 Τιμές κέντρων κάθε μεταβλητής ανά συστάδα.....	55
Πίνακας 4-3 Αποτελέσματα συσχέτισης μεταβλητών με προφίλ οδήγησης.....	57

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η σημασία της οικολογικής οδήγησης

Τα τελευταία χρόνια σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες, ο τομέας των μεταφορών έχει κατηγορηθεί σε μεγάλο βαθμό για τις αρνητικές επιπτώσεις του στο περιβάλλον. Έχει παρατηρηθεί ότι οι εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές αποτελούν το 25% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) στην ατμόσφαιρα, επηρεάζοντας σοβαρά το φυσικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές είναι επίσης μία από τις κύριες πηγές εκπομπής CO₂, καταλαμβάνοντας σχεδόν το 95% των εκπομπών (4). Ως εκ τούτου, στην επιδίωξη της ουδετερότητας του άνθρακα έως το 2050, πολλές χώρες θέτουν ως έναν από τους κύριους στόχους τους τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1-1 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά άτομο ανάλογα με το μεταφορικά μέσο (Πηγή: 5)

Ένα αναδυόμενο εργαλείο πολιτικής για τη μείωση αυτών των εκπομπών είναι η οικολογική οδήγηση. Η χρήση τεχνικών οικολογικής οδήγησης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 10% έως 20%, ανάλογα με τις συνθήκες. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων, ενισχύοντας έτσι την προσπάθεια για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τη μείωση του ανθρωπίνου αποτυπώματος.

Είναι προφανές ότι η βελτίωση της συμπεριφοράς οδήγησης των οδηγών συνδράμει στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών (2), (3). Η οικολογική οδήγηση ή «πράσινη οδήγηση» είναι η υιοθέτηση ενός πιο ομαλού στυλ οδήγησης χρησιμοποιώντας μια τεχνική λήψης αποφάσεων που οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές καυσαερίων (3), (6). Επιπλέον, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, διδάσκοντας τους οδηγούς πώς να υιοθετούν τη συμπεριφορά οικολογικής οδήγησης, θα μπορούσε να είναι επίσης ένας τρόπος για τη μείωση της χρήσης κινητικής ενέργειας αλλά και των εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον (6).

Η οικολογική οδήγηση αναδεικνύεται ως μια πρακτική προσέγγιση που στοχεύει στη βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής ρύπων κατά τη διάρκεια των οδικών μετακινήσεων. Περιλαμβάνει μια σειρά από τεχνικές και στρατηγικές, οι οποίες ενθαρρύνουν την αποτελεσματικότερη χρήση των οχημάτων, τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και τη βελτίωση της συνολικής οδικής ασφάλειας. Πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη, η οικολογική οδήγηση μπορεί επίσης να έχει θετικές επιπτώσεις στην οικονομία του ατόμου και του συνόλου της κοινωνίας.

Όταν ο οδηγός εκτελεί τεχνικές οικολογικής οδήγησης, οφείλει να υπακούει σε ορισμένες αρχές. Ο οδηγός πρέπει να διατηρεί σταθερή ταχύτητα, να επιταχύνει και να επιβραδύνει ομαλά, να χρησιμοποιεί βέλτιστη ταχύτητα, να φρενάρει λιγότερο και να προβλέπει τη ροή της κυκλοφορίας με σκοπό να ελαχιστοποιεί το φρενάρισμα (7). Μια πολύ κρίσιμη πτυχή της συμπεριφοράς οικολογικής οδήγησης είναι η προσαρμογή της ταχύτητας. Συγκεκριμένη έρευνα έχει δείξει ότι υπάρχει μια «πράσινη ζώνη ταχύτητας» εντός της οποίας επιτυγχάνεται η βέλτιστη οικονομία καυσίμου κατά την οδήγηση (8).

Η συμπεριφορά της οικολογικής οδήγησης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Χαρακτηριστικά του οδηγού, όπως οι ατομικές αξίες, οι πεποιθήσεις και η ευαισθησία στα περιβαλλοντικά ζητήματα, μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή της οικολογικής οδήγησης. Επίσης, τα χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως η

κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές, επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού. Επιπλέον, οι συνθήκες του δρόμου, όπως η συμφόρηση και οι οδικές συνθήκες, επηρεάζουν τις αποφάσεις του οδηγού σχετικά με την ταχύτητα και τη στάση του οχήματος.

Έχει παρατηρηθεί ότι η οικολογική οδήγηση αναφέρεται ως επί το πλείστον σε έναν ομαλό τρόπο οδήγησης και επομένως, τίθεται ένα πολύ κρίσιμο ερώτημα: πόσο ασφαλής είναι η προσαρμογή μιας συμπεριφοράς οικολογικής οδήγησης; Ή με άλλα λόγια, η αποδοτική οδήγηση συνεπάγεται απαραίτητως ασφαλή οδική συμπεριφορά; Προκειμένου να απαντηθούν τέτοιες ερωτήσεις, θα πρέπει να υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων που να περιγράφουν τόσο τη συμπεριφορά οδήγησης όσο και την κατανάλωση καυσίμου.

1.2. Διερεύνηση της συμπεριφοράς οδηγού

Η πρόσφατη πρόοδος στις συσκευές τηλεματικής προσφέρει μια εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους για τη βελτίωση της συμπεριφοράς οδήγησης παρέχοντας πληροφορίες στον οδηγό σχετικά με τη συμπεριφορά του. Έχει παρατηρηθεί ότι η συμπεριφορά του οδηγού είναι μία από τις κύριες αιτίες της λανθασμένης οδήγησης, προκαλώντας αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων του οχήματος (9), (10).

Προκειμένου να διερευνηθεί η πολιτική οικολογικής οδήγησης, η βιβλιογραφία καταδεικνύει την αναγκαιότητα μέτρησης ενός αριθμού μεταβλητών του οχήματος και του στυλ οδήγησης. Μέχρι σήμερα, η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων οδήγησης γρήγορα και εύκολα. Τα σύγχρονα οχήματα επιτρέπουν πολλές πτυχές κατανόησης της κίνησης του αυτοκινήτου, μέσω του ενσωματωμένου διαγνωστικού συστήματος (OBD). Για το σκοπό αυτό, οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου διαχειρίζονται τον κινητήρα, το κιβώτιο ταχυτήτων, τα φρένα και άλλες λειτουργίες. Επιπλέον, οι πληροφορίες που συλλέγονται από αυτό το σύστημα μπορούν εύκολα να μεταφερθούν σε έξυπνα κινητά χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή και στη συνέχεια να παραδοθούν στους ερευνητές.

Παρά τις προφανείς προόδους στην έρευνα και την εφαρμογή της οικολογικής οδήγησης, πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα και πολλές πτυχές της συμπεριφοράς των οδηγών και των παραγόντων που την επηρεάζουν παραμένουν ανεξερεύνητες. Επιπλέον, η αποτελεσματική προώθηση της οικολογικής οδήγησης αναγκάζει την ανάπτυξη ευφυών εκπαιδευτικών προγραμμάτων και πολιτικών που θα ενθαρρύνουν την υιοθέτηση των νέων αυτών συμπεριφορών.

1.3. Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η σύγχρονη κοινωνία αντιμετωπίζει αυξανόμενες προκλήσεις στον τομέα της βιωσιμότητας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Η αυξανόμενη κυκλοφορία οχημάτων και η ανεξέλεγκτη εκπομπή αερίων θερμοκηπίου έχουν προκαλέσει ανησυχίες για την ποιότητα του αέρα και τις αλλαγές του κλίματος. Σε αυτό το πλαίσιο, η έννοια της οικολογικής οδήγησης έχει εμφανιστεί ως μία από τις κυριότερες λύσεις για τη μείωση του αντίκτυπου των οδικών μεταφορών στο περιβάλλον. Είναι λοιπόν αναγκαία η εξοικείωση των οδηγών με την έννοια αυτή, ώστε να γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της συμπεριφοράς τους.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση προφίλ οικολογικής οδήγησης με τη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης και δεδομένων από πειράματα φυσικής οδήγησης. Για την επίτευξη του στόχου, αρχικά εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των οδηγών, οι οικολογικές επιπτώσεις και οι τρόποι προώθησής της μέσω προγραμμάτων εκπαίδευσης και πολιτικών, όπως αυτά καταγράφονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τεχνικές μη επιβλεπόμενης μάθησης καθορίζονται διαφορετικά προφίλ οδήγησης που αναδεικνύουν τόσο τα μοτίβα της οικολογικής οδήγησης όσο και άλλες επικίνδυνες συμπεριφορές οδήγησης. Τέλος, μέσω στατιστικής ανάλυσης διερευνώνται περαιτέρω οι σχέσεις μεταξύ των προφίλ οδήγησης με την κατανάλωση καυσίμου και άλλους κρίσιμους παράγοντες.

Για τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας, χρησιμοποιούνται δεδομένα οδήγησης τα οποία συλλέγονται μέσω ενός πειράματος φυσικής οδήγησης, χρησιμοποιώντας αισθητήρες έξυπνων κινητών και OBD τοποθετημένα σε αυτοκίνητα, προκειμένου να προσδιορισθεί το οικολογικό προφίλ οδήγησης. Τα δεδομένα αυτά αφορούν χαρακτηριστικά οδήγησης όπως είναι η επιτάχυνση, η ταχύτητα, η πέδηση, η επιβράδυνση κ.ά.

1.4. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία συνοπτική αναφορά στη δομή κάθε κεφαλαίου και στα κυριότερα σημεία τα οποία θίγονται. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα εξετασθούν αναλυτικά οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση μέσω πειράματος, οι προκλήσεις και τα οφέλη της, καθώς και οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για την προώθησή της. Τέλος, θα αναλυθούν οι προοπτικές και οι πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα αυτόν.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται μία σύντομη εισαγωγή των εννοιών οι οποίες αναλύονται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αρχικά, αναλύεται η σημασία της οικολογικής οδήγησης και η αναγκαιότητα εύρεσης μίας λύσης στις περιβαλλοντικές ανησυχίες της εποχής μας. Έπειτα, γίνεται μία σύντομη αναφορά στη συμπεριφορά οδηγού, στα χαρακτηριστικά από τα οποία επηρεάζεται αυτή και στους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να την ερευνήσουμε και να εξάγουμε δεδομένα. Τέλος, αναφέρεται ο σκοπός εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ερωτήματα που ελπίζουμε να απαντηθούν στη συνέχεια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αρχικά αναφέρονται οι αρχές οικολογικής οδήγησης, όπως ο ορισμός της έννοιας αυτής και ορισμένες τεχνικές επίτευξής της. Στη συνέχεια, παρατίθεται η υπάρχουσα πολιτική μέχρι σήμερα ανά τον κόσμο και τα εκπαιδευτικά προγράμματα τα οποία έχουν λάβει μέρος για τη θέσπιση των αρχών της οικολογικής οδήγησης. Φυσικά, δε θα μπορούσε να παραλειφθεί μία εκτενής αναφορά στην ήδη υπάρχουσα έρευνα σε άρθρα και επιστημονικά περιοδικά, σχετικά με το εν λόγω αντικείμενο. Σε επόμενο στάδιο παρουσιάζονται οι τρόποι συλλογής δεδομένων με ορισμένες συσκευές, ο τρόπος δημιουργίας προφίλ συμπεριφοράς οδηγού και οι σχετικές παράμετροι. Τέλος, γίνεται αναφορά στα διαφορετικά είδη προφίλ οδήγησης αλλά και στις μεθόδους για την κατηγοριοποίηση συμπεριφορών οδηγών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογική προσέγγιση του πειραματικού μέρους της εργασίας. Αρχικά γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο είναι απαραίτητο για την κατανόηση της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθεί, με κυριότερα σημεία την ανάλυση ομαδοποίησης (clustering analysis) και την ανάλυση της μεθόδου k-means. Έπειτα, παρατίθεται το διάγραμμα ροής εργασιών και η περιγραφή πειράματος με σημαντικότερα στάδια τη διαδικασία της συλλογής δεδομένων, την περιγραφή της βάσης δεδομένων και την περιγραφή της διαδικασίας προεργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση του αλγορίθμου και αποτελέσματα που εξάγονται από την επεξεργασία των δεδομένων. Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου περιγράφεται το αρχικό μέρος του κώδικα με κυριότερα σημεία την ομαδοποίηση K-means, τη φόρτωση βιβλιοθηκών, το διάβασμα της βάσης δεδομένων και επιλογή μεταβλητών και τη δημιουργία του διαγράμματος σιλουέτας. Στο επόμενο μέρος του κεφαλαίου, γίνεται η περιγραφή του δεύτερου μέρους κώδικα που αφορά στη δημιουργία και επεξήγηση ορισμένων διαγραμμάτων. Επίσης, σχολιάζεται η συσχέτιση των προφίλ με την κατανάλωση καυσίμου αλλά και άλλες σημαντικές μεταβλητές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναγράφονται ορισμένα βασικά συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν από την παραπάνω έρευνα αλλά και προτάσεις για πιθανή περαιτέρω έρευνα.

Στο έκτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η πλήρης βιβλιογραφία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, από επιστημονικά άρθρα, περιοδικά, συνέδρια και βιβλία.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Αρχές Οικολογικής Οδήγησης

2.1.1. Ορισμός Οικολογικής Οδήγησης

Η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι οι εκπομπές από τις μεταφορές καλύπτουν το 26% των συνολικών εκπομπών CO₂ στην Ευρωπαϊκή Ένωση (11). Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια υπήρξε σημαντικό ενδιαφέρον για τις τεχνικές οικολογικής οδήγησης όσον αφορά στη μείωση των εκπομπών των οχημάτων (6), (12), (13). Οι εκπομπές από το οχήματα περιλαμβάνουν κυρίως περιβαλλοντικούς ρύπους όπως μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου. Η οικολογική οδήγηση είναι μια διαδικασία λήψης αποφάσεων που επηρεάζει την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές των οχημάτων, ο τελικός στόχος της οποίας είναι η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της οδήγησης (6). Στην Εικόνα 2.1 φαίνονται ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της οικολογικής οδήγησης με τους αντίστοιχους τίτλους.



Εικόνα 2-1 Χαρακτηριστικά συμπεριφοράς οικολογικής οδήγησης (Πηγή: 14)

2.1.2.Τεχνικές Οικολογικής Οδήγησης

Ως τεχνικές οικολογικής οδήγησης μπορούν να θεωρηθούν η σωστή εκκίνηση κινητήρα, το φρενάρισμα του οχήματος με τον κατάλληλο τρόπο και τη σωστή χρονική στιγμή και η διατήρηση της βέλτιστης ταχύτητας. Η υιοθέτηση των συμπεριφορών αυτών συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και συνεπώς, των εκπομπών CO₂. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα εφαρμόζοντας τις τεχνικές αυτές, είναι η εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας, η απαίτηση λιγότερης συντήρησης, η βελτίωση της μέσης ταχύτητας, η μείωση του κινδύνου ατυχημάτων και τέλος η άνεση του οδηγού. Τα εκπαιδευτικά προγράμματα οικολογικής οδήγησης τα οποία πραγματοποιούνται για μεμονωμένους οδηγούς συνήθως αποτελούνται από δύο μέρη: θεωρητικά και πρακτικά. Στο πρακτικό κομμάτι, δίνεται έμφαση στην ομαλή οδήγηση διατηρώντας σταθερή ταχύτητα, αλλάζοντας ταχύτητες σε χαμηλές στροφές ανά λεπτό και αποφεύγοντας όσο το δυνατόν περισσότερο την απότομη επιτάχυνση και απότομη επιβράδυνση (15).

Μία από τις σημαντικότερες τεχνικές οικολογικής οδήγησης είναι η **ομαλή επιτάχυνση και επιβράδυνση**. Η τεχνική αυτή συνίσταται στην αποφυγή απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, καθώς αυτές καταναλώνουν περισσότερο καύσιμο. Ο οδηγός προσπαθεί να διατηρεί σταθερή ταχύτητα και να χρησιμοποιεί το φρένο και το γκάζι απαλά. Η επιλογή μιας **βέλτιστης ταχύτητας** για κάθε συγκεκριμένη συνθήκη δρόμου μπορεί να βοηθήσει στην εξοικονόμηση καυσίμου. Για παράδειγμα, σε αυτοκινητόδρομο μπορεί να είναι πιο οικονομικό να τηρείται μια σταθερή ταχύτητα που επιτρέπει τη μέγιστη απόδοση καυσίμου. Από τη λίστα των τρόπων υιοθέτησης των κανόνων της οικολογικής οδήγησης δε θα μπορούσε να λείπει η **πρόβλεψη συνθηκών κυκλοφορίας**. Η παρακολούθηση της κυκλοφορίας και η πρόβλεψη των κινήσεων των άλλων οχημάτων μπορεί να βοηθήσει τον οδηγό να αποφύγει απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις, βελτιώνοντας έτσι την οικονομία καυσίμου.

Αρκετά σημαντικός είναι πλέον ο ρόλος της τεχνολογίας στην προώθηση της οικολογικής οδήγησης. Ένας από αυτούς είναι οι **ενδείξεις στο εσωτερικό του οχήματος**. Πολλά σύγχρονα οχήματα διαθέτουν πληροφορίες στον οδηγό, όπως ένδειξη για τη βέλτιστη στιγμή για αλλαγή ταχυτήτων, κατανάλωση καυσίμου κ.λπ. Τέλος, αξίζει να γίνει αναφορά στις **εφαρμογές των έξυπνων κινητών**. Σήμερα, υπάρχει πληθώρα διαθέσιμων δωρεάν εφαρμογών για έξυπνα κινητά, οι οποίες μπορούν να καταγράφουν τη συμπεριφορά της οδήγησης και να προσφέρουν συμβουλές για βελτιστοποίηση της οικολογικής συμπεριφοράς. Συνοψίζοντας, οι

τεχνικές και στρατηγικές οικολογικής οδήγησης παίζουν κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της οικονομίας καυσίμου και της μείωσης των εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία επίσης παρέχουν εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν τους οδηγούς στην εφαρμογή αυτών των στρατηγικών.

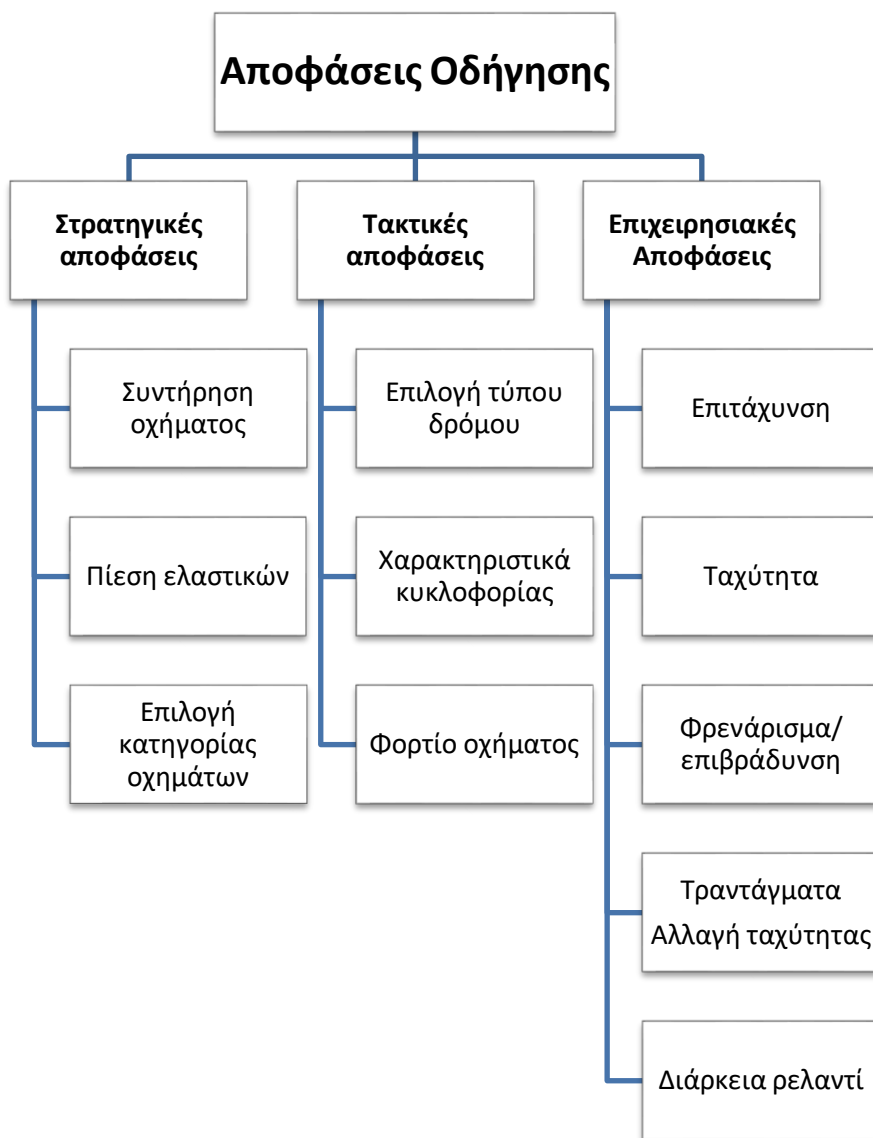
Άλλοι λόγοι οι οποίοι επηρεάζουν τη συμπεριφορά ενός οδηγού μπορεί να είναι ορισμένα **στοιχεία συμπεριφοράς** ή ακόμα και **ψυχολογικοί παράγοντες**. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν προσωπικές πεποιθήσεις, αντιλήψεις, και στάσεις προς το περιβάλλον, την οδήγηση και την οικολογία. Για παράδειγμα, η αναγνώριση της σημασίας της προστασίας του περιβάλλοντος και η επίγνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων μπορεί να ενισχύσει την ετοιμότητα του οδηγού να υιοθετήσει οικολογικές πρακτικές οδήγησης.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, υπάρχουν **κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες** οι οποίοι επηρεάζουν την υιοθέτηση πρακτικών οικολογικής οδήγησης. Ορισμένοι από παράγοντες αυτούς μπορεί να αφορούν στο εισόδημα, στην τιμή των καυσίμων, στις κοινωνικές προσδοκίες και στις περιβαλλοντικές πολιτικές. Για παράδειγμα, υψηλές τιμές καυσίμων και οικονομικά κίνητρα για εξοικονόμηση μπορούν να ενθαρρύνουν τους οδηγούς να επιλέξουν οικολογικές τεχνικές οδήγησης.

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι η αποτελεσματικότητα των παραπάνω στρατηγικών οικολογικής οδήγησης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του οδηγού, το περιβάλλον οδήγησης τις συνθήκες κυκλοφορίας κ.ά. Για παράδειγμα, η χρήση τεχνικών όπως η ομαλή επιτάχυνση και η πρόβλεψη των συνθηκών κυκλοφορίας μπορεί να έχει μεγαλύτερη επίδραση σε πόλεις με συχνές αλλαγές ταχύτητας και συμφόρησης. Η ποσοτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών ωφελειών της οικολογικής οδήγησης είναι απαραίτητη για την κατανόηση της πραγματικής συνεισφοράς αυτής της πρακτικής στη μείωση του ανθρώπινου αποτυπώματος στο περιβάλλον. Προκειμένου να αξιολογηθούν τα οφέλη, αναλύονται στη συνέχεια ποικίλοι παράγοντες, όπως η μείωση των εκπομπών καυσαερίων, η εξοικονόμηση καυσίμου και η μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων.

2.1.3. Κατηγορίες Αποφάσεων Οδήγησης

Οι αποφάσεις που μπορεί να λάβει ένας οδηγός σύμφωνα με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι στρατηγικές αποφάσεις (συντήρηση οχήματος), οι τακτικές αποφάσεις (επιλογή διαδρομής & φόρτωση οχήματος) και οι επιχειρησιακές αποφάσεις (συμπεριφορά οδηγού στο δρόμο) (15). Στο διάγραμμα 2.1 αναφέρονται με συνοπτικό τρόπο τα είδη αποφάσεων οδήγησης και τα χαρακτηριστικά τους.



Διάγραμμα 2-1 Κατηγορίες αποφάσεων οδήγησης (Πηγή: 6)

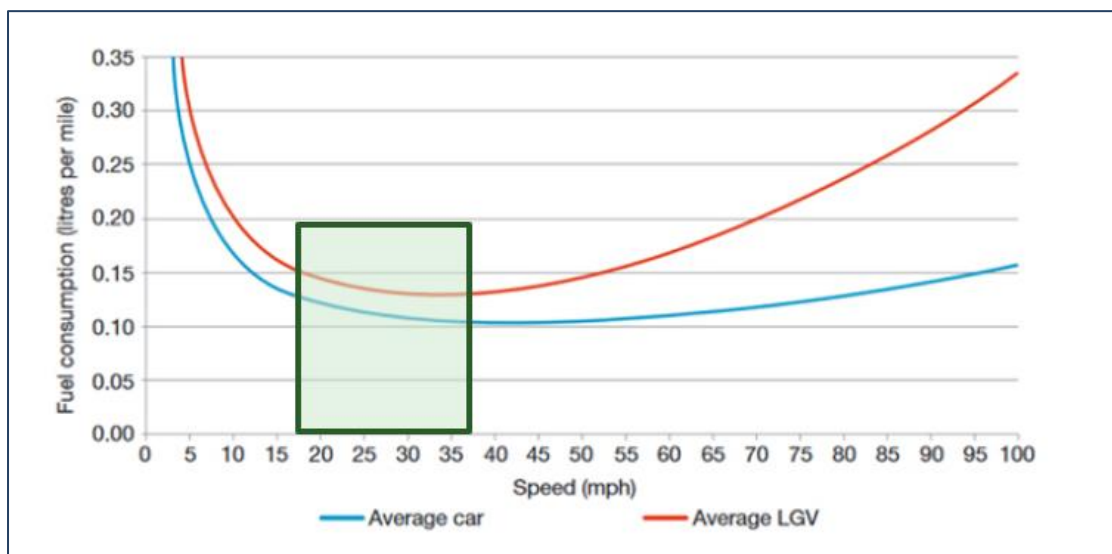
Οι στρατηγικές αποφάσεις σχετίζονται με τη συντήρηση οχήματος και την επιλογή κατηγορίας οχημάτων. Για παράδειγμα, παρατηρείται υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου για τα φορτηγά έναντι των αυτοκινήτων (6). Επίσης, οι αποφάσεις αυτές είναι άμεσα συνυφασμένες με την επιλογή της πίεσης ελαστικών, καθώς η μεγάλη μείωση πίεσης ελαστικού σημαίνει αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου και αύξηση στο ποσοστό εκπομπών ρύπων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η οικονομία καυσίμου μειώνεται κατά 0,3% με κάθε 1 psi μείωσης της πίεσης των ελαστικών (16). Οι στρατηγικές αποφάσεις περιλαμβάνουν επίσης τεχνικές συντήρησης, όπως η διατήρηση του συστήματος ελέγχου εκπομπών (6). Αναφορικά, έχει παρατηρηθεί έως και 40% μείωση των εκπομπών με την πάροδο του χρόνου για όσους διατηρούν τυπικές και συστηματικές συντηρήσεις στα οχήματα (19). Τέλος, η κακή συντήρηση και συγκεκριμένα τα βουλωμένα φίλτρα αέρα, καθώς και οι κακώς ευθυγραμμισμένοι τροχοί οδηγούν επίσης στην αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 4% έως 5% (20).

Στη δεύτερη κατηγορία αποφάσεων ανήκουν οι τακτικές αποφάσεις. Στην κατηγορία αυτή ανήκει η επιλογή τύπου δρόμου και διαδρομής αλλά και η φόρτωση οχήματος. Αξίζει να αναφερθεί, ότι έχει παρατηρηθεί 15% έως 20% χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου για οδήγηση σε επίπεδο έδαφος σε αντίθεση με λοφώδεις περιοχές (6). Μία ακόμα παράμετρος των αποφάσεων αυτών είναι η γνώση των χαρακτηριστικών κυκλοφορίας από τον οδηγό. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η αύξηση της ροής της κυκλοφορίας συνδέεται με την αύξηση των εκπομπών ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου (6), (9). Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει το φορτίο οχήματος, αφού η αύξηση βάρους στο όχημα, είτε με την προσθήκη επιβατών είτε λόγω ρυμούλκησης από το όχημα, απαιτεί περισσότερη επιτάχυνση και άρα μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων (20). Αξίζει να σημειωθεί ότι 45 κιλά επιπλέον φορτίου σε ένα όχημα προκαλεί αύξηση 2% στην κατανάλωση καυσίμου, όπως έχει αποδειχθεί στη βιβλιογραφία (17). Εν κατακλείδι, μια αύξηση 15% έως 40% στην οικονομία καυσίμου μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας «οικολογικές διαδρομές», δηλαδή τη βέλτιστη διαδρομή που περιορίζει τις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου ή περιορίζοντας το επιπλέον φορτίο στο όχημα (6).

Η τρίτη και τελευταία κατηγορία αποφάσεων που χαρακτηρίζουν την οικολογική οδήγηση είναι οι επιχειρησιακές αποφάσεις, οι οποίες σχετίζονται με τη συμπεριφορά οδηγού στο δρόμο. Μία από τις παραμέτρους η οποία συνδέεται άμεσα τη συμπεριφορά του οδηγού είναι η επιτάχυνση, η οποία και απαιτεί και υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου (9), (12), (20). Επίσης, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η αυξημένη ταχύτητα προκαλεί αύξηση των εκπομπών του

οχήματος και της κατανάλωσης καυσίμου ενώ το απότομο φρενάρισμα, η επιβράδυνση και συχνά γεγονότα πέδησης αποτελούν εξίσου σημαντική αιτία υψηλότερης κατανάλωσης καυσίμου (21), (22), (23). Έχει παρατηρηθεί από τους ερευνητές ότι τα συχνά τραντάγματα στην οδήγηση συνδέονται με υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές ρύπων οχημάτων, όπως επίσης και η λάθος αλλαγή ταχυτήτων (24), (25). Τέλος, η μεγαλύτερη διάρκεια στο ρελαντί αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου (26).

Όπως προαναφέρθηκε, οι επιχειρησιακές αποφάσεις σχετίζονται άμεσα με την συμπεριφορά των οδηγών. Μια επιθετική συμπεριφορά οδήγησης, όπως απότομη επιτάχυνση και φρενάρισμα, υπερβολική ταχύτητα, ανοιχτά παράθυρα κ.λπ. καταλήγει σε υψηλές εκπομπές ρύπων. Αντίθετα, ένα πιο οικολογικό, ομαλό στυλ οδήγησης περιλαμβάνει ήρεμη οδήγηση και μείωση σκληρών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, αλλαγή ταχύτητας περίπου στις 2500 στροφές και τήρηση αποστάσεων ασφαλείας με άλλα οχήματα (21), (22), (23). Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας που παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου είναι η προσαρμογή της ταχύτητας. Η μέση ταχύτητα μιας διαδρομής η οποία είναι εντός των ορίων της «πράσινης περιοχής», αντιστοιχεί σε τιμές ταχύτητας που σχετίζονται με την «οικολογική οδήγηση», όπως φαίνεται στις καμπύλες του διαγράμματος 2.2. Αυτή η περιοχή ορίζεται μεταξύ 45 και 60 χιλιομέτρα ανά ώρα (8). Στο διάγραμμα, η πράσινη περιοχή φαίνεται ως ένα πλαίσιο πράσινου χρώματος και με μπλε και κόκκινη καμπύλη αποτυπώνεται η σχέση ταχύτητας και κατανάλωσης καυσίμου για το μέσο αυτοκίνητο και φορτηγό αντίστοιχα.



Διάγραμμα 2-2 Σχέση κατανάλωσης καυσίμου με ταχύτητα και «πράσινη περιοχή» (Πηγή: 8)

2.1.4. Υπάρχουσα πολιτική

Οι πολιτικές και ρυθμίσεις που εισάγονται από τις κυβερνήσεις για την προώθηση της οικολογικής οδήγησης αποτελούν καίριο παράγοντα για την επίτευξη βιώσιμων μεταφορών. Αυτές οι πολιτικές μπορεί να περιλαμβάνουν κίνητρα για την αγορά οικολογικών οχημάτων, φορολογικά κίνητρα για την υιοθέτηση οικολογικής οδήγησης, κανονιστικές προδιαγραφές για τις εκπομπές και άλλες πολιτικές παρεμβάσεις.

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται σημαντική κινητοποίηση σε εθνικό κυβερνητικό επίπεδο για την εξοικείωση των πολιτών με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι πρώτες αναφορές έγιναν το 1976 σε μία μελετητική εκπαίδευση από το Υπουργείο Ενέργειας στην Αμερική. Αργότερα, σημαντικές προσπάθειες εκπαίδευσης έγιναν από τη μη κερδοσκοπική περιβαλλοντική ομάδα «Wisconsin in Clean Cities» στην Αμερική το 1994, αλλά και από τη Σουηδική Εθνική Ένωση Σχολών Οδήγησης το 1998 (27). Άξιο αναφοράς είναι το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Κλιματική Αλλαγή (ECCP), το οποίο έλαβε χώρα το 2001 (28). Σε χρονολογική σειρά, ξεκίνησε το «Eco-Driving Europe» με σκοπό να επιταχύνει την καθιέρωση των αρχών της οικολογικής οδήγησης (29).

Όλο ένα και περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες εντάσσουν την πολιτική της οικολογικής οδήγησης στις εθνικές στρατηγικές τους για τη μείωση του CO₂ (30), (31). Στην Ολλανδία οι αρχές της οικολογικής συμπεριφοράς αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της εθνικής πολιτικής, ενώ σε σχετική έρευνα το 2006 παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών CO₂ από 0,3 Mton έως 0,6 Mton εφαρμόζοντας τις αρχές αυτές (32). Χαρακτηριστικό επίσης παράδειγμα αποτελεί η Ιρλανδία, ερευνητές της οποίας έδειξαν ότι η ποσότητα ενέργειας και οι εκπομπές από ένα μόνο όχημα επηρεάζονται σημαντικά από τον τρόπο οδήγησης (33). Αξίζει να αναφερθεί ότι από το 2007, στα πλαίσια του «Swiss Energy Action Plan» επιδοτήθηκε η προώθηση της οικολογικής οδήγησης με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμων, τη μείωση ατυχημάτων, τη μείωση φθορών των οχημάτων και τη μεγαλύτερη προστασία του περιβάλλοντος (34). Τέλος, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επιβάλει σε όλα τα νέα αυτοκίνητα από το 2012, τη δημιουργία ενδείξεων αλλαγής ταχυτήτων «Gear Shift Indicators (GSI)», με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σήματα μετατόπισης προς τα πάνω ή προς τα κάτω στον πίνακα οργάνων, για να διασφαλιστεί η βέλτιστη αλλαγή ταχυτήτων και ως εκ τούτου η βέλτιστη απόδοση καυσίμου (35).

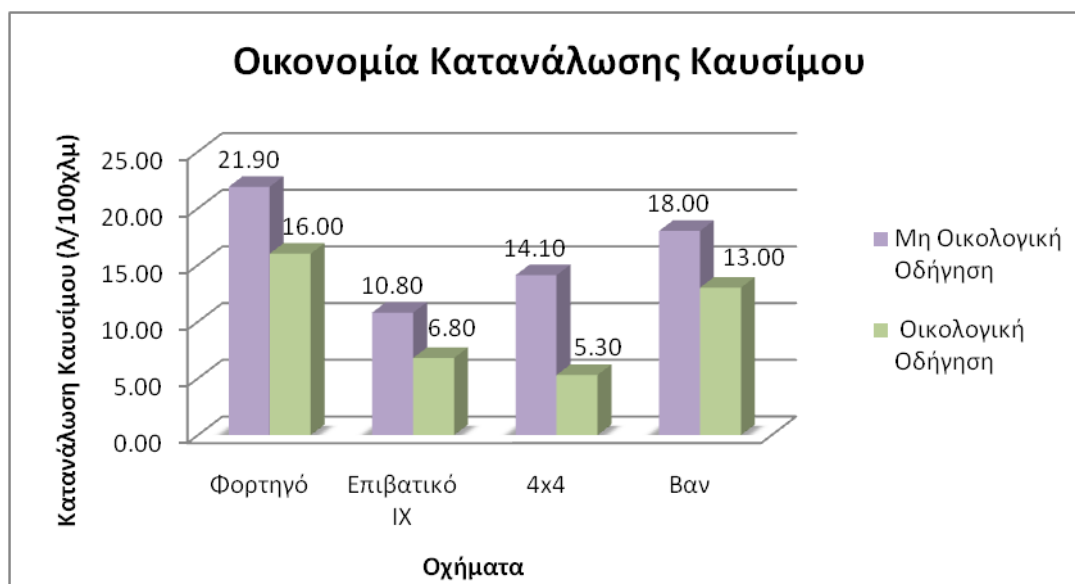
Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι ένας από τους στόχους κάθε χώρας που επιδιώκει την ουδετερότητα σε άνθρακα έως το 2050. Αξίζει να αναφερθεί ότι η Συμφωνία του Παρισιού έθεσε ως στόχο τη μείωση των εκπομπών GHG κατά 40% το 2030 σε σύγκριση με το 1990 και στη COP-25 στη Μαδρίτη, 73 κράτη δεσμεύτηκαν να είναι ουδέτερα ως προς τον άνθρακα έως το 2050.

Η οικολογική οδήγηση αποτελεί επίσης αντικείμενο ενδιαφέροντος σε πολλές χώρες της Ασίας όπως η Κίνα η Ιαπωνία και η Κορέα (35), (36), (37). Πιο συγκεκριμένα, η Ιαπωνία διαθέτει κρατικές επιχορηγήσεις για την επιδότηση συστημάτων που ακολουθούν τις αρχές της οικολογικής οδήγησης, από το 2003. Τέλος, η Βόρεια Αμερική, η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία επίσης εφαρμόζουν πολιτικές της οικολογικής Οδήγησης (35), (38), (39).

Συμπερασματικά, υπάρχει αρκετά μεγάλη προσπάθεια σε κρατικό επίπεδο όσον αφορά στην εξοικείωση των πολιτών και στην προώθηση της οικολογικής οδήγησης. Το γεγονός ότι σήμερα, οι κυβερνήσεις πολλών χωρών έχουν εισάγει προγράμματα επιδοτήσεων για την αγορά ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, είναι σίγουρα ένα θετικό και ελπιδοφόρο μήνυμα. Μέσω τέτοιων προγραμμάτων οι καταναλωτές που αποφασίζουν να αγοράσουν οικολογικά οχήματα λαμβάνουν οικονομικές επιδοτήσεις ή φοροαπαλλαγές. Μία επίσης στρατηγική κρατική κίνηση για την προώθηση της οικολογικής οδήγησης είναι η θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών εκπομπών των νέων οχημάτων. Αυτή η πολιτική ενέργεια οδηγεί στην αναβάθμιση του συνόλου του στόλου οχημάτων και συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.

2.1.5. Εκπαιδευτικά προγράμματα

Η αξιολόγηση προγραμμάτων εκπαίδευσης οικολογικής οδήγησης είναι κρίσιμη για την κατανόηση της αποτελεσματικότητάς τους στην προώθηση της οικολογικής συμπεριφοράς. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να περιλαμβάνει μετρήσεις των αλλαγών στη συμπεριφορά των οδηγών πριν και μετά τη συμμετοχή σε προγράμματα, καθώς και αξιολογήσεις της ικανοποίησης των συμμετεχόντων. Τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Αμερική και στην Ασία, έχουν διεξαχθεί εκπαιδευτικά προγράμματα με σκοπό την κατανόηση και έπειτα την υιοθέτηση των αρχών της οικολογικής οδήγησης από τους οδηγούς. Σε όλες τις περιπτώσεις αυτές, παρατηρείται βελτιωμένη συμπεριφορά οδήγησης, μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και εν τέλει μείωση των παραγόμενων ρύπων από τα οχήματα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα 2.3 όπου φαίνονται τα αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου πριν από εκπαιδευτικό πρόγραμμα σχετικά με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης με μπλε χρώμα και μετά την εκπαίδευση με πράσινο χρώμα για διαφορετικά είδη οχήματος όπως φορτηγό, επιβατικό αυτοκίνητο, αυτοκίνητο 4x4 και μεγάλο βαν.



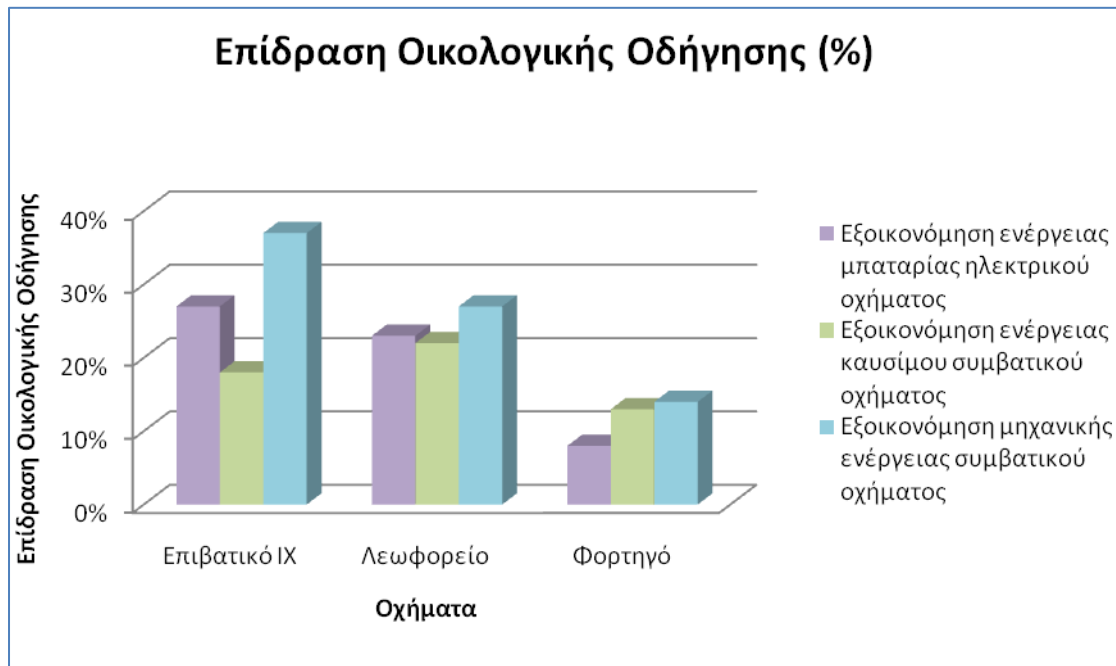
Διάγραμμα 2-3 Αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου πριν και μετά την εκπαίδευση της οικολογικής οδήγησης ανά είδος οχήματος (Πηγή: 40)

Υπάρχουν καταγεγραμμένα πολλά παραδείγματα πετυχημένων εκπαιδευτικών προγραμμάτων. Το 2007 πραγματοποιήθηκε ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα σε οδηγούς αστικών λεωφορείων στην Ελλάδα, σε διαδρομή 15 χιλιομέτρων σχεδιασμένη για εκπαιδευτικούς σκοπούς (41). Η επιμόρφωση των οδηγών οδήγησε σε μείωση 10% έως 15% των καυσίμων. Σε αντίστοιχο εκπαιδευτικό πρόγραμμα σε

οδηγούς φορτηγών στη Γερμανία το 2013, παρατηρήθηκε μείωση 9,5% (42). Την ίδια χρονιά, ο Σουηδικός φορέας δημόσιων μεταφορών εκπαιδευσε 54 οδηγούς σε μία γραμμή λεωφορείου, διαδρομής 16 χιλιομέτρων, προκαλώντας μείωση 6,8% κατανάλωσης καυσίμου (43). Άξιο αναφοράς είναι επίσης το πείραμα προσομοιωτή οδήγησης στη Γερμανία το 2013 σε εμπορικά οχήματα, όπου παρατηρήθηκε μείωση 6,0%, ενώ την ίδια χρονιά στην πόλη του Κάλγκαρι στον Καναδά 15 δημοτικοί οδηγοί από την Επιχειρησιακή Μονάδα Ανάπτυξης & Εγκρίσεων Κτιρίων κατάφεραν να μειώσουν το ποσοστό κατανάλωσης καυσίμων σε 4% έως 10% (44), (45). Την επόμενη χρονιά, 34 επαγγελματίες οδηγοί της Εταιρείας Αστικών Λεωφορείων «EMTUSA» στην πόλη της Χιχόν στην Ισπανία έλαβαν μέρος σε εκπαιδευτικό πρόγραμμα διάρκειας 12 μηνών και κατάφεραν μείωση έως και 7% (46).

Από την παραπάνω λίστα, δε θα μπορούσε να παραλειφθεί το πειραματικό πρόγραμμα με οδηγό προσομοιωτή, στο οποίο συμμετείχαν 29 οδηγοί λεωφορείων στο Ελσίνκι στη Φινλανδία το 2015, με 11,6% λιγότερα καύσιμα (47). Το 2017 στη Λισαβόνα της Πορτογαλίας, μεταφορείς αστικών λεωφορείων κατάφεραν 0,3% έως 2% μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και στο Νόβι Σαντ της Σερβίας 3 οδηγοί δημόσιας εταιρείας λεωφορείων κατάφεραν 11,71% μείωση σε δρόμο 7,7 χιλιομέτρων (48), (49). Πιο πρόσφατα, σε ένα ακόμα μεγαλύτερου βεληνεκούς πρόγραμμα εκπαίδευσης στην Ισπανία, έλαβαν μέρος 16 εταιρείες λεωφορείων με 880 επαγγελματίες οδηγούς (50). Το αποτέλεσμα ήταν εντυπωσιακό, αφού παρατηρήθηκε 10% μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από τους καταρτισμένους οδηγούς. Μείωση 8,4% παρατηρήθηκε επίσης στην Κίνα από 8 οδηγούς ταξί χάρη σε προσομοιωτή οδήγησης και 8,61% μείωση στο Βελιγράδι της Σερβίας από 30 οδηγούς λεωφορείων σε διαδρομή 14 χιλιομέτρων (51), (52), (53).

Το 2020 στα δημόσια συστήματα metrobus, τα οποία χρησιμοποιούνται από 250.000 επιβάτες κάθε ημέρα στην Τουρκία, έγινε αξιολόγηση διάρκειας 15 μηνών όσον αφορά στο εάν και κατά πόσο υιοθετούνται οι αρχές τις οικολογικής οδήγησης (54). Το αποτέλεσμα ήταν 5% εξοικονόμηση καυσίμου. Τέλος, για την πόλη του Κάλγκαρι, το 2020 ερευνήθηκε η επίδραση της εκπαίδευσης στους οδηγούς με βάση τις αρχές της οικολογικής οδήγησης. Το αποτέλεσμα ήταν μείωση στη διάρκεια των οχημάτων σε ρεταντί για βενζινοκίνητα οχήματα κατά 4% και για υβριδικά κατά 10%. Κάτι τέτοιο οδήγησε στη μείωση 1,7 kg CO₂ ανά όχημα και ανά ημέρα (45). Στη διάγραμμα 2.4 παρουσιάζεται η σχέση της μέσης κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τη μέση ελκτική δύναμη του οχήματος για διάφορα είδη οδήγησης. Από το διάγραμμα επαληθεύεται η μικρότερη κατανάλωση καυσίμου στις πιο οικολογικές συμπεριφορές.



Διάγραμμα 2-4 Επίδραση Οικολογικής Οδήγησης (%) ανάλογα με το είδος οχημάτων και σύγκριση ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων (Πηγή: 55)

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, υπάρχει μεγάλη κινητοποίηση στο εκπαιδευτικό κομμάτι σχετικά με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης. Τα βέλτιστα αποτελέσματα παρατηρούνται όταν οι οδηγοί συμπληρώνουν ερωτηματολόγια σχετικά με τις γνώσεις τους πριν και μετά την εκπαίδευση, ενώ παράλληλα παρακολουθούνται οι επιδόσεις τους κατά την οδήγηση. Η αναγνώριση αποτελεσματικών μεθόδων και εργαλείων εκπαίδευσης είναι σημαντική για τη βελτίωση των προγραμμάτων εκπαίδευσης. Καθώς οι άνθρωποι μαθαίνουν διαφορετικά, η εκπαίδευση θα πρέπει να προσαρμόζεται στις ατομικές ανάγκες και προτιμήσεις των συμμετεχόντων. Ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης οικολογικής οδήγησης αναγνωρίζει ότι οι οδηγοί μαθαίνουν καλύτερα μέσα από πρακτικές εφαρμογές και επομένως προτείνεται να παρέχονται πρακτικές συνεδρίες με σκοπό την επίδειξη τεχνικών οικολογικής οδήγησης και στη συνέχεια οι ίδιοι οι οδηγοί να τις εφαρμόσουν οι ίδιοι κατά τη διάρκεια πραγματικών διαδρομών.

2.1.6. Επιπτώσεις Οικολογικής Οδήγησης

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζεται πλήθος ερευνών όσον αφορά στην εξέταση των επιπτώσεων της οικολογικής οδήγησης στην εξοικονόμηση καυσίμων, στις εκπομπές CO₂ και στην εξοικονόμηση χρημάτων. Οι έρευνες αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε έρευνες δοκιμών πεδίου, ανασκοπήσεις και εκθέσεις και έρευνες μοντελοποίησης. Τα περισσότερα αποτελέσματα των παρακάτω ερευνών πραγματοποιήθηκαν με βάση τα πραγματικά δεδομένα δοκιμών πεδίου σε φυσικές συνθήκες οδήγησης.

Οι Zarkadoula et al. (41) ερεύνησαν τις επιπτώσεις μίας δοκιμής πεδίου το 2007, όπου η εκπαίδευση έγινε κατά τη διάρκεια οδήγησης 3 οδηγών σε πραγματική διαδρομή. Σε αυτό το ταξίδι των 15 χιλιομέτρων παρατηρήθηκε εξοικονόμηση καυσίμου έως και 10,2% σε πραγματικές συνθήκες συμφοράς. Οι Berg et al. (32) συμπέραναν το 2007 από συγκεκριμένα δεδομένα ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών κατά 0,3 Mtons άμεσα και 0,6 Mtons έμμεσα. Οι Wilbers and Wardenaar (56) επίσης απέδειξαν σε σχετική έρευνα 10% εξοικονόμηση καυσίμου. Οι Kobayashi et al. (57) παρουσίασαν τη σύγκριση ενός μοντέλου μεταξύ της υιοθέτησης οικολογικής οδήγησης στο 100% , στο 50% και καθόλου. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ευθύγραμμο δρόμο ενός χιλιομέτρου, με δύο σήματα κυκλοφορίας από όπου συμπέραναν αύξηση ή μείωση του συνολικού CO₂ ανάλογα με το ποσοστό συμμόρφωσης στις αρχές της οικολογικής οδήγησης.

Οι Ericsson et al. (58) παρουσίασαν το 2007 ένα μοντέλο με πραγματικά δεδομένα, όπου έχοντας ως βάση μία αρχική διαδρομή, σύγκριναν περισσότερες διαδρομές με διαφορετικά ποσοστά οικονομίας καυσίμου. Στα πλαίσια του μοντέλου αυτού επιτελέστηκαν 109 ταξίδια, εκ των οποίων όσα διήρκεσαν περισσότερο από 5 λεπτά παρουσίασαν μείωση 8,2% στο καύσιμο. Οι Barth et al. (59) παρουσίασαν ένα μοντέλο για το «Eco-navigaton» και 4 σχετικές μελέτες. Λαμβάνοντας δεδομένα από δύο διαδρομές σε αυτοκινητόδρομο 44 χιλιομέτρων για διαφορετικά σενάρια συμφοράς, οι ερευνητές απέδειξαν 0,35% έως 42% εξοικονόμηση στο καύσιμο και 0,60% έως 42% μείωση των ρύπων, ανάλογα με το επίπεδο συμφοράς.

Το 2008 οι Ahn and Rakha (60) δημιούργησαν επίσης ένα μοντέλο με πραγματικά δεδομένα. Η συμπεριφορά επιλογής διαδρομής σε αρτηρία ή σε αυτοκινητόδρομο διερευνήθηκε με χρήση δεδομένων GPS και σε κυκλοφοριακές συνθήκες ώρας αιχμής παρατηρήθηκε 18% έως 23% εξοικονόμηση καυσίμου και μόλις 20% μείωση των εκπομπών ρύπων. Οι Klunder et al. (61) το 2009 κατέγραψαν επίσης

εξοικονόμηση 10% στα καύσιμα και σε έκθεση που αναλύθηκε από δεδομένα προηγούμενης έρευνας παρουσίασαν 2,1% εξοικονόμηση στους παραγόμενους ρύπους, θεωρώντας ότι λαμβάνεται υπόψη η επιλογή της διαδρομής και η αποφυγή συμφόρησης. Οι Barth and Boriboonsomsin (21) σε διαφορετική έρευνα, πραγματοποίησαν μια προσομοίωση σε περιορισμένης εμβέλειας χώρο, η οποία έγινε σε αυτοκινητόδρομο, με τυπικά επιβατικά οχήματα. Στην προσομοίωση επιτεύχθηκε 37% μείωση κατανάλωσης καυσίμου και 35% οικονομία στις εκπομπές CO₂ ενώ στο πραγματικό πείραμα επιτεύχθηκε 13% και 12% αντίστοιχα.

Οι Saboohi and Farzaneh (62) παρουσίασαν το 2009 την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου χρησιμοποιώντας τη θεωρία της μικροοικονομίας, δοκιμάζοντας πέντε διαφορετικά σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο κυκλοφορίας και τα ατυχήματα. Κατά μέσο όρο υπολογίστηκε από τον αλγόριθμο αυτό, μείωση καυσίμων 1,5 λίτρο ανά 100 χιλιόμετρα. Οι Beusen et al. (12) σύγκριναν τα αποτελέσματα πριν και μετά την εκπαίδευση 10 οδηγών για 10 μήνες, από όπου παρατηρήθηκε μείωση 5,8% από τους οδηγούς μετά το πρόγραμμα εκπαίδευσης. Παρ' όλα αυτά 20% των οδηγών δεν πέτυχαν οικονομία καυσίμου. Σύμφωνα με το Barkenbus το 2010 σε ανασκόπηση που ολοκληρώθηκε από διάφορους ερευνητές αποδείχθηκε 10% μείωση με 42,8 δισεκατομμύρια λίτρα καυσίμου σε εθνικό επίπεδο και από 33 έως 100 εκατομμύρια μετρικούς τόνους μείωση των εκπομπών. Οι Boriboonsomsin et al. (63) σε μία δοκιμή πεδίου, το 2010, απασχόλησαν 20 οδηγούς για 2 εβδομάδες. Για το πείραμα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν συσκευές που παρείχαν συμβουλές οδήγησης. Οι οδηγίες ήταν άμεσες και χρειάστηκαν εκτός από το εκπαιδευτικό μέρος και η χρήση ερωτηματολογίων. Η εξοικονόμηση καυσίμου η οποία καταγράφηκε ήταν 6% στην πόλη και 1% στον αυτοκινητόδρομο.

Οι Ando et al. (64) διεξήγαγαν το 2011 ένα σύνολο πειραμάτων σε κανονικές κυκλοφοριακές συνθήκες με 15 οχήματα που ακολουθούσαν το ένα το άλλο διαδοχικά, για 16 διαδρομές μετ' επιστροφής για διάστημα 6 εβδομάδων. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης βενζίνης της τάξης των 0,9 λίτρων ανά χιλιόμετρο. Το 2011 οι Mensing et al. (65) ανέπτυξαν ένα μοντέλο για την πιθανή μείωση καυσίμου. Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε, δοκιμάστηκε για τη ρύθμιση ελεύθερης ροής σε αστική περιοχή και έδειξε 34% ως τη μέγιστη εξοικονόμηση. Οι Kang et al. (66) ερεύνησαν ένα μοντέλο για τον διαχωρισμό και την κατηγοριοποίηση των μοτίβων οδήγησης σε συμπεριφορές, για την εύρεση της οικολογικής συμπεριφοράς και ένα ενιαίο δείγμα για απεικόνιση αυτού. Στα πλαίσια του μοντέλου αυτού, δοκιμάστηκε η συνύπαρξη της οικολογικής συμπεριφοράς και του χρονικού περιορισμού, ακολουθώντας τις συντομότερες διαδρομές σε ένα ταξίδι. Έχοντας ως προτεραιότητα το χρόνο, οι ερευνητές κατάφεραν

βελτιστοποίηση κατά 23% στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, ενώ έχοντας ως προτεραιότητα την απόσταση, μόλις 1%.

Οι Qian and Chung (67) στο μοντέλο που παρουσίασαν το 2011, για μέτρια και ομαλή επιτάχυνση εφάρμοσαν τις αρχές της οικολογικής οδήγησης σε διαφορετικό βαθμό κάθε φορά. Για το μοντέλο αυτό, θεωρήθηκε διασταύρωση πολλαπλών λωρίδων και τελικά παρατηρήθηκε μείωση CO₂ ανά μεμονωμένη λωρίδα αλλά αύξηση συνολικά στη διασταύρωση. Οι Miller et al. (37) απέδειξαν σε σχετική έρευνα 15% οικονομία καυσίμου. Οι Boriboonsomsin et al. (68) στο μοντέλο τους το 2012 σύγκριναν τις τιμές από ένα σύστημα πλοήγησης με γνώμονα το eco-routing και τις τιμές αν κάποιος επέλεγε τη συντομότερη διαδρομή με το συντομότερο χρόνο. Το πείραμα έλαβε χώρα στο αεροδρόμιο προς το κέντρο της πόλης του Λος Άντζελες, με τυχαία προέλευση-προορισμό, κατά τη βραδινή ώρα αιχμής. Η οικολογική διαδρομή έναντι προτεραιότητας χρόνου προσέφερε 32% μείωση καυσίμου και 33% μείωση CO₂, ενώ η οικολογική διαδρομή έναντι προτεραιότητας απόστασης προσέφερε μείωση 1,4% και 1,8% αντίστοιχα.

Το 2012 οι Sivak and Schoettle (6) σε ανασκόπηση, αναλύοντας δεδομένα από διαφορετικές πηγές κατέληξαν σε 15% έως 40% εξοικονόμηση καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφοριακή συμφορά και το είδος της οδού, αναλύοντας δεδομένα από πλήθος διαφορετικών πηγών. Τα αποτελέσματα ήταν 7% έως 30% μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε άτομα που οδηγούσαν πριν το πείραμα με ελεγχόμενη ταχύτητα και 20–30% σε άτομα που οδηγούσαν με επιθετικό τρόπο. Οι Qian and Chung (69) ερεύνησαν το 2013 τις διάφορες θέσεις δύο οδηγών με οικολογική συμπεριφορά, στη φάλαγγα 15 αυτοκινήτων. Ο δρόμος ήταν ευθεία 1 χιλιόμετρο με τρεις διασταυρώσεις. Τα τελικά αποτελέσματα της εξοικονόμησης καυσίμου ήταν 2,9% έως 18,7%. Οι Strömberg and Karlsson (70) το 2013 στη δοκιμή τους, χώρισαν τους οδηγούς σε τρεις ομάδες. Στο πείραμα συμμετείχαν 54 οδηγοί, ακολουθώντας μία διαδρομή 16 χιλιομέτρα για τη χρονική περίοδο των 6 εβδομάδων. Το συνολικό αποτέλεσμα ήταν 6,8% κατανάλωση λιγότερου καυσίμου.

Οι Ruddy et al. (45) επιτέλεσαν μία δοκιμή πεδίου και μελέτη 3 φάσεων. Το πείραμα αποτελείτο από μία σειρά μαθημάτων σε οδηγούς με παρακολούθηση και ανατροφοδότηση με διάρκεια ένα μήνα ανά φάση. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μείωση έως και 1,7 κιλά διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα την ημέρα. Το μοντέλο των Scora et al. (71) ήταν ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιούσε δεδομένα meso-scale. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατηγορία του δρόμου και το βάρος του οχήματος ήταν μεταβλητές που έλαβαν υπόψη για τη συντομότερη διαδρομή. Το αποτέλεσμα αυτών ήταν η μείωση κατά 12,7% στην κατανάλωση καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψη

τη διαφορά μεταξύ άδειου και φορτωμένου οχήματος. Οι Andersen et al. (72) ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη ενός συστήματος όπου υπολόγισαν το «οικολογικό» βάρος, βασιζόμενοι σε στοιχεία από το GPS και την κατανάλωση καυσίμου, συλλέγοντας δεδομένα κατά τις ώρες της πρωινής αιχμής. Έχοντας ως προτεραιότητα το χρόνο, παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 28%.

Οι Ahn and Rakha το 2013 (60) πραγματοποίησαν μία προσομοίωση σε πόλη και μελέτη περίπτωσης μεμονωμένου δείγματος. Το μοντέλο δοκιμάστηκε με διαφορετικά ποσοστά αφομοίωσης της οικολογικής οδήγησης από τους οδηγούς και διαμόρφωσης του δικτύου. Το αποτέλεσμα ήταν μείωση 3,3% έως 9,3% κατανάλωσης καυσίμου αναλογικά με την ελαχιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού. Οι ίδιοι παρατήρησαν επίσης ότι η εφαρμογή των εν λόγω αρχών οδήγησε στη μείωση της απόστασης ταξιδιού, αλλά όχι απαραίτητα στον χρόνο ταξιδιού, ο οποίος εξαρτάται από τη διαμόρφωση του δικτύου.

Οι Rolim et al. (48) ερεύνησαν το 2014, τις αλλαγές στον τρόπο οδήγησης 20 οδηγών μετά την εκπαίδευσή τους, σύμφωνα με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης. Το πείραμα διήρκησε συνολικά 1364 ημέρες, πραγματοποιώντας 8137 ταξίδια, με οδηγίες αλλά και χωρίς οδηγίες στους οδηγούς. Τελικά, μετρήθηκε 4,8% εξοικονόμηση καυσίμου και μόλις 6,56 γραμμάρια ανά χιλιόμετρο εξοικονόμηση εκπομπών CO₂. Οι Juan Francisco Coloma et al. (53) το 2020 ερεύνησαν τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης σε οδηγούς κούριερ-ντελίβερι στην Ισπανία. Κατάφεραν έως και 9.8% μείωση στην κατανάλωση καυσίμου και 16% μείωση στα καυσάερια. Η έρευνα του Smith et al. (2017) (73) επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων τεχνικών οικολογικής οδήγησης, όπως η επιβράδυνση και η αποφυγή υπερβολικής επιτάχυνσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας αναδεικνύουν όχι μόνο τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών, αλλά και την επίδραση αυτών των πρακτικών στη διάρκεια ζωής των οχημάτων.

Οι ερευνητές Garcia et al. (74) προσέγγισαν το θέμα της οικολογικής οδήγησης από τη σκοπιά της ψυχολογίας, εξετάζοντας τις συναισθηματικές και γνωστικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των οδηγών προς αυτήν την κατεύθυνση. Τα ευρήματά τους αποκαλύπτουν την αξία της προσέγγισης αυτής για τη σχεδίαση αποτελεσματικών παρεμβάσεων εκπαίδευσης και ενημέρωσης. Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής επίπτωσης, η έρευνα του Chen et al. (36) παρουσίασε μια ποσοτική αξιολόγηση της μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που συνδέεται με την υιοθέτηση οικολογικής οδήγησης. Οι αναλύσεις τους αποδεικνύουν

την θετική συνεισφορά της οικολογικής οδήγησης στον περιβαλλοντικό στόχο της μείωσης των εκπομπών αερίων.

Η υπάρχουσα επιστημονική έρευνα παρέχει πολύτιμες προοπτικές σχετικά με την έννοια της οικολογικής οδήγησης και τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία. Όπως φαίνεται από τα προηγούμενα, η επιστημονική κοινότητα έχει εξετάσει ποικίλες πτυχές της οικολογικής οδήγησης, από τα κίνητρα και τους παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση της συμπεριφοράς αυτής έως τα οφέλη της σε διάφορα επίπεδα. Συνολικά, η σύγχρονη έρευνα προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για την οικολογική οδήγηση, αποτελώντας θεμελιώδη βάση για περαιτέρω εξερεύνηση της τεχνολογίας, της πολιτικής και της εκπαίδευσης στον τομέα αυτόν.

2.2. Ανίχνευση Προφίλ Οδήγησης

2.2.1. Πειράματα Φυσικής Οδήγησης

Με το επερχόμενο IoT (Internet of Things)⁽¹⁾, είναι δυνατή η διερεύνηση της νατουραλιστικής συμπεριφοράς οδήγησης βασισμένη σε δεδομένα τηλεματικής,⁽²⁾ τα οποία συλλέχτηκαν από τους οδηγούς κατά τη διάρκεια των καθημερινών ταξιδιών τους (75). Σύμφωνα με τους ερευνητές, η **νατουραλιστική έρευνα οδήγησης (naturalistic driving study)** ορίζεται ως «μια μελέτη που πραγματοποιείται για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά του οδηγού κατά τη διάρκεια των καθημερινών ταξιδιών καταγράφοντας λεπτομέρειες για τον οδηγό, το όχημα και τον περιβάλλον χώρο μέσω μη παρεμβατικού εξοπλισμού συλλογής δεδομένων και χωρίς πειραματικό έλεγχο». Αντίθετα, στην **ελεγχόμενη έρευνα στο δρόμο (controlled on-road study)** οι οδηγοί λαμβάνουν οδηγίες από έναν «παρατηρητή» παρών στο όχημα και οδηγούν σε μια προκαθορισμένη διαδρομή (75).

Η νατουραλιστική μελέτη οδήγησης έχει ως στόχο τη συλλογή δεδομένων συμπεριφοράς του οδηγού χωρίς εξωτερικό έλεγχο, δηλαδή χωρίς παρατηρητή στο όχημα. Στη μελέτη αυτή, οι οδηγοί μπορούν να επιλέξουν τον τόπο, το χρόνο και τον τρόπο οδήγησης, παραμέτρους οι οποίες εξαρτώνται από τη λειτουργία, την τακτική και τη στρατηγική απόφαση του εκάστοτε οδηγού (76). Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων έρευνας νατουραλιστικής οδήγησης, τα οχήματα που ανήκουν στους συμμετέχοντες είναι κατάλληλα εξοπλισμένα, με σκοπό την ελάχιστη δυνατή επιρροή τους στους οδηγούς και η καταγραφή να είναι κατά το δυνατόν όμοια με μία πραγματική συμπεριφορά οδήγησης (76), (77).

Οι νατουραλιστικές μελέτες οδήγησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μεμονωμένες μελέτες οδηγού (individual driver studies), δηλαδή σε μελέτες εντός οχήματος (in-vehicle studies), και σε επιτόπιες μελέτες (on-site studies) (77), (78). Στη μεμονωμένη μελέτη οδηγού η συλλογή δεδομένων συμπεριφοράς οδηγού γίνεται από αισθητήρες οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο όχημα, ενώ στην επιτόπια μελέτη τα νατουραλιστικά δεδομένα οδήγησης αλλά και τα δεδομένα τροχιάς οδικής κυκλοφορίας συλλέγονται από στατικές βιντεοκάμερες, εγκατεστημένες σε συγκεκριμένες τοποθεσίες (77), (78). Τέλος, στις επιτόπιες μελέτες είναι αδύνατη η καταγραφή και η ανίχνευση απόσπασης της προσοχής του οδηγού και εμπλοκής

του σε δευτερεύουσες εργασίες, καθώς οι ενέργειες αυτές απαιτούν τον εξοπλισμό των ίδιων των οχημάτων με ανάλογους αισθητήρες.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, για την κατηγοριοποίηση των οδηγών σε διαφορετικά προφίλ συμπεριφοράς, οι ερευνητές χρησιμοποιούν συνήθως τα νατουραλιστικά δεδομένα οδήγησης. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται μέσω συσκευών GPS, καμερών παρακολούθησης ή συσκευών OBD (On-Board Diagnostics). Η δημιουργία των προφίλ συμπεριφοράς οδηγού αποτελεί χρήσιμο εργαλείο σε πολλές περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται. Για παράδειγμα, η κατηγοριοποίηση των συμπεριφορών των οδηγών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα σύστημα διαχείρισης στόλου, δηλαδή για την παρακολούθηση της απόδοσης οδήγησης των οδηγών του εκάστοτε στόλου, με βάση την ασφάλεια ή την κατανάλωση καυσίμου (26). Επίσης μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία συστημάτων ασφάλειας, τα οποία βασίζονται στην αξιολόγηση των οδηγών με βάση το πόσο ασφαλή ή οικονομικά οδηγούν. Στις περιπτώσεις αυτές, ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης, οι οδηγοί βαθμολογούνται μέσω της εκτίμησης συγκεκριμένων δεδομένων που λαμβάνονται από διάφορες συσκευές για να δημιουργηθεί στη συνέχεια το κατάλληλο πρόγραμμα ασφάλειας (79), (80). Τέλος, τα αναφερόμενα δεδομένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μία βάση δεδομένων για διάφορες κρατικές υπηρεσίες και μη, με σκοπό τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας, της πολιτικής επιβολής, της εκστρατείας ασφάλειας και της τροποποίησης υποδομής αυτοκινητοδρόμων και άλλα.

Η βιβλιογραφία προδίδει τη χρησιμότητα των νατουραλιστικών δεδομένων οδήγησης για να ανάπτυξη προφίλ συμπεριφοράς οδηγών με βάση το πόσο οικονομικά οδηγούν, όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές CO₂) (26). Στις περισσότερες μελέτες, έχει ληφθεί υπόψη πλήθος διαφορετικών παραμέτρων για την ανάπτυξη των προφίλ συμπεριφοράς των οδηγών όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, το επιθετικό φρενάρισμα, η προσπέραση οχημάτων, η συμπεριφορά κατά την αλλαγή λωρίδας και άλλα. Είναι επομένως κατανοητό ότι η επιλογή της κατάλληλης παραμέτρου είναι υψίστης σημασίας όσον αφορά στην αξιοπιστία του προφίλ. Συμπερασματικά, είναι πλέον εμφανής η ανάγκη ανασκόπησης της βιβλιογραφίας που σχετίζεται με τη ανάπτυξη των προφίλ συμπεριφοράς του οδηγού καθώς η σημερινή κοινωνία καλείται να εφαρμόσει προληπτικές τεχνικές για λόγους περιβαλλοντικούς, ασφάλειας των πολιτών αλλά και ανταγωνισμού και βελτιστοποίησης συστημάτων.

2.2.2. Τεχνολογίες Συλλογής Δεδομένων Οδήγησης

Η πρόοδος στις συσκευές τηλεματικής προσφέρει μια εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών, παρέχοντας σχόλια σχετικά με την οδήγηση. Η βιβλιογραφία υποδηλώνει σημαντική βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές, προωθώντας τους οδηγούς να οδηγούν αποτελεσματικά, το οποίο σημαίνει διατήρηση σταθερής ταχύτητας, χρήση βέλτιστης ταχύτητας, ομαλή επιτάχυνση, λιγότερη πέδηση και πρόβλεψη ροής κυκλοφορίας για ελαχιστοποίηση της πέδησης. Οι οδηγοί ειδοποιούνται μέσω των οπτικοακουστικών σημάτων όταν ανιχνεύεται παρεκκλίνουσα συμπεριφορά οδήγησης. Το προφίλ συμπεριφοράς του οδηγού λειτουργεί ως σημαντικό στοιχείο για το πρόγραμμα κατάρτισης, στην οποία οι οδηγοί εκπαιδεύονται να οδηγούν αποτελεσματικά σε νατουραλιστικό περιβάλλον ή με χρήση προηγμένου προσομοιωτή οχήματος. Σε αυτά τα προγράμματα εκπαίδευσης οι οδηγοί ταξινομούνται σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση τη συμπεριφορά τους, όσον αφορά στην οικολογική οδήγηση.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία φανερώνει ότι παρά το γεγονός ότι οι συσκευές συλλογής δεδομένων εξαρτώνται από τον στόχο της εκάστοτε έρευνας, αρκετοί ερευνητές προτιμούν τις συσκευές GPS. Οι συσκευές αυτές επιλέγονται για την εξαγωγή δεδομένων συμπεριφοράς οδήγησης των οδηγών, αφού παρέχουν μεγάλη ποικιλία δεδομένων όπως είναι η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η πέδηση και τα τραντάγματα. Πρόσφατα, οι ερευνητές εξήγαγαν δεδομένα για τη διάρκεια του ρελαντί, μέσω συσκευών GPS για να διερευνήσουν εάν και κατά πόσο ακολουθούνται οι αρχές της οικολογικής οδήγησης από τους οδηγούς (26). Στο σημείο αυτό ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι οι συσκευές GPS παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα όπως τα λεγόμενα «cold start problems»⁽³⁾ δηλαδή, όταν η συσκευή GPS απορρίπτει όλες τις πληροφορίες και κάνει προσπάθειες να εντοπίσει δορυφόρους και στη συνέχεια υπολογίζει το GPS lock⁽⁴⁾ και το λεγόμενο «urban canyon» όταν τα πολυώροφα κτίρια μίας πόλης εμποδίζουν τα σήματα GPS και δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα δορυφορικά σήματα για την εκτίμηση των πληροφοριών σχετικά με τη θέση του οχήματος (87). Επιπλέον, οι συσκευές GPS αδυνατούν να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την πλευρική και διαμήκη επιτάχυνση, δύο παραμέτρους οποίες είναι σημαντικές για την ανίχνευση συγκεκριμένων κινήσεων όπως η αλλαγή λωρίδας και ελιγμοί στις στροφές (82).

Τα προαναφερθέντα γεγονότα ώθησαν τους ερευνητές να καταφύγουν στη χρήση και άλλων αισθητήρων εκτός από τη συσκευή GPS, όπως για παράδειγμα το

επιταχυνσιόμετρο (accelerometer), τους αισθητήρες ρυθμού εκτροπής (yaw rate sensors)⁽⁵⁾ και τις συσκευές OBD για τη συλλογή ακριβέστερων δεδομένων για τη δημιουργία των προφίλ (83). Με τη βοήθεια αυτών των αισθητήρων, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές μεθόδους για τη δημιουργία προφίλ συμπεριφορών οδηγών όπως είναι η AHP⁽⁶⁾ και η SPC⁽⁷⁾. Σε ορισμένες μελέτες, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ανώτατα όρια τιμών για τη βαθμολόγηση και κατηγοριοποίηση των οδηγών που βασίζονται σε αθροιστικές βαθμολογίες διαφορετικών παραμέτρων. Αντιθέτως, σε άλλες μελέτες οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει την «ANNarchitecture⁽⁸⁾» και την AHP, στις οποίες δεν δόθηκαν ανώτατα όρια τιμών. Περαιτέρω, σε ορισμένες μελέτες βαρύτητας δόθηκαν διαφορετικές παράμετροι με σκοπό την αθροιστική βαθμολογία των οδηγών με βάση τη συμπεριφορά οδήγησής τους. Στο σημείο αυτό αξίζει να υπογραμμιστεί, ότι σύμφωνα με έρευνα η ανάλυση συστάδων (cluster analysis) είναι η πιο συχνά μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και κατηγοριοποίηση των προφίλ οδηγών. Βέβαια, η AHP έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από ερευνητές για τον ίδιο σκοπό, δίνοντας διαφορετική βαρύτητα σε διαφορετικές παραμέτρους συμπεριφοράς αν και έχει επικριθεί από διάφορους ερευνητές στο παρελθόν λόγω αβεβαιότητας και αναξιοπιστίας (84), (85).

2.3. Προφίλ Συμπεριφοράς Οδηγού

2.3.1. Εισαγωγή

Είναι πλέον αναμφισβήτητο ότι η βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών κατά τη διάρκεια των καθημερινών ταξιδιών τους είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη για τη μείωση της κατανάλωσης των καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων (1), (2). Ένας από τους πιθανούς τρόπους επίτευξης του παραπάνω, είναι η διαφοροποίηση των οδηγών σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση τη συμπεριφορά τους στο δρόμο και η παροχή ανατροφοδότησης σε αυτούς, που θα τους ενθαρρύνει να οδηγούν με σύνεση. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί η πολυπλοκότητα της κατηγοριοποίησης αυτής, καθώς πρόκειται για μία εξίσωση με πολλές μεταβλητές όπως η εμπειρία οδήγησης, το συναισθηματικό επίπεδο, οι προσωπικές προτιμήσεις και άλλα. Η βαθμολόγηση των οδηγών σε μία κοινή κλίμακα που βασίζεται στο πόσο ασφαλή ή οικονομικά οδηγούν ονομάζεται *Προφίλ Συμπεριφοράς Οδηγού* (Driver behaviour profile) (DBP). Σύμφωνα με ερευνητές το προφίλ συμπεριφοράς οδηγού ορίζεται ως «μια κανονικοποιημένη βαθμολογία συμπεριφοράς οδηγού που χρησιμεύει ως πληρεξούσιος για την αξιολόγηση του κινδύνου σύγκρουσης συνδυάζοντας μια σειρά από μέτρα κινδύνου σε κοινή κλίμακα εντός και μεταξύ των οδηγών» (82).

2.3.2. Παράμετροι συμπεριφοράς του οδηγού

Στο παρελθόν, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν νατουραλιστικά δεδομένα οδήγησης για δημιουργία προφίλ οδηγών με γνώμονα την οικολογική οδήγηση. Ανά τα χρόνια υιοθετήθηκαν διαφορετικές παράμετροι από τους ερευνητές για την έρευνα της συμπεριφοράς αλλά και τη δημιουργία προφίλ οδηγών, όπως για παράδειγμα είναι η ταχύτητα οχήματος, η επιτάχυνση, η πέδηση, η χιλιομετρική απόσταση, η κατανάλωση καυσίμου κ.λπ.

Ταχύτητα

Η ανασκόπηση στη σύγχρονη βιβλιογραφία δείχνει ότι η ταχύτητα του οχήματος επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Με την αύξηση της ταχύτητας των οχημάτων παρατηρείται αντίστοιχα σημαντική αύξηση της

κατανάλωσης καυσίμου όπως επίσης και αύξηση στις εκπομπές καυσαερίων των οχημάτων (9), (12), (20). Το προκαθορισμένο αυτό εύρος στο οποίο η ταχύτητα μπορεί να θεωρηθεί ως οικολογική διαφέρει από όχημα σε όχημα. Αξίζει να αναφερθεί ότι ταχύτητα του οχήματος είναι μία από τις πιο συνήθεις και διαδεδομένες παραμέτρους για τον προσδιορισμό του προφίλ των οδηγών και έχει χρησιμοποιηθεί από τους περισσότερους ερευνητές. Στις μελέτες αυτών, σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης και οι συσκευές για τη συλλογή των δεδομένων ταχύτητας του οχήματος, όπως είναι οι συσκευές GPS, οι καταγραφείς δεδομένων OBD και τα κινητά τηλέφωνα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μάλιστα, οι συσκευές καταγραφής δεδομένων (data loggers)⁽⁹⁾ είναι πιο αξιόπιστες σε σύγκριση με τις συσκευές GPS.

Επιτάχυνση, φρενάρισμα και τραντάγματα

Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα υψηλότερα τραντάγματα και επιταχύνσεις του οχήματος σχετίζονται με υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου (20), (24), (86). Μία ανασκόπηση στη βιβλιογραφία δείχνει ότι υψηλότερες εκπομπές οχημάτων συμβαίνουν κατά τη διάρκεια γεγονότων επιτάχυνσης, ενώ ο ρυθμός εκπομπών του οχήματος αυξάνεται με την αύξηση της επιτάχυνσης. Συχνά φρεναρίσματα σχετίζονται με την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου για έναν πλήρη κύκλο οδήγησης. Σύμφωνα με σχετική έρευνα, η επιβράδυνση φαίνεται παρ' ολ' αυτά να έχει πιο μικρή επίδραση στις εκπομπές ρύπων των οχημάτων. Τα παραπάνω δεδομένα συλλέγονται συνήθως μέσω συσκευών GPS ή μέσω οργάνων εντός του οχήματος.

Απόσταση σε χιλιόμετρα

Είναι προφανές ότι η κατανάλωση καυσίμου και επομένως η παραγωγή εκπομπών καυσαερίων των οχημάτων συνδέονται με αναλογική σχέση με τα χιλιόμετρα που διανύει ο οδηγός του οχήματος. Όσο μεγαλύτερη η απόσταση σε χιλιόμετρα τόσο σημαντικότερο και το περιβαλλοντικό κόστος, εξαιτίας της αύξησης των εκπομπών ρύπων από την κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων. Τα συστήματα ασφάλισης βάσει χρήσης (Usage-based insurance (UBI)) όπως το «Pay as you drive» προωθούν το οδηγό να οδηγεί λιγότερο χρεώνοντας τον με βάση τα χιλιόμετρα. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα συστήματα «PAYD schemes» μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων κατά 2% και την κατανάλωση καυσίμου κατά 4% (87).

Πλευρικός ελιγμός

Ο επιθετικός πλευρικός ελιγμός σχετίζεται επίσης με την αύξηση κατανάλωσης καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων οχημάτων. Ωστόσο, μελέτες δείχνουν την επίδραση του πλευρικού ελιγμού στην κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές του οχήματος είναι μικρή.

Χρονική και χωρική διακύμανση

Η επιρροή της γεωμετρίας του δρόμου σχετίζεται επίσης με την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές του οχήματος. Σύμφωνα με τους ερευνητές υπάρχει μείωση στην οικονομία καυσίμου ανάλογα με την πτώση του επιπέδου εξυπηρέτησης (level of service) ⁽¹⁰⁾ (6). Είναι επίσης προφανές ότι η οδήγηση σε ανηφόρα απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και σε συνέχεια εκπομπές οχημάτων, σε σύγκριση με την οδήγηση σε επίπεδο δρόμο (88). Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρούνται υψηλότερες εκπομπές CO₂ με αύξηση της αλλαγής της καμπυλότητας ακτίνας κύκλου σε στροφές του δρόμου. Τέλος, είναι ευρέως ευκόλως κατανοητό ότι εκτός από τη μεγάλη σημασία του χωρικού παράγοντα στη συμπεριφορά και στον τρόπο οδήγησης, μεγάλο ρόλο παίζει και ο χρονικός παράγοντας, ο οποίος αποτελεί σημαντική παραμέτρο στις έρευνες για τη δημιουργία του προφίλ συμπεριφοράς του οδηγού (83), (89).

Σε σχετική έρευνα βρέθηκε ότι οι παράμετροι συμπεριφοράς οδήγησης που υιοθετούνται συνήθως από ερευνητές για τη δημιουργία προφίλ των οδηγών είναι η πρωτίστως ταχύτητα και δευτερευόντως η διαμήκης επιτάχυνση και η πέδηση (78). Πιο συγκεκριμένα, για την οικολογική οδήγηση, οι μεταβλητές που επηρεάζουν πιο άμεσα την κατανάλωση καυσίμου είναι οι στροφές του κινητήρα, η ταχύτητα του οχήματος και τα τραντάγματα (86). Σύμφωνα με τους ερευνητές, η επιθετική οδήγηση είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 25%, ενώ η οδήγηση με υψηλότερες ταχύτητες προκαλεί αύξηση κατά 6% και η παρατεταμένη χρήση ρελαντί κατά 2% στην κατανάλωση καυσίμου (90). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι σε περιπτώσεις επιτάχυνσης παρατηρείται υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου σε σύγκριση με αυτές της επιβράδυνσης (91).

2.3.3. Διαφορετικά είδη προφίλ οδήγησης

Η επιλογή των παραμέτρων για την ανάπτυξη των προφίλ συμπεριφορών κατά την οδήγηση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, αναλόγως με το είδος του προφίλ που επιθυμείται να δημιουργηθεί, την εκάστοτε έρευνα ή τον σκοπό λειτουργίας, για παράδειγμα από εταιρίες διαχείρισης στόλου. Είναι προφανές ότι η θεώρηση μεμονωμένων παραμέτρων ή ο συνδυασμός αυτών οδηγεί σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα κάθε φορά και υποδεικνύει τη χαρακτηριστική συμπεριφορά οδήγησης των οδηγών. Για παράδειγμα, αν θεωρηθεί η ταχύτητα ως μεμονωμένη παράμετρος θα σημαίνει την υπερβολική ταχύτητα του οδηγού, ενώ αν θωρηθεί ο συνδυασμός της ταχύτητας με άλλες παραμέτρους όπως τα τραντάγματα, το «tailgating»⁽¹¹⁾ και άλλα τότε θα σημαίνει την επιθετική συμπεριφορά οδήγησης του οδηγού (93).

Σύμφωνα με ερευνητές, ο τρόπος οδήγησης μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες, τον *γενικευμένο τρόπο οδήγησης (global driving style)* και τον *συγκεκριμένο τρόπο οδήγησης (specific driving style)*. Ο τρόπος οδήγησης ορίζεται ως η συμπεριφορά οδήγησης που έχει εξελιχθεί σε συνήθεια και συμβαίνει με συνεπή τρόπο σε όλες τις περιπτώσεις οδήγησης ενώ η συμπεριφορά οδήγησης εμφανίζεται περιστασιακά. Επιπροσθέτως, η παγκόσμια συμπεριφορά οδήγησης ορίζεται σύμφωνα με πλήθος παραμέτρων οδήγησης ενώ η συγκεκριμένη συμπεριφορά οδήγησης ορίζεται σύμφωνα με μία παράμετρο οδήγησης. Επομένως, η πγενικευμένη συμπεριφορά οδήγησης απαρτίζεται από το συνδυασμό συγκεκριμένων προφίλ συμπεριφορών οδήγησης, τα οποία με τη σειρά τους υπολογίζονται περαιτέρω με βάση μεμονωμένων παραμέτρων, ή συνδυασμού αυτών.

Η συμπεριφορά οδήγησης η οποία σχετίζεται πιο άμεσα με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης, είναι η λεγόμενη *οικολογική (saver)* (86). Με βάση το τύπο αυτό, ο οδηγός ακολουθεί λιγότερο σπασμωδικές κινήσεις, σέβεται το όριο ταχύτητας, αλλάζει ταχύτητα στις βέλτιστες στροφές του κινητήρα και αποφεύγει την απότομη επιτάχυνση.

Μια ανασκόπηση στη βιβλιογραφία δείχνει μία συμπεριφορά οδήγησης η οποία ονομάζεται *επιθετική (aggressive driving behaviour)* και αποτελείται από το συνδυασμό διαφόρων ειδικών συμπεριφορών, που περιλαμβάνουν υπερβολική ταχύτητα, απότομες στροφές, tailgating, απότομο φρενάρισμα και επιτάχυνση, ξαφνική αλλαγή λωρίδας κλπ (92), (93). Σύμφωνα με τους ειδικούς, η παραπάνω συμπεριφορά οδήγησης χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, την *εχθρική επιθετικότητα (hostile aggression)* και τη *στοιχειώδη επιθετικότητα (instrumental aggression)*. Στην

πρώτη περίπτωση, οι πράξεις του οδηγού δεν εξυπηρετούν την κινητικότητα του οχήματος αλλά απευθύνονται και αφορούν τους άλλους χρήστες του δρόμου και μπορούν να είναι χειρονομίες, λεκτική κακοποίηση και σωματική επίθεση. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση, οι ενέργειες του οδηγού συμβάλουν στην κινητικότητα του οχήματος, όπως για παράδειγμα είναι η πέραση εμποδίων ή η ταχύτερη μετακίνηση όπως η αυξημένη ταχύτητα, ξαφνική στροφή ή προσπέρασμα κλπ. (93).

Για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς οδήγησης του οδηγού χρησιμοποιείται επίσης από τους ερευνητές μια ακόμη γενικευμένη συμπεριφορά οδήγησης, η **επικίνδυνη οδήγηση (risky driving)** (94). Η επικίνδυνη συμπεριφορά οδήγησης ορίζεται από τους ειδικούς ως ορισμένες πράξεις συμπεριφοράς οδήγησης, συμπεριλαμβανομένων και όχι μόνο, νομικών παραβάσεων όπως είναι η υπερβολική ταχύτητα, παραβιάσεις του δικαιώματος διέλευσης, παράνομη διέλευση, και χρήση λωρίδας όταν δεν επιτρέπεται, παράνομες στροφές, προσπέραση από τα δεξιά, βανδαλισμός και καταστροφή ενδείξεων, σημάτων και φωτεινών σηματοδοτών και άλλα. Είναι επίσης απαραίτητο να σημειωθεί, ότι η επικίνδυνη οδική συμπεριφορά διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, τη σκόπιμη και την ακούσια παράβαση. Για παράδειγμα, παραβάσεις όπως η διέλευση του οχήματος από φωτεινό σηματοδότη με κόκκινη ένδειξη ή η υπερβολική ταχύτητα θεωρούνται ως σκόπιμες παραβάσεις, ενώ τα λάθη και οι περισπασμοί ως ακούσιες.

Μία διαφορετική συμπεριφορά οδήγησης, η οποία πολλές φορές συγχέεται λανθασμένα με την παραπάνω, είναι η **επιθετική συμπεριφορά οδήγησης** (92). Η **ασφαλής συμπεριφορά οδήγησης (Safe driving behaviour)** θεωρείται αντίθετη από την επικίνδυνη και ορίζεται ως η συμπεριφορά οδήγησης η οποία υιοθετείται από τον οδηγό με σκοπό τη μείωση της εμπλοκής του ίδιου σε ατυχήματα». Σύμφωνα με τον τύπο αυτό, ο οδηγός συμμορφώνεται με την αναγραφόμενη μέγιστη ταχύτητα, αποφεύγει το απότομο φρενάρισμα, τηρεί τις αποστάσεις ασφαλείας από τα υπόλοιπα οχήματα, αποφεύγει την οδήγηση σε περιοχές υψηλού κινδύνου και συνθήκες και άλλα (95).

Συμπληρωματικά, η **αμυντική ή συντηρητική συμπεριφορά οδήγησης (defensive or conservative driving behaviour)** ορίζεται ως η συμπεριφορά που υιοθετείται από τον οδηγό για να αναγνωρίσει τον απρόβλεπτο κίνδυνο και να αναλάβει τις κατάλληλες αποφάσεις για την αποφυγή ατυχημάτων.

Η **συμπεριφορά απόσπασης οδήγησης (Distracted driving behaviour)** είναι ένας τύπος ο οποίος απασχολεί αρκετά τους ερευνητές του σήμερα, καθώς αποτελεί αρκετά συχνό φαινόμενο την τελευταία δεκαετία. Η απόσπαση της προσοχής οφείλεται

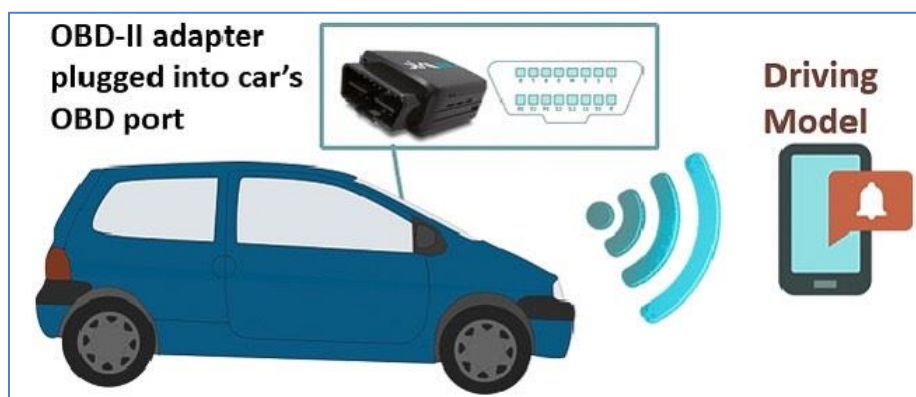
συχνότερα στη χρήση κινητού τηλεφώνου αλλά και σε διαφημιστικές πινακίδες, πεζούς και κάθε άλλη δραστηριότητα η οποία μπορεί να απομακρύνει την προσοχή του οδηγού από την ασφαλή λειτουργία του οχήματος (96), (97). Στη βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι η παραπάνω συμπεριφορά μπορεί να μετρηθεί με βάση το ποσοστό χρόνου χρήσης κινητού τηλεφώνου, του χρόνου όταν ο οδηγός παρατηρεί στόχους εκτός του δρόμου κλπ. (98).

Τέλος, η βιβλιογραφία αποκαλύπτει διάφορες άλλες συγκεκριμένες ή γενικευμένες συμπεριφορές οδήγησης όπως η *οδήγηση με υπνηλία (drowsy driving)*, που αναφέρεται ως συνδυασμός οδήγησης και υπνηλίας ή κόπωσης, η *ήρεμη οδήγηση (calm driving)* σύμφωνα με την οποία ο οδηγός ανταποκρίνεται ήρεμα στην πίεση άλλων οδηγών και άλλες.

2.3.4. Μέθοδοι για την κατηγοριοποίηση οδηγών

Μια ανασκόπηση της πρόσφατης βιβλιογραφίας φανερώνει διαφορετικές προσεγγίσεις οι οποίες υιοθετήθηκαν από ερευνητές για την ταξινόμηση των οδηγών σε διαφορετικές κατηγορίες. Μία από αυτές είναι και η ομαδοποίηση (Clustering), μια κοινή προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση διαφορετικών αντικειμένων που είναι παρόμοια και θα αναλυθεί αργότερα στην εργασία.

Οι Simsek et al. (26), πρότειναν έναν τρόπο αξιολόγησης των επιδόσεων οδηγών ενός στόλου σε εταιρίες μεταφορών, με γνώμονα την ασφάλεια και την οικονομία. Αρχικά εγκαταστάθηκαν σε κάθε όχημα συσκευές GPS, με τη βοήθεια των οποίων συγκεντρώθηκαν αρκετές παράμετροι όπως η ταχύτητα και η διάρκεια αδράνειας στο ρελαντί και στη συνέχεια τα δεδομένα καταγράφηκαν στο Microsoft Excel μέσω ενός SQL server⁽¹²⁾. Στην εικόνα 2.2 απεικονίζεται η διαδικασία συλλογής δεδομένων από την εγκατεστημένη συσκευή OBD στο αυτοκίνητο και την εφαρμογή στο έξυπνο κινητό τηλέφωνο.



Εικόνα 2-2 Διαδικασία συλλογής δεδομένων με OBD (Πηγή: 26)

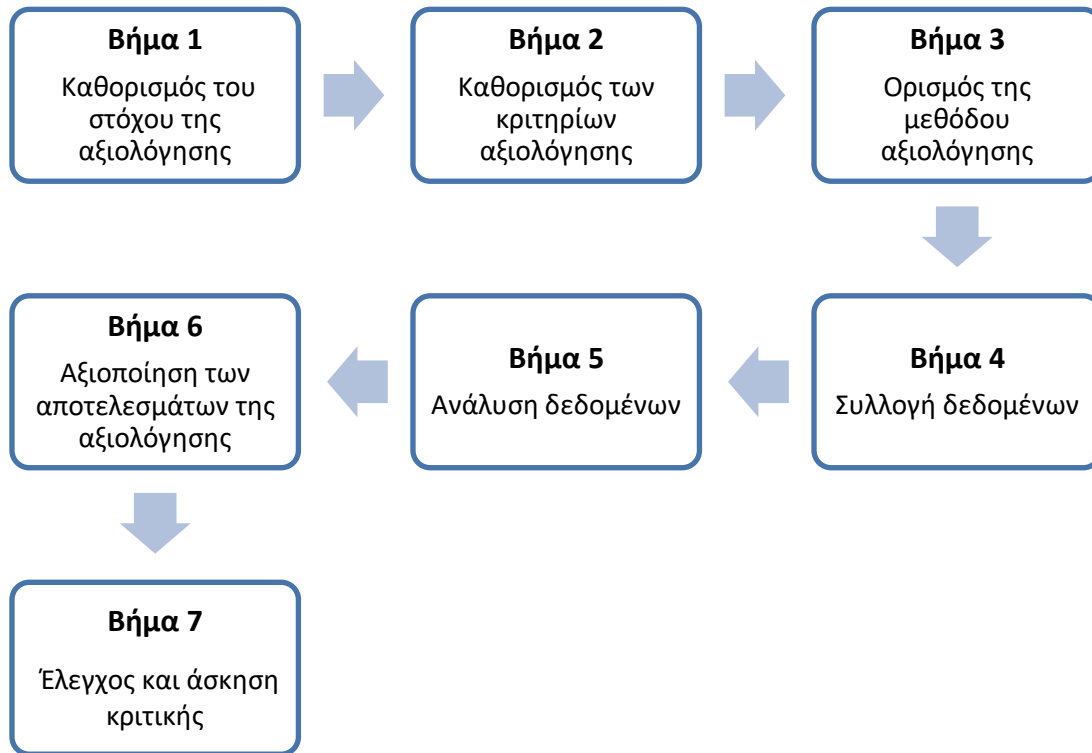
Στο πλαίσιο της έρευνας αυτής, υιοθετήθηκε από τους ερευνητές το εργαλείο στατιστικού ελέγχου διαδικασίας (Statistical process control (SPC)), ενώ η βαθμολογία των οδηγών διαμορφώθηκε με βάση την ταχύτητα και την κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιώντας διάφορα γραφήματα. Οι μεταβολές της ταχύτητας κάθε οχήματος σε συνάρτηση με το χρόνο αποτυπώθηκαν σε ένα εξατομικευμένο γράφημα για κάθε οδηγό ενώ παράλληλα μετρήθηκε η αναλογία του βαθμού υπέρβασης του ορίου ταχύτητας σε δεδομένο χρονικό διάστημα από τον οδηγό και παρουσιάστηκε σε αντίστοιχο διάγραμμα, το οποίο δίνεται από την Εξ. (1).

$$P_i = D_i / n_i \quad (1)$$

Το P_i δηλώνει την αναλογία υπέρβασης της ταχύτητας από τον οδηγό τον i μήνα, D_i είναι ο αριθμός μέτρησης υπέρβασης της ταχύτητας τον i ο μήνα και n_i είναι ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων ταχύτητας τον i μήνα. Η τιμή P_i χρησιμοποιήθηκε περαιτέρω για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του οδηγού σχετικά με την υπέρβαση της ταχύτητας. Για την αξιολόγηση των οδηγών με βάση την κατανάλωση καυσίμου, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τη διάρκεια αδράνειας στο ρελαντί του οχήματος ως παράμετρο εισόδου για τον υπολογισμό της μέσης απώλειας καυσίμου που δίνεται παρακάτω.

Μέση απώλεια καυσίμου (από άποψη κόστους) = Μέση διάρκεια αδράνειας στο ρελαντί × κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα στο ρελαντί × Τιμή καυσίμου.

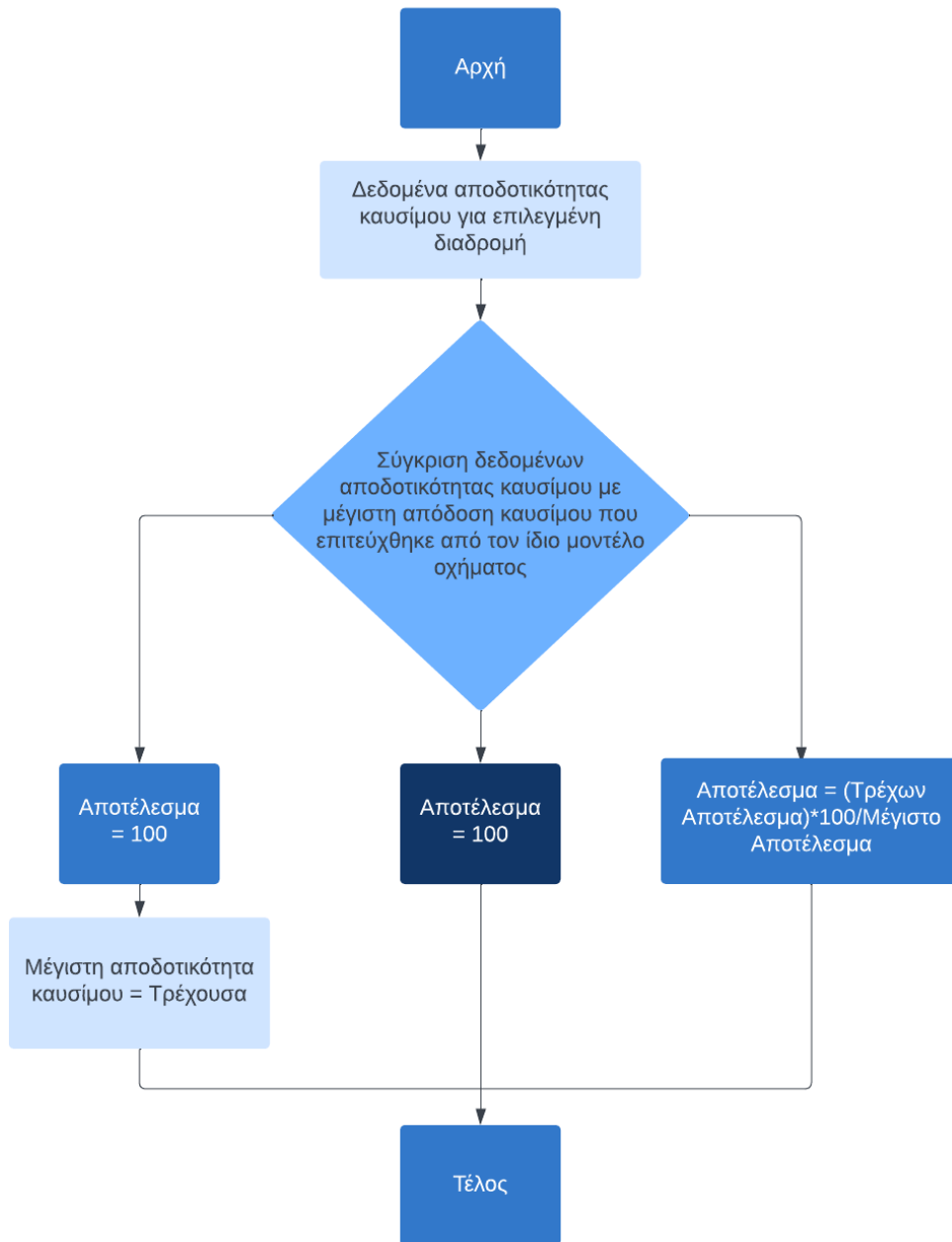
Οι Massoud et al. (86) πρότειναν μια προσέγγιση gamification⁽¹³⁾ για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών με βάση τις αρχές της οικολογικής οδήγησης. Κατά την έρευνα αυτή, τα δεδομένα συμπεριφοράς κάθε οδηγού συλλέχθηκαν μέσω του αισθητήρα GPS του κινητού τηλεφώνου και της συσκευής OBD του οχήματος. Στο πείραμα αυτό η επιθετική συμπεριφορά οδήγησης μπορούσε να αναγνωρισθεί και ο οδηγός να ειδοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο μέσω του κινητού του τηλεφώνου για τη συμπεριφορά οδήγησής του και να λάβει τις κατάλληλες οδηγίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά οδήγησης έγινε εμφανής μέσω των δεδομένων RPM⁽¹⁴⁾ του οχήματος, του αισθητήρα θέσης γκαζιού⁽¹⁵⁾, της ταχύτητας και των τρανταγμάτων. Παρακάτω φαίνεται η ροή των βημάτων της λεγόμενης μεθόδου στο διάγραμμα 2.6 και η τελική βαθμολογία οικολογικής οδήγησης δίνεται στην εξίσωση (2).



Διάγραμμα 2-5 Μέθοδος των Massoud et al. (Πηγή: 86)

Βαθμολογία Eco-driving = 0,75x(βαθμολογία απόδοσης καυσίμου)+0,25x(βαθμολογία αισθητήρα θέσης γκαζιού) (2)

Στην αναφερομένη έρευνα, η βαθμολόγηση των οδηγών έγινε σε μια κλίμακα από το 0 έως το 100, από την λιγότερη ως την αποδοτικότερη εκμετάλλευση καυσίμου αντίστοιχα. Περαιτέρω, οι οδηγοί ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τη βαθμολογία της συμπεριφοράς οδήγησής τους για παράδειγμα στο προφίλ "Saver" κατατάχθηκαν οι συμπεριφορές με βαθμολογία οδήγησης από 60 έως 100, στην κατηγορία «Typical» όσες είχαν βαθμολογία οδήγησης από 40 έως 59 και στην κατηγορία «Careless» όσοι είχαν βαθμολογία οδηγού μικρότερη από 39. Στο διάγραμμα 2.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου.



Διάγραμμα 2-6 Αλγόριθμος βαθμολογίας απόδοσης καυσίμου Massoud et al. (Πηγή: 86)

2.4. Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας

Η οικολογική οδήγηση προσφέρει πολλαπλά οφέλη σε αρκετούς τομείς. Περιβαλλοντικά, συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και τη διατήρηση της αέριας ποιότητας. Οικονομικά, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου οδηγεί σε εξοικονόμηση χρημάτων. Επιπλέον, η οικολογική οδήγηση μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας μέσω της μείωσης των ατυχημάτων.

Παρά τα οφέλη, υπάρχουν εμπόδια που μπορούν να περιορίσουν την υιοθέτηση της οικολογικής οδήγησης. Η έλλειψη ενημέρωσης και εκπαίδευσης σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές μπορεί να αποθαρρύνει τους οδηγούς. Επίσης, η άνεση και η συνήθεια της συμπεριφοράς μπορεί να καθιστούν δύσκολη την αλλαγή. Οι προκλήσεις στην προώθηση της εκπαίδευσης της οικολογικής οδήγησης περιλαμβάνουν την αντίσταση σε νέες τεχνικές οδήγησης, την έλλειψη ενδιαφέροντος και την απαίτηση μακροχρόνιας αλλαγής συμπεριφοράς. Η εκπαίδευση στην οικολογική οδήγηση απαιτεί προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τις ατομικές ανάγκες και επιθυμίες των οδηγών, παρέχοντας πρακτικές εμπειρίες και αποδείξεις για τα οφέλη της οικολογικής οδήγησης.

Ανακεφαλαιώνοντας, μέσω της διαθέσιμης βιβλιογραφίας τονίζεται η ανάγκη μείωσης των περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τον ανθρώπινο παράγοντα και ως εκ τούτου της άμεσης παρέμβασης για την μείωση των εκπομπών των οχημάτων. Παρά την πληθώρα βιβλιογραφικής αναφοράς στο συγκεκριμένο αντικείμενο κρίνεται αναγκαία η απόπειρα σφαιρικότερης προσέγγισης της έννοιας της συμπεριφοράς της οικολογικής οδήγησης μέσω του προσδιορισμού των προφίλ οικολογικής οδήγησης και κατ' επέκταση στη συσχέτιση των προφίλ αυτών με την κατανάλωση καυσίμου. Για τους σκοπούς του πειράματος χρησιμοποιούνται πρόσφατα δεδομένα πραγματικής οδήγησης, αξιοποιώντας τις σημερινές συνθήκες οδήγησης και στόλου οχημάτων, γεγονός το οποίο αποτελεί μία ακόμα αναγκαία προσθήκη στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

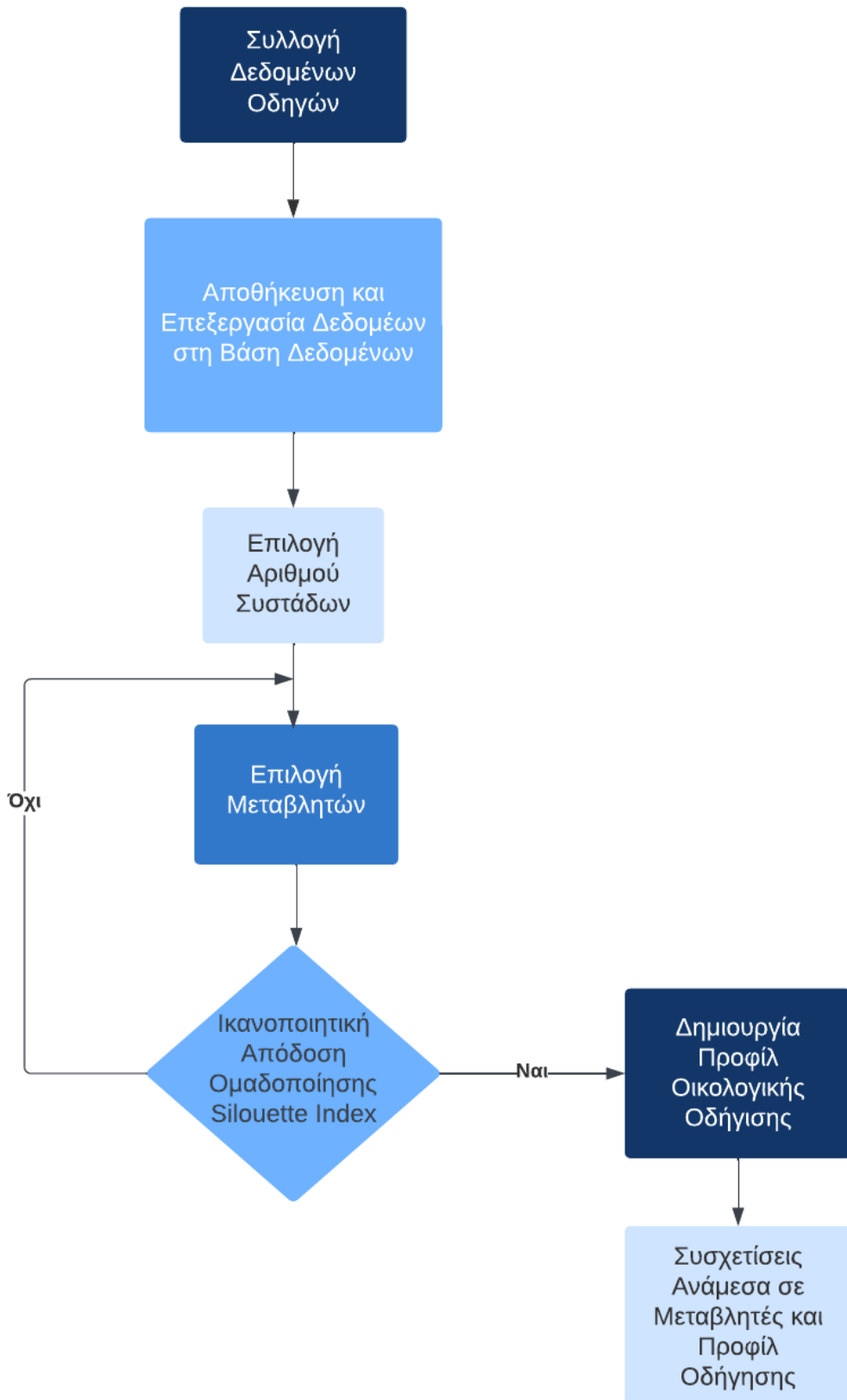
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής σχεδιάστηκε μια μεθοδολογία τριών βημάτων όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 3.1.

Αρχικά, γίνεται πρώτη επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται. Τα δεδομένα συλλέγονται από μια εφαρμογή που λειτουργεί συνεχώς στο παρασκήνιο του λειτουργικού συστήματος του κινητού τηλεφώνου και από τη μονάδα OBD που είναι εγκατεστημένη στο αυτοκίνητο κάθε οδηγού για τους σκοπούς του πειράματος. Με τη βοήθεια της εφαρμογής συγκεντρώνονται δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, τα οποία μεταφέρονται στον διακομιστή για αποθήκευση και επεξεργασία. Για την έρευνα, τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων με 1509 εγγραφές, όπου κάθε μία αντιπροσωπεύει ένα ταξίδι. Οι εγγραφές περιλαμβάνουν πολλές μεταβλητές, ανάμεσα σε ακατέργαστα δεδομένα και μεταδεδομένα. Τα δεδομένα προέρχονται από 25 μοναδικούς οδηγούς και καλύπτουν διάφορες συνθήκες οδήγησης. Οι μεταβλητές υπόκεινται επεξεργασία, όπως η αφαίρεση των ταξιδιών με διάρκεια μικρότερη του ενός λεπτού.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση ομαδοποίησης με τον αλγόριθμο k-means προκειμένου να εντοπιστούν τα προφίλ οδήγησης. Αρχικά επιλέγεται ο βέλτιστος αριθμός συστάδων μέσω επαναλαμβανόμενης διαδικασίας και επιλέγονται οι κατάλληλες μεταβλητές για τον αλγόριθμο. Με τη βοήθεια της ομαδοποίησης K-means τα δεδομένα διαιρούνται σε ομάδες, χρησιμοποιώντας τα κέντρα ομάδων τα οποία προκύπτουν. Οι ομάδες αυτές κατατάσσονται, ανάλογα με τις τιμές των μεταβλητών τους, από το πλέον οικολογικό προφίλ έως το λιγότερο οικολογικό προφίλ.

Τέλος, μέσω στατιστικής ανάλυσης διερευνώνται σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο. Παρατηρείται ποια χαρακτηριστικά οδήγησης, όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και άλλα, συσχετίζονται με ποια προφίλ οδήγησης και κατά πόσο επηρεάζονται και εξαρτώνται η μία μεταβλητή από την άλλη.



Διάγραμμα 3-1 Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας

3.1. Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1.1. Ομαδοποίηση

Η ομαδοποίησης (clustering) είναι μια στατιστική διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για να κατανείμουμε ένα σύνολο δεδομένων σε ομάδες (clusters), τα οποία έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Στόχος της ομαδοποίησης αυτής είναι να μελετήσουμε δομές ή πρότυπα στα δεδομένα, τα οποία μπορεί να μην προκύπτουν άμεσα από την αρχική παρατήρηση και να εξάγουμε συμπεράσματα. Η ανάλυση ομαδοποίησης χρησιμοποιείται συνηθέστατα για την εύρεση παρόμοιων συμπεριφορών, τάσεων ή και προτύπων ανάμεσα σε στοιχεία από βάσεις δεδομένων.

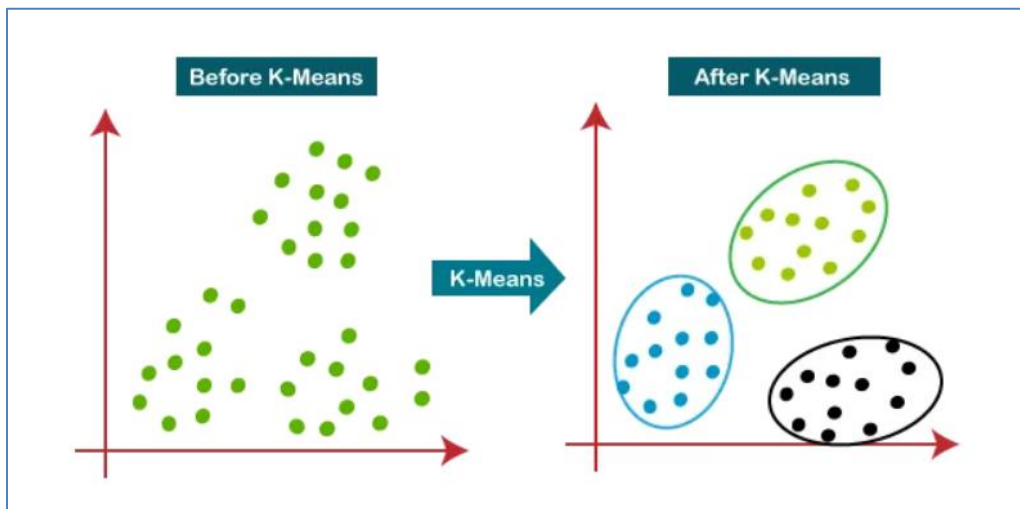
Οι πιο γνωστές μέθοδοι ομαδοποίησης που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία είναι ο αλγόριθμος K-Means, ο αλγόριθμος Hierarchical Clustering, DBSCAN κ.ά. Οι μέθοδοι διαφέρουν στον τρόπο που αντιμετωπίζουν τα δεδομένα και τον τρόπο που εντοπίζουν τις ομάδες.

Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης απαιτούν την επιλογή παραμέτρων, όπως ο αριθμός των ομάδων, οι οποίες με τη σειρά τους θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Συνήθως, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ομαδοποίησης εκφράζεται με μετρικές όπως ο δείκτης silhouette. Ο δείκτης αυτός μετρά το πόσο καλά ένα δείγμα ταιριάζει με τη δική του ομάδα σε σύγκριση με άλλες ομάδες. Στη βιβλιογραφία είναι διαθέσιμη πληθώρα εφαρμογών, με κυριότερο αντικείμενο την ανίχνευση προτύπων σε επιστημονικά δεδομένα. Εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι ανάλυση ομαδοποίησης είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανακάλυψη προτύπων και την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ δεδομένων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ακολουθείται μια προσέγγιση ομαδοποίησης με σκοπό τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς οδήγησης που επιδεικνύει ένας οδηγός κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου ταξιδιού. Η ομαδοποίηση είναι το έργο της διαίρεσης ενός συνόλου δειγμάτων σε πολλές συστάδες έτσι ώστε τα δείγματα μέσα στην ίδια ομάδα να είναι παρόμοια. Στη μελέτη αυτή επιλέγεται ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος, η ομαδοποίηση K-means (42). Στη μέθοδο ομαδοποίησης K-means, ο στόχος είναι να χωριστεί το σύνολο δεδομένων σε έναν αριθμό K συστάδων που είναι προκαθορισμένα.

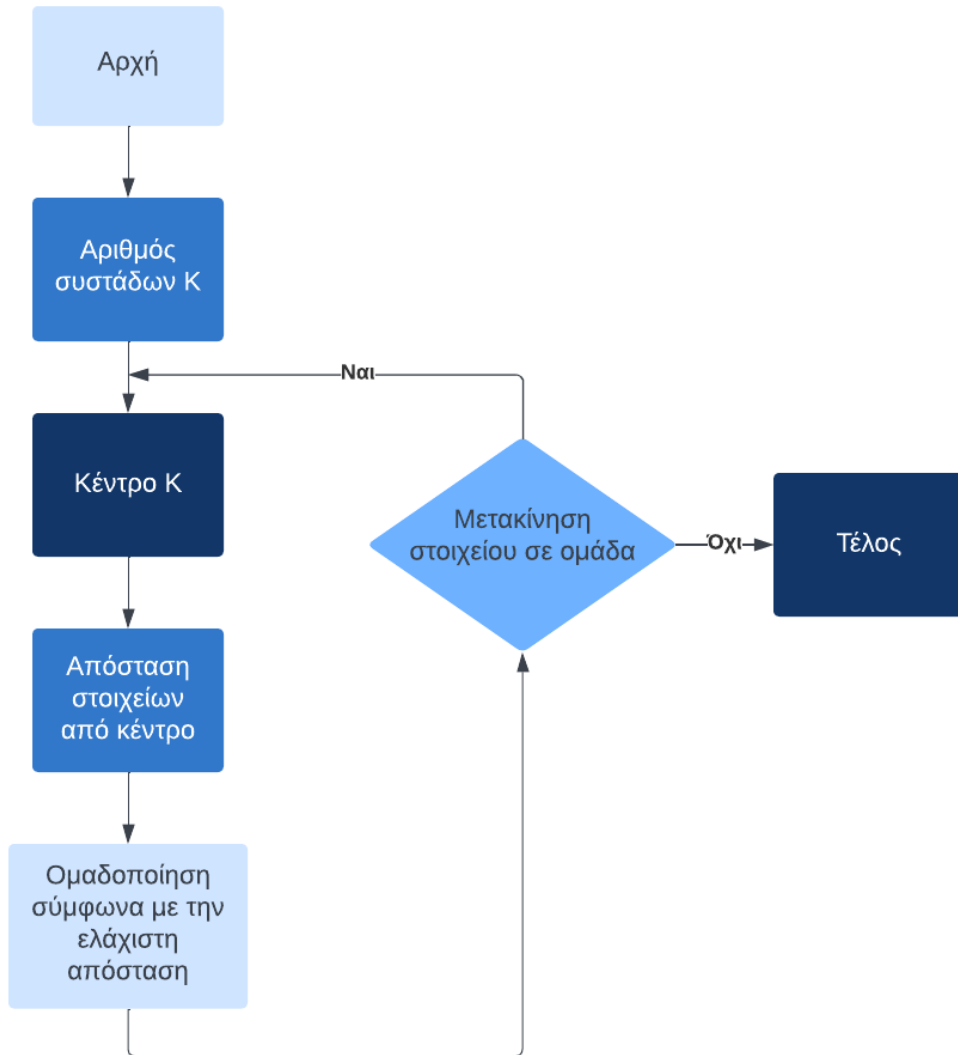
3.1.2. Μέθοδος K-Means

Η μέθοδος K-Means είναι ένα ευρέως διαδεδομένος αλγόριθμος ομαδοποίησης (clustering) στον τομέα της μηχανικής μάθησης και γενικότερα της επεξεργασίας δεδομένων. Βασικός στόχος της μεθόδου αυτής είναι να κατανείμει μια συλλογή δεδομένων σε ομάδες (clusters) έτσι ώστε τα δεδομένα τα οποία βρίσκονται στην ίδια ομάδα να είναι πιο ομοιογενή μεταξύ τους σε σύγκριση με τα δεδομένα σε διαφορετικές ομάδες. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται οπτικά με απλό τρόπο η προσφορά της μεθόδου αυτής στα δεδομένα.



Εικόνα 3-1 Οπτικοποίηση μεθόδου K-Means (Πηγή: 99)

Αρχικά, επιλέγεται ο αριθμός των ομάδων που θέλουμε να δημιουργήσουμε. Η μεταβλητή K αντιπροσωπεύει τον αριθμό των κέντρων των ομάδων αυτών. Τα K κέντρα αρχικοποιούνται τυχαία, συνήθως επιλέγοντας σε πρώτο στάδιο έναν τυχαίο αριθμό δειγμάτων από τα δεδομένα. Στη συνέχεια, κάθε δείγμα από τα δεδομένα εκχωρείται στο κοντινότερο κέντρο, με βάση την ευκλείδεια απόσταση ή άλλες μετρικές. Έπειτα, τα κέντρα των ομάδων ανανεώνονται υπολογίζοντας το μέσο όρο των δειγμάτων τα οποία εκχωρήθηκαν σε κάθε ομάδα. Τα βήματα του αλγόριθμου της εκχώρησης και της ενημέρωσης των κεντροειδών επαναλαμβάνονται μέχρι τα κέντρα να σταθεροποιηθούν και τα στοιχεία των ομάδων να συγκλίνουν. Ο αλγόριθμος τερματίζεται όταν τα κέντρα σταματούν να αλλάζουν σημαντικά ή όταν επιτευχθεί ένα προκαθορισμένο όριο επαναλήψεων (100). Παρακάτω, στο διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας της ομαδοποίησης.



Διάγραμμα 3-2 Διάγραμμα ροής διαδικασίας ομαδοποίησης (Πηγή: 101)

Ένα σύμπλεγμα μπορεί να θεωρηθεί ως μια ομάδα σημείων δεδομένων των οποίων οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων είναι μικρές σε σύγκριση με τις αποστάσεις σημείων έξω από το σύμπλεγμα. Για κάθε σημείο δεδομένων X_i , εισάγεται ένα αντίστοιχο σύνολο δυαδικών μεταβλητών δεικτών, όπου περιγράφεται σε ποια από τις ομάδες K έχει εκχωρηθεί το σημείο δεδομένων X_i , έτσι ώστε εάν ένα σημείο δεδομένων εκχωρηθεί στο σύμπλεγμα k τότε $r_{nk} = 1$ και $r_{nj} = 0$ για $j \neq k$. Στη συνέχεια, ορίζεται μια αντικειμενική συνάρτηση, που δίνεται από:

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{nk} \|x_n - \mu_k\|^2 \quad (1)$$

Η προηγούμενη εξίσωση αντιπροσωπεύει το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων κάθε σημείου δεδομένων στο εκχωρημένο διάνυσμα μ_k , όπου το μ_k αντιπροσωπεύει το κέντρο του k th συμπλέγματος (43).

Η επικύρωση ομαδοποίησης πραγματοποιήθηκε με εκτίμηση του δείκτη σιλουέτας. Πιο συγκεκριμένα, για μια δεδομένη συστάδα, X_j ($j=1, \dots, c$), αυτή η μέθοδος εκχωρεί σε κάθε δείγμα X_j ένα μέτρο ποιότητας, $s(i)$ ($i=1, \dots, m$), γνωστό ως το Πλάτος σιλουέτας, το οποίο ορίζεται ως:

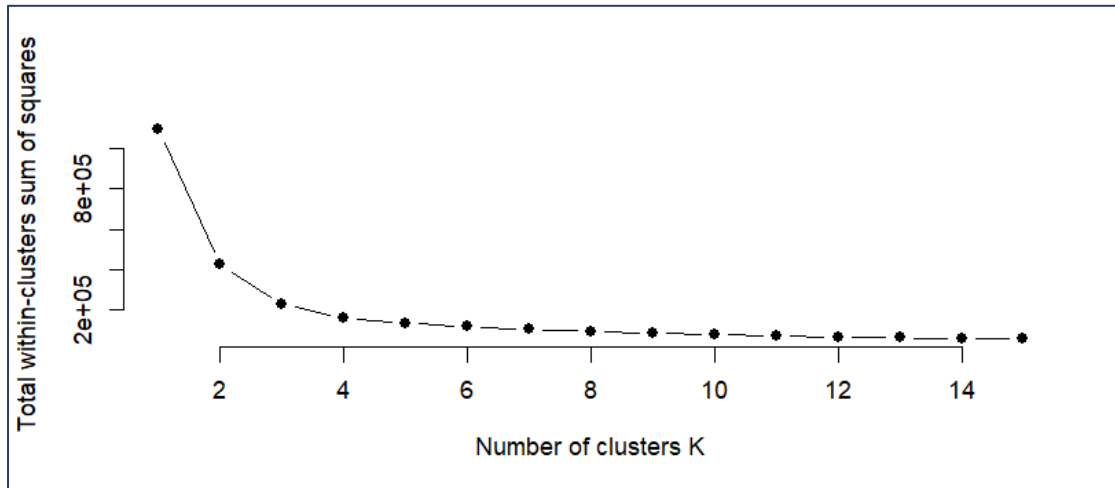
$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (2)$$

όπου $a(i)$ είναι η μέση απόσταση μεταξύ του i^{th} δείγματος και όλων των δειγμάτων που περιλαμβάνονται στο X_j . Ο «max» είναι ο μέγιστος τελεστής και $b(i)$ είναι η ελάχιστη μέση απόσταση μεταξύ του i^{th} δείγματος και όλων των δειγμάτων που συγκεντρώνονται σε X_k ($k=1, \dots, c; k \neq j$). Από αυτόν τον τύπο, προκύπτει ότι $-1 \leq s(i) \leq 1$. Όταν ένα $s(i)$ είναι κοντά στο 1, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι το i^{th} δείγμα έχει αντιστοιχιστεί σε ένα κατάλληλο σύμπλεγμα. Όταν ένα $s(i)$ είναι κοντά στο 0, υποδηλώνει ότι το i^{th} δείγμα θα μπορούσε επίσης να αντιστοιχιστεί στο πλησιέστερο γειτονικό σύμπλεγμα. Εάν το $s(i)$ είναι κοντά στο -1, μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι ένα τέτοιο δείγμα έχει εκχωρηθεί σε λάθος σύμπλεγμα. Έτσι, για ένα δεδομένο σύμπλεγμα είναι δυνατόν να υπολογιστεί ένας δείκτης Silhouette συστάδας S_j , ο οποίος χαρακτηρίζει την ετερογένεια και τις ιδιότητες απομόνωσης ενός τέτοιου συμπλέγματος:

$$S_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s(i) \quad (3)$$

όπου m είναι ο αριθμός των δειγμάτων στο S_j .

Στο διάγραμμα 3.3 παρουσιάζεται ένας τρόπος για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού συστάδων, με το οποίο προτείνεται ο συνολικός αριθμός ανάλογα με το άθροισμα των τετραγώνων.



Διάγραμμα 3-3 Βέλτιστος αριθμός συστάδων

3.2.Περιγραφή πειράματος

3.2.1.Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα συλλέγονται από μια ήδη αναπτυγμένη εφαρμογή που εκτελείται συνεχώς στο παρασκήνιο του λειτουργικού συστήματος του έξυπνου κινητού και από τη μονάδα OBD η οποία είναι εγκατεστημένη στο αυτοκίνητο κάθε οδηγού για τους σκοπούς του πειράματος. Η εφαρμογή δεν απαιτεί καμία ενέργεια από το χρήστη για τη συλλογή των δεδομένων. Χρησιμοποιώντας ένα πλήθος κριτηρίων, η εφαρμογή ξεκινά να συλλέγει ακατέργαστα δεδομένα από το έξυπνο κινητό χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες όπως το επιταχυνσιόμετρο, το γυροσκόπιο και το GPS. Δεδομένου ότι η εφαρμογή χρησιμοποιεί υπηρεσίες που βασίζονται σε cloud, μετά τον αυτόματο εντοπισμό του τέλους του ταξιδιού, τα δεδομένα μεταφορτώνονται στον διακομιστή για αποθήκευση σε ανώνυμη μορφή για περαιτέρω επεξεργασία. Ο «θόρυβος» στα δεδομένα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας εξελιγμένες διαδικασίες καθαρισμού δεδομένων, έτσι ώστε να περιλαμβάνονται μόνο τα ταξίδια οδήγησης σε αστικούς και αγροτικούς δρόμους.

3.2.2. Βάση δεδομένων

Για τη συγκεκριμένη έρευνα, τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω του πειράματος αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων, η οποία είναι σε μορφή ηλεκτρονικού υπολογιστικού φύλλου, το οποίο διαθέτει 1509 εγγραφές. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία εγγραφή, δηλαδή σε ένα ταξίδι, το οποίο περιλαμβάνει τον χρόνο κίνησης αλλά και στάσεις του οχήματος. Στις στήλες του υπολογιστικού αυτού του φύλλου αντιστοιχούν 145 μεταβλητές, για τις οποίες είναι καταγεγραμμένες τιμές για κάθε ταξίδι αντίστοιχα. Ορισμένες από τις μεταβλητές αντιστοιχούν σε ακατέργαστα δεδομένα, ενώ άλλες είναι μεταδεδομένα (metadata)⁽¹⁸⁾. Τα δεδομένα συλλέγονται από τα έξυπνα κινητά 25 μοναδικών οδηγών από τον Απρίλιο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2022 με πλήθος διαφορετικών συνθηκών, όπως ώρα, ημέρα, τύπος οδού και άλλα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το σύνολο δεδομένων που συγκεντρώνεται είναι σε ανώνυμη μορφή, καθώς οι μόνες διαθέσιμες πληροφορίες για κάθε χρήστη είναι ένας κωδικός χρήστη που δεν μπορεί να συνδεθεί με προσωπικά δεδομένα. Επιπροσθέτως, δεν δίνονται οδηγίες στους οδηγούς όσον αφορά τη συμπεριφορά τους κατά την οδήγηση και, συνεπώς, οι μεταβλητές που συλλέγονται αντιστοιχούν πλήρως σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να γίνουν ορισμένες αλλαγές στο υπολογιστικό φύλλο. Έτσι, δε λαμβάνονται υπόψη όσα ταξίδια είχαν διάρκεια μικρότερη του ενός λεπτού, καθώς θεωρείται ότι οι αντίστοιχες μεταβλητές ή δεν αναπτύσσονται ή είναι αμφίβολη η εγκυρότητά τους. Ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής, προκύπτει μια βάση δεδομένων με 22 λιγότερες εγγραφές, δηλαδή με 1487 συνολικά. Επίσης, οι μεταβλητές οι οποίες αναφέρονται σε καθαρό αριθμό (όπως είναι για παράδειγμα ο συνολικός αριθμός που ο οδηγός πατάει απότομα το φρένο) διαιρούνται με τη συνολική διάρκεια του ταξιδιού. Προσοχή δίνεται επίσης στη μετατροπή των μονάδων, καθώς η μονάδα μέτρησης της μεταβλητής της διάρκειας είναι σε δευτερόλεπτα, ενώ οι υπόλοιπες σε λεπτά. Στη συνέχεια, στον πίνακα 3.1 παρατίθεται μία λίστα με τις μεταβλητές της αναφερόμενης βάσης δεδομένων με την περιγραφή κάθε μεταβλητής αντίστοιχα.

Πίνακας 3-1 Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν από τη βάση δεδομένων

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα Μέτρησης	Μέση Τιμή
harsh_acc_per_min	Ο μέσος αριθμός φορών που ο οδηγός επιταχύνει απότομα το όχημα ανά λεπτό.	integer	0.0058
acc_avg	Η μέση επιτάχυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ³	1.2854
acc_q90	90% του ποσοστού της συνολικής μέσης επιτάχυνσης στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ³	3.0799
harsh_brk_per_min	Ο μέσος αριθμός φορών που ο οδηγός επιβραδύνει απότομα το όχημα ανά λεπτό.	integer	0.0504
dec_avg	Η μέση επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ³	-1.5103
dec_q90	90% του ποσοστού της συνολικής μέσης επιβράδυνσης στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ³	-3.7977
speed_max	Η μέγιστη επιτάχυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	Km/h	68.7798
speed_avg	Η μέγιστη επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	Km/h	35.8833
smooth_eco	Μέτρο οικολογικής οδήγησης που ισούται με την κινητική ενέργεια στη συνολική απόσταση	km/h ²	0.3520
obd_fuel_consumption	Η κατανάλωση καυσίμου στο εκάστοτε ταξίδι.	Lt/100km	7.8043
Fuel type	Ο τύπος του καυσίμου που χρησιμοποιείται: πετρέλαιο η βενζίνη.	-	-
distance_total	Η συνολική απόσταση που διανύει το όχημα στο εκάστοτε ταξίδι.	km	12.1506
Duration	Η συνολική διάρκεια ταξιδιού συμπεριλαμβανομένων στάσεων	seconds	1132.3475
harsh_acc	το σύνολο των απότομων επιταχύνσεων ανά ταξίδι	καθαρός αριθμός	0.9172
harsh_brk	το σύνολο των απότομων επιβραδύνσεων ανά ταξίδι	καθαρός αριθμός	1.4805
speeding percentage	το ποσοστό των φορών οδήγησης με ταχύτητα πάνω από το επιτρεπόμενο όριο	seconds	0.0575
trip_id	κωδικός αναγνώριση του κάθε ταξιδιού	-	-

3.2.3. Περιγραφή της διαδικασίας Προεργασίας

Πολλές μελέτες είναι διαθέσιμες στη βιβλιογραφία σχετικά με την ανάλυση της συμπεριφοράς οδήγησης. Μεγάλο πλήθος δεδομένων για τις μελέτες αυτές προέρχεται από παραδοσιακές πηγές δεδομένων, όπως ερωτηματολόγια, αναφορές αστυνομίας. Άλλες πιο καινοτόμες μέθοδοι είναι οι διεργασίες παρατηρητών στο δρόμο, προσομοιωτές οδήγησης, καθώς και εργαλεία για τη συλλογή φυσιολογικών δεδομένων οδήγησης, συμπεριλαμβανομένων των ενσωματωμένων διαγνωστικών (OBD) και των συσκευών εγγραφής δεδομένων επί του οχήματος (IVDR) (100). Σε σύγκριση με τις μελέτες επί δρόμου (όπου η διαδρομή είναι προκαθορισμένη με τουλάχιστον έναν παρατηρητή να βρίσκεται στο όχημα), στις φυσιολογικές μελέτες οδήγησης δεν υπάρχει κανένας εξωτερικός έλεγχος (78). Τα νατουραλιστικά δεδομένα οδήγησης περιέχουν όλες τις πληροφορίες που συλλέγονται σχετικά με την πραγματική συμπεριφορά του οδηγού. Για το σκοπό αυτό, τα σύγχρονα οχήματα επιτρέπουν πολλούς τρόπους οπτικοποίησης ενός αυτοκινήτου, όπως συσκευές GPS, κάμερες παρακολούθησης ή συσκευές OBD. Παρά το γεγονός ότι οι σταθερές συσκευές εντός του οχήματος μπορούν να παρέχουν πολύ πλούσια δεδομένα οδήγησης, την ίδια στιγμή παραμένουν αρκετά ακριβές (102). Αντίθετα, τα έξυπνα κινητά είναι εύκολα προσβάσιμα σε όλους, παρέχοντας δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας και επιτρέποντας γρήγορη μεταφορά δεδομένων (78). Τα έξυπνα κινητά αποκτούν μια μεταβλητή αισθητήρων, όπως επιταχυνσιόμετρο, ψηφιακή πυξίδα, γυροσκόπιο, GPS, μικρόφωνο και κάμερα που επιτρέπουν την παρακολούθηση μιας ποικιλίας παραμέτρων οδήγησης (103), (104).

Τα σύγχρονα οχήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση πολλών πτυχών της λειτουργίας ενός οχήματος η οποία μπορεί να γίνει εμφανής μέσω του ενσωματωμένου διαγνωστικού συστήματος (OBD). Αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου με τις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας, το κιβώτιο ταχυτήτων, τα φρένα και άλλες λειτουργίες μπορεί να διαχειριστεί.

Το OBD είναι μια συσκευή που συνδέεται στην υποδοχή σύνδεσης δεδομένων του οχήματος (θύρα OBD) με την οποία μπορούν να ληφθούν πληροφορίες απευθείας από το όχημα. Αυτές οι πληροφορίες αποστέλλονται μέσω εφαρμογής σε έξυπνα κινητά μέσω ασύρματου δικτύου (συχνότητα 1 Hz) όπου οι πληροφορίες αποθηκεύονται και στη συνέχεια μεταφέρονται σε υπολογιστή για την επεξεργασία όλων των καταγεγραμμένων δεδομένων (98). Σε αυτή τη συσκευή μπορούν να ληφθούν 128 στιγμιαίες παραμέτρους όπως θέση GPS, ταχύτητα, επιτάχυνση,

στροφές ανά λεπτό (rpm), κατανάλωση καυσίμου (L/s) και εκπομπές CO₂ (g/s). Στη συνέχεια, τα αποθηκευμένα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία από το OBD στο εργαστήριο.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Εφαρμογή Ομαδοποίησης k-means

Ο παρακάτω κώδικας εκτελεί μια σειρά από εργασίες, συμπεριλαμβανομένης της ομαδοποίησης K-means, της αξιολόγησης της ομαδοποίησης με βάση τα διαγράμματα σιλουέτας, τη δημιουργία διαγραμμάτων για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, και την εξαγωγή δεδομένων σε αρχείο CSV.

Για την ομαδοποίηση K-means και τελικά τη δημιουργία των προφίλ, χρησιμοποιείται συγκεκριμένος αλγόριθμος σε κώδικα R σε περιβάλλον R-Studio. Παρακάτω αναλύονται τα στάδια και βήματα του αλγορίθμου.

4.1.1. Φόρτωση Βιβλιοθηκών

Αρχικά αναφέρονται στον αλγόριθμο ένα πλήθος δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια από τον αλγόριθμο και απαιτείται έτσι να «κληθούν» οι αντίστοιχες βιβλιοθήκες οι οποίες τα περιλαμβάνουν. Εδώ φορτώνονται οι απαιτούμενες βιβλιοθήκες που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση των αναλύσεων. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται το πλήθος των βιβλιοθηκών όπως χρησιμοποιήθηκε στον αλγόριθμο.

<code>library(fpc)</code>	<code>library(ggplot2)</code>
<code>library(cluster)</code>	<code>library(sp)</code>
<code>library(dplyr)</code>	<code>library(maptools)</code>
<code>library(NbClust)</code>	<code>library(reshape2)</code>
<code>library(vegan)</code>	<code>library(rgeos)</code>
<code>library(plot3D)</code>	<code>library(factoextra)</code>
<code>library(rgl)</code>	<code>library(readr)</code>
<code>library(leaps)</code>	<code>library(graphics)</code>
<code>library(som)</code>	<code>library(HSAUR)</code>
<code>library(readxl)</code>	<code>library(e1071)</code>
<code>library(kohonen)</code>	<code>library(mclust)</code>
<code>library(dummy)</code>	<code>library(vegan)</code>

Εικόνα 4-1 Μέρος αλγορίθμου clustering, φόρτωση βιβλιοθηκών

4.1.2. Διάβασμα της Βάσης Δεδομένων και Επιλογή Μεταβλητών

Στη συνέχεια, η προηγούμενη βάση δεδομένων με τα 1487 ταξίδια διαβάζεται από το πρόγραμμα. Εδώ διαβάζεται μια βάση δεδομένων από ένα αρχείο CSV που επιλέγεται από το χρήστη με τη χρήση της συνάρτησης «file.choose()». Στη συνέχεια, επιλέγονται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν για την ομαδοποίηση, και τα δεδομένα αποθηκεύονται στο αντικείμενο «data». Προβάλλονται συνοπτικά στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων με τη χρήση των συναρτήσεων «summary()» και «glimpse()». Στην εικόνα 4.2 φαίνεται το τμήμα του αλγορίθμου στο οποίο γίνεται το διάβασμα βάσης δεδομένων και επιλογή μεταβλητών.

```
## Read database

fulldata <- read.csv(file.choose())# Specify the path to data file
# Select variables for clustering trips
user <- fulldata[,"userid"]
data <- data.frame(fulldata[,c("obd_fuel_consumption", "smooth_eco",
  "acc_q90", "dec_q90", "speed_max", "harsh_acc_per_min",
  "harsh_brk_per_min", "speed_avg")])
summary(data)
glimpse(data)
```

Εικόνα 4-2 Μέρος αλγορίθμου clustering, διάβασμα βάσης δεδομένων και επιλογή μεταβλητών

Στη συνέχεια, στην εικόνα 4.3 φαίνονται τα πρώτα αποτελέσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των μεταβλητών.

obd_fuel_consumption	smooth_eco	acc_q90	dec_q90
Min. : 0.7422	Min. : 0.07703	Min. : 0.960	Min. : -8.688
1st Qu.: 5.9880	1st Qu.: 0.28014	1st Qu.: 2.532	1st Qu.: -4.368
Median : 7.3028	Median : 0.34435	Median : 3.059	Median : -3.828
Mean : 7.8043	Mean : 0.35198	Mean : 3.080	Mean : -3.798
3rd Qu.: 8.9845	3rd Qu.: 0.41592	3rd Qu.: 3.600	3rd Qu.: -3.120
Max. : 67.5526	Max. : 1.00494	Max. : 7.524	Max. : -1.440

speed_max	harsh_acc_per_min	harsh_brk_per_min	speed_avg
Min. : 22.80	Min. : 0.0009093	Min. : 0.009479	Min. : 15.46
1st Qu.: 49.32	1st Qu.: 0.0038862	1st Qu.: 0.034669	1st Qu.: 27.41
Median : 64.68	Median : 0.0056412	Median : 0.048048	Median : 33.11
Mean : 68.78	Mean : 0.0057785	Mean : 0.050405	Mean : 35.88
3rd Qu.: 82.68	3rd Qu.: 0.0071723	3rd Qu.: 0.061816	3rd Qu.: 41.19
Max. : 171.24	Max. : 0.0167947	Max. : 0.131803	Max. : 91.42

Εικόνα 4-3 Αποτελέσματα αλγορίθμου για χαρακτηριστικά δείγματος ανά μεταβλητή

Από τα αποτελέσματα του κώδικα και την παρουσίαση των δεδομένων, μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής: Για την μεταβλητή **obd_fuel_consumption**, ο μέσος όρος

της κατανάλωσης καυσίμου κυμαίνεται από 0.7422 έως 67.5526, με μια μέση τιμή 7.8043. Υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις τιμές της κατανάλωσης. Όσον αφορά στη μεταβλητή **smooth_eco**, η μέση τιμή της οικολογικής οδήγησης κυμαίνεται από 0.07703 έως 1.00494, με μια μέση τιμή 0.35198. Οι τιμές είναι κυρίως συγκεντρωμένες σε υψηλότερο επίπεδο. Για την **acc_q90** φαίνεται ότι η 90% μέση επιτάχυνση κυμαίνεται από 0.960 έως 7.524, με μια μέση τιμή 3.080. Υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις τιμές της επιτάχυνσης. Όμοια για την **dec_q90**, η 90% μέση επιβράδυνση κυμαίνεται από -8.688 έως -1.440, με μια μέση τιμή -3.798. Εμφανίζεται υψηλή αρνητική τιμή λόγω του συμβάντος της επιβράδυνσης. Η μεταβλητή **speed_max** φανερώνει ότι η μέγιστη ταχύτητα κυμαίνεται από 22.80 έως 171.24, με μια μέση τιμή 68.78. Υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις τιμές της ταχύτητας. Από την **harsh_acc_per_min** συμπεραίνουμε ότι η μέση τιμή των απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό κυμαίνεται από 0.0009093 έως 0.0167947, με μια μέση τιμή 0.0057785 και άρα οι τιμές είναι σε χαμηλά επίπεδα. Επίσης, η **harsh_brk_per_min**, δηλαδή η μέση τιμή των απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό κυμαίνεται από 0.009479 έως 0.131803, με μια μέση τιμή 0.050405. Όπως φαίνεται υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις τιμές των απότομων επιβραδύνσεων. Τέλος, η μεταβλητή της **speed_avg** δείχνει τη μέση ταχύτητα να κυμαίνεται από 15.46 έως 91.42, με μια μέση τιμή 35.88. Οι τιμές είναι κυρίως συγκεντρωμένες σε μεσαίο επίπεδο.

Στο σημείο αυτό επιλέγονται οι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για την εξαγωγή των προφίλ συμπεριφορών οδήγησης. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η παραπάνω επιλογή είναι πολύπλοκος και αποτελείται από πολλές επαναλαμβανόμενες δοκιμές. Η τελική επιλογή τους έχει άμεση σχέση με τον δείκτη σιλουέτας και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Από τις 145 μεταβλητές που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων, στην ομαδοποίηση K-means χρησιμοποιούνται οι μεταβλητές που φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4-1 Μεταβλητές που επιλέχθηκαν για τον αλγόριθμο

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα Μέτρησης
harsh_acc_per_min	Ο μέσος αριθμός φορών που ο οδηγός επιταχύνει απότομα το όχημα ανά λεπτό.	integer
acc_avg	Η μέση επιτάχυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ²
acc_q90	90% του ποσοστού της συνολικής μέσης επιτάχυνσης στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ²
harsh_brk_per_min	Ο μέσος αριθμός φορών που ο οδηγός επιβραδύνει απότομα το όχημα ανά λεπτό.	integer
dec_avg	Η μέση επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ²
dec_q90	90% του ποσοστού της συνολικής μέσης επιβράδυνσης στο εκάστοτε ταξίδι.	m/s ²
speed_max	Η μέγιστη επιτάχυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	Km/h
speed_avg	Η μέγιστη επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι.	Km/h
smooth_eco	Μέτρο οικολογικής οδήγησης που ισούται με την κινητική ενέργεια στη συνολική απόσταση	km/h ²
obd_fuel_consumption	Η κατανάλωση καυσίμου στο εκάστοτε ταξίδι.	Lt/100km

4.1.3.Ομαδοποίηση K-means και Δημιουργία Διαγράμματος Σιλουέτας

Στο βήμα αυτό, επιλέγεται το πλήθος των συστάδων, ή αλλιώς των διαφορετικών προφίλ συμπεριφορών οδήγησης που θα δημιουργηθούν, δημιουργείται το διάγραμμα silhouette και ο δείκτης silhouette. Σημειώνεται ότι το πλήθος των συστάδων είναι ένας αριθμός ο οποίος επίσης προκύπτει από επαναλαμβανόμενες δοκιμές. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η αύξηση του πλήθους των συστάδων πέρα από ένα συγκεκριμένο αριθμό, δεν οδηγεί στην αύξηση της τιμής του δείκτη silhouette, αντίθετα οδηγεί στη μείωση. Η προσέγγιση γίνεται για 100 αρχικοποιήσεις. Στο στάδιο αυτό επίσης, δημιουργείται μία νέα βάση δεδομένων, σε μορφή ηλεκτρονικού υπολογιστικού φύλλου στην οποία φαίνονται για κάθε χρήστη πόσα ταξίδια έχει στην αντίστοιχη συστάδα.

Εδώ εκτελείται ο αλγόριθμος K-means για την ομαδοποίηση των δεδομένων σε τρία κέντρα ομάδων. Τα κέντρα των ομάδων αποθηκεύονται στο αντικείμενο «data.km».

Οι αναθέσεις ομάδας για κάθε παρατήρηση αποθηκεύονται στο αντικείμενο «data.km_clust». Υπολογίζεται η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων και δημιουργείται ένα διάγραμμα σιλουέτας για να εκτιμηθεί η ποιότητα της ομαδοποίησης. Δημιουργείται ένας πίνακας κατανομής των ομάδων ανά χρήστη και αποθηκεύεται σε ένα αρχείο CSV. Το μέρος του αλγορίθμου στο οποίο γίνεται η ομαδοποίηση φαίνεται στην εικόνα 4.4.

```
## K_means clustering

groups <- 3
data.km <- kmeans(data, centers = groups, nstart = 100)
data.km$centers
data.km_clust <- data.km$cluster
dis <- dist(data, method = "euclidean")
sil <- silhouette(data.km_clust, dis) # requires package vegan
plot(sil, main = "Silhouette plot", col = c("blue", "green", "red")
     [data.km_clust], border = NA)
distribution <- table(user, data.km_clust)
write.csv2(distribution,
           "C:/Users/athna/OneDrive/Documents/thesis/ecodata.csv")
```

Εικόνα 4-4 Ομαδοποίηση K-means και δημιουργία διαγράμματος σιλουέτας

Από τον αλγόριθμο προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης. Οι αριθμοί του Πίνακα 4.2 αντιπροσωπεύουν τα κέντρα όλων των μεταβλητών για κάθε ομάδα.

Πίνακας 4-2 Τιμές κέντρων κάθε μεταβλητής ανά συστάδα

Συστάδα	obd_fuel_consumption	smooth_eco	acc_g90	dec_q90
1	6.878127	0.367866	3.155551	-3.976181
2	6.29746	0.3107517	2.99014	-3.588804
3	9.087761	0.3506455	3.040621	-3.704377
Συστάδα	speed_max	harsh_acc per_min	harsh_brk per_min	speed_avg
1	76.28547	0.004882299	0.041888	38.32059
2	115.48425	0.002703667	0.0260785	56.48719
3	47.74027	0.007518971	0.06543599	27.37411

Η πρώτη συστάδα περιλαμβάνει 556 ταξίδια και αποτελεί το 41% των ταξιδιών συνολικά, η δεύτερη συστάδα περιλαμβάνει 194 ταξίδια και αποτελεί το 14%, ενώ η τρίτη 629 ταξίδια και αποτελεί το 45% των ταξιδιών. Αξίζει να αναφερθεί ότι στον παραπάνω αλγόριθμο ακολουθείται μία επαναληπτική διαδικασία δοκιμάζοντας

διαφορετικές μεταβλητές και παρατηρώντας τα εκάστοτε αποτελέσματα. Για παράδειγμα, παρατηρώντας ότι μία μεταβλητή δε μεταβάλλει τα αποτελέσματα με και χωρίς την ύπαρξή της σημαίνει ότι δεν έχει άμεση συσχέτιση και άρα μπορεί να παραληφθεί. Επίσης, μεταβλητές οι οποίες δείχνουν συμπεριφορά αντίθετη από αυτή που θα περίμενε κανείς σημαίνει ότι αποπροσανατολίζει τα αποτελέσματα για οποιοδήποτε λόγο, πχ λόγω λάθους, και πρέπει να παραλειφθεί.

Με την ομαδοποίηση K-means σε τρεις ομάδες, ανιχνεύονται οι εξής συμπεριφορές: Η πρώτη ομάδα χαρακτηρίζεται από μέση κατανάλωση καυσίμου, μέτρια οικολογική οδήγηση, μεσαία επιτάχυνση, υψηλή επιβράδυνση, υψηλή ταχύτητα, χαμηλή απότομη επιτάχυνση και υψηλή απότομη επιβράδυνση. Η δεύτερη ομάδα χαρακτηρίζεται από ακόμα χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, χαμηλό δείκτη στην οικολογική οδήγηση, μεσαία επιτάχυνση, υψηλή επιβράδυνση, μεσαία ταχύτητα, μεσαία απότομη επιτάχυνση και μεσαία απότομη επιβράδυνση. Τέλος, η τρίτη ομάδα χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση καυσίμου, υψηλό δείκτη στην οικολογική οδήγηση, μεσαία επιτάχυνση, υψηλή επιβράδυνση, χαμηλή ταχύτητα, υψηλή απότομη επιτάχυνση και υψηλή απότομη επιβράδυνση.

Παρατηρώντας λοιπόν τις παραπάνω συστάδες και τα κεντροειδή τους, μπορεί να εξάγει κανείς ορισμένα αποτελέσματα. Στη δεύτερη ομάδα η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου είναι σημαντικά μικρότερη από τις τιμές στα υπόλοιπα. Επίσης, η τιμή του 90% της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης είναι μειωμένες σε σχέση με τις άλλες συστάδες, ενώ οι τιμές που εκφράζουν την εφαρμογή τους με απότομο τρόπο λαμβάνουν επίσης τις μικρότερες τιμές από όλες τις ομάδες. Όλα τα παραπάνω οδηγούν τον αναγνώστη στο συμπέρασμα ότι η δεύτερη ομάδα μπορεί να συσχετιστεί με το προφίλ οικολογικής οδήγησης σε μεγαλύτερο βαθμό από όλα τα υπόλοιπα, γι αυτό και μπορεί να ονομαστεί ως «eco», ενώ τα υπόλοιπα ως «moderate» και «non-eco». Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι τιμές που σχετίζονται με την ταχύτητα φαίνονται αυξημένες στο οικολογικό προφίλ, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι οι οδηγοί που οδηγούσαν στους αυτοκινητοδρόμους, οδηγούσαν με υψηλή αλλά και σταθερή ταχύτητα και άρα με οικονομική κατανάλωση καυσίμου. Η μέση ταχύτητα επίσης της δεύτερης ομάδας ανήκει στην «πράσινη περιοχή» η οποία είχε αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Συνολικά, η ομαδοποίηση K-means διαιρεί τα δεδομένα σε ομάδες με βάση τις παρατηρούμενες χαρακτηριστικές τιμές, χρησιμοποιώντας τα κέντρα ομάδων που επιτεύχθηκαν. Τα διαγράμματα και οι αναλυτικές περιγραφές στη συνέχεια, μας βοηθούν να κατανοήσουμε τα δεδομένα και να εξάγουμε συμπεράσματα για την συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά των ομάδων.

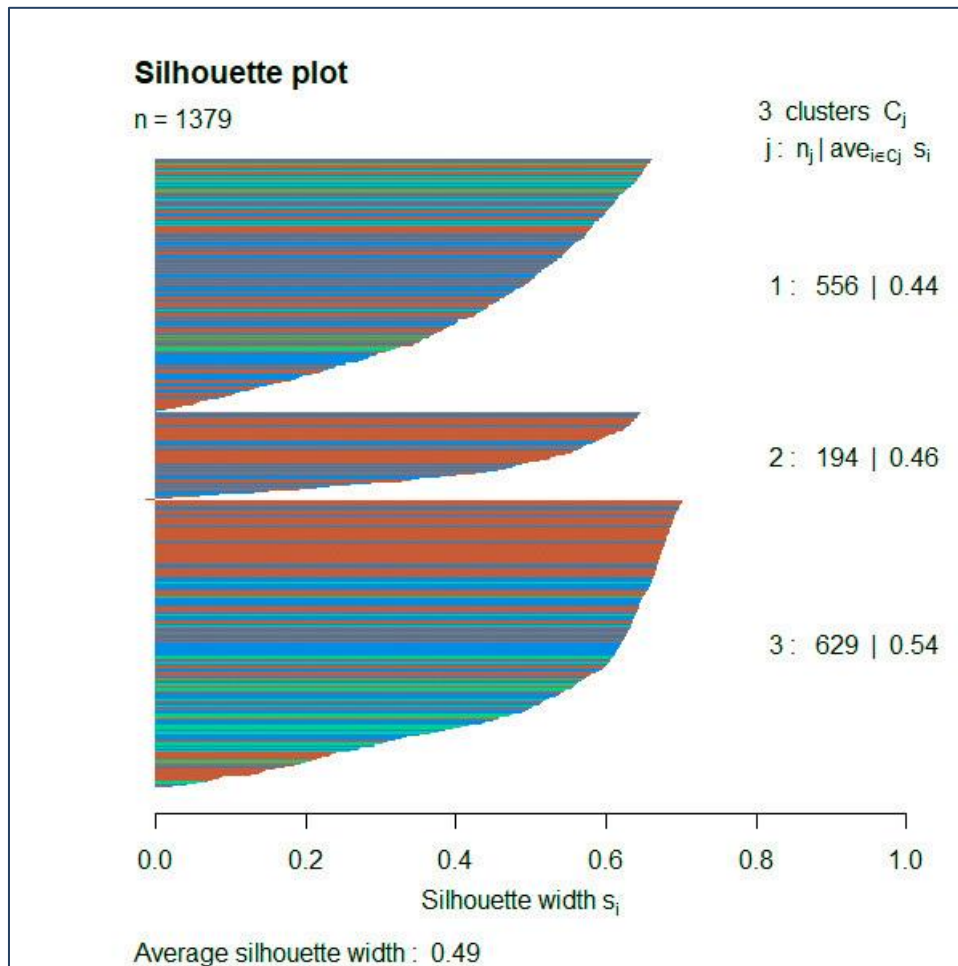
Στον πίνακα 4.3 γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση για κάθε προφίλ συμπεριφοράς οδήγησης των χαρακτηρισμών των μεταβλητών. Στο οικολογικό προφίλ οι περισσότερες μεταβλητές χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές, στο μη οικολογικό προφίλ σχεδόν όλες οι μεταβλητές έχουν υψηλές τιμές ενώ τέλος στο ενδιάμεσο προφίλ από μεσαίες τιμές.

Πίνακας 4-3 Αποτελέσματα συσχέτισης μεταβλητών με προφίλ οδήγησης

Περιγραφή Μεταβλητής	Οικολογικό Προφίλ	Μη Οικολογικό Προφίλ	Ενδιάμεσο Προφίλ
Μέσος αριθμός φορών επιτάχυνσης (ανά λεπτό)	Χαμηλός	Υψηλός	Μεσαίος
Μέση ταχύτητα στο εκάστοτε ταξίδι	Υψηλή	Χαμηλή	Μεσαία
Ποσοστό της συνολικής μέσης επιτάχυνσης (90%)	Χαμηλό	Υψηλό	Μεσαίο
Μέσος αριθμός φορών επιβράδυνσης (ανά λεπτό)	Χαμηλός	Υψηλός	Μεσαίος
Μέση επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι	Χαμηλή	Υψηλή	Μεσαία
Ποσοστό της συνολικής μέσης επιβράδυνσης (90%)	Χαμηλό	Υψηλό	Μεσαίο
Μέγιστη ταχύτητα στο εκάστοτε ταξίδι	Υψηλή	Χαμηλή	Μεσαία
Μέγιστη επιβράδυνση στο εκάστοτε ταξίδι	Χαμηλή	Υψηλή	Μεσαία
Μέτρο οικολογικής οδήγησης	Χαμηλό	Υψηλό	Μεσαίο
Κατανάλωση καυσίμου στο εκάστοτε ταξίδι	Χαμηλή	Υψηλή	Μεσαία

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο δείκτης silhouette. Ο εν λόγω δείκτης είναι μια μετρική που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την ποιότητα της ομαδοποίησης. Ο δείκτης αυτός είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της κατάλληλης επιλογής του αριθμού των ομάδων στην ομαδοποίηση, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην εύρεση της βέλτιστης διαίρεσης των δεδομένων σε συστάδες. Μετρά το πόσο καλά ένα δείγμα ταιριάζει με την ομάδα της σε σχέση με άλλες ομάδες. Ο δείκτης σιλουέτας κυμαίνεται από -1 έως 1, με υψηλότερες τιμές να υποδεικνύουν καλύτερη ομαδοποίηση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι θετικές τιμές δείχνουν ότι ένα δείγμα είναι καλά τοποθετημένο στην ομάδα του και μακριά από άλλες ομάδες, ενώ μια τιμή κοντά στο μηδέν υποδεικνύει ότι το δείγμα βρίσκεται κοντά σε μια γραμμή διαχωρισμού μεταξύ δύο ομάδων. Τέλος, οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι το δείγμα μπορεί να έχει τοποθετηθεί λανθασμένα σε μια ομάδα, και ίσως θα ήταν καλύτερο να τοποθετηθεί σε μια άλλη.

Το διάγραμμα σιλουέτας απεικονίζει το πόσο καλά ένα δείγμα ταιριάζει με την ομάδα στην οποία ανήκει σε σχέση με άλλες ομάδες. Τα διαφορετικά χρώματα αντιπροσωπεύουν διάφορες ομάδες (μπλε, πράσινο, κόκκινο). Η κάθε γραμμή σε κάθε ομάδα δείχνει το σκορ σιλουέτας του αντίστοιχου δείγματος. Το σκορ σιλουέτας μετρά την ποιότητα της ομαδοποίησης, όπου οι υψηλές τιμές υποδεικνύουν καλή ομοιογένεια εντός της συστάδας και καλή διάκριση μεταξύ των ομάδων. Μπορούμε να συμπεράνουμε αν οι κατηγορίες είναι καλά διαχωρισμένες αν οι δείκτες σιλουέτας είναι θετικοί. Οι ομάδες φαίνονται να είναι σχετικά καλά διαχωρισμένες, ειδικά στο διάγραμμα σιλουέτας. Ο μέσος συντελεστής σιλουέτας (Average Silhouette Coefficient) είναι ο μέσος όρος των συντελεστών σιλουέτας για όλα τα δείγματα στο σύνολο δεδομένων. Αυτός ο μέσος όρος παρέχει μια καθολική εικόνα της ποιότητας της ομαδοποίησης. Το διάγραμμα αυτό βοηθά στον έλεγχο της ποιότητας της ομαδοποίησης και στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων. Ένα υψηλό μέσο Silhouette Coefficient υποδηλώνει ότι η ομαδοποίηση είναι πιθανόν αποτελεσματική και ότι τα δείγματα είναι καλά τοποθετημένα στις ομάδες τους. Όλα τα παραπάνω μπορούν να παρατηρηθούν στο διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4-1 Διάγραμμα και δείκτης silhouette των τριών συστάδων.

Στο σχήμα απεικονίζονται οι τρεις ομάδες, το σύνολο των ταξιδιών και ένας δείκτης σιλουέτας για το καθένα από αυτά. Προσοχή δίνεται στο διάγραμμα αυτό, όπου είναι επιθυμητό να υπάρχει μία αναλογία στο πλήθος των ταξιδιών ανά συστάδα. Ο συνολικός δείκτης σιλουέτας που φαίνεται κάτω και αριστερά του διαγράμματος λαμβάνει τιμή 0,49. Αναφέρεται ότι ένας δείκτης με τιμή μικρότερη του 0.5 υποδηλώνει μη ικανοποιητικό διαχωρισμό συστάδων, ενώ προτιμάται ο συνδυασμός μεταβλητών που οδηγεί σε δείκτη με τιμή μεγαλύτερη του 0.5. Συμπερασματικά, ότι διαχωρισμοί των συστάδων είναι ικανοποιητικοί.

4.2.Περιγραφή Δεύτερου Μέρους Κώδικα – Διαγράμματα

Τα διαγράμματα που φαίνονται στη συνέχεια είναι διαφορετικές τεχνικές οπτικοποίησης και ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιούνται συχνά στον τομέα και της ανάλυσης δεδομένων για να εξεταστεί η διακύμανση και οι σχέσεις μεταξύ διαφόρων χαρακτηριστικών ή μεταξύ διαφόρων ομάδων δεδομένων.

4.2.1.Ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό και ανά ομάδα

Το ιστόγραμμα είναι ένα γράφημα που χρησιμοποιείται για να απεικονίσει την κατανομή της μιας μεταβλητής ή των δεδομένων. Αναδεικνύει πώς οι διάφορες τιμές της μεταβλητής κατανέμονται σε διάφορες περιοχές ή κατηγορίες, που ονομάζονται «bins». Το διάγραμμα ορίζει τη συχνότητα της εμφάνισης των διάφορων τιμών σε αυτά τα «bins». Κάθε «bin» είναι ένα διάστημα τιμών, και το ύψος της μπάρας αντιπροσωπεύει πόσες τιμές της μεταβλητής βρίσκονται σε αυτό το διάστημα. Το άθροισμα των υψών όλων των μπαρών είναι ίσο με τον συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων.

Στον οριζόντιο άξονα (x-axis) εμφανίζονται οι διάφορες τιμές της μεταβλητής, ενώ στον κατακόρυφο άξονα (y-axis) εμφανίζεται η συχνότητα εμφάνισης των τιμών. Η επιλογή του πόσα bins να χρησιμοποιηθούν επηρεάζει την ανάλυση του γραφήματος. Περισσότερα bins θα δώσουν μια πιο λεπτομερή εικόνα της κατανομής. Το σχήμα του διαγράμματος μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των δεδομένων. Για παράδειγμα, μια κανονική κατανομή θα έχει τη μορφή ενός καμπύλου. Τα διαγράμματα αυτά, αξίζει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιούνται ευρέως στη στατιστική και στην έρευνα δεδομένων από τους ερευνητές, με σκοπό να κατανοήσουν την κατανομή των δεδομένων, να ανιχνεύσουν ακραίες τιμές, να συγκρίνουν κατανομές μεταξύ διαφορετικών ομάδων και γενικά να προσφέρουν οπτική αναπαράσταση της κατανομής των δεδομένων.

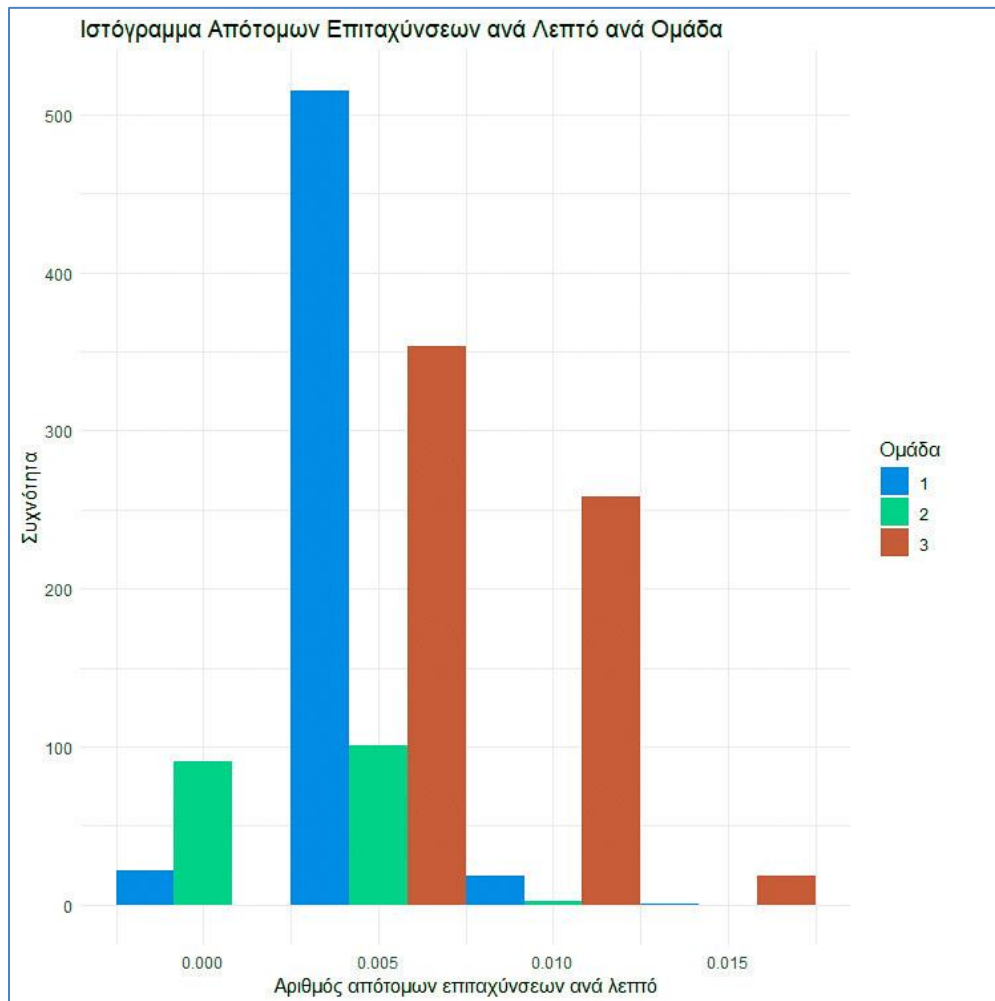
Αρχικά, παρατίθεται στην εικόνα 4.5 το μέρος του αλγορίθμου στο οποίο εκτελούνται οι εντολές για τη δημιουργία του ιστογράμματος των απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό.

```
## Histogram of harsh acceleration per minute by cluster

hist_plot <- ggplot(data, aes(x = harsh_acc_per_min,
  fill = factor(data.km_clust))) +
  geom_histogram(binwidth = 0.005, position = "dodge") + theme_minimal() +
  labs(title = "Ιστόγραμμα Απότομων Επιταχύνσεων ανά Λεπτό ανά Ομάδα",
  x = "Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό", y = "Συχνότητα",
  fill = "Ομάδα") + scale_fill_manual(values = c("blue", "green", "red"))
print(hist_plot)
```

Εικόνα 4-5 Μέρος αλγορίθμου, ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων

Στη συνέχεια, το ιστόγραμμα του διαγράμματος 4.2 απεικονίζει τη διανομή της απότομης επιτάχυνσης ανά λεπτό (*harsh_acc_per_min*) για κάθε ομάδα. Μας επιτρέπει να δούμε πώς η απότομη επιτάχυνση διαφοροποιείται ανάμεσα στις ομάδες.



Διάγραμμα 4-2 Ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό για κάθε ομάδα

Στο παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι ο μικρότερος αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανήκει στο δεύτερο και πιο οικολογικό προφίλ. Έπειτα ακολουθεί το πρώτο και τελικά το τρίτο το οποίο κρίνεται και το πιο μη οικολογικό.

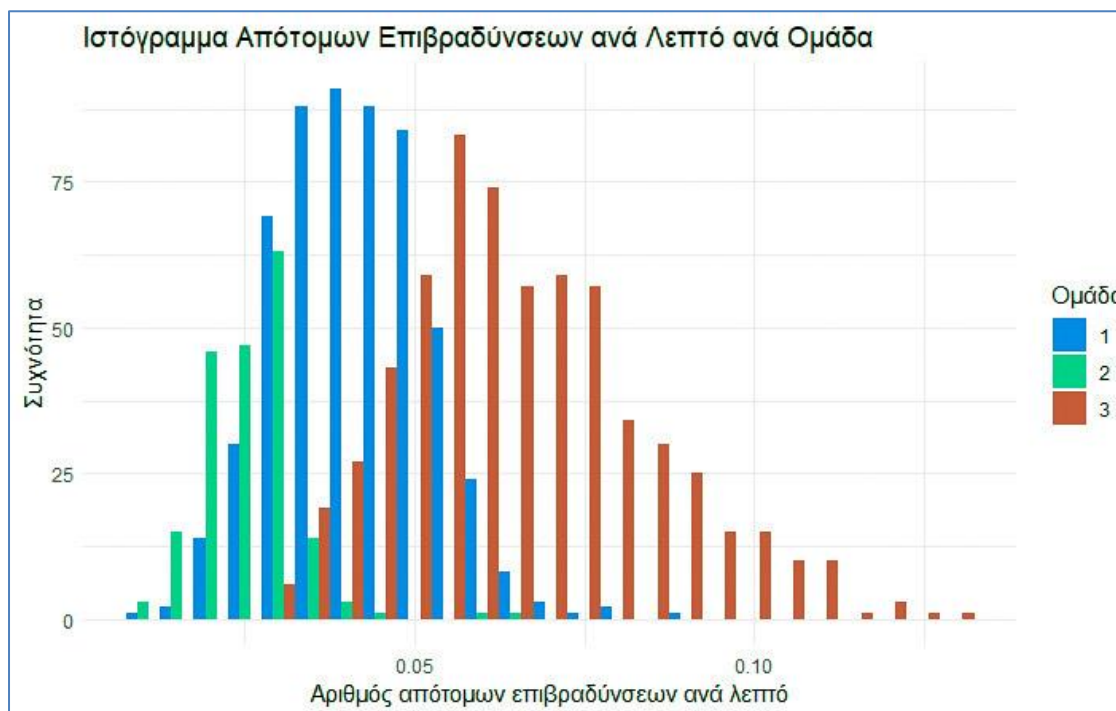
Οι ίδιες εντολές εφαρμόζονται και για την απεικόνιση του ιστογράμματος για τις απότομες επιβραδύνσεις ανά λεπτό στην εικόνα 4.6.

```
## Histogram of harsh deceleration per minute by cluster

hist_plot <- ggplot(data, aes(x = harsh_brk_per_min,
                             fill = factor(data.km_clust))) +
  geom_histogram(binwidth = 0.005, position = "dodge") + theme_minimal() +
  labs(title = "Ιστόγραμμα Απότομων Επιβραδύνσεων ανά Λεπτό ανά Ομάδα",
       x = "Αριθμός απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό", y = "Συχνότητα",
       fill = "Ομάδα") + scale_fill_manual(values = c("blue", "green", "red"))
print(hist_plot)
```

Εικόνα 4-6 Μέρος αλγορίθμου, ιστόγραμμα των απότομων επιταχύνσεων

Η διανομή της απότομης επιβράδυνσης ανά λεπτό (*harsh_brk_per_min*) για κάθε ομάδα φαίνεται στο διάγραμμα 4.3 όπου τόσο η συχνότητα όσο και ο αριθμός των απότομων επιβραδύνσεων είναι εμφανώς μικρότερα μεγέθη από τα αντίστοιχα του ενδιάμεσου και του μη οικολογικού προφίλ.



Διάγραμμα 4-3 Ιστόγραμμα των απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό για κάθε ομάδα

4.2.2. Διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων ανά ομάδα

Ένα διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων (3D Scatter Plot) είναι ένα είδος γραφήματος που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ τριών μεταβλητών σε ένα τρισδιάστατο χώρο. Κάθε σημείο στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει μια παρατήρηση ή ένα δείγμα και τοποθετείται σε συγκεκριμένες θέσεις στον τρισδιάστατο χώρο, με βάση τις τιμές των τριών μεταβλητών. Κάθε άξονας αντιστοιχεί σε μια από τις τρεις μεταβλητές που εξετάζονται. Για παράδειγμα, ο πρώτος άξονας μπορεί να αντιστοιχεί στη μεταβλητή X, ο δεύτερος άξονας στη μεταβλητή Y και ο τρίτος άξονας στη μεταβλητή Z. Κάθε σημείο στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει μια παρατήρηση. Η θέση του σημείου καθορίζεται από τις τιμές των τριών μεταβλητών που αντιστοιχούν σε αυτήν την παρατήρηση. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορα χρώματα για να διαχωρίσουν ομάδες ή κατηγορίες παρατηρήσεων. Αυτό βοηθάει στην οπτικοποίηση διαφορετικών μοτίβων στα δεδομένα.

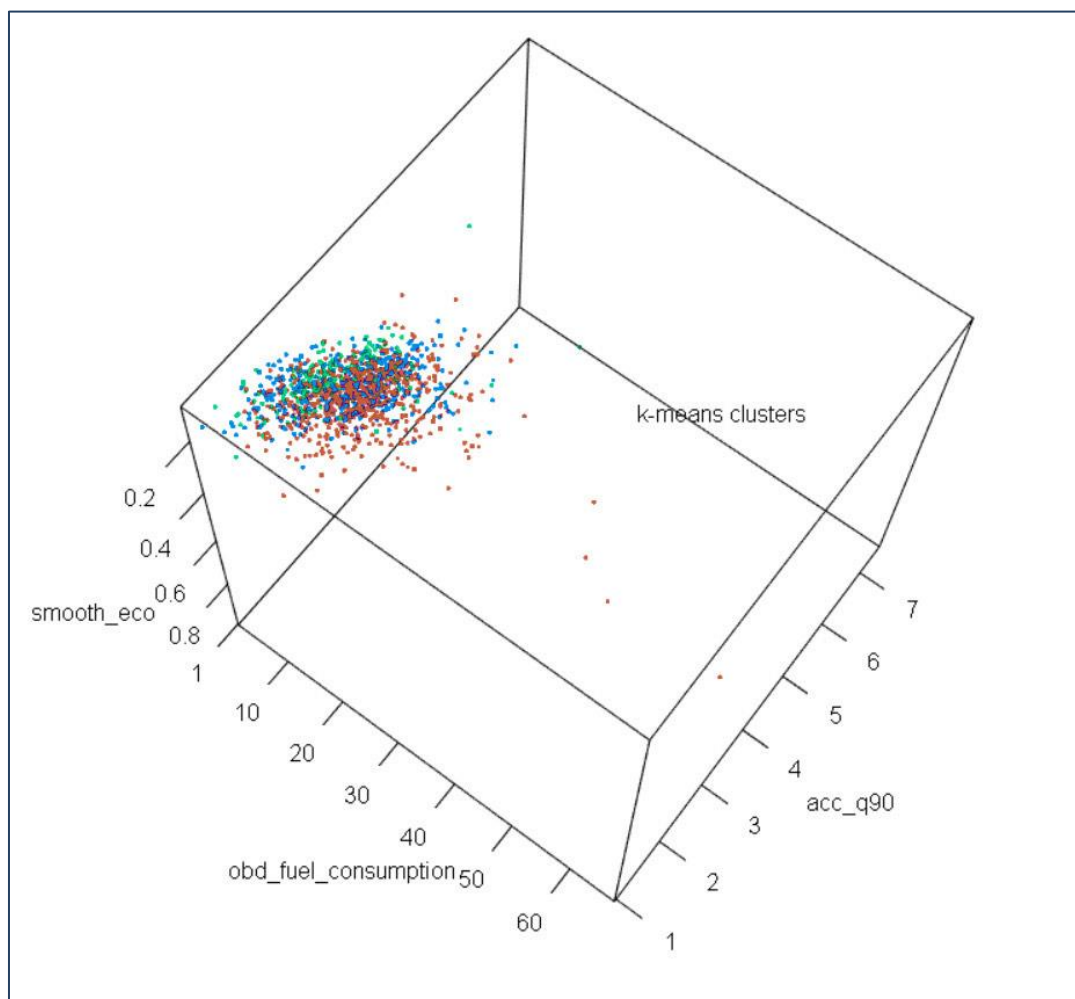
Τα διαγράμματα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων είναι χρήσιμα όταν θέλουμε να εξετάσουμε τη σχέση μεταξύ τριών μεταβλητών και να εντοπίσουμε πιθανά πρότυπα, τάσεις ή ομάδες στα δεδομένα μας. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτό το είδος γραφήματος σε πολλούς τομείς, όπως την έρευνα δεδομένων, την ανάλυση κατηγοριοποίησης και την αποτύπωση χωρικών δεδομένων. Το συγκεκριμένο διάγραμμα βοηθάει στην οπτικοποίηση της ομοιογένειας και διαχωριστικότητας των ομάδων στον τρισδιάστατο χώρο.

Στην εικόνα 4.7 παρουσιάζεται η εντολή η οποία εκτελεί τη δημιουργία του εν λόγω διαγράμματος. Με χρώμα πράσινο θα απεικονισθεί το προφίλ της πλέον οικολογικής οδήγησης, με μπλε χρώμα το ενδιάμεσο προφίλ και με κόκκινο χρώμα το μη οικολογικό προφίλ.

```
## Plot 3D clusters
plot3d(data, col = c("blue", "green", "red")[data.km$cluster],
main = "k-means clusters")
```

Εικόνα 4-7 Μέρος αλγορίθμου, διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων ανά ομάδα

Η τρισδιάστατη απεικόνιση του συσχετισμού των στοιχείων των προφίλ συγκριτικά με μεταβλητές απεικονίζεται στην εικόνα 4.4.



Διάγραμμα 4-4 Διάγραμμα αλληλοσύνδεσης τριών διαστάσεων ανά ομάδα συγκριτικά με την κατανάλωση καυσίμου, το 90% της επιτάχυνσης και το μέτρο οικολογικής οδήγησης

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρεί κανείς τη συσχέτιση των ομάδων μεταξύ τους αλλά και σε σχέση με τρεις μεταβλητές στον τρισδιάστατο χώρο. Οι μεταβλητές αυτές είναι η ποιότητα οικολογικής οδήγησης, η κατανάλωση καυσίμου και το 90% των επιταχύνσεων. Από τα παραπάνω, συμπεραίνει κανείς ότι η κατανάλωση καυσίμου και οι επιταχύνσεις μειώνονται στο σημείο που εκτείνεται το προφίλ της οικολογικής οδήγησης και αυξάνονται προς το προφίλ της μη οικολογικής οδήγησης.

4.2.3. Κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις

Το διάγραμμα συστάδων σε δύο διαστάσεις είναι ένα γραφικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την οπτική αναπαράσταση των ομάδων που προκύπτουν από μια τεχνική ομαδοποίησης, όπως ο αλγόριθμος K-Means. Κάθε δείγμα αναπαρίσταται ως ένα σημείο στον χώρο, ενώ τα σημεία της ίδιας ομάδας συνήθως είναι πιο κοντά μεταξύ τους από ότι σημεία από διαφορετικές ομάδες. Το διάγραμμα συστάδων βοηθάει στην απεικόνιση του πώς τα δείγματα ομαδοποιούνται στον χώρο των χαρακτηριστικών. Κάθε ομάδα αναπαρίσταται με διαφορετικό χρώμα ή σύμβολο, και με το μάτι μπορούμε να διακρίνουμε την ομοιότητα των δειγμάτων μέσα σε μια ομάδα και τη διαχωριστική απόσταση μεταξύ των ομάδων. Το πιο απλό «2D cluster plot» είναι ένα διάγραμμα αλληλοσύνδεσης όπου κάθε σημείο αντιπροσωπεύει μια παρατήρηση και οι σημειώσεις χρωματίζονται ανάλογα με την ομάδα (cluster) που ανήκουν. Το διάγραμμα συστάδων μας δίνει μια ιδέα για τον τρόπο με τον οποίο τα δείγματα κατανέμονται σε δύο από τα κύρια χαρακτηριστικά. Οι εντολές με τις οποίες κατανέμονται τα στοιχεία των ομάδων στο δισδιάστατο χώρο φαίνονται στην εικόνα 4.8.

```
## Clusplot (2D Clusters)

clus_plot <- ggplot(data, aes(x = acc_q90, y = dec_q90,
  color = factor(data.km_clust))) + geom_point() + theme_minimal() +
  labs(title = "Αποτύπωση Στοιχείων σε 2 Διαστάσεις",
  x = "90% Φορών απότομης επιτάχυνσης",
  y = "90% Φορών απότομης επιβράδυνσης", color = "Ομάδα") +
  scale_color_manual(values = c("blue", "green", "red"))
print(clus_plot)
```

Εικόνα 4-8 Μέρος αλγορίθμου, κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις

Στο διάγραμμα 4.5 απεικονίζεται η εν λόγω απεικόνιση της κατανομής των στοιχείων σε δύο διαστάσεις με διαφορετικό χρώμα για το κάθε προφίλ οδήγησης.



Διάγραμμα 4-5 Κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις σε σχέση με το 90% των επιβραδύνσεων και το 90% των επιταχύνσεων

Το συγκεκριμένο διάγραμμα απεικονίζει τη σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών "90% Μέση Επιτάχυνση" και "90% Μέση Επιβράδυνση" σε σχέση με τα προφίλ. Παρατηρούμε ότι οι τιμές της μέσης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης μειώνονται κοντά στα σημεία που βρίσκονται τα στοιχεία του οικολογικού προφίλ και αυξάνονται κοντά στα σημεία του λιγότερο οικολογικού.

4.2.4. Διάγραμμα «Clusplot» σε δύο διαστάσεις

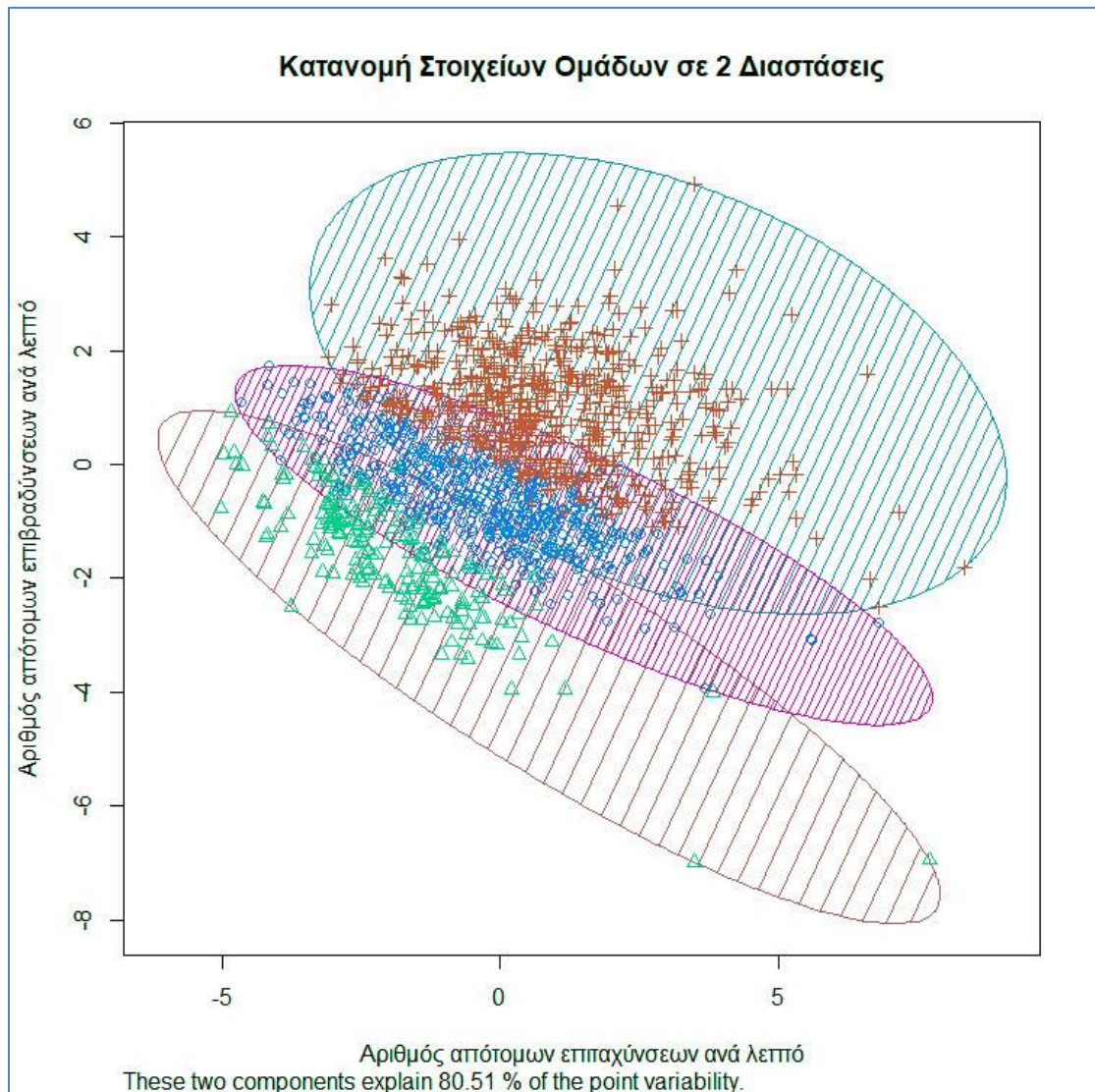
Το «Clusplot» είναι ένα γράφημα που χρησιμοποιείται για να οπτικοποιήσουμε τα αποτελέσματα ενός αλγορίθμου συσταδοποίησης στον χώρο των δύο πρώτων συνιστωσών κανονικά σε κάθετη και οριζόντια διεύθυνση. Είναι χρήσιμο για να ερευνήσουμε πώς τα δεδομένα έχουν ομαδοποιηθεί σε συστάδες και να διευκρινίσουμε τα όρια μεταξύ των συστάδων. Κάθε συστάδα αναπαρίσταται ως ένα διαφορετικό χρώμα στο γράφημα. Αυτό επιτρέπει να δούμε πώς διαφορετικές συστάδες αναπτύσσονται στον χώρο των δύο πρώτων συνιστωσών. Συνήθως, το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιεί δύο επιλεγμένες διαστάσεις από τον πολυδιάστατο χώρο των δεδομένων. Αυτές οι διαστάσεις είναι οι πρώτες δύο κύριες συνιστώσες (PC1 και PC2) που αντιπροσωπεύουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις στα δεδομένα. Κάθε σημείο δεδομένων αναπαρίσταται στο γράφημα στις συντεταγμένες που αντιστοιχούν στις δύο επιλεγμένες διαστάσεις. Αν ένα σημείο ανήκει σε μια συγκεκριμένη συστάδα, τότε το κεντρικό σημείο της συστάδας αναπαρίσταται επίσης στο γράφημα, και φαίνεται πώς τα σημεία της συστάδας απέχουν από αυτό. Οι γραμμές στο γράφημα εμφανίζουν τα όρια μεταξύ των συστάδων. Το συγκεκριμένο διάγραμμα είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την έρευνα των αποτελεσμάτων συσταδοποίησης και την κατανόηση των δεδομένων σε διαστάσεις περιορισμένες στις δύο πρώτες συνιστώσες. Στην εικόνα 4.9 παρουσιάζεται το μέρος του κώδικα για την απεικόνιση του διαγράμματος διαχωρισμού των δεδομένων σε συστάδες.

```
## Plot 2D clusters

clusplot(data[, 1:7], data.km$cluster, color = TRUE, shade = TRUE,
col.p = c("blue", "green", "red")[data.km$cluster],
labels = 0, lines = 0, main = "Κατανομή Στοιχείων Ομάδων σε 2 Διαστάσεις",
xlab = "Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό",
ylab = "Αριθμός απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό")
```

Εικόνα 4-9 Μέρος αλγορίθμου, κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις

Η κατανομή των στοιχείων και η αναπαράσταση τους με χρώμα που αντιστοιχεί στην εκάστοτε ομάδα συμπεριφοράς οδήγησης φαίνεται στη συνέχεια στο διάγραμμα 4.6.



Διάγραμμα 4-6 Κατανομή των στοιχείων των ομάδων σε δύο διαστάσεις ανά χρώμα

Το συγκεκριμένο διάγραμμα είναι μία πιο εξειδικευμένη απεικόνιση των στοιχείων των προφίλ σε δύο διαστάσεις. Επιβεβαιώνοντας τα παραπάνω δεδομένα, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι οι φορές απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων ανά λεπτό είναι περισσότερες στο πλήθος στο μη οικολογικό προφίλ και λιγότερες στο οικολογικό. Όπως φαίνεται στα πιο οικολογικά προφίλ, οι πειραματικές τιμές βρίσκονται πιο κοντά στα κεντροειδή των συστάδων σε σχέση με το μη οικολογικό προφίλ (τα σημεία εμφανίζονται πιο συμπυκνωμένα). Σε γενικότερο πλαίσιο, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι τα στοιχεία των προφίλ οδήγησης είναι καλά διαχωρισμένα μεταξύ τους και κοντά στα κεντροειδή τους.

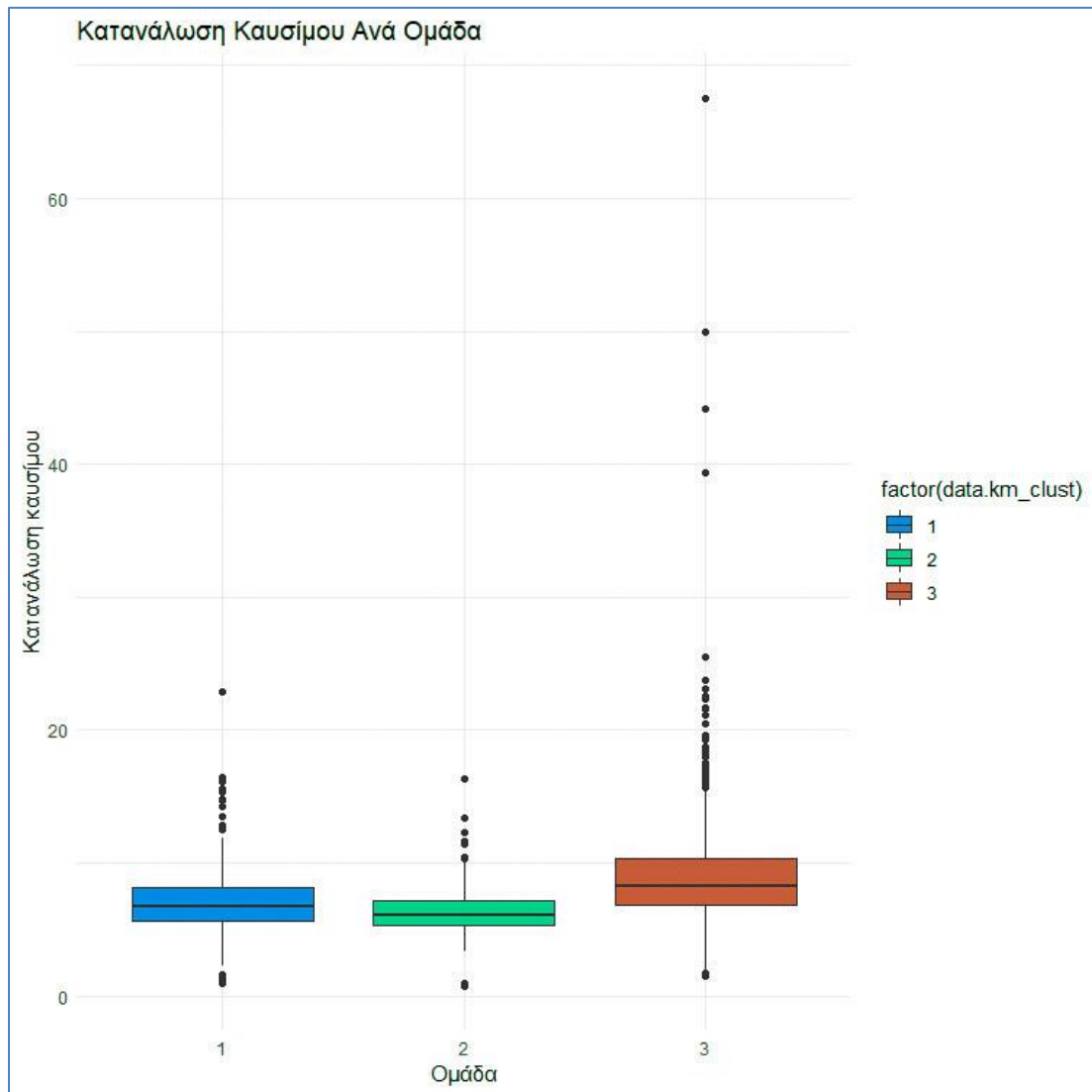
4.2.5. Κατανάλωση καυσίμου ανά ομάδα

Τα «boxplots», επίσης γνωστά ως «box-and-whiskerplots», είναι γραφήματα που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της κατανομής και των στατιστικών χαρακτηριστικών μιας μεταβλητής ή μιας σύγκρισης μεταβλητών μεταξύ διαφόρων ομάδων. Τα «boxplots» παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κεντρική τάση, τη διακύμανση, τις ακραίες τιμές και τη συμμετρία της κατανομής μιας μεταβλητής. Το κουτί στο «boxplot» αντιπροσωπεύει το μεσαίο 50% των παρατηρήσεων (το διάστημα από το 25ο ποσοστημόριο, Q1, έως το 75ο ποσοστημόριο, Q3) και εμφανίζεται ως ένα ορθογώνιο σχήμα στο γράφημα. Οι γραμμές που εκτείνονται από το «κουτί» προς τα έξω, ονομάζονται γραμμές «ξεκούρασης». Συνήθως, υπολογίζονται ως 1,5 φορές το εσωτερικό ενδιάμεσο εύρος ($IQR = Q3 - Q1$). Οι ακραίες τιμές που βρίσκονται πέρα από αυτά τα όρια θεωρούνται ως εκτελεστικές ακραίες τιμές (outliers) και εμφανίζονται ως ξεχωριστά σημεία. Οι μονάδες μέτρησης (π.χ. χιλιόμετρα, βαθμοί θερμοκρασίας, βαθμοί βαρομέτρου) της μεταβλητής εμφανίζονται στον κατακόρυφο άξονα. Η κεντρική τάση των δεδομένων αναγνωρίζεται από το μεσαίο του κουτιού (συνήθως μέσος όρος ή διάμεσος). Η διακύμανση των δεδομένων εμφανίζεται μέσω του μήκους του κουτιού. Όσο μεγαλύτερο το κουτί, τόσο πιο μεγάλη είναι η διακύμανση. Τα διαγράμματα αυτά είναι χρήσιμα για να συγκρίνουμε τις κατανομές μεταξύ διαφόρων ομάδων ή για να ανιχνεύσουμε ακραίες τιμές στα δεδομένα. Επίσης, είναι ευανάγνωστα και παρέχουν μια γρήγορη επισκόπηση των στατιστικών χαρακτηριστικών μιας μεταβλητής. Παρακάτω, στην εικόνα 4.10 φαίνονται οι εντολές για τη δημιουργία του διαγράμματος αυτού.

```
## Box plot of selected variables by cluster
boxplot_plot <- ggplot(data, aes(x = factor(data.km_clust),
  y = obd_fuel_consumption, fill = factor(data.km_clust))) +
  geom_boxplot() + theme_minimal() +
  labs(title = "Κατανάλωση Καυσίμου Ανά Ομάδα",
  x = "Ομάδα", y = "Κατανάλωση καυσίμου") +
  scale_fill_manual(values = c("blue", "green", "red"))
print(boxplot_plot)
```

Εικόνα 4-10 Μέρος αλγορίθμου, κατανάλωση καυσίμου ανά ομάδα

Η διανομή της κατανάλωσης του καυσίμου ανά προφίλ συμπεριφοράς οδήγησης φαίνεται στο διάγραμμα 4.7 στη συνέχεια.



Διάγραμμα 4-7 Κατανάλωση καυσίμου ανά ομάδα

Το συγκεκριμένο «box plot» απεικονίζει τη διανομή του καυσίμου (obd_fuel_consumption) για κάθε προφίλ. Κάθε κουτί δείχνει τη μεσαία τιμή, τη διάμεσο και την εξάπλωση των δεδομένων σε κάθε ομάδα και μας επιτρέπει να συγκρίνουμε την κατανομή της κατανάλωσης καυσίμου μεταξύ των clusters. Το διάγραμμα αυτό μας δείχνει επίσης ότι η δεύτερη ομάδα και πιο οικολογική καταγράφει τις χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης καυσίμου, ύστερα η πρώτη ομάδα και τελευταία η τρίτη.

4.2.6. Εξέταση σχέσεων ανά δύο μεταβλητών για τις τρεις ομάδες

Το «Plotpairs» είναι ένα γραφικό που χρησιμοποιείται για να εξετάσουμε τις διαστάσεις των δεδομένων σε ζεύγη (δύο προς δύο) μεταξύ χαρακτηριστικών και είναι χρήσιμο για την εξέταση της σχέσης μεταξύ διαφόρων χαρακτηριστικών. Σε ένα γράφημα «Plotpairs», κάθε σημείο στον πίνακα αντιστοιχεί σε ένα δείγμα και οι μεταβλητές των διαστάσεών του αναπαρίστανται σε διάφορα ζεύγη. Κάθε ζεύγος χαρακτηριστικών μεταβλητών αναπαρίσταται σε ένα διάγραμμα σκέδασης (scatterplot).

Το γράφημα των ζευγών είναι ένα γράφημα που χρησιμοποιείται για να ερευνήσουμε τις συσχετίσεις μεταξύ διαφορετικών μεταβλητών σε ένα πολυδιάστατο σύνολο δεδομένων. Συνήθως, χρησιμοποιείται όταν έχουμε πολλές μεταβλητές και θέλουμε να δείξουμε πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Συνήθως, κάθε μεταβλητή στο σύνολο δεδομένων τοποθετείται σε διαφορετικό άξονα. Αυτό σημαίνει ότι το γράφημα θα έχει έναν οριζόντιο και έναν κατακόρυφο άξονα για κάθε μεταβλητή, αναπτύσσοντας έναν πίνακα με διαγράμματα διασχίσεων. Σε κάθε κελί του πίνακα, δημιουργείται ένα διάγραμμα διασχίσεων που απεικονίζει τη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο κελί. Αυτό επιτρέπει την οπτική εξέταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών. Στη διαγώνια του πίνακα τοποθετούνται τα ονόματα των μεταβλητών. Οι εντολές κώδικα που οδηγούν στη δημιουργία το εν λόγω διαγράμματος και χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο πείραμα αναφέρονται στην εικόνα 4.11.

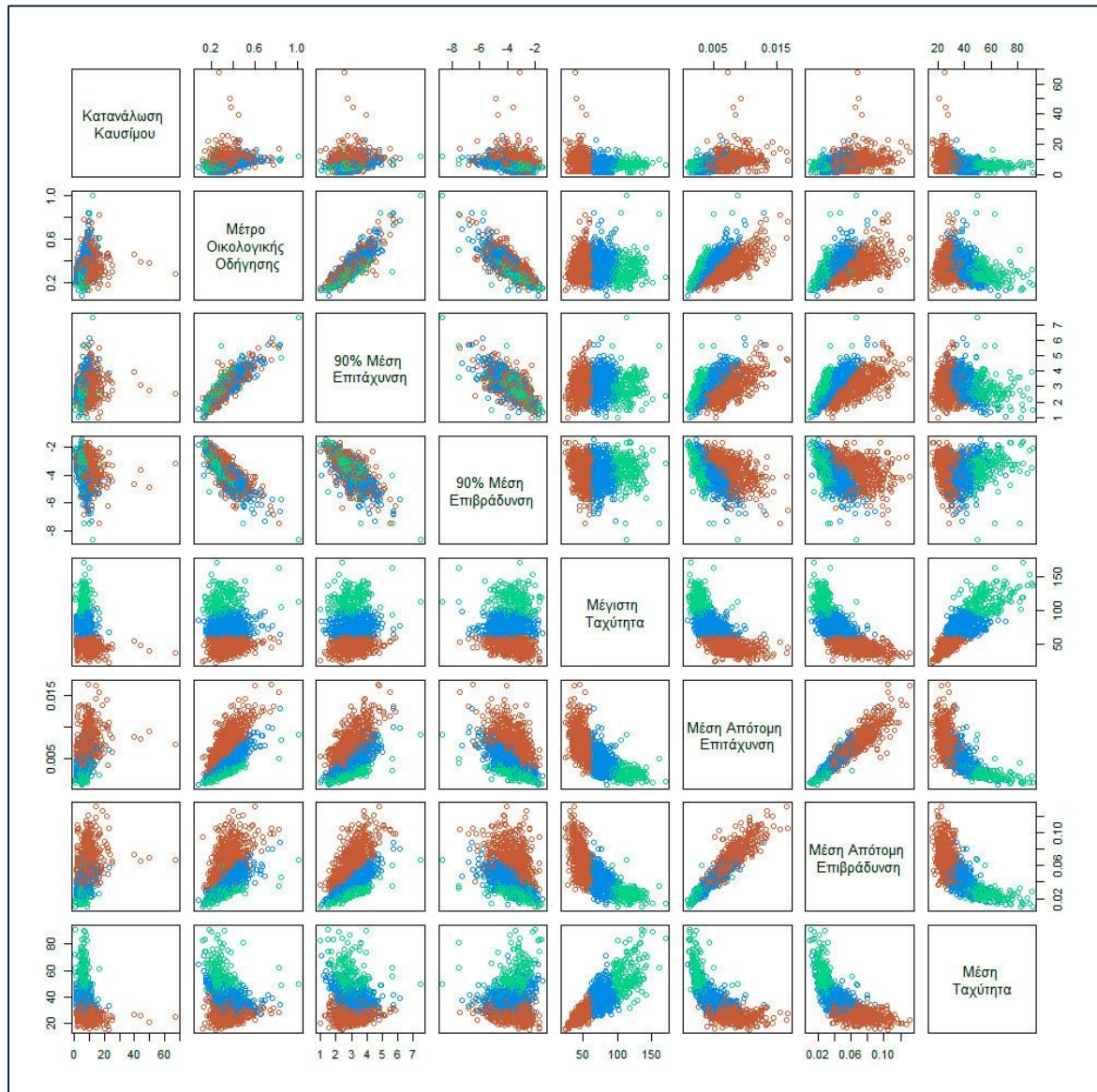
```
## Plot pairs

pairs_plot <- pairs(data, col = c("blue", "green", "red")[data.km$cluster],
  labels = c("Κατανάλωση \\\nΚαυσίμου", "Μέτρο \\\nΟικολογικής \\\nΟδήγησης",
    "90% Μέση \\\nΕπιτάχυνση", "90% Μέση \\\nΕπιβράδυνση", "Μέγιστη \\\nΤαχύτητα",
    "Μέση Απότομη \\\nΕπιτάχυνση", "Μέση Απότομη \\\nΕπιβράδυνση",
    "Μέση \\\nΤαχύτητα"),
  cex.labels = 1.25)
png("pairs_plot.png", width = 10, height = 10, units = "in", res = 300)
print(pairs_plot)
dev.off()
```

Εικόνα 4-11 Μέρος αλγορίθμου, εξέταση σχέσεων ανά δύο μεταβλητών για τις τρεις ομάδες

Στο διάγραμμα 4.8 παρατηρεί κανείς τις συσχετίσεις των ανά δύο μεταβλητών. Άξιο αναφοράς είναι το διάγραμμα μέσης απότομης επιτάχυνσης και μέσης απότομης επιβράδυνσης το οποίο αυξάνεται αναλογικά ως καμπύλη από το οικολογικό προφίλ για λιγότερο απότομες κινήσεις έως το μη οικολογικό προφίλ με

περισσότερες απότομες κινήσεις. Για τις περισσότερες συσχετίσεις, οι τιμές των προφίλ είναι αρκετά διαχωρισμένες μεταξύ τους, εκτός από τις σχέσεις μεταξύ των 90% φορών των επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, οι οποίες όπως φαίνεται έγιναν εξίσου από όλα τα προφίλ οδήγησης.



Διάγραμμα 4-8 Εξέταση σχέσεων ανά δύο μεταβλητών για τις τρεις ομάδες

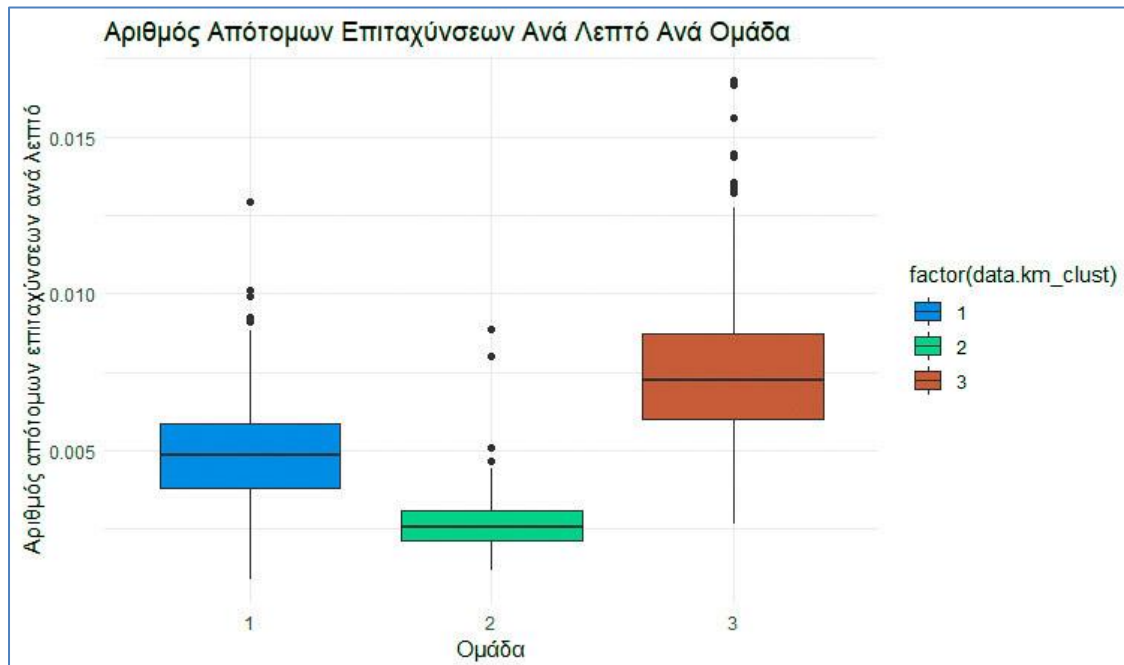
4.2.7. Συσχέτιση του αριθμού απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα

Οι εντολές για τη δημιουργία του διαγράμματος boxplot χρησιμοποιούνται επίσης για την απεικόνιση του αριθμού απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό για κάθε προφίλ οδήγησης. Στην εικόνα 4.12 φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιούνται και στο διάγραμμα 4.9 απεικονίζεται η διανομή των στοιχείων ανά ομάδα.

```
## Box plot of selected variables by cluster

boxplot_plot <- ggplot(data, aes(x = factor(data.km_clust),
  y = harsh_acc_per_min, fill = factor(data.km_clust))) +
  geom_boxplot() + theme_minimal() +
  labs(title = "Αριθμός Απότομων Επιταχύνσεων Ανά Λεπτό Ανά Ομάδα",
  x = "Ομάδα", y = "Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό") +
  scale_fill_manual(values = c("blue", "green", "red"))
print(boxplot_plot)
```

Εικόνα 4-12 Μέρος αλγορίθμου, αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα



Διάγραμμα 4-9 Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα

Παρατηρεί κανείς ότι η ομάδα του οικολογικού προφίλ οδήγησης, η οποία απεικονίζεται με πράσινο χρώμα, παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή στον αριθμό απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό.

4.2.8. Συσχέτιση του αριθμού απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα

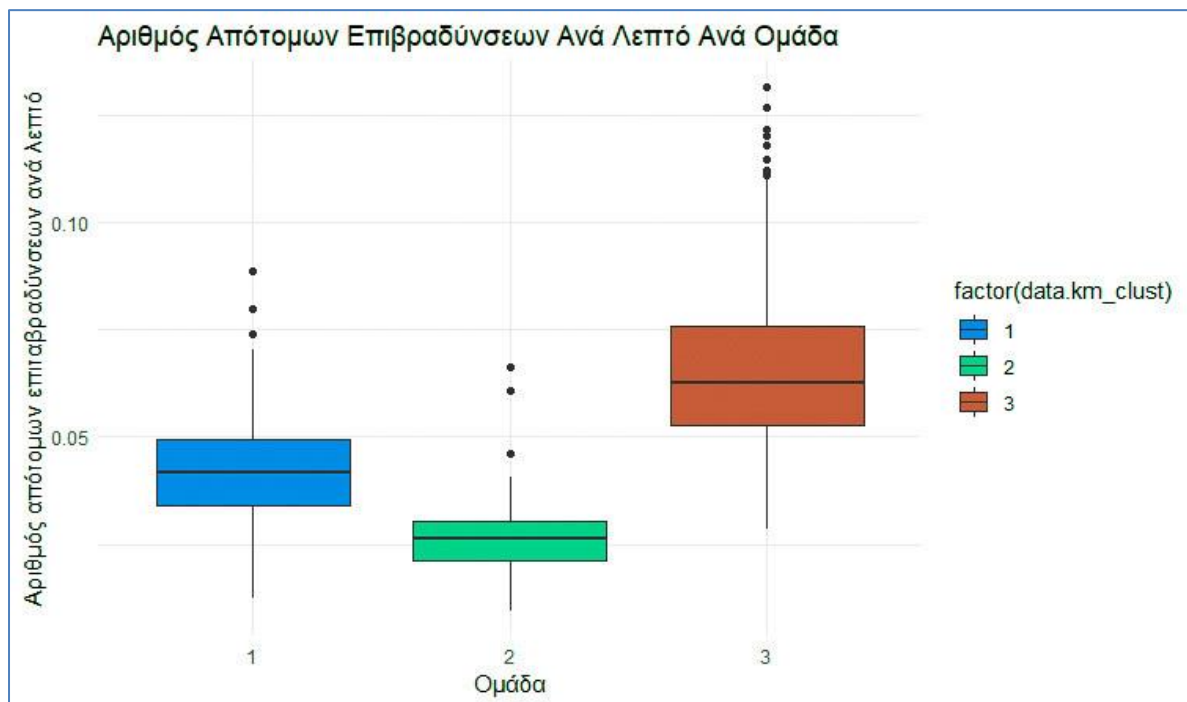
Όμοια με την προηγούμενη παράγραφο, η ίδια διαδικασία αξίζει να ακολουθηθεί και για τη μεταβλητή των απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό για κάθε ομάδα οδήγησης. Ακολουθεί το μέρος του αλγορίθμου το οποίο χρησιμοποιείται στην εικόνα 4.13 και το διάγραμμα 4.10 το οποίο προκύπτει.

```
## Box plot of selected variables by cluster

boxplot_plot <- ggplot(data, aes(x = factor(data.km_clust),
  y = harsh_brk_per_min, fill = factor(data.km_clust))) +
  geom_boxplot() + theme_minimal() +
  labs(title = "Αριθμός Απότομων Επιταχύνσεων Ανά Λεπτό Ανά Ομάδα",
  x = "Ομάδα", y = "Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό") +
  scale_fill_manual(values = c("blue", "green", "red"))
print(boxplot_plot)
```

Εικόνα 4-13 Μέρος αλγορίθμου, αριθμός απότομων επιβραδύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα

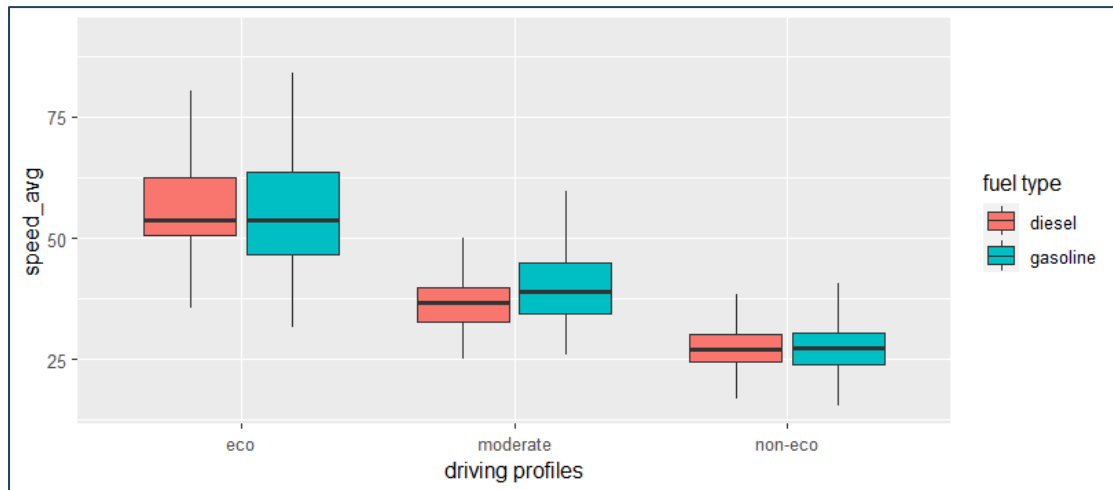
Στο διάγραμμα 4.11 είναι διακριτή η μείωση των φορών επιβραδύνσεων στο πλέον οικολογικό προφίλ, στη συνέχεια ακολουθεί το ενδιάμεσο προφίλ και τέλος το μη οικολογικό προφίλ με αρκετά μεγαλύτερη τιμή.



Διάγραμμα 4-10 Αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά λεπτό ανά ομάδα

4.2.9. Συσχέτιση της μέσης ταχύτητας με το είδος καυσίμου ανά ομάδα

Στα διαγράμματα 4.11 και 4.12 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ταχύτητας και της μέγιστης ταχύτητας, σε σύγκριση με τους διαφορετικούς τύπους συστάδων. Επιπλέον, είναι ορατή η επιρροή διαφορετικών τύπων καυσίμων οχημάτων.

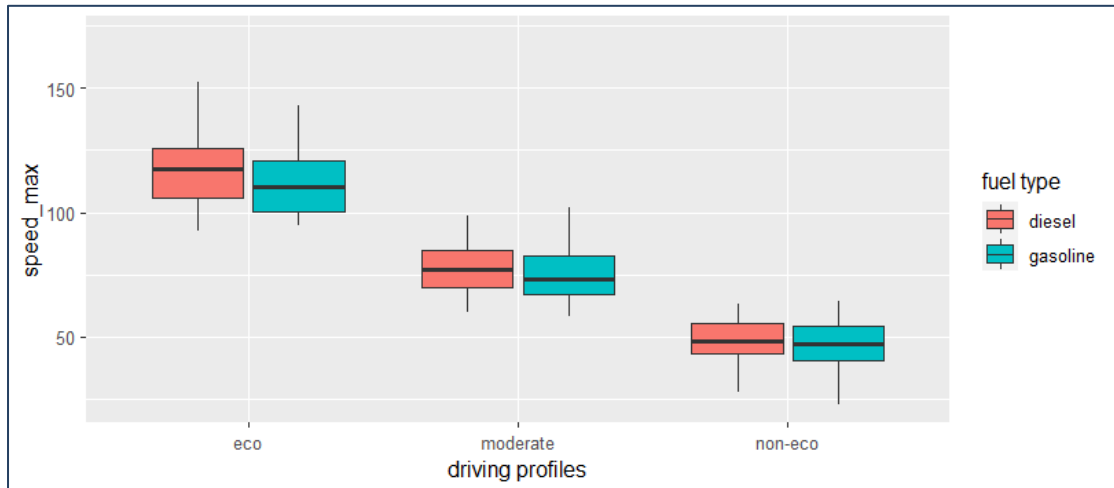


Διάγραμμα 4-11 Μέση ταχύτητα ανά ομάδα, για κάθε τύπο καυσίμου

Ένα διάγραμμα που δείχνει τη μέση ταχύτητα για κάθε ένα προφίλ ομαδοποίησης, για κάθε τύπο καυσίμου (βενζίνη ή πετρέλαιο), μπορεί να παρέχει αρκετές πληροφορίες και συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά οδήγησης και τη χρήση καυσίμου για διάφορες κατηγορίες οδηγών ή συνθηκών.

Όπως προέκυψε από αυτή την έρευνα, για το οικολογικό προφίλ, οι τιμές της μέσης ταχύτητας και της μέγιστης ταχύτητας βρίσκονται εντός των ορίων της «πράσινης περιοχής», γεγονός που επαληθεύει τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερευνητών.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το οικολογικό προφίλ παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή της μέσης ταχύτητας σε σχέση με τα υπόλοιπα προφίλ. Το μη οικολογικό προφίλ συνδέεται με την χαμηλότερη τιμή της μέσης ταχύτητας. Όσον αφορά στον τύπο καυσίμου, φαίνεται πως οι οδηγοί που χρησιμοποίησαν πετρέλαιο διατήρησαν μία υψηλότερη τιμή της μέσης ταχύτητας. Τέλος, φαίνεται ότι το εύρος τιμών της μέσης ταχύτητας είναι σημαντικά μεγαλύτερο στις περιπτώσεις των οχημάτων που κινούνται με βενζίνη για όλα τα προφίλ οδήγησης.



Διάγραμμα 4-12 Μέγιστη ταχύτητα ανά ομάδα, για κάθε τύπο καυσίμου

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το οικολογικό προφίλ παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης ταχύτητας σε σχέση με τα υπόλοιπα προφίλ. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αυτό συμβαίνει λόγω της διατήρησης υψηλής αλλά και σταθερής ταχύτητας, πιθανώς λόγω οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο. Το μη οικολογικό προφίλ συνδέεται με την χαμηλότερη τιμή της μέγιστης ταχύτητας. Όσον αφορά στον τύπο καυσίμου, φαίνεται πως οι οδηγοί που χρησιμοποίησαν πετρέλαιο και οι οδηγοί που χρησιμοποίησαν βενζίνη διατήρησαν παρόμοιες τιμές της μέγιστης ταχύτητας. Τέλος, φαίνεται ότι το εύρος τιμών της μέγιστης ταχύτητας είναι παρόμοιο στις περιπτώσεις των οχημάτων που κινούνται με βενζίνη αλλά και με πετρέλαιο για όλα τα προφίλ οδήγησης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1.Βασικά Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σύνοψη και ανάλυση των βασικών ευρημάτων που προέκυψαν από τη μελέτη. Αυτό περιλαμβάνει την επανάληψη των κύριων αποτελεσμάτων και των κύριων παραμέτρων που εξετάστηκαν παραπάνω. Στη συνέχεια, παρατίθεται λεπτομερής ανάλυση της σημασίας των ευρημάτων αυτών και πώς συνδέονται με τον σκοπό της έρευνας αλλά και τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία είχαν τεθεί αρχικά.

Ο κεντρικός στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν να αναλύσει τον όρο οικολογική οδήγηση, να εξετάσει τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των οδηγών, να αξιολογήσει τις οικολογικές επιπτώσεις και να διατυπώσει προτάσεις για την προώθησή της μέσω εκπαιδευτικών προγραμμάτων και πολιτικών, σύμφωνα με την πρόσφατη επιστημονική βιβλιογραφία. Οι εμπειρικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για τη σύγκριση της οικολογικής οδήγησης με τη συμβατική οδήγηση απέδειξαν ότι οι τεχνικές οικολογικής οδήγησης οδηγούν σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 20%. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τη σημαντική επίδραση της συμπεριφοράς του οδηγού στην οικονομία καυσίμου των οχημάτων. Επιπλέον, η ανάλυση των δεδομένων ανέδειξε ότι οι τεχνικές αποφυγής ξαφνικών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου, ενώ η βέλτιστη ταχύτητα και η χρήση συστημάτων πρόβλεψης κυκλοφορίας συμβάλλουν επίσης στη μείωση των εκπομπών.

Ένας από τους κυριότερους στόχους της διπλωματικής εργασίας είναι ο καθορισμός διαφορετικών προφίλ οδήγησης, χρησιμοποιώντας τεχνικές μη επιβλεπόμενης μάθησης. Στην ανάλυση δεδομένων χρηστών χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος K-means για την ομαδοποίηση, με την επιλογή του αριθμού των ομάδων και την αξιολόγηση μέσω του διαγράμματος σιλουέτας. Ο βέλτιστος αριθμός πλήθους συστάδων αποδείχτηκε να είναι τρία για το συγκεκριμένο πείραμα. Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε πολλές φορές, και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν με διαγράμματα για καλύτερη κατανόηση. Οι ομάδες χαρακτηρίστηκαν ως "eco," "moderate," και "non-eco," βάσει των χαρακτηριστικών τους.

Ο δείκτης σιλουέτας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της ποιότητας της ομαδοποίησης, με τον συνολικό δείκτη να υποδεικνύει καλό διαχωρισμό των ομάδων, ήταν 0,49. Όπως φάνηκε από την προηγούμενη ενότητα, οι διαχωρισμοί ήταν αρκετά ικανοποιητικοί, διακριτοί και τα σημεία του εκάστοτε προφίλ ήταν κοντά στο κέντρο μάζας των τιμών. Όπως μπορεί να συμπεράνει κανείς από την ανάλυση, τα εν λόγω προφίλ αναδεικνύουν τόσο τα μοτίβα της οικολογικής οδήγησης όσο και άλλες επικίνδυνες συμπεριφορές οδήγησης. Τα δεδομένα διαχωρίζονται ικανοποιητικά σε ομάδες, οι οποίες είναι σαφείς διακριτές με ανάμειξη των στοιχείων σε πολύ μικρό βαθμό.

Τέλος, μέσω στατιστικής ανάλυσης διερευνώνται περαιτέρω οι σχέσεις μεταξύ των προφίλ οδήγησης με την κατανάλωση καυσίμου και άλλους κρίσιμους παράγοντες. Η ανάλυση των προφίλ οδήγησης με βάση τις μεταβλητές που παρουσιάστηκαν αποκαλύπτει σημαντικές διαφορές μεταξύ του οικολογικού, μη οικολογικού και ενδιάμεσου προφίλ. Στο οικολογικό προφίλ, παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές σε πολλές μεταβλητές που σχετίζονται με τη συμπεριφορά οδήγησης, όπως η μέση επιτάχυνση και επιβράδυνση, το ποσοστό της συνολικής μέσης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, καθώς και η μέγιστη επιτάχυνση και επιβράδυνση. Αυτό υποδεικνύει μια στρατηγική οδήγησης που επιδιώκει την οικονομία καυσίμων και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Οι οδηγοί με οικολογικά προφίλ είναι πιθανό να έχουν ευαισθησία στα περιβαλλοντικά ζητήματα και να εφαρμόζουν αυτήν την προσέγγιση στη συμπεριφορά τους. Αντίθετα, το μη οικολογικό προφίλ χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές στις περισσότερες από τις ίδιες μεταβλητές, υποδεικνύοντας μια πιο αυθόρμητη συμπεριφορά οδήγησης με απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Είναι πιθανό ότι αυτοί οι οδηγοί δεν λαμβάνουν υπόψη την οικολογία κατά την οδήγησή τους. Τα ενδιάμεσα προφίλ βρίσκονται κάπου ανάμεσα σε αυτές τις δύο ακραίες στρατηγικές. Αυτές οι διαφορές αντικατοπτρίζουν τη σημασία της συμπεριφοράς οδήγησης και της συνειδητής ή μη εφαρμογής της οικολογικής οδήγησης από τους οδηγούς.

Επιπλέον, εμφανής είναι η διαφορά όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμου, ανάλογα με το εκάστοτε προφίλ συμπεριφοράς οδήγησης. Η κατανάλωση καυσίμου είναι χαμηλότερη στα οικολογικά προφίλ, προσφέροντας οικονομικά οφέλη. Αυτό αποτελεί έναν ακόμα λόγο για τον οποίο οι οικολογικές στρατηγικές οδήγησης είναι επιθυμητές, καθώς εξοικονομούν καύσιμο και μειώνουν το κόστος λειτουργίας του οχήματος. Τέλος, η χρήση μετρήσεων της κινητικής ενέργειας προς τη διάρκεια του ταξιδιού ως μέτρο οικολογικής οδήγησης μπορεί να προσδιορίσει ακόμα περισσότερο τις πτυχές της οικολογικής οδήγησης που χαρακτηρίζουν τα διάφορα προφίλ. Στο οικολογικό προφίλ η κινητική ενέργεια ήταν εμφανώς μικρότερη.

Μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον αποτελεί το ερώτημα για το ποια χαρακτηριστικά ή μεταβλητές επηρεάζουν την ομαδοποίηση των δεδομένων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου οι μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με την απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση επηρεάζουν περισσότερο τα προφίλ και συμβάλουν στον διαχωρισμό τους με σαφήνεια. Οι μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με την ταχύτητα φαίνεται να παίζουν ρόλο αλλά πιο δευτερεύων στο διαχωρισμό των προφίλ συμπεριφοράς οδήγησης. Είναι επίσης εμφανές ότι η μεταβλητή της κατανάλωσης καυσίμου παίζει ακόμη έναν πρωταγωνιστικό ρόλο στην εκτίμηση του οικολογικής οδήγησης.

Για τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα οδήγησης τα οποία συλλέχτηκαν μέσω ενός πειράματος φυσικής οδήγησης, χρησιμοποιώντας αισθητήρες έξυπνων κινητών και OBD, προκειμένου να προσδιορίσουμε το οικολογικό προφίλ οδήγησης. Τα δεδομένα αυτά αφορούν χαρακτηριστικά οδήγησης όπως είναι η επιτάχυνση, η ταχύτητα, η πέδηση, η επιβράδυνση κ.ά.

5.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στα πλαίσια περαιτέρω έρευνας του αναφερόμενου πειράματος θα μπορούσε να διερευνηθεί και ένα πλήθος περισσότερων μεταβλητών με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Η δοκιμή θα μπορούσε να διεξάγεται σε πραγματικές συνθήκες, με χρήση διαφορετικών τύπων δρόμων και υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες ή συνθήκες κυκλοφορίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν διατυπωθεί ήδη σημαντικές αμφιβολίες σχετικά με την προώθηση της οικολογικής οδήγησης σε καταστάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ένας παράγοντας σαν κι αυτόν, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες συνολικές εκπομπές σε επίπεδο οδικού δικτύου καθώς και σε ορισμένες ανησυχίες για την ασφάλεια. Έχουν δημοσιευθεί στη βιβλιογραφία αντικρουόμενα ερευνητικά αποτελέσματα σε αυτόν τον τομέα και απαιτείται λοιπόν περαιτέρω εργασία για την αποσαφήνιση των επιπτώσεων της οικολογικής οδήγησης σε αυτό το πλαίσιο.

Οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη των κριτηρίων διαμόρφωσης προφίλ για ετερογενή μεγέθη και είδη πόλεων, όπως επίσης και για διαφορετικές συνθήκες ροής κυκλοφορίας, ή για παράδειγμα σε αγροτικό περιβάλλον. Σύμφωνα με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται μόνο σε μεγάλες πόλεις. Επομένως πρέπει να διερευνηθεί το αποτέλεσμα και με διαφορετικές συνθήκες, όπως σε μικρές πόλεις χωρίς συμφόρηση. Έτσι, μπορεί να συγκριθεί η αποτελεσματικότητα της οικολογικής οδήγησης από τους επαγγελματίες οδηγούς, έχοντας στη διάθεσή μας περισσότερα δεδομένα και άρα πιο εμπειριστατωμένο αποτέλεσμα.

Θα ήταν επίσης απαραίτητο, να αναλυθεί η αποτελεσματικότητα της οικολογικής οδήγησης ανά διαφορετικές κοινωνικές ομάδες, ηλικιακές ομάδες ή και το φύλο. Χρήσιμη προσθήκη στη βιβλιογραφία θα αποτελούσε επίσης μια νέα δοκιμή με γυναίκες οδηγούς για να ελεγχθεί εάν η υιοθέτηση των αρχών της οικολογικής οδήγησης και η αποτελεσματικότητα είναι παρόμοια σε όλες τις περιπτώσεις ή όχι. Επιπλέον, η ανάλυση των οικονομικών πτυχών της οικολογικής οδήγησης, όπως οι εξοικονομήσεις σε κόστος καυσίμου, μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω μελέτης.

Σε μία νέα πειραματική δοκιμή, θα μπορούσαν επίσης να μελετηθούν και άλλοι τύποι οχημάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην παράδοση ταχυμεταφορών, όπως οι μοτοσυκλέτες. Σύμφωνα με τη σύγχρονη βιβλιογραφία, δεν έχει γίνει κάποια έρευνα για αναβάτες δίτροχων. Είναι αναγκαίο, η μελλοντική έρευνα να επικεντρωθεί στην

ανάπτυξη προφίλ συμπεριφοράς οδηγών για οδηγούς δίκυκλων, ειδικά για κομητείες όπως η Ινδία και η Μαλαισία, όπου το μερίδιο των ατυχημάτων με δίτροχα είναι υψηλότερο από οποιοδήποτε άλλο μέσο μεταφοράς. Επιπλέον, πρέπει να παρατηρηθεί η επίδραση της οικολογικής οδήγησης στα ηλεκτρικά οχήματα αλλά και τα αυτοκινούμενα οχήματα, τα οποία κερδίζουν καθημερινά ολοένα και περισσότερο έδαφος στις αυτοκινητοβιομηχανίες.

Για την εφαρμογή των προφίλ συμπεριφοράς οδηγών σε συστήματα που βασίζονται στη χρήση, υπάρχει ανάγκη συλλογής σχολίων από τους οδηγούς. Ως εκ τούτου, σε μελλοντική έρευνα, η ανατροφοδότηση των χρηστών σχετικά με τα κριτήρια δημιουργίας προφίλ θα αποτελούσε αρκετά χρήσιμη προσθήκη στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Επιπλέον, ερευνητές έχουν προτείνει για τη μελλοντική έρευνα να επικεντρωθεί στη συσχέτιση προφίλ οδηγού με δεδομένα προηγούμενων συγκρούσεων, και πιθανές βλάβες οχήματος ή συνθήκες συντήρησης και συστηματικού ελέγχου τήρησης των ευρωπαϊκών προδιαγραφών (πχ ΚΤΕΟ) για ένα ακόμη πιο αξιόπιστο διαχωρισμό προφίλ οδήγησης σύμφωνα με τις αρχές της οικολογικής οδήγησης.

Σε εποχές ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης όπως η σημερινή, οφείλει κανείς να ακολουθεί και να ενημερώνεται για τις εξελίξεις. Μέχρι σήμερα, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει έμμεσους συσχετισμούς για τη μέτρηση της απόδοσης καυσίμου. Επομένως, υπάρχει ανάγκη να αναπτυχθούν πιο αξιόπιστες μέθοδοι για το προφίλ οδήγησης με βάση την αποδοτικότητα των καυσίμων. Οι εξαιρετικές δυνατότητες των συσκευών έξυπνων κινητών για συλλογή δεδομένων συμπεριφοράς του οδηγού, και η εύκολη προσβασιμότητα και χρήση από όλους, είναι πλέον γεγονός. Ωστόσο, ορισμένοι ερευνητές έχουν παρατηρήσει προβλήματα αξιοπιστίας των έξυπνων κινητών, τα οποία σχετίζονται με την έλλειψη ακεραιότητας και διαθεσιμότητας δεδομένων, με τον δέκτη GNSS να πρέπει να διερευνηθεί περεταίρω. Τέλος, μεγάλο ενδιαφέρον θα αποτελούσε η συσχέτιση της απόσπασης δεδομένων οδήγησης για την έρευνα στον τομέα της οικολογικής οδήγησης με την Τεχνητή Νοημοσύνη, η οποία αποτελεί πλέον για πολλούς αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας.

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην πολιτική για τις μεταφορές. Οι κυβερνήσεις μπορούν να λάβουν υπόψη τα αποτελέσματα αυτά κατά τον σχεδιασμό των περιβαλλοντικών πολιτικών τους και να ενθαρρύνουν την εφαρμογή τεχνικών οικολογικής οδήγησης μέσω διαφόρων κινήτρων και πολιτικών μέτρων. Η κατηγοριοποίηση σε προφίλ συμπεριφοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ασφάλειας ενός δρόμου αλλά και

για την αποτελεσματικότητα ενός δρόμου και τις συνθήκες αυτού. Για τους κρατικούς φορείς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των αλλαγών στη συμπεριφορά των οδηγών ως αποτέλεσμα μιας εκπαιδευτικής εκστρατείας ή για την εφαρμογή νέων συστημάτων επιβολής με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας των οδηγών. Παράλληλα, οι επιχειρήσεις και οι οδηγοί μπορούν να εφαρμόσουν τις ευρήματα αυτά για να βελτιώσουν την απόδοση καυσίμου των οχημάτων τους. Για εταιρείες στόλου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προφίλ συμπεριφοράς οδηγού για την πρόσληψη νέων οδηγών ή για την εκπαίδευση και ανάπτυξη των εργαζομένων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bian, Y., Yang, C., Zhao, J.L., Liang, L., 2018. Good drivers pay less: A study of usage based vehicle insurance models. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 107 (3688), 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.018>.
2. Tselentis, D.I., Yannis, G., Vlahogianni, E.I., 2017. Innovative motor insurance schemes: A review Of current practices and emerging challenges. *Accid. Anal. Prev.* 98, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.10.006>.
3. Andrieu, C., Pierre, G.S., 2012. Comparing effects of eco-driving training and simple advices on driving behavior. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 54, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.740>. Bishop, C. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*.
4. European Environment Agency. EEA Greenhouse Gas-Data Viewer. 2019. EEA greenhouse gases - data viewer — European Environment Agency (europa.eu)
5. EA (2014). Focusing on environmental pressures from long-distance transport - TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe, European Environment Agency.
6. Sivak, M., Schoettle, B., 2012. Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. *Transp. Policy* 22, 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.010>.
7. Fafoutellis, P., Mantouka, E. G., & Vlahogianni, E. I. (2020). Eco-driving and its impacts on fuel efficiency: An overview of technologies and data-driven methods. *Sustainability*, 13(1), 226.
8. Elizabeth Box, David Bayliss (2012). *Speed Limits: A review of evidence*. Rac Foundation.
9. LeBlanc, D.J., Sivak, M., Bogard, S., 2010. Using Naturalistic Driving Data to Assess Variations in Fuel Efficiency among Individual Drivers. Tech. Rep. Univ. Michigan *Transp. Res. Inst. UMTRI-2010 December*.
10. Tanvir, Shams, Chase, R.T., Roupahil, N.M., 2021. Development and analysis of ecodriving metrics for naturalistic instrumented vehicles. *J. Intell. Transp. Syst.* 25 (3), 235–248. <https://doi.org/10.1080/15472450.2019.1615486>.
11. Nocera, S., Cavallaro, F., 2011. Policy effectiveness for containing CO2 emissions in transportation. *Proced. Soc. Behav. Sci.* 20, 703–713.
12. Beusen, B., Broekx, S., Denys, T., Beckx, C., Degraeuwe, B., Gijsbers, M., Scheepers, K., Govaerts, L., Torfs, R., Panis, L.I., 2009. Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course. *Transp. Res. Part D* 14, 514–520.
13. Barkenbus, J.N., 2010. Eco-driving: An overlooked climate change initiative. *Energy Pol.* 38, 762–769.

14. L Stergiou, August 9, 2020, Road Safety, Eco-driving: The Secrets No One Has Told You
15. Alam, S., Mcnabola, A., 2014. A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits& limitations 35, 42–49. doi:10.1016/j.tranpol.2014.05.016.
16. Thomas, John, Huff, Shean, West, Brian, 2014. Fuel Economy and Emissions Effects of Low Tire Pressure, Open Windows, Roof Top and Hitch-Mounted Cargo, and Trailer. SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 7 (2), 862–872. <https://doi.org/10.4271/2014-01-1614>.
17. An, F., Ross, M., 1996. A Simple Physical Model for High Power Enrichment Emissions' (TECHNICAL PAPER). Air Waste Manag. Assoc. 46, 216–223.
18. Zacharof, N.G., Fontaras, G., 2016. Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars. doi:10.2790/74318.
19. EPA, 2011. Driving more efficiently, available at: <http://www.fueleconomy.gov/feg/drivehabits.shtml> (accessed 28.08.12).
20. Shridhar Bokare, P., Kumar Maurya, A., 2013. Study of Effect of Speed, Acceleration and Deceleration of Small Petrol Car on Its Tail Pipe Emission. Int. J. Traffic Transp. Eng. 3 (4), 465–478. [https://doi.org/10.7708/2217-544X10.7708/ijtte.2013.3\(4\).09](https://doi.org/10.7708/2217-544X10.7708/ijtte.2013.3(4).09).
21. Barth, M., Boriboonsomsin, K., 2009. Energy and emissions impacts of a freewaybased dynamic eco-driving system. Transp. Res. Part D 14, 400–410.
22. Automobile Association. Drive Smart and Save. <http://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/drive-smart>
23. Filippou K. Adamidis, Eleni G. Mantouka, Eleni I. Vlahogianni (2020). Effects of controlling aggressive driving behavior on networkwide traffic flow and emissions. International Journal of Transportation Science and Technology 9 (2020) 263–276
24. Murphey, Y.L., Milton, R., Kiliaris, L., 2009. Driver's style classification using jerk analysis. 2009 IEEE Work. Comput. Intell. Veh. Veh. Syst. CIVVS 2009 - Proc. 23–28. doi:10.1109/CIVVS.2009.4938719.
25. Schüler, M., Onnen, C., Bielaczek, C., 1997. A Fuzzy-System for a Classification of the Driver Behavior and the Driving Situation. IFAC Proc. 30 (8), 693–698. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)43901-2](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)43901-2).
26. Simsek, B., Pakdil, F., Dengiz, B., Testik, M.C., 2013. Driver performance appraisal using GPS terminal measurements: A conceptual framework. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 26, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.07.006>.
27. Quille, J., Sabina, B. Superstine, S., 2012. Eco-Drive Chicago: saving millions, reducing emissions penn public policy challenge. National Invitational Competition, Harris School of Public Policy, Chicago.

28. SenterNovem, 2005. Eco-Driving: the smart driving style. Available at: [http:// www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/ecodriving.pdf](http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/ecodriving.pdf) (accessed 18.03.14)
29. Eco-Driving Europe, 2004. A guide to promote the smart driving style. Improves road safety, fuel efficiency and combats climate change, available at: [http:// www.aatas.com/files/eco_driving.pdf](http://www.aatas.com/files/eco_driving.pdf) (accessed 29.08.12).
30. Hoed, R.v.d., Harmelink, M., Joosen, S., 2006. Evaluation of the Dutch Eco-Driving Programme EIE-2003-114 AID-EE Project: project executed within the framework of Energy Intelligence for Europe program, pp. 3
31. Miller, K., Drumwright, L.G., Kostreba, A., Lam, A., Mercer, M., Ryan, T., Schneeberger, J.D., Wesolek, D., 2011. U.S. Department of Transportation. Report no: FHWAJPO-11-139. Available at: http://ntl.bts.gov/lib/44000/44600/44661/FHWA-JPO-11-139_AERIS_Applications_SOP_Report-FINAL_081211-REV_9-13-11.pdf (accessed 02.01.14).
32. Berg, J.V.D., 2007. Eco-driving as a policy to reduce emissions. In: Paper Presented at the International Transport Forum, 22 November 2007, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Netherlands, Available at: <http://www.internationaltransportforum.org/Proceedings/ecodriving/1-01NL.pdf> (accessed 17.03.14).
33. DTTS, 2009. SmarterTravel, a sustainable transport future is the transport policy for Ireland for the period 2009–2020, Department of Transport Tourism and Sports, Ireland, available at: <http://www.transport.ie/upload/general/11284-0.pdf> (accessed 12.10.13)
34. IEA, 2012. Policies and Measures Database. Available at <http://www.iea.org/Textbase/pm/Default.aspx?mode=pm&id=355&action=detail>
35. Kojima, K., Ryan, L., 2010. Transport Energy Efficiency: Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps (Vol. Energy Efficiency Series). International Energy Agency, France
36. Cheng, Z., Yang, D., Ii, L., Fengtian, C., 2012. Modelling and simulation research on the effect of driving skills on Vehicle fuel efficiency. Adv. Mater. Res. 512–515, 1167–1173.
37. IEA, 2008. Energy Policies of IEA Countries: Japan (International Energy Agency). Available at: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/japan2008.pdf> (accessed 18.08.12).
38. Shaheen, S.A., Martin, E.W. Finson, R.S., 2011. Understanding how Eco-Driving public education can result in reduced fuel use and greenhouse gas emissions, 2012. In: Paper presented at the Transportation Research Board Annual Meeting.

39. Symmons, M., Rose, G., Van Doorn, G., 2009. Ecodrive as a road safety tool for Australian conditions. In: R.S.R.G. 2009-004 (Ed.). Monash University, Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government.
40. Eco driving Fleet Training, training service from AEMS, 50-56 Merrion Road, Ballsbridge, Dublin 4, <https://ecodrive.ie/>
41. Zarkadoula, M., Zoidis, G., Tritopoulou, E., 2007. Training urban bus drivers to promote smart driving: a note on a Greek eco-driving pilot program. *Transp. Res. Part D* 12, 449–451.
42. Thijssen, R.J.T.G.; Hofman, T.; Ham, J. Ecodriving acceptance: An experimental study on anticipation behavior of truck drivers. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2014, 22, 249–260
43. Strömberg, H.K.; Karlsson, I.M. Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers—Results from a field trial. *Transp. Res. Part D Transport Environ.* 2013, 22, 28–33.
44. Daun, T.J.; Braun, D.G.; Frank, C.; Haug, S.; Lienkamp, M. Evaluation of driving behavior and the efficacy of a predictive ecodriving assistance system for heavy commercial vehicles in a driving simulator experiment. In *Proceedings of the 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, The Hague, The Netherlands, 6–9 October 2013*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2013; pp. 2379–2386.
45. Ruddy, M., Matthews, L., Andrey, J., Matto, T.D., 2013. Eco-driver training within the City of Calgary's municipal fleet: monitoring the impact. *Transp. Res. Part D* 24, 44–51
46. Rionda, A.; Pañeda, X.G.; García, R.; Díaz, G.; Martínez, D.; Mitre, M.; Arbesú, A.; Marín, I. Blended learning system for efficient professional driving. *Comput. Educ.* 2014, 78, 124–139.
47. Sullman, M.J.; Dorn, L.; Niemi, P. Eco-driving training of professional bus drivers—Does it work? *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2015, 58, 749–759.
48. Rolim, C.C., Baptistaa, P.C., Duartea, G.O., Fariasa, T.L., 2014. Impacts of on-board devices and training on Light Duty Vehicle Driving Behavior. *Proced.—Soc. Behav. Sci.* 111, 711–720.
49. Basarić, V.B.; Jambrović, M.; Milićić, M.B.; Savković, T.M.; Basarić, Đ.M.; Bogdanović, V.Z. Positive effects of eco-driving in public transport: A case study of the city Novi Sad. *Therm. Sci.* 2017, 21, 683–692.
50. Pozueco, L.; Tuero, A.G.; Pañeda, A.G.; Pañeda, X.G.; Melendi, D.; García, R.; Diaz Orueta, G.; Rionda, A. Analytic System to Evaluate Efficient Driving Programs in Professional Fleets. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2018, 20.

51. Yao, Y.; Zhao, X.; Ma, J.; Liu, C.; Rong, J. Driving Simulator Study: Eco-Driving Training System Based on Individual Characteristics. *Transp. Res. Rec.* 2019, 2673, 463–476.
52. Savković, T.; Gladović, P.; Milićević, M.; Pitka, P.; Ilić, S. Effects of eco-driving training: A pilot program in belgrade public transport. *Teh. Vjesn.* 2019, 26, 1031–1037.
53. Juan Francisco Coloma, Marta García, Gonzalo Fernández and Andrés Monzón, Environmental Effects of Eco-Driving on Courier Delivery, Sustainability, MDPI
54. Evin, E.; Aydin, M.B.; Kardas, G. Design and Implementation of a CANBus-Based Eco-Driving System for Public Transport Bus Services. *IEEE Access* 2020, 8, 8114–8128.
55. Zhiming Gao, Tim Laclair, Shiqi Ou, Research Gate, April 2019 Energy 172:823-839, DOI:10.1016/j.energy.2019.02.017, Evaluation of Electric Vehicle Component Performance over Eco-Driving Cycles
56. Wilbers, P. Wardenaar, H., 2007. The Dutch national eco-driving programme Het Nieuwe Rijden: A success story. Dutch Ministry of Transport and Water Management, ECEEE. Summer Study, Saving Energy. Available at: (http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2007/Panel_8/8.111/paper) (accessed 15.03.14)
57. Kobayashi, I., Tsubota, Y., Kawashima, H., 2007. Eco-driving simulation: evaluation of eco-driving within a network using traffic simulation, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 96 (Urban Transport XIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century).
58. Ericsson, E., Larsson, H., Brundell-Freij, K., 2006. Optimizing route choice for lowest fuel consumption – Potential effects of a new driver support tool. *Transp. Res. Part C* 14, 369–383.
59. Barth M., Boriboonsomsin K., Vu A., (2007. Environmentally-Friendly Navigation, In: Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, September 30–October 3, 2007, Seattle, WA, USA.
60. Ahn, K., Rakha, H.A., 2013. Network-wide impacts of eco-routing strategies: a largescale case study. *Transp. Res. Part D* 25, 119–130.
61. Klunder, G.A., Malone, K., Mak, J., Wilmink, I.R., Schirokoff, A., Sihvola, N., et al., 2009. Impact of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency in Road Transport—Final Report. EC. Available at: (http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/doc/studies/energy/energy_eff_study_final.pdf) (Accessed 19.01.14).
62. Saboohi, Y., Farzaneh, H., 2009. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. *Appl. Energy* 86 (10), 1925–1932.

63. Boriboonsomsin, K., Vu, A., Barth, M., 2010. Eco-Driving: pilot evaluation of driving behavior changes among U.S. drivers. UCTC-FR-2010–2020
 64. Ando, R., Nishihori, Y., Kachi, N., 2011. Can eco-driving techniques make driving more economically and ecologically? In: Proceedings of the 18th World Congress on Intelligent Transport Systems: Keeping the Economy Moving, October 16–20, 2011, Orlando, USA.
 65. Mensing, F., Trigui, R., Bidaux, E., 2011. Vehicle Trajectory Optimization for Application in Eco-Driving. IEEE.
 66. Kang, J., Ma, T., Ma, F., Huang, J., 2011. Link-based emission model for eco routing. In: Paper presented at the 11th International Conference on ITS Telecommunications.
 67. Qian, G., Chung, E. (2011) Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation. In: Paper presented at the Australasian Transport Research Forum, 28–30 September 2011, Adelaide
 68. Boriboonsomsin, K., Barth, M., Zhu, W., Vu, A., 2012. Eco-Routing Navigation System based on Multisource Historical and Real-Time Traffic Information. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems 13 (4).
 69. Qian, G., Chung, E., Horiguchi, R., 2013. Assessing eco-driving performance of a traffic platoon at urban intersections: an experimental study. In: Optimum 2013–International Symposium on Recent Advances in Transport Modelling.
 70. Strömberg, H.K., Karlsson, I.C.M., 2013. Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers–Results from a field trial. *Transp. Res. Part D* 22, 28–33.
 71. Scora, G., Boriboonsomsin, K. Barth, M., 2013. Eco-friendly navigation system development for heavy-duty trucks. In: Paper presented at the 92th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C.
 72. Andersen, O., Jensen, C.S., Torp, K. Yang, B., 2013. EcoTour: reducing the environmental footprint of vehicles using eco-routes. In: IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management
 73. M.N. Smith. The number of cars will double worldwide by 2040. Retrieved from http://uk.businessinsider.com/global-transport-use-will-double-by-2040-as-china-andindia-gdp-balloon?utm_source=feedly&utm_medium=webfeeds; 2016.
 74. Garcia-Castro, A.; Monzon, A. Using floating car data to analyse the effects of its measures and eco-driving. *Sensors* 2014, 14, 21358–21374.
 75. Van Schagen, I., Welsh, R., Backer-Grondhal, A., Hoedemaeker, M., Lotan, T., Morris, A., Sagberg, F., Winkelbauer, M., 2011. Towards a large-scale European Naturalistic Driving study: final report of PROLOGUE.
 76. Carsten, O., Kircher, K., Jamson, S., 2013. Vehicle-based studies of driving in the real world: The hard truth? *Accid. Anal. Prev.* 58, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.006>.
-

77. Bargman, J., 2016. Methods for Analysis of Naturalistic Driving Data in Driver Behavior Research.
78. Singh, H., Kathuria, A., 2021. Analyzing driver behavior under naturalistic driving conditions: A review. *Accid. Anal. Prev.* 150 December 2020 , 105908. doi:10.1016/j.aap.2020.105908.
79. Rejikumar, G., 2013. A pre-launch exploration of customer acceptance of usage based vehicle insurance policy. *IIMB Manag. Rev.* 25 (1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2012.11.002>.
80. Huang, Y., Meng, S., 2019. Automobile insurance classification ratemaking based on telematics driving data. *Decis. Support Syst.* 127, 113156. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113156>.
81. Cui, Y., Ge, S.S., 2003. Autonomous vehicle positioning with GPS in urban canyon environments. *IEEE Trans. Robot. Autom.* 19 (1), 15–25. <https://doi.org/10.1109/TRA.2002.807557>.
82. Ellison, A.B., Greaves, S.P., Bliemer, M.C.J., 2015. Driver behaviour profiles for road safety analysis. *Accid. Anal. Prev.* 76, 118–132.
83. Toledo, T., Musicant, O., & Lotan, T. (2008). In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(3). <https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.01.001>
84. Liu, Z., Shen, Q., Ma, J., 2017. A driving behavior model evaluation for UBI. *Int. J. Crowd Sci.* 1 (3), 223–236. <https://doi.org/10.1108/ijcs-08-2017-0022>.
85. Whitaker, R., 2007. Criticisms of the Analytic Hierarchy Process: Why they often make no sense. *Math. Comput. Model.* 46 (7–8), 948–961. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.016>.
86. Massoud, R., Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., Poslad, S., 2019. Eco-driving profiling and behavioral shifts using IoT vehicular sensors combined with serious games. *IEEE Conf. Comput. Intell. Games, CIG 2019-Augus*, 5–12. doi:10.1109/CIG.2019.8847992.
87. Llopis-Castello, D., Camacho-Torregrosa, F.J., García, A., 2019. Analysis of the influence of geometric design consistency on vehicle CO₂ emissions. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 69, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.029>.
88. Bordoff, J., Noel, P., 2008. Pay-As-You-Drive Auto Insurance: a simple way to reduce driving-related harms and increase equity. *J. Risk Insur.* 37 (2), 25.
89. Ellison, A.B., Greaves, S.P., Bliemer, M.C.J., 2015. Driver behaviour profiles for road safety analysis. *Accid. Anal. Prev.* 76, 118–132.
90. Sivak, M., Schoettle, B., 2012. Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. *Transp. Policy* 22, 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.010>.
91. Ma, H., Xie, H., Huang, D., Xiong, S., 2015. Effects of driving style on the fuel consumption of city buses under different road conditions and vehicle

- masses. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 41, 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.003>.
92. Sagberg, Fridulv, Selpi, Bianchi Piccinini, Giulio Francesco, Engstrom, Johan, 2015. A review of research on driving styles and road safety. *Hum. Factors* 57 (7), 1248–1275. <https://doi.org/10.1177/0018720815591313>.
93. Shinar, D., 2017. Traffic Safety and Human Behavior. *Traffic Safety and Human Behavior*. <https://doi.org/10.1108/9781786352217>.
94. Jafarpour, S., Rahimi-Movaghar, V., 2014. Determinants of risky driving behavior: A narrative review. *Med. J. Islam. Repub. Iran* 28 (1), 1–8.
95. Elvik, R., 2014. Rewarding safe and environmentally sustainable driving: Systematic review of trials. *Transp. Res. Rec.* 2465 (0349), 1–7. <https://doi.org/10.3141/2465-01>.
96. Caird, J.K., Simmons, S.M., Wiley, K., Johnston, K.A., Horrey, W.J., 2018. Does Talking on a Cell Phone, With a Passenger, or Dialing Affect Driving Performance? An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Experimental Studies. *Hum. Factors* 60 (1), 101–133. <https://doi.org/10.1177/0018720817748145>.
97. Sheykhfard, A., Haghghi, F., 2020. Driver distraction by digital billboards? Structural equation modeling based on naturalistic driving study data: A case study of Iran. *J. Safety Res.* 72, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.11.002>.
98. Mantouka, E. G., Barmounakis, E. N., & Vlahogianni, E. I. (2019). Identifying driving safety profiles from smartphone data using unsupervised learning. *Safety Science*, 119, 84-90.
99. A. Srivastava, Jan 17, 2021, Analytics Vidhya, K-means Clustering <https://medium.com/analytics-vidhya/k-means-clustering-3ce2456db7f1>
100. Mantouka, E. G., & Vlahogianni, E. I. (2022). Deep Reinforcement Learning for Personalized Driving Recommendations to Mitigate Aggressiveness and Riskiness: Modeling and Impact Assessment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 142, 10377
101. Alhadi Bustamams, Research Gate, July 2017, AIP Conference Proceedings 1862(1):030134, Application of k-means clustering algorithm in grouping the DNA sequences of hepatitis B virus (HBV)
102. Ziakopoulos, A., Tselentis, D., Kontaxi, A., & Yannis, G. (2020). A critical overview of driver recording tools. *Journal of safety research*, 72, 203-212.
103. Mantouka, E.G., Barmounakis, E., Vlahogianni, E., & Golias, J. (2021). Smartphone sensing for understanding driving behavior: Current practice and challenges. *International journal of transportation science and technology*, 10(3), 266-282.

104. Vlahogianni, E. I., &Barmounakis, E. N. (2017). Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79, 196-206

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- 1) Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) περιγράφει φυσικά αντικείμενα (ή ομάδες τέτοιων αντικειμένων) με αισθητήρες, ικανότητα επεξεργασίας, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες που συνδέουν και ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του διαδικτύου ή άλλων δικτύων επικοινωνιών.
- 2) Η τηλεματική είναι ένας διεπιστημονικός τομέας που περιλαμβάνει τις τηλεπικοινωνίες, τις τεχνολογίες οχημάτων (οδικές μεταφορές, οδική ασφάλεια και άλλα), την ηλεκτρική μηχανική (αισθητήρες, όργανα, ασύρματες επικοινωνίες και άλλα) και την επιστήμη των υπολογιστών (πολυμέσα, Διαδίκτυο και άλλα). Η τηλεματική μπορεί να περιλαμβάνει την τεχνολογία αποστολής, λήψης και αποθήκευσης πληροφοριών με χρήση τηλεπικοινωνιακών συσκευών για τον έλεγχο απομακρυσμένων αντικειμένων, την ολοκληρωμένη χρήση τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής για εφαρμογή σε οχήματα και για έλεγχο οχημάτων εν κινήσει, την παγκόσμια τεχνολογία δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης ενσωματωμένη με υπολογιστές, την τεχνολογία κινητών επικοινωνιών σε συστήματα πλοήγησης αυτοκινήτων και τέλος τη χρήση τέτοιων συστημάτων σε οδικά οχήματα (ονομάζονται επίσης τηλεματική οχημάτων).
- 3) Η ψυχρή εκκίνηση είναι ένα πιθανό πρόβλημα στα συστήματα πληροφοριών που βασίζονται σε υπολογιστή, το οποίο περιλαμβάνει έναν βαθμό αυτοματοποιημένης μοντελοποίησης δεδομένων. Συγκεκριμένα, αφορά το ζήτημα ότι το σύστημα δεν μπορεί να βγάλει συμπεράσματα για χρήστες ή στοιχεία για τα οποία δεν έχει συγκεντρώσει ακόμη επαρκείς πληροφορίες.
- 4) Το GPS Locked σημαίνει ότι η στοχευόμενη τοποθεσία για δραστηριότητες όπως το περπάτημα, η πεζοπορία και η ποδηλασία έχει εντοπιστεί από τον δορυφόρο GPS. Αυτό συμβαίνει όταν το Band μας στέλνει ένα σήμα στον δορυφόρο και χαρτογραφεί την τοποθεσία της δραστηριότητάς μας, μόλις βρεθεί μια τοποθεσία, τότε θα δούμε το GPS Locked στη συσκευή μας Microsoft Band.
- 5) Ο αισθητήρας ρυθμού εκτροπής είναι μια γυροσκοπική συσκευή που μετρά τον ρυθμό εκτροπής ενός οχήματος, τη γωνιακή του ταχύτητα γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του. Η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του οχήματος ονομάζεται γωνία ολίσθησης, η οποία σχετίζεται με τον ρυθμό εκτροπής.

- 6) Analytic hierarchy process: Στη θεωρία της λήψης αποφάσεων, η διεργασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP), επίσης η διεργασία αναλυτικής ιεραρχίας, είναι μια δομημένη τεχνική οργάνωσης και ανάλυσης πολύπλοκων αποφάσεων, με βάση τα μαθηματικά και την ψυχολογία. Αναπτύχθηκε από τον Thomas L. Saaty τη δεκαετία του 1970. Ο Saaty συνεργάστηκε με τον Ernest Forman για την ανάπτυξη λογισμικού Expert Choice το 1983, και το AHP έχει μελετηθεί και βελτιωθεί εκτενώς από τότε. Αντιπροσωπεύει μια ακριβή προσέγγιση για τον ποσοτικό προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων απόφασης. Οι εμπειρίες μεμονωμένων ειδικών χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των σχετικών μεγεθών των παραγόντων μέσω συγκρίσεων ανά ζεύγη. Καθένας από τους ερωτηθέντες συγκρίνει τη σχετική σημασία κάθε ζεύγους στοιχείων χρησιμοποιώντας ένα ειδικά σχεδιασμένο ερωτηματολόγιο.
- 7) Statistical Process Control: Ο στατιστικός έλεγχος διαδικασίας (SPC) ή ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας (SQC) είναι η εφαρμογή στατιστικών μεθόδων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας μιας παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό βοηθά να διασφαλιστεί ότι η διαδικασία λειτουργεί αποτελεσματικά, παράγοντας περισσότερα προϊόντα που συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές με λιγότερα «απόβλητα». Το SPC μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε διαδικασία όπου μπορεί να μετρηθεί η έξοδος «συμμορφούμενου προϊόντος» (προδιαγραφές που πληροί το προϊόν). Τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο SPC περιλαμβάνουν γραφήματα εκτέλεσης, γραφήματα ελέγχου, εστίαση στη συνεχή βελτίωση και το σχεδιασμό πειραμάτων. Ένα παράδειγμα μιας διαδικασίας όπου εφαρμόζεται SPC είναι οι γραμμές παραγωγής.
- 8) Artificial neural network architecture: Το ANN βασίζεται στη δομή και τη λειτουργία του βιολογικού νευρωνικού δικτύου. Παρόμοια με τους νευρώνες στον εγκέφαλο, το ANN αποτελείται επίσης από νευρώνες που είναι διατεταγμένοι σε διάφορα στρώματα. Το νευρωνικό δίκτυο τροφοδοσίας είναι ένα δημοφιλές νευρωνικό δίκτυο που αποτελείται από ένα στρώμα εισόδου για τη λήψη των εξωτερικών δεδομένων για την εκτέλεση αναγνώρισης προτύπων, ένα επίπεδο εξόδου που δίνει τη λύση του προβλήματος και ένα κρυφό στρώμα είναι ένα ενδιάμεσο στρώμα που διαχωρίζει τα άλλα επίπεδα. Οι γειτονικοί νευρώνες από το στρώμα εισόδου στο στρώμα εξόδου συνδέονται μέσω άκυκλων τόξων. Το ANN χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εκπαίδευσης για να μάθει τα σύνολα δεδομένων που τροποποιεί τα βάρη των νευρώνων ανάλογα με το ποσοστό σφάλματος μεταξύ στόχου και πραγματικής εξόδου. Σε γενικές γραμμές, το ANN χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο πίσω διάδοσης ως αλγόριθμο εκπαίδευσης για την εκμάθηση των συνόλων δεδομένων.

- 9) Η συσκευή καταγραφής δεδομένων είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει δεδομένα με την πάροδο του χρόνου ή σχετικά με τη θέση είτε με ενσωματωμένο όργανο ή αισθητήρα είτε μέσω εξωτερικών οργάνων και αισθητήρων. Όλο και περισσότερο, αλλά όχι εξ ολοκλήρου, βασίζονται σε ψηφιακό επεξεργαστή (ή υπολογιστή) και ονομάζονται ψηφιακοί καταγραφείς δεδομένων (DDL). Είναι μικρά, με μπαταρία, φορητά και εξοπλισμένα με μικροεπεξεργαστή, εσωτερική μνήμη για αποθήκευση δεδομένων και αισθητήρες. Ορισμένα καταγραφικά δεδομένων διασυνδέονται με έναν προσωπικό υπολογιστή και χρησιμοποιούν λογισμικό για την ενεργοποίηση του καταγραφικού δεδομένων και την προβολή και ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων, ενώ άλλα διαθέτουν συσκευή τοπικής διασύνδεσης (πληκτρολόγιο, LCD) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομη συσκευή.
- 10) Το επίπεδο εξυπηρέτησης (level of service) (LOS) είναι ένα ποιοτικό μέτρο που χρησιμοποιείται για να συσχετίσει την ποιότητα της υπηρεσίας κυκλοφορίας μηχανοκίνητων οχημάτων. Το LOS χρησιμοποιείται για την ανάλυση δρόμων και διασταυρώσεων κατηγοριοποιώντας τη ροή της κυκλοφορίας και εκχωρώντας επίπεδα ποιότητας κυκλοφορίας με βάση το μέτρο απόδοσης όπως η ταχύτητα του οχήματος, η πυκνότητα, η συμφόρηση και άλλα. Σε μια γενικότερη έννοια, τα επίπεδα εξυπηρέτησης μπορούν να ισχύουν για όλες τις υπηρεσίες στον τομέα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων .
- 11) «Tailgating» η δράση ενός οδηγού που οδηγεί πίσω από άλλο όχημα ενώ δεν αφήνει επαρκή απόσταση για να σταματήσει χωρίς να προκαλέσει σύγκρουση εάν το προπορευόμενο όχημα σταματήσει ξαφνικά
- 12) Το «Microsoft SQL Server» είναι ένα σχεσιακό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων που αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Ως διακομιστής βάσης δεδομένων, είναι ένα προϊόν λογισμικού με κύρια λειτουργία την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων όπως ζητείται από άλλες εφαρμογές λογισμικού, τα οποία μπορεί να εκτελούνται είτε στον ίδιο υπολογιστή είτε σε άλλον υπολογιστή σε ένα δίκτυο (συμπεριλαμβανομένου του Διαδικτύου). Η Microsoft διαθέτει στην αγορά τουλάχιστον δώδεκα διαφορετικές εκδόσεις του Microsoft SQL Server, που απευθύνονται σε διαφορετικά είδη κοινού και για φόρτους εργασίας που κυμαίνονται από μικρές εφαρμογές ενός μηχανήματος έως μεγάλες εφαρμογές που έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο με πολλούς ταυτόχρονους χρήστες.
- 13) Gamification: Η στρατηγική προσπάθεια βελτίωσης συστημάτων, υπηρεσιών, οργανισμών και δραστηριοτήτων δημιουργώντας παρόμοιες εμπειρίες με αυτές που βιώνουν όταν παίζετε παιχνίδια, προκειμένου να παρακινηθούν και να εμπλακούν

οι χρήστες. Αυτό επιτυγχάνεται γενικά μέσω της εφαρμογής στοιχείων σχεδίασης παιχνιδιού και αρχών παιχνιδιού (δυναμική και μηχανική) σε περιβάλλοντα εκτός παιχνιδιού.

- 14) Οι στροφές ανά λεπτό (Revolutions per minute) (συντομογραφία rpm, RPM, rev/min, r/min, ή με τον συμβολισμό min^{-1}) είναι ο αριθμός των στροφών ανά λεπτό. Είναι μια μονάδα της ταχύτητας περιστροφής ή της συχνότητας περιστροφής γύρω από έναν σταθερό άξονα.
- 15) Ο αισθητήρας θέσης γκαζιού (TPS) είναι ένας αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της εισαγωγής αέρα ενός κινητήρα. Ο αισθητήρας βρίσκεται συνήθως στον άξονα/άξονα πεταλούδας, έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθεί άμεσα τη θέση του γκαζιού.