



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Συσχέτιση κινδύνου ατυχήματος με την ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με χρήση μηχανικής εκμάθησης

Διπλωματική Εργασία



Σπύρος Τσίγκος

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

Αθήνα, Ιούλιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, την υποστήριξη και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησής της, καθώς και την εξαιρετική συνεργασία μας.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω θερμά την Εύα Μιχελάρáκη, υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για τις συμβουλές και τις υποδείξεις της πάνω σε σημαντικά θέματα της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά και τους φίλους μου για όλη τη στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2023

Σπύρος Τσίγκος

Συσχέτιση κινδύνου ατυχήματος με την ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με χρήση μηχανικής εκμάθησης

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

Σύνοψη

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος** με τεχνικές μηχανικής εκμάθησης. Η συλλογή των στοιχείων και των δεδομένων, τα οποία απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας, αντιστοιχούν σε στοιχεία οδήγησης υπό πραγματικές συνθήκες, τα οποία συλλέχθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου i-DREAMS για τη Μεγάλη Βρετανία. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση της βάσης δεδομένων, και αναπτύχθηκαν οκτώ (8) Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (SEM). Τα μοντέλα αυτά, ερεύνησαν τις συσχετίσεις και τις συνδιακυμάνσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών που επηρεάζουν την ικανότητα των οδηγών στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης και αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχήματος. Η επίδραση των διαφορετικών μεταβλητών στη διαδικασία της πρόβλεψης καθορίστηκε με βάση τις επιδόσεις των μοντέλων και της στατιστικής σημαντικότητάς τους. Προέκυψε πως η αύξηση της πολυπλοκότητας του ταξιδιού, αυξάνει τον κίνδυνο ατυχήματος, ενώ η χειροτέρευση της κατάστασης του οδηγού, αλλά και του οχήματος, επίσης αυξάνουν τον κίνδυνο ενός ατυχήματος. Τέλος, παρέχονται ορισμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης και άρα να μειώσουν τον κίνδυνο ατυχήματος, όπως η μείωση των ορίων ταχύτητας, αλλά και η περαιτέρω αξιοποίηση των τεχνικών μηχανικής εκμάθησης στην ερευνητική διαδικασία.

Λέξεις κλειδιά: Πολυπλοκότητα οδήγησης, ικανότητα αντιμετώπισης, νατουραλιστικό πείραμα οδήγησης, δομικά μοντέλα εξισώσεων, οδική ασφάλεια, μοντέλα παλινδρόμησης, κίνδυνος ατυχήματος

Correlation of crash risk with driver capacity in coping with driving tasks complexity using machine learning

Spyros Tsigkos

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

Abstract

The aim of this thesis is to correlate the driver's ability to cope with the complexity of driving with crash risk using machine learning techniques. Data required for this Diploma Thesis, refer to driving data under real-life conditions in Great Britain, collected in the context of the i-DREAMS research project. To achieve this objective, a descriptive statistical analysis of the database was conducted and eight Structural Equation Models (SEM) were developed. These models investigated the correlations and covariances between all variables that affect drivers' ability to cope with the complexity of driving and increase the risk of accidents. The effect of different variables on the prediction process was determined based on the models' performance and statistical significance. It emerged that increasing the complexity of the trip increases the risk of an accident, while worsening the condition of the driver and the vehicle also increase the risk of an accident. Finally, some suggestions are provided that could enhance the driver's ability to cope with the complexity of driving and thus reduce the risk of an accident, such as reducing speed limits and further utilizing machine learning techniques in the research process.

Key words: task complexity, coping capacity, naturalistic driving experiment, Structural Equation Models, road safety, regression models, crash risk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος** με τεχνικές μηχανικής εκμάθησης. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και συλλέχθηκε μεγάλος όγκος δεδομένων στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου **i-DREAMS**. Από τα συγκεκριμένα δεδομένα, επιλέχθηκε να εξετασθεί ένα δείγμα 26 οδηγών από τη χώρα της Μεγάλης Βρετανίας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση της βάσης δεδομένων, με την αξιοποίηση των βιβλιοθηκών ανάλυσης δεδομένων `lavaan`, `readxl`, `writexl` στο προγραμματιστικό περιβάλλον R. Από αυτή την ανάλυση, προέκυψαν τα εξής βασικά συμπεράσματα:

- ◇ Οι **άντρες οδηγοί**, πραγματοποιούν περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση σε σύγκριση με τις **γυναίκες** οδηγούς κάτι το οποίο είναι σύμφωνο και με τη βιβλιογραφία.
- ◇ Οι **νέοι οδηγοί** πραγματοποιούν κατά μέσο όρο τα περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση, ενώ οι μεσήλικες και οι ηλικιωμένοι πραγματοποιούν παρόμοια γεγονότα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας.
- ◇ Οι άντρες οδηγοί, αναπτύσσουν **μεγαλύτερες ταχύτητες** κατά μέσο όρο από τις γυναίκες οδηγούς.
- ◇ Οι οδηγοί μικρότερων ηλικιών, πραγματοποιούν **μεγαλύτερες αποστάσεις** κατά μέσο όρο διαδρομής σε σχέση με εκείνους μεγαλύτερων ηλικιών.

Ο καθορισμός των παραγόντων που επηρεάζουν τη συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος, πραγματοποιήθηκε με βάση τις μεταβλητές της υπερβολικής ταχύτητας (`speeding`) και των απότομων γεγονότων επιβράδυνσης (`harsh braking`), καθώς οι συγκεκριμένες τεχνικές προσέφεραν τα βέλτιστα αποτελέσματα με βάση τη βιβλιογραφία, αλλά και τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.

Πραγματοποιήθηκε η ομαδοποίηση των μεταβλητών. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκαν οι 4 ακόλουθες λανθάνουσες μεταβλητές:

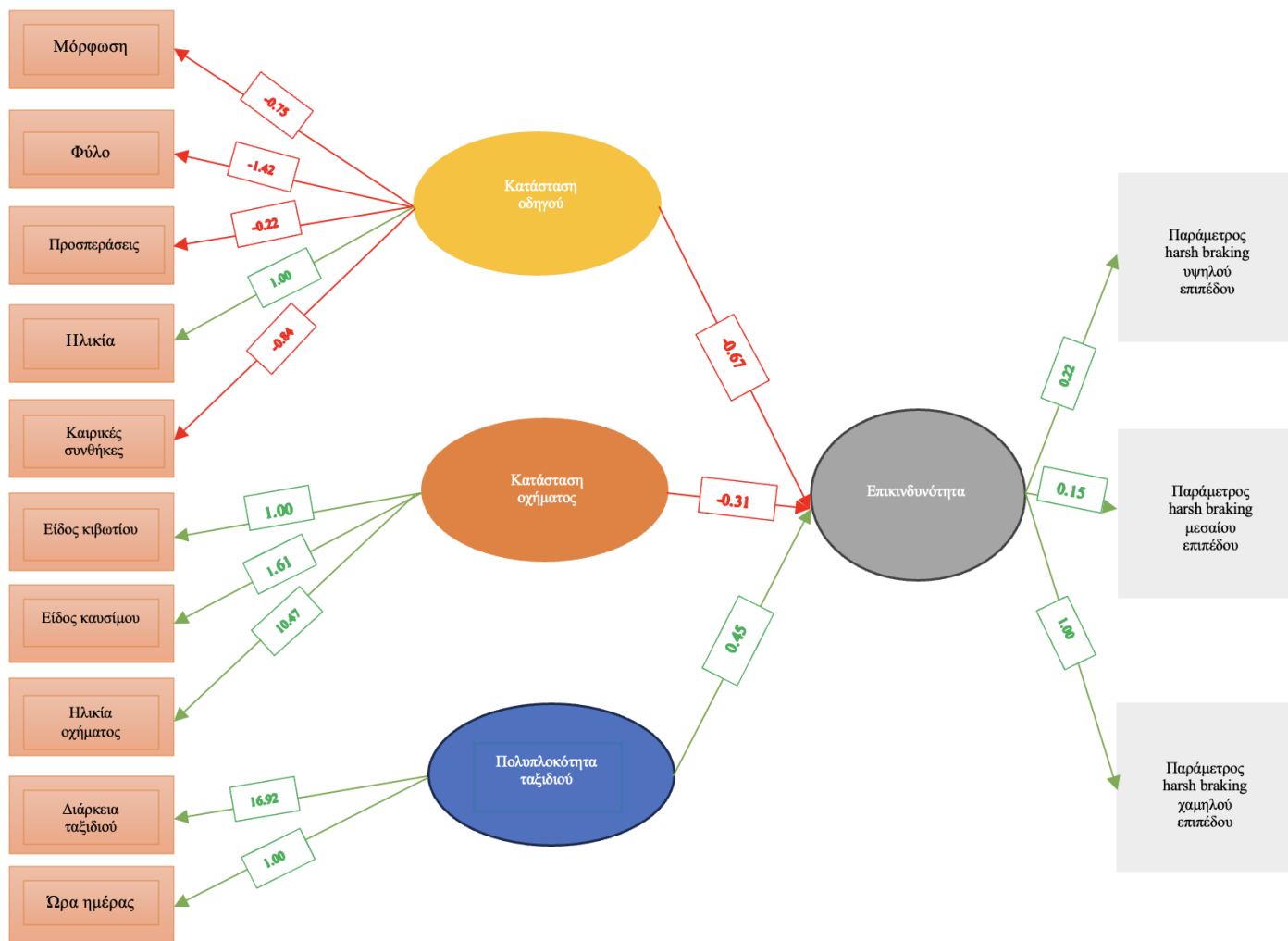
1. Πολυπλοκότητα των εργασιών (`task complexity`)
2. Ικανότητα αντιμετώπισης του οδηγού (`coping capacity-operator state`)
3. Ικανότητα αντιμετώπισης του οχήματος (`coping capacity-vehicle state`)
4. Σύνθεση των παραπάνω μεταβλητών

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν 8 διαφορετικά στατιστικά μοντέλα με την **Μέθοδο Δομικών Εξισώσεων (SEM)**. Τα μοντέλα αυτά, ερευνούν τις συσχετίσεις και συνδιακυμάνσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών που επηρεάζουν την ικανότητα των οδηγών στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης και αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχήματος.

Τα βασικά αποτελέσματα της σύνθεσης για υπερβολική ταχύτητα (`speeding`) και απότομη επιβράδυνση (`harsh braking`) φαίνονται παρακάτω:



Διάγραμμα 1: Σύνθεση για speeding



Διάγραμμα 2: Σύνθεση για harsh braking

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που συνδέονται άμεσα με το αντικείμενο και τον αρχικό της στόχο. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα που τέθηκαν, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- ◇ **Η πολυπλοκότητα του ταξιδιού, επηρεάζει τον κίνδυνο ατυχήματος**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της θετικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο δύσκολο είναι το έργο της οδήγησης, τόσο υψηλότερος είναι και ο κίνδυνος ατυχήματος.
- ◇ **Η καλύτερη κατάσταση του οδηγού, μειώνει τον κίνδυνο ατυχήματος**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της αρνητικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Το γεγονός αυτό, είναι λογικό, καθώς όσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οδηγού, τόσο καλύτερα αντανακλαστικά έχει και μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα σε επικίνδυνες συνθήκες.
- ◇ **Η καλύτερη κατάσταση του οχήματος, μειώνει τον κίνδυνο ατυχήματος**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της αρνητικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Το γεγονός αυτό, είναι λογικό, καθώς όσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οχήματος, τόσο καλύτερα μπορεί να ανταποκριθεί στις κατευθύνσεις που λαμβάνει από τον οδηγό, ιδιαίτερα σε απρόβλεπτες καταστάσεις απότομης επιβράδυνσης.

- ◇ Σε περιπτώσεις **ακραίων καιρικών συνθηκών** (π.χ. βροχής), δυσχεραίνεται η πολυπλοκότητα της εργασίας και κατ' επέκταση αυξάνεται ο κίνδυνος ατυχήματος, όπως φαίνεται και στο μοντέλο συσχέτισης harsh braking-task complexity, στο οποίο υπάρχει πολύ μεγάλη θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.
- ◇ **Όσο αυξάνεται η διάρκεια του ταξιδιού και η διανυθείσα απόσταση, τόσο αυξάνεται και η πολυπλοκότητα του ταξιδιού**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της θετικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές στα μοντέλα speeding-task complexity και harsh braking-task complexity. Κάτι τέτοιο, είναι λογικό, καθώς αυξάνονται και οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας οδηγός.
- ◇ Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι **κατά τις βραδινές ώρες**, η πολυπλοκότητα του ταξιδιού αυξάνεται, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της θετικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία καθώς οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν πιο επικίνδυνα και να εκτελούν περισσότερα απότομα συμβάντα (επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις) και υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- ◇ **Τον σημαντικότερο ρόλο στην κατάσταση ενός οχήματος, τον κατέχει η ηλικία αυτού**, όπως προέκυψε από την υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ των δυο αυτών μεταβλητών, όπως αυτή φαίνεται και στο μοντέλο συσχέτισης harsh braking-synthesis. Η γηραιότητα του στόλου οχημάτων μίας χώρας λοιπόν, αναδεικνύεται σε μείζον ζήτημα για την οδική της ασφάλεια, καθώς τα παλαιότερα σε ηλικία οχήματα, δεν έχουν τα σύγχρονα συστήματα ασφαλείας και άρα είναι πιο επιρρεπή σε ατυχήματα.
- ◇ **Όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα, τόσο μειώνεται και η ικανότητα αντιμετώπισης του οδηγού**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της αρνητικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές στο μοντέλο συσχέτισης speeding-synthesis.
- ◇ **Τα γεγονότα απότομης επιβράδυνσης, θα πρέπει να αποφεύγονται από τους οδηγούς**, όπως φαίνεται και από την θετική συσχέτιση ανάμεσα στην επικινδυνότητα και τις παραμέτρους απότομης επιβράδυνσης, σε όλα τα μοντέλα συσχέτισης harsh braking.
- ◇ **Το είδος κιβωτίου ταχυτήτων, έχει άμεση επιρροή στην κατάσταση ενός οχήματος**, καθώς το αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, βελτιώνει την κατάσταση του οχήματος σε σχέση με το χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, κάτι που είναι σύμφωνο και με τη βιβλιογραφία.
- ◇ Η **μόρφωση**, φαίνεται πως έχει **θετική** συσχέτιση για το γεγονός της **υπερβολικής ταχύτητας**, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι, τόσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οδηγού, ενώ έχει **αρνητική** συσχέτιση για το γεγονός της **απότομης επιβράδυνσης**, δηλαδή όσο χειρότερη είναι, τόσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οδηγού.
- ◇ Από την αρνητική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών του φύλου και της κατάστασης του οδηγού, προκύπτει το συμπέρασμα πως οι **άντρες** οδηγοί, πραγματοποιούν **περισσότερα γεγονότα απότομης επιβράδυνσης και υπερβολικής ταχύτητας** σε σχέση με τις **γυναίκες** οδηγούς, κάτι που φαίνεται στα μοντέλα συσχέτισης harsh braking-synthesis και speeding-synthesis.
- ◇ Η **ηλικία**, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατάσταση ενός οδηγού, καθώς οι **μεγαλύτερης ηλικίας οδηγοί, παρουσιάζουν καλύτερη κατάσταση σε σχέση με τους νεότερους**, όπως φαίνεται και από τη θετική συσχέτιση των μεταβλητών στα μοντέλα συσχέτισης harsh braking-synthesis και speeding-synthesis.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Γενική ανασκόπηση.....	12
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	15
1.3 Μεθοδολογία.....	16
1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	17
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Συναφείς έρευνες.....	19
2.3 Συναφείς μεθοδολογίες.....	21
2.4 Σύνοψη.....	22
3. Θεωρητικό υπόβαθρο.....	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Μαθηματικά Πρότυπα.....	24
3.2.1 Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (SEM).....	24
3.3 Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου.....	27
3.2.1 Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (SEM).....	27
4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	29
4.1 Εισαγωγή.....	29
4.2 Συλλογή δεδομένων.....	29
4.2.1 Στόχος πειράματος.....	29
4.2.2 Περιγραφή του εξοπλισμού.....	29
4.2.3 Τρόπος συλλογής δεδομένων.....	30
4.2.4 Περιγραφή των μεταβλητών.....	30
4.3 Περιγραφική ανάλυση.....	34
4.4 Επεξεργασία δεδομένων.....	35
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και αποτελέσματα.....	39
5.1 Εισαγωγή.....	39
5.2 Ανάπτυξη μοντέλων.....	39
5.2.1 Μοντέλο Δομικών Εξισώσεων SEM.....	39
5.3 Αποτελέσματα Μοντέλων.....	40
5.3.1 Μοντέλο συσχέτισης speeding-task complexity.....	41
5.3.2 Μοντέλο συσχέτισης speeding-vehicle state.....	42
5.3.3 Μοντέλο συσχέτισης speeding-operator state.....	43
5.3.4 Μοντέλο συσχέτισης speeding-operator state-vehicle state-task complexity.....	44
5.3.5 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking- task complexity.....	46
5.3.6 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking- coping capacity (vehicle state).....	47

5.3.7 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking- coping capacity (operator state)	48
5.3.8 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking-operator state-vehicle state-task complexity.....	50
6. Συμπεράσματα.....	52
6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων	52
6.2 Συνολικά συμπεράσματα.....	54
6.3 Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων	56
6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	56
7. Βιβλιογραφία.....	58

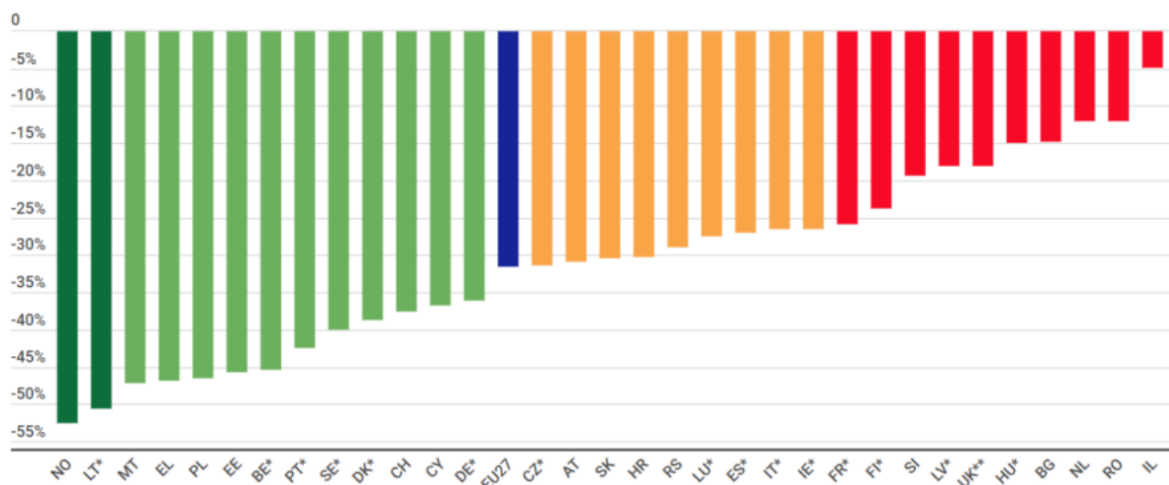
1. Εισαγωγή

1.1 Γενική ανασκόπηση

Στη σύγχρονη κοινωνία και πραγματικότητα, οι οδικές μεταφορές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των πολιτών, καθώς τις χρησιμοποιούν στο σύνολο των δραστηριοτήτων τους στη διάρκεια μίας ημέρας. Ωστόσο, με την παγκόσμια αύξηση των οδικών μεταφορών, αυξάνονται και τα **οδικά ατυχήματα**, φέρνοντας στην επιφάνεια το κρίσιμο ζήτημα της **οδικής ασφάλειας**.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, οι ετήσιοι θάνατοι από οδικά ατυχήματα, ανέρχονται στα 1.35 εκατομμύρια, καθώς και αποτελούν τον κύριο παράγοντα θανάτου σε ανθρώπους ηλικίας 5-29 ετών, ενώ 1 στα 2 θύματα είναι πεζοί, μοτοσικλετιστές ή ποδηλάτες. (World Health Organization, 2018).

Παγκοσμίως, τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει **προσπάθεια μείωσης των οδικών ατυχημάτων**. Συγκεκριμένα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν μειωθεί κατά 43% μεταξύ 2001-2010 και 21% μεταξύ 2010-2018 (NTUA Road Safety Observatory, 2022). Για το λόγο αυτό και με γνώμονα την βελτίωση της Οδικής Ασφάλειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει αξιοπρόσεκτα μέτρα, χάρη στα οποία, εκτιμάται ότι σημειώθηκαν 50.000 λιγότερα θανατηφόρα τροχαία ατυχήματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, η Ελλάδα ήταν η μοναδική ευρωπαϊκή χώρα, μεταξύ των κρατών μελών, η οποία ανταπεξήλθε στον τεθειμένο στόχο για μείωση 50% των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων την δεκαετία 2010-2020, με συνολική μείωση περίπου 52%.



Διάγραμμα 1.1: Σχετικές μεταβολές (%) στα θανατηφόρα ατυχήματα στην Ευρώπη (2011-2021)
Πηγη: ETSC PIN report, 2021, <https://etsc.eu/projects/pin/>

Στην Ελλάδα, ο αριθμός των θανάτων από οδικά ατυχήματα ανά 100.000 κατοίκους, έχει μειωθεί κατά 65% κατά την περίοδο 2000-2019, ωστόσο παραμένει υψηλότερο από αυτό του μέσου όρου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (6.5 θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους, έναντι 5.1 αντίστοιχα) (International Transport Forum, 2020).

Basic Road Safety Figures



National Technical University of Athens
Road Safety Observatory

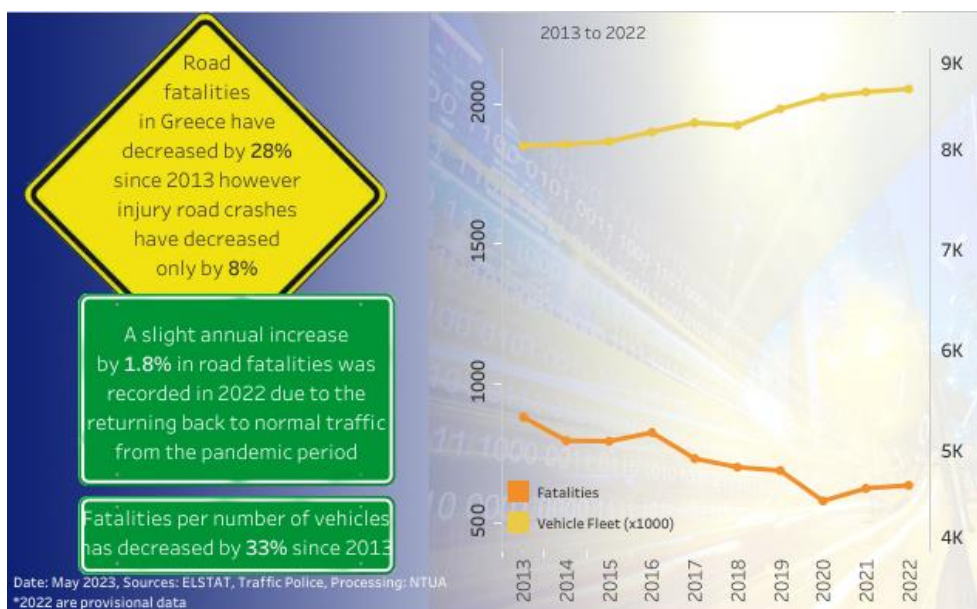
www.nrso.ntua.gr

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2013/2022
Injury Road crashes	12,109	11,690	11,440	11,318	10,848	10,737	10,712	9,105	10,454	11,199	-8%
Fatalities	879	795	793	824	731	700	688	579	624	635	-28%
Serious Injuries	1,212	1,016	999	879	706	727	652	487	610	636	-48%
Slight Injuries	13,963	13,548	13,097	12,946	12,565	12,422	12,350	10,130	11,746	12,533	-10%
Vehicle Fleet (x1000)	8,035	8,048	8,076	8,173	8,263	8,237	8,402	8,519	8,570	8,600	7%
Fatalities per million vehicl..	109	99	98	101	88	85	82	68	73	74	-33%
Speed infringements	178,816	156,892	173,476	176,592	208,190	213,333	234,169	206,554	222,312	251,394	41%
Drink & drive infringements	30,853	29,597	29,191	33,192	32,964	33,394	31,557	19,096	17,427	24,533	-20%
Seat belt infringements	35,478	34,526	29,611	34,831	31,510	33,380	34,594	30,174	32,354	39,026	10%
Helmet infringements	58,122	54,354	52,783	63,971	59,405	52,706	52,089	46,394	48,974	51,976	-11%

Διάγραμμα 1.2: Σύνοψη βασικών στατιστικών στοιχείων Οδικής Ασφάλειας στην Ελλάδα (2013-2022)

Πηγή: <https://www.nrso.ntua.gr/slight-increase-in-road-fatalities-in-2022-greece/>

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 1.2., κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η Ελλάδα κατέγραψε εντυπωσιακή βελτίωση οδικής ασφάλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με μείωση κατά 28% του αριθμού των νεκρών από το 2013 και μείωση των βαριά τραυματιών κατά 48%. Ο λόγος νεκρών ανά εκατομμύριο οχήματα μειώθηκε κατά 33% από το 2013 (NTUA Road Safety Observatory, 2022).

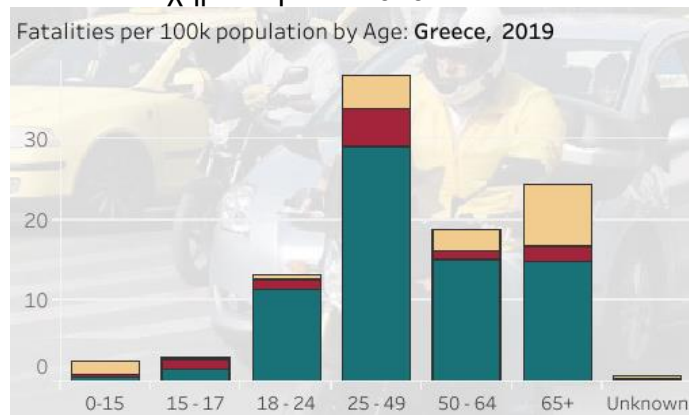


Διάγραμμα 1.3: Διαχρονική εξέλιξη αριθμού νεκρών σε οδικά ατυχήματα και στόλου οχημάτων στην Ελλάδα, 2013-2022.

Πηγή: <https://www.nrso.ntua.gr/slight-increase-in-road-fatalities-in-2021-greece/>

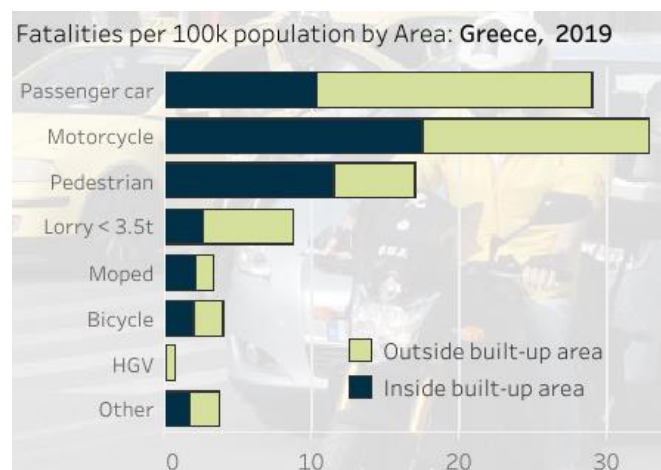
Όπως παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 1.4, από το έτος 2017, παρατηρείται μία μικρή αύξηση στους θανάτους των πεζών, με το ποσοστό των θανάτων τους σε σχέση με το συνολικό αριθμό νεκρών από οδικά ατυχήματα να αυξάνεται από 16% σε 21%. Επιπροσθέτως, οι οδηγοί αρσενικού γένους, αποτέλεσαν το 62% των συνολικών απωλειών από οδικά ατυχήματα στην

Ελλάδα την τελευταία δεκαετία. Επίσης, γίνεται διακριτό πως η ηλικία των πεζών, επιδρά στα οδικά ατυχήματα, καθώς οι γηραιότεροι πεζοί (ηλικίας άνω των 65 ετών), αντιστοιχούν στο 46% των θανάτων πεζών σε οδικά ατυχήματα για το 2019.



Διάγραμμα 1.4: Αριθμός νεκρών σε οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα ανά κατηγορία χρήστη οδού και ηλικιακή ομάδα, 2019 (Πηγή: CARE, ΕΛ.ΣΤΑΤ., Επεξεργασία: Τ.Μ.Σ.Υ. / Ε.Μ.Π., <https://www.nrso.ntua.gr/nrso-gc3/>)

Στο Διάγραμμα 1.5, παρατηρείται πως κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας, το 39% των συνολικών απωλειών από οδικά ατυχήματα, αφορούσαν επιβατικά οχήματα. Το 2019, τα θανάσιμα ατυχήματα, στα οποία εμπλέκονταν μοτοσυκλέτες, αυξήθηκαν, αποτελώντας το 36% των συνολικών απωλειών. Τα περισσότερα θανάσιμα ατυχήματα στα οποία εμπλέκονταν επιβατικά οχήματα, έλαβαν χώρα εκτός κατοικημένων ζωνών.



Διάγραμμα 1.5: Αριθμός νεκρών σε οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα ανά τύπο περιοχής και τύπο οχήματος, 2019 (Πηγή: CARE, ΕΛ.ΣΤΑΤ., Επεξεργασία: Τ.Μ.Σ.Υ. / Ε.Μ.Π., <https://www.nrso.ntua.gr/nrso-gc7/>)

Τα αίτια των οδικών ατυχημάτων ποικίλουν. Τα πιο σημαντικά από αυτά, είναι: η υπερβολική ταχύτητα, η μικρή εμπειρία των οδηγών, η φυσική κατάσταση των οδηγών, η ορατότητα και η απόσπαση της προσοχής των οδηγών (Rolison et al. 2018). Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, ο ανθρώπινος παράγοντας, που επιδρά στην οδηγική συμπεριφορά, αποτελεί το κύριο αίτιο των οδικών ατυχημάτων.

Παρά τις σημαντικές προσπάθειες που έχουν γίνει όμως, τα ατυχήματα θανατηφόρα ή μη, συνεχίζουν να παραμένουν σε υψηλά επίπεδα. Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω του προγράμματος Horizons 2020, χρηματοδότησε το 4-ετές πρόγραμμα i-DREAMS, το οποίο είχε ως στόχο τη δημιουργία μίας πλατφόρμας ορισμού, ανάπτυξης και ελέγχου μίας 'Ζώνης Ασφαλείας', ώστε να αποτρέψει τους οδηγούς από το να ξεπεράσουν τα όρια της ασφαλούς οδήγησης, μετριάζοντας τους κινδύνους τόσο σε πραγματικό χρόνο, όσο και μετά τις διαδρομές.

Η «**Ζώνη Ανοχής Ασφάλειας**» περιλαμβάνει τρία επίπεδα:

- 1) Κανονικό – Ασφαλές (Normal)
- 2) Επικίνδυνο (Dangerous)
- 3) Αποφυγής Ατυχήματος (Avoidable Accident)

Τα τελευταία χρόνια, η ανάλυση της συμπεριφοράς των οδηγών με την αξιοποίηση αλγορίθμων μηχανικής εκμάθησης, αποτελεί ένα ερευνητικό αντικείμενο με υψηλό ενδιαφέρον (Garefalakis et al. 2022). Επιπλέον, η χρήση έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης της συμπεριφοράς του οδηγού με σκοπό τις παρεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο, έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην μείωση των ατυχημάτων (Michelaraki et al., 2021b).

Επομένως, η **συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο του ατυχήματος**, με σύγχρονες τεχνικές μηχανικής εκμάθησης, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση και θα αποτελέσει το κύριο αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος** με τεχνικές μηχανικής εκμάθησης.

Συγκεκριμένα, η Διπλωματική Εργασία, στοχεύει στη συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος μέσω της ανάπτυξης μοντέλων ταξινόμησης, με στόχο τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν την ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης. Θα αναπτυχθούν και θα αξιολογηθούν αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης, οι οποίοι θα αναγνωρίσουν τα κύρια αίτια που επηρεάζουν σημαντικά τον κίνδυνο ατυχήματος. Αυτό θα πραγματοποιηθεί, λαμβάνοντας ως δεδομένα εισόδου τα χαρακτηριστικά του κάθε οδηγού και του αντίστοιχου περιβάλλοντος οδήγησης που αντιμετώπισε κατά τη διάρκεια των διαδρομών του, καθώς και στοιχεία του οχήματος με το οποίο πραγματοποίησε τις εκάστοτε διαδρομές, όπως αυτά συλλέχθηκαν από το ερευνητικό έργο. Η κατάταξη μέσω της μηχανικής εκμάθησης αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την αναγνώριση της οδηγικής συμπεριφοράς και κατ' επέκταση τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας (Meiring and Myburgh, 2015; Wu et al., 2016).

Θα παραχθούν σημαντικά συμπεράσματα για τους παράγοντες που επιδρούν στην ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης, καθώς και τη συσχέτισή της με τον κίνδυνο ατυχήματος.

Η συγκεκριμένη μελέτη, θα επιχειρήσει να ενισχύσει την υπάρχουσα, αλλά και να εμπλουτίσει τη γνώση επί του αντικειμένου της ανάλυσης της οδηγικής συμπεριφοράς και της ανάπτυξης των αυτόματων συστημάτων οδήγησης.

Ερευνητικά ερωτήματα

- Πως μπορεί να αναλυθεί η συμπεριφορά των οδηγών μέσω της αξιοποίησης αλγορίθμων μηχανικής εκμάθησης (machine learning);
- Ποιοι είναι οι παράγοντες που επιδρούν στην επικίνδυνη συμπεριφορά των οδηγών;
- Ποια είναι η αναγκαιότητα ανάπτυξης συστημάτων τηλεματικής με γνώμονα τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας;

1.3 Μεθοδολογία

Στόχος του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου, είναι η συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο αρχικό στάδιο, έγινε ο καθορισμός του αντικειμένου προς εξέταση καθώς και του επιδιωκόμενου στόχου. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση** και ειδικότερα αναζήτηση ερευνών και επιστημονικών κειμένων, τα οποία είναι άμεσα συσχετισμένα με το εξεταζόμενο θέμα. Ο επιθυμητός στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η απόκτηση των κατάλληλων γνώσεων και μίας σχετικής εμπειρίας έτσι ώστε να αποφασιστεί η μέθοδος με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των στοιχείων.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η συλλογή των στοιχείων, τα οποία απαιτούνται για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε στοιχεία οδήγησης υπό πραγματικές συνθήκες, συλλέχθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου **i-DREAMS**, το οποίο και μέχρι την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας, έχει λάβει χώρα σε 5 χώρες. Από τα συγκεκριμένα δεδομένα, επιλέχθηκε να εξεταστούν εκείνα που αφορούν στη Μεγάλη Βρετανία.

Η βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε, είχε καταχωρημένα τα συλλεχθέντα στοιχεία στο λογισμικό υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel. Ακολούθησε μορφοποίηση και ομαδοποίηση των δεδομένων, τα οποία οδήγησαν στην τελική μορφή του **βασικού πίνακα**, τα στοιχεία του οποίου κωδικοποιήθηκαν με κατάλληλο τρόπο, ώστε να αποτελέσουν μεταβλητές συμβατές με το λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την γλώσσα προγραμματισμού R. Ακολούθως, επιλέχθηκαν οι **μέθοδοι της λογιστικής παλινδρόμησης και μοντέλων δομικών εξισώσεων** (Structural Equation Modeling-SEM). Οι μέθοδοι αυτοί, εφαρμόστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος στατιστικών ανοιχτού κώδικα Jasp. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε μία σειρά δοκιμών και συνδυασμών δεδομένων για την επίτευξη των βέλτιστων στατιστικών μοντέλων.

Τέλος, εξήχθησαν αποτελέσματα και συμπεράσματα, από τα οποία προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για τα υπό εξέταση προβλήματα και **διατυπώθηκαν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**.



Διάγραμμα 1.6: Διάγραμμα Ροής – Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του εκάστοτε κεφαλαίου της, για διευκόλυνση και καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη.

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί την εισαγωγή με μια αναφορά στα πιο πρόσφατα δεδομένα της οδικής ασφάλειας και περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία οδικών ατυχημάτων σε ευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο. Εν συνεχεία περιγράφεται το αντικείμενο και οι στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας, θέτοντας τα ερωτήματα προς διερεύνηση. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία πρόκειται να ακολουθηθεί για την επίτευξη των στόχων αλλά και το διάγραμμα ροής για μεγαλύτερη σαφήνεια.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών με παρεμφερές αντικείμενο. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται σύνοψη των βασικών στοιχείων των μελετών με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την ανάδειξη της αναγκαιότητας εξέτασης του αντικειμένου της εργασίας.

Το **τρίτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η ανάλυση των στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα διασαφηνίζονται τα κριτήρια επιλογής της στατιστικής ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της. Επίσης περιγράφονται οι μαθηματικές και στατιστικές έννοιες για την καλύτερη κατανόηση των μοντέλων που επιλέχθηκαν. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία σύντομη παράθεση των βημάτων που ακολουθούνται για την επεξεργασία των δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** περιέχει την περιγραφή της διαδικασίας της συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα Διπλωματική Εργασία. Παρουσιάζεται η επιλογή των μεταβλητών καθώς και η διαδικασία άντλησης των δεδομένων από το ερευνητικό έργο i-DREAMS. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία κωδικοποίησης των στοιχείων, καθώς και η απαραίτητη επεξεργασία για την εισαγωγή τους στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής των τελικών μαθηματικών μοντέλων. Σε πρώτο στάδιο, παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου ενώ επισημαίνεται η σημασία των στατιστικών ελέγχων αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων για την αποδοχή των μοντέλων. Ακολούθως παρατίθενται οι διάφορες δοκιμές που διενεργήθηκαν και παρουσιάζονται αναλυτικά τα εξαχθέντα αποτελέσματα.

Το **έκτο κεφάλαιο**, αναφέρεται στα συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ερμηνεία των τελικών μαθηματικών μοντέλων. Μέσω αυτών επιδιώκεται να δοθεί απάντηση στο αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και καταγράφονται προτάσεις για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της καθώς και τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθεται ο κατάλογος των βιβλιογραφικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται οι αναφορές των ερευνών που παρουσιάστηκαν στα εισαγωγικά κεφάλαια, καθώς και σε εκείνο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αλλά και στατιστικές έννοιες και μέθοδοι, που αναλύθηκαν στο θεωρητικό υπόβαθρο.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται **συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες** σχετικά με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα αναζητήθηκαν στην διεθνή βιβλιογραφία δημοσιευμένες έρευνες που επικεντρώνονται στην ανάλυση, αναγνώριση της συμπεριφοράς του οδηγού καθώς και την πρόβλεψη συγκρούσεων σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας διάφορες τεχνικές μηχανικής εκμάθησης.

Μέσω της παρουσίασης των ερευνών θα προκύψει ο **στόχος** της παρούσας μελέτης καθώς και η κατάλληλη **μεθοδολογία** για την επίτευξη του. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στα διαφορετικά μοντέλα μηχανικής εκμάθησης.

2.2 Συναφείς έρευνες

Η μελέτη των Chen et al. (2015), επιχειρεί την **κατάταξη και την αξιολόγηση της οδηγικής συμπεριφοράς**. Στόχος της έρευνας, είναι η ανάπτυξη μίας μεθόδου αξιολόγησης της οδηγικής συμπεριφοράς ενός οδηγού ως ασφαλή ή ως μη ασφαλή, το οποίο θα έχει εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Αυτό, επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης δεδομένων από ενσωματωμένα συστήματα διάγνωσης (OBD), που παρέχουν πληροφορίες για τη λειτουργία των οχημάτων. Έπειτα, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι AdaBoost, ώστε να δημιουργηθεί το μοντέλο κατάταξης της οδηγικής συμπεριφοράς. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η προτεινόμενη μέθοδος, μπορεί να έχει εφαρμογή ως ένα αξιόπιστο σύστημα υποβοήθησης οδηγού σε πραγματικές συνθήκες.

Η έρευνα των Yan et al. (2021), πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου i-DREAMS. Επιχειρεί να **κατατάξει και να αξιολογήσει τα διαφορετικά επίπεδα ασφαλείας της οδηγικής συμπεριφοράς**. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από πειράματα προσομοιωτή οδήγησης και αξιολογούν διάφορα χαρακτηριστικά οδήγησης. Με την ανάπτυξη διαφορετικών τεχνικών ομαδοποίησης (clustering) προκύπτουν 4 επίπεδα ασφαλείας. Στην συνέχεια αναπτύσσονται και αξιολογούνται διαφορετικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης προκειμένου να αναγνωριστεί το επίπεδο ασφαλείας που βρίσκεται κάθε οδηγός με βάση τα οδηγικά χαρακτηριστικά.

Στη σημερινή εποχή, σημαντική είναι η αξιοποίηση σύγχρονων συστημάτων που διαθέτουν τα οχήματα, με σκοπό την συλλογή στοιχείων που αφορούν την οδηγική συμπεριφορά. Η έρευνα των Zhong et al. (2022), επιχειρεί **να αξιολογήσει την οδηγική συμπεριφορά, με βάση στοιχεία που πάρθηκαν από αισθητήρες των οχημάτων**. Στόχος των ερευνητών, είναι η επεξήγηση των σύγχρονων μοντέλων και αλγορίθμων αναγνώρισης της οδηγικής συμπεριφοράς, ώστε να βοηθήσουν μελλοντικούς ερευνητές να αναπτύξουν μοντέλα αναγνώρισης με μεγαλύτερη ακρίβεια από τα υπάρχοντα. Αυτό, επιχειρείται, μέσω της επεξήγησης μοντέλων αναγνώρισης οδηγικής συμπεριφοράς, όπως το μοντέλο του τυχαίου δάσους, τα Support Vector Machines και το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN). Σύμφωνα με τους ερευνητές, με την περαιτέρω ανάπτυξη της νοημοσύνης των οχημάτων, οι μέθοδοι αναγνώρισης οδηγικής συμπεριφοράς, βασισμένες σε σύντηξη πληροφοριών αισθητήρων οχημάτων, θα τύχει ευρείας εφαρμογής στον τομέα της οδηγικής υποβοήθησης.

Η μελέτη των Ghandour et al. (2021), αφορά **την οδηγική συμπεριφορά και τις διαφορετικές ψυχολογικές καταστάσεις του οδηγού**. Αναφέρουν, πως έχουν προταθεί σε παλαιότερες έρευνες διάφορες μέθοδοι, οι οποίες όμως, πάσχουν από έλλειψη

αποτελεσματικότητας σε πραγματικές συνθήκες. Αναπτύσσονται και συγκρίνονται μοντέλα ταξινόμησης για την αναγνώριση της οδηγικής συμπεριφοράς και των συνθηκών απόσπασης προσοχής, τα οποία βασίζονται σε δεδομένα σχετιζόμενα με τις διαφορετικές συμπεριφορές (όπως είναι η επιθετική, η κουρασμένη και η φυσιολογική). Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε δεδομένα 'ανίχνευσης λωρίδας' και σε δεδομένα 'κυκλοφοριακής κατάστασης'. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το δεύτερο σύνολο δεδομένων παρέχει αρκετά και ποικίλα χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό της ψυχικής κατάστασης του οδηγού.

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση τεχνικών μηχανικής εκμάθησης και η αξιοποίηση τους στην ανάπτυξη αλγορίθμων, αποτελεί ένα αντικείμενο υψηλού ενδιαφέροντος.

Η έρευνα των Γαρεφαλάκη et al. (2022), έχει ως στόχο **τον εντοπισμό του επιπέδου και της διάρκειας επικίνδυνης συμπεριφοράς του οδηγού με τεχνικές μηχανικής εκμάθησης**. Για τον σκοπό αυτό συλλέχθηκαν χρήσιμα δεδομένα σχετιζόμενα με την συμπεριφορά του οδηγού μέσω προσομοιωτή οδήγησης. Με βάση την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων καθορίστηκαν τρία επίπεδα κινδύνου. Στο πρώτο μέρος των αναλύσεων αναπτύχθηκαν τέσσερις αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης με σκοπό την ταξινόμηση της συμπεριφοράς των οδηγών σε ένα από τα τρία επίπεδα ασφαλείας, με τον αλγόριθμο 'Τυχαίων Δασών' να σημειώνει την υψηλότερη επίδοση. Στο πλαίσιο διερεύνησης της επιρροής των παραγόντων οδήγησης στην αναγνώριση της επικίνδυνης οδήγησης, προέκυψαν ως σημαντικότερες η διανυθείσα απόσταση, η ταχύτητα και το όριο ταχύτητας. Στο δεύτερο μέρος των αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση των οδηγικών χαρακτηριστικών στη διάρκεια οδήγησης στα διαφορετικά στάδια με την ανάπτυξη τριών αλγορίθμων παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της διάρκειας οδήγησης σε κάθε επίπεδο ασφαλείας. Η επίδραση των διαφορετικών μεταβλητών στη διαδικασία της πρόβλεψης καθορίστηκε με βάση τις επιδόσεις των μοντέλων και της στατιστικής σημαντικότητας τους. Σύμφωνα με τους ερευνητές, προέκυψε ως σημαντικότερη μεταβλητή η μέγιστη ταχύτητα η οποία επιδρά αρνητικά στην διάρκεια οδήγησης σε κάθε επίπεδο ασφαλείας.

Η μελέτη των Ahangari et al. (2021), αφορά την **ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης της αφηρημένης οδήγησης με τεχνικές μηχανικής εκμάθησης**. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από προσομοιωτή οδήγησης, στον οποίο οι συμμετέχοντες, οδήγησαν σε 6 διαφορετικά σενάρια: κλήση έχοντας το κινητό στο χέρι, κλήση μέσω bluetooth, στέλνοντας μηνύματα, εκτελώντας φωνητικές εντολές, στη διαδικασία ντυσίματος και τρώγοντας/πίνοντας. Επίσης, εξετάστηκαν σε 4 διαφορετικά είδη οδών. Σε αγροτική οδό, σε αυτοκινητόδρομο, σε αστική αρτηρία και σε τοπική οδό που βρίσκεται σε σχολική περιοχή. Ερευνήθηκαν διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης, με τον αλγόριθμο γενετικής αναζήτησης να συγκεντρώνει την καλύτερη απόδοση. Ως αποτέλεσμα, παρατηρήθηκε από τους ερευνητές πως το μοντέλο του αλγορίθμου γενετικής αναζήτησης, μπορεί να προβλέψει σε ποσοστό 67.8% το πρόβλημα της απόσπασης προσοχής του οδηγού κατά την οδήγηση.

Η έρευνα των Cai et al. (2022), έχει ως στόχο την **εξερεύνηση του οπτικού περιβάλλοντος των οδηγών σε ατυχήματα με υπερβολική ταχύτητα, χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής εκμάθησης**. Για να ληφθούν τα δεδομένα του οπτικού περιβάλλοντος των οδηγών στον πραγματικό κόσμο, προτάθηκε ένα πλαίσιο για τη λήψη εικόνων από το Google Street View (GSV). Εφαρμόστηκαν τεχνολογίες βαθιών νευρωνικών δικτύων και όρασης υπολογιστή για να ληφθούν οι πληροφορίες ομαδοποίησης και βάθους από τις εικόνες GSV. Για να αντικατοπτριστεί το οπτικό περιβάλλον των οδηγών στον πραγματικό κόσμο, πραγματοποιήθηκε ο μετασχηματισμός συντεταγμένων και προτάθηκαν και υπολογίστηκαν διάφορα οπτικά μέτρα. Τρία διαφορετικά μοντέλα συνόλου που βασίζονται σε δέντρα (δηλαδή, τυχαίο δάσος, προσαρμοστική ενίσχυση (AdaBoost) και ενίσχυση κλίσης υψηλής ταχύτητας (XGBoost)) εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό του

αριθμού των ατυχημάτων υπερβολικής ταχύτητας και τα αποτελέσματα σύγκρισης, έδειξαν ότι το XGBoost μπορούσε να παρέχει την καλύτερη προσαρμογή δεδομένων. Σύμφωνα με τους ερευνητές, τα αποτελέσματα, επιβεβαιώνουν τη σημαντικότητα των πληροφοριών που λαμβάνονται από τις εικόνες GSV.

Αρκετές φορές, η χρήση δεδομένων που λαμβάνονται από σύγχρονα μέσα, μπορεί να αποδειχθεί κρίσιμη. Πιο αναλυτικά, η έρευνα των Ma et al. (2021), επιχειρεί **την εφαρμογή μεθόδων μηχανικής εκμάθησης, για την πρόβλεψη της συχνότητας των ατυχημάτων που προκαλούνται από την απόσπαση προσοχής, με τη χρήση δεδομένων από κινητά τηλέφωνα**. Σκοπός της έρευνας, είναι ο προσδιορισμός των συνθηκών υπό τις οποίες λαμβάνουν χώρα τα δυστυχήματα για τα οποία ευθύνεται η απόσπαση προσοχής του οδηγού και κατά πόσο είναι σημαντική η χρήση δεδομένων από κινητά τηλέφωνα. Οι ερευνητές, χρησιμοποιούν αλγόριθμους μηχανικής εκμάθησης, υπό 2 διαφορετικά σενάρια. Με και χωρίς τη χρήση δεδομένων από κινητά τηλέφωνα. Έπειτα, συγκρίνει τα αποτελέσματα με τη χρήση δύο συμβατικών μοντέλων στατιστικής ανάλυσης, το μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης και το μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης μικτών επιπτώσεων. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η χρήση δεδομένων από κινητά τηλέφωνα αποδείχθηκε σημαντική, ενώ τα ατυχήματα είναι πιο πιθανό να συμβούν σε οδικά τμήματα με υψηλή έκθεση, ανομοιόμορφη κατάσταση κυκλοφοριακής ροής ή με μεσαίο όγκο κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων.

2.3 Συναφείς μεθοδολογίες

Ήδη από το 1970, η **λογιστική παλινδρόμηση**, γνωρίζει ευρύτατη χρήση ως **στατιστικό μοντέλο πρόβλεψης πιθανοτήτων** πραγματοποίησης ενός συμβάντος, με τις πιθανότητες καταγραφής για το γεγονός αυτό, να προκύπτουν ως γραμμικός συνδυασμός μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Παράλληλα, η **Μοντελοποίηση Δομικών Εξισώσεων** (Structural Equation Modeling ή αλλιώς SEM), είναι ένα σύνολο στατιστικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση και την ανάλυση των σχέσεων παρατηρούμενων και λανθάνοντων μεταβλητών. Εξετάζει τις γραμμικές αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζει το σφάλμα μέτρησης.

Η έρευνα των Nikolaou et al. (2021), **πραγματοεύεται τις συσχετίσεις πολλαπλών συμπεριφορών αναβατών δικύκλων με αυτοαναφερόμενες συμπεριφορές**. Στόχος της έρευνας, είναι η παρουσίαση μίας διεξοδικής δομής σχέσεων που συσχετίζουν διάφορες μη ασφαλείς συμπεριφορές του αναβάτη όπως η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ, η υπερβολική ταχύτητα, η αποστολή μηνυμάτων και η μη χρήση κράνους, με διάφορες παραμέτρους αυτοαναφερόμενων συμπεριφορών και παραγόντων που αφορούν την οπτική γωνία των αναβατών, όσον αφορά την αυστηρότητα των κανόνων οδικής κυκλοφορίας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο δομικών εξισώσεων (SEM), λαμβάνοντας στοιχεία από την έρευνα ESRA2. Ανακαλύφθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν πολυάριθμες στατιστικές σχέσεις που συσχετίζουν τις 4 εξετασθείσες μη ασφαλείς συμπεριφορές με 8 λανθάνουσες μη παρατηρούμενες μεταβλητές. Όλες οι συνδιακυμάνσεις βρέθηκαν θετικές και στατιστικά σημαντικές, αναδεικνύοντας πως όταν ένας αναβάτης υποπέπτει συχνά σε μία από αυτές, είναι πιο πιθανό να υποπέσει και στις υπόλοιπες. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως σύμφωνα με τους ερευνητές, η γενική δομή των σχέσεων που συσχετίζουν διάφορες μη ασφαλείς δηλωμένες συμπεριφορές αναβάτη, μπορεί να αποτυπωθεί κατάλληλα από το SEM.

Η έρευνα των Zhao et al. (2019), **αναλύει τη σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών των οδηγών και της οδικής ασφάλειας** με τη χρήση Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων (SEM). Σκοπός της έρευνας, είναι η ανάλυση των οδηγικών χαρακτηριστικών, με έμφαση στις παράνομες συμπεριφορές και η ανάπτυξη μίας νέας μεθόδου που θα έχει ως στόχο την μείωση των οδηγικών σφαλμάτων. Για τους σκοπούς της έρευνας, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο δομικών εξισώσεων (SEM), λαμβάνοντας στοιχεία τόσο από προσομοιωτή οδήγησης, όσο και από ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα της έρευνας, οδήγησαν τους ερευνητές στο συμπέρασμα πως ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τις παράνομες ενέργειες οδήγησης, είναι η οδηγική συμπεριφορά και πως ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την απόσπαση προσοχής του οδηγού, είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του οδηγού. Τέλος, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το βασικό αίτιο που επηρεάζει αρνητικά τα χαρακτηριστικά του οδηγού, είναι το χαμηλό επίπεδο εκπαίδευσης του οδηγού.

Η μελέτη των Yadav et al. (2020), **ερευνά τους παράγοντες ρίσκων που σχετίζονται με τα οδηγικά λάθη, υπό την επήρεια αλκοόλ, με τη χρήση Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων (SEM)**. Σκοπός της μελέτης, είναι η αναγνώριση και η ποσοτικοποίηση των επιρροών διάφορων παραγόντων ρίσκων που δύναται να επηρεάσουν τα οδηγικά λάθη, με την εφαρμογή Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων (SEM). Αυτοί οι παράγοντες, είναι: τα επίπεδα αλκοόλ στο αίμα, διαφορετικά οδηγικά περιβάλλοντα(π.χ. αστικό και υπεραστικό) και διάφορα οδηγικά χαρακτηριστικά (ηλικία, γένος, μόρφωση). Τα δεδομένα λήφθηκαν από προσομοιωτή οδήγησης. Σύμφωνα με τους ερευνητές, τα αποτελέσματα ανέδειξαν την καταλληλότητα της μεθόδου SEM, για την αναγνώριση του οδηγικού λάθους. Τέλος, η έρευνα κατέληξε στο αποτέλεσμα πως τα επίπεδα αλκοόλ, επηρεάζουν τα οδηγικά λάθη, καθώς και στο γεγονός πως στο αστικό περιβάλλον, λαμβάνουν χώρα περισσότερα οδηγικά λάθη σε σχέση με το υπεραστικό.

Η μελέτη των Useche et al. (2021), **ερευνά την επικίνδυνη συμπεριφορά των πεζών σε ένα οδικό δίκτυο, κάνοντας διαχωρισμό τους σε αρσενικά και θηλυκά, με τη χρήση Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων (SEM)**. Σκοπός της μελέτης, είναι η διερεύνηση της επιρροής του γένους, τόσο σε παραβάσεις του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.), όσο και σε επικίνδυνες συμπεριφορές που διαπράττουν άθελά τους, με την εφαρμογή Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων (SEM). Τα δεδομένα, λήφθηκαν από ερωτηματολόγιο. Σύμφωνα με τους ερευνητές, στους αρσενικούς πεζούς, σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση παραβάσεων είχαν η λανθάνουσα αντίληψη του ρίσκου και το μορφωτικό επίπεδο. Στους πεζούς γένους θηλυκού, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η διάσπαση προσοχής.

2.4 Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν μελέτες, οι οποίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα αναλύσεων και ερευνούν την επίδραση διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια. Από **τη σύνθεση των βασικών τους αποτελεσμάτων**, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το φύλο, αποτελεί έναν βασικό παράγοντα που επηρεάζει την οδική συμπεριφορά και ασφάλεια, καθώς οι άντρες εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά παραβατικών συμπεριφορών σε σύγκριση με τις γυναίκες.
- Η απόσπαση προσοχής που οφείλεται σε κοινωνικούς και τεχνολογικούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα η ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διάρκεια της οδήγησης, αυξάνει τον κίνδυνο των οδικών ατυχημάτων.
- Η ηλικία, είναι ένας παράγοντας επιρροής της οδικής ασφάλειας, καθώς άτομα νεαρής ηλικίας εμφανίζουν σημαντικά πιο επικίνδυνες οδικές συμπεριφορές σε

σύγκριση με ηλικιωμένους χρήστες των οδών, οι οποίοι είναι, συνήθως, πιο προσεκτικοί.

- Η χρήση δεδομένων από συσκευές καταγραφής όπως τα κινητά τηλέφωνα, αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη στις έρευνες για την οδική ασφάλεια, καθώς παρέχουν στους ερευνητές επιπλέον αναλυτικά στοιχεία, ιδιαίτερα χρήσιμα για το ερευνητικό τους έργο.
- Η χρήση δεδομένων από συστήματα καταγραφής σε πραγματικό χρόνο, παρέχει στους ερευνητές μία δυνατότητα καινοτομίας και πιο ολοκληρωμένης ερευνητικής προσέγγισης και παράγει βελτιωμένα αποτελέσματα και προτάσεις σε σχέση με την παλαιότερη μέθοδο καταγραφής δεδομένων από προσομοιωτές οδήγησης.
- Η υπέρβαση των ορίων ταχύτητας, αποδείχθηκε ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες επιρροής της επικίνδυνης οδήγησης.
- Από τις μεθόδους στατιστικής ανάλυσης, τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (SEM), είναι αυτά που παρουσιάζουν τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα συσχέτισης μεταβλητών σε μεγάλες βάσεις δεδομένων. Επιπλέον, η SEM επιτρέπει στον ερευνητή να ελέγξει την εγκυρότητα ενός θεωρητικού μοντέλου σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις δικτύου μεταξύ των περιοχών που υποστηρίζουν την υπό διερεύνηση εργασία.

3. Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στην μέθοδο ανάλυσης που αναπτύχθηκε για την ανάλυση των δεδομένων, δηλαδή στα **μοντέλα δομικών εξισώσεων** (Structural Equation Modeling-SEM). Στη συνέχεια, αναλύονται τα θεωρητικά στοιχεία που αφορούν στην μέθοδο αυτή, καθώς και οι **στατιστικοί έλεγχοι** και τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης ενός μοντέλου.

3.2 Μαθηματικά Πρότυπα

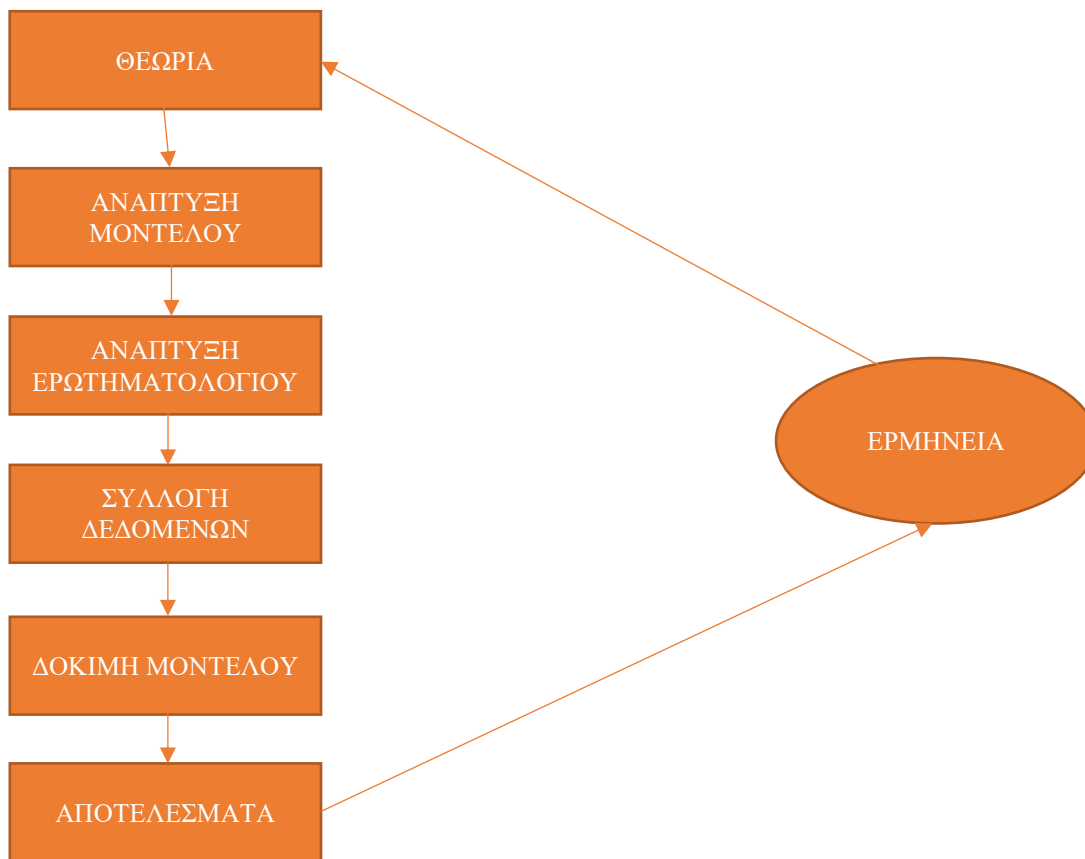
3.2.1 Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (SEM)

Τα **Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων** (Structural Equation Models - SEM) είναι μια στατιστική μεθοδολογία που χρησιμοποιεί την επικυρωτική/επιβεβαιωτική προσέγγιση στην ανάλυσή της (π.χ. υπόθεση, έλεγχος). Επί της ουσίας, αποτελεί μια επέκταση του Γενικού Γραμμικού Μοντέλου (GLM) που επιτρέπει στον ερευνητή να ελέγξει ένα **σύνολο εξισώσεων παλινδρόμησης ταυτόχρονα**. Επιπλέον, συνδυάζουν τις βασικές αρχές της ανάλυσης διαδρομών και της παραγοντικής ανάλυσης. Ο όρος μοντέλα δομικών εξισώσεων φέρει δύο σημαντικές πλευρές της διαδικασίας που ακολουθεί:

- α) ότι όλες οι διαδικασίες παριστάνονται με μια σειρά από δομικές εξισώσεις (π.χ. παλινδρόμηση) και
- β) ότι αυτές οι δομικές σχέσεις μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη βοήθεια εικόνων ώστε να γίνει μια καλύτερη μελέτη.

Το υποθετικό μοντέλο που δημιουργείται, μπορεί τότε να ελεγχθεί στατιστικά λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις μεταβλητές του ώστε να καθοριστεί σε ποιο βαθμό υπάρχει ταύτιση με τα δεδομένα. Αν η σύγκλιση είναι ικανοποιητική, υπάρχει αληθοφάνεια στις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου. Σε αντίθετη περίπτωση, η ορθότητα αυτών των σχέσεων απορρίπτεται.

Η **κύρια προσέγγιση** για να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση SEM απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Διάγραμμα 3.1: Κατασκευή Μοντέλων

Ο ερευνητής καθορίζει πρώτα το μοντέλο βασιζόμενος στην θεωρία. Έπειτα, προσδιορίζει το πως θα το μετρήσει, συλλέγει τα δεδομένα και ακολούθως εισάγει τα δεδομένα σε ένα λογισμικό πακέτο SEM. Το λογισμικό ταιριάζει τα δεδομένα αυτά με το μοντέλο και παράγει κάποια αποτελέσματα που περιλαμβάνουν στην συνολική σύγκλιση του μοντέλου και τις εκτιμήσεις των παραμέτρων του. Στην ανάλυση εισάγεται συνήθως ένας πίνακας συνδιακύμανσης των εκτιμώμενων μεταβλητών. Στην πράξη, οι αναλυτές τροφοδοτούν τα προγράμματα SEM με μη επεξεργασμένα δεδομένα και το πρόγραμμα τα μετατρέπει σε πίνακες συνδιακύμανσης και αριθμητικούς μέσους για δική του χρήση. Δηλαδή, τα μοντέλα SEM επιτρέπουν:

- Την **απεικόνιση θεωρητικών σχημάτων - υποθέσεων**.
- Την **εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων** τους (π.χ. φορτία, διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις παραγόντων, διακυμάνσεις σφαλμάτων υπολοίπων και σφαλμάτων μέτρησης).
- Τον **έλεγχο της προσαρμογής** τους στα εμπειρικά δεδομένα. Επίσης, ως προέκταση του GLM (ανάλυση παλινδρόμησης, ανάλυση συνδιακύμανσης, ανάλυση παραγόντων), με επιπλέον χαρακτηριστικά:
- Περιλαμβάνουν **άμεσα μετρήσιμες-παρατηρήσιμες** (observed) ή/και **λανθάνουσες** -μη παρατηρήσιμες (latent) μεταβλητές.
- Εξετάζουν τις σχέσεις μεταξύ μίας ή **πολλαπλών εξαρτημένων** και ανεξάρτητων μεταβλητών, συγχρόνως.
- Δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού και διόρθωσης του **σφάλματος μέτρησης**.
- Παρέχουν **δείκτες προσαρμογής** του θεωρητικού μοντέλου στα εμπειρικά δεδομένα. Χρησιμοποιώντας μήτρα συμβολισμών, τα μοντέλα SEM μπορούν να εκφραστούν με ορισμένες θεμελιώδεις εξισώσεις με βάση τους Jöreskog & Sörbom (1988).

Αυτές είναι:

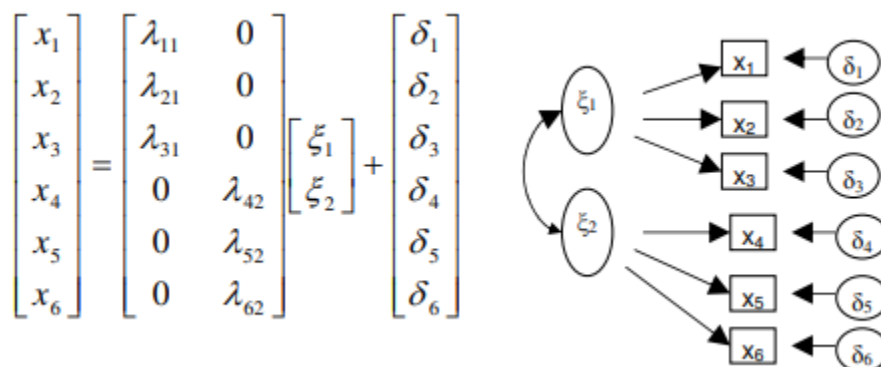
- Το μοντέλο δομικών εξισώσεων: $\eta = \mathbf{B}\eta + \Gamma\xi + \zeta$
- Το μοντέλο μέτρησης του y : $\mathbf{y} = \mathbf{\Lambda y}\eta + \varepsilon$
- Το μοντέλο μέτρησης του x : $\mathbf{x} = \mathbf{\Lambda x}\xi + \delta$

Όπου:

- \mathbf{y} : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει τις εξαρτημένες μεταβλητές
- \mathbf{x} : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει τις ανεξάρτητες μεταβλητές
- η : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει τις άδηλες εξαρτημένες (μη παρατηρούμενες) μεταβλητές
- ξ : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει τις άδηλες ανεξάρτητες (εξωγενείς) μεταβλητές
- ε : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει το σφάλμα παλινδρόμησης στο \mathbf{y}
- δ : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει το σφάλμα παλινδρόμησης στο \mathbf{x}
- ζ : είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει το σφάλμα παλινδρόμησης στο η
- $\mathbf{\Lambda y}$: είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει τους συντελεστές παλινδρόμησης για τις εξαρτημένες μεταβλητές \mathbf{y} στο η
- $\mathbf{\Lambda x}$: είναι ένα διάνυσμα που εκφράζει τους συντελεστές παλινδρόμησης για τις ανεξάρτητες μεταβλητές \mathbf{x} στο ξ
- Γ : είναι ένας Πίνακας που εκφράζει τους συντελεστές παλινδρόμησης του ξ στο μοντέλο SEM
- \mathbf{B} : είναι ένας Πίνακας που εκφράζει τους συντελεστές παλινδρόμησης του η στο μοντέλο SEM

Χρησιμοποιώντας αυτά τα σύμβολα και τις μαθηματικές εξισώσεις του μοντέλου μέτρησης μπορεί να γίνει σύγκριση των δύο μεθόδων της ανάλυσης παραγόντων, δηλαδή της επαληθευτικής (Confirmatory Factor Analysis - CFA) και της διερευνητικής (Exploratory Factor Analysis - EFA). Έτσι, χρησιμοποιώντας ένα απλό μοντέλο, όπως φαίνεται παρακάτω, παρατηρούμε διαφορές στον πίνακα $\mathbf{\Lambda x}$.

Για την **CFA** σε μοντέλο δύο άδηλων μεταβλητών έχουμε: $\mathbf{x} = \mathbf{\Lambda x}\xi + \delta$



Για την **EFA** σε μοντέλο δύο άδηλων μεταβλητών έχουμε: $\mathbf{x} = \mathbf{\Lambda x}\xi + \delta$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} \\ \lambda_{41} & \lambda_{42} \\ \lambda_{51} & \lambda_{52} \\ \lambda_{61} & \lambda_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix}$$

3.3 Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου

3.2.1 Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (SEM)

Τα **κριτήρια αποδοχής** του μοντέλου SEM αφορούν σε κάποιους **δείκτες σύγκλισης** που μελετώντας τους μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την σύγκλιση του μοντέλου με τα δεδομένα. Οι δείκτες σύγκλισης βασίζονται σε εμπειρικούς κανόνες (rules of thumb) που οριοθετούν τις **ελάχιστες τιμές** σύγκλισης των μοντέλων SEM. Τα λογισμικά που χρησιμοποιούν τα μοντέλα SEM προσφέρουν πάρα πολλούς δείκτες σύγκλισης ή προσαρμογής, όμως το εναλλακτικό μοντέλο αρκεί να έχει αποδεκτές τιμές σε κάποιους συγκεκριμένους δείκτες, οι οποίοι είναι και οι πιο σημαντικοί. Σε αυτούς τους βασικούς δείκτες θα βασιστεί η παρούσα έρευνα ώστε να εξαχθούν οποιαδήποτε συμπεράσματα σχετικά με την προσαρμογή των εναλλακτικών μοντέλων με τα δεδομένα. Παρακάτω, δίνεται μια ερμηνεία των βασικών δεικτών σύγκλισης-προσαρμογής και των χ^2 , R^2 (Ζερβαλάκη, 2007).

- Root mean square error of approximation (ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος) – RMSEA

Ο δείκτης RMSEA υπολογίζεται από τον τύπο:

$$RMSEA = \sqrt{\frac{F}{df}}$$

Όπου:

- F αντιπροσωπεύει την ελαχιστοποιημένη συνάρτηση προσαρμογής
- df είναι οι αντίστοιχοι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου

Ο δείκτης αυτός απαντάει στο ερώτημα πόσο καλά θα προσαρμοζόταν το μοντέλο σε σχέση με ένα πρότυπο μοντέλο με άγνωστες, αλλά ευνοϊκές τιμές.

Επιπροσθέτως, ο δείκτης RMSEA εμφανίζει ευαισθησία στο πλήθος των προς εκτίμηση παραμέτρων του μοντέλου.

Τιμές του δείκτη μικρότερες από 0,05 (**RMSEA ≤ 0,05**) δηλώνουν **καλή προσαρμογή**, τιμές έως 0,08 (**RMSEA ≤ 0,08**) θεωρούνται **αποδεκτές στα πλαίσια των λογικών σφαλμάτων** μέτρησης, ενώ τιμές άνω του 0,10 (**RMSEA > 0,10**) δηλώνουν **πτωχή προσαρμογή**.

Ακόμη, τα μοντέλα δομικών εξισώσεων, υπολογίζουν το **διάστημα εμπιστοσύνης** του δείκτη RMSEA (90% Confidence Interval for RMSEA). Όσο **μικρότερο** είναι το διάστημα αυτό, τόσο **μεγαλύτερη ακρίβεια** υπάρχει στον υπολογισμένο δείκτη. Τέλος, υπολογίζεται η πιθανότητα η τιμή του RMSEA να είναι εντός του διαστήματος αυτού (P-Value for Test of

Close Fit). Μεγάλες τιμές της πιθανότητας, σε συνδυασμό με αποδεκτές τιμές του RMSEA, δηλώνουν πως το υποθετικό μοντέλο κρίνεται αποδεκτό.

- **Root Mean Square Residual - RMR (Ρίζα του μέσου τετραγωνικού υπολοίπου)**

Ο δείκτης RMR υπολογίζεται ως η μέση τιμή του υπολοίπου που προέρχεται από την προσαρμογή του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης του υποθετικού μοντέλου, με τον πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης των δεδομένων του δείγματος. Οι τιμές αυτές σχετίζονται με το μέγεθος των παρατηρούμενων διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων. Για το λόγο αυτό, είναι δύσκολο να ερμηνευθούν.

Ωστόσο, ο **κανονικοποιημένος δείκτης SRMR** (Standardized RMR) αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή όλων των "υπολοίπων" και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,0-1,0 ($0,0 \leq SRMR \leq 1,0$). Τιμές μικρότερες από 0,05 (**SRMR ≤ 0,05**) δηλώνουν άριστη προσαρμογή του υποθετικού μοντέλου (Byrne, 1999).

- **Δείκτης Προσαρμογής Μοντέλου (Normed Fit Index - NFI) και Δείκτης Σχετικής Προσαρμογής (Comparative Fit Index - CFI)**

Για σχεδόν μια δεκαετία ο **δείκτης NFI** ήταν το πιο **πρακτικό κριτήριο** επιλογής ενός μοντέλου (Bentler & Bonett, 1987). Το 1990 ο Bentler απέδειξε ότι ο δείκτης NFI τείνει να υποεκτιμά την προσαρμογή σε περιπτώσεις που τα δείγματα είναι μικρά. Για το λόγο αυτό, δημιούργησε τον **δείκτη CFI** ώστε να λαμβάνει υπόψιν και το **μέγεθος** του δείγματος.

Οι τιμές των δεικτών NFI, CFI κυμαίνονται μεταξύ του 0,0-1,0 ($0,0 \leq NFI \leq 1,0$, $0,0 \leq CFI \leq 1,0$) και προκύπτουν από τη σύγκριση του υποθετικού μοντέλου με το ανεξάρτητο μοντέλο. Όσο οι τιμές των δεικτών πλησιάζουν στο 1,0, τόσο καλύτερη προσαρμογή έχει το υποθετικό μοντέλο στα δεδομένα. Τιμές άνω του 0,9 υποδεικνύουν πολύ καλή προσαρμογή στα δεδομένα (Bentler, 1992).

Ο δείκτης **CFI** μπορεί να θεωρηθεί ως ο **πιο ισχυρός** δείκτης προσαρμογής.

- **Δείκτης Tucker - Lewis (TLI)**

Ο δείκτης **TLI** (Tucker - Lewis, 1973) βασίζεται στην ίδια λογική με τους NFI και CFI. Οι τιμές του TLI κυμαίνονται από 0-1,0 ($0,0 \leq TLI \leq 1,0$), με τιμές άνω του 0,90 (και ειδικότερα άνω του 0,95) να υποδηλώνουν πολύ καλή σύγκλιση - προσαρμογή (Hu & Bentler, 1999).

- **Δείκτης Καλής Προσαρμογής - Goodness of Fit Index (GFI)**

Ο δείκτης **GFI** υπολογίζει το βαθμό προσαρμογής του μοντέλου σε σύγκριση με το "μηδενικό" μοντέλο (δηλαδή, με το να μην υπήρχε καθόλου μοντέλο). Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0,0-1,0 ($0,0 \leq GFI \leq 1,0$). Ο δείκτης GFI μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές, ωστόσο το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως το μοντέλο που υποθέσαμε είναι χειρότερο από το "μηδενικό". Όσο ο GFI πλησιάζει την μονάδα, τόσο καλύτερα προσαρμόζεται το μοντέλο, με την απόλυτη προσαρμογή να πραγματοποιείται όταν $GFI=1,0$. Τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από 0,90 ($GFI > 0,9$) υποδεικνύουν αποδεκτό μοντέλο (Byrne, 1999).

4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος του ερευνητικού έργου i-DREAMS, είναι η παρακολούθηση, καταγραφή και η ανίχνευση της επικίνδυνης οδηγικής συμπεριφοράς, τόσο σε πραγματικό χρόνο, όσο και σε μεταγενέστερο. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, έγινε η απόπειρα ορισμού, ανάπτυξης, δοκιμής και επικύρωσης μίας **‘Ζώνης Ανοχής Ασφαλείας’**, ούτως ώστε να περιοριστεί η επικίνδυνη συμπεριφορά κατά την οδήγηση. Καίριο βήμα για την επίτευξη του στόχου αυτού, αποτελεί η ανάλυση δεδομένων οδηγικής συμπεριφοράς σε πραγματικές συνθήκες. Με την ανάλυση των δεδομένων, επιδιώκεται:

- Η αναγνώριση του επιπέδου της ‘Ζώνης Ανοχής Ασφαλείας’ που βρίσκεται ο οδηγός, με στόχο την πραγματοποίηση παρεμβάσεων.
- Η αναγνώριση της σχέσης μεταξύ του κινδύνου και των άμεσα σχετιζόμενων με αυτόν παραγόντων. Συγκεκριμένα, επιχειρείται η καλύτερη κατανόηση των παραγόντων επηρεασμού της οδηγικής συμπεριφοράς, με σκοπό τη βελτίωση των παρεμβάσεων.

4.2 Συλλογή δεδομένων

4.2.1 Στόχος πειράματος

Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου i-DREAMS, 26 οδηγοί, συμμετείχαν εθελοντικά στο πρόγραμμα οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες στην Μεγάλη Βρετανία. Η διάρκεια του πειράματος, ορίστηκε στους 4 μήνες ανά συμμετέχοντα και πραγματοποιήθηκε το έτος 2022. Στόχος του πειράματος, είναι η συλλογή δεδομένων σχετιζόμενων με την οδηγική συμπεριφορά και η ανάλυσή τους για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν.

4.2.2 Περιγραφή του εξοπλισμού

Για την επίτευξη των πειραμάτων του i-DREAMS κρίθηκε απαραίτητη η εγκατάσταση του απαιτούμενου εξοπλισμού στο εσωτερικό του οχήματος. Συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός (Mobileye και Dashcam) τοποθετήθηκε στο παρμπρίζ ή στην κονσόλα του οχήματος, όπως φαίνεται στις Εικόνες που ακολουθούν. Επίσης, οι συμμετέχοντες, έπρεπε να κατεβάσουν μια εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου (OSeven). Όλες οι εγκαταστάσεις του εξοπλισμού, πραγματοποιήθηκαν από εξουσιοδοτημένους και ειδικά εκπαιδευμένους τεχνικούς, με γνώμονα την διατήρηση των οχημάτων στην βέλτιστη κατάσταση.



Εικόνα 4.1: Εξοπλισμός στο παρμπρίζ (αριστερά) και στην κονσόλα (δεξιά) του αυτοκινήτου



Εικόνα 4.2: Εξοπλισμός ανατροφοδότησης πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο στο παρμπρίζ του αυτοκινήτου

4.2.3 Τρόπος συλλογής δεδομένων

Συλλέχθηκαν δεδομένα για την οδηγική συμπεριφορά, μέσω της εφαρμογής κινητού τηλεφώνου **OSeven** καθώς και για τα χαρακτηριστικά του οδηγού μέσω εξελιγμένων τεχνολογιών (**Dashcam**) σε συνδυασμό με εξατομικευμένη ανατροφοδότηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μέσω ενός καινοτόμου συστήματος (**Mobileye**).

4.2.4 Περιγραφή των μεταβλητών

Παρακάτω, παρατίθεται ο ο πίνακας περιγραφής των δεδομένων και οι μονάδες μέτρησης που καταγράφηκαν μέσω της συσκευής Mobileye και της κάμερας (Dashcam) που ήταν τοποθετημένα στο εσωτερικό του οχήματος.

Σημειώνεται πως για όλες τις παρακάτω κατηγορίες, καταγράφηκαν τόσο ο μέσος όρος (mean), όσο και ο συνολικός αριθμός (sum) των παρατηρήσεων. Όλα τα δεδομένα, καταγράφηκαν σε διαστήματα των 30 δευτερολέπτων.

Πίνακας 4.1: Περιγραφή των μεταβλητών

Μεταβλητή	Περιγραφή	Επίπεδα παρέμβασης	Εύρος
iDreams_Headway_Map_-1	Επίπεδο παρέμβασης -1 μεταβλητής Headway σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο -1 => Δεν εντοπίστηκε όχημα (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με -1)
iDreams_Headway_Map_0	Επίπεδο παρέμβασης 0 μεταβλητής Headway σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 0 => Εντοπίστηκε όχημα σε απόσταση μεγαλύτερη των 2.5 μέτρων (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 0)
iDreams_Headway_Map_1	Επίπεδο παρέμβασης 1 μεταβλητής Headway σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 1 => Εντοπίστηκε όχημα σε απόσταση μικρότερη των 2.5 μέτρων, αλλά εκτός του περιθωρίου προειδοποίησης (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 1)
iDreams_Headway_Map_2	Επίπεδο παρέμβασης 2 μεταβλητής Headway σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 2 => Πρώτο επίπεδο προειδοποίησης (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 2)
iDreams_Headway_Map_3	Επίπεδο παρέμβασης 3 μεταβλητής Headway σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 3 => Δεύτερο επίπεδο προειδοποίησης (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 3)
iDreams_Overtaking_Map_0	Επίπεδο παρέμβασης 0 μεταβλητής Overtaking σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 0 => Καμία προειδοποίηση (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 0)
iDreams_Overtaking_Map_1*	Επίπεδο παρέμβασης 1 μεταβλητής Overtaking σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 1 => Οπτική προειδοποίηση (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 1)
iDreams_Overtaking_Map_2*	Επίπεδο παρέμβασης 2 μεταβλητής Overtaking σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 2 => Οπτικοακουστική προειδοποίηση (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 2)
iDreams_Overtaking_Map_3*	Επίπεδο παρέμβασης 3 μεταβλητής Overtaking σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 3 => Συχνή προειδοποίηση (Αποφυγή Ατυχήματος)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 3)
iDreams_Speeding_Map_0	Επίπεδο παρέμβασης 0 μεταβλητής Speeding σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 0 => Καμία προειδοποίηση (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 0)
iDreams_Speeding_Map_1	Επίπεδο παρέμβασης 1 μεταβλητής Speeding σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 1 => Οπτική ένδειξη (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 1)
iDreams_Speeding_Map_2	Επίπεδο παρέμβασης 2 μεταβλητής Speeding σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 2 => Οπτική προειδοποίηση υπερβολικής ταχύτητας (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 2)
iDreams_Speeding_Map_3	Επίπεδο παρέμβασης 3 μεταβλητής Speeding σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 3 => Οπτικοακουστική προειδοποίηση (Αποφυγή Ατυχήματος)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 3)
iDreams_Fatigue_Map_0	Επίπεδο παρέμβασης 0 μεταβλητής Fatigue σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 0 => Καμία προειδοποίηση (Κανονική Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 0)
iDreams_Fatigue_Map_1	Επίπεδο παρέμβασης 1 μεταβλητής Fatigue σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 1 => Οπτική προειδοποίηση (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 1)
iDreams_Fatigue_Map_2	Επίπεδο παρέμβασης 2 μεταβλητής Fatigue σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 2 => Οπτικοακουστική προειδοποίηση (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 2)
iDreams_Fatigue_Map_3	Επίπεδο παρέμβασης 3 μεταβλητής Fatigue σε πραγματικό χρόνο	Επίπεδο 3 => Συχνές προειδοποιήσεις (Επικίνδυνη Οδήγηση)	0 - 1 (1 σημαίνει πως το επίπεδο ισούται με 3)

Μεταβλητή	Περιγραφή	Επίπεδα παρέμβασης	Εύρος
DrivingEvents_Map_lvl__H	Απότομο συμβάν υψηλού επιπέδου σοβαρότητας (απότομη επιτάχυνση, απότομη επιβράδυνση και απότομη στροφή)	-	0-> Δεν εντοπίστηκε απότομο συμβάν υψηλού επιπέδου σοβαρότητας 1-> Εντοπίστηκε απότομο συμβάν υψηλού επιπέδου σοβαρότητας
DrivingEvents_Map_lvl__L	Απότομο συμβάν χαμηλού επιπέδου σοβαρότητας (απότομη επιτάχυνση, απότομη επιβράδυνση και απότομη στροφή)	-	0-> Δεν εντοπίστηκε απότομο συμβάν χαμηλού επιπέδου σοβαρότητας 1-> Εντοπίστηκε απότομο συμβάν χαμηλού επιπέδου σοβαρότητας
DrivingEvents_Map_lvl__M	Απότομο συμβάν μεσαίου επιπέδου σοβαρότητας (απότομη επιτάχυνση, απότομη επιβράδυνση και απότομη στροφή)	-	0-> Δεν εντοπίστηκε απότομο συμβάν μεσαίου επιπέδου σοβαρότητας 1-> Εντοπίστηκε απότομο συμβάν μεσαίου επιπέδου σοβαρότητας
DrivingEvents_Map_evt__ha	Είδος απότομου συμβάντος --> Απότομη επιτάχυνση	-	0-> Δεν εντοπίστηκε συμβάν απότομης επιτάχυνσης 1-> Εντοπίστηκε συμβάν απότομης επιτάχυνσης
DrivingEvents_Map_evt__hb	Είδος απότομου συμβάντος --> Απότομη επιβράδυνση	-	0-> Δεν εντοπίστηκε συμβάν απότομης επιβράδυνσης 1-> Εντοπίστηκε συμβάν απότομης επιβράδυνσης
DrivingEvents_Map_evt__hc	Είδος απότομου συμβάντος --> Απότομη στροφή	-	0-> Δεν εντοπίστηκε συμβάν απότομης στροφής 1-> Εντοπίστηκε συμβάν απότομης στροφής
Distance	Συνολική διανυθείσα απόσταση	km	
Duration	Συνολική διάρκεια διαδρομής	sec	
ME_Car_wipers	Χρήση υαλοκαθαριστήρων	-	0-> δεν γνωρίζουμε False-> υαλοκαθαριστήρες απενεργοποιημένοι True-> υαλοκαθαριστήρες ενεργοποιημένοι
ME_Car_speed	Ταχύτητα οχήματος	km/h	
ME_AWS_hw_measurement	Μέτρηση απόστασης από προπορευόμενο όχημα	sec	
ME_AWS_tsr_level	Αναγνώριση πινακίδων ορίων ταχύτητας	km/h ή mp/h	0-> καμία προειδοποίηση 1-> 0-5 μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας 2-> 5-10 μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας 3-> 10-15 μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας 4-> 15-20 μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας 5-> 20-25 μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας

Μεταβλητή	Περιγραφή	Επίπεδα παρέμβασης	Εύρος
			6-> 25-30 μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας 7-> 30+ μονάδες πάνω από το όριο ταχύτητας
ME_AWS_fcw	Προειδοποίηση εμπρόσθιας σύγκρουσης	-	0-> δεν γνωρίζουμε False-> Προειδοποίηση εμπρόσθιας σύγκρουσης απενεργοποιημένη True-> Προειδοποίηση εμπρόσθιας σύγκρουση ενεργοποιημένη
ME_AWS_ldw	Προειδοποίηση αποχώρησης από τη λωρίδα	-	0-> δεν γνωρίζουμε False-> Προειδοποίηση αποχώρησης από τη λωρίδα απενεργοποιημένη True-> Προειδοποίηση αποχώρησης από τη λωρίδα ενεργοποιημένη
ME_AWS_pcw	Προειδοποίηση σύγκρουσης με πεζό	-	0-> δεν γνωρίζουμε False-> Προειδοποίηση σύγκρουσης με πεζό απενεργοποιημένη True-> Προειδοποίηση σύγκρουσης με πεζό ενεργοποιημένη
ME_AWS_pedestrian_dz	Πεζός σε επικίνδυνη ζώνη	-	0-> δεν γνωρίζουμε False-> Πεζός δεν εντοπίστηκε σε επικίνδυνη ζώνη True-> Πεζός εντοπίστηκε σε επικίνδυνη ζώνη
ME_AWS_time_indicator	Συνθήκες οδήγησης	-	0-> δεν γνωρίζουμε day-> ημέρα dusk-> σούρουπο night -> νύχτα

4.3 Περιγραφική ανάλυση

Αξιοποιώντας τις βιβλιοθήκες ανάλυσης δεδομένων `lavaan`, `readxl`, `writexl` στο προγραμματιστικό περιβάλλον R, πραγματοποιήθηκε **περιγραφική στατιστική** των δεδομένων μετά την επεξεργασία τους. Στον πίνακα παρατίθενται κάποια περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των μεταβλητών, τα οποία συλλέχθηκαν όπως η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, η μέση τιμή και η ενδιάμεση τιμή.

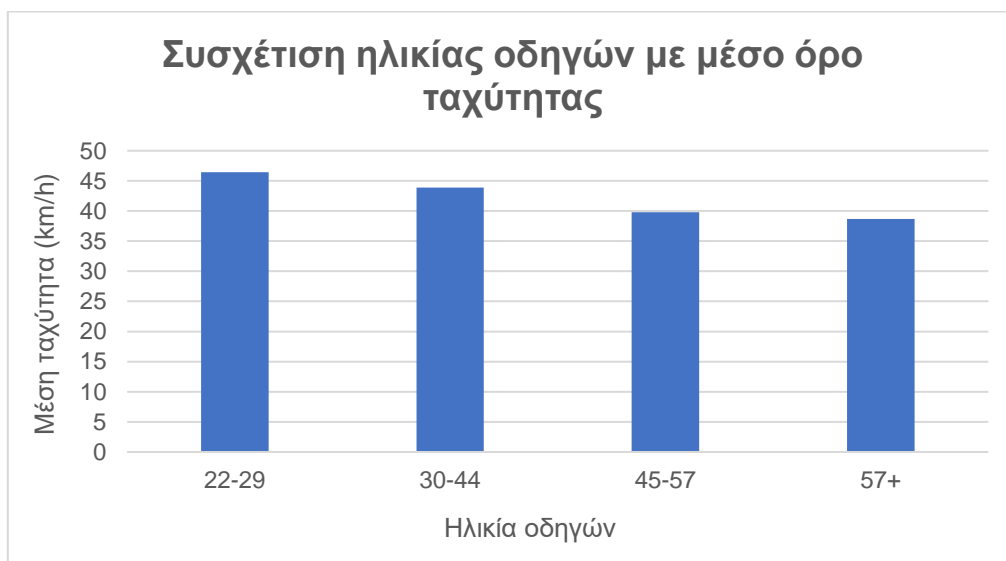
Μεταβλητή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Ενδιάμεση τιμή
iDreams_Headway_Map_-1_mean	0	1	0,544	0,633
iDreams_Headway_Map_0_mean	0	1	0,246	0,067
iDreams_Headway_Map_1_mean	0	1	0,13	0
iDreams_Headway_Map_2_mean	0	1	0,09	0
iDreams_Headway_Map_3_mean	0	1	0,01	0
iDreams_Speeding_Map_0_mean	0	1	0,45	0,23
iDreams_Speeding_Map_1_mean	0	1	0,47	0,4
iDreams_Speeding_Map_2_mean	0	1	0,03	0
iDreams_Speeding_Map_3_mean	0	1	0,08	0
ME_Car_wipers_median	0	1	0,0601	0
ME_Car_speed_mean	0	173,37	42,48	34,4
ME_AWS_hw_measurement_mean	0,35	99999	83120	99999
ME_AWS_tsr_level_mean	0	7	0,104	0
ME_AWS_fcw_mean	0	0,2	0	0
ME_AWS_pcw_mean	0	0,067	0	0
ME_AWS_pedestrian_dz_mean	0	1	0,004	0
ME_AWS_time_indicator_median	1	3	1,885	1
ME_TSR_tsr_1_speed_median	0	254	116,8	64
GPS_spd_mean	0	166,11	39,36	31,64
GPS_distances_sum	0	6689,7	329,5	265
DEM_evt_ha_lvl_L_mean	0	1	0,36	0,03
DEM_evt_ha_lvl_M_mean	0	1	0,1	0
DEM_evt_ha_lvl_H_mean	0	1	0,03	0
DEM_evt_hb_lvl_L_mean	0	1	0,19	0
DEM_evt_hb_lvl_M_mean	0	1	0,02	0
DEM_evt_hb_lvl_H_mean	0	1	0	0
DEM_evt_hc_lvl_L_mean	0	1	0,16	0
DEM_evt_hc_lvl_M_mean	0	1	0,18	0
DEM_evt_hc_lvl_H_mean	0	1	0,03	0
ME_Car_high_beam_median	0	1	0,0125	0
DrivingEvents_Map_evt_ha_mean	0	1	0,47	0,43
DrivingEvents_Map_evt_hb_mean	0	1	0,21	0
DrivingEvents_Map_evt_hc_mean	0	1	0,35	0
DrivingEvents_Map_lvl_L_mean	0	1	0,69	1
DrivingEvents_Map_lvl_M_mean	0	1	0,29	0
DrivingEvents_Map_lvl_H_mean	0	1	0,06	0

4.4 Επεξεργασία δεδομένων

Συνολικά στο πείραμα, συμμετείχαν 26 οδηγοί. Οι πληροφορίες σχετικά με τους κωδικούς των οδηγών και τους αριθμούς διαδρομής τους, αναγράφονταν στην κοινή βάση δεδομένων. Τα δεδομένα, καταγράφονταν σε χρονικά διαστήματα των 30 δευτερολέπτων, για την ευκολότερη ανάλυσή τους.

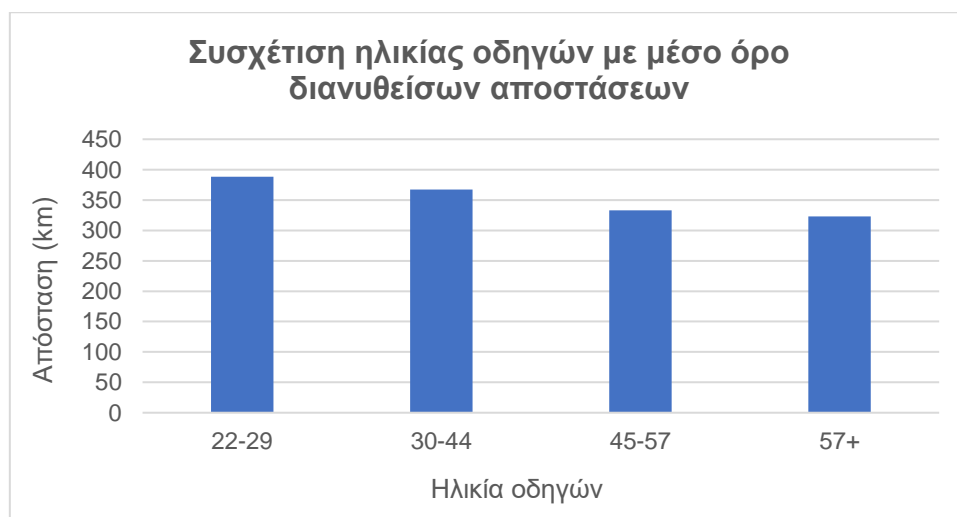
Αξιοποιώντας την μέθοδο των **pivot tables** (εξαιτίας της πολύ μεγάλης βάσης δεδομένων) στο Excel, δημιουργήθηκαν πίνακες και διαγράμματα συσχέτισης δεδομένων.

Συγκεκριμένα, ακολουθεί το Διάγραμμα συσχέτισης της μέσης ταχύτητας με την ηλικία του οδηγού. Παρατηρείται πως οι οδηγοί μεγαλύτερων ηλικιών, αναπτύσσουν μικρότερες ταχύτητες κατά μέσο όρο από εκείνους μικρότερων ηλικιών, κάτι που είναι σύμφωνο και με τη βιβλιογραφία.



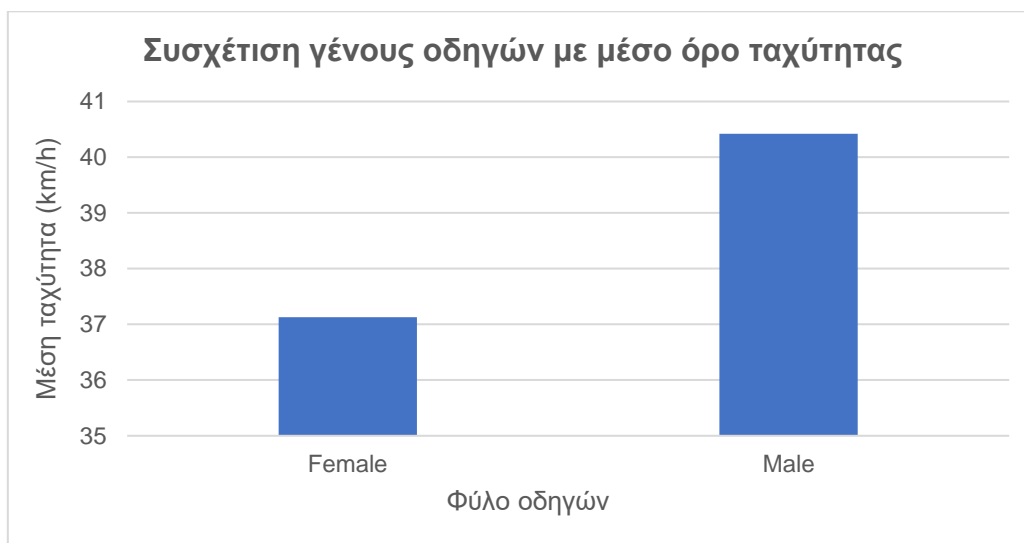
Διάγραμμα 4.1: Συσχέτιση ηλικίας οδηγών με μέσο όρο ταχύτητας

Στη συνέχεια, ακολουθεί το Διάγραμμα συσχέτισης της διανυθείσας απόστασης με την ηλικία του οδηγού. Παρατηρείται πως οι οδηγοί μικρότερων ηλικιών, πραγματοποιούν μεγαλύτερες αποστάσεις κατά μέσο όρο διαδρομής σε σχέση με εκείνους μεγαλύτερων ηλικιών.



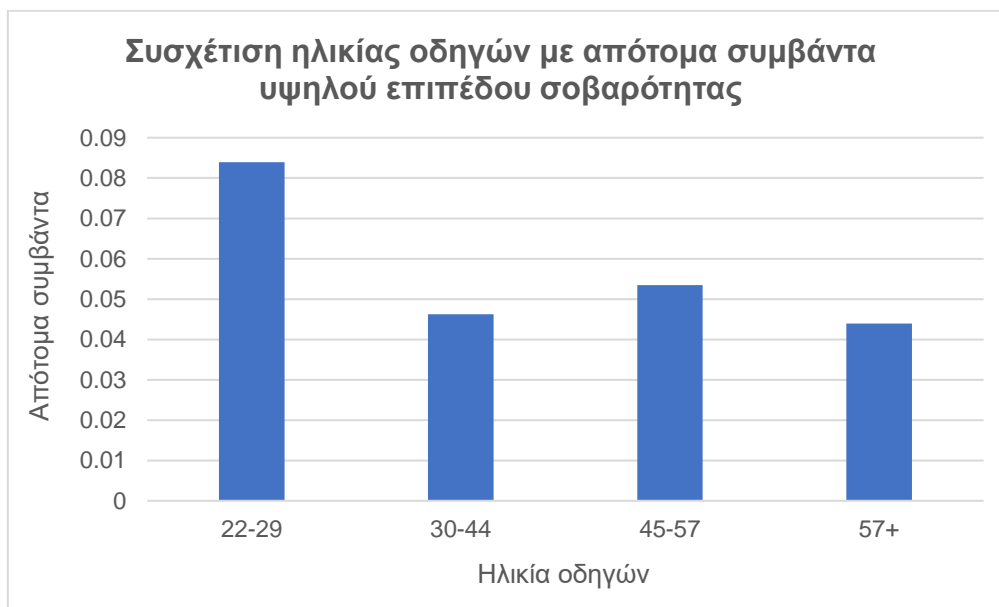
Διάγραμμα 4.2: Συσχέτιση ηλικίας οδηγών με μέσο όρο διανυθείσων αποστάσεων

Από το διάγραμμα συσχέτισης της μέσης ταχύτητας με το φύλο των οδηγών διαπιστώθηκε πως οι οδηγοί αρσενικού γένους, αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες κατά μέσο όρο από τις οδηγούς γένους θηλυκού, κάτι που είναι σύμφωνο και με τη βιβλιογραφία.



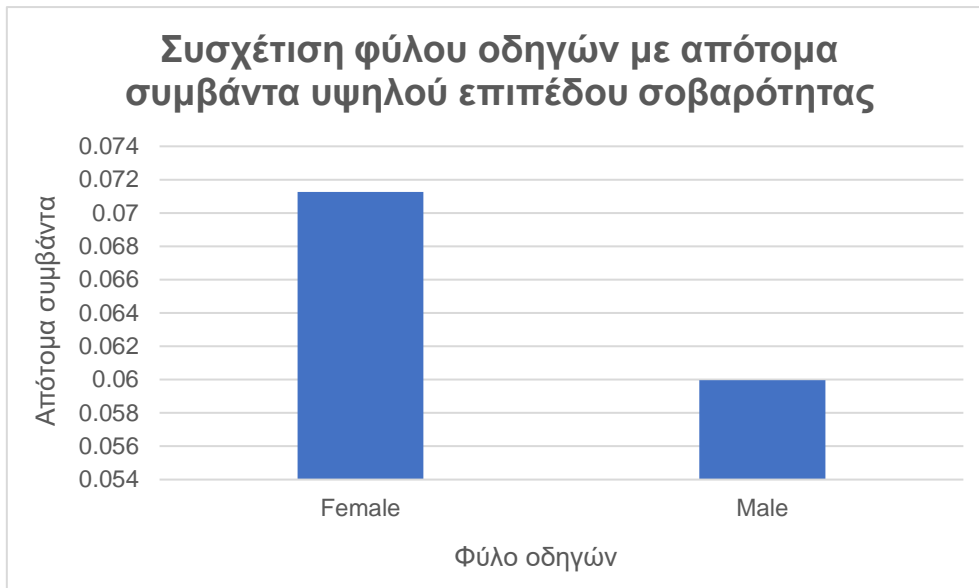
Διάγραμμα 4.3: Συσχέτιση φύλου οδηγών με μέσο όρο ταχύτητας

Αξιόλογη είναι και η μεταβολή των απότομων συμβάντων (απότομες επιταχύνσεις και απότομες επιβραδύνσεις) υψηλού επιπέδου σοβαρότητας ανά ηλικία. Από το Διάγραμμα που ακολουθεί, παρατηρείται πως οι νέοι οδηγοί πραγματοποιούν κατά μέσο όρο τα περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση, ενώ οι μεσήλικες και οι ηλικιωμένοι πραγματοποιούν παρόμοια γεγονότα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας.



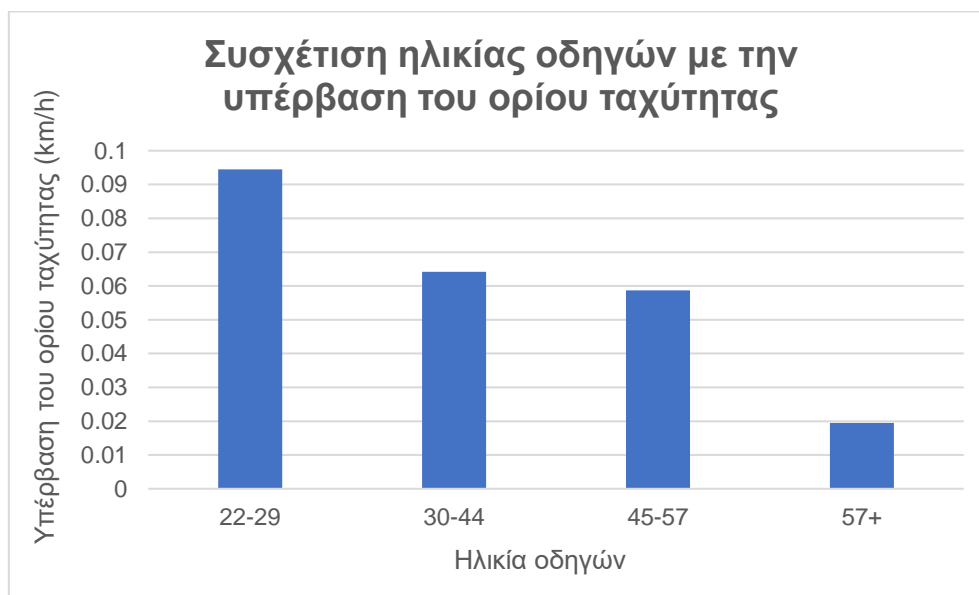
Διάγραμμα 4.4: Συσχέτιση ηλικίας οδηγών με απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας

Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μεταβολή των απότομων συμβάντων (απότομες επιταχύνσεις και απότομες επιβραδύνσεις) υψηλού επιπέδου σοβαρότητας ανά φύλο. Από το Διάγραμμα που ακολουθεί, διαπιστώνεται πως οι οδηγοί αρσενικού γένους, πραγματοποιούν περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση σε σύγκριση με τις οδηγούς θηλυκού γένους.



Διάγραμμα 4.5: Συσχέτιση φύλου οδηγών με απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας

Στο παρακάτω Διάγραμμα αποτυπώνεται η συσχέτιση της ηλικίας των οδηγών με την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας με κίνδυνο την πρόκληση ατυχήματος. Παρατηρείται η μείωση των γεγονότων υπερβολικής ταχύτητας με την αύξηση της ηλικίας, κάτι που κρίνεται αναμενόμενο με βάση τη βιβλιογραφία, αλλά και τα αποτελέσματα προηγούμενου Διαγράμματος 4.6 που αποτυπώθηκε η υψηλότερη μέση ταχύτητα των νέων οδηγών σε σχέση με τους γηραιότερους.



Διάγραμμα 4.6: Συσχέτιση ηλικίας οδηγών με την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας

Γενικά σχόλια – Παρατηρήσεις

- ◇ Οι οδηγοί αρσενικού φύλου, πραγματοποιούν περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση σε σύγκριση με τις οδηγούς θηλυκού φύλου.
- ◇ Οι νέοι οδηγοί πραγματοποιούν κατά μέσο όρο τα περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση, ενώ οι μεσήλικες και οι ηλικιωμένοι πραγματοποιούν παρόμοια γεγονότα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας.
- ◇ Οι οδηγοί αρσενικού φύλου, αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες κατά μέσο όρο από τις οδηγούς φύλου θηλυκού.
- ◇ Οι οδηγοί μικρότερων ηλικιών, πραγματοποιούν μεγαλύτερες αποστάσεις κατά μέσο όρο διαδρομής σε σχέση με εκείνους μεγαλύτερων ηλικιών.

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται η **εφαρμογή της μεθοδολογίας** που επιλέχθηκε, όπως και τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε. Έπειτα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση παρόμοιων ερευνών και μεθοδολογιών, επιλέχθηκε η κατάλληλη μεθοδολογία για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η **στατιστική ανάλυση** των στοιχείων που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν στο προηγούμενο στάδιο, πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο των **Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων (SEM)**.

Αναλυτικότερα, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας, καθώς και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης των κατάλληλων μοντέλων. Καίριο βήμα στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, αποτέλεσαν οι **στατιστικοί έλεγχοι** που πραγματοποιήθηκαν για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων.

Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται τα **αποτελέσματα** που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών και η ερμηνεία τους σύμφωνα με το γενικότερο πλαίσιο της έρευνας. Σημειώνεται πως προκειμένου να επιλεγούν τα τελικά δεδομένα εισόδου για το μοντέλο SEM, προηγήθηκε μια **σειρά δοκιμών με διαφορετικούς συνδυασμούς μεταβλητών**, ούτως ώστε να προκύψουν εκείνες οι οποίες θα εξυπηρετούσαν καλύτερα την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στο πλαίσιο της διαδικασίας αυτής, εισηχθήσαν διαδοχικά διάφορες ομάδες μεταβλητών με αρκετές μεταβλητές σε κάθε ομάδα, έτσι ώστε να ελεγχθούν όλες οι διαθέσιμες μεταβλητές.

5.2 Ανάπτυξη μοντέλων

5.2.1 Μοντέλο Δομικών Εξισώσεων SEM

Κρίσιμο βήμα στη λειτουργία των μοντελων SEM, αποτελεί η ομαδοποίηση των μεταβλητών, ούτως ώστε να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα για τις λανθάνουσες (latent) μεταβλητές.

Ακολουθώντας τις αρχές της αλληλουχίας και της ερμηνευτικότητας, πραγματοποιήθηκε η ομαδοποίηση των μεταβλητών. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκαν οι 4 ακόλουθες λανθάνουσες μεταβλητές:

1. Πολυπλοκότητα των εργασιών (task complexity)
2. Ικανότητα αντιμετώπισης του οδηγού (coping capacity-operator state)
3. Ικανότητα αντιμετώπισης του οχήματος (coping capacity-vehicle state)
4. Σύθεση των παραπάνω μεταβλητών

Η ομαδοποίηση, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1: Ομαδοποίηση Λανθανουσών Μεταβλητών

Λανθάνουσες Μεταβλητές	Παράμετροι	Σημασία	Τιμές
Πολυπλοκότητα των εργασιών	ME_AWS_time_indicator_median	Ώρα της ημέρας	0-> Ημέρα 1->Νύχτα
	grpby_seconds	Διάρκεια διαδρομής	Δευτερόλεπτα (s)
	GPS_distances_sum	Διανυθείσα απόσταση	Μέτρα (m)
Ικανότητα αντιμετώπισης του οδηγού	Age	Ηλικία	Έτη
	GPS_distances_sum	Διανυθείσα απόσταση	Μέτρα (m)
	grpby_seconds	Διάρκεια διαδρομής	Δευτερόλεπτα (s)
Ικανότητα αντιμετώπισης του οχήματος	Gender	Φύλο	0->Άνδρας 1->Γυναίκα
	VehicleAge	Ηλικία οχήματος	Έτη
	Gearbox	Κιβώτιο ταχυτήτων	0->Χειροκίνητο 1->Αυτόματο
	Fuel_type	Τύπος καυσίμου	0->Βενζίνη 1->Πετρέλαιο
	GPS_distances_sum	Διανυθείσα απόσταση	Μέτρα (m)

Οι λανθάνουσες μεταβλητές, αντιπροσωπεύουν **μη παρατηρούμενες μεταβλητές**. Έπειτα, πραγματοποιείται παλινδρόμηση ανάμεσα στις μη παρατηρούμενες και παρατηρούμενες ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες τελικά, συσχετίζονται με διάφορες εξαρτημένες μεταβλητές. Μέσω δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, οι εξαρτημένες μεταβλητές, για τις οποίες προέκυψαν τα σημαντικότερα αποτελέσματα, ήταν αυτές της υπερβολικής ταχύτητας (speeding) και της απότομης επιβράδυνσης (harsh braking).

5.3 Αποτελέσματα Μοντέλων

Τα αποτελέσματα των μοντέλων, αξιολογήθηκαν με κριτήριο την ικανοποίηση των ακόλουθων στατιστικών ελέγχων:

- $p\text{-value} < 0.001$
- $CFI > 0,90$
- $TLI > 0,90$
- $SRMR < 0,05$
- $RMSEA < 0,05$

Για την πραγματοποίηση της στατιστικής ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα ανοικτού κώδικα JASP. Για την ευκολότερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, για τα εκάστοτε μοντέλα, έχουν δημιουργηθεί και τα αντίστοιχα διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν τη **συσχέτιση** μεταξύ των ανεξάρτητων, λανθανουσών και εξαρτημένων μεταβλητών.

Τα πράσινα βέλη συμβολίζουν θετική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών, ενώ τα κόκκινα **αρνητική**. Σημειώνεται πως οι συνδιακυμάνσεις μεταξύ των άδηλων μεταβλητών δεν εμφανίζονται για λόγους αναγνωσιμότητας.

5.3.1 Μοντέλο συσχέτισης speeding-task complexity

Ο κίνδυνος μετράται μέσω των επιπέδων παρέμβασης (STZ) για την υπερβολική ταχύτητα (το επίπεδο 0 "κανονική οδήγηση" χρησιμοποιείται ως περίπτωση αναφοράς- το επίπεδο 1 αναφέρεται στην "επικίνδυνη οδήγηση", ενώ το επίπεδο 2 αναφέρεται στην "οδήγηση για την αποφυγή ατυχήματος").

Αρχικά, η λανθάνουσα μεταβλητή της πολυπλοκότητας των εργασιών (task complexity), προσμετράται μέσω του περιβαλλοντικού δείκτη "ME_AWS_time_indicator_median" (που δείχνει την ώρα της ημέρας). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με βάση τον ορισμό της πολυπλοκότητας των εργασιών θα πρέπει να συμπεριληφθούν στην ανάλυση οι μεταβλητές όπως ο τύπος της οδού, η τοποθεσία και ο όγκος σύνθεσης της κυκλοφορίας. Ωστόσο, ο τύπος της οδού (π.χ. αστική οδός, υπεραστική οδός, αυτοκινητόδρομος), η τοποθεσία και ο όγκος κυκλοφορίας (π.χ. υψηλός, μέτριος, χαμηλός) δεν ήταν διαθέσιμα στο σύνολο δεδομένων του Ηνωμένου Βασιλείου. Έτσι, μόνο ο δείκτης χρόνου μπόρεσε να χρησιμοποιηθεί στα μοντέλα που εφαρμόστηκαν.

Για τον σκοπό αυτό, δείκτες έκθεσης, όπως η διάρκεια του ταξιδιού (grpby_seconds) και η διανυόμενη απόσταση (GPS_distances_sum), συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση της πολυπλοκότητας των εργασιών. Ειδικότερα, η ώρα της ημέρας, η απόσταση και η διάρκεια διαπιστώθηκε ότι έχουν θετική συσχέτιση με την πολυπλοκότητα του έργου της οδήγησης. Το σημαντικότερο εύρημα είναι η θετική συσχέτιση μεταξύ της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της επικινδυνότητας που σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η δυσκολία του έργου της οδήγησης, τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος ατυχήματος.

Πίνακας 5.2: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για υπερβολική ταχύτητα (speeding)-task complexity

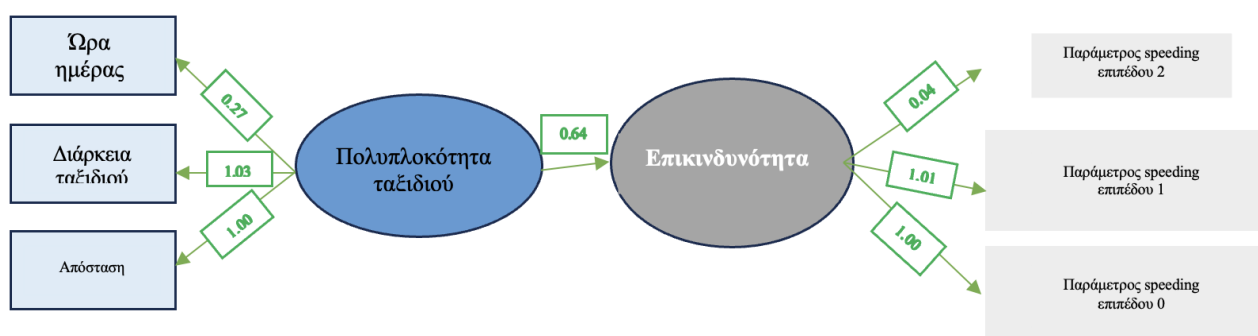
Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.997
TLI	0.994
SRMR	0.048
RMSEA	0.062

Πίνακας 5.3: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
GPS_distances_sum	0.726	0.008	86.692	< .001	0.709	0.742
grpby_seconds	0.687	0.008	81.998	< .001	0.671	0.704
ME_AWS_time_indicator_median	0.978	0.008	117.771	< .001	0.962	0.994
iDreams_Speeding_Map_level_0_sum	0.006	1.861×10^{-4}	34.277	< .001	0.006	0.007
iDreams_Speeding_Map_level_1_sum	-0.006	1.884×10^{-4}	-33.769	< .001	-0.007	-0.006

Υπολειπόμενες Αποκλίσεις

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
iDreams_Speeding_Map_level_2_sum	0.998	0.006	157.334	< .001	0.986	1.011



Διάγραμμα 5.1: Συσχέτιση speeding-task complexity

5.3.2 Μοντέλο συσχέτισης speeding-vehicle state

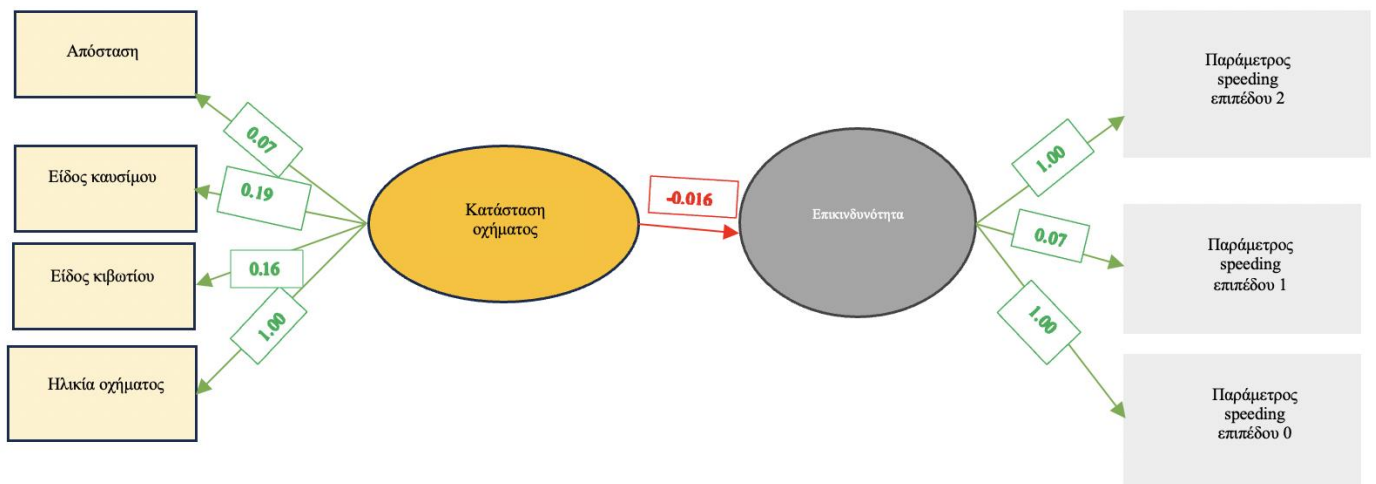
Προκειμένου να ορίσουμε την κατάσταση του εκάστοτε οχήματος και το πόσο επηρεάζει τις λανθάνουσες μεταβλητές που έχουμε ορίσει, λαμβάνουμε υπόψιν δείκτες κατάστασης του οχήματος, όπως "VehicleAge" (υποδεικνύει την ηλικία του οχήματος), "Gearbox" (υποδεικνύει τον τύπο του κιβωτίου ταχυτήτων- αυτόματο ή χειροκίνητο) και "Fuel_type" (υποδεικνύει τον τύπο του καυσίμου- ντίζελ, υβριδικό ηλεκτρικό, βενζίνη). Σημειώνεται πως υπάρχει αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην κατάσταση του οχήματος και στην επικινδυνότητα.

Πίνακας 5.4: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για υπερβολική ταχύτητα(speeding)-vehicle state

Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.992
TLI	0.987
SRMR	0.045
RMSEA	0.080

Πίνακας 5.5: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Υπολειπόμενες Αποκλίσεις					95% Confidence Interval	
Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	Lower	Upper
VehicleAge	-0.642	0.121	-5.317	< .001	-0.878	-0.405
Gearbox	0.955	0.007	138.644	< .001	0.942	0.969
Fuel_type	0.944	0.007	129.706	< .001	0.929	0.958
GPS_distances_sum	0.992	0.007	143.890	< .001	0.979	1.006
iDreams_Speeding_Map_level_0_sum	-0.004	4.986×10 ⁻⁴	-7.440	< .001	-0.005	-0.003
iDreams_Speeding_Map_level_1_sum	0.995	0.006	157.252	< .001	0.982	1.007
iDreams_Speeding_Map_level_2_sum	0.004	4.949×10 ⁻⁴	7.587	< .001	0.003	0.005



Διάγραμμα 5.2: Συσχέτιση speeding-vehicle state

5.3.3 Μοντέλο συσχέτισης speeding-operator state

Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οδηγός, ορίζεται μέσω δεικτών κατάστασης του χειριστή, όπως "Gender" (υποδεικνύει το φύλο του οδηγού - άνδρας ή γυναίκα) και "Age" (υποδεικνύει την ηλικία του οδηγού). Για λόγους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, εισάγονται και άλλες μεταβλητές, όπως η απόσταση και η διάρκεια των διαδρομών. Επιπροσθέτως, εισάγεται και η μεταβλητή «iDreams_Overtaking_Map_level_total_mean», με την οποία προσμετρώνται οι συνολικές προσπεράσεις που πραγματοποιήθηκαν από τον οδηγό. Σημειώνεται πως υπάρχει αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην κατάσταση του οδηγού και στην επικινδυνότητα.

Πίνακας 5.6: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για υπερβολική ταχύτητα(speeding)-operator state

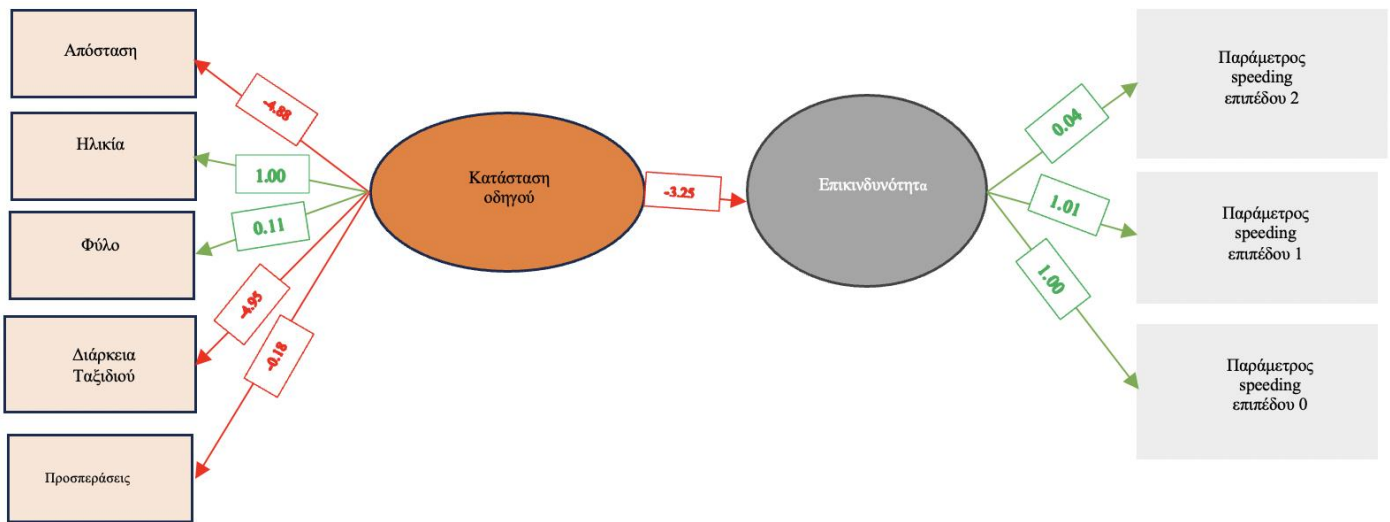
Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.730
TLI	0.601
SRMR	0.153
RMSEA	0.440

Πίνακας 5.7: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
Age	0.988	0.006	155.350	< .001	0.975	1.000
GPS_distances_sum	0.724	0.008	86.639	< .001	0.708	0.740
grpby_seconds	0.698	0.008	85.393	< .001	0.682	0.714
Gender	1.000	0.006	157.209	< .001	0.987	1.012
iDreams_Overtaking_Map_level_total_mean	1.000	0.006	157.173	< .001	0.987	1.012
iDreams_Speeding_Map_level_0_sum	0.006	1.793×10 ⁻⁴	34.469	< .001	0.006	0.007
iDreams_Speeding_Map_level_1_sum	-0.006	1.814×10 ⁻⁴	-33.955	< .001	-0.007	-0.006

Υπολειπόμενες Αποκλίσεις

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
iDreams_Speeding_Map_level_2_sum	0.998	0.006	157.326	< .001	0.986	1.011



Διάγραμμα 5.3: Συσχέτιση speeding-operator state

5.3.4 Μοντέλο συσχέτισης speeding-operator state-vehicle state-task complexity

Ο κίνδυνος μετράται μέσω των επιπέδων παρέμβασης (STZ) για την υπερβολική ταχύτητα (το επίπεδο 0 "κανονική οδήγηση" χρησιμοποιείται ως περίπτωση αναφοράς- το επίπεδο 1 αναφέρεται στην "επικίνδυνη οδήγηση", ενώ το επίπεδο 2 αναφέρεται στην "οδήγηση για την αποφυγή ατυχήματος". Ειδικότερα, διαπιστώθηκαν θετικές συσχετίσεις του κινδύνου με τους δείκτες STZ. Το επίπεδο 1 και το επίπεδο 2 της υπερβολικής ταχύτητας (ή οι δείκτες STZ1 και STZ2) έχουν θετικές φορτίσεις σε σχέση με τη λανθάνουσα μεταβλητή Κίνδυνος, αντίστοιχα.

Αρχικά, η λανθάνουσα μεταβλητή της πολυπλοκότητας των εργασιών (task complexity), προσμετράται μέσω του περιβαλλοντικού δείκτη "ME_AWS_time_indicator_median" (που δείχνει την ώρα της ημέρας). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με βάση τον ορισμό της πολυπλοκότητας των εργασιών θα πρέπει να συμπεριληφθούν στην ανάλυση οι μεταβλητές όπως ο τύπος της οδού, η ώρα της ημέρας, η τοποθεσία, και ο όγκος σύνθεσης της κυκλοφορίας. Ωστόσο, ο τύπος της οδού (π.χ. αστική οδός, υπεραστική οδός, αυτοκινητόδρομος), η τοποθεσία και ο όγκος κυκλοφορίας (π.χ. υψηλός, μέτριος, χαμηλός) δεν ήταν διαθέσιμα στο σύνολο δεδομένων του Ηνωμένου Βασιλείου. Έτσι, μόνο ο δείκτης χρόνου μπόρεσε να χρησιμοποιηθεί στα μοντέλα που εφαρμόστηκαν. Για τον σκοπό αυτό, δείκτες έκθεσης, όπως η διάρκεια του ταξιδιού (grpby_seconds) και η διανυόμενη απόσταση (GPS_distances_sum), συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση της πολυπλοκότητας των εργασιών. Ειδικότερα, η ώρα της ημέρας, η απόσταση και η διάρκεια διαπιστώθηκε ότι έχουν θετική συσχέτιση με την πολυπλοκότητα της εργασίας.

Επιπλέον, καταδεικνύεται ότι η λανθάνουσα μεταβλητή της ικανότητας αντιμετώπισης του οδηγού (coping capacity), προσμετράται μέσω των δεικτών κατάστασης του οχήματος, όπως "VehicleAge" (υποδεικνύει την ηλικία του οχήματος), "Gearbox" (υποδεικνύει τον τύπο του κιβωτίου ταχυτήτων- αυτόματο ή χειροκίνητο) και "Fuel_type" (υποδεικνύει τον τύπο του καυσίμου- ντίζελ, υβριδικό ηλεκτρικό, βενζίνη). Ταυτόχρονα, δείκτες κατάστασης του χειριστή, όπως "Gender" (υποδεικνύει το φύλο του οδηγού- άνδρας ή γυναίκα) και "Age" (υποδεικνύει την ηλικία του οδηγού) περιλαμβάνονται στο SEM που εφαρμόζεται.

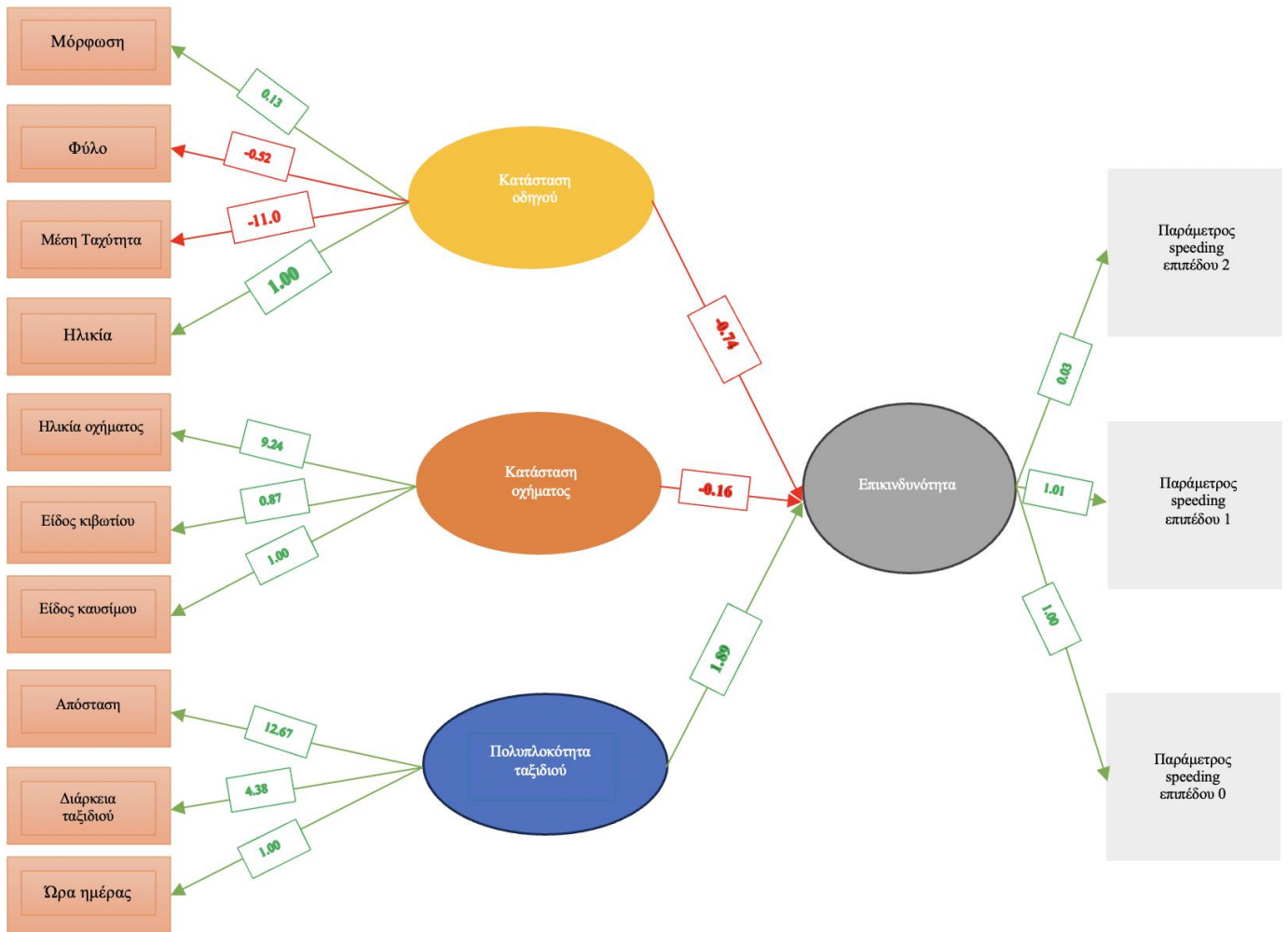
Σημειώνεται πως υπάρχει θετική συσχέτιση ανάμεσα στην περιπλοκότητα του ταξιδιού και στην επικινδυνότητα, ενώ αρνητική συσχέτιση υπάρχει ανάμεσα στην κατάσταση του οχήματος και του οδηγού και στην επικινδυνότητα.

Πίνακας 5.8: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για υπερβολική ταχύτητα (speeding)-synthesis

Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.952
TLI	0.936
SRMR	0.074
RMSEA	0.100

Πίνακας 5.9: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων
Υπολειπόμενες αποκλίσεις

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
ME_AWS_time_indicator_median	0.994	0.008	120.162	< .001	0.978	1.010
grpby_seconds	0.893	0.006	153.821	< .001	0.882	0.904
GPS_distances_sum	0.135	0.005	26.708	< .001	0.125	0.145
Fuel_type	0.967	0.007	134.255	< .001	0.953	0.981
Gearbox	0.975	0.007	143.032	< .001	0.962	0.988
VehicleAge	-1.801	0.324	-5.560	< .001	-2.435	-1.166
Age	0.993	0.006	157.068	< .001	0.981	1.006
GPS_spd_mean	0.208	0.018	11.560	< .001	0.173	0.244
Gender	0.998	0.006	157.217	< .001	0.986	1.011
Education	1.000	0.006	157.232	< .001	0.987	1.012
iDreams_Speeding_Map_level_0_sum	0.008	2.581×10 ⁻⁴	31.501	< .001	0.008	0.009
iDreams_Speeding_Map_level_1_sum	-0.008	2.622×10 ⁻⁴	-31.038	< .001	-0.009	-0.008
iDreams_Speeding_Map_level_2_sum	0.999	0.006	157.304	< .001	0.987	1.012



Διάγραμμα 5.4: Συσχέτιση speeding-synthesis

5.3.5 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking- task complexity

Ο κίνδυνος μετράται μέσω των τύπων των απότομων συμβάντων και του επιπέδου σοβαρότητας κατά το οποίο λαμβάνουν χώρα. Για την **απότομη επιβράδυνση (harsh braking)**, έχω γεγονότα υψηλής σοβαρότητας (DEM_evt_hb_lvl_H_mean), μέτριας σοβαρότητας (DEM_evt_hb_lvl_M_mean) και χαμηλής σοβαρότητας (DEM_evt_hb_lvl_L_mean).

Για τη λανθάνουσα μεταβλητή της **πολυπλοκότητας των εργασιών (task complexity)**, λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μεταβλητές και οι δείκτες που λήφθηκαν και στην κατηγορία υπερβολικής ταχύτητας παραπάνω, καθώς και ο δείκτης «GPS_sd_weather» που δείχνει τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην εκάστοτε διαδρομή. Σημειώνεται πως υπάρχει θετική συσχέτιση ανάμεσα στην πολυπλοκότητα του ταξιδιού και στην επικινδυνότητα. Ειδικότερα, η ώρα της ημέρας, η απόσταση, η διάρκεια και οι καιρικές συνθήκες, διαπιστώθηκε ότι έχουν θετική συσχέτιση με την πολυπλοκότητα της εργασίας. Σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών (π.χ. βροχής), δυσχεραίνει η πολυπλοκότητα της εργασίας και κατ' επέκταση αυξάνεται ο κίνδυνος ατυχήματος.

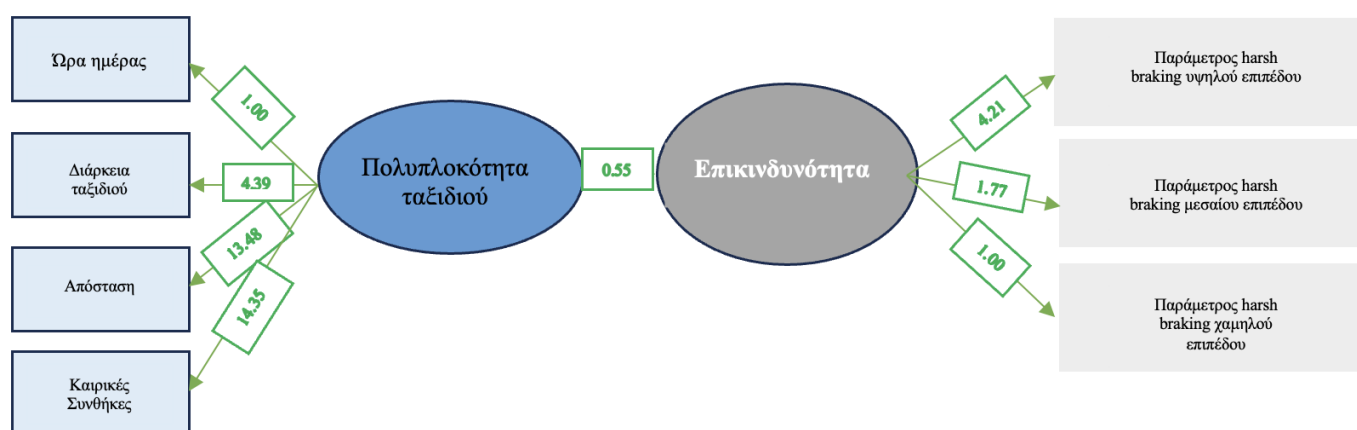
Πίνακας 5.10: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για απότομη επιβράδυνση (harsh braking)-task complexity

Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.981
TLI	0.969
SRMR	0.032
RMSEA	0.052

Πίνακας 5.11: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Υπολειπόμενες αποκλίσεις

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
ME_AWS_time_indicator_median	0.995	0.008	120.160	< .001	0.979	1.011
GPS_sd_weather	0.013	0.005	2.459	0.014	0.003	0.024
GPS_distances_sum	0.130	0.005	27.070	< .001	0.120	0.139
grpby_seconds	0.907	0.006	154.082	< .001	0.895	0.918
DEM_evt_hb_lvl_H_mean	1.006	0.010	103.614	< .001	0.987	1.025
DEM_evt_hb_lvl_M_mean	1.020	0.008	132.455	< .001	1.005	1.035
DEM_evt_hb_lvl_L_mean	1.112	0.017	65.236	< .001	1.078	1.145



Διάγραμμα 5.5: Συσχέτιση harsh braking-task complexity

5.3.6 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking- coping capacity (vehicle state)

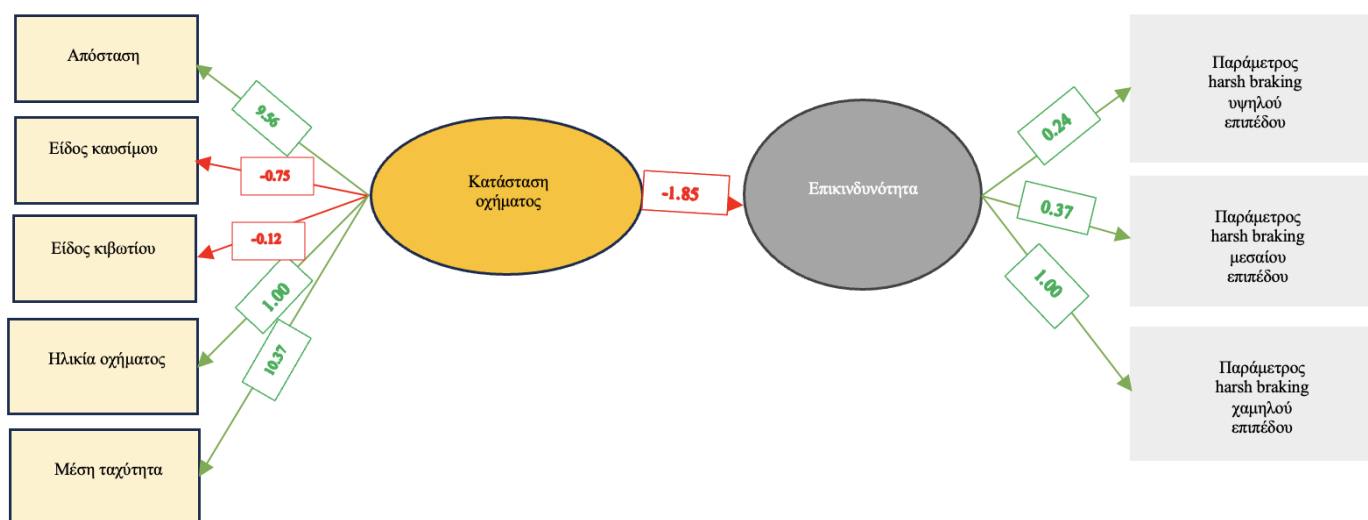
Για την λανθάνουσα μεταβλητή της ικανότητας αντιμετώπισης του οχήματος (coping capacity (vehicle state)), λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μεταβλητές και οι δείκτες που λήφθηκαν και στην κατηγορία υπερβολικής ταχύτητας παραπάνω, καθώς και ο δείκτης «GPS_spd_mean» που δείχνει την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων. Σημειώνεται πως υπάρχει αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην κατάσταση του οχήματος και στην επικινδυνότητα.

Πίνακας 5.12: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για απότομη επιβράδυνση (harsh braking)-coping capacity (vehicle state)

Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.897
TLI	0.848
SRMR	0.066
RMSEA	0.101

Πίνακας 5.13: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
VehicleAge	0.991	0.006	156.958	< .001	0.978	1.003
Gearbox	1.000	0.006	157.229	< .001	0.987	1.012
Fuel_type	0.995	0.006	157.081	< .001	0.982	1.007
GPS_distances_sum	0.146	0.008	19.043	< .001	0.131	0.161
GPS_spd_mean	-0.005	0.009	-0.598	0.550	-0.023	0.012
DEM_evt_hb_IVL_L_mean	1.125	0.019	60.538	< .001	1.089	1.162
DEM_evt_hb_IVL_M_mean	1.017	0.008	134.558	< .001	1.002	1.032
DEM_evt_hb_IVL_H_mean	1.007	0.010	103.405	< .001	0.988	1.026



Διάγραμμα 5.6: Συσχέτιση harsh braking-vehicle state

5.3.7 Μοντέλο συσχέτισης harsh braking- coping capacity (operator state)

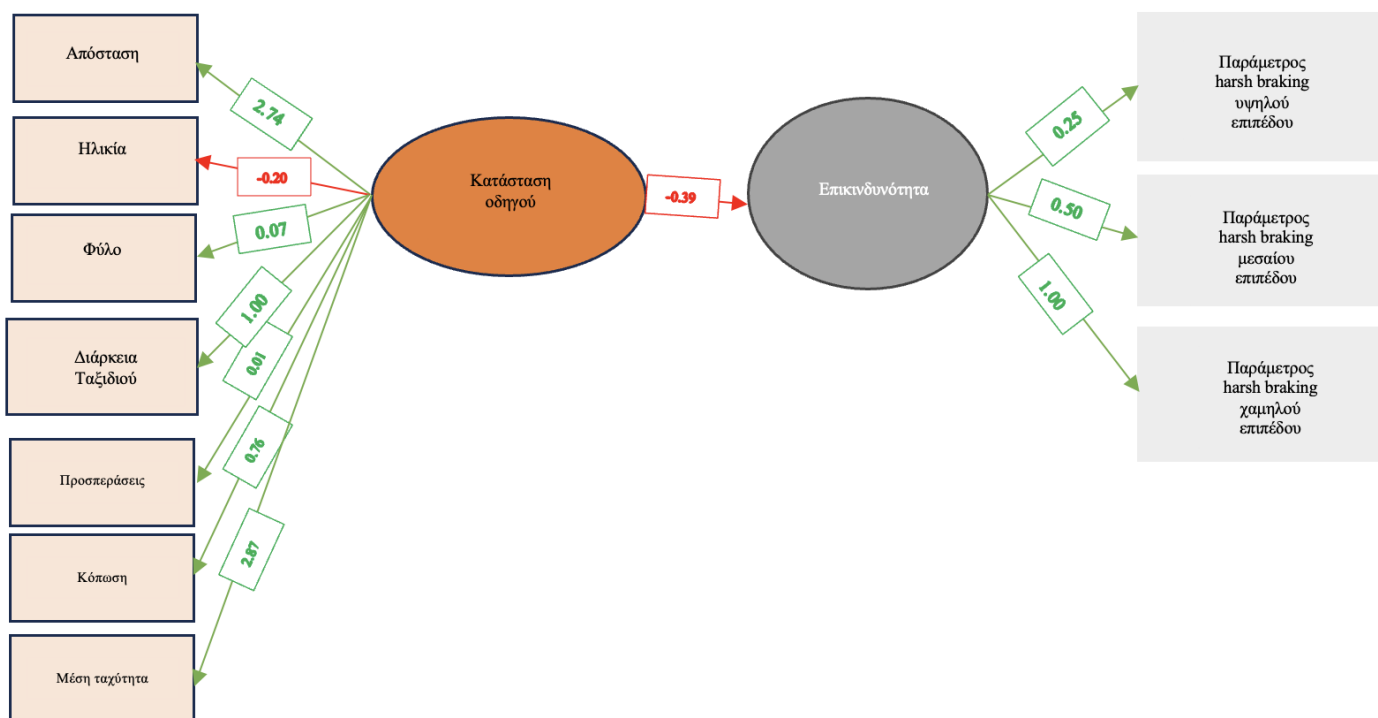
Για την λανθάνουσα μεταβλητή της ικανότητας αντιμετώπισης του οδηγού (coping capacity (operator state)), λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μεταβλητές και οι δείκτες που λήφθηκαν και στην κατηγορία υπερβολικής ταχύτητας παραπάνω, ο δείκτης «GPS_spd_mean» που δείχνει την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων καθώς και η μεταβλητή «iDreams_Fatigue_Map_level_total_mean» που δείχνει το επίπεδο κόπωσης των οδηγών. Σημειώνεται πως υπάρχει αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην κατάσταση του οδηγού και στην επικινδυνότητα.

Πίνακας 5.14: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για απότομη επιβράδυνση (harsh braking)-coping capacity(operator state)

Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.707
TLI	0.613
SRMR	0.090
RMSEA	0.148

Πίνακας 5.15: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
grpby_seconds	0.877	0.006	153.393	< .001	0.866	0.889
Gender	0.999	0.006	157.218	< .001	0.987	1.012
Age	0.995	0.006	157.101	< .001	0.983	1.008
iDreams_Fatigue_Map_level_total_mean	0.929	0.006	155.116	< .001	0.917	0.940
iDreams_Overtaking_Map_level_total_mean	1.000	0.006	157.232	< .001	0.987	1.012
GPS_distances_sum	0.115	0.004	31.057	< .001	0.107	0.122
GPS_spd_mean	0.030	0.004	7.643	< .001	0.022	0.038
DEM_evt_hb_lvl_L_mean	1.094	0.015	72.822	< .001	1.064	1.123
DEM_evt_hb_lvl_M_mean	1.023	0.008	128.849	< .001	1.008	1.039
DEM_evt_hb_lvl_H_mean	1.006	0.010	103.426	< .001	0.987	1.025



Διάγραμμα 5.7: Συσχέτιση harsh braking-operator state

5.3.8 Μοντέλο συσχέτισης *harsh braking-operator state-vehicle state-task complexity*

Ο κίνδυνος μετράται μέσω των ειδών των απότομων συμβάντων και του επιπέδου σοβαρότητας κατά το οποίο λαμβάνουν χώρα. Για την **απότομη επιβράδυνση (harsh braking)**, έχω γεγονότα υψηλής σοβαρότητας (DEM_evt_hb_lvl_H_mean), μέτριας σοβαρότητας (DEM_evt_hb_lvl_M_mean) και χαμηλής σοβαρότητας (DEM_evt_hb_lvl_L_mean).

Για την λανθάνουσα μεταβλητή της **πολυπλοκότητας των εργασιών (task complexity)**, λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μεταβλητές και οι δείκτες που λήφθηκαν και στην κατηγορία υπερβολικής ταχύτητας (speeding) παραπάνω, εκτός από την απόσταση του ταξιδιού, καθώς δε θεωρήθηκε στατιστικά σημαντική με βάση τα αποτελέσματα των μοντέλων.

Για την λανθάνουσα μεταβλητή της ικανότητας αντιμετώπισης του οχήματος (coping capacity (vehicle state)), λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μεταβλητές και οι δείκτες που λήφθηκαν και στην κατηγορία υπερβολικής ταχύτητας (speeding) παραπάνω.

Για την λανθάνουσα μεταβλητή της ικανότητας αντιμετώπισης του οδηγού (coping capacity (operator state)), λαμβάνονται υπόψιν όλες οι μεταβλητές και οι δείκτες που λήφθηκαν και στην κατηγορία υπερβολικής ταχύτητας (speeding) παραπάνω, καθώς και η μεταβλητή «iDreams_Overtaking_Map_level_total_mean», με την οποία προσμετρώνται οι συνολικές προσπεράσεις που πραγματοποιήθηκαν από τον οδηγό

Σημειώνεται πως υπάρχει θετική συσχέτιση ανάμεσα στην πολυπλοκότητα της οδήγησης και στην επικινδυνότητα, ενώ υπάρχει αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στην κατάσταση του οχήματος και του οδηγού και στην επικινδυνότητα.

Πίνακας 5.16: Μέτρα εφαρμογής μοντέλου για απότομη επιβράδυνση (harsh braking)-synthesis

Μέτρα εφαρμογής του μοντέλου	Τιμές
p-value	<0.001
CFI	0.832
TLI	0.845
SRMR	0.064
RMSEA	0.085

Πίνακας 5.17: Πληροφορίες των Υπολειπόμενων αποκλίσεων

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
ME_AWS_time_indicator_median	0.989	0.009	104.857	< .001	0.970	1.007
grpby_seconds	-1.147	1.322	-0.867	0.386	-3.738	1.445
GPS_sd_weather	1.209	1.128	134.857	< .001	0.965	1.009
Gearbox	0.980	0.006	156.701	< .001	0.968	0.992
VehicleAge	-1.198	0.102	-11.795	< .001	-1.397	-0.999
Fuel_type	0.948	0.006	147.219	< .001	0.936	0.961
Age	1.010	0.007	149.908	< .001	0.997	1.023
GPS_spd_mean	1.007	0.007	140.743	< .001	0.993	1.021

Υπολειπόμενες αποκλίσεις

Variable	Estimate	Std. Error	z-value	p	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
Gender	1.020	0.008	134.508	< .001	1.005	1.035
Education	1.005	0.007	154.465	< .001	0.993	1.018
iDreams_Overtaking_Map_level_total_mean	1.000	0.006	157.135	< .001	0.988	1.013
DEM_evt_hb_lvl_L_mean	1.231	0.047	25.974	< .001	1.138	1.324
DEM_evt_hb_lvl_M_mean	1.005	0.007	139.622	< .001	0.991	1.019
DEM_evt_hb_lvl_H_mean	1.011	0.010	101.456	< .001	0.991	1.030



Διάγραμμα 5.8: Συσχέτιση harsh braking-synthesis

6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος** με τεχνικές μηχανικής εκμάθησης. Για το σκοπό αυτό, αξιοποιήθηκε η βάση δεδομένων του πειράματος του ερευνητικού έργου **i-DREAMS** με μεγάλο όγκο δεδομένων από την οδήγηση σε πραγματικές συνθήκες. Από τα συγκεκριμένα δεδομένα, επιλέχθηκε να εξετασθεί ένα δείγμα 26 οδηγών από τη χώρα της Μεγάλης Βρετανίας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση της βάσης δεδομένων, με την αξιοποίηση των βιβλιοθηκών ανάλυσης δεδομένων `lavaan`, `readxl`, `writexl` στο προγραμματιστικό περιβάλλον R. Από αυτή την ανάλυση, προέκυψαν τα εξής βασικά συμπεράσματα:

- ◇ Οι **άντρες οδηγοί**, πραγματοποιούν περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση σε σύγκριση με τις **γυναίκες** οδηγούς κάτι το οποίο είναι σύμφωνο και με τη βιβλιογραφία.
- ◇ Οι **νέοι οδηγοί** πραγματοποιούν κατά μέσο όρο τα περισσότερα απότομα συμβάντα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας κατά την οδήγηση, ενώ οι μεσήλικες και οι ηλικιωμένοι πραγματοποιούν παρόμοια γεγονότα υψηλού επιπέδου σοβαρότητας.
- ◇ Οι άντρες οδηγοί, αναπτύσσουν **μεγαλύτερες ταχύτητες** κατά μέσο όρο από τις γυναίκες οδηγούς.
- ◇ Οι οδηγοί μικρότερων ηλικιών, πραγματοποιούν **μεγαλύτερες αποστάσεις** κατά μέσο όρο διαδρομής σε σχέση με εκείνους μεγαλύτερων ηλικιών.

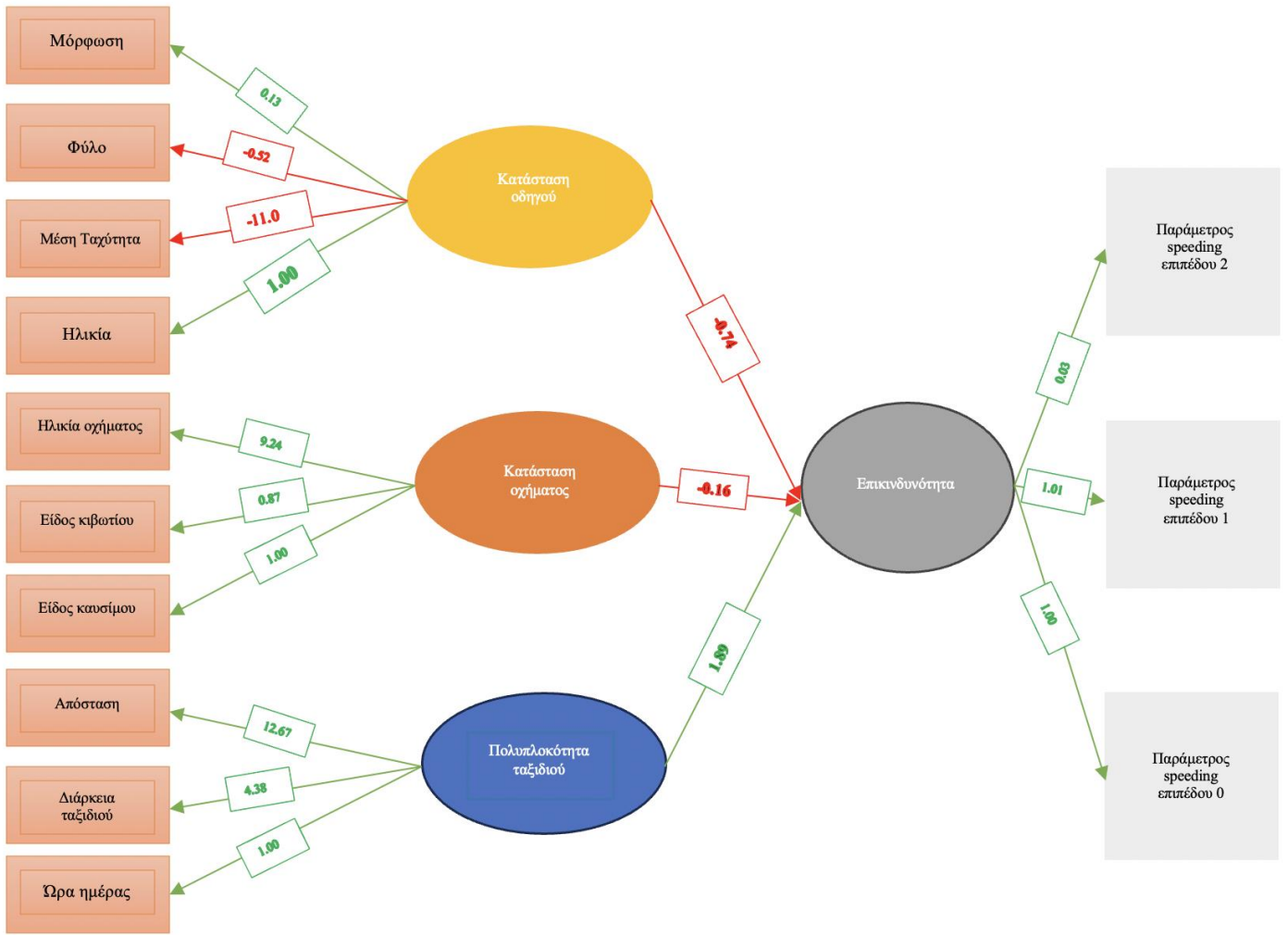
Ο καθορισμός των παραγόντων που επηρεάζουν τη συσχέτιση της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης με τον κίνδυνο ατυχήματος, πραγματοποιήθηκε με βάση τις μεταβλητές της υπερβολικής ταχύτητας (*speeding*) και των απότομων γεγονότων επιβράδυνσης (*harsh braking*), καθώς οι συγκεκριμένες τεχνικές προσέφεραν τα βέλτιστα αποτελέσματα με βάση τη βιβλιογραφία, αλλά και τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.

Πραγματοποιήθηκε η ομαδοποίηση των μεταβλητών. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκαν οι 4 ακόλουθες λανθάνουσες μεταβλητές:

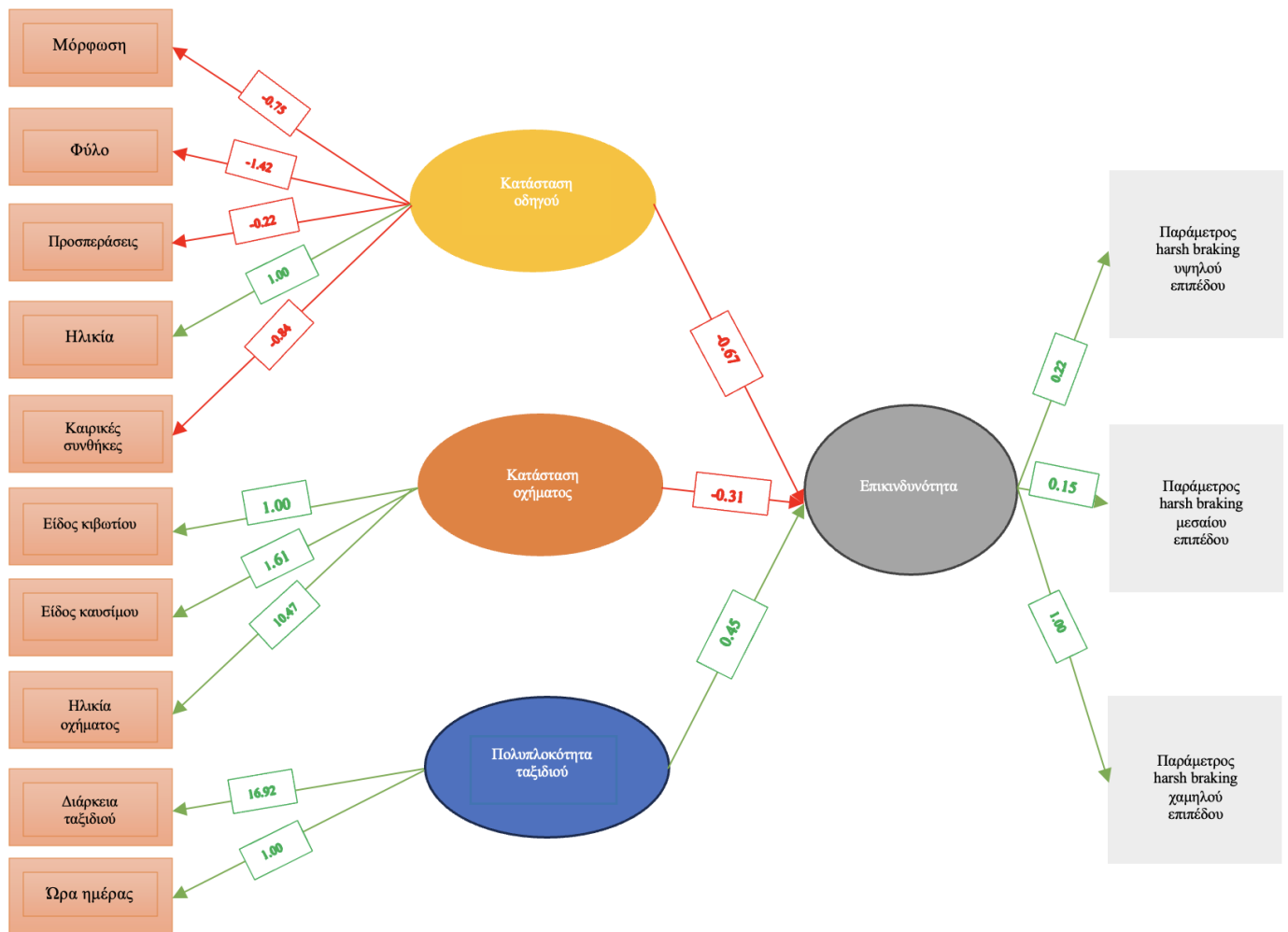
5. Πολυπλοκότητα των εργασιών (*task complexity*)
6. Ικανότητα αντιμετώπισης του οδηγού (*coping capacity-operator state*)
7. Ικανότητα αντιμετώπισης του οχήματος (*coping capacity-vehicle state*)
8. Σύνθεση των παραπάνω μεταβλητών

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν 8 διαφορετικά στατιστικά μοντέλα με την **Μέθοδο Δομικών Εξισώσεων (SEM)**. Τα μοντέλα αυτά, ερευνούν τις συσχετίσεις και συνδιακυμάνσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών που επηρεάζουν την ικανότητα των οδηγών στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης και αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχήματος.

Τα βασικά αποτελέσματα της σύνθεσης για υπερβολική ταχύτητα (*speeding*) και απότομη επιβράδυνση (*harsh braking*) φαίνονται παρακάτω:



Διάγραμμα 6.1: Σύνοψη για speeding



Διάγραμμα 6.2: Σύνθεση για harsh braking

6.2 Συνολικά συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που συνδέονται άμεσα με το αντικείμενο και τον αρχικό της στόχο. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα που τέθηκαν, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- ◇ **Η πολυπλοκότητα του ταξιδιού, επηρεάζει τον κίνδυνο ατυχήματος**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της θετικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Αυτό ενδεχομένως σημαίνει ότι όσο πιο δύσκολο είναι το έργο της οδήγησης, τόσο υψηλότερος είναι και ο κίνδυνος ατυχήματος.
- ◇ **Η καλύτερη κατάσταση του οδηγού, μειώνει τον κίνδυνο ατυχήματος**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της αρνητικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Το γεγονός αυτό, είναι λογικό, καθώς όσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οδηγού, τόσο καλύτερα ανατακλαστικά έχει και μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα σε επικίνδυνες συνθήκες.

- ◇ **Η καλύτερη κατάσταση του οχήματος, μειώνει τον κίνδυνο ατυχήματος**, όπως προκύπτει μέσω της αρνητικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Το γεγονός αυτό φαίνεται λογικό, ενδεχομένως διότι όσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οχήματος, τόσο καλύτερα μπορεί να ανταποκριθεί στις κατευθύνσεις που λαμβάνει από τον οδηγό, ιδιαίτερα σε απρόβλεπτες καταστάσεις απότομης επιβράδυνσης.
- ◇ Σε περιπτώσεις **ακραίων καιρικών συνθηκών** (π.χ. βροχής), δυσχεραίνεται η πολυπλοκότητα της εργασίας και κατ' επέκταση αυξάνεται ο κίνδυνος ατυχήματος, όπως φαίνεται και στο μοντέλο συσχέτισης harsh braking-task complexity, στο οποίο υπάρχει πολύ μεγάλη θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.
- ◇ **Όσο αυξάνεται η διάρκεια του ταξιδιού και η διανυθείσα απόσταση, τόσο αυξάνεται και η πολυπλοκότητα του ταξιδιού**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της θετικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές στα μοντέλα speeding-task complexity και harsh braking-task complexity. Κάτι τέτοιο, είναι λογικό, καθώς αυξάνονται και οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας οδηγός.
- ◇ Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι **κατά τις βραδινές ώρες**, η πολυπλοκότητα του ταξιδιού αυξάνεται, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της θετικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές. Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία καθώς οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν πιο επικίνδυνα και να εκτελούν περισσότερα απότομα συμβάντα (επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις) και υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- ◇ **Τον σημαντικότερο ρόλο στην κατάσταση ενός οχήματος, τον κατέχει η ηλικία αυτού**, όπως προέκυψε από την υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ των δυο αυτών μεταβλητών, όπως αυτή φαίνεται και στο μοντέλο συσχέτισης harsh braking-synthesis. Η γηραιότητα του στόλου οχημάτων μίας χώρας λοιπόν, αναδεικνύεται σε μείζον ζήτημα για την οδική της ασφάλεια, καθώς τα παλαιότερα σε ηλικία οχήματα, δεν έχουν τα σύγχρονα συστήματα ασφαλείας και άρα είναι πιο επιρρεπή σε ατυχήματα.
- ◇ **Όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα, τόσο μειώνεται και η ικανότητα οδήγησης του οδηγού**, όπως αυτό προκύπτει και μέσω της αρνητικής συσχέτισης ανάμεσα σε αυτές τις μεταβλητές στο μοντέλο συσχέτισης speeding-synthesis.
- ◇ Όπως φαίνεται και από την θετική συσχέτιση ανάμεσα στην επικινδυνότητα και τις παραμέτρους απότομης επιβράδυνσης, σε όλα τα μοντέλα συσχέτισης harsh braking, **όσο αυξάνονται τα γεγονότα απότομης επιβράδυνσης, τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος ατυχήματος**
- ◇ **Το είδος κιβωτίου ταχυτήτων, έχει άμεση επιρροή στην κατάσταση του οχήματος**, καθώς οι οδηγοί με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων έχουν μεγαλύτερη ικανότητα αντιμετώπισης σε σχέση με το χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, κάτι που είναι σύμφωνο και με τη βιβλιογραφία.
- ◇ Η **μόρφωση**, φαίνεται πως έχει **θετική** συσχέτιση για το γεγονός της **υπερβολικής ταχύτητας**, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι, τόσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οδηγού, ενώ έχει **αρνητική** συσχέτιση για το γεγονός της **απότομης επιβράδυνσης**, δηλαδή όσο χειρότερη είναι, τόσο καλύτερη είναι η κατάσταση του οδηγού.

- ◇ Από την αρνητική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών του φύλου και της κατάστασης του οδηγού, προκύπτει το συμπέρασμα πως οι **άντρες** οδηγοί, πραγματοποιούν **περισσότερα** γεγονότα **απότομης επιβράδυνσης** και **υπερβολικής ταχύτητας** σε σχέση με τις **γυναίκες** οδηγούς, κάτι που φαίνεται στα μοντέλα συσχέτισης harsh braking-synthesis και speeding-synthesis.
- ◇ Η **ηλικία**, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατάσταση ενός οδηγού, καθώς οι **μεγαλύτερης ηλικίας οδηγοί, παρουσιάζουν καλύτερη κατάσταση σε σχέση με τους νεότερους**, όπως φαίνεται και από τη θετική συσχέτιση των μεταβλητών στα μοντέλα συσχέτισης harsh braking-synthesis και speeding-synthesis.

6.3 Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της μελέτης αυτής επιχειρείται η παράθεση μίας σειράς **προτάσεων αξιοποίησης των ευρημάτων**, οι οποίες ενδεχομένως θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της επιρροής της ικανότητας του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης στην οδική ασφάλεια.

- ◇ **Αξιοποίηση των μοντέλων ταξινόμησης** για την αναγνώριση του επιπέδου ασφαλείας των οδηγών σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Από τις επιδόσεις των αλγορίθμων ταξινόμησης, προκύπτει ότι μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και έτσι θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την περαιτέρω διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς.
- ◇ **Ευρύτερη χρήση υπάρχοντων εφαρμογών βελτίωσης της οδηγικής συμπεριφοράς**, οι οποίες θα βοηθούν τους χρήστες-οδηγούς στην καλύτερη αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης.
- ◇ **Αξιοποίηση των κρίσιμότερων παραγόντων** που επιδρούν στην ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης, στην προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας και της αυτοκινητοβιομηχανίας για βελτίωση των προηγμένων συστημάτων υποστήριξης οδηγού.

6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η υιοθέτηση σύγχρονων μεθόδων επεξεργασίας και ανάλυσης στον τομέα της οδικής ασφαλείας, αυξάνεται διαρκώς. Η ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς με την αξιοποίηση μεθόδων μηχανικής εκμάθησης, αποτελεί αντικείμενο υψηλού ενδιαφέροντος για τους ερευνητές. Στις μελέτες που αναλύθηκαν προέκυψαν ορισμένα ζητήματα. Για την αντιμετώπιση αυτών οι ερευνητές πρότειναν την εξέταση επιπλέον παραγόντων και μεθόδων.

Η παρούσα μελέτη επιχείρησε να καλύψει το κενό που προέκυψε από την βιβλιογραφική ανασκόπηση εξετάζοντας διαφορετικές τεχνικές μηχανικής εκμάθησης και αποσκοπώντας να αποτελέσει βάση για ακόμα περισσότερες συγκριτικές αναλύσεις. Παρ' όλα αυτά κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εντοπίστηκαν ορισμένες ελλείψεις οι οποίες θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη σε μελλοντικές έρευνες. Παρακάτω παρουσιάζονται **προτάσεις για περαιτέρω έρευνα** οι οποίες θα μπορούσαν να

συμβάλουν στην εμβάθυνση, στην πληρέστερη κατανόηση και κατ' επέκταση στην αντιμετώπιση των ζητημάτων που προέκυψαν.

- ◇ **Περαιτέρω διερεύνηση των κρισιμότερων παραγόντων** που επιδρούν στην ικανότητα του οδηγού στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της οδήγησης. Συγκεκριμένα, ο τύπος της οδού και ο όγκος σύνθεσης της κυκλοφορίας, μπορούν να αποτελέσουν κρίσιμες παραμέτρους στον ορισμό της πολυπλοκότητας των εργασιών.
- ◇ **Εξέταση μοντέλων βαθιάς εκμάθησης (deep learning)**. Η βαθιά εκμάθηση αποτελείται από μία σύνθετη δομή αλγορίθμων μηχανικής εκμάθησης που έχει διαμορφωθεί με βάση τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η βαθιά εκμάθηση αφαιρεί την χειροκίνητη αναγνώριση χαρακτηριστικών των δεδομένων. Αντ' αυτού βασίζεται σε οποιαδήποτε εκπαιδευτική διαδικασία προκειμένου να ανακαλύψει τα χρήσιμα μοτίβα στα παραδείγματα εισόδου. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία επιταχύνεται και οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα.
- ◇ **Ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνικών εξέτασης σημαντικότητας χαρακτηριστικών (feature importance)**. Η περαιτέρω διερεύνηση της σημαντικότητας των μεταβλητών μπορεί να προσδιορίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη σχέση των μεταβλητών.
- ◇ **Περαιτέρω βελτίωση των υφιστάμεων ή δημιουργία νέων εφαρμογών βελτίωσης της οδηγικής συμπεριφοράς**, ώστε να λαμβάνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια τα δεδομένα και οι μεταβλητές που αξιοποιούνται.

7. Βιβλιογραφία

1. Ahangari, S., Jeihani, M., Ardeshiri, A., Rahman, M. M., & Dehzangi, A. (2021). Enhancing the performance of a model to predict driving distraction with the random forest classifier. *Transportation research record*, 2675(11), 612-622.
2. Cai, Q., Abdel-Aty, M., Zheng, O., & Wu, Y. (2022). Applying machine learning and google street view to explore effects of drivers' visual environment on traffic safety. *Transportation research part C: emerging technologies*, 135, 103541.
3. Ghandour, R., Potams, A.J., Boulkaibet, I., Neji, B., al Barakeh, Z. (2021). Driver Behavior Classification System Analysis Using Machine Learning Methods. *Applied Sciences* 11. <https://doi.org/10.3390/app112210562>
4. Chen, S. H., Pan, J. S., & Lu, K. (2015). Driving behavior analysis based on vehicle OBD information and adaboost algorithms. In *Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists (Vol. 1, pp. 18-20)*.
5. Guo, M., Zhao, X., Yao, Y., Yan, P., Su, Y., Bi, C., Wu, D. (2021). A study of freeway crash risk prediction and interpretation based on risky driving behavior and traffic flow data. *Accident Analysis & Prevention* 160, 106328. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106328>
6. Ma, C., Peng, Y., Wu, L., Guo, X., Wang, X., & Kong, X. (2022). Application of machine learning techniques to predict the occurrence of distraction-affected crashes with phone-use data. *Transportation research record*, 2676(2), 692-705.
7. Michelaraki, E., Katrakazas, C., Yannis, G., Konstantina Frantzola, E., Kalokathi, F., Kaiser, S., Brijs, K., Brijs, T., 2021b. A Review of Real-Time Safety Intervention Technologies, in: 7th Humanist Conference. Rhodes Island, Greece.
8. Useche, S. A., Hezaveh, A. M., Llamazares, F. J., & Cherry, C. (2021). Not gendered... but different from each other? A structural equation model for explaining risky road behaviors of female and male pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105942.
9. World Health Organization - WHO (2018). Global status report on road safety 2018: summary (No. WHO/NMH/NVI/18.20). Last accessed on 25/5/2022. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
10. Yadav, A. K., & Velaga, N. R. (2020). An investigation on the risk factors associated with driving errors under the influence of alcohol using structural equation modeling. *Traffic injury prevention*, 21(4), 288-294.
11. Zhao, D., Zhong, Y., Fu, Z., Hou, J., & Zhao, M. (2022). A Review for the Driving Behavior Recognition Methods Based on Vehicle Multisensor Information. *Journal of Advanced Transportation*, 2022
12. Zhao, X., Xu, W., Ma, J., Li, H., & Chen, Y. (2019). An analysis of the relationship between driver characteristics and driving safety using structural equation models. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 62, 529-545.
13. Ziakopoulos, A., Nikolaou, D., & Yannis, G. (2021). Correlations of multiple rider behaviors with self-reported attitudes, perspectives on traffic rule strictness and social desirability. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 80, 313-327.
14. i-DREAMS [WWW Document] (2022). URL <https://idreamsproject.eu/wp/> (accessed 2.10.22).

15. Joreskog, K. G., & Sorbom, D. (1988). LISREL 7: A Guide to the Program and Applications. Chicago, 111.: SPSS.
16. Bentler, P.M., & Bonett, D.G. (1987). "This week's citation classic. Current Contents". Institute for Scientific Information, 9 : 16.
17. Bentler, P. M. (1992). On the fit of models to covariances and methodology to the Bulletin.. Psychological bulletin, 112(3), 400.
18. Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. Structural equation modeling: a multidisciplinary journal, 6(1), 1-55.