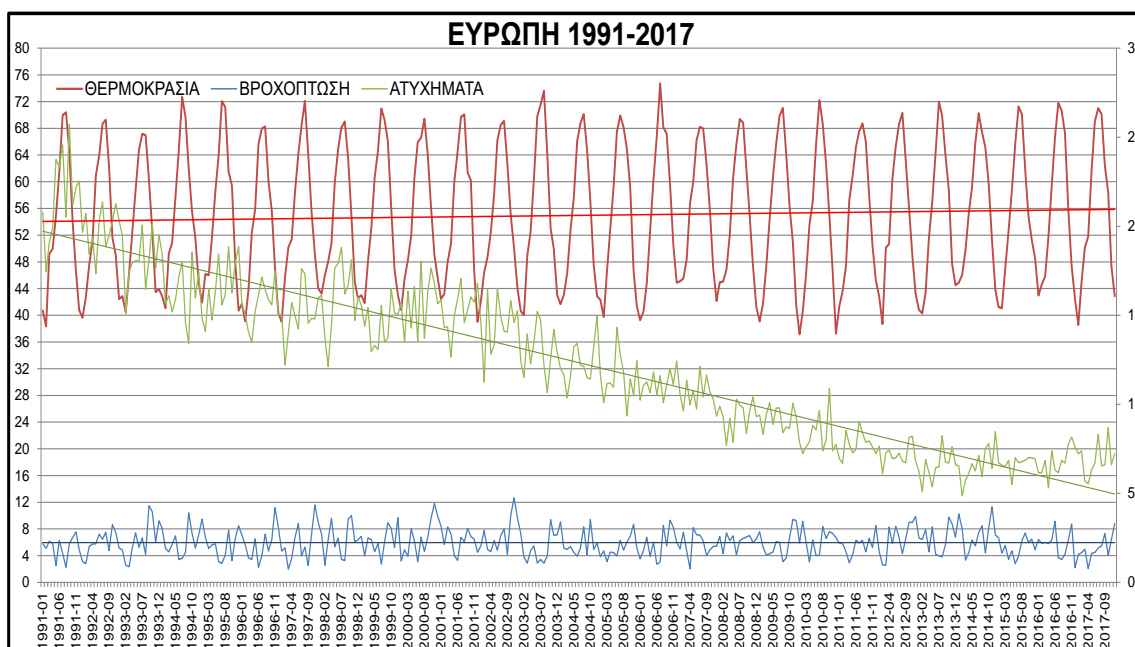




# ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θανάσκο Αρετή

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

Αθήνα, Νοέμβριος 2019



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, την υποστήριξη και την πολύτιμη καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της, καθώς και την εξαιρετική συνεργασία μας.

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

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για όλη τη στήριξη που μου προσέφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Νοέμβριος 2019

Αρετή Θανάσκο



# ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Θανάσκο Αρετή

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

## **ΣΥΝΟΨΗ**

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθεί η μακροσκοπική συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων και των καιρικών συνθηκών σε Ευρωπαϊκές πόλεις. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων που περιελάμβανε για κάθε πόλη τα στοιχεία για την μέση μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση, καθώς και τον μηνιαίο αριθμό ατυχημάτων την χρονική περίοδο 1991-2017. Οι πόλεις αυτές χωρίστηκαν σε δύο ομάδες που περιλαμβάνουν τις βόρειες και τις νότιες αντίστοιχα. Αναπτύχθηκαν Γραμμικά Μικτά Μοντέλα τόσο για το σύνολο των ετών, όσο και για τα επιμέρους χρονικά διαστήματα 1991-2005 και 2006-2017, ενδεικτικά πριν και μετά την εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής. Επίσης αναπτύχθηκε ένα ακόμα μοντέλο που συσχετίζει το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. των παραπάνω χωρών με την θερμοκρασία και τα οδικά ατυχήματα. Από την εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων προέκυψε πως η αύξηση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας επιδρά θετικά στην αύξηση των ατυχημάτων. Για τις νότιες πόλεις προέκυψε ότι η επίδραση τους στα οδικά ατυχήματα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις βόρειες πόλεις. Σχετικά με τα αποτελέσματα από τα επιμέρους χρονικά διαστήματα, για την βροχόπτωση προέκυψε μείωση της επίδρασης τους στα ατυχήματα σε βάθος χρόνου, ωστόσο η συσχέτιση τους συνεχίζει να είναι θετική. Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής οδηγεί στην αύξηση των οδικών ατυχημάτων και τελικώς επιβραδύνει τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Λέξεις-κλειδιά: θερμοκρασία, βροχόπτωση, οδικά ατυχήματα, Γραμμικό Μικτό Μοντέλο, χρονικά διαστήματα

# LONG-TERM ASSOCIATION OF ROAD ACCIDENTS AND WEATHER CONDITIONS IN EUROPEAN CITIES

Thanasko Areti

Supervisor: George Yannis, Professor, NTUA

## **ABSTRACT**

The objective of this Diploma Thesis is to investigate the long-term correlation between road accidents and weather conditions in European cities. On that purpose, a database containing average monthly temperature and precipitation data for every city - as well as the monthly number of road accidents for the period 1991-2017 was developed. The cities were divided into two groups: southern and northern cities. Linear Mixed Models were developed for the total time period, as well as for the periods of 1991-2005 and 2006-2017, indicatively before and after intensification of climate change. Moreover, another model correlating the GDP per capita with temperature and road accidents was developed. The application of the models concluded that increase of precipitation and temperature results at increase of road accidents. For the group of south cities, the impact of weather conditions in road accidents is found more severe. For each time period, the rain has a negative impact on accidents, although their correlation is positive. Furthermore, temperature increase due to climate change slows down the improvement of road safety.

Key-words: weather conditions, precipitation, road accidents, Linear Mixed Model, time periods

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθεί **μακροσκοπικά η συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων και των καιρικών συνθηκών σε Ευρωπαϊκές πόλεις** με τη χρήση στατιστικών μοντέλων.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε η **βιβλιογραφική αναζήτηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και παγκοσμίως, καθώς και των διαθέσιμων στοιχείων που ήταν απαραίτητα για τη συγκεκριμένη διερεύνηση.

Στη συνέχεια ακολούθησε η **συλλογή** των απαραίτητων για την εργασία στοιχείων από βάσεις δεδομένων διάφορων οργανισμών, όπως το CARE, NOAA, KNMI Climate Explorer και EUROSTAT και αναπτύχθηκε η σχετική βάση δεδομένων. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν περιελάμβαναν τον αριθμό ατυχημάτων σε μηνιαία βάση, την μέση μηνιαία βροχόπτωση και την μέση μηνιαία θερμοκρασία για τις εξεταζόμενες πόλεις από το 1991 έως το 2017. Επίσης, συλλέχθηκαν και στοιχεία που αφορούν στο κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (Α.Ε.Π.) ανά τρίμηνα για τα έτη 1995-2017 για τις πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης που εξετάστηκαν.

Τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στο ειδικό στατιστικό λογισμικό. Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο και **αναπτύχθηκαν συνολικά τέσσερα στατιστικά μοντέλα**. Στα τρία στατιστικά μοντέλα συσχετίζεται η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και τα οδικά ατυχήματα για το χρονικό διάστημα 1991-2017 αλλά και για τα επιμέρους διαστήματα 1991-2005 και 2006-2017, ενδεικτικά πριν και μετά την εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής. Η εξαρτημένη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε είναι ο λογάριθμος των οδικών ατυχημάτων και ως ανεξάρτητες η βροχόπτωση και η θερμοκρασία. Ενώ στο τέταρτο στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε συσχετίζεται η μείωση του Α.Ε.Π. με την αύξηση της θερμοκρασίας και τη μεταβολή των οδικών ατυχημάτων.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων τόσο για το σύνολο των κρατών όσο και για κάθε ομάδα ξεχωριστά, έγινε μετά από **αρκετές δοκιμές** για διάφορους συνδυασμούς ανεξάρτητων μεταβλητών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων.

<b>ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>												
	<b>Χρονικό Διάστημα 1991-2017</b>				<b>Χρονικό Διάστημα 1991-2005</b>				<b>Χρονικό Διάστημα 2006-2017</b>			
<b>Parameter</b>	<b>Estimate</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>	<b>e<sub>i</sub>*</b>	<b>Estimate</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>	<b>e<sub>i</sub>*</b>	<b>Estimate</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>	<b>e<sub>i</sub>*</b>
Intercept	1,083	14,526	0,000		1,346	15,670	0,000		0,765	6,678	0,000	
GROUP <sub>=1</sub>	2,077	14,373	0,000		2,161	13,075	0,000		1,806	8,048	0,000	
Βροχόπτωση	0,053	5,190	0,000	1,00	0,063	5,446	0,000	1,00	0,065	4,016	0,000	1,00
Θερμοκρασία	0,008	5,531	0,000	3,45	0,008	4,765	0,000	2,90	0,008	3,746	0,000	2,82
GROUP <sub>=1</sub> *(Βροχόπτωση)	-0,046	-2,824	0,005		-0,080	-4,400	0,000		-0,045	-1,656	0,098	
GROUP <sub>=1</sub> *(Θερμοκρασία)	-0,007	-3,003	0,003		-0,007	-2,476	0,013		-0,005	-1,297		

<b>Α.Ε.Π. - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>			
	<b>Χρονικό Διάστημα 1995-2017</b>		
<b>Parameter</b>	<b>Estimate</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
Intercept			
GROUP <sub>=1</sub>	-9,070	-2,560	0,011
Μείωση Α.Ε.Π.	-1,103	-1,693	0,091
Αύξηση Θερμοκρασίας	0,725	1,679	0,093

#### *Συγκεντρωτικός Πίνακας μοντέλων*

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

- ❖ Διαπιστώθηκε ότι στις Ευρωπαϊκές πόλεις η **αύξηση της θερμοκρασίας (TAVG) συσχετίζεται θετικά με την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων**. Το γεγονός αυτό εξηγείται ενδεχομένως από την κυκλοφορία των χρηστών της οδού που αυξάνεται όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε αυτές τις περιπτώσεις αυξάνονται επίσης και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.
- ❖ Προέκυψε, επίσης, ότι **αύξηση της βροχόπτωσης συσχετίζεται θετικά με την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων**. Γενικά, η βροχή οδηγεί συχνά σε μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου,



ωστόσο, το πλήθος των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται διότι τα οχήματα που τελικά κυκλοφορούν είναι ενδεχομένως πιο επιρρεπή στο να εμπλακούν σε ατύχημα (λόγω της μειωμένης πρόσφυσης των ελαστικών με το οδόστρωμα, της κακής ορατότητας, κλπ.).

- ❖ Στο **χρονικό διάστημα 1991-2005 παρατηρείται μεγαλύτερη επιρροή της βροχόπτωσης σε σχέση με την περίοδο 2006-2017**. Πιθανή αιτία είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας στα οχήματα που οδηγεί σε βελτίωση της πέδησης σε υγρό οδόστρωμα. Ομοίως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στη συνεχιζόμενη βελτίωση της παιδείας των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας.
- ❖ Η επιρροή της θερμοκρασίας, σε σχέση με τη βροχόπτωση, για το χρονικό διάστημα 1991-2017 είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες επιρροές που αναφέρονται στα διαστήματα 1991-2005 και 2006-2017. Επιπλέον, από τη **σύγκριση μεταξύ των διαστημάτων 1991-2005 και 2006-2017** (πριν και μετά την κλιματική αλλαγή) παρατηρείται ότι στο πρώτο υπάρχει μεγαλύτερη επιρροή θερμοκρασίας έναντι της βροχόπτωσης.
- ❖ Όπως προέκυψε από τη συνολική ανάλυση των αποτελεσμάτων, **η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής οδηγεί σε επιβράδυνση της βελτίωσης της οδικής ασφάλειας**.
- ❖ Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή και υπό αυστηρές προϋποθέσεις σε μικρότερη κλίμακα. Αυτό, διότι **διαφορετικές πόλεις** (ή και χώρες) εμφανίζουν διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά όπως θερμοκρασίες, ύψη βροχόπτωσης κλπ. καθώς και οι χρήστες της οδού μπορεί να εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και αναφορικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. πιο εξοικειωμένοι οι οδηγοί των βόρειων περιοχών στην οδήγηση υπό κακοκαιρία, κλπ).
- ❖ Επισημαίνεται ότι το **γραμμικό μικτό μοντέλο** αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για τη συσχέτιση των ατυχημάτων με τις καιρικές συνθήκες (βροχόπτωση και θερμοκρασία). Αυτό ισχύει δεδομένου ότι τα μαθηματικά πρότυπα, που προέκυψαν με χρήση της μεθόδου αυτής, θεωρούνται αξιόπιστα και τα εξαγόμενα συμπεράσματα φαίνεται να είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	1
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	4
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	5
1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	8
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	10
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	10
2.2 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	11
2.2.1 ΟΜΙΧΛΗ .....	11
2.2.2 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ .....	12
2.2.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ .....	13
2.2.4 ΧΙΟΝΙ.....	13
2.2.5 ΑΝΕΜΟΣ .....	14
2.3 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ .....	14
2.4 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	17
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	19
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	19
3.2 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ .....	19
3.3 ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ.....	20
3.4 ΓΕΝΙΚΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	20
3.5 ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΙΚΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	21
3.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	22
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	25
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	25
4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	25
4.2.1 ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	25
4.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ .....	27
4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....	28
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	32
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	32

5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	32
5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	35
5.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΙΚΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	36
5.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1991-2017 ..	37
5.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	37
5.5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	39
5.6 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1991-2005 .	41
5.6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	41
5.6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	43
5.7 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2006-2017 .	45
5.7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	45
5.7.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	47
5.8 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ Α.Ε.Π. ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1995-2017 .....	49
5.8.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	49
5.8.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	51
5.9 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ .....	52
5.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ .....	54
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	57
6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	57
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	57
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	62
6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	60

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στις σύγχρονες κοινωνίες, η μεταφορά αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής των ανθρώπων. Η απότομη τεχνολογική ανάπτυξη κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα και η οικονομική ευμάρεια των προηγούμενων ετών, σε συνδυασμό με τη ραγδαία εξέλιξη του αυτοκινήτου τα τελευταία 30 χρόνια έχουν συντελέσει στην κατακόρυφη αύξηση του δείκτη ιδιοκτησίας Ι.Χ. οχημάτων, που δημιούργησε μια πρωτοφανή αύξηση των **οδικών μεταφορών**. Το αναμφίβολα μεγάλο όφελος αυτής της τεχνολογικής εξέλιξης για τον άνθρωπο με τη χρήση των οχημάτων στη ζωή του επιφέρει και το οδυνηρότερο τίμημα για τον ίδιο μέσω των οδικών ατυχημάτων.

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.

Κάθε χρόνο **χάνουν τη ζωή τους σε οδικά ατυχήματα περίπου 1,35 εκατομμύρια άνθρωποι, ενώ τραυματίζονται 50 εκατομμύρια άτομα**. Οι τραυματισμοί από τροχαία ατυχήματα αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου για τους νέους ηλικίας μεταξύ 15 και 29 χρονών. Επίσης οι τραυματισμοί σε οδικά ατυχήματα κοστίζουν στα κράτη περίπου 3% του Α.Ε.Π.. (WHO, 2018).

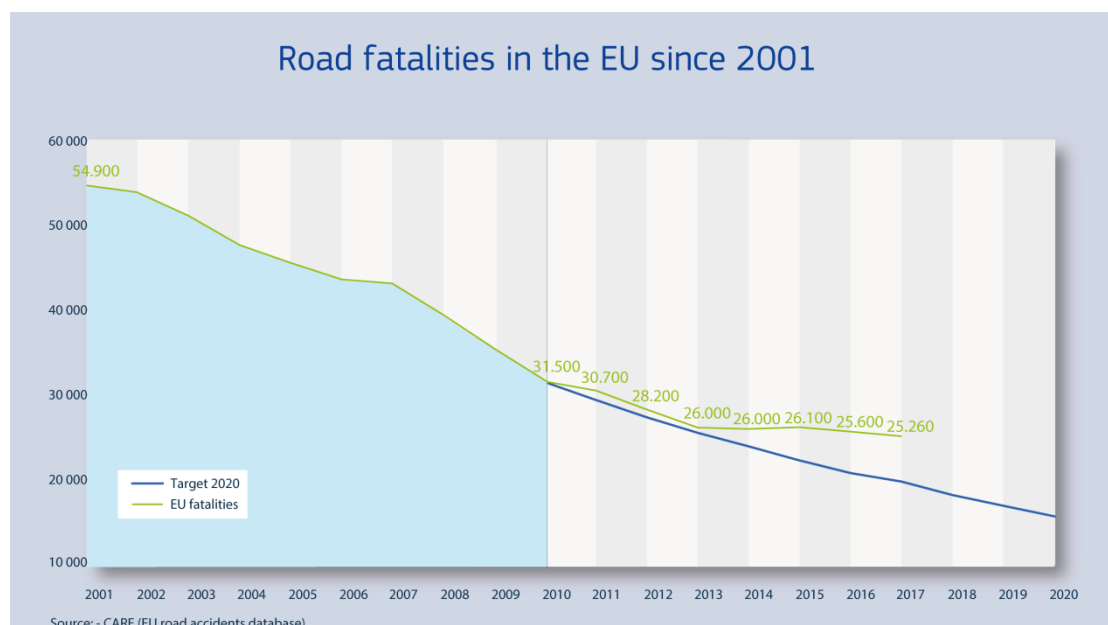
Αν και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται **σημαντική βελτίωση** σε θέματα οδικής ασφάλειας, συγκεκριμένα, κατά την περίοδο 2001-2017 οι θάνατοι λόγω τροχαίων μειώθηκαν κατά 57,5%, ωστόσο η μείωση αυτή παραμένει σταθερή. Το 2017, οι χώρες με την υψηλότερη βαθμολογία στην οδική ασφάλεια ήταν η Σουηδία, η Βρετανία και οι Κάτω Χώρες, ενώ οι χώρες με τη χειρότερη βαθμολογία ήταν η Ρουμανία, η Βουλγαρία και η Κροατία.

Όσον αφορά στην Ελλάδα, η επίδοση της σε θέματα οδικής ασφάλειας σημείωσε εντυπωσιακή βελτίωση από το 2010, πρόκειται για μείωση 41%, ωστόσο ο αριθμός των θυμάτων από τροχαία ατυχήματα στην Ελλάδα παραμένει πολύ υψηλότερος από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο: 69 θανάτους ανά εκατομμύριο κατοίκων. Σημαντικά είναι και τα **στατιστικά στοιχεία** που διατίθενται και αναφέρονται στο είδος του οδικού δικτύου, μόνο το 8% των τροχαίων ατυχημάτων σημειώθηκε σε αυτοκινητόδρομους, το 55% σε αγροτικούς δρόμους και το 37% σε αστικές περιοχές. Σχετικά με τις ηλικίες των οδηγών, σχεδόν το 14% των ανθρώπων που σκοτώθηκαν στους

δρόμους της Ε.Ε. είναι ηλικίας μεταξύ 18 και 24 ετών, ενώ μόλις το 8% του ευρωπαϊκού πληθυσμού εμπίπτει σε αυτήν την ηλικιακή ομάδα. Επιπλέον, το 76% των θανάτων από τροχαία ατυχήματα είναι άνδρες και το 24% γυναίκες, το 2% των θυμάτων είναι μικρότεροι από 15 ετών. (EPRS, European Commission, 2017).

Τα **τελευταία στοιχεία** που αφορούν τα οδικά ατυχήματα αναφέρουν ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο ετήσιος αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα ανέρχεται στους 25,100 (European Commission, 2018) και στην Ελλάδα 740 (ΕΛ. ΣΤΑΤ., 2018). Η κρισιμότητα των οδικών ατυχημάτων έχει καταστήσει αναγκαίες τις συντονισμένες προσπάθειες για βελτίωση οδικών ατυχημάτων της οδικής ασφάλειας τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι από το 2001 παρατηρείται **σημαντική μείωση των θανάτων από οδικά ατυχήματα στην Ευρώπη**, η περαιτέρω μείωση τους δεν παύει, όμως, να αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για κάθε χώρα. Στο διάγραμμα 1.1 φαίνεται η μείωση αυτή, σε σύγκριση με τον στόχο ο οποίος τέθηκε από το Πρόγραμμα Οδικής Ασφάλειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το διάστημα 2010-2020.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1:** Θάνατοι λόγω οδικών ατυχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 2001 σε σύγκριση με τον στόχο για το 2020. Πηγή: European Commission, 2017.

Οι **παράγοντες** που επιδρούν στην οδική ασφάλεια κατά αυξανόμενη σειρά σπουδαιότητας είναι οι εξής (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, 1993):

- **Όχημα**

Ένας μικρός αριθμός ατυχημάτων έχει ως κύρια αιτία τις μηχανικές ή άλλες βλάβες που οφείλονται στην ανεπαρκή συντήρηση και την παλαιότητα των οχημάτων.

- **Οδός και περιβάλλον οδού**

Ατυχήματα προκαλούν οι διάφορες συνθήκες στην οδό (ανεπαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά, χαμηλά πρότυπα κατασκευής, κακή μελέτη, κακή οργάνωση της κυκλοφορίας, πλήρης έλλειψη ή ανεπάρκεια φωτισμού, ανεπαρκής έλεγχος και σήμανση, δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες) και γενικότερα το περιβάλλον.

- **Οι χρήστες της οδού**

Ο **άνθρωπος** είτε ως οδηγός ή επιβάτης ενός οχήματος είτε πεζός αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για τα οδικά ατυχήματα. Τα ατυχήματα που αποδίδονται στη χρήση της οδού προκαλούνται κυρίως από την παράβαση των κανόνων οδικής κυκλοφορίας (λανθασμένη προσπέραση, στροφή ή στάση, απρόσεκτη οδήγηση, μέθη, μη συμμόρφωση με τη σήμανση και σηματοδότηση).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, **δύο ή τρεις από τους παραπάνω παράγοντες συμβάλλουν στο ατύχημα**. Δεν είναι πάντα εφικτή η αντικειμενική διαπίστωση της συμβολής του καθενός, λόγω της πολυπλοκότητας και της έλλειψης λεπτομερούς καταγραφής και ανάλυσης των συνθηκών κάτω από τις οποίες έγινε ένα ατύχημα. Παρόλα αυτά, οι διάφορες σχετικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί δείχνουν ότι ο χρήστης της οδού, μόνος ή σε συνδυασμό με τους άλλους δύο παράγοντες, αποτελεί την κύρια αιτία των ατυχημάτων, συγκεκριμένα, από μελέτες που εκπονήθηκαν στη Μ. Βρετανία για την περίοδο 1970-1974 προκύπτει ότι σχετίζεται με το 95% των ατυχημάτων (I.M. Φραντζεσκάκης, I.K. Γκόλιας 1994). Η ανάδειξη του ανθρώπινου παράγοντα ως τον πλέον σημαντικότερο, καθιστά τις μελέτες της οδηγικής συμπεριφοράς ύψιστης σημασίας για την οδική ασφάλεια.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ένας από τους παράγοντες που συμβάλει στα οδικά ατυχήματα είναι και οι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, συγκεκριμένα πρόκειται για **καιρικές συνθήκες**, όπως η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, το χιόνι, η ομίχλη και ο άνεμος που επιδρούν σε θέματα οδικής ασφάλειας. Σύμφωνα με τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία ως σημαντικότεροι παράγοντες, όπως έχουν προκύψει από έρευνες θεωρείται ότι είναι η βροχόπτωση και η θερμοκρασία.

Η **βροχή και το υγρό οδόστρωμα** είναι από τις πιο συνηθισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες που αυξάνουν την επικινδυνότητα της οδού. Ο

δείκτης των ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο σε στεγνό οδόστρωμα σε ποσοστό που κυμαίνεται από 50%-300% (I.M. Φραντζεσκάκης, I.K. Γκόλιας 1994). Στην Ελλάδα, σχετική μελέτη που έγινε για τα έτη 1979-1981 στην εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας, έδειξε ότι για υγρό οδόστρωμα τόσο ο δείκτης για το σύνολο των ατυχημάτων, όσο και ο δείκτης ατυχημάτων με παθόντες, είναι περίπου διπλάσιοι από τους αντίστοιχους δείκτες για στεγνό οδόστρωμα (I.M. Φραντζεσκάκης, I.K. Γκόλιας 1994).

Ενώ επικίνδυνες για την οδική ασφάλεια θεωρούνται και οι μεταβολές της **θερμοκρασίας**, καθώς μπορούν να αλλάξουν την υγρασία, η οποία με τη σειρά της μπορεί να σκιάσει τα παράθυρα με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της ορατότητας του οδηγού (Shamsuddin Shahid & Anil Minhans, 2015). Επίσης, το πιο σύνηθες είναι οι υψηλές θερμοκρασίες που επηρεάζουν τόσο την ψυχική, όσο και την φυσική κατάσταση του οδηγού δημιουργώντας του την αίσθηση κόπωσης και ενδεχομένως επιθετικές τάσεις. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζεται από την θερμοκρασία είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, που συνδέεται άμεσα με την έκθεση των οχημάτων και των ευάλωτων χρηστών, άρα και στην πιθανότητα τροχαίου ατυχήματος.

Καταλήγοντας, αδιαμφισβήτητα τα οδικά ατυχήματα αποτελούν ένα μείζον θέμα της κοινωνίας μας. Για την **αποτελεσματική βελτίωση της οδικής ασφάλειας** διενεργείται εδώ και δεκαετίες, πλήθος ερευνών και μελετών, συνήθως μέσω της επιστήμης της στατιστικής για την ανάλυση και την κατανόηση των αλληλοσυσχετισμών των διαφόρων παραγόντων με τις επιπτώσεις στα οδικά ατυχήματα. Κάτι ανάλογο γίνεται και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, αφού προσπαθούμε να αναλύσουμε μακροσκοπικά την συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων και των καιρικών συνθηκών σε ευρωπαϊκές πόλεις.

## 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθεί η **μακροσκοπική συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων και των καιρικών συνθηκών σε ευρωπαϊκές πόλεις** με τη χρήση Γραμμικού Μικτού Μοντέλου.

Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί **πώς οι καιρικές συνθήκες (βροχή, θερμοκρασία) επιδρούν στα οδικά ατυχήματα**. Γίνεται προσπάθεια να αναλυθούν όσες περισσότερες πόλεις είναι δυνατόν βάσει των δεδομένων που έχουμε στη διάθεση μας, και για το μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα που αναλύονται αφορούν μέση μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση, καθώς και μηνιαία οδικά ατυχήματα για 12 πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ανάλυση γίνεται για χρονικό διάστημα 27 χρόνων,



από το 1991-2017, το χρονικό διάστημα περιορίστηκε λόγω της διαθεσιμότητας των οδικών ατυχημάτων στα κράτη της Ε.Ε. από το 1991 και μετά. Επίσης, γίνεται μια απόπειρα ερμηνείας της συσχέτισης της ποσοστιαίας μεταβολής του Α.Ε.Π και της θερμοκρασίας των πόλεων που μελετάμε με τα τροχαία ατυχήματα. Η επιλογή του Α.Ε.Π. έγινε με γνώμονα πληθώρα ερευνών που το εντάσσουν στους σημαντικότερους παράγοντες επίδρασης στα οδικά ατυχήματα.

Ανάμεσα στα ευρωπαϊκά κράτη παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στις καιρικές συνθήκες λόγω γεωγραφίας και κλίματος. Επιλέχθηκε κατά συνέπεια η **υποδιαίρεση της Ευρώπης σε δύο ομάδες πόλεων**, πρόκειται για τις βόρειες και νότιες πόλεις. Οι πόλεις που ανήκουν στην ίδια ομάδα έχουν παρόμοιες κλιματικές συνθήκες.

Στη συνέχεια, αφού καταλήξαμε στα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσουμε αναπτύχθηκαν τα **μαθηματικά μοντέλα** τα οποία θα εξηγούν την επιρροή της μέσης βροχόπτωσης και της μέσης θερμοκρασίας στα οδικά ατυχήματα. Η ανάλυση γίνεται αφενός για τις δυο ομαδοποιήσεις των πόλεων σε συγκριτικό επίπεδο θεωρώντας ως ομάδα αναφοράς τις βόρειες πόλεις για το χρονικό διάστημα 1991-2017 και αφετέρου για τις δυο ομαδοποιήσεις των πόλεων σε δυο επιμέρους χρονικά διαστήματα, το πρώτο χρονικό διάστημα είναι το 1991-2005 και το δεύτερο 2006-2017. Τέλος, γίνεται και η ανάλυση των ομαδοποιημένων πόλεων για την συσχέτιση της μεταβολής του Α.Ε.Π. και της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα 1995-2017.

Επισημαίνεται ότι τα τροχαία ατυχήματα επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από άλλους παράγοντες όπως οι οικονομικοί, οι κοινωνικοί και οι συγκοινωνιακοί δείκτες κλπ.

### 1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και την επίτευξη του τελικού στόχου, που αναφέρθηκε παραπάνω, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία, η οποία αναλύεται συνοπτικά παρακάτω.

Αρχικά **καθορίστηκε το αντικείμενο** που θα εξέταζε η παρούσα εργασία, καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος. Ακολούθησε η **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, αναζητήθηκαν, δηλαδή, έρευνες με θέμα συναφές με αυτό της Διπλωματικής Εργασίας, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Οι έρευνες αυτές φάνηκαν χρήσιμες τόσο στην επιλογή μεθόδου συλλογής στοιχείων, όσο και στην επιλογή μεθόδου ανάλυσης αυτών.

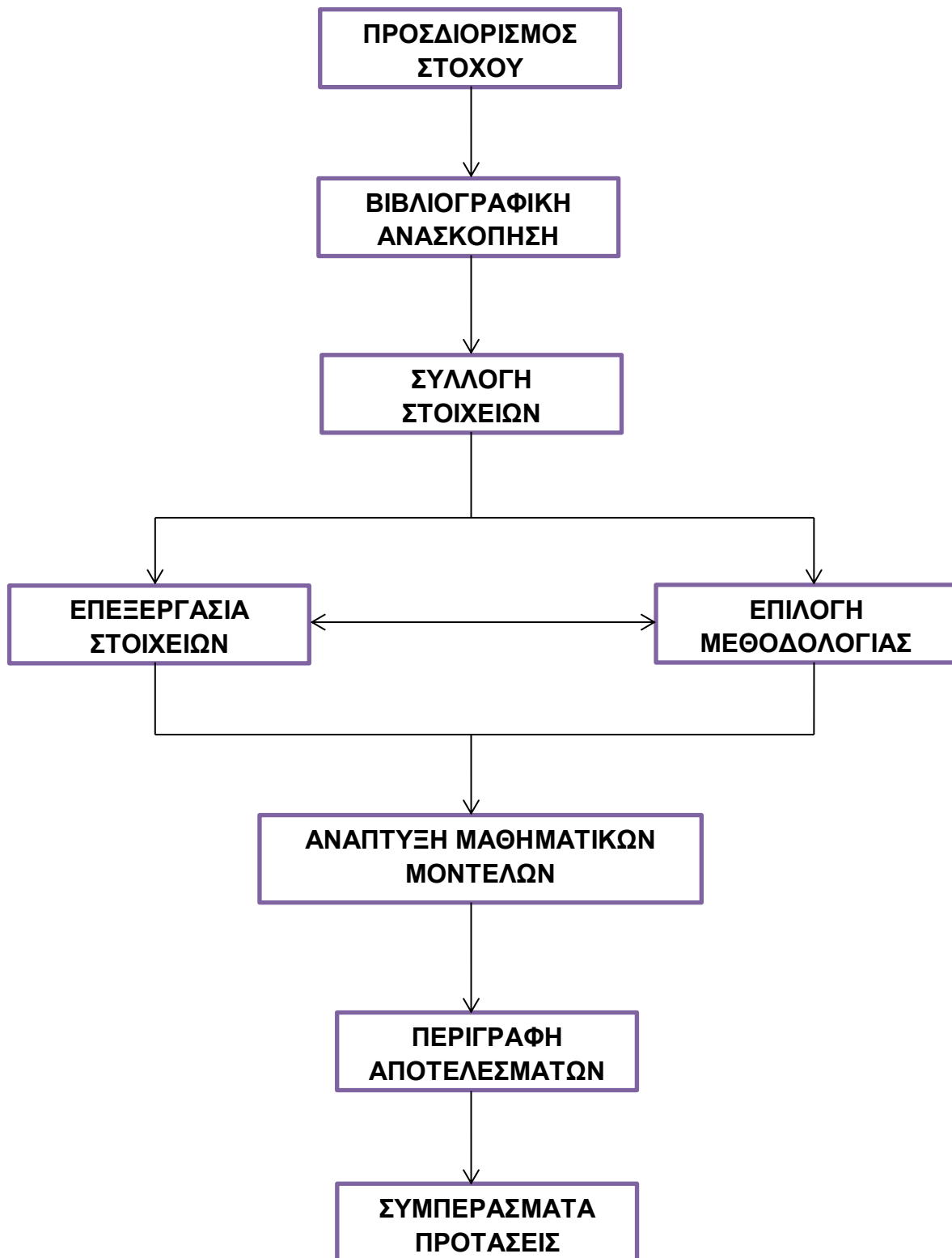
Ακολούθησε η **συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων**. Τα στοιχεία αυτά αφορούν τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και μέση μηνιαία βροχόπτωση για τα

έτη 1991-2017, για πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα καιρικά στοιχεία συλλέχθηκαν από ηλεκτρονικές πηγές, συγκεκριμένα η κύρια πηγή δεδομένων είναι η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ (NOAA) και η συμπληρωματική πηγή είναι το KNMI Climate Explorer. Ενώ η βάση δεδομένων για τα οδικά ατυχήματα σε μηνιαίες τιμές από το 1991-2017 για τις πόλεις της Ε.Ε. είναι η Ευρωπαϊκή Βάση Οδικών Ατυχημάτων, CARE. Τέλος, στην ανάλυση μας χρησιμοποιούμε και το Α.Ε.Π. των χωρών, κάνοντας την παραδοχή ότι το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. της χώρας είναι ίδιο και στις πόλεις, εφόσον οι πόλεις που μελετάμε είναι στην πλειονότητα των περιπτώσεων πρωτεύουσες ή μεγάλες πόλεις. Τα δεδομένα του Α.Ε.Π. αντλήθηκαν από τη Eurostat και αφορούν το Α.Ε.Π. της χώρας σε κάθε περίπτωση για τρίμηνες τιμές, για το χρονικό διάστημα 1995-2017.

Στη συνέχεια, τα στοιχεία αυτά καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων EXCEL, στην οποία έγινε και η επεξεργασία τους μέχρι να αποκτήσει τελική μορφή. Ακολούθησε η **επιλογή της μεθόδου στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων** και η εισαγωγή της βάσης δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (SPSS).

Έπειτα, ακολούθησε η **ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων και παρουσίαση των αποτελεσμάτων**, στα πλαίσια της οποίας πραγματοποιήθηκε η περιγραφή της επιρροής των καιρικών συνθηκών στα οδικά ατυχήματα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα για τα συνολικά ερωτήματα της έρευνας.

Ακολουθεί **διάγραμμα ροής** με τα διαδοχικά στάδια τα οποία ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.2:** Σχηματική απεικόνιση των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

#### 1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας και έχει σκοπό να παρουσιάσει στον αναγνώστη το γενικότερο πλαίσιο του αντικειμένου με το οποίο ασχολείται. Αρχικά, αναφέρονται γενικά θέματα οδικής ασφάλειας, όπως στατιστικά στοιχεία τροχαίων ατυχημάτων για την Ευρώπη και την Ελλάδα, αναλύονται οι παράγοντες που συμβάλλουν στα οδικά ατυχήματα, δίνοντας βάση στην επίδραση των καιρικών συνθηκών. Έπειτα, αναφέρεται ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία που επρόκειτο να αναπτυχθεί. Και στο τέλος αναφέρεται το παρόν υποκεφάλαιο της δομής της Διπλωματικής Εργασίας.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** αναφέρεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, δηλαδή παρουσιάζονται έρευνες αντίστοιχες με το θέμα μας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά των καιρικών συνθηκών και το πώς αυτές επιδρούν στα οδικά ατυχήματα, σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Στη συνέχεια αναλύονται κάποιες από τις συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν και έδειξαν την επιρροή των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Έπειτα πραγματοποιείται σύνοψη των αποτελεσμάτων των ερευνών και η κριτική αξιολόγηση τους, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσον κάποιες από αυτές είναι ικανές να συμβάλλουν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο της επιλεγείσας μεθόδου ανάλυσης, ωστόσο γίνεται και μια γενικότερη αναφορά στις πιθανές μεθόδους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ή που δοκιμάστηκαν αλλά δεν έφεραν κάποιο αποτέλεσμα βάσει των δεδομένων που διαθέτουμε.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται παρουσίαση των διαδικασιών της συλλογής και επεξεργασίας στοιχείων, στα οποία στηρίχτηκε η Διπλωματική Εργασία. Περιγράφονται αναλυτικά οι βάσεις δεδομένων, όπου αναζητήθηκαν τα στοιχεία. Έπειτα αναλύεται η τελική τους μορφή και η επεξεργασία που υπέστησαν έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS με το οποίο δουλεύουμε.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε ως την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Περιγράφονται τα βήματα που οδήγησαν στην ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου, οι στατιστικοί έλεγχοι που ακολούθησαν για την αποδοχή του μοντέλου και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα συνοδεύονται από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις, καθώς και διαγράμματα ευαισθησίας για την ευκολότερη κατανόηση τους.

Στο **έκτο κεφάλαιο** 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.

Στο τέλος της εργασίας παρατίθεται ο **κατάλογος των βιβλιογραφικών αναφορών**. Οι αναφορές αυτές αφορούν σε έρευνες που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια της εισαγωγής και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αλλά και σε στατιστικές έννοιες και μεθόδους που αναλύθηκαν στο θεωρητικό υπόβαθρο.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένας από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλει στην οδική ασφάλεια είναι οι δυσμενείς **καιρικές συνθήκες** όπως η ομίχλη, η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, το χιόνι και ο άνεμος. Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ότι ο καιρός και οι πιθανές αλλαγές του επηρεάζουν όχι μόνο την οδική ασφάλεια αλλά και τις μεταφορές γενικά (Koetse & Rietveld, 2009).

Πολλοί ήταν οι μελετητές (πχ. Cromley, 2007 , Palutikof, 1991 , Edwards, 1996) που ερεύνησαν τις **επιπτώσεις** των επικίνδυνων καιρικών συνθηκών στα τροχαία ατυχήματα. Για παράδειγμα, ο Edwards (1996) εξέτασε τη χωρική διάσταση των τροχαίων ατυχημάτων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες στο Ηνωμένο Βασίλειο και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των καιρικών συνθηκών και των ατυχημάτων, η οποία αλλάζει κατά τις εποχές και τις τοποθεσίες. Ο ίδιος το 1999 πραγματοποίησε άλλη μελέτη έχοντας ως δεδομένα τα οδικά ατυχήματα στην Αγγλία και την Ουαλία κατά τη διάρκεια αντίξωων καιρικών συνθηκών, συγκεκριμένα αναφέρεται σε κατακρημνίσεις και σε χιονοπτώσεις, η μελέτη αυτή επιβεβαίωσε την θετική σχέση μεταξύ οδικής ασφάλειας και δυσμενών καιρικών φαινομένων. Επίσης, ο Andrey et al. (2003) εκπόνησε μελέτη σχετικά με τις μεσαίου μεγέθους πόλεις του Καναδά, στις οποίες επικρατεί διαφορετικό κλίμα και συμπέρανε ότι ο κίνδυνος τροχαίου ατυχήματος σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες αλλάζει από πόλη σε πόλη και η πιθανότητα τραυματισμού είναι μικρότερη από την πιθανότητα ατυχήματος. Τέλος, χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια αποτελεί ο Καναδάς όπου κατά την περίοδο 1999-2008 το 30% των εγγεγραμμένων τροχαίων ατυχημάτων συνέβησαν κατά την διάρκεια επικίνδυνων καιρικών φαινομένων (Transport Canada, 2012).

Η σχέση μεταξύ των επικίνδυνων καιρικών συνθηκών και των οδικών ατυχημάτων είναι πολύπλοκη, καθώς πολλοί είναι οι παράγοντες οδικών ατυχημάτων που επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες. Ο Edwards (1996) αναφέρεται σε **παράγοντες** όπως οι συνθήκες οδοστρώματος, οι τύποι οχημάτων, οι κατηγορίες δρόμων, η ηλικία και το φύλο του οδηγού και η εμπειρία οδήγησης. Σημαντικός παράγοντας αποτελεί και η τεχνολογική πρόοδος των οχημάτων αφού καθιστά στους οδηγούς μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση και αναλαμβάνουν μεγαλύτερο κίνδυνο κατά τη διάρκεια επικίνδυνων καιρικών συνθηκών (Edwards, 1996).

Επιπλέον, δεδομένου ότι ο συνολικός αριθμός των ατυχημάτων εξαρτάται από το συνολικό επίπεδο έκθεσης, ένας παράγοντας που πρέπει να εξετασθεί είναι η επιρροή των καιρικών συνθηκών στην αύξηση ή μείωση των **μετακινήσεων**. Η ακραία θερμοκρασία για παράδειγμα θεωρείται μια

μεταβλητή που επηρεάζει τις μετακινήσεις (Bergel-Hayata et al., 2013). Επομένως, μια πρόταση είναι εκτός από τα οδικά ατυχήματα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια επικίνδυνων καιρικών συνθηκών, αξίζει να μελετηθεί αρχικά η επίδραση του καιρού στην κινητικότητα και στη συνέχεια στα ποσοστά των ατυχημάτων που συμβαίνουν (Bijleveld & Churchill, R-2009-9).

Τέλος, αντικείμενο έρευνας έχει αποτελέσει και η **επικινδυνότητα** των οδικών ατυχημάτων που οφείλεται στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Ενώ η πιθανότητα σύγκρουσης είναι μεγάλη, ωστόσο η σοβαρότητα των ατυχημάτων υπό αυτές τις συνθήκες συνήθως είναι μικρή. Σημειώνεται ότι οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες είναι πιθανόν να αυξήσουν τη σοβαρότητα των ατυχημάτων των ευάλωτων χρηστών του οδικού δικτύου όπως οι ποδηλάτες (Kim et al., 2007) και οι μοτοσικλετιστές (Majdzadeh et al., 2008).

## 2.2 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 2.2.1 ΟΜΙΧΛΗ

Η **επίδραση της ομίχλης στην οδική ασφάλεια** αυξάνει τόσο τον δείκτη των ατυχημάτων όσο και τη σοβαρότητα τους. Σύμφωνα με έρευνες (Φραντζεσκάκης & Γκόλιας 1994), ο δείκτης του συνόλου των ατυχημάτων αυξάνεται κατά 40% έως 50%, ενώ η αύξηση του δείκτη των ατυχημάτων με παθόντες είναι μεγαλύτερη. Σχετικά με τη σοβαρότητα των ατυχημάτων ο αριθμός των παθόντων ανά ατύχημα αυξάνεται κατά 40% περίπου, ενώ της ίδιας τάξης είναι και η αύξηση του λόγου των θανατηφόρων ατυχημάτων προς το σύνολο των ατυχημάτων. Επίσης, υπό την επίδραση ομίχλης αυξάνεται και ο αριθμός των οχημάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια ομίχλης στο 50% των ατυχημάτων μπλέκονται περισσότερα από δύο οχήματα, ενώ υπό κανονικές συνθήκες το ποσοστό αυτό είναι της τάξης του 10%.

Τα ατυχήματα κατά τη διάρκεια ομίχλης οφείλονται κυρίως στην τάση των οδηγών να διατηρούν την ταχύτητα του οχήματος χωρίς να αντιλαμβάνονται τον κίνδυνο σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας (White & Jeffrey, 1980, Musk, 1982). Οι οδηγοί απομονώνονται από το οδικό περιβάλλον κατά την οδήγηση σε ομίχλη και δεν μπορούν να αντιληφθούν την ταχύτητα και την πραγματική απόσταση από το προηγούμενο όχημα (Miller, 1967). Οι Moore και Cooper (1972) εκτιμούν ότι ο αριθμός των ατυχημάτων αυξήθηκε σε συνθήκες ομίχλης αν και ο όγκος κυκλοφορίας μειώθηκε κατά 20%. Ο Rosenfeld (1996) εκτιμά ότι ο αριθμός των ανθρώπων που πέθαναν σε οδικά ατυχήματα με την επίδραση ομίχλης ήταν περισσότερο από δύο φορές σε σύγκριση με τους συνολικούς θανάτους σε τυφώνες, κεραυνούς και ανεμοστρόβιλους στις ΗΠΑ κατά την περίοδο 1982-1991. Τέλος, οι Abdel-Aty et al. (2011) μελέτησαν τις επιπτώσεις της χαμηλής ορατότητας λόγω ομίχλης και καπνού σε

συγκρούσεις. Η σοβαρότητα τραυματισμού σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας βρέθηκε να είναι υψηλότερη, ενώ οι επικείμενες συγκρούσεις ήταν μετωπικές.

### 2.2.2 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Έρευνες δείχνουν ότι η **αυξημένη βροχόπτωση συνδέεται με αυξημένη συχνότητα ατυχημάτων** (Fridstrom & Ingebrigtsen, 1991 , Fridstrom et al., 1995 , Chang & Chen, 2005 , Caliendo et al., 2007 , Shankar et al., 1995 , Keay & Simmonds, 2006 , Hermans et al., 2006). Συγκεκριμένα, η βροχόπτωση θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας καιρού που συμβάλλει στα τροχαία ατυχήματα (Brodsky & Hakkert, 1988). Χαρακτηριστικά αξίζει να σημειωθεί ότι στη Γαλλία την περίοδο 1990-2000, το 14% όλων των ατυχημάτων έγιναν κατά τη διάρκεια βροχερού καιρού (Aron et al.). Επίσης, ο Andrey et al. (2003) ανέφερε ότι ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων και των ατυχημάτων με τραυματίες αυξήθηκε κατά 75% και 45% λόγω των βροχοπτώσεων. Τέλος, και ο Haghghi-Talab (1973) διαπίστωσε θετική επίδραση των βροχοπτώσεων στα ποσοστά ατυχημάτων, ωστόσο δεν παρατήρησε στατιστική διαφορά μεταξύ μέτριας και έντονης βροχόπτωσης, καθώς αυτές οι δύο καιρικές συνθήκες είχαν παρόμοια αποτελέσματα.

Ο κίνδυνος τροχαίου ατυχήματος κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης σύμφωνα με τους Andrey και Yagar (1993), οφείλεται αφενός στην τριβή του οδοστρώματος με το όχημα και αφετέρου στην χαμηλή ορατότητα του οδηγού. Ακόμα και αν ο οδηγός είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε συνθήκες βρεγμένου οδοστρώματος, ο κίνδυνος σύγκρουσης υπάρχει λόγω της περιορισμένης ορατότητας. Ο κίνδυνος ατυχήματος μειώνεται σε φυσιολογικά επίπεδα μετά το τέλος της βροχόπτωσης. Ενδιαφέρουσα είναι και η άποψη των Eisenberg (2004) και Keay και Simmonds (2006) οι οποίοι ισχυρίζονται ότι υπάρχει επίδραση της βροχής στα τροχαία ατυχήματα και αφού σταματήσει η βροχόπτωση. Η παράμετρος της καθυστερημένης επίδρασης της βροχής υποστηρίχθηκε για πρώτη φορά από τους Brodsky και Hakkert (1988), κατά τους οποίους ο κίνδυνος αυξάνεται ραγδαία όταν αυξάνεται ο χρόνος από την τελευταία βροχόπτωση. Ωστόσο, οι Brijs et al. (2008) δεν επιβεβαίωσαν αυτή την διαπίστωση και ισχυρίστηκαν ότι η υστέρηση της βροχής ήταν ασήμαντη. Αντ' αυτού, αναφέρθηκε ότι η ένταση της βροχής ήταν πολύ σημαντική.

Παρ' όλο που η πλειονότητα των ερευνών υποστηρίζει ότι υπάρχει θετική σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και τροχαίων ατυχημάτων, κάποιες άλλες κατέληξαν στο αντίθετο συμπέρασμα. Συγκεκριμένα, ο Eisenberg (2004) συμπέρανε ότι ορισμένα κράτη στις Ηνωμένες Πολιτείες είχαν πολύ υψηλά ποσοστά θανατηφόρων ατυχημάτων σε συνθήκες βροχόπτωσης (π.χ. Αριζόνα και Μέριλαντ) και ορισμένα άλλα κράτη δεν επηρεάστηκαν καθόλου (π.χ. Κονέκτικατ και Ιντιάνα). Ενώ άλλες μελέτες (Karlaftis & Yannis, 2010 , Theofilatos et al., 2012 , Bergel-Hayat et al., 2013) κατέληξαν σε αρνητική



σχέση βροχόπτωσης και ατυχημάτων, οι έρευνες αυτές αφορούν κυρίως μεσογειακές χώρες όπου οι βροχοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως το χειμώνα και είναι πιο σπάνιες από ευρωπαϊκές χώρες και τις ΗΠΑ. Πιθανοί λόγοι μείωσης ατυχημάτων κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης είναι οι οδηγοί που δεν είναι εξοικειωμένοι με αντίξοες καιρικές συνθήκες, επομένως προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με μεγαλύτερη προσοχή, ειδικά όταν πρόκειται για ξαφνική βροχόπτωση μετά από ξηρή περίοδο. Μια άλλη εξήγηση αποτελεί ο περιορισμένος όγκος ευάλωτων χρηστών (πεζοί, ποδηλάτες, μοτοσικλετιστές) σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

### 2.2.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Όσον αφορά τη θερμοκρασία η επίδραση της στην οδική ασφάλεια είναι εξίσου σημαντική με αυτή της βροχόπτωσης. **Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν τις συχνότητες των ατυχημάτων** (Scott, 1986) σύμφωνα με έρευνα στο Ηνωμένο Βασίλειο, η οποία έχει επιβεβαιωθεί και σε διεθνές επίπεδο. Ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων αυξάνεται όταν έχουμε αύξηση των ωρών ηλιακής ακτινοβολίας (Fridstrom et al., 1995, Hermans et al., 2006), αποκλίσεις από τις μέσες ημερήσιες ή μηνιαίες θερμοκρασίες (Brijs et al. , Stipdonk, 2008) και όταν παρατηρούνται ακραίες θερμοκρασίες, χαμηλές το χειμώνα και υψηλές το καλοκαίρι (Malyshkina et al., 2008). Διαφορετικό είναι το αποτέλεσμα κάποιων ερευνών (Hermans et al., 2006 , Stipdonk, 2008 , Antoniou et al., 2013 , Karlaftis & Yannis, 2010) που καταλήγουν σε αρνητική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και οδικών ατυχημάτων. Η διαφοροποίηση οφείλεται στην περιοχή μελέτης, όπως είναι για παράδειγμα η Αθήνα, όπου οι χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται το χειμώνα και έχουμε μειωμένη κινητικότητα.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας θεωρούνται επικίνδυνες στην οδική ασφάλεια (Shamsuddin Shahid & Anil Minhans, 2015) διότι μπορούν να αλλάξουν την υγρασία, η οποία μπορεί να σκιάσει τα παράθυρα και να μειώσει την ορατότητα. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν την ψυχική ή φυσική κατάσταση του οδηγού δημιουργώντας του την αίσθηση κόπωσης και πιθανόν επιθετικές τάσεις. Οι χρόνοι αντίδρασης αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τους οδηγούς ευπαθής σε τροχαία ατυχήματα. Ενώ ο κυκλοφοριακός όγκος αυξάνεται τις καλοκαιρινές μέρες, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί έμμεσα ο αριθμός των ατυχημάτων αφού έχουμε αυξημένη έκθεση οχημάτων και ευάλωτων χρηστών.

### 2.2.4 ΧΙΟΝΙ

Ένα άλλο καιρικό φαινόμενο που συμβάλλει στα τροχαία ατυχήματα είναι το χιόνι. Από πολλούς μελετητές (Eisenberg & Warner, 2005, Fridstrom, 1999, Andrey et al., 2003, Andreescu & Frost, 1998) η χιονόπτωση

αναγνωρίστηκε ως μια επικίνδυνη καιρική κατάσταση που αυξάνει των αριθμό και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Σε περιοχές όπως το Μόντρεαλ του Καναδά και στη Νορβηγία έρευνες έδειξαν ότι το χιόνι αποτελεί κύρια μεταβλητή στα οδικά ατυχήματα, καθώς ο αριθμός τους αυξήθηκε απότομα με την αύξηση των χιονοπτώσεων. Ενώ οι El-Basyouny και Kwon (2012) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τόσο τα σοβαρά ατυχήματα όσο και οι συγκρούσεις που αφορούν μόνο υλικές ζημιές έχουν σημαντική συσχέτιση με το χιόνι, αν και σύμφωνα με τους Eisenberg και Warner (2005) η χιονόπτωση έχει ως αποτέλεσμα λιγότερα σοβαρά ατυχήματα και περισσότερες συγκρούσεις με υλικές ζημιές. Ενδιαφέρον επίσης, αποτελεί το γεγονός ότι τα περισσότερα ατυχήματα παρατηρούνται τη πρώτη μέρα της χιονόπτωσης, όπου οι οδηγοί συνήθως δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένοι και συνηθισμένοι στο φαινόμενο αυτό. Ωστόσο, σε περίπτωση μειωμένης κινητικότητας το χιόνι έχει αρνητική σχέση με τα τροχαία ατυχήματα (Fridstrom et al., 1995).

### 2.2.5 ANEMΟΣ

Τελευταίο **καιρικό φαινόμενο που επηρεάζει την οδική ασφάλεια είναι ο άνεμος**. Λίγες είναι οι μελέτες που αναλύουν την επίδραση του ανέμου στα τροχαία ατυχήματα (Baker & Reynolds, 1992 , Levine et al., 1995 , Hermans et al., 2006 , Brijs et al., 2008) οι οποίες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η επιρροή του είναι ασήμαντη. Ωστόσο το θέμα του ανέμου χρειάζεται περαιτέρω έρευνα σχετικά με ιδιαίτερα υψηλά οχήματα αλλά και μοτοσυκλέτες.

### 2.3 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε, πολλοί είναι οι μελετητές που **ερεύνησαν την επιρροή των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια**. Στα πλαίσια αυτών των ερευνών αναπτύχθηκαν διάφορες **μεθοδολογίες** προκειμένου να συσχετίσουν τα οδικά ατυχήματα με τον καιρό. Η ανάλυση που ακολουθείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται τόσο από τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεση μας, δηλαδή τις μεταβλητές, όσο και από το είδος και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που θα εξάγονται. Βάσει αυτών των στοιχείων επιλέγεται και η κατάλληλη μεθοδολογία. Για παράδειγμα σε υπάρχουσες έρευνες η συχνότητα σύγκρουσης αναλύεται με τεχνικές παλινδρόμησης (poisson ή αρνητική διωνυμική κατανομή), αν και σε πρόσφατες μελέτες χρησιμοποιούνται πιο εξελιγμένα μοντέλα. Ενώ όταν μελετάμε τη σοβαρότητα των ατυχημάτων χρησιμοποιούμε κυρίως λογαριθμικά μοντέλα (Logit). Όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, πραγματοποιούνται κυρίως αναλύσεις χρονοσειρών προκειμένου να συσχετίσουμε τα ημερήσια ή μηνιαία δεδομένα με τα ατυχήματα (Karlaftis & Yannis, 2010 ,Bergel-Hayat κ.ά., 2013).

Παρακάτω αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα ερευνών σχετικά με την επίδραση των καιρικών φαινομένων στην οδική ασφάλεια, σε κάθε περίπτωση εφαρμόζεται διαφορετική μεθοδολογία.

Αρχικά, σε μια έρευνα που έγινε από τον Bergel-Hayat et al. (2013) για τις περιοχές της Γαλλίας, Ολλανδίας και Αθήνας εφαρμόστηκε μοντέλο ανάλυσης χρονοσειρών με μηνιαία δεδομένα ατυχημάτων για μεγάλα χρονικά διαστήματα: 1975-2000 για τη Γαλλία, 1987-2005 για την Ολλανδία και 1985-2005 για την Αθήνα. Η έρευνα αυτή έχει ως μεταβλητές τη βροχόπτωση (επικινδυνότητα), τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες (κινητικότητα) και τον παγετό (επικινδυνότητα και κινητικότητα). Σε πρώτη φάση, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για τη Γαλλία, την Ολλανδία και την Αθήνα, ώστε να συγκριθούν οι επιδράσεις των μηνιαίων μέσων καιρικών συνθηκών. Στη συνέχεια, διερευνήθηκαν περαιτέρω τα αποτελέσματα για την περιοχή της Αθήνας, τα οποία διέφεραν σημαντικά από τα αποτελέσματα τόσο της Γαλλίας όσο και της Ολλανδίας σχετικά με τις επιπτώσεις των βροχοπτώσεων, και χρησιμοποιήθηκαν επίσης ακραίες καιρικές μεταβλητές, τόσο σε ημερήσια όσο και σε μηνιαία κλίμακα. Βασικό στοιχείο της μεθοδολογίας είναι ότι ο τύπος του χρησιμοποιούμενου μοντέλου δεν πρέπει να έχει επίδραση στα αποτελέσματα, για παράδειγμα, στη Γαλλία έχει αποδειχθεί ότι διαφορετικά μοντέλα ARIMA που χρησιμοποιήθηκαν με τις ίδιες μεταβλητές είχαν συνεπή αποτελέσματα. Τέλος από την έρευνα αυτή προέκυψε θετική συσχέτιση της βροχόπτωσης με τον αριθμό των ατυχημάτων τόσο στη Γαλλία όσο και στην Ολλανδία, ενώ το αντίθετο ισχύει για την Αθήνα. Επίσης, θετική είναι και η σχέση της θερμοκρασίας με τα ατυχήματα σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν: Γαλλία, Ολλανδία και Αθήνα (μόνο το χειμώνα).

Μια άλλη έρευνα σχετική με το αντικείμενο έγινε από τον Amin S.R. et al. (2014), ο στόχος αυτής της έρευνας είναι να μελετήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα οδικά ατυχήματα που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες στο New Brunswick του Καναδά. Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, χιονόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας για χρονικό διάστημα 30 ετών (1961-1990) για τη μοντελοποίηση της κλιματικής αλλαγής. Οι επιλεγμένες μεταβλητές συνδυάζονται με τις καιρικές συνθήκες και ταξινομούνται με βάση την ευαισθησία τους σε οδικά ατυχήματα, τέτοιες μεταβλητές είναι για παράδειγμα η ένταση των καιρικών συνθηκών, η κατάσταση του οδοστρώματος, η ηλικία, το φύλο και η εμπειρία των οδηγών και η ηλικία των οχημάτων. Επίσης, αναπτύσσεται δείκτης έκθεσης σοβαρότητας των ατυχημάτων λόγω του καιρού (EWAS). Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται αφορά μοντέλα αρνητικής διωνυμικής παλινδρόμησης και παλινδρόμησης Poisson, τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της χωροχρονικής σχέσης μεταξύ του δείκτη EWAS και των μεταβλητών των οδικών ατυχημάτων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης δείχνουν ότι η ένταση των καιρικών

συνθηκών, η ηλικία, το φύλο και η εμπειρία των οδηγών και η ηλικία των οχημάτων έχουν ισχυρή θετική συσχέτιση με τον δείκτη EWAS, ενώ η κατάσταση του οδοστρώματος έχει αρνητική σχέση με τον εξεταζόμενο δείκτη. Η καταλληλότητα των μοντέλων επαληθεύτηκε μέσω της δοκιμής Wald  $\chi^2$  και της εκτίμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Επίσης, ο Lee W.-K. et al. (2014), μελέτησε την επίδραση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα των χαμηλών θερμοκρασιών, σε τραυματισμούς από τροχαία ατυχήματα στη Σεούλ της Κορέας. Στην έρευνα αυτή διερευνήθηκε και η σχέση της θερμοκρασίας με διαφορετικούς τύπους τροχαίων ατυχημάτων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιλάμβαναν μέση ημερήσια θερμοκρασία, βαρομετρική πίεση, βροχόπτωση, χιόνι και ομίχλη από τον Μάιο του 2007 έως το Δεκέμβριο του 2011, καθώς και τους τραυματισμούς σε καθημερινή βάση από τροχαία ατυχήματα όπως αυτά καταγράφονται από την Αρχή Οδικής Κυκλοφορίας της Κορέας. Η ποιοτική σχέση μεταξύ μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και τραυματισμών από τροχαία ατυχήματα αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας ένα γενικευμένο προσθετικό μοντέλο (GAM) με κατανομή Poisson. Το GAM είναι ένα ευέλικτο μοντέλο παλινδρόμησης που μπορεί να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών. Περαιτέρω ανάλυση έγινε με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, εάν και το γράφημα έδειξε μη γραμμικότητα στις τελικές τιμές. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η επίδραση της θερμοκρασίας σε τραυματισμούς από τροχαία ατυχήματα ήταν ελάχιστη την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ αντίθετα ήταν τα αποτελέσματα για τον χειμώνα, ειδικά όταν η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από τη θερμοκρασία κατάψυξης η συχνότητα των τραυματισμών αυξάνεται απότομα.

Τέλος, μια πρόσφατη έρευνα σχετικά με την επίδραση των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια έγινε από την Malin F. et al. (2019), η μελέτη έγινε σε 43 κύριους δρόμους της Φινλανδίας κατά τα έτη 2014-2016. Στη παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε μια πρόσφατα αναπτυγμένη μέθοδος η οποία βασίζεται στη θεωρία των διαδικασιών των τυχαίων σημείων, στην παρούσα περίπτωση αντιστοιχεί στη επιλογή τυχαίου οχήματος από την κυκλοφορία. Η μελέτη περιλαμβάνει στοιχεία ατυχημάτων από τις αστυνομικές αρχές και αφορά κύρια οδικά δίκτυα της χώρας, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν εκτιμώμενοι ωριαίοι όγκοι κυκλοφορίας σε οδικά τμήματα αντί για μετρημένα, τα οποία θα ήταν διαθέσιμα μόνο για λίγους δρόμους. Εφόσον οι κίνδυνοι ατυχημάτων εξετάζονται συνήθως σε σχέση με τον όγκο κυκλοφορίας. Ενώ τα στοιχεία για τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες οδοστρώματος ανά ώρα προέρχονται από κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Η μελέτη ανέλυσε τον κίνδυνο ατυχημάτων για διαφορετικές καιρικές συνθήκες, οι κίνδυνοι αντιμετωπίζονται από την οπτική του οδηγού και σχετίζονται με τον χρόνο που δαπανάται στις εκάστοτε συνθήκες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι κίνδυνοι ατυχημάτων ήταν υψηλότεροι σε

περίπτωση χιονόπτωσης και κατακρήμνισης καθώς και σε περίπτωση ολισθηρότητας του οδοστρώματος. Η μελέτη αμφισβητήθηκε από τη σύντομη περίοδο έρευνας και τις αλληλεπικαλυπτόμενες κατηγορίες ορολογικών συνθηκών. Ορισμένες από τις συνθήκες ήταν εξαιρετικά σπάνιες και είχαν στατιστικά μη σημαντικά αποτελέσματα. Τα δεδομένα κίνησης βασίστηκαν σε εκτιμήσεις και δεν προέκυψαν από τις πραγματικές πυκνότητες κυκλοφορίας. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η εφαρμογή της μεθόδου σε άλλες χώρες με περισσότερα συνεχή δεδομένα μετρήσεων.

#### 2.4 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα **αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης** που έγινε για τις ανάγκες της Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση διεθνών και ελληνικών ερευνών με σκοπό τη διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία ο καιρός και οι πιθανές αλλαγές του επηρεάζουν τόσο τις μεταφορές γενικά όσο και την οδική ασφάλεια. Οι **δυσμενείς καιρικές συνθήκες** όπως η ομίχλη, η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, το χιόνι και ο άνεμος θεωρούνται **βασικοί παράγοντες** πρόκλησης οδικών ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, η συμβολή των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια γίνεται με άμεσο τρόπο επηρεάζοντας τον οδηγό, περιορίζει την ορατότητα και αποσυγκεντρώνει τον χρήστη, καθώς και την κατάσταση του οδοστρώματος, καθιστώντας τον επιρρεπή σε ατυχήματα κυρίως λόγω ολισθηρότητας. Αλλά και με έμμεσο τρόπο αφού επηρεάζει τη μετακίνηση των πεζών και των οδηγών. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών η πιθανότητα σύγκρουσης είναι μεγάλη, ωστόσο η σοβαρότητα των ατυχημάτων υπό αυτές τις συνθήκες είναι συνήθως μικρή, όχι όμως και για τους ευάλωτους χρήστες πχ ποδηλάτες και μοτοσικλετιστές.

Από τις προαναφερθείσες έρευνες συμπεραίνεται ότι οι βασικότεροι παράγοντες καιρικών συνθηκών που συμβάλουν στα τροχαία ατυχήματα είναι **η βροχόπτωση και η θερμοκρασία**, οι οποίοι έχουν αποτελέσει και αντικείμενο μελέτης των περισσότερων ερευνητών καθώς αποτελούν και τα πιο συχνά καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται.

Ο καθορισμός της **χρονικής κλίμακας για την ανάλυση** είναι πολύ σημαντική, καθώς οι επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών στους δείκτες ασφαλείας αναμένεται να διαφέρουν ανάλογα με τη χρονική κλίμακα, για παράδειγμα ανάλογα με το εάν εξετάζεται η ημέρα ή ο μήνας. Καθώς η καθημερινή παρακολούθηση απαιτεί μεγάλο αριθμό ημερήσιων δεδομένων ατυχημάτων, σπάνια χρησιμοποιείται σε εθνικό επίπεδο. Αντ' αυτού,

προτιμάται η μηνιαία παρακολούθηση καθώς διευκολύνει τη διεθνή συγκριτική αξιολόγηση.

Όσον αφορά στα **μαθηματικά μοντέλα**, χρησιμοποιήθηκαν τόσο απλά μοντέλα παλινδρόμησης, γραμμικά και μη γραμμικά, όσο και στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης 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 καιρικών συνθηκών, συγκεκριμένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, στην οδική ασφάλεια σε πόλεις της Ε.Ε. Η επιλογή των πόλεων έγινε με γνώμονα τη γεωγραφική τους έκταση και θέση, έτσι ώστε να καλυφθεί γεωγραφικά το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, λαμβάνοντας υπόψη και τα διαθέσιμα στοιχεία για τα οδικά ατυχήματα και τα μετεωρολογικά δεδομένα. Συνοψίζοντας, καταβλήθηκε προσπάθεια ερμηνείας της επιρροής της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα τελευταία 27 έτη, από το 1991 έως το 2017. Η προσπάθεια αυτή έγινε με γνώμονα τις μέχρι τώρα έρευνες πάνω στο συγκεκριμένο φαινόμενο, τόσο από πλευράς αποτελεσμάτων όσο και από πλευράς μεθοδολογιών.

### 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο της στατιστικής ανάλυσης πάνω στο οποίο βασίστηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη αφενός τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και αφετέρου τα αποτελέσματα που χρειάζεται να εξαχθούν, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης. Έχοντας ως δεδομένα τα οδικά ατυχήματα, την βροχόπτωση και την θερμοκρασία σε μηνιαία βάση από 14 ευρωπαϊκές πόλεις σκοπός είναι η περιγραφή της επίδραση των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Οι μέθοδοι ανάλυσης που μελετώνται είναι η Γραμμική Παλινδρόμηση, η Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση, το Γενικό Γραμμικό Μοντέλο και το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο, εκτενής αναφορά των οποίων γίνεται παρακάτω. Τέλος, γίνεται αναφορά στις μεθόδους στατιστικής αξιολόγησης και στα κριτήρια αποδοχής του τελικού μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί.

#### 3.2 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Η **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis) είναι η στατιστική μέθοδος με την οποία μπορούμε να εξετάσουμε τη σχέση μεταξύ δυο ή περισσότερων μεταβλητών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη μελλοντικής τους συμπεριφοράς. Συγκεκριμένα, είναι η εξαρτημένη μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί και η ανεξάρτητη που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης. Για να προσδιοριστεί η επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη αναπτύσσεται ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τη σχέση τους.

Όταν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές μέγεθος και ακολουθεί την κανονική κατανομή, μια από τις κατάλληλες μεθόδους στατιστικής ανάλυσης είναι η γραμμική παλινδρόμηση. Η απλούστερη μορφή γραμμικής παλινδρόμησης είναι η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** (simple linear regression) η μορφή της οποίας είναι η εξής:

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

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  (με  $x_i$  τιμές) και μια εξαρτημένη  $Y$  (με  $y_i$  τιμές). Κάθε ζεύγος τιμών ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) καθορίζει μια διαφορετική γραμμική σχέση που γεωμετρικά παριστάνει ευθεία γραμμή. Ο σταθερός όρος  $\alpha$  είναι η τιμή του  $y$  για  $x=0$ , ενώ ο συντελεστής  $\beta$  είναι η κλίση της ευθείας ή αλλιώς ο συντελεστής παλινδρόμησης. Τέλος, ο όρος  $\varepsilon_i$  ονομάζεται σφάλμα παλινδρόμησης, η ύπαρξη του οφείλεται στο γεγονός ότι στην πράξη η γραμμική σχέση που προκύπτει από την μέθοδο της γραμμικής

παλινδρόμησης προσεγγίζει την πραγματική σχέση που υπάρχει μεταξύ των δυο μεταβλητών  $X$  και  $Y$ .

Όταν η τυχαία μεταβλητή εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές  $X$  ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ ) τότε έχουμε **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression) η μορφή της οποίας είναι η εξής:

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

Ισχύει ότι και στην περίπτωση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, ωστόσο πριν γίνει η εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελεγχθεί αν ικανοποιείται η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών έτσι ώστε να συμπεριληφθούν στο μοντέλο.

### 3.3 ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** (lognormal regression) είναι η στατιστική μέθοδος που συσχετίζει γραμμικά δυο ή περισσότερες μεταβλητές. Οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης και υπολογίζονται από την ανάλυση της παλινδρόμησης με βάσει την αρχή των ελάχιστων τετραγώνων. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία της βάσης 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 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,  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$  οι ανεξάρτητες μεταβλητές και  $\varepsilon_i$  το σφάλμα παλινδρόμησης.

### 3.4 ΓΕΝΙΚΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το **γενικό γραμμικό μοντέλο** (general linear model) είναι η επέκταση της γραμμικής πολλαπλής παλινδρόμησης στην περίπτωση της μίας μεμονωμένης εξαρτημένης μεταβλητής. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

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

Όπου  $x_{ij}$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή για τον εκάστοτε  $j$  παράγοντα και για παρατήρηση  $i$ . Σημαντική υπόθεση του μοντέλου είναι ότι τα σφάλματα  $\varepsilon_{ij}$  είναι ανεξάρτητα και ακολουθούν την κανονική κατανομή. Τέλος, οι



συντελεστές  $g_{ik}$  είναι μεταβλητές που σχετίζονται με τις συνθήκες της παρατήρησης  $i$  και μπορούν να είναι συμμεταβλητές ή εικονικές μεταβλητές.

Μια άλλη μαθηματική μορφή της πάνω σχέσης είναι με τη μορφή πίνακα:

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

Όπου  $X$  πίνακας δεδομένων με 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  $g_{ik}$ , 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.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω εξίσωση δεν περιλαμβάνει σταθερό όρο, καθώς μπορεί να απαλειφθεί είτε με μέση διόρθωση του πίνακα δεδομένων ή προσθέτοντας μια στήλη με άσους στον πίνακα  $\beta$ .

### 3.5 ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΙΚΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Επέκταση του γενικού γραμμικού μοντέλου αποτελεί το **γραμμικό μικτό μοντέλο** (linear mixed model) το οποίο, σε αντίθεση με το πρώτο, επιτρέπει στους όρους σφάλματος (error terms) και στις τυχαίες επιδράσεις (random effects) να εμφανίζουν συσχέτιση και μη σταθερή μεταβλητότητα. Στο μοντέλο αυτό οι **παράγοντες** (factors) και οι **συμμεταβλητές** (covariates) έχουν γραμμική σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή.

Ως **παράγοντες** ορίζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές που περιέχουν μια ομάδα περιπτώσεων, κάθε τιμή των οποίων αποτελεί μια διαφορετική γραμμική επίδραση στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Οι παράγοντες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες είναι αυτοί που επιδρούν **με σταθερό (fixed) και τυχαίο (random) τρόπο**. Στην κατηγορία των σταθερών επιδράσεων έχουμε τους παράγοντες με σημαντική πληροφορία, που υπολογίζονται από τα δεδομένα του δείγματος και επηρεάζουν τη μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Ενώ στην κατηγορία των τυχαίων επιδράσεων περιλαμβάνονται οι παράγοντες με όχι τόσο σημαντική πληροφορία, οι οποίοι επηρεάζουν τη μεταβλητότητα του δείγματος.

Ως **συμμεταβλητές** ορίζονται οι **συνεχείς μεταβλητές** (scale predictors). Σε συνδυασμό με τις τιμές των παραγόντων, οι τιμές των συμμεταβλητών θεωρείται ότι είναι γραμμικά συσχετισμένες με τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής.

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:

- Οι **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 της μεταβλητής επαναλαμβανόμενων επιδράσεων.

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

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$$

όπου  $\mathbf{y}$  είναι ένα  $n \times 1$  διάνυσμα  $n$  παρατηρούμενων αρχείων,  $\mathbf{b}$  είναι ένα  $p \times 1$  διάνυσμα  $p$  τιμών των μεταβλητών σταθερών επιδράσεων,  $\mathbf{u}$  είναι ένα  $q \times 1$  διάνυσμα  $q$  τιμών των μεταβλητών τυχαίων επιδράσεων,  $\mathbf{e}$  είναι ένα  $n \times 1$  διάνυσμα των τυχαίων υπολοίπων,  $\mathbf{X}$  είναι ένας πίνακας συντελεστών (design matrix) της τάξης  $n \times p$ , ο οποίος συσχετίζει τα αρχεία του  $\mathbf{y}$  με τις μεταβλητές του  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{Z}$  είναι ένας πίνακας συντελεστών (design matrix) της τάξης  $n \times q$ , ο οποίος συσχετίζει τα αρχεία του  $\mathbf{y}$  με τις μεταβλητές του  $\mathbf{u}$ .

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.

### 3.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αφού διαμορφώσουμε το μαθηματικό μοντέλο ακολουθεί η αξιολόγηση του, τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται αφορούν τα πρόσημα και τις τιμές των συντελεστών  $\beta_i$ , τη στατιστική σημαντικότητα, την ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης.

Σχετικά με τους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα λογικής ερμηνείας των πρόσημων τους. Το θετικό πρόσημο συνεπάγεται με αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής όσο έχουμε αύξηση της ανεξάρτητης. Ενώ, το αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται με μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής όσο η ανεξάρτητη αυξάνεται. Επίσης, πρέπει να υπάρχει λογική ερμηνεία και για την τιμή του συντελεστή  $\beta_i$ , καθώς αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μια μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής κατά  $\beta_i$  μονάδες. Αν η αύξηση εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα.

Η **ελαστικότητα** αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μιας εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Για γραμμικά μοντέλα η ελαστικότητα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

Σχετικά με τη **στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου** χρησιμοποιείται η **μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανοφάνειας**. Ο έλεγχος γίνεται μέσω του λογαρίθμου των συναρτήσεων πιθανοφάνειας  **$L = -2 \text{ Restricted Log Likelihood}$**  που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Όταν το μοντέλο περιέχει πολλές μεταβλητές τότε χρησιμοποιούμε το **κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας (Likelihood Ratio Test- LRT)**.

Ισχύει:  $LRT = -2 * (L(b) - L(0))$ ,

Όπου  $L(b) = L$  (μοντέλου με  $p$  μεταβλητές) και  $L(0) = L$  (μοντέλου χωρίς τις  $p$  μεταβλητές). Αν το LRT 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** (test of fixed effects) γίνονται με τα  $F$ -tests, για κάθε μία από τις σταθερές επιδράσεις που ορίζονται στο μοντέλο. Οι μεταβλητές συμβάλλουν σημαντικά στο μοντέλο όταν η τιμή σημαντικότητας (significance value) είναι  **$\text{sig} \leq 0,05$** . Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή είναι στατιστικά σημαντική για το 95% τουλάχιστον των περιπτώσεων.

Οι **έλεγχοι των συντελεστών των μεταβλητών των σταθερών επιδράσεων** γίνονται με το  $t$ -test. Ο συντελεστής  $t$  εκφράζεται με την 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  $\leq 0,05$** .

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  $\sigma^2$  (**AR1 diagonal**) της κάθε τιμής της μεταβλητής και η συσχέτιση  $\rho^2$  (**AR1 rho**) μεταξύ δύο συνεχόμενων τιμών της.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι ανεξάρτητες μεταβλητές, καθώς και ο σταθερός όρος έχουν οριστεί ως σταθερές επιδράσεις κι επομένως στον πίνακα αυτόν ελέγχεται η **διακύμανση των υπολοίπων με το κριτήριο Wald Z**.

## 4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που θα προσδιορίζουν τη συσχέτιση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας με τον αριθμό των ατυχημάτων σε πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών με το αντικείμενο της εργασίας και την ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου των στατιστικών μεθόδων, ακολούθησε η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων και η κατάλληλη επεξεργασία τους.

Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με την περιγραφή της **διαδικασίας συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων**, έτσι ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την ποιότητα και την αξιοπιστία των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά τη συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων προέκυψαν διάφορα προβλήματα, τα προβλήματα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω καθώς και ο τρόπος αντιμετώπισης τους. Τέλος, αναφέρεται ο τρόπος επεξεργασίας τους στο πρόγραμμα EXCEL.

### 4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για τον σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας απαιτήθηκε η **συλλογή στοιχείων** που αφορούσαν τη **βροχόπτωση**, την **θερμοκρασία** και τον **αριθμό των ατυχημάτων** σε μηνιαία βάση για τη χρονική περίοδο 1991-2017, για 14 πόλεις της Ευρώπης. Επίσης, χρειάστηκε και το κατά κεφαλήν **Α.Ε.Π.** των πόλεων της Ε.Ε., αφού γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των ατυχημάτων με το Α.Ε.Π. και τη θερμοκρασία, άρα απαιτήθηκε το Α.Ε.Π. και ο **πληθυσμός** των χωρών που συμμετέχουν στην ανάλυση. Η συλλογή των στοιχείων αυτών δεν έγινε από μια μόνο βάση δεδομένων, καθώς υπήρχαν ελλείψεις στις κύριες πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, έτσι αναζητήθηκαν περισσότερες βάσεις, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

#### 4.2.1 ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μια βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για τον αριθμό των ατυχημάτων είναι η **Ευρωπαϊκή Βάση Οδικών Ατυχημάτων, CARE** (Community database on Accidents on the Roads in Europe). Η βάση αυτή έχει δεδομένα οδικών ατυχημάτων από το 1991, έχει δημιουργηθεί από πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και περιλαμβάνει στοιχεία οδικής ασφάλειας των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, η βάση περιέχει λεπτομερή στοιχεία για κάθε ένα ατύχημα, όπως αυτά συγκεντρώνονται από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. με βάση το εκάστοτε εθνικό σύστημα συλλογής στοιχείων. Ωστόσο, τα εθνικά συστήματα συλλογής στοιχείων δεν είναι πάντα συμβατά και συγκρίσιμα μεταξύ των διαφορετικών χωρών, έτσι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή

παρέχει και εφαρμόζει ένα πλαίσιο με κανόνες μετασχηματισμού των εθνικών δεδομένων επιτρέποντας στη βάση δεδομένων CARE να διαθέτει συμβατά δεδομένα.

Στα πλαίσια βελτιστοποίησης της βάσης δεδομένων CARE, αναπτύχθηκε η πρόταση για ένα Κοινό Σύνολο Στοιχείων Οδικών Ατυχημάτων (**CADaS – Common Accident Data Set**), που να περιέχει ένα σύνολο με τυποποιημένα δεδομένα, το οποίο θα επιτρέψει την διάθεση συγκρίσιμων στοιχείων οδικών ατυχημάτων στην Ευρώπη. Η σύσταση του προγράμματος CADaS βασίστηκε στον προσδιορισμό των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάλυση των οδικών ατυχημάτων με τη συμβολή ειδικών από τη βάση δεδομένων CARE και από το πρόγραμμα SafetyNet, αλλά και από την ανάλυση των διαθέσιμων εθνικών συστημάτων συλλογής στοιχείων στην Ευρώπη. Οι μεταβλητές και οι τιμές που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων CARE αποτέλεσαν τη βάση για το CADaS, αλλά λήφθηκαν και άλλα διεθνή αρχεία δεδομένων.

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας απαιτούνται στοιχεία οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν στις πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης που επιλέχθηκαν για ανάλυση. Στη δομή CADaS περιλαμβάνεται μία μεταβλητή η οποία χωρίζει τα κράτη σε περιφέρειες και περιοχές σύμφωνα με την κοινή ονοματολογία των εδαφικών στατιστικών μονάδων **NUTS (Nomenclature of Territorial Units for Statistics)**. Η κωδικοποίηση NUTS είναι κωδικοί διοικητικής διαίρεσης που χρησιμοποιεί η Ευρωπαϊκή Ένωση για στατιστικούς λόγους. Με αυτόν τον τρόπο, εντάσσουμε την κάθε πόλη στα αντίστοιχα NUTS και λαμβάνουμε τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάλυση.

Για τη συλλογή των κλιματικών δεδομένων, θερμοκρασία και βροχόπτωση σε μηνιαία βάση, η κύρια πηγή που χρησιμοποιήθηκε είναι η **Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration)** του Υπουργείου Εμπορίου των ΗΠΑ. Η NOAA ιδρύθηκε το 1961 και σκοπός της είναι να παρέχει επιστημονική διαχείριση και αξιόπιστη διαμοίραση των περιβαλλοντικών δεδομένων παγκοσμίως.

Επιπλέον, μια άλλη πηγή που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή καιρικών δεδομένων είναι το **KNMI Climate Explorer**, το οποίο είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή για τη στατιστική ανάλυση των κλιματικών δεδομένων. Από τον ιστότοπο λήφθηκαν τα δεδομένα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, για τις πόλεις που μελετάμε, ενώ θεωρούνται αξιόπιστα καθώς ο ιστότοπος και η εταιρεία είναι μέρος του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού-WMO καθώς και του European Climate Assessment & Dataset (ECAD).

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην ανάλυση μας χρησιμοποιήθηκε και το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. των πόλεων της Ε.Ε. που μελετάμε. Έγινε η

παραδοχή ότι το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π της χώρας είναι ίδιο και στις πόλεις, άρα τα στοιχεία που συλλέχθηκαν αφορούν τις τιμές Α.Ε.Π. σε επίπεδο χώρας και ο πληθυσμός του εκάστοτε κράτους, ώστε να μετατραπούν οι τιμές ανά κάτοικο. Η βάση δεδομένων από όπου αντλήσαμε τα πάνω δεδομένα είναι η **EUROSTAT, η στατιστική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής**. Τα δεδομένα για το Α.Ε.Π. αφορούν τρίμηνα στοιχεία για το χρονικό διάστημα 1995-2017, ενώ ο πληθυσμός αναφέρεται σε ετήσια βάση.

#### **4.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ**

Λόγω της ύπαρξης διαφορετικών συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων των οδικών ατυχημάτων ανά πόλη, είναι δυνατό να παρουσιαστούν προβλήματα, τα οποία πιθανώς να οδηγήσουν στη διατύπωση εσφαλμένων συμπερασμάτων. Ένα τέτοιο πρόβλημα οφείλεται στους διαφορετικούς ορισμούς που έχουν τα κράτη για τα διάφορα επιμέρους στοιχεία. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με τη χρήση στοιχείων από διεθνείς ή ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων, όπου τα στοιχεία που προέρχονται από την κάθε χώρα έχουν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να γίνουν 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. Το βασικότερο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με τις ελλείψεις των καιρικών στοιχείων, μηνιαία βροχόπτωση και θερμοκρασία, ως βασική πηγή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η NOAA και ως συμπληρωματική πηγή το KNMI Climate Explorer. Ωστόσο, παρόλο που υπήρχε και συμπληρωματική πηγή ελάχιστες ελλείψεις συνέχιζαν να υπάρχουν, οι οποίες συμπληρώθηκαν με την μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου.

Στην περίπτωση των κλιματικών δεδομένων προέκυψε και το πρόβλημα της μετατροπής των μονάδων που χρησιμοποιούμε, καθώς στην πρώτη πηγή η βροχόπτωση μετράται σε ίντσες και η θερμοκρασία σε φarenάιτ, ενώ στην συμπληρωματική οι μονάδες είναι χιλιοστά και βαθμοί κελσίου.

### 4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Αφού έγινε η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων ακολουθεί η ομαδοποίηση τους σε κοινή βάση δεδομένων, και στη συνέχεια η κατάλληλη επεξεργασία τους για να χρησιμοποιηθούν στο τελικό μοντέλο. Η ομαδοποίηση των στοιχείων γίνεται σε βάση δεδομένων με τη χρήση του προγράμματος EXCEL. Η βάση αυτή περιέχει τις 14 πόλεις της Ε.Ε. που μελετάμε, καθώς και τα στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε στα τελικά μοντέλα ως μεταβλητές δηλαδή τη θερμοκρασία, την βροχόπτωση και τα οδικά ατυχήματα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μορφή με την οποία εισήχθησαν τα διάφορα στοιχεία στη βάση δεδομένων.

	A	B	C	D	E	F	G
1	DATE	CITY	GROUP	PRCP	TAVG	FATALITIES	LN(FATALITIES)
321	2017-08	Athens	1	0,04	84,4	13	2,564949357
322	2017-09	Athens	1	0,94	76,6	13	2,564949357
323	2017-10	Athens	1	0,39	66,2	20	2,995732274
324	2017-11	Athens	1	3,54	58,8	9	2,197224577
325	2017-12	Athens	1	1,38	54,3	15	2,708050201
326	1991-01	Madrid	1	0,38	41,3	56	4,02356438
327	1991-02	Madrid	1	3,02	41,8	46	3,817712326
328	1991-03	Madrid	1	2,14	50,2	56	4,02356438
329	1991-04	Madrid	1	1,1	52,2	52	3,951243719
330	1991-05	Madrid	1	0,23	59,8	70	4,251348311
331	1991-06	Madrid	1	0,1	73,1	72	4,26969745
332	1991-07	Madrid	1	0,56	78,7	75	4,322807275
333	1991-08	Madrid	1	0,01	80,5	60	4,091005661
334	1991-09	Madrid	1	1,25	71,5	75	4,322807275
335	1991-10	Madrid	1	2,44	54,2	42	3,728100167
336	1991-11	Madrid	1	0,54	47,9	64	4,154184563
337	1991-12	Madrid	1	0,44	42,9	51	3,925925911
338	1992-01	Madrid	1	0,2	38,8	49	3,899950424
339	1992-02	Madrid	1	0,83	43,9	60	4,091005661
340	1992-03	Madrid	1	0,43	51,1	51	3,925925911
341	1992-04	Madrid	1	0,95	56,4	60	4,091005661
342	1992-05	Madrid	1	2,11	66,1	49	3,899950424
343	1992-06	Madrid	1	2,52	63,4	44	3,788724789
344	1992-07	Madrid	1	0,79	78,6	44	3,788724789

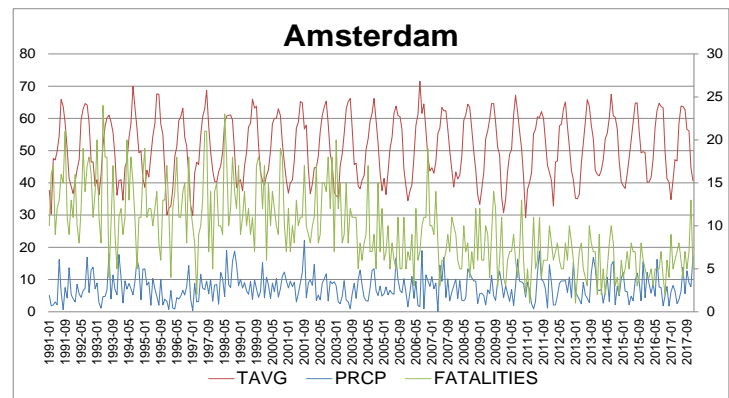
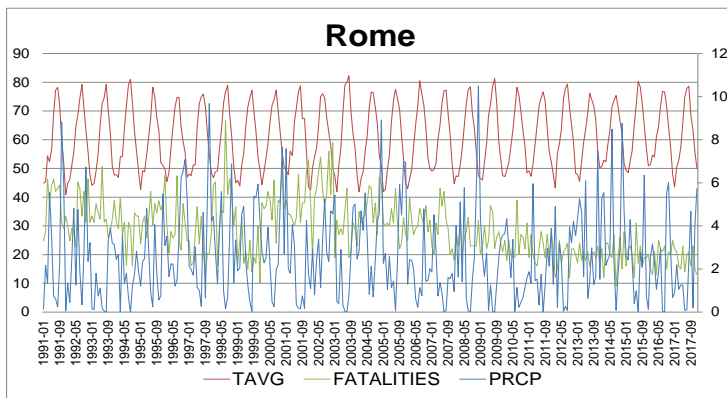
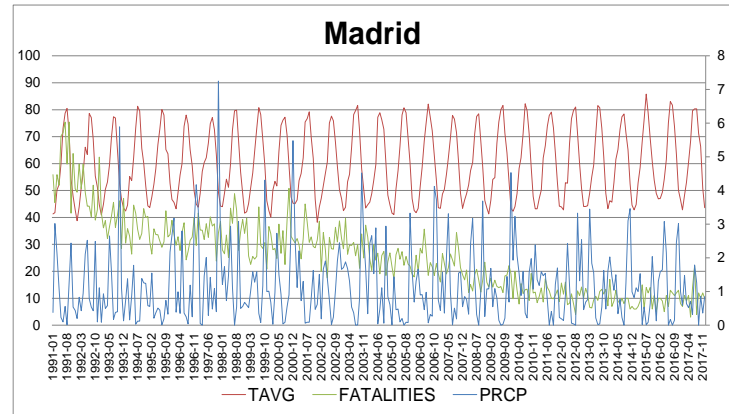
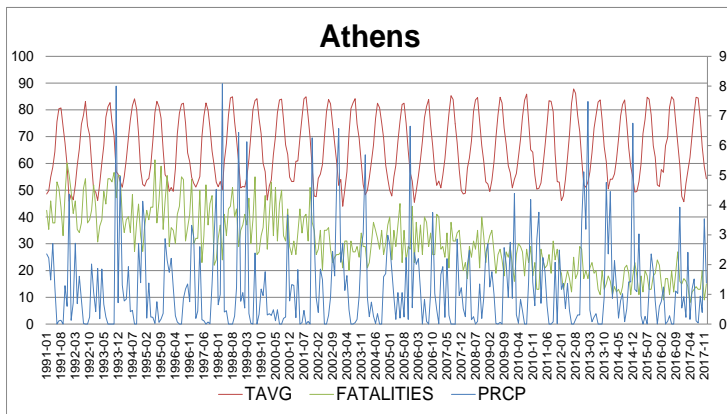
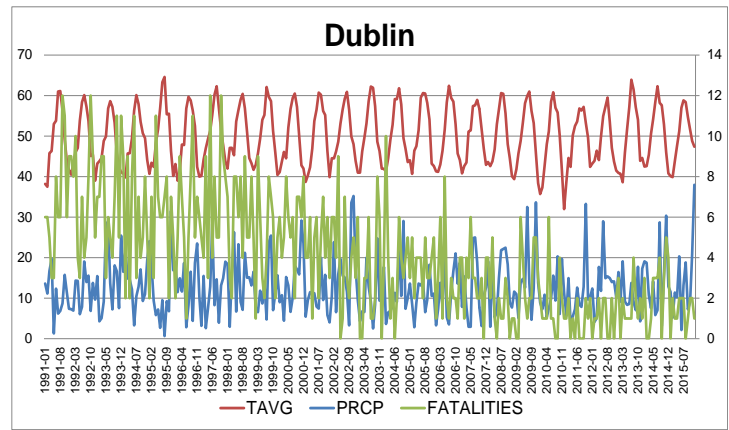
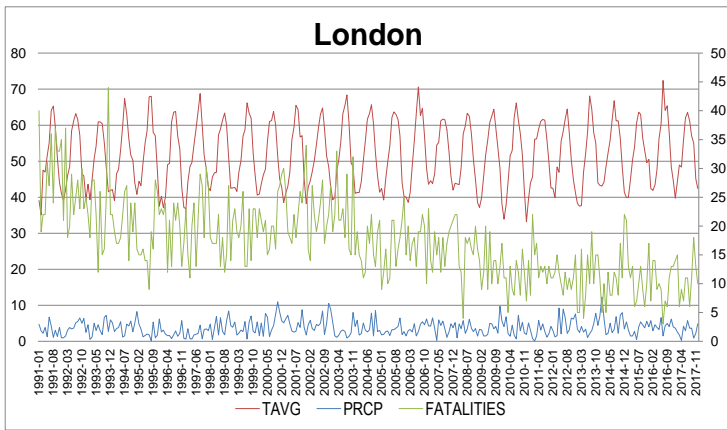
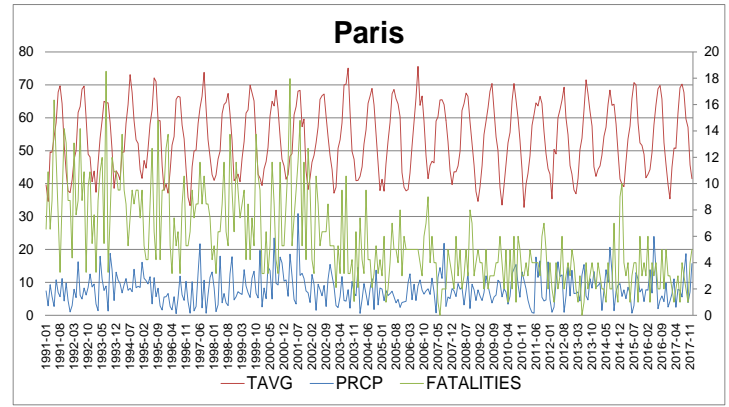
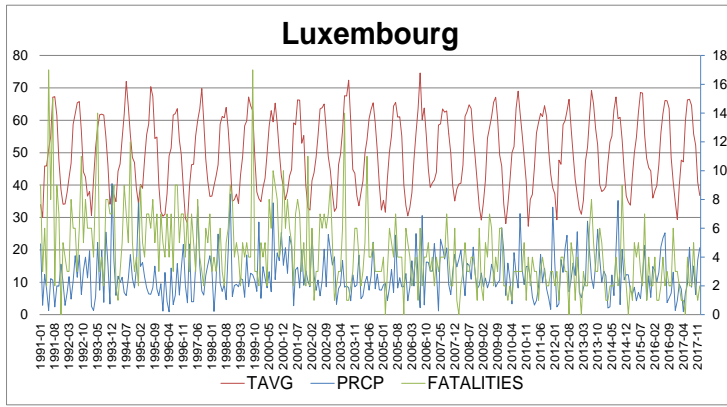
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1** : Βάση Δεδομένων

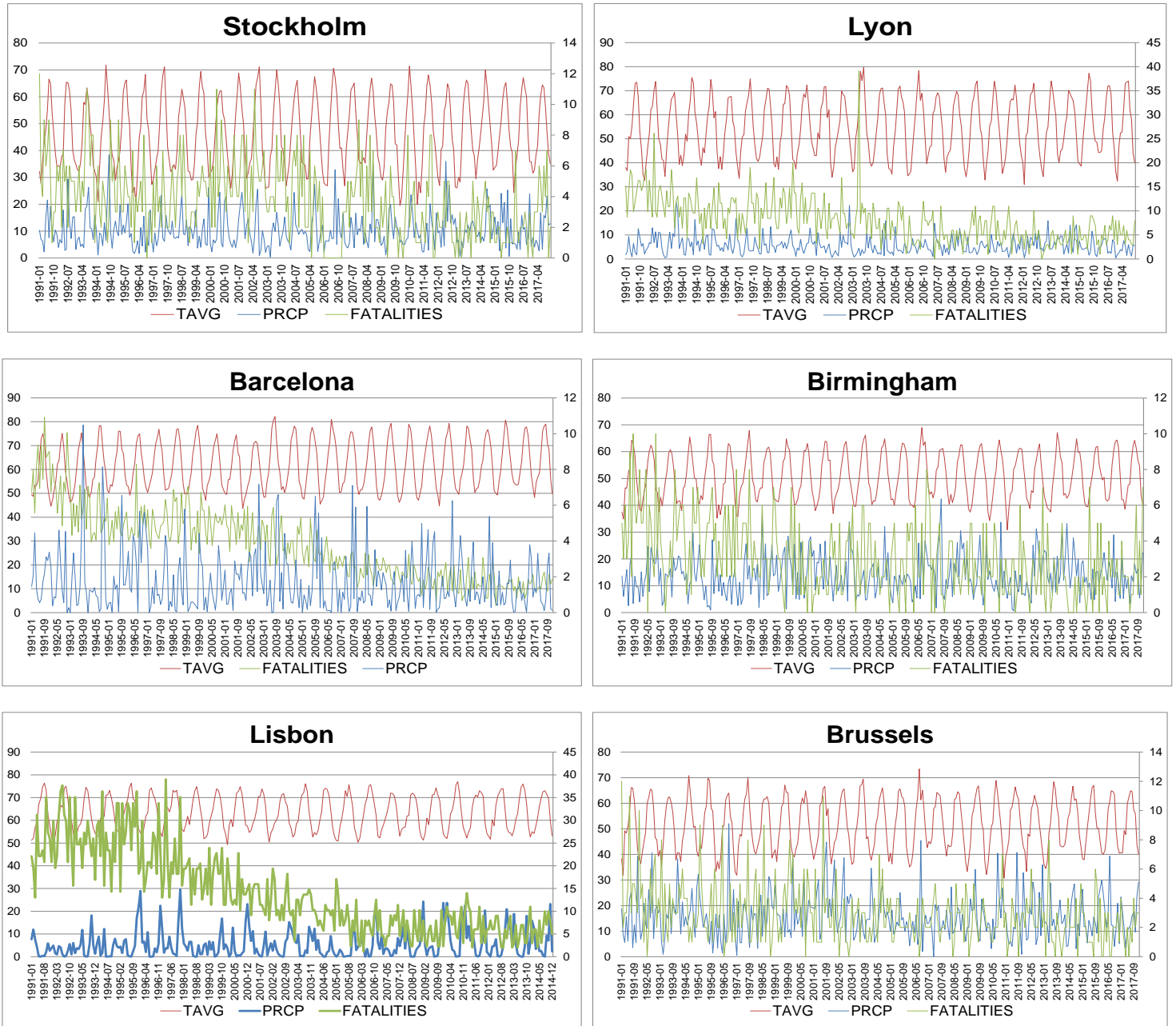


Στον παραπάνω πίνακα απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων. Στην πρώτη στήλη, είναι η στήλη "DATE" και έχουμε τους μήνες από το 1991 έως το 2017, καθώς τα δεδομένα με τα οποία δουλεύουμε είναι σε μηνιαία βάση για 27 συνεχόμενα έτη. Ακολουθεί η στήλη "CITY" όπου αναγράφονται οι ευρωπαϊκές πόλεις που επιλέχθηκαν να εξεταστούν στην παρούσα εργασία. Στη συνέχεια έχουμε τη στήλη "GROUP" η οποία αναφέρεται στην ομαδοποίηση των πόλεων που έγινε για τις ανάγκες του στατιστικού μοντέλου και περιέχει μόνο τις τιμές 1 και 2, λεπτομερή περιγραφή για την ομαδοποίηση γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο. Στις επόμενες στήλες έχουμε τη μέση μηνιαία βροχόπτωση (PRCP) για κάθε πόλη, τη μέση μηνιαία θερμοκρασία (TAVG) για κάθε πόλη και τα μηνιαία ατυχήματα (FATALITIES) της κάθε πόλης, για τα έτη που μελετάμε δηλαδή 1991-2017. Και στην τελευταία στήλη έχουμε τον φυσικό λογάριθμο των ατυχημάτων (LN(FATALITIES)), που όπως θα αναφερθεί και παρακάτω αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή που θα χρησιμοποιηθεί στα μοντέλα ανάλυσης.

Η παραπάνω βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε αυτούσια αλλά και μετασχηματισμένη στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του εκάστοτε μοντέλου που χρησιμοποιούμε. Μια αλλαγή που υπέστη είναι ο χωρισμός σε επιμέρους χρονικά διαστήματα, για το σύνολο των πόλεων, τα διαστήματα είναι 1991-2005 και 2006-2017. Αλλά και η προσθήκη του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. για το χρονικό διάστημα 1995-2017, σε τριμηνίες τιμές, άρα έγινε και κατάλληλη επεξεργασία της θερμοκρασίας και των ατυχημάτων ανάγοντας τις τιμές από μηνιαία αναφορά σε τρίμηνη, με τη διαδικασία των μέσων όρων. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών. Περαιτέρω ανάλυση γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο, που παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν για τις εξεταζόμενες πόλεις, με τη χρήση του EXCEL, διαγράμματα που παρουσιάζουν για κάθε πόλη την μηνιαία εξέλιξη της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και των ατυχημάτων για τις χρονολογίες 1991-2017. Αυτό έγινε με σκοπό να εντοπιστούν, έστω και σχηματικά πιθανές τάσεις στις τιμές των ατυχημάτων, της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας. Παρατηρείτε ότι σε όλες τις πόλεις με το πέρασμα των χρόνων τα ατυχήματα μειώνονται ενώ για την περίπτωση των καιρικών μεταβλητών δεν εντοπίζεται κάποια τάση στο πέρασμα των χρόνων, πέρα από τις τάσεις εποχικότητας που υπάρχουν.





ΣΧΗΜΑ 4.1: Διαχρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας-Βροχόπτωσης-Ατυχημάτων στα έτη 1991-2017

## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Αφού έγινε η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων στο πρόγραμμα Excel, όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση** των στοιχείων αυτών. 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 εξήγησής τους με βάση τη λογική, την εμπειρία και στοιχεία από τη σχετική βιβλιογραφία. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων διακρίνεται σε τρεις φάσεις:

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

Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν την επιλογή του τελικού μοντέλου κατά τη στατιστική ανάλυση, αναπτύχθηκαν αρκετά μοντέλα και έγιναν **διάφορες δοκιμές** προσθέτοντας και αφαιρώντας συνεχώς μεταβλητές με το κριτήριο t-test, μέχρι να καταλήξουμε στα τελικά μοντέλα που περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

### 5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την ανάπτυξη του μοντέλου, δημιουργήθηκε μια **κύρια βάση δεδομένων** που περιλάμβανε 12 πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για κάθε πόλη (CITY) και για το αντίστοιχο μήνα από το έτος 1991 έως το 2017 (DATE) έχουμε την μέση μηνιαία βροχόπτωση (PRCP), την μέση μηνιαία θερμοκρασία (TAVG), τον αριθμό των ατυχημάτων σε μηνιαία βάση (FATALITIES) και τον λογάριθμο του αριθμού των ατυχημάτων (LNFATALITIES), καθώς και την ομαδοποίηση των πόλεων (GROUP), η οποία αναλύεται παρακάτω.

Με τη χρήση του Γραμμικού Μικτού Μοντέλου παρατηρήθηκε ότι το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί μια πόλη ως πόλη αναφοράς, με την

οποία συγκρίνει τις υπόλοιπες και προκύπτει εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επιρροή τους στο μοντέλο. Καθώς δεν προέκυπτε ένα μοντέλο στατιστικά αποδεκτό, προτιμήθηκε να γίνει η σύγκριση αυτή μεταξύ των ομάδων των πόλεων. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε η μεταβλητή της ομάδας των πόλεων (GROUP), η οποία και χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο. Η ομαδοποίηση των πόλεων έγινε με βάση τη γεωγραφική τους θέση, άρα κατ επέκταση και των καιρικών τους συνθηκών, έτσι προέκυψαν δυο ομάδες, οι νότιες και οι βόρειες πόλεις. Στις νότιες πόλεις δόθηκε η τιμή 1, ενώ στις βόρειες πόλεις η τιμή 2. Η ομάδα των βόρειων πόλεων επιλέχθηκε να είναι η ομάδα αναφοράς, καθώς περιλαμβάνει τις περισσότερες πόλεις.

Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πόλεις:

- Νότιες Πόλεις: Αθήνα, Μαδρίτη, Ρώμη, Βαρκελώνη
- Βόρειες Πόλεις: Λουξεμβούργο, Παρίσι, Λονδίνο, Δουβλίνο, Άμστερνταμ, Στοκχόλμη, Λυών, Μπέρμινχαμ

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην τελική βάση δεδομένων όπως αυτή προέκυψε στο Excel, μετά τη συλλογή των στοιχείων, είχαμε **συνολικά 14 πόλεις**, ωστόσο μετά από δοκιμές στο μαθητικό μοντέλο για να βγάλουμε στατιστικά αποδεκτά αποτελέσματα αφαιρέσαμε δυο από τις πόλεις, την Λισαβόνα και τις Βρυξέλλες. Σχετικά με την Λισαβόνα ένας λόγος μη χρησιμότητας της στο τελικό μοντέλο είναι ενδεχομένως η έλλειψη των στοιχείων της για τα έτη 2015, 2016 και 2017, για τα έτη αυτά δεν έχουμε διαθέσιμα στοιχεία ατυχημάτων. Ενώ στις Βρυξέλλες παρατηρήθηκε μικρός αριθμός ατυχημάτων στο σύνολο των ετών.

Εκτός από την κύρια βάση δεδομένων που περιλάμβανε στοιχεία για όλους τους μήνες στο χρονικό διάστημα 1991-2017, **δημιουργήθηκαν άλλες δύο βάσεις δεδομένων** ώστε να εισαχθούν στο στατιστικό λογισμικό και να προκύψουν τα διαφορετικά στατιστικά μοντέλα για επιμέρους χρονικά διαστήματα. Ο διαχωρισμός σε χρονικά διαστήματα βασίστηκε σε έρευνες περί κλιματικής αλλαγής που αναφέρουν ότι την δεκαετία 2006-2015 η θερμοκρασία έχει ανέβει 0,83 έως 0,89 βαθμούς κελσίου σε σχέση με τα έτη 1850 έως 1899. Συγκεκριμένα, η ΝΑΣΑ αναφέρει ότι την τελευταία δεκαετία έχουμε τα 5 θερμότερα έτη της τελευταίας 130ετίας. Βάσει των στοιχείων αυτών και μετά από δοκιμές χωρίζονται τα χρονικά διαστήματα 1991-2005 και 2006-2017. Έτσι προκύπτουν δυο καινούριες βάσεις δεδομένων που περιέχουν τις ίδιες μεταβλητές με την κύρια βάση μόνο που αναφέρονται σε δυο χρονικές περιόδους, η μια έχει μηνιαία δεδομένα για τα έτη 1991-2005 και η άλλη μηνιαία δεδομένα για τα έτη 2006-2017.

Στη φάση αυτή συσχετίστηκαν η μεταβολή του λογαρίθμου του αριθμού των ατυχημάτων (ως εξαρτημένη μεταβλητή) με την βροχόπτωση και την θερμοκρασία, καθώς και με την αλληλεπίδραση της ομάδας με τις δυο

ανεξάρτητες μεταβλητές. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν οι τρεις εξισώσεις που προέκυψαν, η μια αναφέρεται στην κύρια βάση δεδομένων και οι άλλες δυο στα επιμέρους χρονικά διαστήματα που μελετάμε.

Επιπλέον, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε προσπάθεια συσχέτισης της μεταβολής των οδικών ατυχημάτων με την μεταβολή του Α.Ε.Π. και την μεταβολή της θερμοκρασίας. Επιλέχθηκε ως μεταβλητή το Α.Ε.Π. επειδή από πληθώρα ερευνών που έχουν γίνει έχει προκύψει ως ο σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά στα οδικά ατυχήματα, άρα γίνεται προσπάθεια να απομονώσουμε τον παράγοντα αυτόν και να ερμηνεύσουμε την επίδραση της θερμοκρασίας στα οδικά ατυχήματα. Επομένως, δεδομένου ότι διερευνάται η επιρροή της μεταβολής του Α.Ε.Π. και της μεταβολής της θερμοκρασίας, θεωρήθηκε ορθότερο να εκφραστεί και η εξαρτημένη μεταβλητή με τον ίδιο τρόπο. Δημιουργήθηκε λοιπόν η μεταβλητή της ετήσιας ποσοστιαίας μεταβολής του αριθμού των ατυχημάτων (FATALITIESch). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία που αφορούν το Α.Ε.Π. και υπάρχουν διαθέσιμα είναι από το 1995 και αναφέρονται σε τρίμηνα χρονικά διαστήματα σε επίπεδο χωρών, επομένως, υπολογίζουμε το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. των κρατών και κάνουμε την παραδοχή ότι είναι σταθερό για όλες τις πόλεις του εκάστοτε κράτους. Εφόσον έχουμε τριμηνιαία στοιχεία για το Α.Ε.Π. προσαρμόζουμε και τα υπόλοιπα στοιχεία μας ώστε να έχουν την ίδια μορφή, έτσι έχουμε τριμηνιαία στοιχεία για τα ατυχήματα (άθροισμα των μηνιαίων τιμών) και τριμηνιαία στοιχεία θερμοκρασίας (μέσος όρος των τιμών ανά τρίμηνο), για το χρονικό διάστημα 1995-2017.

Βάσει των πάνω, προέκυψε μια **τέταρτη βάση δεδομένων** που περιλάμβανε τριμηνιαίες ημερομηνίες από το 1995-2017 (DATE), τις 12 πόλεις της Ε.Ε. που μελετάμε (CITY), τις ομαδοποιήσεις (GROUP), τις ποσοστιαίες ετήσιες μεταβολές των ατυχημάτων και των λογαρίθμων των ατυχημάτων (FATALITIESch και LNFATALITIESch) και τις ποσοστιαίες ετήσιες μεταβολές του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π και της θερμοκρασίας. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στο στατιστικό μοντέλο και προέκυψε η ανάγκη να διαχωριστεί η μεταβολή του Α.Ε.Π. και της θερμοκρασίας σε αύξηση και μείωση. Στη μεν πρώτη περίπτωση αντιστοιχήθηκαν για κάθε τρίμηνο του εκάστοτε έτους οι θετικές τιμές της μεταβολής του Α.Ε.Π. και της θερμοκρασίας, ενώ όπου δεν υπήρχε θετική τιμή δόθηκε η τιμή 0. Αντίστοιχα, στην δεύτερη περίπτωση αντιστοιχήθηκε η τιμή της αρνητικής μεταβολής, ενώ όπου δεν έχουμε αρνητική τιμή θέτουμε το 0. Έτσι στην τελική βάση δεδομένων έχουμε και τις μεταβλητές της αύξησης και της μείωσης του Α.Ε.Π. και θερμοκρασίας (GDPin, GDPde, TAVGin, TAVGde).

Και στην περίπτωση αυτή συσχετίστηκαν η μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, που είναι η ποσοστιαία ετήσια μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων με την ποσοστιαία ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας και την ποσοστιαία ετήσια μείωση του Α.Ε.Π., όπως αυτά προέκυψαν από το

στατιστικό μοντέλο. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται η εξίσωση που προέκυψε.

### 5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Έχοντας ήδη έτοιμη τη βάση δεδομένων σε αρχείο Excel, και αφού όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω έχουμε καταλήξει στην χρήση του στατιστικού λογισμικού SPSS, ακολουθεί η εισαγωγή των δεδομένων στο SPSS και στη συνέχεια η ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου με το οποίο θα δουλέψουμε, δηλαδή το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο.

Για τη λειτουργία του ειδικού στατιστικού λογισμικού απαιτείται ο καθορισμός τριών αρχείων, **του αρχείου δεδομένων εισόδου, του αρχείου ελέγχου και του αρχείου των αποτελεσμάτων**. Από τα παραπάνω τα δύο πρώτα είναι αρχεία που περιέχουν στοιχεία, ενώ το τελευταίο είναι κενό και καταχωρούνται σε αυτό τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης.

Πιο συγκεκριμένα, στο αρχείο εισόδου εισάγονται τα στοιχεία της τελικής βάσης δεδομένων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω. Το αρχείο ελέγχου είναι εκείνο στο οποίο καθορίζονται από το χρήστη οι μεταβλητές που περιέχονται στο αρχείο εισόδου. Αρχικά, επιλέγεται η μεταβλητή επαναλαμβανόμενων επιδράσεων και η μεταβλητή-υποκείμενο στην οποία αντιστοιχεί. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να προσδιοριστεί η δομή της συνδιακύμανσης της μεταβλητής αυτής. Στη συνέχεια επιλέγεται ποια από τις μεταβλητές θα είναι η εξαρτημένη, ποιες από τις ανεξάρτητες μεταβλητές θα οριστούν ως συμμεταβλητές και ποιες ως παράγοντες σταθερών επιδράσεων. Επιπλέον, στο στάδιο αυτό καθορίζονται και οι αλληλεπιδράσεις των εξαρτημένων μεταβλητών που επιλέγονται να υπολογιστούν στο τελικό μοντέλο. Θα μπορούσε να το χαρακτηρίσει κανείς ως κώδικα επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και του λογισμικού. Περιέχει δηλαδή μια σειρά από χρήσιμες πληροφορίες προκειμένου το πρόγραμμα να ολοκληρώσει με επιτυχία τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων που περιέχονται στο αρχείο δεδομένων εισόδου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ως μεταβλητή-υποκείμενο επιλέγεται η πόλη, ως επαναλαμβανόμενη μεταβλητή ο μήνας και η δομή συνδιακύμανσής της η αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης (AR1). Ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέγεται κάποια από τις LNFATALITIES και LNFATALITIESch, ενώ ως παράγοντας ορίζεται η ομάδα των πόλεων και ως συμμεταβλητές η μεταβλητή PRCP, TAVG ή ένας συνδυασμός από τις μεταβλητές GDPin, GDPde, TAVGin και TAVGde. Τα πιθανά μοντέλα προκύπτουν από τους παραπάνω συνδυασμούς μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή συμμεταβλητών και παράγοντα.

#### 5.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΙΚΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο στατιστικός έλεγχος με τη χρήση του προγράμματος SPSS γίνεται εύκολα και γρήγορα, καθώς το πρόγραμμα κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μας παρέχει πολλές και διάφορες πληροφορίες.

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 **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 βάσει τις επικρατούσες συνθήκες και αντιλήψεις.

## 5.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1991-2017

### 5.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο μαθηματικό μοντέλο που τα αποτελέσματα του παρουσιάζονται παρακάτω η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ο λογάριθμος των ατυχημάτων (LNFATALITIES) και οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η ομάδα των πόλεων (GROUP), η θερμοκρασία (TAVG) και η βροχόπτωση (PRCP). Στο μοντέλο, στο οποίο συμπεριλήφθηκε ο μήνας ως μεταβλητή επαναλαμβανόμενων επιδράσεων και ορίστηκε η δομή συνδιακύμανσης ως AR1, ο συντελεστής  $\rho^2$  δεν προέκυπτε στατιστικά σημαντικός, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής. Επομένως, δεν ορίστηκε μεταβλητή επαναλαμβανόμενων επιδράσεων. Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται παρακάτω:

Information Criteria<sup>a</sup>

-2 Restricted Log Likelihood	8887,666
Akaike's Information Criterion (AIC)	8889,666
Hurvich and Tsai's Criterion (AICC)	8889,667
Bozdogan's Criterion (CAIC)	8896,924
Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	8895,924

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

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1** Έλεγχος προσαρμογής μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2017

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

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	3858	862,345	,000
GROUP	1	3858	206,591	,000
PRCP	1	3858	13,517	,000
TAVG	1	3858	13,671	,000
GROUP * PRCP	1	3858	7,975	,005
GROUP * TAVG	1	3858	9,016	,003

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2** Έλεγχος σταθερών επιδράσεων του μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2017

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

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	1,083429	,074587	3858,000	14,526	,000	,937196	1,229661
[GROUP=1]	2,077366	,144530	3858	14,373	,000	1,794004	2,360729
[GROUP=2]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
PRCP	,053384	,010287	3858	5,190	,000	,033216	,073551
TAVG	,007784	,001407	3858,000	5,531	,000	,005025	,010544
[GROUP=1] * PRCP	-,046381	,016424	3858	-2,824	,005	-,078583	-,014180
[GROUP=2] * PRCP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[GROUP=1] * TAVG	-,006977	,002324	3858	-3,003	,003	-,011533	-,002421
[GROUP=2] * TAVG	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

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

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3** Συντελεστές σταθερών επιδράσεων μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2017

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

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	,577629	,013152	43,920	,000	,552419	,603990

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4** Έλεγχος διακύμανσης υπολοίπων μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2017

Ο έλεγχος προσαρμογής του μοντέλου γίνεται με το κριτήριο -2 Restricted Log Likelihood.

$$L(b) = 8887,666$$

$$L(0) = 8916,262$$

$$LRT = -2 * (L(b) - L(0)) = 57,192$$

$$\text{ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ} = 7 - 2 = 5$$

Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 5 βαθμούς ελευθερίας είναι  $\chi^2 = 11,07$

Επομένως ισχύει  $L > \chi^2$  αφού  $57,192 > 11,07$  άρα το μοντέλο είναι **στατιστικά αποδεκτό**.

Επίσης, παρατηρείται ότι οι μεταβλητές της ομάδας των πόλεων, η βροχοπτώση, η θερμοκρασία, η αλληλεπίδραση της ομάδας των πόλεων με την βροχοπτώση και η αλληλεπίδραση της ομάδας των πόλεων με την θερμοκρασία προκύπτουν στατιστικά σημαντικές.

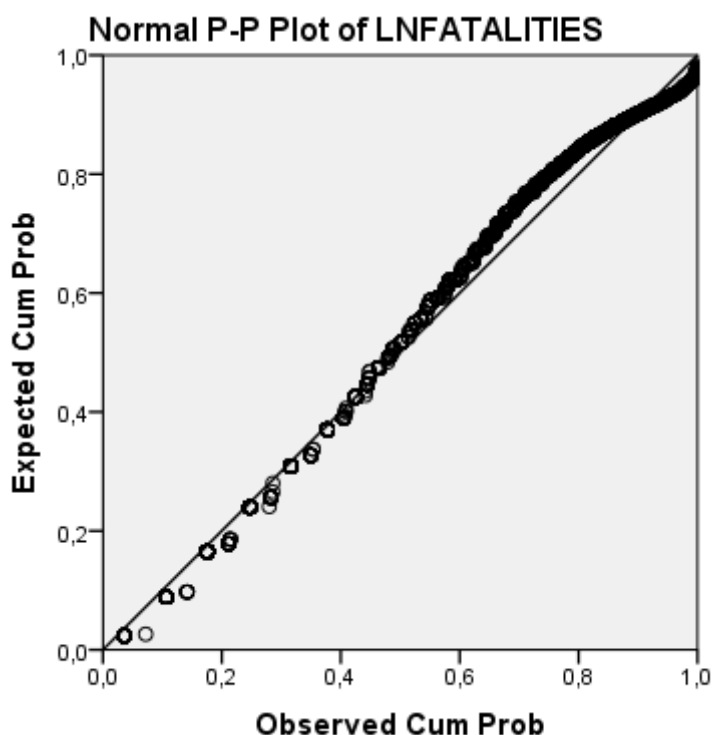
Οι συντελεστές των μεταβλητών PRCP και TAVG προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, όπως αποδεικνύεται από τα t-tests. Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι η επιρροή της ομάδας των βόρειων πόλεων έχει στατιστικά σημαντική διαφορά από εκείνη των νότιων πόλεων. Επιπλέον, από τις αλληλεπιδράσεις των ομάδων των πόλεων με τις μεταβλητές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζει η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με την θερμοκρασία και την βροχόπτωση.

Τέλος, από τον πίνακα ελέγχου διακύμανσης των υπολοίπων, προκύπτει ότι τα όρια σφάλματος είναι ανεξάρτητα με διακύμανση περίπου 0,578.

### 5.5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

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

$$\text{LNFATALITIES} = 1,083 + 0,053 * \text{PRCP} + 0,008 * \text{TAVG} + 2,077 * \text{GROUP}_{=1} - 0,046 * \text{GROUP}_{=1} * \text{PRCP} - 0,007 * \text{GROUP}_{=1} * \text{TAVG}$$



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1:** Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος

Αρχικά συμπεραίνουμε ότι ικανοποιείται η βασική προϋπόθεση του σφάλματος, αφού τα τυπικά σφάλματα στο διάγραμμα 5.1 θεωρείται πως προσεγγίζουν την ευθεία της διαγωνίου, άρα ακολουθούν κανονική κατανομή.

Από τη μαθηματική σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής μεταβλητής της βροχόπτωσης είναι θετικός, το οποίο συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του PRCP έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων. Γενικά, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία, η βροχή οδηγεί σε μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, ωστόσο, το πλήθος των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται γιατί τα οχήματα που τελικά κυκλοφορούν και είναι ενδεχομένως πιο επιρρεπή στο να εμπλακούν σε ατύχημα (λόγω της μειωμένης πρόσφυσης των ελαστικών με το οδόστρωμα, της κακής ορατότητας κλπ.).

Ομοίως ο συντελεστής της μεταβλητής της θερμοκρασίας είναι θετικός, άρα αύξηση της τιμής του TAVG έχει επίσης ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων. Αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές αυξάνεται η κυκλοφορία των χρηστών της οδού και επίσης αυξάνονται και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες, σφοδρότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.

Ο συντελεστής της ομάδας των νότιων πόλεων (GROUP<sub>=1</sub>) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Δεδομένου ότι ως επίπεδο αναφοράς έχει οριστεί η ομάδα των βόρειων πόλεων, η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 2,077 περισσότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων. Οι οδηγοί των βόρειων χωρών γενικότερα εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά σε θέματα οδήγησης από τους οδηγούς των νότιων χωρών, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και σχετικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες, για παράδειγμα είναι πιο εξοικειωμένοι στην οδήγηση υπό κακοκαιρία.

Τέλος, η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με τη βροχόπτωση και η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με την θερμοκρασία προέκυψαν στατιστικά σημαντικές και ο συντελεστής τους έχει αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι η βροχόπτωση στην ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 0,046 λιγότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων, επίσης, η θερμοκρασία στην ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 0,007 λιγότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων. Μια προφανής εξήγηση που συμβαίνει αυτό είναι η διαφορά κλίματος μεταξύ των βόρειων και νότιων χωρών, αλλά και ο τρόπος αντίδρασης των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας σε κάθε ομάδα πόλεων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

## 5.6 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1991-2005

### 5.6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο παρακάτω μαθηματικό μοντέλο η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ο λογάριθμος των ατυχημάτων (LNFATALITIES) και οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η ομάδα των πόλεων (GROUP), η θερμοκρασία (TAVG) και η βροχόπτωση (PRCP). Ομοίως και εδώ δεν ορίστηκε μεταβλητή επαναλαμβανόμενων επιδράσεων.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται παρακάτω:

**Information Criteria<sup>a</sup>**

-2 Restricted Log Likelihood	4335,764
Akaike's Information Criterion (AIC)	4337,764
Hurvich and Tsai's Criterion (AICC)	4337,766
Bozdogan's Criterion (CAIC)	4344,439
Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	4343,439

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

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5** Έλεγχος προσαρμογής μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2005

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

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	2154,000	861,973	,000
GROUP	1	2154,000	170,944	,000
PRCP	1	2154	6,497	,011
TAVG	1	2154,000	10,838	,001
GROUP * PRCP	1	2154	19,358	,000
GROUP * TAVG	1	2154,000	6,129	,013

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6** Έλεγχος σταθερών επιδράσεων του μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2005

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

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	1,345670	,085873	2154,000	15,670	,000	1,177267	1,514072
[GROUP=1]	2,160793	,165267	2154,000	13,075	,000	1,836694	2,484892
[GROUP=2]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
PRCP	,062831	,011538	2154	5,446	,000	,040205	,085457
TAVG	,007726	,001621	2154,000	4,765	,000	,004546	,010906
[GROUP=1] * PRCP	-,079567	,018084	2154	-4,400	,000	-,115031	-,044102
[GROUP=2] * PRCP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[GROUP=1] * TAVG	-,006632	,002679	2154,000	-2,476	,013	-,011886	-,001379
[GROUP=2] * TAVG	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

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

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7** Συντελεστές σταθερών επιδράσεων μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2005

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

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	,427559	,013028	32,818	,000	,402772	,453872

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8** Έλεγχος διακύμανσης υπολοίπων μοντέλου για το χρονικό διάστημα 1991-2005

Ο έλεγχος προσαρμογής του μοντέλου γίνεται με το κριτήριο -2 Restricted Log Likelihood.

$$L(b) = 4335,764$$

$$L(0) = 4359,833$$

$$LRT = -2 \cdot (L(b) - L(0)) = 48,138$$

$$\text{ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ} = 7 - 2 = 5$$

Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 5 βαθμούς ελευθερίας είναι  $\chi^2 = 11,07$

Επομένως ισχύει  $L > \chi^2$  αφού  $48,138 > 11,07$  άρα το μοντέλο είναι **στατιστικά αποδεκτό**.

Επίσης, παρατηρείται ότι οι μεταβλητές της ομάδας των πόλεων, η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η αλληλεπίδραση της ομάδας των πόλεων με

την βροχόπτωση και η αλληλεπίδραση της ομάδας των πόλεων με την θερμοκρασία προκύπτουν στατιστικά σημαντικές.

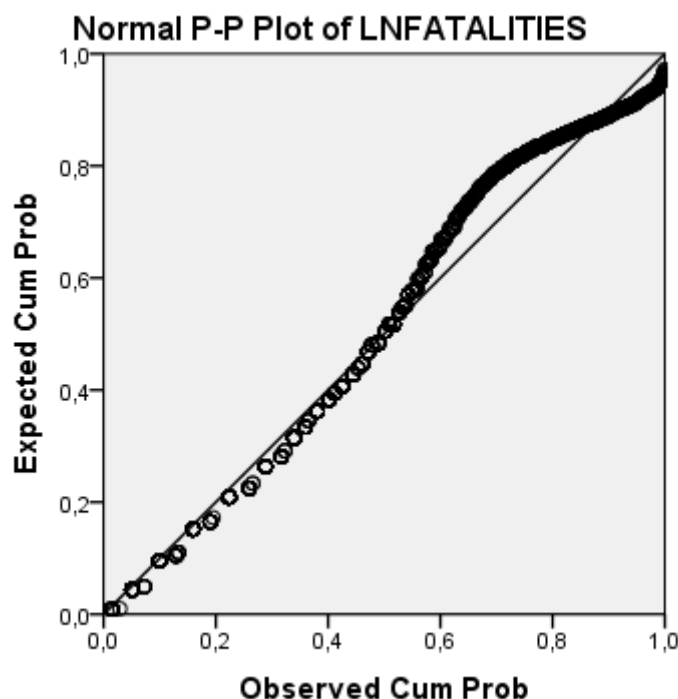
Οι συντελεστές των μεταβλητών PRCP και TAVG προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, όπως αποδεικνύεται από τα t-tests. Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι η επιρροή της ομάδας των βόρειων πόλεων έχει στατιστικά σημαντική διαφορά από εκείνη των νότιων πόλεων. Επιπλέον, από τις αλληλεπιδράσεις των ομάδων των πόλεων με τις μεταβλητές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζει η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με την θερμοκρασία και την βροχόπτωση.

Τέλος, από τον πίνακα ελέγχου διακύμανσης των υπολοίπων, προκύπτει ότι τα όρια σφάλματος είναι ανεξάρτητα με διακύμανση περίπου 0,428.

### 5.6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

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

$$\text{LNFATALITIES} = 1,346 + 0,063 * \text{PRCP} + 0,008 * \text{TAVG} + 2,161 * \text{GROUP}_{=1} - 0,080 * \text{GROUP}_{=1} * \text{PRCP} - 0,007 * \text{GROUP}_{=1} * \text{TAVG}$$



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2:** Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος

Αρχικά συμπεραίνεται ότι ικανοποιείται η βασική προϋπόθεση του σφάλματος, αφού τα τυπικά σφάλματα στο διάγραμμα 5.2 θεωρείται πως προσεγγίζουν την ευθεία της διαγωνίου, άρα ακολουθούν κανονική κατανομή.

Από την παραπάνω μαθηματική σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής της μεταβλητής της βροχόπτωσης είναι θετικός, το οποίο συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής του PRCP έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η βροχή οδηγεί σε μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, ωστόσο, το πλήθος των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται γιατί τα οχήματα που τελικά κυκλοφορούν είναι ενδεχομένως πιο επιρρεπή στο να εμπλακούν σε ατύχημα (λόγω της μειωμένης πρόσφυσης των ελαστικών με το οδόστρωμα, της κακής ορατότητας κλπ.).

Ομοίως, ο συντελεστής της μεταβλητής της θερμοκρασίας είναι θετικός, άρα αύξηση της τιμής του TAVG έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές αυξάνεται η κυκλοφορία των χρηστών της οδού και επίσης αυξάνονται και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες, σφοδρότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.

Ο συντελεστής της ομάδας των νότιων πόλεων ( $GROUP_{=1}$ ) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Δεδομένου ότι ως επίπεδο αναφοράς έχει οριστεί η ομάδα των βόρειων πόλεων, η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 2,161 περισσότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων. Όπως ξαναειπώθηκε, οι οδηγοί των βόρειων χωρών γενικότερα εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά σε θέματα οδήγησης από τους οδηγούς των νότιων χωρών, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και σχετικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες, για παράδειγμα είναι πιο εξοικειωμένοι στην οδήγηση υπό κακοκαιρία.

Τέλος, η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με τη βροχόπτωση και η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με την θερμοκρασία προέκυψαν στατιστικά σημαντικές και ο συντελεστής τους έχει αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι η βροχόπτωση στην ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 0,080 λιγότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων, ενώ η θερμοκρασία στην ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 0,007 λιγότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων. Μια προφανή εξήγηση για τον λόγο για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι επίσης η διαφορά κλίματος μεταξύ των βόρειων και νότιων χωρών, αλλά και ο τρόπος αντίδρασης των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας σε κάθε ομάδα πόλεων.



## 5.7 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2006-2017

### 5.7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο παρακάτω μαθηματικό μοντέλο η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ο λογάριθμος των ατυχημάτων (LNFATALITIES) και οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η ομάδα των πόλεων (GROUP), η θερμοκρασία (TAVG) και η βροχόπτωση (PRCP). Ομοίως και εδώ δεν ορίστηκε μεταβλητή επαναλαμβανόμενων επιδράσεων.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται παρακάτω:

#### Information Criteria<sup>a</sup>

-2 Restricted Log Likelihood	4007,241
Akaike's Information Criterion (AIC)	4009,241
Hurvich and Tsai's Criterion (AICC)	4009,243
Bozdogan's Criterion (CAIC)	4015,678
Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	4014,678

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

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9** Έλεγχος προσαρμογής μοντέλου για το χρονικό διάστημα 2006-2017

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

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	1698,000	221,004	,000
GROUP	1	1698,000	64,768	,000
PRCP	1	1698,000	10,256	,001
TAVG	1	1698,000	10,442	,001
GROUP * PRCP	1	1698,000	2,742	,098
GROUP * TAVG	1	1698,000	1,683	,195

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10** Έλεγχος σταθερών επιδράσεων του μοντέλου για το χρονικό διάστημα 2006-2017

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

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	,765225	,114591	1698,000	6,678	,000	,540471	,989979
[GROUP=1]	1,806414	,224460	1698,000	8,048	,000	1,366167	2,246661
[GROUP=2]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
PRCP	,065339	,016271	1698,000	4,016	,000	,033425	,097253
TAVG	,008079	,002157	1698,000	3,746	,000	,003849	,012309
[GROUP=1] * PRCP	-,044537	,026897	1698,000	-1,656	,098	-,097293	,008219
[GROUP=2] * PRCP	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
[GROUP=1] * TAVG	-,004629	,003568	1698,000	-1,297	,195	-,011627	,002370
[GROUP=2] * TAVG	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

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

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.11** Συντελεστές σταθερών επιδράσεων μοντέλου για το χρονικό διάστημα 2006-2017

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

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	,601601	,020647	29,138	,000	,562465	,643461

a. Dependent Variable: LNFATALITIES.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.12** Έλεγχος διακύμανσης υπολοίπων μοντέλου για το χρονικό διάστημα 2006-2017

Ο έλεγχος προσαρμογής του μοντέλου γίνεται με το κριτήριο -2 Restricted Log Likelihood.

$$L(b) = 4007,241$$

$$L(0) = 4018,726$$

$$LRT = -2 \cdot (L(b) - L(0)) = 22,97$$

$$\text{ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ} = 7 - 2 = 5$$

Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 5 βαθμούς ελευθερίας είναι  $\chi^2 = 11,07$

Επομένως ισχύει  $L > \chi^2$  αφού  $22,97 > 11,07$  άρα το μοντέλο είναι **στατιστικά αποδεκτό**.

Παρατηρείται ότι οι μεταβλητές της ομάδας των πόλεων, η βροχόπτωση και η θερμοκρασία προκύπτουν στατιστικά σημαντικές, σε αντίθεση με τις αλληλεπιδράσεις της μεταβλητής της ομάδας των νότιων πόλεων με κάθε μια από τις υπόλοιπες δύο μεταβλητές.

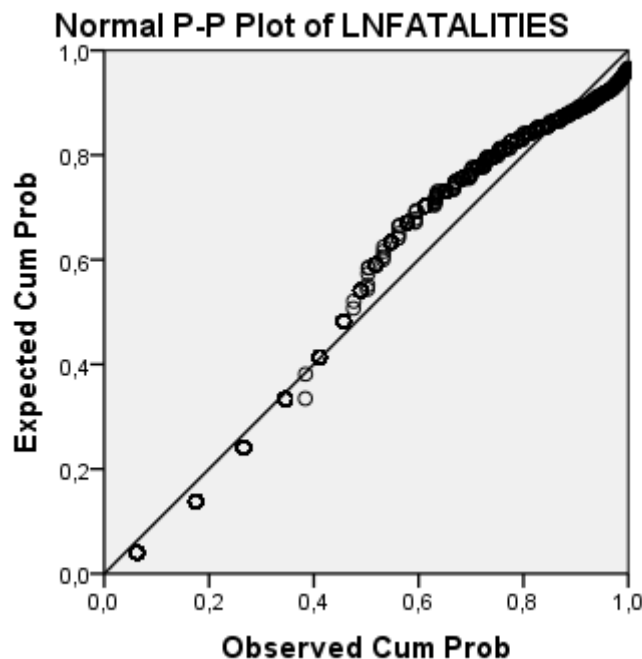
Οι συντελεστές των μεταβλητών PRCP και TAVG προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, όπως αποδεικνύεται από τα t-tests. Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι η επιρροή της ομάδας των βόρειων πόλεων έχει στατιστικά σημαντική διαφορά από εκείνη των νότιων πόλεων. Επιπλέον, από τις αλληλεπιδράσεις των ομάδων των πόλεων με τις μεταβλητές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στατιστικά σημαντική διαφορά, για τιμή σημαντικότητας  $\text{sig} < 0,1$  παρουσιάζει η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με την βροχόπτωση.

Τέλος, από τον πίνακα ελέγχου διακύμανσης των υπολοίπων, προκύπτει ότι τα όρια σφάλματος είναι ανεξάρτητα με διακύμανση περίπου 0,602.

### 5.7.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

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

$$\text{LNFATALITIES} = 0,765 + 0,065 * \text{PRCP} + 0,008 * \text{TAVG} + 1,806 * \text{GROUP}_{=1} - 0,045 * \text{GROUP}_{=1} * \text{PRCP}$$



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3:** Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος

Αρχικά συμπεραίνουμε ότι ικανοποιείται η βασική προϋπόθεση του σφάλματος, αφού τα τυπικά σφάλματα στο διάγραμμα 5.3 θεωρείται πως προσεγγίζουν την ευθεία της διαγωνίου, άρα ακολουθούν κανονική κατανομή.

Από την παραπάνω μαθηματική σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής της μεταβλητής της βροχόπτωσης είναι θετικός, γεγονός το οποίο συνεπάγεται ότι **αύξηση της τιμής της βροχόπτωσης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων**. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η βροχή οδηγεί σε μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, ωστόσο, το πλήθος των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται γιατί τα οχήματα που τελικά κυκλοφορούν είναι ενδεχομένως πιο επιρρεπή στο να εμπλακούν σε ατύχημα (λόγω της μειωμένης πρόσφυσης των ελαστικών με το οδόστρωμα, της κακής ορατότητας κλπ.).

Ομοίως, ο συντελεστής της μεταβλητής της θερμοκρασίας είναι θετικός, άρα **αύξηση της τιμής της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων**. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές αυξάνεται η κυκλοφορία των χρηστών της οδού και επίσης αυξάνονται και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες, σφοδρότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.

Ο συντελεστής της ομάδας των νότιων πόλεων ( $GROUP_{=1}$ ) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει θετικό πρόσημο. Δεδομένου ότι ως επίπεδο αναφοράς έχει οριστεί η ομάδα των βόρειων πόλεων, η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι η ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 1,806 περισσότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων. Όπως ξαναειπώθηκε, **οι οδηγοί των βόρειων χωρών γενικότερα εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά σε θέματα οδήγησης από τους οδηγούς των νότιων χωρών**, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και σχετικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες, για παράδειγμα είναι πιο εξοικειωμένοι στην οδήγηση υπό κακοκαιρία.

Τέλος, η αλληλεπίδραση της ομάδας των νότιων πόλεων με τη βροχόπτωση προέκυψε στατιστικά σημαντική και ο συντελεστής της έχει αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι η **βροχόπτωση στην ομάδα των νότιων πόλεων** συμβάλλει στον αριθμό των ατυχημάτων κατά 0,045 λιγότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων. Μια προφανή εξήγηση για τον λόγο για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι επίσης η διαφορά κλίματος μεταξύ των βόρειων και νότιων χωρών, αλλά και ο τρόπος αντίδρασης των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας σε κάθε ομάδα πόλεων.

## 5.8 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ Α.Ε.Π. ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1995-2017

### 5.8.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Μετά από αρκετές δοκιμές τα μοντέλα τα οποία προέκυπταν στατιστικά αποδεκτά και προσαρμόζονταν καλύτερα στα δεδομένα ήταν εκείνα με εξαρτημένη τη μεταβλητή της ποσοστιαίας μεταβολής των ατυχημάτων (FATALITIESch) και ανεξάρτητες τις μεταβλητές της ομάδας των νότιων πόλεων (GROUP), την ποσοστιαία μείωση του Α.Ε.Π. (GDPde) και την ποσοστιαία αύξηση της θερμοκρασίας (TAVGin). Ομοίως και εδώ δεν ορίστηκε μεταβλητή επαναλαμβανόμενων επιδράσεων.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται παρακάτω:

**Information Criteria<sup>a</sup>**

-2 Restricted Log Likelihood	11311,493
Akaike's Information Criterion (AIC)	11313,493
Hurvich and Tsai's Criterion (AICC)	11313,497
Bozdogan's Criterion (CAIC)	11319,444
Schwarz's Bayesian Criterion (BIC)	11318,444

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

a. Dependent Variable: FATALITIESch.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.13** Έλεγχος προσαρμογής μοντέλου

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

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	1044	,290	,590
GROUP	1	1044	6,552	,011
GDPde	1	1044	2,865	,091
TAVGin	1	1044	2,819	,093

a. Dependent Variable: FATALITIESch.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.14** Έλεγχος σταθερών επιδράσεων του μοντέλου

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

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	5,630673	2,391107	1044,000	2,355	,019	,938751	10,322596
[GROUP=1]	-9,070160	3,543383	1044	-2,560	,011	-16,023124	-2,117196
[GROUP=2]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
GDPde	-1,103483	,651938	1044	-1,693	,091	-2,382741	,175774
TAVGin	,725204	,431942	1044	1,679	,093	-,122369	1,572778

a. Dependent Variable: FATALITIESch.

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

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.15 Συντελεστές σταθερών επιδράσεων μοντέλου

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

Parameter	Estimate	Std. Error	Wald Z	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Residual	2885,080092	126,276525	22,847	,000	2647,901311	3143,503538

a. Dependent Variable: FATALITIESch.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.16 Έλεγχος διακύμανσης υπολοίπων μοντέλου

Ο έλεγχος προσαρμογής του μοντέλου γίνεται με το κριτήριο -2 Restricted Log Likelihood.

$$L(b) = 11311,493$$

$$L(0) = 11318,089$$

$$LRT = -2 \cdot (L(b) - L(0)) = 13,192$$

$$\text{ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ} = 5 - 2 = 3$$

Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 3 βαθμούς ελευθερίας είναι  $\chi^2 = 7,815$

Επομένως ισχύει  $L > \chi^2$  αφού  $13,192 > 7,815$  άρα το μοντέλο είναι **στατιστικά αποδεκτό**.

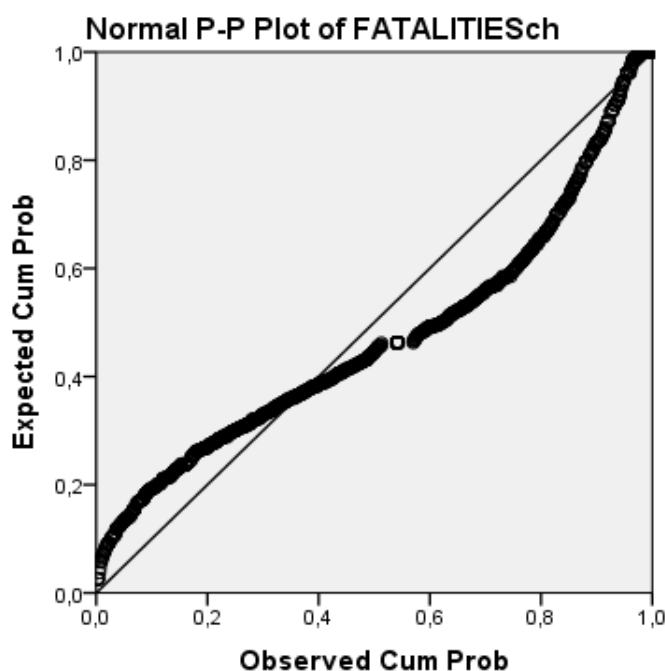
Παρατηρείται ότι η μεταβλητή της ομάδας των πόλεων (GROUP) είναι στατιστικά σημαντική. Οι μεταβλητές της μείωσης του Α.Ε.Π. (GDPde) και της αύξησης της θερμοκρασίας (TAVGin) προκύπτουν στατιστικά σημαντικές για τιμή σημαντικότητας  $\text{sig} < 0,1$ .

Ο συντελεστής της μεταβλητής της ομάδας των νότιων πόλεων (GROUP<sub>=1</sub>) προκύπτει στατιστικά σημαντικός όπως αποδεικνύεται από τα t-tests. Ενώ οι συντελεστές των μεταβλητών της μείωσης του Α.Ε.Π. (GDPde) και της αύξησης της θερμοκρασίας (TAVGin) προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί για τιμή σημαντικότητας  $\text{sig} < 0,1$ .

### 5.8.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Από τα παραπάνω αποτελέσματα του τελικού μοντέλου, με το οποίο συσχετίζεται η μείωση του Α.Ε.Π. και η αύξηση της θερμοκρασίας με τη μεταβολή των ατυχημάτων, απεικονίζεται παρακάτω η μαθηματική σχέση που το περιγράφει:

$$\text{FATALITIESch} = -1,103 * \text{GDPde} + 0,725 * \text{TAVGin} - 9,070 * \text{GROUP}_{=1}$$



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4:** Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος

Αρχικά συμπεραίνεται ότι ικανοποιείται η βασική προϋπόθεση του σφάλματος, αφού τα τυπικά σφάλματα στο διάγραμμα 5.4 θεωρείται πως προσεγγίζουν την ευθεία της διαγωνίου, άρα ακολουθούν κανονική κατανομή.

Από την παραπάνω μαθηματική σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής της μείωσης του Α.Ε.Π. (GDPde) είναι αρνητικός, το οποίο συνεπάγεται **αυξανόμενη μείωση της τιμής του Α.Ε.Π. (δηλαδή αύξηση του GDPde) που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ετήσιας ποσοστιαίας μεταβολής του αριθμού των ατυχημάτων**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Α.Ε.Π. σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει και αναγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που συμβάλλει στα οδικά ατυχήματα. Αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση του Α.Ε.Π. γίνονται εθνικές προσπάθειες βελτίωσης των συνθηκών οδικού δικτύου και ασφάλειας των χρηστών του. Τελικά, προκύπτει ότι η αύξηση του δείκτη GDPde, δηλαδή η μείωση του Α.Ε.Π., οδηγεί τελικά σε αύξηση των ατυχημάτων (μείωση της μεταβολής τους), παρά την συνεχή μείωση τους με το χρόνο.

Ενώ θετικός είναι ο συντελεστής της αύξησης της θερμοκρασίας (TAVG<sub>in</sub>), **δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας συσχετίζεται θετικά με την αύξηση της μεταβολής του αριθμού των οδικών ατυχημάτων**. Όπως είδαμε και παραπάνω η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει αύξηση κινητικότητας, άρα πιθανότητα οδικών ατυχημάτων αφού έχουμε μεγαλύτερη έκθεση σε κίνδυνο.

Επίσης, ο συντελεστής της ομάδας των νότιων πόλεων (GROUP<sub>=1</sub>) προέκυψε στατιστικά σημαντικός και έχει αρνητικό πρόσημο. Δεδομένου ότι ως επίπεδο αναφοράς έχει οριστεί η ομάδα των βόρειων πόλεων, η τιμή του παραπάνω συντελεστή σημαίνει ότι **η ομάδα των νότιων πόλεων συμβάλλει στην μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων κατά 9,070 λιγότερο από την ομάδα των βόρειων πόλεων**. Μια πιθανή εξήγηση πέρα από κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις δυο ομάδες πόλεων και της συμπεριφοράς των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας είναι και κοινωνικό-οικονομικές διαφορές των δυο ομάδων, αφού οι βόρειες χώρες γενικά είναι πιο ανεπτυγμένες από τις νότιες.

### 5.9 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

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 μεταβλητής.

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

Εφαρμόζω την πάνω σχέση σε καθεμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων που δημιουργήθηκαν. Δουλεύω με τα τρία πρώτα μοντέλα, εφόσον οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι ίδιες (βροχόπτωση, θερμοκρασία), άρα έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα.



Μοντέλο για το χρονικό διάστημα 1991-2017			
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Τιμές Συντελεστών	Σχετική Επιρροή	
		$e_1$ (ελαστικότητα)	$e_1^*$ (σχετική επιρροή)
Σταθερός Όρος	1,083		
PRCP	0,053	0,022	1,00
TAVG	0,008	0,076	3,45

Μοντέλο για το χρονικό διάστημα 1991-2005			
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Τιμές Συντελεστών	Σχετική Επιρροή	
		$e_1$ (ελαστικότητα)	$e_1^*$ (σχετική επιρροή)
Σταθερός Όρος	1,346		
PRCP	0,063	0,020	1,00
TAVG	0,008	0,058	2,90

Μοντέλο για το χρονικό διάστημα 2006-2017			
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Τιμές Συντελεστών	Σχετική Επιρροή	
		$e_1$ (ελαστικότητα)	$e_1^*$ (σχετική επιρροή)
Σταθερός Όρος	0,765		
PRCP	0,065	0,034	1,00
TAVG	0,008	0,096	2,82

❖ Χρονικό Διάστημα 1991-2017

Η μεταβλητή της θερμοκρασίας παρουσιάζει **3,45 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την μεταβλητή της βροχόπτωσης**. Όπως έχει αναφερθεί και στη βιβλιογραφία η θερμοκρασία συνδέεται με την κινητικότητα, όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές αυξάνεται η κυκλοφορία των χρηστών της οδού και επίσης αυξάνονται και οι ταχύτητες με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες, σφοδρότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις. Ενώ βροχή οδηγεί στη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, αν και το πλήθος των ατυχημάτων αυξάνεται γιατί τα οχήματα που τελικά κυκλοφορούν είναι πιο πιθανό να εμπλακούν σε ατύχημα λόγω των συνθηκών που επικρατούν, ωστόσο η πιθανότητα ατυχήματος λόγω της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη γιατί εκτίθενται περισσότεροι χρήστες. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την σχετική επιρροή της θερμοκρασίας που βλέπουμε και στους πάνω πίνακες.

## ❖ Χρονικό Διάστημα 1991-2005

**Η μεταβλητή της θερμοκρασίας παρουσιάζει 2,90 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την μεταβλητή της βροχόπτωσης.** Ισχύει η ίδια εξήγηση που δόθηκε και για την προηγούμενη περίπτωση..

## ❖ Χρονικό Διάστημα 2006-2017

**Η μεταβλητή της θερμοκρασίας παρουσιάζει 2,82 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την μεταβλητή της βροχόπτωσης.** Ο λόγος είναι ενδεχομένως ο ίδιος με εκείνον που αναφέρθηκε στη γενική περίπτωση του χρονικού διαστήματος 1991-2017.

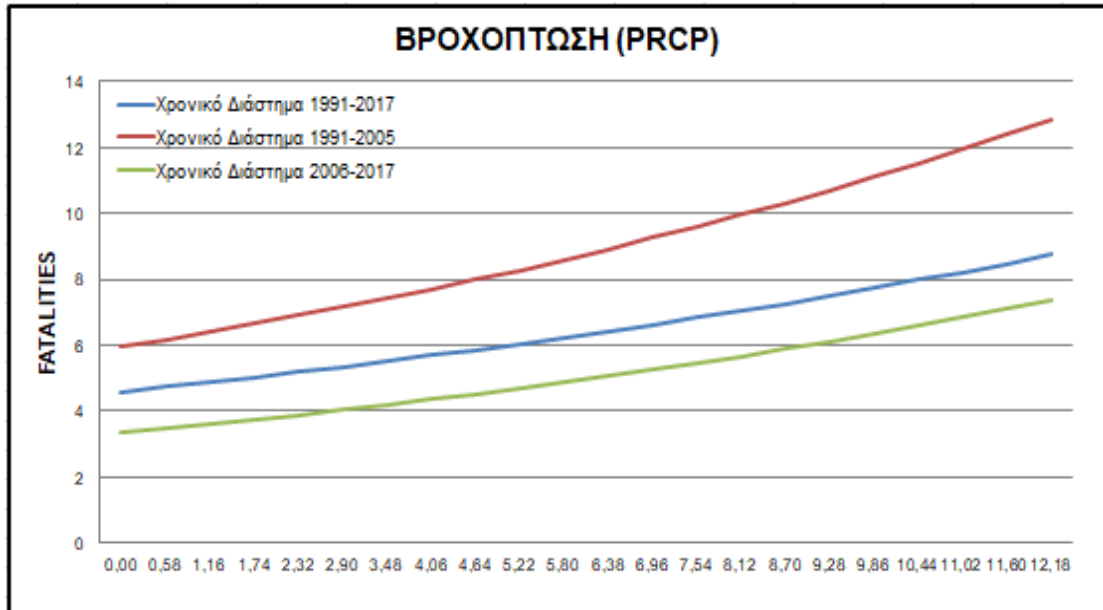
Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι σε όλα τα μοντέλα **η ανεξάρτητη μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων είναι η θερμοκρασία (TAVG).** Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η επιρροή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα των 27 ετών είναι μεγαλύτερη από την επιρροή που αναφέρεται στα επιμέρους διαστήματα, γεγονός που οφείλεται στη χρήση μεγαλύτερου δείγματος που οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο επιμέρους διαστημάτων, όπου στο διάστημα των 15 ετών (1991-2005) παρατηρείται **μεγαλύτερη επιρροή της θερμοκρασίας έναντι της βροχόπτωσης** σε σχέση με το διάστημα των 12 ετών (2006-2017). Αυτό με τη σειρά του οφείλεται και πάλι στον όγκο του δείγματος, ωστόσο ένας ακόμα πιθανός παράγοντας θα μπορούσε να είναι η μείωση του Α.Ε.Π. σε αρκετές χώρες της Ευρώπης.

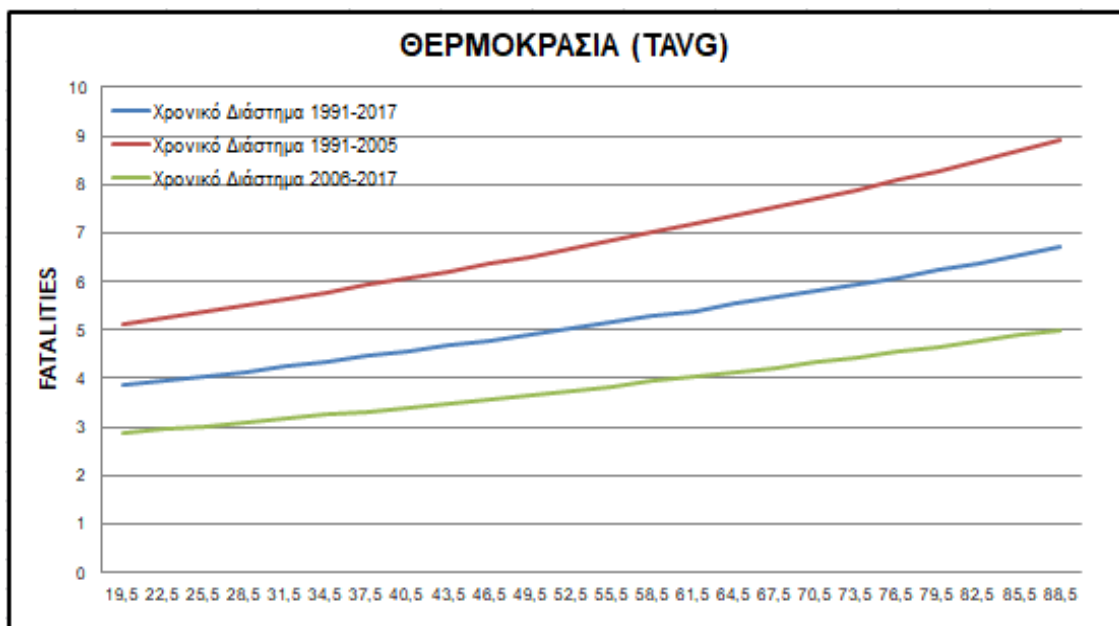
### 5.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

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.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6** Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή της βροχόπτωσης στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων για τις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.7** Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιρροή της θερμοκρασίας στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων για τις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.

Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε το Γραμμικό Μικτό

Μοντέλο και συμφωνούν με τους συντελεστές  $\beta$  στους οποίους κατέληξε. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως:

- ❖ **Αύξηση της βροχόπτωσης, διατηρώντας σταθερή την μεταβλητή της θερμοκρασία, επιφέρει αύξηση στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων**, σε κάθε μια από τις χρονικές περιόδους που μελετάμε. Επίσης, παρατηρείται ότι η επιρροή των οδικών ατυχημάτων από την βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη το χρονικό διάστημα 1991-2005 σε σχέση με τις άλλες χρονικές περιόδους, αυτό φαίνεται από την κλίση της γραμμής στο γράφημα που είναι πιο απότομη συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι με την εξέλιξη της τεχνολογίας στα οχήματα έχει βελτιωθεί η δυσκολία κατά την πέδηση λόγω υγρού οδοστρώματος, που αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες οδικών ατυχημάτων λόγω καιρικών συνθηκών.
- ❖ **Αύξηση της θερμοκρασίας, διατηρώντας σταθερή την μεταβλητή της βροχόπτωσης, επιφέρει αύξηση στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων**, σε κάθε μια από τις χρονικές περιόδους που μελετάμε. Και στην περίπτωση της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το χρονικό διάστημα 1991-2005 η επιρροή της είναι ελάχιστα μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες χρονικές περιόδους. Ένας λόγος που ενδεχομένως οφείλεται το γεγονός αυτό είναι ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανάπτυξη της παιδείας των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας, λόγω και της εξέλιξης της επιστήμης της οδικής ασφάλειας, επομένως και οι οδηγοί αντιμετωπίζουν και αντιδρούν διαφορετικά υπό ορισμένες συνθήκες, μια εκ των οποίων είναι και η θερμοκρασία.
- ❖ Ενώ παρατηρείται μείωση των οδικών ατυχημάτων από το χρονικό διάστημα 1991-2005 έως το χρονικό διάστημα 2006-2017. Η μείωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα οδικά ατυχήματα επηρεάζονται περισσότερο από άλλους παράγοντες, όπως κοινωνικό-οικονομικοί παρά από τις καιρικές συνθήκες.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνηθεί **μακροσκοπικά η συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων και των καιρικών συνθηκών σε Ευρωπαϊκές πόλεις** με τη χρήση στατιστικών μοντέλων.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε η **βιβλιογραφική αναζήτηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και παγκοσμίως, καθώς και των διαθέσιμων στοιχείων που ήταν απαραίτητα για τη συγκεκριμένη διερεύνηση.

Στη συνέχεια ακολούθησε η **συλλογή** των απαραίτητων για την εργασία στοιχείων από βάσεις δεδομένων διάφορων οργανισμών, όπως το CARE, NOAA, KNMI Climate Explorer και EUROSTAT και αναπτύχθηκε η σχετική βάση δεδομένων. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν περιελάμβαναν τον αριθμό ατυχημάτων σε μηνιαία βάση, την μέση μηνιαία βροχόπτωση και την μέση μηνιαία θερμοκρασία για τις εξεταζόμενες πόλεις από το 1991 έως το 2017. Επίσης, συλλέχθηκαν και στοιχεία που αφορούν στο κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (Α.Ε.Π.) ανά τρίμηνα για τα έτη 1995-2017 για τις πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης που εξετάστηκαν.

Τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στο ειδικό στατιστικό λογισμικό. Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Γραμμικό Μικτό Μοντέλο και **αναπτύχθηκαν συνολικά τέσσερα στατιστικά μοντέλα**. Στα τρία στατιστικά μοντέλα συσχετίζεται η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και τα οδικά ατυχήματα για το χρονικό διάστημα 1991-2017 αλλά και για τα επιμέρους διαστήματα 1991-2005 και 2006-2017, ενδεικτικά πριν και μετά την εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής. Η εξαρτημένη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε είναι ο λογάριθμος των οδικών ατυχημάτων και ως ανεξάρτητες η βροχόπτωση και η θερμοκρασία. Ενώ στο τέταρτο στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε συσχετίζεται η μείωση του Α.Ε.Π. με την αύξηση της θερμοκρασίας και τη μεταβολή των οδικών ατυχημάτων.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων τόσο για το σύνολο των κρατών όσο και για κάθε ομάδα ξεχωριστά, έγινε μετά από **αρκετές δοκιμές** για διάφορους συνδυασμούς ανεξάρτητων μεταβλητών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ												
Parameter	Χρονικό Διάστημα 1991-2017				Χρονικό Διάστημα 1991-2005				Χρονικό Διάστημα 2006-2017			
	Estimate	t	Sig.	e <sub>i</sub> *	Estimate	t	Sig.	e <sub>i</sub> *	Estimate	t	Sig.	e <sub>i</sub> *
Intercept	1,083	14,526	0,000		1,346	15,670	0,000		0,765	6,678	0,000	
GROUP <sub>=1</sub>	2,077	14,373	0,000		2,161	13,075	0,000		1,806	8,048	0,000	
Βροχόπτωση	0,053	5,190	0,000	1,00	0,063	5,446	0,000	1,00	0,065	4,016	0,000	1,00
Θερμοκρασία	0,008	5,531	0,000	3,45	0,008	4,765	0,000	2,90	0,008	3,746	0,000	2,82
GROUP <sub>=1</sub> *(Βροχόπτωση)	-0,046	-2,824	0,005		-0,080	-4,400	0,000		-0,045	-1,656	0,098	
GROUP <sub>=1</sub> *(Θερμοκρασία)	-0,007	-3,003	0,003		-0,007	-2,476	0,013		-0,005	-1,297		

Α.Ε.Π. - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
Parameter	Χρονικό Διάστημα 1995-2017		
	Estimate	t	Sig.
Intercept			
GROUP <sub>=1</sub>	-9,070	-2,560	0,011
Μείωση Α.Ε.Π.	-1,103	-1,693	0,091
Αύξηση Θερμοκρασίας	0,725	1,679	0,093

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1** Συγκεντρωτικός Πίνακας μοντέλων

## 6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

- ❖ Διαπιστώθηκε ότι στις Ευρωπαϊκές πόλεις η **αύξηση της θερμοκρασίας (TAVG) συσχετίζεται θετικά με την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων**. Το γεγονός αυτό εξηγείται ενδεχομένως από την κυκλοφορία των χρηστών της οδού που αυξάνεται όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε αυτές τις περιπτώσεις αυξάνονται επίσης και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.

- ❖ Προέκυψε, επίσης, ότι **αύξηση της βροχόπτωσης συσχετίζεται θετικά με την αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων**. Γενικά, η βροχή οδηγεί συχνά σε μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, ωστόσο, το πλήθος των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται διότι τα οχήματα που τελικά κυκλοφορούν είναι ενδεχομένως πιο επιρρεπή στο να εμπλακούν σε ατύχημα (λόγω της μειωμένης πρόσφυσης των ελαστικών με το οδόστρωμα, της κακής ορατότητας, κλπ.).
- ❖ Στο **χρονικό διάστημα 1991-2005 παρατηρείται μεγαλύτερη επιρροή της βροχόπτωσης σε σχέση με την περίοδο 2006-2017**. Πιθανή αιτία είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας στα οχήματα που οδηγεί σε βελτίωση της πέδησης σε υγρό οδόστρωμα. Ομοίως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στη συνεχιζόμενη βελτίωση της παιδείας των οδηγών σε θέματα οδικής ασφάλειας.
- ❖ Η επιρροή της θερμοκρασίας, σε σχέση με τη βροχόπτωση, για το χρονικό διάστημα 1991-2017 είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες επιρροές που αναφέρονται στα διαστήματα 1991-2005 και 2006-2017. Επιπλέον, από τη **σύγκριση μεταξύ των διαστημάτων 1991-2005 και 2006-2017** (πριν και μετά την κλιματική αλλαγή) παρατηρείται ότι στο πρώτο υπάρχει μεγαλύτερη επιρροή θερμοκρασίας έναντι της βροχόπτωσης.
- ❖ Όπως προέκυψε από τη συνολική ανάλυση των αποτελεσμάτων, η **αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής οδηγεί σε επιβράδυνση της βελτίωσης της οδικής ασφάλειας**.
- ❖ Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή και υπό αυστηρές προϋποθέσεις σε μικρότερη κλίμακα. Αυτό, διότι **διαφορετικές πόλεις** (ή και χώρες) εμφανίζουν διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά όπως θερμοκρασίες, ύψη βροχόπτωσης κλπ. καθώς και οι χρήστες της οδού μπορεί να εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και αναφορικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. πιο εξοικειωμένοι οι οδηγοί των βόρειων περιοχών στην οδήγηση υπό κακοκαιρία, κλπ).
- ❖ Επισημαίνεται ότι το **γραμμικό μικτό μοντέλο** αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για τη συσχέτιση των ατυχημάτων με τις καιρικές συνθήκες (βροχόπτωση και θερμοκρασία). Αυτό ισχύει δεδομένου ότι τα μαθηματικά πρότυπα, που προέκυψαν με χρήση της μεθόδου αυτής,

θεωρούνται αξιόπιστα και τα εξαγόμενα συμπεράσματα φαίνεται να είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

### 6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μιας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας.

- ❖ Ο **καθορισμός μεταβλητών ορίων ταχύτητας**, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες θα μπορούσε να είναι ένα αρκετά χρήσιμο μέτρο οδικής ασφάλειας, αφού από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αποδεικνύεται η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια.
- ❖ **Εντατικοποίηση της αστυνόμευσης**, όχι μόνο όταν επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, αλλά και σε περιόδους καλοκαιρίας. Το τελευταίο θα έχει θετικά αποτελέσματα στην προσπάθεια βελτίωσης της οδικής ασφάλειας αφού όπως αποδεικνύεται από την παρούσα εργασία, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση στον αριθμό των ατυχημάτων.
- ❖ **Εκστρατείες ενημέρωσης** σχετικά με τη σωστή οδήγηση και συμπεριφορά υπό βροχή, αλλά και σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Κατάλληλοι φορείς για τον σκοπό αυτό, εκτός από το αρμόδιο Υπουργείο, θα μπορούσαν να είναι τα σχολεία (ιδίως με το μάθημα της κυκλοφοριακής αγωγής), οι δήμοι, αλλά και άλλοι σύλλογοι και ινστιτούτα με τη διοργάνωση ημερίδων και ανάλογων εκδηλώσεων.

### 6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

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

- ❖ Για το ίδιο πρόβλημα να μελετηθούν **περισσότεροι δείκτες-μεταβλητές** καθώς είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Για παράδειγμα, σημαντικό είναι να μελετηθούν δείκτες όπως ο τύπος οχήματος, ο τύπος σύγκρουσης, ο δείκτης σοβαρότητας, ο δείκτης επικινδυνότητας αλλά και περισσότεροι δείκτες μετεωρολογικών φαινομένων όπως η ομίχλη, ο άνεμος, το χιόνι.
- ❖ Η **επέκταση της συγκεκριμένης έρευνας σε μεγαλύτερο αριθμό πόλεων και εκτός Ευρώπης** ώστε να γίνουν συγκρίσεις για τη



διαπίστωση αν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έχουν την ίδια ισχύ παγκοσμίως.

- ❖ Η επανάληψη της έρευνας σε βάθος χρόνου ώστε να διερευνηθεί η συσχέτιση της κλιματικής αλλαγής με την οδική ασφάλεια.
- ❖ Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της συσχέτισης των καιρικών συνθηκών με τον αριθμό των οδικών ατυχημάτων με **χρήση άλλων στατιστικών μεθόδων**, για παράδειγμα με την ανάλυση χρονοσειρών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

1. Abdel-Aty M., Ekrama A.-A., Huang H., Choic K. (2011). A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke. *Accident Analysis & Prevention*, 43, pp. 1730-1737.
2. Amin S.R., Zareie A., Amador-Jimenez L.E (2014). Climate change modeling and the weather –related road accidents in Canada. *Transportation Research Part D*, 32, PP. 171-183.
3. Andreescu M.-P., Frost D.B. (1998). Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. *Clim. Res.*, 9, pp. 225-230.
4. Andrey J., Mills B., Leahy M., Suggett J. (2003). Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural Hazards* 28, pp. 319-343.
5. Andrey J., Yagar S. (1993). A temporal analysis of rain-related crash risk. *Accident Analysis & Prevention*, 25 (4), pp. 465-472.
6. Antoniou C., Yannis G., Katsohis D. (2013). Impact of meteorological factors on the number of injury accidents. *Proceedings of the 13th World Conference on Transportation Research*, 15–18 July, 2013, COPPE—Federal University of Rio de Janeiro at Rio de Janeiro, Brazil(2013)
7. Aron, M, Bergel-Hayat, R, Saint Pierre, Guillaume, Violette, E. (2007). Added Risk by Rainy Weather on the Roads of Normandie-Centre Region In France, *Proceedings of 11th WCTR (CD-Rom)*, World Conference on Transport Research Society.
8. Baker C.J., Reynolds S. (1992). Wind- induced accidents of road vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 24 (6), pp.559-575.
9. Bergel-Hayat R., Debarh M., Antoniou C., Yannis G. (2013). Explaining the road accident risk: Weather effects. *Accident Analysis & Prevention*, 60, pp. 456-465.
10. Bijleveld F., Churchill T. (2009). The influence of weather conditions on road safety: an assessment of the effect of precipitation and temperature. In: Report R-2009-9. SWOV Institute for Road Safety Research. The Netherlands .
11. Brijs T., Karlis D., Wets G. (2008). Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis & Prevention*, 40, pp.1180-1190.
12. Brodsky H., Hakkert S. (1988). Risk of road accident in rainy weather. *Accident Analysis and Prevention*, 20(3), pp 161-176.
13. Caliendo C., Guida M., Parisi A., (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 39, pp. 657-670.

14. Chang L.Y., Chen W.C. (2005). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. *Journal of Safety Research* 36, pp. 365-375.
15. Climate Explorer – KNMI: <https://climexp.knmi.nl>
16. Cromley E. K. (2007). Risk factors contributing to motor vehicle accidents in an environment of uncertainty. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21, pp. 363–376.
17. Edwards J.B. (1996). Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis. *Journal of Transport Geography*. 4, pp. 201-212.
18. Eisenberg D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 36, pp. 637-647.
19. Eisenberg D., Warner K.E. (2005). Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. *Am. J. Public Health*, 95 (1), pp. 120-124.
20. El-Basyouny K., Kwon D.-W. (2012). Assessing time and weather effects on collision frequency by severity in Edmonton using multivariate safety performance functions. *Proceedings of the 91<sup>st</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board*, January 22-26, 2012, Washington, D.C. (2012).
21. European Commission, 2019 <https://ec.europa.eu/transport>
22. Fridstrom L. (1999). Econometric models of road use, accidents, and road investments decisions. *Institute of Transport Economics*, Oslo.
23. Fridstrom L., Ifver J., Ingebrigtsen S., Kulmala R., Thomsen L.K. (1995). Measuring The Contribution Of Randomness, Exposure, Weather, And Daylight To The Variation In Road Accident Counts. *Accident Analysis & Prevention* 27 (1), pp. 1-20.
24. Fridstrom L., Ingebrigtsen S. (1991). An aggregate accident model based on pooled, regional time-series data. *Accident Analysis and Prevention* 23(5), pp. 363-378.
25. Haghghi – Talab D. (1973). An investigation into the relationship between rainfall and road accident frequencies in two cities. *Accident Analysis & Prevention*, 5, pp. 343-349.
26. Hermans, E., Wets, G., Van Den Bossche, F. (2006). Frequency and Severity of Belgian Road Traffic Accidents Studied by State-Space Methods. *Journal of Transportation and Statistics*, 9 (1), pp.63-76.
27. Karlaftis M., Yannis G. (2010). Weather effects on daily traffic accidents and fatalities: a time series count data approach. *Proceedings of the 89<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board*, January 10-14, 2010, Washington, D.C.(2010)
28. Keay K., Simmonds I. (2006). Road accidents and rainfall in a large Australian city. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 445-454.

29. Kim J-K., Kim S., Ulfarsson G.F., Porrello. L.A. (2007). Bicyclist injury severities in bicycle-motor vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 39, pp. 238-251.
30. Koetse M.J., Rietveld P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Article in press, *Transportation Research Part D*.
31. Lee W.-K., Lee H.-A., Hwang S.-S., Kim H., Lim Y.-H., Hong Y.-C., Ha E.-H., Park H. (2014). A time series study on the effects of cold temperature on road traffic injuries in Seoul, Korea. *Environmental Research*, 132, pp.290-296.
32. Levine N., Kim K.K., Nitz L.H. (1995). Daily fluctuations in Honolulu motor vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 27 (6), pp. 785-796.
33. Majdzadeh R., Khalagi K., Naraghi K., Motevalian A., Eshraghian M. R. (2008). Determinants of traffic injuries in drivers and motorcyclists involved in an accident. *Accident Analysis & Prevention*, 40, pp. 17-23.
34. Malin F., Norros I., Innamaa S. (2019). Accident risk of road and weather conditions on different road types. *Accident Analysis & Prevention*, 122, pp. 181-188.
35. Malyshkina N.V., Mannering F.L., Tarko A.P. (2008). Markov switching negative binomial models: An application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention* 41(2), 217-226.
36. Miller M. M. (1967). Study of some accidents on motorway M4 in fog. Crowthorne: TRRL.
37. Moore R. L., Cooper L. (1972). Fog and road traffic. Crowthorne: Transport & Road Research Laboratory.
38. Musk L. F. (1982). The local fog hazard as a factor in planning new roads and motorways. *Environmental Education and Planning*, 2, pp. 119–129.
39. National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019 <http://www.noaa.gov>
40. Ntua Road Safety Observatory, [www.nrso.ntua.gr](http://www.nrso.ntua.gr)
41. Palutikof J. P. (1991). Road accidents and weather. In: Perry A.H., Symons L.J.(Eds.), *Highway Meteorology*. E & F.N. Spon, London, pp. 163-189.
42. Rosenfeld J. (1996). Cars vs. the weather: a century of progress. *Weatherwise*, 49, pp. 14–23.
43. Scott P. P. (1986). Modelling Time-Series of British Road Accident Data. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 18 n°2, pp.109-117.
44. Shahid S., Minhans A. (2015). Climate change and road safety: A review to assess impacts in Malaysia. *Jurnal Teknologi*, 78 (4), pp. 1-8.
45. Shankar V., Mannering F., Barfield W. (1995). Effect Of Roadway Geometrics And Environmental Factors On Rural Freeway Accident Frequencies. *Accident Analysis & Prevention* 27 (3), pp. 371-389.

46. Stipdonk H. (Ed.) (2008). Time series applications on road safety developments in Europe. Deliverable D7.10 of the EU FP6 project SafetyNet <http://www.erso.eu>
47. Theofilatos A., Graham D.J., Yannis G. (2012). Factors affecting accident severity inside and outside urban areas in Greece. *Traffic Inj. Prev.*, 13(5), pp.458-467.
48. Theofilatos A., Yannis G. (2014). A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 72, pp. 244-256.
49. Transport Canada (2012, April 13). National Accident Database Online. Retrieved September 26, 2013, from Transport Canada: <http://wwwapps2.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/7/NCDB-BNDC/p.aspx?l=en>
50. White M. E., Jeffrey D. J. (1980). Some aspects of motorway traffic behaviour in fog. Crowthorne: TRRL.
51. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1990
52. Μπιλιώνης Δ. (2011). Συσχετίσεις Οδικών Ατυχημάτων και Μετεωρολογικών Συνθηκών, Διπλωματική Εργασία, ΤΜΣΥ Ε.Μ.Π., Αθήνα.
53. Νικολάου Δ. (2018). Οικονομικοί, Κοινωνικοί και Συγκοινωνιακοί Δείκτες Επιρροής της Οδικής Ασφάλειας στην Περίοδο της Κρίσης στην Ευρώπη, Διπλωματική Εργασία, ΤΜΣΥ Ε.Μ.Π., Αθήνα.
54. Νικολόπουλος Θ. (2004). Μακροσκοπική Συσχέτιση Καιρικών Συνθηκών, Επικινδυνότητας και Σοβαρότητας των Ατυχημάτων στο Υπεραστικό Οδικό Δίκτυο της Ελλάδας, Διπλωματική Εργασία, ΤΜΣΥ Ε.Μ.Π., Αθήνα.
55. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ. (1994). Οδική Ασφάλεια, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.