



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

## Επιρροή της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απότομης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα



Παναγιώτα Κωνσταντακοπούλου

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιούλιος, 2023



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες για την ευκαιρία που μου παρείχατε να πραγματοποιήσω τη Διπλωματική Εργασία μου με τίτλο "Επιρροή της τιμής του καυσίμου στη βελτίωσης απόδοσης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα". Η επιλογή για το συγκεκριμένο θέμα και η εμπιστοσύνη που μου δείξατε για να το αναπτύξω αποτελούν για μένα μεγάλη τιμή και προνόμιο. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την αμέριστη στήριξη, την καθοδήγηση που μου παρείχατε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Εργασίας.

Επίσης, θέλω να καταθέσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου προς τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., και την κα Εύα Μιχελαράκη, Υποψήφια Διδάκτορας και Ερευνήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη και την εξαιρετική συνεργασία που αναπτύξαμε. Οι συμβουλές σας, οι επισημάνσεις σας και η εποικοδομητική κριτική σας αποτέλεσαν πολύτιμες καθοδηγήσεις που συνέβαλαν στη βελτίωση της ποιότητας και της συνοχής της Εργασίας μου. Η συνεργασία, η υποστήριξη και η ενθάρρυνσή σας ήταν ανεκτίμητες καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας μου.

Συνοψίζοντας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την εταιρεία [OSeven](#), η οποία παραχώρησε τα πολύ χρήσιμα στοιχεία μέτρησης της συμπεριφοράς οδηγού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου και τα αγαπημένα μου πρόσωπα για τη συνεχή υποστήριξη και κατανόησή τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Η στήριξή τους, η ενθάρρυνσή τους και η αμέριστη αγάπη τους με βοήθησαν να ξεπεράσω τις προκλήσεις και τις δυσκολίες και να επιτύχω τους στόχους μου. Ως ελάχιστη ένδειξη ευγνωμοσύνης, η παρούσα Εργασία είναι αφιερωμένη σε αυτούς.

Αθήνα, Ιούλιος 2023  
Κωνσταντακοπούλου Παναγιώτα

# **Επιρροή της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απότομης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα**

Κωνσταντακοπούλου Παναγιώτα  
Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

## **Σύνοψη**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζει την επίδραση της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απότομης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα. Αναλύονται οι συνέπειες της τιμής του καυσίμου στην συμπεριφορά του οδηγού και εξετάζεται πώς η μεταβολή της τιμής μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο οδήγησης, τις απότομες κινήσεις των οδηγών και την ταχύτητα τους. Η έρευνα περιλαμβάνει στατιστικά δεδομένα σχετικά με τις τιμές των καυσίμων και τη συμπεριφορά των οδηγών για τα έτη μεταξύ 2019 έως 2022. Επίσης, αναλύονται οι πιθανές αιτίες που οδηγούν σε απότομη οδήγηση, όπως οικονομικοί παράγοντες, περιβαλλοντικές συνθήκες κ.α. Προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία επιβεβαιώνουν την επιρροή της τιμής του καυσίμου στην απότομη συμπεριφορά των οδηγών. Τέλος, προτείνονται πιθανές λύσεις και πολιτικές που μπορούν να υιοθετηθούν για να ενθαρρύνουν την πιο οικολογική οδήγηση και να μειώσουν την απότομη συμπεριφορά των οδηγών, όπως η προώθηση των οχημάτων με μικρή κατανάλωση καυσίμων, η εκπαίδευση των οδηγών και η επιβολή προστίμων για παραβάσεις. Η παρούσα Διπλωματική Εργασία συμβάλλει στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ τιμής καυσίμου και οδηγικής συμπεριφοράς στην Ελλάδα και προτείνει μέτρα για την προαγωγή ασφαλούς και οικολογικής οδήγησης.

Λέξεις κλειδιά: Τιμή καυσίμου, Συμπεριφορά του Οδηγού, Απότομα Συμβάντα, Γραμμική Παλινδρόμηση

# **Fuel price impact on driver harsh behaviour improvement in Greece**

Konstantakopoulou Panagiota

Supervisor: George Yannis, Professor N.T.U.A.

## **Abstract**

This Thesis Diploma examines the effect of fuel price on the improvement of the driver's harsh behaviour in Greece. It analyses the impact of fuel price on driver behaviour and explores how price changes can influence driving style, abruptness and speed. The research includes statistical data of fuel prices and driver behaviour for the years between 2019 and 2022. It also examines potential causes of sudden driving, such as economic factors and environmental conditions. The results confirm the influence of fuel prices on drivers' sudden behaviour. Finally, the Thesis proposes recommended solutions and policies to encourage greener driving and reduce speeding including the promotion of fuel-efficient vehicles, driver education, and fines for infringements. This study contributes to the understanding of the relationship between fuel prices and driving behavior in Greece and suggests measures to promote safe and eco-friendly driving.

Keywords: Fuel Price, Driver Behaviour, Harsh Events, Linear Regression

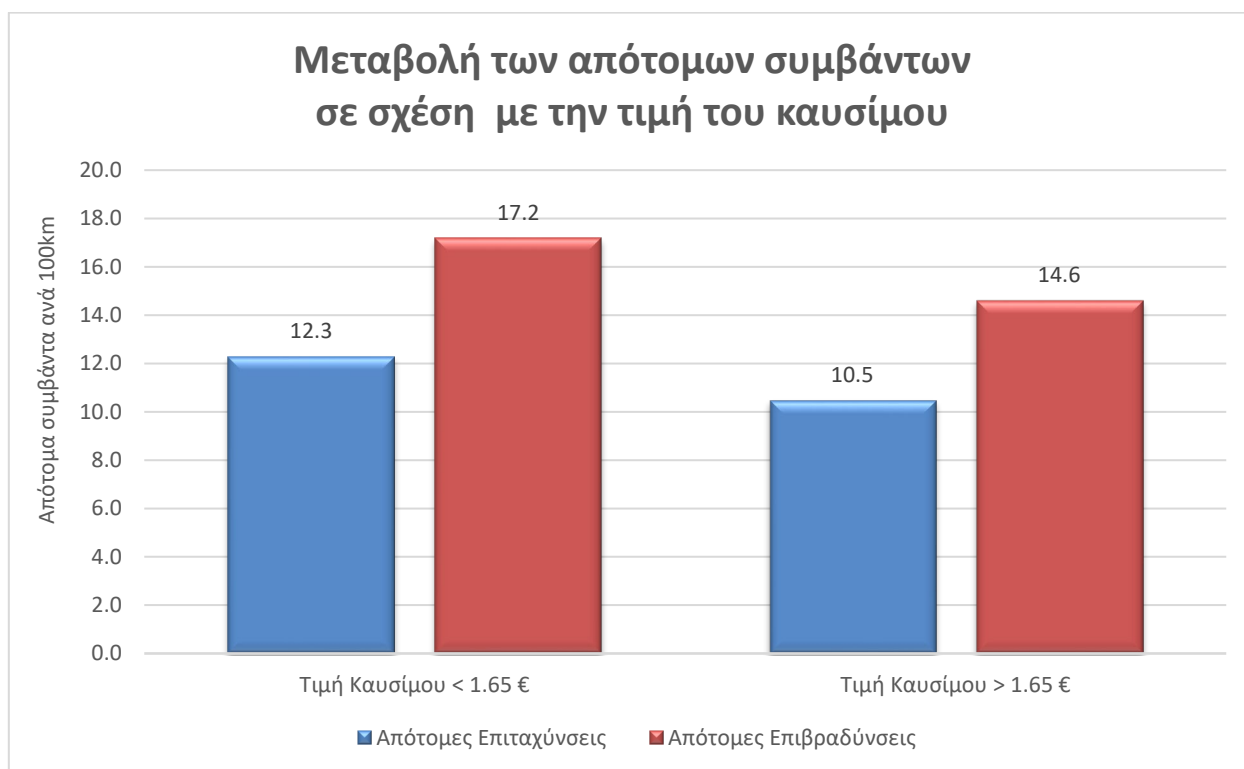


## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απόδοτης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα. Τα **δεδομένα συμπεριφοράς του οδηγού**, στα οποία βασίστηκε η παρούσα Εργασία, συλλέχθηκαν από την εταιρία τηλεματικής [OSeven Telematics](#), η οποία δημιούργησε μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου που καταγράφει και συλλέγει δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς. Τα οδικά δεδομένα που αναλύονται παρακάτω, αφορούν κυκλοφοριακούς επιμέρους δείκτες κίνησης και συμπεριφοράς του οδηγού. Πριν την έναρξη της ανάλυσης των δεδομένων πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και κατηγοριοποίηση αυτών προκειμένου να εισαχθούν στο πρόγραμμα ανάλυσης.

Η δεύτερη κατηγορία δεδομένων που συλλέχθηκε για την εξέλιξη της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **τιμή του καυσίμου**, η οποία μεταβάλλεται σχεδόν σε καθημερινή βάση ανάλογα με την περιοχή ανεφοδιασμού. Προκειμένου να αναλύσουμε τις τιμές του καυσίμου, συλλέξαμε δεδομένα από το Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων του Υπουργείου Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας. Σε αυτήν την υπηρεσία, μπορεί κανείς να βρει τη μέση τιμή της βενζίνης ανά νομό για κάθε μέρα του μήνα. Η υπηρεσία δημοσιεύει καθημερινά ένα έντυπο στο οποίο αναγράφεται η τιμή ανά λίτρο για κάθε καύσιμο. Για την παρούσα Εργασία χρειάστηκε να συλλέξουμε τη τιμή της βενζίνης για τα έτη 2019-2022.

Για τη δημιουργία του παρακάτω Διαγράμματος χρειάστηκε να υπολογίσουμε την μέση τιμή καυσίμου για τα έτη 2019 έως 2022. Η μέση τιμή καυσίμου υπολογίστηκε 1,65€/lt και βάσει αυτής προέκυψαν μερικές ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.



**Διάγραμμα 1: Αριθμός απόδοτων επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων ανά 100km με όριο την τιμή καυσίμου**

Βάσει των δεδομένων που παρέχονται στο Διάγραμμα, φαίνεται ότι όταν η τιμή του καυσίμου ξεπερνά το όριο των 1,65€/lt, οι απότομες επιταχύνσεις ανέρχονται σε 10,5/100km, ενώ οι απότομες επιβραδύνσεις ανέρχονται σε 14,6/100km. Αντιθέτως, όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1,65€/lt, οι απότομες επιταχύνσεις αυξάνονται σε 12,3/100km και οι απότομες επιβραδύνσεις αυξάνονται σε 17,2/100km.

Με γνώμονα αυτές τις παρατηρήσεις, φαίνεται ότι υπάρχει μια **μείωση της τάξης του 15% στις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις όταν η τιμή του καυσίμου είναι υψηλότερη από 1,65€/lt**. Αυτό υποδηλώνει ότι οι οδηγοί σε περιόδους με χαμηλότερη τιμή καυσίμου ενδέχεται να είναι πιο απότομοι και να εφαρμόζουν περισσότερες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι αλλαγές αυτές αποτελούν μια συγκριτική αναφορά μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν μπορούμε να συμπεράνουμε από αυτές ακριβείς αιτίες και συνέπειες.

Αντίστοιχα, αποδεικνύεται ότι όταν η τιμή του καυσίμου ξεπερνά το όριο των 1,65€/lt, η μέση ταχύτητα ισούται με 68 km/h, ενώ όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1,65€/lt, η μέση ταχύτητα ισούται με 74 km/h. Με βάση αυτά τα στοιχεία, φαίνεται ότι υπάρχει μια σημαντική **μείωση 8% στη μέση ταχύτητα όταν η τιμή του καυσίμου είναι μεγαλύτερη από 1,65€/lt**. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να υποδηλώνει πως οι οδηγοί σε περιόδους με υψηλότερη τιμή καυσίμου αναπτύσσουν χαμηλότερες ταχύτητες.

Η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος **SPSS**. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων είναι **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση**. Πραγματοποιώντας πολλές δοκιμές, με διαφορετικές για κάθε δοκιμή μεταβλητές, δημιουργήθηκαν ποικίλα στατιστικά μοντέλα. Κάποια από αυτά τα μοντέλα χαρακτηρίστηκαν στατιστικά σημαντικά και κάποια όχι, γεγονός το οποίο οδήγησε σε συμπεράσματα για την επιρροή των μεταβλητών στις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις των οδηγών. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μοντέλων αυτών καθώς επίσης και η ερμηνεία αυτών.

**Πίνακας 1: Μοντέλα Πρόβλεψης Απότομων Επιταχύνσεων/ Επιβραδύνσεων**

| Ανεξάρτητες Μεταλητές           | Μοντέλο 1      |        |                   |                       | Μοντέλο 2      |        |                   |                       | Μοντέλο 3      |        |                   |                       | Μοντέλο 4      |       |                   |                       |
|---------------------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------------|----------------|-------|-------------------|-----------------------|
|                                 | Συντελεστής βι | t      | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) | Συντελεστής βι | t      | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) | Συντελεστής βι | t      | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) | Συντελεστής βι | t     | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) |
| Τιμή Καυσίμου                   | -0.30          | -17.20 | -0.61             | -6.90                 | -0.19          | -13.13 | -0.39             | 1.00                  | -0.24          | -10.45 | -0.34             | -5.02                 | -0.15          | -6.90 | -0.21             | -1.45                 |
| Μέση Ταχύτητα                   | 0.00           | 6.92   | 0.09              | 1.00                  | -              | -      | -                 | -                     | 0.00           | 7.72   | 0.12              | 1.81                  | -              | -     | -                 | -                     |
| Χρόνος Χρήσης Κινητού Τηλεφώνου | 0.00           | 4.40   | 0.10              | 1.10                  | -              | -      | -                 | -                     | 0.00           | 2.75   | 0.07              | 1.00                  | -              | -     | -                 | -                     |
| Διάρκεια Διαδρομής              | 0.00           | 10.72  | 1.20              | 13.42                 | -              | -      | -                 | -                     | 0.01           | 7.97   | 8.35              | 121.48                | -              | -     | -                 | -                     |
| Υπέρβαση Ορίου Ταχύτητας        | -              | -      | -                 | -                     | 0.13           | 28.29  | 0.68              | -1.73                 | -              | -      | -                 | -                     | 0.15           | 22.49 | 0.56              | 3.82                  |
| Συνολική Απόσταση               | -              | -      | -                 | -                     | 0.01           | 4.65   | 14.04             | -35.78                | -              | -      | -                 | -                     | 0.02           | 6.84  | 0.15              | 1.00                  |
| R <sup>2</sup>                  | 0.448          |        |                   |                       | 0.536          |        |                   |                       | 0.338          |        |                   |                       | 0.434          |       |                   |                       |

Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:



- ✓ Η **αύξηση της τιμής του καυσίμου** οδήγησε σε μείωση των απότομων επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων. Παρατηρήθηκε ότι σε περιόδους με αυξημένη τιμή καυσίμου, οι οδηγοί βελτίωσαν τον τρόπο οδήγησης τους και ήταν πιο προσεκτικοί στο έργο της οδήγησης εκτελώντας λιγότερα απότομα συμβάντα.
- ✓ Όσο αυξάνεται η **μέση ταχύτητα που αναπτύσσει ο οδηγός**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση. Η αποφυγή υπερβολικά υψηλής ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα ασφαλέστερη οδήγηση, μείωση των απότομων επιταχύνσεων και φυσικά καλύτερη οικονομία καυσίμου. Το γεγονός αυτό δε θα πρέπει βέβαια να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομία καυσίμου επειδή κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται. Με την ομαλή οδήγηση και με μέσες ταχύτητες πορείας εξασφαλίζεται βέλτιστη οικονομία καυσίμου και οδική ασφάλεια.
- ✓ Όσο αυξάνεται η **χρήση κινητού τηλεφώνου**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο απασχολημένος στο κινητό τηλέφωνο είναι ο οδηγός, ενδέχεται να εκτελεί περισσότερα απότομα συμβάντα κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.
- ✓ Όσο αυξάνεται η **διάρκεια της οδήγησης**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση. Η παρατήρηση αυτή είναι λογική διότι καθώς αυξάνεται η διάρκεια της οδήγησης, είναι επόμενο ο οδηγός να κουράζεται και σταδιακά να αυξάνονται και τα απότομα συμβάντα.
- ✓ Αντίστοιχα, όσο αυξάνεται η συνολική **διανυθείσα απόσταση οι οδηγοί**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο αυξάνεται η διαδρομή που θα πρέπει να διανύσει ο οδηγός, είναι επόμενο να νιώθει κόπωση και να εκτελεί περισσότερα απότομα συμβάντα κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>                                         | 2  |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ                                                   | 6  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ                                          | 11 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ                                     | 12 |
| 1. Εισαγωγή                                                | 13 |
| 1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας                       | 14 |
| 1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας                         | 14 |
| 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση                                | 17 |
| 2.1 Εισαγωγή                                               | 17 |
| 2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες                      | 17 |
| 2.3 Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας                             | 22 |
| 3. Θεωρητικό Υπόβαθρο                                      | 25 |
| 3.1 Βασικές έννοιες Στατιστικής                            | 25 |
| 3.2 Συντελεστής συσχέτισης μεταβλητών                      | 26 |
| 3.3 Κανονική Κατανομή                                      | 27 |
| 3.4 Μαθηματικά Πρότυπα                                     | 27 |
| 3.4.1 Γραμμική Παλινδρόμηση                                | 27 |
| 3.4.2 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων                         | 29 |
| 3.4.3 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση                       | 30 |
| 3.4.4 Γενικό γραμμικό μοντέλο                              | 30 |
| 3.4.5 Ανάλυση δεδομένων πάνελ                              | 30 |
| 3.5 Στατιστική Αξιολόγηση και Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου   | 31 |
| 4. Συλλογή και Επεξεργασία δεδομένων                       | 35 |
| 4.1 Εισαγωγή                                               | 35 |
| 4.2 Συλλογή δεδομένων                                      | 35 |
| 4.2.1 Δεδομένα τιμής Καυσίμου                              | 35 |
| 4.2.2 Δεδομένα συμπεριφοράς του οδηγού                     | 36 |
| 4.3 Επεξεργασία δεδομένων                                  | 37 |
| 4.3.1 Περιγραφική Στατιστική Δεδομένων                     | 39 |
| 5. Ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων                           | 47 |
| 5.1 Εισαγωγή                                               | 47 |
| 5.1.1 Λογισμικό SPSS                                       | 47 |
| 5.1.2 Εισαγωγή της βάσης δεδομένων στο περιβάλλον του SPSS | 47 |
| 5.1.3 Συσχέτιση μεταβλητών (Pearson Correlation)           | 48 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2 Δημιουργία Στατιστικών μοντέλων .....                            | 50 |
| 5.2.1 Ανάπτυξη Μοντέλου 1: Πρόβλεψη των απότομων επιταχύνσεων .....  | 53 |
| 5.2.2 Ανάπτυξη Μοντέλου 2: Πρόβλεψη των απότομων επιταχύνσεων .....  | 56 |
| 5.2.3 Ανάπτυξη Μοντέλου 3: Πρόβλεψη των απότομων επιβραδύνσεων ..... | 59 |
| 5.2.4 Ανάπτυξη Μοντέλου 4: Πρόβλεψη των απότομων επιβραδύνσεων ..... | 62 |
| 5.3 Ελαστικότητα και Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών .....        | 65 |
| 6. Συμπεράσματα .....                                                | 69 |
| 6.1 Σύνοψη .....                                                     | 69 |
| 6.2 Συμπεράσματα .....                                               | 70 |
| 6.3 Προτάσεις για την βελτίωση της συμπεριφοράς του οδηγού .....     | 72 |
| 6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....                              | 74 |
| Βιβλιογραφία.....                                                    | 75 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 1: Μοντέλα Πρόβλεψης Απότομων Επιταχύνσεων/ Επιβραδύνσεων .....                     | 7  |
| Πίνακας 2: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή $t$ .....                                          | 32 |
| Πίνακας 3: Πρώιμη μορφή βάσης δεδομένων .....                                               | 37 |
| Πίνακας 4: Τελική μορφή βάσης δεδομένων (Master File) .....                                 | 38 |
| Πίνακας 5: Επεξήγηση Μεταβλητών .....                                                       | 38 |
| Πίνακας 6: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου .....                                                | 45 |
| Πίνακας 7: Μεταβολή μεγεθών ανά έτος .....                                                  | 46 |
| Πίνακας 8: Ποσοστιαία Μεταβολή μεγεθών ανά έτος .....                                       | 46 |
| Πίνακας 9: Βάση δεδομένων στο SPSS .....                                                    | 48 |
| Πίνακας 10: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 1 .....                            | 53 |
| Πίνακας 11: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 1 .....                             | 53 |
| Πίνακας 12: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA)– Μοντέλο 1 .....                                      | 54 |
| Πίνακας 13: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 1 .....           | 54 |
| Πίνακας 14: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 2 .....                            | 57 |
| Πίνακας 15: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 2 .....                             | 57 |
| Πίνακας 16: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) – Μοντέλο 2 .....                                     | 57 |
| Πίνακας 17: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 2 .....           | 58 |
| Πίνακας 18: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 3 .....                            | 60 |
| Πίνακας 19: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 3 .....                             | 60 |
| Πίνακας 20: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) – Μοντέλο 3 .....                                     | 60 |
| Πίνακας 21: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 3 .....           | 61 |
| Πίνακας 22: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 4 .....                            | 63 |
| Πίνακας 23: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 4 .....                             | 63 |
| Πίνακας 24: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) – Μοντέλο 4 .....                                     | 63 |
| Πίνακας 25: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 4 .....           | 64 |
| Πίνακας 27: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 1 ..... | 66 |
| Πίνακας 28: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 2 ..... | 67 |
| Πίνακας 29: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 3 ..... | 67 |
| Πίνακας 30: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 4 ..... | 68 |
| Πίνακας 31: Μοντέλα Πρόβλεψης Απότομων Επιταχύνσεων/ Επιβραδύνσεων .....                    | 69 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Διάγραμμα 1: Αριθμός απότομων επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων ανά 100km με όριο την τιμή καυσίμου .....        | 6  |
| Διάγραμμα 3: Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....                                                              | 16 |
| Διάγραμμα 4: : Παράδειγμα ευθείας Ελαχίστων Τετραγώνων.....                                               | 29 |
| Διάγραμμα 5: Μεταβολή τις Τιμής της βενζίνης τα έτη 2019 έως 2022 .....                                   | 35 |
| Διάγραμμα 6: Διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων από την OSevenTelamatics .....                | 36 |
| Διάγραμμα 7: Σύστημα ροής δεδομένων OSeven.....                                                           | 37 |
| Διάγραμμα 8: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με τις απότομες επιταχύνσεις.....                       | 40 |
| Διάγραμμα 9: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με τις απότομες επιβραδύνσεις.....                      | 41 |
| Διάγραμμα 10: Μεταβολή της Τιμής του Καυσίμου σε σχέση με την Μέση Ταχύτητα των οχημάτων .....            | 41 |
| Διάγραμμα 11: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με την Συνολική Απόσταση που διανύουν τα οχήματα ..... | 42 |
| Διάγραμμα 12: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με την Συνολική Διάρκεια οδήγησης .....                | 43 |
| Διάγραμμα 13: Αριθμός απότομων επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων ανά 100km με όριο την τιμή καυσίμου .....       | 44 |
| Διάγραμμα 14: Μέση ταχύτητα οχήματος σε km/h με όριο την τιμή καυσίμου .....                              | 45 |
| Διάγραμμα 15: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεταβλητών .....                                               | 49 |
| Διάγραμμα 16: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 1 .....                                      | 55 |
| Διάγραμμα 17: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 2.....                                       | 58 |
| Διάγραμμα 18: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 3.....                                       | 61 |
| Διάγραμμα 19: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 4.....                                       | 64 |

## 1. Εισαγωγή

Στις μέρες μας, η χρήση του αυτοκινήτου αποτελεί μια καθημερινή συνήθεια η οποία έχει καθιερωθεί από τον περασμένο αιώνα. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί το αυτοκίνητο προκειμένου να καλύψει πολλές από τις βασικές ανάγκες, όπως η μετακίνηση προς τον χώρο εργασίας, η μεταφορά και η προμήθεια αγαθών, η διασκέδαση και πολλά άλλα. Το αυτοκίνητο παραμένει πρώτο στην λίστα με τα πιο δημοφιλή μέσα μεταφοράς, όχι τυχαία. Οι κατασκευαστικές εταιρίες αυτοκινήτων επενδύουν σημαντικά στην ανάπτυξη τους και το γεγονός αυτό είναι ακόμα πιο αισθητό τα τελευταία χρόνια όπου παρατηρούμε υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα να εισέρχονται στην αγορά.

Επιπλέον, οι **τεχνολογικές εξελίξεις** έχουν επηρεάσει την λειτουργία των αυτοκινήτων. Τα συστήματα πλοήγησης και ενημέρωσης κίνησης έχουν διευκολύνει την οδήγηση, καθώς προειδοποιούν τον οδηγό για τυχόν κινδύνους και συντομότερες διαδρομές που ενδέχεται να προκύψουν κατά την διάρκεια της μετακίνησης.

Στην **Ελλάδα**, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), το **ποσοστό ιδιοκτησίας αυτοκινήτων** ήταν το 2020 περίπου 41,5%, που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο υπάρχει ένα αυτοκίνητο για κάθε δύο άτομα. Συγκεκριμένα, το πλήθος των εγγεγραμμένων ΙΧ οχημάτων στην Ελλάδα το 2020 ήταν περίπου 6,1 εκατομμύρια. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ποσοστό αυτό διαφέρει ανά περιοχή και ανά κοινωνικό στρώμα.

Τα ποσοστά **ιδιοκτησίας αυτοκινήτων** στην **Ευρώπη** διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα και την περιοχή. Σύμφωνα με δεδομένα του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) για το 2019, ο μέσος όρος ιδιοκτησίας αυτοκινήτων στις χώρες της ΕΕ ήταν περίπου 47%, ενώ στις χώρες της ΕΖΕΣΣ (Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελευθέρων Συναλλαγών) το ποσοστό ιδιοκτησίας αυτοκινήτων ήταν περίπου 60%.

Αναλυτικότερα, στη Γαλλία το ποσοστό ιδιοκτησίας αυτοκινήτων είναι περίπου 60%, στη Γερμανία περίπου 46%, στην Ιταλία περίπου 61%, στην Ισπανία περίπου 45% και στο Ηνωμένο Βασίλειο περίπου 57%. Επίσης, σε ορισμένες χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, το ποσοστό ιδιοκτησίας αυτοκινήτων είναι χαμηλότερο σε σχέση με την Δυτική Ευρώπη, όπως για παράδειγμα στην Πολωνία, όπου το ποσοστό αυτό είναι περίπου 34%.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι το ποσοστό ιδιοκτησίας αυτοκινήτων δεν αποτελεί απαραίτητα μια ακριβή μέτρηση της χρήσης του αυτοκινήτου σε μια χώρα. Υπάρχουν χώρες στις οποίες οι πολίτες είναι λιγότερο πιθανό να αγοράσουν ένα αυτοκίνητο για λόγους οικονομικούς ή περιβαλλοντικούς και προτιμούν διαφορετικά μέσα μετακίνησης, όπως οι δημόσιες συγκοινωνίες ή οι ποδηλατικές διαδρομές.

Επίσης, τα ποσοστά ιδιοκτησίας αυτοκινήτων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ **διαφορετικών ομάδων πληθυσμού** στην ίδια χώρα. Για παράδειγμα, στις μεγαλουπόλεις, όπου υπάρχει μεγαλύτερη προσφορά δημόσιων συγκοινωνιών, το ποσοστό ιδιοκτησίας αυτοκινήτων είναι σαφώς μικρότερο.

Η κίνηση των αυτοκινήτων για την μετακίνηση προαπαιτεί την αγορά καυσίμου προς επίτευξη αυτού. Η **τιμή των καυσίμων** επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η προσφορά και η ζήτηση στην παγκόσμια αγορά πετρελαίου, οι γεωπολιτικές εξελίξεις, η αύξηση των φόρων και των δασμών και οι κλιματικές αλλαγές. Στην Ελλάδα, η τιμή των καυσίμων συχνά επηρεάζεται από την κυβέρνηση μέσω της φορολογίας και επομένως μπορεί διακυμαίνεται σημαντικά στον χρόνο.

Η **ενεργειακή κρίση** αφορά στην αύξηση της ζήτησης ενέργειας και την έλλειψη πόρων για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε προσπάθειες για την ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών ενέργειας και την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των οχημάτων. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων εργάζονται ενεργά για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων μορφών κίνησης, όπως η υβριδική και η ηλεκτρική τεχνολογία που προαναφέραμε.

Η αύξηση της τιμής των καυσίμων **επηρέασε** επίσης τις **μετακινήσεις των οδηγών**. Καθώς η τιμή των καυσίμων αυξήθηκε, πολλοί οδηγοί αναζήτησαν εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης, όπως η χρήση των δημόσιων μεταφορών, των ποδηλάτων ή των ηλεκτρικών πατινιών. Επίσης, πολλοί οδηγοί αναθεώρησαν τον τρόπο που οδηγούν, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και του κόστους.

## 1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Η συγγραφή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας στοχεύει στην ανάλυση της επιρροής της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απότομης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα.

Αναλυτικότερα, προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος συλλέχθηκαν κατάλληλα δεδομένα τα οποία αφορούν στη συμπεριφορά των οδηγών στην Αθήνα. Η βάση δεδομένων ολοκληρώθηκε με τη συγκέντρωση των τιμών της αμόλυβδης βενζίνης ανά ημέρα για τα έτη 2019 έως 2022.

Στόχος της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας είναι η προσέγγιση του ερευνητικού αντικειμένου με σφαιρικότητα, προκειμένου τα συμπεράσματα που θα προκύψουν να είναι σαφή, αντικειμενικά και να συμβάλουν στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών με γνώμονα την τιμή του καυσίμου.

## 1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Σε αυτή την ενότητα συνοψίζεται ο βασικός στόχος και το νόημα κάθε κεφαλαίου.

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί εισαγωγή στο ευρύτερο πλαίσιο του ερευνητικού αντικειμένου. Πραγματεύεται γενικότερες έννοιες, όπως η τεχνολογική εξέλιξη στην αυτοκίνηση και την συμβολή της στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Εν συνεχεία παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με τα ποσοστά ιδιοκτησίας ΙΧ αυτοκινήτων στην Ελλάδα αλλά και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Τέλος, η ενεργειακή κρίση και αύξηση της τιμής

του καυσίμου φαίνεται να επηρέασε τη χρήση των αυτοκινήτων με τους οδηγούς να αναζητούν εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** πραγματεύεται πληροφορίες από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και σχετίζονται με το ερευνητικό αντικείμενο της παρούσας Εργασίας. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση συγκέντρωσε επιστημονικές έρευνες επί του θέματος από τις οποίες αντλήθηκαν χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο ήταν απαραίτητο για τις στατιστικές αναλύσεις της Διπλωματικής Εργασίας. Παρατίθενται οι βασικότεροι ορισμοί της στατιστικής και οι αντίστοιχοι μαθηματικοί τύποι για την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου. Δίνεται έμφαση στο τελικό μοντέλο καθώς επίσης και ελέγχους οι οποίοι ανέδειξαν την στατιστική σημαντικότητα.

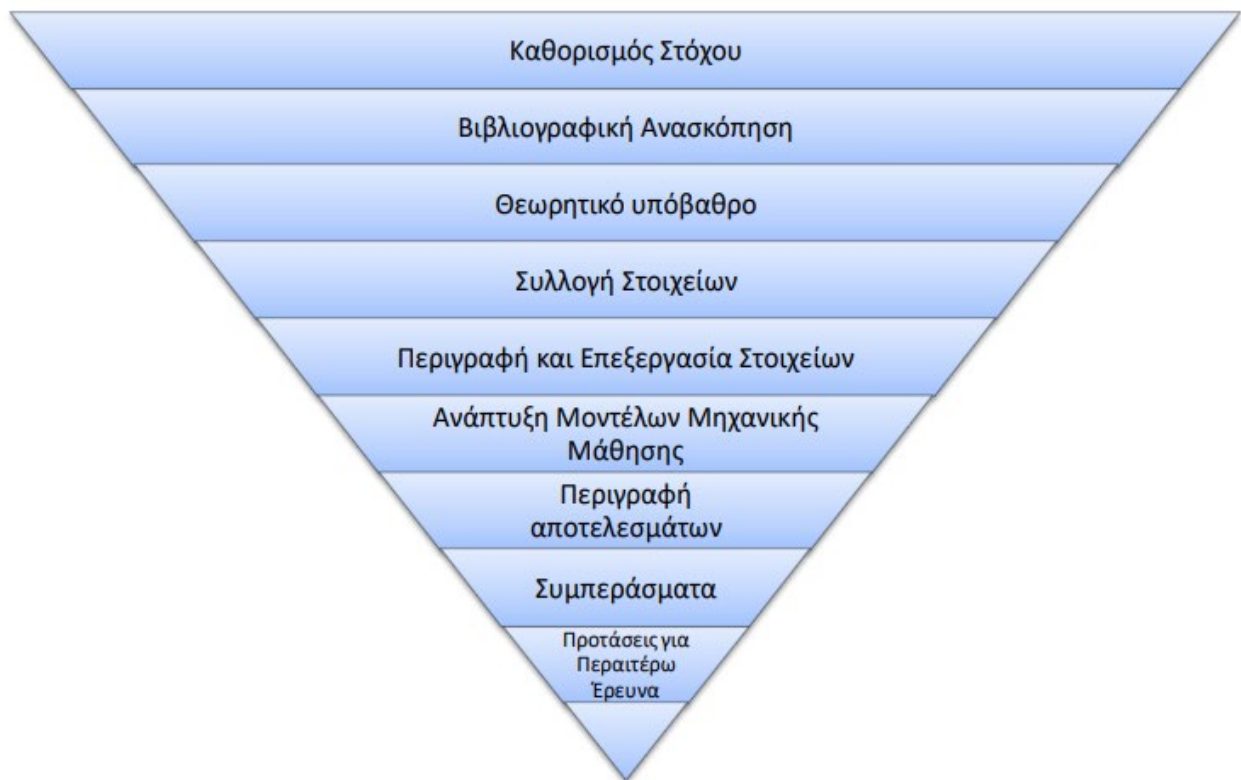
Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα στάδια της συλλογής δεδομένων, η επεξεργασία τους και η τελική τους μορφή. Αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν σταδιακά ώστε να δημιουργηθεί η οριστική βάση δεδομένων (Master File) και εξηγούνται όλες οι μεταβλητές που απαρτίζουν αυτή. Με την βοήθεια της τελικής βάσης δεδομένων εφαρμόστηκαν τα στατιστικά μοντέλα.

Το **πέμπτο κεφάλαιο**, το οποίο αποτελεί και τον βασικό πυρήνα της έρευνας, παρουσιάζει την διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής της μεθοδολογίας για την παραγωγή των τελικών μαθηματικών μοντέλων. Δημιουργήθηκαν τέσσερα μοντέλα πρόβλεψης απότομων συμβάντων τα οποία περιγράφονται με την βοήθεια κατάλληλων μεταβλητών. Τα αποτελέσματα σχολιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο όπως επίσης και η σχετική επιρροή των μεταβλητών στα μοντέλα.

Το **έκτο κεφάλαιο** αφορά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας και προτάσεις για περεταίρω έρευνα.

Το τελευταίο **κεφάλαιο** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι το **έβδομο**, το οποίο παραθέτει την βιβλιογραφία στην οποία ανατρέξαμε σε κάθε στάδιο της παρούσας Εργασίας.





Διάγραμμα 2: Δομή Διπλωματικής Εργασίας

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, με την βοήθεια της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, θα αναφερθούμε σε παλαιότερες έρευνες που έχουν ολοκληρωθεί και έχουν σχετικό αντικείμενο με αυτό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η επιρροή της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απόδοσης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα, αποτελεί επίκαιρο θέμα προς έρευνα, δεδομένων των συνεχόμενων αυξήσεων στην τιμή της αμόλυβδης βενζίνης και της ενεργειακής κρίσης παγκοσμίως. Η συμπεριφορά του οδηγού κατά την οδήγηση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η προσοχή του, η ταχύτητα του, η κατάσταση του οχήματος, οι καιρικές συνθήκες και πολλοί άλλοι παράγοντες.

Ωστόσο, η τιμή της βενζίνης μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο οι οδηγοί οδηγούν τα αυτοκίνητά τους με πολλούς τρόπους. Για παράδειγμα, υψηλές τιμές αμόλυβδης βενζίνης μπορεί να επηρεάσουν τους οδηγούς να οδηγούν πιο αργά και πιο οικονομικά, ενώ χαμηλές τιμές μπορούν να οδηγήσουν σε πιο επιθετική οδήγηση και σε πιο συχνές ξαφνικές επιταχύνσεις. Συνεπώς, ενώ δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και της συμπεριφοράς του οδηγού, η τιμή της ενδέχεται να επηρεάσει την συμπεριφορά του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησής του.

### 2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες

Υπάρχουν **ερευνητικές μελέτες** που έχουν αποδείξει πως υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και της συμπεριφοράς των οδηγών. Συγκεκριμένα, μερικές από αυτές τις έρευνες, έχουν δείξει ότι η αύξηση της τιμής της βενζίνης συνδέεται με τη μείωση της ταχύτητας των οδηγών, τη μείωση της χρήσης του αυτοκινήτου και την αναζήτηση εναλλακτικών μέσων μεταφοράς. Οι έρευνες αυτές είναι δημοσιευμένες σε επιστημονικά περιοδικά και αποτελούν μέρος της διεθνούς βιβλιογραφίας γύρω από το συγκεκριμένο αντικείμενο της οδικής ασφάλειας.

Παρόλα αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά των οδηγών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση του οχήματος και πολλοί άλλοι παράγοντες.

Μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Berkeley παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Η μελέτη Understanding Public Transit Ridership through Gasoline Demand: Case Study in San Francisco Bay Area, CA (Hansen, O.S.2016) δηλαδή **Κατανόηση της Δημόσιας Συγκοινωνίας Επιβατικότητας μέσω της βενζίνης** δημοσιεύθηκε το 2016 και εξετάζει τη συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης βενζίνης και του αριθμού των επιβατών στα δημόσια μέσα μεταφοράς στην περιοχή του San Francisco Bay. Η μελέτη αυτή αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (multiple linear regression). Αυτή η μέθοδος συνδέει την

εξαρτώμενη μεταβλητή, η οποία είναι η κατανάλωση βενζίνης, με μια σειρά ανεξάρτητων μεταβλητών, όπως οι διαθέσιμες δημόσιες συγκοινωνίες, οι τιμές του πετρελαίου, η ανεργία και άλλοι παράγοντες.

Στη μελέτη αυτή, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν δεδομένα για την κατανάλωση βενζίνης και συνδύασαν αυτά τα δεδομένα με τη χρήση των δημόσιων μέσων μεταφοράς στην ίδια περιοχή. Έπειτα, χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της **πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης** για να αναλύσουν τις συσχετίσεις μεταξύ της κατανάλωσης βενζίνης και των άλλων παραγόντων. Η ανάλυση μπορεί να παρέχει ενδείξεις σχετικά με το πώς οι μεταβλητές αυτές συσχετίζονται μεταξύ τους και πώς επηρεάζουν τη χρήση των δημόσιων μεταφορών. Συνολικά, η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επιτρέπει στους ερευνητές να εξετάσουν τον αντίκτυπο των διαφόρων παραγόντων στην κατανάλωση βενζίνης και σε αυτήν την περίπτωση να κατανοήσουν καλύτερα τη συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης βενζίνης και της χρήσης των δημόσιων μεταφορών στην περιοχή της Κόλπου του Σαν Φρανσίσκο.

Αναλύοντας τα δεδομένα, οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι υπάρχει σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης βενζίνης και του αριθμού των επιβατών στα δημόσια μέσα μεταφοράς. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι όταν η τιμή της βενζίνης αυξάνεται, ο αριθμός των επιβατών στα δημόσια μέσα μεταφοράς αυξάνεται επίσης. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι άνθρωποι που αρχικά χρησιμοποιούσαν το αυτοκίνητό τους, μεταβαίνουν στη **χρήση των δημόσιων μέσων μεταφοράς όταν η τιμή της βενζίνης είναι υψηλή**.

Η ίδια μελέτη υποστηρίζει την ιδέα ότι η τιμή της βενζίνης επηρεάζει τη συμπεριφορά των οδηγών και την επιλογή τους σχετικά με το πώς θα μετακινηθούν. Επιπλέον, υπογραμμίζεται η σημασία της προσφοράς αποδοτικών δημόσιων μεταφορών, που μπορούν να προσφέρουν μια εναλλακτική λύση στη χρήση του αυτοκινήτου, όταν η τιμή της βενζίνης είναι υψηλή. Συνολικά, η μελέτη αυτή δείχνει ότι η **τιμή της βενζίνης έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συμπεριφορά των οδηγών** και τη χρήση των δημόσιων μέσων μεταφοράς.

Μια σχετική μελέτη εξετάζει τη σχέση ανάμεσα στην τιμή της βενζίνης και τη συμπεριφορά των οδηγών είναι η μελέτη **Driving Behavior and the Price of Gasoline: Evidence from Fueling – Level Micro Data** (Kenneth Gillingham & Matthew Kotchen, 2010) δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Οικονομική Επιστήμη. Η μελέτη αυτή αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία που συνδυάζει πειραματικές και παρατηρησιακές προσεγγίσεις. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές συγκέντρωσαν δεδομένα σε επίπεδο καύσιμου που παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για την κατανάλωση βενζίνης και τις συναλλαγές των οδηγών κατά την εννεάμηνη περίοδο της έρευνας.

Στη συνέχεια, χρησιμοποίησαν αυτά τα δεδομένα για να εξετάσουν τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και της συμπεριφοράς του οδηγού. Η μέθοδος που χρησιμοποίησαν για αυτό τον σκοπό είναι η **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression), που επιτρέπει την ανάλυση της επίδρασης της τιμής της βενζίνης σε διάφορες

πτυχές της οδηγικής συμπεριφοράς, όπως η απόσταση που διανύουν οι οδηγοί, οι ταχύτητες, και η οικονομία καυσίμων. Συνολικά, η έρευνα συνδυάζει τη χρήση λεπτομερών δεδομένων καυσίμου με την ανάλυση μέσω πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για να εξετάσει τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και της συμπεριφοράς του οδηγού σε λεπτομερές επίπεδο.

Στη παραπάνω μελέτη, οι συγγραφείς αναλύουν μια μεγάλη βάση δεδομένων που περιλαμβάνει πληροφορίες για τον **όγκο** (δηλαδή τα λίτρα) **της βενζίνης** που αγοράζουν οι καταναλωτές στο σταθμό καυσίμων. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, οι ερευνητές εξετάζουν το πώς αλλάζει η συμπεριφορά των οδηγών όταν αλλάζει η τιμή της βενζίνης. Η έρευνα εστιάζει στη συμπεριφορά των οδηγών στο Οχάιο και το Κεντάκι των ΗΠΑ και βασίζεται σε δεδομένα που συλλέχθηκαν για πάνω από 125.000 στάσεις σε πρατήρια καυσίμων μεταξύ των ετών 2008 και 2009. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την τιμή της βενζίνης, την ποσότητα καυσίμου που αγοράστηκε και την ημερομηνία και την ώρα της αγοράς.

Οι ερευνητές εντοπίζουν ότι η **αύξηση της τιμής της βενζίνης** συνδέεται σημαντικά με μια **μείωση του όγκου της βενζίνης που αγοράζουν οι οδηγοί**. Η μελέτη αναφέρει ότι η αύξηση της τιμής της βενζίνης συνδέεται στατιστικά με μείωση της ταχύτητας οδήγησης και μείωση της επιτάχυνσης και όχι με αύξηση των ατυχημάτων στο δρόμο. Επιπλέον, η ίδια αναφέρει ότι οι οδηγοί που οδηγούν οχήματα που καταναλώνουν περισσότερη βενζίνη έχουν την τάση να ανταποκρίνονται περισσότερο στις αλλαγές της τιμής της βενζίνης σε σχέση με τους οδηγούς που διατηρούν οχήματα οικονομικότερα σε κατανάλωση. Συνολικά, η μελέτη αυτή αποδεικνύει ότι η τιμή της βενζίνης επηρεάζει τη συμπεριφορά των οδηγών και οι οδηγοί έχουν την τάση να οδηγούν πιο οικονομικά όταν η τιμή της βενζίνης αυξάνεται.

Η μελέτη **Do Gasoline Prices Influence New Car Fuel Economy?** (Gillinghametal. 2014) εξετάζει τη σχέση μεταξύ των τιμών της βενζίνης και της επιλογής νέων αυτοκινήτων με υψηλότερη οικονομία καυσίμου στις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι συγγραφείς χρησιμοποιούν δεδομένα από την επίσημη βάση δεδομένων του Υπουργείου Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών για να αναλύσουν τις πωλήσεις αυτοκινήτων με διαφορετικό επίπεδο κατανάλωσης καυσίμου και τις τιμές της βενζίνης σε διάφορες αγορές των Ηνωμένων Πολιτειών. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές συλλέγουν δεδομένα για την οικονομία καυσίμου νέων αυτοκινήτων και τιμές βενζίνης για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Για να αξιολογήσουν την επίδραση των τιμών της βενζίνης στην οικονομία καυσίμου των νέων αυτοκινήτων, οι ερευνητές χρησιμοποιούν πολλαπλές προσεγγίσεις όπως η **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression) και **οικονομετρικές τεχνικές**. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν την εκτίμηση του αντικτύπου των τιμών της βενζίνης στην οικονομία καυσίμου των νέων αυτοκινήτων, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες παραμέτρους που μπορεί να επηρεάζουν την οικονομία καυσίμου, όπως οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι προτιμήσεις των καταναλωτών. Συνολικά, η έρευνα συνδυάζει παρατηρησιακές μελέτες με ανάλυση δεδομένων και οικονομετρικές τεχνικές για να

εκτιμήσει το αντίκτυπο των τιμών της βενζίνης στην οικονομία καυσίμου των νέων αυτοκινήτων.

Οι ερευνητές εντοπίζουν ότι υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ των τιμών της βενζίνης και της επιλογής αυτοκινήτων με υψηλότερη οικονομία καυσίμου. Αυτό σημαίνει ότι, όταν οι τιμές της βενζίνης αυξάνονται, οι καταναλωτές είναι πιο πιθανό να αγοράσουν αυτοκίνητα με υψηλότερη οικονομία καυσίμου. Επιπλέον, οι συγγραφείς διαπιστώνουν ότι αυτή η σχέση είναι πιο έντονη για τα μικρά αυτοκίνητα και για τα αυτοκίνητα με υβριδικά συστήματα. Επιπλέον, οι ίδιοι παρατηρούν ότι η επίδραση των τιμών της βενζίνης στην επιλογή του αυτοκινήτου είναι διαφορετική ανάλογα με την οικονομική κατάσταση του ατόμου. Άνθρωποι με χαμηλότερο εισόδημα και χαμηλότερη εκπαίδευση είναι λιγότερο πιθανό να επιλέξουν αυτοκίνητα με υψηλότερη οικονομία καυσίμου ανεξάρτητα από τις τιμές της βενζίνης.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έχουν σημαντικές πρακτικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η αύξηση των τιμών της βενζίνης ενθαρρύνει τους καταναλωτές να αγοράσουν αυτοκίνητα με υψηλότερη οικονομία καυσίμου και να μειώσουν έτσι τη ζήτηση για τα πιο περιβαλλοντικά ανεπιθύμητα αυτοκίνητα. Επιπλέον, αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων για να αναπτύξουν αυτοκίνητα με υψηλότερη οικονομία καυσίμου που θα είναι και πιο ανταγωνιστικά στην αγορά.

Η μελέτη **Fuel Prices and Driving Behavior: Evidence from Traffic Fatalities in the United States** (Chi, G., & Wang, Y., 2017) εξετάζει τη σχέση μεταξύ των τιμών της αμόλυβδης βενζίνης και του αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων στις ΗΠΑ. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν δεδομένα από το Εθνικό Κέντρο Στατιστικών Οχημάτων και Οδικής Ασφάλειας (NHTSA) για τα θανατηφόρα ατυχήματα στις ΗΠΑ κατά την περίοδο 1994-2012 και δεδομένα για τις τιμές της βενζίνης. Η μελέτη αυτή αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία που συνδυάζει παρατηρησιακές μελέτες και ανάλυση πάνελ δεδομένων.

Οι ερευνητές συλλέγουν δεδομένα για την τιμή των καυσίμων και τα ατυχήματα κυκλοφορίας στις Ηνωμένες Πολιτείες για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έπειτα, χρησιμοποιούν **μοντέλα πάνελ δεδομένων** για να αναλύσουν τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής των καυσίμων και των ατυχημάτων κυκλοφορίας. Η ανάλυση πάνελ δεδομένων επιτρέπει την εξέταση των ατομικών διαφορών και των αλλαγών που συμβαίνουν με την πάροδο του χρόνου. Οι ερευνητές μπορούν να ελέγξουν για διάφορες παραμέτρους που μπορεί να επηρεάζουν τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών των καυσίμων και των ατυχημάτων, όπως η οικονομική κατάσταση, οι πολιτικές ασφάλειας οδήγας και άλλοι παράγοντες. Συνολικά, η έρευνα συνδυάζει παρατηρησιακές μελέτες με ανάλυση πάνελ δεδομένων για να εξετάσει τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής των καυσίμων και των ατυχημάτων κυκλοφορίας στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Οι ερευνητές ανακαλύπτουν πως υπάρχει **στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των τιμών της βενζίνης και του αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων**. Συγκεκριμένα,

με την αύξηση της τιμής της βενζίνης, οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν λιγότερο και να οδηγούν πιο προσεκτικά, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο αριθμός των ατυχημάτων καθώς μειώνεται ο συνολικός αριθμός αυτοκινήτων στο δρόμο.

Μια παρόμοια έρευνα **Gasoline Prices and Traffic Safety in Mississippi** (Liu, C., & Nayga Jr, R. M., 2014), εξετάζει τη σχέση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και των ατυχημάτων στο ηρεμότερο κράτος των ΗΠΑ, τον Μισισσιπή. Η μελέτη αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία που συνδυάζει παρατηρησιακές μελέτες και ανάλυση πάνελ δεδομένων.

Αρχικά, οι ερευνητές συγκέντρωσαν δεδομένα σχετικά με την τιμή της βενζίνης και τα ατυχήματα κυκλοφορίας στην πολιτεία του Μισισσιπή των Ηνωμένων Πολιτειών για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έπειτα, χρησιμοποίησαν την **ανάλυση πάνελ δεδομένων** για να εξετάσουν τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και της ασφάλειας της κυκλοφορίας. Η ανάλυση πάνελ δεδομένων επιτρέπει την αναλυτική αξιολόγηση της επίδρασης της τιμής της βενζίνης στην ασφάλεια της κυκλοφορίας στην πολιτεία του Μισισσιπή. Μέσω αυτής της μεθόδου, μπορούν να εξεταστούν οι αλλαγές στη συμπεριφορά των οδηγών και οι επιδράσεις στην ασφάλεια κυκλοφορίας σε σχέση με τις αλλαγές της τιμής της βενζίνης. Συνολικά, η έρευνα συνδυάζει παρατηρησιακές μελέτες με ανάλυση πάνελ δεδομένων για να εξετάσει τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και της ασφάλειας της κυκλοφορίας στο Μισισσιπή.

Οι αναλύσεις των ερευνητών αποκάλυψαν μια αρνητική σχέση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και των ατυχημάτων, συμπεραίνοντας ότι **όταν οι τιμές της βενζίνης αυξάνονται, οι άνθρωποι οδηγούν λιγότερο και πιο προσεκτικά**. Επιπλέον, οι ερευνητές παρατήρησαν μια πιο έντονη συσχέτιση μεταξύ των τιμών της βενζίνης και των ατυχημάτων στις αγροτικές περιοχές του Μισισσιπή. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στο γεγονός ότι οι οδηγοί στις αγροτικές περιοχές έχουν την τάση να οδηγούν για μεγαλύτερες αποστάσεις και χρειάζονται τα αυτοκίνητά τους για τις καθημερινές δραστηριότητές τους, ενώ στις αστικές περιοχές υπάρχουν περισσότερες εναλλακτικές επιλογές μεταφοράς και πιο συχνές δημόσιες συγκοινωνίες.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας έχουν σημαντικές πρακτικές επιπτώσεις για την πολιτική ασφαλείας των οδικών μεταφορών. Συγκεκριμένα, οι **υψηλότερες τιμές βενζίνης σχετίζονται με μείωση του αριθμού των ατυχημάτων**, ενώ αντίστοιχα οι χαμηλότερες τιμές σχετίζονται με την αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων. Επιπλέον, η έρευνα αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της απόκτησης και της χρήσης αυτοκινήτων με υψηλή οικονομία καυσίμου. Αν και αυτό δεν εξετάζεται απευθείας στη μελέτη, μπορούμε να υποθέσουμε ότι αυτοκίνητα με υψηλή οικονομία καυσίμου θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη μείωση των ατυχημάτων, καθώς θα μειωνόταν η ανάγκη για συχνότερες επισκέψεις στους σταθμούς βενζίνης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η έρευνα δεν αποδεικνύει αιτιολογική σχέση μεταξύ της τιμής της βενζίνης και των ατυχημάτων. Αντίθετα, πρόκειται για μια συσχετιστική ανάλυση, η οποία δείχνει απλώς ότι υπάρχει στατιστική συσχέτιση μεταξύ

των δύο μεταβλητών. Άλλες μεταβλητές, όπως η κατανάλωση αλκοόλ και η χρήση καθοδηγούμενων οχημάτων.

Παρόλα αυτά, η μελέτη αυτή αναδεικνύει τη σημασία της αύξησης της ευαισθητοποίησης σχετικά με τη συνέπεια των τιμών της βενζίνης στην οδική ασφάλεια. Η κατανόηση των συνεπειών αυτής της σχέσης μπορεί να βοηθήσει τους πολιτικούς και τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να αναπτύξουν πιο αποτελεσματικές πολιτικές και προϊόντα που θα βοηθήσουν στη μείωση των ατυχημάτων στους δρόμους.

Στο άρθρο **Gasoline Prices, Traffic Congestion, and Car Accidents** (Faccio, M., & Zingales, L., 2009) που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *Journal of Law and Economics*, οι συγγραφείς μελετούν τη σχέση μεταξύ των τιμών της βενζίνης, της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των ατυχημάτων στο δρόμο.

Αρχικά, οι ερευνητές συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την τιμή της βενζίνης, την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα ατυχήματα αυτοκινήτων. Έπειτα, χρησιμοποιούν την **ανάλυση πάνελ δεδομένων** για να εξετάσουν τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής της βενζίνης, της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των ατυχημάτων αυτοκινήτων. Η ανάλυση πάνελ δεδομένων επιτρέπει την εξέταση των συσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών που παρατηρούνται για τις ίδιες μονάδες μεταβλητότητας σε διάφορες χρονικές περιόδους. Μέσω αυτής της μεθόδου, μπορεί να εξεταστεί η επίδραση της τιμής της βενζίνης και της κυκλοφοριακής συμφόρησης στα ατυχήματα αυτοκινήτων. Επιπλέον, η μέθοδος ανάλυσης πάνελ δεδομένων επιτρέπει τον έλεγχο παραμέτρων και μεταβλητών που μπορεί να επηρεάζουν τις αναλύσεις, όπως η οικονομική κατάσταση, η πολιτική ρύθμιση και άλλοι παράγοντες.

Οι μελετητές Faccio και Zingales αναλύουν τα δεδομένα από 150 μητροπολιτικές περιοχές των ΗΠΑ για την περίοδο 1999-2008 και αποδεικνύουν ότι η αύξηση της τιμής της βενζίνης έχει θετικό αντίκτυπο στην ασφάλεια των οδηγών. Συγκεκριμένα, η έρευνα αποκαλύπτει πως όταν η **τιμή της βενζίνης αυξάνεται, οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν λιγότερο** και με περισσότερη ασφάλεια. Τα δεδομένα από την πόλη του Σικάγο εξάγουν το συμπέρασμα πως όταν οι τιμές της βενζίνης αυξάνονται, οι οδηγοί κινούνται λιγότερο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα ατυχήματα στις οδούς. Ταυτόχρονα, όταν οι τιμές της βενζίνης είναι χαμηλές, οι οδηγοί κινούνται περισσότερο, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι καθυστερήσεις αυξάνονται και τα ατυχήματα σημειώνουν αισθητή αύξηση.

## 2.3 Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, η παγκόσμια βιβλιογραφία εμπεριέχει πολλές αναφορές στην επιρροή της τιμής του καυσίμου στην συμπεριφορά των οδηγών γενικότερα, είτε μεταφράζοντας το ως επιθετικότητα ή όχι στην οδήγηση, είτε ως επιλογή ή όχι οικονομικού σε κατανάλωση καυσίμου οχήματος, είτε σε αύξηση ή μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων.

Στην πλειοψηφία των παραπάνω αναλύσεων προκύπτει ότι κατά την αύξηση της τιμής της αμόλυβδης βενζίνης οι οδηγοί τείνουν να προσπαθούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου με αποτέλεσμα η **οδήγηση** να είναι πιο **ομαλή** άρα και πιο **ασφαλής**. Η οδήγηση με μειωμένη ταχύτητα και λιγότερες επιταχύνσεις και πεδησεις έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής ρύπων. Ταυτόχρονα, η οδήγηση με πιο οικονομικό τρόπο μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια στον δρόμο και να μειώσει τον κίνδυνο ατυχημάτων, καθώς η ομαλή οδήγηση είναι πιο προβλέψιμη και ανταποκρίνεται καλύτερα στις αλλαγές της κυκλοφορίας και των συνθηκών του δρόμου.

Επίσης, κάποιες από τις έρευνες έδειξαν ότι οι οδηγοί πολλές φορές επιλέγουν να μετακινηθούν με την **δημόσια συγκοινωνία**. Οι υψηλές τιμές της βενζίνης μπορούν να επηρεάσουν τις ατομικές αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο μετακίνησης. Πολλοί οδηγοί μπορούν να επιλέξουν να χρησιμοποιήσουν τη δημόσια συγκοινωνία προκειμένου να αποφύγουν να οδηγήσουν το δικό τους αυτοκίνητο, καθώς είναι πιο οικονομικό. Το γεγονός αυτό μπορεί να μειώσει την κυκλοφορία στους δρόμους και να βελτιώσει την ποιότητα ζωής στις πόλεις. Επομένως, θα μπορούσε οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης για βενζίνη με αποτέλεσμα να μειωθεί και η πίεση στις τιμές τους.

Τέλος, τα συμπεράσματα των μελετών απέδειξαν πως, πολλές φορές, η αύξηση της τιμής του καυσίμου οδηγεί τους καταναλωτές στην **αγορά αυτοκινήτων με χαμηλή κατανάλωση καύσιμου**, με στόχο την μείωση του κόστους οδήγησης. Κατά αυτόν τον τρόπο οι κατασκευαστές αυτοκινήτων αναπτύσσουν καινοτόμες τεχνολογίες για την βελτίωση της απόδοσης των κινητήρων και την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις ενδέχεται να επιβάλουν υψηλότερους φόρους στα αυτοκίνητα που έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου, γεγονός που, επίσης, μπορεί να κατευθύνει τους καταναλωτές στην επιλογή οικονομικότερων αυτοκινήτων. Η παρούσα πολιτική δύναται να συνδράμει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Ωστόσο, οι οδηγοί οφείλουν να συνειδητοποιούν ότι **η οδήγηση με πιο οικονομικό τρόπο δεν σημαίνει απαραίτητα ότι θα πρέπει να οδηγούν με αργό ρυθμό** ή να καθυστερούν την κυκλοφορία. Η εξοικονόμηση καυσίμων και η μείωση των εκπομπών αερίων μπορούν να επιτευχθούν με την υιοθέτηση αποδοτικών οδηγητικών τεχνικών, όπως η ομαλή επιτάχυνση και αποτελεσματική χρήση των φρένων. Η σωστή σήμανση και η προβλεπόμενη οδήγηση συμβάλλουν επίσης στην ασφαλή και ομαλή ροή της κυκλοφορίας, προσφέροντας και σε άλλους οδηγούς τη δυνατότητα να κινούνται αποτελεσματικά. Έτσι, ο συνετός οδηγός μπορεί να επιτύχει έναν ισορροπημένο συνδυασμό ανεξάρτητης μετακίνησης, οικονομίας καυσίμων και ασφάλειας στον δρόμο.

Συνολικά, η αύξηση της τιμής της αμόλυβδης βενζίνης μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην οδήγηση, όχι μόνο από οικονομικής άποψης, αλλά και από την πλευρά της **ασφάλειας και της προστασίας του περιβάλλοντος**. Όταν οι τιμές της βενζίνης αυξάνονται, οι οδηγοί γίνονται πιο επιθετικοί στην αναζήτηση τρόπων για να εξοικονομήσουν καύσιμα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ταχύτητας, της



επιτάχυνσης και της ακανθώδους οδήγησης, που επηρεάζουν θετικά την ασφάλεια στον δρόμο. Επιπλέον, η αυξημένη τιμή της βενζίνης μπορεί να ενθαρρύνει τη χρήση δημόσιων μέσων μεταφοράς ή εναλλακτικών πιο οικολογικών μέσων μετακίνησης, μειώνοντας έτσι την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τις εκπομπές αερίων. Αυτή η αλλαγή συμπεριφοράς στην οδήγηση μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα οφέλη για την ποιότητα του αέρα και το περιβάλλον, συμβάλλοντας στην αειφόρο ανάπτυξη και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις. Επιπλέον, η αυξημένη ευαισθητοποίηση στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος και η αναγνώριση των κλιματικών αλλαγών έχουν οδηγήσει σε περισσότερες προσπάθειες για την εξοικονόμηση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Έτσι, η αύξηση της τιμής της βενζίνης μπορεί να λειτουργήσει ως κίνητρο για την υιοθέτηση πιο βιώσιμων μορφών μετακίνησης, όπως η χρήση ποδηλάτων, το περπάτημα ή ακόμη και η κοινή χρήση αυτοκινήτων. Με αυτόν τον τρόπο, οι οδηγοί μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από τη βενζίνη και την προώθηση πιο βιώσιμων και ασφαλών μεθόδων μετακίνησης.

### 3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

#### 3.1 Βασικές έννοιες Στατιστικής

Η στατιστική είναι ένας κλάδος των μαθηματικών που ασχολείται με τη συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων. Οι στατιστικές αναλύσεις έχουν συμβάλει στην ανθρωπότητα σε πολλούς τομείς της ζωής. Ορισμένοι από αυτούς είναι η υγεία, η οικονομία, η προστασία του περιβάλλοντος κλπ. Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάστηκε για την ανάλυση των δεδομένων.

Στη στατιστική, ο όρος **πληθυσμός** αναφέρεται σε ένα σύνολο ατόμων, αντικειμένων, γεγονότων ή οποιουδήποτε άλλου στοιχείου που ενδιαφέρει έναν ερευνητή ή αναλυτή. Ο πληθυσμός μπορεί να είναι μια πεπερασμένη ή απεριόριστη οντότητα και η ανάλυσή του μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με τον σκοπό της έρευνας. Ο πληθυσμός συνήθως διαιρείται σε υποσύνολα που αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές ομάδες ή χαρακτηριστικά που εξετάζονται. Με τη χρήση στατιστικών μεθόδων, μπορούμε να κατανοήσουμε και να εξάγουμε συμπεράσματα για τις ιδιότητες του πληθυσμού, όπως η κατανομή του, οι μέσες τιμές του, οι διακυμάνσεις του και άλλες παραμέτρους που μπορούν να παράσχουν σημαντικές πληροφορίες για το αντικείμενο που μελετούμε.

Ο όρος **δείγμα** αποτελεί ένα υποσύνολο του πληθυσμού που επιθυμούμε να μελετήσουμε. Συχνά, είναι πολύ δύσκολο ή ακόμη και αδύνατο να μελετήσουμε ολόκληρο τον πληθυσμό, ο οποίος μπορεί να αποτελείται από μεγάλους αριθμούς αντικειμένων ή ανθρώπων. Συνεπώς, επιλέγουμε ένα δείγμα, που είναι μία μικρότερη αναπαράσταση του πληθυσμού, προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα για το σύνολο του πληθυσμού.

Η έννοια **μεταβλητή** αναφέρεται σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό ή στοιχείο που μπορεί να μεταβληθεί ή να διαφέρει μεταξύ των αντικειμένων ή των ατόμων που μελετάμε σε μια έρευνα ή μια ανάλυση δεδομένων. Το παραπάνω δύναται να είναι οτιδήποτε από το φύλλο και η ηλικία ενός ανθρώπου, η οδηγική του συμπεριφορά ή ακόμη και η ηλικία του αυτοκινήτου.

Οι μεταβλητές στη στατιστική χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις **ποσοτικές μεταβλητές** (quantitative variables) και τις **ποιοτικές μεταβλητές** (qualitative variables). Οι ποσοτικές μεταβλητές μετρούνται με αριθμητικές τιμές και χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, τις συνεχείς και τις διακριτές. Οι ποιοτικές μεταβλητές, αντίθετα, δεν μετρούνται με αριθμούς, αλλά κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικές κατηγορίες, όπως το φύλο ή μάρκα αυτοκινήτου ενός οδηγού. Οι μεταβλητές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το ποιο μέγεθος ή ιδιότητα για κάθε στοιχείο του δείγματος εκφράζουν, διαχωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι **κατηγορικές μεταβλητές** αναφέρονται στη διαίρεση ενός δείγματος σε διακριτές κατηγορίες ή ομάδες βάσει κάποιων χαρακτηριστικών. Οι κατηγορικές μεταβλητές διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις **ονομαστικές** (nominal) και τις μεταβλητές **διάταξης** (ordinal). Οι ονομαστικές μεταβλητές αναφέρονται σε κατηγορίες που δεν έχουν

συγκεκριμένη διάταξη ή σειρά. Δείγματα ονομαστικών μεταβλητών είναι για παράδειγμα το είδος καυσίμου ενός οχήματος (αμόλυβδη βενζίνη ή πετρέλαιο) ή ο τύπος του οχήματος. Οι μεταβλητές διάταξης αναφέρονται σε κατηγορίες που έχουν συγκεκριμένη σειρά ή διάταξη. Δείγματα μεταβλητών διάταξης είναι ιεράρχηση της ταχύτητας σε «χαμηλή», «μέση» και «υψηλή» ή κατανάλωση καυσίμου ομοίως. Οι κατηγορικές μεταβλητές είναι σημαντικές στη στατιστική, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή και τον χαρακτηρισμό ενός δείγματος. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών και για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του δείγματος.

Η **μέση τιμή** (mean) και η διασπορά (variance) είναι δύο από τα βασικότερα μέτρα κεντρικής τάσης και διακύμανσης αντίστοιχα στη στατιστική. Η μέση τιμή είναι το αριθμητικό μέσο ενός συνόλου αριθμών και υπολογίζεται ως το άθροισμα των αριθμών διαιρεμένο με το πλήθος τους. Δηλαδή, αν έχουμε ένα σύνολο αριθμών  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , η μέση τιμή τους εκφράζεται ως:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Η **διασπορά** είναι ένα μέτρο που δείχνει πόσο διαφορετικές είναι οι τιμές ενός συνόλου από τη μέση τιμή τους. Υπολογίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών από τη μέση τιμή τους, διαιρεμένο με το πλήθος των τιμών στο σύνολο. Αν έχουμε ένα σύνολο αριθμών  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  με μέση τιμή  $\bar{x}$ , η διασπορά τους θα είναι:  $[(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2] / n$ .

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Η **τυπική απόκλιση** είναι μια μέτρηση της διακύμανσης των δεδομένων μιας μεταβλητής σε ένα δείγμα ή πληθυσμό. Αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των τιμών της μεταβλητής και της μέσης τιμής της μεταβλητής. Η τυπική απόκλιση εκφράζεται ως:

$$s = \sqrt{s^2} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Με απλά λόγια θα λέγαμε πως η τυπική απόκλιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσει πόσο μακριά από τη μέση τιμή βρίσκονται οι τιμές της μεταβλητής σε ένα σύνολο δεδομένων.

### 3.2 Συντελεστής συσχέτισης μεταβλητών

Για να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ δύο ανεξάρτητων μεταβλητών στη στατιστική, χρησιμοποιείται ο **συντελεστής συσχέτισης**  $r$  του Pearson. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται ως μέτρο της σταθερότητας της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών και είναι μια τιμή από -1 έως 1.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Ένας συντελεστής συσχέτισης ίσος με 1 υποδηλώνει πως υπάρχει πλήρης θετική συσχέτιση ενώ αντίθετα το -1 υποδηλώνει πως υπάρχει πλήρης αρνητική συσχέτιση. Για  $r=0$  υποδηλώνει την απουσία γραμμικής συσχέτισης. Η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών δεν μας δείχνει απαραίτητα μια σχέση μεταξύ τους. Δηλαδή, δεν μπορούμε να συμπεράνουμε πως αν υπάρξει μια αύξηση στη μία μεταβλητή προκαλεί αύξηση και στην άλλη. Μόνο επειδή δύο μεταβλητές είναι συσχετισμένες δεν σημαίνει ότι η μία είναι η αιτία και η άλλη το αποτέλεσμα. Αντίθετα, αυτό που παρατηρούμε είναι μια συνάφεια μεταξύ των μεταβλητών, που μπορεί να οφείλεται σε άλλους παράγοντες ή αιτίες που δεν έχουν ανακαλυφθεί ακόμη.

### 3.3 Κανονική Κατανομή

Η **κανονική κατανομή** (ή κατανομή Gauss) είναι μια συχνά χρησιμοποιούμενη στατιστική κατανομή που περιγράφει μια συμμετρική καμπύλη με μέση τιμή (ή αναμενόμενη τιμή) μεταξύ των ακμών της καμπύλης και μια διασπορά που καθορίζει το πλάτος της καμπύλης. Η κανονική κατανομή έχει πολλές σημαντικές ιδιότητες που την καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμη στη στατιστική. Μερικές από αυτές τις ιδιότητες είναι η συμμετρικότητά της γύρω από τη μέση τιμή, 68% της περιοχής κάτω από την καμπύλη βρίσκεται μέσα σε μία απόσταση της τάξης της διασποράς από τη μέση τιμή, το 95% βρίσκεται μέσα σε δύο αποστάσεις της διασποράς, και το 99.7% βρίσκεται μέσα σε τρεις αποστάσεις της διασποράς. Επίσης, η συνολική περιοχή κάτω από την καμπύλη είναι ίση με 1, δηλαδή η καμπύλη καλύπτει όλο το πιθανό χώρο για μία μεταβλητή.

Η κανονική κατανομή έχει σημαντική συνάρτηση στην εφαρμογή στατιστικών τεστ, στον υπολογισμό πιθανοτήτων και στην ανάλυση δεδομένων. Πολλές φυσικές και κοινωνικές διαδικασίες, όπως ο χρόνος αναμονής σε έναν φωτεινό σηματοδότη ή οι ταχύτητες που αναπτύσσει ένα όχημα, φαίνεται να ακολουθούν κανονική κατανομή. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την κανονική κατανομή για να περιγράψουμε το πώς κατανέμονται οι τιμές μιας συνεχούς τυχαίας μεταβλητής. Αν η τυχαία μεταβλητή  $X$  ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $[\mu]$  και τυπική απόκλιση  $[\sigma]$ , τότε μπορούμε να γράψουμε  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  και να χρησιμοποιήσουμε την πυκνότητα πιθανότητας της κανονικής κατανομής για να υπολογίσουμε την πιθανότητα ενός συμβάντος σχετικά με την τιμή της μεταβλητής  $X$ . Οι παράμετροι  $[\mu]$  και  $[\sigma]$  περιγράφουν τη θέση και το εύρος της κανονικής κατανομής αντίστοιχα. Τέλος, δύναται να περιγραφεί με μαθηματικές εξισώσεις, αλλά επίσης μπορεί να παρουσιαστεί γραφικά με ένα ιστόγραμμα ή ένα διάγραμμα κατανομής πιθανοτήτων.

### 3.4 Μαθηματικά Πρότυπα

#### 3.4.1 Γραμμική Παλινδρόμηση

Η **γραμμική παλινδρόμηση** (regression analysis) είναι μια στατιστική τεχνική που χρησιμοποιείται για να εξετάσει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Στη γραμμική παλινδρόμηση, υποθέτουμε ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής (επί το πλείστον η  $Y$ ) και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων

μεταβλητών (επί το πλείστον οι  $X$ ) και προσπαθούμε να εκτιμήσουμε την ακριβή φύση αυτής της σχέσης. Η γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιείται συνήθως για να εκτιμήσει τους συντελεστές της γραμμικής σχέσης, επίσης γνωστής ως γραμμικό μοντέλο. Αυτοί οι συντελεστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευάσουν μια εξίσωση πρόβλεψης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνουμε προβλέψεις για τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, βάσει των τιμών των ανεξάρτητων.

Στη στατιστική ανάλυση, η βασική ιδέα είναι να αναπτύξουμε μαθηματικές εξισώσεις που μπορούν να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάπτυξης ενός μοντέλου εξαρτάται από το είδος της εξαρτημένης μεταβλητής (διακριτή ή συνεχή). Στην απλούστερη μορφή της, η γραμμική παλινδρόμηση περιγράφει τη σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών - μιας εξαρτημένης και μιας ανεξάρτητης - ως μια ευθεία γραμμή στον χώρο των μεταβλητών.

Η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** είναι μια ειδική περίπτωση αυτής της τεχνικής όταν υπάρχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή ( $X$ ) που επηρεάζει την εξαρτημένη μεταβλητή ( $Y$ ).

$$Y_i = a + b * X_i + \varepsilon_i$$

Οι μεταβλητές  $[a]$  και  $[b]$  αναπαριστούν τους συντελεστές της ευθείας που εκτείνεται στα δεδομένα. Η μεταβλητή  $[\varepsilon]$  αναπαριστά το σφάλμα της πρόβλεψης (regression error), δηλαδή τη διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής και της πρόβλεψης που παρέχει η ευθεία. Αφού εκτιμηθούν οι παράμετροι του μοντέλου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν τιμές της απόκρισης για νέα σημεία δεδομένων που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την εκπαίδευση του μοντέλου.

Η **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για να αναλύσει τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής ( $Y$ ) και περισσότερων από μίας ανεξάρτητες μεταβλητές ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ ). Η εξίσωση που περιγράφει αυτή τη σχέση έχει τη μορφή:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

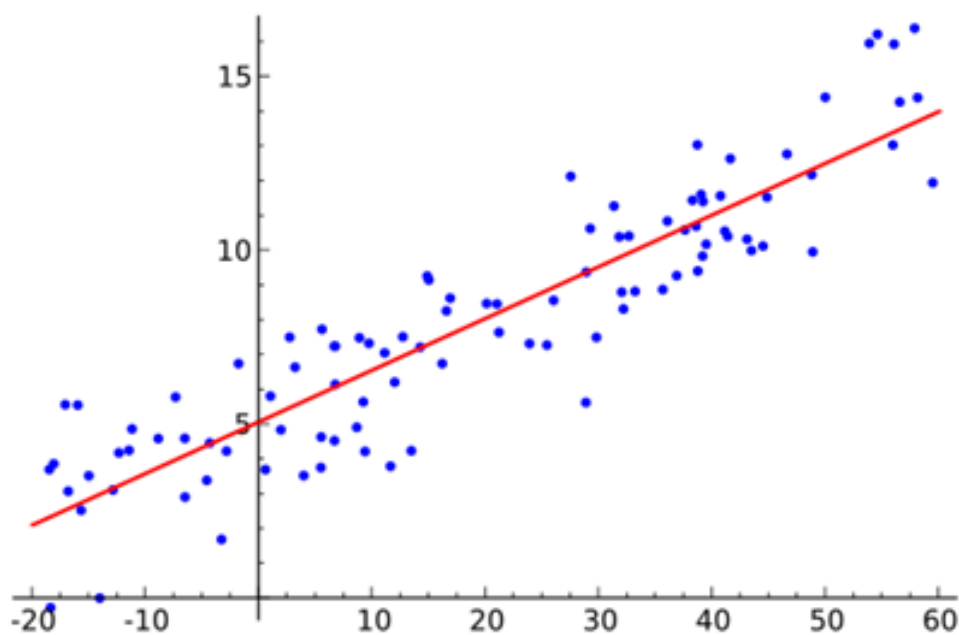
όπου  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$  είναι οι συντελεστές που υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και είναι εκτιμήσεις των πραγματικών συντελεστών που περιγράφουν τη σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές, ενώ  $[\varepsilon]$  είναι επίσης τυχαία σφάλματα που δεν μπορούν να εξηγηθούν από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων ανάμεσα στις πραγματικές τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  και τις εκτιμήσεις της που προκύπτουν από την εξίσωση παλινδρόμησης. Ο σκοπός είναι να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές των συντελεστών  $\beta_i$  έτσι ώστε η ευθεία που περνάει από τα δεδομένα να έχει το ελάχιστο άθροισμα τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων από τα σημεία. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση του σφάλματος εκτίμησης, που είναι η διαφορά μεταξύ των πραγματικών τιμών της

εξαρτημένης μεταβλητής και των τιμών που προβλέπονται από το μοντέλο. Στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η εκτίμηση της εξίσωσης που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών γίνεται με την παραπάνω εξίσωση, όπου  $[y_i]$  είναι η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής για την  $i$ -οστή παρατήρηση,  $[\beta_i]$  είναι οι συντελεστές που πρέπει να εκτιμηθούν, και  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$  είναι οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών για την  $i$ -οστή παρατήρηση.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η **αξιολόγηση του μοντέλου**. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων μετρικών απόδοσης, όπως η  $R^2$ , το οποίο καθορίζει πόσο από τη συνολική διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής εξηγείται από το μοντέλο. Άλλες μετρικές απόδοσης αποτελούν το σφάλμα τυπικής απόκλισης (standard error), το Mean Squared Error (MSE) και το Root Mean Squared Error (RMSE).

### 3.4.2 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων

Η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται με τη **μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων** (least squares method). Σύμφωνα με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, ο προσδιορισμός των συντελεστών  $\beta_i$  δίνει μια προσεγγιστική ευθεία που συνδέει τις τιμές της μεταβλητής  $Y$ , δοθέντων των τιμών της μεταβλητής  $X$ . Η ευθεία που προκύπτει ονομάζεται ευθεία παλινδρόμησης της  $Y$  πάνω στην  $X$ . Σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων  $(X,Y)$  από την ευθεία να είναι ελάχιστο. Παρακάτω δίνεται ένα ενδεικτικό Διάγραμμα της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων.



Διάγραμμα 3: : Παράδειγμα ευθείας Ελαχίστων Τετραγώνων

### 3.4.3 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** (log-normal regression) είναι μια μέθοδος που μας επιτρέπει να αναπτύξουμε ένα μοντέλο που συνδέει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Η σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και στις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι γραμμική, και οι συντελεστές του μοντέλου υπολογίζονται με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι οι τιμές στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικές, και ότι ο φυσικός λογάριθμος των ανεξάρτητων μεταβλητών ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει αυτήν τη μέθοδο είναι:

$$\log y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

όπου  $y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  είναι οι συντελεστές της παλινδρόμησης, και  $x_1, \dots, x_k$  είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Το  $\varepsilon$ , όπως και σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, είναι το σφάλμα της παλινδρόμησης.

### 3.4.4 Γενικό γραμμικό μοντέλο

Το **γενικό γραμμικό μοντέλο** (General Linear Model) αποτελεί μια επέκταση της γραμμικής πολλαπλής παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται για να αναλύσει τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και ενός ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η διαφορά μεταξύ του γενικού γραμμικού μοντέλου και της γραμμικής πολλαπλής παλινδρόμησης είναι ότι στο γενικό γραμμικό μοντέλο, μπορούν να αναλυθούν περισσότερες από μία εξαρτημένες μεταβλητές. Η μαθηματική εξίσωση που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το γενικό γραμμικό μοντέλο για μια εξαρτημένη μεταβλητή  $x_{ij}$ , όπου  $j=1,2, \dots, J$  είναι:

$$x_{ij} = g_{i1} * \beta_{1j} + g_{i2} * \beta_{2j} + \dots + g_{ik} * \beta_{kj} + e_{ij}$$

Εδώ το  $i=1,2,\dots,I$  αναφέρεται στην παρατήρηση των δεδομένων και η μεταβλητή  $e_{ij}$  αντιπροσωπεύει το σφάλμα που συνήθως υπάρχει στα δεδομένα.

Το γενικό γραμμικό μοντέλο βασίζεται στην **υπόθεση** ότι τα σφάλματα είναι ανεξάρτητα και κατανέμονται κανονικά. Οι συντελεστές  $g_{ik}$  ενδέχεται να αποτελούνται είτε από μια συμμεταβλητή ελέγχου (covariate) στην περίπτωση πολυμεταβλητού μοντέλου παλινδρόμησης, είτε από εικονικές μεταβλητές που εκφράζουν το επίπεδο ενός παράγοντα, δεδομένου του οποίου μετριέται η εξαρτημένη μεταβλητή. Κατά αυτό τον τρόπο, το γενικό γραμμικό μοντέλο επιτρέπει την ανάλυση διαφόρων εξαρτημένων μεταβλητών, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη του τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις.

### 3.4.5 Ανάλυση δεδομένων πάνελ

Η ανάλυση πάνελ δεδομένων (panel data analysis) αναφέρεται σε μια μέθοδο ανάλυσης δεδομένων που αντιμετωπίζει την παρουσία δεδομένων που παρατηρούνται για τα ίδια άτομα, εταιρείες, ή άλλες μονάδες μεταβλητότητας σε διάφορες χρονικές στιγμές.

Κατά κανόνα, έχουμε **δύο επίπεδα μεταβλητότητας** στην ανάλυση πάνελ δεδομένων: το χρονικό επίπεδο και το διασταυρούμενο (cross-sectional) επίπεδο. Σε ένα πάνελ δεδομένων, παρατηρούμε την εξέλιξη μιας ή περισσότερων μεταβλητών για κάθε μονάδα μεταβλητότητας σε διάφορες χρονικές περιόδους.

Η ανάλυση πάνελ δεδομένων επιτρέπει την εξέταση των διαφορών πτυχών της μεταβλητότητας μεταξύ μονάδων και στο χρόνο. Μπορούν να εκτιμηθούν στατιστικά μοντέλα για να ανιχνευθούν τάσεις, παραγοντικές επιδράσεις και συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών, λαμβάνοντας υπόψη τη συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων για τις ίδιες μονάδες στον χρόνο.

Η ανάλυση πάνελ δεδομένων είναι ιδιαίτερα **χρήσιμη** για την αξιολόγηση δυνητικών αιτίων και αποτελεσμάτων, τη μοντελοποίηση της δυναμικής των μεταβλητών και την εξαγωγή προγνώσεων. Επιπλέον, μπορεί να επιτρέπει την **ανίχνευση πιθανών παραμετρικών** και μη παραμετρικών επιδράσεων και να βοηθήσει στην αντιμετώπιση προβλημάτων ενδεχόμενης ενδογενούς παραμέτρου και αυτοσυσχέτισης.

### 3.5 Στατιστική Αξιολόγηση και Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου

Κάθε αναπτυσσόμενο μοντέλο, ούτως ώστε να θεωρείται αποδεκτό, είναι απαραίτητο να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του μοντέλου μετά την διαμόρφωση του, αφορούν τα πρόσημα και τις τιμές των συντελεστών  $\beta_i$  της εξίσωσης, τη στατιστική σημαντικότητα, την ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης.

#### Μη συσχέτιση ανεξάρτητων μεταβλητών

Βασική προϋπόθεση είναι η μη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών, οι οποίες πρέπει να είναι γραμμικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή να ισχύει  $\rho(x_i, x_j) \rightarrow 0$  για κάθε  $i \neq j$ . Διαφορετικά δεν είναι δυνατή η εξακρίβωση της επιρροής της κάθε μεταβλητής στο αποτέλεσμα, καθώς εμφανίζονται προβλήματα μεροληψίας και επάρκειας.

#### Λογική ερμηνεία πρόσημων

Σημαντικό κριτήριο αποδοχής ενός μοντέλου μετά τη διαμόρφωσή του είναι οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης  $\beta_i$ . Πρέπει, φυσικά, να υπάρχει λογική ερμηνεία των πρόσημων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή υποδηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής παράλληλα με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, το αρνητικό πρόσημο επιφέρει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής ( $x_i$ ) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά  $\beta_i$  μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

#### Στατιστική σημαντικότητα



Πραγματοποιούνται πρώτα οι έλεγχοι των σταθερών επιδράσεων (test of fixeffects) για καθεμία από τις σταθερές επιδράσεις που ορίζονται στο μοντέλο. Πρόκειται για έναν έλεγχο τύπου ANOVA. Προκειμένου να γίνει αποδεκτό ότι οι μεταβλητές συμβάλλουν σημαντικά στο μοντέλο θα πρέπει η τιμή σημαντικότητας (significance value) να είναι  $\text{sig} \leq 0,05$ . Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή είναι στατιστικά σημαντική για το 95% τουλάχιστον των περιπτώσεων.

Η στατιστική αξιολόγηση των παραμέτρων των μεταβλητών πραγματοποιείται μέσω του ελέγχου t-test (κριτήριο κατανομής Student). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να διαπιστωθεί εάν οι παράμετροι που υπολογίστηκαν, διαφέρουν σημαντικά από το 0. Προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών και καθορίζεται ποιες από αυτές θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής t εκφράζεται από τη σχέση:

$$t_{stat} = \frac{\beta_i}{s.e.}$$

όπου s.e.: το τυπικό σφάλμα των σταθερών παραμέτρων.

Βάσει της παραπάνω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται η τιμή του  $t_{stat}$  και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του  $t_{stat}$  τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές του  $t_{stat}$  για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης:

Πίνακας 2: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t

| Βαθμός<br>Ελευθερίας | Επίπεδο εμπιστοσύνης |       |       |       |       |
|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 0,90                 | 0,95  | 0,975 | 0,99  | 0,995 |
| 80                   | 1,296                | 1,671 | 2,000 | 2,390 | 2,660 |
| 120                  | 1,289                | 1,658 | 1,980 | 2,358 | 2,617 |
| $\infty$             | 1,282                | 1,645 | 1,960 | 2,326 | 2,576 |

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα για ένα δείγμα περί τα 80 και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι  $t^* = 1,671$  και για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι  $t^* = 1,3$ . Έτσι, για παράδειγμα μία μεταβλητή με  $t^* = -3,8$ , έχει απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από το 1,671 και επομένως είναι αποδεκτή και στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

Συντελεστής προσαρμογής  $R^2$

Μετά τον έλεγχο στατιστικής εμπιστοσύνης εξετάζεται η **ποιότητα** του μοντέλου, η οποία καθορίζεται με βάση το συντελεστή προσαρμογής. Ο συντελεστής  $R^2$  χρησιμοποιείται ως

κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από την σχέση:  $R^2 = \frac{SSR}{SST}$ , όπου:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 = \beta^2 * \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Τα αρχικά **SSR** και **SST** έχουν προέλθει από τις φράσεις υπόλοιπο άθροισμα τετραγώνων (Residual Sum of Squares) και συνολικό άθροισμα τετραγώνων (Total Sum of Squares), αντίστοιχα. Με  $\hat{y}$  συμβολίζεται η προβλεπόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής από τις ανεξάρτητες. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από την μεταβλητή X. Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Καθίσταται σαφές ότι όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R<sup>2</sup> στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X. Ο συντελεστής R<sup>2</sup> έχει συγκριτική αξία, κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του που είναι αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή R<sup>2</sup>. Τέλος, ο συντελεστής R<sup>2</sup> μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το X παίρνει καθορισμένες τιμές ή αν είναι τυχαία μεταβλητή.

### Ελαστικότητα

Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μίας εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η 1% μεταβολή της ανεξάρτητης.

Η ελαστικότητα για γραμμικά μοντέλα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$e_i = \left( \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) * \left( \frac{X_i}{Y_i} \right) = \beta_i * \left( \frac{X_i}{Y_i} \right)$$

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται αποκλειστικά σε **συνεχείς** μεταβλητές. Για **διακριτές** μεταβλητές χρησιμοποιείται η **έννοια της ψευδοελαστικότητας**, η οποία περιγράφει τη μεταβολή στην τιμή της πιθανότητας επιλογής κατά τη μετάβαση από τη μια τιμή της διακριτής μεταβλητής στην άλλη. Η σχέση που υπολογίζει την τιμή της ψευδοελαστικότητας για διακριτές μεταβλητές είναι η παρακάτω:

$$E_{x_{ink}}^{P_i} = e^{\beta_{ik}} \frac{\sum_{i=1}^I e^{\beta_i x_n}}{\sum_{i=1}^I e^{\Delta(\beta_i x_n)}} - 1$$

όπου:

$I$ : το πλήθος των πιθανών επιλογών

$x_{ink}$ : η τιμή της μεταβλητής  $k$  για την εναλλακτική  $i$  του ατόμου  $n$

$\Delta(\beta_i x_{in})$ : η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της  $x_{nk}$  έχει μεταβληθεί από 0 σε 1

$\beta_i x_{in}$ : η αντίστοιχη τιμή όταν η  $x_{nk}$  έχει την τιμή 0

$\beta_{ik}$ : η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής  $x_{nk}$

## 4. Συλλογή και Επεξεργασία δεδομένων

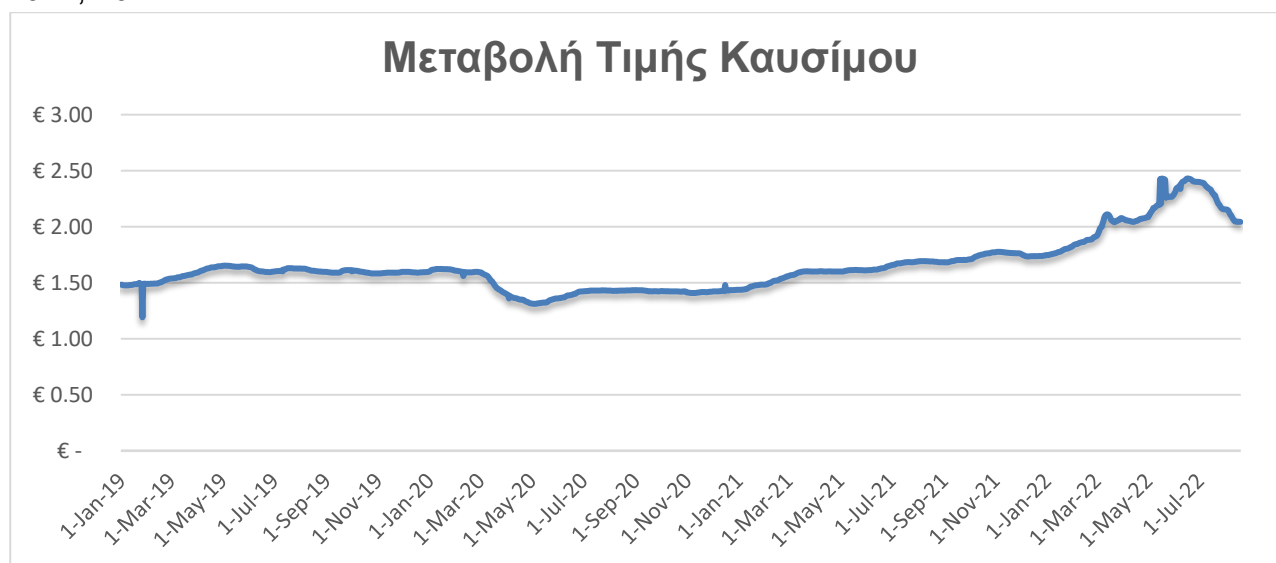
### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος που συλλέχθηκαν τα δεδομένα και έπειτα πως αυτά επεξεργάστηκαν. Συγκεκριμένα, η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται ακολουθώντας ορισμένες **βασικές αρχές**. Πρώτα από όλα, η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται από κατάλληλες πηγές. Οι πηγές αυτές πρέπει να είναι αξιόπιστες και οι μετρήσεις να έχουν γίνει μεθοδικά και με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού. Έπεται, η εκκαθάριση των δεδομένων από πιθανά σφάλματα και ανωμαλίες. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τον έλεγχο για λανθασμένες ή κενές τιμές, καθώς και τη διόρθωσή τους όταν είναι αναγκαίο. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η μετατροπή των δεδομένων σε κατάλληλη μορφή για την ανάλυση. Αυτό περιλαμβάνει τη μετατροπή των μεταβλητών σε αριθμητική μορφή, τη δημιουργία νέων μεταβλητών, την αποκατάσταση των λανθασμένων τιμών και τη δημιουργία ενός συνόλου μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη στατιστική ανάλυση. Πλέον, καθίσταται εφικτή η ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση κατάλληλων στατιστικών μεθόδων.

### 4.2 Συλλογή δεδομένων

#### 4.2.1 Δεδομένα τιμής Καυσίμου

Δεδομένου ότι η **τιμή του καυσίμου** μεταβάλλεται σχεδόν σε καθημερινή βάση ανάλογα με την περιοχή ανεφοδιασμού, προκειμένου να αναλύσουμε τις τιμές του καυσίμου, συλλέξαμε δεδομένα από το Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων του Υπουργείου Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας. Σε αυτήν την υπηρεσία, δύναται κανείς να βρει τη μέση τιμή της βενζίνης ανά νομό για κάθε μέρα του μήνα. Η υπηρεσία δημοσιεύει καθημερινά ένα έντυπο στο οποίο αναγράφεται η τιμή ανά λίτρο για κάθε καύσιμο. Για την παρούσα Εργασία χρειάστηκε να συλλέξουμε τη τιμή της βενζίνης για τα έτη 2019, 2020, 2021, 2022.



Διάγραμμα 4: Μεταβολή τις Τιμής της βενζίνης τα έτη 2019 έως 2022

#### 4.2.2 Δεδομένα συμπεριφοράς του οδηγού

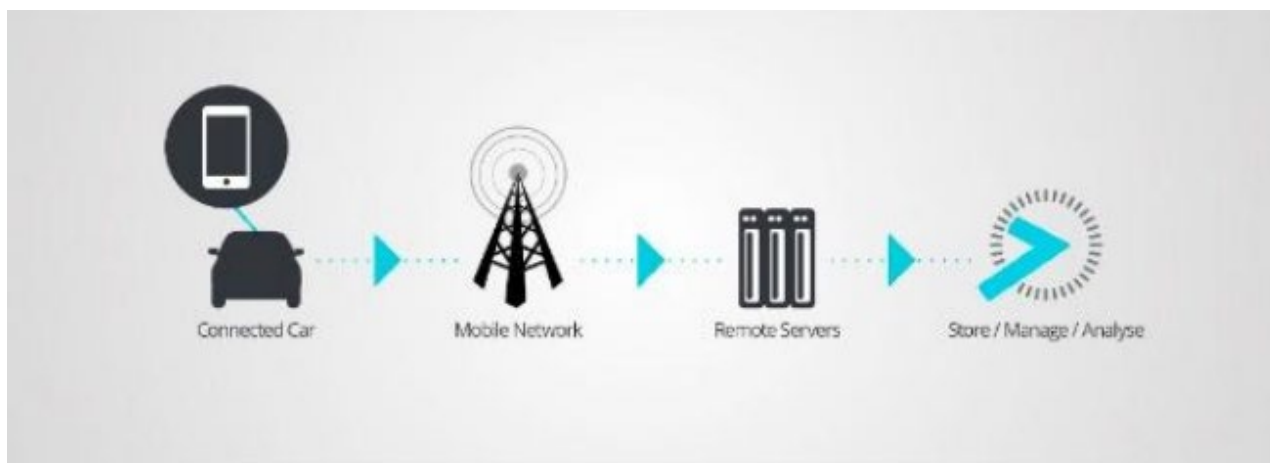
Τα **δεδομένα** συμπεριφοράς του οδηγού, στα οποία βασίστηκε η παρούσα Εργασία, συλλέχθηκαν από την εταιρία τηλεματικής OSeven Telematics (<https://oseven.io/>). Η OSeven Telematics, η οποία δημιούργησε μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου που καταγράφει και συλλέγει δεδομένα συνεχώς, χωρίς να παρεμβαίνει στην οδήγηση, και είναι ενσωματωμένη στο ταξίδι. Η ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής ξεκίνησε το 2014, και είχε ως στόχο τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων οδικής συμπεριφοράς από αληθινές οδικές συνθήκες, σε μεγάλη κλίμακα και σε πραγματικό χρόνο. Η κύρια προσδοκία από αυτήν την καινοτόμο εφαρμογή είναι η βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς και οδικής ασφάλειας.

Η **εφαρμογή** λειτουργεί μέσω των ενσωματωμένων αισθητήρων της συσκευής smartphone, δίχως τη χρήση άλλου εξοπλισμού. Προτού τα δεδομένα των αισθητήρων μεταδοθούν στην κεντρική βάση δεδομένων της εταιρίας, αξιοποιούνται πληθώρα APIs (Application Programming Interface) για την ανάγνωση και προσωρινή αποθήκευσή τους στη βάση δεδομένων του κινητού. Κάθε φορά που καταγράφεται ένα νέο ταξίδι, ακολουθείται μια τυπική διαδικασία παρουσιαζόμενη στο Διάγραμμα 6. Τα συλλεγμένα δεδομένα είναι χωροχρονικά διακεκριμένα και μόλις αποθηκευτούν στην τελική βάση δεδομένων, μετατρέπονται σε δείκτες οδικής συμπεριφοράς και ασφάλειας μέσω επεξεργασίας σημάτων, αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης, συγχώνευσης δεδομένων (datafusion) και αλγορίθμων Μαζικών Δεδομένων (Big Data algorithms). Για την καταγραφή και παραγωγή των δεικτών, οι αισθητήρες του smartphone που αξιοποιούνται περιλαμβάνουν επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο και GPS. Οι καταγραφές των δεδομένων πραγματοποιούνται στη μέγιστη ισχύ του 1Hz.



Διάγραμμα 5: Διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων από την OSevenTelematics

Για να αξιολογηθεί η ποιότητα της κάθε διαδρομής, το μοντέλο οδικής συμπεριφοράς της OSeven δημιουργεί έναν δείκτη σκορ (score) που βασίζεται σε συγκεκριμένες παραμέτρους. Αυτές οι παράμετροι αποτελούνται από score υπερβολικής ταχύτητας, score απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, score χρήσης κινητού τηλεφώνου και συνολικό score. Κάθε score έχει αξία από 0 (χειρότερο) έως 100 (καλύτερο). Το συνολικό score κάθε χρήστη υπολογίζεται με βάση τον μέσο όρο των καταγεγραμμένων διαδρομών του χρήστη σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με την απόσταση να λειτουργεί ως συντελεστής βάρους.



Διάγραμμα 6: Σύστημα ροής δεδομένων OSeven

Τα φύλλα εργασιών (trips\_2019, trips\_2020, trips\_2021, trips\_2022) περιλαμβάνουν μετρήσεις από χιλιάδες οδηγούς και αφορούσαν στις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις, την συνολική διάρκεια της διαδρομής που πραγματοποίησε κάθε ο οδηγός, την συνολική απόσταση που διένυσε, την ταχύτητα που ανέπτυξε το όχημα και την συνολική διάρκεια που οδηγός χρησιμοποιούσε το κινητό του τηλέφωνο. Οι μετρήσεις αφορούσαν στα έτη 2019, 2020, 2021, 2022, όπως και προηγούμενως.

#### 4.3 Επεξεργασία δεδομένων

Προκειμένου τα **δεδομένα** να αναλυθούν στο στατιστικό πρόγραμμα έπρεπε να κωδικοποιηθούν κατάλληλα ώστε να δημιουργηθεί η τελική βάση δεδομένων, στην οποία θα εφαρμοστούν τα μαθηματικά μοντέλα θα προκύψουν, τελικώς, τα αποτελέσματα της έρευνας.

Συγκεκριμένα, ταξινομήθηκαν σε αύξουσα ημερομηνία και χρόνο και διαχωρίστηκαν από τις μεταβλητές οι οποίες δεν θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα έρευνα. Για παράδειγμα οι μεταβλητές (total\_score, mu\_score, hb\_score, ha\_score, risky\_hours, start\_country) δεν χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3: Πρώιμη μορφή βάσης δεδομένων

| id        | duration | total_distance | total_score | speeding_score | mu_score | hb_score | ha_score | risky_hours | ha | hb | sum_speeding | av_speeding_kmh | time_mobile_usage | driving_duration | start_country_code | start_timezone |
|-----------|----------|----------------|-------------|----------------|----------|----------|----------|-------------|----|----|--------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------|
| B5AD8DAC  | 1487     | 7.273          | 89          | 100            | 100      | 95       | 96       | 7.273       | 0  | 0  | 0            | 0               | 0                 | 933              | GR                 | 1/1/2019       |
| 553F1501- | 1907     | 6.712          | 66          | 100            | 28       | 87       | 90       | 6.712       | 0  | 0  | 0            | 0               | 124               | 807              | GR                 | 1/1/2019       |
| 4787889D- | 673      | 4.722          | 64          | 100            | 46       | 69       | 53       | 4.722       | 1  | 0  | 0            | 0               | 77                | 462              | GR                 | 1/1/2019       |
| B04A7A38- | 1849     | 17.869         | 41          | 24             | 100      | 45       | 74       | 17.869      | 1  | 4  | 274          | 18.048          | 0                 | 1338             | GR                 | 1/1/2019       |
| E08C99F8- | 430      | 3.785          | 88          | 100            | 100      | 92       | 94       | 3.785       | 0  | 0  | 0            | 0               | 0                 | 366              | GR                 | 1/1/2019       |
| 6CD0F599- | 521      | 5.873          | 63          | 100            | 10       | 90       | 90       | 5.873       | 0  | 0  | 6            | 2.136           | 28                | 453              | GR                 | 1/1/2019       |
| 1DA839A5- | 997      | 7.492          | 48          | 10             | 100      | 95       | 88       | 7.492       | 1  | 0  | 74           | 11.074          | 0                 | 753              | GR                 | 1/1/2019       |
| 8A243FF7- | 2321     | 22.982         | 32          | 35             | 46       | 54       | 82       | 22.982      | 0  | 1  | 241          | 9.991           | 298               | 1736             | GR                 | 1/1/2019       |
| D7AF23A2- | 1061     | 5.296          | 89          | 100            | 100      | 94       | 94       | 5.296       | 0  | 0  | 0            | 0               | 0                 | 699              | GR                 | 1/1/2019       |
| A712F5D1- | 1264     | 10.413         | 34          | 40             | 10       | 79       | 87       | 10.413      | 0  | 0  | 9            | 12.392          | 58                | 1033             | GR                 | 1/1/2019       |
| 7E2E50AD- | 346      | 2.278          | 88          | 100            | 100      | 89       | 96       | 2.278       | 0  | 0  | 0            | 0               | 0                 | 288              | GR                 | 1/1/2019       |
| E30490B2- | 135      | 1.179          | 96          | 100            | 100      | 84       | 95       | 0           | 0  | 0  | 0            | 0               | 0                 | 115              | GR                 | 1/1/2019       |
| DAE4089B- | 302      | 4.157          | 40          | 10             | 100      | 45       | 38       | 0           | 1  | 1  | 96           | 15.021          | 0                 | 291              | GR                 | 1/1/2019       |
| 93BF3CBD- | 654      | 6.358          | 64          | 38             | 100      | 67       | 71       | 0           | 0  | 0  | 58           | 11.675          | 0                 | 612              | GR                 | 1/1/2019       |

...

|            |      |        |     |     |     |     |     |   |   |   |     |        |    |     |    |           |
|------------|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|-----|--------|----|-----|----|-----------|
| 021989F5-  | 715  | 6.291  | 68  | 22  | 100 | 99  | 95  | 0 | 0 | 0 | 89  | 4.72   | 0  | 538 | gr | 8/18/2022 |
| 83C68A40-  | 1043 | 3.213  | 67  | 100 | 31  | 82  | 77  | 0 | 1 | 1 | 0   | 0      | 50 | 472 | gr | 8/18/2022 |
| 8F52E744-  | 870  | 11.245 | 55  | 100 | 18  | 49  | 63  | 0 | 1 | 1 | 0   | 0      | 13 | 767 | gr | 8/18/2022 |
| 202A3F36-  | 301  | 2.127  | 98  | 100 | 100 | 97  | 92  | 0 | 0 | 0 | 0   | 0      | 0  | 245 | gr | 8/18/2022 |
| C1279B5B-  | 879  | 17.956 | 17  | 10  | 38  | 28  | 45  | 0 | 4 | 5 | 320 | 15.464 | 22 | 774 | gr | 8/18/2022 |
| 91125463-  | 286  | 1.679  | 91  | 100 | 100 | 60  | 92  | 0 | 0 | 1 | 0   | 0      | 0  | 203 | gr | 8/18/2022 |
| 001874F5-  | 185  | 1.439  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0   | 0      | 0  | 185 | gr | 8/18/2022 |
| 1CD148B4-  | 146  | 1.354  | 99  | 100 | 100 | 97  | 99  | 0 | 0 | 0 | 0   | 0      | 0  | 146 | gr | 8/18/2022 |
| B8E1740F-  | 131  | 1.211  | 30  | 10  | 10  | 96  | 88  | 0 | 0 | 0 | 14  | 9.723  | 51 | 131 | gr | 8/18/2022 |
| 7793B78F-  | 162  | 0.701  | 98  | 100 | 100 | 97  | 94  | 0 | 0 | 0 | 0   | 0      | 0  | 116 | gr | 8/18/2022 |
| 3AF0CFD0-  | 152  | 1.519  | 93  | 100 | 100 | 70  | 92  | 0 | 0 | 1 | 0   | 0      | 0  | 152 | gr | 8/18/2022 |
| C1B6A6201- | 303  | 1.608  | 99  | 100 | 100 | 98  | 100 | 0 | 0 | 0 | 0   | 0      | 0  | 239 | gr | 8/18/2022 |
| 8D3712CA-  | 188  | 2.297  | 52  | 32  | 100 | 85  | 39  | 0 | 1 | 0 | 38  | 2.211  | 0  | 188 | gr | 8/18/2022 |
| 6C611294-  | 121  | 0.982  | 99  | 100 | 100 | 99  | 91  | 0 | 0 | 0 | 0   | 0      | 0  | 121 | gr | 8/18/2022 |

Στο επόμενο βήμα, από κάθε μεταβλητή υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση ανά ημέρα. Επιπλέον, από τις υπάρχουσες μεταβλητές των απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων και με δεδομένη την συνολική απόσταση, προέκυψαν οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις ανά εκατό χιλιόμετρα ανά ημέρα. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας ο οποίος αποτελεί την τελική βάση δεδομένων (Master File) με τις μεταβλητές καθώς επίσης και επεξήγηση αυτών.

Πίνακας 4: Τελική μορφή βάσης δεδομένων (Master File)

| Date      | Fuel_Price | av_duratio<br>n | av_total_dis<br>tance | av_ha | av_hb | av_ha/1<br>00kmh | av_hb/<br>100km<br>h | av_sum_s<br>peeding | av_speedi<br>ng_kmh | av_time_<br>mobile_u<br>sage | av_driving_<br>duration | sd_durati<br>on | sd_total_<br>distance | sd_ha | sd_hb | sd_ha/1<br>00kmh | sd_hb/<br>100km<br>h | sd_sum_s<br>peeding | sd_speedi<br>ng_kmh | sd_time_m<br>obile_usag<br>e | sd_driving_<br>duration |
|-----------|------------|-----------------|-----------------------|-------|-------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|-------|-------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1-Jan-19  | € 1.48     | 925.06          | 11.16                 | 0.70  | 0.71  | 9.52             | 6.13                 | 93.84               | 5.82                | 70.23                        | 751.33                  | 883.59          | 21.12                 | 1.22  | 1.49  | 19.97            | 10.91                | 210.02              | 6.18                | 163.14                       | 825.58                  |
| 2-Jan-19  | € 1.48     | 1139.62         | 14.56                 | 1.11  | 1.13  | 11.50            | 12.16                | 113.41              | 6.04                | 73.03                        | 906.71                  | 1315.85         | 29.91                 | 2.11  | 1.96  | 21.84            | 22.79                | 389.49              | 7.47                | 193.94                       | 1193.47                 |
| 3-Jan-19  | € 1.48     | 1130.91         | 13.03                 | 0.90  | 0.72  | 8.52             | 7.57                 | 97.12               | 5.17                | 60.03                        | 884.23                  | 1199.99         | 25.44                 | 1.83  | 1.41  | 20.24            | 18.29                | 343.25              | 6.87                | 141.84                       | 1084.88                 |
| 4-Jan-19  | € 1.48     | 1027.66         | 9.30                  | 0.82  | 0.45  | 11.43            | 6.33                 | 74.25               | 4.63                | 51.64                        | 734.56                  | 980.55          | 18.99                 | 1.50  | 1.03  | 25.19            | 17.05                | 273.33              | 6.83                | 120.09                       | 804.00                  |
| 5-Jan-19  | € 1.48     | 1018.69         | 11.15                 | 0.79  | 0.88  | 9.99             | 10.67                | 124.62              | 5.97                | 37.24                        | 770.69                  | 1042.80         | 23.19                 | 1.63  | 1.83  | 20.92            | 21.49                | 373.30              | 7.77                | 96.77                        | 938.03                  |
| 6-Jan-19  | € 1.48     | 987.22          | 13.58                 | 0.94  | 0.81  | 9.62             | 8.86                 | 162.42              | 6.90                | 71.75                        | 822.71                  | 1310.30         | 30.52                 | 1.71  | 1.28  | 19.70            | 16.97                | 417.58              | 7.42                | 190.82                       | 1242.68                 |
| 7-Jan-19  | € 1.48     | 1114.44         | 10.54                 | 0.84  | 0.69  | 9.02             | 7.05                 | 59.40               | 5.14                | 66.03                        | 818.95                  | 876.42          | 12.15                 | 1.68  | 1.36  | 15.61            | 14.04                | 94.56               | 6.20                | 154.09                       | 670.72                  |
| 8-Jan-19  | € 1.48     | 1121.06         | 10.15                 | 0.55  | 0.27  | 8.44             | 3.11                 | 44.11               | 3.95                | 93.99                        | 838.90                  | 936.52          | 14.61                 | 1.12  | 0.66  | 20.76            | 8.82                 | 92.00               | 5.72                | 208.38                       | 748.08                  |
| 9-Jan-19  | € 1.48     | 1190.34         | 10.49                 | 0.73  | 0.50  | 8.18             | 4.44                 | 53.45               | 4.58                | 31.11                        | 859.97                  | 1055.94         | 14.50                 | 1.23  | 1.13  | 14.47            | 8.94                 | 92.98               | 6.03                | 74.76                        | 841.86                  |
| 10-Jan-19 | € 1.48     | 1020.14         | 9.08                  | 1.02  | 0.80  | 15.31            | 9.36                 | 77.42               | 5.44                | 45.96                        | 726.05                  | 862.41          | 10.84                 | 1.69  | 1.40  | 40.31            | 21.45                | 169.52              | 6.92                | 109.93                       | 627.24                  |
| 11-Jan-19 | € 1.48     | 1285.09         | 12.11                 | 0.69  | 0.65  | 8.45             | 8.35                 | 79.86               | 5.58                | 78.25                        | 904.04                  | 1271.01         | 23.04                 | 1.33  | 1.28  | 20.44            | 21.40                | 216.39              | 6.29                | 170.20                       | 1008.45                 |
| 12-Jan-19 | € 1.48     | 962.26          | 10.20                 | 0.74  | 0.83  | 6.94             | 10.27                | 80.03               | 5.50                | 47.39                        | 724.08                  | 942.66          | 17.42                 | 1.58  | 1.38  | 13.99            | 22.35                | 156.24              | 6.16                | 135.62                       | 794.12                  |
| 13-Jan-19 | € 1.48     | 1219.20         | 15.39                 | 1.01  | 1.21  | 9.08             | 12.10                | 98.61               | 7.15                | 56.40                        | 980.63                  | 1347.93         | 29.28                 | 1.81  | 1.83  | 17.79            | 21.85                | 171.46              | 7.71                | 139.56                       | 1205.19                 |
| 14-Jan-19 | € 1.48     | 1018.98         | 8.57                  | 0.80  | 0.73  | 12.09            | 8.75                 | 66.65               | 4.80                | 33.19                        | 703.53                  | 946.61          | 11.94                 | 1.37  | 1.32  | 25.97            | 16.58                | 111.77              | 5.76                | 82.19                        | 672.61                  |
| 15-Jan-19 | € 1.48     | 1116.57         | 9.42                  | 0.80  | 0.65  | 10.61            | 7.55                 | 63.15               | 4.65                | 65.86                        | 777.44                  | 984.95          | 12.09                 | 1.63  | 1.46  | 25.97            | 20.49                | 122.20              | 6.00                | 166.97                       | 721.51                  |
| ...       |            |                 |                       |       |       |                  |                      |                     |                     |                              |                         |                 |                       |       |       |                  |                      |                     |                     |                              |                         |
| 1-Aug-22  | € 2.15     | 954.09          | 11.68                 | 0.72  | 1.03  | 10.89            | 14.38                | 76.66               | 3.89                | 46.43                        | 790.43                  | 1152.99         | 23.72                 | 1.56  | 1.77  | 29.34            | 27.90                | 215.50              | 5.29                | 190.04                       | 1044.73                 |
| 2-Aug-22  | € 2.15     | 941.76          | 11.02                 | 0.67  | 1.00  | 10.84            | 13.87                | 70.68               | 3.95                | 46.21                        | 771.40                  | 1090.10         | 20.82                 | 1.60  | 1.74  | 30.07            | 27.27                | 202.13              | 5.56                | 193.77                       | 981.18                  |
| 3-Aug-22  | € 2.15     | 906.98          | 10.44                 | 0.66  | 0.97  | 10.14            | 13.67                | 71.27               | 3.65                | 51.17                        | 747.75                  | 1005.24         | 19.18                 | 1.60  | 1.82  | 26.79            | 27.82                | 206.08              | 5.23                | 199.41                       | 915.46                  |
| 4-Aug-22  | € 2.14     | 929.93          | 11.23                 | 0.70  | 1.02  | 10.75            | 14.61                | 73.30               | 3.97                | 43.80                        | 767.63                  | 1068.58         | 21.78                 | 1.46  | 1.72  | 27.14            | 27.78                | 190.22              | 5.62                | 165.59                       | 982.33                  |
| 5-Aug-22  | € 2.12     | 1014.77         | 12.78                 | 0.72  | 1.05  | 9.77             | 13.26                | 85.40               | 3.95                | 50.57                        | 840.70                  | 1248.21         | 26.32                 | 1.65  | 1.87  | 25.30            | 25.67                | 249.41              | 5.46                | 205.59                       | 1144.85                 |
| 6-Aug-22  | € 2.11     | 1067.04         | 14.87                 | 0.70  | 1.10  | 8.07             | 13.53                | 102.66              | 4.14                | 52.73                        | 915.75                  | 1396.55         | 32.77                 | 1.80  | 1.95  | 22.66            | 27.63                | 277.51              | 5.54                | 267.84                       | 1304.56                 |
| 7-Aug-22  | € 2.10     | 1213.23         | 17.16                 | 0.72  | 1.15  | 7.57             | 11.03                | 116.13              | 4.54                | 55.29                        | 1064.69                 | 1437.49         | 31.12                 | 1.70  | 2.02  | 21.13            | 22.67                | 257.94              | 5.79                | 212.66                       | 1336.87                 |
| 8-Aug-22  | € 2.09     | 963.22          | 12.39                 | 0.66  | 0.98  | 9.35             | 12.78                | 78.73               | 3.81                | 47.95                        | 812.01                  | 1228.45         | 26.04                 | 1.45  | 1.70  | 26.82            | 26.25                | 210.76              | 5.34                | 192.23                       | 1119.89                 |
| 9-Aug-22  | € 2.07     | 922.40          | 11.00                 | 0.66  | 1.00  | 9.48             | 13.99                | 69.84               | 3.86                | 50.88                        | 765.82                  | 1081.87         | 20.97                 | 1.52  | 1.86  | 24.58            | 27.88                | 176.55              | 5.37                | 246.77                       | 970.50                  |
| 10-Aug-22 | € 2.06     | 969.56          | 12.34                 | 0.64  | 0.96  | 9.85             | 12.88                | 74.59               | 3.86                | 52.91                        | 822.77                  | 1164.67         | 25.51                 | 1.37  | 1.66  | 26.73            | 24.90                | 188.38              | 5.38                | 213.76                       | 1083.21                 |
| 11-Aug-22 | € 2.05     | 1003.68         | 13.17                 | 0.68  | 1.00  | 9.47             | 12.54                | 86.03               | 4.04                | 52.56                        | 851.36                  | 1313.04         | 29.27                 | 1.60  | 1.85  | 25.88            | 25.21                | 255.51              | 5.63                | 217.21                       | 1214.33                 |
| 12-Aug-22 | € 2.05     | 1053.89         | 14.70                 | 0.67  | 0.99  | 8.77             | 12.61                | 88.43               | 4.02                | 59.51                        | 903.73                  | 1408.76         | 33.08                 | 1.54  | 1.76  | 25.64            | 26.71                | 259.25              | 5.63                | 274.55                       | 1325.76                 |
| 13-Aug-22 | € 2.05     | 1122.23         | 16.00                 | 0.66  | 0.99  | 7.57             | 11.14                | 99.16               | 4.08                | 59.33                        | 982.43                  | 1547.58         | 34.58                 | 1.63  | 1.93  | 22.91            | 23.12                | 253.67              | 5.91                | 234.50                       | 1451.26                 |
| 14-Aug-22 | € 2.04     | 1093.30         | 15.05                 | 0.62  | 0.94  | 7.19             | 9.73                 | 96.21               | 4.01                | 62.10                        | 965.39                  | 1342.93         | 29.91                 | 1.45  | 1.80  | 19.91            | 21.32                | 240.21              | 5.68                | 245.52                       | 1259.99                 |
| 15-Aug-22 | € 2.04     | 1220.21         | 17.96                 | 0.66  | 1.01  | 6.55             | 9.14                 | 123.48              | 4.37                | 70.02                        | 1090.02                 | 1491.43         | 33.94                 | 1.48  | 1.91  | 19.64            | 21.07                | 304.96              | 5.80                | 288.79                       | 1412.13                 |
| 16-Aug-22 | € 2.04     | 1006.15         | 13.56                 | 0.67  | 1.00  | 9.09             | 12.14                | 92.98               | 4.19                | 48.47                        | 869.10                  | 1245.21         | 27.95                 | 1.56  | 1.81  | 25.18            | 25.31                | 244.93              | 5.85                | 178.37                       | 1170.42                 |
| 17-Aug-22 | € 2.04     | 963.53          | 12.59                 | 0.62  | 0.97  | 8.20             | 12.02                | 85.12               | 3.98                | 40.02                        | 826.84                  | 1176.85         | 25.03                 | 1.47  | 1.77  | 23.15            | 23.22                | 226.08              | 5.50                | 197.33                       | 1088.92                 |
| 18-Aug-22 | € 2.04     | 960.32          | 13.09                 | 0.61  | 1.00  | 10.24            | 13.76                | 88.82               | 4.20                | 44.24                        | 822.91                  | 1237.30         | 28.40                 | 1.41  | 1.83  | 28.99            | 28.03                | 248.06              | 5.79                | 187.51                       | 1147.55                 |

Πίνακας 5: Επεξήγηση Μεταβλητών

| Μεταβλητή  | Μονάδα Μέτρησης | Περιγραφή                                                                                                                                                                |
|------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Date       | Ημέρες          | Αφορά την ημερομηνία κατά την οποία παρουσιάστηκαν οι τιμές στις εκάστοτε μεταβλητές.                                                                                    |
| Fuel Price | Ευρώ (€)        | Η μεταβλητή αυτή αφορά την τιμή της βενζίνης σύμφωνα με Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων του Υπουργείου Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας, όπως αναφέραμε και νωρίτερα. |

| Μεταβλητή         | Μονάδα Μέτρησης    | Περιγραφή                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| duration          | Δευτερόλεπτα       | Η μεταβλητή αυτή αφορά την διάρκεια κάθε διαδρομής για κάθε οδηγό και μέσω αυτής προέκυψε η μέση διάρκεια ανά ημέρα (av_duration) και τυπική απόκλιση ανά ημέρα (sd_duration).                                                                                                                                      |
| total_distance:   | Χιλιόμετρα         | Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται στην συνολική απόσταση που διανύθηκε σε κάθε διαδρομής για κάθε οδηγό και μέσω αυτής προέκυψε η μέση απόσταση ανά ημέρα (av_total_distance) και τυπική απόκλιση ανά ημέρα (sd_total_distance).                                                                                          |
| ha/100kmh:        | Χιλιόμετρα ανά ώρα | Οι απότομες επιταχύνσεις (hasty acceleration) σε συνδυασμό με την συνολική απόσταση (total_distance) δημιούργησαν την μεταβλητή ha/100kmh η οποία συμβολίζει τις απότομες επιταχύνσεις ανά εκατό χιλιόμετρα. Μέσω αυτής προέκυψε η μέση τιμή ανά ημέρα (av_ha/100kmh) και τυπική απόκλιση ανά ημέρα (sd_ha/100kmh). |
| hb/100kmh         | Χιλιόμετρα ανά ώρα | Ομοίως από τις απότομες επιβραδύνσεις (hasty deceleration) προέκυψαν οι μεταβλητές av_hb/100kmh και sd_hb/100kmh.                                                                                                                                                                                                   |
| sum_speeding      | Χιλιόμετρα ανά ώρα | Μέση ταχύτητα οδήγησης οχήματος.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| time_mobile_usage | Δευτερόλεπτα       | Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται στην χρονική διάρκεια κατά την οποία κάθε οδηγός έκανε χρήση του κινητού τηλεφώνου του και μέσω αυτής προέκυψε η μέση τιμή ανά ημέρα (av_time_mobile_usage) και τυπική απόκλιση ανά ημέρα (sd_time_mobile_usage).                                                                       |
| driving_duration  | Λεπτά              | Η μεταβλητή αυτή αφορά την διάρκεια κάθε διαδρομής για κάθε οδηγό αν από τη συνολική διάρκεια (duration) αφαιρεθούν οι στάσεις. Ισούται δηλαδή με την διάρκεια «καθαρής» οδήγησης του οδηγού.                                                                                                                       |

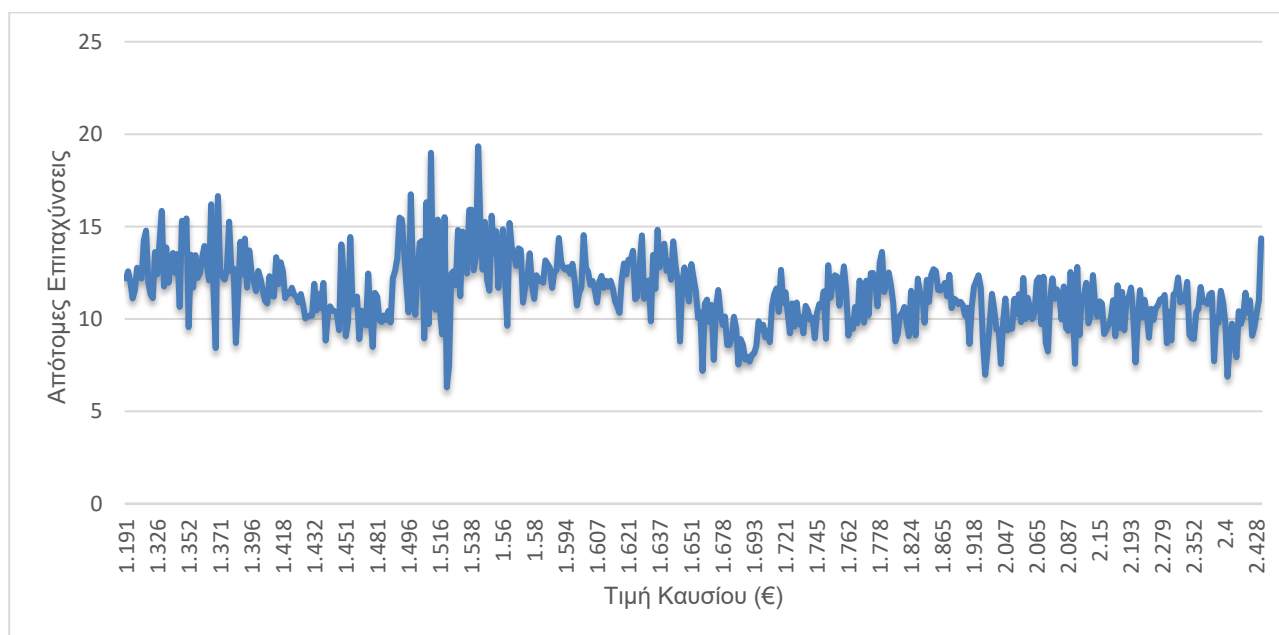
#### 4.3.1 Περιγραφική Στατιστική Δεδομένων

Με σκοπό να αναλυθεί η σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς του οδηγού και της κατανάλωσης καυσίμου, παρουσιάζονται γραφήματα που βασίζονται σε λεπτομερή δεδομένα τρόπου οδήγησης συνολικής διάρκειας τεσσάρων ετών (2019-2022). Τα γραφήματα που ακολουθούν δημιουργήθηκαν με τη χρήση της εντολής Pivot Table του προγράμματος Excel. Αυτή η ανάλυση αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς την κατανόηση των συσχετίσεων μεταξύ της συμπεριφοράς του οδηγού και της κατανάλωσης καυσίμου,



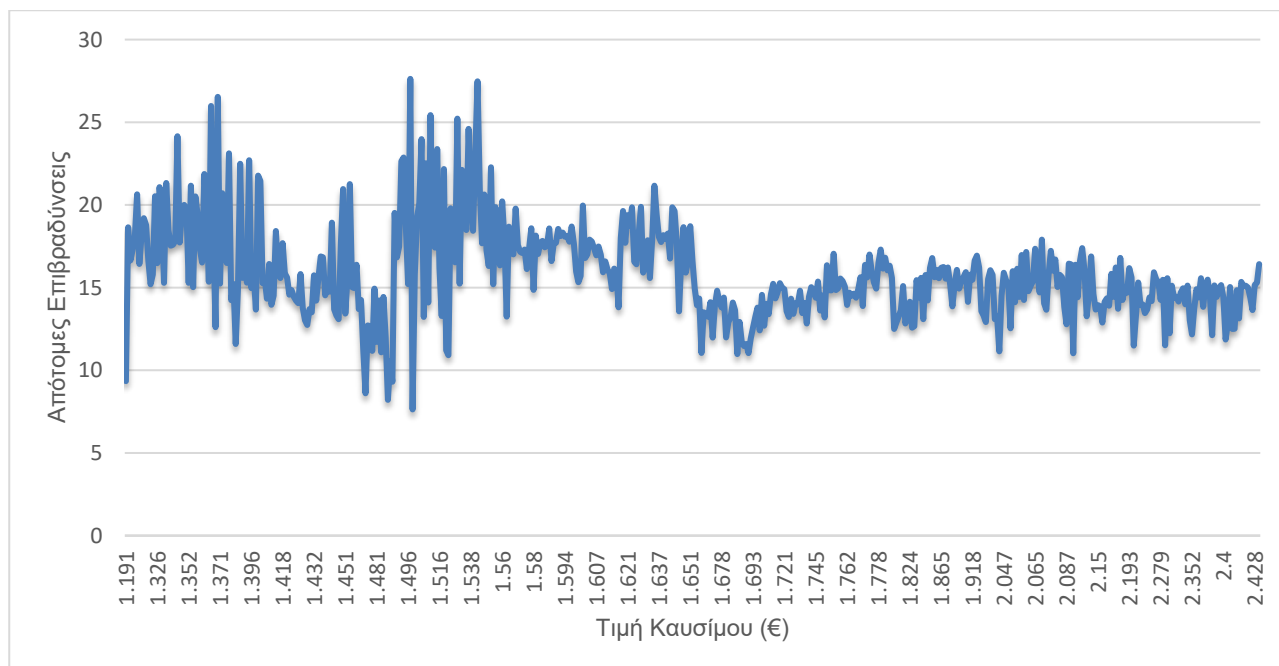
παρέχοντας αρχικές ενδείξεις για πιο εμπειριστατωμένες μελλοντικές αναλύσεις. Η χρήση λεπτομερών δεδομένων οδήγησης που συλλέγονται από έξυπνα κινητά τηλέφωνα μας επιτρέπει να εξετάσουμε πτυχές της συμπεριφοράς του οδηγού που πιθανόν να επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, όπως η ταχύτητα, οι επιταχύνσεις και οι παράμετροι οδήγησης.

Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην ανάληψη πρακτικών μέτρων για την ενθάρρυνση της οικολογικής οδήγησης, όπως η προώθηση της χρήσης οχημάτων με υψηλή απόδοση καυσίμου ή η παροχή εκπαίδευσης στους οδηγούς για τη βέλτιστη οδήγηση. Συνολικά, η ανάλυση αυτή μας δίνει μια πολύτιμη εικόνα της σχέσης μεταξύ της συμπεριφοράς του οδηγού και κατανάλωσης καυσίμων, προσφέροντας τη βάση για περαιτέρω έρευνα και δράση για την **επίτευξη βιώσιμων μεταφορών**.



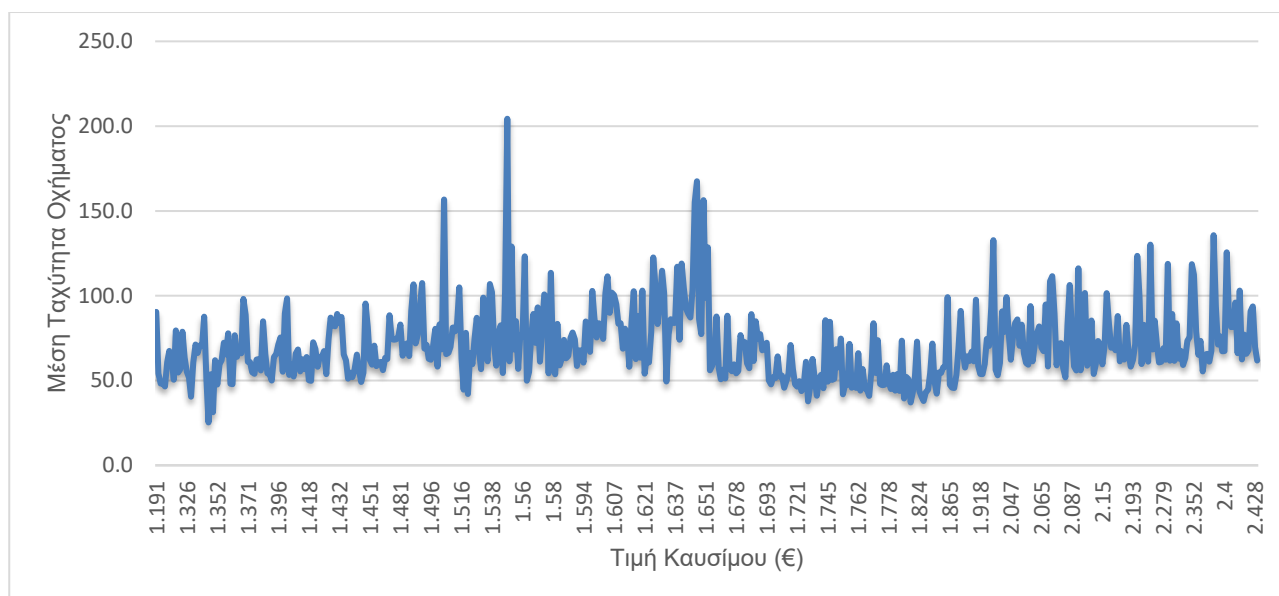
**Διάγραμμα 7: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με τις απότομες επιταχύνσεις**

Παρατηρώντας το παραπάνω Διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε πως για τις χαμηλές τιμές του καυσίμου οι αντίστοιχες **απότομες επιταχύνσεις των οδηγών τείνουν να αυξάνονται**. Αυτό υποδηλώνει ότι οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν με μεγαλύτερη ταχύτητα και να προβαίνουν σε απότομες επιταχύνσεις όταν οι τιμές της βενζίνης είναι χαμηλές. Δεδομένου αυτού, αναμενόμενα θα χαρακτηρίζαμε τα αποτελέσματα του παρακάτω Διαγράμματος, το οποίο διαφοροποιείται ως προς το παραπάνω καθώς μελετά τις απότομες επιβραδύνσεις.



**Διάγραμμα 8: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με τις απότομες επιβραδύνσεις**

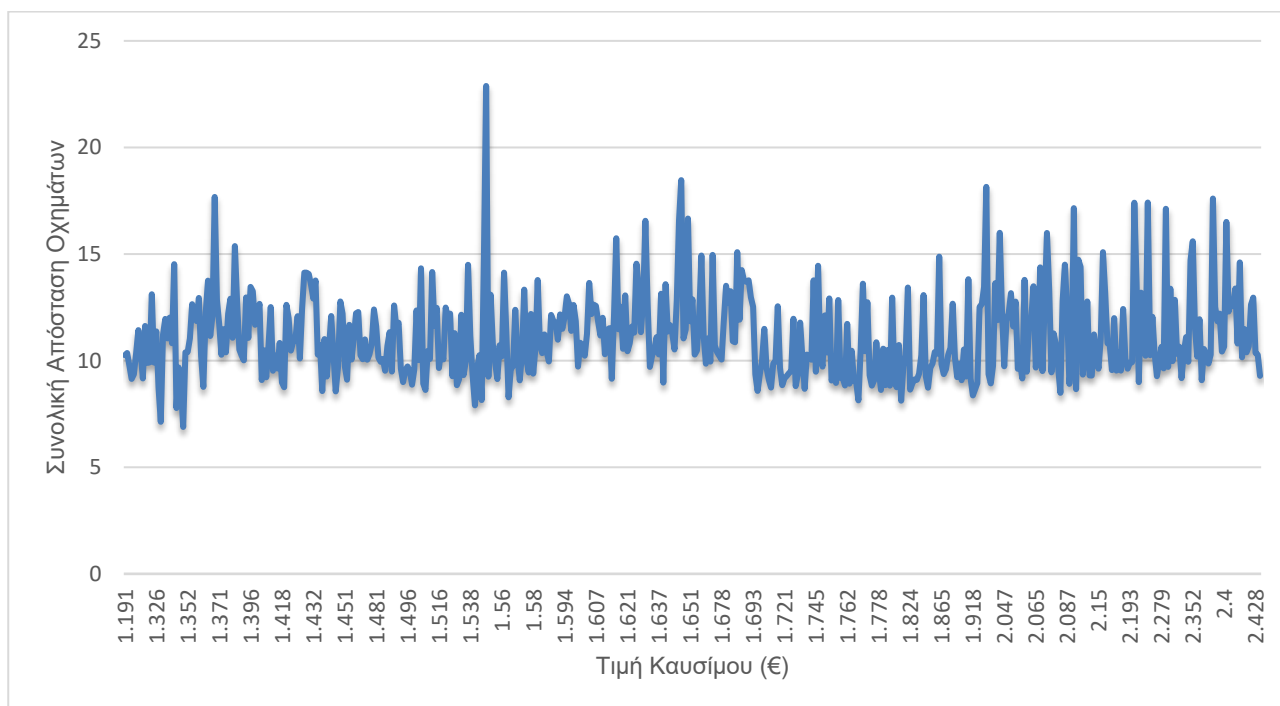
Παρατηρώντας το λοιπόν, προκύπτει ότι κατά τις περιόδους με χαμηλές τιμές καυσίμου, **οι οδηγοί τείνουν να κάνουν περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις**. Αυτό υποδηλώνει ότι οι οδηγοί τείνουν να μειώνουν απότομα την ταχύτητα τους και να επιβραδύνουν όταν οι τιμές της βενζίνης είναι χαμηλές. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να είναι θετική από την άποψη της οδικής ασφάλειας, καθώς οι απότομες επιβραδύνσεις μειώνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων.



**Διάγραμμα 9: Μεταβολή της Τιμής του Καυσίμου σε σχέση με την Μέση Ταχύτητα των οχημάτων**

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση από τα δεδομένα του παραπάνω διαγράμματος είναι η σχέση μεταξύ της τιμής του καυσίμου και της μέσης ταχύτητας των οχημάτων. Παρατηρείται ότι κατά τις περιόδους με υψηλές τιμές καυσίμου, **οι οδηγοί τείνουν να**

**μειώνουν τη μέση ταχύτητα τους**, πιθανότατα ως αποτέλεσμα της αυξημένης επιβάρυνσης στον οικονομικό προϋπολογισμό τους. Αντίθετα, κατά τις περιόδους με χαμηλές τιμές καυσίμου, οι οδηγοί φαίνεται να αυξάνουν τη μέση ταχύτητά τους, πιθανόν επειδή αισθάνονται ότι μπορούν να ξοδέψουν περισσότερο καύσιμο. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι αυτή η παρατήρηση δεν αποδεικνύει απαραίτητα περισσότερη ασφάλεια ή βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς κατά τις περιόδους με χαμηλές τιμές καυσίμου, καθώς η υπερβολική αύξηση της ταχύτητας μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ατυχημάτων.

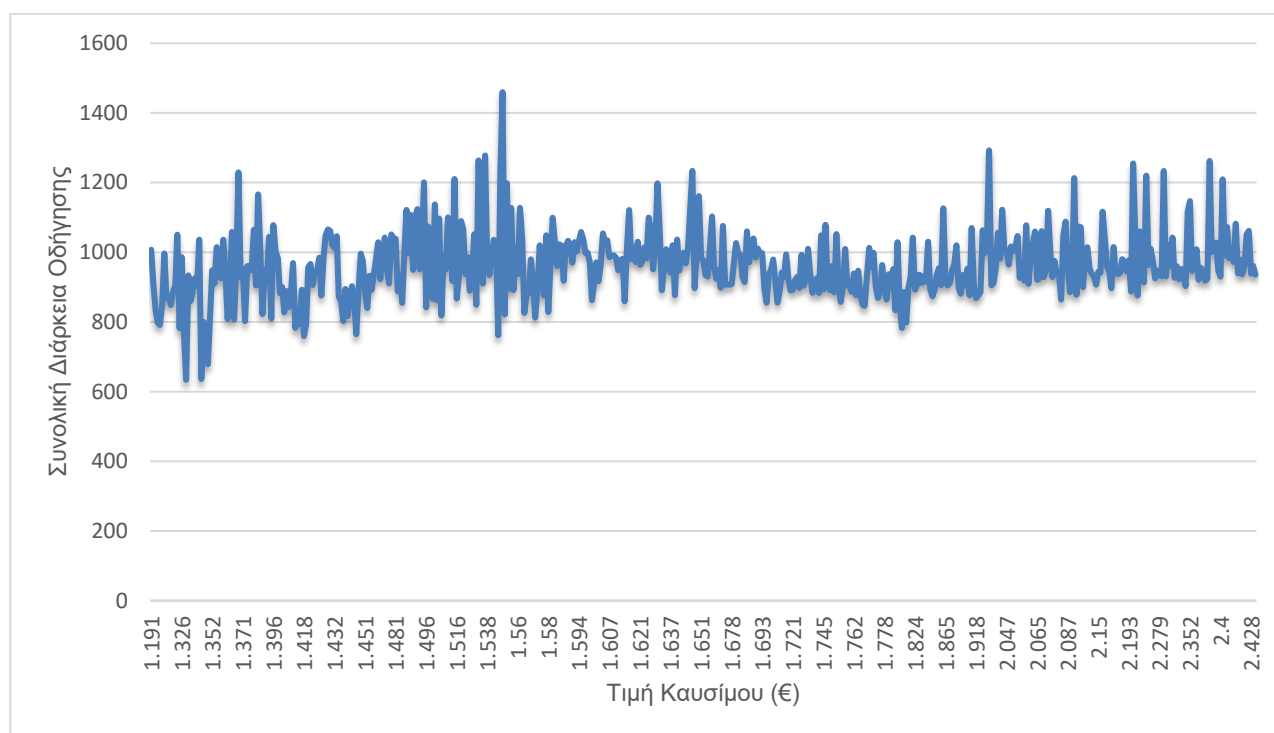


**Διάγραμμα 10: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με την Συνολική Απόσταση που διανύουν τα οχήματα**

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα που απεικονίζει τη μεταβολή της τιμής του καυσίμου σε σχέση με τη συνολική απόσταση που διανύουν τα οχήματα, μπορούμε να εξάγουμε ορισμένα συμπεράσματα. Πρώτα απ' όλα, παρατηρείται μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ της τιμής του καυσίμου και της συνολικής απόστασης. Αυτό σημαίνει ότι όσο υψηλότερη είναι η τιμή του καυσίμου, τόσο **μικρότερη είναι η συνολική απόσταση που διανύουν τα οχήματα**. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της οικονομικής επιβάρυνσης που προκαλεί η υψηλή τιμή του καυσίμου, καθώς οι οδηγοί προτιμούν να μειώσουν τις μεγάλες αποστάσεις που διανύουν για να εξοικονομήσουν καύσιμα και να στραφούν σε εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης (π.χ. μέσα μαζικής μεταφοράς). Αντίθετα, όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλή, οι οδηγοί φαίνεται να διανύουν μεγαλύτερες συνολικές αποστάσεις. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι με χαμηλή τιμή καυσίμου, οι οδηγοί αισθάνονται ότι μπορούν να καταναλώσουν περισσότερη ποσότητα καυσίμου.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συσχέτιση μεταξύ της τιμής του καυσίμου και της συνολικής απόστασης που διανύουν τα οχήματα μπορεί να εξαρτάται από πολλούς

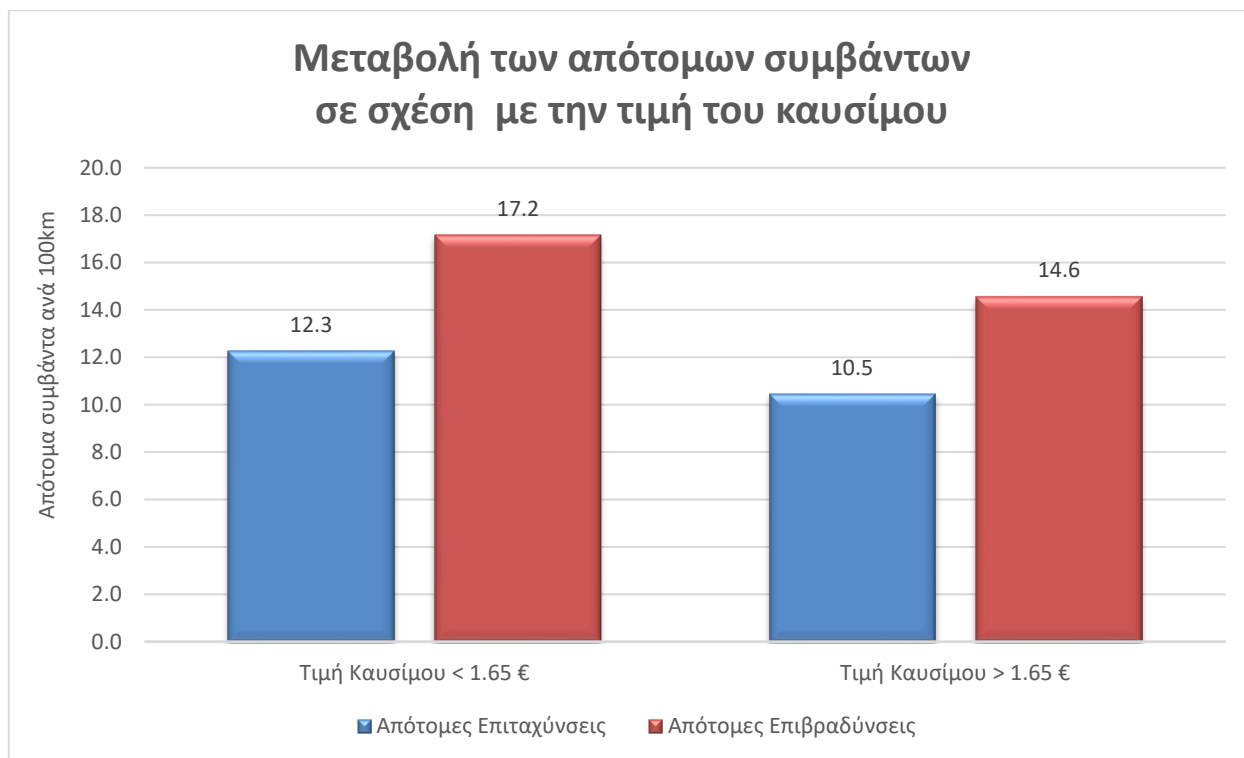
παράγοντες, όπως οικονομικοί παράγοντες, κλιματικές συνθήκες, υποδομές και προτιμήσεις των οδηγών. Επίσης, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι τα δεδομένα από ένα διάγραμμα μπορεί να είναι ενδεικτικά και δεν αποτελούν απόλυτο κανόνα.



Διάγραμμα 11: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου σε σχέση με την Συνολική Διάρκεια οδήγησης

Με την ίδια λογική με παραπάνω, θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε πως υπάρχει αντίθετη σχέση μεταξύ της τιμής του καυσίμου και της συνολικής διάρκειας οδήγησης. Συγκεκριμένα, όταν η τιμή του καυσίμου είναι υψηλή, **οι οδηγοί περιορίζουν τη διάρκεια οδήγησης** για να εξοικονομήσουν καύσιμο και να μειώσουν το κόστος. Αντίθετα, όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλή, οι οδηγοί φαίνεται να είναι πιο πρόθυμοι να οδηγούν για μεγαλύτερη διάρκεια.

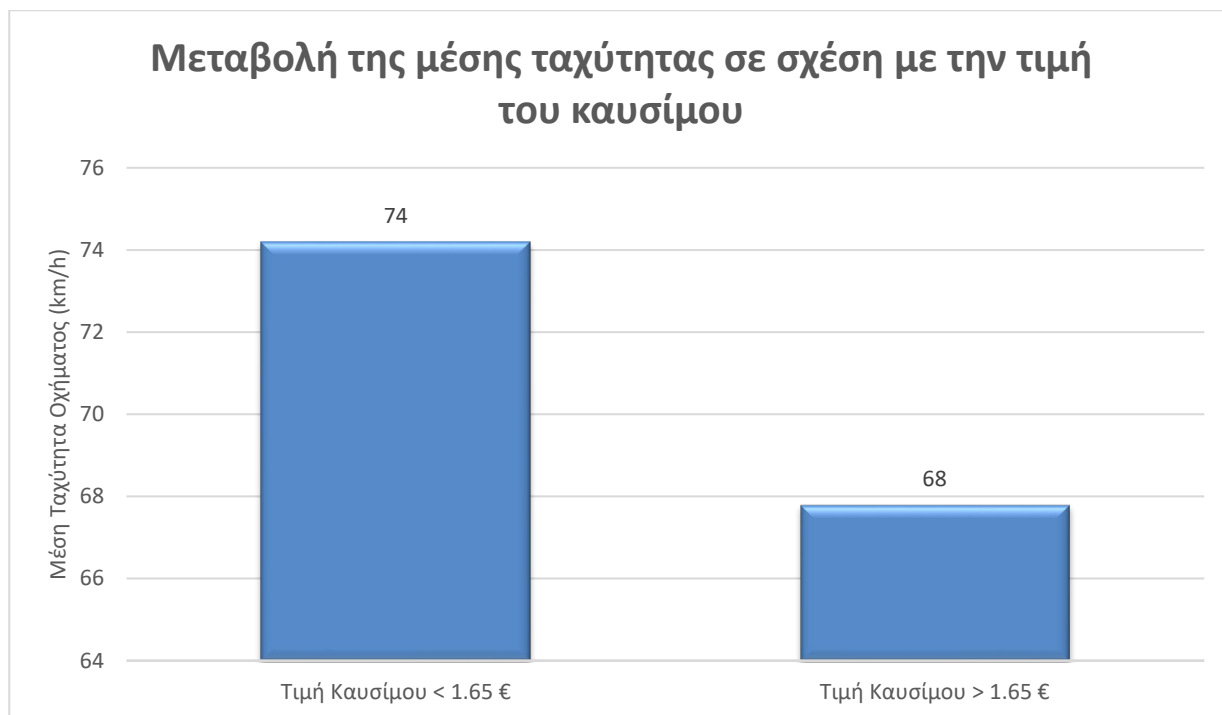
Για τη δημιουργία των επόμενων γραφημάτων (bars) χρειάστηκε να υπολογίσουμε τη μέση τιμή καυσίμου για τα έτη 2019 έως 2022. Η μέση τιμή καυσίμου υπολογίστηκε 1,65€/lt και βάσει αυτής προέκυψαν μερικές ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.



**Διάγραμμα 12: Αριθμός απότομων επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων ανά 100km με όριο την τιμή καυσίμου**

Βάσει των δεδομένων που παρέχονται στο Διάγραμμα, φαίνεται ότι όταν η τιμή του καυσίμου ξεπερνά το όριο των 1,65€/lt, οι απότομες επιταχύνσεις ανέρχονται σε 10,5/100km, ενώ οι απότομες επιβραδύνσεις ανέρχονται σε 14,6/100km. Αντιθέτως, όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1,65€/lt, **οι απότομες επιταχύνσεις αυξάνονται** σε 12,3/100km και **οι απότομες επιβραδύνσεις αυξάνονται** σε 17,2/100km.

Με γνώμονα αυτές τις παρατηρήσεις, φαίνεται ότι υπάρχει μια αύξηση της τάξης του 15% στις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1,65€/lt. Αυτό υποδηλώνει ότι οι οδηγοί σε περιόδους με χαμηλότερη τιμή καυσίμου ενδέχεται να είναι πιο απότομοι και να εφαρμόζουν περισσότερες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι αλλαγές αυτές αποτελούν μια συγκριτική αναφορά μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν μπορούμε να συμπεράνουμε από αυτές ακριβείς αιτίες και συνέπειες.



**Διάγραμμα 13: Μέση ταχύτητα οχήματος σε km/h με όριο την τιμή καυσίμου**

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το παραπάνω Διάγραμμα. Συγκεκριμένα, αποδεικνύεται ότι όταν η τιμή του καυσίμου ξεπερνά το όριο των 1,65€/lt, η μέση ταχύτητα ισούται με 68 km/h, ενώ όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1,65€/lt, η μέση ταχύτητα ισούται με 74 km/h. Με βάση αυτά τα στοιχεία, φαίνεται ότι υπάρχει μια **σημαντική μείωση 8%** στη μέση ταχύτητα όταν η τιμή του καυσίμου είναι μεγαλύτερη από 1,65€/lt. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να υποδηλώνει πως οι οδηγοί σε περιόδους με υψηλότερη τιμή καυσίμου αναπτύσσουν χαμηλότερες ταχύτητες.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω, διαπιστώνουμε ότι όταν η τιμή καυσίμου βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα (κάτω από 1,65 €) τότε παρατηρείται μείωση 15% στις απότομες συμπεριφορές των οδηγών. Ομοίως, η μέση ταχύτητα μειώθηκε κατά 8%.

**Πίνακας 6: Μεταβολή της Τιμής Καυσίμου**

|                               | Τιμή Καυσίμου:      |                      |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
|                               | Μικρότερη από 1.65€ | Μεγαλύτερη από 1.65€ |
| <b>Απότομες Επιταχύνσεις</b>  | 12.3                | 10.5                 |
| <b>Απότομες Επιβραδύνσεις</b> | 17.2                | 14.6                 |
| <b>Μέση Ταχύτητα (km/h)</b>   | 74                  | 68                   |

Αντίστοιχα, στους επόμενους δύο Πίνακες, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των μεταβλητών ανά έτος προκειμένου να εντοπίσουμε ότι τα παραπάνω ευρήματα επαληθεύονται και ανά έτος.

Πίνακας 7: Μεταβολή μεγεθών ανά έτος

| Έτος | Τιμή<br>Καυσίμου | Απότομες<br>Επιταχύνσεις ανά<br>100 km | Απότομες<br>Επιβραδύνσεις ανά<br>100 km | Μέση<br>Ταχύτητα |
|------|------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|
| 2019 | 1.6 €            | 12.7                                   | 17.7                                    | 94.6             |
| 2020 | 1.4 €            | 11.9                                   | 16.5                                    | 66.9             |
| 2021 | 1.6 €            | 10.2                                   | 14.1                                    | 62.3             |
| 2022 | 2.1 €            | 10.5                                   | 14.8                                    | 73.0             |

Στον παραπάνω Πίνακα, είναι προφανές ότι τα έτη κατά τα οποία η τιμή καυσίμου είναι χαμηλή, παρατηρείται αύξηση των απότομων επιβραδύνσεων, επιταχύνσεων και της μέσης ταχύτητας. Ο ίδιος πίνακας μετατρέπεται σε μορφή ποσοστών, όπου με πράσινο έχουν συμβολιστεί οι μεταβλητές οι οποίες κατά την μείωση τους δρουν θετικά ως προς την ασφαλέστερη οδήγηση και αντίθετα με κόκκινο συμβολίζονται οι μεταβλητές που αυξάνονται και δεν έχουν θετικό αντίκτυπο.

Πίνακας 8: Ποσοστιαία Μεταβολή μεγεθών ανά έτος

| Έτος | Τιμή Καυσίμου | Απότομες<br>Επιταχύνσεις ανά<br>100 km | Απότομες<br>Επιβραδύνσεις ανά<br>100 km | Μέση<br>Ταχύτητα |
|------|---------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|
| 2019 |               |                                        |                                         |                  |
| 2020 | -9%           | -6%                                    | -7%                                     | -29%             |
| 2021 | 14%           | -14%                                   | -15%                                    | -7%              |
| 2022 | 28%           | 3%                                     | 5%                                      | 17%              |

## 5. Ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων

### 5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά η **μεθοδολογία** και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της έρευνας μέσω της οποίας προέκυψαν τα συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αφού πραγματοποιήθηκε έρευνα στη διεθνή βιβλιογραφία και αναζήτηση θεωρητικού υποβάθρου για την ανάλυση της βάσης δεδομένων επιλέχθηκε η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων είναι **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** η οποία παρουσιάστηκε εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας Εργασίας. Πραγματοποιώντας πολλές δοκιμές, με διαφορετικές για κάθε δοκιμή μεταβλητές, δημιουργήθηκαν ποικίλα στατιστικά μοντέλα. Κάποια από αυτά τα μοντέλα χαρακτηρίστηκαν στατιστικά σημαντικά και κάποια όχι, γεγονός το οποίο οδήγησε σε συμπεράσματα για την επιρροή των μεταβλητών στις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις των οδηγών. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μοντέλων αυτών καθώς επίσης και η ερμηνεία αυτών.

#### 5.1.1 Λογισμικό SPSS

Το **SPSS** (Statistical Package for the Social Sciences) είναι ένα πρόγραμμα ανάλυσης δεδομένων και στατιστικής, που χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην κοινωνική και ανθρωπιστική έρευνα. Το περιβάλλον του SPSS διαθέτει μια ευρεία γκάμα από στατιστικές τεχνικές και εργαλεία ανάλυσης. Με τη χρήση του SPSS, δύναται να δημιουργηθούν αναλυθούν δεδομένα, καθώς και να παραχθούν γραφήματα και διαγράμματα για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, όπως φαίνεται στην συνέχεια. Επιπλέον αυτών των βασικών λειτουργιών, το spss έχει την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από excel, διαθέτει εργαλεία για την διαχείριση των δεδομένων αυτών (όπως η αφαίρεση των απουσιάζουσων τιμών που ήταν πολύ χρήσιμο στην παρούσα Εργασία), εργαλεία για την ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών, δυνατότητα διεξαγωγής των αποτελεσμάτων προς την παρουσίαση αυτών.

#### 5.1.2 Εισαγωγή της βάσης δεδομένων στο περιβάλλον του SPSS

Η τελική μορφή της βάσης δεδομένων όπως προέκυψε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εισάγεται στο προγραμματιστικό περιβάλλον του SPSS(με το αρχείο final\_database). Έπειτα, ακολουθεί η σωστή ονομασία των μεταβλητών στο πρόγραμμα, ο καθορισμός των δεκαδικών ψηφίων και ο καθορισμός η επιγραφής με την οποία θα εξάγεται το αποτέλεσμα. Τέλος, θα πρέπει να κατηγοριοποιηθεί κάθε μεταβλητής σε scale, ordinal και nominal αναλόγως τον τύπο της.

Μέσω της εντολής **Descriptives Statistics**, εξάγουμε τον μέσο όρο για κάθε μεταβλητή μέσω του SPSS και συγκρίνουμε με την αντίστοιχη τιμή που είχε προκύψει αρχικά από την



περιγραφική στατιστική, που πραγματοποιήθηκε στο αρχικό στάδιο. Κατά αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώθηκε ότι η βάση δεδομένων εισήχθη ορθά στο πρόγραμμα και μπορεί να συνεχιστεί η διαδικασία δημιουργίας μοντέλων.

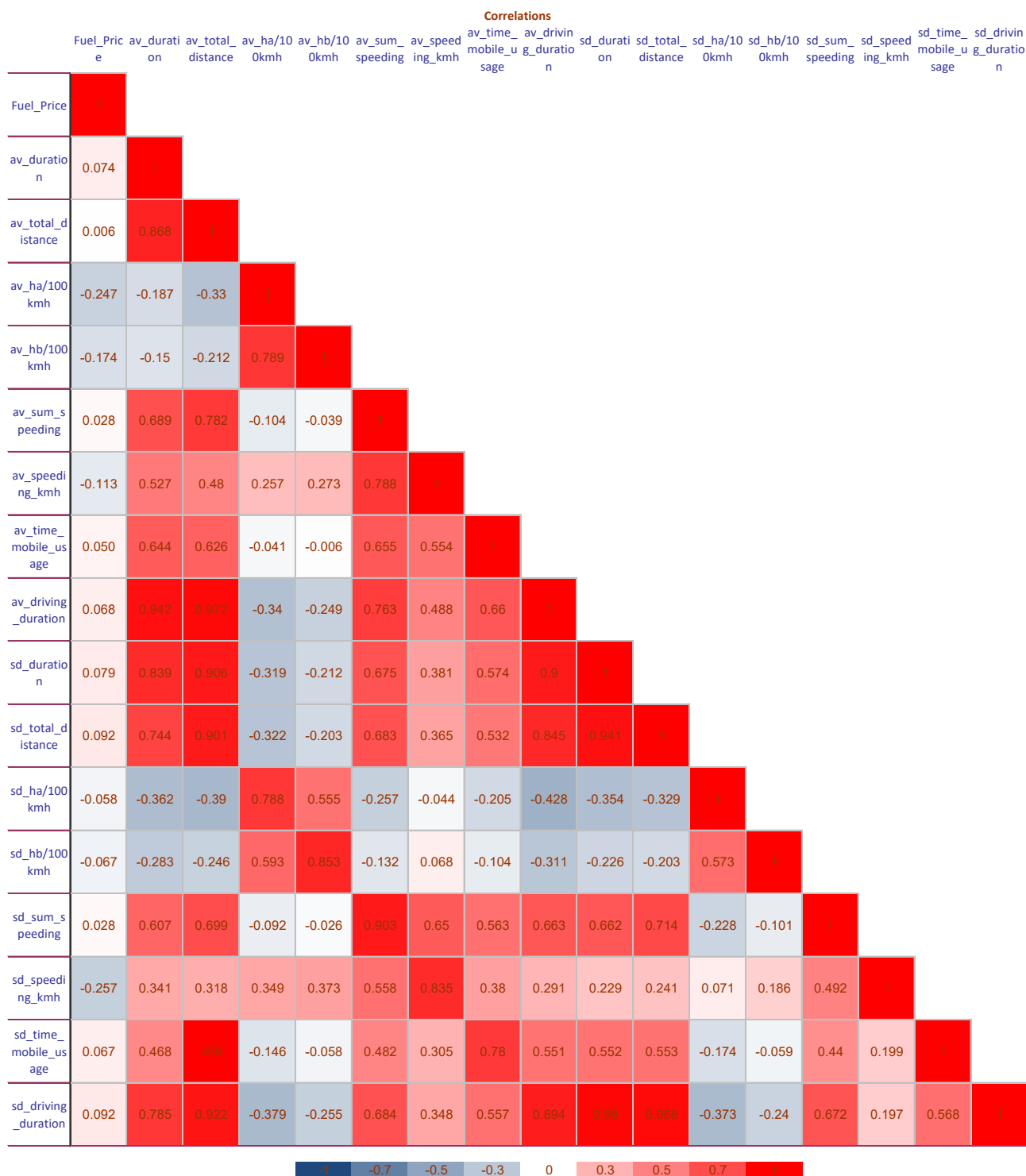
Πίνακας 9: Βάση δεδομένων στο SPSS

|    | Name            | Type    | Width | Decimals | Label        | Values | Missing | Columns | Align | Measure | Role  |
|----|-----------------|---------|-------|----------|--------------|--------|---------|---------|-------|---------|-------|
| 1  | Date            | Date    | 5     | 0        |              | None   | None    | 11      | Right | Ordinal | Input |
| 2  | Fuel_Price      | Numeric | 24    | 2        | Fuel_Price   | None   | None    | 9       | Right | Scale   | Input |
| 3  | av_duration     | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 10      | Right | Scale   | Input |
| 4  | av_total_dis... | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 13      | Right | Scale   | Input |
| 5  | av_ha           | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 7       | Right | Scale   | Input |
| 6  | av_hb           | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 7       | Right | Scale   | Input |
| 7  | av_ha100kmh     | Numeric | 18    | 3        | av_ha/100kmh | None   | None    | 10      | Right | Scale   | Input |
| 8  | av_hb100kmh     | Numeric | 18    | 3        | av_hb/100kmh | None   | None    | 11      | Right | Scale   | Input |
| 9  | av_sum_sp...    | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 14      | Right | Scale   | Input |
| 10 | av_speeding...  | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 16      | Right | Scale   | Input |
| 11 | av_time_mo...   | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 16      | Right | Scale   | Input |
| 12 | av_driving_d... | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 15      | Right | Scale   | Input |
| 13 | sd_duration     | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 14      | Right | Scale   | Input |
| 14 | sd_total_dis... | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 16      | Right | Scale   | Input |
| 15 | sd_ha           | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 9       | Right | Scale   | Input |
| 16 | sd_hb           | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 8       | Right | Scale   | Input |
| 17 | sd_ha100kmh     | Numeric | 18    | 3        | sd_ha/100kmh | None   | None    | 16      | Right | Scale   | Input |
| 18 | sd_hb100kmh     | Numeric | 18    | 3        | sd_hb/100kmh | None   | None    | 13      | Right | Scale   | Input |
| 19 | sd_sum_sp...    | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 15      | Right | Scale   | Input |
| 20 | sd_speedin...   | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 16      | Right | Scale   | Input |
| 21 | sd_time_mo...   | Numeric | 19    | 3        |              | None   | None    | 15      | Right | Scale   | Input |
| 22 | sd_driving_d... | Numeric | 18    | 3        |              | None   | None    | 15      | Right | Scale   | Input |

### 5.1.3 Συσχέτιση μεταβλητών (Pearson Correlation)

Η **συσχέτιση μεταβλητών**, Pearson correlation, χρησιμοποιείται για να μετρήσει τη στενότητα της συσχέτισης μεταξύ δύο συνεχών μεταβλητών, όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 3. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιείται για να δείξει αν υπάρχει μια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών και, αν ναι, πόσο δυνατή είναι αυτή η σχέση. Η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την ανάπτυξη των στατιστικών μοντέλων παλινδρόμησης.

- Υψηλή συσχέτιση :  $0.00 \leq |R| \leq 0.30$
- Μέτρια συσχέτιση :  $0.31 \leq |R| \leq 0.70$
- Υψηλή συσχέτιση :  $0.71 \leq |R| \leq 1.00$



**Διάγραμμα 14: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεταβλητών**

Από τον παραπάνω θερμικό χάρτη μπορούμε να διακρίνουμε ποιες μεταβλητές έχουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης και ποιες όχι. Στα στατιστικά μοντέλα δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται στο ίδιο μοντέλο μεταβλητές οι οποίες έχουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης.

Επιλέγονται ως ανεξάρτητες μεταβλητές:

*Fuel\_Price, av\_duration, av\_total\_distance, av\_speeding\_kmh, av\_sum\_speeding\_kmh, av\_driving\_duration, av\_time\_mobile\_usage, sd\_duration, sd\_total\_distance, sd\_speeding\_kmh, sd\_time\_mobile, sd\_driving\_duration.*

Οι παραπάνω μεταβλητές επιλέχθηκαν καθώς η χαμηλή συσχέτιση που παρατηρούμε ευνοεί την συνύπαρξη των μεταβλητών στο ίδιο μοντέλο χωρίς να παρουσιάζουν μεγάλα σφάλματα και αυξάνοντας την στατιστική σημαντικότητα των μοντέλων μας.

## 5.2 Δημιουργία Στατιστικών μοντέλων

Σκοπός των στατιστικών μοντέλων είναι να διερευνήσει την επιρροή της τιμής της αμόλυβδης βενζίνης στις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις των οδηγών. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού εφαρμόστηκαν μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα.

Για να εκτελέσουμε γραμμική παλινδρόμηση στο SPSS θα πρέπει πρώτα να εισάγουμε την τελική βάση δεδομένων στο Data Editor, όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα, επιλέγουμε την εντολή Analyze στη συνέχεια Regression και Linear από το μενού. Στο παράθυρο Linear Regression, επιλέγεται η εξαρτημένη μεταβλητή από τη λίστα Dependent Variable. Έπειτα, επιλέγονται ποιες θα είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές από τη λίστα Independent(s) Variables.

Επιλέγεται Method και τίθεται η επιθυμητή μέθοδος παλινδρόμησης, στην παρούσα Εργασία σε όλα τα μοντέλα ήταν Enter.

Από την επιλογή Statistics επιλέγονται τα στατιστικά που θα εμφανίζονται στα αποτελέσματα της ανάλυσής, στην περίπτωση αυτή θα χρειαστούμε R squared, ANOVA και descriptive και έπειτα εκτελείται η ανάλυση.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στο παράθυρο Output Viewer. Μπορείτε να δείτε την ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA), τους συντελεστές της παλινδρόμησης.

Το **Descriptive Statistics** είναι ένα εργαλείο ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα χαρακτηριστικά μιας κατανομής δεδομένων. Στη στατιστική, οι περιγραφικές στατιστικές παρέχουν μετρήσεις στατιστικών παραμέτρων, όπως ο μέσος όρος, η διακύμανση, η τυπική απόκλιση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, οι προσανατολισμοί κ.α. που επιτρέπουν στους χρήστες να κατανοήσουν καλύτερα τα δεδομένα που έχουν στη διάθεσή τους.

Το **Model Summary** είναι μια τακτική ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την ποιότητα ενός μοντέλου πρόβλεψης. Το Model Summary παρέχει συγκεκριμένα στοιχεία που βοηθούν στην κατανόηση του πόσο καλά εξηγεί το μοντέλο τα δεδομένα και το πόσο αξιόπιστες είναι οι προβλέψεις του. Περιέχει πληροφορίες όπως τον συντελεστή R, εκτιμά τη δύναμη της συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών. Ο συντελεστής Rsquared ( $R^2$ ), αναφέρεται στο ποσοστό της διακύμανσης της μεταβλητής αντίστοιχης με την εξαρτημένη μεταβλητή που μπορεί να εξηγηθεί από τις ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου. Το Adjusted R Square είναι μια μετρική που χρησιμοποιείται στην ανάλυση

παλινδρόμησης για να αξιολογήσει το πόσο καλά εξηγεί ένα μοντέλο τη διακύμανση της ανεξάρτητης μεταβλητής.

Το **ANOVA** (Analysis of Variance) είναι μια στατιστική διαδικασία που χρησιμοποιείται για να εξετάσει τη διαφορά μεταξύ των μέσων των τριών ή περισσότερων ομάδων σε μια μετρική μεταβλητή.

Τα **Coefficients** αναφέρονται στους συντελεστές παλινδρόμησης σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης. Οι συντελεστές παλινδρόμησης δείχνουν το πόσο συνεισφέρει κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή στην πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής.

Τα **Residuals Statistics** γνωστά και ως σφάλματα ή κατάλοιπα πρόβλεψης, αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μεταξύ της παρατηρούμενης τιμής μιας εξαρτημένης μεταβλητής και της προβλεπόμενης τιμής της. Τέλος, το SPSS παρέχει αρκετές επιλογές Διαγραμμάτων (**charts**) για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης.

Ωστόσο, γενικά, ο χαρακτηρισμός ενός μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ως αξιόπιστο στο SPSS, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί αξιολογώντας αυτά τα στατιστικά μεγέθη. Συγκρίνοντας τα στατιστικά μεγέθη διαφορετικών μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, όπως το R-squared, το adjusted R-squared, το meansquare error (RMSE), το Akaike Information Criterion (AIC) και το Bayesian Information Criterion (BIC). Τα μοντέλα με υψηλότερα R-squared και adjusted R-squared, και χαμηλότερα RMSE, AIC και BIC θα θεωρηθούν πιο αξιόπιστα.

Αναφέρεται ότι κάθε φορά που εξεταζόταν κάποιο στατιστικό πρότυπο, χρησιμοποιούνταν διαδοχικά όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές και κάθε φορά απορρίπτονταν όσες δεν πληρούσαν τα κριτήρια που προαναφέραμε. Επισημαίνεται ότι τα τελικά αποτελέσματα επιλέχθηκαν έπειτα από **πολλές δοκιμές**. Το πιο συχνό πρόβλημα που προέκυψε ήταν η χαμηλή σημαντικότητα ( $R^2 < 0,4$ ). Τα μοντέλα που πληρούν όλους τους στατιστικούς ελέγχους παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχει τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \dots + \beta_v * x_{vi} + \varepsilon_i$$

Σύμφωνα με το Θεωρητικό Υπόβαθρο του κεφαλαίου 3, σε κάθε μοντέλο θα πρέπει να ελεγχθούν οι παρακάτω παράγοντες:

- ✓ Οι τιμές και τα πρόσημα των **συντελεστών παλινδρόμησης  $\beta_i$**  να μπορούν να εξηγηθούν λογικά.
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** (Sig-Significance) να είναι μικρότερο από 5%.

- ✓ Ο **σταθερός όρος** της εξίσωσης (Constant), που εκφράζει το σύνολο των παραμέτρων που δεν λήφθηκαν υπόψη, να είναι κατά το δυνατό μικρότερος.
- ✓ Η **τιμή του στατιστικού ελέγχου t** να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1,69 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- ✓ Ο **συντελεστής συσχέτισης  $R^2$**  (Adjusted Rsquare) να είναι κατά το δυνατό μεγαλύτερος (ιδανικά μεγαλύτερος από 0,4) και ταυτόχρονα όχι πολύ υψηλός (μικρότερος του 0,85) καθώς πολύ υψηλό  $R^2$  υποδηλώνει πως συσχετίζονται όμοια στοιχεία οπότε και δεν προκύπτουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Εκτός από τους μαθηματικούς ελέγχους ο απώτερος σκοπός κάθε μοντέλου είναι η ικανότητα του να **προβλέπει** με σχετική ακρίβεια το φαινόμενο που περιγράφει.

Για να ικανοποιηθούν, λοιπόν, οι στόχοι της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αναπτύχθηκαν τα παρακάτω στατιστικά μοντέλα που περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα υποκεφάλαια.

### 5.2.1 Ανάπτυξη Μοντέλου 1: Πρόβλεψη των απότομων επιταχύνσεων

Έπειτα από ποικίλες δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απότομες επιταχύνσεις προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τις **Απότομες Επιταχύνσεις (av\_ha)** και ανεξάρτητες μεταβλητές: η Τιμή Καυσίμου (Fuel\_Price), η Μέση Ταχύτητα (av\_sum\_speeding), ο Χρόνος Χρήσης Κινητού Τηλέφωνου (av\_time\_mobile\_usage) και η Διάρκεια Διαδρομής (av\_duration).

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια στους πίνακες και τα διαγράμματα που παρατίθενται.

**Πίνακας 10: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 1**

|                     |                      | Correlations |            |                 |                      |             |
|---------------------|----------------------|--------------|------------|-----------------|----------------------|-------------|
|                     |                      | av_ha        | Fuel_Price | av_sum_speeding | av_time_mobile_usage | av_duration |
| Pearson Correlation | av_ha                | 1.000        | -.317      | .509            | .459                 | .526        |
|                     | Fuel_Price           | -.317        | 1.000      | .028            | .050                 | .074        |
|                     | av_sum_speeding      | .509         | .028       | 1.000           | .658                 | .689        |
|                     | av_time_mobile_usage | .459         | .050       | .658            | 1.000                | .647        |
|                     | av_duration          | .526         | .074       | .689            | .647                 | 1.000       |
| Sig. (1-tailed)     | av_ha                | .            | .000       | .000            | .000                 | .000        |
|                     | Fuel_Price           | .000         | .          | .154            | .033                 | .004        |
|                     | av_sum_speeding      | .000         | .154       | .               | .000                 | .000        |
|                     | av_time_mobile_usage | .000         | .033       | .000            | .                    | .000        |
|                     | av_duration          | .000         | .004       | .000            | .000                 | .           |
| N                   | av_ha                | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | Fuel_Price           | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | av_sum_speeding      | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | av_time_mobile_usage | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | av_duration          | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |

**Πίνακας 11: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 1**

| Model Summary <sup>b</sup>                                                                |                   |          |                   |                            |                 |          |     |      |               |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|----------|-----|------|---------------|---------------|
| Model                                                                                     | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | F Change | df1 | df2  | Sig. F Change | Durbin-Watson |
| 1                                                                                         | .670 <sup>a</sup> | .448     | .447              | .13891246                  | .448            | 268.265  | 4   | 1320 | .000          | .654          |
| a. Predictors: (Constant), av_duration, Fuel_Price, av_time_mobile_usage, av_sum_speeding |                   |          |                   |                            |                 |          |     |      |               |               |
| b. Dependent Variable: av_ha                                                              |                   |          |                   |                            |                 |          |     |      |               |               |

Πίνακας 12: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA)– Μοντέλο 1

| ANOVA <sup>a</sup> |            |                |      |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|------|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df   | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 20.706         | 4    | 5.177       | 268.265 | .000 <sup>b</sup> |
|                    | Residual   | 25.472         | 1320 | .019        |         |                   |
|                    | Total      | 46.178         | 1324 |             |         |                   |

a. Dependent Variable: av\_ha

b. Predictors: (Constant), av\_duration, Fuel\_Price, av\_time\_mobile\_usage, av\_sum\_speeding

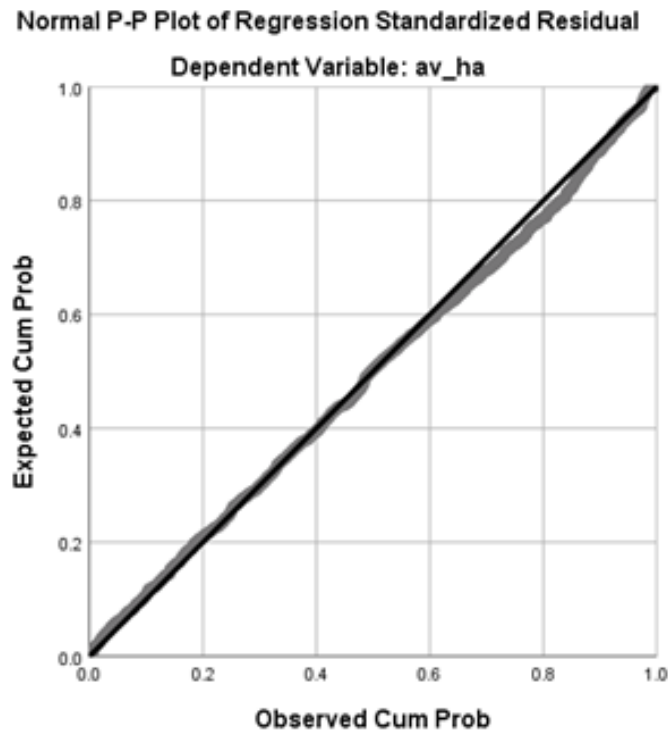
Πίνακας 13: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 1

| Coefficients <sup>a</sup> |                      |                             |            |                           |         |      |                                 |             |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|------|---------------------------------|-------------|
| Model                     |                      | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |         |      | 95.0% Confidence Interval for B |             |
|                           |                      | B                           | Std. Error | Beta                      | t       | Sig. | Lower Bound                     | Upper Bound |
| 1                         | (Constant)           | .616                        | .041       |                           | 14.995  | .000 | .535                            | .696        |
|                           | Fuel_Price           | -.269                       | .016       | -.353                     | -17.204 | .000 | -.300                           | -.238       |
|                           | av_sum_speeding      | .001                        | .000       | .212                      | 6.924   | .000 | .001                            | .002        |
|                           | av_time_mobile_usage | .002                        | .000       | .128                      | 4.396   | .000 | .001                            | .003        |
|                           | av_duration          | .000                        | .000       | .324                      | 10.720  | .000 | .000                            | .001        |

a. Dependent Variable: av\_ha

Η μαθηματική σχέση του μοντέλου 1 που προέκυψε ως:

$$av\_ha = 0.616 - 0.296 * Fuel\_Price + 0.001 * av\_sum\_speeding + 0.002 * av\_time\_mobile\_usage + 0.001 * av\_duration$$



Διάγραμμα 15: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 1

Στο μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι. Πιο αναλυτικά:

- ✓ Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι αρκετά ικανοποιητικός, ίσος με 0,448
- ✓ Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- ✓ Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί
- ✓ Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα πρόσημα τους εξηγούνται με βάση τη λογική

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων Μοντέλου 1 - Απότομες Επιταχύνσεις

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

Παρατηρείται ότι το πρόσημο της μεταβλητής **Fuel\_Price** στο μοντέλο 1 εμφανίζεται αρνητικό και ίσο με -0,269. Αυτό συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του καυσίμου, οδηγεί στη μείωση των απότομων επιταχύνσεων. Η αλλαγή του τρόπου οδήγησης, η επίδειξη προσοχής καθώς και η τήρηση του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της οδήγησης μπορούν εύκολα να επιφέρουν εξοικονόμηση καυσίμου.

Η μεταβλητή **av\_sum\_speeding** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,001 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα που αναπτύσσει ο οδηγός, τόσο αυξάνονται και οι



απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση. Η αποφυγή υπερβολικά υψηλής ταχύτητας σε ανοικτούς δρόμους έχει ως αποτέλεσμα ασφαλέστερη οδήγηση, μείωση των απότομων επιταχύνσεων και φυσικά καλύτερη οικονομία καυσίμου. Το γεγονός αυτό δε θα πρέπει βέβαια να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομία καυσίμου επειδή κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται. Με την ομαλή οδήγηση και με μέσες ταχύτητες πορείας εξασφαλίζεται βέλτιστη οικονομία καυσίμου και οδική ασφάλεια.

Η μεταβλητή **av\_time\_mobile\_usage** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,002 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο απασχολημένος στο κινητό τηλέφωνο είναι ο οδηγός ενδέχεται να εκτελεί περισσότερες απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.

Η μεταβλητή **av\_duration** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,001 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η διάρκεια της οδήγησης, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση. Θα λέγαμε πως η παρατήρηση αυτή είναι λογική διότι καθώς αυξάνεται η διάρκεια της οδήγησης, είναι επόμενο ο οδηγός να κουράζεται και σταδιακά να αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις του.

### 5.2.2 Ανάπτυξη Μοντέλου 2: Πρόβλεψη των απότομων επιταχύνσεων

Ένα επίσης αξιόπιστο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απότομες επιταχύνσεις προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τις **Απότομες Επιταχύνσεις (av\_ha)** και ανεξάρτητες μεταβλητές την Τιμή Καυσίμου (Fuel\_Price), την Υπέρβαση του Ορίου Ταχύτητας (av\_speeding), την Συνολική Απόσταση Διαδρομής (av\_total\_distance).

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 14: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 2

| Correlations        |                   |       |            |                 |                   |
|---------------------|-------------------|-------|------------|-----------------|-------------------|
|                     |                   | av_ha | Fuel_Price | av_speeding_kmh | av_total_distance |
| Pearson Correlation | av_ha             | 1.000 | -.317      | .686            | .391              |
|                     | Fuel_Price        | -.317 | 1.000      | -.113           | .006              |
|                     | av_speeding_kmh   | .686  | -.113      | 1.000           | .480              |
|                     | av_total_distance | .391  | .006       | .480            | 1.000             |
| Sig. (1-tailed)     | av_ha             | .     | .000       | .000            | .000              |
|                     | Fuel_Price        | .000  | .          | .000            | .419              |
|                     | av_speeding_kmh   | .000  | .000       | .               | .000              |
|                     | av_total_distance | .000  | .419       | .000            | .                 |
| N                   | av_ha             | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |
|                     | Fuel_Price        | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |
|                     | av_speeding_kmh   | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |
|                     | av_total_distance | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |

Πίνακας 15: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 2

| Model Summary <sup>b</sup> |                   |          |                   |                            |                 |                   |     |      |               |               |
|----------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-----|------|---------------|---------------|
| Model                      | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | Change Statistics |     |      | Sig. F Change | Durbin-Watson |
|                            |                   |          |                   |                            |                 | F Change          | df1 | df2  |               |               |
| 1                          | .732 <sup>a</sup> | .536     | .535              | .12739306                  | .536            | 508.135           | 3   | 1321 | .000          | .640          |

a. Predictors: (Constant), av\_total\_distance, Fuel\_Price, av\_speeding\_kmh  
b. Dependent Variable: av\_ha

Πίνακας 16: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) – Μοντέλο 2

| ANOVA <sup>a</sup> |            |                |      |             |         |                   |
|--------------------|------------|----------------|------|-------------|---------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df   | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                  | Regression | 24.740         | 3    | 8.247       | 508.135 | .000 <sup>b</sup> |
|                    | Residual   | 21.438         | 1321 | .016        |         |                   |
|                    | Total      | 46.178         | 1324 |             |         |                   |

a. Dependent Variable: av\_ha  
b. Predictors: (Constant), av\_total\_distance, Fuel\_Price, av\_speeding\_kmh

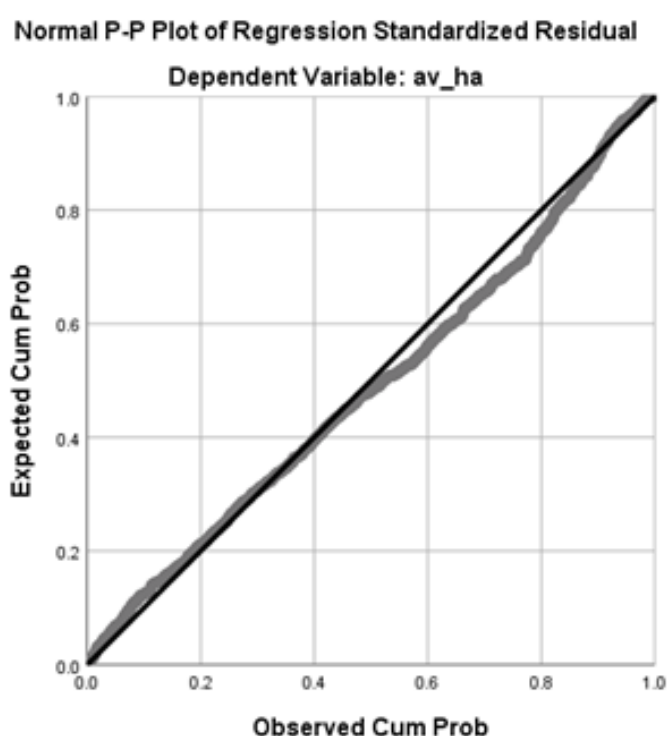
Πίνακας 17: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 2

|       |                   | Coefficients <sup>a</sup>   |            |                           |         |      |                                 |             |
|-------|-------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|------|---------------------------------|-------------|
| Model |                   | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t       | Sig. | 95.0% Confidence Interval for B |             |
|       |                   | B                           | Std. Error | Beta                      |         |      | Lower Bound                     | Upper Bound |
| 1     | (Constant)        | .513                        | .032       |                           | 16.213  | .000 | .451                            | .576        |
|       | Fuel_Price        | -.189                       | .014       | -.248                     | -13.128 | .000 | -.217                           | -.161       |
|       | av_speeding_kmh   | .128                        | .005       | .610                      | 28.287  | .000 | .119                            | .137        |
|       | av_total_distance | .007                        | .001       | .100                      | 4.645   | .000 | .004                            | .010        |

a. Dependent Variable: av\_ha

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει το μοντέλο 2 είναι:

$$av\_ha = 0.513 - 0.189 * Fuel\_Price + 0.128 * av\_speeding + 0.007 * av\_total\_distance$$



Διάγραμμα 16: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 2

Στο μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι. Πιο αναλυτικά:

- ✓ Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι αρκετά ικανοποιητικός, ίσος με 0,536
- ✓ Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- ✓ Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί
- ✓ Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα πρόσημα τους εξηγούνται με βάση τη λογική

**Σχολιασμός αποτελεσμάτων Μοντέλου 2 - Απότομες Επιταχύνσεις**

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από μερικές ακόμα ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

Παρατηρείται ότι το πρόσημο της μεταβλητής **Fuel\_Price** στο μοντέλο 2 εμφανίζεται αρνητικό και ίσο με  $-0,189$ . Αυτό συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του καυσίμου, δηλαδή όσο πλησιάζει την τιμή 2, τόσο μειώνονται οι απότομες επιταχύνσεις που πραγματοποιούν οι οδηγοί. Θα λέγαμε λοιπόν πως η αύξηση της τιμής του καυσίμου μπορεί να επηρεάσει την οδηγική συμπεριφορά και συγκεκριμένα, να οδηγήσει σε βελτίωση της συμπεριφοράς του οδηγού.

Η μεταβλητή **av\_speeding** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με  $0,128$  που σημαίνει ότι όσο αυξάνονται οι παραβιάσεις των ορίων ταχύτητας από τους οδηγούς, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις των οδηγών, που φυσικά και είναι λογικό. Η αποφυγή υπερβολικά υψηλής ταχύτητας σε ανοικτούς δρόμους έχει ως αποτέλεσμα ασφαλέστερη οδήγηση και καλύτερη οικονομία καυσίμου. Ωστόσο, δε μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομία καυσίμου επειδή κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται.

Η μεταβλητή **av\_total\_distance** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με  $0,007$  που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται απόσταση που διανύουν οι οδηγοί, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο αυξάνεται η διαδρομή που θα πρέπει να διανύσεις ο οδηγός, είναι επόμενο να νιώθει κόπωση και να εκτελεί περισσότερες απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.

### 5.2.3 Ανάπτυξη Μοντέλου 3: Πρόβλεψη των απότομων επιβραδύνσεων

Έπειτα από ποικίλες δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απότομες επιβραδύνσεις προέκυψε να είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τις **Απότομες Επιβραδύνσεις (av\_hb)** και ανεξάρτητες μεταβλητές την Τιμή Καυσίμου (Fuel\_Price), την Μέση Ταχύτητα (av\_sum\_speeding), τον Χρόνο Χρήσης Κινητού Τηλέφωνου (av\_time\_mobile\_usage), τη Διάρκεια Διαδρομής (av\_duration)

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 18: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 3

|                     |                      | Correlations |            |                 |                      |             |
|---------------------|----------------------|--------------|------------|-----------------|----------------------|-------------|
|                     |                      | av_hb        | Fuel_Price | av_sum_speeding | av_time_mobile_usage | av_duration |
| Pearson Correlation | av_hb                | 1.000        | -.204      | .491            | .416                 | .481        |
|                     | Fuel_Price           | -.204        | 1.000      | .028            | .050                 | .074        |
|                     | av_sum_speeding      | .491         | .028       | 1.000           | .658                 | .689        |
|                     | av_time_mobile_usage | .416         | .050       | .658            | 1.000                | .647        |
|                     | av_duration          | .481         | .074       | .689            | .647                 | 1.000       |
| Sig. (1-tailed)     | av_hb                | .            | .000       | .000            | .000                 | .000        |
|                     | Fuel_Price           | .000         | .          | .154            | .033                 | .004        |
|                     | av_sum_speeding      | .000         | .154       | .               | .000                 | .000        |
|                     | av_time_mobile_usage | .000         | .033       | .000            | .                    | .000        |
|                     | av_duration          | .000         | .004       | .000            | .000                 | .           |
| N                   | av_hb                | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | Fuel_Price           | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | av_sum_speeding      | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | av_time_mobile_usage | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |
|                     | av_duration          | 1325         | 1325       | 1325            | 1325                 | 1325        |

Πίνακας 19: Περίληψη μοντέλου (ModelSummary) – Μοντέλο 3

| Model Summary <sup>b</sup>                                                                |                   |          |                   |                            |                 |                   |     |      |               |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-----|------|---------------|---------------|
| Model                                                                                     | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | Change Statistics |     |      | Sig. F Change | Durbin-Watson |
|                                                                                           |                   |          |                   |                            |                 | F Change          | df1 | df2  |               |               |
| 1                                                                                         | .581 <sup>a</sup> | .338     | .336              | .20441047                  | .338            | 168.507           | 4   | 1320 | .000          | .347          |
| a. Predictors: (Constant), av_duration, Fuel_Price, av_time_mobile_usage, av_sum_speeding |                   |          |                   |                            |                 |                   |     |      |               |               |
| b. Dependent Variable: av_hb                                                              |                   |          |                   |                            |                 |                   |     |      |               |               |

Πίνακας 20: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) – Μοντέλο 3

| ANOVA <sup>a</sup>                                                                        |            |                |      |             |         |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|------|-------------|---------|-------------------|
| Model                                                                                     |            | Sum of Squares | df   | Mean Square | F       | Sig.              |
| 1                                                                                         | Regression | 28.163         | 4    | 7.041       | 168.507 | .000 <sup>b</sup> |
|                                                                                           | Residual   | 55.154         | 1320 | .042        |         |                   |
|                                                                                           | Total      | 83.318         | 1324 |             |         |                   |
| a. Dependent Variable: av_hb                                                              |            |                |      |             |         |                   |
| b. Predictors: (Constant), av_duration, Fuel_Price, av_time_mobile_usage, av_sum_speeding |            |                |      |             |         |                   |

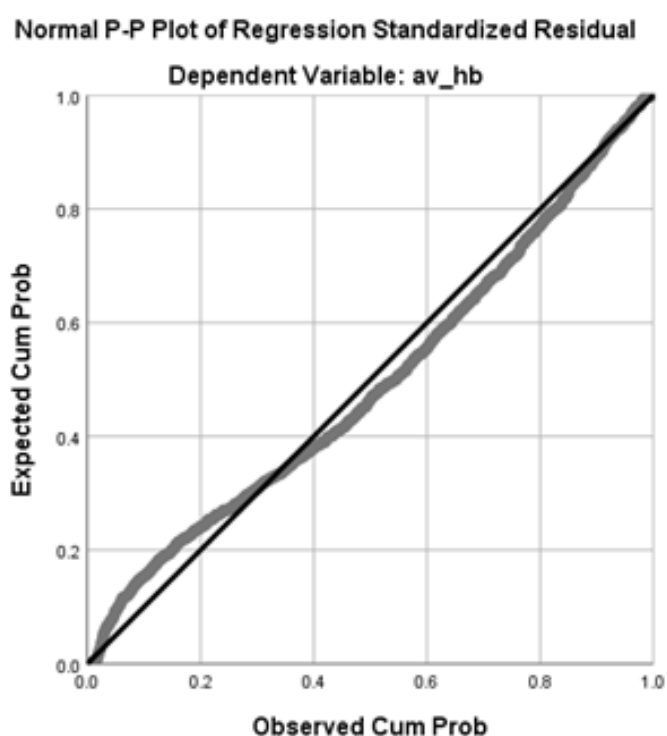
Πίνακας 21: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 3

|       |                      | Coefficients <sup>a</sup>   |            |                           |         |      |                                 |             |
|-------|----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|------|---------------------------------|-------------|
| Model |                      | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t       | Sig. | 95.0% Confidence Interval for B |             |
|       |                      | B                           | Std. Error | Beta                      |         |      | Lower Bound                     | Upper Bound |
| 1     | (Constant)           | .825                        | .060       |                           | 13.657  | .000 | .707                            | .944        |
|       | Fuel_Price           | -.240                       | .023       | -.235                     | -10.451 | .000 | -.285                           | -.195       |
|       | av_sum_speeding      | .002                        | .000       | .258                      | 7.715   | .000 | .002                            | .003        |
|       | av_time_mobile_usage | .002                        | .001       | .088                      | 2.752   | .006 | .001                            | .003        |
|       | av_duration          | .001                        | .000       | .264                      | 7.968   | .000 | .000                            | .001        |

a. Dependent Variable: av\_hb

Η μαθηματική σχέση του μοντέλου3 που προέκυψε είναι:

$$av\_hb = 0.825 - 0.240 * Fuel\_Price + 0.002 * av\_sum\_speeding + 0.002 * av\_time\_mobile\_usage + 0.01 * av\_duration$$



Διάγραμμα 17: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 3

Στο μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι. Πιο αναλυτικά:

- ✓ Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι αρκετά ικανοποιητικός, ίσος με 0,338

- ✓ Ο έλεγχος του  $t$  να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- ✓ Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί
- ✓ Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα πρόσημα τους εξηγούνται με βάση τη λογική

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων Μοντέλου 3 - Απότομες Επιβραδύνσεις

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

Παρατηρείται ότι το πρόσημο της μεταβλητής **Fuel\_Price** στο μοντέλο 3 εμφανίζεται αρνητικό και ίσο με -0,240. Αυτό συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του καυσίμου, οδηγεί στη μείωση των απότομων επιβραδύνσεων. Η αλλαγή στον τρόπο οδήγησης και η επίδειξη προσοχής κατά τη διάρκεια της οδήγησης μπορούν, όπως φαίνεται, να επιφέρουν εξοικονόμηση καυσίμου.

Η μεταβλητή **av\_sum\_speeding** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,002 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα που αναπτύσσει ο οδηγός τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση. Η αποφυγή υπερβολικά υψηλής ταχύτητας σε ανοικτούς δρόμους έχει ως αποτέλεσμα ασφαλέστερη οδήγηση, μείωση των απότομων επιβραδύνσεων και φυσικά καλύτερη οικονομία καυσίμου. Με την ομαλή οδήγηση και με μέσες ταχύτητες πορείας εξασφαλίζεται βέλτιστη οικονομία καυσίμου και οδική ασφάλεια. Η μεταβλητή **av\_time\_mobile\_usage** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,002 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο απασχολημένος στο κινητό τηλέφωνο είναι ο οδηγός ενδέχεται να εκτελεί περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τα ευρήματα που έχουν προκύψει στο μοντέλο 1.

Η μεταβλητή **av\_duration** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με 0,001 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η διάρκεια οδήγησης, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς είναι επόμενο ο οδηγός να νιώθει κόπωση και να εκτελεί περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.

#### 5.2.4 Ανάπτυξη Μοντέλου 4: Πρόβλεψη των απότομων επιβραδύνσεων

Τέλος, ένα επίσης αξιόπιστο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απότομες επιβραδύνσεις προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τις **Απότομες Επιβραδύνσεις (av\_hb)** και ανεξάρτητες μεταβλητές την Τιμή Καυσίμου (Fuel\_Price), την Υπέρβαση του Ορίου Ταχύτητας (av\_speeding), τη Συνολική Απόσταση Διαδρομής (av\_total\_distance).

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 22: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 4

| Correlations        |                   |       |            |                 |                   |
|---------------------|-------------------|-------|------------|-----------------|-------------------|
|                     |                   | av_hb | Fuel_Price | av_speeding_kmh | av_total_distance |
| Pearson Correlation | av_hb             | 1.000 | -.204      | .629            | .418              |
|                     | Fuel_Price        | -.204 | 1.000      | -.113           | .006              |
|                     | av_speeding_kmh   | .629  | -.113      | 1.000           | .480              |
|                     | av_total_distance | .418  | .006       | .480            | 1.000             |
| Sig. (1-tailed)     | av_hb             | .     | .000       | .000            | .000              |
|                     | Fuel_Price        | .000  | .          | .000            | .419              |
|                     | av_speeding_kmh   | .000  | .000       | .               | .000              |
|                     | av_total_distance | .000  | .419       | .000            | .                 |
| N                   | av_hb             | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |
|                     | Fuel_Price        | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |
|                     | av_speeding_kmh   | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |
|                     | av_total_distance | 1325  | 1325       | 1325            | 1325              |

Πίνακας 23: Περίληψη μοντέλου (Model Summary) – Μοντέλο 4

| Model Summary <sup>b</sup> |                   |          |                   |                            |                 |                   |     |      |               |               |
|----------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-----|------|---------------|---------------|
| Model                      | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | Change Statistics |     |      | Sig. F Change | Durbin-Watson |
|                            |                   |          |                   |                            |                 | F Change          | df1 | df2  |               |               |
| 1                          | .659 <sup>a</sup> | .434     | .433              | .18893131                  | .434            | 337.718           | 3   | 1321 | .000          | .345          |

a. Predictors: (Constant), av\_total\_distance, Fuel\_Price, av\_speeding\_kmh  
b. Dependent Variable: av\_hb

Πίνακας 24: Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) – Μοντέλο 4

| ANOVA <sup>a</sup> |            |                |      |             |                   |
|--------------------|------------|----------------|------|-------------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df   | Mean Square | Sig.              |
| 1                  | Regression | 36.165         | 3    | 12.055      | .000 <sup>b</sup> |
|                    | Residual   | 47.153         | 1321 | .036        |                   |
|                    | Total      | 83.318         | 1324 |             |                   |

a. Dependent Variable: av\_hb  
b. Predictors: (Constant), av\_total\_distance, Fuel\_Price, av\_speeding\_kmh



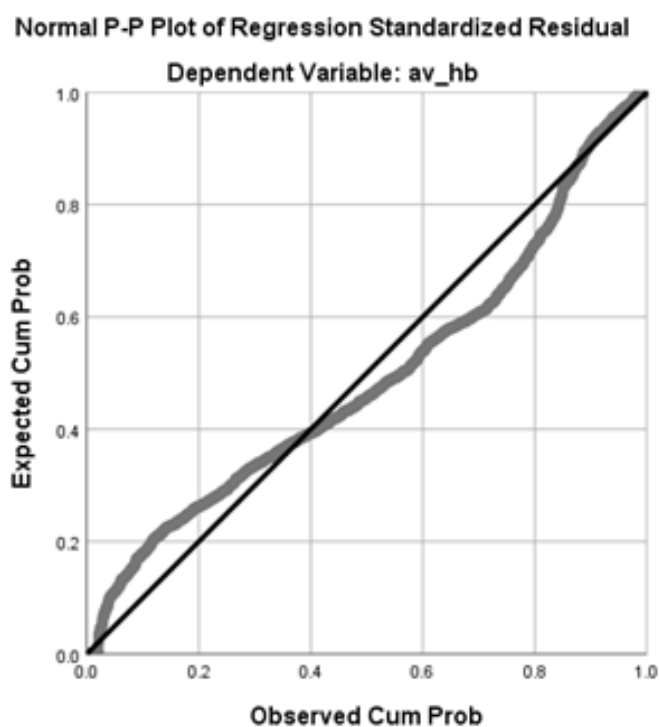
Πίνακας 25: Μεταβλητές στην εξίσωση (Variables in the Equation) – Μοντέλο 4

| Coefficients <sup>a</sup> |                   |                             |            |                           |        |      |                                 |             |
|---------------------------|-------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|---------------------------------|-------------|
| Model                     |                   | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. | 95.0% Confidence Interval for B |             |
|                           |                   | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      | Lower Bound                     | Upper Bound |
| 1                         | (Constant)        | .614                        | .047       |                           | 13.078 | .000 | .522                            | .706        |
|                           | Fuel_Price        | -.148                       | .021       | -.144                     | -6.904 | .000 | -.189                           | -.106       |
|                           | av_speeding_kmh   | .151                        | .007       | .535                      | 22.491 | .000 | .138                            | .164        |
|                           | av_total_distance | .015                        | .002       | .162                      | 6.843  | .000 | .011                            | .019        |

a. Dependent Variable: av\_hb

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει το μοντέλο 4 είναι:

$$av\_hb = 0.614 - 0.148 * Fuel\_Price + 0.151 * av\_speeding + 0.015 * av\_total\_distance$$



Διάγραμμα 18: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το Μοντέλο 4

Στο μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι. Πιο αναλυτικά:

- ✓ Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι αρκετά ικανοποιητικός, ίσος με 0,434
- ✓ Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται

- ✓ Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί
- ✓ Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο καθώς και τα πρόσημα τους εξηγούνται με βάση τη λογική

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων Μοντέλου 4 - Απότομες Επιβραδύνσεις

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

Παρατηρείται ότι το πρόσημο της μεταβλητής **Fuel\_Price** στο μοντέλο 4 εμφανίζεται αρνητικό και ίσο με  $-0,148$ . Αυτό συνεπάγεται ότι όσο αυξάνεται η τιμή στο καύσιμο, δηλαδή όσο η μεταβλητή πλησιάζει την τιμή 1, τόσο μειώνονται οι απότομες επιβραδύνσεις που πραγματοποιούν οι οδηγοί.

Η μεταβλητή **av\_speeding** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με  $0,151$  που σημαίνει ότι όσο αυξάνονται η υπέρβαση του ορίου ταχύτητας από τους οδηγούς, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις που πραγματοποιούν οι οδηγοί, που φυσικά και είναι λογικό. Όταν οι οδηγοί αναπτύσσουν ταχύτητες άνω των επιτρεπόμενων ορίων, είναι λογικό να πραγματοποιούν και αντίστοιχες απότομες πεδήσεις στην προσπάθεια τους να συμμορφωθούν με τα όρια. Ωστόσο, δε μπορούμε να εξαγάγουμε το συμπέρασμα ότι όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομία καυσίμου επειδή κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται. Με την ομαλή οδήγηση και με μέσες ταχύτητες πορείας εξασφαλίζεται βέλτιστη οικονομία καυσίμου και οδική ασφάλεια.

Η μεταβλητή **av\_total\_distance** έχει θετικό πρόσημο και ίσο με  $0,015$  που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η απόσταση που διανύουν οι οδηγοί, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο αυξάνεται η απόσταση που διανύει ο οδηγός, είναι λογικό να εξαντλείται η υπομονή του, να κουράζεται και να πραγματοποιεί περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται περισσότερο καύσιμο.

### 5.3 Ελαστικότητα και Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών

Στο σημείο αυτό κρίθηκε σημαντικός ο υπολογισμός του βαθμού επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών των παραπάνω μοντέλων στην αντίστοιχη εξαρτημένη τους μεταβλητή, δηλαδή αυτή του δείκτη συνολικής επίδοσης. Ο **βαθμός της επιρροής** των ανεξάρτητων μεταβλητών εκφράζεται ποσοτικά μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού βασίστηκε στη θεωρία της ελαστικότητας και αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Η ελαστικότητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, που σε αντίθεση με τους συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου, δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών. Σε συνδυασμό με το πρόσημο των συντελεστών, είναι πιθανό να προσδιοριστεί αν η αύξηση κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής επιφέρει αύξηση ή μείωση στην εξαρτημένη. Είναι

πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η κατά 1% μεταβολή της ανεξάρτητης.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το είδος και ο μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη για κάθε μοντέλο που προέκυψε παραπάνω. Συγκεκριμένα, για το Μοντέλο 1 προέκυψαν τα παρακάτω ευρήματα του πίνακα:

Πίνακας 26: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 1

| Ανεξάρτητες Μεταβλητές          | Συντελεστής β <sub>i</sub> | t     | Ελαστικότητα (ε <sub>i</sub> ) | Σχετική Επιρροή (ε <sub>i</sub> *) |
|---------------------------------|----------------------------|-------|--------------------------------|------------------------------------|
| Τιμή Καυσίμου                   | -0.296                     | -17.2 | -0.615                         | -6.90                              |
| Μέση Ταχύτητα                   | 0.001                      | 6.9   | 0.089                          | 1.00                               |
| Χρόνος Χρήσης Κινητού Τηλεφώνου | 0.002                      | 4.4   | 0.098                          | 1.10                               |
| Διάρκεια Διαδρομής              | 0.001                      | 10.7  | 1.197                          | 13.42                              |

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 1 της πρόβλεψης των απότομων επιταχύνσεων, παρατηρούνται τα εξής:

Η επιρροή της μεταβλητής **av\_duration** είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της διάρκειας της διαδρομής στο δείκτη των απότομων επιταχύνσεων. Στο Μοντέλο 1 η διάρκεια διαδρομής είναι η μεταβλητή η οποία επηρεάζει περισσότερο τις απότομες επιταχύνσεις των οδηγών. Η τιμή της επιρροής είναι 1,197.

Η μεταβλητή **av\_sum\_speeding** εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο Μοντέλο 1. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 13,42 φορές λιγότερο.

Η επιρροή της μεταβλητής **Fuel\_Price** είναι η δεύτερη μεγαλύτερη σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές και είναι μόνο 1,95 φορές μικρότερη σε σχέση με τη μεγαλύτερη επιρροή.

Τέλος, η επιρροή της μεταβλητής **av\_time\_mobile\_usage** είναι μόλις 0.1 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την μικρότερη επιρροή και 12,2 φορές μικρότερη σε σχέση με τη μεταβλητή **av\_duration** που έχει την μεγαλύτερη επιρροή.

Στον επόμενο πίνακα με παρόμοιοι τρόπο σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν αντίστοιχα για το Μοντέλο 2:

Πίνακας 27: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 2

| Ανεξάρτητες Μεταβλητές | Συντελεστής β <sub>i</sub> | t     | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) |
|------------------------|----------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| Τιμή Καυσίμου          | -0.189                     | -13.1 | -0.392            | 1.00                  |
| Υπέρβαση Ταχύτητας     | 0.128                      | 28.3  | 0.678             | -1.73                 |
| Συνολική Απόσταση      | 0.007                      | 4.6   | 14.042            | -35.78                |

Η επιρροή της μεταβλητής **av\_total\_distance** είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό αποδεικνύει τη σημαντικότητα της απόστασης της διαδρομής στο δείκτη των απότομων επιταχύνσεων. Στο Μοντέλο 2 η απόσταση διαδρομής είναι η μεταβλητή η οποία επηρεάζει περισσότερο τις απότομες επιταχύνσεις των οδηγών. Η τιμή της επιρροής είναι 14,04.

Η μεταβλητή **Fuel\_Price** εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο Μοντέλο 2. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 35,78 φορές λιγότερο.

Η επιρροή της μεταβλητής **av\_speeding** είναι η δεύτερη μικρότερη μεταβλητή και είναι μόνο 0,73 φορές μικρότερη σε σχέση με τη μικρότερη επιρροή.

Στον επόμενο πίνακα εξετάζονται οι σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 3 της πρόβλεψης των απότομων επιβραδύνσεων και παρατηρούνται τα εξής:

Πίνακας 28: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 3

| Ανεξάρτητες Μεταβλητές          | Συντελεστής β <sub>i</sub> | t     | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) |
|---------------------------------|----------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| Τιμή Καυσίμου                   | -0.240                     | -10.5 | -0.345            | -5.02                 |
| Μέση Ταχύτητα                   | 0.002                      | 7.7   | 0.124             | 1.81                  |
| Χρόνος Χρήσης Κινητού Τηλεφώνου | 0.002                      | 2.8   | 0.069             | 1.00                  |
| Διάρκεια Διαδρομής              | 0.010                      | 8.0   | 8.348             | 121.48                |

Η επιρροή της μεταβλητής **av\_duration** είναι και πάλι η μεγαλύτερη σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της διάρκειας της διαδρομής στο δείκτη των απότομων επιβραδύνσεων. Στο Μοντέλο 3 η διάρκεια διαδρομής είναι η μεταβλητή η οποία επηρεάζει περισσότερο τις απότομες επιβραδύνσεων των οδηγών. Η τιμή της επιρροής είναι 8,348.

Η μεταβλητή **av\_time\_mobile\_usage** εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο Μοντέλο 3. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 121,48 φορές λιγότερο.

Η επιρροή της μεταβλητής **Fuel\_Price** είναι η δεύτερη μεγαλύτερη σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές και είναι 24,2 φορές μικρότερη σε σχέση με τη μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή.

Τέλος, η επιρροή της μεταβλητής **av\_sum\_speeding** είναι μόλις 0.81 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την μικρότερη επιρροή και 67,1 φορές μικρότερη σε σχέση με τη μεταβλητή **av\_duration** που έχει την μεγαλύτερη επιρροή.

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό, από τον επόμενο πίνακα που αφορά στο Μοντέλο 4 παρατηρούμε:

Πίνακας 29: Ελαστικότητα και Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο Μοντέλο 4

| Ανεξάρτητες Μεταλητές | Συντελεστής β <sub>i</sub> | t    | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) |
|-----------------------|----------------------------|------|-------------------|-----------------------|
| Τιμή Καυσίμου         | -0.148                     | -6.9 | -0.213            | -1.45                 |
| Υπέρβαση Ταχύτητας    | 0.151                      | 22.5 | 0.560             | 3.82                  |
| Συνολική Απόσταση     | 0.015                      | 6.8  | 0.146             | 1.00                  |

Η επιρροή της μεταβλητής **av\_speeding** είναι εκείνη με τη μεγαλύτερη επιρροή. Αυτό αποδεικνύει τη σημαντικότητα της υπέρβασης του ορίου ταχύτητας στο δείκτη των απότομων επιβραδύνσεων. Στο Μοντέλο 4 η υπέρβαση του ορίου ταχύτητας είναι η μεταβλητή η οποία επηρεάζει περισσότερο τις απότομες επιβραδύνσεων των οδηγών. Η τιμή της επιρροής είναι 0,56.

Η μεταβλητή **av\_total\_distance** εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο Μοντέλο 4. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 3.82 φορές λιγότερο.

Η επιρροή της μεταβλητής **Fuel\_Price** είναι η δεύτερη μικρότερη μεταβλητή και είναι μόνο 0,45 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τη μικρότερη επιρροή.

## 6. Συμπεράσματα

### 6.1 Σύνοψη

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάλυση της **επιρροής της τιμής του καυσίμου στη βελτίωση της απότομης συμπεριφοράς του οδηγού στην Ελλάδα**. Επιδιώχθηκε σφαιρική προσέγγιση του **ερευνητικού αντικειμένου**, προκειμένου τα συμπεράσματα που θα προκύψουν να είναι σαφή, αντικειμενικά και να συμβάλουν στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών με γνώμονα την τιμή του καυσίμου.

Αναλυτικότερα, προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος συλλέχθηκαν κατάλληλα δεδομένα τα οποία αφορούσαν στη συμπεριφορά των οδηγών στην Αθήνα. Η βάση δεδομένων ολοκληρώθηκε με την συγκέντρωση των **τιμών της αμόλυβδης βενζίνης** ανά ημέρα για τα έτη 2019 έως 2022.

Κατόπιν βιβλιογραφικής ανασκόπησης διαπιστώθηκε πως υπάρχουν συναφείς που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και σχετίζονται με το ερευνητικό αντικείμενο της παρούσας Εργασίας. Η **βιβλιογραφική ανασκόπηση** συγκέντρωσε επιστημονικές έρευνες επί του θέματος από τις οποίες αντλήθηκαν χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα. Έπειτα, παρουσιάστηκε το **θεωρητικό υπόβαθρο** το οποίο ήταν απαραίτητο για τις στατιστικές αναλύσεις της Διπλωματικής Εργασίας. Παρατέθηκαν οι βασικότεροι ορισμοί της στατιστικής και οι αντίστοιχοι μαθηματικοί τύποι για την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου. Δόθηκε έμφαση στο τελικό μοντέλο καθώς επίσης και ελέγχους οι οποίοι ανέδειξαν την στατιστική σημαντικότητα. Στο επόμενο στάδιο παρουσιάστηκε η διαδικασία της **συλλογής δεδομένων** και η επεξεργασία τους. Με την βοήθεια της τελικής βάσης δεδομένων εφαρμόστηκαν τα στατιστικά μοντέλα και προέκυψαν σημαντικά ευρήματα.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μια σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν τέσσερα μαθηματικά μοντέλα με τη μέθοδο της **πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης**, όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 30: Μοντέλα Πρόβλεψης Απότομων Επιταχύνσεων/ Επιβραδύνσεων**

| Ανεξάρτητες Μεταλητές           | Μοντέλο 1      |        |                   |                       | Μοντέλο 2      |        |                   |                       | Μοντέλο 3      |        |                   |                       | Μοντέλο 4      |       |                   |                       |
|---------------------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------------|----------------|-------|-------------------|-----------------------|
|                                 | Συντελεστής βι | t      | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) | Συντελεστής βι | t      | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) | Συντελεστής βι | t      | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) | Συντελεστής βι | t     | Ελαστικότητα (ei) | Σχετική Επιρροή (ei*) |
| Τιμή Καυσίμου                   | -0.30          | -17.20 | -0.61             | -6.90                 | -0.19          | -13.13 | -0.39             | 1.00                  | -0.24          | -10.45 | -0.34             | -5.02                 | -0.15          | -6.90 | -0.21             | -1.45                 |
| Μέση Ταχύτητα                   | 0.00           | 6.92   | 0.09              | 1.00                  | -              | -      | -                 | -                     | 0.00           | 7.72   | 0.12              | 1.81                  | -              | -     | -                 | -                     |
| Χρόνος Χρήσης Κινητού Τηλεφώνου | 0.00           | 4.40   | 0.10              | 1.10                  | -              | -      | -                 | -                     | 0.00           | 2.75   | 0.07              | 1.00                  | -              | -     | -                 | -                     |
| Διάρκεια Διαδρομής              | 0.00           | 10.72  | 1.20              | 13.42                 | -              | -      | -                 | -                     | 0.01           | 7.97   | 8.35              | 121.48                | -              | -     | -                 | -                     |
| Υπέρβαση Ορίου Ταχύτητας        | -              | -      | -                 | -                     | 0.13           | 28.29  | 0.68              | -1.73                 | -              | -      | -                 | -                     | 0.15           | 22.49 | 0.56              | 3.82                  |
| Συνολική Απόσταση               | -              | -      | -                 | -                     | 0.01           | 4.65   | 14.04             | -35.78                | -              | -      | -                 | -                     | 0.02           | 6.84  | 0.15              | 1.00                  |
| R <sup>2</sup>                  | 0.448          |        |                   |                       | 0.536          |        |                   |                       | 0.338          |        |                   |                       | 0.434          |       |                   |                       |

## 6.2 Συμπεράσματα

Από τη διερεύνηση και την ανάλυση στα διάφορα στάδια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψαν **αποτελέσματα που είναι άμεσα συνδεδεμένα με το αρχικό ερώτημα** και τον στόχο που ορίστηκε εξ' αρχής. Σε αυτό το υποκεφάλαιο, προσπαθούμε να δώσουμε μια απάντηση στα συνολικά ερωτήματα της έρευνάς μας, συνδυάζοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

- ✓ Από τις πρωταρχικές κιόλας αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιγραφική στατιστική προέκυψε ότι κατά τις περιόδους με υψηλές τιμές καυσίμου, **οι οδηγοί τείνουν να μειώνουν τη μέση ταχύτητα τους**, πιθανότατα ως αποτέλεσμα της αυξημένης επιβάρυνσης που επέρχεται στον οικονομικό προϋπολογισμό τους.
- ✓ Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι όταν η τιμή του καυσίμου ξεπερνά το όριο των 1,65€/lt, η μέση ταχύτητα ισούται με 68 km/h, ενώ όταν η τιμή του καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1,65€/lt, η μέση ταχύτητα ισούται με 74 km/h. Με βάση αυτά τα στοιχεία, φαίνεται ότι υπάρχει μια **σημαντική μείωση 8% στη μέση ταχύτητα** όταν η τιμή του καυσίμου είναι μεγαλύτερη από 1,65€/lt. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να υποδηλώνει πως οι οδηγοί σε περιόδους με υψηλότερη τιμή καυσίμου αναπτύσσουν χαμηλότερες ταχύτητες διότι δεν επιθυμούν σπατάλη καυσίμου, άρα και χρήματος.
- ✓ Επιπλέον, προέκυψαν ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις σχετικά με την απότομη συμπεριφορά του οδηγού. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι όσο μειώνεται η τιμή του καυσίμου, **τόσο αυξάνονται οι απότομες επιταχύνσεις των οδηγών**. Το συμπέρασμα αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί αν σκεφτούμε πως όλοι οι οδηγοί τείνουν να ελέγχουν το πάτημα στο γκάζι υπό την σκέψη το κόστους αγοράς καυσίμου.
- ✓ Ομοίως, κατά τις περιόδους με χαμηλές τιμές καυσίμου, **οι οδηγοί τείνουν να πραγματοποιούν και περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις**. Το γεγονός ότι οι οδηγοί τείνουν να μειώνουν απότομα την ταχύτητα τους και να επιβραδύνουν όταν οι τιμές της βενζίνης είναι χαμηλές, θα μπορούσε να θεωρηθεί και θετικό από την άποψη της οδικής ασφάλειας, καθώς οι χαμηλές ταχύτητες μειώνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων.
- ✓ Πιο αναλυτικά, από τα περιγραφικά στοιχεία, προέκυψε ότι όταν η τιμή του καυσίμου ήταν μεγαλύτερη από 1,65€/lt, ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων **μειώθηκε κατά 15%** σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό όταν η τιμή του καυσίμου ήταν χαμηλότερη από 1,65€/lt.
- ✓ Μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση που προέκυψε είναι ότι όσο υψηλότερη είναι η τιμή του καυσίμου, τόσο **μικρότερη είναι η συνολική απόσταση που διανύουν τα οχήματα**. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της οικονομικής επιβάρυνσης που προκαλεί η υψηλή τιμή του καυσίμου, καθώς οι οδηγοί προτιμούν να μειώσουν τις μεγάλες αποστάσεις που διανύουν για να εξοικονομήσουν καύσιμα και να στραφούν σε εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης (π.χ. μέσα μαζικής μεταφοράς). Αντίθετα, όταν η

τιμή του καυσίμου είναι χαμηλή, οι οδηγοί φαίνεται να διανύουν **μεγαλύτερες συνολικές αποστάσεις** (αντιστοίχως και **μεγαλύτερη διάρκεια διαδρομής**). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι με χαμηλή τιμή καυσίμου, οι οδηγοί αισθάνονται ότι μπορούν να καταναλώσουν περισσότερη ποσότητα καυσίμου και να πραγματοποιήσουν περισσότερες μετακινήσεις.

- ✓ Παρατηρήθηκε, επίσης, ότι όταν η τιμή του καυσίμου είναι υψηλή, **οι οδηγοί περιορίζουν τη διάρκεια οδήγησης** με σκοπό να εξοικονομήσουν καύσιμο και να μειώσουν το κόστος.

Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- ✓ Όσο αυξάνεται η **μέση ταχύτητα που αναπτύσσει ο οδηγός**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιταχύνσεις** κατά την οδήγηση. Η αποφυγή υπερβολικά υψηλής ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα ασφαλέστερη οδήγηση, μείωση των απότομων επιταχύνσεων και φυσικά καλύτερη οικονομία καυσίμου. Το γεγονός αυτό δε θα πρέπει βέβαια να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομία καυσίμου επειδή κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται. Με την ομαλή οδήγηση και με μέσες ταχύτητες πορείας εξασφαλίζεται βέλτιστη οικονομία καυσίμου και οδική ασφάλεια.
- ✓ Όσο αυξάνεται η **χρήση κινητού τηλεφώνου**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιταχύνσεις** κατά την οδήγηση. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο απασχολημένος στο κινητό τηλέφωνο είναι ο οδηγός, ενδέχεται να εκτελεί περισσότερες απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.
- ✓ Όσο αυξάνεται η **διάρκεια της οδήγησης**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιταχύνσεις**. Η παρατήρηση αυτή είναι λογική διότι καθώς αυξάνεται η διάρκεια της οδήγησης, είναι επόμενο ο οδηγός να κουράζεται και σταδιακά να αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις του.
- ✓ Αντίστοιχα, όσο αυξάνεται η συνολική **διανυθείσα απόσταση οι οδηγοί**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιταχύνσεις**. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται λογικό, καθώς όσο περισσότερο αυξάνεται η διαδρομή που θα πρέπει να διανύσει ο οδηγός, είναι επόμενο να νιώθει κόπωση και να εκτελεί περισσότερες απότομες επιταχύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.
- ✓ Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις απότομες επιβραδύνσεις. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η **χρήση κινητού τηλεφώνου**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιβραδύνσεις** κατά την οδήγηση. Το αποτέλεσμα μπορεί να εξηγηθεί, καθώς όσο περισσότερο απασχολημένος στο κινητό τηλέφωνο είναι ο οδηγός ενδέχεται να καθυστερεί να πατήσει φρένο έγκαιρα και επομένως



εκτελεί περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τα ευρήματα που έχουν προκύψει στο μοντέλο 1.

- ✓ Όσο αυξάνεται η **διάρκεια οδήγησης**, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιβραδύνσεις**. Το εξηγείται λογικά, καθώς είναι επόμενο ο οδηγός να νιώθει κόπωση και να εκτελεί περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται και περισσότερο καύσιμο.
- ✓ Για τον ίδιο λόγο με προηγουμένως, όσο αυξάνεται η **απόσταση που διανύουν** οι οδηγοί, τόσο αυξάνονται και οι απότομες **επιβραδύνσεις**. Το παραπάνω εξηγείται λογικά, καθώς όσο αυξάνεται η απόσταση που διανύει ο οδηγός, είναι λογικό να εξαντλείται η υπομονή του, να κουράζεται και να πραγματοποιεί περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις κατά την οδήγηση και φυσικά δαπανάται περισσότερο καύσιμο.

### 6.3 Προτάσεις για την βελτίωση της συμπεριφοράς του οδηγού

Η βελτίωση της συμπεριφοράς του οδηγού μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλέστερη οδήγηση, μείωση των απότομων επιταχύνσεων και καλύτερη οικονομία καυσίμου. Ορισμένες προτάσεις για τη βελτίωση της συμπεριφοράς του οδηγού περιλαμβάνουν:

- ✓ Η αστυνόμευση αποτελεί σημαντικό μέσο για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών και την προώθηση της οδικής ασφάλειας. Ο ρόλος της αστυνομίας σε θέματα οδικής ασφάλειας περιλαμβάνει την εφαρμογή των κανονισμών και των νόμων κυκλοφορίας, τον έλεγχο της τήρησής τους και την επιβολή των κατάλληλων κυρώσεων σε περίπτωση παραβάσεων. Η παρουσία αστυνομικών δυνάμεων στον δρόμο δημιουργούν ένα αίσθημα επιτήρησης και ευθύνης, που μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά των οδηγών. Οι επιτήρηση, οι έλεγχοι και οι κυρώσεις που επιβάλλονται σε περίπτωση παραβάσεων λειτουργούν ως αποτρεπτικοί παράγοντες, προωθώντας την τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας και την ανάπτυξη ασφαλούς οδικής συμπεριφοράς.
- ✓ Η χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς (MMM) μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών. Αν και αυτό μπορεί να φαίνεται αντιφατικό, υπάρχουν ορισμένοι τρόποι με τους οποίους η χρήση των MMM μπορεί να επηρεάσει θετικά την οδική συμπεριφορά. Ορισμένα παραδείγματα περιλαμβάνουν:
  1. Μείωση της οδικής συμφόρησης: Η χρήση των MMM μειώνει τον αριθμό των ιδιωτικών οχημάτων στους δρόμους, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συμφόρηση. Αυτό διευκολύνει την ομαλή ροή της κυκλοφορίας και μειώνει την πιθανότητα παραβίασης των κανόνων και της επικίνδυνης συμπεριφοράς των οδηγών.
  2. Προαγωγή της ασφάλειας: Οι συχνές επιλογές των MMM μπορούν να διαμορφώσουν μια κουλτούρα ασφαλούς συμπεριφοράς. Οι επιβάτες των MMM εκτίθενται σε ασφαλείς και καλά οργανωμένες μεταφορικές λύσεις.

- ✓ Καμπάνιες ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για να ενισχυθεί η συνείδηση των οδηγών και να προωθηθεί η ασφαλής συμπεριφορά στον δρόμο. Αυτές οι καμπάνιες μπορούν να περιλαμβάνουν την προβολή διαφημίσεων, την οργάνωση εκδηλώσεων και εκπαιδευτικών προγραμμάτων, καθώς και τη διάδοση πληροφοριών μέσω των μέσων ενημέρωσης και των κοινωνικών δικτύων. Ο στόχος των καμπανιών είναι να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των οδηγών, προωθώντας θετικές συνήθειες, όπως η τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας, η μείωση της ταχύτητας και η αποφυγή αναποτελεσματικών οδικών συμπεριφορών.
- Ομαλή και σταθερή οδήγηση, αποφεύγοντας απότομες επιταχύνσεις και φρεναρίσματα. Οι απαλές επιταχύνσεις και αργά φρεναρίσματα μπορούν να βελτιώσουν την οικονομία καυσίμου και να μειώσουν τη φθορά των φρένων.
- Σεβασμός των ορίων ταχύτητας. Η υπέρβαση των ορίων ταχύτητας αυξάνει τον κίνδυνο ατυχημάτων, εξαντλεί το καύσιμο και μπορεί να οδηγήσει σε απότομες επιταχύνσεις.
- Αποφυγή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Η αφοσίωση στο κινητό τηλέφωνο μπορεί να μειώσει την προσοχή σας και να οδηγήσει σε απότομες επιταχύνσεις - επιβραδύνσεις και αυξημένη κατανάλωση καυσίμου.
- Σωστή και τακτική συντήρηση του οχήματος. Τα ελαστικά θα πρέπει να διατηρούνται σωστά φουσκωμένα, θα πρέπει να πραγματοποιείται συχνός έλεγχος στα επίπεδα του λαδιού και άλλων υγρών και να εκτελούνται οι απαραίτητες επισκευές ώστε να διατηρείται το όχημα σε καλή κατάσταση.
- Εξοικείωση με τους κανονισμούς και τις πρακτικές οδήγησης και συμμόρφωση με αυτούς. Το κράτος θα μπορούσε να επενδύσει σε προγράμματα εκπαίδευσης οδηγών με σκοπό την ενημέρωση των πολιτών για τις σύγχρονες τεχνικές οδήγησης που προωθούν την οικονομία καυσίμου και την ασφάλεια.
- Σχεδιασμός της διαδρομής εκ των προτέρων για την αποφυγή της συμφόρησης και τις περιοχές με υψηλή κυκλοφορία. Μπορείτε να επιλέξετε διαδρομές με λιγότερες στροφές και περισσότερα ανοικτά τμήματα δρόμου που επιτρέπουν ομαλή οδήγηση.
- Προσαρμογή της οδήγησής στις διάφορες συνθήκες, όπως ο καιρός, ο δρόμος και η κυκλοφορία.
- Παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω του υπολογιστή του οχήματος για να ελέγχεται η κατανάλωση και να προσαρμόζεται η οδήγησή ανάλογα.
- Αποφυγή υπερβολικού φορτίου του οχήματος με περιττά αντικείμενα ή αποσκευές, καθώς αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και επηρεάζει τη σταθερότητα και την απόκριση του οχήματος.

## 6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση των παρακάτω:

- ✓ Αναντίρρητα, η παρατήρηση των ίδιων μεταβλητών **σε μεγαλύτερο δείγμα οδηγών**, θα παρουσίαζε αρκετό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, όσο περισσότεροι οδηγοί συμμετέχουν στο πείραμα, τόσο πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προκύπτουν.
- ✓ Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση της απότομης συμπεριφοράς του οδηγού σε αστικό και υπεραστικό δίκτυο, προκειμένου να εντοπίσουμε εάν ο ίδιος οδηγός συμπεριφέρεται διαφορετικά.
- ✓ Όσον αφορά στη μεθοδολογία ανάλυσης ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης, όπως η ανάλυση με χρονοσειρές ή η ανάλυση ομαδοποίησης και η ανάλυση παραγόντων με σκοπό την **ομαδοποίηση των οδηγών ανάλογα με τη συμπεριφορά τους**. Αρκετό ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μάλιστα ένα αντίστοιχο πείραμα στο οποίο θα συμμετείχαν οι οδηγοί όλων των ηλικιών με τις **χειρότερες επιδόσεις**.
- ✓ Επιπροσθέτως, πολύ χρήσιμη θα ήταν μια ανάλυση η οποία θα στηριζόταν σε **ακόμα περισσότερα δεδομένα**, όπως η ψυχολογική κατάσταση των συμμετεχόντων και τα χαρακτηριστικά του οχήματος (κινητήριος δύναμη, ίπποι, ηλικία, καύσιμο, κυβισμός κλπ.). Έτσι, αυτά τα επιπλέον στοιχεία φαίνεται ότι θα οδηγήσουν σε πολύ πιο αξιόπιστα και αντικειμενικά μοντέλα.
- ✓ Αξιόλογες, επίσης, θα ήταν και έρευνες αντίστοιχες της παρούσας οι οποίες θα πραγματοποιηθούν σε **διαφορετικές συνθήκες κυκλοφορίας και σε άλλα οδικά περιβάλλοντα** (υψηλή/χαμηλή κυκλοφορία, χρήση του κλιματισμού, ανοιχτά/κλειστά παράθυρα, διάφορες καιρικές συνθήκες κ.α.), αλλά και διάφορες ομάδες οδηγών με μεγαλύτερο ηλικιακό εύρος (νέοι, ηλικιωμένοι, κλπ.).
- ✓ Επιπλέον, η καταγραφή της κατανάλωσης καυσίμου θα μπορούσε να γίνεται αυτόματα μέσω μιας συσκευής συνδεδεμένης στην θύρα **On-Board Diagnostics** (OBD) του οχήματος. Το OBD συλλέγει πληροφορίες από διάφορους αισθητήρες και ελεγκτές στο όχημα και παρέχει δεδομένα σχετικά με την κατάσταση του κινητήρα, του συστήματος εκπομπών, του συστήματος φρένων και άλλων συστημάτων.
- ✓ Τέλος, θα μπορούσε να εξετασθεί η επιρροή που έχει στην συμπεριφορά του οδηγού η **παρουσία ή μη συνοδηγού** και άλλων ατόμων (ειδικότερα παιδιών) εντός οχήματος, η χρήση ή μη ζώνης ασφαλείας καθώς και η κατανάλωση αλκοόλ πριν χρησιμοποιήσει το όχημά του.

## Βιβλιογραφία

1. Ahn K., Rakha H., Trani A. and Van Aerde M. (2002). Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels., Journal of Transportation Engineering.
2. Carlo Giacomo Prato, Tomer Toledo, Tsippy Lotan and Orit Taubman-Ben-Ari. Modeling the behavior of novice young drivers during the first year after licensure., Accident Analysis & Prevention,
3. Chi, G., & Wang, Y. (2017). Fuel Prices and Driving Behavior: Evidence from Traffic Fatalities in the United States. Journal of Transport Economics and Policy.
4. Faccio, M., & Zingales, L. (2009). Gasoline Prices, Traffic Congestion, and Car Accidents. Journal of Public Economics.
5. Gillingham, K., Knittel, C. R., & Rapson, D. S. (2014). Do Gasoline Prices Influence New Car Fuel Economy? Journal of Environmental Economics and Management
6. Gillingham, K., & Kotchen, M. (2010). Driving Behavior and the Price of Gasoline: Evidence from Fueling-Level Micro Data. Journal Economic Science.
7. Hansen, O.S. (2016). Understanding Public Transit Ridership through Gasoline Demand: Case Study in San Francisco Bay Area, CA. Department of Economics University of California, Berkeley.
8. Jin-Hyuk Hong, Ben Margines and Anind Dey. (2014). A Smartphone - based Sensing Platform to Model Aggressive Driving Behaviors., Human - Computer Interaction Institute.
9. Karl Dunkle Werner (2013). Driver Behavior and Fuel Efficiency., Undergraduate Honors Thesis, University of Michigan.
10. Knittel, C. R., & Tanaka, S. (2019). Driving behavior and the price of gasoline: evidence from fueling-level micro data (No. w26488). National Bureau of Economic Research.
11. Liu, C., & Nayga Jr, R. M. (2014). Gasoline Prices and Traffic Safety in Mississippi. Journal of Regional Analysis and Policy.
12. Poisson distribution and Road accidents, Chapman 1971, Zahavi 1962.
13. Vaiana Rosolino, Teresa Iuele, et al. (2014). Driving behavior and traffic safety: an acceleration-based safety evaluation procedure for smartphones., Modern Applied Science.
14. Κοκολάκης Γ., και Σπηλιώτης Ι. (1999). Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

15. Φραντζεσκάκης Ι.Μ. και Γκόλιας Ι. (1994). Οδική Ασφάλεια. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.