



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία



Παναγιώτης Γ. Κωνσταντόπουλος

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Γιώργο 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 για την εξαιρετική συνεργασία μας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις κυρίες, Κατερίνα Φώλλα και Μαριάνθη Καλληδόνη, υποψήφιες Διδάκτορες Ε.Μ.Π., για τις συμβουλές και τις υποδείξεις τους πάνω σε σημαντικά ζητήματα της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου, για όλη την υποστήριξη που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023
Παναγιώτης Γ. Κωνσταντόπουλος

Συγκριτική Αξιολόγηση των Επιδόσεων Οδικής Ασφάλειας των Χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Παναγιώτης Γ. Κωνσταντόπουλος
Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σύνοψη

Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η συγκριτική αξιολόγηση του επιπέδου οδικής ασφάλειας μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. και η συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας. Κύρια βάση δεδομένων αποτέλεσε το ερευνητικό έργο «*Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety*» με δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την περίοδο 2021-2022. Παράλληλα αντλήθηκαν δεδομένα από την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (*Eurostat*) και τη βάση αναλυτικών δεδομένων οδικών ατυχημάτων *CARE* της Ε.Ε.. Αναπτύχθηκαν μοντέλα ομαδοποίησης των κρατών με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας, οικονομικούς δείκτες και δείκτες σχετικούς με τον στόλο των οχημάτων, από τα οποία προέκυψαν δύο ομάδες κρατών, τα κράτη υψηλής και χαμηλής επίδοσης. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν τρία μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης. Στο πρώτο μοντέλο λαμβάνεται υπόψη το σύνολο των χωρών της έρευνας, ενώ τα άλλα δύο μοντέλα αφορούν στις χώρες υψηλής και χαμηλής επίδοσης αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η αύξηση του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς και του ποσοστού της χρήσης ζώνης ασφαλείας, καθώς και η αύξηση του ποσοστού των νέων οχημάτων στο σύνολο του στόλου, σχετίζονται με μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η σχετική επιρροή του ποσοστού χρήσης της ζώνης ασφαλείας και του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς είναι μεγαλύτερη στις χώρες χαμηλών επιδόσεων συγκριτικά με τις χώρες που παρουσιάζουν υψηλές επιδόσεις.

Λέξεις κλειδιά: δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας, σοβαρότητα ατυχημάτων, ιεραρχική ομαδοποίηση, γραμμική παλινδρόμηση

Comparative Evaluation of Road Safety Performance of the European Union Countries

Panagiotis G. Konstantopoulos
Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

Abstract

The aim of this Thesis is the comparative evaluation of the level of road safety among the EU countries and the correlation of road crashes with road safety performance indicators. The main database was the research project "Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety" with data collected in the period 2021-2022. Additionally, data were retrieved from the Eurostat and the EU CARE road crash database. Clustering was performed in order to group countries based on road safety performance indicators as well as economic and vehicle fleet-related indicators, which resulted in two groups of countries, the high and low performing countries. Three linear regression models were then developed. The first model takes into account all countries included in the study, while the other two models consider the groups of high and low performing countries respectively. The results show that an increase in the percentage of vehicles travelling within the speed limits on urban roads and of the percentage of seat belt use, as well as an increase in the proportion of new vehicles in the total fleet, are associated with a reduction in crash severity. Finally, it was observed that the relative impact of seat belt use rate and of the percentage of vehicles travelling within the speed limit on urban roads is greater in low performing countries compared to the high performing countries.

Keywords: road safety performance indicators, crash severity, hierarchical clustering, linear regression

Περίληψη

Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **συγκριτική αξιολόγηση του επιπέδου οδικής ασφάλειας** μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. και η **συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας**.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε η **βιβλιογραφική αναζήτηση ερευνών** συναφών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας σε εθνικό αλλά και διεθνές επίπεδο. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων. Κύρια βάση δεδομένων αποτέλεσε το ερευνητικό έργο «**Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety**» στο οποίο συμμετείχαν δεκαοκτώ κράτη-μέλη της Ε.Ε. με δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την περίοδο 2021-2022. Παράλληλα, αντλήθηκαν δεδομένα και από **πολλές βάσεις δεδομένων** όπως η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat) και η βάση αναλυτικών δεδομένων οδικών ατυχημάτων CARE της Ε.Ε. με στόχο την ανάπτυξη της κύριας βάσης δεδομένων της Διπλωματικής Εργασίας.

Τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία και να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στην γλώσσα προγραμματισμού R, η οποία επιλέχθηκε για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά πραγματοποιήθηκαν **τρία μοντέλα Ιεραρχικής Ομαδοποίησης των κρατών μελών της Ε.Ε.**, το πρώτο με βάση οικονομικούς δείκτες και δείκτες σχετικούς με τον στόλο των οχημάτων, το δεύτερο με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (ταχύτητα, χρήση μέσων προστασίας, απόσπαση προσοχής, ασφάλεια οχημάτων, παροχή ιατρικής περίθαλψης μετά το ατύχημα κ.α.) και το τρίτο με βάση των συνδυασμό όλων των δεικτών. Με βάση την τρίτη ομαδοποίηση αναπτύχθηκαν συνολικά **τρία στατιστικά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης**. Το πρώτο αφορούσε στο σύνολο των κρατών ενώ τα δύο επόμενα αφορούσαν στις δύο ομάδες κρατών που διαμορφώθηκαν από το τρίτο συνδυαστικό μοντέλο ομαδοποίησης των χωρών: τα κράτη υψηλής και χαμηλής επίδοσης.

Στα μοντέλα της γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή η σοβαρότητα των ατυχημάτων (**Crash Severity**), η οποία ορίζεται ως ο λόγος των θανάτων από τα οδικά ατυχήματα προς το σύνολο των οδικών ατυχημάτων. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέχθηκαν τα ποσοστά των νέων επιβατικών οχημάτων (**% new passenger cars**) στο σύνολο των κυκλοφορούντων οχημάτων, των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) και το ποσοστό χρήσης ζώνης ασφαλείας για το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά Ι.Χ. (**KPI Seatbelt total**). Αξίζει να σημειωθεί ότι η τελική επιλογή των μεταβλητών πραγματοποιήθηκε έπειτα από πολλές δοκιμές συνδυασμών ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών από τις οποίες επιλέχθηκαν οι στατιστικά σημαντικές. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων.

Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των μοντέλων

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μοντέλο 1				Μοντέλο 2				Μοντέλο 3			
	Συντελεστής β _i	t	Ελαστικότητα (ei)	Σχετική Επιρροή (ei*)	Συντελεστής β _i	t	Ελαστικότητα (ei)	Σχετική Επιρροή (ei*)	Συντελεστής β _i	t	Ελαστικότητα (ei)	Σχετική Επιρροή (ei*)
Σταθερός όρος	24,179	4,769			27,805	2,925			53,668	5,265		
% New passenger cars	-67,417	-3,534	-1,363	-1	-67,417	-3,67	-1,363	-1,194				
KPI Speed urban roads	-12,331	-4,635	-2,339	-1,716	-6,018	-2,295	1,141	-1	-32,854	-5,172	-6,231	-1
KPI Seatbelt total	-11,792	-2,139	-3,911	-2,869	-20,057	-1,922	-6,652	-5,828	-40,07	-3,578	-13,289	-2,133
R-squared	0,8547				0,7538				0,9055			

Κατά την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) συσχετίζεται με τη μείωση της σοβαρότητας και κατά επέκταση του αριθμού των νεκρών των οδικών ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα αύξηση του δείκτη επίδοσης **KPI speed urban roads** έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του **Crash Severity** δηλαδή της σοβαρότητας των ατυχημάτων.

Επιπλέον διαπιστώθηκε και συσχέτιση του ποσοστού χρήσης ζώνης ασφαλείας για το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά Ι.Χ. (**KPI Seatbelt total**) με την σοβαρότητα των ατυχημάτων. Ειδικότερα με την αύξηση του δείκτη **KPI Seatbelt total** προκύπτει μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων, όπως επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Το ποσοστό των νέων επιβατικών οχημάτων (**% new passenger cars**) συνδέεται άμεσα με την σοβαρότητα των ατυχημάτων. Όσο αυξάνεται ο στόλος των νέων επιβατικών οχημάτων τόσο μειώνεται και η σοβαρότητα των ατυχημάτων ενδεχομένως διότι νέες τεχνολογίες και εφαρμογές καθιστούν πιο ασφαλή την οδήγηση.

Παρατηρείται ότι η σωστή **χρήση της ζώνης ασφαλείας** παρουσιάζει την **μεγαλύτερη σχετική επιρροή** στην σοβαρότητα των ατυχημάτων και κατά επέκταση στον αριθμό των νεκρών από τα οδικά ατυχήματα σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες που εξετάστηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Συμπεραίνεται ότι η σχετική επιρροή του ποσοστού χρήσης της ζώνης ασφαλείας (**KPI Seatbelt total**) στη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων είναι **μεγαλύτερη στις χώρες χαμηλών επιδόσεων** συγκριτικά με τις χώρες υψηλών επιδόσεων. Αυτό κρίνεται λογικό αφού αύξηση του ποσοστού χρήσης της ζώνης ασφαλείας σε χώρες που τα αντίστοιχα ποσοστά παραμένουν χαμηλά, θα σώσει περισσότερες ζωές σε σχέση με μία χώρα που εμφανίζει υψηλή επίδοση.

Όμοια παρατηρείται ότι η σχετική επιρροή του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) στη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων είναι **μεγαλύτερη στις χώρες χαμηλών επιδόσεων** συγκριτικά με τις χώρες υψηλών επιδόσεων. Αυτό κρίνεται επίσης λογικό αφού αύξηση του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε χώρες που τα αντίστοιχα ποσοστά παραμένουν χαμηλά, θα αυξήσει περισσότερο το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε σχέση με μία χώρα που εμφανίζει υψηλή επίδοση.

Οι χώρες της Ε.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χωρίζονται με βάση τους **δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας σε τρεις ομάδες**. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι χώρες που εμφανίζουν υψηλές επιδόσεις στους δείκτες οδικής ασφάλειας. Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν οι χώρες που οι επιδόσεις τους κινούνται στον Ευρωπαϊκό μέσο όρο ενώ η τρίτη ομάδα αποτελείται από τις χώρες που παρουσιάζουν χαμηλές επιδόσεις.

Όταν **συμπεριλαμβάνονται και οικονομικοί δείκτες, τα κράτη διαχωρίζονται σε δύο ομάδες**. Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται οι χώρες που εμφανίζουν τις υψηλότερες επιδόσεις στους περισσότερους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας και υψηλό κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. και στην δεύτερη ομάδα, οι χώρες που εμφανίζουν κυρίως

χαμηλότερες επιδόσεις στην πλειοψηφία των εξεταζόμενων δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας και χαμηλότερο Α.Ε.Π..

Τέλος, παρατηρείται ότι οι **οικονομικά** πιο **εύρωστες χώρες** εμφανίζουν **καλύτερες επιδόσεις** στους εξεταζόμενους δείκτες επίδοσης της οδικής ασφάλειας από τις οικονομικά ασθενέστερες, το οποίο πιθανώς αποδίδεται στις πιο ανεπτυγμένες υποδομές, στην ενίσχυση και ανανέωση του στόλου των οχημάτων ή και στα σύγχρονα μέτρα οδικής ασφάλειας που εφαρμόζουν.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση	1
1.2 Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας.....	5
1.3 Μεθοδολογία	5
1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	6
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
2.1 Εισαγωγή.....	7
2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες	7
2.2.1. Αναλύσεις ομαδοποίησης με βάση τις επιδόσεις οδικής ασφάλειας	7
2.2.2. Συσχέτιση δεικτών οδικής ασφάλειας με οδικά ατυχήματα	9
2.3 Σύνοψη	10
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	12
3.1 Εισαγωγή.....	12
3.2 Ομαδοποίηση	12
3.3 Γραμμική Παλινδρόμηση.....	13
3.4 Στατιστική αξιολόγηση και κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	15
4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	17
4.1 Εισαγωγή.....	17
4.2 Συλλογή δεδομένων	17
4.3 Επεξεργασία Δεδομένων	18
5. Εφαρμογή Μεθοδολογίας-Αποτελέσματα.....	25
5.1 Εισαγωγή.....	25
5.2 Ιεραρχική Ομαδοποίηση (Hierarchical Clustering)	25
5.2.1. Ομαδοποίηση με βάση οικονομικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά στόλου των οχημάτων.....	25
5.2.2. Ομαδοποίηση με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας	27
5.2.3. Ομαδοποίηση με βάση το σύνολο των δεικτών.....	28
5.3 Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης.....	29
5.3.1. Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης για το σύνολο των κρατών.....	30
5.3.2. Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης των χωρών υψηλής επίδοσης.....	31
5.3.3. Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης των χωρών χαμηλής επίδοσης.....	32
5.4 Ανάλυση Ελαστικότητας	33
6. Συμπεράσματα.....	35
6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	35
6.2 Συμπεράσματα.....	36

6.3	Προτάσεις για Αξιοποίηση των Αποτελεσμάτων	37
6.4	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	38
7.	Βιβλιογραφία	39

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Οι **οδικές μεταφορές** αποτελούν πλέον ένα αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης καθημερινότητας. Ωστόσο, ο σύγχρονος τρόπος ζωής και η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις συνοδεύονται και από αρνητικές κοινωνικοοικονομικές συνέπειες, οι οποίες συχνά εκφράζονται σε **οδικά ατυχήματα**.

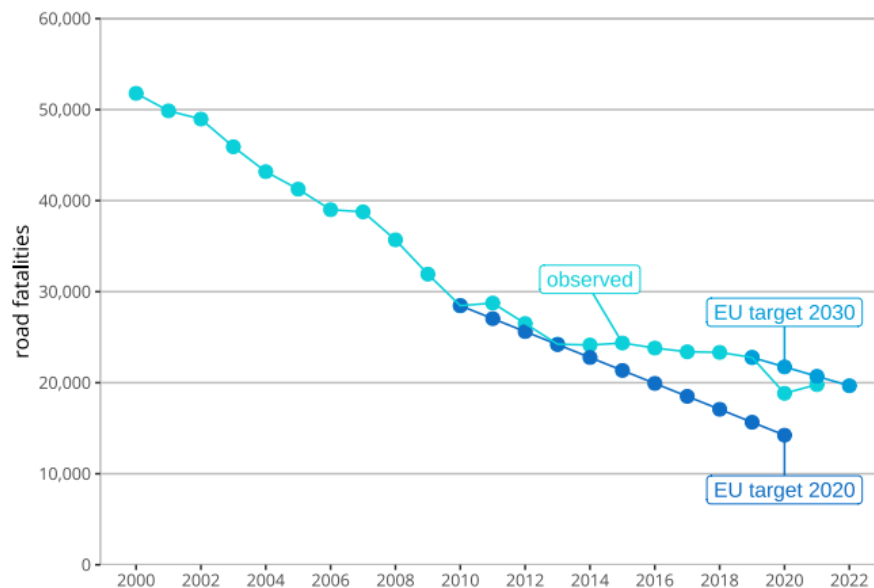
Τα οδικά ατυχήματα αποτελούν μία από τις βασικότερες αιτίες θανάτου στον σύγχρονο κόσμο. Υπολογίζεται ότι περίπου **1,35 εκατομμύρια άνθρωποι** χάνουν την ζωή τους κάθε χρόνο σε οδικά ατυχήματα παγκοσμίως και μάλιστα εκτιμάται πως ο αριθμός των θυμάτων ημερησίως ανέρχεται περίπου στα 3.700. Οι τραυματισμοί από οδικά ατυχήματα αποτελούν την **κύρια αιτία απώλειας ζωής για τους νέους 15 έως 29 ετών**, ενώ υπολογίζεται ότι αποτελούν περίπου το 3% του Α.Ε.Π. παγκοσμίως (WHO, 2018).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), ο **ετήσιος αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα το 2022 ανήλθε περίπου σε 20.600**, σημειώνοντας αύξηση 3% συγκριτικά με το 2021. Σε σχέση με το 2019, παρατηρήθηκαν περίπου 2.000 λιγότεροι νεκροί από οδικά ατυχήματα, μία μείωση της τάξης του 10% (European Commission, 2023). Παρότι η υποκείμενη τάση παραμένει πτωτική και ο αριθμός των θανάτων από οδικά ατυχήματα μειώθηκε κατά 36% το 2020 σε σχέση με το 2010, η Ε.Ε. δεν έχει πετύχει τον στόχο που είχε τεθεί για την δεκαετία 2010-2020 ο οποίος ήταν η μείωση των νεκρών σε οδικά ατυχήματα κατά 50% (European Commission, 2021).

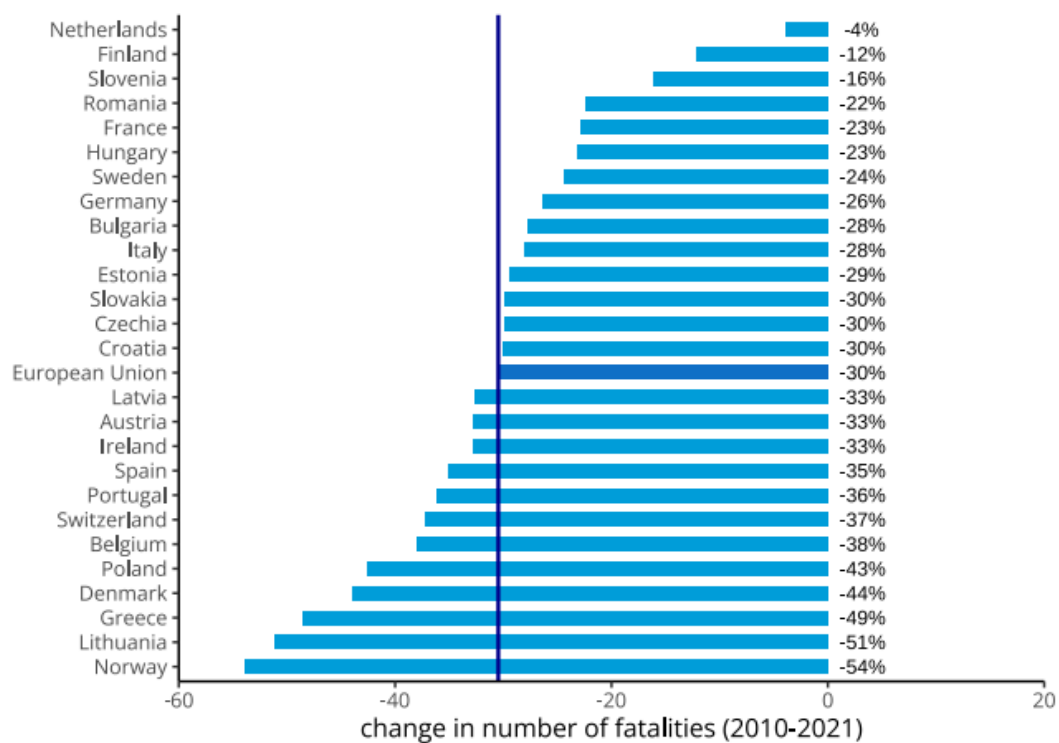
Στο πλαίσιο αυτό, η Ε.Ε. επιβεβαίωσε εκ νέου τον φιλόδοξο μακροπρόθεσμο στόχο της για σχεδόν **μηδενικό αριθμό θανάτων έως το 2050** («όραμα για μηδενικές απώλειες»), με ενδιάμεσο στόχο τη μείωση κατά το ήμισυ του αριθμού των νεκρών το 2030 σε σχέση με το 2020. Με την υιοθέτηση της διακήρυξης της Βαλέτας για την οδική ασφάλεια τον Μάρτιο του 2017, οι υπουργοί μεταφορών της Ε.Ε. έθεσαν επίσης για πρώτη φορά στόχο για τη μείωση των σοβαρών τραυματισμών, επιδιώκοντας πιο συγκεκριμένα να **μειωθεί κατά το ήμισυ ο αριθμός των σοβαρών τραυματισμών** στην Ε.Ε. έως το 2030 από το σενάριο αναφοράς του 2020.

Η διαχρονική εξέλιξη του απόλυτου αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την χρονική περίοδο 2001-2021, καθώς και η μεταβολή του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους ανά χώρα για την χρονική περίοδο 2010-2021 παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 1.1 και Διάγραμμα 1.2). Στο Διάγραμμα 1.1, παρατηρείται η έντονη πτωτική τάση του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα στην Ε.Ε. την περίοδο 2000-2013, η οποία ανακόπτεται μετά το 2014.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1 Διαχρονική εξέλιξη αριθμού νεκρών σε οδικά ατυχήματα στην Ε.Ε., 2001-2021
(ΠΗΓΗ: European Commission, Ιούνιος 2022)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.2 Μεταβολή του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα, 2010-2021
(ΠΗΓΗ: European Commission, Ιούνιος 2022)



Κατά μέσο όρο σε ολόκληρη την Ε.Ε., ο συνολικός αριθμός των νεκρών σε οδικά ατυχήματα μειώθηκε κατά 30% μεταξύ του 2010 και 2021. Οι περισσότερες χώρες της Ε.Ε. παρουσίασαν μείωση του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα την ίδια περίοδο, με τις καλύτερες επιδόσεις (μείωση άνω του 40%) να καταγράφονται από τη Πολωνία (-43%), τη Δανία (-44%), την Ελλάδα (-49%), τη Λιθουανία (-51%) και τη Νορβηγία (-54%). Μάλιστα οι δύο τελευταίες πέτυχαν και τον στόχο μείωσης των νεκρών σε οδικά ατυχήματα για το 2020 που ήταν 50%.

Συνολικά, τα οκτώ κράτη μέλη που κατέγραψαν το **χαμηλότερο ποσοστό θνησιμότητας** από οδικά ατυχήματα το 2019 είναι η Κροατία, η Φινλανδία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ελλάδα, η Λετονία, το Λουξεμβούργο και η Σουηδία. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το 2019 οι χώρες με τις καλύτερες **επιδόσεις οδικής ασφάλειας** ήταν η Σουηδία και η Ιρλανδία, ενώ στον αντίποδα βρίσκονται η Ρουμανία, η Βουλγαρία και η Πολωνία με τους νεκρούς να ξεπερνάνε τους ογδόντα ανά εκατομμύριο κατοίκων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο απόλυτος αριθμός νεκρών για την περίοδο 2016-2020 στις χώρες της Ε.Ε..

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Απόλυτος αριθμός νεκρών στα οδικά ατυχήματα για την περίοδο 2016-2020
(ΠΗΓΗ: EC CARE database, 2021)

Road Fatalities	2016	2017	2018	2019	2020
Austria	432	414	409	416	344
Belgium	670	609	604	646	499
Bulgaria	708	682	610	628	463
Croatia	307	331	317	297	237
Cyprus	46	53	49	52	48
Czechia	611	577	656	618	518
Denmark	211	175	171	199	163
Estonia	71	48	67	52	59
Finland	258	238	239	211	223
France	3471	3444	3246	3237	2538
Germany	3206	3180	3275	3046	2719
Greece	824	731	700	688	584
Hungary	607	625	633	602	460
Ireland	182	154	138	140	146
Italy	3283	3378	3334	3173	2395
Latvia	158	136	148	132	139
Lithuania	188	191	173	186	175
Luxembourg	32	25	36	22	26
Malta	23	19	18	16	11
Netherlands	533	535	598	586	515
Poland	3026	2831	2862	2909	2491
Portugal	563	602	700	688	536
Romania	1913	1951	1867	1864	1644
Slovakia	275	276	260	270	247
Slovenia	130	104	91	102	80
Spain	1810	1830	1806	1755	1370
Sweden	270	253	324	221	204

Ο περιορισμός των οδικών ατυχημάτων αποτελεί παγκόσμια προτεραιότητα, δεδομένου ότι το κοινωνικό και οικονομικό τους κόστος είναι μεγάλο. Η κρισιμότητα των οδικών ατυχημάτων έχει αναδείξει ως αναγκαίες τις συντονισμένες προσπάθειες για βελτίωση της οδικής ασφάλειας σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Για την επίτευξη των στόχων της, τη δεκαετία 2021-2030, η Ε.Ε. έχει καταστήσει απαραίτητη την **καταγραφή και διερεύνηση των οδικών ατυχημάτων με στόχο την καλύτερη**

κατανόηση των χαρακτηριστικών τους και την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων μετριασμού τους.

Για τον σκοπό αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε την εφαρμογή μιας νέας προσέγγισης της οδικής ασφάλειας στην Ε.Ε. για τη δεκαετία 2021-2030, την **προσέγγιση του Ασφαλούς Συστήματος (Safe System Approach)**, η οποία βασίζεται στην εξασφάλιση όσο το δυνατόν σαφέστερης εικόνας των διαφόρων ζητημάτων που επηρεάζουν τις συνολικές επιδόσεις οδικής ασφάλειας. Για τη μέτρηση της προόδου, οι βασικότεροι –και σημαντικότεροι– δείκτες είναι οι δείκτες αποτελεσμάτων που αφορούν τους θανάτους και τους σοβαρούς τραυματισμούς, οι οποίοι πρέπει να παρακολουθούνται στενά. Διατυπώθηκε επίσης η σύσταση να ενισχυθεί η έμφαση «στην πρόληψη και τον περιορισμό των θανάτων και των σοβαρών τραυματισμών». Για τον σκοπό αυτό, καθορίστηκε μια σειρά **βασικών δεικτών επίδοσης (Key Performance Indicators - KPIs) για την οδική ασφάλεια** σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Πίνακας 1.2), οι οποίοι συνδέονται άμεσα με την πρόληψη των νεκρών και των σοβαρών τραυματισμών (European Commission, 2019).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Βασικοί Δείκτες Επίδοσης (KPIs) για την οδική ασφάλεια στην Ε.Ε.
(ΠΗΓΗ: European Commission, Ιούνιος 2019)

Πεδίο	Ορισμός KPI
Ταχύτητα	Ποσοστό οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας.
Ζώνη ασφαλείας	Ποσοστό επιβαινόντων οχημάτων που χρησιμοποιούν σωστά την ζώνη ασφαλείας ή το σύστημα συγκράτησης παιδιών.
Κράνος	Ποσοστό αναβατών μηχανοκίνητων δικύκλων και ποδηλάτων που φορούν σωστά το προστατευτικό κράνος.
Αλκοόλ	Ποσοστό οδηγών που οδηγούν χωρίς να υπερβαίνουν το νόμιμο όριο ποσοστού αλκοολαιμίας (ΠΑ).
Απόσπαση της προσοχής	Ποσοστό των οδηγών που ΔΕΝ χρησιμοποιούν κινητή συσκευή χειρός.
Ασφάλεια οχήματος	Ποσοστό νέων επιβατικών οχημάτων με αξιολόγηση ασφάλειας βάσει του Euro NCAP ίση με προκαθορισμένο κατώτατο όριο ή υψηλότερη αυτού (π.χ. 4 αστέρια).
Παροχή Ιατρικής περίθαλψης	Ο χρόνος που μεσολαβεί σε λεπτά και δευτερόλεπτα μεταξύ της κλήσης έκτακτης ανάγκης κατόπιν σύγκρουσης που έχει προκαλέσει σωματική βλάβη και της άφιξης των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης στον τόπο του ατυχήματος (έως την τιμή του 95ου εκατοστημορίου).

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε το Ευρωπαϊκό έργο «**Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety**» (2021-2022), με στόχο να υποστηρίξει τις αρχές των κρατών μελών της Ε.Ε. στη συλλογή και την εναρμονισμένη αναφορά των KPIs και να συμβάλει στην οικοδόμηση της ικανότητας εκείνων των κρατών μελών που δεν έχουν συλλέξει ακόμη τα σχετικά δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν ως βάση για τον καθορισμό των ευρωπαϊκών στόχων και την παρακολούθηση της προόδου της οδικής ασφάλειας στην Ε.Ε. καθ' όλη τη δεκαετία 2021-2030.

Σε εθνικό αλλά και Ευρωπαϊκό επίπεδο διενεργούνται **έρευνες** από διάφορους αρμόδιους φορείς με χρήση στατιστικών μεθόδων για την ανάλυση αλλά και την συσχέτιση ορισμένων κυκλοφοριακών, δημογραφικών και οικονομικών στοιχείων με

την **οδική ασφάλεια**. Μια ανάλογη προσπάθεια γίνεται και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, στην οποία επιδιώκεται η **συγκριτική ανάλυση και αξιολόγηση** του επιπέδου οδικής ασφάλειας μεταξύ των χωρών της Ε.Ε., μέσω των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας (Key Performance Indicators-KPIs).

1.2 Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας

Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **συγκριτική αξιολόγηση του επιπέδου οδικής ασφάλειας μεταξύ των χωρών της Ε.Ε.** και η συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας. Για τον σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με κύρια πηγή το ερευνητικό έργο «**Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety**», στο οποίο συμμετείχαν δεκαοκτώ κράτη-μέλη της Ε.Ε.. Επιπλέον δεδομένα αντλήθηκαν από ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων, όπως η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (**Eurostat**), και η βάση αναλυτικών δεδομένων οδικών ατυχημάτων **CARE** της Ε.Ε..

Πιο συγκεκριμένα, επιχειρήθηκε να γίνει μια **ιεραρχική ομαδοποίηση των κρατών μελών της Ε.Ε.**, με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (ταχύτητα, χρήση μέσων προστασίας, οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ, απόσπαση προσοχής, ασφάλεια οχημάτων και παροχή ιατρικής περίθαλψης μετά το ατύχημα), καθώς και με οικονομικούς δείκτες. Στη συνέχεια, διερευνήθηκε η **συσχέτιση του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα κάθε χώρας με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας**.

1.3 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και για την επίτευξη του τελικού της στόχου ακολουθήθηκε **συγκεκριμένη διαδικασία**, τα στάδια της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά, καθορίστηκε το θέμα και ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας και ακολούθησε μία ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση** τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο, μέσα από έρευνες και επιστημονικά άρθρα συναφούς θέματος. Σκοπός της βιβλιογραφικής ανασκόπησης ήταν τόσο η εξοικείωση με αντίστοιχες έρευνες και μελέτες όσο και ο εντοπισμός ζητημάτων και πιθανών τρόπων ανάλυσης τους.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των δεδομένων** που απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν (οδικά ατυχήματα, πληθυσμός, στόλος οχημάτων, δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας, κ.ά.) για κάθε κράτος της Ε.Ε. αφορούσαν στην χρονική περίοδο 2016-2019 και αντλήθηκαν από διεθνείς βάσεις δεδομένων και ψηφιακές πλατφόρμες.

Με **εφαρμογή των κατάλληλων μοντέλων στατιστικής ανάλυσης** μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα τόσο για την συγκριτική αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας των χωρών της Ε.Ε. όσο και για την συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση των σταδίων εκτέλεσης της Διπλωματικής Εργασίας.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.3 Σχηματική απεικόνιση σταδίων εκτέλεσης Διπλωματικής Εργασίας



1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία σύντομη επισκόπηση των βασικών ζητημάτων οδικής ασφάλειας με επίκεντρο τα επίπεδα οδικής ασφάλειας στην Ε.Ε.. Περαιτέρω, γίνεται αναφορά του στόχου και της μεθοδολογίας που θα εφαρμοστεί.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** περιλαμβάνει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση όπως αυτή προέκυψε από την αναζήτηση ερευνών και μελετών με παρεμφερές αντικείμενο και συγκεκριμένα την επιρροή των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας στα οδικά ατυχήματα και στους παθόντες από αυτά. Παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα των ερευνών και γίνεται κριτική αξιολόγηση τους.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, το οποίο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της Διπλωματικής Εργασίας, παρουσιάζεται και αναλύεται η μεθοδολογία που επιλέχθηκε, με ιδιαίτερη έμφαση στις μαθηματικές και στατιστικές θεωρίες στις οποίες αυτή βασίστηκε.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής των δεδομένων από τις διάφορες πηγές πληροφόρησης καθώς και η επεξεργασία τους για τη διαμόρφωση της κύριας βάσης δεδομένων. Επιπλέον, αναλύεται ο τρόπος κωδικοποίησης των δεδομένων και η διαδικασία εισαγωγής τους στην γλώσσα προγραμματισμού R.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής των μαθηματικών μοντέλων. Αρχικά γίνεται αναφορά στις διάφορες δοκιμές που διενεργήθηκαν, ενώ παρουσιάζονται τα τελικά μοντέλα με τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους.

Το **έκτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει τη σύνοψη των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των συγκεκριμένων μοντέλων που επιλέχθηκαν. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη χρησιμότητα των βασικών αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας, ενώ παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά την **βιβλιογραφική ανασκόπηση** που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Περιλαμβάνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από έρευνες συναφείς τόσο με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας όσο και με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται εθνικές αλλά και διεθνείς έρευνες, που αφορούν την συσχέτιση των θανάτων από οδικά ατυχήματα με οικονομικούς και συγκοινωνιακούς δείκτες. Για κάθε εργασία γίνεται συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και στα συμπεράσματα που προέκυψαν. Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προσδιορίστηκε το ακριβές αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και επιλέχθηκε η καταλληλότερη μεθοδολογία.

2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες

2.2.1. Αναλύσεις ομαδοποίησης με βάση τις επιδόσεις οδικής ασφάλειας

Οι **δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας** (Road safety performance indicators, SPI) αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για την συγκριτική ανάλυση της αποδοτικότητας των συστημάτων οδικής ασφάλειας μεταξύ των χωρών. Επομένως, οι SPIs είναι απαραίτητο να παρέχουν σαφείς κατευθύνσεις και να θέτουν προτεραιότητες με στόχο την βελτίωση το επιπέδου οδικής ασφάλειας κάθε χώρας.

Το 2009, οι **Elke Hermans et al.** δημοσίευσαν μία έρευνα σχετικά με την οδική ασφάλεια στην Ε.Ε.. Το δείγμα της έρευνας αποτελούταν από είκοσι μία χώρες της Ε.Ε. και επιχειρήθηκε να γίνει η συγκριτική ανάλυση του επιπέδου οδικής ασφάλειας των χωρών του δείγματος με χρήση του μοντέλου ανάλυσης δεδομένων **Data envelopment analysis** (DEA). Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν προσαρμοσμένο στις πολιτικές και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε χώρας, ενώ για χώρες με μεγάλες ελλείψεις δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν άλλες χώρες αναφοράς με παρόμοια χαρακτηριστικά. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν αφορούσαν δείκτες όπως το η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και ναρκωτικών, η ταχύτητα, τα συστήματα ασφάλειας, οι υποδομές κ.α.. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης διαμορφώθηκαν **τρεις ομάδες χωρών** όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

Ομάδα 1: Αυστρία, Βέλγιο, Σλοβενία και Ελβετία

Ομάδα 2: Κύπρος, Τσεχία και Πορτογαλία

Ομάδα 3: Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιρλανδία και Πολωνία

Η πρώτη ομάδα παρουσίαζε χαμηλά ποσοστά στην σωστή χρήση της ζώνης ασφαλείας, ενώ στην δεύτερη ομάδα τονιζόταν η ανάγκη ανάπτυξης της τεχνολογίας και προώθησης σύγχρονων οχημάτων. Τέλος, η τρίτη ομάδα παρουσίαζε ελλείψεις στις οδικές υποδομές.

Η μέθοδος Data Envelopment Analysis (DEA) αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο αφού λαμβάνει υπόψιν πολλαπλές μεταβλητές inputs/outputs και βασίζεται στην παραδοχή ότι αντίστοιχης κλίμακας Decision Making Units (DMUs) θα αποδώσουν το ίδιο χρησιμοποιώντας ίδιες ανεξάρτητες μεταβλητές ως inputs. Έτσι μία DMU μεγάλης αποδοτικότητας μπορεί να τεθεί ως βάση για την κατάταξη των υπόλοιπων DMUs. Τις

σύγχρονες ανάγκες για **ιεράρχηση** των inputs και outputs καλύπτει ένα εξειδικευμένο μοντέλο πολλαπλών επιπέδων DEA, το **Multiple Layer Data Envelopment Analysis (MLDEA)**.

Το 2011, οι **Yongjun Shen et al.** χρησιμοποίησαν το μοντέλο MLDEA για την αξιολόγηση της απόδοσης της οδικής ασφάλειας δεκαεννιά ευρωπαϊκών χωρών. Όρισαν δεκατρείς ιεραρχικούς δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (Hierarchical Safety Performance Indicators) με βάση την συμπεριφορά των χρηστών της οδού ως inputs του μοντέλου και τέσσερα επίπεδα οδικής ασφάλειας ως outputs. Υπολόγισαν την βέλτιστη επίδοση οδικής ασφάλειας μεταξύ των χωρών του δείγματος και ανέλυσαν την αξία του κάθε επιπέδου ιεράρχησης. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου MLDEA με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του μονοεπίπεδου μοντέλου DEA κατέδειξε τη χρησιμότητα και την αποτελεσματικότητα του πρώτου, στην ανάλυση και ιεράρχηση μεγάλου αριθμού μεταβλητών και δεικτών.

Οι **Folla et al.**, το 2020, ανέπτυξαν ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την ταξινόμηση των Ευρωπαϊκών περιφερειών ανάλογα με τα επίπεδα οδικής ασφάλειας τους. Η βάση δεδομένων αποτελούταν από εκατό μία Ευρωπαϊκές περιφέρειες, ενσωματώνοντας τα κοινωνικοοικονομικά, δημογραφικά και οδικά χαρακτηριστικά τους. Αναπτύχθηκε **Ανάλυση Περιβάλλοντος Δεδομένων** κατάλληλα προσαρμοσμένη στο πλαίσιο των οδικών ατυχημάτων, η οποία αξιολογεί την επίδοση της οδικής ασφάλειας των αστικών περιοχών σε μια περίοδο εννέα ετών. Η κατάταξη των περιοχών που προέκυψε διερευνήθηκε περαιτέρω χρησιμοποιώντας μοντέλα παλινδρόμησης **Tobit** για τον εντοπισμό των δεδομένων που φαίνεται να επηρεάζουν εντονότερα τα επίπεδα οδικής ασφάλειας.

Οι **Carlos Pires et al.** το 2020, βασιζόμενοι στην δεύτερη έκδοση του 2018 της **E-Survey of Road Users' Attitudes (ESRA)**, μίας διαδικτυακής έρευνας που περιλαμβάνει απαντήσεις από περισσότερους από τριάντα πέντε χιλιάδες χρήστες της οδού σε τριάντα δύο χώρες επιχείρησαν να παρουσιάσουν τις **τέσσερις πιο επικίνδυνες συμπεριφορές** χρήσης της οδού. Αυτές είναι οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ ή ναρκωτικών ουσιών, η υπερβολική ταχύτητα, η χρήση κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση και η οδήγηση κατά τη διάρκεια σωματικής και ψυχικής κόπωσης. Η έρευνα ESRA αποτελεί πηγή δεδομένων τόσο για την κατανόηση των υποκείμενων αιτιών των οδικών ατυχημάτων όσο και για το πώς αντιλαμβάνεται το ευρύ κοινό την έννοια της οδικής ασφάλειας.

Η μελέτη εξετάζει διάφορες πτυχές που σχετίζονται με αυτές τις συμπεριφορές, την αποδοχή και την αντίληψη του κινδύνου, τα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης αλλά και τις γνώμες των χρηστών της οδού σχετικά με την αυστηρότητα του νομικού πλαισίου και των κυρώσεων των παραβάσεων. Από τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψε ότι, ενώ το ποσοστό αντίληψης της επικινδυνότητας τέτοιων συμπεριφορών ήταν μεγάλο, η εμφάνισή τους ήταν πολύ συχνή σε όλες τις περιοχές που μελετήθηκαν. Οι πιο **συνηθισμένες** επικίνδυνες συμπεριφορές που καταγράφηκαν ήταν η οδήγηση με **υπερβολική ταχύτητα** και η **χρήση κινητού τηλεφώνου** κατά την οδήγηση. Αντίθετα, η λιγότερο αναφερόμενη συμπεριφορά ήταν η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ ή ναρκωτικών ουσιών.

2.2.2. Συσχέτιση δεικτών οδικής ασφάλειας με οδικά ατυχήματα

Οι **Χαραλαμπίδη, Γιαννής και Φώλλα** το 2019, διερεύνησαν τη συσχέτιση κοινωνικοοικονομικών και συγκοινωνιακών δεικτών επιρροής με τους σοβαρά τραυματίες στα οδικά ατυχήματα στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αναπτύχθηκαν συνολικά τέσσερα στατιστικά μοντέλα, δύο που εκφράζουν την συχνότητα των βαριά τραυματιών και δύο που εκφράζουν την σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων. Αποδείχθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού **των επιβατικών οχημάτων με δείκτη ασφαλείας πέντε αστέρια** (EuroNcapScore 5 stars) σχετίζεται με μείωση τόσο των σοβαρά τραυματιών στα οδικά ατυχήματα όσο και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων. Επίσης, η αύξηση του ποσοστού των **επιβατικών οχημάτων με ηλικία μεγαλύτερη από είκοσι έτη** οδηγεί σε αύξηση τόσο στον αριθμό των σοβαρά τραυματιών σε οδικά ατυχήματα όσο και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων, ενώ αποδείχθηκε και η **θετική συσχέτιση** του Α.Ε.Π. με την αύξηση γενικότερα των οδικών ατυχημάτων.

Η ανάλυση της οδικής ασφάλειας καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την **ταχύτητα**. Εκτιμάται ότι η υπερβολική ταχύτητα μειώνει την οδική ασφάλεια ενώ ταυτόχρονα μπορεί να υποστηριχθεί ότι η οδήγηση με υψηλό ρυθμό ταχύτητας μειώνει την διάρκεια της έκθεσης και κατά συνέπεια, την πιθανότητα σύγκρουσης. Επιπλέον υποστηρίζεται ότι το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο δεν εφαρμόζεται επαρκώς και οι αντίστοιχες κυρώσεις των παραβάσεων δεν είναι αρκετά αυστηρές.

Τον Σεπτέμβριο του 2012, οι **XinPei et al.** έκαναν μία μελέτη σχετικά με τους **ρόλους της έκθεσης και της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια**. Με την χρήση τεχνικών συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) συλλέχθηκαν δεδομένα για την ταχύτητα, την ροή κυκλοφορίας και τις ετήσιες καταμετρήσεις κυκλοφορίας απογραφής (ATC) σε εκατό δώδεκα οδικά τμήματα του Χονγκ Κονγκ. Στη συνέχεια διαμορφώθηκε ένα κοινό μοντέλο πιθανοτήτων βασισμένο στην πλήρη **μπεϋζιανή μέθοδο**, το οποίο εφαρμοζόταν ταυτόχρονα σε ένα μοντέλο συχνότητας συγκρούσεων και σε ένα μοντέλο σοβαρότητας συγκρούσεων. Όταν λαμβανόταν υπόψιν η επίδραση της χρονικής έκθεσης, υπήρχε θετική συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας και του κινδύνου σύγκρουσης. Αντίθετα όταν ελεγχόταν η απόσταση, προέκυπτε η αντίστροφη σχέση.

Από την μελέτη αυτή προκύπτει ότι οι **δρόμοι υψηλής ταχύτητας δεν είναι απαραίτητα ασφαλέστεροι από τους δρόμους χαμηλής ταχύτητας** όταν στους τελευταίους εφαρμόζονται τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας. Ωστόσο, ως προς τη σοβαρότητα της σύγκρουσης τα αποτελέσματα έδειξαν συσχέτιση με την ταχύτητα ενώ παράλληλα συμπεραίνεται ότι η ταχύτητα διασποράς, ως δείκτης της μεταβλητότητας των συνθηκών κυκλοφορίας σε έναν αυτοκινητόδρομο, δεν σχετίζεται σημαντικά ούτε με τον κίνδυνο σύγκρουσης αλλά ούτε και με τη σοβαρότητά της.

Το 2000, οι **Krull, Khattak και Council**, με την χρήση Logit μοντέλων εξέτασαν την σοβαρότητα τραυματισμού του οδηγού που ενέπλεκε σε ατύχημα με **ένα μόνο όχημα**. Ανέλυσαν στοιχεία τριών χρόνων από το Μίσιγκαν και το Ιλινόις για να διερευνήσουν τις συνέπειες της ανατροπής του οχήματος, ενώ είχαν σαν σταθερές τους παράγοντες του οδοστρώματος, του οχήματος και του οδηγού. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η **σοβαρότητα τραυματισμού του οδηγού** αυξανόταν με τη μη χρήση της ζώνης ασφαλείας, των επιβατικών οχημάτων σε αντίθεση με των φορτηγών, τη χρήση

αλκοόλ, το φως της ημέρας, στους αγροτικούς δρόμους σε αντίθεση με τους αστικούς, το θεσμοθετημένο όριο ταχύτητας και το στεγνό οδόστρωμα.

Με βάση την έρευνα των **Zambon et al.** το 2007, εφαρμόζοντας το μέτρο της χρήσης ζώνης για όλους τους επιβάτες ενός οχήματος, παρατηρήθηκε μείωση των θανάτων και των τραυματισμών από οδικά ατυχήματα κατά 52% για τους οδηγούς, κατά 42% για τους συνοδηγούς και κατά 120% για τους επιβάτες των πίσω καθισμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι με αυτή την δράση υπολογίζεται ότι αποτράπηκαν περίπου χίλιοι πεντακόσιοι σαράντα πέντε θάνατοι και ενενήντα μία χιλιάδες επτακόσιοι εβδομήντα δύο τραυματισμοί.

Στις Η.Π.Α. διεξήχθη μία έρευνα από την **Εθνική Υπηρεσία Οδικής Ασφάλειας της Washington** (Hedlund et. al, 1984) σε συνεργασία με το **Κέντρο Συστημάτων Μεταφορών του Cambridge (USA)** (Hoxie & Skinner) σχετικά με τη σημαντική μείωση των νεκρών στα οδικά ατυχήματα που παρατηρήθηκε στις ΗΠΑ το 1982. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν ήταν τα **αλκοτέστ**, η **χρήση μέσων ασφαλείας** (ζώνη, κράνος), **δημογραφικές αλλαγές** και **οικονομικές συνθήκες**. Η έρευνα έδειξε ότι η αύξηση των ελέγχων αλκοτέστ είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση κατά 2% των νεκρών οδηγών υπό την επήρεια αλκοόλ. Σχετικά με τη χρήση μέσων προστασίας, εκτιμήθηκε ότι η μείωση του συνόλου των θανάτων εξαιτίας της αυξημένης χρήσης ζώνης δεν μπορεί να ήταν πάνω από διακόσια πενήντα ή λιγότερο από το 1/20 της συνολικής μείωσης του αριθμού των νεκρών. Τέλος, για την επίδραση των οικονομικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα ανάλυσης τα οποία κατέληξαν στο ότι η μείωση των νεκρών συνδεόταν με τις αλλαγές των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων, οι οποίες με τη σειρά τους συνδέονταν με τις οικονομικές συνθήκες.

Το 2018, οι Xin Li et al. ερεύνησαν την επιρροή κοινωνικών και οικονομικών μεταβλητών στην οδική ασφάλεια του Hong Kong. Χρησιμοποίησαν συνδυασμό των μεθόδων Autoregressive Distributed Lag (ARDL) και Vector Error Correction Model (VECM) για να προσδιορίσουν τη σχέση ανάμεσα στα οδικά ατυχήματα και στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη. Συμπεριλήφθηκαν το Α.Ε.Π., ο πληθυσμός, η επέκταση των οδικών υποδομών και το ποσοστό ιδιοκτησίας οχημάτων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η **αύξηση του πληθυσμού** και η **αύξηση της ιδιοκτησίας οχήματος** οδηγεί σε **αύξηση των οδικών ατυχημάτων**. Αντίθετα, η **επέκταση των οδικών υποδομών** επιφέρει **μείωση των οδικών ατυχημάτων**.

2.3 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε η ανάλυση εθνικών και διεθνών ερευνών και μελετών με σκοπό να διερευνηθεί η **συσχέτιση δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας, κοινωνικοοικονομικών και συγκοινωνιακών δεικτών με τα οδικά ατυχήματα**. Παράλληλα εξετάστηκαν έρευνες που είχαν ως αντικείμενο τη **συγκριτική αξιολόγηση του επιπέδου οδικής ασφάλειας διαφορετικών κρατών και την ομαδοποίησή τους με βάση αυτές τις επιδόσεις**. Παρατηρήθηκε μεγάλη ποικιλία μεθοδολογιών προσέγγισης και χρήσης στατιστικών μοντέλων αξιολόγησης.

Διαπιστώθηκε σε πολλές έρευνες ότι τα ευρωπαϊκά κράτη παρουσιάζουν διαφορετικές επιδόσεις στην οδική ασφάλεια. Αυτό προκύπτει από στατιστικά και μαθηματικά μοντέλα που περιλαμβάνουν δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας σχετικά με τη χρήση ζώνης ασφαλείας και άλλων μέσων προστασίας, την ταχύτητα, την οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ, την απόσπαση της προσοχής του οδηγού, την ασφάλεια των υποδομών και των οχημάτων, κ.τ.λ..

Σε αναλύσεις μεταξύ κρατών όπως οι παραπάνω, ο συνδυασμός των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας με δείκτες που αφορούν κοινωνικοοικονομικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των κρατών, παρουσιάζει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τα επίπεδα οδικής ασφάλειας των κρατών και συνεισφέρει στην καλύτερη ομαδοποίηση τους με βάση κοινά και αντικειμενικά χαρακτηριστικά.

Επιπλέον, έρευνες αυτοδηλούμενης συμπεριφοράς και πεποιθήσεων (π.χ., ESRA) αναδεικνύουν βασικά προβλήματα και επικίνδυνες συμπεριφορές που μειώνουν την οδική ασφάλεια. Οι πιο **συνηθισμένες** επικίνδυνες συμπεριφορές που καταγράφηκαν ήταν η οδήγηση με **υπερβολική ταχύτητα** και η **χρήση κινητού τηλεφώνου** κατά την οδήγηση. Αντίθετα, η λιγότερο αναφερόμενη συμπεριφορά ήταν η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και ναρκωτικών ουσιών.

Διάφορες μέθοδοι στατιστικής και μαθηματικής ανάλυσης χρησιμοποιούνται ευρέως και συνεισφέρουν τα μέγιστα στην εξαγωγή αποτελεσμάτων και των αντίστοιχων συμπερασμάτων τους. Μια κοινά χρησιμοποιούμενη μέθοδος ομαδοποίησης και κατάταξης των κρατών με βάση τις επιδόσεις τους αποτελεί η Data Envelopment Analysis (D.E.A.). Στις σχετικές έρευνες που εξετάστηκαν, χρησιμοποιήθηκαν δείκτες σχετικοί με την επίδοση οδικής ασφάλειας, όπως η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και ναρκωτικών ουσιών, η ταχύτητα, η χρήση συστημάτων ασφαλείας και προστασίας, οι υποδομές κ.α..

Σε αρκετές μελέτες έχει διερευνηθεί η συσχέτιση των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας σε συνδυασμό με κοινωνικοοικονομικά δεδομένα με τον αριθμό των ατυχημάτων και παθόντων (νεκρών ή τραυματιών) από αυτά. Τα οφέλη της χρήσης ζώνης στην οδική ασφάλεια επιβεβαιώνονται από τις σχετικές έρευνες. Η χρήση ζώνης ασφαλείας σχετίζεται με τη μείωση της σοβαρότητας των τραυματισμών και κατ' επέκταση με τη μείωση του αριθμού των νεκρών και σοβαρά τραυματιών στα οδικά ατυχήματα.

Επιπλέον, αναδείχθηκε η θετική συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας και του κινδύνου ατυχήματος, ιδίως όταν λαμβάνεται υπόψη η χρονική διάρκεια έκθεσης στον κίνδυνο. Παρ' όλα αυτά, μελέτες έχουν δείξει ότι οι οδοί υψηλής ταχύτητας δεν είναι απαραίτητα ασφαλέστερες από τις οδούς χαμηλής ταχύτητας.

Τέλος από τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών προκύπτει ότι η **επέκταση και η αναβάθμιση των οδικών υποδομών** επιφέρει **μείωση των οδικών ατυχημάτων**. Αντίστοιχα, η ανανέωση του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων με νεότερα και ασφαλέστερα οχήματα σχετίζεται με τη μείωση τόσο των οδικών ατυχημάτων και των αντίστοιχων τραυματισμών όσο και με τη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων.

3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η στατιστική ανάλυση των δεδομένων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Το μαθηματικό μοντέλο που επιλέχθηκε, για την προσπάθεια συσχέτισης των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας με τα οδικά ατυχήματα, είναι η **γραμμική παλινδρόμηση** (Linear Regression), ενώ πραγματοποιήθηκε επίσης και **ομαδοποίηση** (Clustering) των χωρών της Ε.Ε. σε ευρύτερες ομάδες με βάση δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας και οικονομικούς δείκτες. Παρακάτω παρουσιάζεται μια λεπτομερής ανάλυση των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για την ομαδοποίηση των κρατών και τη διερεύνηση της συσχέτισης των θανάτων από οδικά ατυχήματα με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας για τις χώρες της Ε.Ε..

3.2 Ομαδοποίηση

Οι μέθοδοι ομαδοποίησης (Cluster Analysis)¹² είναι τεχνικές της πολυμεταβλητής στατιστικής, οι οποίες επιδιώκουν τη δημιουργία ομοιογενών ομάδων, έτσι ώστε τα συμπεριλαμβανόμενα σε κοινή ομάδα δεδομένα να παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά από άποψη κατανομής, ενώ τα στοιχεία διαφορετικών ομάδων να αντιστοιχούν σε διαφορετικές κατανομές. Οι μέθοδοι ομαδοποίησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις ιεραρχικές και τις μη ιεραρχικές. Στην ιεραρχική ομαδοποίηση, σε αντίθεση με τη μη ιεραρχική, ο αριθμός των ομάδων δεν είναι γνωστός εξ αρχής.

Η ιεραρχική ομαδοποίηση ή ιεραρχική ανάλυση συστάδων (Hierarchical Cluster Analysis) είναι μια γενική προσέγγιση ομαδοποίησης, στην οποία το αντικείμενο είναι η ομαδοποίηση δεδομένων που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Βασικό συστατικό της ανάλυσης είναι ο επαναλαμβανόμενος υπολογισμός της απόστασης μεταξύ δεδομένων και συστάδων μόλις ξεκινήσει η ομαδοποίηση τους. Η γραφική τους απεικόνιση γίνεται από τα δένδρογράμματα. Ένα δενδρόγραμμα αποτελείται από τις παρατηρήσεις, οι οποίες όσο ανεβαίνουμε στην κορυφή του δενδρογράμματος συγχωνεύονται και σχηματίζουν ομάδες με «κλαδιά». Όσο χαμηλότερα συμβαίνουν συγχωνεύσεις, τόσο πιο όμοιες είναι οι ομάδες κλαδιών που σχηματίζονται. Τα αρχικά δεδομένα για την ιεραρχική ανάλυση συστάδων N αντικειμένων, είναι ένα σύνολο $N*(N-1)/2$ αποστάσεων μεταξύ των N και μια συνάρτηση για τον υπολογισμό των αποστάσεων των συστάδων. Όπως υποδεικνύεται από τον όρο ιεραρχική, η μέθοδος επιδιώκει στην δημιουργία συστάδων με βάση την ιεραρχία. Επιπλέον, η ομαδοποίηση διακρίνεται σε συγκεντρωτική και διχαστική. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία θα γίνει χρήση της συγκεντρωτικής προσέγγισης.

Υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι για το συνδυασμό συστάδων σε συγκεντρωτική προσέγγιση. Αυτή που επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία ονομάζεται Ward's Method. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους, η Ward's Method αντί να μετράει απευθείας την απόσταση, αναλύει τη διακύμανση των συστάδων. Υποστηρίζεται μάλιστα ότι η Ward's Method είναι η καταλληλότερη μέθοδος για ποσοτικές μεταβλητές.

¹ Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley. (Chapter 3)

² James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). An Introduction to Statistical Learning. Springer. (Chapter 10)

Η μέθοδος του Ward αναλύει ότι η απόσταση μεταξύ δύο συστάδων, A και B, είναι πόσο θα αυξηθεί το άθροισμα των τετραγώνων όταν τις συγχωνεύσουμε:

$$\Delta(A, B) = \sum_{i \in A \cup B} \|\vec{x}_i - \vec{m}_{A \cup B}\|^2 - \sum_{i \in A} \|\vec{x}_i - \vec{m}_A\|^2 - \sum_{i \in B} \|\vec{x}_i - \vec{m}_B\|^2 = \frac{n_A n_B}{n_A + n_B} \|\vec{m}_A - \vec{m}_B\|^2$$

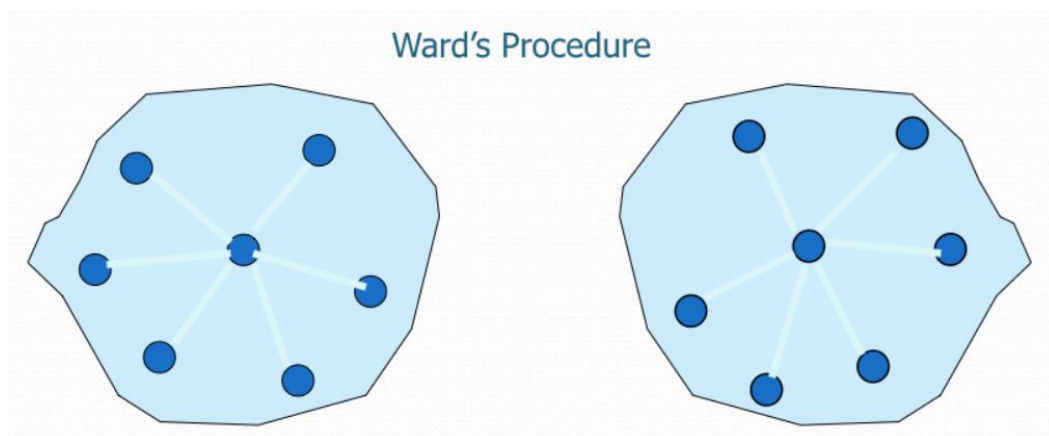
όπου,

$\vec{m}_j$ είναι το κέντρο του συμπλέγματος j, και n_j είναι ο αριθμός των δεδομένων σε αυτό. Δ ονομάζεται το κόστος συγχώνευσης του συνδυασμού των συστάδων A και B.

Με την ιεραρχική ομαδοποίηση, το άθροισμα των τετραγώνων ξεκινά από το μηδέν αφού κάθε σημείο βρίσκεται στην δική του συστάδα και στη συνέχεια αυξάνεται καθώς συγχωνεύουμε συστάδες. Η μέθοδος του Ward διατηρεί αυτήν την ανάπτυξη όσο το δυνατόν μικρότερη.

Η **Ευκλείδεια απόσταση** είναι η «συνήθης» ευθεία απόσταση μεταξύ δύο σημείων στον Ευκλείδειο χώρο.

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + \dots + (q_n - p_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$



3.3 Γραμμική Παλινδρόμηση

Ο κλάδος της στατιστικής, ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μιας από τις υπόλοιπες, ονομάζεται ανάλυση παλινδρόμησης (**Regression Analysis**). Με τον όρο εξαρτημένη μεταβλητή εννοείται η μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ με τον όρο ανεξάρτητη γίνεται αναφορά σε εκείνη τη μεταβλητή, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία, αλλά παίρνει καθορισμένες τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή θεωρείται τυχαία και «καθοδηγείται» από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Προκειμένου να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκαλέσει τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων.

Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μια στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Επισημαίνεται ότι η επιλογή της μεθόδου ανάπτυξης ενός μοντέλου βασίζεται στο αν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές ή διακριτό μέγεθος.

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές μέγεθος και ακολουθεί την κανονική κατανομή, μία από τις πλέον διαδεδομένες στατιστικές τεχνικές είναι η γραμμική παλινδρόμηση. Η απλούστερη περίπτωση γραμμικής παλινδρόμησης είναι η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** (simple linear regression).

Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση υπάρχει μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή X και μία εξαρτημένη μεταβλητή Y , που προσεγγίζεται ως μια γραμμική συνάρτηση του X . Η τιμή y_i της Y , για κάθε τιμή x_i της X , δίνεται από τη σχέση:

$$y_i = \alpha + \beta * x_i + \epsilon_i$$

Το ζητούμενο της γραμμικής παλινδρόμησης είναι η εύρεση των παραμέτρων α και β που εκφράζουν καλύτερα τη γραμμική εξάρτηση της Y από τη X . Κάθε ζεύγος τιμών (α, β) καθορίζει μια διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή και οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

Ο σταθερός όρος α είναι η τιμή του y για $x=0$.

Ο συντελεστής β του x είναι η κλίση (Slope) της ευθείας ή αλλιώς ο **συντελεστής παλινδρόμησης** (Regression Coefficient). Εκφράζει τη μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X μεταβληθεί κατά μία μονάδα.

Ο όρος ϵ_i ονομάζεται **σφάλμα παλινδρόμησης** (Regression Error). Στην πράξη ο γραμμικός προσδιορισμός που επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί μόνο να προσεγγίσει την πραγματική μαθηματική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών X και Y . Έτσι, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στο μοντέλο ο όρος του σφάλματος ϵ_i . Αυτό γίνεται τόσο για να αντιπροσωπευθούν στο μοντέλο τυχόν παραληφθείσες μεταβλητές, όσο και για να ληφθεί υπόψη κάθε σφάλμα προσέγγισης που σχετίζεται με τη γραμμική συναρτησιακή μορφή (Σταθόπουλος και Καρλαύτης, 2008). Το ϵ_i μπορεί συχνά να αναφέρεται και ως σφάλμα, απόκλιση, υπόλοιπο κλπ.

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές X ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$), γίνεται αναφορά στην **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (Multiple Linear Regression). Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η εξής:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \dots + \beta_k * x_{ki} + \epsilon_i$$

Γενικά, το ζητούμενο και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει εάν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται

να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών ($\rho(x_i, x_j) \rightarrow 0$, για κάθε $i \neq j$).

Στη γραμμική παλινδρόμηση οι παράμετροι εκτιμώνται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, δηλαδή οι συντελεστές υπολογίζονται έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των παρατηρούμενων και των υπολογιζόμενων να είναι το ελάχιστο.

Προκειμένου το μοντέλο να μπορεί να προσεγγίσει την επιρροή των ανεξαρτήτων μεταβλητών στην εξαρτημένη με όσο το δυνατόν πιο ορθό και αξιόπιστο τρόπο, θα πρέπει να πληρούνται (και φυσικά να γίνεται έλεγχος κάθε φορά) οι παρακάτω τέσσερις υποθέσεις:

1. Η υπόθεση της **γραμμικότητας**, που δηλώνει ότι η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών X και Y είναι κατά προσέγγιση γραμμική.
2. Η υπόθεση της **ανεξαρτησίας**, που δηλώνει ότι τα υπόλοιπα (σφάλματα, αποκλίσεις) για διαφορετικές παρατηρήσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.
3. Η υπόθεση της **κανονικότητας**, που δηλώνει ότι η απόκλιση πρέπει να είναι (προσεγγιστικά) κανονικά κατανοημένη.
4. Η υπόθεση της **ίσης διακύμανσης**, που δηλώνει ότι η διακύμανση των σφαλμάτων πρέπει να παραμένει στο ίδιο εύρος για όλες τις παρατηρήσεις.

3.4 Στατιστική αξιολόγηση και κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός μοντέλου μετά τη διαμόρφωσή του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i της εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης.

Βασική προϋπόθεση είναι η **μη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών**. Σύμφωνα με αυτή, οι ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει να είναι γραμμικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους ($\rho(x_i, x_j) \forall i \neq j \rightarrow 0$), γιατί σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατή η εξακρίβωση της επιρροής της κάθε μεταβλητής στο αποτέλεσμα. Αν δηλαδή, σε ένα μοντέλο εισάγονται δύο μεταβλητές που σχετίζονται μεταξύ τους εμφανίζονται προβλήματα μεροληψίας και επάρκειας.

Όσον αφορά στους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των πρόσημων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής (x_i) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

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

$$tstat = \beta_i / s.e$$

όπου, s.e : τυπικό σφάλμα (standard error)

Βάσει της ανωτέρω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής $tstat$. και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t , τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Προκειμένου ο συντελεστής και άρα η μεταβλητή να γίνει αποδεκτή, θα πρέπει να ισχύει $0,05 \geq sig$.

Η ποιότητα του μοντέλου κρίνεται από τον συντελεστή **R-squared**. Ο συντελεστής R-squared εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από την μεταβλητή X και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R-squared στη μονάδα τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Ο συντελεστής R-squared έχει συγκριτική αξία που σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του R-squared. Ο συντελεστής R-squared μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το X παίρνει καθορισμένες τιμές ή αν είναι τυχαία μεταβλητή.

Όσον αφορά στο **σφάλμα** της εξίσωσης του μοντέλου, αυτό θα πρέπει να πληροί τις τρεις ακόλουθες προϋποθέσεις για τη γραμμική παλινδρόμηση:

Να ακολουθεί κανονική κατανομή

Να έχει σταθερή διασπορά, $Var(e_i) = \sigma^2 = c$

Να έχει μηδενική συσχέτιση, $\rho(e_i, e_j) = 0, \forall i \neq j$

Η **διασπορά του σφάλματος** εξαρτάται από τον συντελεστή R-squared. Όσο μεγαλύτερο είναι το R-squared τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη που βασίζεται στην ευθεία παλινδρόμησης.

Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την **ευαισθησία** μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η 1% μεταβολή της ανεξάρτητης. Η ελαστικότητα, για γραμμικά μοντέλα, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$e_i = (\Delta Y_i / \Delta X_i) * (X_i / Y_i) = \beta_i * (X_i / Y_i)$$

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται αποκλειστικά σε **συνεχείς μεταβλητές**. Για **διακριτές μεταβλητές** χρησιμοποιείται η έννοια της **ψευδοελαστικότητας**, η οποία δεν χρειάστηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

4. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αφορά την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων τα οποία θα προσδιορίζουν τη συσχέτιση των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας με τα οδικά ατυχήματα στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών με το αντικείμενο της εργασίας και την ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου, ακολούθησε η συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων και η κατάλληλη επεξεργασία τους.

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η **διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων**, ώστε να δοθεί μία πλήρης εικόνα για την ποιότητα και την αξιοπιστία τους. Προσδιορίζεται η διαδικασία εύρεσης των δεδομένων και η δημιουργία της κύριας βάσης δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε. Κατά την διαδικασία της συλλογής των δεδομένων αξιοποιήθηκαν διεθνείς βάσεις δεδομένων ατυχημάτων και δεικτών σχετικών με την οδική ασφάλεια. Τέλος, στο στάδιο της επεξεργασίας επισημαίνονται οι τρόποι επεξεργασίας των δεδομένων αλλά και οι δυσκολίες που προέκυψαν.

4.2 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε με στόχο την δημιουργία μίας ενιαίας βάσης δεδομένων για τις χώρες της Ε.Ε., έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί αντικειμενική σύγκριση των επιπέδων οδικής ασφάλειάς τους και συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με ορισμένους δείκτες επίδοσης.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση του **αριθμού των οδικών ατυχημάτων και των θανάτων σε αυτά (road fatalities)** για την χρονιά 2019, ήταν η Ευρωπαϊκή Βάση Οδικών Ατυχημάτων, **CARE** (CARE – Community database on Accidents on the Roads in Europe). Επιλέχθηκε ως χρονιά αναφοράς το 2019 αφού κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για τις χρονιές 2021 και 2022. Το 2020 απορρίφθηκε λόγω των μέτρων περιορισμού της πανδημίας του Covid-19 που επηρέασαν σημαντικά τις μετακινήσεις και τις μεταφορές. Η CARE αποτελεί μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, προκειμένου να διαμορφωθεί μία βάση δεδομένων εξατομικευμένων στοιχείων οδικών ατυχημάτων. Περιέχονται αναλυτικά στοιχεία για κάθε ατύχημα, όπως αυτά συγκεντρώνονται από τα κράτη μέλη της Ε.Ε..

Στόχος της βάσης δεδομένων CARE είναι να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο, που θα συμβάλλει σημαντικά στην ανταλλαγή εμπειριών στον τομέα της οδικής ασφάλειας, στη σύγκριση του επιπέδου οδικής ασφάλειας ανάμεσα στα ευρωπαϊκά κράτη, στον εντοπισμό και τον ποσοτικό υπολογισμό των προβλημάτων οδικής ασφάλειας, στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων οδικής ασφάλειας και στην υποστήριξη της λήψης νέων μέτρων τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Κύρια πηγή άντλησης δεδομένων σχετικά με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας αποτέλεσε το ερευνητικό έργο «**Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety**» στο οποίο συμμετείχαν δεκαοκτώ κράτη-μέλη της Ε.Ε.. Στόχος του έργου Baseline αποτέλεσε η συγκέντρωση τιμών για τα KPIs (Key Performance Indicators) της οδικής ασφάλειας στα κράτη μέλη της Ε.Ε.. Κάθε συμμετέχουσα χώρα παρείχε από μία έως οκτώ εθνικές τιμές KPI, οι οποίες ήταν

συγκρίσιμες μεταξύ των χωρών και πληρούσαν τις ελάχιστες μεθοδολογικές απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Αυτό το έργο συνέβαλε επίσης στην ανάπτυξη ικανοτήτων στην Ε.Ε., ιδίως στα κράτη μέλη που δεν έχουν συλλέξει και υπολογίσει ακόμη τα δεδομένα για τα KPIs. Τα δεδομένα για τον υπολογισμό των δεικτών αυτών αφορούν σε ένα έτος μόνο και συλλέχθηκαν είτε το 2021 είτε το 2022. Για την παρούσα Διπλωματική Εργασία, αντλήθηκαν δεδομένα για τους παρακάτω δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας:

1. Ποσοστό οχημάτων εντός των ορίων ταχύτητας ανά τύπο οδού (**KPI Speed Motorway, KPI Speed Urban roads**),
2. Μέση ταχύτητα οχημάτων ανά τύπο οδού (**Average Speed Motorway, Average Speed Urban roads**),
3. Ποσοστά χρήσης ζώνης ασφαλείας για το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά ΙΧ και για τους οδηγούς (**Seatbelt KPI total, Seatbelt KPI driver**),
4. Ποσοστό οδηγών που δεν χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο ή άλλη συσκευή χειρός κατά τη διάρκεια της οδήγησης (**Distraction**),
5. Ποσοστό νέων εγγεγραμμένων οχημάτων με Euro NCAP score ίσο με 5 αστέρια (**Vehicle Safety**),
6. Το μέσο χρόνο που μεσολαβεί για την παροχή ιατρικής περίθαλψης μεταξύ της κλήσης έκτακτης ανάγκης μετά το οδικό ατύχημα και της άφιξης των σωστικών συνεργείων (**Post crash care-P50**).

Σχετικά με οικονομικά και δημογραφικά δεδομένα όπως ο ετήσιος πληθυσμός (**population**), το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (**GDP**), η μέση ηλικία του στόλου των οχημάτων για το έτος 2019 (**Average age of the vehicle fleet 2019**) και ο στόλος κυκλοφορούντων ΙΧ και νέων επιβατικών ΙΧ κάθε χώρας, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (**Eurostat**). Τα στατιστικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα αφορούν σε πολλούς τομείς δραστηριοτήτων, όπως επιστημονικούς, οικονομικούς, μεταφορών, αναπτυξιακούς και κοινωνικούς. Η Eurostat παρέχει βάσεις δεδομένων με τα ετήσια στοιχεία της κάθε χώρας της Ε.Ε., συγκρίσεις μεταξύ των χωρών και παρουσιάσεις της διαχρονικής εξέλιξης κάθε χώρας.

4.3 Επεξεργασία Δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων απαιτήθηκε σε πρώτη φάση η δημιουργία μιας ενιαίας βάσης δεδομένων με τη χρήση του προγράμματος Excel. Η βάση αυτή περιείχε για κάθε κράτος τα αντίστοιχα δεδομένα, δηλαδή τον αριθμό των θανάτων από τα οδικά ατυχήματα, τη σοβαρότητα των ατυχημάτων και όλους τους δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Προστέθηκαν επομένως οι μεταβλητές **Road fatalities per 100.000 population** και **Crash Severity** (ο λόγος των θανάτων από τα οδικά ατυχήματα προς το σύνολο των οδικών ατυχημάτων), οι οποίες ορίζονται ως εξής:

$$\text{Road Fatalities/100.000 population} = (\text{Road fatalities/population}) * 100.000$$

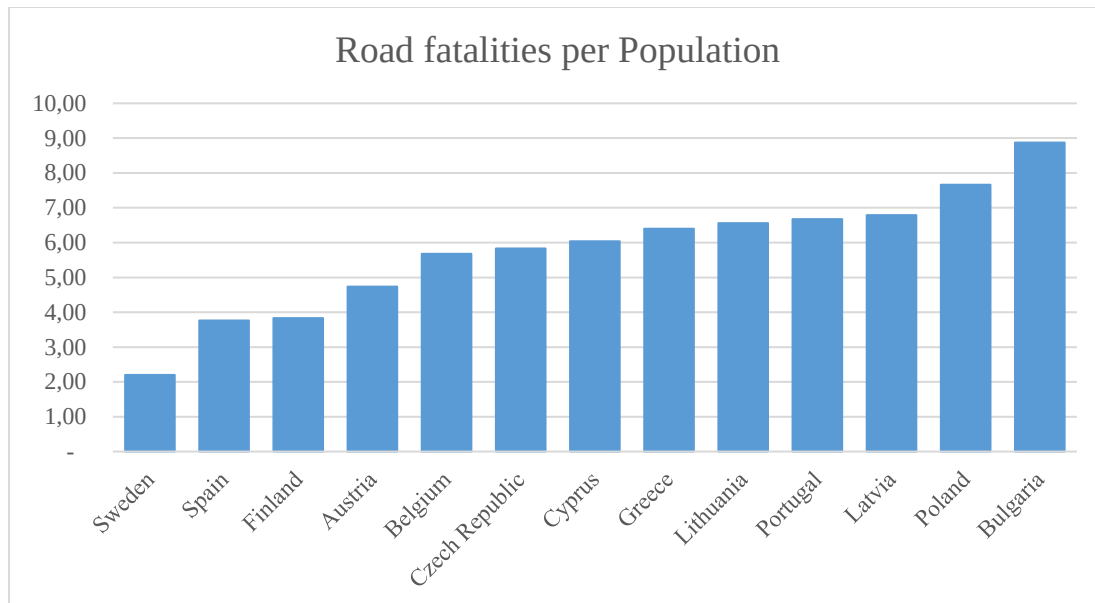
$$\text{Crash Severity (Fatal)} = \text{Road fatalities/ 100 road crashes}$$

Για όποια χώρα από τις δεκαοκτώ που έλαβαν μέρος στην έρευνα δεν υπήρχε διαθέσιμο κάποιο δεδομένο, χρησιμοποιούταν ο γενικός μέσος όρος των τιμών των υπόλοιπων χωρών για τον εκάστοτε δείκτη. Ορισμένες χώρες με μεγάλες ελλείψεις δεδομένων (διαθέσιμα δεδομένα για πολύ περιορισμένο αριθμό KPIs) εξαιρέθηκαν από το πεδίο

μελέτης, αφού τα αποτελέσματα που θα παρουσίαζαν θα απείχαν αρκετά από την πραγματικότητα και θα αλλοίωναν το τελικό δείγμα.

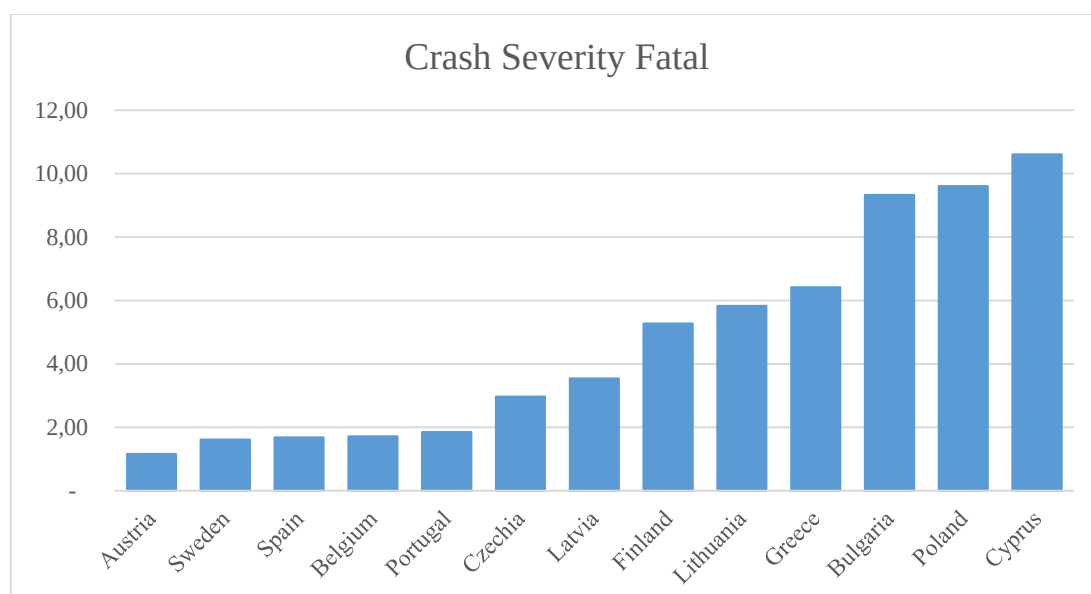
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα κατάταξης των χωρών που συμπεριλήφθηκαν στην συγκεκριμένη έρευνα σε σχέση με τους θανάτους από τα οδικά ατυχήματα αναλογικά με τον πληθυσμό τους (Road fatalities per 100.000 population) και με την **σοβαρότητα των ατυχημάτων** (Crash Severity Fatal).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1 Νεκροί σε οδικά ατυχήματα ανά 100.000 πληθυσμού ανά χώρα, 2019



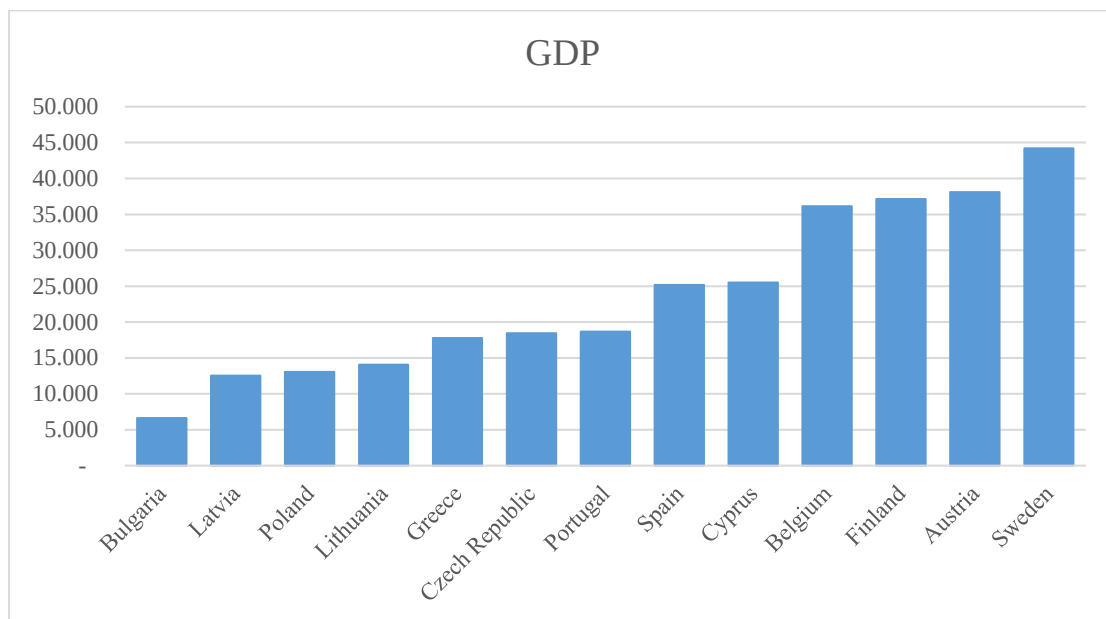
Παρατηρείται ότι η χώρα με την καλύτερη επίδοση στους θανάτους από τα οδικά ατυχήματα είναι η Σουηδία, ενώ στον αντίποδα βρίσκονται η Λετονία, η Πολωνία και η Βουλγαρία. Οι τιμές του δείκτη αυτού κυμαίνονται από 2,20 έως 8,87.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2 Δείκτης σοβαρότητας ατυχημάτων ανά χώρα, 2019



Με βάση τον δείκτη σοβαρότητας ατυχημάτων, όπως ορίστηκε παραπάνω, διαπιστώνεται ότι η χώρα με την καλύτερη επίδοση, δηλαδή τον μικρότερο αριθμό νεκρών ανά 100 οδικά ατυχήματα, είναι η Αυστρία (1,16), ενώ στον αντίποδα βρίσκονται η Κύπρος και η Πολωνία (10,61 και 9,60 αντίστοιχα).

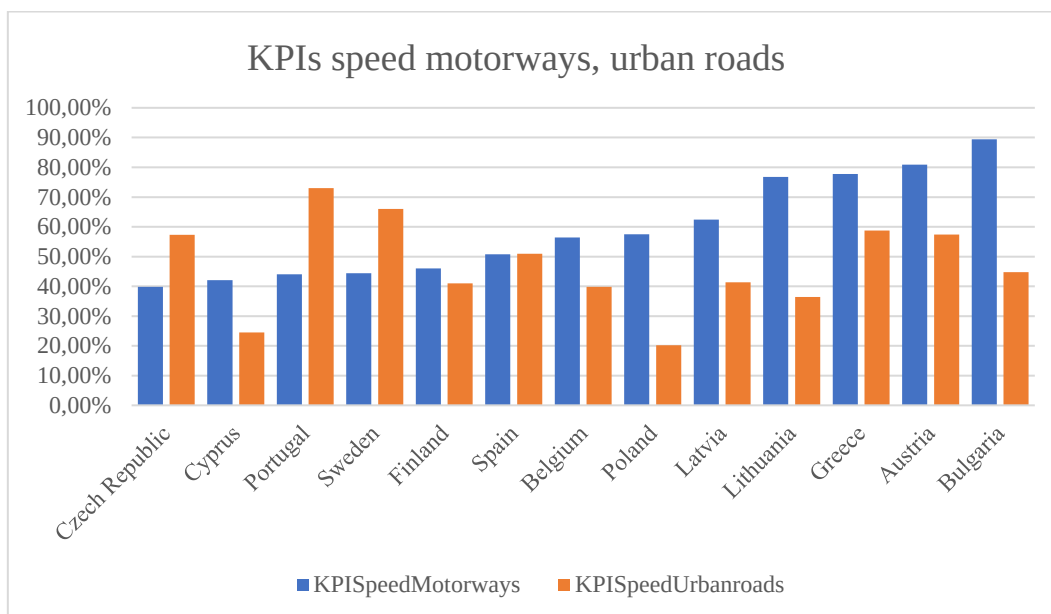
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3 Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP) ανά χώρα, 2019



Στο Διάγραμμα 4.3, παρατηρείται ότι οι χώρες με υψηλότερο κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. ανήκουν στη βόρεια και κεντρική Ευρώπη. Μάλιστα, η Σουηδία και η Αυστρία που έχουν το μεγαλύτερο Α.Ε.Π. είναι αυτές που παρουσίασαν τις καλύτερες επιδόσεις οδικής ασφάλειας όσον αφορά τον αριθμό των νεκρών σε οδικά ατυχήματα και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Η σχέση αυτή επιβεβαιώνεται και από τις χώρες με τις χαμηλότερες επιδόσεις οδικής ασφάλειας με βάση τους προαναφερθέντες δείκτες, οι οποίες το 2019 είχαν και το χαμηλότερο Α.Ε.Π. ανάμεσα στα κράτη μέλη της Ε.Ε..

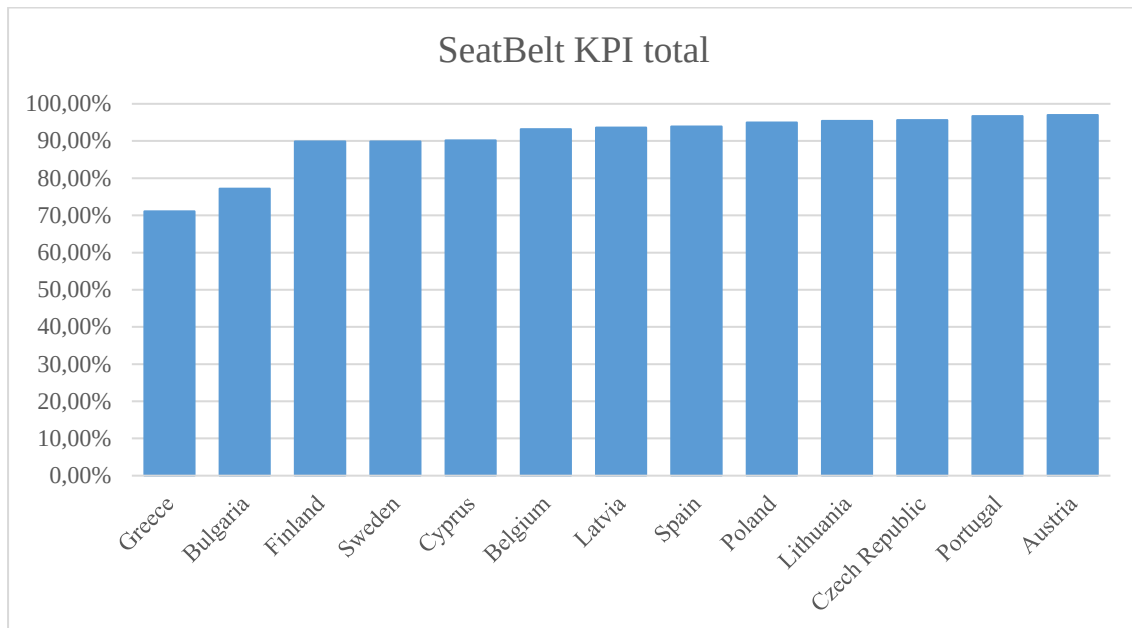
Στην συνέχεια παρατίθενται οι κατατάξεις των κρατών μελών της Ε.Ε. με βάση τις τιμές των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας (KPIs).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.4 Δείκτης επίδοσης για την ταχύτητα ανά τύπο οδού και χώρα, 2021/2022



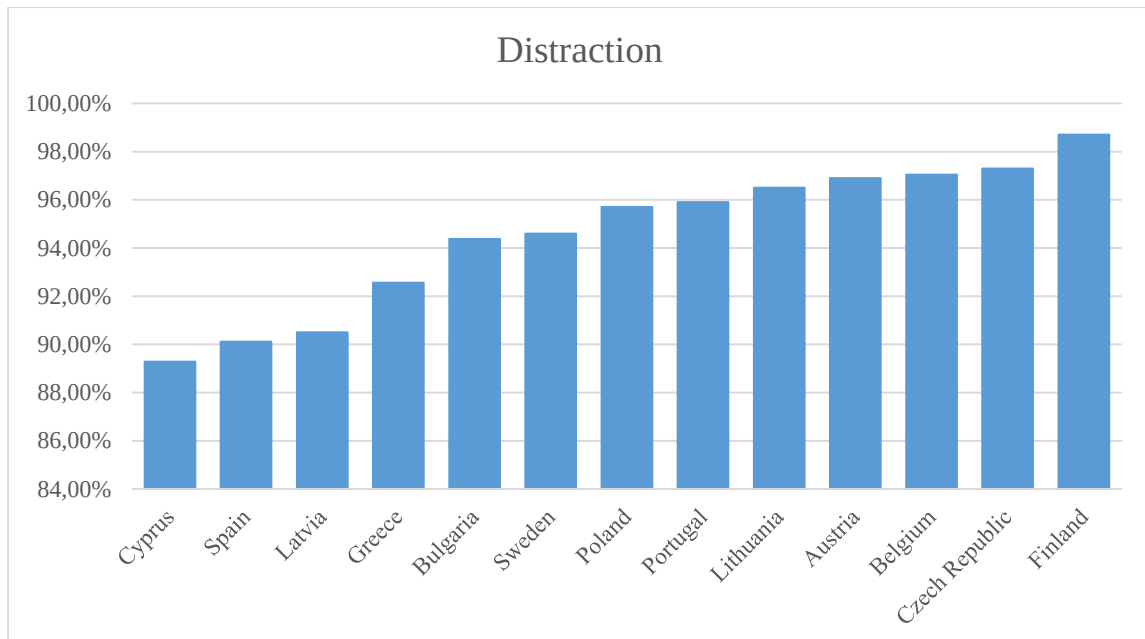
Σχετικά με τον δείκτη επίδοσης για την ταχύτητα στους αυτοκινητόδρομους, οι τιμές κυμαίνονται από 39,80% έως 89,41%. Οι χώρες με την καλύτερη επίδοση, δηλαδή το υψηλότερο ποσοστό οδηγών που κινούνται εντός των νόμιμων ορίων ταχύτητας στους αυτοκινητόδρομους, είναι η Βουλγαρία (89,41%) και η Αυστρία (80,90%), ενώ τις χαμηλότερες επιδόσεις παρουσιάζουν η Τσεχία (39,80%) και η Κύπρος (42,10%). Για τον αντίστοιχο δείκτη στις αστικές οδούς (KPI speed urban roads), η Πορτογαλία και η Σουηδία εμφανίζουν τις καλύτερες επιδόσεις (73% και 66% αντίστοιχα), ενώ στον αντίποδα βρίσκονται η Πολωνία (20,20%) και η Κύπρος (24,47%). Σημειώνεται πάντως ότι τα όρια ταχύτητας στις οδούς, κυρίως στους αυτοκινητοδρόμους, διαφοροποιούνται ανάμεσα στα κράτη, το οποίο πιθανώς επηρεάζει και αντίστοιχους δείκτες επίδοσης.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.5 Ποσοστό χρήσης ζώνης από το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά ΙΧ ανά χώρα, 2021/2022



Σχετικά με τη χρήση ζώνης ασφαλείας από τους επιβαίνοντες των επιβατικών ΙΧ, οι χώρες που εμφανίζουν την καλύτερη επίδοση, δηλαδή τα υψηλότερα ποσοστά χρήσης ζώνης, είναι η Αυστρία (97%) και η Πορτογαλία (96,70%), ενώ στις χειρότερες θέσεις εμφανίζονται η Ελλάδα (71,08%) και η Βουλγαρία (77,21%).

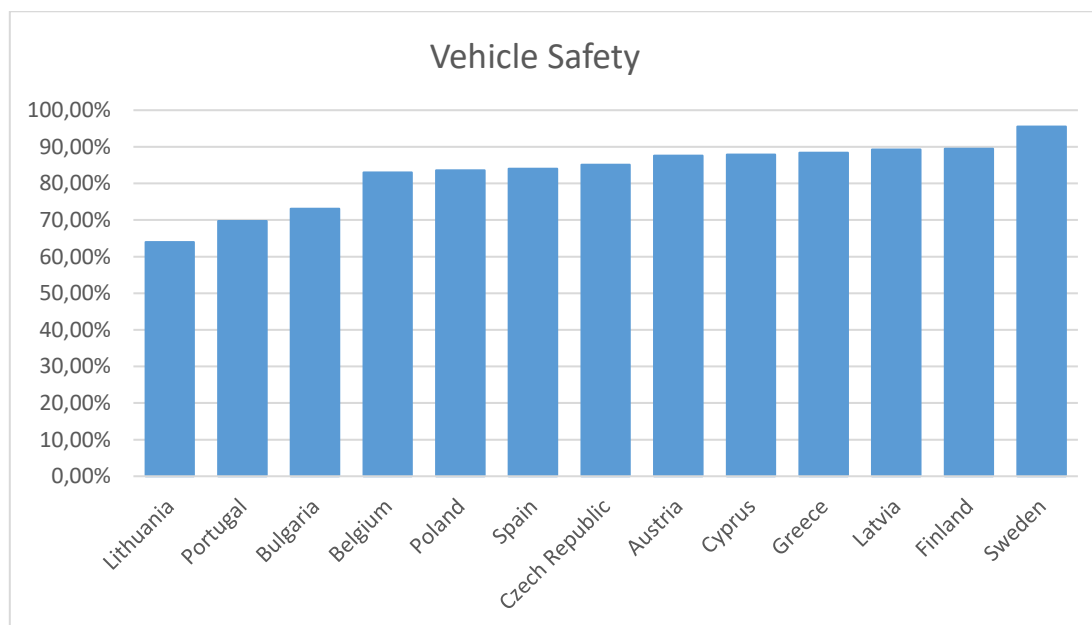
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.6 Ποσοστό οδηγών που δεν χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της οδήγησης ανά χώρα, 2021/2022



Για τη μη-απόσπαση προσοχής κατά τη διάρκεια της οδήγησης, όπως ορίστηκε παραπάνω, στην κορυφή των επιδόσεων εμφανίζεται η Φινλανδία (98,70%) και η

Τσεχία (97,30%), ενώ τις χειρότερες επιδόσεις έχουν καταγράψει η Κύπρος (89,28%) και η Ισπανία (90,11%).

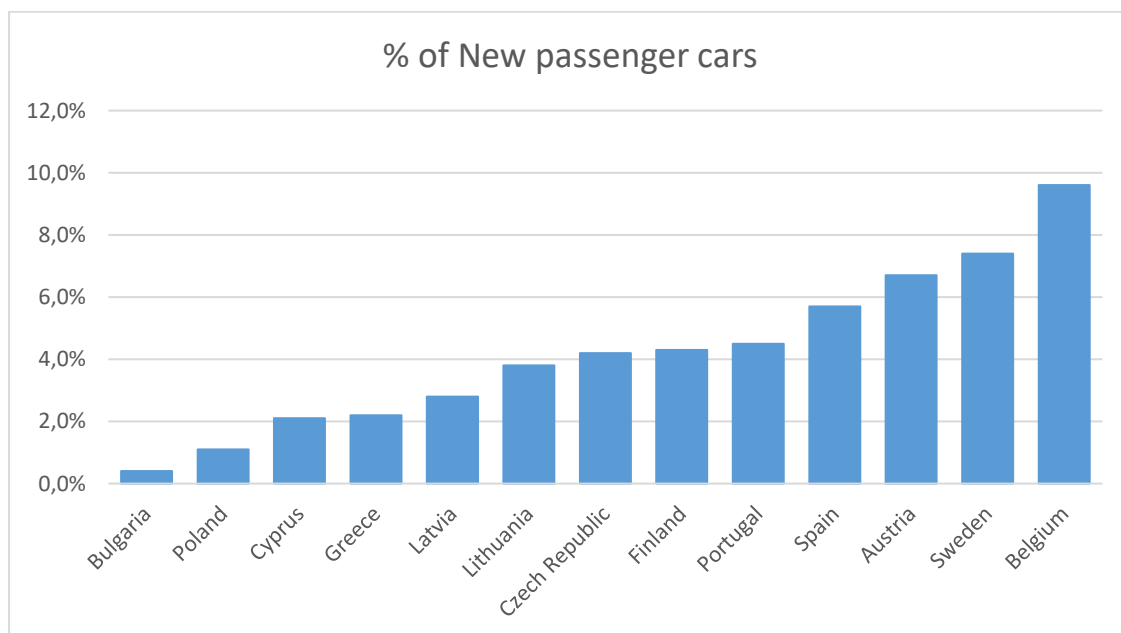
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.7 Ποσοστό νέων οχημάτων με Euro NCAP score ίσο με 5 αστέρια ανά χώρα, 2019



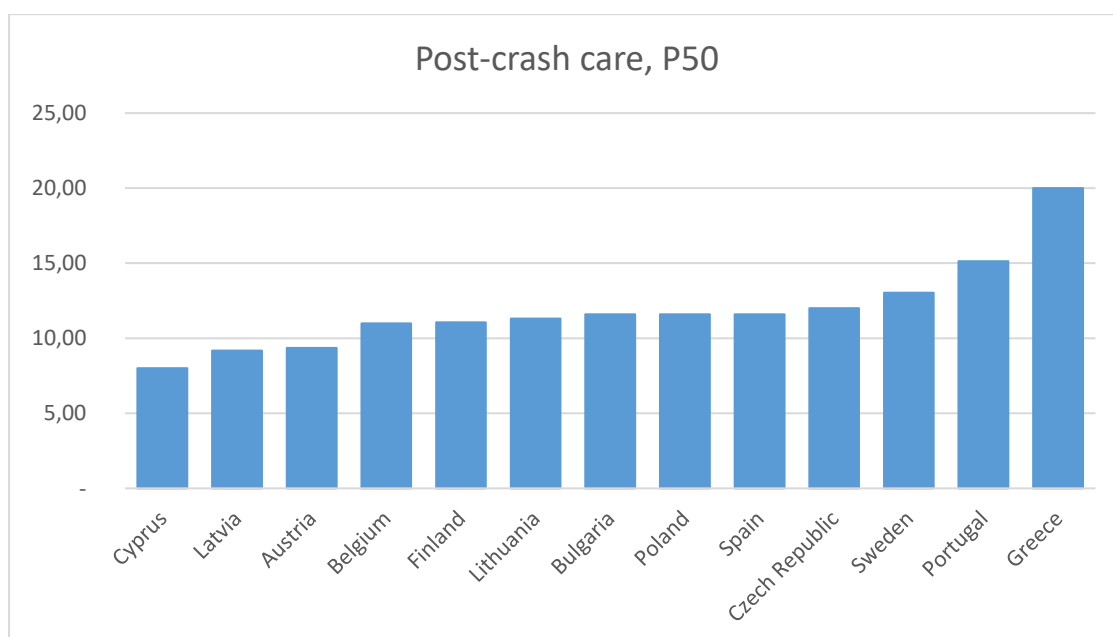
Όσον αφορά τις επιδόσεις σχετικά με την ασφάλεια του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων, η Σουηδία και η Φινλανδία παρουσιάζουν τις καλύτερες επιδόσεις (95,52% και 89,46% αντίστοιχα), ενώ η Λιθουανία και η Πολωνία τις χειρότερες (64% και 69,72% αντίστοιχα).

Στο Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζονται τα ποσοστά των νέων εγγεγραμμένων επιβατικών αυτοκινήτων στο σύνολο του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων ανά χώρα για το 2019. Το Βέλγιο, η Σουηδία και η Αυστρία εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά νέων επιβατικών οχημάτων, ενώ η Βουλγαρία, η Πολωνία, η Κύπρος και η Ελλάδα εμφανίζουν τα χαμηλότερα ποσοστά ανάμεσα στα κράτη μέλη της Ε.Ε..

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.8 Ποσοστό νέων επιβατικών οχημάτων στο σύνολο του στόλου των οχημάτων ανά χώρα, 2019



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.9 Μέσος χρόνος παροχής ιατρικής περίθαλψης μετά το ατύχημα ανά χώρα (σε λεπτά της ώρας), 2019



Τέλος, σχετικά με τον μέσο χρόνο παροχής ιατρικής περίθαλψης αμέσως μετά το ατύχημα, η Ελλάδα παρουσιάζει την χειρότερη επίδοση με περίπου είκοσι λεπτά αναμονή, ενώ την καλύτερη η Κύπρος με λιγότερο από δέκα λεπτά αναμονή.

5. Εφαρμογή Μεθοδολογίας-Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Μετά τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων στο πρόγραμμα **Excel**, όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση** των δεδομένων με χρήση της **γλώσσας προγραμματισμού R**. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε αρχικά η ομαδοποίηση (**clustering**) των χωρών της μελέτης με βάση τους δείκτες επίδοσης της οδικής ασφάλειας, καθώς και οικονομικούς και δημογραφικούς δείκτες. Η ομαδοποίηση πραγματοποιήθηκε με χρήση της μεθόδου **Hierarchical cluster analysis** και του **Ward's Linkage**.

Επιπρόσθετα, αναπτύχθηκαν γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης (**Linear Regression**), προκειμένου να διερευνηθεί η συσχέτιση των δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας με τα οδικά ατυχήματα. Ξεχωριστά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης αναπτύχθηκαν τόσο για το σύνολο των υπό μελέτη κρατών, όσο και για τις επιμέρους ομάδες κρατών που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση, με απώτερο σκοπό τη συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους.

Πέραν της παρουσίασης των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία, στο παρόν κεφάλαιο, επιχειρείται και η ερμηνεία τους με βάση τη λογική, την εμπειρία και στοιχεία από τη σχετική βιβλιογραφία. Η **παρουσίαση των αποτελεσμάτων** διακρίνεται σε τρεις φάσεις. Κατά την πρώτη φάση παρουσιάζονται τα εξαγόμενα δεδομένα, στη δεύτερη φάση πραγματοποιείται η περιγραφή των αποτελεσμάτων και κατά την τρίτη φάση επιχειρείται η ερμηνεία τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την επιλογή τόσο των εξαρτημένων όσο και των ανεξάρτητων μεταβλητών, διεξήχθη μία σειρά από δοκιμές με διαφορετικούς συνδυασμούς μεταβλητών, με σκοπό να επιλεχθούν εκείνες που ήταν στατιστικά καταλληλότερες για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων.

5.2 Ιεραρχική Ομαδοποίηση (Hierarchical Clustering)

Για να πραγματοποιηθεί η ομαδοποίηση, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων που περιλάμβανε για κάθε Ευρωπαϊκό κράτος (E.U. country) τις τιμές για κάθε έναν από τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας, καθώς και για τους οικονομικούς και δημογραφικούς δείκτες που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν τρεις διαφορετικές ομαδοποιήσεις των κρατών:

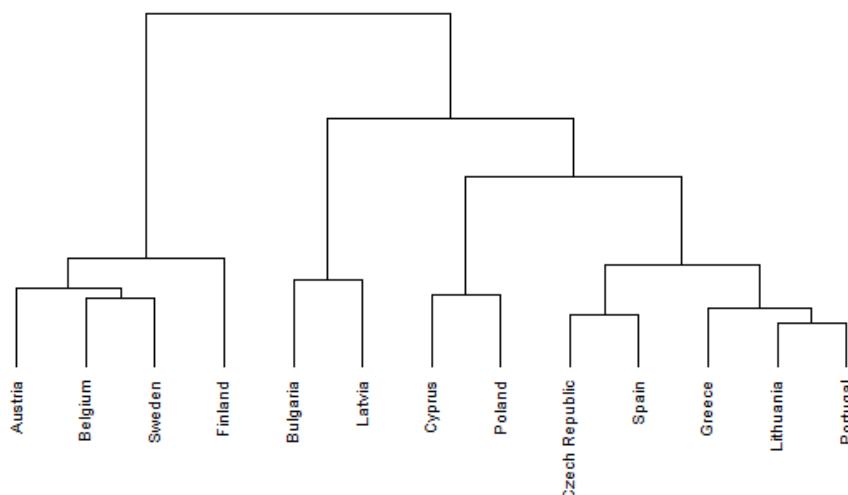
1. Ομαδοποίηση με βάση οικονομικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά στόλου των οχημάτων,
2. Ομαδοποίηση με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (KPIs),
3. Ομαδοποίηση με βάση το σύνολο των παραπάνω δεικτών.

5.2.1. Ομαδοποίηση με βάση οικονομικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά στόλου των οχημάτων

Για το πρώτο μοντέλο ομαδοποίησης, χρησιμοποιήθηκαν το **κατά κεφαλήν Α.Ε.Π.** (GDP), ο αριθμός των **επιβατικών οχημάτων σε χρήση ανά χίλιους κατοίκους**

(Passenger cars in use /1.000 population) και το **ποσοστό των νέων επιβατικών οχημάτων** στο σύνολο των κυκλοφορούντων οχημάτων (% of new passenger cars). Τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1 Δενδρόγραμμα με βάση οικονομικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά του στόλου των οχημάτων



Οι ομάδες που σχηματίστηκαν με βάση τους δείκτες αυτούς είναι:

- Ομάδα 1: Αυστρία, Βέλγιο, Σουηδία και Φινλανδία
- Ομάδα 2: Βουλγαρία, Λετονία, Κύπρος, Πολωνία, Τσεχία, Ισπανία, Ελλάδα, Λιθουανία και Πορτογαλία

Παρατηρείται ότι η πρώτη ομάδα είναι πιο ομοιογενής σε σχέση με τη δεύτερη, στην οποία σχηματίζονται επιμέρους υποομάδες με κοινά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, οι υποομάδες αυτές αποτελούνται από τις εξής χώρες:

- Ομάδα 2α: Βουλγαρία, Λετονία
- Ομάδα 2β: Κύπρος, Πολωνία
- Ομάδα 2γ: Τσεχία, Ισπανία
- Ομάδα 2δ: Ελλάδα, Λιθουανία και Πορτογαλία.

Οι χώρες στις παραπάνω υποομάδες έχουν περισσότερα κοινά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις υπόλοιπες, ενώ πιο κοντά σε σχέση με τους δείκτες που εξετάστηκαν βρίσκονται επίσης τα κράτη των ομάδων 2γ και 2δ, τα οποία θα μπορούσαν να διακριθούν επίσης σε ξεχωριστή ομάδα κρατών.

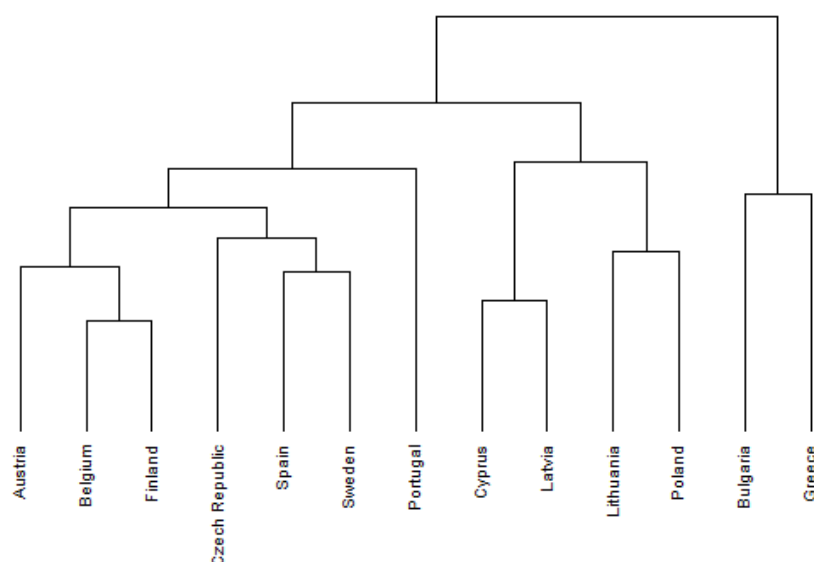
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έλεγχος με βάση τον **Συντελεστή Κοφαινικής Συσχέτισης** (Cophenetic Correlation Coefficient). Ο συντελεστής αυτός αποτελεί κριτήριο συσχέτισης με σύνολο τιμών από -1 έως +1. Αν η τιμή που ληφθεί από τον έλεγχο αυτό είναι θετική και κοντά στο +1, τότε υπάρχει καλή συσχέτιση και το clustering θεωρείται στατιστικά αποδεκτό. Στην περίπτωση του πρώτου μοντέλου ομαδοποίησης, ο παραπάνω συντελεστής έλαβε την τιμή **+0,67**. Επομένως το δενδρόγραμμα είναι στατιστικά αποδεκτό.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρώτο μοντέλο ομαδοποίησης παρατηρείται ότι η πρώτη ομάδα αποτελείται από χώρες της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης, ενώ η δεύτερη ομάδα από χώρες της νότιας και ανατολικής Ευρώπης. Σε σχέση με τους δείκτες που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση, οι χώρες της πρώτης ομάδας είναι ανάμεσα σε αυτές με το υψηλότερο κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. και τους νεότερους στόλους, σε αντίθεση με τα κράτη της δεύτερης ομάδας.

5.2.2. Ομαδοποίηση με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (KPIs)

Για το δεύτερο μοντέλο ομαδοποίησης χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες που αφορούν στην επίδοση της οδικής ασφάλειας και πιο συγκεκριμένα: **KPI speed motorways**, **KPI speed urban roads**, **Average speed motorway**, **Average speed urban roads**, **KPI seatbelt total**, **KPI seatbelt driver**, **Distraction**, **Average age of the vehicle fleet 2019** και **Post-crash care (P50)**. Τα δένδrogramma που προέκυψε παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.2 παρακάτω.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2 Δένδrogramma με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (KPIs)



Οι επιμέρους ομάδες που σχηματίστηκαν, οι οποίες εμφανίζουν τα πιο όμοια χαρακτηριστικά, με βάση το παραπάνω δένδrogramma είναι:

- Ομάδα 1α: Αυστρία, Βέλγιο, Φινλανδία,
- Ομάδα 1β: Τσεχία, Ισπανία, Σουηδία
- Ομάδα 2α: Κύπρος, Λετονία,
- Ομάδα 2β: Λιθουανία, Πολωνία,
- Ομάδα 3: Βουλγαρία, Ελλάδα.

Σε δεύτερο επίπεδο, τα κράτη των ομάδων 1α και 1β, συμπεριλαμβανομένης της Πορτογαλίας, εμφανίζουν πιο όμοια χαρακτηριστικά σε σχέση με τα κράτη των ομάδων 2α, 2β και 3, ενώ σε συνολικό επίπεδο, τα κράτη με την περισσότερο αποκλίνουσα συνολική επίδοση είναι αυτά της ομάδας 3 (Ελλάδα και Βουλγαρία). Κατ' επέκταση,

ορίζονται οι παρακάτω ευρύτερες ομάδες με βάση της επιδόσεις τους στην οδική ασφάλεια:

- Ομάδα 1: Αυστρία, Βέλγιο, Φινλανδία, Τσεχία, Ισπανία, Σουηδία, Πορτογαλία
- Ομάδα 2: Κύπρος, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία
- Ομάδα 3: Βουλγαρία, Ελλάδα

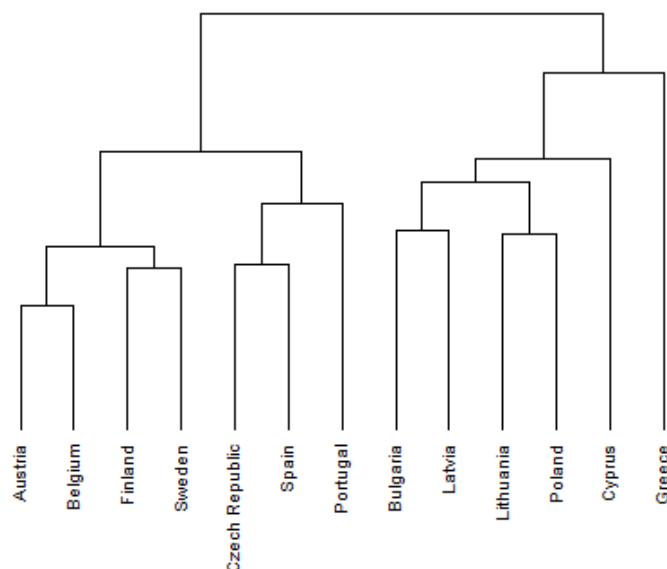
Στο δεύτερο μοντέλο ομαδοποίησης ο **Συντελεστής Κοφαινικής Συσχέτισης** έλαβε την τιμή **+0,65**. Επομένως και το δεύτερο μοντέλο ιεραρχικής ομαδοποίησης θεωρείται στατιστικά αποδεκτό.

Παρατηρείται ότι, η πρώτη ομάδα που διαμορφώνεται με βάση το παραπάνω δένδrogramma, αποτελείται από χώρες της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Οι χώρες που αποτελούν την πρώτη ομάδα εμφανίζουν τις υψηλότερες επιδόσεις στους περισσότερους δείκτες επίδοσης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η δεύτερη ομάδα που διαμορφώνεται, αποτελείται από χώρες με επιδόσεις που κινούνται στον Ευρωπαϊκό μέσο όρο στην πλειοψηφία των δεικτών, ενώ οι χώρες που αποτελούν την τρίτη ομάδα καταγράφουν τις χαμηλότερες επιδόσεις στους περισσότερους δείκτες (KPI Seatbelt total, % new passenger cars κ.α.)

5.2.3. Ομαδοποίηση με βάση το σύνολο των δεικτών

Το τρίτο και τελευταίο μοντέλο ομαδοποίησης που πραγματοποιήθηκε προκύπτει με τον συνδυασμό όλων των δεικτών που συμπεριλήφθηκαν στα δύο πρώτα μοντέλα ομαδοποίησης. Το διάγραμμα που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3 Δένδrogramma με βάση το σύνολο των δεικτών



Οι επιμέρους ομάδες που σχηματίστηκαν, οι οποίες εμφανίζουν τα πιο όμοια χαρακτηριστικά, με βάση το παραπάνω δένδrogramma είναι:

- Ομάδα 1α: Αυστρία, Βέλγιο, Φινλανδία, Σουηδία
- Ομάδα 1β: Τσεχία, Ισπανία, Πορτογαλία
- Ομάδα 2α: Βουλγαρία, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία

Παρατηρείται ότι η πρώτη υποομάδα που διαμορφώνεται αποτελείται από χώρες της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης οι οποίες παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά ως προς το Α.Ε.Π. και έχουν υψηλές επιδόσεις στους περισσότερους δείκτες επίδοσης. Το ίδιο παρατηρείται με την δεύτερη και τρίτη υποομάδα, οι οποίες παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά κυρίως ως προς τις επιδόσεις τους. Οι κύριες ομάδες που διαμορφώνονται από τον συνδυασμό των δεδομένων που αφορούν τα οικονομικά χαρακτηριστικά και τις επιδόσεις στους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας είναι:

- Ομάδα 1: Αυστρία, Βέλγιο, Φινλανδία, Σουηδία, Τσεχία, Ισπανία και Πορτογαλία
- Ομάδα 2: Βουλγαρία, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία, Κύπρος και Ελλάδα

Οι χώρες της πρώτης ομάδας παρουσιάζουν υψηλές επιδόσεις στους περισσότερους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας και υψηλότερο Α.Ε.Π., ενώ στην δεύτερη ομάδα ανήκουν χώρες με μέτριες και χαμηλές επιδόσεις στους συγκεκριμένους δείκτες επίδοσης και χαμηλότερο Α.Ε.Π..

Όσον αφορά τον έλεγχο με βάση τον **Συντελεστή Κοφαινικής Συσχέτισης**, στο τρίτο συνδυαστικό μοντέλο ομαδοποίησης λαμβάνει την υψηλότερη τιμή του συνόλου των δοκιμών **+0,80**. Επομένως και το τρίτο μοντέλο ομαδοποίησης θεωρείται στατιστικά αποδεκτό.

5.3 Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης

Με το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης επιχειρείται να προσδιοριστεί με ποιον τρόπο και πόσο επηρεάζουν οι επιλεγμένες ανεξάρτητες μεταβλητές την εξαρτημένη. Έπειτα από μια σειρά δοκιμών επιλέχθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή η σοβαρότητα των ατυχημάτων (**Crash Severity Fatal**), δηλαδή ο λόγος του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα μίας χώρας προς το σύνολο των οδικών ατυχημάτων της χώρας αυτής.

Ως ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέχθηκαν τα ποσοστά των νέων επιβατικών οχημάτων (**% new passenger cars**), των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) και το ποσοστό χρήσης ζώνης ασφαλείας για το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά Ι.Χ. (**KPI Seatbelt total**).

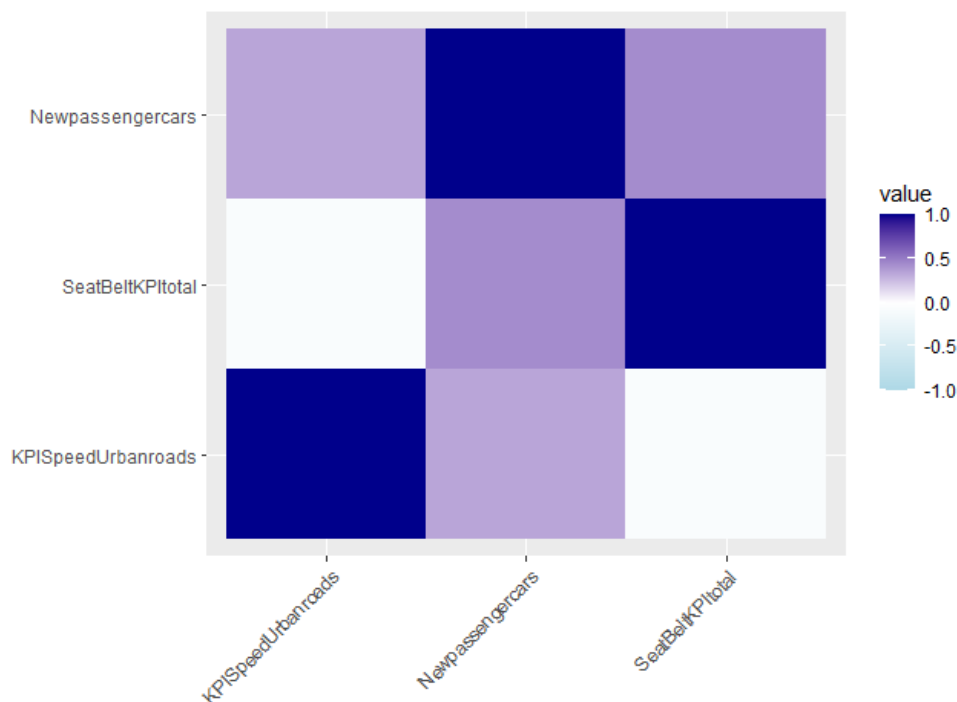
Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν τρία μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης. Το πρώτο μοντέλο αφορούσε το σύνολο των χωρών της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Το δεύτερο μοντέλο περιλάμβανε την πρώτη ομάδα (**χώρες υψηλής επίδοσης**) που προέκυψε από το τρίτο συνδυαστικό μοντέλο ομαδοποίησης και το τρίτο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκε αφορούσε την δεύτερη ομάδα (**χώρες χαμηλής επίδοσης**).

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας δεδομένων που προέκυψε από την επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε για την γραμμική παλινδρόμηση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Τελική μορφή βάσης δεδομένων για την πραγματοποίηση του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης

Country	Cluster	Crash Severity Fatal	New passenger cars	KPI Speed urban roads	SeatBelt KPI total
Austria	1	1,16	0,07	0,57	0,97
Belgium	1	1,71	0,10	0,40	0,93
Bulgaria	2	9,33	0,01	0,45	0,77
Cyprus	2	10,61	0,02	0,24	0,90
Czechia	1	2,97	0,04	0,57	0,96
Finland	1	5,27	0,04	0,41	0,90
Greece	2	6,42	0,02	0,59	0,71
Latvia	2	3,54	0,03	0,41	0,94
Lithuania	2	5,83	0,04	0,36	0,95
Poland	2	9,60	0,02	0,20	0,95
Portugal	1	1,85	0,05	0,73	0,97
Spain	1	1,69	0,06	0,51	0,94
Sweden	1	1,62	0,07	0,66	0,90

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4 Διάγραμμα συσχέτισης ανεξάρτητων μεταβλητών



Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η μη ισχυρή συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών των μοντέλων.

5.3.1. Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης για το σύνολο των κρατών

Κατά την γραμμική παλινδρόμηση που πραγματοποιήθηκε για το σύνολο των κρατών, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα και οι έλεγχοι ποιότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Αποτελέσματα και έλεγχοι ποιότητας εφαρμογής του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για το σύνολο των χωρών

Model 1 (Σύνολο των χωρών)	βi	Std. Error	t-value	Pr(> t)
Σταθερός Όρος	24,179	5,070	4,769	0,00102
% New passenger cars	-67,417	19,078	-3,534	0,00638
KPI Speed urban roads	-12,331	2,660	-4,635	0,00123
KPI Seatbelt total	-11,792	5,512	-2,139	0,06110
R-squared	0,8547			

Επομένως η μαθηματική σχέση που περιγράφει το παραπάνω μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι η ακόλουθη:

$$\text{Crash Severity Fatal} = 24,179 - 67,417 * (\text{New passenger cars}) - 12,331 * (\text{KPI Speed urban roads}) - 11,792 * (\text{KPI Seatbelt total})$$

Και οι τρεις μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (% New passenger cars, KPI Speed urban roads) και 90% (KPI Seatbelt total).

Τα αρνητικά πρόσημα στους συντελεστές παλινδρόμησης της μαθηματικής σχέσης που προέκυψε, υποδηλώνουν ότι με αύξηση των ανεξάρτητων μεταβλητών θα έχουμε μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων (**Crash Severity Fatal**). Πράγματι, οι μεταβλητές **KPI Speed urban roads** και **KPI Seatbelt total** αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά του πληθυσμού που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας και κάνουν σωστή χρήση της ζώνης ασφαλείας αντίστοιχα. Επομένως, όσο αυξάνονται τα συγκεκριμένα ποσοστά τόσο μειώνεται και η σοβαρότητα των ατυχημάτων (λιγότεροι νεκροί ανά 100 ατυχήματα).

Όσον αφορά την μεταβλητή **New passenger cars**, είναι επίσης λογικό το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται ο στόλος των νέων επιβατικών οχημάτων τόσο θα μειώνεται και η σοβαρότητα των ατυχημάτων αφού νέες τεχνολογίες και εφαρμογές καθιστούν πιο ασφαλή την οδήγηση.

Τέλος, με βάση τον έλεγχο **R-squared** το πρώτο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι **στατιστικά αποδεκτό (85%)**.

5.3.2. Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης των χωρών υψηλής επίδοσης

Το δεύτερο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκε αφορούσε τις χώρες **υψηλής επίδοσης** της τρίτης συνδυαστικής ομαδοποίησης, τα αποτελέσματα του οποίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 Αποτελέσματα και έλεγχοι ποιότητας εφαρμογής του δεύτερου μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για τις χώρες υψηλής επίδοσης

Model 2 (Χώρες υψηλής επίδοσης)	β_i	Std. Error	t-value	Pr(> t)
Σταθερός Όρος	27,805	9,505	2,925	0,0612
% New passenger cars	-67,417	15,189	-3,670	0,0350
KPI Speed urban roads	-6,018	2,623	-2,295	0,1055
KPI Seatbelt total	-20,057	10,436	-1,922	0,1503
R-squared	0,7538			

Επομένως η μαθηματική σχέση που περιγράφει το παραπάνω μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι η ακόλουθη:

$$\text{Crash Severity Fatal} = 27,805 - 67,417 * (\text{New passenger cars}) - 6,018 * (\text{KPI Speed urban roads}) - 20,057 * (\text{KPI Seatbelt total})$$

Και οι τρεις μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (% New passenger cars) και 90% (KPI Speed urban roads, KPI Seatbelt total).

Τα αρνητικά πρόσημα στους συντελεστές παλινδρόμησης της μαθηματικής σχέσης που προέκυψε, υποδηλώνουν ότι με την αύξηση των ανεξάρτητων μεταβλητών θα έχουμε μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων (**Crash Severity Fatal**). Επομένως, όμοια με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πρώτη εφαρμογή του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης, ισχύει ότι με **αύξηση** του ποσοστού των νέων οχημάτων στο στόλο μίας χώρας, του ποσοστού των οδηγών που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας στις αστικές οδούς και του ποσοστού των επιβαινόντων των ΙΧ που φορούν ζώνη ασφαλείας συνεπάγεται **μείωση** της σοβαρότητας των ατυχημάτων, δηλαδή μείωση των νεκρών ανά 100 ατυχήματα.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης των χωρών υψηλής επίδοσης με βάση τον έλεγχο **R-squared** είναι **στατιστικά αποδεκτό (75%)**.

5.3.3. Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης των χωρών χαμηλής επίδοσης

Το τρίτο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε για τις χώρες **χαμηλής επίδοσης** της τρίτης συνδυαστικής ομαδοποίησης και τα αποτελέσματα του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 Αποτελέσματα και έλεγχοι ποιότητας εφαρμογής του τρίτου μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για τις χώρες χαμηλής επίδοσης

Model 3 (Χώρες χαμηλής επίδοσης)	β_i	Std. Error	t-value	Pr(> t)
Σταθερός Όρος	53,668	10,198	5,265	0,0342
% New passenger cars	46,547	89,419	0,521	0,6546
KPI Speed urban roads	-32,854	6,352	-5,172	0,0354
KPI Seatbelt total	-40,070	11,198	-3,578	0,0700
R-squared	0,9055			

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει το παραπάνω μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι η ακόλουθη:

$$\text{Crash Severity Fatal} = 53,668 - 32,854 * (\text{KPI Speed urban roads}) - 40,07 * (\text{KPI Seatbelt total})$$

Μόνο οι δύο από τις τρεις μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο, αποδείχτηκαν στατιστικά σημαντικές, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (KPI Speed urban roads) και 90% (KPI Seatbelt total).

Τα πρόσημα των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών **KPI Speed urban roads** και **KPI Seatbelt total** μεταφράζονται όμοια όπως στα δύο παραπάνω μοντέλα, παρουσιάζοντας αρνητική συσχέτιση με τον δείκτη σοβαρότητας ατυχημάτων.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης των χωρών χαμηλής επίδοσης με βάση τον έλεγχο **R-squared** είναι **στατιστικά αποδεκτό (90%)**.

Συνολικά, στις περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων **t-value** και **Pr** ($>|t|$) ήταν εντός των ορίων αποδοχής θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικά. Ωστόσο, η μεταβλητή **New passenger cars** στο τρίτο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκε, παρουσιάζει $\text{Pr}(>|t|) = 0,6546 > 0,05$ και $t\text{-value} = 0,521 < 1,5$. Επομένως οι έλεγχοι στην συγκεκριμένη περίπτωση **δεν ικανοποιούνται επαρκώς**.

5.4 Ανάλυση Ελαστικότητας

Η ελαστικότητα αποτελεί ένα μέτρο της σχετικής επιρροής μίας ανεξάρτητης μεταβλητής στην αντίστοιχη εξαρτημένη. Η σχέση η οποία δίνει την ελαστικότητα για τα γραμμικά μοντέλα είναι:

$$e_i = (\Delta Y_i / \Delta X_i) * (X_i / Y_i) = \beta_i * (X_i / Y_i)$$

όπου β_i ο συντελεστής συσχέτισης της εξεταζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής, X_i η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής και Y_i η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελαστικότητας που προέκυψαν και για τα τρία μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκαν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5 Τιμές ελαστικότητας για τις ανεξάρτητες μεταβλητές των τριών μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης

	Model 1	Model 2	Model 3
Ελαστικότητα (e)	Crash Severity Fatal (All countries)	Crash Severity Fatal (High Performance)	Crash Severity Fatal (Low Performance)
KPI Speed urban roads	-2,339	-1,141	-6,231
SeatBelt KPI total	-3,911	-6,652	-13,289
New passenger cars	-1,363	-1,363	
Σχετική Επιρροή (e*)	Crash Severity Fatal (All countries)	Crash Severity Fatal (High Performance)	Crash Severity Fatal (Low Performance)
KPI Speed urban roads	-1,716	-1,000	-1,000
SeatBelt KPI total	-2,869	-5,828	-2,133
New passenger cars	-1,000	-1,194	

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, με αύξηση 1% του ποσοστού των οδηγών που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας στις αστικές περιοχές έχουμε 2,3% μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων στο σύνολο των κρατών, 1,1% μείωση για τα κράτη υψηλής επίδοσης και 6,2% μείωση για τα κράτη χαμηλής επίδοσης.

Αντίστοιχα με αύξηση 1% του ποσοστού των χρηστών ΙΧ που κάνουν σωστή χρήση της ζώνης ασφαλείας έχουμε μείωση 3,9% της σοβαρότητας των ατυχημάτων στο σύνολο των κρατών, 6,6% μείωση για τα κράτη υψηλής επίδοσης και 13,2% μείωση για κράτη χαμηλής επίδοσης.

Τέλος με αύξηση 1% του ποσοστού των νέων επιβατικών οχημάτων θα επέλθει μείωση 1,3% της σοβαρότητας των ατυχημάτων στο σύνολο των κρατών και 1,3% μείωση για τα κράτη υψηλής επίδοσης.

Για το σύνολο των κρατών, η σωστή χρήση της ζώνης ασφαλείας παρουσιάζει την μεγαλύτερη σχετική επιρροή, περίπου 1,7 μεγαλύτερη από αυτή της ταχύτητας για το σύνολο των κρατών. Για τα κράτη υψηλής επίδοσης, είναι περίπου 5,8 φορές μεγαλύτερη, ενώ για τα κράτη χαμηλής επίδοσης είναι σχεδόν διπλάσια από την επιρροή του δείκτη της ταχύτητας στη σοβαρότητα των ατυχημάτων.

Επιπλέον φαίνεται ότι η επιρροή του δείκτη ταχύτητας (KPI Speed urban roads) είναι μεγαλύτερη στα κράτη χαμηλής επίδοσης και θα προκαλέσει μεγαλύτερη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων τους σε σχέση με τις χώρες υψηλής επίδοσης. Όμοια ο δείκτης της χρήσης ζώνης ασφαλείας (SeatBelt KPI total) φαίνεται να έχει μεγαλύτερη επιρροή στα κράτη χαμηλής επίδοσης και θα προκαλέσει μεγαλύτερη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων τους σε σχέση με τα κράτη υψηλής επίδοσης.

Παρατηρείται ότι η σωστή χρήση της ζώνης ασφαλείας παρουσιάζει την **μεγαλύτερη σχετική επιρροή** στην σοβαρότητα των ατυχημάτων και κατά επέκταση στον αριθμό των νεκρών από τα οδικά ατυχήματα σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες που εξετάστηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **συγκριτική αξιολόγηση του επιπέδου οδικής ασφάλειας** μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. και η **συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας**.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε η **βιβλιογραφική αναζήτηση ερευνών** συναφών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας σε εθνικό αλλά και διεθνές επίπεδο. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων. Κύρια βάση δεδομένων αποτέλεσε το ερευνητικό έργο **«Baseline-Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety»** στο οποίο συμμετείχαν δεκαοκτώ κράτη-μέλη της Ε.Ε. με δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την περίοδο 2021-2022. Παράλληλα, αντλήθηκαν δεδομένα και από **πολλές βάσεις δεδομένων** όπως η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat) και η βάση αναλυτικών δεδομένων οδικών ατυχημάτων CARE της Ε.Ε. με στόχο την ανάπτυξη της κύριας βάσης δεδομένων της Διπλωματικής Εργασίας.

Τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία και να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στην γλώσσα προγραμματισμού R, η οποία επιλέχθηκε για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά πραγματοποιήθηκαν **τρία μοντέλα Ιεραρχικής Ομαδοποίησης των κρατών μελών της Ε.Ε.**, το πρώτο με βάση οικονομικούς δείκτες και δείκτες σχετικούς με τον στόλο των οχημάτων, το δεύτερο με βάση τους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας (ταχύτητα, χρήση μέσων προστασίας, απόσπαση προσοχής, ασφάλεια οχημάτων, παροχή ιατρικής περίθαλψης μετά το ατύχημα κ.α.) και το τρίτο με βάση των συνδυασμό όλων των δεικτών. Με βάση την τρίτη ομαδοποίηση αναπτύχθηκαν συνολικά **τρία στατιστικά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης**. Το πρώτο αφορούσε στο σύνολο των κρατών ενώ τα δύο επόμενα αφορούσαν στις δύο ομάδες κρατών που διαμορφώθηκαν από το τρίτο συνδυαστικό μοντέλο ομαδοποίησης των χωρών: τα κράτη υψηλής και χαμηλής επίδοσης.

Στα μοντέλα της γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή η σοβαρότητα των ατυχημάτων (**Crash Severity**), η οποία ορίζεται ως ο λόγος των θανάτων από τα οδικά ατυχήματα προς το σύνολο των οδικών ατυχημάτων. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέχθηκαν τα ποσοστά των νέων επιβατικών οχημάτων (**% new passenger cars**) στο σύνολο των κυκλοφορούντων οχημάτων, των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) και το ποσοστό χρήσης ζώνης ασφαλείας για το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά Ι.Χ. (**KPI Seatbelt total**). Αξίζει να σημειωθεί ότι η τελική επιλογή των μεταβλητών πραγματοποιήθηκε έπειτα από πολλές δοκιμές συνδυασμών ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών από τις οποίες επιλέχθηκαν οι στατιστικά σημαντικές. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλων

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μοντέλο 1				Μοντέλο 2				Μοντέλο 3			
	Συντελεστής β _i	t	Ελαστικότητα (ei)	Σχετική Επιρροή (ei*)	Συντελεστής β _i	t	Ελαστικότητα (ei)	Σχετική Επιρροή (ei*)	Συντελεστής β _i	t	Ελαστικότητα (ei)	Σχετική Επιρροή (ei*)
Σταθερός όρος	24,179	4,769			27,805	2,925			53,668	5,265		
% New passenger cars	-67,417	-3,534	-1,363	-1	-67,417	-3,67	-1,363	-1,194				
KPI Speed urban roads	-12,331	-4,635	-2,339	-1,716	-6,018	-2,295	1,141	-1	-32,854	-5,172	-6,231	-1
KPI Seatbelt total	-11,792	-2,139	-3,911	-2,869	-20,057	-1,922	-6,652	-5,828	-40,07	-3,578	-13,289	-2,133
R-squared	0,8547				0,7538				0,9055			

6.2 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας συνδέονται άμεσα με τον στόχο της, όπως αυτός περιγράφηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Τα σημαντικότερα εκ των συμπερασμάτων, που προέκυψαν, αναλύονται παρακάτω.

Διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) συσχετίζεται με τη μείωση της σοβαρότητας και κατά επέκταση του αριθμού των νεκρών των οδικών ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα αύξηση του δείκτη επίδοσης **KPI speed urban roads** έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του **Crash Severity** δηλαδή της σοβαρότητας των ατυχημάτων.

Επιπλέον διαπιστώθηκε και συσχέτιση του ποσοστού χρήσης ζώνης ασφαλείας για το σύνολο των επιβαινόντων σε επιβατικά Ι.Χ. (**KPI Seatbelt total**) με την σοβαρότητα των ατυχημάτων. Ειδικότερα με την αύξηση του δείκτη **KPI Seatbelt total** προκύπτει μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων, όπως επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Το ποσοστό των νέων επιβατικών οχημάτων (**% new passenger cars**) συνδέεται άμεσα με την σοβαρότητα των ατυχημάτων. Όσο αυξάνεται ο στόλος των νέων επιβατικών οχημάτων τόσο μειώνεται και η σοβαρότητα των ατυχημάτων ενδεχομένως διότι νέες τεχνολογίες και εφαρμογές καθιστούν πιο ασφαλή την οδήγηση.

Παρατηρείται ότι η σωστή χρήση της ζώνης ασφαλείας παρουσιάζει την **μεγαλύτερη σχετική επιρροή** στην σοβαρότητα των ατυχημάτων και κατά επέκταση στον αριθμό των νεκρών από τα οδικά ατυχήματα σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες που εξετάστηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Συμπεραίνεται ότι η σχετική επιρροή του ποσοστού χρήσης της ζώνης ασφαλείας στη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων είναι **μεγαλύτερη στις χώρες χαμηλών επιδόσεων** συγκριτικά με τις χώρες υψηλών επιδόσεων. Αυτό κρίνεται λογικό αφού αύξηση του ποσοστού χρήσης της ζώνης ασφαλείας σε χώρες που τα αντίστοιχα ποσοστά παραμένουν χαμηλά, θα σώσει περισσότερες ζωές σε σχέση με μία χώρα που εμφανίζει υψηλή επίδοση.

Όμοια παρατηρείται ότι η σχετική επιρροή του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε αστικές οδούς (**KPI speed urban roads**) στη μείωση

της σοβαρότητας των ατυχημάτων είναι **μεγαλύτερη στις χώρες χαμηλών επιδόσεων** συγκριτικά με τις χώρες υψηλών επιδόσεων. Αυτό κρίνεται επίσης λογικό αφού αύξηση του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας σε χώρες που τα αντίστοιχα ποσοστά παραμένουν χαμηλά, θα αυξήσει περισσότερο το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε σχέση με μία χώρα που εμφανίζει υψηλή επίδοση.

Οι χώρες της Ε.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χωρίζονται με βάση τους **δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας σε τρεις ομάδες**. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι χώρες που εμφανίζουν υψηλές επιδόσεις στους δείκτες οδικής ασφάλειας. Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν οι χώρες που οι επιδόσεις τους κινούνται στον Ευρωπαϊκό μέσο όρο ενώ η τρίτη ομάδα αποτελείται από τις χώρες που παρουσιάζουν χαμηλές επιδόσεις.

Όταν **συμπεριλαμβάνονται και οικονομικοί δείκτες, τα κράτη διαχωρίζονται σε δύο ομάδες**. Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται οι χώρες που εμφανίζουν τις υψηλότερες επιδόσεις στους περισσότερους δείκτες επίδοσης οδικής ασφάλειας και υψηλό κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. και στην δεύτερη ομάδα, οι χώρες που εμφανίζουν κυρίως χαμηλότερες επιδόσεις στην πλειοψηφία των εξεταζόμενων δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας και χαμηλότερο Α.Ε.Π..

Τέλος, παρατηρείται ότι οι οικονομικά πιο εύρωστες χώρες εμφανίζουν καλύτερες επιδόσεις στους εξεταζόμενους δείκτες επίδοσης της οδικής ασφάλειας από τις οικονομικά ασθενέστερες, το οποίο πιθανώς αποδίδεται στις πιο ανεπτυγμένες υποδομές, στην ενίσχυση και ανανέωση του στόλου των οχημάτων ή και στα σύγχρονα μέτρα οδικής ασφάλειας που εφαρμόζουν.

6.3 Προτάσεις για Αξιοποίηση των Αποτελεσμάτων

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων, είναι δυνατό να διατυπωθούν οι συνολικές προτάσεις της Διπλωματικής Εργασίας, όπως αυτές συνοψίζονται παρακάτω.

Από την πλευρά της Πολιτείας προτείνεται να γίνεται **συστηματικότερος έλεγχος**, τόσο με μηχανικά μέσα όσο και με φυσική παρουσία των ελεγκτικών προσώπων και κυριότερα εντός των αστικών οδών. Ταυτόχρονα προτείνεται η εφαρμογή αυστηρότερης νομοθεσίας όσον αφορά την επιβολή κυρώσεων για οδηγούς που υπερβαίνουν τα όρια ταχύτητας και την μη χρήση ζώνης ασφαλείας.

Συστήνεται επίσης να γίνουν **εκστρατείες ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης** των χρηστών της οδού, σχετικά με την επιρροή των υψηλών ταχυτήτων και της μη χρήσης ζώνης ασφαλείας στη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Προτείνεται να πραγματοποιηθούν πιο στοχευμένες καμπάνιες ενημέρωσης για τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει κάθε οδηγός ή επιβάτης να λαμβάνει και τη συμπεριφορά που οφείλει να υιοθετεί για την αποφυγή ατυχημάτων που μπορεί να προκαλέσουν θάνατο ή σοβαρούς τραυματισμούς.

Επιπρόσθετα, προτείνεται η **μείωση των ορίων ταχύτητας** καθολικά σε όλους τους τύπους οδών αλλά και ειδικά εντός των πόλεων. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι ένα ασφαλέστερο οδικό περιβάλλον για όλους τους χρήστες της οδού. Ταυτόχρονα, οι

χαμηλότερες ταχύτητες κίνησης μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων και επομένως την κατανάλωση καυσίμων.

Συστήνεται, επιπλέον, να δοθούν από την Πολιτεία τα απαραίτητα κίνητρα στους πολίτες με σκοπό την ενίσχυση και **ανανέωση του στόλου των οχημάτων**, με οχήματα πιο σύγχρονα που διαθέτουν εξελιγμένα συστήματα ασφαλείας και αποφυγής οδικών ατυχημάτων και συμβάλλουν θετικά στην οδική ασφάλεια.

Τέλος, μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης των επιδόσεων οδικής ασφάλειας των χωρών, δίνεται η δυνατότητα να εντοπιστούν τα **επιτυχημένα μέτρα και πολιτικές** που εφαρμόστηκαν από τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης που καταγράφουν υψηλή επίδοση οδικής ασφάλειας ώστε να αποτελέσουν **πρότυπα** για τα **κράτη με χαμηλότερες επιδόσεις**.

6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

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

Αρχικά, ενδιαφέρουσα θα ήταν η επέκταση της συγκεκριμένης έρευνας σε **μεγαλύτερο επίπεδο ανάλυσης** και με **μεγαλύτερο δείγμα**. Για το δείγμα θα μπορούσαν να προστεθούν επιπλέον δεδομένα για KPIs ενώ το επίπεδο ανάλυσης θα μπορούσε να περιλαμβάνει περιφέρειες ή και πόλεις των διάφορων χωρών της Ε.Ε.. Η μεγαλύτερη βάση δεδομένων θα είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πιο αντιπροσωπευτικών μοντέλων που ενδεχομένως θα αναδείκνυαν τη συσχέτιση περισσότερων δεικτών επίδοσης οδικής ασφάλειας με τα οδικά ατυχήματα.

Δεδομένου ότι στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, το σύνολο των δεδομένων των KPIs συλλέχθηκαν μόνο για μία χρονιά, ενδιαφέρον θα είχε η συλλογή δεδομένων για **περισσότερα έτη** έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης της εξέλιξης των επιδόσεων κάθε χώρας.

Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της συσχέτισης των ίδιων οικονομικών δεικτών και δεικτών επίδοσης της οδικής ασφάλειας με την σοβαρότητα των ατυχημάτων για περισσότερα έτη με χρήση **άλλων στατιστικών μεθόδων**. Για παράδειγμα, θα ήταν χρήσιμο να συγκεντρωθούν στοιχεία για μεγαλύτερο χρονικό εύρος και να γίνει χρήση ανάλυσης χρονοσειρών.

7. Βιβλιογραφία

1. Baseline project: “Collection of Key Performance Indicators (KPIs) for road safety” (2021-2022), https://road-safety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory/data-and-analysis/key-performance-indicators-kpis_en
2. Community database on road accidents (CARE database), https://road-safety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory/methodology-and-research/care-database_en. Data retrieved in May 2023.
3. European Commission (2023). Press Release: Road safety in the EU: fatalities below pre-pandemic levels but progress remains too slow, Brussels, February 2023, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_953
4. European Commission (2022). Road Safety targets Monitoring, June 2022. European Road Safety Observatory. Brussels, European Commission, Directorate General for Transport. Online available at: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2022-07/erso_road_safety_targets_monitoring_20220706.pdf
5. European Commission (2021). Press Release: Road safety: 4,000 fewer people lost their lives on EU roads in 2020 as death rate falls to all-time low, Brussels, April 2021, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1767
6. European Commission (2019). Commission staff working document EU road Safety Policy Framework 2021-2030 - Next steps towards "Vision Zero". SWD (2019) 283 final, <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/legislation/swd20190283-roadsafety-vision-zero.pdf>
7. Eurostat database: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>. Data retrieved in May 2023.
8. Folla K., Charalampidi M., Yannis G., “Investigation of factors affecting serious crash injuries in Europe”, Proceedings of the 10th International Congress on Transportation Research (1-3 September 2021)
9. Folla K., Nikolaou P., Dimitriou L., Yannis G., “Benchmarking Analysis of Road Safety Levels for an Extensive and Representative Dataset of European Cities”, Advances in Mobility-as-a-Service Systems, November 2020, pp. 1066-1075
10. Hedlund J., Arnold R., Cerrelli E., Partyka S., Hoxie P., Skinner D. (1984). An Assessment of the 1982 Traffic Fatality Decrease. Accident Analysis and Prevention, Vol:16, No. 4, pp.247-261
11. Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009). Benchmarking Road Safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. Accident Analysis & Prevention, 41, pp. 174–182

12. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning*. Springer.
13. Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley.
14. Kimberly A. Krull, Asad J. Khattak & Forrest M. Council (2000). Injury Effects of Rollovers and Events Sequence in Single-Vehicle Crashes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1717(1), pp. 46-54. <https://doi.org/10.3141/1717-07>.
15. Li X., Wu L., Yang X. (2018). Exploring the impact of social economic variables on traffic safety performance in Hong Kong: A time series analysis. *Safety Science*, Volume 109, Pages 67-75
16. National Technical University of Athens Road Safety Observatory (NTUA), <https://www.nrso.ntua.gr/data/>
17. Pei, X., Wong, S. C., & Sze, N. N. (2012). The roles of exposure and speed in road safety analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 48, pp. 464–471. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2012.03.005>
18. Pires, C., Torfs, K., Areal, A., Goldenbeld, C., Vanlaar, W., Granié, M. A., & Meesmann, U. (2020). Car drivers' road safety performance: A benchmark across 32 countries. *IATSS research*, 44(3), pp. 166-179
19. Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Da Ruan, Wets, G., & Vanhoof, K. (2011). A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38, 15262–15272
20. Van den Berghe W., Silverans P., Boudry E., Aarts L., Bijleveld F., Folla K., Yannis G. (2021). A Common Methodology for the Collection of Key Performance Indicators for Road Safety in the EU, 10th International Congress on Transportation Research.
21. WHO (2018). Global status report on road safety 2018. World Health Organisation, Geneva, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
22. Yuxuan Hu, Ke Li and Anran Meng, Agglomerative Hierarchical Clustering using Ward Linkage (2018), <https://jbhender.github.io/Stats506/F18/GP/Group10.html>
23. Zambon, F., Fedeli, U., Visentin, C., Marchesan, M., Avossa, F., Brocco, S., & Spolaore, P. (2007). Evidence-based policy on road safety: the effect of the demerit points system on seat belt use and health outcomes. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 61(10), 877- 881
24. Φραντζεσκάκης Ι., Γκόλιας Ι., “Οδική ασφάλεια”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994