



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

## Οικονομικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας πριν και μετά την περίοδο της κρίσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βαλεντίνα- Μαρίνα Βασίλη

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2019



# Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	3
1 Εισαγωγή.....	10
1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	10
1.2 Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας .....	14
1.3 Μεθοδολογία .....	14
1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	17
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες.....	18
2.3 Σύνοψη- Κριτική Αξιολόγηση .....	24
3 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Βασικές έννοιες Στατιστικής.....	27
3.3 Συσχέτιση Μεταβλητών- Συντελεστής Συσχέτισης.....	29
3.4 Βασικές κατανομές.....	29
3.4.1 Κανονική κατανομή.....	29
3.4.2 Κατανομή Poisson.....	30
3.4.3 Αρνητική διωνυμική κατανομή.....	31
3.5 Μαθηματικά Μοντέλα.....	31
3.5.1 Γραμμική Παλινδρόμηση.....	31
3.5.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση.....	33
3.5.3 Γενικό γραμμικό μοντέλο .....	34
3.6 Αυτοσυσχέτιση.....	35
3.7 Γραμμικό μικτό μοντέλο .....	36
3.8 Στατιστική Αξιολόγηση και κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	39
4 Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων .....	42
4.1 Εισαγωγή.....	42
4.2 Συλλογή στοιχείων .....	42
4.2.1 Βάσεις δεδομένων .....	42
4.2.2 Προβλήματα κατά τη συλλογή των στοιχείων και επιλύσή τους.....	43
4.3 Επεξεργασία στοιχείων .....	44
5 Εφαρμογή μεθοδολογίας και αποτελέσματα .....	50
5.1 Εισαγωγή.....	50
5.2 Δημιουργία βάσης δεδομένων.....	51
5.3 Εισαγωγή στοιχείων στο SPSS και τρόπος ανάπτυξης γραμμικού μικτού μοντέλου .....	52
5.4 Στατιστικός έλεγχος γραμμικού μικτού μοντέλου .....	56
5.5 Ανάπτυξη μοντέλου για το σύνολο των κρατών της Ευρώπης χωρισμένων σε groups πριν την κρίση.....	57
5.5.1 Αποτελέσματα μοντέλου.....	57
5.5.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων μοντέλου .....	60
5.6 Ανάπτυξη μοντέλου για το σύνολο των κρατών της Ευρώπης μετά την κρίση.....	61
Αποτελέσματα μοντέλου.....	61
5.6.1 Αποτελέσματα μοντέλου.....	61
5.6.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων μοντέλου .....	64
5.7 Σχετική επιρροή μεταβλητών.....	65
5.8 Ανάλυση ευαισθησίας.....	66
5.8.1 Σύγκριση διαγραμμάτων ευαισθησίας πριν και μετά την κρίση.....	70

5.9	Συγκριτική αξιολόγηση στα μοντέλα πριν και μετά την κρίση για το σύνολο των κρατών	70
6	Συμπεράσματα	71
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων	71
6.2	Συμπεράσματα	73
6.3	Προτάσεις	74
6.4	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	75
7	Βιβλιογραφία	76

## Ευχαριστίες

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

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω εξίσου θερμά την Κατερίνα Φώλλα, υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π. και τον Δημήτρη Νικολάου για τις συμβουλές και τις υποδείξεις τους πάνω σε σημαντικά θέματα της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τον αγαπημένο μου Φώτη για όλη τη στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2019  
Βαλεντίνα Βασίλη



## **ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ**

Βασίλη Βαλεντίνα Μαρίνα  
Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

### **ΣΥΝΟΨΗ**

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθούν οι οικονομικοί, κοινωνικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας πριν και μετά την περίοδο της κρίσης στην Ευρώπη. Για την ανάλυση αναπτύχθηκε μία βάση δεδομένων που περιελάμβανε στοιχεία για το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. (GDP), τα χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμων ανά χιλιόμετρο οδικού δικτύου, το στόλο οχημάτων ανά πληθυσμό και τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα για τα κράτη της Ευρώπης τη χρονική περίοδο 2000-2016. Εφαρμόστηκαν Γραμμικά Μικτά Μοντέλα για το σύνολο των κρατών χωρισμένα σε ομάδες κρατών που επιλέχθηκαν (χαμηλή οικονομική επίδοση, μεγάλες χώρες, υψηλή οικονομική επίδοση). Τα αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. έχει τη μεγαλύτερη επιρροή και διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του συσχετίζεται με τη μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Επιπλέον, η αύξηση των χιλιομέτρων των αυτοκινητοδρόμων συμβάλλει θετικά στη μείωση του αριθμού των νεκρών στα ατυχήματα. Μετά την οικονομική κρίση η επίδραση της οικονομίας είναι ακόμα μεγαλύτερη. Όσον αφορά στο λογάριθμο των οχημάτων ανά πληθυσμό, παρατηρείται μείωση της σχετικής επιρροής στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα την περίοδο μετά την οικονομική κρίση.

Λέξεις κλειδιά: οδικά ατυχήματα, ΑΕΠ, στόλος οχημάτων, αυτοκινητόδρομοι, οικονομική κρίση, γραμμικό μικτό μοντέλο

# **IMPACT OF ECONOMIC, SOCIAL AND TRANSPORT INDICATORS ON ROAD SAFETY DURING THE CRISIS PERIOD IN EUROPE**

Vasili Valentina Marina  
Supervisor: George Yannis, Professor, NTUA

## **ABSTRACT**

The objective of this Diploma Thesis is to investigate the impact of economic, social and transport indicators on road safety before and after the crisis period in Europe. For this analysis a database containing Gross Domestic Product per capita (GDP), motorway-kilometers per road network-kilometers, vehicle fleet per population and road fatalities for European states for 2000-2016 was developed. Linear Mixed Models were developed and applied for all European states tested that were divided into different group of states that were selected (low economic performance, largest countries, high economic performance). The results led to the conclusion that Gross Domestic Index per capita has the most important impact and its increase leads to road fatalities decrease. Moreover, the increase of motorway-kilometers per road network positively affects the road fatalities decrease. After the economic crisis, the impact of the GDP is even higher. Concerning the vehicle fleet per population, there is a decrease in the relative impact on the number of road fatalities after the economic crisis.

Key-words: road fatalities, GDP, vehicle fleet, motorways, economic crisis, Linear Mixed Models



## Περίληψη

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθούν οι οικονομικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας συγκριτικά πριν και μετά την περίοδο της κρίσης στην Ευρώπη με τη χρήση στατιστικών μοντέλων.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε η βιβλιογραφική αναζήτηση ερευνών συναφών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και παγκοσμίως.

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων από βάσεις διάφορων οργανισμών, όπως η EUROSTAT και αναπτύχθηκε η σχετική βάση δεδομένων.

Τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία και να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στο ειδικό στατιστικό λογισμικό. Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο. Αναπτύχθηκαν συνολικά **δύο στατιστικά μοντέλα** με τις ίδιες μεταβλητές για πριν και μετά την κρίση όπως αυτή ορίστηκε ξεχωριστά για κάθε χώρα μέσω των διαγραμμάτων Α.Ε.Π.-Year. Για κάθε περίοδο οι χώρες είχαν χωριστεί στα κράτη με χαμηλή οικονομική επίδοση, τις μεγάλες χώρες και τα κράτη με υψηλή οικονομική επίδοση. Σε όλα τα μοντέλα επιλέχθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή ο λογάριθμος του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά πληθυσμό και ως ανεξάρτητες μεταβλητές ο λογάριθμος του Α.Ε.Π, η τετραγωνική ρίζα των αυτοκινητοδρόμων ανά χιλιόμετρα οδικού δικτύου και ο λογάριθμος του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων τόσο για πριν όσο και για μετά την κρίση, έγινε μετά από αρκετές δοκιμές για διάφορους συνδυασμούς ανεξάρτητων μεταβλητών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων.

Παράμετρος	Πριν				Μετά			
	Estimate	t	Sig.	ei*	Estimate	t	Sig.	ei*
Σταθερός Όρος	7,030	17,920	0,000		8,647	13,982	0,000	
[Γκρουπ=1]	7,821	6,074	0,000		3,383	2,603	0,011	
[Γκρουπ=2]	19,101	6,310	0,000		6,873	2,089	0,031	
LN(οχήματα/ πληθυσμό)	0,369	4,639	0,000	-5,17	0,174	2,243	0,025	-1,33
Τετρ_ριζα (αυτοκινητοδρομοι/ δίκτυο)	-0,044	-2,441	0,015	-1	-0,067	-2,208	0,029	-1
LN(A.E.Π.)	-0,192	-5,282	0,000	-36,79	-0,445	-7,365	0,000	-62,77
[Γκρουπ=1] * LN(οχήματα/ πληθυσμό)	0,378				0,509	1,873	0,064	
[Γκρουπ=2] * LN(οχήματα/ πληθυσμό)	0,514	1,705	0,090		3,626	5,764	0,000	
[Γκρουπ=1] * Τετρ_ριζα (αυτοκινητοδρομοι/ δίκτυο)	-0,177	-2,063	0,040		0,101			
[Γκρουπ=2] * Τετρ_ριζα (αυτοκινητοδρομοι/ δίκτυο)	-0,228	-2,530	0,012		-0,289	-2,415	0,018	
[Γκρουπ=1] * LN(A.E.Π.)	-0,751	-6,343	0,000		-0,300	-2,418	0,017	
[Γκρουπ=2] * LN(A.E.Π.)	-1,855	-6,543	0,000		-0,472	-2,047	0,053	
Παράμετρος	Estimate	Wald z	Sig.		Estimate	Wald z	Sig.	
Υπόλοιπο	0,036	10,464	0,000		0,035	7,141	0,000	

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν αποτελέσματα άμεσα συνδεδεμένα με τον κύριο στόχο που είχε τεθεί αρχικά. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Διαπιστώθηκε ότι η **αύξηση του Α.Ε.Π.** (GDP) συσχετίζεται με τη μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Πρόκειται για έναν δείκτη που συνεπάγεται την υψηλότερη κουλτούρα οδικής ασφάλειας, επομένως οι σχέσεις που προέκυψαν είναι σύμφωνες με τη διεθνή βιβλιογραφία.
- Η **αύξηση του στόλου οχημάτων** ανά πληθυσμό (FI/P) συσχετίζεται με τη αύξηση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Συμπέρασμα το οποίο ίσως οφείλεται στο ότι αύξηση των οχημάτων ανά πληθυσμό συνεπάγεται αύξηση της έκθεσης σε κίνδυνο των χρηστών της οδού και κατά συνέπεια υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος τραυματισμού σε ατύχημα. Αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, καθώς αντικρούεται από το γεγονός ότι ο συντελεστής της σχετικής επιρροής του λογαρίθμου του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό  $\ln FI/P$  προέκυψε αρνητικός, το οποίο συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του  $\ln FI/P$  έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.
- Η **αύξηση των χιλιομέτρων αυτοκινητοδρόμων** ανά χιλιομέτρων οδικού δικτύου (Motorw/Road) συσχετίζεται με τη μείωση των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Συμπέρασμα, λογικό διότι οι αυτοκινητόδρομοι ανεβάζουν το επίπεδο της κυκλοφορίας με τον καλό σχεδιασμό τους αλλά και τον διαχωρισμό των κατευθύνσεων με διάζωμα.
- Η **εξέλιξη της οικονομίας** επιδρά στην εξέλιξη των οδικών ατυχημάτων περισσότερο από τους συγκοινωνιακούς δείκτες. Η **επιρροή** της μεταβλητής του ΑΕΠ είναι **μεγαλύτερη μετά την κρίση** από ότι πριν την κρίση (1,7 φορές μεγαλύτερη).
- Από το μοντέλο **πριν την κρίση** προέκυψε ότι η **ομάδα των μεγάλων χωρών συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα κατά 19 φορές περισσότερο από την ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση**, ενώ στο αντιστοιχο μοντέλο μετά την κρίση συμβάλλει σχεδόν 7 φορές περισσότερο . Αυτό ίσως οφείλεται σε πληθυσμιακούς και κοινωνικούς παράγοντες (ανισότητες, κλπ) που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

- Η **επιρροή της μεταβλητής του στόλου των οχημάτων** είναι μεγαλύτερη πριν την κρίση από ότι μετά τη κρίση (σχεδόν 4 φορές μεγαλύτερη). Αυτό μπορεί να οφείλεται στη γενική μείωση κυκλοφορίας οχημάτων στους δρόμους λόγω επιφυλακτικότητας μετά την κρίση, αλλά είναι ένα θέμα που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.
- Γενικά, στα διαγράμματα ευαισθησίας που παρουσιάστηκαν **δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην επιρροή** των υπό εξέταση μεταβλητών στην οδική ασφάλεια **μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων**
- Μικρή σχετικά διαφορά φαίνεται να υπάρχει στη **μεταβολή της επιρροής του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό στα οδικά ατυχήματα στα κράτη με υψηλή οικονομική επίδοση**, και μάλιστα η επιρροή αυτή είναι μεγαλύτερη **μετά την οικονομική κρίση**. Αυτό το γεγονός μπορεί να οφείλεται και σε άλλους κοινωνικούς παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω (π.χ. μετανάστευση, πληθυσμιακές αλλαγές, κλπ.)
- Η μέθοδος του **Γραμμικού Μικτού Μοντέλου** είναι κατάλληλη για την ανάλυση της επιρροής οικονομικών, κοινωνικών και συγκοινωνιακών δεικτών στην οδική ασφάλεια.

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενική Ανασκόπηση

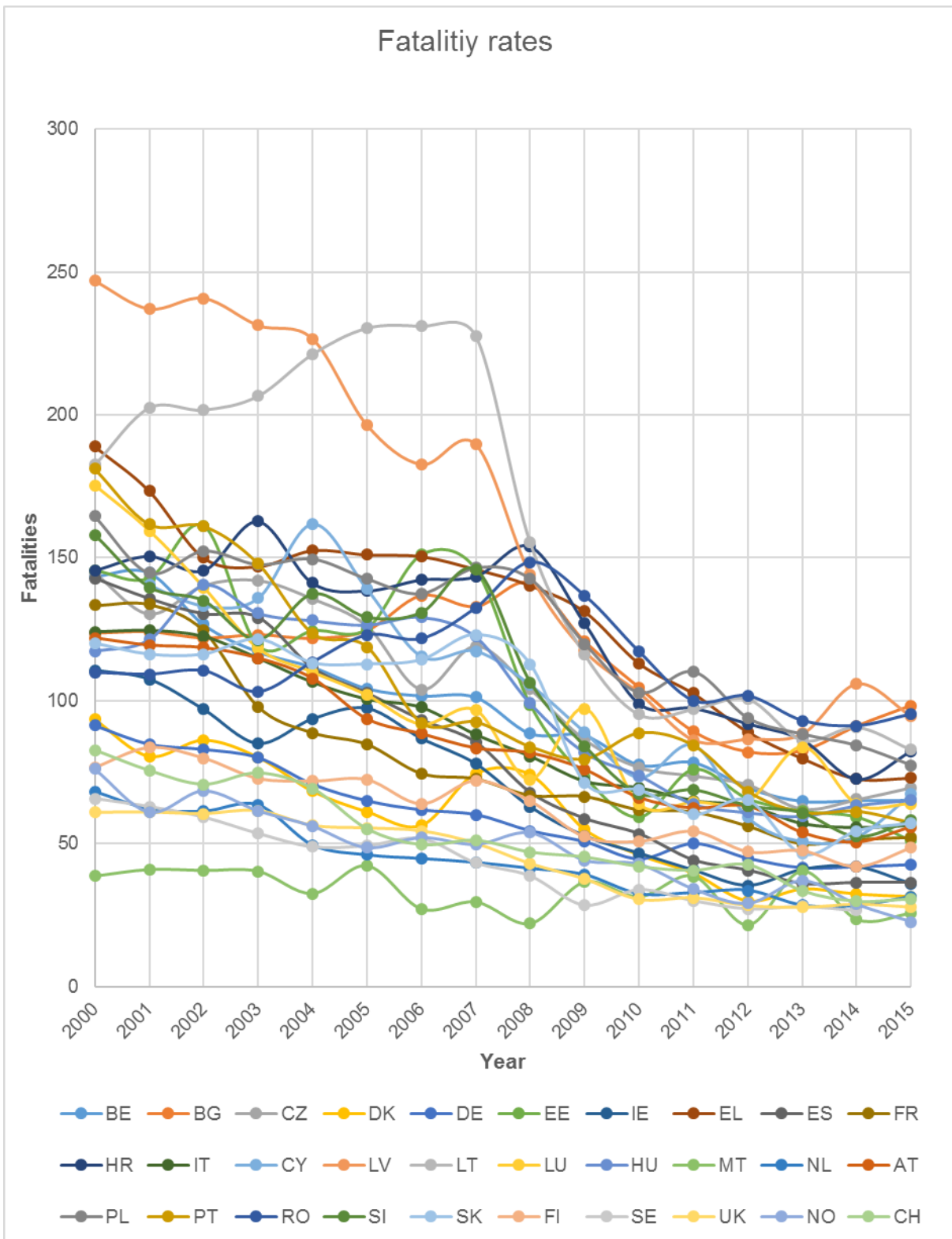
Στη σύγχρονη κοινωνία οι οδικές μεταφορές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Η συμβολή τους στην ανάπτυξη και στην πρόοδο της κοινωνίας είναι αδιαμφισβήτητη. Ωστόσο, ο σύγχρονος τρόπος ζωής ο οποίος οδηγεί σε διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις, έχει ως αποτέλεσμα αρνητικές κοινωνικές συνέπειες, οι οποίες εκφράζονται και σε μεγάλες καθημερινές ανθρώπινες απώλειες και σοβαρούς τραυματισμούς σε οδικά ατυχήματα.

Τα οδικά ατυχήματα έχουν τεράστιο κοινωνικό και οικονομικό κόστος, γεγονός που καθιστά προτεραιότητα για κάθε χώρα τον περιορισμό τους. Στην αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού το επιστημονικό πεδίο της οδικής ασφάλειας, το οποίο συνεχώς αναπτύσσεται, στοχεύει στη μείωση του κινδύνου θανάτου ή σοβαρού τραυματισμού για τους χρήστες ενός οδικού δικτύου. Λόγω του τεράστιου κοινωνικού και οικονομικού κόστους των οδικών ατυχημάτων, οι επιδόσεις οδικής ασφάλειας αποτελούν κρίσιμο αντικείμενο μελέτης παγκοσμίως.

Εκτιμάται ότι περίπου 1,25 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους σε οδικά ατυχήματα παγκοσμίως, ενώ οι τραυματισμοί από οδικά ατυχήματα αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου για τους νέους μεταξύ ηλικίας 15 και 29 χρόνων.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο ετήσιος αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα ανέρχεται στους 25.500 (European Commission, 2017) και στην Ελλάδα 740 (ΕΛ. ΣΤΑΤ. 2018). Η κρισιμότητα των οδικών ατυχημάτων έχει καταστήσει αναγκαίες τις συντονισμένες προσπάθειες για βελτίωση της οδικής ασφάλειας τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο.

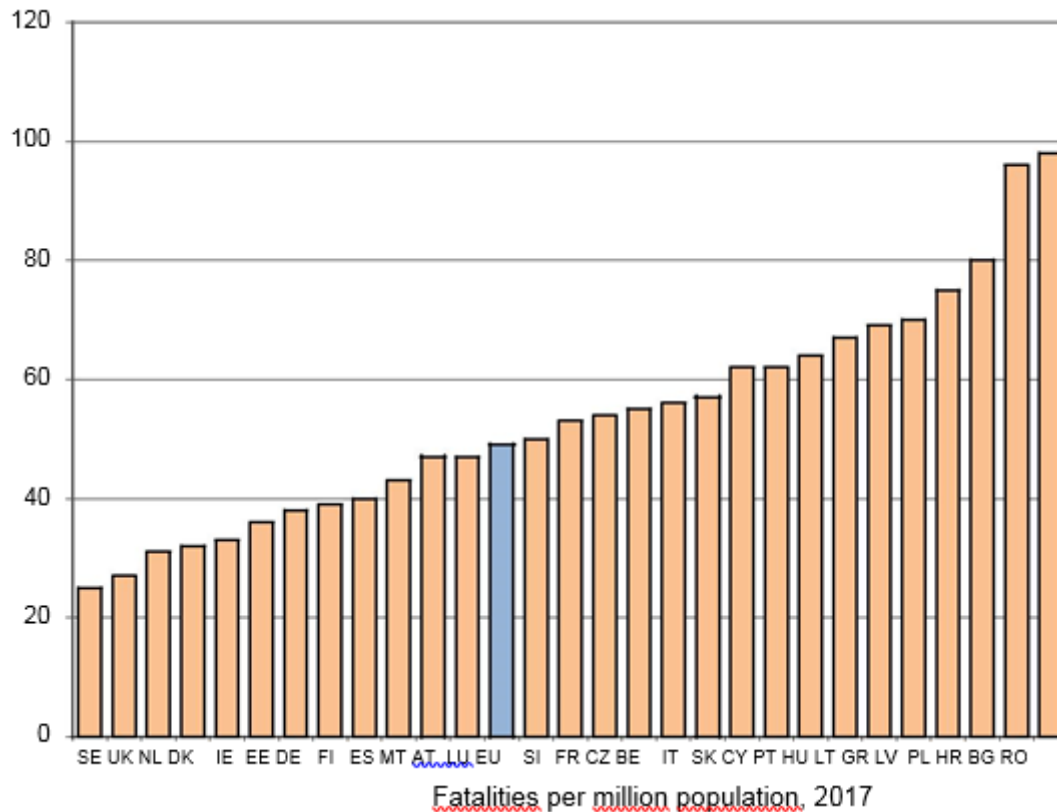
Για τον ορισμό της κρίσης έγινε η διαχρονική εξέλιξη του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. για τις 28 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς και της Νορβηγίας, της Ελβετίας και της Ισλανδίας κατά την χρονική περίοδο 2000-2016, η οποία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1.1: Αριθμός νεκρών κάθε χώρας κατά την περίοδο 2000- 2016

Για να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη των ατυχημάτων χρησιμοποιούνται διεθνώς διάφοροι δείκτες ατυχημάτων οι οποίοι ανάγουν τον αριθμό των ατυχημάτων

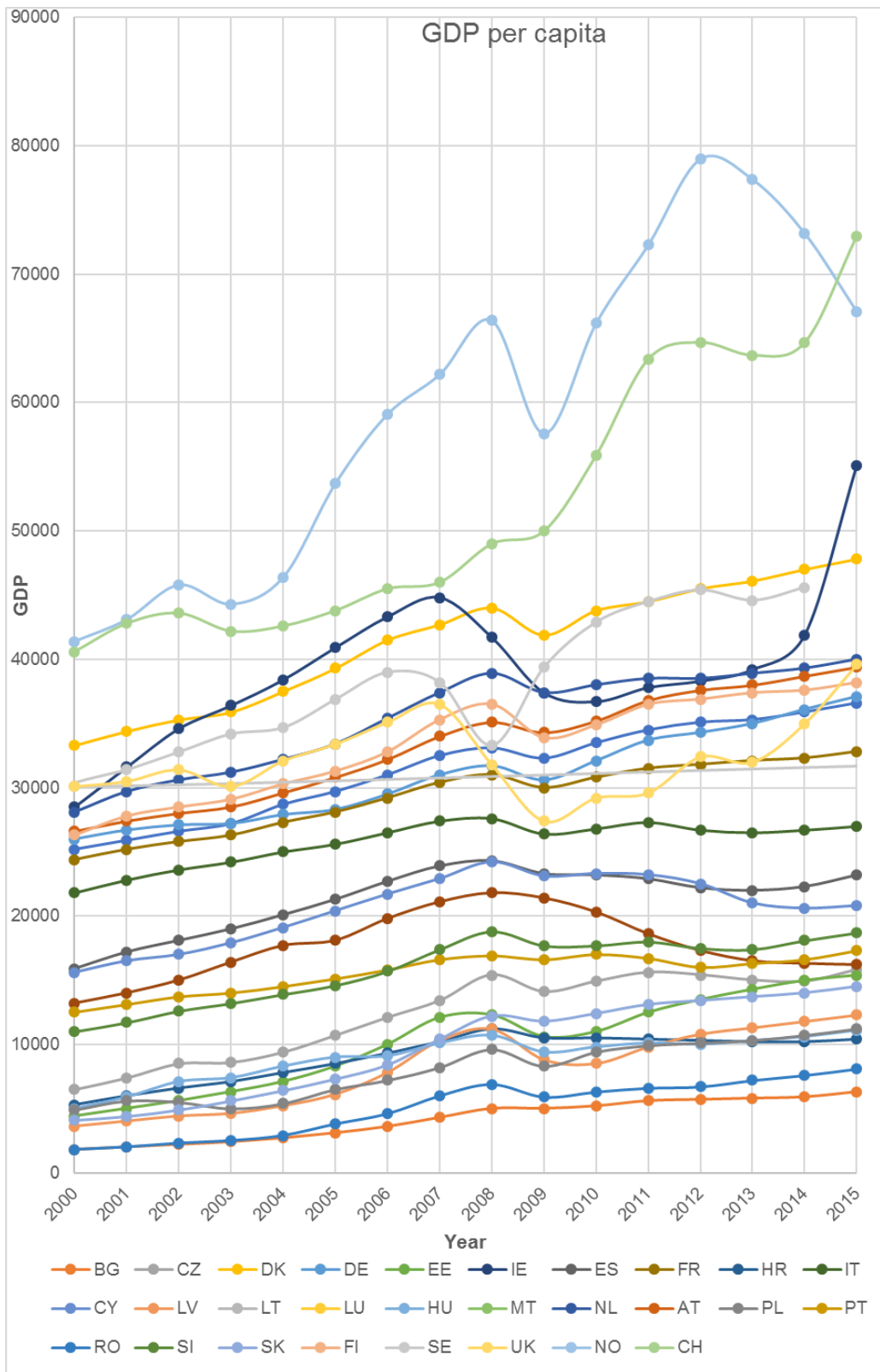
(νεκροί, τραυματίες, συνολικό κόστος ή κόστος υλικών ζημιών) ως προς κάποιο μέγεθος που εκφράζει το οδικό έργο στο οποίο αντιστοιχούν (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας 1994). Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι νεκροί ανά εκατομμύριο πληθυσμού.



Σχήμα 1.2: Αριθμός νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού κάθε χώρας το 2017

Τα οικονομικά μεγέθη μιας χώρας έχουν σημαντική επιρροή στην οδική ασφάλεια αλλά δεν αποτελούν τους μοναδικούς παράγοντες που την επηρεάζουν. Κοινωνικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες όπως για παράδειγμα το ποσοστό ανεργίας, ο αριθμός μοτοσυκλετών, το ποσοστό των αυτοκινητοδρόμων, ο συνολικός αριθμός του στόλου των οχημάτων συνδέονται και αυτά με τη σειρά τους με τον αριθμό των οδικών ατυχημάτων. Αντιλαμβάνεται κανείς λοιπόν, την πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο ζήτημα και τη δυσκολία για αξιόπιστες προβλέψεις για τη μελλοντική πορεία της οδικής ασφάλειας.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το κατά κεφαλήν ΑΕΠ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά το διάστημα των ετών 2010-2016 με βάση το οποίο έγινε ένας πρώτος έλεγχος της οικονομικής κατάστασης και της εμφάνισης της κρίσης διαγραμματικά.



Σχήμα 1.3: ΑΕΠ κάθε χώρας κατά την περίοδο 2000- 2016



## 1.2 Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής Εργασίας είναι να **διερευνηθούν οι οικονομικοί, κοινωνικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας στην περίοδο της κρίσης στην Ευρώπη** με τη χρήση στατιστικών μοντέλων.

Επιχειρείται να συνδεθεί ο αριθμός των νεκρών στα οδικά ατυχήματα στις χώρες της Ευρώπης με οικονομικούς, κοινωνικούς και συγκοινωνιακούς δείκτες. Ως οικονομικός δείκτης επιλέχθηκε το ΑΕΠ (GDP) πριν και μετά την οικονομική κρίση κάθε χώρας. Ως κοινωνικός δείκτης επιλέχθηκε ο αριθμός οχημάτων (επιβατικών και μη και μοτοσυκλετών) ανά πληθυσμό και ως συγκοινωνιακός τα χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμων ανά χιλιόμετρα οδικού δικτύου.

Ανάμεσα στα Ευρωπαϊκά κράτη παρατηρούνται διαφοροποιήσεις σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο καθώς και σε πολιτικές οδικής ασφάλειας. Επιλέχθηκε κατά συνέπεια η υποδιαίρεση της Ευρώπης σε τρεις διαφορετικές ομάδες κρατών με παρόμοια χαρακτηριστικά της οικονομίας και της οδικής ασφάλειας. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα κράτη με υψηλή οικονομική επίδοση (high economic performance), η δεύτερη ομάδα τα μεγάλα κράτη (largest countries) και η τρίτη ομάδα τα κράτη με χαμηλή οικονομική επίδοση (low economic performance), όπως αυτές προέκυψαν από σχετική στατιστική ανάλυση παλινδρόμησης (Μίχου, 2018).

Πιο αναλυτικά, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία περιγράφονται μαθηματικά μοντέλα για τα κράτη της Ευρώπης χωρισμένα σε groups (με εξαίρεση κάποιων χαμηλά πληθυσμιακών χωρών: η Λιθουανία, η Μάλτα, το Λουξεμβούργο, η Ισλανδία και το Λιχτενστάιν). Στο μαθηματικό μοντέλο του συνόλου των κρατών διερευνάται επίσης η επίδραση της κάθε ομάδας χωρών σε συγκριτικό επίπεδο. Συνεπώς επιδιώκεται μέσω των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας, να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο το ΑΕΠ, ο αριθμός οχημάτων και τα χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμου επηρεάζουν τους νεκρούς, καθώς και να γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση των ομάδων των κρατών.

Επισημαίνεται ότι ο αριθμός των νεκρών σε κάθε χώρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από άλλους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η οδηγική συμπεριφορά κλπ.

## 1.3 Μεθοδολογία

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

Αρχικά, μετά τον προσδιορισμό του θέματος και του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Αναζητήθηκαν δηλαδή παρεμφερείς έρευνες και επιστημονικά άρθρα με θέμα σχετικό με εκείνο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Μέσω των ερευνών αυτών καταβλήθηκε προσπάθεια απόκτησης σχετικής εμπειρίας στην επεξεργασία τέτοιων θεμάτων, καθώς επίσης οι γνώσεις που αντλήθηκαν από αυτές συνέβαλλαν στην επιλογή μεθόδου συλλογής και επεξεργασίας στοιχείων.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η συλλογή των στοιχείων που απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν αρχικά ήταν για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε., την Νορβηγία και την Ελβετία για την χρονική περίοδο 2000-2016, ο πληθυσμός, ο αριθμός των νεκρών στα οδικά ατυχήματα ανά τέταρτα του κάθε χρόνου, το ΑΕΠ ανά τέταρτα του κάθε χρόνου, τα ποσοστά ανεργίας ανά τέταρτα του κάθε χρόνου. Τα στοιχεία αυτά συλλέχθηκαν από τη Eurostat και η στατιστική ανάλυση τους χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς δεν απέφερε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα.

Αργότερα, τα νέα στοιχεία που συλλέχθηκαν ήταν για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε., την Νορβηγία και την Ελβετία για την χρονική περίοδο 2000-2016, ο πληθυσμός, ο ετήσιος αριθμός των νεκρών στα οδικά ατυχήματα, το ετήσιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ, ο αριθμός των οχημάτων, ο στόλος επιβατηγών οχημάτων, μηχανών και τα χιλιόμετρα του οδικού δικτύου καθώς και τα χιλιόμετρα των αυτοκινητοδρόμων. Τα στοιχεία αυτά αντλήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων της Eurostat για τον πληθυσμό και τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα και της διεθνούς ομοσπονδίας οδών (IRF) για τα τον αριθμό των οχημάτων, μηχανών και τα χιλιόμετρα του οδικού δικτύου καθώς και τα χιλιόμετρα των αυτοκινητοδρόμων.

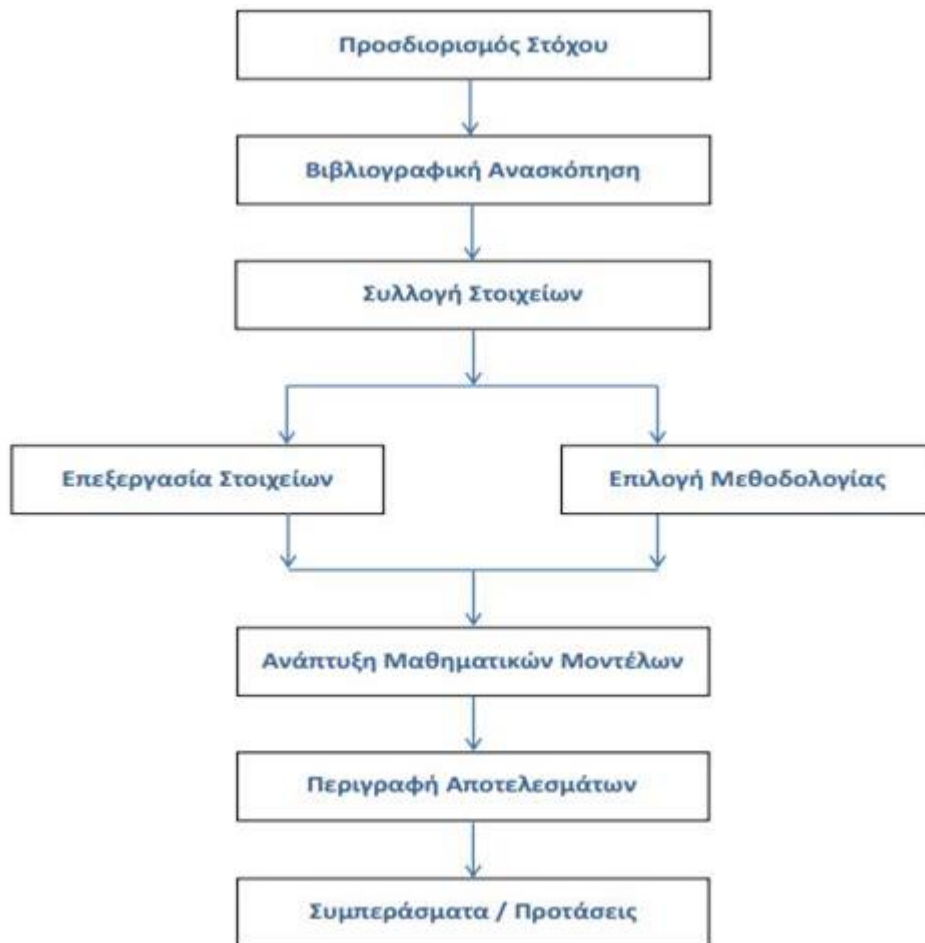
Στο επόμενο στάδιο τα συλλεχθέντα στοιχεία επεξεργάστηκαν κατάλληλα και έπειτα ταξινομήθηκαν σε μια ενιαία βάση δεδομένων προκειμένου να είναι έτοιμα για το στάδιο της στατιστικής ανάλυσης με τη χρήση ειδικού στατιστικού λογισμικού.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Το σύνολο των κρατών χωρίστηκε σε τρεις ομάδες και πιο συγκεκριμένα σε αυτές με χαμηλή οικονομική επίδοση (low economic performance), σε αυτές με υψηλή οικονομική επίδοση (high economic performance) και σε μεγάλες χώρες (largest countries). Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση του κάθε κράτους της κάθε ομάδας κρατών στα τελικά μοντέλα επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το **Μικτό Γραμμικό Μοντέλο καθώς θα συνυπολογίζει την αλληλεπίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών**. Στη φάση αυτή συσχετίστηκαν η μεταβολή (και μη) του λογαρίθμου του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα ανά πληθυσμό (ως εξαρτημένη μεταβλητή) με το GDP, ο αριθμός των οχημάτων (και μηχανών) και τα χιλιόμετρα του οδικού δικτύου καθώς και τα χιλιόμετρα των αυτοκινητοδρόμων, καθώς και με το κράτος ή την ομάδα κρατών. Οι μεταβλητές που τελικά κρίθηκαν καλύτερες όσον αφορά τη στατιστική σημαντικότητα τελικά ήταν: η τετραγωνική ρίζα των χιλιομέτρων αυτοκινητοδρόμων ανά χιλιόμετρα οδικού δικτύου, ο λογάριθμος

του ετήσιου κατά κεφαλήν ΑΕΠ και ο λογάριθμος του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό.

Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας προέκυψαν δύο εξισώσεις. Η μία αφορά το πριν της κρίσης και η άλλη αφορά το μετά της κρίσης για τις χώρες ανάλογα το πότε ορίστηκε η κρίση για την καθεμία. Έπειτα έγινε αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Με βάση αυτά εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τον βαθμό και τον τύπο της επιρροής των εκάστοτε ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη, καθώς και για τη σύγκριση μεταξύ των χωρών της Ευρώπης. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν πληροφορίες για το υπό εξέταση ζήτημα και διατυπώθηκαν αξιόλογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια εκτέλεσης της Διπλωματικής Εργασίας.



Σχήμα 1.4: Στάδια εκτέλεσης της Διπλωματικής Εργασίας.

## 1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζει στον αναγνώστη το γενικότερο πλαίσιο της οδικής ασφάλειας. Ξεκινά με μια αναφορά στο γενικότερο πρόβλημα της οδικής ασφάλειας στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Ύστερα, παρουσιάζεται ο επιδιωκόμενος στόχος της Διπλωματικής Εργασίας και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης όπως αυτά προέκυψαν από την αναζήτηση ερευνών με παρεμφερές αντικείμενο, δηλαδή την επιρροή οικονομικών, κοινωνικών και συγκοινωνιακών δεικτών στην οδική ασφάλεια. Παρατίθενται εργασίες από την Ελλάδα αλλά και από το εξωτερικό, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί σε συνέδρια, επιστημονικά περιοδικά, άρθρα ή συγγράμματα. Έπειτα πραγματοποιείται σύνοψη των αποτελεσμάτων των ερευνών και κριτική αξιολόγηση τους, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσον κάποιες από αυτές είναι ικανές να συμβάλλουν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της Διπλωματικής Εργασίας, παρουσιάζεται και αναλύεται η επιλεγείσα μεθοδολογία, ενώ δίνεται και ιδιαίτερη έμφαση στις μαθηματικές και στατιστικές θεωρίες στις οποίες αυτή βασίζεται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των διαδικασιών της συλλογής και επεξεργασίας, στα οποία στηρίχθηκε η Διπλωματική Εργασία. Αρχικά παρουσιάζονται οι πηγές των στοιχείων και τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Έπειτα αναλύεται ο τρόπος κωδικοποίησης των στοιχείων, καθώς και η επεξεργασία που υπέστησαν ώστε να χρησιμοποιηθούν στη στατιστική ανάλυση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής των τελικών μαθηματικών μοντέλων. Αρχικά γίνεται αναφορά στις διάφορες δοκιμές που διενεργήθηκαν, ακόμα και σε εκείνες που δεν οδήγησαν σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τελικά μοντέλα και παράλληλα παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα, συνοδευόμενα από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις.

Στο έκτο κεφάλαιο, έπειτα από τη σύνοψη των αποτελεσμάτων, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ερμηνεία των εξαγόμενων μοντέλων. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα.

## **2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

### **2.1 Εισαγωγή**

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και περιλαμβάνει τα από έρευνες συναφείς τόσο με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας όσο και με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται έρευνες που αφορούν στη συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με οικονομικούς, κοινωνικούς και συγκοινωνιακούς δείκτες. Τα στοιχεία που εξετάζονται προκύπτουν από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα, αλλά και στο εξωτερικό. Για κάθε εργασία γίνεται συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και στα συμπεράσματα που προέκυψαν. Τέλος, με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προσδιορίστηκε το ακριβές αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και επιχειρήθηκε να επιλεγεί η καταλληλότερη μεθοδολογία.

### **2.2 Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες**

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας με στόχο τον προσδιορισμό ενός αντικείμενου της Διπλωματικής Εργασίας, το οποίο δεν έχει καλυφθεί πλήρως (τουλάχιστον στην Ελλάδα), συμπληρώνοντας έτσι υπάρχουσες εργασίες. Επιπλέον, επιτρέπει τον έλεγχο εάν τα αποτελέσματα της Διπλωματικής Εργασίας συμφωνούν με εκείνα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Αντίστοιχα, η ανασκόπηση συναφών μεθοδολογιών έχει στόχο την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας. Αντίστοιχα, η ανασκόπηση συναφών μεθοδολογιών έχει στόχο την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας για την αντιμετώπιση του αντικείμενου της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο πανεπιστήμιο του Michigan ο Alexander C. Wagenaar διερεύνησε το 1983 τις επιπτώσεις των μακροοικονομικών συνθηκών στη συχνότητα οδικών ατυχημάτων. Επέλεξε να χρησιμοποιήσει ως δείκτη των οικονομικών συνθηκών το ποσοστό ανεργίας. Επιπλέον, διερευνήθηκε και η ενδεχόμενη επιρροή των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το ολοκληρωμένο υπόδειγμα αυτοσυσχέτισης - κυλιόμενων μέσων όρων (ARIMA) και η διαδικασία μοντελοποίησης της δυναμικής παλινδρόμησης χρονοσειρών (dynamic regression time series modelling procedures). Για την κατασκευή των δυναμικών μοντέλων των χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Box & Jenkins.

Οι μεταβλητές έχουν μετρηθεί σε μηνιαία βάση από τον Ιανουάριο του 1972 μέχρι και το Δεκέμβριο του 1982. Ως εξαρτημένη μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός των οδηγίων που εμπλέκονταν σε οδικά ατυχήματα στο Michigan και στα οποία υπήρχε τουλάχιστον ένας τραυματισμός. Ως ανεξάρτητη μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό του εργατικού δυναμικού του Michigan που είναι άνεργο, δηλαδή το ποσοστό αυτών που δεν εργάζονται και αναζητούν ενεργά εργασία. Τέλος,, η μεταβλητή των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων εντάχθηκε στη μελέτη για να αξιολογηθεί η ενδεχόμενη παρεμβαίνουσα επίδραση μεταξύ ανεργίας και συμμετοχής σε ατύχημα. Υπολογίστηκε σε μηνιαία βάση, βασιζόμενη τόσο στη μέτρηση της κυκλοφορίας όσο και στα δεδομένα πωλήσεων των καυσίμων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ότι η αύξηση 1% του ποσοστού της ανεργίας συνδέεται με μία μείωση 316 οδηγίων που εμπλέκονται σε οδικά ατυχήματα με τουλάχιστον έναν τραυματισμό τον ίδιο μήνα της μεταβολής της ανεργίας και με αύξηση κατά 237 οδηγούς που εμπλέκονται σε τέτοιου είδους ατυχήματα τον επόμενο μήνα.

Επίσης, προέκυψε ότι μία αύξηση κατά 1 δις του αριθμού των διανυόμενων χιλιομέτρων σχετίζεται με μία αύξηση κατά 949 οδηγούς που εμπλέκονται σε ατύχημα τον επόμενο μήνα και κατά 869 οδηγούς επιπλέον τον δεύτερο μήνα μετά την μεταβολή της διανυθείσας απόστασης. Αντίθετα, δεν υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ ανεργίας και των διανυόμενων χιλιομέτρων.

Δεδομένου ότι η ανεργία και τα οχηματοχιλιόμετρα είναι ανεξάρτητες μεταβλητές μεταξύ τους, συμπεριλήφθηκαν σε ένα συνδυασμένο μοντέλο για να αξιολογηθεί η επίδραση τους στην εξαρτημένη μεταβλητή, την εμπλοκή σε ατύχημα. Προέκυψε ότι η καθαρή εκτιμώμενη επίδραση της αύξησης κατά 1% της ανεργίας είναι μια μηνιαία μείωση της εμπλοκής σε ατύχημα με έναν τουλάχιστον τραυματισμό κατά 52 οδηγούς. Τα εκτιμώμενα οχηματοχιλιόμετρα έχουν ανεξάρτητη επίδραση στην εμπλοκή σε ατύχημα τέτοια ώστε αύξηση κατά 1δις χιλιόμετρα κάθε μήνα έχει ως αποτέλεσμα να εμπλέκονται σε ατύχημα 2007 περισσότεροι οδηγοί τους επόμενους δύο μήνες.

Τέλος, η χρονική υστέρηση που προέκυψε από τη συσχέτιση του ποσοστού ανεργίας και του αριθμού των εμπλεκόμενων σε ατύχημα οδηγών εξηγήθηκε με δύο τρόπους. Πρώτον, το αυξημένο άγχος που προκαλείται λόγω της απώλειας της εργασίας μπορεί να είναι εντονότερο τον επόμενο μήνα σε αυτούς που έχουν βρει νέα εργασία όσο και σε αυτούς που παραμένουν άνεργοι. Το αυξημένο στρες συνδέεται με την πιο επιθετική οδήγηση και άρα με αύξηση της πιθανότητας εμπλοκής σε ατύχημα. Δεύτερον, η μεταβολή του ποσοστού ανεργίας μπορεί να επηρεάσει ψυχολογικά το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού τον επόμενο μήνα, όταν η μεταβολή αυτή θα διαδοθεί μέσω MME.

Άλλη μια έρευνα διεξήχθη από την Εθνική Υπηρεσία Οδικής Ασφάλειας της Washington (J. Hedlund, R. Arnold, E. Cerrelli, S. Partyka) σε συνεργασία με το Κέντρο Συστημάτων Μεταφορών του Cambridge (USA) (P. Hoxie, D. 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, χωρίς να επιτυγχάνεται ακριβής ποσοτικοποίηση της επιρροής του κάθε παράγοντα εξαιτίας των διαθέσιμων δεδομένων.

Όσον αφορά το αλκοόλ, λόγω έλλειψης μιας ενιαίας πηγής καλών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι, οι οποίες εκτίμησαν και οι δύο την πτώση της τάξης του 2% των νεκρών οδηγών υπό την επήρεια αλκοόλ.

Σχετικά με τα μέτρα ασφαλείας, τα δεδομένα ήταν περιορισμένα και επομένως τα συμπεράσματα αβέβαια. Με βάση τα στοιχεία, εκτιμήθηκε ότι η μείωση του συνόλου των θανάτων εξαιτίας της αυξημένης χρήσης ζώνης δεν μπορεί να ήταν πάνω από 250 ή λιγότερο από το 1/20 της συνολικής μείωσης του αριθμού των νεκρών.

Όσον αφορά στην επίδραση των δημογραφικών στοιχείων, παρατηρήθηκε μείωση των νεκρών στα οδικά ατυχήματα την περίοδο 1980-1982 ανά ηλικιακή ομάδα, με τη μεγαλύτερη μείωση να σημειώνεται στα ποσοστά θανάτων των εφήβων. Παράλληλα, ο συνολικός πληθυσμός εμφανίζει αύξηση, σε αντίθεση με τον πληθυσμό των εφήβων που μειώθηκε σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και το ποσοστό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.

Τέλος, για την επίδραση των οικονομικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκε ένα απλό κι ένα λεπτομερές μοντέλο. Το απλό μοντέλο χρησιμοποίησε 5 παράγοντες. Οι τρεις αφορούσαν στον πληθυσμό και ήταν ο συνολικός αριθμός των απασχολούμενων, το σύνολο των ανέργων και το σύνολο του μη εργατικού δυναμικού. Ο τέταρτος ήταν ο <<1974 και μετέπειτα>> παράγοντας, ο οποίος μείωνε την εκτίμηση των θανάτων σταθερά για κάθε έτος από το 1974 και μετά και ο τελευταίος ήταν ο <<1974>> παράγοντας, ο οποίος μείωνε την εκτίμηση των θανάτων κατά ένα συμπληρωματικό ποσό για το 1974 μόνο. Μετά από συνυπολογισμό των αποτελεσμάτων του 1974, προέκυψε ότι οι θάνατοι εξαρτιόνταν άμεσα από το πόσοι άνθρωποι εργάζονταν, πόσοι ήταν εκτός εργασίας, πόσοι δεν αναζητούσαν εργασία, και ότι, δεδομένου του σταθερού πληθυσμού, οι αυξήσεις της ανεργίας θα μείωναν τους θανάτους.

Ένα δεύτερο απλό μοντέλο χρησιμοποίησε δεδομένα μόνο από την περίοδο 1975-1982 και χρησιμοποίησε μόνο το συνολικό πληθυσμό και τους συνολικούς ανέργους ως προγνωστικούς παράγοντες. Και τα δύο μοντέλα κατέληξαν στο ότι η δίχρονη μείωση ήταν σύμφωνη με τις ιστορικές συσχετίσεις μεταξύ θανάτων και οικονομικών συνθηκών, όπως μετρήθηκε από τα στοιχεία για την απασχόληση, αλλά ότι η μείωση ήταν μεγαλύτερη απ' ό,τι είχε προβλεφθεί μόνο από τις οικονομικές συνθήκες. Δεν εξηγούσαν όμως τους μηχανισμούς με τους οποίους οι οικονομικές αλλαγές μεταφράζονταν σε μείωση ατυχημάτων.

Αντίθετα, το λεπτομερές μοντέλο προσπάθησε να δώσει εξήγηση στο παραπάνω ερώτημα. Τα βασικά δεδομένα ήταν οι μηνιαίοι αριθμοί νεκρών, προσαρμοσμένοι για να εξαλειφθεί η μεταβλητότητα που παράγεται από τους διαφοροποιημένους αριθμούς των Σαββατοκύριακων. Το μοντέλο προσάρμοσε τόσο τους μηνιαίους αριθμούς νεκρών στα οδικά ατυχήματα όσο και τις μεταβλητές πρόβλεψης για τις εποχιακές επιδράσεις. Κάποιες μεταβλητές συσχετίστηκαν

αρκετά καλά, συμπεριλαμβανομένων των διανυόμενων οχηματοχιλιόμετρων, του Δείκτη Παραγωγής του Συμβουλίου Ομοσπονδιακής Τράπεζας ( Federal Reserve Board Production Index), του προσωπικού εισοδήματος, και των λιανικών πωλήσεων. Για κάθε μια από τις μεταβλητές ξεχωριστά κατασκευάστηκε μια συνάρτηση πρόβλεψης, χρησιμοποιώντας στοιχεία από την περίοδο 1975-1980 και χρησιμοποιήθηκε για προβλέψεις για το 1981 και το 1982. Και οι τέσσερις από τις μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω οδήγησαν σε εκτίμηση μείωσης των νεκρών κατά 10% για την περίοδο των δύο ετών, σε σύγκριση με το 14,4% που παρατηρήθηκε. Η περαιτέρω στατιστική δοκιμή έδειξε ότι οι τέσσερις οικονομικές μεταβλητές πραγματικά μέτρησαν περίπου το ίδιο πράγμα: οι τρεις οικονομικές μεταβλητές χρησίμευσαν ως υποκατάστατα για τα διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα σε αυτά τα μοντέλα. Έτσι, μια απλή ερμηνεία αυτού του μάλλον πολύπλοκου μοντέλου ήταν ότι οι οικονομικές αλλαγές παρήγαγαν αλλαγές των διανυόμενων οχηματοχιλιόμετρων, οι οποίες με τη σειρά τους παρήγαγαν αλλαγές στον αριθμό των νεκρών.

Όμως, τα διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα αυξήθηκαν τη συγκεκριμένη διετία. Το πώς η αύξηση αυτή συνέβαλε στην πρόβλεψη των νεκρών στα οδικά ατυχήματα εξηγήθηκε από τους νεκρούς ανά οχηματοχιλιόμετρο, οι οποίοι μειώνονταν σταθερά, με ρυθμό περίπου 4% ετησίως για τα τελευταία 40 χρόνια. Μια πιο ακριβής εξήγηση της μείωσης του αριθμού των νεκρών περιελάμβανε επίσης τη δομή του μοντέλου. Το μοντέλο χρησιμοποιούσε τις διαφορές του αριθμού των νεκρών. Δεδομένου ότι οι μέτριες αυξήσεις των οχηματοχιλιόμετρων που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτών των δύο ετών δεν ήταν ομοιόμορφες όλους τους μήνες, το μοντέλο μετάφρασε τις αλλαγές που συνέβησαν σε μια πρόβλεψη των μειωμένων θανάτων.

Τα ευρήματα αυτά, αν και προκαταρκτικά, ήταν συνεπή με αυτά που πρότεινε το απλό μοντέλο, δηλαδή ότι η κατά 10% μείωση των νεκρών συνδεόταν με τις αλλαγές των διανυόμενων οχηματοχιλιόμετρων, οι οποίες με τη σειρά τους συνδεόταν με τις οικονομικές συνθήκες. Επίσης, έδειξαν ότι τα συνολικά οχηματοχιλιόμετρα ήταν παραπλανητικά, γιατί τα συνολικά οχηματοχιλιόμετρα μπορούσαν να αυξηθούν, ενώ οι νεκροί μειώνονταν.

Συμπερασματικά, κι οι τέσσερις παράγοντες που συζητήθηκαν έπαιξαν κάποιο ρόλο στην πτώση των νεκρών κατά την περίοδο 1980-1982. Οικονομικές επιπτώσεις, που εκφράζονταν μέσω των αλλαγών των διανυόμενων οχηματοχιλιόμετρων, φαίνεται να συνέβαλαν τα μέγιστα, αλκοόλ και δημογραφικές αλλαγές ήταν λιγότερο σημαντικές, και η αύξηση της χρήσης μέσων προστασίας είχε μικρή επίδραση.

Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα είναι των Β. Προφυλλίδη και Γ. Μποτζώρη (2005), με σκοπό την αιτιολογική συσχέτιση ανάμεσα στις συνέπειες της οδικής ασφάλειας και στο επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης μιας χώρας, χρησιμοποιώντας ως μέτρο ανάπτυξης το Α.Ε.Π. Μελετήθηκαν δεκατέσσερις χώρες της Ε.Ε. συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας και προέκυψε το μοντέλο:

$$Y = -0,206905 \cdot \log(\text{Α.Ε.Π.}) + 2,3356$$

Όπου Y ο αριθμός των νεκρών στα οδικά ατυχήματα ανά 1000 οχήματα, με συντελεστή συσχέτισης  $R^2=0,770$ , που δηλώνει ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά τα δεδομένα. Βάσει του μοντέλου αυτού οι ερευνητές οδηγήθηκαν στο



συμπέρασμα ότι οι συνέπειες των τροχαίων ατυχημάτων σε διάφορες χώρες είναι αντιστρόφως ανάλογες προς το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης μιας χώρας.

Το 2006 διεξήχθη μια έρευνα από τους Γ.Γιαννή και Α.Τσουμάνη με σκοπό την διερεύνηση της συσχέτισης βασικών μακροσκοπικών παραμέτρων οδικής ασφάλειας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ανάλυση χρονοσειρών στοιχείων δημογραφικών, κυκλοφοριακών και ατυχημάτων, για 25 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ανάλυση χρονοσειρών στοιχείων δημογραφικών, κυκλοφοριακών και ατυχημάτων, για 25 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για τη χρονική περίοδο 1970-2003. Αναπτύχθηκαν γραμμικά και μη γραμμικά πρότυπα παλινδρόμησης, από τα οποία προέκυψε και ποσοτικοποιήθηκε η επιρροή κάθε μεταβλητής στον αριθμό και στους δείκτες των ατυχημάτων. Τα αποτελέσματα οδηγούν σε δύο βασικά συμπεράσματα. Πρώτον, ότι ο λόγος του αριθμού των θανάτων προς τον αριθμό των οχημάτων μειώνεται με την αύξηση του λόγου του αριθμού των οχημάτων προς τον πληθυσμό και δεύτερον ότι η καμπύλη της διαχρονικής εξέλιξης των θανάτων στα οδικά ατυχήματα παρουσιάζει διαφορετική κλίση, καταρχήν αύξουσα, στη συνέχεια σταθερή και τελικώς φθίνουσα, ανάλογα με την τιμή του λόγου του αριθμού των οχημάτων προς τον πληθυσμό.

Άλλη μία ελληνική έρευνα που αφορά στις ευρωπαϊκές χώρες και στη σύγκρισή τους πραγματοποιήθηκε το 2010 από τους Γ.Γιαννή, Κ.Αντωνίου, Ε.Παπαδημητρίου, Δ.Κατσώχη. Προτάθηκε ένα απλό και αξιόπιστο μοντέλο πολλαπλού συστήματος, το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό της αλλαγής της κλίσης της καμπύλης του προσωπικού κινδύνου και αντίστοιχου οριακού σημείου για κάθε χώρα, δηλαδή τον προσδιορισμό του σημείου μετά το οποίο οι νεκροί στα οδικά ατυχήματα αρχίζουν να μειώνονται.

Ελέγχθηκαν οι τάσεις των νεκρών στα οδικά ατυχήματα σε αρκετές χώρες της Ε.Ε. συσχετιζόμενες με τη χρονική εξέλιξη κοινωνικοοικονομικών δεικτών, και συγκεκριμένα του στόλου των οχημάτων και του πληθυσμού (μέσω του ποσοστού μηχανοκίνησης) σε επίπεδο χώρας. Ουσιαστικά ο στόχος ήταν να επιτραπεί η ταυτόχρονη εκτίμηση μοντέλων παλινδρόμησης με άγνωστα οριακά σημεία κατά τρόπο που να παρέχονται εκτιμήσεις τόσο για τις θέσεις των οριακών σημείων όσο και για τις κλίσεις. Η στατιστική προσέγγιση υλοποιήθηκε μέσω του λογισμικού R για στατιστικούς υπολογισμούς.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν ότι ο αριθμός και η θέση των οριακών σημείων κάθε χώρας καθώς και η κλίση των συνδεόμενων τάσεων ποικίλουν από χώρα σε χώρα, γεγονός που δείχνει τα διαφορετικά μοντέλα εξέλιξης της οδικής ασφάλειας. Επιπλέον, ορισμένες χώρες παρουσίασαν οριακά σημεία σε ένα στενό εύρος τιμών του ποσοστού μηχανοκίνησης, υπονοώντας ίσως παρόμοιες κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες ή και παρόμοια νοοτροπία οδικής ασφάλειας. Τέλος, αυτές οι περιοχές ήταν διαφορετικές για ορισμένες υποομάδες χωρών, παρέχοντας μια ένδειξη ότι κάποιες ομαδοποιήσεις μπορεί να ήταν υπό την έννοια ενός γεωγραφικού και κοινωνικοοικονομικού πλαισίου.

Τον 2011 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα από τους Γ.Γιαννή, Κ.Αντωνίου και Ε.Παπαδημητρίου σχετικά με τις μεθόδους στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων των νεκρών στα οδικά ατυχήματα και επεδίωξε να παράσχει ένα φειδωλό μοντέλο για τη σύνδεση του επιπέδου μηχανοκίνησης με τα μειούμενα ποσοστά θνησιμότητας που παρατηρούνται στις χώρες της Ε.Ε. κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών.

Συγκεκριμένα προτάθηκε μια μακροσκοπική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επίπεδο χωρών, μέσω της εφαρμογής μη γραμμικών μοντέλων, τα οποία συσχετίζουν νεκρούς σε οδικά ατυχήματα και οχήματα για το χρονικό διάστημα 1970-2002. Δεδομένης της φύσης των χρονοσειρών των δεδομένων της οδικής ασφάλειας, αυτά τα μοντέλα οδηγούσαν σε αυτοσυσχέτιση των υπολοίπων, παραβιάζοντας έτσι μια από τις υποθέσεις της γραμμικής παλινδρόμησης. Επιπλέον, θεωρήθηκαν αυτοπαλίνδρομες μορφές των μοντέλων, οι οποίες ξεπερνούσαν αυτούς τους περιορισμούς και παρείχαν καλύτερες δυνατότητες πρόβλεψης.

Το μοντέλο που αποδείχθηκε ότι ήταν το πιο αποτελεσματικό ήταν το αυτοπαλίνδρομο λογαριθμικά μετασχηματισμένο μοντέλο, η χρήση του οποίου επέτρεψε το διαχωρισμό των χωρών ως προς τις καλύτερες και τις χειρότερες επιδόσεις. Θα μπορούσαν επίσης να αποδειχθούν χρήσιμα στην απόκτηση εικόνας για την τρέχουσα και μελλοντική τάση της οδικής ασφάλειας των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών.

Μια ακόμα ελληνική έρευνα που αφορούσε την επιρροή της ετήσιας μεταβολής του Α.Ε.Π. στα οδικά ατυχήματα πραγματοποιήθηκε από τους Γ.Γιαννή, Ε.Παπαδημητρίου και Κ.Φώλλα (2013). Για την ανάλυση αναπτύχθηκε βάση δεδομένων που περιελάμβανε στοιχεία για το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. και τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα για 27 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη χρονική περίοδο 1975-2011. Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν μικτά γραμμικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα οδήγησαν σε αύξηση της ετήσιας μεταβολής του αριθμού των νεκρών, ενώ η ετήσια μείωση του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. οδηγεί σε μείωση της ετήσιας μεταβολής του αριθμού των νεκρών. Επιπλέον, στην ομάδα των βορειοδυτικών κρατών της Ε.Ε. διαπιστώθηκε ότι υπάρχει χρονική υστέρηση ενός έτους στην επιρροή της μείωσης του Α.Ε.Π. στα οδικά ατυχήματα.

Το 2017 οι S.Kandrychyn και Y.Razvodovsky ασχολήθηκαν με τη σχέση ανάμεσα στα οδικά ατυχήματα και τις αυτοκτονίες στην Ευρώπη. Χρησιμοποίησαν από την επίσημη βάση δεδομένων του παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) στοιχεία για τους νεκρούς από οδικά ατυχήματα και το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εθνικό εισόδημα για 40 χώρες της Ευρώπης. Το σύνολο των χωρών χωρίστηκε σε 22 ανατολικές χώρες και σε 18 δυτικές. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα σχετίζεται αρνητικά με το ακαθάριστο εθνικό εισόδημα. Αντίθετα, στις δυτικές χώρες οι νεκροί από οδικά ατυχήματα σχετίζονται αρνητικά με το ακαθάριστο εθνικό εισόδημα. Στην ίδια ομάδα χωρών όμως παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση των αυτοκτονιών με το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν.

Μία ακόμα έρευνα πραγματοποιήθηκε το 2017 από τους F.Wegman, R.Allsop, Κ.Αντωνίου, R.Bergel-Hayat, R.Elvik, S.Lassare, D.Lloyd και W.Winjen. Αντικείμενο

της έρευνας αυτής αποτέλεσε η επιρροή της οικονομικής ύφεσης (2008-2010) στα οδικά ατυχήματα στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. Για την πραγματοποίηση της έρευνας αυτής επανεξετάστηκαν παλαιότερες έρευνες που αφορούσαν τη σχέση μεταξύ οικονομικών υφέσεων και των αλλαγών που επέφεραν αυτές στα οδικά ατυχήματα.

Με βάση αυτές προτάθηκε ένα απλό διάγραμμα που δείχνει τη σχέση μεταξύ των αλλαγών του επαγγελματικού κύκλου και τις αλλαγές στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων. Αυτό το απλό μοντέλο ελέγχθηκε εμπειρικά από τις διάφορες αναλύσεις και στατιστικά των οδικών ατυχημάτων για τη Μεγάλη Βρετανία και τη Σουηδία. Η μείωση του Α.Ε.Π. και η αύξηση της ανεργίας επιφέρει μείωση στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων. Η οικονομική ύφεση δείχνει να συσχετίζεται με λιγότερη οδήγηση όσον αφορά νέους ηλικιακά οδηγούς, λιγότερη οδήγηση όσον αφορά νέους ηλικιακά οδηγούς, λιγότερη οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και οδήγηση με χαμηλότερη ταχύτητα. Παρόλα αυτά δεν είναι ξεκάθαρο αν οι αλλαγές αυτές εξηγούν πλήρως την μείωση των οδικών ατυχημάτων. Από την έρευνα αυτή προέκυψε επίσης ότι ο αριθμός οικονομικής ύφεσης.

Τέλος, το 2018 οι Xin Li, Liyu Wu και Xianfeng Yang 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 η αύξηση του Α.Ε.Π., η αύξηση του πληθυσμού, η επέκταση των οδικών υποδομών και η αύξηση της ιδιοκτησίας οχήματος. 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- Κριτική Αξιολογήση**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που έγινε για τις ανάγκες της Διπλωματικής Εργασίας. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των ερευνών με σκοπό τη διερεύνηση της επιρροής των οικονομικών, κοινωνικών και συγκοινωνιακών παραγόντων στην οδική ασφάλεια μιας χώρας ή περιοχής.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η οικονομική ύφεση του 1982 και η σημαντική πτώση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα που παρατηρήθηκε, οδήγησε αρκετούς μελετητές στις Η.Π.Α. να διερευνήσουν το φαινόμενο. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις περισσότερες μελέτες ως οικονομικός παράγοντας χρησιμοποιήθηκε η απασχόληση. Η μεταβλητή αυτή αντικατοπτρίζει τόσο την οικονομική κατάσταση μιας χώρας σε μια συγκεκριμένη περίοδο, όσο και την ψυχολογική κατάσταση των οδηγών και άρα τη συμπεριφορά τους στην οδήγηση. Αποδείχθηκε ότι όταν τα ποσοστά ανεργίας αυξάνονται, μειώνεται ο αριθμός των οδικών ατυχημάτων και μάλιστα επηρεάζονται και τα ατυχήματα του επόμενου μήνα.

Σε άλλες έρευνες χρησιμοποιήθηκε ως οικονομικός παράγοντας το Α.Ε.Π. με σημαντικό συμπέρασμα ότι όσο πιο αναπτυγμένη είναι μια χώρα, τόσο μικρότερος συγκριτικά είναι ο αριθμός των νεκρών. Ένα ακόμα ενδιαφέρον συμπέρασμα που προκύπτει από άλλη έρευνα είναι ότι η ετήσια αύξηση του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. οδηγεί σε αύξηση της ετήσιας μεταβολής του αριθμού των νεκρών, ενώ η ετήσια μείωση του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. οδηγεί σε μείωση της ετήσιας μεταβολής του αριθμού των νεκρών.

Σε μεταγενέστερες έρευνες διερευνήθηκε η επιρροή της οικονομικής ύφεσης στα οδικά ατυχήματα. Προέκυψε ότι η μείωση του Α.Ε.Π. και η αύξηση της ανεργίας επιφέρει μείωση στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων. Προέκυψε ότι η μείωση του Α.Ε.Π. και η αύξηση της ανεργίας επιφέρει μείωση στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων. Η οικονομική ύφεση δείχνει να συσχετίζεται με λιγότερη οδήγηση όσον αφορά νέους ηλικιακά οδηγούς, λιγότερη οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και οδήγηση με χαμηλότερη ταχύτητα. Ο αριθμός των οχηματοχιλιόμετρων να μην παρουσιάζει ιδιαίτερη μεταβολή λόγω της οικονομικής ύφεσης.

Επιπλέον αναζητήθηκαν έρευνες που συσχέτιζαν κυκλοφοριακά και κοινωνικοοικονομικά στοιχεία με την οδική ασφάλεια για χώρες της Ευρώπης και για το Hong Kong. Σε ότι αφορά τα οδικά συστήματα της Ευρώπης προέκυψε ότι μπορούν να απορροφήσουν ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας της τάξης του 6% κατά μέσο όρο, διατηρώντας παράλληλα σταθερό αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Επίσης ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα σχετίζεται θετικά με τις αυτοκτονίες και αρνητικά με το ακαθάριστο εθνικό εισόδημα. Από την έρευνα που έγινε στο Hong Kong προέκυψε ότι η αύξηση του πληθυσμού και η αύξηση της ιδιοκτησίας οχήματος οδηγεί σε αύξηση των οδικών ατυχημάτων ενώ η επέκταση των οδικών υποδομών επιφέρει μείωση των οδικών ατυχημάτων.

Όσον αφορά στα μαθηματικά μοντέλα, χρησιμοποιήθηκαν τόσο απλά μοντέλα παλινδρόμησης, γραμμικά και μη γραμμικά, όσο και στατιστικές μέθοδοι χρονοσειρών όπως η ARIMA. Γενικά, τα υποδείγματα ανάλυσης χρονοσειρών υπερέχουν έναντι των μοντέλων απλής παλινδρόμησης ή κάποιων οικονομετρικών μοντέλων, καθώς λαμβάνουν υπόψη όλες τις σημαντικές αυτοσυσχετίσεις σε κάθε μεταβλητή και δεν υποθέτουν απλά ότι τα όρια σφάλματος είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Ως συνέπεια των παραπάνω προέκυψε η ανάγκη για τη διερεύνηση της επιρροής των οικονομικών μεταβολών στην οδική ασφάλεια στις χώρες της Ε.Ε., της οποίας η ποσοτικοποίηση θα ήταν χρήσιμη για την κατανόηση των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων οδικής ασφάλειας και των υπόλοιπων αλλαγών στο οδικό περιβάλλον. Δεδομένου ότι η επιρροή της διαχρονικής εξέλιξης του Α.Ε.Π. στα οδικά ατυχήματα (χρονοσειρές) έχει διερευνηθεί στο παρελθόν, επιλέχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία να διερευνηθεί η επίδραση του σε ένα μοντέλο που συνδυάζει πέρα από το λογάριθμο του ΑΕΠ, την επίδραση του ποσοστού των αυτοκινητοδρόμων αλλά και του συνολικού στόλου οχημάτων ανά

πληθυσμό για πριν και μετά την οικονομική κρίση. Επιλέχθηκε να γίνει χρήση μαθηματικού Γραμμικού Μικτού Μοντέλου για την υλοποίηση αυτών.



## 3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η στατιστική ανάλυση των στοιχείων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή βασικών εννοιών της στατιστικής. Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικότερες στατιστικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στην οδική ασφάλεια, αλλά και σε πλήθος άλλων εφαρμογών. Έπειτα πραγματοποιείται μια λεπτομερής ανάλυση του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την επιρροή του δείκτη ανθρώπινης ανάπτυξης, των αυτοκτονιών και των επιβατοχιλιόμετρων, στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Στο τελευταίο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι και τα κριτήρια αποδοχής του μοντέλου.

### 3.2 Βασικές έννοιες Στατιστικής

Ο Όρος **πληθυσμός** (population) αναφέρεται στο σύνολο των παρατηρήσεων του χαρακτηριστικού που ενδιαφέρει τη στατιστική έρευνα. Πρόκειται για ένα σύνολο στοιχείων που είναι τελείως καθορισμένα. Ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός.

Ο όρος **δείγμα** (sample) αναφέρεται σε ένα υποσύνολο του πληθυσμού. Οι περισσότερες στατιστικές έρευνες στηρίζονται σε δείγματα, αφού οι ιδιότητες του πληθυσμού είναι συνήθως αδύνατο να καταγραφούν. Όλα τα στοιχεία που ανήκουν στο δείγμα ανήκουν και στον πληθυσμό χωρίς να ισχύει το αντίστροφο. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν για τη μελέτη του δείγματος θα ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια για όλο τον πληθυσμό μόνο εάν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού.

Με τον όρο **μεταβλητές** (variables) εννοούνται τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν να μετρηθούν και να καταγραφούν σε ένα σύνολο ατόμων. Οι μεταβλητές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ποιοτικές μεταβλητές** (qualitative variables). Εάν οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Η χρήση αριθμών για την παράσταση των τιμών μιας τέτοιας μεταβλητής είναι καθαρά συμβολική και δεν έχει την έννοια της μέτρησης.
- **Ποσοτικές μεταβλητές** (quantitative variables). Είναι οι μεταβλητές με τιμές αριθμούς, που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης. Οι ποσοτικές

μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις διακριτές και τις συνεχείς. Σε μία διακριτή μεταβλητή η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές είναι σταθερή ποσότητα. Αντίθετα σε μία συνεχή μεταβλητή δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα. Στην πράξη, συνεχής θεωρείται μια μεταβλητή όταν μπορεί να πάρει όλες τις τιμές σε ένα διάστημα, διαφορετικά θεωρείται διακριτή.

**Μέτρα κεντρικής τάσης** (measures of central tendency): Σε περίπτωση ανάλυσης ενός δείγματος  $x_1, x_2, \dots, x_n$  η μέση τιμή υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

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

**Μέτρα διασποράς και μεταβλητότητας** (measures of variability): Στην περίπτωση όπου τα δεδομένα αποτελούν ένα δείγμα. Η διακύμανση συμβολίζεται με  $s^2$  και διαιρείται με  $(n-1)$ :

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

Η μαθηματική σχέση που δίνει την τυπική απόκλιση του δείγματος είναι:

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

Για την περίπτωση συμμετρικά κατανομημένου δείγματος. Σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα προκύπτει ότι το διάστημα:

- $(-s, +s)$  περιέχει περίπου το 68% των δεδομένων
- $(-2s, +2s)$  περιέχει περίπου το 95% των δεδομένων
- $(-3s, +3s)$  περιέχει περίπου το 99% των δεδομένων

**Συνδιακύμανση** (covariance of two variables): Αποτελεί ένα μέτρο της σχέσης μεταξύ δύο περιοχών δεδομένων.

$$Cov(X, Y) = \left[ \frac{1}{n-1} \right] \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]$$



### Μέτρα αξιοπιστίας:

- **Επίπεδο εμπιστοσύνης:** η αναλογία των περιπτώσεων που μια εκτίμηση είναι σωστή.
- **Επίπεδο σημαντικότητας:** η αναλογία των περιπτώσεων που ένα συμπέρασμα είναι εσφαλμένο.

### 3.3 Συσχέτιση Μεταβλητών- Συντελεστής Συσχέτισης

Στη συνέχεια θεωρούνται δύο τυχαίες μεταβλητές  $X$ ,  $Y$ . Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο αυτών μεταβλητών  $X$  και  $Y$  με διασπορά  $\sigma_X^2$  και  $\sigma_Y^2$  αντίστοιχα και συνδιασπορά  $\sigma_{XY} = \text{Cov}[X, Y]$  καθορίζεται με **συντελεστή συσχέτισης** (correlation coefficient)  $\rho$ , που ορίζεται ως εξής:

$$\rho = \left( \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X} \right) \left( \frac{1}{\sigma_Y} \right)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης  $\rho$  εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται. Δεν εξαρτάται από την μονάδα μέτρησης των  $X$  και  $Y$  και παίρνει τιμές στο διάστημα  $[-1, 1]$ . Τιμές κοντά στο 1 δηλώνουν ισχυρή θετική συσχέτιση, τιμές κοντά στο -1 δηλώνουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση και τιμές κοντά στο 0 δηλώνουν γραμμική ανεξαρτησία των  $X$  και  $Y$ .

Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης  $\rho$  γίνεται με την αντικατάσταση στην ανωτέρω εξίσωση της συνδιασποράς  $\sigma_{XY}$  και των διασπορών  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της εκτιμήτριας  $r$ :

$$r(X, Y) = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\left[ (\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)^{1/2} \right]}$$

### 3.4 Βασικές κατανομές

Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία της στατιστικής για να μελετηθούν τα διάφορα στατιστικά μεγέθη πρέπει να είναι γνωστή η **μορφή της κατανομής** που ακολουθούν. Παρακάτω παρατίθενται οι σημαντικότερες στατιστικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση οδικών ατυχημάτων.

#### 3.4.1 Κανονική κατανομή

Από τις σημαντικές κατανομές πιθανότητας η οποία αφορά σε συνεχείς μεταβλητές είναι η κανονική κατανομή ή κατανομή του Gauss. Μια συνεχής

τυχαία μεταβλητή  $X$  θεωρείται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή με παραμέτρους  $\mu, \sigma$  ( $-\infty < \mu < +\infty, \sigma > 0$ ), και γράφεται  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την:

$$F(x) = \left( \frac{1}{(2\pi\sigma)^{1/2}} \right) e^{[-(x-\mu)^2/2\sigma^2]}$$

όπου  $\mu$  και  $\sigma$  είναι σταθερές ίσες με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση αντίστοιχα.

### 3.4.2 Κατανομή Poisson

Είναι γνωστό ότι η πιο κατάλληλη κατανομή για την περιγραφή τελείως τυχαίων διακριτών γεγονότων είναι η κατανομή Poisson. Μια τυχαία μεταβλητή  $X$  (όπως π.χ. το πλήθος των ατυχημάτων ή των νεκρών στα οδικά ατυχήματα) θεωρείται ότι ακολουθεί κατανομή Poisson με παράμετρο  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ), και γράφεται  $X \sim P(\lambda)$ , όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας την:

$$F(x) = \frac{\mu^x * e^{-\mu}}{x!}$$

όπου  $x=0, 1, 2, 3, \dots$  και  $x! = x*(x-1)*..3*2*1$

Η μέση τιμή και η διασπορά κατά Poisson είναι  $E\{x\} = \mu$  και  $\sigma^2\{x\} = \mu$  και είναι ίσες μεταξύ τους.

Η κατανομή Poisson αφορά στον αριθμό των “συμβάντων” σε ορισμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Γενικά, ο αριθμός  $X$  των συμβάντων σε χρονικό (ή χωρικό) διάστημα  $t$  ακολουθεί την κατανομή Poisson αν (α) ο ρυθμός  $\lambda$ , έστω των συμβάντων είναι χρονικά σταθερός και (β) οι αριθμοί των συμβάντων σε ξένα διαστήματα αποτελούν ανεξάρτητα ενδεχόμενα (Κοκολάκης και Σπηλιώτης, 1999).

Η κατανομή Poisson είναι η κατάλληλη για την ανάπτυξη μοντέλων που αφορούν φαινόμενα που εμφανίζονται σπάνια και των οποίων οι εμφανίσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή η εμφάνιση του φαινομένου μια φορά δεν επηρεάζει την επόμενη.

Ο αριθμός των παθόντων είναι μια μεταβλητή, η οποία παρουσιάζει όμοιες ιδιότητες με την μεταβλητή του αριθμού των ατυχημάτων και γενικά υποστηρίζεται ότι τα οδικά ατυχήματα ακολουθούν συνήθως κατανομή Poisson (Chapman 1971, Zahavi 1962) ή κανονική κατανομή (Hojati 2011).

### 3.4.3 Αρνητική διωνυμική κατανομή

Μία άλλη πολύ σημαντική κατανομή που χρησιμοποιείται στην οδική ασφάλεια είναι η αρνητική διωνυμική κατανομή. Η χρήση της κατανομής αυτής ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου η διακύμανση των στοιχείων του δείγματος είναι μεγαλύτερη από τον μέσο όρο. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε φαινόμενα που παρουσιάζουν περιοδικές μεταβολές (όπως για παράδειγμα αριθμός αφίξεων οχημάτων που αφορούν σε μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. 10 sec) σε κάποιο σημείο μετά από φωτεινό σηματοδότη).

Μια τυχαία μεταβλητή  $X$  θεωρείται ότι ακολουθεί την αρνητική διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $k$ ,  $p$  ( $k$ : θετικός ακέραιος,  $0 < p < 1$ ), και γράφεται  $X \sim NB(k, p)$ , όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας:

$$P(X) = \binom{X + K - 1}{X} p^K (1 - p)^X$$

όπου  $X=0, 1, 2, \dots$

Μια συνήθης πρακτική στον **έλεγχο στατιστικών υποθέσεων**, είναι ο **υπολογισμός της τιμής της πιθανότητας  $p$**  (probability value ή  $p$ -value). Η πιθανότητα  $p$  είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . Είναι μια σημαντική τιμή, διότι ποσοτικοποιεί τη στατιστική απόδειξη που υποστηρίζει την εναλλακτική υπόθεση. Γενικά, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της πιθανότητας  $p$ , τόσο περισσότερες είναι οι αποδείξεις για την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . Εάν η τιμή  $p$  είναι μικρότερη ή ίση του επιπέδου σημαντικότητας  $\alpha$ , τότε η μηδενική υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται.

## 3.5 Μαθηματικά Μοντέλα

### 3.5.1 Γραμμική Παλινδρόμηση

Ο κλάδος της στατιστικής ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μίας 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 προκάλεσε 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 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 μορφή 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 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 πρόβλημα της γραμμικής παλινδρόμησης είναι η εύρεση των παραμέτρων  $\alpha$  και  $\beta$  που εκφράζουν καλύτερα τη γραμμική εξάρτηση της  $Y$  από τη  $X$ . Κάθε ζεύγος τιμών ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) καθορίζει μια διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή και οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- ο σταθερός όρος  $\alpha$  είναι η τιμή του  $y$  για  $x=0$ .
- ο συντελεστής  $\beta$  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  $\epsilon_i$  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  $\epsilon_i$ . 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  $\epsilon_i$  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 ανεξαρτήτων 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 πρόβλημα 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 προϋποθέσεις:

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 κατανομημένη.
4. Η υπόθεση της **ίσης διακύμανσης**, που δηλώνει ότι η διακύμανση των σφαλμάτων πρέπει να παραμένει στο ίδιο εύρος για όλες τις παρατηρήσεις.

### 3.5.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Μέσω της **λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης** (lognormal regression) δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι γραμμική. Στη λογαριθμοκανονική

παλινδρόμηση οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης. Υπολογίζονται από την ανάλυση της παλινδρόμησης με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων.

Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$\log y_i = \beta_0 + \beta_{1i} * x_{1i} + \beta_{2i} * x_{2i} + \dots + \beta_{ki} * x_{ki} + \varepsilon_i$$

όπου  $y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης,  $x_{1i}, \dots, x_{ki}$  οι εξαρτημένες μεταβλητές και  $\varepsilon_i$  το σφάλμα παλινδρόμησης.

### 3.5.3 Γενικό γραμμικό μοντέλο

Το **γενικό γραμμικό μοντέλο** (General Linear Model) μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση της γραμμικής πολλαπλής παλινδρόμησης για μία μεμονωμένη εξαρτημένη μεταβλητή. Η διαφορά του από το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης έγκειται στον αριθμό των εξαρτημένων μεταβλητών που μπορεί να αναλυθεί.

Η μαθηματική σχέση, που περιγράφει τη μέθοδο, για μια εξαρτημένη μεταβλητή  $x_{ij}$ , όπου  $j=1, 2, \dots, J$  ο εκάστοτε παράγοντας είναι:

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

όπου το  $i=1, 2, \dots, I$  δηλώνει την παρατήρηση.

Το γενικό γραμμικό μοντέλο βασίζεται στην υπόθεση ότι **τα σφάλματα ( $e_{ij}$ ) είναι ανεξάρτητα και κατανέμονται κανονικά**  $[ N(0, \sigma_j^2) ]$ . Οι συντελεστές  $g_{ik}$  είναι μεταβλητές που σχετίζονται με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκε η παρατήρηση  $i$ . Αυτοί οι συντελεστές μπορούν να είναι δύο ειδών:

- Μία συμμεταβλητή (μεταβλητή ελέγχου-covariate). Στην περίπτωση αυτή η παραπάνω εξίσωση είναι ένα πολυμεταβλητό μοντέλο παλινδρόμησης.
- Εικονικές μεταβλητές. Ο συγκεκριμένος τύπος μεταβλητών χρησιμοποιεί ακέραιες τιμές για να εκφράσει το επίπεδο ενός παράγοντα, δεδομένου του οποίου μετριέται η εξαρτημένη μεταβλητή.

Από μαθηματική σκοπιά δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ των δύο τύπων μεταβλητών. Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί σε μορφή πίνακα ως πολυμεταβλητό γενικό γραμμικό μοντέλο:

$$X = G * \beta + e$$

όπου  $X$  είναι ένας πίνακας δεδομένων, ο οποίος έχει στοιχεία  $x_{ij}$  σε κάθε στήλη για κάθε παράγοντα  $j$  και σε κάθε σειρά για κάθε παρατήρηση  $i$ . Ο πίνακας  $G$  αποτελείται από τους συντελεστές  $g_{ik}$  και ονομάζεται στη διεθνή ορολογία design matrix, ενώ  $\beta = [x_1, x_2, \dots, x_j]$  είναι πίνακας παραμέτρων, όπου  $x_j$  είναι ένα διάνυσμα στήλη με παραμέτρους για τους παράγοντες  $j$ .

Επιπλέον,  $e$  είναι ένας πίνακας με κανονικά κατανεμημένους όρους σφαλμάτων.

Η παραπάνω εξίσωση δεν περιλαμβάνει σταθερό όρο, καθώς μπορεί να απομακρυνθεί με δύο τρόπους:

- με μέση διόρθωση του πίνακα δεδομένων
- προσθέτοντας μια στήλη με άσους στον πίνακα  $B$

Σε αυτήν την περίπτωση και εφόσον τα σφάλματα είναι κανονικά κατανεμημένα, οι υπολογισμοί των ελαχίστων τετραγώνων αποτελούν υπολογισμούς μέγιστης πιθανότητας και χαρακτηρίζονται και αυτοί από κανονική κατανομή. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται η μέθοδος **ανάλυσης διασποράς (analysis of variance – ANOVA)**.

### 3.6 Αυτοσυσχέτιση

Μία από τις υποθέσεις των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων είναι η **υπόθεση της ανεξαρτησίας των υπολοίπων**. Με άλλα λόγια, τα υπόλοιπα (σφάλματα) για διαφορετικές παρατηρήσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η υπόθεση αυτή ουσιαστικά σημαίνει ότι οι διαφορές τιμές του σφάλματος  $\varepsilon$  δεν συσχετίζονται. Δηλαδή το σφάλμα της περιόδου  $t$  δε συσχετίζεται με το σφάλμα μιας οποιασδήποτε άλλης περιόδου  $s$ . Εάν αυτή η υπόθεση δεν ικανοποιείται, τότε έχουμε το φαινόμενο **της αυτοσυσχέτισης (autocorrelation)** ή **αυτοπαλινδρόμησης (autoregression)**. Η αυτοσυσχέτιση είναι συνηθισμένο φαινόμενο όταν χρησιμοποιούνται στοιχεία χρονοσειρών.

Το σφάλμα  $\varepsilon$  της εξίσωσης, ουσιαστικά παριστάνει την επίδραση όλων των παραγόντων που δεν μπορούν να περιληφθούν στην εξεταζόμενη σχέση. Συχνά όμως, η επίδραση πολλών από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να μην εξαντλείται στην τρέχουσα περίοδο, αλλά να διαχέεται και σε μελλοντικές περιόδους. Στην περίπτωση αυτή, οι διαδοχικές τιμές του

σφάλματος θα συσχετίζονται. Η αυτοσυσχέτιση μπορεί επίσης να οφείλεται στην παράλειψη ερμηνευτικών (ανεξάρτητων μεταβλητών), στην εσφαλμένη εξειδίκευση της μαθηματικής μορφής του υποδείγματος καθώς και σε πολλούς άλλους λόγους (Χρήστου, 2002).

Η σχέση εξάρτησης, εάν υπάρχει, ανάμεσα στις διαδοχικές τιμές του σφάλματος μπορεί να πάρει διάφορες μορφές. Εάν η τιμή του σφάλματος στην περίοδο  $t$  εξαρτάται από την τιμή του στην περίοδο  $t - 1$ , δηλαδή:

$$\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + u_t$$

όπου  $u_t$  μια τυχαία ερμηνευτική μεταβλητή και  $\rho$  μια παράμετρος, τότε έχουμε **αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξεως** ή πρώτου βαθμού (first-order correlation) ή αυτοπαλίνδρομο σχήμα πρώτου βαθμού (first-order autoregressive scheme), που συμβολίζεται ως **AR(1)**. Ο συντελεστής  $\rho$  ονομάζεται συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξεως.

Εάν η τιμή του σφάλματος στην περίοδο  $t$  εξαρτάται όχι μόνο από την τιμή του στην περίοδο  $t - 1$  αλλά και από την τιμή του στην περίοδο  $t - 2$ , δηλαδή:

$$\varepsilon_t = \rho_1\varepsilon_{t-1} + \rho_2\varepsilon_{t-2} + u_t$$

τότε έχουμε αυτοσυσχέτιση δεύτερης τάξης ή AR(2) κ.ο.κ.

Οι εκτιμητές (συντελεστές) που προκύπτουν από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων όταν το υπόδειγμα χαρακτηρίζεται από αυτοσυσχέτιση εξακολουθούν να είναι γραμμικοί, αμερόληπτοι και συνεπείς. Το πρόβλημα που δημιουργείται αναφέρεται κυρίως στις εκτιμήσεις των διακυμάνσεων τους και την αποτελεσματικότητά τους. Οι διακυμάνσεις είναι μεροληπτικές και οι εκτιμητές δεν είναι αποτελεσματικοί. **Συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές που έχουν υπολογισθεί από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.**

### 3.7 Γραμμικό μικτό μοντέλο

Το **Γραμμικό Μικτό Μοντέλο** (Linear Mixed Model) επεκτείνει το γενικό γραμμικό μοντέλο, έτσι ώστε να επιτρέπεται οι όροι σφάλματος (error terms) και οι τυχαίες επιδράσεις (random effects) να εμφανίζουν συσχέτιση και μη σταθερή μεταβλητότητα. Παρέχει, επομένως, τη δυνατότητα να διαμορφώσει όχι μόνο τη μέση τιμή της μεταβλητής απόκρισης, αλλά και τη δομή συνδιακύμανσής του.



Επίσης στο γραμμικό μικτό μοντέλο οι **παράγοντες (factors)** και οι **συμμεταβλητές (covariates)** θεωρείται ότι **έχουν γραμμική σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή.**

Οι **κατηγορικές μεταβλητές (categorical predictors)** μπορούν να επιλεγθούν ως **παράγοντες** στο μοντέλο. Πρόκειται για μια ανεξάρτητη μεταβλητή που ορίζει μια ομάδα περιπτώσεων. Κάθε τιμή του παράγοντα μπορεί να έχει μια διαφορετική γραμμική επίδραση στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής.

Οι παράγοντες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- **Παράγοντες σταθερών επιδράσεων (Fixed-effects factors).** Γενικά θεωρούνται οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές που ενδιαφέρουν παρουσιάζονται όλες στον πίνακα δεδομένων.

- **Παράγοντες τυχαίων επιδράσεων (Random-effects factors).** Πρόκειται για τις μεταβλητές των οποίων οι τιμές στον πίνακα δεδομένων μπορούν να θεωρηθούν ως ένα τυχαίο δείγμα ενός μεγαλύτερου πληθυσμού τιμών.

Η διάκριση των μεταβλητών συχνά καθορίζεται από τον τρόπο εργασίας του πειράματος, δηλαδή από το αν ενδιαφέρει τον μελετητή η διαφορά μεταξύ συγκεκριμένων τιμών του παράγοντα ή γενικά το πόσο μεγάλες μπορούν να είναι οι διαφορές αυτών των τιμών. Ορισμένα χρήσιμα ερωτήματα για την διάκριση των μεταβλητών είναι τα ακόλουθα:

- *Ο αριθμός των τιμών είναι μικρός ή μεγάλος, σχεδόν άπειρος;*

ν μικρός → σταθερής επίδρασης

ν μεγάλος →πιθανόν τυχαίας επίδρασης

- *Είναι οι τιμές επαναλαμβανόμενες;*

ν ναι → σταθερής επίδρασης

ν όχι →πιθανόν τυχαίας επίδρασης

- *Πρέπει να βγουν συμπεράσματα για τις τιμές που δεν συμπεριλαμβάνονται στο δείγμα;*

ν ναι → σταθερής επίδρασης

ν όχι →πιθανόν τυχαίας επίδρασης

- *Οι τιμές του παράγοντα καθορίζονται με ένα μη τυχαίο τρόπο;*

- v            ναι → σταθερής επίδρασης
- v            όχι →πιθανόν τυχαίας επίδρασης

**Συμμεταβλητές** ορίζονται οι συνεχείς μεταβλητές (scale predictors), όπως για παράδειγμα το εισόδημα μετρούμενο σε χιλιάδες δολάρια ή η ηλικία σε χρόνια. Σε συνδυασμούς με τις τιμές των παραγόντων, οι τιμές των συμμεταβλητών θεωρείται ότι είναι γραμμικά συσχετισμένες με τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής.

Επιπλέον, το γραμμικό μικτό μοντέλο επιτρέπει **τον προσδιορισμό των αλληλεπιδράσεων των παραγόντων**, γεγονός που σημαίνει ότι κάθε συνδυασμός των τιμών των παραγόντων έχει διαφορετική γραμμική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή. Είναι επίσης δυνατός **ο προσδιορισμός των αλληλεπιδράσεων των παραγόντων και των συμμεταβλητών**, εάν υπάρχει η πεποίθηση ότι η γραμμική σχέση μεταξύ της συμμεταβλητής και της εξαρτημένης μεταβλητής αλλάζει ανάλογα με τις τιμές του παράγοντα.

Τέλος, με τη διαδικασία του γραμμικού μικτού μοντέλου, όταν περιλαμβάνονται **μεταβλητές επαναλαμβανόμενων επιδράσεων** (repeated effects variables), επιτρέπεται **ο προσδιορισμός της δομής της συνδιακύμανσης των σφαλμάτων**. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να προσδιοριστούν τα ακόλουθα:

- Μεταβλητές επαναλαμβανόμενων επιδράσεων ορίζονται οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές στον πίνακα δεδομένων μπορούν να θεωρηθούν ως δείκτες πολλαπλών παρατηρήσεων ενός μόνο υποκειμένου (subject).
- **Οι μεταβλητές-υποκείμενα** ορίζουν τα μεμονωμένα υποκείμενα των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Οι όροι σφάλματος κάθε μεμονωμένου υποκειμένου είναι ανεξάρτητοι από αυτούς των άλλων μεμονωμένων υποκειμένων.
- **Η δομή της συνδιακύμανσης (covariance structure)** προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ των τιμών μιας μεταβλητής επαναλαμβανόμενων επιδράσεων.

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο σε μορφή πίνακα είναι:

$$y = Xb + Zu + e$$

όπου:

y είναι ένα n x 1 διάνυσμα n παρατηρούμενων αρχείων

$b$  είναι ένα  $p \times 1$  διάνυσμα  $p$  τιμών των μεταβλητών σταθερών επιδράσεων

$u$  είναι ένα  $q \times 1$  διάνυσμα  $q$  τιμών των μεταβλητών τυχαίων επιδράσεων

$e$  είναι ένα  $n \times 1$  διάνυσμα των τυχαίων υπολοίπων

$X$  είναι ένας πίνακας συντελεστών (design matrix) της τάξης  $n \times p$ , ο οποίος συσχετίζει τα αρχεία του  $y$  με τις μεταβλητές του  $b$

$Z$  είναι ένας πίνακας συντελεστών (design matrix) της τάξης  $n \times q$ , ο οποίος συσχετίζει τα αρχεία του  $y$  με τις μεταβλητές του  $u$ .

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει γιατί το μοντέλο καλείται μικτό, δεδομένου ότι περιλαμβάνει τόσο τις σταθερές όσο και τις τυχαίες επιδράσεις. Μιας και δεν προσδιορίζονται άμεσα, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταθερών επιδράσεων θεωρούνται σταθερές, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τυχαίων επιδράσεων θεωρούνται τυχαίες και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταθερών και τυχαίων επιδράσεων θεωρούνται τυχαίες.

Το μικτό μοντέλο μπορεί να μειωθεί και να γίνει ένα μοντέλο σταθερών επιδράσεων (fixed effects model) μη συμπεριλαμβάνοντας τον όρο  $Zu$  ή ένα μοντέλο τυχαίων επιδράσεων (random effects model) στο οποίο δεν τοποθετούνται οι σταθερές επιδράσεις εκτός από το γενικό μέσο όρο, δηλαδή  $Xb = 1\mu$ .

### 3.8 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  $\beta_i$  της εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης.

Όσον αφορά στους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των προσήμων 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 μεταβλητής ( $x_i$ ) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά  $\beta_i$  μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

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 1% μεταβολή της

ανεξάρτητης. Η ελαστικότητα για γραμμικά μοντέλα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

Για τη **στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου** χρησιμοποιείται η **μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας**. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια πρέπει ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας  $L = -2$  Restricted Log Likelihood να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος και γενικά προτιμώνται τα μοντέλα με τον μικρότερο λογάριθμο συνάρτησης πιθανοφάνειας  $L$ . Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και απαιτείται ένας κανόνας που να αποφασίζει αν η μείωση του  $L$  αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται το κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας (Likelihood Ratio Test – LRT).

Σύμφωνα με το κριτήριο του λόγου πιθανοφάνειας αν η διαφορά:

$$LRT = -2 * (L(b) - L(0))$$

όπου  $L(b) = L$  (μοντέλου με  $p$  μεταβλητές) και  $L(0) = L$  (μοντέλου χωρίς τις  $p$  μεταβλητές), είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κριτηρίου  $\chi^2$  για  $p$  βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, τότε το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνεται αποδεκτό.

Οι **έλεγχοι των σταθερών επιδράσεων** (tests of fixed effects) γίνονται με τα **F-tests** για κάθε μία από τις σταθερές επιδράσεις που ορίζονται στο μοντέλο. Πρόκειται για έναν έλεγχο τύπου ANOVA. Προκειμένου να γίνει αποδεκτό ότι οι μεταβλητές συμβάλλουν σημαντικά στο μοντέλο θα πρέπει η τιμή σημαντικότητας (significance value) να είναι ***sig* ≤ 0,05**. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή είναι στατιστικά σημαντική για το 95% τουλάχιστον των περιπτώσεων.

Ο **έλεγχος των συντελεστών των μεταβλητών των σταθερών επιδράσεων** γίνεται με το t-test. Ο συντελεστής  $t$  εκφράζεται με τη σχέση:

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

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

Βάσει της ανωτέρω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής  $t_{stat}$  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 και εδώ να ισχύει  **$sig \leq 0,05$** .

Πρέπει να σημειωθεί ότι από τη στιγμή που υπάρχει σταθερός όρος, η **τελευταία τιμή των κατηγορικών μεταβλητών** θεωρείται περιττή και **χρησιμοποιείται ως επίπεδο αναφοράς** για τη σύγκριση αυτής με τις άλλες τιμές των κατηγορικών μεταβλητών. Με το t-test λοιπόν καθορίζεται αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει και με τις αλληλεπιδράσεις των κατηγορικών μεταβλητών με τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές.

Τέλος, στον **πίνακα των παραμέτρων συνδιακύμανσης** (covariance parameters) εμφανίζονται οι παράμετροι που προσδιορίζουν τη διακύμανση της τυχαίας επίδρασης και τη διακύμανση των υπολοίπων (residuals). Στην περίπτωση, που η δομή συνδιακύμανσης για την επαναλαμβανόμενη μεταβλητή έχει οριστεί ως AR(1) θα πρέπει να προσδιοριστούν η διακύμανση  $\sigma^2$  (ARI diagonal) της κάθε τιμής της μεταβλητής και η συσχέτιση  $\rho^2$  (ARI rho) μεταξύ δύο συνεχόμενων τιμών της.

Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι οι εκτιμήσεις των παραμέτρων των fixed effects είναι εκτιμήσεις των μέσων παραμέτρων, ενώ οι εκτιμήσεις των παραμέτρων συνδιακύμανσης είναι εκτιμήσεις της διασποράς τους. Για παράδειγμα, αν ο σταθερός όρος οριστεί ως random effect η τιμή που θα προκύψει από τον πίνακα των fixed effects, θα δηλώνει το μέσο σταθερό όρο, ενώ η τιμή που θα προκύψει από τον πίνακα των παραμέτρων συνδιακύμανσης θα δηλώνει την διασπορά  $\sigma^2$ . Αυτό σημαίνει ότι κάθε μεμονωμένη τιμή της μεταβλητής έχει το δικό της σταθερό όρο που κινείται χαμηλότερα και υψηλότερα από τον μέσο σταθερό όρο και την τυπική απόκλιση σ ακολουθώντας την κανονική κατανομή.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία οι ανεξάρτητες μεταβλητές, καθώς και ο σταθερός όρος έχουν οριστεί ως σταθερές επιδράσεις και επομένως στον πίνακα αυτόν ελέγχεται **η διακύμανση των υπολοίπων με το κριτήριο Wald Z**. Η εκτίμηση της διακύμανσης των υπολοίπων, με τυπική απόκλιση σ αντιπροσωπεύει τη μεταβλητότητα των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής γύρω από τις επιμέρους γραμμές παλινδρόμησης για κάθε κατηγορία.



## **4 Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως σκοπό να διερευνηθούν οι οικονομικοί, κοινωνικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας πριν και μετά την περίοδο της κρίσης στην Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα αφορά στην ανάπτυξη μοντέλων που θα προσδιορίσουν τη συσχέτιση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα με το ποσοστό αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο, τον λογάριθμο του αριθμού οχημάτων ανά πληθυσμό καθώς και το λογάριθμο του Α.Ε.Π. Έπειτα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών που ήταν συναφείς με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας, αλλά και την ανάλυση του θεωρητικού υπόβαθρου, ακολούθησε η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και η κατάλληλη επεξεργασία τους.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων, έτσι ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την ποιότητα και αξιοπιστία των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, γίνεται αναφορά στα προβλήματα διαθεσιμότητας που προέκυψαν κατά τη συλλογή τους, καθώς και στους τρόπους με τους οποίους αντιμετωπίστηκαν. Στο στάδιο της επεξεργασίας, παρουσιάζεται ο τρόπος κωδικοποίησης των στοιχείων και εισαγωγής τους στον υπολογιστή, καθώς και η αρχική επεξεργασία που υπέστησαν στο πρόγραμμα EXCEL.

### **4.2 Συλλογή στοιχείων**

Για την επίτευξη του σκοπού της Διπλωματικής Εργασίας απαιτήθηκε η συλλογή στοιχείων που αφορούσαν στον πληθυσμό, στον ετήσιο αριθμό νεκρών στα οδικά ατυχήματα και στο Α.Ε.Π.(GDP), ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, τα χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμων καθώς και οδικού δικτύου των 27 κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και 3 ευρωπαϊκών κρατών, της Ελβετίας, της Ισλανδίας και της Νορβηγίας για τη χρονική περίοδο 2000-2016. Η συλλογή των παραπάνω στοιχείων από μία μόνο βάση δεδομένων δεν ήταν δυνατή και κατά συνέπεια αναζητήθηκαν περισσότερες βάσεις δεδομένων, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

#### **4.2.1 Βάσεις δεδομένων**

Μία βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για τη συμπλήρωση των νεκρών ήταν η βάση IRTAD (IRTAD-International Road Traffic and Accident Database). Η βάση IRTAD είναι μια διεθνής βάση δεδομένων που συγκεντρώνει στοιχεία για την κυκλοφορία και τα οδικά ατυχήματα για τις χώρες που είναι μέλη του Ο.Ο.Σ.Α.

Για να υπάρχει πιο ακριβής πρόσβαση στις διεθνείς εξελίξεις στον τομέα της οδικής ασφάλειας, είναι απαραίτητο να εξετάζονται σε ένα διεθνές πλαίσιο. Αυτή την απαίτηση επιδιώκει να καλύψει η IRTAD αποτελώντας ένα εργαλείο για όλες τις εθνικές αρχές διαχείρισης των οδών, τα ινστιτούτα ερευνών για την οδική ασφάλεια και για τις βιομηχανίες κατασκευής αυτοκινήτων, οδών και ασφαλειών.

Το βασικό τμήμα αυτής της βάσης δεδομένων περιλαμβάνει αθροιστικά στοιχεία για ατυχήματα με τραυματίες, θανάτους που προκλήθηκαν από οδικά ατυχήματα, πλήθος κυκλοφορούντων οχημάτων, μήκος οδικού δικτύου.

Μία άλλη βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν εκείνη της Οικονομικής Επιτροπής του ΟΗΕ για την Ευρώπη UN-ECE (UN-ECE-United Nations Economic Commission for Europe). Η UN-ECE είναι μία από τις πέντε περιφερειακές επιτροπές των Ηνωμένων Εθνών και περιλαμβάνει 56 χώρες, οι οποίες είναι οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης που βρίσκονται στη δυτική και ανατολική Ευρώπη, της νοτιοανατολικής Ευρώπης, καθώς και η Κοινοπολιτεία Ανεξάρτητων Κρατών και η Βόρεια Αμερική. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει μεταξύ άλλων στοιχεία για τα οδικά ατυχήματα, την οδική κυκλοφορία, το πλήθος των κυκλοφορούντων οχημάτων, καθώς και για την εσωτερική πλωτή και σιδηροδρομική κυκλοφορία για τη χρονική περίοδο 1993-2009.

Επιπλέον, στη βάση δεδομένων του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α.) αναζητήθηκαν στοιχεία για τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Ο Ο.Ο.Σ.Α. είναι ένας διεθνής οργανισμός και περιλαμβάνει 56 χώρες. Η βάση δεδομένων του περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με οικονομικούς και δημογραφικούς δείκτες των χωρών, περιβαλλοντικούς ρύπους, την υγεία, την εκπαίδευση, την ενέργεια, τα μεταφορικά συστήματα, καθώς και στοιχεία για τα οδικά ατυχήματα, τόσο για τους θανάτους που προκαλούνται από αυτά όσο και για τραυματισμούς για τη χρονική περίοδο 2000-2016.

Σχετικά με την αναζήτηση στοιχείων για τον ετήσιο πληθυσμό της κάθε χώρας, οι ελλείψεις που υπήρχαν στην αρχική βάση δεδομένων καλύφθηκαν από την EUROSTAT, τη στατιστική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Τα στατιστικά στοιχεία αφορούν σε πολλούς τομείς δραστηριοτήτων, επιστημονικούς, οικονομικούς, μεταφορών, αναπτυξιακούς και κοινωνικούς. Από την υπηρεσία αυτή παρέχονται βάσεις δεδομένων με τα ετήσια στοιχεία της κάθε χώρας της Ε.Ε. αλλά και συγκρίσεις μεταξύ των χωρών και παρουσιάσεις της διαχρονικής εξέλιξης κάθε χώρας.

#### **4.2.2 Προβλήματα κατά τη συλλογή των στοιχείων και επιλύσή τους**

Λόγω της ύπαρξης διαφορετικών συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων οδικών ατυχημάτων ανά χώρα, είναι δυνατό να παρουσιαστούν προβλήματα, που είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν στη διατύπωση εσφαλμένων συμπερασμάτων έπειτα από τη χρήση τους. Ένα τέτοιο πρόβλημα οφείλεται στους διαφορετικούς ορισμούς που έχουν τα κράτη για τα διάφορα επιμέρους στοιχεία. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τη χρήση στοιχείων από



διεθνείς βάσεις δεδομένων όπου τα στοιχεία που προέρχονται από την κάθε χώρα έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ώστε να είναι ομοιόμορφα και συγκρίσιμα.

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τη συλλογή των δεδομένων ήταν η μη διαθεσιμότητα σε ορισμένες περιπτώσεις όλων των απαιτούμενων στοιχείων. Έχει ήδη αναφερθεί, ότι καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας επιχειρήθηκε η συμπλήρωση των απαραίτητων στοιχείων, μέσω της αναζήτησης σε άλλες βάσεις δεδομένων. Κατά συνέπεια, λόγω του γεγονότος ότι για την ανάλυση των δεδομένων ήταν απαραίτητα όλα τα στοιχεία ταυτόχρονα, χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες φάσεις μόνο τα κράτη και έτη για τα οποία υπήρχαν πλήρη στοιχεία.

### 4.3 Επεξεργασία στοιχείων

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 και έτος τα αντίστοιχα δεδομένα, δηλαδή αριθμό νεκρών στα οδικά ατυχήματα, πληθυσμό, Α.Ε.Π., όγκος οχημάτων (fleet), μοτοσυκλετών, χιλιόμετρα οδικού δικτύου και άλλους δείκτες εφόσον φυσικά ήταν διαθέσιμα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ενδεικτικά η μορφή με την οποία εισήχθησαν τα διάφορα στοιχεία στη βάση δεδομένων.

Πίνακας 4.1: Βάση δεδομένων

Country	Group	Year	Fatalities	Population	GDPcap	GDP/1000	F/P	LNF/P	VehicleFleet (incl.motors)	VFincl/1000	F/P	LNFI/P	P/Fall	M/Fall	Road/P	M
Belgium		1	2000	1470	10239085	25200	25,2	143,57	4,97	5573100	5573,10	0,54	-0,61	83,94	4,99	1,42
Belgium		1	2001	1486	10263414	25900	25,9	144,79	4,98	5675700	5675,70	0,55	-0,59	83,51	5,18	1,43
Belgium		1	2002	1306	10309725	26600	26,6	126,68	4,84	5751600	5751,60	0,56	-0,58	83,23	5,32	1,43
Belgium		1	2003	1213	10355844	27200	27,2	117,13	4,76	5815900	5815,90	0,56	-0,58	82,89	5,48	1,43
Belgium		1	2004	1162	10396421	28700	28,7	111,77	4,72	5894700	5894,70	0,57	-0,57	82,68	5,46	1,43
Belgium		1	2005	1089	10445852	29700	29,7	104,25	4,65	5990100	5990,10	0,57	-0,56	82,12	5,78	1,43
Belgium		1	2006	1069	10511382	31000	31	101,70	4,62	6081100	6081,10	0,58	-0,55	81,83	5,92	1,43
Belgium		1	2007	1071	10584534	32500	32,5	101,19	4,62	6188700	6188,70	0,58	-0,54	81,58	6,04	1,43
Belgium		1	2008	944	10666866	33100	33,1	88,50	4,48	6307000	6307,00	0,59	-0,53	81,35	6,15	1,42
Belgium		1	2009	944	10753080	32300	32,3	87,79	4,47	6398200	6398,20	0,60	-0,52	81,16	6,31	1,41
Belgium		1	2010	840	10839905	33500	33,5	77,49	4,35	6511200	6511,20	0,60	-0,51	81,03	6,44	1,42
Belgium		1	2011	862	11000638	34500	34,5	78,36	4,36	6681600	6681,60	0,61	-0,50	80,92	6,50	1,40
Belgium		1	2012	770	11094850	35100	35,1	69,40	4,24	6738500	6738,50	0,61	-0,50	80,79	6,54	1,39
Belgium		1	2013	723	11161642	35300	35,3	64,78	4,17	6809593	6809,59	0,61	-0,49	80,67	6,62	1,38
Belgium		1	2014	727	11180840	35900	35,9	65,02	4,17	6891516	6891,52	0,62	-0,48	80,61	6,62	1,38
Belgium		1	2015	732	11237274	36600	36,6	65,14	4,18	6988728	6988,73	0,62	-0,47	80,47	6,66	1,37
Belgium		1	2016	637	11311117	37400	37,4	56,32	4,03	7112084	7112,08	0,63	-0,46	80,31	6,63	1,36
Bulgaria		3	2000	1012	8190876	1800	1,8	123,56	4,82	2531395	2531,40	0,31	-1,17	78,73	9,33	0,23
Bulgaria		3	2001	1011	8149468	2000	2	124,06	4,82	2636852	2636,85	0,32	-1,13	79,11	9,03	0,23
Bulgaria		3	2002	959	7868815	2200	2,2	121,87	4,80	2737418	2737,42	0,35	-1,06	79,42	8,75	0,24

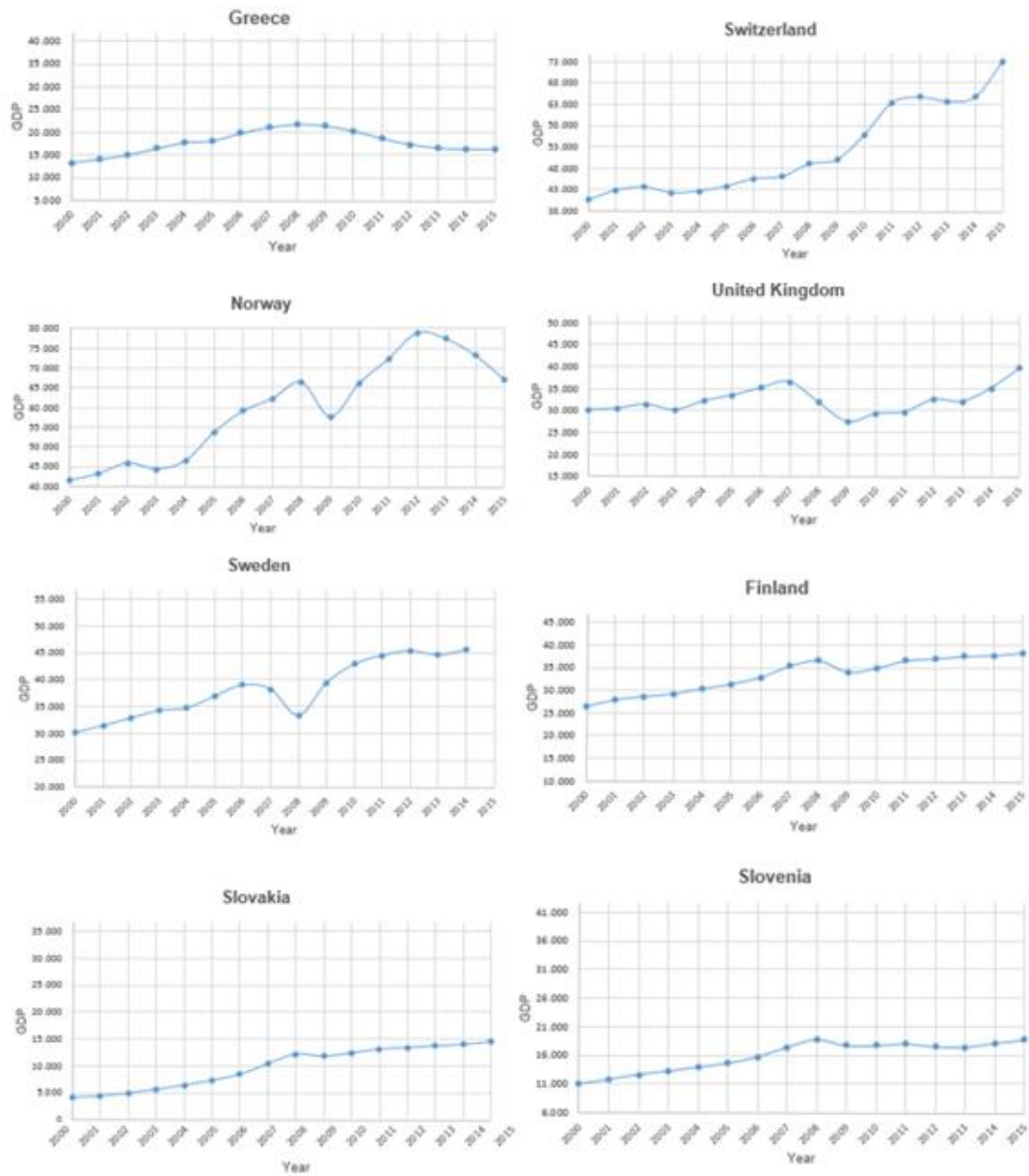
Στον παραπάνω πίνακα απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων. Στην πρώτη στήλη τοποθετήθηκαν τα κράτη, στη δεύτερη τα

group που επεξηγούνται στην πορεία και στην τρίτη τα έτη στα οποία αντιστοιχούν τα διάφορα στοιχεία που ακολουθούν στις επόμενες στήλες.

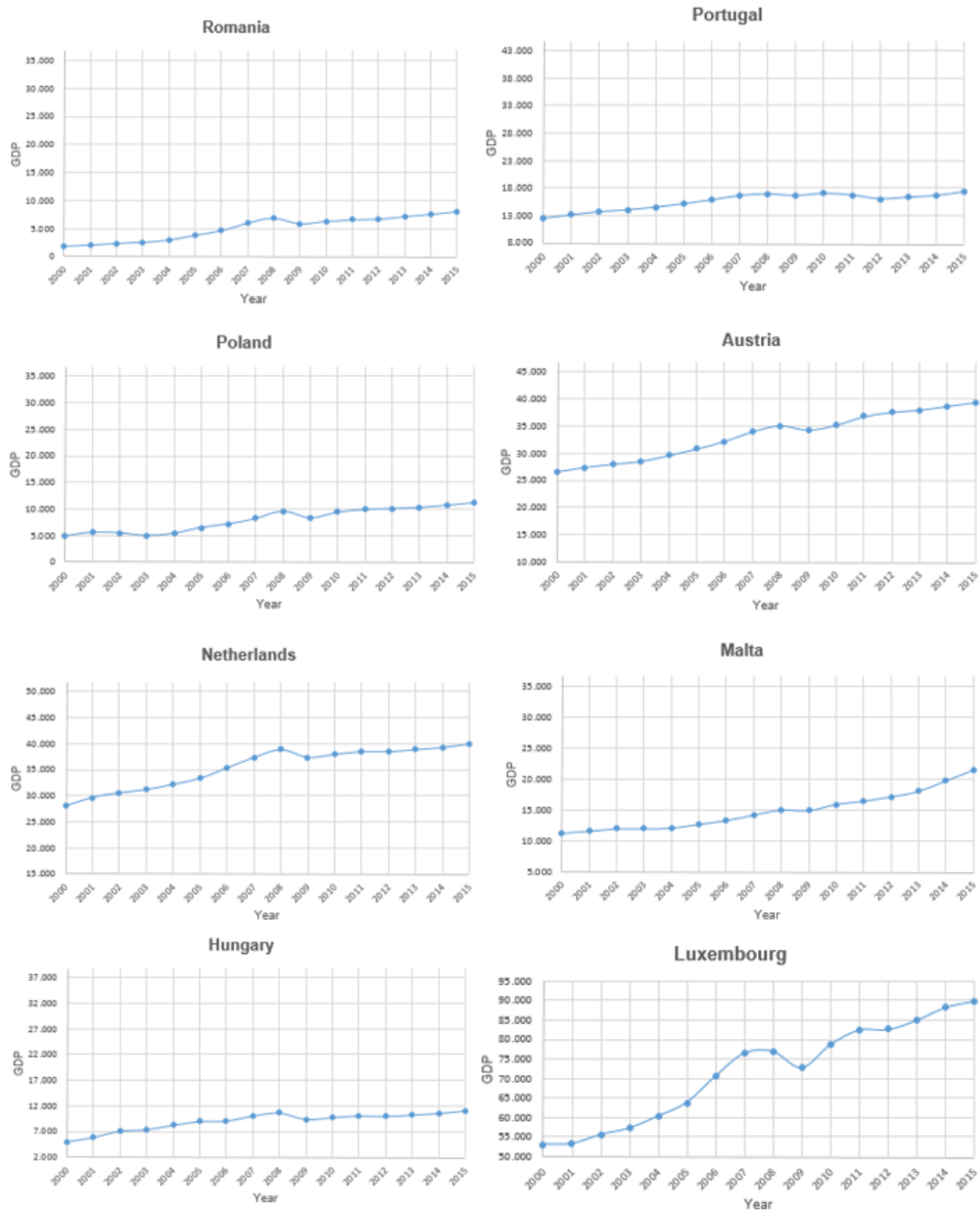
Στη συνέχεια, από τις στήλες του αριθμού των θανάτων που προκλήθηκαν από οδικά ατυχήματα (F-Fatalities) και του ετήσιου πληθυσμού (P-Population) προέκυψαν οι στήλες F/P και LN(F/P)- το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή των στατιστικών μοντέλων, οι οποίες εκφράζουν αντίστοιχα τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο πληθυσμού, καθώς και τους φυσικούς λογάριθμους των παραπάνω μεταβλητών. Επίσης, από τη στήλη του Α.Ε.Π. υπολογίστηκε ο λογάριθμος του Α.Ε.Π. LNGDP.

Επιπλέον, από τις στήλες του Vehicle Fleet και του Population προέκυψε η στήλη LNFI/P ως ο λογάριθμος του πηλίκου του Vehicle Fleet/Population. Όπως επίσης από τις στήλες Roadnetwork και Motorways προέκυψε η στήλη  $\sqrt{\text{Motorw/Road}}$ , η οποία είναι η τετραγωνική ρίζα του πηλίκου των δύο στηλών αυτών.

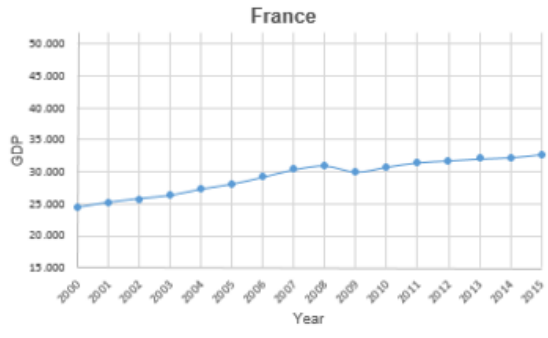
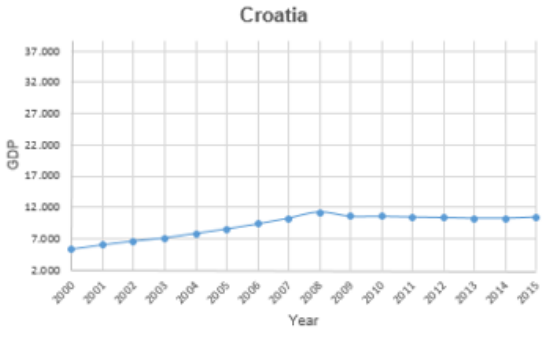
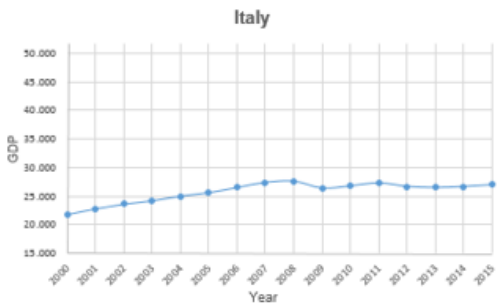
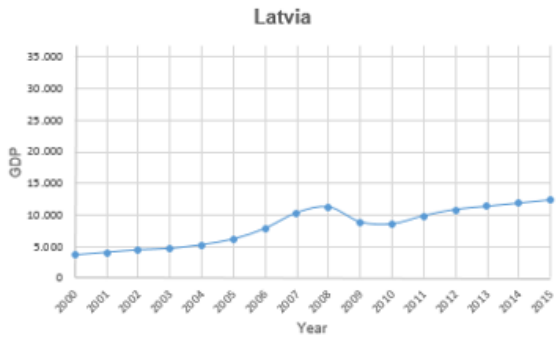
Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν για όλες τις χώρες με τη χρήση του Excel διαγράμματα που παρουσίαζαν το ΑΕΠ για τις χρονολογίες 2000-2016 για να μπορέσουμε να ορίσουμε την κρίση για κάθε χώρα ξεχωριστά.



Σχήμα 4.1: Διαχρονική εξέλιξη του ΑΕΠ στα έτη 2000-2016



Σχήμα 4.2: Διαχρονική εξέλιξη του ΑΕΠ στα έτη 2000-2016



Σχήμα 4.3: Διαχρονική εξέλιξη του ΑΕΠ στα έτη 2000-2016



Σχήμα 4.4: Διαχρονική εξέλιξη του ΑΕΠ στα έτη 2000-2016

## 5 Εφαρμογή μεθοδολογίας και αποτελέσματα

### 5.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Έπειτα από τη συλλογή και την επεξεργασία των στοιχείων στο πρόγραμμα Excel, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση** των δεδομένων. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο μέσω του ειδικού στατιστικού λογισμικού SPSS.

Περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης των κατάλληλων μοντέλων. Παρουσιάζονται επίσης οι **στατιστικοί έλεγχοι** που απαιτούνται για την αποδοχή ή μη των μοντέλων.

Τέλος, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία και πραγματοποιείται προσπάθεια ερμηνείας τους με βάση τη λογική, την εμπειρία και στοιχεία από την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων διακρίνεται σε τρεις φάση:

- Παρουσίαση των εξαγόμενων στοιχείων
- Περιγραφή των αποτελεσμάτων
- Εξήγηση των αποτελεσμάτων

Πριν την επιλογή του τελικού μοντέλου κατά τη στατιστική ανάλυση αναπτύχθηκαν αρκετά μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και γραμμικά μικτά μοντέλα, τα οποία έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της μεθοδολογίας. Χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές όπως το Α.Ε.Π., το ποσοστό ανεργίας, το ποσοστό των αυτοκινητόδρομων, οι μοτοσυκλέτες στο δίκτυο, τα επιβατικά οχήματα και διάφοροι άλλοι δείκτες. Έγιναν πολλές δοκιμές προσθέτοντας και αφαιρώντας συνεχώς μεταβλητές με κριτήριο το t-test και λαμβάνοντας υπόψιν τις συσχετίσεις των μεταβλητών, μέχρι να επιλεγεί το τελικό στατιστικό μοντέλο.

## 5.2 Δημιουργία βάσης δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα απαιτούμενα στοιχεία δεν ήταν πλήρη για ορισμένα κράτη και έτη και κάποιες χώρες λόγω του ότι είναι μικρές πληθυσμιακά επηρέαζαν τα αποτελέσματα των μοντέλων. Για τον λόγο αυτό τα κράτη αυτά τα οποία είναι η Λιθουανία, η Μάλτα, το Λουξεμβούργο, η Ισλανδία και το Λιχτενστάιν δεν συμπεριλαμβάνονται στα μοντέλα.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων που περιλάμβανε για κάθε κράτος (country) και για το αντίστοιχο έτος (year) τον πληθυσμό (population), το συνολικό στόλο οχημάτων (Vehicle Fleet), τα χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμων (Motorways), τα χιλιόμετρα οδικού δικτύου (Roadnetwork) και τον λογάριθμο του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα πληθυσμό  $[LN(F/P)]$ .

Το σύνολο των κρατών χωρίστηκε σε τρεις ομάδες και πιο συγκεκριμένα σε αυτές με χαμηλή οικονομική επίδοση (low economic performance), σε αυτές με υψηλή οικονομική επίδοση (high economic performance) και σε μεγάλες χώρες (largest countries). Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κράτη:

- **ΧΑΜΗΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΠΙΔΟΣΗ (LOW ECONOMIC PERFORMANCE)** : Βουλγαρία, Τσεχία, Εσθονία, Ελλάδα, Κροατία, Λετονία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβενία, Σλοβακία, Ιρλανδία, Κύπρος.
- **ΜΕΓΑΛΕΣ ΧΩΡΕΣ (LARGEST COUNTRIES)** : Γερμανία, Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία, Ηνωμένο Βασίλειο.
- **ΥΨΗΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΠΙΔΟΣΗ (HIGH ECONOMIC PERFORMANCE)** : Βέλγιο, Δανία, Ολλανδία, Αυστρία, Φινλανδία, Σουηδία, Νορβηγία, Ελβετία.

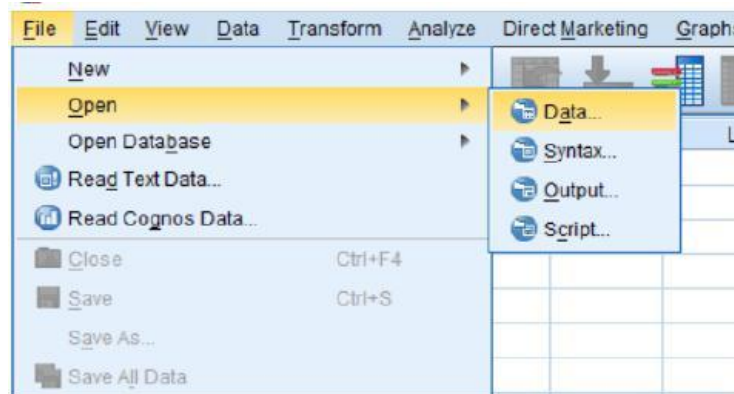
Στην στήλη Group δίπλα από κάθε κράτος αντιστοιχεί κάποιος εκ των αριθμών 1, 2, 3. Στα κράτη που ανήκουν στην ομάδα χαμηλή οικονομική επίδοση αντιστοιχεί το 3, στα κράτη που ανήκουν στην ομάδα των μεγάλων χωρών το 2 και στα κράτη που ανήκουν στην ομάδα υψηλή οικονομική επίδοση αντιστοιχεί το 1.

Στη φάση αυτή συσχετίστηκαν η μεταβολή του λογαρίθμου του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα ανά πληθυσμό (ως εξαρτημένη μεταβλητή) με το λογάριθμο του ΑΕΠ, τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων προς οδικό δίκτυο και το λογάριθμο του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν οι δυο εξισώσεις που προέκυψαν. Η μία αφορά το μοντέλο **Before** της κρίσης όπως ορίστηκε για κάθε χώρα και μία για το μοντέλο **After** της κρίσης.



### 5.3 Εισαγωγή στοιχείων στο SPSS και τρόπος ανάπτυξης γραμμικού μικτού μοντέλου

Έχοντας ήδη έτοιμη τη βάση δεδομένων σε αρχείο xls, πραγματοποιήθηκε αρχικά η εισαγωγή τους στο SPSS. Συγκεκριμένα, μέσω της γραμμής μενού και της επιλογής File (File → Open → Data) επιλέγεται η επιθυμητή προς ανάλυση βάση δεδομένων σε μορφή xls, από τον φάκελο που είναι αποθηκευμένη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Σχήμα 5.1: Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο SPSS

Πίνακας 5.1: Προβολή στοιχείων βάσης δεδομένων στο SPSS (Data View)

	Country	Group	Year	Fatalities	Population	GDPcap	GDP1000	FP	LNFP	VehicleFleetwithmotor	VFincl1000	FIP	LNFP	PFall	MFall
1	Belgium	1	2000	1470	10239085	25200	25,20	143,57	4,97	5573100	5573,10	,54	-,61	83,94	4,99
2	Belgium	1	2001	1486	10263414	25900	25,90	144,79	4,98	5675700	5675,70	,55	-,59	83,51	5,18
3	Belgium	1	2002	1306	10309725	26600	26,60	126,68	4,84	5751600	5751,60	,56	-,58	83,23	5,32
4	Belgium	1	2003	1213	10355844	27200	27,20	117,13	4,76	5815900	5815,90	,56	-,58	82,89	5,48
5	Belgium	1	2004	1162	10396421	28700	28,70	111,77	4,72	5894700	5894,70	,57	-,57	82,68	5,46
6	Belgium	1	2005	1089	10445852	29700	29,70	104,25	4,65	5990100	5990,10	,57	-,56	82,12	5,78
7	Belgium	1	2006	1069	10511382	31000	31,00	101,70	4,62	6081100	6081,10	,58	-,55	81,83	5,92
8	Belgium	1	2007	1071	10584534	32500	32,50	101,19	4,62	6188700	6188,70	,58	-,54	81,58	6,04
9	Bulgaria	3	2000	1012	8190876	1800	1,80	123,55	4,82	2531395	2531,40	,31	-1,17	78,73	9,33
10	Bulgaria	3	2001	1011	8149468	2000	2,00	124,06	4,82	2636852	2636,85	,32	-1,13	79,11	9,03
11	Bulgaria	3	2002	959	7868815	2200	2,20	121,87	4,80	2737418	2737,42	,35	-1,06	79,42	8,75
12	Bulgaria	3	2003	960	7805506	2400	2,40	122,99	4,81	2890087	2890,09	,37	-,99	79,89	8,41
13	Bulgaria	3	2004	943	7745147	2700	2,70	121,75	4,80	2920300	2920,30	,38	-,98	83,48	3,18
14	Bulgaria	3	2005	957	7688573	3100	3,10	124,47	4,82	3043500	3043,50	,40	-,93	83,39	3,22
15	Bulgaria	3	2006	1043	7629371	3600	3,60	136,71	4,92	2084100	2084,10	,27	-1,30	84,83	2,06
16	Bulgaria	3	2007	1006	7572673	4300	4,30	132,85	4,89	2445300	2445,30	,32	-1,13	85,14	2,09
17	Bulgaria	3	2008	1061	7518002	5000	5,00	141,13	4,95	2779800	2779,80	,37	-,99	85,11	2,16
18	Czech Republic	3	2000	1486	10278098	6500	6,50	144,58	4,97	4574400	4574,40	,45	-,81	75,18	16,35
19	Czech Republic	3	2001	1333	10232027	7400	7,40	130,28	4,87	4692000	4692,00	,46	-,78	75,23	16,10
20	Czech Republic	3	2002	1430	10201182	8500	8,50	140,18	4,94	4841600	4841,60	,47	-,75	75,33	15,70
21	Czech Republic	3	2003	1447	10192649	8600	8,60	141,97	4,96	4903000	4903,00	,48	-,73	75,59	15,34
22	Czech Republic	3	2004	1382	10195347	9400	9,40	135,55	4,91	5044000	5044,00	,49	-,70	75,65	15,01

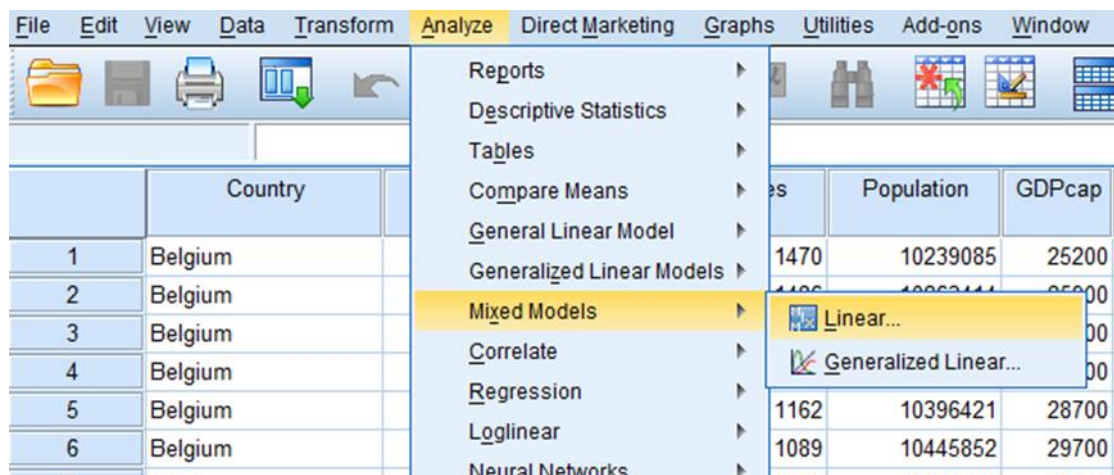
Αλλάζοντας την κατάσταση προβολής από Data View σε Variable View, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών για την έρευνα του.

Πίνακας 5.2: Προβολή μεταβλητών της βάσης δεδομένων SPSS ( Variable View)

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	Country	String	14	0		None	None	14	Left	Nominal	Input
2	Group	Numeric	11	0		None	None	11	Right	Nominal	Input
3	Year	Numeric	4	0		None	None	4	Right	Nominal	Input
4	Fatalities	Numeric	10	0		None	None	10	Right	Nominal	Input
5	Population	Numeric	10	0		None	None	10	Right	Nominal	Input
6	GDPcap	Numeric	6	0		None	None	6	Right	Scale	Input
7	GDP1000	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input
8	FP	Numeric	6	2		None	None	6	Right	Scale	Input
9	LNFP	Numeric	5	2		None	None	5	Right	Scale	Input
10	VehicleFlee...	Numeric	31	0		None	None	20	Right	Nominal	Input
11	VFincl1000	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input
12	FIP	Numeric	4	2		None	None	4	Right	Scale	Input
13	LNFIPI	Numeric	6	2		None	None	6	Right	Scale	Input
14	PFall	Numeric	6	2		None	None	6	Right	Scale	Input
15	MFall	Numeric	6	2		None	None	6	Right	Scale	Input
16	RoadP	Numeric	6	2		None	None	8	Right	Scale	Input
17	MotorwRoad	Numeric	11	2		None	None	10	Right	Scale	Input
18	VehicleFlee...	Numeric	40	0		None	None	31	Right	Nominal	Input
19	VFinotincl1000	Numeric	8	2		None	None	10	Right	Scale	Input
20	Passcar	Numeric	13	0		None	None	13	Right	Nominal	Input
21	Motor	Numeric	11	0		None	None	11	Right	Nominal	Input
22	Roadnetwork	Numeric	11	0		None	None	11	Right	Nominal	Input
23	Motorways	Numeric	9	0		None	None	9	Right	Nominal	Input
24	BEFORE	Numeric	6	0		None	None	6	Right	Nominal	Input

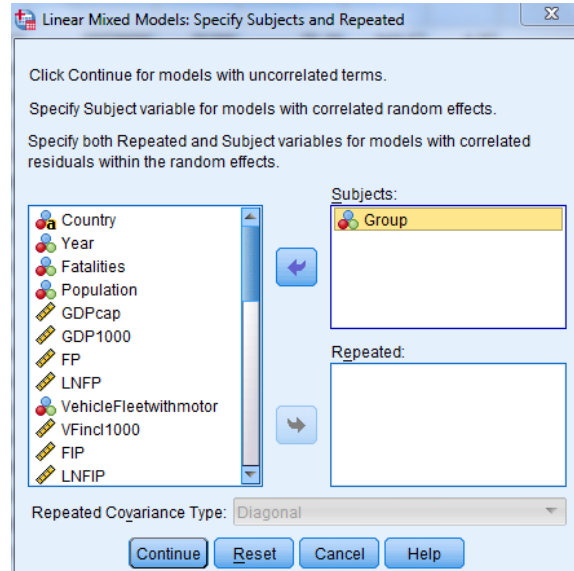
Στη συνέχεια αφού έχει αποφασιστεί η χρήση του Γραμμικού Μικτού Μοντέλου αναπτύσσεται το μαθηματικό μοντέλο και η διαδικασία συνοψίζεται στα επόμενα βήματα.

### 1. Επιλέγονται τα Μικτά Μοντέλα (Analyze → Mixed Models → Linear)



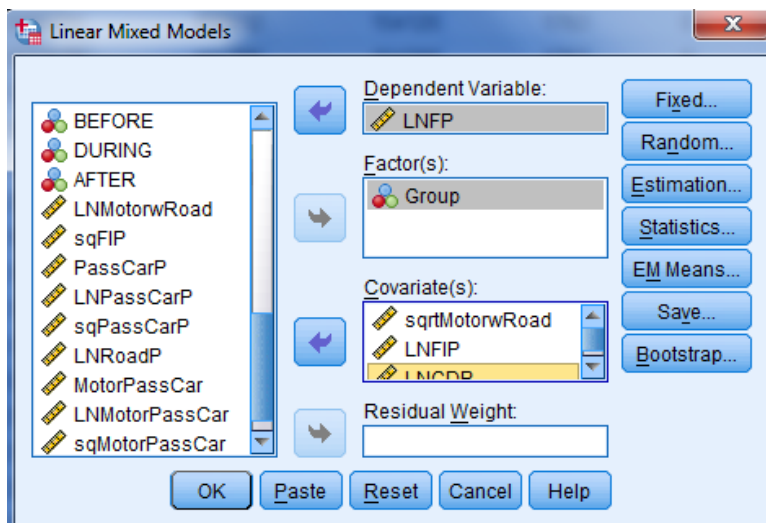
Σχήμα 5.2: Επιλογή Γραμμικού Μικτού Μοντέλου

2. Στην καρτέλα Linear Mixed Model: Specify Subjects and Repeated επιλέγεται: Subjects → Group και στη συνέχεια Continue



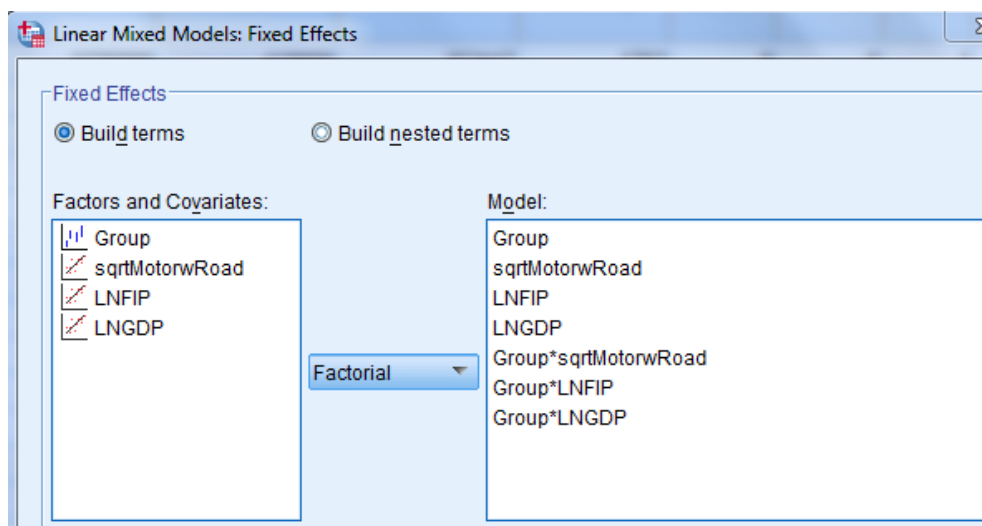
Σχήμα 5.3: Καθορισμός subjects

3. Στην καρτέλα Linear Mixed Models επιλέγεται ως η εξαρτημένη μεταβλητή (dependent variable) το LN(F/P), ως παράγοντας (factor) το Group που ανήκει η χώρα και ως συμμεταβλητές (covariates) το λογάριθμο του ΑΕΠ(LNGDP), τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων προς οδικό δίκτυο(sqrtMotorw/Road) και το λογάριθμο του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό(LNFI/P).



Σχήμα 5.4: Καθορισμός εξαρτημένης μεταβλητής, παράγοντα και συμμεταβλητών

4. Στην καρτέλα Fixed (Linear Mixed Models: Fixed Effects) επιλέγουμε τα εξής ώστε στα τελικά αποτελέσματα να φαίνεται η επίδραση της κάθε ομάδας κρατών:



Σχήμα 5.5: Καθορισμός σταθερών επιδράσεων

5. Στην καρτέλα Statistics επιλέγονται οι επιθυμητοί πίνακες που περιγράφουν την στατιστική ανάλυση.
6. Εκτελείται η εντολή ανάλυσης OK και ακολουθεί η παρουσίαση της στατιστικής ανάλυσης.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιλέχθηκε το γραμμικό μικτό μοντέλο για να διερευνηθούν οικονομικοί, κοινωνικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας πριν και μετά την περίοδο της οικονομικής κρίσης στην Ευρώπη. Ένα πλεονέκτημα του γραμμικού μικτού μοντέλου που οδήγησε και στην επιλογή του είναι ότι επιτρέπει τον προσδιορισμό των αλληλεπιδράσεων των παραγόντων, γεγονός που σημαίνει ότι κάθε συνδυασμός των τιμών των παραγόντων έχει διαφορετική γραμμική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή. Είναι επίσης δυνατός ο προσδιορισμός των αλληλεπιδράσεων των παραγόντων και των συμμεταβλητών, εάν υπάρχει η πεποίθηση ότι η γραμμική σχέση μεταξύ της συμμεταβλητής και της εξαρτημένης μεταβλητής αλλάζει ανάλογα με τις τιμές του παράγοντα.

## 5.4 Στατιστικός έλεγχος γραμμικού μικτού μοντέλου

Το πρόγραμμα SPSS κάνει εύκολο τον στατιστικό έλεγχο μεταξύ των μοντέλων, παρέχοντας ορισμένες πληροφορίες κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Για τη **στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου** χρησιμοποιείται η μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανοφάνειας. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια πρέπει ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας  $L = -2$  Restricted Log Likelihood να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος και γενικά προτιμώνται τα μοντέλα με το μικρότερο λογάριθμο συνάρτησης πιθανοφάνειας  $L$ . Σύμφωνα με το κριτήριο του λόγου πιθανοφάνειας, υπολογίζεται η διαφορά  $LRT = -2 * (L(b) - L(0))$ , όπου  $L(b) = L$  (μοντέλου με  $p$  μεταβλητές) και  $L(0) = L$  (μοντέλου χωρίς τις  $p$  μεταβλητές) και εάν είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κριτηρίου  $\chi^2$  για  $p$  βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, τότε το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνεται αποδεκτό.

Οι **έλεγχοι των σταθερών επιδράσεων** (tests of fixed effects) γίνονται με τα **F-tests** για κάθε μία από τις σταθερές επιδράσεις που ορίζονται στο μοντέλο. Πρόκειται για έναν έλεγχο τύπου ANOVA. Προκειμένου να γίνει αποδεκτό ότι οι μεταβλητές συμβάλλουν σημαντικά στο μοντέλο θα πρέπει η τιμή σημαντικότητας (significance value) να είναι **sig ≤ 0,05**. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή είναι στατιστικά σημαντική για το 95% τουλάχιστον των περιπτώσεων.

Ο **έλεγχος των συντελεστών των μεταβλητών των σταθερών επιδράσεων** γίνεται με το t-test. Ο συντελεστής  $t$  εκφράζεται με τη σχέση:

$$t_{\text{stat}} = \beta_i / s.e$$

όπου s.e : τυπικό σφάλμα (standard error)

Βάσει της ανωτέρω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής  $t_{\text{stat}}$  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 και εδώ να ισχύει **sig ≤ 0,05**.

Τέλος, ελέγχεται η **διακύμανση των υπολοίπων με το κριτήριο Wald Z**. Στην περίπτωση που δεν προσδιορίζονται μεταβλητές

επαναλαμβανόμενων επιδράσεων, τα όρια σφάλματος θεωρούνται ανεξάρτητα, εάν η τιμή σημαντικότητας του συντελεστή Wald Z είναι  $\text{sig} < 0,5$ . Στην περίπτωση όμως που έχουν οριστεί, η τιμή σημαντικότητας προσδιορίζει εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών της μέσω του δείκτη  $\rho^2$ .

Μετά τον έλεγχο των μοντέλων βάσει των ανωτέρων κριτηρίων, ο έλεγχος συνεχίζεται εξετάζοντας το μέγεθος επιρροής του σταθερού όρου. Φυσικά πρέπει να εξεταστεί εάν τα αποτελέσματα του μοντέλου οδηγούν σε λογικά συμπεράσματα και εάν μπορούν να ερμηνευτούν με βάση τις επικρατούσες συνθήκες και αντιλήψεις.

## 5.5 Ανάπτυξη μοντέλου για το σύνολο των κρατών της Ευρώπης χωρισμένων σε groups πριν την κρίση

### 5.5.1 Αποτελέσματα μοντέλου

Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 5.3: Έλεγχος προσαρμογής μοντέλου πριν την κρίση

Information Criteria <sup>a</sup>	
-2 Restricted Log Likelihood	-78,432
Akaike's Information Criterion (AIC)	-76,432
Hurvich and Tsai's Criterion (AICC)	-76,413
Bozdogan's Criterion (CAIC)	-72,043
Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	-73,043

The information criteria are displayed in smaller-is-better forms.

a. Dependent Variable: LNFP.

Πίνακας 5.4: Έλεγχος σταθερών επιδράσεων του μοντέλου πριν την κρίση

**Type III Tests of Fixed Effects<sup>a</sup>**

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	219,000	216,089	,000
Group	2	219	36,898	,000
LNFP	1	219,000	27,744	,000
sqrtMotorwRoad	1	219,000	19,005	,000
LNGDP	1	219,000	108,991	,000
Group * LNFP	2	219	2,442	,089
Group * sqrtMotorwRoad	2	219,000	5,120	,007
Group * LNGDP	2	219,000	39,938	,000

a. Dependent Variable: LNFP.

Πίνακας 5.5: Συντελεστές σταθερών επιδράσεων μοντέλου πριν την κρίση

**Estimates of Fixed Effects<sup>a</sup>**

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	7,030112	,392295	219,000	17,920	,000	6,256955	7,803268
[Group=1]	7,821731	1,287767	219,000	6,074	,000	5,283728	10,359734
[Group=2]	19,101235	3,027168	219,000	6,310	,000	13,135125	25,067345
[Group=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
LNFP	,369740	,079709	219,000	4,639	,000	,212645	,526835
sqrtMotorwRoad	-,044018	,018035	219	-2,441	,015	-,079563	-,008473
LNGDP	-,192870	,036517	219,000	-5,282	,000	-,264839	-,120901
[Group=1] * LNFP	,378635	,244523	219,000	1,548	,123	-,103284	,860554
[Group=2] * LNFP	,514340	,301750	219	1,705	,090	-,080366	1,109046
[Group=3] * LNFP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[Group=1] * sqrtMotorwRoad	-,177269	,085933	219,000	-2,063	,040	-,346632	-,007907
[Group=2] * sqrtMotorwRoad	-,228925	,090467	219,000	-2,530	,012	-,407223	-,050627
[Group=3] * sqrtMotorwRoad	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[Group=1] * LNGDP	-,751844	,118537	219,000	-6,343	,000	-,985464	-,518225
[Group=2] * LNGDP	-1,855433	,283563	219,000	-6,543	,000	-2,414295	-1,296571
[Group=3] * LNGDP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

a. Dependent Variable: LNFP.

b. This parameter is set to zero because it is redundant.

Πίνακας 5.6: Έλεγχος διακύμανσης υπολοίπων μοντέλου πριν την κρίση

Estimates of Covariance Parameters <sup>a</sup>						
Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	,036160	,003456	10,464	,000	,029984	,043609

a. Dependent Variable: LNFP.

Όπως αναφέρθηκε ο έλεγχος προσαρμογής του μοντέλου εξετάζεται με το κριτήριο -2 Restricted Log Likelihood.

$$L(b) = -78,432$$

$$L(0) = 215,245$$

$$LRT = -2*(L(b)-L(0)) = 587,354$$

$$\text{ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ} = 11$$

Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 11 βαθμούς ελευθερίας  $\chi^2 = 19,68$ .

Επομένως ισχύει  $L > \chi^2$  αφού  $587,354 > 19,68$  άρα το μοντέλο είναι **στατιστικά αποδεκτό**.

Επίσης, παρατηρείται ότι οι μεταβλητές της ομάδας των κρατών, ο λογάριθμος του ΑΕΠ, η ρίζα των αυτοκινητοδρόμων ανά οδικό δίκτυο και ο λογάριθμος του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό προκύπτουν στατιστικά σημαντικές, σε αντίθεση με την αλληλεπίδραση της ομάδας 1 των κρατών με το λογάριθμο του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό.

Οι συντελεστές των μεταβλητών  $\sqrt{\text{Motorw/Road}}$ ,  $\text{LNFI/P}$ ,  $\text{LNGDP}$  προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, όπως αποδεικνύεται από τα t-tests. Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι από τις αλληλεπιδράσεις των ομάδων των κρατών με τις μεταβλητές του λογαρίθμου του ΑΕΠ, της ρίζας των αυτοκινητοδρόμων ανά οδικό δίκτυο και του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζει η αλληλεπίδραση των ομάδων των κρατών με τη μεταβλητή του  $\text{LNGDP}$  καθώς και των ομάδων των κρατών με τη μεταβλητή  $\sqrt{\text{MotorwRoad}}$ . Επίσης για τιμή σημαντικότητας  $\text{sig} < 0,1$  παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά και η αλληλεπίδραση της ομάδας των μεγάλων κρατών με το λογάριθμο του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό.

Τέλος, από τον πίνακα ελέγχου διακύμανσης των υπολοίπων, προκύπτει ότι τα όρια σφάλματος είναι ανεξάρτητα με διακύμανση περίπου 0,036.



### 5.5.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα του τελικού μοντέλου προκύπτει η ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\begin{aligned} \text{LNFI/P} = & 7,030112 + 0,369740 * \text{LNFI/P} - 0,192870 * \text{LNGDP} - 0,044018 * \\ & \text{sqMotorwRoad} + 7,821731 * \text{Group1} + 19,101235 * \text{Group2} + 0,378635 * \\ & \text{Group1} * \text{LNFI/P} - 0,751844 * \text{Group1} * \text{LNGDP} - 1,855433 * \text{Group2} * \\ & \text{LNGDP} - 0,177269 * \text{Group1} * \text{sqMotorwRoad} - 0,228925 * \text{Group2} * \\ & \text{sqMotorwRoad} \end{aligned}$$

Από τη μαθηματική σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής του λογαρίθμου του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό είναι θετικός, το οποίο συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του LNFI/P έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα πράγμα που χρήζει περαιτέρω έρευνας καθώς ο συντελεστής της σχετικής επιρροής αυτής της μεταβλητής είναι αρνητικός.

Αντίθετα, προκύπτει ότι ο συντελεστής της μεταβλητής της ρίζας των αυτοκινητοδρόμων ανά οδικό δίκτυο είναι αρνητικός που σημαίνει ότι αύξηση του μήκους των αυτοκινητοδρόμων οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.

Αρνητικός προκύπτει επίσης και ο συντελεστής της μεταβλητής του λογαρίθμου του ΑΕΠ που σημαίνει ότι αύξηση του ΑΕΠ οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.

Ο συντελεστής της ομάδας των κρατών με υψηλή οικονομική επίδοση (Group=1) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Δεδομένου ότι ως επίπεδο αναφοράς έχει οριστεί η ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση, η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των κρατών με υψηλή οικονομική επίδοση συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα κατά 7,822 περισσότερο από την ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση.

Επίσης, ο συντελεστής της ομάδας των μεγάλων χωρών (Group=2) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των μεγάλων χωρών συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα κατά 19,101 περισσότερο από την ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση.

Τέλος, η αλληλεπίδραση της ομάδας των χωρών με υψηλή οικονομική επίδοση με το λογάριθμο των οχημάτων ανά πληθυσμό προέκυψε στατιστικά σημαντική και ο συντελεστής της έχει θετικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι ο λογάριθμος του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό στην ομάδα των κρατών με υψηλή οικονομική επίδοση συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα είναι το 0,379 % των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση.

Η αλληλεπίδραση της ομάδας των χωρών με υψηλή οικονομική επίδοση με το λογάριθμο του ΑΕΠ και με τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο, καθώς και η αλληλεπίδραση της ομάδας των μεγάλων χωρών με το λογάριθμο του ΑΕΠ και με τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο προέκυψε στατιστικά σημαντική και με αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης του λογαρίθμου του ΑΕΠ στην ομάδα μεγάλων χωρών συμβάλλει κατά 1,85 λιγότερο από την ομάδα με χαμηλή οικονομική απόδοση ενώ ο δείκτης του λογαρίθμου του ΑΕΠ των χωρών με υψηλή οικονομική απόδοση συμβάλλει κατά 75,18 % λιγότερο από των χωρών με χαμηλή οικονομική απόδοση.

Επιπλέον, ο δείκτης των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο των χωρών με υψηλή οικονομική απόδοση συμβάλλει κατά 17,73 % λιγότερο από των χωρών με χαμηλή οικονομική απόδοση, ενώ ο ίδιος δείκτης για τις μεγάλες χώρες συμβάλλει κατά 22,89 % λιγότερο από των χωρών με χαμηλή οικονομική απόδοση.

## 5.6 Ανάπτυξη μοντέλου για το σύνολο των κρατών της Ευρώπης μετά την κρίση

### 5.6.1 Αποτελέσματα μοντέλου

Πίνακας 5.7: Έλεγχος προσαρμογής μοντέλου μετά την κρίση

Information Criteria <sup>a</sup>	
-2 Restricted Log Likelihood	-35,069
Akaike's Information Criterion (AIC)	-33,069
Hurvich and Tsai's Criterion (AICC)	-33,029
Bozdogan's Criterion (CAIC)	-29,444
Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	-30,444

The information criteria are displayed in smaller-is-better forms.

a. Dependent Variable: LNFP.

Πίνακας 5.8: Έλεγχος σταθερών επιδράσεων του μοντέλου μετά την κρίση

Type III Tests of Fixed Effects <sup>a</sup>				
Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	102,000	53,614	,000
Group	2	102,000	4,197	,018
LNFP	1	102	48,288	,000
sqrtMotorwRoad	1	102	5,671	,019
LNGDP	1	102,000	21,032	,000
Group * LNFP	2	102	17,336	,000
Group * sqrtMotorwRoad	2	102	3,460	,035
Group * LNGDP	2	102,000	3,328	,040

a. Dependent Variable: LNFP.

Πίνακας 5.9: Συντελεστές σταθερών επιδράσεων μοντέλου μετά την κρίση

Estimates of Fixed Effects <sup>a</sup>							
Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	8,647455	,618458	102	13,982	,000	7,420746	9,874164
[Group=1]	3,383994	1,300048	102	2,603	,011	,805355	5,962633
[Group=2]	6,873616	4,809833	102,000	2,089	,031	-2,666666	16,413898
[Group=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
LNFP	,174699	,141799	102	2,243	,025	-,106558	,455957
sqrtMotorwRoad	-,067507	,030573	102	-2,208	,029	-,128148	-,006866
LNGDP	-,445667	,060514	102	-7,365	,000	-,565697	-,325637
[Group=1] * LNFP	,509221	,271862	102	1,873	,064	-,030016	1,048457
[Group=2] * LNFP	3,626997	,629264	102	5,764	,000	2,378855	4,875139
[Group=3] * LNFP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[Group=1] * sqrtMotorwRoad	,101848	,115860	102	,879	,381	-,127960	,331655
[Group=2] * sqrtMotorwRoad	-,289984	,120090	102,000	-2,415	,018	-,528182	-,051786
[Group=3] * sqrtMotorwRoad	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[Group=1] * LNGDP	-,300560	,124310	102	-2,418	,017	-,547127	-,053992
[Group=2] * LNGDP	-,472923	,447205	102,000	-2,047	,053	-1,359952	,414107
[Group=3] * LNGDP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

a. Dependent Variable: LNFP.

b. This parameter is set to zero because it is redundant.

Πίνακας 5.10: Έλεγχος διακύμανσης υπολοίπων μοντέλου πριν την κρίση

**Estimates of Covariance Parameters<sup>a</sup>**

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	,035135	,004920	7,141	,000	,026702	,046231

a. Dependent Variable: LNFP.

$$L(b) = -35,069$$

$$L(0) = 115,665$$

$$LRT = -2*(L(b)-L(0)) = 301,468$$

$$\text{ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ} = 11$$

Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 11 βαθμούς ελευθερίας  $\chi^2 = 19,68$

Επομένως ισχύει  $L > \chi^2$  αφού  $301,468 > 19,68$  άρα το μοντέλο είναι **στατιστικά αποδεκτό**.

Επίσης, παρατηρείται ότι οι μεταβλητές της ομάδας των κρατών, ο λογάριθμος του ΑΕΠ, η ρίζα των αυτοκινητοδρόμων ανά οδικό δίκτυο και ο λογάριθμος του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό προκύπτουν στατιστικά σημαντικές, σε αντίθεση με την αλληλεπίδραση της ομάδας 1 των κρατών με τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο.

Οι συντελεστές των μεταβλητών sqrtMotorw/Road, LNFI/P, LNGDP προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, όπως αποδεικνύεται από τα t-tests. Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι από τις αλληλεπιδράσεις των ομάδων των κρατών με τις μεταβλητές του λογαρίθμου του ΑΕΠ, της ρίζας των αυτοκινητοδρόμων ανά οδικό δίκτυο και του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζει η αλληλεπίδραση των ομάδων των κρατών με τη μεταβλητή του LNGDP καθώς και των ομάδων των κρατών με τη μεταβλητή LNFI/P. Επίσης για τιμή σημαντικότητας  $\text{sig} < 0,1$  παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά και η αλληλεπίδραση της ομάδας των μεγάλων κρατών με τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων.

Τέλος, από τον πίνακα ελέγχου διακύμανσης των υπολοίπων, προκύπτει ότι τα όρια σφάλματος είναι ανεξάρτητα με διακύμανση περίπτωσης 0,035.

### 5.6.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα του τελικού μοντέλου προκύπτει η ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\text{LN(F/P)} = 8,647455 + 0,174699 * \text{LNFI/P} - 0,445667 * \text{LNGDP} - 0,067507 * \text{sqMotorwRoad} + 3,383994 * \text{Group1} + 6,873616 * \text{Group2} + 0,509221 * \text{Group1} * \text{LNFI/P} + 3,626997 * \text{Group2} * \text{LNFI/P} - 0,30056 * \text{Group1} * \text{LNGDP} - 0,472923 * \text{Group2} * \text{LNGDP} - 0,289984 * \text{Group2} * \text{sqMotorw/Road}$$

Από τη μαθηματική σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής του λογαρίθμου του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό είναι θετικός, το οποίο συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του LNFI/P έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα πράγμα που χρήζει περαιτέρω έρευνας καθώς ο συντελεστής της σχετικής επιρροής αυτής της μεταβλητής είναι αρνητικός.

Αντίθετα, προκύπτει ότι ο συντελεστής της μεταβλητής της ρίζας των αυτοκινητοδρόμων ανά οδικό δίκτυο είναι αρνητικός που σημαίνει ότι αύξηση των αυτοκινητοδρόμων οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.

Αρνητικός προκύπτει επίσης και ο συντελεστής της μεταβλητής του λογαρίθμου του ΑΕΠ που σημαίνει αύξηση του ΑΕΠ οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.

Ο συντελεστής της ομάδας των κρατών με υψηλή οικονομική επίδοση (Group=1) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Δεδομένου ότι ως επίπεδο αναφοράς έχει οριστεί η ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση, η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των κρατών με υψηλή οικονομική επίδοση συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα κατά 3,384 περισσότερο από την ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση.

Επίσης, ο συντελεστής της ομάδας των μεγάλων χωρών (Group=2) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των μεγάλων χωρών συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα κατά 6,874 περισσότερο από την ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση.

Τέλος, η αλληλεπίδραση της ομάδας των χωρών με υψηλή οικονομική επίδοση και της ομάδας μεγάλων χωρών με το λογάριθμο των οχημάτων ανά πληθυσμό προέκυψε στατιστικά σημαντική και ο συντελεστής τους έχει θετικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι ο λογάριθμος των οχημάτων ανά πληθυσμό στην ομάδα των κρατών με υψηλή οικονομική επίδοση συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα στο 50,9221 % των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση (άρα λιγότερο), ενώ ο λογάριθμος των οχημάτων ανά πληθυσμό στην ομάδα των μεγάλων χωρών συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά

ατυχήματα κατά 3,626997 περισσότερο από την ομάδα με χαμηλή οικονομική απόδοση.

Η αλληλεπίδραση της ομάδας των χωρών με υψηλή οικονομική επίδοση με το λογάριθμο του ΑΕΠ, καθώς και η αλληλεπίδραση της ομάδας των μεγάλων χωρών με το λογάριθμο του ΑΕΠ και με τη ρίζα των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο προέκυψε στατιστικά σημαντική και με αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης του λογαρίθμου του ΑΕΠ στην ομάδα μεγάλων χωρών συμβάλλει κατά 47,2923 % λιγότερο από την ομάδα με χαμηλή οικονομική απόδοση ενώ ο δείκτης του λογαρίθμου του ΑΕΠ των χωρών με υψηλή οικονομική απόδοση συμβάλλει κατά 30,056 % λιγότερο από των χωρών με χαμηλή οικονομική απόδοση. Επιπλέον, ο δείκτης των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο των μεγάλων χωρών συμβάλλει κατά 28,9984 % λιγότερο από των χωρών με χαμηλή οικονομική απόδοση.

## 5.7 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή που περιέχεται στη μαθηματική σχέση του μοντέλου εκφράζεται ποσοτικά μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού βασίζεται στη θεωρία της ελαστικότητας και αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η ελαστικότητα είναι αδιάστατο μέγεθος και δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών. Σε συνδυασμό με το πρόσημο των μεταβλητών είναι πιθανό να προσδιοριστεί αν η αύξηση κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής επιφέρει αύξηση ή μείωση στην εξαρτημένη. Η ελαστικότητα για γραμμικά μοντέλα δίνεται από τη σχέση:

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

όπου  $\beta_i$  ο συντελεστής της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής,  $X_i$  η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής και  $Y_i$  η τιμή της εξαρτημένης.

Ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών δίνεται ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση για καθεμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων που δημιουργήθηκαν και υπολογίζοντας τον μέσο όρο προέκυψαν οι εξής τιμές:

Πίνακας 5.11: Ελαστικότητες- σχετική επιρροή

Ανεξάρτητες μεταβλητές	BEFORE			t	sig.	Ανεξάρτητες μεταβλητές	AFTER			t	sig.
	Τιμές συντ.	Σχετική επιρροή					Τιμές συντ.	Σχετική επιρροή			
		ei (ελαστικότητας)	ei* (σχετική επιρροή)					ei (ελαστικότητας)	ei* (σχετική επιρροή)		
Σταθερός όρος	7,030112			17,92	0	Σταθερός όρος	8,647455			13,982	0
LNFI/P	0,36974	-0,057	-5,177	4,639	0	LNFI/P	0,174699	-1,33	-0,025	2,243	0,025
sqrtMotorw/Road	-0,04402	-0,011	-1	-2,441	0,015	sqrtMotorw/Road	-0,06751	-1	-0,019	-2,208	0,029
LNGDP	-0,19287	-0,405	-36,785	-5,282	0	LNGDP	-0,44567	-62,767	-1,181	-7,365	0

### ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ:

Η μεταβλητή του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό παρουσιάζει 5,177 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο. Η μεταβλητή του λογαρίθμου του ΑΕΠ παρουσιάζει 36,785 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο.

### ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ:

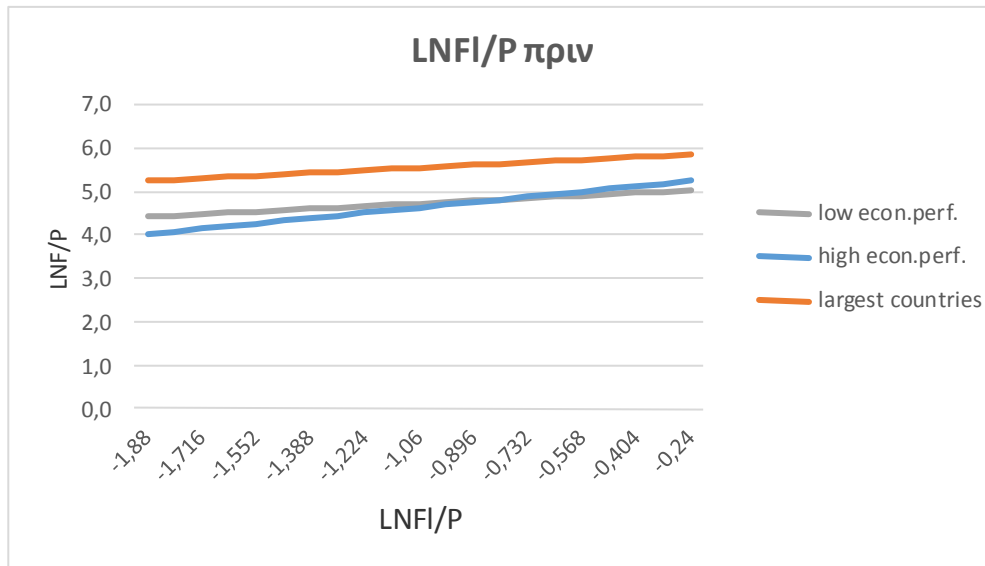
Η μεταβλητή του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό παρουσιάζει 1,33 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο. Η μεταβλητή του λογαρίθμου του ΑΕΠ παρουσιάζει 62,767 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο.

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι σε όλα τα μοντέλα η ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα είναι ο λογάριθμος του ΑΕΠ (LNGDP).

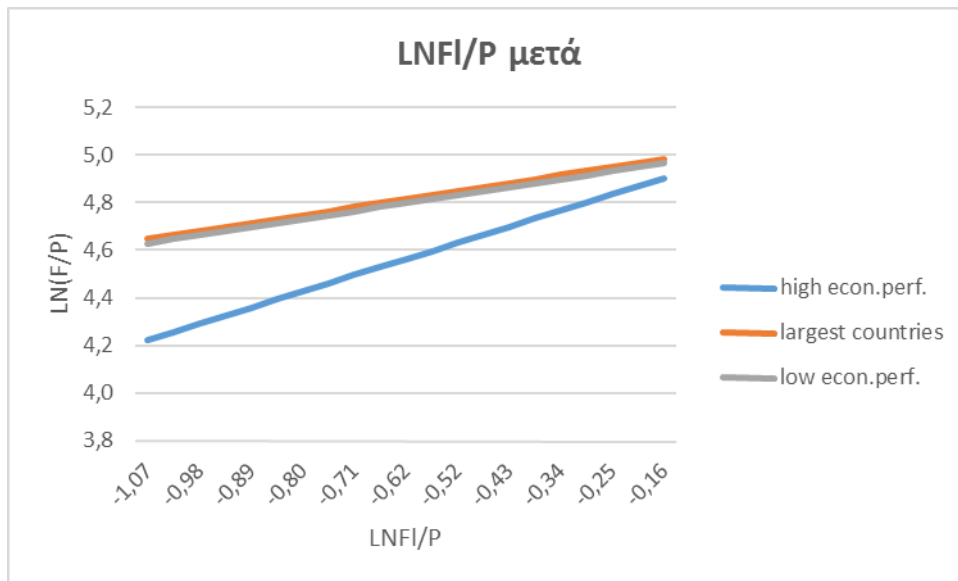
## 5.8 Ανάλυση ευαισθησίας

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα ευαισθησίας που αναπτύχθηκαν με στόχο την καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη.

Τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν αν στην τελική εξίσωση κάθε μοντέλου παραμείνουν σταθερές οι υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές και δίνοντας διάφορες τιμές στην εξεταζόμενη ανεξάρτητη μεταβλητή.



Σχήμα 5.6: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή του λογαρίθμου του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό στα οδικά ατυχήματα πριν την κρίση

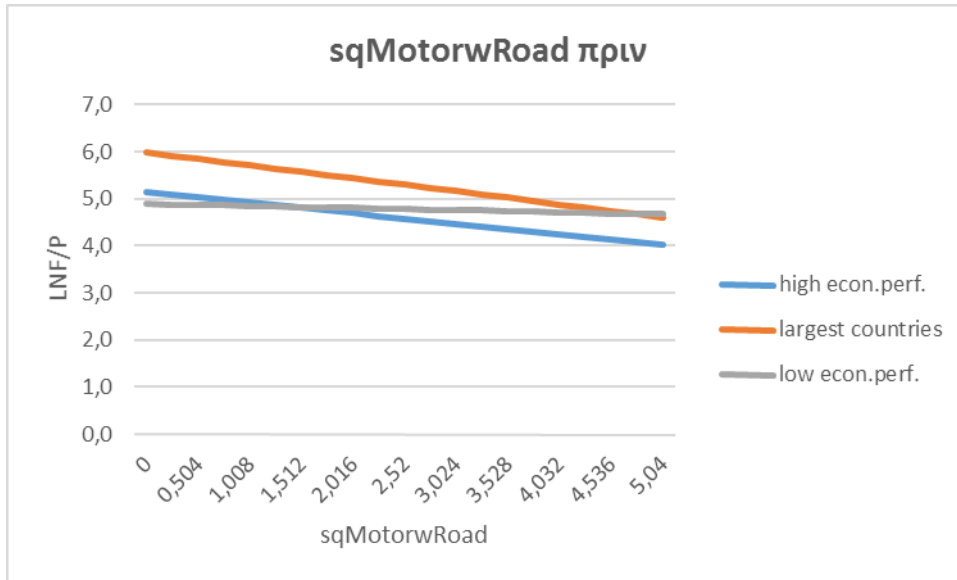


Σχήμα 5.7: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή του λογαρίθμου του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό στα οδικά ατυχήματα μετά την κρίση

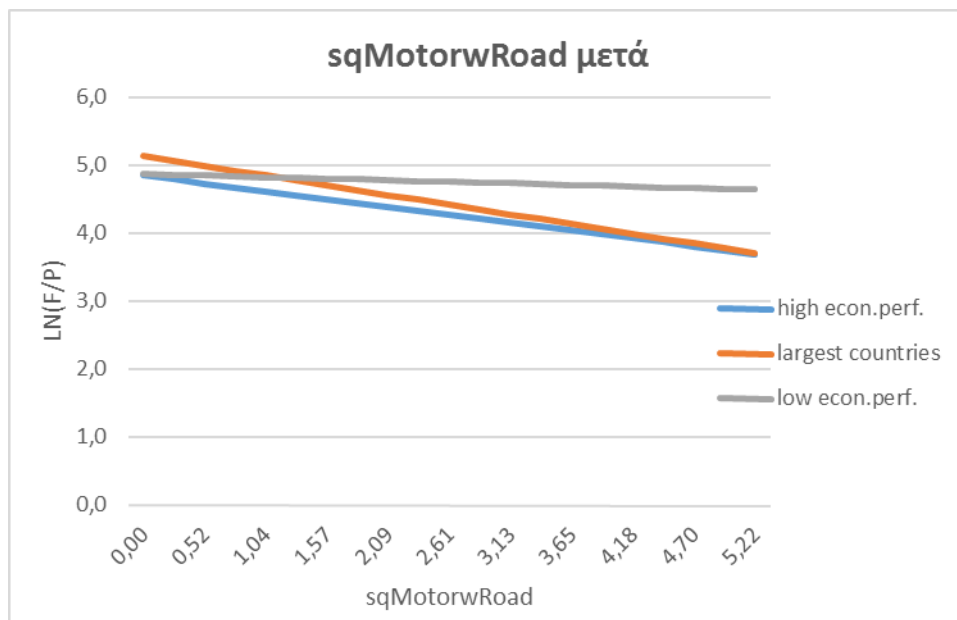
Στα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ότι ο λογάριθμος του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό (LNFI/P) δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά στις διάφορες ομάδες των κρατών. Παρ' όλα αυτά βλέπουμε ότι η αύξηση του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανα πληθυσμό οδηγεί σε αύξηση των οδικών ατυχημάτων με λίγο μεγαλύτερη επιρροή στις χώρες με υψηλή



οικονομική απόδοση, πράγμα που μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι χώρες αυτές λόγω γενικά χαμηλού πληθυσμού, δεν είναι «συνηθισμένες» στην αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων (το οποίο μπορεί να οφείλεται σε άλλους παράγοντες π.χ. μετανάστευση κλπ.)

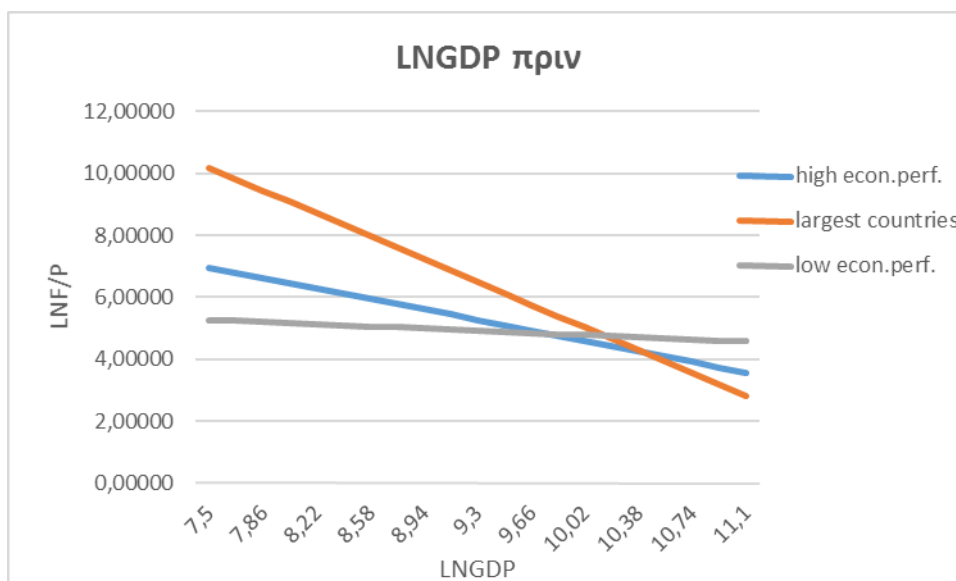


Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή της τετραγωνικής ρίζα των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο στα οδικά ατυχήματα πριν την κρίση

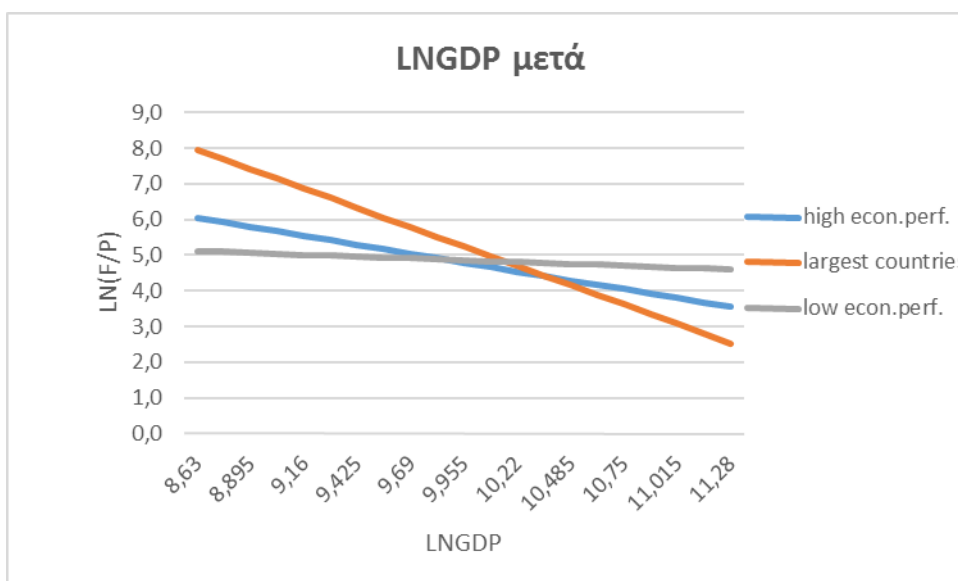


Σχήμα 5.9: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή της τετραγωνικής ρίζα των αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο στα οδικά ατυχήματα μετά την κρίση

Στο παραπάνω διάγραμμα η επιρροή των αυτοκινητοδρόμων δεν φαίνεται να παρουσιάζει πολύ μεγάλη διαφορά μεταξύ των διαφορετικών ομάδων κρατών. Παρ' όλα αυτά φαίνεται ότι η επίδοση της οδικής ασφάλειας στα μεγάλα κράτη επηρεάζεται λίγο περισσότερο από την ύπαρξη αυτοκινητοδρόμων σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι στα κράτη αυτά, λόγω μεγέθους και πληθυσμού, να είναι σημαντικότερο να υπάρχει μεγαλύτερη αναλογία αυτοκινητοδρόμων στο οδικό δίκτυο και κατ' επέκταση ανά πληθυσμό.



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή του λογαρίθμου του ΑΕΠ στα οδικά ατυχήματα πριν την κρίση



Σχήμα 5.11: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή του λογαρίθμου του ΑΕΠ στα οδικά ατυχήματα μετά την κρίση

Αύξηση του ΑΕΠ σημαίνει μείωση της έκθεσης σε κίνδυνο των χρηστών της οδού και κατά συνέπεια υπάρχει μικρότερος κίνδυνος τραυματισμού (θανάσιμου ή μη) σε ατύχημα, πράγμα που επιβεβαιώνεται στα παραπάνω διαγράμματα. Επίσης, στις μεγάλες χώρες βλέπουμε ότι η επιρροή του λογαρίθμου του ΑΕΠ είναι μεγαλύτερη, πράγμα που μπορεί να οφείλεται στις ανισότητες που υπάρχουν σε αυτές τις χώρες άρα αύξηση του ΑΕΠ επιδρά συνολικά πιο «έντονα» στις οδικές συνθήκες.

### 5.8.1 Σύγκριση διαγραμμάτων ευαισθησίας πριν και μετά την κρίση

Στα διαγράμματα ευαισθησίας που παρουσιάστηκαν δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην επιρροή των υπό εξέταση μεταβλητών στην οδική ασφάλεια μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων.

Φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη μεταβολή της επιρροής του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό στα οδικά ατυχήματα στα κράτη με υψηλή οικονομική επίδοση, και μάλιστα η επιρροή αυτή είναι μεγαλύτερη μετά την οικονομική κρίση. Αυτό το γεγονός μπορεί να οφείλεται και σε άλλους κοινωνικούς παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω (π.χ. μετανάστευση, πληθυσμιακές αλλαγές, κλπ.)

## 5.9 Συγκριτική αξιολόγηση στα μοντέλα πριν και μετά την κρίση για το σύνολο των κρατών

Ο εντοπισμός των διαφορών ανάμεσα στα μοντέλα πριν και μετά την κρίση θα βοηθήσει να διαπιστωθεί ο τρόπος με τον οποίο η οικονομική κρίση επηρέασε τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα στην Ευρώπη.

Παρατηρείται ότι η εξέλιξη της οικονομίας επιδρά στην εξέλιξη των οδικών ατυχημάτων περισσότερο από τους κοινωνικούς και τους συγκοινωνιακούς δείκτες. Μετά την οικονομική κρίση **η επίδραση της οικονομίας (GDP) είναι ακόμα μεγαλύτερη** (1,7 φορές μεγαλύτερη).

Για τη μεταβλητή του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό παρατηρείται μείωση της σχετικής επιρροής μετά την κρίση (σχεδόν 4 φορές). Αυτό μπορεί να οφείλεται στη γενική μείωση κυκλοφορίας οχημάτων στους δρόμους λόγω επιφυλακτικότητας μετά την κρίση, αλλά είναι ένα θέμα που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.



## 6 Συμπεράσματα

### 6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθούν οι **οικονομικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας** συγκριτικά πριν και μετά την περίοδο της κρίσης στην Ευρώπη με τη χρήση στατιστικών μοντέλων.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε η **βιβλιογραφική** αναζήτηση ερευνών συναφών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και παγκοσμίως.

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η συλλογή των απαιτούμενων **στοιχείων** από βάσεις διάφορων διεθνών οργανισμών, όπως η EUROSTAT και αναπτύχθηκε η σχετική βάση δεδομένων.

Τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία και να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στο ειδικό στατιστικό λογισμικό. Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο. Αναπτύχθηκαν συνολικά **δύο στατιστικά μοντέλα** με τις ίδιες μεταβλητές για πριν και μετά την κρίση όπως αυτή ορίστηκε ξεχωριστά για κάθε χώρα μέσω των διαγραμμάτων Α.Ε.Π.-Year. Για κάθε περίοδο οι χώρες είχαν χωριστεί στα κράτη με χαμηλή οικονομική επίδοση, τις μεγάλες χώρες και τα κράτη με υψηλή οικονομική επίδοση. Σε όλα τα μοντέλα επιλέχθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή ο λογάριθμος του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά πληθυσμό και ως ανεξάρτητες μεταβλητές ο λογάριθμος του Α.Ε.Π, η τετραγωνική ρίζα των αυτοκινητοδρόμων ανά χιλιόμετρα οδικού δικτύου και ο λογάριθμος του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων τόσο για πριν όσο και για μετά την κρίση, έγινε μετά από αρκετές δοκιμές για διάφορους συνδυασμούς ανεξάρτητων μεταβλητών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων.

Παράμετρος	Πριν				Μετά			
	Estimate	t	Sig.	ei*	Estimate	t	Sig.	ei*
Σταθερός Όρος	7,030	17,920	0,000		8,647	13,982	0,000	
[Γκρουπ=1]	7,821	6,074	0,000		3,383	2,603	0,011	
[Γκρουπ=2]	19,101	6,310	0,000		6,873	2,089	0,031	
LN(οχήματα/ πληθυσμό)	0,369	4,639	0,000	-5,17	0,174	2,243	0,025	-1,33
Τετρ_ριζα (αυτοκινητοδρομοι/ δίκτυο)	-0,044	-2,441	0,015	-1	-0,067	-2,208	0,029	-1
LN(A.E.Π.)	-0,192	-5,282	0,000	-36,79	-0,445	-7,365	0,000	-62,77
[Γκρουπ=1] * LN(οχήματα/ πληθυσμό)	0,378				0,509	1,873	0,064	
[Γκρουπ=2] * LN(οχήματα/ πληθυσμό)	0,514	1,705	0,090		3,626	5,764	0,000	
[Γκρουπ=1] * Τετρ_ριζα (αυτοκινητοδρομοι/ δίκτυο)	-0,177	-2,063	0,040		0,101			
[Γκρουπ=2] * Τετρ_ριζα (αυτοκινητοδρομοι/ δίκτυο)	-0,228	-2,530	0,012		-0,289	-2,415	0,018	
[Γκρουπ=1] * LN(A.E.Π.)	-0,751	-6,343	0,000		-0,300	-2,418	0,017	
[Γκρουπ=2] * LN(A.E.Π.)	-1,855	-6,543	0,000		-0,472	-2,047	0,053	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Estimate</b>	<b>Wald z</b>	<b>Sig.</b>		<b>Estimate</b>	<b>Wald z</b>	<b>Sig.</b>	
Υπόλοιπο	0,036	10,464	0,000		0,035	7,141	0,000	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1** Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων

## 6.2 Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν αποτελέσματα άμεσα συνδεδεμένα με τον κύριο στόχο που είχε τεθεί αρχικά. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Διαπιστώθηκε ότι η **αύξηση του Α.Ε.Π.** (GDP) συσχετίζεται με τη μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Πρόκειται για έναν δείκτη που συνεπάγεται την υψηλότερη κουλτούρα οδικής ασφάλειας, επομένως οι σχέσεις που προέκυψαν είναι σύμφωνες με τη διεθνή βιβλιογραφία.
- Η **αύξηση του στόλου οχημάτων** ανά πληθυσμό (FI/P) συσχετίζεται με τη αύξηση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Συμπέρασμα το οποίο ίσως οφείλεται στο ότι αύξηση των οχημάτων ανά πληθυσμό συνεπάγεται αύξηση της έκθεσης σε κίνδυνο των χρηστών της οδού και κατά συνέπεια υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος τραυματισμού σε ατύχημα. Αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, καθώς αντικρούεται από το γεγονός ότι ο συντελεστής της σχετικής επιρροής του λογαρίθμου του στόλου των οχημάτων ανά πληθυσμό  $ei^*$  προέκυψε αρνητικός, το οποίο συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του LNFI/P έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.
- Η **αύξηση των χιλιομέτρων αυτοκινητοδρόμων** ανά χιλιομέτρων οδικού δικτύου (Motorw/Road) συσχετίζεται με τη μείωση των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Το συμπέρασμα αυτό φαίνεται λογικό διότι οι αυτοκινητόδρομοι ανεβάζουν το επίπεδο της κυκλοφορίας με τον καλό σχεδιασμό τους αλλά και τον διαχωρισμό των κατευθύνσεων.
- Η **εξέλιξη της οικονομίας** επιδρά στην εξέλιξη των οδικών ατυχημάτων περισσότερο από τους συγκοινωνιακούς δείκτες. Η **επιρροή** του ΑΕΠ είναι **μεγαλύτερη μετά την κρίση** από ότι πριν την κρίση (1,7 φορές μεγαλύτερη).
- Από το μοντέλο πριν την κρίση προέκυψε ότι η **ομάδα των μεγάλων χωρών συμβάλλει στον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα κατά 19 φορές περισσότερο από την ομάδα των κρατών με χαμηλή οικονομική επίδοση**, ενώ στο αντιστοιχο μοντέλο μετά την κρίση συμβάλλει σχεδόν 7 φορές περισσότερο. Αυτό ίσως οφείλεται σε πληθυσμιακούς και κοινωνικούς παράγοντες (ανισότητες, κλπ) που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

- Η **επιρροή της μεταβλητής του στόλου των οχημάτων** είναι μεγαλύτερη πριν την κρίση από ότι μετά την κρίση (σχεδόν 4 φορές μεγαλύτερη). Αυτό μπορεί να οφείλεται στη γενική μείωση κυκλοφορίας οχημάτων στους δρόμους λόγω επιφυλακτικότητας μετά την κρίση, αλλά είναι ένα θέμα που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.
- Γενικά, στα διαγράμματα ευαισθησίας που παρουσιάστηκαν δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην επιρροή των υπό εξέταση μεταβλητών στην οδική ασφάλεια **μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων.**
- Μικρή σχετικά διαφορά φαίνεται να υπάρχει στη **μεταβολή της επιρροής του λογαρίθμου του στόλου οχημάτων ανά πληθυσμό στα οδικά ατυχήματα στα κράτη με υψηλή οικονομική επίδοση**, και μάλιστα η επιρροή αυτή είναι μεγαλύτερη μετά την οικονομική κρίση. Αυτό το γεγονός μπορεί να οφείλεται και σε άλλους κοινωνικούς παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω (π.χ. μετανάστευση, πληθυσμιακές αλλαγές, κλπ.)
- Η μέθοδος του **Γραμμικού Μικτού Μοντέλου** είναι κατάλληλη για την ανάλυση της επιρροής οικονομικών, κοινωνικών και συγκοινωνιακών δεικτών στην οδική ασφάλεια.

### 6.3 Προτάσεις

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων, αλλά και σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, είναι δυνατό να διατυπωθούν οι συνολικές προτάσεις της Διπλωματικής Εργασίας, όπως αυτές συνοψίζονται παρακάτω.

Οι φορείς της πολιτείας που είναι υπεύθυνοι για την εφαρμογή και την παρακολούθηση της προόδου του εθνικού προγράμματος οδικής ασφάλειας οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη την επιρροή οικονομικών, κοινωνικών και συγκοινωνιακών δεικτών κατά τη φάση της αξιολόγησης της εφαρμογής του προγράμματος.

Επίσης, οι αρμόδιοι φορείς και τα όργανα λήψης αποφάσεων, θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και διάφορα κοινωνικά ζητήματα, καθώς έχουν αντίκτυπο στην ψυχολογία και στην κουλτούρα των πολιτών και κατά συνέπεια στο επίπεδο οδικής ασφάλειας.



Τέλος, τα κράτη οφείλουν να θέσουν ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής και της εκπαίδευσης των πολιτών, καθώς η αύξηση του δείκτη ανθρώπινης ανάπτυξης συσχετίζεται με τη μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα.

#### **6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας διερευνήθηκαν κάποιοι οικονομικοί, κοινωνικοί και συγκοινωνιακοί δείκτες επιρροής της οδικής ασφάλειας πριν και μετά την περίοδο της κρίσης στην Ευρώπη.

Αρκετά ενδιαφέρουσα θα ήταν η επέκταση της συγκεκριμένης έρευνας σε μεγαλύτερο αριθμό χωρών και εκτός Ευρώπης ώστε να γίνουν συγκρίσεις για τη διαπίστωση εάν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έχουν την ίδια ισχύ παγκοσμίως.

Επιπροσθέτως, ένα ακόμη βήμα περαιτέρω έρευνας θα ήταν να συλλεχθούν δεδομένα από περισσότερα έτη για τους αυτοκινητοδρόμους ή και άλλες μεταβλητές που περιγράφουν τις συγκοινωνιακές συνθήκες ώστε να διερευνηθεί περαιτέρω η συσχέτιση της βελτίωσης της συγκοινωνιακής κατάστασης με την οδική ασφάλεια.

Ακόμα, το αντικρουόμενο αποτέλεσμα που προέκυψε από την παρούσα Διπλωματική Εργασία όσον αφορά τη σχέση της αύξησης του στόλου των οχημάτων με την αύξηση ή μείωση των οδικών ατυχημάτων, θα μπορούσε να μελετηθεί περαιτέρω.

Επίσης, οι κοινωνικοί είτε άλλοι παράγοντες που οδηγούν τις διάφορες κατηγορίες χωρών να συμβάλλουν περισσότερο ή λιγότερο στο συνολικό αριθμό των οδικών ατυχημάτων, θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί.

Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της συσχέτισης των ίδιων οικονομικών, κοινωνικών και συγκοινωνιακών δεικτών με τον αριθμό των νεκρών στα οδικά ατυχήματα 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. Elizabeth Kopits, Maureen Cropper, Traffic fatalities and economic growth. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 37, Issue 1, January 2005, Pages 169-178, 2005
2. European Commission, 2018 <https://ec.europa.eu/transport/>
3. Fred Wegman, Richard Allsop, Constantinos Antoniou, Ruth Bergel-Hayat, Rune Elvike, Sylvain Lassarre, Daryl Lloyd, Wim Wijneng. How did the economic recession (2008–2010) influence traffic fatalities in OECD-countries? Research article. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 102, Pages 51-59, May 2017
4. Jacobs G. D, Cutting C. A. Further research on accident rates in developing countries. *Accident Analysis and Prevention*, 18 (2), 119-127, 1986
5. Lassarre S. Analysis of progress in road safety in ten European countries. *Accident Analysis and Prevention*, 33, pp. 743-751, 2001
6. Reinfurt D.W., Stewart J.R., Weaver N.L. The Economy as a Factor in Motor Vehicle Fatalities, Suicides and Homicides. *Accident Analysis and Prevention*, Vol:23, Issue:5, pp:453-462, 1991
7. S. Kandrychyn, Y. Razvodovsky Road traffic accidents and suicide rates in Europe. Conference abstract. *European Psychiatry*, Volume 41, Supplement, Page s888, April 2017
8. Wagenaar A.C. Effects of macroeconomic conditions on the incidence of motor vehicle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, Vol:16, Issue:3, pp. 191-205, 1984
9. WHO- World Health Organization [www.who.int/en](http://www.who.int/en)
10. Xin Li, Liyu Wu, Xianfeng Yang. 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, November 2018
11. Yannis G., Antoniou C., Papadimitriou E. Autoregressive nonlinear time-series modeling of traffic fatalities in Europe. *Eur. Transp. Res. Rev.* (2011) pp.113–127, ., 2011
12. Yannis G., Antoniou C., Papadimitriou E., Katsochis D. When may road fatalities start to decrease? *Journal of Safety Research*, 42(1), pp.17-25, 2011
13. Γιαννής Γ., Τσουμάνη Α. Συσχετίσεις μακροσκοπικών παραμέτρων οδικής ασφάλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Διπλωματική Εργασία,

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2006

14. Γιαννής Γ., Φώλλα Κ. Η επιρροή της μεταβολής του Α.Ε.Π. στα οδικά ατυχήματα, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2012