



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτίμησης αποδοτικότητας ως προς την ασφαλή και
οικολογική οδήγηση



Βάγια Σιλιόγκα

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ
Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Αφιερώνεται στον μπαμπά μου

Ευχαριστίες

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την ευκαιρία αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους ήταν δίπλα μου και με βοήθησαν για την υλοποίηση των στόχων μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Ελένη Βλαχογιάννη, η οποία δέχτηκε να επιβλέψει τη διπλωματική μου εργασία και με καθοδήγησε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Εκτός του πλαισίου της εργασίας, οι συμβουλές και οι συζητήσεις μας για το μέλλον και την εξέλιξή μου ήταν πολύ σημαντικές για τη μετέπειτα πορεία μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια Διδάκτορα του ΕΜΠ, Ελένη Μαντούκα, η οποία ήταν πάντα έτοιμη να απαντήσει σε κάθε μου απορία και να κάνει πιο εύκολη τη διαδικασία εκπόνησης της εργασίας αυτής. Χωρίς τη συνεχή της ενασχόληση και ώθηση, η παρούσα εργασία δε θα ήταν δυνατό να υλοποιηθεί με αυτό τον τρόπο.

Τέλος, τίποτα από όλα αυτά δε θα είχε πραγματοποιηθεί αν δεν είχα πάντα δίπλα μου τους κοντινούς μου ανθρώπους. Ευχαριστώ λοιπόν ολόψυχα τους φίλους μου και την οικογένειά μου και κυρίως τη μαμά μου που με κάθε τρόπο ήταν εκεί να με υποστηρίζουν και να με ωθούν προς την κατάκτηση των στόχων μου.

«Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτίμησης αποδοτικότητας ως προς την ασφαλή και οικολογική οδήγηση»

Βάγια Σιλιογκα

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας οδηγών με κριτήριο την οικολογική οδήγηση. Η μεθοδολογία βασίζεται στην ποσοτικοποίηση της οδηγικής συμπεριφοράς και κυρίως αυτής που οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου μέσα από αισθητήρες που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Η σχετική αξιολόγηση βασίζεται στις αρχές της μεθόδου Data Envelopment Analysis (DEA). Αξιοποιήθηκε μια βάση δεδομένων με 1,109,015 διαδρομές και 3,278 οδηγούς και αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των οδηγών, το ένα με κριτήριο την ασφαλή οδήγηση και το άλλο την οικολογική οδήγηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλειοψηφία των οδηγών έχει χαμηλή αποδοτικότητα, οι πιο οικολογικοί οδηγοί είναι και πιο ασφαλείς, όμως οι πιο ασφαλείς οδηγοί δε σημαίνει ότι είναι και πιο οικολογικοί. Τέλος, ο παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την οικολογική οδήγηση μεταξύ των κατηγοριών είναι ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης. Τα αποτελέσματα μπορούν να δίνονται ως πληροφορία στους οδηγούς σχετικά με τη συνολική τους οδηγική αποδοτικότητα, αλλά και με στόχο την παρότρυνση για την υιοθέτηση πιο οικολογικής οδικής συμπεριφοράς.

Λέξεις κλειδιά: οικολογική οδήγηση, οδηγική συμπεριφορά, αποδοτικότητα, μέθοδος DEA

«Methodology development for assessing efficiency in terms of safe and eco-driving»

Vagia Siliogka

Supervisor: Eleni I. Vlahogianni, Associate Professor NTUA

Abstract

The aim of this diploma thesis is to provide a methodological approach for benchmarking driving efficiency in terms of eco-driving. The methodology is based on the quantification of driving behavior and mostly, those driving characteristics that lead to increased fuel consumption using data gathered through smartphone sensors. The relevant evaluation is based on the principles of Data Envelopment Analysis (DEA) method. The database included 1,109,015 trips and 3,278 drivers, and in order to evaluate driving efficiency two models were constructed, the first in terms of safety and the latter, in terms of eco-driving. The results showed that the majority of drivers has low efficiency. The most eco-drivers are also the safest drivers, while the safest drivers are not necessarily the most eco-drivers. Moreover, the most influential factor for eco-driving efficiency is the acceleration above the threshold of eco-driving. Results could be used as feedback to drivers regarding their driving efficiency with the aim to raise awareness and motivate them to adopt eco-driving behavior.

Keywords: eco-driving, driving behavior, efficiency, DEA method

Περίληψη

Η καθημερινότητα του ανθρώπου, τα τελευταία χρόνια, με τις πολλές μετακινήσεις, κυρίως για εργασία, καθώς και η δυνατότά του να έχει στην κατοχή του Ι.Χ., έχει οδηγήσει στην αύξηση της χρήσης του, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μια απλή, αλλά αποτελεσματική μέθοδος για τη μείωση των εκπομπών αποτελεί η οικολογική οδήγηση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας οδηγών με κριτήριο την οικολογική οδήγηση. Η μεθοδολογία βασίζεται στην ποσοτικοποίηση της οδηγικής συμπεριφοράς και κυρίως αυτής που οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου μέσα από αισθητήρες που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Η σχετική αξιολόγηση βασίζεται στις αρχές της μεθόδου Data Envelopment Analysis (DEA).

Τα απαιτούμενα δεδομένα παραχωρήθηκαν από την OSeven, η οποία διαθέτει λογισμικό παρακολούθησης και καταγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς μέσω των αισθητήρων των έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Οι οδηγοί που χρησιμοποιούν την εφαρμογή δεν έλαβαν οδηγίες σχετικά με την οδήγησή τους και έτσι, τα δεδομένα αναφέρονται σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Μετά τη συλλογή δεδομένων, καθορίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που διεξήχθη. Αναπτύσσονται δύο μοντέλα. Για το μοντέλο 1, το οποίο εστιάζει στην ασφαλή οδήγηση, ως δεδομένα εισόδου ορίστηκαν ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιτάχυνσης και απότομης επιβράδυνσης, ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας και ο δείκτης αξιολόγησης της οικολογικής οδήγησης. Για το μοντέλο 2, το οποίο εστιάζει στην οικολογική οδήγηση, ως δεδομένα εισόδου ορίστηκαν ο χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση, ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο της οικολογικής οδήγησης, ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας και ο δείκτης αξιολόγησης της οικολογικής οδήγησης. Ως δεδομένο εξόδου, ορίστηκε η διανυόμενη απόσταση και για τα δύο μοντέλα.

Έπειτα, μετά από επεξεργασία των δεδομένων και την απαλοιφή των οδηγών που δεν πληρούν κάποια κριτήρια που τέθηκαν όσον αφορά στον αριθμό ταξιδιών και τη διάρκεια οδήγησης, εφαρμόζεται η μέθοδος DEA με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου που επιλέχθηκαν προηγουμένως για κάθε μοντέλο. Ύστερα, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου για τα δύο μοντέλα και κατόπιν, οι οδηγοί κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την αποδοτικότητά τους. Τέλος, υπολογίζονται τα αποδοτικά επίπεδα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου για τα δύο μοντέλα, ώστε οι οδηγοί να είναι αποδοτικοί.

Όπως διαπιστώθηκε από την εφαρμογή της μεθόδου DEA, η πλειοψηφία των οδηγών έχει χαμηλή αποδοτικότητα. Και στις δύο θεωρήσεις (Μοντέλο 1 και 2) προέκυψε ότι, αν και οι πιο οικολογικοί οδηγοί είναι και πιο ασφαλείς, οι πιο ασφαλείς οδηγοί δε σημαίνει ότι είναι και πιο οικολογικοί.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα στην κατάταξη οδηγών σε κατηγορίες με βάση την αποδοτικότητά τους, φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποιος παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την οικολογική οδήγηση μεταξύ των κατηγοριών, αλλά αν χρειαζόταν να καθορισθεί ένας θα ήταν ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης καθώς η διαφορά μεταξύ των κατηγοριών μικραίνει.

Μελλοντικά, η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να γίνει διερεύνηση της αποδοτικότητας των οδηγών με βάση την οικολογική οδήγηση ανά τύπο οδού (αστική οδός, επαρχιακή οδός, αυτοκινητόδρομος). Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές μεταβλητές και να σχηματιστούν πολλά μοντέλα για καλύτερη κατανόηση της επιρροής των μεταβλητών στην αποδοτικότητα των οδηγών.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.1.1 Οι αρχές της οικολογικής οδήγησης	1
1.1.2 Τα οφέλη της οικολογικής οδήγησης	2
1.1.3 Οδική ασφάλεια	3
1.1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση	3
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	4
1.3 Μεθοδολογία ανάπτυξης της διπλωματικής εργασίας.....	5
1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας	5
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση	7
2.1 Εισαγωγή.....	7
2.2 Οφέλη της οικολογικής οδήγησης.....	7
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση	8
2.4 Αμφισβήτηση αποτελεσματικότητας οικολογικής οδήγησης	10
2.5 Μέθοδος Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων (DEA).....	11
2.6 Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης	11
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογική προσέγγιση	13
3.1 Γενική Θεώρηση	13
3.2 Ροή Εργασιών	13
3.3 Προετοιμασία της βάσης δεδομένων	14
3.4 Διαμόρφωση μοντέλων.....	15
3.5 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	16
3.5.1 Εισαγωγή στην Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων	16
3.5.2 Διατύπωση προβλήματος.....	17
3.5.3 Χρησιμοποιούμενοι μαθηματικοί τύποι.....	18
3.6 Αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου και εξόδου	19
3.7 Απεικόνιση του μοντέλου DEA	19
Κεφάλαιο 4: Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων	21
4.1 Βάση δεδομένων	21
4.2 Επεξεργασία δεδομένων	22

4.3 Περιγραφική Στατιστική.....	23
Κεφάλαιο 5: Ανάλυση και Αποτελέσματα.....	30
5.1 Εισαγωγή.....	30
5.2 Εφαρμογή της μεθόδου DEA.....	30
5.3 Συγκριτικά αποτελέσματα για τα δύο μοντέλα	31
5.4 Κατάταξη των οδηγών σε κατηγορίες με βάση την αποδοτικότητά τους	34
5.5 Αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου και εξόδου	35
5.6 Απεικόνιση του μοντέλου DEA	38
5.6.1 Απεικόνιση για το μοντέλο 1	39
5.6.2 Απεικόνιση για το μοντέλο 2.....	40
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	42
6.1 Εισαγωγή.....	42
6.2 Βασικά Συμπεράσματα	43
6.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	43
Βιβλιογραφία.....	45

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Απεικόνιση των παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμων	9
Διάγραμμα 2: Η συνολική διάρκεια οδήγησης σε ώρες	24
Διάγραμμα 3: Η συνολική διανυόμενη απόσταση σε km.....	24
Διάγραμμα 4: Ο αριθμός των ταξιδιών που πραγματοποίησε κάθε οδηγός	25
Διάγραμμα 5: Η μέση τιμή της ταχύτητας που καταγράφηκε σε όλα τα ταξίδια σε km/h	25
Διάγραμμα 6: Ποσοστό (%) του χρόνου που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης	26
Διάγραμμα 7: Ποσοστό (%) του χρόνου που η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης	26
Διάγραμμα 8: Ποσοστό (%) του χρόνου που η ταχύτητα υπερβαίνει τα όρια προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης.....	27
Διάγραμμα 9: Μέσος όρος δείκτη αξιολόγησης eco-driving σε κλίμακα [0-1].....	27
Διάγραμμα 10: Ο μέσος αριθμός γεγονότων απότομης επιτάχυνσης που συμβαίνουν ανά 100km	28
Διάγραμμα 11: Ο μέσος αριθμός γεγονότων απότομης επιβράδυνσης που συμβαίνουν ανά 100km	28
Διάγραμμα 12: Αριθμός αποδοτικών και μη αποδοτικών οδηγιών για τα δύο μοντέλα	31
Διάγραμμα 13: Κοινό διάγραμμα για τις αποδοτικότητες των οδηγιών των δύο μοντέλων	33

Ευρετήριο Εικόνων

<i>Εικόνα 1: Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο RStudio.....</i>	<i>22</i>
<i>Εικόνα 2: Δημιουργία αθροίσματος των μεταβλητών για κάθε οδηγό.....</i>	<i>22</i>
<i>Εικόνα 3: Εφαρμογή των κριτηρίων διάρκειας οδήγησης και αριθμού ταξιδιών.....</i>	<i>22</i>
<i>Εικόνα 4: Μετατροπή μεταβλητών για τη δημιουργία δεικτών και τελικής βάσης δεδομένων..</i>	<i>23</i>
<i>Εικόνα 5: Εισαγωγή αρχείου βάσης δεδομένων.....</i>	<i>30</i>
<i>Εικόνα 6: Εφαρμογή μεθόδου DEA.....</i>	<i>30</i>
<i>Εικόνα 7: Εξαγωγή αποτελεσμάτων της μεθόδου DEA.....</i>	<i>31</i>

Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Διαθέσιμες μεταβλητές και σύντομη περιγραφή αυτών</i>	<i>15</i>
<i>Πίνακας 2: Μεταβλητές εισόδου και εξόδου για τα δύο μοντέλα</i>	<i>16</i>
<i>Πίνακας 3: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που καταγράφηκαν ανά 100km για το μοντέλο 1</i>	<i>29</i>
<i>Πίνακας 4: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που καταγράφηκαν ανά 100km για το μοντέλο 2</i>	<i>29</i>
<i>Πίνακας 5: Αποδοτικοί οδηγοί των δύο μοντέλων</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 6: Αποδοτικότητα των 20 πρώτων οδηγών των δύο μοντέλων</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 7: Οδηγικά χαρακτηριστικά με βάση την αποδοτικότητα των οδηγών ανά 100km</i>	<i>34</i>
<i>Πίνακας 8: Αποδοτικά επίπεδα των δεδομένων εισόδου και εξόδου του μοντέλου 1</i>	<i>36</i>
<i>Πίνακας 9: Αποδοτικά επίπεδα των δεδομένων εισόδου και εξόδου του μοντέλου 2</i>	<i>37</i>

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Ροή εργασιών της παρούσας διπλωματικής εργασίας	14
Σχήμα 2: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές <i>harsh_acc</i> και <i>harsh_brk</i> για το μοντέλο 1	39
Σχήμα 3: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές <i>speeding_sum</i> και <i>avg_smooth_eco</i> για το μοντέλο 1	39
Σχήμα 4: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές <i>smooth_eco_non_eco_acc_dur_low</i> και <i>acc_from_stop_duration</i> για το μοντέλο 2.....	40
Σχήμα 5: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές <i>speeding_sum</i> και <i>avg_smooth_eco</i> για το μοντέλο 2	40

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων έχουν αρνητική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου (Ye et al. 1999) και στην κλιματική αλλαγή (Strawa et al. 2010, Uherek et al. 2010). Ο τομέας των μεταφορών έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην κατανάλωση μη ανανεώσιμων ορυκτών καυσίμων, με εκπομπές που ανέρχονται σε ποσοστό 26% των συνολικών εκπομπών CO₂ στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι οποίες συνεισφέρουν σημαντικά στην παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση (Nocera and Cavallaro 2011). Με την αύξηση των τιμών των καυσίμων και τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, οι ερευνητές εξετάζουν νέες τεχνολογίες για αύξηση της αποδοτικότητας καυσίμων και μείωση των εκπομπών για τα οχήματα. Παραδείγματα για τη μείωση του ρυθμού εκπομπών περιλαμβάνουν βελτιώσεις στην τεχνολογία οχημάτων, όπως εναλλακτικά καύσιμα, καταλυτικοί μετατροπείς και αποδοτικές μηχανές (Manzie et al. 2007), προωθητικές ενέργειες για χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς (Atkinson et al. 2009) και εισαγωγή συστήματος φορολόγησης του αποτυπώματος άνθρακα των οχημάτων (Lautso et al. 2004).

Σήμερα, η οικολογική οδήγηση αποτελεί την πλέον διαδεδομένη πρακτική για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO₂. Η οικολογική οδήγηση αποτελεί ένα σύνθετο επιστημονικό πεδίο που τα τελευταία χρόνια έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών για τα ισχυριζόμενα οφέλη της.

1.1.1 Οι αρχές της οικολογικής οδήγησης

Η οικολογική οδήγηση (eco-driving) είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος οδήγησης που αποσκοπεί στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO₂, και στην ενεργειακά αποδοτική λειτουργία του οχήματος. Η οικολογική οδήγηση θεωρείται ως μια επιλογή πολιτικής χαμηλού κόστους, καθώς δεν απαιτείται επένδυση σε νέα οχήματα και υποδομές, η οποία βοηθάει στην κατάκτηση των στόχων της συμφωνίας του Kyoto και άλλων στόχων για την κλιματική αλλαγή και βελτιώσεων της ποιότητας του αέρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τον τύπο του οχήματος και τυπικά διδάσκεται μέσω θεωρητικής και πρακτικής εκπαίδευσης σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η οικολογική οδήγηση ορίζει διάφορες πρακτικές που μπορούν να μεταβάλλουν την οδηγική συμπεριφορά, όπως:

- Πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής και της συμπεριφοράς της κίνησης ώστε να υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος για τις διάφορες αλλαγές που πρέπει να κάνει ο οδηγός. Για παράδειγμα, η έγκαιρη αντίληψη ενός κόκκινου φωτεινού σηματοδότη οδηγεί σε ομαλή επιβράδυνση του οχήματος.

- Τήρηση των ορίων ταχύτητας και μιας ασφαλούς απόστασης μεταξύ των οχημάτων.
- Αλλαγή σχέσης μετάδοσης (ταχύτητας) όσο πιο σύντομα γίνεται όταν ο κινητήρας φτάσει το όριο των 2000 ή 2500 rpm, για οχήματα πετρελαίου και βενζίνης αντίστοιχα.
- Χρήση της μεγαλύτερης δυνατής σχέσης μετάδοσης σε χαμηλό rpm και διατήρηση μιας σταθερής ταχύτητας.
- Ομαλή οδήγηση και περιορισμός των απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων.
- Εξομάλυνση της επιβράδυνσης απελευθερώνοντας τον επιταχυντή τη στιγμή που πρέπει και αφήνοντας το όχημα με ταχύτητα.
- Χρήση συσκευών εξοικονόμησης καυσίμου, επί του οχήματος, όπως σύστημα ελέγχου ταχύτητας ή ένα σύστημα πλοήγησης για οικολογικές διαδρομές.
- Απενεργοποίηση λειτουργιών που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια όπως ο κλιματισμός ή η οδήγηση με ανοιχτά παράθυρα.
- Αποφυγή μεταφοράς μεγάλου φορτίου.
- Έλεγχος της πίεσης των ελαστικών τουλάχιστον μία φορά το μήνα και ιδιαίτερα πριν από μεγάλα ταξίδια.
- Αποφυγή οδήγησης για διαδρομές μικρής απόστασης και επιλογή της εναλλακτικής του περπατήματος.

Γενικά, πολυάριθμες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί γύρω από την εφαρμογή αυτών των πρακτικών και τη συνεισφορά τους στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO₂, εκ των οποίων, πολλές δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική μείωση, ενώ σε κάποιες υπάρχουν σοβαρές αμφιβολίες ότι η οικολογική οδήγηση οδηγεί σε εντελώς αντίθετα αποτελέσματα, όπως θα διαπιστωθεί και στη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

1.1.2 Τα οφέλη της οικολογικής οδήγησης

Συνολικά, η οικολογική οδήγηση έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να αποδώσει πολλά οφέλη ατομικά στους οδηγούς αλλά και ευρύτερα, στην κοινωνία καθώς συμβάλλει σημαντικά και στην εξοικονόμηση καυσίμων και στη μείωση των εκπομπών ρύπων και αέριων CO₂.

Επίσης, αρκετές έρευνες έχουν δείξει ότι η οικολογική οδήγηση μπορεί να έχει θετική επίδραση στη μείωση των οδικών ατυχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στις αρχές της οικολογικής οδήγησης, η πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής και της συμπεριφοράς της κίνησης από τον οδηγό, τον καθιστά ικανό να αποφύγει το απότομο φρενάρισμα και να αντιδράσει με κατάλληλο τρόπο σε πιθανές επικίνδυνες καταστάσεις, προς αποφυγή ατυχήματος.

Τα ατυχήματα, εκτός από πιθανές βλάβες στους οδηγούς που εμπλέκονται ή όχι, κυρίως προκαλούν υλικές ζημιές, τις οποίες οι ασφαλιστικές εταιρίες του υπεύθυνου καλούνται να πληρώσουν εν μέρει. Γι' αυτό το λόγο, οι ασφαλιστικές

εταιρίες εισάγουν σιγά σιγά στην αγορά την καινοτομία της τιμολόγησης η οποία εξαρτάται από την οδηγική συμπεριφορά των οδηγών. Μέσω των προγραμμάτων PAYD (Pay As You Drive) και PHYD (Pay How You Drive), δεν υπάρχει μια ενιαία τιμή για όλους τους οδηγούς, αλλά αυτή θα διαφοροποιείται με βάση τον τρόπο οδήγησης. Δηλαδή, ένας οδηγός με επιθετική οδηγική συμπεριφορά «τιμωρείται» με υψηλότερη τιμή ασφαλίσεων, ενώ ένας οδηγός με ομαλή και οικολογική οδηγική συμπεριφορά «επιβραβεύεται» με χαμηλότερη τιμή ασφαλίσεων. Έτσι, η οικολογική οδήγηση μπορεί να προσφέρει οικονομία όχι μόνο σε επίπεδο καυσίμων αλλά και ασφαλίσεων.

1.1.3 Οδική ασφάλεια

Η οδική ασφάλεια είναι ένα πολύπλοκο επιστημονικό πεδίο με μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στις κοινωνίες και στο βιομηχανικό τομέα και συχνά προκαλεί το ενδιαφέρον των ερευνητών για μελέτη. Τα οδικά ατυχήματα θέτουν μεγάλα προβλήματα στην κοινωνία όπως ανθρώπινες απώλειες, οικονομικά κόστη, κόστη από ζημιές στην ιδιοκτησία και ιατρικά κόστη. Είναι από τις σημαντικότερες ανησυχίες των σημερινών κοινωνιών καθώς τα οδικά ατυχήματα έχουν ως αποτέλεσμα περίπου 1,25 εκατομμύρια απώλειες, 20-50 εκατομμύρια τραυματίες και US\$ 100 δισεκατομμύρια κόστος στην κοινωνία παγκοσμίως τον χρόνο (WHO 2015). Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα συμμετοχής σε ένα οδικό ατύχημα και αναγνωρίζεται στη βιβλιογραφία (WHO 2015) είναι ο ανθρώπινος παράγοντας δηλαδή οδήγηση πάνω από τα όρια ταχύτητας, απόσπαση της προσοχής του οδηγού, οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και ουσιών, κλπ.

1.1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση οι οποίοι προκύπτουν από τις αρχές της οικολογικής οδήγησης, όπως προαναφέρθηκε. Οι πιο σημαντικοί παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως.

Ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιτάχυνσης και απότομης επιβράδυνσης είναι δύο βασικοί οδηγικοί δείκτες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας (Derick and Trivedi 2011, Bonsall et al. 2005) και πιο ειδικά για την αξιολόγηση της οδηγικής επιθετικότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι στενά συνδεδεμένα με τη μη ασφαλή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, την έλλειψη προσοχής, τον αυξημένο χρόνο αντίδρασης, τη χαμηλή κρίση οδήγησης και το χαμηλό επίπεδο συμμετοχής σε επικίνδυνες καταστάσεις.

Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο το οποίο για την οικολογική οδήγηση είναι 1.09 m/s^2 είναι βασικός δείκτης για την εκτίμηση της οικολογικής οδήγησης καθώς συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμου (Ahn et al. 2002).

Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση είναι ένας σημαντικός παράγοντας εφόσον επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμων.

Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας αναγνωρίζεται ως ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες εφόσον επηρεάζει την πιθανότητα ατυχήματος. Σύμφωνα με τον OECD 2006, η οδήγηση πάνω από τα όρια ταχύτητας είναι καθοριστικός παράγοντας σε ποσοστό 10% στα συνολικά ατυχήματα και περισσότερο από 30% στα θανατηφόρα ατυχήματα. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η οδήγηση πάνω από τα όρια ταχύτητας οδηγούν σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου (OECD 2006).

Ο δείκτης αξιολόγησης της οικολογικής οδήγησης (smooth_eco) επίσης είναι δείκτης για την εκτίμηση της επικινδυνότητας καθώς είναι μια παραλλαγή της θετικής κινητικής ενέργειας, ο οποίος μετρά την οδηγική επιθετικότητα και εξαρτάται από τη συχνότητα και την ένταση της θετικής επιτάχυνσης. Επίσης, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένος με την επιτάχυνση, αποδεικνύεται ότι επηρεάζει την οικολογική οδήγηση. Ένας ομαλός τρόπος οδήγησης, χωρίς πολλές μεταβολές ταχύτητας, αντιστοιχεί σε μια τιμή της μεταβλητής κοντά στο μηδέν.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας οδηγών με κριτήριο την οικολογική οδήγηση. Η μεθοδολογία βασίζεται στην ποσοτικοποίηση της οδηγικής συμπεριφοράς και κυρίως αυτής που οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου μέσα από αισθητήρες που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Η σχετική αξιολόγηση βασίζεται στις αρχές της μεθόδου Data Envelopment Analysis (DEA).

Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται πως οι προαναφερθέντες παράγοντες επηρεάζουν την αποδοτικότητα των οδηγών. Δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα για εφαρμογή της μεθόδου DEA. Το πρώτο (**Μοντέλο 1: SAFETY**) με δεδομένα εισόδου τις μεταβλητές που περιγράφουν καλύτερα την ασφαλή οδήγηση και το δεύτερο (**Μοντέλο 2: ECO**) με δεδομένα εισόδου τις μεταβλητές που περιγράφουν καλύτερα την οικολογική οδήγηση. Ως δεδομένο εξόδου, ορίστηκε η διανύομενη απόσταση και για τα δύο μοντέλα. Έπειτα, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου για τα δύο μοντέλα, οι οδηγοί κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την αποδοτικότητά τους και τέλος, υπολογίζονται τα αποδοτικά επίπεδα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου ώστε οι οδηγοί να είναι αποδοτικοί.

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των οδηγών προέρχονται από την εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου OSeven που υποστηρίζεται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την καταγραφή, τη συλλογή, την αποθήκευση, την αξιολόγηση και την οπτικοποίηση δεδομένων οδηγικής συμπεριφοράς.

1.3 Μεθοδολογία ανάπτυξης της διπλωματικής εργασίας

Σε αυτήν την παράγραφο, περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την ανάπτυξη του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, έγινε καθορισμός του αντικειμένου της εργασίας και του επιδιωκόμενου στόχου. Αυτό πραγματοποιήθηκε έπειτα από μελέτη της βιβλιογραφίας σε θέματα σχετικά με την οικολογική οδήγηση, κυρίως ανατρέχοντας σε δημοσιευμένες έρευνες σε διεθνή περιοδικά και επιστημονικά βιβλία. Επίσης, σε αυτό το στάδιο, αποφασίστηκε η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε.

Στη συνέχεια, παρατέθηκε μια σύντομη αναφορά στη μέθοδο ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε και στο θεωρητικό υπόβαθρο αυτής ώστε να είναι κατανοητή από τους αναγνώστες (μεθοδολογική προσέγγιση).

Έπειτα, τα δεδομένα παραχωρήθηκαν από την εφαρμογή της OSeven και επεξεργάστηκαν με τον κατάλληλο τρόπο (συλλογή και επεξεργασία δεδομένων), για τη χρήση τους στην ανάλυση.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων και η εφαρμογή της μεθόδου με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R και διατυπώθηκαν τα αποτελέσματα. Ακολούθησε η σύνοψη των συμπερασμάτων και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, συνοψίζονται όλες οι αναφορές και οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας στο κεφάλαιο της βιβλιογραφίας.

1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Σε αυτήν την παράγραφο, δίνεται η δομή της διπλωματικής εργασίας και με συνοπτικό τρόπο, το περιεχόμενο του κάθε κεφαλαίου.

Το **κεφάλαιο 1** χρησιμοποιείται ως το εισαγωγικό μέρος της εργασίας, με την παράθεση του αντικειμένου της εργασίας και του στόχου της. Παρουσιάζονται γενικά στοιχεία σχετικά με τα θέματα της οικολογικής οδήγησης και της οδικής ασφάλειας και τους παράγοντες που τα επηρεάζουν. Επίσης, συνοψίζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας όπως πραγματοποιήθηκε και τέλος, παρουσιάζεται η δομή της παρούσας εργασίας.

Στο **κεφάλαιο 2** παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση που αποτελείται από την παρουσίαση ερευνών σχετικών με την οικολογική οδήγηση, με τους παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση και με την εφαρμογή της μεθόδου DEA. Τέλος, παρουσιάζεται το αντικείμενο της εργασίας με βάση τα κενά που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

Στο **κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση στην οποία βασίστηκε η υλοποίηση της εργασίας και από την οποία προέκυψαν τα αποτελέσματα. Επίσης, αναφέρεται συνοπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο για την

μέθοδο DEA και τους υπολογισμούς για τα αποδοτικά επίπεδα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου ώστε οι οδηγοί να είναι αποδοτικοί.

Το **κεφάλαιο 4** αναφέρεται στη διαδικασία συλλογής δεδομένων από την εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου OSeven. Επίσης, επεξηγούνται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε μοντέλο στην ανάλυση καθώς και η κατάλληλη επεξεργασία τους για εφαρμογή της μεθόδου.

Στο **κεφάλαιο 5** περιλαμβάνει την εφαρμογή της μεθοδολογίας για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, οι αποδοτικότητες των οδηγών με βάση τα δύο μοντέλα, η σύγκριση των δύο μοντέλων, η κατάταξη των οδηγών σε κατηγορίες με βάση την αποδοτικότητά τους, η εκτίμηση των αποδοτικών επιπέδων των μεταβλητών εισόδου και εξόδου ώστε οι οδηγοί να είναι αποδοτικοί καθώς και η απεικόνιση των μοντέλων με συνδυασμό ανά δύο των μεταβλητών.

Το **κεφάλαιο 6** παρουσιάζει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Επίσης, γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, που αφορούν την επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και στη χρήση διαφορετικών μεταβλητών είτε για χρήση διαφορετικής μεθοδολογικής προσέγγισης.

Τέλος, συγκεντρώνεται η βιβλιογραφία που συνέβαλε στη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας και αποτελείται κυρίως από εργασίες σε διεθνή περιοδικά και από επιστημονικά βιβλία.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η καθημερινότητα του ανθρώπου, τα τελευταία χρόνια, με τις πολλές μετακινήσεις, κυρίως για εργασία, καθώς και η δυνατότητά του να έχει στην κατοχή του Ι.Χ., έχει οδηγήσει στην αύξηση της χρήσης του, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές αυτές έχουν αρνητική περιβαλλοντική επίδραση τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στην κλιματική αλλαγή. Έτσι, πολλοί ερευνητές έκριναν αναγκαία τη διερεύνηση του θέματος της οικολογικής οδήγησης, με απώτερο στόχο τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, την ευαισθητοποίηση των οδηγών και την παρότρυνσή τους να υιοθετούν οικολογική συμπεριφορά οδήγησης και άρα, να βελτιώνουν την αποδοτικότητα του καυσίμου. Στα υποκεφάλαια του παρόντος κεφαλαίου, γίνεται προσπάθεια να παρουσιαστούν αντιπροσωπευτικά δείγματα της έρευνας που αφορά στην οικολογική οδήγηση.

2.2 Οφέλη της οικολογικής οδήγησης

Πλήθος ερευνητών, με βάση τα αποτελέσματα των ερευνών τους, υποστήριξαν ότι η οικολογική οδήγηση είναι ένας γρήγορος και χαμηλού κόστους τρόπος για την αποδοτική μείωση των εκπομπών αερίων από οχήματα χωρίς την επένδυση σε νέα οχήματα και υποδομές.

Στην Ελλάδα, οι Zarkadoula et al. (2007) σε συνεργασία με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) της Ελλάδας, τον Οργανισμό Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (Ο.Α.Σ.Α.) και την Ο.Σ.Υ. (Οδικές Συγκοινωνίες), διεξήγαγε ένα πιλοτικό πρόγραμμα οικολογικής οδήγησης με 3 οδηγούς λεωφορείων. Αρχικά, οι οδηγοί πραγματοποίησαν μια συγκεκριμένη διαδρομή 15km πριν την εκπαίδευσή τους, στη συνέχεια, εκπαιδεύτηκαν στην οικολογική οδήγηση και έπειτα, εκτέλεσαν την διαδρομή εφαρμόζοντας τις οδηγίες που έλαβαν από την εκπαίδευση. Συλλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα όπως η κατανάλωση καυσίμων, η απόσταση που διανύθηκε, η μέση ταχύτητα κ.ά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μετά την εκπαίδευση υπήρξε συνολική μείωση, δύο μήνες μετά την εκπαίδευση, σε ποσοστό 4.35% στην εξοικονόμηση καυσίμων ανά χιλιόμετρο.

Οι Boriboonsomsin et al. (2010), κατανοώντας ότι οι περισσότερες έρευνες που είχαν διεξαχθεί προηγουμένως είχαν επικεντρωθεί στην παροχή συμβουλών οικολογικής οδήγησης μέσω εκπαίδευσης και γινόταν μέτρηση των διαφορών πριν και μετά την εκπαίδευση, έκαναν αξιολόγηση πώς μια συσκευή οικολογικής οδήγησης εγκατεστημένη στο όχημα που παρέχει στιγμιαίο feedback για την οικονομία καυσίμων, επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά και συνεπώς την οικονομία καυσίμων σε οδηγούς με βενζινοκίνητα οχήματα στις Η.Π.Α. υπό συνθήκες πραγματικής οδήγησης. Τα αποτελέσματα από τους 20

οδηγούς έδειξαν ότι κατά μέσο όρο η οικονομία καυσίμων στους δρόμους των πόλεων βελτιώνεται κατά 6%, ενώ στους αυτοκινητόδρομους κατά 1%.

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική οδήγηση

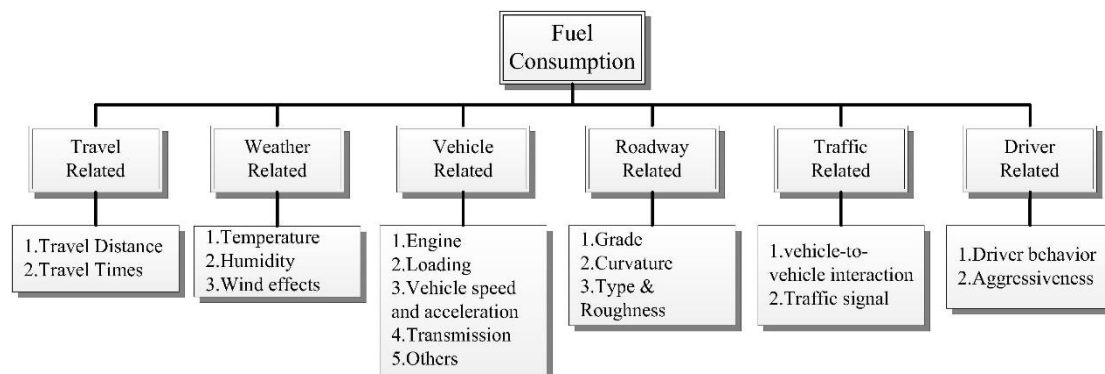
Η εκτίμηση της αποδοτικότητας των οδηγών έχει αποτελέσει το επίκεντρο πολλών μελετών για την οδηγική συμπεριφορά στη βιβλιογραφία (Gerald et al. 1996, Gerald et al. 1998, Young et al. 2011). Από την πλευρά της οικολογικής οδήγησης, είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναγνωριστούν οι μεταβλητές που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά και άρα, την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ενέργεια που καταναλώνεται και τους ρύπους που εκπέμπονται από τα οχήματα είναι πολυάριθμοι.

Η Ericsson (2001) έκανε μια έρευνα με σκοπό την εύρεση ανεξάρτητων παραγόντων που επηρεάζουν την εκπομπή αερίων και την κατανάλωση καυσίμου ανά χιλιόμετρο. Υπολογίστηκαν 62 παράμετροι για 19,230 οδηγικά μοτίβα πραγματικών κυκλοφοριακών συνθηκών. Με την παραγοντική ανάλυση, οι 62 παράμετροι μειώθηκαν στους 16 και έπειτα, υπολογίστηκαν οι παράγοντες των εκπομπών αερίων και της κατανάλωσης καυσίμου για δύο οχήματα. Με τη βοήθεια της παλινδρόμησης, 9 παράγοντες βρέθηκε ότι έχουν σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων και στην κατανάλωση καυσίμου οι οποίες είναι ο παράγοντας για επιτάχυνση με ισχυρή ζήτηση ισχύος (+), ο παράγοντας στάσης (+), ο παράγοντας για έντονες αυξομειώσεις της ταχύτητας (+), ο παράγοντας για επιτάχυνση με μέτρια ζήτηση ισχύος (+), ο παράγοντας για ακραία επιτάχυνση (+), ο παράγοντας για ταχύτητες μεταξύ 50–70 km/h (-), ο παράγοντας για αργοπορημένη αλλαγή ταχύτητας από την 2^η στην 3^η (+), ο παράγοντας για ταχύτητα κινητήρα >3500 rpm (+) και ο παράγοντας για μέτριες ταχύτητες κινητήρα στην 2^η και 3^η ταχύτητα (-). Τα συν (+) και πλην (-) συμβολίζουν την τάση και την βαρύτητα του παράγοντα.

Αργότερα, οι Karin Brundell-Freij και Ericsson (2005) έκαναν το ίδιο αλλά με περισσότερες μεταβλητές, όπως χαρακτηριστικά οδού, κατηγορίες οδηγών και κατηγορίες αυτοκινήτων. Χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο δεδομένων με πάνω από 14,000 οδηγικά μοτίβα που καταγράφηκαν σε πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Για την υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικού μεγέθους και επιδόσεων αυτοκίνητα, στα οποία ενσωματώθηκαν συσκευές που κατέγραφαν την ταχύτητα και παραμέτρους του κινητήρα, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και τη γεωγραφική θέση σε σχέση με το οδικό δίκτυο, μέσω συσκευών GPS. Η καταγραφή έγινε μεταξύ 45 περίπου οδηγών διαφορετικών ηλικιών και φύλων και τα καταγεγραμμένα οδηγικά μοτίβα αντιπροσωπεύουν 2550 ταξίδια και συνολικά 19.945 χλμ. οδήγησης. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την έκλυση αερίων και την κατανάλωση καυσίμου είναι ο παράγοντας επιτάχυνσης που απαιτεί μεγάλη δύναμη (+), παράγοντας στάσης, δηλαδή ποσοστό του χρόνου όπου ταχύτητα < 2 km/h (+), ο παράγοντας αυξομείωσης ταχύτητας (+), ο παράγοντας ακραίας επιτάχυνσης, δηλαδή ποσοστό του χρόνου όπου επιτάχυνση > 1.5 m/s² (+), ο παράγοντας για αργοπορημένη αλλαγή ταχύτητας

από την 2^η στην 3^η (+), ο παράγοντας για ταχύτητα κινητήρα > 3500 rpm (+) και ο παράγοντας για μέτριες ταχύτητες κινητήρα στην 2^η και 3^η ταχύτητα (-).

Σύμφωνα με τους Ahn et al. (2016) και Zhou et al. (2016), οι παράμετροι που επηρεάζουν την εκπομπή αερίων και την κατανάλωση καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι ευρείες κατηγορίες όπως φαίνονται παρακάτω Διάγραμμα 1:



Διάγραμμα 1: Απεικόνιση των παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμων

1. Παράγοντες σχετικοί με τις διαδρομές (Travel-related factors): Στους παράγοντες που σχετίζονται με τις διαδρομές περιλαμβάνονται η συνολική απόσταση και ο αριθμός των ταξιδιών που εκτελέσθηκαν κατά την περίοδο ανάλυσης.

2. Παράγοντες σχετικοί με τον καιρό (Weather-related factors): Στους παράγοντες που σχετίζονται με τον καιρό περιλαμβάνονται η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία και η επιρροή του ανέμου.

3. Παράγοντες σχετικοί με το όχημα (Vehicle-related factors): Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που σχετίζονται με το όχημα είναι ο κινητήρας, το φορτίο του οχήματος, η ταχύτητα και η επιτάχυνση.

4. Παράγοντες που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο (Roadway-related factors): Οι παράγοντες αυτοί αναφέρονται στα φυσικά χαρακτηριστικά ενός δρόμου, όπως η κλίση του, η τραχύτητα της επιφάνειας του και η οριζόντια καμπυλότητά του.

5. Παράγοντες που σχετίζονται με τις κυκλοφοριακές συνθήκες (Traffic-related factors): Σε αυτούς του παράγοντες συμπεριλαμβάνεται η ροή της κυκλοφορίας και η σηματοδότηση.

6. Παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό (Driver-related factors): Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται κατά κύριο λόγο παράγοντες που αναφέρονται στην οδηγική συμπεριφορά και στην επιθετικότητα κατά την οδήγηση, οι οποίες συνήθως προσδιορίζονται και αναγνωρίζονται από τις χρονοσειρές της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Σε σύγκριση με τους άπειρους οδηγούς, οι έμπειροι οδηγοί μπορούν να εξοικονομήσουν καύσιμα λόγω δεξιότητας, προσαρμόζοντας για παράδειγμα την ταχύτητα του οχήματός τους για να αποφύγουν στάση σε σηματοδότες ή μειώνοντας τις έντονες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις σε άλλες περιοχές.

Οι Zhou et al. αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι κατά την κατάρτιση ενός νέου μοντέλου εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου, οι παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό και το οδικό δίκτυο πρέπει να έρχονται σε προτεραιότητα, ακολουθούμενοι από τους παράγοντες που σχετίζονται με την διαδρομή και τον καιρό. Τελικώς, μπορούν να εισάγονται παράμετροι που σχετίζονται με την κυκλοφορία.

2.4 Αμφισβήτηση αποτελεσματικότητας οικολογικής οδήγησης

Όπως σε κάθε θέμα που μελετάται από πολλούς ερευνητές, έτσι και στην οικολογική οδήγηση υπάρχει και η αντίθετη άποψη που υποστηρίζει ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στο οδικό δίκτυο και συνεπώς στο περιβάλλον.

Οι Kobayashi et al. (2007) ανέπτυξαν ένα πρόγραμμα οικολογικής οδήγησης που αξιολογεί την οικολογική οδήγηση με σεβασμό στο οδικό δίκτυο έναντι ενός οχήματος μόνο. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου της ταχύτητας και της επιτάχυνσης ενός οχήματος σε κανονικές και οικολογικές συνθήκες οδήγησης. Έγινε εισαγωγή των δεδομένων σε έναν προσομοιωτή κυκλοφορίας οχημάτων σε μικροσκοπικό επίπεδο VISSIM. Βρέθηκε ότι η οικολογική οδήγηση αυξάνει το περιβαλλοντικό φορτίο στο δίκτυο κατά τη διάρκεια υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου (>1700 οχήματα/ώρα) ενώ στη διάρκεια χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου υπήρξε βελτίωση κατά 3%. Επίσης, σε υψηλότερους φόρτους αυξάνεται ο χρόνος μετακίνησης άρα και οι εκπομπές CO₂.

Επίσης, οι Qian and Chung (2011) πρότειναν μια μέθοδο αξιολόγησης της εκτέλεσης και της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος που βασίζεται σε έναν μικροσκοπικό προσομοιωτή κυκλοφορίας. Επικεντρώθηκαν σε έναν ιδιαίτερο τρόπο οικολογικής οδήγησης το οποίο εμπεριέχει μέτρια και ομαλή επιτάχυνση. Οι συγκρίσεις που έγιναν με και χωρίς την εφαρμογή της οικολογικής οδήγησης δείχνουν πιθανές αρνητικές επιδράσεις όταν χρησιμοποιείται η οικολογική οδήγηση το οποίο επισημαίνει την αναγκαιότητα της προσεκτικής αξιολόγησής της πριν την ευρεία προώθηση και εφαρμογή της. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν η συμφόρηση είναι υψηλή προκαλούνται αρνητικές επιδράσεις στο επίπεδο ολόκληρου του δικτύου που μελετήθηκε από την οικολογική οδήγηση.

Στη μελέτη των Beusen et al. (2009) έγινε η αξιολόγηση της μακροχρόνιας επίδρασης της εκπαίδευσης της οικολογικής οδήγησης με παρακολούθηση της οδηγικής συμπεριφοράς και της κατανάλωσης καυσίμων πριν και μετά την εκπαίδευση. Τα οχήματα εξοπλίστηκαν με συσκευές που καταγράφουν τη θέση και την ταχύτητα του οχήματος με τη χρήση GPS. Η μέση κατανάλωση καυσίμων μειώθηκε κατά 5,8% (υπήρξαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των οδηγών), όμως κάποιοι οδηγοί μετά από ένα διάστημα επέστρεψαν στις προηγούμενες οδηγικές τους συνήθειες.

Επιπλέον, η χρήση συσκευών υποβοήθησης οδηγού για τη διευκόλυνση της οικολογικής οδήγησης μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ατυχημάτων προκαλώντας απόσπαση της προσοχής. Ο κίνδυνος μπορεί να αυξηθεί όταν

απαιτείται υψηλότερη αυτοσυγκέντρωση, π.χ. σε οδήγηση εντός πόλεως (Liu and Lee, 2006) ή για τους ηλικιωμένους οδηγούς (May et al., 2005). Έχει αναφερθεί ότι τα ηλεκτρονικά βοηθητικά μηνύματα οικολογικής οδήγησης μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τους οδηγούς σε κρίσιμους ελιγμούς και οι συσκευές πλοήγησης μπορούν να δώσουν μεγάλο όγκο πληροφοριών, αυξάνοντας έτσι τους κινδύνους ατυχημάτων (Rouzikhah et al., 2013).

2.5 Μέθοδος Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων (DEA)

Ο όρος αποδοτικότητα χρησιμοποιήθηκε στον τομέα της οικονομίας και αναφέρεται στον βέλτιστο τρόπο που μια παραγωγική μονάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει τους διαθέσιμους πόρους της (Shone, 1981). Συγκεκριμένα, ο Farrell (1957) πρότεινε ότι μια παραγωγική μονάδα (DMU) είναι τεχνικά αποδοτική όταν η ποσότητα των δεδομένων εξόδου μεγιστοποιούνται για μια δοθείσα ποσότητα δεδομένων εισόδου, ή για μια δοθείσα ποσότητα δεδομένων εξόδου τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται ελαχιστοποιούνται. Έτσι, όταν μια DMU είναι τεχνικά αποδοτική, λειτουργεί στο όριο παραγωγικότητας και άρα, οι DMUs βρίσκονται στο όριο αποδοτικότητας.

Με την εισαγωγή του μοντέλου CCR από τους Charnes et al. (1978), η μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε πολλές δημοσιεύσεις σε διάφορους τομείς. Έχει γίνει ένας από τους πιο δημοφιλείς τομείς στην επιχειρησιακή έρευνα με εφαρμογές σε μεγάλο εύρος περιεχομένου (Thanassoulis, 2001). Έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό για την εκτίμηση και την σύγκριση της παραγωγικότητας ενός συνόλου DMUs (Cook & Seiford, 2009, Emrouznejad et al., 2008). Επίσης, οι Martic et al. (2009) παρουσίασαν τις πολλές δυνατότητες χρήσης της μεθόδου DEA για αξιολόγηση της απόδοσης τραπεζών, σχολείων, πανεπιστημείων, νοσοκομείων, υπηρεσιών στρατού και οικονομικών συστημάτων.

Τελευταία, γίνεται χρήση της μεθόδου στον τομέα των μεταφορών. Οι Karlaftis et al. (2013) εφήρμοσαν τη μέθοδο για την αξιολόγηση του συστήματος δημόσιας συγκοινωνίας, ενώ οι Egilmez & McAnoy (2013) διερεύνησαν την ασφαλή οδήγηση μέσω της μεθόδου. Έγιναν έρευνες για την συγκριτική αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας σε επίπεδο χώρας από τους Shen et al. (2011, 2012) και άλλους και σε επίπεδο πολιτείας από τους Egilmez & McAnoy (2013). Ο Tselentis (2018) εφήρμοσε τη μέθοδο DEA για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των οδηγών σε σχέση με την ασφαλή οδήγηση και κατηγοριοποίησε τους οδηγούς σε τρεις ομάδες, δηλαδή τους μη αποδοτικούς, τους ελαφρώς αποδοτικούς και τους πιο αποδοτικούς.

2.6 Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η συμπεριφορά του οδηγού, δηλαδή το κατά πόσο ένας οδηγός οδηγεί οικολογικά ή επιθετικά, επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Οι παράγοντες που φαίνεται να επηρεάζουν περισσότερο την αποδοτικότητα των οδηγών σε σχέση με την οικολογική οδήγηση είναι οι παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό και το οδικό δίκτυο, και συγκεκριμένα

στην παρούσα εργασία λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες που σχετίζονται με την οδηγική συμπεριφορά και την επιθετικότητα. Οι παράγοντες αυτοί είναι σχετικοί με την επιτάχυνση και την ταχύτητα που καταγράφονται κατά τη διάρκεια των ταξιδιών. Έτσι, επιλέγονται οι παρακάτω μεταβλητές για την παρούσα εργασία: ο χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση (sec), ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο της οικολογικής οδήγησης (sec), ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας (sec) και ο δείκτης αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης ο οποίος αποτελεί μια παραλλαγή της Θετικής Κινητικής Ενέργειας που μετρά την επιθετικότητα της οδήγησης και εξαρτάται από την συχνότητα και την ένταση της θετικής επιτάχυνσης. Μια χαμηλή τιμή σημαίνει ότι ο οδηγός δεν είναι επιθετικός.

Επίσης, παρατηρείται από τη βιβλιογραφία ότι η μέθοδος DEA δεν έχει εφαρμοστεί για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της οικολογικής οδήγησης των οδηγών με δεδομένα που προέρχονται από εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου (smartphones).

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογική προσέγγιση

3.1 Γενική Θεώρηση

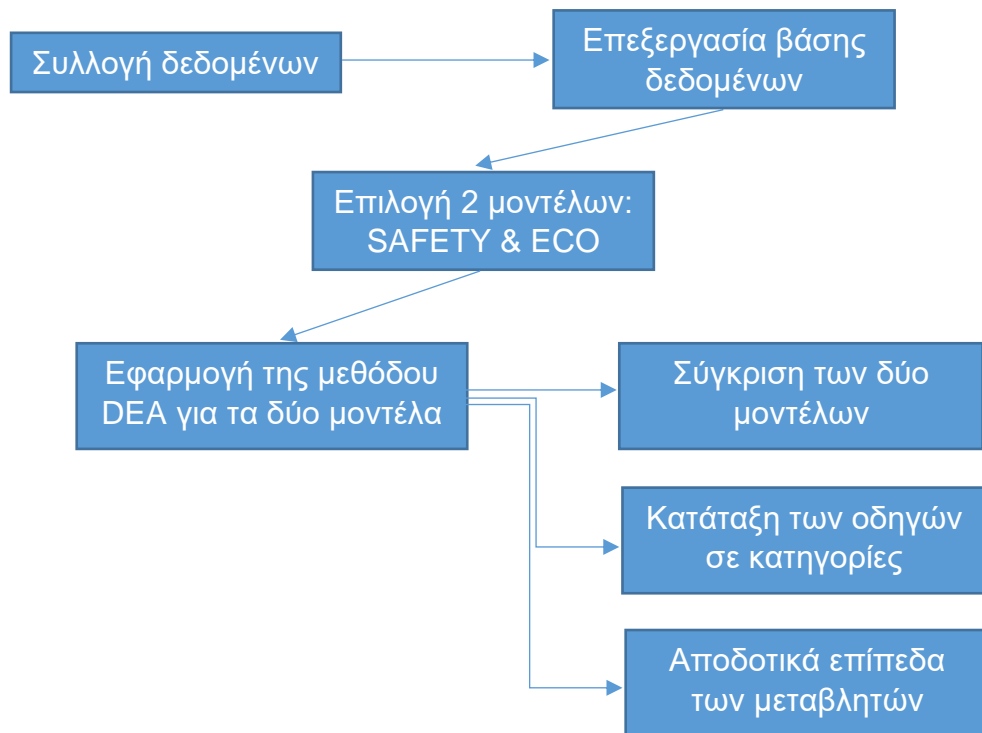
Για την υλοποίηση αυτής της εργασίας, κάθε οδηγός νοείται ως μια παραγωγική μονάδα (decision making unit - DMU) που μπορεί να πάρει αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο οδήγησης. Ο τρόπος οδήγησης αναλύεται σε αποφάσεις που σχετίζονται με την επιτάχυνση και την ταχύτητα.

Ο κάθε οδηγός έχει μια στάθμη αποδοτικότητας. Η αποδοτικότητα εξαρτάται από την οδηγική συμπεριφορά κάθε οδηγού, δηλαδή το πόσο οικολογικά ή απότομα οδηγεί. Οι μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Στην παρούσα εργασία, ως DMU θεωρείται κάθε οδηγός που μπορεί να πάρει αποφάσεις σχετικές με την επιτάχυνση, την ταχύτητα και τα απότομα γεγονότα για μια δοθείσα διανυόμενη απόσταση. Επίσης, στην εργασία υιοθετείται ένα μοντέλο DEA με προσανατολισμό στα δεδομένα εισόδου (input-oriented), καθώς στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν οι χρόνοι με επιταχύνσεις πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης, οι χρόνοι με ταχύτητα πάνω από τα όρια, κλπ (inputs) που συμβαίνουν ανά μονάδα οδηγικής απόστασης, παρά να μεγιστοποιηθεί η διανυόμενη απόσταση (output) για δοθέντα δεδομένα εισόδου. Τέλος, υιοθετείται ένα μοντέλο CRS – DEA, καθώς θεωρείται ότι το άθροισμα όλων των δεδομένων εισόδου που καταγράφηκαν συγκλίνει σε μια σταθερά και μεταβάλλεται αναλογικά με το άθροισμα της διανυόμενης απόστασης (output). Η αποτελεσματικότητα των παραπάνω υποθέσεων θα αξιολογηθεί στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων.

3.2 Ροή Εργασιών

Το Σχήμα 1 απεικονίζει τη γενική μεθοδολογική προσέγγιση. Τα δεδομένα προέρχονται από την εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου OSeven, από οδηγούς που χρησιμοποιούν την εφαρμογή οι οποίοι δεν έλαβαν οδηγίες σχετικά με την οδήγησή τους και έτσι, τα δεδομένα αναφέρονται σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Μετά τη συλλογή δεδομένων, καθορίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της οικολογικής οδήγησης βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που διεξήχθη. Έπειτα, μετά από επεξεργασία των δεδομένων, με την απαλοιφή των οδηγών που δεν πληρούν κάποια κριτήρια που τέθηκαν όσον αφορά τον αριθμό ταξιδιών και τη διάρκεια οδήγησης, επιλέγονται δύο μοντέλα, το πρώτο αναφέρεται στην ασφαλή οδήγηση και το δεύτερο στην οικολογική οδήγηση και έτσι, εφαρμόζεται η μέθοδος DEA με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου που επιλέχθηκαν προηγουμένως για κάθε μοντέλο. Ύστερα, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου για τα δύο μοντέλα και κατόπιν, οι οδηγοί κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την αποδοτικότητά τους. Τέλος, υπολογίζονται τα αποδοτικά επίπεδα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου για τα δύο μοντέλα ώστε οι οδηγοί να είναι αποδοτικοί.



Σχήμα 1: Ροή εργασιών της παρούσας διπλωματικής εργασίας

3.3 Προετοιμασία της βάσης δεδομένων

Μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων φυσικής οδήγησης, όπως η διανυόμενη απόσταση σε χιλιόμετρα, ο χρόνος οδήγησης σε δευτερόλεπτα, ο χρόνος σε δευτερόλεπτα όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας, ο χρόνος σε δευτερόλεπτα όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης κλπ, συλλέγεται από την εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου που αναπτύχθηκε από την OSeven.

Η εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, δηλαδή ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα μόλις αντιληφθεί μια κατάσταση οδήγησης και μη οδήγησης αντίστοιχα. Ο οδηγός μπορεί να πραγματοποιήσει στάσεις λίγων λεπτών (<5λεπτά) χωρίς να σταματήσει η καταγραφή του συγκεκριμένου ταξιδιού.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel το οποίο διέθετε 1,150,622 εγγραφές, δηλαδή ταξίδια από συνολικά 6,135 οδηγούς. Τα δεδομένα μειώθηκαν, καθώς οι οδηγοί που επιλέχθηκαν να πάρουν μέρος στην ανάλυση της αποδοτικότητας των οδηγών θα έπρεπε να έχουν οδηγήσει τουλάχιστον 10 ώρες (36,000 sec) και να έχουν πραγματοποιήσει 40 ταξίδια το οποίο ισοδυναμεί περίπου με τον μέσο μηνιαίο αριθμό ταξιδιών ενός οδηγού υποθέτοντας ότι κάθε οδηγός εκτελεί 2 ταξίδια των 15 λεπτών την ημέρα για 5 εργάσιμες μέρες την εβδομάδα. Έτσι, οι οδηγοί που τελικά πήραν μέρος στην ανάλυση ανέρχονται σε 3,278 και τα ταξίδια σε 1,109,015. Το τελικό στάδιο επεξεργασίας τους ήταν, γενικά, η αναγωγή τους

στα 100km και συγκεκριμένα, για τον δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης, υπολογίστηκε ο μέσος όρος για όλα τα ταξίδια κάθε οδηγού.

3.4 Διαμόρφωση μοντέλων

Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, επιλέχθηκαν οι μεταβλητές που περιγράφουν καλύτερα την οικολογική οδήγηση και εκείνες που περιγράφουν καλύτερα την ασφαλή οδήγηση, το οποίο οδηγεί στον υπολογισμό της αποδοτικότητας των οδηγών.

Οι μεταβλητές που περιγράφουν την οδηγική συμπεριφορά και ήταν διαθέσιμες για την εν λόγω εργασία φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Διαθέσιμες μεταβλητές και σύντομη περιγραφή αυτών

Όνομα Μεταβλητής	Περιγραφή
acc_from_stop_duration	χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση
harsh_acc_per_km	ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιτάχυνσης ανά χιλιόμετρο
harsh_brk_per_km	ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιβράδυνσης ανά χιλιόμετρο
smooth_eco	δείκτης αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης
smooth_eco_non_eco_acc_dur_low	χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο της οικολογικής οδήγησης
speeding_sum	χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας

Όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 2, για το μοντέλο 1 το οποίο εστιάζει στην ασφαλή οδήγηση, ως δεδομένα εισόδου ορίστηκαν ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιτάχυνσης και απότομης επιβράδυνσης, ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας και ο δείκτης αξιολόγησης της οικολογικής οδήγησης. Για το μοντέλο 2 το οποίο εστιάζει στην οικολογική οδήγηση, ως δεδομένα εισόδου ορίστηκαν ο χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση, ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο της οικολογικής οδήγησης, ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας και ο δείκτης αξιολόγησης της οικολογικής οδήγησης. Ως δεδομένο εξόδου, ορίστηκε η διανυόμενη απόσταση και για τα δύο μοντέλα. Έτσι, εφαρμόστηκε η μέθοδος DEA για τα δύο μοντέλα απ' όπου προέκυψε η αποδοτικότητα των οδηγών. Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων και έγινε κατάταξη των οδηγών σε κατηγορίες ανάλογα με την αποδοτικότητά τους. Τέλος, μέσω των αποτελεσμάτων της μεθόδου, δηλαδή τις αποδοτικές DMUs, τις τιμές των θήτα (theta) και του συνόλου αναφοράς (reference set), υπολογίστηκαν τα αποδοτικά επίπεδα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου για τα δύο μοντέλα ώστε οι οδηγοί να είναι αποδοτικοί.

Για την εφαρμογή της μεθόδου DEA, οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου πρέπει να είναι όλες σε μορφή ποσοστού και όχι αναμειγμένες με ανεπεξέργαστα δεδομένα καθώς υπάρχει κίνδυνος κακού υπολογισμού της αποδοτικότητας των οδηγών.

Πίνακας 2: Μεταβλητές εισόδου και εξόδου για τα δύο μοντέλα

DEA models	1: SAFETY	2: ECO
Inputs	harsh_acc/100km	acc_from_stop_duration/100km
	harsh_brk/100km	smooth_eco_non_eco_acc_duration_low/100km
	speeding_sum/100km	speeding_sum/100km
	avg_smooth_eco	avg_smooth_eco
Output	distance_total	distance_total

3.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

3.5.1 Εισαγωγή στην Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων

Η Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA) είναι μια μη-παραμετρική μέθοδος, καθώς δεν απαιτείται ο προσδιορισμός μιας συνάρτησης παραγωγής μεταξύ δεδομένων εισόδου και δεδομένων εξόδου και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της παραγωγικότητας των μονάδων λήψης αποφάσεων (DMUs).

Ο όρος αποδοτικότητα χρησιμοποιήθηκε στον τομέα της οικονομίας και αναφέρεται στον βέλτιστο τρόπο που μια παραγωγική μονάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει τους διαθέσιμους πόρους της (Shone, 1981). Πιο ειδικά, ο Farrell (1957) πρότεινε ότι μια παραγωγική μονάδα (DMU) είναι τεχνικά αποδοτική όταν η ποσότητα των δεδομένων εξόδου μεγιστοποιούνται για μια δοθείσα ποσότητα δεδομένων εισόδου, ή για μια δοθείσα ποσότητα δεδομένων εξόδου τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται ελαχιστοποιούνται. Έτσι, όταν μια DMU είναι τεχνικά αποδοτική, λειτουργεί στο όριο παραγωγικότητας και άρα, οι DMUs βρίσκονται στο όριο αποδοτικότητας.

Με την εισαγωγή του μοντέλου CCR από τους Charnes et al. (1978), η μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε πολλές δημοσιεύσεις σε διάφορους τομείς. Έχει γίνει ένας από τους πιο δημοφιλείς τομείς στην επιχειρησιακή έρευνα με εφαρμογές σε μεγάλο εύρος περιεχομένου (Thanassoulis, 2001). Έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό για την εκτίμηση και την σύγκριση της παραγωγικότητας ενός συνόλου DMUs (Cook & Seiford, 2009, Emrouznejad et al., 2008). Επίσης, οι Martic et al. (2009) παρουσίασαν τις πολλές δυνατότητες χρήσης της μεθόδου DEA για αξιολόγηση της απόδοσης τραπεζών, σχολείων, πανεπιστημίων, νοσοκομείων, υπηρεσιών στρατού και οικονομικών συστημάτων.

Η μέθοδος εγκαθιδρύθηκε από τους Charnes et al. (1978). Παρέχει σχετικές μετρήσεις της αποδοτικότητας και χρησιμοποιήθηκε όλο και περισσότερο για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των βιομηχανιών δημόσιας υπηρεσίας (Ganley and Cubbin, 1992).

Οι Παραγωγικές Μονάδες ή αλλιώς Μονάδες Απόφασης (DMUs) είναι οι μονάδες που προτείνονται για σύγκριση, με άλλες συγκρίσιμες μεταξύ τους μονάδες, ως προς τις επιδόσεις τους. Οι DMUs χρησιμοποιούν ένα σύνολο δεδομένων εισόδου το οποίο μετατρέπουν σε ένα σύνολο δεδομένων εξόδου. Οι DMUs που έχουν αποδοτικότητα ίση με τη μονάδα θεωρούνται αποδοτικές, ενώ εκείνες με αποδοτικότητα μεταξύ του μηδενός και της μονάδας θεωρούνται μη αποδοτικές. Οι αποδοτικές DMU χαρακτηρίζονται επίσης ως οριοθέτες γιατί ορίζουν το εμπειρικό όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων με το οποίο θα προσδιοριστεί εν τέλει η αποτελεσματικότητα των υπόλοιπων μονάδων απόφασης.

Τα μοντέλα DEA μπορούν να διαχωριστούν με βάση την απόδοση κλίμακας, συγκεκριμένα, το CRS – σταθερής απόδοσης κλίμακας (constant returns to scale), όπου τα δεδομένα εξόδου αυξάνονται αναλογικά με τα δεδομένα εισόδου και το VRS – μεταβαλλόμενη απόδοση κλίμακας (variable returns to scale), όπου τα δεδομένα εξόδου αυξάνονται με διαφορετικό ρυθμό σε σχέση με τα δεδομένα εισόδου. Επίσης, τα μοντέλα DEA μπορούν να διαχωριστούν με βάση το αντικείμενο του μοντέλου, δηλαδή μπορεί να εστιάζουν στη μεγιστοποίηση των δεδομένων εξόδου με προσανατολισμό στα δεδομένα εξόδου (output-oriented) ή στην ελαχιστοποίηση των δεδομένων εισόδου με προσανατολισμό στα δεδομένα εισόδου (input-oriented).

Το γεγονός που έκανε ευρέως αποδεκτή την εφαρμογή της μεθόδου DEA, είναι η δυνατότητά της να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες άλλες μέθοδοι είναι αδύνατον να εφαρμοστούν, είτε λόγω της σύνθετης, είτε ακόμα και της άγνωστης φύσης των σχέσεων μεταξύ των πολλαπλών δεδομένων εισόδου και δεδομένων εξόδου που λαμβάνουν χώρα στην έρευνα.

Τελευταία, γίνεται χρήση της μεθόδου στον τομέα των μεταφορών. Οι Karlaftis et al. (2013) εφήρμοσαν τη μέθοδο για την αξιολόγηση του συστήματος δημόσιας συγκοινωνίας, ενώ οι Egilmez & McAnoy (2013) διερεύνησαν την ασφαλή οδήγηση μέσω της μεθόδου. Έγιναν έρευνες για την συγκριτική αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας σε επίπεδο χώρας από τους Shen et al. (2011, 2012) και άλλους και σε επίπεδο πολιτείας από τους Egilmez & McAnoy (2013). Ο Tselentis (2018) εφήρμοσε τη μέθοδο DEA για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των οδηγών σε σχέση με την ασφαλή οδήγηση και κατηγοριοποίησε τους οδηγούς σε τρεις ομάδες, δηλαδή τους μη αποδοτικούς, τους ελαφρώς αποδοτικούς και τους πιο αποδοτικούς.

3.5.2 Διατύπωση προβλήματος

Το πρώτο μοντέλο που προτάθηκε από τους Charnes et al., 1978 είναι το μοντέλο CCR που υποθέτει ότι η παραγωγή παρουσιάζει σταθερές αποδόσεις κλίμακας. Θεωρούμε ως X και Y τα σύνολα των δεδομένων εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, ως i και j τα συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, ώστε το x_i να αντιπροσωπεύει το i -δεδομένο εισόδου και το y_j το j -δεδομένο εξόδου μιας DMU. Το μοντέλο CCR, με προσανατολισμό στα δεδομένα εισόδου, αξιολογεί την αποδοτικότητα της DMU_0 επιλύοντας τον ακόλουθο

γραμμικό προγραμματισμό σε μορφή περιβάλλουσας (Ramanathan, 2003) με τους ακόλουθους μαθηματικούς τύπους:

$$\min \theta \quad (1)$$

με τους ακόλουθους περιορισμούς:

- $\theta * x_o - X * \lambda \geq 0$
- $Y * \lambda \geq y_o$
- $\lambda_i \geq 0$

όπου λ_i είναι ο συντελεστής βάρους για κάθε DMU_i που αποτελεί στοιχείο του συνόλου λ , X είναι το σύνολο των δεδομένων εισόδου, Y είναι το σύνολο των δεδομένων εξόδου και θ είναι ένα μέγεθος που αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα της DMU_o αναφοράς.

Λύνοντας κάθε γραμμική εξίσωση, η τεχνική λύση της μεθόδου DEA, θα προσπαθήσει να κάνει την αποδοτικότητα της DMU_o, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Η διαδικασία της αναζήτησης της βέλτιστης αποδοτικότητας, θα σταματήσει όταν είτε η αποδοτικότητα της DMU_o, είτε η αποδοτικότητα μίας ή περισσότερων DMU_i φτάσει το ανώτατο όριο (δηλαδή το 1).

Έτσι, για μία μη αποδοτική DMU_o, σύμφωνα με την μέθοδο DEA, θα υπάρχει τουλάχιστον άλλη μία DMU_i η οποία θα είναι αποδοτική με το ίδιο σύνολο των βαρών της μη αποδοτικής μονάδας. Όσον αφορά, λοιπόν, τις μη αποδοτικές μονάδες, της γραμμικής λύσης προγραμματισμού, προσφέρεται σε αυτές ένα σύνολο εισροών και εκροών και πλέον η κάθε αναποτελεσματική μονάδα έχει ως στόχο την αναλογική, μείωση των εισροών ή αύξηση των εκροών της.

3.5.3 Χρησιμοποιούμενοι μαθηματικοί τύποι

Θεωρούμε ως DMUs τους οδηγούς – drivers. Επίσης, ως x_i και y_j τα σύνολα των δεδομένων εισόδου και εξόδου ενός driver αντίστοιχα, ως i και j τα συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, ώστε το x_i να αντιπροσωπεύει το i -δεδομένο εισόδου και το y_j το j -δεδομένο εξόδου ενός driver. Το μοντέλο CCR, με προσανατολισμό στα δεδομένα εισόδου, αξιολογεί την αποδοτικότητα του driver_o επιλύοντας τον ακόλουθο γραμμικό προγραμματισμό σε μορφή περιβάλλουσας (Ramanathan, 2003) με τους ακόλουθους μαθηματικούς τύπους:

$$\min (\text{driving_efficiency}) \quad (2)$$

με τους ακόλουθους περιορισμούς:

- $\text{driving_efficiency} * x_o - X * \lambda \geq 0$
- $Y * \lambda \geq y_o$
- $\lambda_i \geq 0$

όπου λ_i είναι ο συντελεστής βάρους για κάθε driver_i που αποτελεί στοιχείο του συνόλου λ , X είναι το σύνολο των δεδομένων εισόδου (χρόνος με επιταχύνσεις πάνω από το κατώτερο όριο, χρόνος με ταχύτητα πάνω από τα όρια, κλπ.), Y

είναι το σύνολο των δεδομένων εξόδου (διανυόμενη απόσταση) και $driving_efficiency$ είναι ένα μέγεθος που αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα της DMU₀ αναφοράς, δηλαδή του $driver_0$. Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος DEA είναι $\min \theta$, δηλαδή η ελαχιστοποίηση της αποδοτικότητας του $driver_i$. Για τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας κάθε οδηγού της βάσης δεδομένων, αυτό το πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού πρέπει να επιλυθεί για κάθε $driver_i$, το οποίο, στην παρούσα εργασία, διεκπεραιώθηκε με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R και του πακέτου $deaR$.

3.6 Αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου και εξόδου

Μετά την επίλυση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, εξάγονται ο δείκτης αποδοτικότητας $driving_efficiency$ και οι συντελεστές λ_i για κάθε οδηγό και υπολογίζονται τα αποδοτικά επίπεδα των δεδομένων εισόδου και εξόδου στα οποία ο κάθε οδηγός θα έπρεπε να φτάσει κατά βέλτιστο τρόπο. Με τη χρήση του πακέτου $deaR$, η $driving_efficiency$ φαίνεται στα αποτελέσματα με το όνομα $efficiencies$ και οι συντελεστές λ_i με το όνομα $references$.

Το αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου για τον $driver_i$ υπολογίζεται ως το άθροισμα των γινομένων των λάμδα ($references$) και των αντίστοιχων πραγματικών τιμών των δεδομένων εισόδου, ενώ το αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εξόδου για τον ίδιο $driver_i$ υπολογίζεται ως η πραγματική τιμή του δεδομένου εξόδου διαιρεμένη με την τιμή θήτα ($efficiencies$).

Θεωρώντας τον $driver_i$ ως την DMU αναφοράς και ένα σύνολο k οδηγών όπου το k είναι ο αριθμός των DMU με αποδοτικότητα ίση με τη μονάδα που επηρεάζουν τη συγκεκριμένη DMU, το αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$Δεδομένο_εισόδου_i = \sum_{j=1}^k \lambda_j * Δεδομένο_εισόδου_j \quad (3)$$

Αντίθετα, το αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εξόδου υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$Δεδομένο_εξόδου_i = Δεδομένο_εξόδου_i / driving_efficiency_i \quad (4)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι μια DMU αποκτά το αποδοτικό της επίπεδο, δηλαδή η αποδοτικότητά της να γίνει ίση με τη μονάδα, όταν είτε τα δεδομένα εισόδου είτε τα δεδομένα εξόδου αποκτήσουν το αποδοτικό τους επίπεδο.

3.7 Απεικόνιση του μοντέλου DEA

Η απεικόνιση του μοντέλου DEA είναι δυνατή μόνο όταν υπάρχουν δύο δεδομένα εισόδου / ένα δεδομένο εξόδου ή ένα δεδομένο εισόδου / ένα δεδομένο εξόδου. Έτσι, κανένα από τα δύο μοντέλα που εξετάζουμε δεν μπορεί να απεικονιστεί. Παρόλα αυτά, μπορούμε να απεικονίσουμε δύο από τις τέσσερις μεταβλητές εισόδου που απεικονίζουν καλύτερα το κάθε μοντέλο και να λάβουμε μια γενική εικόνα των αποτελεσμάτων.

Έτσι, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα (scatter) με τους άξονες να έχουν τιμές $\text{δεδομένο_εξόδου} / \text{δεδομένο_εισόδου}_1$ και $\text{δεδομένο_εξόδου} / \text{δεδομένο_εισόδου}_2$. Το όριο αποδοτικότητας (efficiency frontier) δημιουργήθηκε από την ένωση των αποδοτικών DMUs. Όσο πιο κοντά στο όριο αποδοτικότητας είναι ένας οδηγός, τόσο πιο αποδοτικός είναι. Ωστόσο, επειδή δεν είναι δυνατή η απεικόνιση όλων των μεταβλητών του προβλήματος, τα σχήματα δεν παρουσιάζουν ολόκληρη την εικόνα των αποτελεσμάτων των μοντέλων.

Κεφάλαιο 4: Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

4.1 Βάση δεδομένων

Τα διαθέσιμα δεδομένα φυσικής οδήγησης παραχωρήθηκαν από την εταιρεία OSeven, η οποία έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την καταγραφή, τη συλλογή, την αποθήκευση, την αξιολόγηση και την οπτικοποίηση δεδομένων οδηγικής συμπεριφοράς με τη χρήση εφαρμογών smartphone και αλγόριθμων μηχανικής μάθησης.

Η εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να συλλέγει μεγάλο όγκο δεδομένων σχετικά με τη συμπεριφορά του χρήστη, χωρίς να απαιτείται κάποια ενέργεια από αυτόν, δηλαδή ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα μόλις αντιληφθεί μια κατάσταση οδήγησης και μη οδήγησης αντίστοιχα. Ο οδηγός μπορεί να πραγματοποιήσει στάσεις λίγων λεπτών (<5λεπτά) χωρίς να σταματήσει η καταγραφή του συγκεκριμένου ταξιδιού. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι οι χρήστες της εφαρμογής δεν έλαβαν οδηγίες σχετικά με την οδήγησή τους και έτσι, τα δεδομένα αναφέρονται σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Μετά το πέρας κάθε διαδρομής, τα δεδομένα που καταγράφονται μεταδίδονται σε μια κεντρική βάση δεδομένων της OSeven όπου γίνεται η αποθήκευση και η επεξεργασία τους σε πλήρως ανώνυμη μορφή, και προκύπτουν τα μεταδεδομένα (metadata) για τη συμπεριφορά του οδηγού, κάποια από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία. Επίσης, η εφαρμογή βοηθά τους οδηγούς να αντιληφθούν τα αδύναμα σημεία τους και να βελτιώσουν την οδηγική τους συμπεριφορά με την ανατροφοδότηση (feedback) που λαμβάνουν.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel το οποίο διέθετε 1,150,622 εγγραφές, δηλαδή ταξίδια από συνολικά 6,135 οδηγούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία από την OSeven είναι ανώνυμα και δεν είναι γνωστές προσωπικές πληροφορίες για τους οδηγούς.

Οι οδηγοί που επιλέχθηκαν να πάρουν μέρος στην ανάλυση της αποδοτικότητας των οδηγών θα έπρεπε να έχουν οδηγήσει τουλάχιστον 10 ώρες (36,000 sec) και να έχουν πραγματοποιήσει 40 ταξίδια το οποίο ισοδυναμεί περίπου με τον μέσο μηνιαίο αριθμό ταξιδιών ενός οδηγού υποθέτοντας ότι κάθε οδηγός εκτελεί 2 ταξίδια των 15 λεπτών την ημέρα για 5 εργάσιμες μέρες την εβδομάδα. Έτσι, οι οδηγοί που τελικά πήραν μέρος στην ανάλυση ανέρχονται σε 3,278 και τα ταξίδια σε 1,109,015. Στο πρόγραμμα που συντάχθηκε στο RStudio, έγινε η ομαδοποίηση των δεδομένων με βάση το userid κάθε οδηγού και έτσι δημιουργήθηκε μια σειρά στο Excel με τα συνολικά στοιχεία των ταξιδιών για κάθε οδηγό.

4.2 Επεξεργασία δεδομένων

Η προετοιμασία της βάσης δεδομένων έγινε με χρήση του προγράμματος RStudio. Στόχος ήταν να δημιουργηθούν μεταβλητές που περιγράφουν αθροιστικά τη συμπεριφορά κάθε οδηγού στο σύνολο των ταξιδιών που έχει πραγματοποιήσει.

Αρχικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, έγινε η εισαγωγή στο πρόγραμμα της βάσης δεδομένων η οποία αποτελείται από 18 μεταβλητές όπως η διανυόμενη απόσταση σε km, ο χρόνος σε δευτερόλεπτα όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης, το userid κάθε οδηγού, κ.ά.:

```
12 #Import dataset
13 data <- read.csv("C:\\Users\\VAGIA\\Desktop\\my thesis\\metadata\\NEW\\dipl.csv")
14 data<- data.frame(data)
```

Εικόνα 1: Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο RStudio

Στη συνέχεια, όπως δείχνει η Εικόνα 2, δημιουργήθηκαν τα αθροίσματα της κάθε μεταβλητής προκειμένου αυτές είτε να εκφραστούν ανά χιλιόμετρο οδήγησης είτε να υπολογισθεί ο μέσος όρος. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκε ένα αρχείο με 3,278 σειρές όπου οι μεταβλητές για κάθε οδηγό υπάρχουν σε μία γραμμή:

```
23 data <- data.frame(lapply(data, function(x) as.numeric(as.character(x))))
24 trips_per_driver<-count(data, userid) #Number of trips per driver
25
26 #Per user estimation of variables
27 #This command creates sum for each of the variables in the dataset, for each driver
28 users<-aggregate(cbind(data$acc_from_stop, data$acc_from_stop_duration, data$distance_total,
29 data$duration_driving, data$harsh_acc_per_km, data$harsh_brk_per_km, data$smooth_eco,
30 data$smooth_eco_non_eco_acc_duration_low, data$speed_avg, data$speed_urban_avg,
31 data$speed_rural_avg, data$speed_highway_avg, data$speeding_sum),
32 by=list(Category=data$userid), FUN=sum)
33 names(users)<-c("userid", "acc_from_stop", "acc_from_stop_duration", "distance_total",
34 "duration_driving", "harsh_acc_per_km", "harsh_brk_per_km", "smooth_eco",
35 "smooth_eco_non_eco_acc_duration_low", "speed_avg", "speed_urban_avg",
36 "speed_rural_avg", "speed_highway_avg", "speeding_sum")
```

Εικόνα 2: Δημιουργία αθροίσματος των μεταβλητών για κάθε οδηγό

Έπειτα, προκειμένου να εφαρμοστούν τα κριτήρια της διάρκειας οδήγησης (duration_driving) και του αριθμού ταξιδιών (n) για κάθε οδηγό, ακολουθήθηκε η σειρά εντολών και η αποθήκευση των τελικών αποτελεσμάτων σε αρχείο .csv, όπως δείχνει η Εικόνα 3:

```
37 users<-merge(trips_per_driver, users) #all selected variables with the number of trips per driver
38
39 #Selection of drivers that drove 40 trips at least (>=) with duration of 10 hours at least which is 36000 sec
40 users<-subset(users, n>=40 & duration_driving>=36000)
41
42 write.csv(users, 'users.csv')
```

Εικόνα 3: Εφαρμογή των κριτηρίων διάρκειας οδήγησης και αριθμού ταξιδιών

Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες μετατροπές των μεταβλητών και για τα δύο μοντέλα για τη δημιουργία κατάλληλων δεικτών ώστε το αρχείο που θα προκύψει να αποτελεί την τελική βάση δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή της μεθόδου DEA. Δηλαδή, οι μεταβλητές acc_from_stop_duration, smooth_eco_non_eco_acc_duration_low και speeding_sum που εκφράζουν χρόνο και έχουν μονάδες χρόνου (sec), διαιρούνται με τη συνολική απόσταση σε km (distance_total) και πολλαπλασιάζονται με 100 km και προκύπτουν οι acc_from_stop_duration/100km, smooth_eco_non_eco_acc_dur_low/100km και speeding_sum/100km αντίστοιχα. Όσο αφορά τις μεταβλητές

harsh_acc_per_km και harsh_brk_per_km που εκφράζουν αριθμό γεγονότων ανά km, διαιρούνται με τον αριθμό των ταξιδιών (n) του χρήστη και πολλαπλασιάζονται με 100km για να προκύψουν οι μεταβλητές *harsh_acc/100km* και *harsh_brk/100km*. Για τον δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης *smooth_eco*, απλά βρίσκεται ο μέσος όρος για όλα τα ταξίδια του χρήστη, δηλαδή διαιρείται με τον αριθμό των ταξιδιών (n) του χρήστη και προκύπτει ο *avg_smooth_eco*. Οι παραπάνω υπολογισμοί παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 4.

```

46 var_per_100km<-cbind(users$userid,
47                       users$n,
48                       users$distance_total,
49                       users$duration_driving,
50                       users$acc_from_stop_duration/users$distance_total*100,
51                       users$smooth_eco_non_eco_acc_duration_low/users$distance_total*100,
52                       users$speeding_sum/users$distance_total*100,
53                       users$smooth_eco/users$n,
54                       users$harsh_acc_per_km/users$n*100,
55                       users$harsh_brk_per_km/users$n*100)
56 var_per_100km<-data.frame(var_per_100km)
57 names(var_per_100km)<-c("userid", "n", "distance_total", "duration_driving", "acc_from_stop_duration/100km",
58                       "smooth_eco_non_eco_acc_duration_low/100km",
59                       "speeding_sum/100km", "avg_smooth_eco",
60                       "harsh_acc/100km", "harsh_brk/100km")
61
62 data_drivers<-merge(users, var_per_100km)
63 write.csv(var_per_100km, 'drivers_per_100km.csv')

```

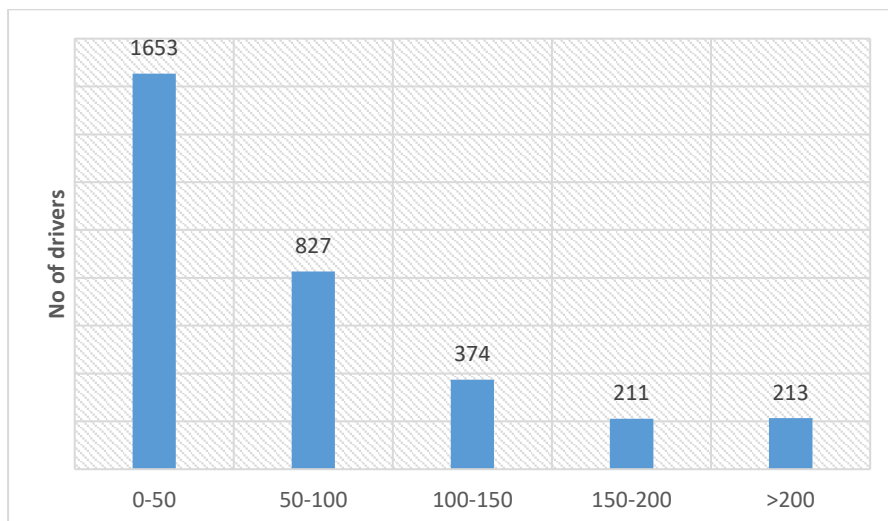
Εικόνα 4: Μετατροπή μεταβλητών για τη δημιουργία δεικτών και τελικής βάσης δεδομένων

4.3 Περιγραφική Στατιστική

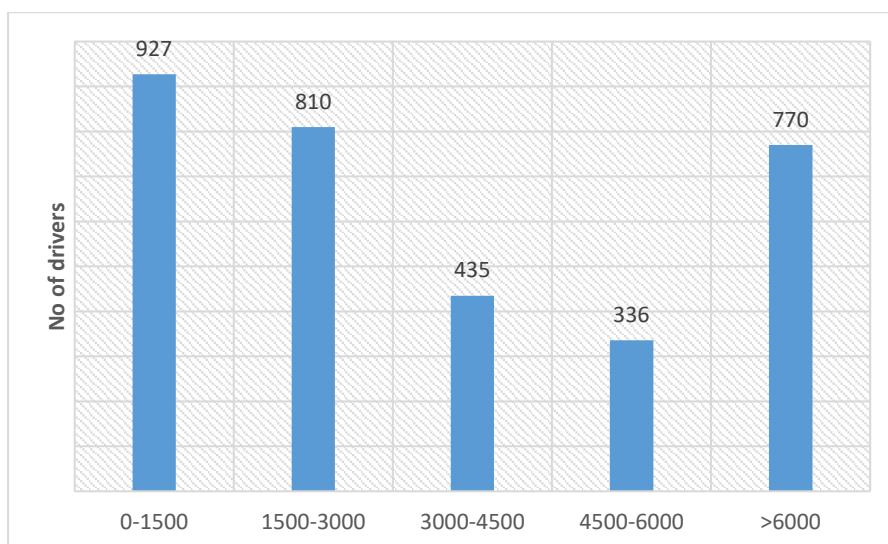
Εκτός από τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου DEA, υπάρχουν κάποιες ακόμη που επηρεάζουν την ασφαλή οδήγηση και την οικολογική οδήγηση όπως η μέση τιμή της ταχύτητας, κλπ. Προκειμένου να δοθεί η γενική εικόνα των διαθέσιμων δεδομένων οδήγησης, παρουσιάζονται διαγράμματα που αφορούν τις παρακάτω μεταβλητές:

- *acc_from_stop*: Η μέση από τις μέγιστες επιταχύνσεις μετά από μια στάση κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (km/h/sec)
- *acc_from_stop_duration*: Χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από μια στάση κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (sec)
- *distance_total*: Η συνολική διανυόμενη απόσταση σε όλους τους τύπους οδού (km)
- *duration_driving*: Η διάρκεια οδήγησης χωρίς στάσεις (sec)
- *harsh_acc_per_km*: ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιτάχυνσης ανά χιλιόμετρο
- *harsh_brk_per_km*: ο αριθμός των γεγονότων απότομης επιβράδυνσης ανά χιλιόμετρο
- *avg_smooth_eco*: Μέσος όρος δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης
- *smooth_eco_non_eco_acc_duration_low*: Χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης (sec)
- *speed_avg*: Η μέση τιμή της ταχύτητας που καταγράφηκε σε όλα τα ταξίδια (km/h)
- *speeding_sum*: Χρόνος που η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας (sec).

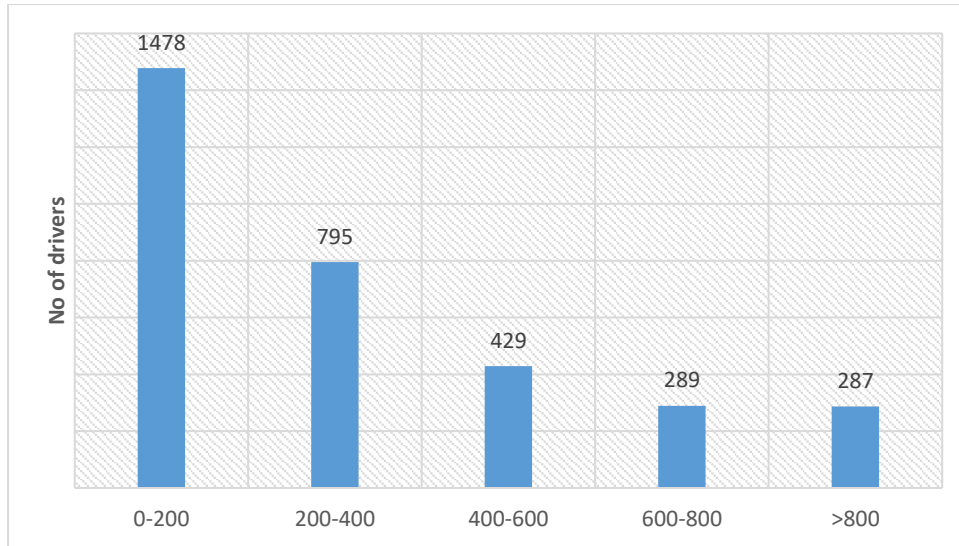
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 2, στο συγκεκριμένο δείγμα οι περισσότεροι οδηγοί οδήγησαν συνολικά (αθροιστικά η διάρκεια όλων των ταξιδιών κάθε οδηγού) λιγότερο από 100 ώρες, με την ελάχιστη τιμή που ορίστηκε προηγουμένως να είναι 10 ώρες και τη μέγιστη 860.5 ώρες και λιγότερο από 3000 km, με ελάχιστη τιμή τα 350 km και μέγιστη τα 52720.4 km (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 2: Η συνολική διάρκεια οδήγησης σε ώρες

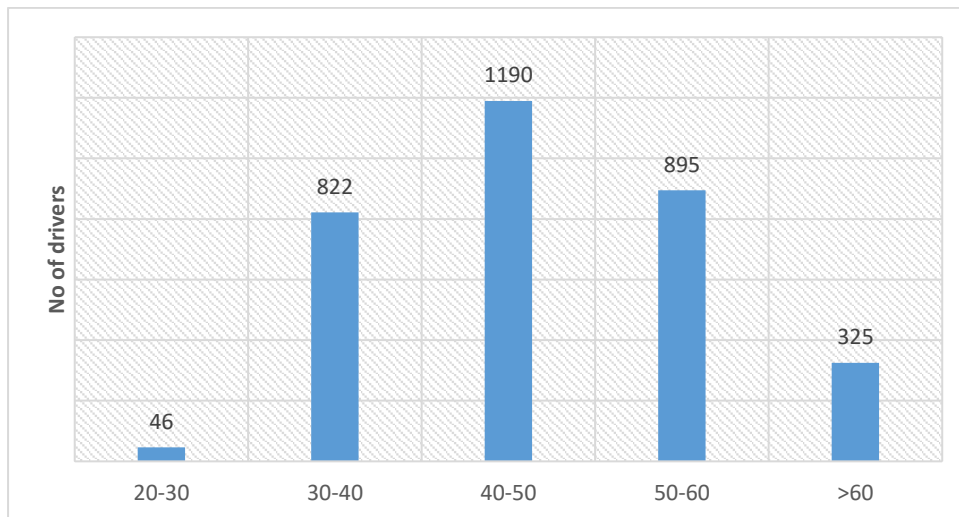


Διάγραμμα 3: Η συνολική διανυόμενη απόσταση σε km



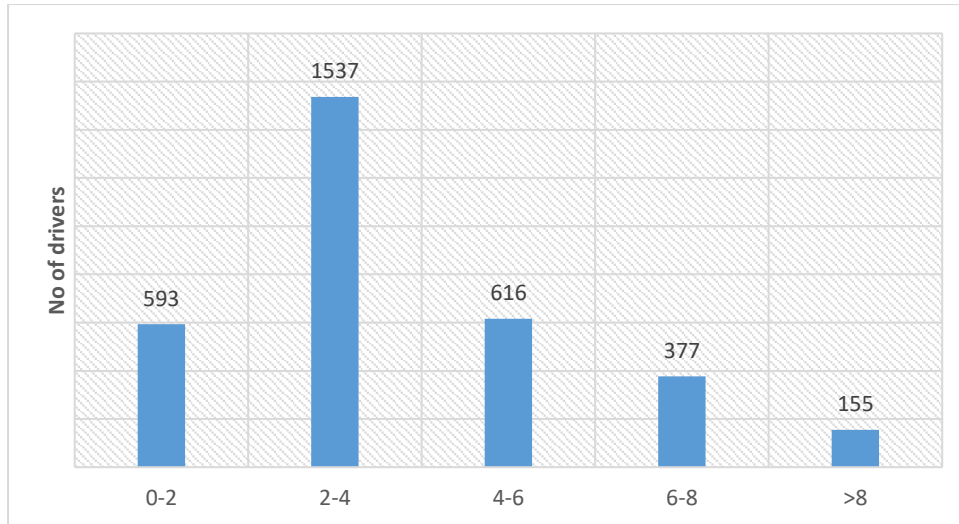
Διάγραμμα 4: Ο αριθμός των ταξιδιών που πραγματοποίησε κάθε οδηγός

Το Διάγραμμα 4 δείχνει ότι η πλειοψηφία των οδηγών εκτέλεσε λιγότερα από 400 ταξίδια με τον μέγιστο αριθμό να είναι 2,335.

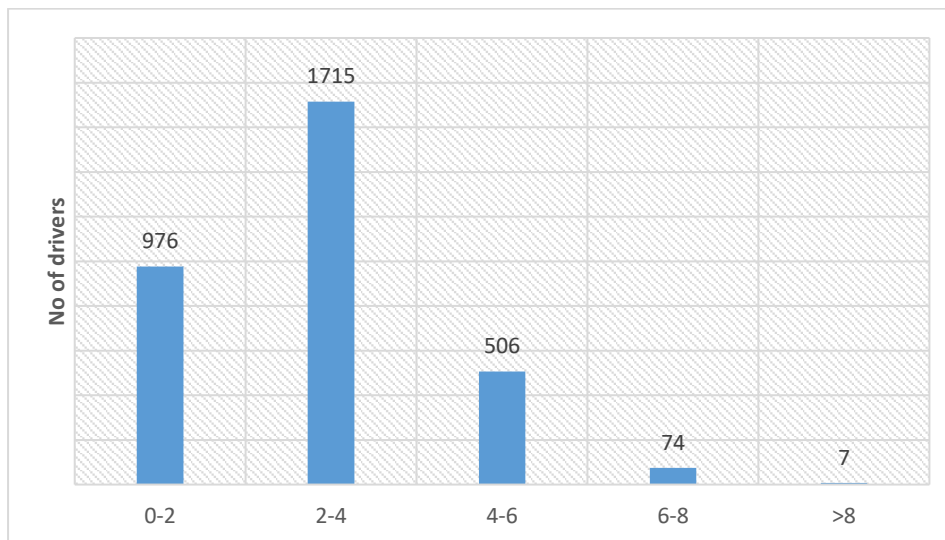


Διάγραμμα 5: Η μέση τιμή της ταχύτητας που καταγράφηκε σε όλα τα ταξίδια σε km/h

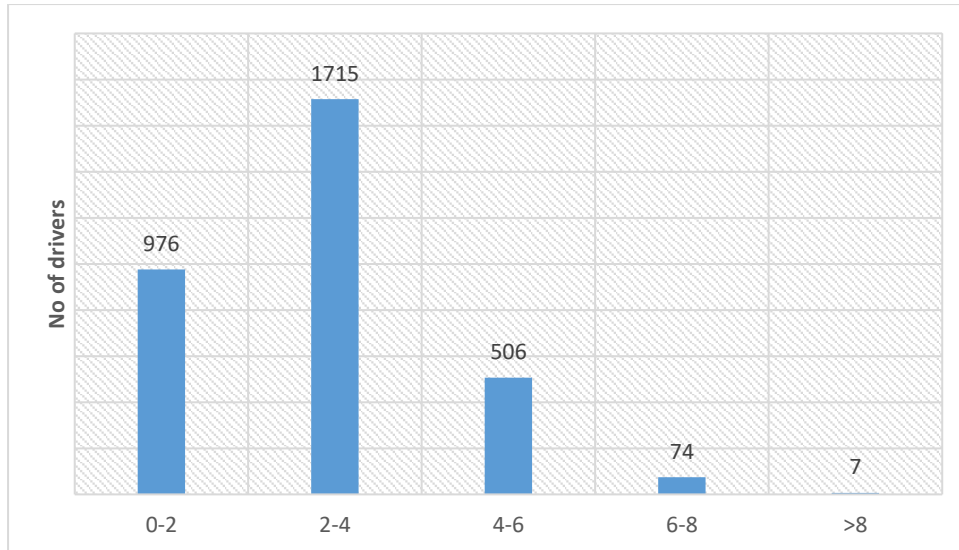
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 5, η μέση ταχύτητα των περισσότερων οδηγών κυμαίνεται από 30 έως 60 km/h, με την ελάχιστη τιμή να είναι 23.8 km/h και τη μέγιστη 93.4 km/h.



Διάγραμμα 6: Ποσοστό (%) του χρόνου που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης

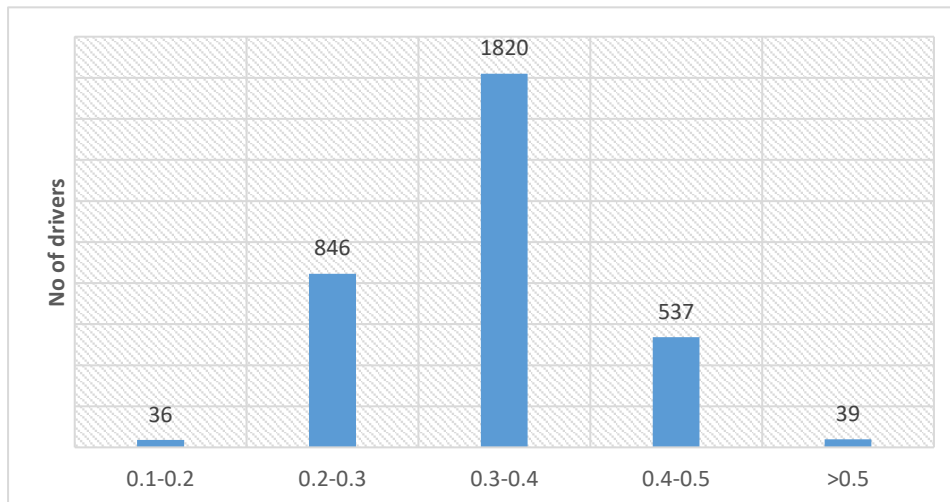


Διάγραμμα 7: Ποσοστό (%) του χρόνου που η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης



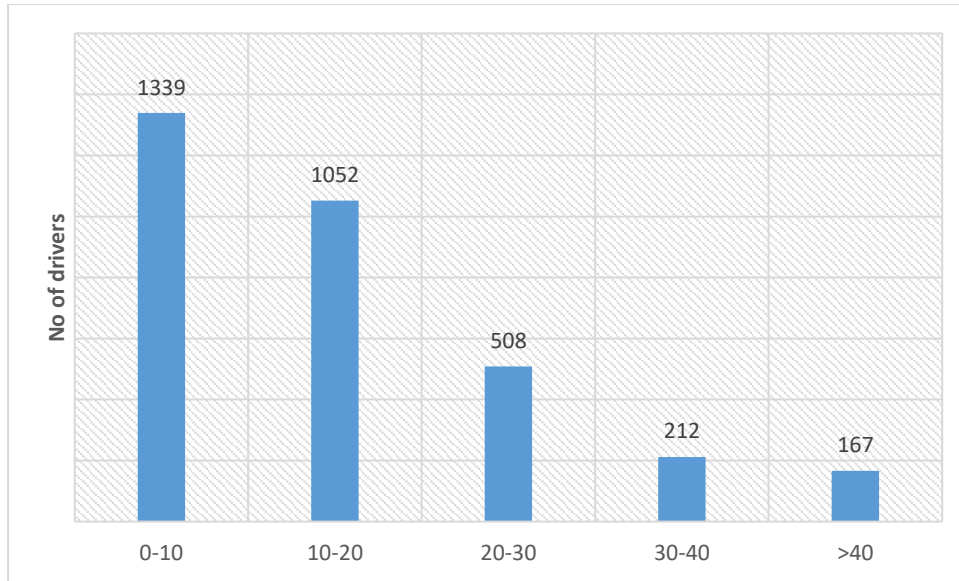
Διάγραμμα 8: Ποσοστό (%) του χρόνου που η ταχύτητα υπερβαίνει τα όρια προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης

Τα Διαγράμματα 6 έως 8 δείχνουν ότι οι περισσότεροι οδηγοί υπερβαίνουν τα όρια ταχύτητας και επιτάχυνσης και εκτελούν επιτάχυνση μετά από στάση σε ποσοστό χρόνου 0-4% προς τη συνολική διάρκεια οδήγησης.

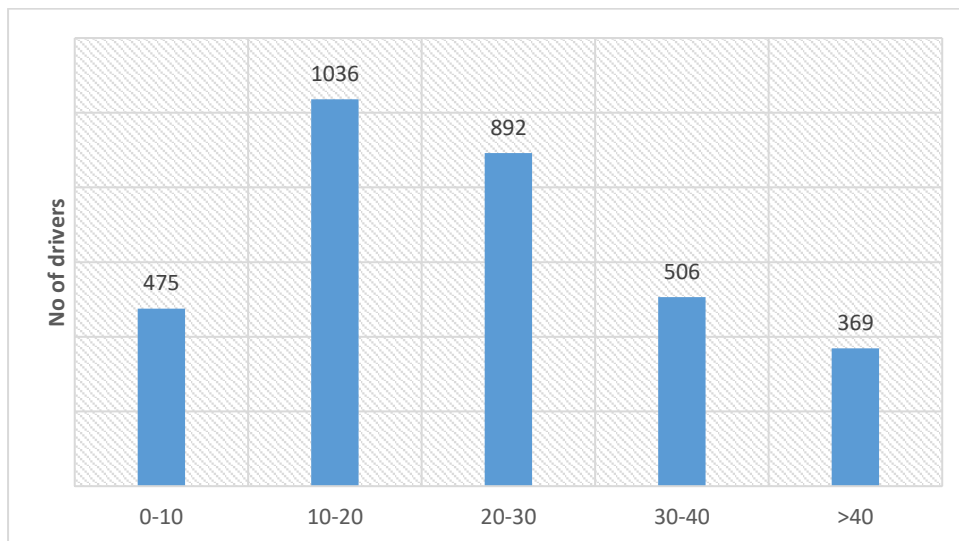


Διάγραμμα 9: Μέσος όρος δείκτη αξιολόγησης eco-driving σε κλίμακα [0-1]

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 9, οι περισσότεροι οδηγοί έχουν δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης μεταξύ του 0.2 και 0.4 με την ελάχιστη τιμή να είναι 0.1457 και τη μέγιστη 0.6665. Όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι, τόσο πιο οικολογικά οδηγεί ο οδηγός.



Διάγραμμα 10: Ο μέσος αριθμός γεγονότων απότομης επιτάχυνσης που συμβαίνουν ανά 100km



Διάγραμμα 11: Ο μέσος αριθμός γεγονότων απότομης επιβράδυνσης που συμβαίνουν ανά 100km

Από τα Διαγράμματα 10 και 11, φαίνεται ότι οι περισσότεροι οδηγοί έχουν μέσο αριθμό γεγονότων απότομων επιταχύνσεων από 0 έως 20, με μέγιστη τιμή 126.3 ενώ αντίστοιχα έχουν μέσο αριθμό γεγονότων απότομων επιβραδύνσεων από 10 έως 30, με μέγιστη τιμή 115.7.

Στους Πίνακες 3 και 4, παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών, όπως ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, η διάμεσος, η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή, το μέτρο ασυμμετρίας και το μέτρο λοξότητας, για τα δύο μοντέλα.

Πίνακας 3: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που καταγράφηκαν ανά 100km για το μοντέλο 1

	mean	sd	median	min	max	skew	kurtosis
distance	4444.7	4663.1	2764.7	350.0	52720.4	2.5	9.5
HA	15.50	12.78	12.15	0.00	126.32	1.84	5.50
HB	23.31	13.57	21.19	0.00	115.70	1.07	2.05
SP	594.29	365.04	524.12	3.92	2487.79	1.03	1.17
SM_ECO	0.34	0.07	0.34	0.15	0.67	0.29	0.43

*distance = distance_total, HA = harsh_acc/100km, HB = harsh_brk/100km, SP = speeding_sum/100km, SM_ECO = avg_smooth_eco

Πίνακας 4: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών που καταγράφηκαν ανά 100km για το μοντέλο 2

	mean	sd	median	min	max	skew	kurtosis
distance	4444.7	4663.1	2764.7	350.0	52720.4	2.5	9.5
ACC_FROM_STOP	269.06	211.85	194.19	19.07	1669.84	1.77	3.84
NON_ECO_ACC	188.57	113.42	165.06	7.31	1121.72	1.34	3.00
SP	594.29	365.04	524.12	3.92	2487.79	1.03	1.17
SM_ECO	0.34	0.07	0.34	0.15	0.67	0.29	0.43

*distance = distance_total, ACC_STOP = acc_from_stop_duration/100km, NON_ECO_ACC = smooth_eco_non_eco_acc_duration_low/100km, SP = speeding_sum/100km, SM_ECO = avg_smooth_eco

Λαμβάνοντας υπόψιν το μέτρο ασυμμετρίας skewness, παρατηρείται ότι όλες οι μεταβλητές έχουν μεγάλη λοξότητα προς τα αριστερά, εκτός από τον μέσο όρο του δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης που είναι συμμετρικός. Επίσης, με το μέτρο απόκλισης kurtosis, προκύπτει ότι μόνο ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης έχει κανονική κατανομή. Επίσης, οι μεταβλητές διανυόμενη απόσταση, αριθμός γεγονότων απότομης επιτάχυνσης και χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση από στάση έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουν ακραίες τιμές ενώ οι υπόλοιπες έχουν μικρότερη πιθανότητα να έχουν ακραίες τιμές από ότι στην κανονική κατανομή.

Κεφάλαιο 5: Ανάλυση και Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή της μεθόδου DEA έγινε με τον τρόπο που περιγράφηκε διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Στο κεφάλαιο αυτό διατυπώνονται τα πιο κρίσιμα αποτελέσματα της ανάλυσης και πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων που αναπτύχθηκαν.

5.2 Εφαρμογή της μεθόδου DEA

Μετά τον καθορισμό των δεδομένων εισόδου και εξόδου για κάθε μοντέλο, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου DEA με τον ίδιο τρόπο και για τα δύο μοντέλα. Για την υλοποίηση της εφαρμογής, χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού RStudio και η διαδικασία που ακολουθήθηκε διατυπώνεται παρακάτω. Αξίζει να αναφερθεί ότι γίνεται χρήση του πακέτου `deaR` το οποίο είναι εύκολο στη χρήση και στην κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μεθόδου και αποτελείται από ένα σύνολο συναρτήσεων για την εφαρμογή της μεθόδου DEA και την εκτίμηση της αποδοτικότητας των DMUs.

Αρχικά, εισάγεται το αρχείο με την τελική βάση δεδομένων, έτσι όπως διαμορφώθηκε μετά την εφαρμογή των κριτηρίων και των μετατροπών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Στην Εικόνα 5 η οποία αφορά το μοντέλο 1: SAFETY, οι DMUs είναι στη στήλη 1 (`dmus=1`), τα δεδομένα εισόδου βρίσκονται στις στήλες 7 έως 10 (`inputs = 7:10`) και το δεδομένο εξόδου στη στήλη 3 (`output = 3`).

```
7 #Create files
8 data_driver1<-read_data(var_per_100km, dmus = 1, inputs = 7:10, output = 3)
```

Εικόνα 5: Εισαγωγή αρχείου βάσης δεδομένων

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδος DEA για τα μοντέλα με προσανατολισμό στα δεδομένα εισόδου (`orientation = "io"`) και σταθερή απόδοση κλίμακας (`rts = "crs"`), με την εντολή που φαίνεται στην Εικόνα 6.

```
10 #Running the input-oriented CCR DEA model for all dmus
11 driver_results<-model_basic(data_driver1, orientation = "io", rts = "crs")
```

Εικόνα 6: Εφαρμογή μεθόδου DEA

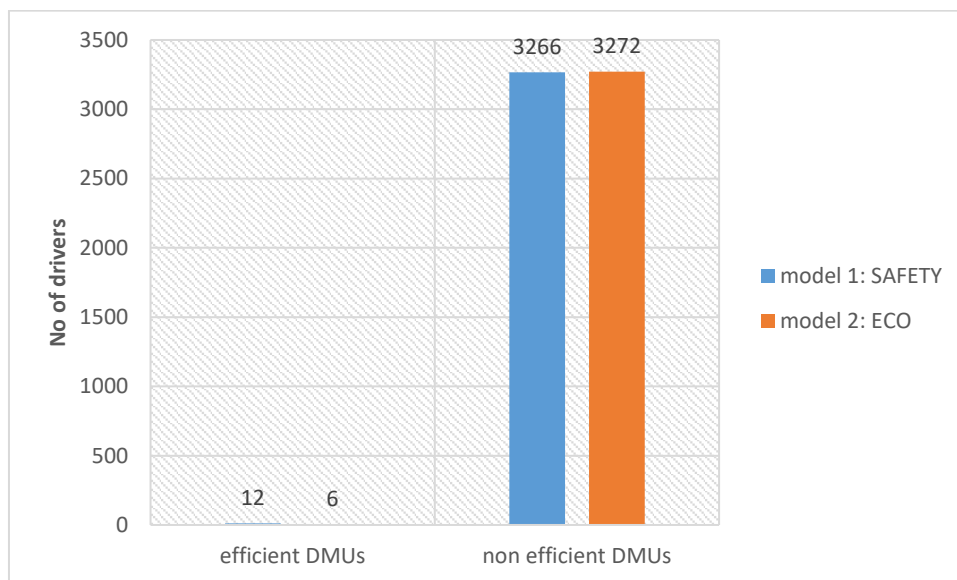
Τέλος, εξάγονται όλα τα αποτελέσματα της μεθόδου, σύμφωνα με την Εικόνα 7, τα οποία είναι: `efficiencies`, `slacks`, `lambdas`, `targets`, `returns`, `references` τα οποία αποθηκεύονται σε ένα αρχείο `.csv` ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους καθώς και κάποια σημαντικά διαγράμματα κάποια από τα οποία θα αναφερθούν σε επόμενα υποκεφάλαια. Τα αποτελέσματα που είναι χρήσιμα για την εκτίμηση των αποδοτικών επιπέδων των μεταβλητών είναι τα `efficiencies` και τα `references`.

```
13 #Export all results
14 summary(driver_results)
15
16 plot(driver_results)
```

Εικόνα 7: Εξαγωγή αποτελεσμάτων της μεθόδου DEA

5.3 Συγκριτικά αποτελέσματα για τα δύο μοντέλα

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 12, στο μοντέλο 1 που αναφέρεται στην ασφαλή οδήγηση (Μοντέλο 1: SAFETY) οι αποδοτικές DMUs είναι 12 και οι μη αποδοτικές είναι 3,266, ενώ το μοντέλο 2 που αναφέρεται στην οικολογική οδήγηση (Μοντέλο 2: ECO) έχει 6 αποδοτικές DMUs και 3,272 μη αποδοτικές.



Διάγραμμα 12: Αριθμός αποδοτικών και μη αποδοτικών οδηγών για τα δύο μοντέλα

Στον Πίνακα 5, απεικονίζονται οι αποδοτικοί οδηγοί και για τα δύο μοντέλα, έτσι όπως προέκυψαν από τη μέθοδο, και παρατηρείται ότι οι περισσότεροι αποδοτικοί οδηγοί του μοντέλου 2 είναι αποδοτικοί και στο μοντέλο 1. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι πιο οικολογικοί οδηγοί είναι και πιο ασφαλείς, όμως οι πιο ασφαλείς οδηγοί δε σημαίνει ότι είναι και πιο οικολογικοί. Επίσης, φαίνεται ότι το μοντέλο 2 έχει πιο αυστηρά κριτήρια ως προς την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των οδηγών, άρα, και πιο ασφαλή. Στον Πίνακα 5, με κόκκινο διακρίνονται οι οδηγοί που είναι αποδοτικοί και στα δύο μοντέλα.

Πίνακας 5: Αποδοτικοί οδηγοί των δύο μοντέλων

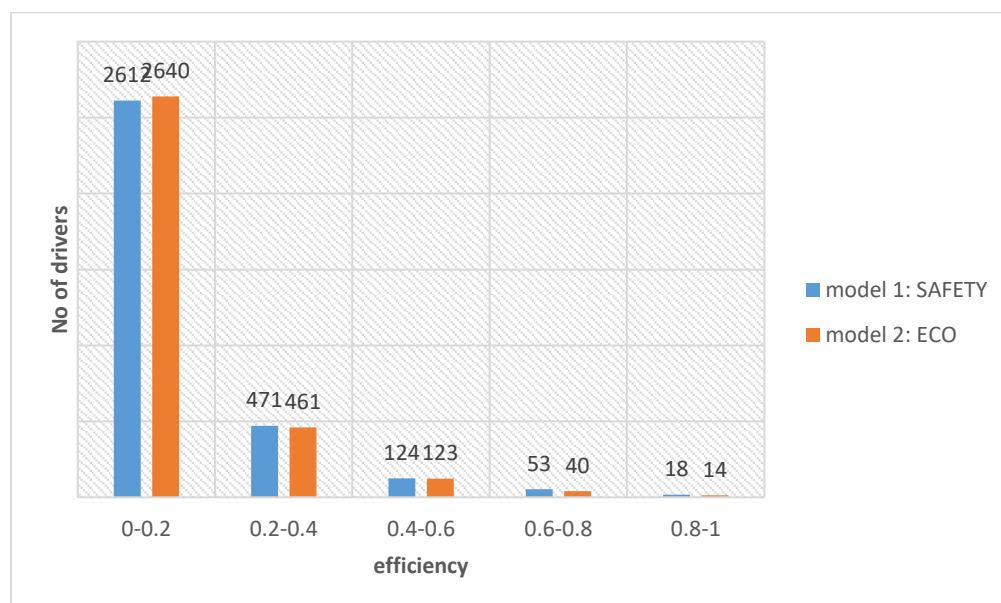
Model 1: SAFETY		Model 2: ECO	
DMUs	eff	DMUs	eff
299	1	694	1
694	1		
3109	1	4003	1
4003	1		
4355	1	5209	1
5209	1		
	1	5743	1
5743	1		
6415	1	6899	1
6899	1		
7515	1	7940	1
10868	1		
11327	1		

Πίνακας 6: Αποδοτικότητα των 20 πρώτων οδηγών των δύο μοντέλων

Model 1: SAFETY		Model 2: ECO	
DMUs	eff	DMUs	eff
1	0.017	1	0.017
7	0.043	7	0.043
20	0.133	20	0.133
23	0.219	23	0.215
33	0.253	33	0.253
43	0.096	43	0.096
44	0.138	44	0.138
48	0.351	48	0.336
50	0.011	50	0.011
61	0.075	61	0.075
92	0.014	92	0.014
97	0.034	97	0.033
103	0.406	103	0.405
105	0.080	105	0.080
106	0.011	106	0.011
109	0.030	109	0.030
112	0.059	112	0.059
137	0.112	137	0.112
151	0.044	151	0.044
152	0.173	152	0.173

Ο παραπάνω Πίνακας 6 παρουσιάζει ενδεικτικά την αποδοτικότητα των 20 πρώτων οδηγών και για τα δύο μοντέλα. Παρατηρείται ότι οι τιμές είναι σχεδόν ίδιες με μικρές αποκλίσεις στις τιμές κάποιων οδηγών, με την μικρότερη τιμή μεταξύ των δύο μοντέλων να παρουσιάζεται στο μοντέλο 2, το οποίο σημαίνει ότι, σε γενικές γραμμές, οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν για τα δύο μοντέλα επηρεάζουν σχεδόν το ίδιο την αποδοτικότητα των οδηγών και επίσης, ότι το μοντέλο 2, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι πιο ασφαλές.

Στη συνέχεια, στο Διάγραμμα 13, παρουσιάζεται η αποδοτικότητα των οδηγών, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της μεθόδου, όσο αφορά την ασφαλή οδήγηση και την οικολογική οδήγηση και φαίνεται ότι οι περισσότεροι οδηγοί έχουν χαμηλή αποδοτικότητα, ενώ ελάχιστοι είναι οι οδηγοί με τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει γιατί οι περισσότεροι αποδοτικοί οδηγοί έχουν σημαντικά υψηλότερη αποδοτικότητα και συνεπώς, η αποδοτικότητα των υπόλοιπων οδηγών εκτιμάται πολύ χαμηλότερα. Βασική υπενθύμιση ότι η μέθοδος DEA εκτιμά τη σχετική αποδοτικότητα μεταξύ ενός συνόλου ομοειδών (συγκεκριμένα, εδώ, των οδηγών) και όχι την απόλυτη. Αυτό σημαίνει ότι πολλές φορές, οι αποδοτικοί οδηγοί μπορεί να χρειαστεί να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους ή ακόμη οι χαμηλής αποδοτικότητας οδηγοί να υποτιμούνται λόγω της σημαντικά υψηλότερης αποδοτικότητας των αποδοτικών οδηγών.



Διάγραμμα 13: Κοινό διάγραμμα για τις αποδοτικότητες των οδηγών των δύο μοντέλων

5.4 Κατάταξη των οδηγών σε κατηγορίες με βάση την αποδοτικότητά τους

Η μέθοδος DEA υπολογίζει τον δείκτη αποδοτικότητας θ και τους συντελεστές λ_i για κάθε οδηγό τα οποία επιτρέπουν την κατάταξη του συνόλου των οδηγών σε 3 κατηγορίες: μη αποδοτικοί, ελαφρώς αποδοτικοί και πιο αποδοτικοί. Εφόσον, όμως, η απόλυτη τιμή του δείκτη αποδοτικότητας που προέκυψε από τη μέθοδο δεν μπορεί να ερμηνευτεί κάπως, εκτός και αν συγκριθεί με τους υπόλοιπους οδηγούς, χρησιμοποιούνται τα εκατοστημόρια (percentiles) των θ του συνόλου των οδηγών. Τα ποσοστά που διαχωρίζουν τους μη αποδοτικούς από τους ελαφρώς αποδοτικούς και τους ελαφρώς αποδοτικούς από τους πιο αποδοτικούς είναι 25% και 75%, αντίστοιχα. Δηλαδή, η κατηγορία 1 αναφέρεται στους μη αποδοτικούς οδηγούς, η κατηγορία 2 στους ελαφρώς αποδοτικούς και η κατηγορία 3 στους πιο αποδοτικούς οδηγούς. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η διάμεσος των οδηγικών χαρακτηριστικών κάθε κατηγορίας και για τα δύο μοντέλα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα αυτό είναι οι μεταβλητές ανά 100km και ο μέσος όρος του δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης.

Πίνακας 7: Οδηγικά χαρακτηριστικά με βάση την αποδοτικότητα των οδηγών ανά 100km

Models	Driving characteristics	Class 1: 0-25% percentile	Class 2: 25-75% percentile	Class 3: 75-100% percentile
Model 1: SAFETY	efficiency	0.026	0.085	0.3838
	harsh_acc	15.19	12.09	9.98
	harsh_brk	24.36	21.29	18.26
	speeding_sum	568.94	508.16	523.52
	avg_smooth_eco	0.36	0.34	0.32
Model 2: ECO	efficiency	0.025	0.081	0.268
	acc_from_stop	247.77	199.47	151.46
	non_eco_acc	208.88	162.60	139.33
	speeding_sum	573.44	500.32	529.64
	avg_smooth_eco	0.36	0.34	0.32

Γενικά, όπως ήταν αναμενόμενο, οι τιμές των χαρακτηριστικών μειώνονται όσο η κατηγορία αυξάνεται και οι οδηγοί είναι πιο αποδοτικοί, εκτός από το χρόνο όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας μεταξύ των κατηγοριών 2 και 3, ο οποίος αυξάνεται αντί να μειώνεται και στα δύο μοντέλα. Παρατηρείται ότι οι αποδοτικότητες ακόμη και των πιο αποδοτικών οδηγών είναι σε χαμηλά επίπεδα και ειδικά στο μοντέλο 2 το οποίο φαίνεται να είναι πιο αυστηρό ως προς την οικολογική οδήγηση. Γενικά, φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποιος παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την οικολογική οδήγηση μεταξύ των κατηγοριών, αλλά αν χρειαζόταν να καθορισθεί ένας θα ήταν ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης καθώς η διαφορά μεταξύ των κατηγοριών μικραίνει.

Μια άλλη παρατήρηση στο μοντέλο 1 είναι ότι ο αριθμός των απότομων επιβραδύνσεων είναι σχεδόν διπλάσιος από τον αριθμό των απότομων επιταχύνσεων σε όλες τις κατηγορίες αποδοτικότητας οδηγών.

5.5 Αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου και εξόδου

Μετά την επίλυση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, εξάγονται ο δείκτης αποδοτικότητας `driving_efficiency` και οι συντελεστές λ_i για κάθε οδηγό και υπολογίζονται τα αποδοτικά επίπεδα των δεδομένων εισόδου και εξόδου στα οποία ο κάθε οδηγός θα έπρεπε να φτάσει κατά βέλτιστο τρόπο. Με τη χρήση του πακέτου `deaR`, η `driving_efficiency` φαίνεται στα αποτελέσματα με το όνομα `efficiencies` και οι συντελεστές λ_i με το όνομα `references`.

Οι Πίνακες 8 και 9 δείχνουν τα λ_i (*lamdas of peers ή references*) και τα `driving_efficiency` (*theta ή efficiencies*) όπως προέκυψαν από τον κώδικα, για κάποιους μη αποδοτικούς οδηγούς καθώς και για έναν αποδοτικό, για το μοντέλο 1 και το μοντέλο 2 αντίστοιχα.

Πίνακας 8: Αποδοτικά επίπεδα των δεδομένων εισόδου και εξόδου του μοντέλου 1

Model 1: SAFETY																						
DMU	Real level of metrics						λi											Efficient level of metrics				
	distance	HA	HB	SP	SM_ECO	eff	10868	299	3109	4003	4355	5209	5743	6415	6899	694	7515	distance	HA	HB	SP	SM_ECO
1	799.27	27.75	39.90	696.26	0.41	0.017	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.01	0	0	47917.88	0.06	0.24	11.63	0.01
7	1802.78	11.84	25.41	560.75	0.36	0.043	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	41509.92	0.13	0.35	24.36	0.02
20	5493.13	9.66	23.98	535.20	0.37	0.133	0	0	0	0.02	0	0.24	0	0	0	0	0	41168.62	0.58	1.30	71.40	0.05
23	8807.61	6.78	7.25	553.78	0.36	0.219	0	0	0	0	0.01	0.4	0	0	0	0	0	40160.56	0.61	1.59	117.34	0.08
33	14654.22	40.22	36.19	1056.86	0.46	0.253	0	0	0	0	0	0	0	0	0.67	0.02	0	57933.28	1.75	8.79	267.34	0.12
43	2867.23	14.37	14.39	358.88	0.30	0.096	0	0	0	0.03	0	0.1	0	0	0	0	0	29798.68	0.57	1.09	34.53	0.03
44	5985.91	9.02	15.41	627.91	0.37	0.138	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.07	0	0	43344.72	0.47	1.74	86.72	0.05
48	14613.14	6.69	27.49	976.14	0.31	0.351	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0.44	0.06	0	41591.41	2.35	7.77	342.92	0.11
50	417.54	20.44	28.40	404.99	0.41	0.011	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	36983.21	0.13	0.23	4.56	0.00
61	4162.59	72.26	42.97	850.10	0.46	0.075	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.09	0	0	55427.33	0.36	1.56	63.85	0.03
92	684.53	12.29	22.44	1239.69	0.35	0.014	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	49317.39	0.17	0.31	17.22	0.00
97	1736.71	20.07	14.54	1078.36	0.40	0.034	0	0.01	0	0	0	0.05	0	0	0	0.01	0	50588.78	0.27	0.50	37.04	0.01
103	22263.93	36.62	22.27	1084.51	0.42	0.406	0	0	0	0	0	0.42	0	0	0.24	0.15	0	54865.65	4.04	9.03	440.02	0.17
105	3814.64	26.20	28.95	823.64	0.38	0.080	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.17	0	0	47635.37	0.39	2.17	65.95	0.03
106	566.44	47.86	29.88	995.70	0.41	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	52496.36	0.08	0.32	10.79	0.00
109	1326.14	26.53	26.63	725.87	0.37	0.030	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0.04	0	0	44953.89	0.12	0.60	21.42	0.01
112	2665.24	47.89	55.26	564.23	0.43	0.059	0	0	0	0.02	0	0.11	0	0	0	0	0	45013.42	0.40	0.82	33.41	0.03
137	4160.58	22.83	31.47	427.25	0.39	0.112	0	0	0	0.06	0	0.13	0	0	0	0	0	37114.86	1.05	1.91	47.90	0.04
151	2384.56	28.96	27.59	1130.48	0.41	0.044	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0.05	0.02	0	54554.13	0.45	1.21	49.43	0.02
152	8361.21	28.14	41.32	758.24	0.40	0.173	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0.22	0	0	48258.19	0.74	3.44	131.38	0.07
299	31076.28	3.28	7.29	1238.17	0.23	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31076.28	3.28	7.29	1238.17	0.23

*distance = distance_total, HA = harsh_acc/100km, HB = harsh_brk/100km, SP = speeding_sum/100km, SM_ECO = avg_smooth_eco

Πίνακας 9: Αποδοτικά επίπεδα των δεδομένων εισόδου και εξόδου του μοντέλου 2

Model 2: ECO																		
	Real level of metrics							λ_i						Efficient level of metrics				
DMU	distance	ACC_STOP	NON_ECO_ACC	SP	SM_ECO	eff	4003	5209	5743	6899	694	7940	distance	ACC_STOP	NON_ECO_ACC	SP	SM_ECO	
1	799.27	665.73	386.73	696.26	0.41	0.017	0	0.03	0	0.01	0	0	47917.88	1.51	0.65	11.63	0.01	
7	1802.78	866.22	309.69	560.75	0.36	0.043	0	0.08	0	0	0	0	41509.92	3.57	1.39	24.36	0.02	
20	5493.13	481.00	247.91	535.20	0.37	0.133	0.02	0.24	0	0	0	0	41168.62	12.64	5.13	71.40	0.05	
23	8807.61	424.88	199.37	553.78	0.36	0.215	0	0.39	0	0.01	0	0	41040.09	17.44	6.78	118.85	0.08	
33	14654.22	608.66	446.72	1056.86	0.46	0.253	0	0	0	0.67	0.02	0	57933.28	24.39	15.31	267.34	0.12	
43	2867.23	259.97	142.79	358.88	0.30	0.096	0.03	0.1	0	0	0	0	29798.68	8.88	3.92	34.53	0.03	
44	5985.91	381.28	166.14	627.91	0.37	0.138	0	0.2	0	0.07	0	0	43344.72	11.35	4.89	86.72	0.05	
48	14613.14	209.21	142.27	976.14	0.31	0.336	0	0	0	0.39	0.12	0	43438.48	27.98	23.74	328.36	0.11	
50	417.54	688.80	375.29	404.99	0.41	0.011	0.01	0.01	0	0	0	0	36983.21	1.66	0.77	4.56	0.00	
61	4162.59	422.02	333.01	850.10	0.46	0.075	0	0.1	0	0.09	0	0	55427.33	7.60	3.56	63.85	0.03	
92	684.53	458.27	225.12	1239.69	0.35	0.014	0	0	0	0.01	0.01	0	50555.79	1.40	1.31	16.80	0.00	
97	1736.71	477.40	268.90	1078.36	0.40	0.033	0	0	0	0.06	0.01	0	52819.74	3.12	2.34	35.52	0.01	
103	22263.93	380.11	248.68	1084.51	0.42	0.405	0	0	0	0.87	0.08	0	55001.19	39.01	27.76	439.05	0.17	
105	3814.64	363.26	262.46	823.64	0.38	0.080	0	0.01	0	0.17	0	0	47635.37	6.33	3.61	65.95	0.03	
106	566.44	394.93	319.90	995.70	0.41	0.011	0	0	0	0.02	0	0	52545.05	0.96	0.65	10.71	0.00	
109	1326.14	604.76	286.62	725.87	0.37	0.030	0	0.02	0	0.04	0	0	44953.89	2.33	1.18	21.42	0.01	
112	2665.24	788.71	487.84	564.23	0.43	0.059	0.02	0.11	0	0	0	0	45013.42	7.17	3.05	33.41	0.03	
137	4160.58	906.27	411.89	427.25	0.39	0.112	0.06	0.13	0	0	0	0	37114.86	14.72	6.68	47.90	0.04	
151	2384.56	405.57	290.16	1130.48	0.41	0.044	0	0	0	0.08	0.01	0	54616.61	4.31	3.29	49.33	0.02	
152	8361.21	590.60	337.80	758.24	0.40	0.173	0	0.17	0	0.22	0	0	48258.19	14.99	7.30	131.38	0.07	
4003	19709.43	139.96	69.87	142.17	0.29	1	1	0	0	0	0	0	19709.43	139.96	69.87	142.17	0.29	

*distance = distance_total, ACC_STOP = acc_from_stop_duration/100km, NON_ECO_ACC = smooth_eco_non_eco_acc_duration_low/100km, SP = speeding_sum/100km, SM_ECO = avg_smooth_eco

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα προσδιορισμού του αποδοτικού επιπέδου ενός δεδομένου εισόδου και του δεδομένου εξόδου για τον πρώτο οδηγό του μοντέλου 2. Δηλαδή, στην πρώτη σειρά του Πίνακα 5.5 όπου το DEA επιλύεται για την DMU₁, η τιμή του θήτα είναι 0.01668 και οι συντελεστές λάμδα λ₄₀₀₃, λ₅₂₀₉, λ₅₇₄₃, λ₆₈₉₉, λ₆₉₄, λ₇₉₄₀ έχουν τιμή 0, 0.0268, 0, 0.0104, 0, 0 αντίστοιχα. Το αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εισόδου για την DMU₁ υπολογίζεται ως το άθροισμα των γινομένων των λάμδα και των αντίστοιχων πραγματικών τιμών των δεδομένων εισόδου ενώ το αποδοτικό επίπεδο των δεδομένων εξόδου για την ίδια DMU υπολογίζεται ως η πραγματική τιμή του δεδομένου εξόδου διαιρεμένη με την τιμή θήτα. Έτσι, χρησιμοποιώντας τον τύπο (3) που παρουσιάστηκε στη μεθοδολογική προσέγγιση, το αποδοτικό επίπεδο του *speeding_sum* της DMU₁ θα είναι:

*Αποδοτικό επίπεδο του speeding_sum*₁ =

$$= \lambda_{4003} * sp_{4003} + \lambda_{5209} * sp_{5209} + \lambda_{5743} * sp_{5743} + \lambda_{6899} * sp_{6899} + \lambda_{694} * sp_{694} + \lambda_{7940} * sp_{7940}$$

$$= 0 * 142.1705 + 0.0268 * 291.4336 + 0 * 41.33595 + 0.0104 * 366.8125 + 0 * 1498.519 + 0 * 724.5899 = 11.63 \text{ sec}$$

Αντίθετα, χρησιμοποιώντας τον τύπο (4) που παρουσιάστηκε στη μεθοδολογική προσέγγιση, το αποδοτικό επίπεδο της *distance_total* της DMU₁ θα είναι:

*Αποδοτικό επίπεδο της distance_total*₁ =

$$= \text{distance_total}_1 / \theta_{11} = 799.2702 / 0.01668 = 47917.88 \text{ km}$$

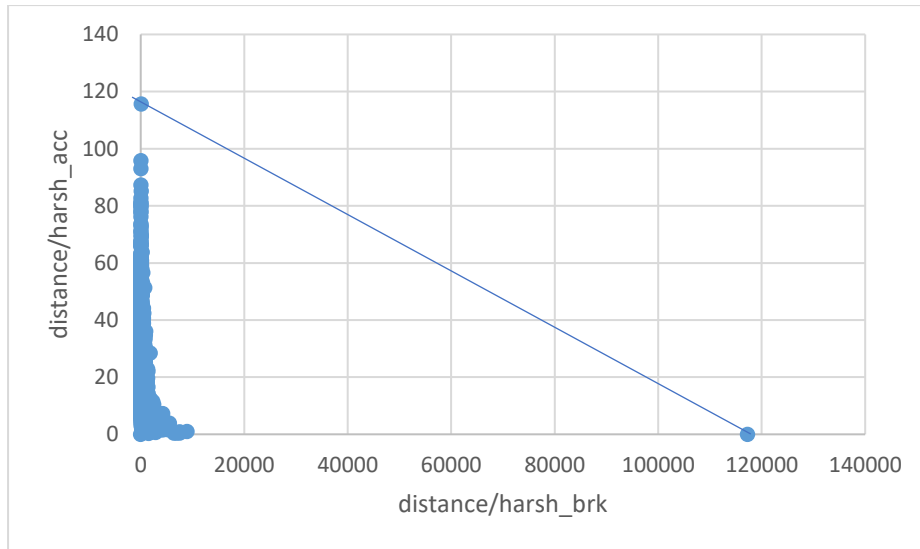
5.6 Απεικόνιση του μοντέλου DEA

Η απεικόνιση του μοντέλου DEA είναι δυνατή μόνο όταν υπάρχουν δύο δεδομένα εισόδου / ένα δεδομένο εξόδου ή ένα δεδομένο εισόδου / ένα δεδομένο εξόδου. Έτσι, κανένα από τα δύο μοντέλα που εξετάζουμε δεν μπορεί να απεικονιστεί. Παρόλα αυτά, μπορούμε να απεικονίσουμε δύο από τις τέσσερις μεταβλητές εισόδου που απεικονίζουν καλύτερα το κάθε μοντέλο και να λάβουμε μια γενική εικόνα των αποτελεσμάτων.

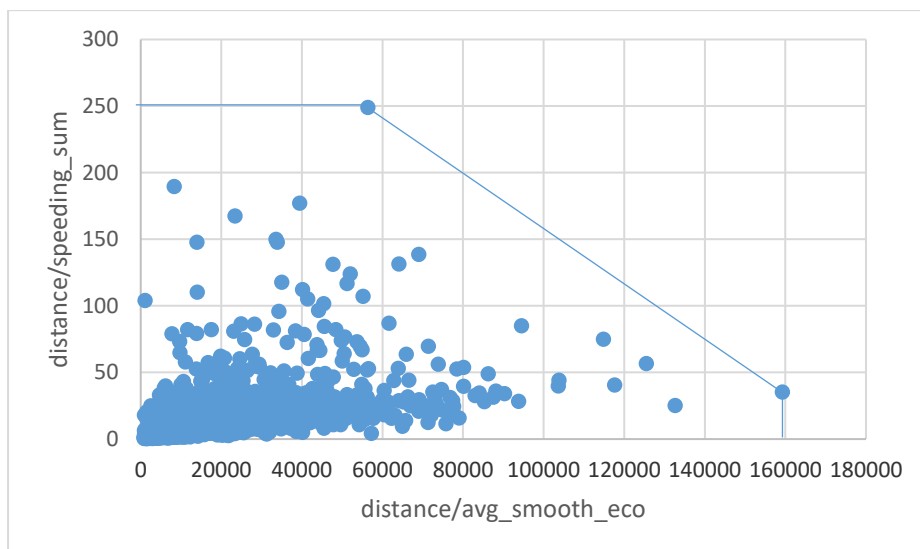
Έτσι, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα (scatter) με τους άξονες να έχουν τιμές *δεδομένο_εξόδου / δεδομένο_εισόδου_1* και *δεδομένο_εξόδου / δεδομένο_εισόδου_2*. Το όριο αποδοτικότητας (efficiency frontier) δημιουργήθηκε από την ένωση των αποδοτικών DMUs. Όσο πιο κοντά στο όριο αποδοτικότητας είναι ένας οδηγός, τόσο πιο αποδοτικός είναι. Ωστόσο, επειδή δεν είναι δυνατή η απεικόνιση όλων των μεταβλητών του προβλήματος σε ένα σχήμα, τα Σχήματα 2 έως 5 δεν παρουσιάζουν ολόκληρη την εικόνα των αποτελεσμάτων.

5.6.1 Απεικόνιση για το μοντέλο 1

Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μεθόδου DEA του μοντέλου 1, επιλέγονται ανά δύο οι μεταβλητές εισόδου, δηλαδή ο αριθμός γεγονότων απότομης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης και ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας με τον δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης, όπως φαίνεται στα Σχήματα 2 και 3. Για την εφαρμογή των μοντέλων λαμβάνονται οι επεξεργασμένες μεταβλητές ανά 100km και ο μέσος όρος του δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης.



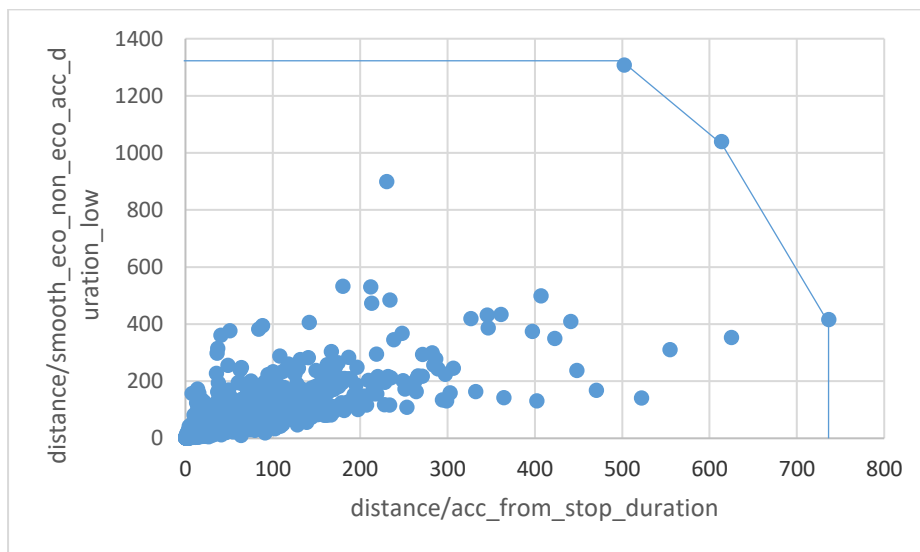
Σχήμα 2: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές *harsh_acc* και *harsh_brk* για το μοντέλο 1



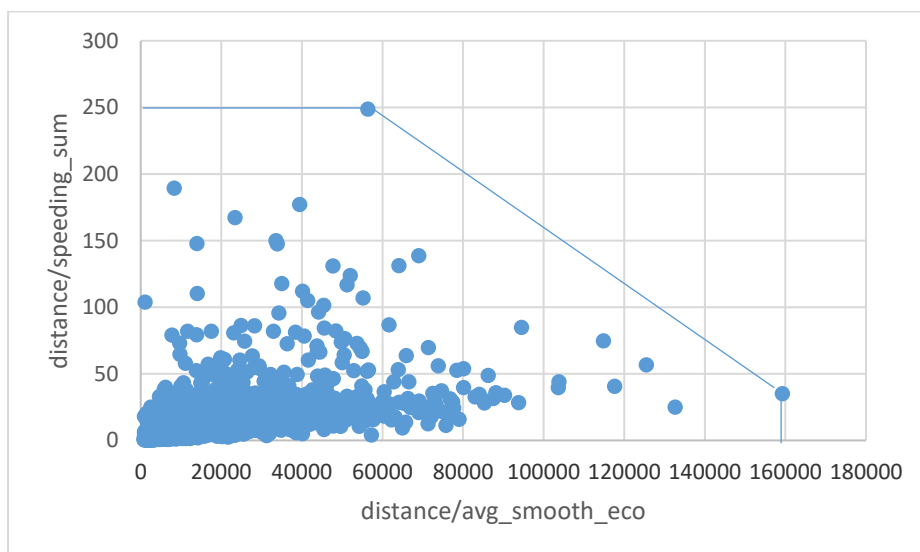
Σχήμα 3: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές *speeding_sum* και *avg_smooth_eco* για το μοντέλο 1

5.6.2 Απεικόνιση για το μοντέλο 2

Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου 2, επιλέγονται ανά δύο οι μεταβλητές εισόδου, δηλαδή ο χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση με τον χρόνο όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο της οικολογικής οδήγησης και ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας με τον δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4 και 5. Για την εφαρμογή των μοντέλων λαμβάνονται οι επεξεργασμένες μεταβλητές ανά 100km και ο μέσος όρος του δείκτη αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης.



Σχήμα 4: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές *smooth_eco_non_eco_acc_dur_low* και *acc_from_stop_duration* για το μοντέλο 2



Σχήμα 5: Απεικόνιση του μοντέλου DEA με μεταβλητές *speeding_sum* και *avg_smooth_eco* για το μοντέλο 2

Όσο πιο κοντά ένας οδηγός είναι στο όριο αποδοτικότητας, τόσο υψηλότερος είναι ο δείκτης αποδοτικότητάς του.

Το μοντέλο 2 αναφέρεται στην οικολογική οδήγηση καθώς τα δεδομένα εισόδου είναι μεταβλητές που περιγράφουν καταλληλότερα την οικολογική οδήγηση σε σύγκριση με το μοντέλο 1 και είναι αυστηρότερο ως προς την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των οδηγών, και όπως σε όλες τις περιπτώσεις, τα αυστηρότερα κριτήρια είναι και τα ασφαλέστερα για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων.

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.3 και 5.4 του μοντέλου 2, η πλειοψηφία των οδηγών συγκεντρώνεται στη βάση του διαγράμματος πιο κοντά στην αρχή των αξόνων από ότι στο όριο αποδοτικότητας. Δηλαδή, οι περισσότεροι οδηγοί κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα αποδοτικότητας το οποίο φαίνεται και στο προηγούμενο Διάγραμμα 5.2.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

6.1 Εισαγωγή

Όπως διαπιστώθηκε στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον από τους ερευνητές για την οικολογική οδήγηση και πιο συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των οδηγών όσο αφορά την οικολογική οδήγηση. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη διείσδυση των έξυπνων κινητών συσκευών (smartphones) στην καθημερινότητα, γίνεται πλέον διαθέσιμος μεγάλος όγκος δεδομένων οδήγησης που συλλέγονται από τους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Οι σύγχρονες τεχνολογίες καταγραφής, επεξεργασίας και αποστολής δεδομένων μέσω εφαρμογών μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην έρευνα στο τομέα των μεταφορών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας της οικολογικής οδήγησης οδηγών μιας βάσης δεδομένων από smartphone με τη μέθοδο Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων (DEA).

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel το οποίο διέθετε 1,150,622 εγγραφές, δηλαδή ταξίδια από συνολικά 6,135 οδηγούς. Οι οδηγοί που επιλέχθηκαν να πάρουν μέρος στην ανάλυση της αποδοτικότητας των οδηγών θα έπρεπε να έχουν οδηγήσει τουλάχιστον 10 ώρες (36,000 sec) και να έχουν πραγματοποιήσει 40 ταξίδια το οποίο ισοδυναμεί περίπου με τον μέσο μηνιαίο αριθμό ταξιδιών ενός οδηγού υποθέτοντας ότι κάθε οδηγός εκτελεί 2 ταξίδια των 15 λεπτών την ημέρα για 5 εργάσιμες μέρες την εβδομάδα. Έτσι, οι οδηγοί που τελικά πήραν μέρος στην ανάλυση ανέρχονται σε 3,278 και τα ταξίδια σε 1,109,015.

Οι μεταβλητές εισόδου για το μοντέλο 1: SAFETY είναι ο αριθμός γεγονότων απότομης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας και ο δείκτης αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης, ενώ για το μοντέλο 2: ECO είναι ο χρόνος που διαρκεί η επιτάχυνση μετά από στάση, ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτατο όριο της οικολογικής οδήγησης, ο χρόνος όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας και ο δείκτης αξιολόγησης οικολογικής οδήγησης. Ως μεταβλητή εξόδου, ορίστηκε η διανυόμενη απόσταση.

Επίσης, έγινε η υπόθεση ότι η εργασία θα έπρεπε να υιοθετήσει ένα μοντέλο DEA με προσανατολισμό στα δεδομένα εισόδου (input-oriented) καθώς στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν οι χρόνοι με επιταχύνσεις πάνω από το κατώτερο όριο, οι χρόνοι με ταχύτητα πάνω από τα όρια, κλπ (inputs) που συμβαίνουν ανά μονάδα οδηγικής απόστασης, παρά να μεγιστοποιηθεί η διανυόμενη απόσταση (output) για δοθέντα δεδομένα εισόδου. Τέλος, γίνεται η υπόθεση ότι υιοθετείται ένα μοντέλο CRS – DEA, καθώς θεωρείται ότι το άθροισμα όλων των δεδομένων εισόδου που καταγράφηκαν συγκλίνει σε μια σταθερά και μεταβάλλεται αναλογικά με το άθροισμα της διανυόμενης απόστασης (output).

6.2 Βασικά Συμπεράσματα

Όπως διαπιστώθηκε από την εφαρμογή της μεθόδου DEA των δύο μοντέλων, η πλειοψηφία των οδηγών έχει χαμηλή αποδοτικότητα. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει γιατί οι περισσότεροι αποδοτικοί οδηγοί έχουν σημαντικά υψηλότερη αποδοτικότητα και συνεπώς, η αποδοτικότητα των υπόλοιπων οδηγών εκτιμάται πολύ χαμηλότερα. Βασική υπενθύμιση ότι η μέθοδος DEA εκτιμά τη σχετική αποδοτικότητα μεταξύ ενός συνόλου ομοειδών (συγκεκριμένα, εδώ, των οδηγών) και όχι την απόλυτη. Αυτό σημαίνει ότι πολλές φορές, οι αποδοτικοί οδηγοί μπορεί να χρειαστεί να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους ή ακόμη οι χαμηλής αποδοτικότητας οδηγοί να υποτιμούνται λόγω της σημαντικά υψηλότερης αποδοτικότητας των αποδοτικών οδηγών.

Επίσης, διαπιστώθηκε ότι οι πιο οικολογικοί οδηγοί είναι και πιο ασφαλείς, όμως οι πιο ασφαλείς οδηγοί δε σημαίνει ότι είναι και πιο οικολογικοί.

Γενικά, στην κατάταξη οδηγών σε κατηγορίες με βάση την αποδοτικότητά τους, φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποιος παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την οικολογική οδήγηση μεταξύ των κατηγοριών, αλλά αν χρειαζόταν να καθοριστεί ένας θα ήταν ο χρόνος όπου η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο της οικολογικής οδήγησης καθώς η διαφορά μεταξύ των κατηγοριών μικραίνει.

Μια άλλη παρατήρηση στο μοντέλο 1 είναι ότι ο αριθμός των απότομων επιβραδύνσεων είναι σχεδόν διπλάσιος από τον αριθμό των απότομων επιταχύνσεων σε όλες τις κατηγορίες αποδοτικότητας οδηγών.

Τα αποτελέσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν με τη μορφή ανατροφοδότησης στους οδηγούς σχετικά με τη συνολική τους οδηγική αποδοτικότητα με βάση την οικολογική οδήγηση και με βάση το χαρακτηριστικό στο οποίο υστερούν, δηλαδή τον χρόνο που η επιτάχυνση είναι πάνω από το κατώτερο όριο, τον χρόνο όπου η οδήγηση είναι πάνω από τα όρια ταχύτητας κ.ο.κ. να γίνονται προτάσεις βελτίωσης αυτών των χαρακτηριστικών. Αυτό θα έχει μεγάλη συνεισφορά στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών αέριων ρύπων εφόσον οι οδηγοί είναι πιθανό να υιοθετούν πιο οικολογικούς τρόπους οδήγησης.

Επιπλέον, τα ευρήματα αυτής της εργασίας είναι δυνατό να φανούν χρήσιμα στην ανάπτυξη της πολιτικής της ασφάλισης (Pay-How-You-Drive) βάσει των χαρακτηριστικών οδήγησης των οδηγών.

6.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξέτασε το θέμα της οικολογικής οδήγησης από την οπτική της αποδοτικότητας των οδηγών μιας βάσης δεδομένων που συλλέχθηκε από εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου, υπάρχουν κάποιες βελτιώσεις που είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν για καλύτερα αποτελέσματα και παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά, μια επέκταση της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της αποδοτικότητας των οδηγών με βάση την οικολογική οδήγηση ανά τύπο οδού (αστική οδός, επαρχιακή οδός, αυτοκινητόδρομος). Έτσι, τα αποτελέσματα θα ήταν πιο συγκεκριμένα για κάθε οδηγό και οι προτάσεις βελτίωσης των οδηγών θα ήταν πιο συγκεκριμένες.

Επιπλέον, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές μεταβλητές και να σχηματιστούν πολλά μοντέλα για καλύτερη κατανόηση της επιρροής των μεταβλητών στην αποδοτικότητα των οδηγών. Οι μεταβλητές αυτές θα μπορούσε να έχουν σχέση με το οδικό δίκτυο και τις αποφάσεις των οδηγών να επιλέξουν διαδρομές με έντονη κλίση ή καμπυλότητα ή ακόμη και με την απόσπαση των οδηγών με τη χρήση κινητού τηλεφώνου.

Επίσης, η συγκεκριμένη μεθοδολογία αξιολόγησης της αποδοτικότητας των οδηγών με βάση την οικολογική οδήγηση θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε διαδρομές (trips) διάφορων οδηγών και να προκύψει ένας δείκτης αποδοτικότητας των διαδρομών. Έτσι, οι οδηγοί θα λαμβάνουν ενημέρωση συγκεκριμένα για κάθε ταξίδι και όχι γενικά για την συνολική τους εικόνα.

Ακόμη, στις μεταβλητές εισόδου και εξόδου που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκε συντελεστής ίσος με τη μονάδα, δηλαδή αντιμετωπίστηκαν όλες ως ισοβαρείς. Ίσως να προέκυπταν πιο ακριβή αποτελέσματα εάν γινόταν η επιλογή συντελεστών βαρύτητας για τις μεταβλητές, οι οποίοι μπορεί να αντλούνταν, είτε από άλλη έρευνα στα ίδια δεδομένα είτε από τα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε να ήταν γνωστά κάποια δημογραφικά στοιχεία των οδηγών όπως το φύλο, η ηλικία, κλπ., και να προκύψουν συμπεράσματα που να συνδέουν τα δημογραφικά αυτά χαρακτηριστικά με την αποδοτικότητα των οδηγών. Αυτό, βέβαια, θα μπορούσε εύκολα να οδηγήσει σε παραπλανητικούς υπολογισμούς, αν η βάση δεδομένων δεν έχει ικανοποιητικό αριθμό οδηγών.

Τέλος, όσο αφορά στη μεθοδολογία αξιολόγησης της αποδοτικότητας των οδηγών με εφαρμογή της μεθόδου DEA, θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία με τεχνικές βελτιστοποίησης της μεθόδου DEA για πιο γρήγορα αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., Van Aerde, M., 2002. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels, *Journal of Transportation Engineering*, 128, 182-190.

Beusen, B., Broekx, S., Denys, T., Beckx, C., Degraeuwe, B., Gijssbers, 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.

Bonsall, P. W., Liu, R. and Young, W. 2005. Modelling safety-related driving behavior the impact of parameter values. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39: 425–444.

Boriboonsomsin, K., Vu, A. and Barth, M., 2010. Eco-Driving: Pilot Evaluation of Driving Behavior Changes among US Drivers. University of California Transportation Center, UC Berkeley.

Brundell-Freij K. and Ericsson E., 2005. Influence of street characteristics, driver category and car performance on urban driving patterns. *Transportation Research, Part D*, 10(3): 213-229.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.

Cook, W.D., Kress, M., Seiford, L.M., 2009. Data Envelopment Analysis (DEA) – Thirty years on. *European journal of operational research*, Vol. 192, No. 1, 1-17.

Derick A. Johnson, Mohan Manubhai Trivedi, 2011. Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform.

Egilmez, G., & McAvoy, D., 2013. Benchmarking road safety of US states: A DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 53, 55-64.

Emrouznejad, A., Parker, BR, Tavares, G., 2008. Evaluation of research in efficiency and productivity: a survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. *Soc. Econ. Plann. Sci.*, 42, 151–7.

EPA, 2011. Driving more efficiently, available at: <http://www.fueleconomy.gov/feg/drivehabits.shtml> (accessed 28.08.12).

Ericsson E., 2001. Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factor. *Transportation Research Part D*, 6, 325-345.

Ganley, J.A. and Cubbin, J.S., 1992. *Public Sector Efficiency Measurement: Applications of Data Envelopment Analysis*, North-Holland, Amsterdam.

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, Vol96 (Urban Transport XIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century).

Karlaftis, M.G., Gleason, J.M., Barnum, D.T., 2013. 'Bibliography of Urban Transit Data Envelopment Analysis (DEA) Publications.'

Lautso, K., Spiekermann, K., Wegener, M., 2004. PROPOLIS—Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability.

Liu, B.S., Lee, Y.H., 2006. In-vehicle work load assessment: effects of traffic situations and cellular telephone use. J. Saf. Res. 37, 99–105.

Manzie, C., Watson, H., Halgamuge, S., 2007. Fuel economy improvements for urban driving: Hybrid vs. intelligent vehicles. Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.s 15 (1), 1–16.

May, A., Ross, T., Osman, Z., 2005. The design of next generation in-vehicle navigation systems for the older driver. Interact. Comput. 17, 643–659.

M.J. Farrell, 1957. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, 120, 253-281.

Nocera, S., Cavallaro, F., 2011. Policy effectiveness for containing CO₂ emissions in transportation. Proced. Soc. Behav. Sci. 20, 703–713.

OSeven, <https://www.oseven.io>

Package 'deaR' – CRAN, <https://cran.r-project.org › web › packages>

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.

Rouzikhah, H., King, M., Rakotonirainy, A., 2013. Examining the effects of an eco-driving message on driver distraction. Accid. Anal. Prev. 50, 975–983.

Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Brijs, T., & Vanhoof, K., 2011. A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. Expert systems with applications, Vol 38, No. 12, 15262-15272.

Speed management. Paris, OECD/ECMT Transport Research Centre (JTRC), 2006.

Strawa, A.W., Kirchstetter, T.W., Hallar, A.G., Ban-Weiss, G.A., McLaughlin, J.P., Harley, R.A., Lunden, M.M., 2010. Optical and physical properties of primary on-road vehicle particle emissions and their implications for climate change. J. Aerosol Sci. 41 (1), 36–50.

Thanassoulis, E., 2001. Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Tselentis, D.I., 2018. Benchmarking Driving Efficiency using Data Science Techniques applied on Large-Scale Smartphone Data.

Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., Gauss, M., Hoor, P., Juda-Rezler, K., Lelieveld, J., Melas, D., Rypdal, K., Schmid, S., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmos. Environ.* 44 (37), 4772–4816.

WHO Report, 2015

Ye, S., Zhou, W., Song, J., Peng, B., Yuan, D., Lu, Y., Qi, P., 1999. Toxicity and health effects of vehicle emissions in Shanghai. *Atmos. Environ.* 34, 419–429.

Young M., Birrell S., Stanton N., 2011. Safe driving in a green world: A review of driver performance benchmarks and technologies to support 'smart' driving. *Applied Ergonomics*, 42, 533-539.

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. PartD* 12, 449–451.

Zhou M., Jin H., Wang W., 2016. A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D*, 49, 203–218.