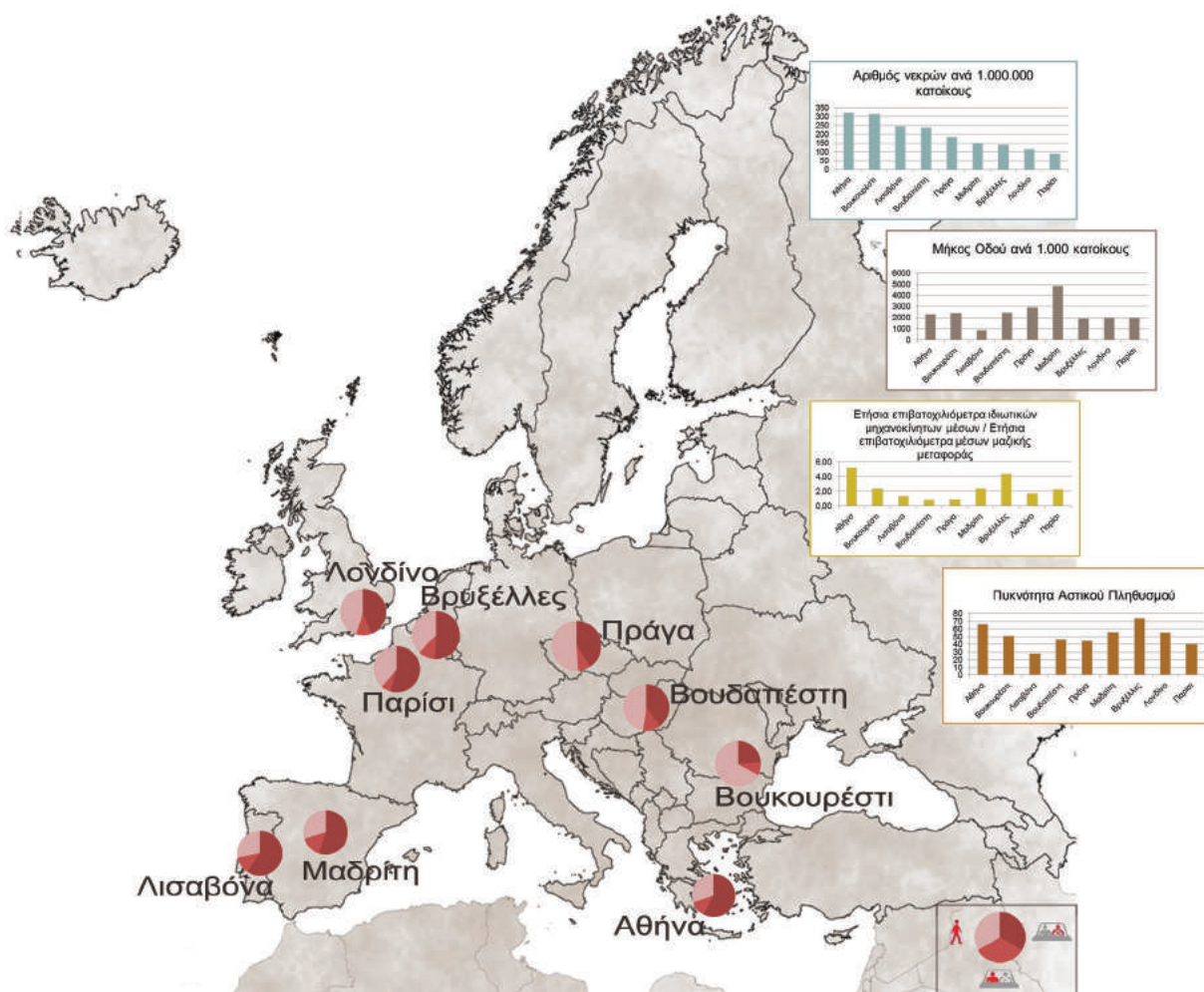




ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΜΑΡΙΑΝΘΗ ΜΕΡΜΥΓΚΑ

Επιβλέπων: Γιώργος Δ. Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον κ. Γιώργο Γιαννή, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε για την εκπόνησή της, για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε και για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Γκόλια, Καθηγητή και την κα. Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους πάνω στην Εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Ελεονώρα Παπαδημητρίου, Διδάκτορα Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π., για τις πολύτιμες γνώσεις και για την υποστήριξη που μου προσέφερε στο στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Παναγιώτη Παπαντωνίου, Υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την πραγματικά πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του στο στάδιο της συλλογής των στοιχείων, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η ανάλυση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω θερμά την φίλη μου Άννα Πράσινου, Απόφοιτο Αρχιτεκτονικής Σχολής Ε.Μ.Π., που επιμελήθηκε με ιδιαίτερο ζήλο και ενδιαφέρον το εξώφυλλο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους μου τους φίλους που ήταν πάντα εκεί για μένα γεμάτοι στήριξη και αγάπη. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με στηρίζει αδιάκοπα όλα αυτά τα χρόνια.

Μαριάνθη Μέρμυγκα

Μάιος, 2014

ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ

Μαριάνθη Μέρμυγκα
Επιβλέπων: Γιώργος Δ. Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΣΥΝΟΨΗ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες, η οποία θα συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση των αιτιών των οδικών ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις. Για την ανάλυση αναπτύχθηκε βάση δεδομένων που περιελάμβανε στοιχεία που αφορούσαν στον αριθμό και στα χαρακτηριστικά των νεκρών από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, στον πληθυσμό και σε δείκτες που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των εννέα ευρωπαϊκών Πρωτευουσών που επιλέχθηκαν για τη μελέτη, για την πενταετία 2007 - 2011. Για τη στατιστική ανάλυση αναπτύχθηκαν πολυεπίπεδα στατιστικά μοντέλα Poisson, τα οποία επέτρεψαν την καλύτερη αποτύπωση της ιεραρχικής δομής που παρουσιάζουν τα δεδομένα οδικής ασφάλειας και οδήγησαν στον πληρέστερο προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν το επίπεδο οδικής ασφάλειας στις επιλεγείσες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες αποκαλύπτοντας νέες επιπλέον πτυχές των επιδόσεων οδικής ασφάλειας σε αυτές. Οι παράγοντες που βρέθηκαν να έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή αφορούσαν στα χαρακτηριστικά των πόλεων (μήκος οδικού δικτύου, πυκνότητα πληθυσμού, χρήση MMM) και των ατυχημάτων (τύπος χρήστη οδού και οχήματος). Από τη σύγκριση ανάμεσα στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες προέκυψε ότι, όσο πιο μεγάλο οδικό δίκτυο έχει μία πόλη, τόσο καλύτερο είναι το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε αυτή.

Λέξεις-κλειδιά: οδική ασφάλεια, πολυεπίπεδη ανάλυση, πολυεπίπεδα στατιστικά μοντέλα Poisson, Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες, αστική οδική ασφάλεια

MULTILEVEL COMPARATIVE ROAD SAFETY ANALYSIS IN EUROPEAN CAPITAL CITIES

Marianthi Mermygka

Supervisor: George D. Yannis, Associate Professor, NTUA

ABSTRACT

The objective of this Diploma Thesis is the comparative road safety analysis in selected European capital cities, which will contribute to a better understanding of road accident causes in European megacities. A database was developed for this analysis containing data regarding the number and the characteristics of road fatalities, the population and other indicators of the nine selected European capital cities for the period 2007 - 2011. Multilevel Poisson statistical models were developed, allowing for a clearer picture of the hierarchical structure of road safety data, and they led to a more complete identification of factors affecting road safety level in the selected European capital cities, revealing new additional aspects of road safety performance in these cities. Factors found with a statistically significant impact concerned city characteristics (road network length, population density, public transport use) and accident characteristics (road user and vehicle type). The comparison between the European capital cities showed that the bigger the city's road network is, the better the level of road safety is in this city.

Key-words: Road safety, multilevel analysis, multilevel Poisson statistical models, European capital cities, urban road safety

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η **συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες, με χρήση πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων Poisson.**

Μετά την οριστικοποίηση του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ε.Ε. αλλά και παγκοσμίως, καθώς και στοιχείων χρήσιμων για την επιλογή μεθοδολογίας.

Ύστερα από τη μελέτη των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των στοιχείων** που απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τα απαραίτητα στοιχεία περιελάμβαναν στοιχεία που αφορούσαν στον αριθμό και στα χαρακτηριστικά των νεκρών από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, στον πληθυσμό και σε δείκτες που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των εννέα ευρωπαϊκών Πρωτευουσών που επιλέχθηκαν για τη μελέτη, για την πενταετή περίοδο 2007 έως 2011. Τα στοιχεία που αφορούν στα οδικά ατυχήματα λήφθηκαν από την ευρωπαϊκή βάση δεδομένων **CARE** (Community database on Accidents on the Roads in Europe) και για την πόλη της Αθήνας από την **ΕΛΣΤΑΤ** (Ελληνική Στατιστική Αρχή). Τα στοιχεία του πληθυσμού των Πρωτευουσών λήφθηκαν από την **EUROSTAT** και από την **ΕΛΣΤΑΤ**. Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των Πρωτευουσών, οι σχετικοί δείκτες λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων *Mobility in Cities*, η οποία έχει δημιουργηθεί από τον Διεθνή Οργανισμό **UITP** (The International Association of Public Transport).

Έπειτα από τη συλλογή των στοιχείων ακολούθησε η κατάλληλη **επεξεργασία των στοιχείων** και η ομαδοποίηση τους σε μία ενιαία βάση δεδομένων, προκειμένου να εφαρμοστεί η **επιλεγμένη μεθοδολογία** ανάλυσης. Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel. Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε περιέχει για κάθε περίπτωση οδικού ατυχήματος (Case ID) την Πρωτεύουσα στην οποία συνέβη το οδικό ατύχημα, με τα αντίστοιχα στοιχεία που συλλέχθηκαν για την Πρωτεύουσα (πληθυσμός, οδικοί δείκτες), και ακόμα, περιλαμβάνει τον αριθμό των νεκρών με τα αντίστοιχα δεδομένα για τα χαρακτηριστικά των νεκρών και τις συνθήκες του οδικού ατυχήματος, όπως προέκυψαν από τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Για τον πιο σωστό και κατάλληλο χειρισμό της ιεραρχικής δομής των δεδομένων οδικής ασφάλειας και της εξάρτησης που προκύπτει ανάμεσα σε αυτά, επιλέχθηκαν ως τεχνική ανάλυσης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας τα **πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης**. Τα πολυεπίπεδα μοντέλα αποτελούν τον πιο κατάλληλο τρόπο για τον χειρισμό των συσχετίσεων που προκύπτουν μεταξύ των παρατηρήσεων, καθώς επιτρέπουν τον **καθορισμό της ιεραρχικής διάταξης** μέσα στο μοντέλο και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν σωστά οι μεταβλητές πρόβλεψης που χαρακτηρίζουν τα διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, χωρίς να

χρειάζεται τα στοιχεία να εξεταστούν μόνο συγκεντρωτικά ή χωρίς δομή. Όσον αφορά στις **εξισώσεις** των πολυεπίπεδων μοντέλων, όταν τα δεδομένα έχουν γεωγραφική ιεραρχία μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι εμπίπτουν στην ευρύτερη οικογένεια των χωρικών αναλύσεων και σε αυτήν την περίπτωση, η **παλινδρόμηση Poisson** είναι η κατάλληλη επιλογή στατιστικής κατανομής που ακολουθούν τα δεδομένα. Για τον λόγο αυτό, η μεθοδολογία στατιστικής επεξεργασίας που επιλέχθηκε, τελικά, είναι τα **πολυεπίπεδα στατιστικά μοντέλα Poisson**.

Η **στατιστική ανάλυση** των στοιχείων έγινε με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού MLwiN, που είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις, από τις οποίες προέκυψαν τα αντίστοιχα μοντέλα. Στην **πρώτη φάση** της ανάλυσης επιχειρήθηκε η διερεύνηση της σχέσης του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα με τα **στοιχεία των οδικών ατυχημάτων**. Στη **δεύτερη φάση** της ανάλυσης επιχειρήθηκε να προστεθούν στο στατιστικό μοντέλο οι μεταβλητές που αναφέρονται στα **χαρακτηριστικά των Πρωτευουσών**. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να διερευνηθεί η σχέση του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα όχι μόνο με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων, αλλά και με τα στοιχεία των Πρωτευουσών.

Οπότε, το **τελικό μοντέλο** που προέκυψε από την 2^η φάση περιλαμβάνει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον Αριθμό νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τις μεταβλητές που σχετίζονται με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων και τα στοιχεία των Πρωτευουσών. Για τον έλεγχο και την αξιολόγηση του στατιστικού μοντέλου πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητοι **ποιοτικοί και στατιστικοί έλεγχοι**. Τα αποτελέσματα του τελικού στατιστικού μοντέλου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Ακολούθησε η **ερμηνεία των αποτελεσμάτων** του τελικού στατιστικού μοντέλου μέσα από την περιγραφή των συντελεστών των μεταβλητών του. Ακόμα, παρουσιάστηκαν γραφικές παραστάσεις και **συγκριτικά διαγράμματα** που παράχθηκαν από τις προβλέψεις του τελικού στατιστικού μοντέλου με στόχο την καλύτερη κατανόηση και εξήγηση των αποτελεσμάτων του και τη σύγκριση των Πρωτευουσών. Στη συνέχεια ακολούθησαν συγκεντρωτικά τα σημαντικότερα **συμπεράσματα** που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Από την ερμηνεία των συντελεστών των μεταβλητών του στατιστικού μοντέλου και από τα συγκριτικά διαγράμματα, αλλά και από τα υπόλοιπα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψαν αποτελέσματα άμεσα συνδεδεμένα με τον στόχο της Εργασίας. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύνθεση αυτών των αποτελεσμάτων είναι τα εξής:

1. Τα **πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης** επέτρεψαν την καλύτερη αποτύπωση της ιεραρχικής δομής που παρουσιάζουν τα δεδομένα οδικής ασφάλειας και οδήγησαν στον πληρέστερο προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν το επίπεδο οδικής ασφάλειας στις επιλεγείσες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Η συγκριτική ανάλυση μέσω των πολυεπίπεδων

στατιστικών μοντέλων αποκαλύψε **νέες επιπλέον πτυχές** των επιδόσεων οδικής ασφάλειας των ευρωπαϊκών Πρωτευουσών.

Πολυεπίπεδο μοντέλο Poisson - Στοιχεία οδικών ατυχημάτων και Πρωτευουσών			
Εξαρτημένη μεταβλητή	Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)		
Όρος αντιστάθμισης	Φυσικός Λογάριθμος του Μήκους Οδού ανά 1.000 κατοίκους		
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Συντελεστής β_i	S.E.	t-test = $\beta_i / S.E.$
Σταθερό μέρος της εξίσωσης			
Σταθερός όρος	-6,322	0,591	-10,697
Μήνας_1	0,937	0,073	12,836
Ημέρα της εβδομάδας_1	0,540	0,058	9,310
Ηλικιακή Ομάδα_1	-0,854	0,132	-6,470
Ηλικιακή Ομάδα_3	0,224	0,068	3,294
Ηλικιακή Ομάδα_4	0,228	0,075	3,040
Φύλο_2	-0,416	0,062	-6,710
Τύπος Χρήστη της Οδού_1	-0,399	0,081	-4,926
Τύπος Χρήστη της Οδού_2	-1,009	0,113	-8,929
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_1	-0,254	0,074	-3,432
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_3	-1,151	0,148	-7,777
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_4	-0,322	0,094	-3,426
Καιρός_1	1,095	0,086	12,733
Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)	-0,043	0,015	-2,867
Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς	0,242	0,136	1,779
Τυχαίο μέρος της εξίσωσης			
2 ^ο Επίπεδο: Πόλη			
$\sigma^2_{u_0}$ (Όρος διακύμανσης)	0,123	0,063	1,952
1 ^ο Επίπεδο: Περίπτωση Ατυχήματος			
Όρος υπερδιασποράς	3,795	0,133	28,534

Παρουσίαση αποτελεσμάτων τελικού μοντέλου

2. Από τα συγκριτικά διαγράμματα των μεταβλητών που σχετίζονται με τον τύπο χρήστη της οδού και το όχημα κυκλοφορίας σε κάθε Πρωτεύουσα προκύπτει ότι, οι Πρωτεύουσες που παρουσιάζουν τις υψηλότερες προβλέψεις αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά **μήκος οδού** (Λισαβόνα, Λονδίνο, Αθήνα, Βρυξέλλες) είναι εκείνες που έχουν τις

χαμηλότερες τιμές του δείκτη μήκους οδού ανά 1.000 κατοίκους. Δηλαδή, όσο πιο μεγάλο οδικό δίκτυο έχει μία πόλη, τόσο καλύτερο είναι το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε αυτή.

3. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του στατιστικού μοντέλου προκύπτει ότι, όσον αφορά στην **πυκνότητα του αστικού πληθυσμού** (κάτοικοι/εκτάρια), όσο αυξάνεται η τιμή αυτής της μεταβλητής, τόσο μειώνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, στις πολύ πυκνοκατοικημένες πόλεις, λόγω του μεγάλου αριθμού των οχημάτων που κυκλοφορούν, επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ταχύτητας οδήγησης από τους οδηγούς, σε αντίθεση με τις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές που παρατηρείται συνήθως υψηλότερη ταχύτητα οδήγησης, που αποτελεί, όπως επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία, μία από τις συχνότερες αιτίες πρόκλησης οδικών ατυχημάτων.

4. Αναφορικά με τον δείκτη **ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων ανά ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς** προκύπτει ότι, όσο αυξάνεται η τιμή αυτού του δείκτη, τόσο αυξάνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται λογικό, καθώς η αύξηση αυτού του λόγου σημαίνει αύξηση των ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων των ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων σε σχέση με εκείνων των μέσων μαζικής μεταφοράς, και όπως είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία, τα ιδιωτικά μέσα μεταφοράς παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα οδικής ασφάλειας σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, που είναι πολύ πιο ασφαλή.

5. Όσον αφορά στον τύπο χρήστη της οδού, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος στην **κατηγορία των πεζών** σε σχέση με τις κατηγορίες του οδηγού και του επιβάτη. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται ενδεχομένως στο γεγονός ότι, οι πεζοί είναι από τους πιο ευάλωτους χρήστες της οδού, καθώς η εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα έχει αυξημένη πιθανότητα θανάτου ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς προστασίας τους από τα οχήματα.

Ωστόσο, η παρατήρηση αυτή δεν ισχύει στην περίπτωση της Αθήνας, όπου είναι η μόνη Πρωτεύουσα στην οποία ο εν λόγω δείκτης είναι υψηλότερος στην κατηγορία των οδηγών. Αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στην ιδιαίτερα αυξημένη κυκλοφορία ιδιωτικών οχημάτων (επιβατικά και μοτοσυκλέτες) στην πόλη της Αθήνας, όπως αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι η πόλη αυτή έχει τον υψηλότερο δείκτη ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων ανά ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων μέσων μαζικής μεταφοράς.

6. Η κατηγορία οχήματος κυκλοφορίας **μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο** παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό νεκρών από οδικά ατυχήματα σε σχέση με όλες τις άλλες κατηγορίες οχημάτων στις περισσότερες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στην αυξημένη κυκλοφορία της συγκεκριμένης κατηγορίας οχημάτων στις πόλεις και στη μεγάλη έκθεση σε κίνδυνο που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα οχήματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις πόλεις Παρίσι, Λονδίνο και Αθήνα η διαφορά της κατηγορίας μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο από τις άλλες κατηγορίες οχημάτων κυκλοφορίας είναι αρκετά μεγάλη. Η διαφορά αυτή επιβεβαιώνει την αυξημένη ανάγκη οδικής προστασίας για τη συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων στις μεγάλες πόλεις, λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας τους σε αυτές και της μεγάλης έκθεσης σε κίνδυνο που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα οχήματα. Όσον αφορά στη σύγκριση ανάμεσα στις Πρωτεύουσες, παρατηρείται ότι στην κατηγορία **μοτοσικλέτα - μοτοποδήλατο** τις υψηλότερες τιμές του δείκτη αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά πυκνότητα αστικού πληθυσμού παρουσιάζουν το Λονδίνο, η Λισαβόνα, το Παρίσι και η Βουδαπέστη, ενώ στην κατηγορία **επιβατικό αυτοκίνητο** η Λισαβόνα, το Λονδίνο, η Βουδαπέστη και η Μαδρίτη.

7. Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των παθόντων, διαπιστώθηκε ότι αναφορικά με το **φύλο**, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος στους άνδρες από ότι στις γυναίκες. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται, ενδεχομένως, στην πιο επιθετική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι άνδρες οδηγοί σε σχέση με τις γυναίκες, όπως επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία και από το γεγονός ότι, ο αριθμός των ανδρών οδηγών είναι υψηλότερος από τον αντίστοιχο των γυναικών.

8. Ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος τους **χειμερινούς μήνες** από ότι τους θερινούς μήνες. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η κινητικότητα των οχημάτων στις πόλεις είναι μειωμένη λόγω της περιόδου διακοπών.

9. Σχετικά με την **ημέρα της εβδομάδας** προέκυψε ότι, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος τις καθημερινές από ότι το σαββατοκύριακο. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανώς στην αυξημένη κινητικότητα που παρατηρείται τις καθημερινές, συνήθως λόγω εργασιακών υποχρεώσεων σε όλες αυτές τις πόλεις, σε σχέση με τα σαββατοκύριακα που υπάρχει μικρότερη ανάγκη για μετακινήσεις.

10. Ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος όταν οι **καιρικές συνθήκες** που επικρατούν είναι καλές σε σχέση με δυσμενείς καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι). Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι ημέρες βροχής είναι λιγότερες από τις ημέρες με κανονικές συνθήκες καιρού και αφετέρου στο ότι οι οδηγοί τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί και να ελαττώνουν την ταχύτητα των οχημάτων τους σε συνθήκες βροχής ή/και κακοκαιρίας.

11. Η μέθοδος των **πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων Poisson** είναι κατάλληλη για τη συγκριτική ανάλυση του επιπέδου οδικής ασφάλειας, ειδικά σε συγκρίσεις επιδόσεων διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών, όπως στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Το τελικό στατιστικό μοντέλο, το οποίο αναπτύχθηκε με τη χρήση της μεθόδου αυτής, θεωρείται γενικά αξιόπιστο, αφού είχε καλή προσαρμογή στα δεδομένα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες αντίστοιχες διερευνήσεις, μετά από τις απαραίτητες προσαρμογές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	20
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	21
1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	24

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
2.2 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ.....	27
2.2.1 Οδική ασφάλεια στη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες: Σύγκριση των αμερικανικών μεγαλουπόλεων με τις ΗΠΑ.....	27
2.2.2 Οδική Ασφάλεια σε δύο ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις: Λονδίνο και Παρίσι.....	29
2.2.3 Συγκριτικές αναλύσεις των νεκρών στα οδικά ατυχήματα στην Ευρώπη.....	33
2.3 ΣΥΝΟΨΗ – ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	35

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	37
3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ.....	37
3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ.....	39
3.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ.....	39
3.4.1 Κανονική Κατανομή.....	40
3.4.2 Κατανομή Poisson.....	40
3.4.3 Αρνητική Διωνυμική Κατανομή.....	41
3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ.....	41
3.5.1 Γραμμική Παλινδρόμηση.....	42

3.5.2	Λογαριθμική Παλινδρόμηση.....	43
3.5.3	Παλινδρόμηση Poisson.....	44
3.6	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.	47
3.7	ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	49
3.8	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	53
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ		
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
4.2	ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	55
4.2.1	Βάσεις Δεδομένων.....	56
4.2.1.1	Στοιχεία των Οδικών Ατυχημάτων.....	56
4.2.1.2	Στοιχεία των Πρωτευουσών.....	60
4.2.2	Προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη συλλογή των στοιχείων.....	61
4.3	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	62
4.3.1	Γενική Ανάλυση Στοιχείων.....	62
4.3.2	Διαμόρφωση των στοιχείων σε ενιαία βάση δεδομένων.....	65
4.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	67
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	75
5.2	1 ^Η ΦΑΣΗ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ.....	75
5.2.1	Δεδομένα εισόδου και καθορισμός μεταβλητών.....	75
5.2.2	Συσχέτιση μεταβλητών.....	77
5.2.3	Επιλογή μεθόδου πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson.....	77
5.2.4	Κριτήρια αξιολόγησης πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson.....	80

5.2.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων στατιστικού μοντέλου με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων.....	82
5.3 2^Η ΦΑΣΗ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΩΝ.....	87
5.3.1 Εισαγωγή δεδομένων και καθορισμός μεταβλητών.....	87
5.3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων στατιστικού μοντέλου με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων και των πρωτευουσών.....	89
5.3.3 Περιγραφή και ερμηνεία αποτελεσμάτων μοντέλου.....	92
5.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	94
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	101
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	106
6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	107
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	109

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η **οδική ασφάλεια** αποτελεί διεθνώς ένα από τα σημαντικότερα κοινωνικά ζητήματα. Τα οδικά ατυχήματα είναι **παγκοσμίως** η όγδοη κυριότερη αιτία απώλειας ζωής και η κύρια αιτία απώλειας ζωής για τους νέους ηλικίας 15-29 ετών. Μεταξύ 2007 και 2010 ογδόντα οχτώ χώρες ανά τον κόσμο πέτυχαν τη μείωση των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων, αλλά ο συνολικός αριθμός των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων παραμένει υπερβολικά υψηλός φτάνοντας τους 1,24 εκατομμύρια νεκρούς ανά έτος (WHO, 2013). Οι σημερινές τάσεις δείχνουν ότι, αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα, μέχρι το 2030 τα οδικά ατυχήματα θα αποτελούν την **πέμπτη κυριότερη αιτία απώλειας ζωής** (WHO, 2013). Η Γενική Συνέλευση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών αποφάσισε το 2010 τον χαρακτηρισμό της δεκαετίας 2011-2020 ως Δεκαετία για Δράσεις Οδικής Ασφάλειας (Decade of Action for Road Safety), που θα περιλαμβάνει δράσεις οδικής ασφάλειας σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο.

Σε **ευρωπαϊκό επίπεδο**, έχει αρχίσει από το 2001 από τα 25 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ένα μεγαλεπήβολο σχέδιο με σκοπό τη δραστική **μείωση των θανάτων** από τα οδικά ατυχήματα. Ο αρχικός στόχος ήταν η μείωση, έως το 2010, κατά 50% των νεκρών των οδικών ατυχημάτων. Οι στόχοι που είχαν τεθεί δεν επιτεύχθηκαν πλήρως, αλλά οι θάνατοι λόγω οδικών ατυχημάτων μειώθηκαν σχεδόν κατά 44% κατά την περίοδο 2002-2011. Ωστόσο, το 2011 περισσότεροι από 30.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε οδικά ατυχήματα, μέγεθος ισοδύναμο με τον πληθυσμό μιας μικρής πόλης (European Commission, 2012).

Για τον λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στο πλαίσιο της Δεκαετίας για Δράσεις Οδικής Ασφάλειας, υιοθέτησε ένα νέο, φιλόδοξο πρόγραμμα Οδικής Ασφάλειας που αποσκοπεί στη μείωση των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων στην Ευρώπη ανάμεσα στο 2011 και το 2020 (Διάγραμμα 1.1). Το πρόγραμμα αυτό θέτει ένα συνδυασμό πρωτοβουλιών, σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, στοχεύοντας στη **βελτίωση της ασφάλειας** των οχημάτων και των υποδομών και στη βελτίωση της συμπεριφοράς του χρήστη της οδού. Παράλληλα, για την περαιτέρω μείωση των θανάτων και των μακροχρόνιων τραυματισμών λόγω οδικών ατυχημάτων κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη και η **χρήση συστημάτων διαχείρισης οδικής ασφάλειας**. Έτσι, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προτείνει ότι μέχρι το 2050, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να

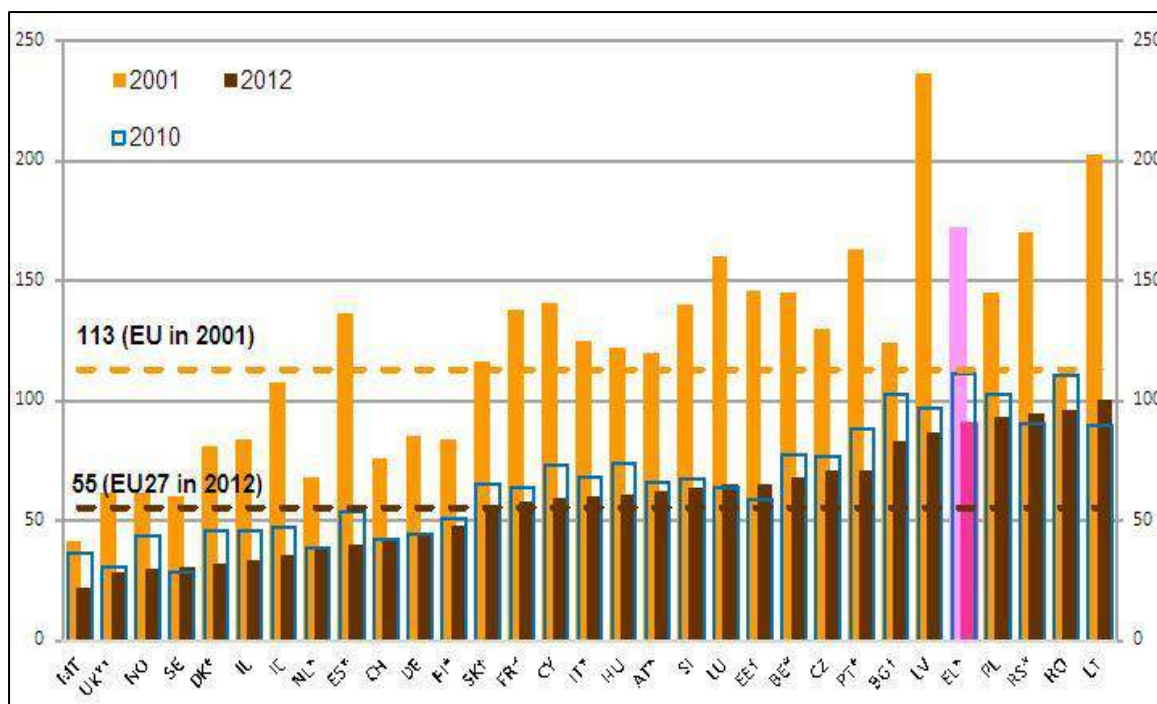
κινείται σε μηδενικό αριθμό θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων και να στοχεύει στη μείωση τους στο μισό έως το 2020 (European Commission, 2011).



Διάγραμμα 1.1: Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα στην Ε.Ε. από το έτος 2001 (Πηγή: CARE-EU Road Accidents Database)

Συγκριτικά με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, η **Ελλάδα**, με περίπου 1.300 νεκρούς ετησίως, βρίσκεται στις **τελευταίες θέσεις** από πλευράς οδικής ασφάλειας. Το έτος 2012 η Ελλάδα κατατάσσεται κοντά στην κορυφή των χωρών με τα περισσότερα θύματα, στην τρίτη θέση, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.2 που ακολουθεί. Το χαμηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα οφείλεται στο γεγονός ότι τα οδικά ατυχήματα ποτέ δεν αντιμετωπίστηκαν επαρκώς αποτελεσματικά, αλλά με αποσπασματικές παρεμβάσεις χωρίς συντονισμό και διαχρονικό χαρακτήρα.

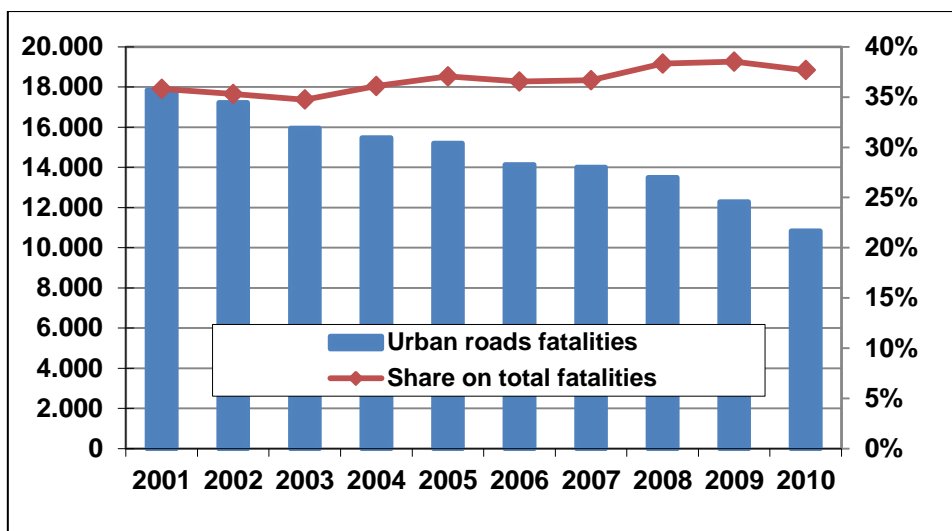
Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε το έργο με τίτλο "Ανάπτυξη Στρατηγικού Σχεδίου για τη βελτίωση της Οδικής Ασφάλειας στην Ελλάδα, 2011-2020" από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής (Τομέας Μ.Σ.Υ.) της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) για λογαριασμό του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. Στόχος του έργου ήταν η ανάπτυξη του Στρατηγικού Σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα για την περίοδο 2011-2020, με συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους και κατάλληλη δομή, που θα οδηγήσει στον καθορισμό, στην εφαρμογή, στην παρακολούθηση και στην αξιολόγηση των απαραίτητων δράσεων για τη δραστική μείωση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών σε αυτά και την επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου και στην Ελλάδα.



Διάγραμμα 1.2: Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκων για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης - Σύγκριση ετών 2001 και 2012 (Πηγή: European Transport Safety Council, 2013)

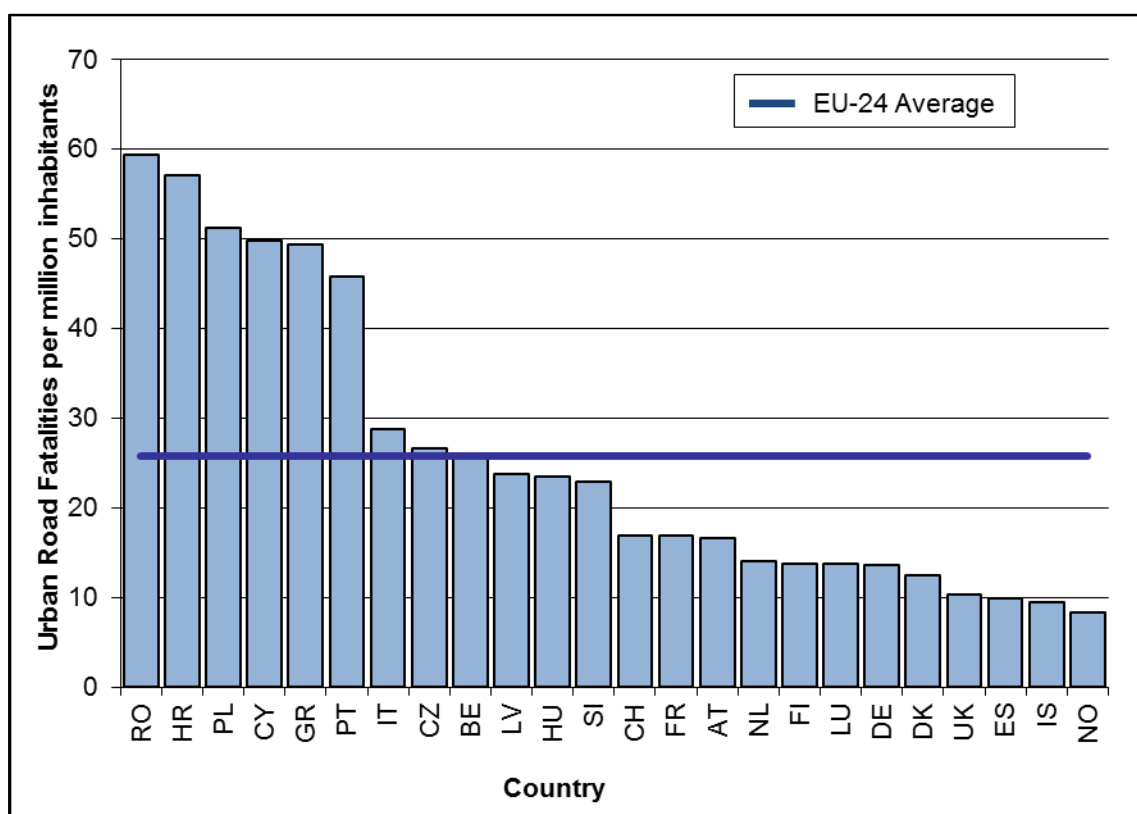
Ωστόσο, σε όλες τις χώρες λόγω της **συνεχώς αυξανόμενης αστικοποίησης** και της αύξησης των οχημάτων στις πόλεις, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εξέταση των χαρακτηριστικών οδικής ασφάλειας εντός των **αστικών κέντρων** ξεχωριστά από τη συνολική έκταση της κάθε χώρας. Η στροφή του πληθυσμού από τις αγροτικές στις μεγάλες αστικές περιοχές έχει ως αποτέλεσμα την **εμφάνιση σοβαρότερων και πολυπλοκότερων κυκλοφοριακών προβλημάτων** που μπορούν να οδηγήσουν σε οδικά ατυχήματα. Οι μετακινήσεις στην πόλη επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες που έχουν άμεσο αντίκτυπο στην οδική ασφάλεια, όπως είναι ο πληθυσμός, η οδική υποδομή, τα επίπεδα ιδιοκτησίας ΙΧ, τα χαρακτηριστικά και η οργάνωση της κυκλοφορίας και της κινητικότητας, τα μέσα μαζικής μεταφοράς αλλά και οι πρακτικές αντιμετώπισης των κυκλοφοριακών συμβάντων.

Το 2010, στην Ευρωπαϊκή Ένωση 10.837 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε οδικά ατυχήματα που συνέβησαν σε αστικές περιοχές, αριθμός που αντιστοιχεί σε ποσοστό 38% όλων των οδικών ατυχημάτων του ίδιου έτους. Την τελευταία δεκαετία, τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα στις πόλεις έχουν μειωθεί κατά περισσότερο από το ένα τρίτο (39%), δηλαδή ποσοστό ελάχιστα κατώτερο από το ποσοστό μείωσης του συνολικού αριθμού θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων που είναι 42% (European Commission, 2012). Ωστόσο, παρά τη μείωση των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων στις πόλεις, η **αναλογία με το συνολικό αριθμό θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων** έχει ελαφρώς αυξηθεί (Διάγραμμα 1.3).



Διάγραμμα 1.3: Αριθμός νεκρών από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα σε αστικές περιοχές και αναλογία με συνολικά θανατηφόρα οδικά ατυχήματα στην ΕΕ-19, 2001-2010 (Πηγή: CARE Database/ EC)

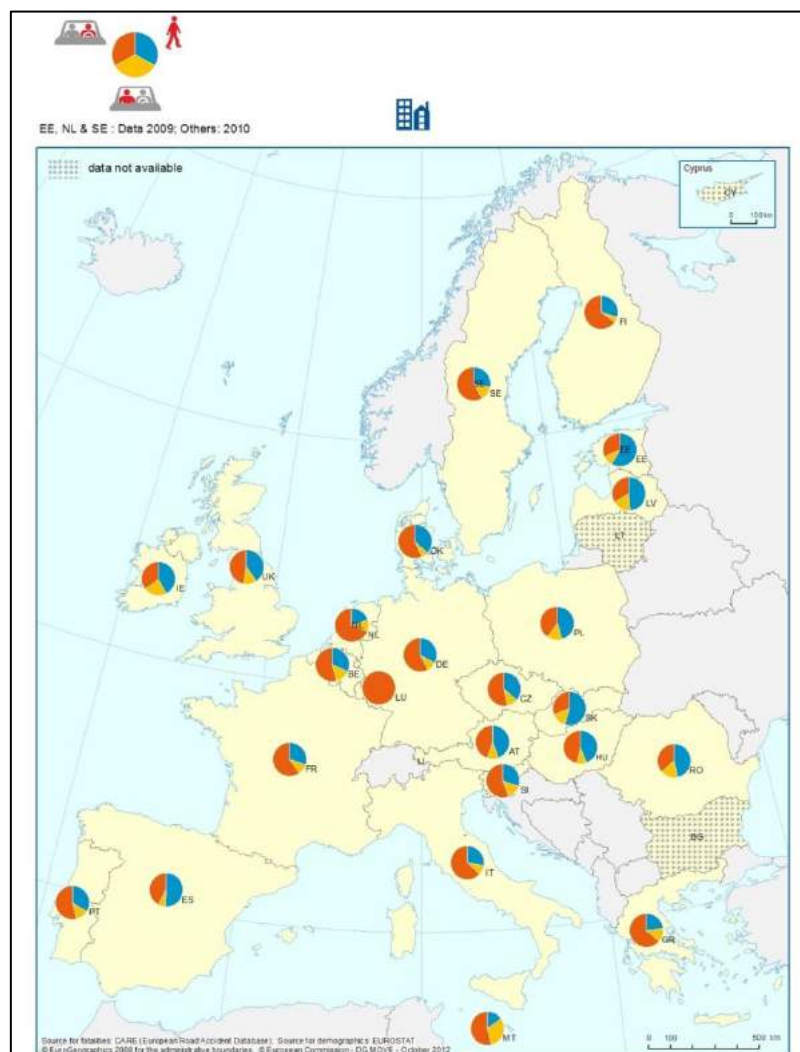
Προκειμένου να γίνει σύγκριση των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές των διαφορετικών χωρών, μπορεί να ληφθεί υπόψη το αντίστοιχο **μέγεθος του πληθυσμού**, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.4.



Διάγραμμα 1.4: Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα σε αστικές περιοχές ανά εκατομμύρια κατοίκους ανά χώρα στην ΕΕ-24, 2011 (Πηγή: CARE Database/ EC, δεδομένα πληθυσμού: Eurostat)

Παρατηρείται ότι η Ρουμανία έχει τον υψηλότερο δείκτη θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων ανά εκατομμύρια κατοίκους, που είναι διπλάσιος από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο και 7 φορές υψηλότερος από τον αντίστοιχο δείκτη της Νορβηγίας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχηματική αναπαράσταση των ποσοστών των νεκρών από οδικά ατυχήματα στις αστικές περιοχές ανά **τύπο χρήστη της οδού** (Εικόνα 1.1). Το μεγαλύτερο ποσοστό νεκρών από οδικά ατυχήματα σε αστικές περιοχές στην κατηγορία των **δίτροχων** παρατηρείται στις νότιες χώρες της Ευρώπης και ανέρχεται σε ποσοστό 32% του συνολικού αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα σε αυτές τις χώρες. Οι βορειοδυτικές χώρες παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό νεκρών από οδικά ατυχήματα σε αστικές περιοχές στην κατηγορία του **ποδηλάτου** και ανέρχεται σε 13% του συνολικού αριθμού. Τέλος, στις ανατολικές χώρες καταγράφεται το μεγαλύτερο ποσοστό στην κατηγορία των **πεζών** και ανέρχεται σε ποσοστό 45% επί του συνολικού αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα στις χώρες αυτές (CARE). Άρα, συμπεραίνεται ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις κατηγορίες χρηστών της οδού ανά αστική περιοχή χώρας.



Εικόνα 1.1: Χάρτης με τα ποσοστά νεκρών από οδικά ατυχήματα σε αστικές περιοχές ανά τύπο χρήστη της οδού στην ΕΕ-24 (Πηγή: CARE Database/ EC)

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, κρίνεται χρήσιμη **η διερεύνηση και η ανάλυση της οδικής ασφάλειας στο επίπεδο των πόλεων**. Λόγω πληθυσμιακών χαρακτηριστικών κρίνεται πιο αντιπροσωπευτική η εξέταση των **Πρωτευουσών** των χωρών. Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων των συνθηκών κατά τις οποίες συνέβησαν τα οδικά ατυχήματα και την εμβάθυνση στις πιθανές ιδιαιτερότητες της κάθε Πρωτεύουσας θα είναι εφικτή η σύγκριση των χαρακτηριστικών οδικής ασφάλειας των Πρωτευουσών, η οποία ενδεχομένως να συμβάλλει στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η **συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες, η οποία θα συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση των αιτιών των οδικών ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις**.

Λόγω της ιεραρχικής διάταξης που διέπει τα δεδομένα οδικής ασφάλειας, τα **πολυεπίπεδα μοντέλα** ανάλυσης αποτελούν τον πιο κατάλληλο τρόπο για τον χειρισμό των συσχετίσεων που προκύπτουν μεταξύ των παρατηρήσεων. Για τον λόγο αυτό, επιμέρους στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη των κατάλληλων πολυεπίπεδων μοντέλων που θα αποτυπώνουν επαρκώς τη σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων.

Μέσα από την ανάλυση επιδιώκεται η διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών των εμπλακέντων (ηλικία, φύλο, τύπος χρήστη οδού), τον τύπο του οχήματος κυκλοφορίας και τις περιβάλλουσες συνθήκες (καιρικές συνθήκες, μήνας, μέρα της εβδομάδας) που σχετίζονται άμεσα με την κάθε περίπτωση θανατηφόρου οδικού ατυχήματος (πρώτο επίπεδο ιεραρχίας). Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων αυτών είναι ένθετα και σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά των πόλεων (πληθυσμός, μήκος οδικού δικτύου, ετήσια επιβατοχιλιόμετρα) στις οποίες συνέβησαν (δεύτερο επίπεδο ιεραρχίας).

Επομένως, τα μοντέλα που θα αναπτυχθούν καθώς και τα συμπεράσματα τα οποία θα απορρέουν από τη σύγκριση αυτών αναμένεται να βοηθήσουν στην **κατανόηση των συνθηκών** που οδηγούν σε θανατηφόρα οδικά ατυχήματα στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Ως απώτερος στόχος, λοιπόν, τίθεται η παραχθείσα γνώση να συμβάλλει στη **μείωση των νεκρών από οδικά ατυχήματα** στις πόλεις της Ευρώπης.

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά, καθορίστηκε το αντικείμενο που θα εξέταζε η παρούσα εργασία καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος. Μετά την οριστικοποίηση του επιδιωκόμενου στόχου, πραγματοποιήθηκε **βιβλιογραφική ανασκόπηση** τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Στη φάση αυτή αναζητήθηκαν παρεμφερείς έρευνες, επιστημονικά άρθρα καθώς και γενικές πληροφορίες συναφή με το εξεταζόμενο αντικείμενο, που θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμα για τη συγκεκριμένη έρευνα. Μέσω του υλικού που ανακτήθηκε, καταβλήθηκε προσπάθεια να αποκτηθεί μια σχετική εμπειρία στην ανάλυση τέτοιων θεμάτων, καθώς επίσης και να αποφασιστεί η ορθότερη μεθοδολογία για την επεξεργασία των στοιχείων.

Ύστερα από τη μελέτη των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των στοιχείων** που απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Η μελέτη επιλέχθηκε να γίνει για εννέα ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες για την χρονική περίοδο 2007 έως 2011. Τα στοιχεία που αφορούν τα οδικά ατυχήματα λήφθηκαν από την ευρωπαϊκή βάση δεδομένων **CARE** (Community database on Accidents on the Roads in Europe) και για την πόλη της Αθήνας από το Σύστημα Ανάλυσης Τροχαίων Ατυχημάτων (**Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.**), το οποίο έχει δημιουργηθεί από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα στοιχεία του πληθυσμού των πόλεων λήφθηκαν από την **EUROSTAT** και από την **ΕΛΣΤΑΤ** (Ελληνική Στατιστική Αρχή). Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των πόλεων, οι σχετικοί δείκτες λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων *Mobility in Cities*, η οποία έχει δημιουργηθεί από τον Διεθνή Οργανισμό **UITP** (The International Association of Public Transport). Αξίζει να σημειωθεί ότι στα στοιχεία που συλλέχθηκαν πραγματοποιήθηκαν οι σχετικοί έλεγχοι της αξιοπιστίας τους, έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφα και συγκρίσιμα.

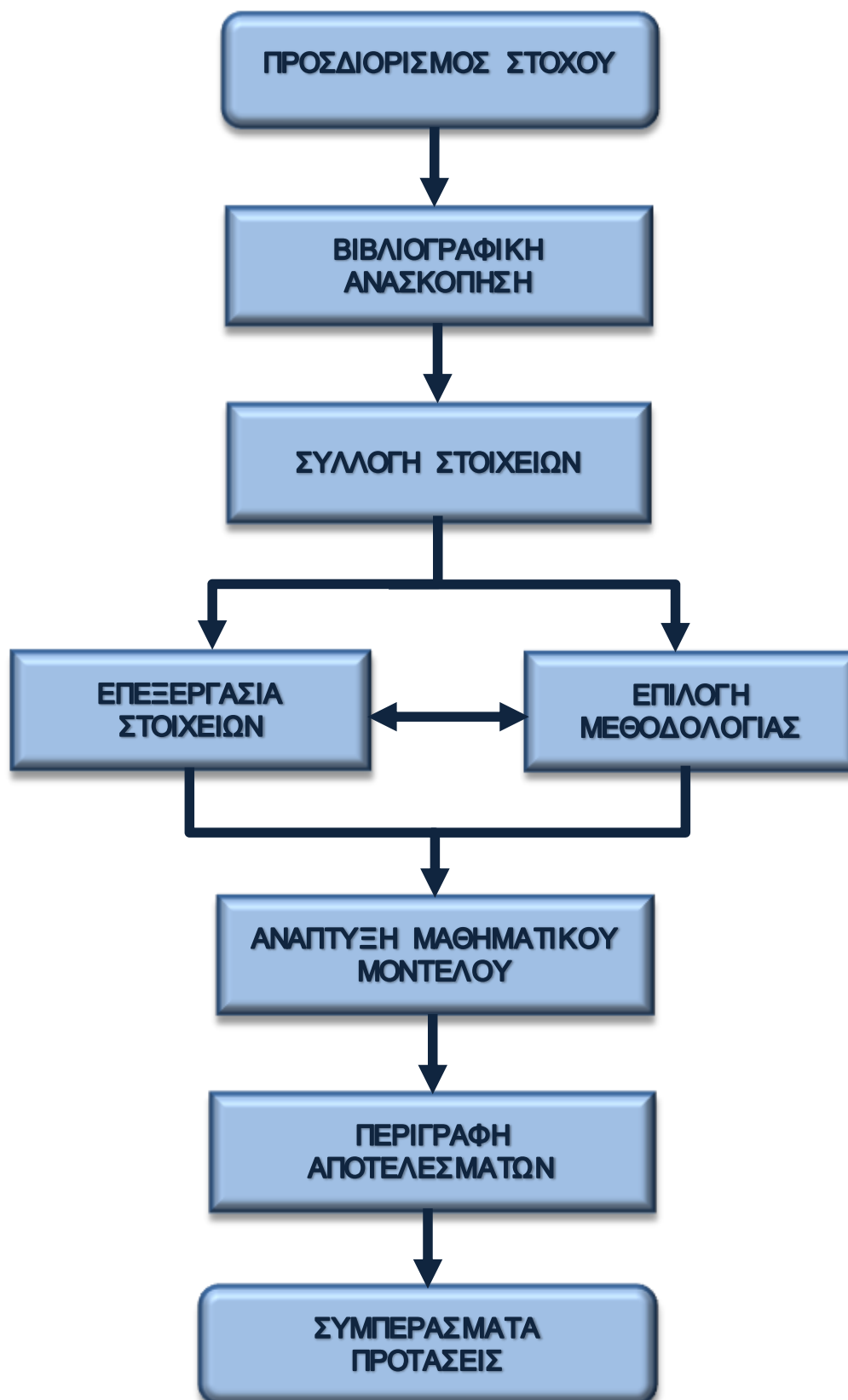
Έπειτα από τη συλλογή των στοιχείων, ακολούθησε η διαδικασία ομαδοποίησης και αντιστοίχισης αυτών μεταξύ τους με σκοπό να δημιουργηθεί μία ενιαία **βάση δεδομένων**, η οποία θα τροφοδοτούσε το λογισμικό με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι στατιστικές αναλύσεις. Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel, όπου πραγματοποιήθηκε η απαραίτητη **επεξεργασία των στοιχείων**. Ακολούθησε η επιλογή της μεθοδολογίας στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων και η εισαγωγή της ενιαίας βάσης δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Η μεθοδολογία στατιστικής επεξεργασίας που επιλέχθηκε είναι τα **πολυεπίπεδα μοντέλα ανάλυσης**. Για τον λόγο αυτό η στατιστική ανάλυση των στοιχείων έγινε με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού MLwiN, που είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε έχει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό των

νεκρών από οδικά ατυχήματα και ανεξάρτητες μεταβλητές τα στοιχεία που αφορούν στα οδικά ατυχήματα και στα χαρακτηριστικά των πόλεων.

Μετά την ανάπτυξη του τελικού μοντέλου, ακολούθησε η **περιγραφή και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων**. Επιπλέον, αναπτύχθηκαν γραφικές παραστάσεις και **συγκριτικά διαγράμματα** από τις προβλέψεις του τελικού στατιστικού μοντέλου με στόχο την καλύτερη κατανόηση και εξήγηση των αποτελεσμάτων του και τη σύγκριση των Πρωτευουσών. Έτσι, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες και συμπεράσματα για το υπό εξέταση πρόβλημα και διατυπώθηκαν προτάσεις για βελτίωση της οδικής ασφάλειας και για περαιτέρω έρευνα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.



Διάγραμμα 1.5: Διάγραμμα ροής 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. Ξεκινά με μια αναφορά στο γενικότερο πρόβλημα της οδικής ασφάλειας σε παγκόσμιο επίπεδο και ειδικότερα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Στη συνέχεια, γίνεται μια ειδική αναφορά για το πρόβλημα της οδικής ασφάλειας στις πόλεις. Έπειτα, παρουσιάζεται ο επιδιωκόμενος **στόχος** της συγκεκριμένης **έρευνας** και η **μεθοδολογία** που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Ολοκληρώνεται με την παρούσα αναφορά στη δομή της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της **βιβλιογραφικής ανασκόπησης**, τα οποία προέκυψαν από την αναζήτηση και την καταγραφή ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ε.Ε. αλλά και παγκοσμίως, καθώς και στοιχείων χρήσιμων για την επιλογή μεθοδολογίας. Το κεφάλαιο κλείνει με τη σύνοψη και κριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ερευνών, προκειμένου να διαπιστωθεί ποιες από αυτές μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην παρούσα εργασία.

Το **τρίτο κεφάλαιο** αποτελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο** της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζονται ορισμένα βασικά στατιστικά στοιχεία και αναλύεται η οικογένεια στατιστικής κατανομής στην οποία ανήκει η επιλεγείσα μεθοδολογία. Επιπλέον, γίνεται εκτενής αναφορά στη μέθοδο ανάλυσης των πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκε στο στατιστικό μοντέλο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και οι στατιστικοί έλεγχοι στους οποίους υποβάλλεται.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** περιγράφεται η διαδικασία **συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων**, που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της Διπλωματικής Εργασίας. Περιγράφονται αναλυτικά οι διεθνείς και εθνικές βάσεις δεδομένων, στις οποίες αναζητήθηκαν τα απαιτούμενα στοιχεία και στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος κωδικοποίησης και επεξεργασίας τους, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη στατιστική ανάλυση. Τέλος, δίνονται τα βήματα της διαδικασίας της **στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων** στο ειδικό στατιστικό λογισμικό.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της **εφαρμογής της μεθοδολογίας**, καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης με πολυεπίπεδα μοντέλα Poisson και οι **στατιστικοί έλεγχοι** που απαιτούνται για την αποδοχή ή μη των μοντέλων. Τέλος, παρουσιάζονται και περιγράφονται τα **αποτελέσματα** που προέκυψαν από τις φάσεις της στατιστικής επεξεργασίας και σχετικά συγκριτικά διαγράμματα που επιτρέπουν τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Στο **έκτο κεφάλαιο**, έπειτα από σύνοψη των αποτελεσμάτων, παρατίθενται τα **συμπεράσματα** που προέκυψαν από την ερμηνεία του τελικού στατιστικού μοντέλου και των συγκριτικών διαγραμμάτων που προέκυψαν από αυτό. Πραγματοποιείται ιδιαίτερη αναφορά στη χρησιμότητα των βασικών αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας, ενώ παρατίθενται **προτάσεις** για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και περιλαμβάνει την παρουσίαση αποτελεσμάτων από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αποτελέσματα από έρευνες που αναφέρονται στην ανάλυση των χαρακτηριστικών οδικής ασφάλειας σε πόλεις. Εκτός από τη συνοπτική παράθεση των αποτελεσμάτων των ερευνών, γίνεται και αναφορά στις μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των κατάλληλων στατιστικών μοντέλων. Αναφέρεται ότι οι έρευνες που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό. Μέσω της ανασκόπησης των μεθοδολογιών των ερευνών αυτών, επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός της καταλληλότερης μεθόδου για την αντιμετώπιση του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

2.2 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ

2.2.1 ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ ΚΑΙ ΤΟ ΛΟΣ ΑΝΤΖΕΛΕΣ: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥΠΟΛΕΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΗΠΑ

Η μελέτη αυτή εξέτασε την οδική ασφάλεια σε δύο μεγαλουπόλεις των ΗΠΑ, τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση ανάμεσα στα πρότυπα των οδικών ατυχημάτων σε αυτές τις δύο μεγαλουπόλεις με εκείνα για το σύνολο των ΗΠΑ. Ακόμα, στην έρευνα αυτή περιλαμβάνονται στοιχεία και για τις δύο αντίστοιχες Πολιτείες αυτών των πόλεων, τη Νέα Υόρκη και την Καλιφόρνια. Τα στοιχεία για τα θανατηφόρα ατυχήματα λήφθηκαν από το Fatal Analysis Reporting Systems και τα στοιχεία για όλα τα ατυχήματα με παθόντες από το General Estimates System και τις Πολιτείες της Νέας Υόρκης και της Καλιφόρνια. Η εξεταζόμενη περίοδος ήταν από το έτος 2002 έως το έτος 2009.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα ατυχήματα στις δύο μεγαλουπόλεις τείνουν να διαφέρουν σε πολλούς τομείς από τα τυπικά ατυχήματα στις ΗΠΑ. Σε αυτούς τους τομείς περιλαμβάνονται θέματα που σχετίζονται με τον χρόνο

και τον τόπο των οδικών ατυχημάτων, τη φύση των οδικών ατυχημάτων, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, τα εμπλεκόμενα πρόσωπα, καθώς και τις ενέργειες του οδηγού.

Όσον αφορά στη μεθοδολογία της ανάλυσης, πραγματοποιήθηκαν τρία σύνολα αναλύσεων. Στο πρώτο σύνολο εξετάστηκαν οι κατανομές των δημογραφικών μεταβλητών που επιλέχθηκαν για τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες σε σύγκριση με τις κατανομές για το σύνολο των ΗΠΑ, καθώς και με τις κατανομές για τις αντίστοιχες Πολιτείες (Νέα Υόρκη και Καλιφόρνια).

Το δεύτερο σύνολο των αναλύσεων περιλαμβάνει την εξέταση των δεδομένων για όλα τα θανατηφόρα ατυχήματα για μία περίοδο οκτώ ετών από το έτος 2002 έως το έτος 2009. Και πάλι, η σχετική σύγκριση τόσο για τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες ήταν στο σύνολο των ΗΠΑ, ωστόσο, περιλαμβάνονται επίσης και τα στοιχεία για την Πολιτεία της Νέας Υόρκης και της Καλιφόρνια. Εξετάζεται μια ποικιλία μεταβλητών που σχετίζονται με τα οδικά ατυχήματα, τα οχήματα, τους οδηγούς και τους υπόλοιπους συμμετέχοντες.

Το τρίτο σύνολο των αναλύσεων ήτα ανάλογο με το δεύτερο, αλλά στην περίπτωση αυτή εξετάστηκαν όλα τα οδικά ατυχήματα, σε αντίθεση με το δεύτερο σύνολο που εξετάστηκαν μόνο τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα. Και σε αυτή την περίπτωση, εξετάστηκαν τα δεδομένα για οκτώ χρόνια (2002-2009).

Ο Πίνακας 2.1 περιλαμβάνει τον αριθμό των οδικών ατυχημάτων που εξετάζονται στις δύο σειρές των αναλύσεων.

Analysis	New York	Los Angeles	U.S.A.	NY (state)	CA (state)
Fatal crashes	2.366	2.086	295.781	10.312	28.361
All crashes	647.546	449.498	48.218.016	2.354.520	4.054.652

Πίνακας 2.1: Αριθμός ατυχημάτων που εξετάστηκαν στην ανάλυση των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων και όλων των ατυχημάτων

Τα αποτελέσματα της μελέτης έχουν ως εξής:

Πρότυπα των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων και των οδικών ατυχημάτων με παθόντες

Οι αναλύσεις των ατυχημάτων που συγκρίνουν τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες με το σύνολο των ΗΠΑ έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Όσον αφορά στις **καιρικές συνθήκες**, τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν πως στο Λος Άντζελες συμβαίνουν λιγότερα ατυχήματα με παθόντες αλλά και θανατηφόρα οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια βροχής και χιονόπτωσης, ενώ στη Νέα Υόρκη τα ατυχήματα με παθόντες αλλά και με νεκρούς είναι περισσότερα κατά τη διάρκεια βροχής.

Ανάλογα ήταν και τα αποτελέσματα για την **κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος**. Στο Λος Άντζελες παρατηρήθηκαν λιγότερα οδικά ατυχήματα με παθόντες και θανατηφόρα οδικά ατυχήματα τόσο σε βρεγμένο οδόστρωμα όσο και σε οδούς με χιόνι, ενώ στη Νέα Υόρκη τα οδικά ατυχήματα και με νεκρούς και με παθόντες ήταν περισσότερα στην περίπτωση βρεγμένου οδοστρώματος.

Μια άλλη μεταβλητή που εξετάστηκε είναι οι **συνθήκες φωτισμού** στις οδούς. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν πως στο σκοτάδι σε οδούς χωρίς φωτισμό συμβαίνουν λιγότερα ατυχήματα, ενώ σε οδούς με φωτισμό τα οδικά ατυχήματα και με παθόντες και με νεκρούς αυξάνονται. Τα δύο τελευταία πρότυπα δείχνουν ότι τα οδικά ατυχήματα στο σκοτάδι σε οδούς χωρίς φωτισμό είναι πιο σοβαρά.

Μελετώντας κάποια χαρακτηριστικά του **χρήστη της οδού**, αλλά και του **οδηγού** προέκυψε ότι, παρατηρούνται περισσότεροι θάνατοι στις κατηγορίες των πεζών και των δικυκλιστών, ειδικά στη Νέα Υόρκη. Περισσότεροι άνδρες οδηγοί εμπλέκονται σε οδικά ατυχήματα με παθόντες και με νεκρούς, και πάλι ειδικά στη Νέα Υόρκη. Όσον αφορά στην ηλικία του οδηγού, συμβαίνουν περισσότερα οδικά ατυχήματα και κυρίως θανατηφόρα οδικά ατυχήματα που αφορούν στους οδηγούς ηλικίας 25 έως 34 ετών. Περισσότερα οδικά ατυχήματα, όχι θανατηφόρα, συμβαίνουν στους οδηγούς ηλικίας 35 έως 55 ετών. Τα πρότυπα της ανάλυσης δείχνουν ότι, γενικά, οι οδηγοί 35 έως 55 ετών τείνουν να εμπλέκονται σε λιγότερο σοβαρά οδικά ατυχήματα.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη παρατηρείται ότι, **τα οδικά ατυχήματα με παθόντες αλλά και τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα τόσο στη Νέα Υόρκη όσο και στο Λος Άντζελες, τείνουν να διαφέρουν σε αρκετά σημεία από τα τυπικά ατυχήματα στο σύνολο των ΗΠΑ.**

2.2.2 ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΕ ΔΥΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΜΕΓΑΛΟΥΠΟΛΕΙΣ: ΛΟΝΔΙΝΟ ΚΑΙ ΠΑΡΙΣΙ

Η συγκεκριμένη μελέτη εξέτασε την οδική ασφάλεια δύο ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων, το Λονδίνο και το Παρίσι. Πρότυπα για θανατηφόρα οδικά ατυχήματα (και για τις δύο πόλεις) και για όλα τα οδικά ατυχήματα (για το Λονδίνο μόνο) συγκρίθηκαν με τα πρότυπα για τα οδικά ατυχήματα για κάθε αντίστοιχο έθνος στο σύνολό του. Τα δεδομένα για το Λονδίνο και το Ηνωμένο Βασίλειο προήλθαν από το Υπουργείο Μεταφορών και περιλαμβάνουν λεπτομερή στοιχεία των ατυχημάτων για τα έτη 2005 έως 2011. Τα στοιχεία για το Παρίσι και τη Γαλλία προήλθαν από το ONISR, και περιλαμβάνουν στοιχεία των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων από το έτος 2007 έως το έτος 2011.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα δημογραφικά στοιχεία για τον πληθυσμό και τα οδικά ατυχήματα σε αυτές τις δύο μεγαλουπόλεις έχουν την τάση να διαφέρουν σε πολλές πτυχές σε σύγκριση με τους αντίστοιχους εθνικούς μέσους όρους. Τα πρότυπα για τα ατυχήματα διέφεραν σε θέματα σχετικά με το πότε και πού συνέβησαν, ποιος εμπλέκεται, τον αριθμό των οχημάτων που εμπλέκονται, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, και τις ενέργειες του οδηγού πριν το ατύχημα. Επίσης εξετάστηκαν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ αυτών των δύο ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων και των δύο αμερικανικών μεγαλουπόλεων (Νέα Υόρκη και Λος Άντζελες).

Όσον αφορά στη μεθοδολογία ανάλυσης, παρουσιάζει ομοιότητες με εκείνη της προηγούμενης μελέτης. Πραγματοποιήθηκαν τρία σύνολα με αναλύσεις. Στην πρώτη σειρά εξετάζονται κατανομές με τις δημογραφικές μεταβλητές που επιλέχθηκαν για το Λονδίνο και το Παρίσι, και σε σύγκριση με τις κατανομές για το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία, αντίστοιχα.

Η δεύτερη σειρά αναλύσεων αφορά στην εξέταση όλων των οδικών ατυχημάτων που αναφέρθηκαν από την αστυνομία και συμπεριλαμβάνουν έναν τραυματισμό στο Ηνωμένο Βασίλειο για την περίοδο επτά ετών από το έτος 2005 έως το έτος 2011. Οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ του Λονδίνου και ολόκληρου του Ηνωμένου Βασιλείου. Εξετάστηκε ένα σύνολο μεταβλητών που σχετίζονται με τα ατυχήματα, τα οχήματα που εμπλέκονται και τους παθόντες.

Τέλος, στην τρίτη σειρά των αναλύσεων εξετάστηκαν τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα στη Γαλλία για την περίοδο των πέντε ετών από το έτος 2007 έως το έτος 2011. Αναλυτικά στοιχεία για μη-θανατηφόρα οδικά ατυχήματα δεν ήταν διαθέσιμα και δεδομένα και για τις δύο μεταβλητές ήταν διαθέσιμα μόνο για τα έτη 2010 και 2011. Οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ της πόλης του Παρισιού και ολόκληρης της Γαλλίας. Επίσης εξετάστηκε ένα σύνολο μεταβλητών που σχετίζονται με τα οδικά ατυχήματα, τα οχήματα που εμπλέκονται και τους συμμετέχοντες.

Ο Πίνακας 2.2 παραθέτει τον αριθμό των συγκρούσεων που εξετάστηκαν στις δύο σειρές αναλύσεων των ατυχημάτων.

Analysis	2005-2011		2007-2011	
	London	U.K.	Paris	France
Injury crashes	81.149	1.210.044	78.77	360.386
Persons killed	521	17.830	700	21.123
Persons injured	93.159	1.625.020	91.667	453.645

Πίνακας 2.2: Αριθμός ατυχημάτων που εξετάστηκαν στην ανάλυση των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων και όλων των ατυχημάτων

Τα αποτελέσματα της μελέτης έχουν ως εξής:

Πρότυπα των θανατηφόρων συγκρούσεων και των ατυχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο και στο Λονδίνο

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των ατυχημάτων που συγκρίνουν το Λονδίνο με το σύνολο του Ηνωμένου Βασιλείου παρουσιάζονται στη συνέχεια. Περιλαμβάνουν συγκρίσεις τόσο των θανατηφόρων ατυχημάτων όσο και των ατυχημάτων με τραυματισμούς.

Αρχικά, εξετάζοντας τον **τύπο οχήματος** προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Στα περισσότερα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα και οδικά ατυχήματα με παθόντες εμπλέκονται ποδήλατα, μοτοσικλέτες, λεωφορεία και παρόμοια οχήματα, ενώ τα οδικά ατυχήματα και με νεκρούς αλλά και με τραυματίες είναι λιγότερα για τα αυτοκίνητα και τα ταξί.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των χαρακτηριστικών που αφορούν τον **χρήστη της οδού**, έδειξαν ότι είναι περισσότερα τα οδικά ατυχήματα με παθόντες και νεκρούς με θύματα πεζούς ή ποδηλάτες και λιγότερα με θύματα επιβάτες αυτοκινήτων, ταξί, φορτηγών ή οχημάτων για εμπορευματικές μεταφορές. Τα ατυχήματα με παθόντες αυξάνονται για τους χρήστες μοτοσικλετών και για επιβάτες λεωφορείου (ή παρόμοιου οχήματος), αλλά με καμία ουσιαστική διαφορά στα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, που δείχνει ότι αυτά τα ατυχήματα τείνουν να είναι λιγότερο σοβαρά.

Όσον αφορά στον **τύπο του παθόντα** παρατηρούνται περισσότερα οδικά ατυχήματα με πεζούς και λιγότερα με επιβάτες, οδηγούς ή αναβάτες.

Η ανάλυση για τα **χαρακτηριστικά του οδηγού** έδειξε ότι οι άνδρες εμπλέκονται σε περισσότερα οδικά ατυχήματα με παθόντες καθώς και θανατηφόρα οδικά ατυχήματα (το αντίστροφο ισχύει για τις γυναίκες οδηγούς) και τα περισσότερα οδικά ατυχήματα με παθόντες, καθώς και θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, αφορούν τους οδηγούς ηλικίας 26 έως 45 ετών. Οδηγοί ηλικίας 16 έως 20 ετών, καθώς και άνω των 65 ετών εμπλέκονται σε λιγότερα οδικά ατυχήματα με παθόντες και λιγότερα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα.

Για το **φύλο του θύματος**, η μελέτη έδειξε ότι τα οδικά ατυχήματα με παθόντες άνδρα ήταν περισσότερα από τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, ενώ για τις γυναίκες το αντίστροφο. Οι δύο αυτές τάσεις δείχνουν ότι οι συγκρούσεις που αφορούν άνδρες θύματα είναι λιγότερο σοβαρές από ό,τι στο υπόλοιπο Ηνωμένο Βασίλειο. Όσον αφορά στην **ηλικία του θύματος** τα αποτελέσματα έδειξαν πως συνέβησαν λιγότερα οδικά ατυχήματα με παθόντες, αλλά περισσότερα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα με θύματα παιδικής ηλικίας και 56 και άνω, υποδεικνύοντας ότι τα οδικά ατυχήματα που αφορούν αυτές τις ηλικιακές ομάδες τείνουν να είναι πιο σοβαρά, ενώ τα οδικά ατυχήματα τόσο με παθόντες όσο και με νεκρούς με θύματα ηλικίας από 11 έως 20 ετών ήταν λιγότερα. Περισσότερα ήταν τα οδικά ατυχήματα με

παθόντες, καθώς και τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, με θύματα ηλικίας από 26 έως 45 ετών.

Μία άλλη μεταβλητή της μελέτης ήταν οι **καιρικές συνθήκες**, όπου τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν πως τα οδικά ατυχήματα με παθόντες και νεκρούς ήταν περισσότερα σε καλές καιρικές συνθήκες και λιγότερα κατά την διάρκεια βροχής, χιονόπτωσης και ομίχλης.

Αντίστοιχα, και η ανάλυση της **κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος** έδειξε πως τα ατυχήματα τόσο με νεκρούς όσο και με παθόντες ήταν περισσότερα σε στεγνό οδόστρωμα και λιγότερα σε βρεγμένο, χιονισμένο και παγωμένο οδόστρωμα.

Εξετάζοντας τις **συνθήκες φωτισμού**, προέκυψε πως τα περισσότερα οδικά ατυχήματα με παθόντες, αλλά και θανατηφόρα, πραγματοποιήθηκαν σε φωτισμένες οδούς και λιγότερα πραγματοποιήθηκαν σε οδούς χωρίς φωτισμό. Αυτά τα δύο αποτελέσματα είναι πιθανό να οφείλονται στην κατανομή των οδών με φωτισμό και χωρίς φωτισμό στο Λονδίνο σε σχέση με το υπόλοιπο Ηνωμένο Βασίλειο.

Πρότυπα των θανατηφόρων συγκρούσεων στο Παρίσι και την Γαλλία

Οι αναλύσεις των ατυχημάτων που συγκρίνουν το Παρίσι με το σύνολο της Γαλλίας παρουσιάζονται παρακάτω. Η συγκεκριμένη ανάλυση αφορά μόνο στα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα. (Αναλυτικά στοιχεία για οδικά ατυχήματα με παθόντες δεν ήταν διαθέσιμα.)

Αρχικά, εξετάζοντας τον **χρήστη της οδού** παρατηρούνται περισσότεροι θάνατοι στις κατηγορίες των πεζών, μοτοσικλετιστών καθώς και αναβατών μοτοποδηλάτων και λιγότεροι θάνατοι στις κατηγορίες των επιβατών οχημάτων και ποδηλάτων. Όσον αφορά στην **ηλικία** οι λιγότεροι θάνατοι παρατηρήθηκαν στις ηλικίες από 18 έως 24 ετών.

Μία άλλη μεταβλητή που εξετάστηκε ήταν τα **πρόσθετα μέτρα θανατηφόρου ατυχήματος**, όπου παρατηρήθηκαν περισσότεροι θάνατοι που εμπλέκονται μηχανοκίνητα δίκυκλα και/ ή μοτοσικλέτες (περίπου διπλάσια από το ποσοστό για τη Γαλλία), πεζοί και χρήστες του οδικού δικτύου 75 ετών και άνω. Οι νέοι οδηγοί θεωρούνται λιγότερο υπεύθυνοι για θανατηφόρα οδικά ατυχήματα και τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα με οδηγούς ή πεζούς που έχουν καταναλώσει αλκοόλ ήταν λιγότερα.

Από τις παραπάνω επισημάνσεις παρατηρείται ότι **τα οδικά ατυχήματα με παθόντες και τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα σε Λονδίνο και Παρίσι διαφέρουν σε αρκετά σημεία από τα οδικά ατυχήματα στο σύνολο της αντίστοιχης χώρας.**

Σύγκριση των μεγαλουπόλεων Ευρώπης και των ΗΠΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι ομοιότητες και οι διαφορές για τις τέσσερις μεγαλουπόλεις. Αναλυτικά στοιχεία οδικών ατυχημάτων για το Παρίσι δεν ήταν διαθέσιμα και για τον λόγο αυτό, η σύγκριση των προτύπων των ατυχημάτων με τις ομοιότητες και τις διαφορές που προέκυψαν, βασίζεται κυρίως στα δεδομένα από το Λονδίνο, τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες.

Πρότυπα οδικών ατυχημάτων

Οι **ομοιότητες** που παρατηρήθηκαν είναι οι εξής:

- Περισσότερα οδικά ατυχήματα και θάνατοι για τους πεζούς και τους ποδηλάτες.
- Περισσότερα οδικά ατυχήματα και θάνατοι που εμπλέκονται άνδρες οδηγοί.
- Περισσότερα οδικά ατυχήματα που εμπλέκονται οδηγοί ηλικίας 25 έως 45 ετών (έως και 55 ετών για τις πόλεις των ΗΠΑ).
- Λιγότερα οδικά ατυχήματα στο σκοτάδι σε οδούς χωρίς φωτισμό, αλλά περισσότερες συγκρούσεις στο σκοτάδι σε οδούς με φωτισμό, πιθανότατα λόγω της μεγαλύτερης κατανομής των οδών με φωτισμό μέσα στις μεγαλουπόλεις σε σύγκριση με κάθε έθνος στο σύνολό του.
- Λιγότερες συγκρούσεις κατά τη διάρκεια της βροχής και σε βρεγμένους δρόμους (εκτός από τη Νέα Υόρκη) και λιγότερες συγκρούσεις κατά τη διάρκεια χιονόπτωσης και σε χιονισμένες οδούς, που πιθανώς οφείλονται σε διαφορές στις καιρικές συνθήκες για αυτές τις μεγαλουπόλεις που εξετάστηκαν, σε σχέση με κάθε έθνος στο σύνολό του (π.χ. στο Λονδίνο τυπικά το κλίμα είναι ηπιότερο σε σχέση με το υπόλοιπο του Ηνωμένου Βασιλείου, δηλαδή, λιγότερη βροχή, λιγότερο χιόνι, υψηλότερες θερμοκρασίες).

Οι **διαφορές** που παρατηρήθηκαν είναι οι εξής:

- Λιγότερα θανατηφόρα ατυχήματα που εμπλέκονται ποδήλατα στο Παρίσι, σε την αντίθεση με τις άλλες τρεις μεγαλουπόλεις.

2.2.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΕΚΡΩΝ ΣΤΑ ΟΔΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

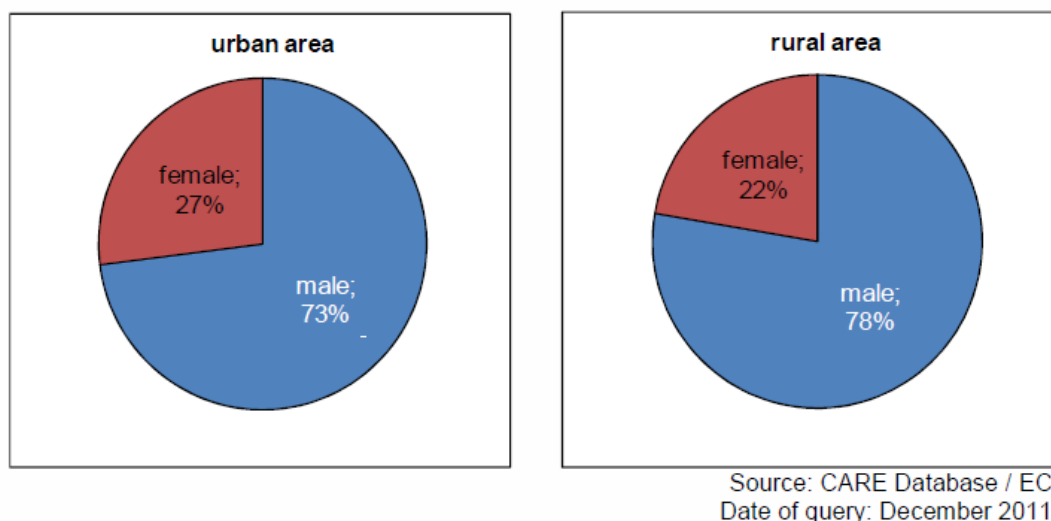
Η συγκεκριμένη μελέτη αφορά στα χαρακτηριστικά οδικής ασφάλειας στις **αστικές περιοχές** των Ευρωπαϊκών πόλεων. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις διαφόρων μεταβλητών που αφορούν τον οδηγό, το περιβάλλον αλλά και τον χρήστη της οδού από το Dakota Road Safety Knowledge System. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των εκτός αστικών περιοχών.

Αρχικά εξετάζοντας το **φύλο και την ηλικία των θυμάτων** προκύπτει ότι, τα ποσοστά των θανάτων των ηλικιωμένων σε οδικά ατυχήματα το 2009 είναι

πολύ υψηλότερα εντός των αστικών περιοχών από αυτά εκτός αστικών περιοχών. Μια πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι ότι, οι εκδρομές που κάνουν οι ηλικιωμένοι είναι συνήθως σύντομες και ως επί το πλείστον τις κάνουν ως πεζοί και επειδή δεν ταξιδεύουν συχνά εκτός των αστικών περιοχών. Η τάση αυτή αντιστρέφεται για τις ηλικιακές ομάδες μεταξύ 15 και 54 ετών, όπου το ποσοστό των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων είναι υψηλότερο εκτός αστικών περιοχών.

Συνεχίζοντας τη μελέτη, στις Ευρωπαϊκές χώρες παρατηρείται πως το 2009 περισσότερο από το 60% των ηλικιωμένων στην Πολωνία και στην Ουγγαρία έχασαν τη ζωή τους σε οδικά ατυχήματα σε αστικές περιοχές. Στη Ρουμανία το αντίστοιχο ποσοστό είναι πάνω από 80% σε αντίθεση με την Εσθονία και τη Φινλανδία όπου λιγότερο από το ένα τρίτο των θανάτων ηλικιωμένων προκλήθηκε από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα μέσα σε αστικές περιοχές.

Όσον αφορά στο ποσοστό θανάτων κατά **φύλο**, μεγαλύτερο ποσοστό των γυναικών έχασαν την ζωή τους σε αστικές περιοχές σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές (Διάγραμμα 2.1). Η Ελλάδα είναι η χώρα με το χαμηλότερο ποσοστό γυναικών που έχασαν τη ζωή τους σε οδούς αστικών περιοχών, ενώ η Δανία έχει το μεγαλύτερο ποσοστό θανάτων γυναικών σε αστικές οδούς.



Διάγραμμα 2.1: Ποσοστά αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα ανάλογα με το φύλο σε αστικές και αγροτικές περιοχές για το έτος 2009

Τέλος μελετώντας τον **χρήστη της οδού** προκύπτει ότι, εντός των αστικών περιοχών, 50% των θανάτων είναι οδηγοί και 37% πεζοί, ενώ εκτός των αστικών περιοχών, αντίστοιχα ποσοστά είναι 69% για οδηγούς και 10% για τους πεζούς. Η Ολλανδία έχει το μεγαλύτερο ποσοστό θανάτων στην κατηγορία των οδηγών που ανέρχεται σε 69% και ακολουθούν η Σουηδία με 66% και η Ελλάδα με 62%, ενώ ο μέσος όρος στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 50%. Η Φινλανδία με 22%, η Ρουμανία και η Σλοβακία με 19% έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε θανάτους στην κατηγορία των επιβατών και η Εσθονία με 58% έχει το μεγαλύτερο ποσοστό σε θανάτους στην κατηγορία

των πεζών, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο μέσος όρος είναι 13% για τους επιβάτες και 37% για τους πεζούς. Όσον αφορά στα χαμηλότερα ποσοστά, παρατηρούνται στην Εσθονία με 32% και στην Ρουμανία με 33%, που έχουν το χαμηλότερο ποσοστό νεκρών οδηγών, στην Σουηδία με 6%, το χαμηλότερο ποσοστό νεκρών επιβατών και στην Ολλανδία με 20%, το χαμηλότερο ποσοστό νεκρών σε πεζούς.

2.3 ΣΥΝΟΨΗ – ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αναλύθηκαν έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε χώρες της Ε.Ε. και παγκοσμίως, με σκοπό τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών της οδικής ασφάλειας στις πόλεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι, από την αναζήτηση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης διαπιστώθηκε ότι, **δεν έχει ξαναεπιχειρηθεί στο παρελθόν μία αναλυτική έρευνα και σύγκριση των χαρακτηριστικών οδικής ασφάλειας σε επίπεδο Πρωτευουσών**, όπως δηλαδή τέθηκε στον στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το κύριο συμπέρασμα που προέκυψε από την σύγκριση της οδικής ασφάλειας σε Νέα Υόρκη-Λος Άντζελες και Λονδίνο-Παρίσι σε σχέση με το σύνολο της αντίστοιχης χώρας, υπάρχουν **σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις επιδόσεις και τα χαρακτηριστικά οδικών ατυχημάτων στην κάθε πόλη και στο σύνολο της κάθε χώρας**. Για τον λόγο αυτό, η εξέταση των οδικών ατυχημάτων πρέπει να πραγματοποιείται ξεχωριστά στις πόλεις, λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν σε αυτές.

Τα αποτελέσματα της έρευνας: «Οδική ασφάλεια στη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες: Σύγκριση των αμερικανικών μεγαλουπόλεων με τις ΗΠΑ» υποδεικνύουν ότι τα ατυχήματα στις δύο μεγαλουπόλεις **τείνουν να διαφέρουν σε πολλούς τομείς** από τα τυπικά ατυχήματα στις ΗΠΑ. Σε αυτούς τους τομείς περιλαμβάνονται θέματα που σχετίζονται με τον χρόνο και τον τόπο των οδικών ατυχημάτων, τη φύση των οδικών ατυχημάτων, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, τα εμπλεκόμενα πρόσωπα, καθώς και τις ενέργειες του οδηγού.

Τα αποτελέσματα της έρευνας: «Οδική ασφάλεια σε δύο ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις: Λονδίνο και Παρίσι» δείχνουν ότι τα δημογραφικά στοιχεία για τον πληθυσμό και τα οδικά ατυχήματα σε αυτές τις δύο μεγαλουπόλεις έχουν την τάση **να διαφέρουν σε πολλές πτυχές** σε σύγκριση με τους αντίστοιχους εθνικούς μέσους όρους. Τα πρότυπα για τα οδικά ατυχήματα διαφέρουν σε θέματα σχετικά με το πότε και πού συνέβησαν, ποιος εμπλέκεται, τον αριθμό των οχημάτων που εμπλέκονται, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, και τις ενέργειες του οδηγού πριν το ατύχημα. Επίσης εξετάστηκαν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ αυτών των δύο ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων και των δύο αμερικανικών μεγαλουπόλεων (Νέα Υόρκη και Λος Άντζελες).

Τόσο η περιορισμένη σχετική βιβλιογραφία, όσο και τα αποτελέσματα των λίγων υφιστάμενων ερευνών καταδεινύουν την **ανάγκη συγκριτικής διερεύνησης των επιδόσεων οδικής ασφάλειας στις μεγάλες πόλεις** στην Ευρώπη και παγκοσμίως. Στη διερεύνηση αυτή πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι (δημογραφικές, οδικές, κυκλοφοριακές, κλπ.) που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια στις αστικές περιοχές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η στατιστική ανάλυση των στοιχείων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται μία σύντομη περιγραφή βασικών εννοιών της στατιστικής. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι βασικότερες στατιστικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις οδικών ατυχημάτων, αλλά και σε πλήθος άλλων εφαρμογών, τα μαθηματικά πρότυπα, οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι και τα κριτήρια αποδοχής των προτύπων. Έπειτα πραγματοποιείται μια λεπτομερής ανάλυση των πολυεπίπεδων μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και τη σύγκριση των χαρακτηριστικών της οδικής ασφάλειας στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Στο τελευταίο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται ο βασικός τρόπος χρήσης του ειδικού στατιστικού λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

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

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

Με τον όρο **μεταβλητές** (variables) εννοούνται τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν να μετρηθούν και να καταγραφούν σε ένα σύνολο ατόμων. Ανάλογα με τις τιμές που μια μεταβλητή μπορεί να πάρει, μπορεί να ταξινομηθεί ως **κατηγορική** ή ως **ποσοτική**:

- Ονομάζεται **κατηγορική (categorical)** μια μεταβλητή η οποία με κατάλληλη κωδικοποίηση εκφράζει καταστάσεις, π.χ. το επάγγελμα. Μια κατηγορική μεταβλητή μπορεί να είναι **ονομαστική (nominal)**, όπου οι κατηγορίες δεν μπορούν να συγκριθούν ή να διαβαθμιστούν (π.χ. χρώμα ματιών) ή **διάταξης (ordinal)** όπου υπάρχει σαφής διαβάθμιση (π.χ. μέτρια, καλή και άριστη φυσική κατάσταση ενός ατόμου).
- Ονομάζεται **ποσοτική (numeric ή quantitative)** μια μεταβλητή η οποία εκφράζει ποσότητα, π.χ. βάρος ατόμου. Μια ποσοτική μεταβλητή μπορεί να είναι **διακριτή (discrete)** όπου το σύνολο τιμών της είναι υποσύνολο των φυσικών αριθμών (π.χ. αριθμός κόκκινων φαναριών που συναντάμε στην διαδρομή μας) ή **συνεχής (continuous)** όπου το σύνολο των τιμών της είναι ένα διάστημα (π.χ. διάρκεια διαδρομής).

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

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

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

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

όπου \bar{x} ο δειγματικός μέσος, δηλαδή η μέση τιμή των παρατηρήσεων στο δείγμα.

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

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

Για την περίπτωση συμμετρικά κατανεμημένου δείγματος δεδομένων, σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα προκύπτει ότι το διάστημα:

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

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

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

Μέτρα αξιοπιστίας:

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

3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Στη συνέχεια θεωρούνται δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές X, Y . Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο αυτών μεταβλητών X και Y με διασπορά σ_X^2 και σ_Y^2 αντίστοιχα, και συνδιακύμανση $\sigma_{XY} = Cov(X, Y)$ καθορίζεται με τον **συντελεστή συσχέτισης** (correlation coefficient) ρ , που ορίζεται ως εξής:

$$\rho = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

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

Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ρ γίνεται με την αντικατάσταση στην ανωτέρω εξίσωση της συνδιασποράς σ_{XY} και των διασπορών σ_X, σ_Y , από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της εκτιμήτριας r :

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

3.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

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

3.4.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Από τις πιο σημαντικές κατανομές πιθανότητας η οποία αφορά σε συνεχείς μεταβλητές είναι η κανονική κατανομή ή κατανομή του Gauss. Μια συνεχής τυχαία μεταβλητή X θεωρείται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή με παραμέτρους μ, σ ($-\infty < \mu < +\infty, \sigma > 0$), και γράφεται $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την:

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

όπου μ και σ είναι σταθερές ίσες με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, αντίστοιχα.

3.4.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ POISSON

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

$$f(x) = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}$$

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

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

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

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

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

3.4.3 ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΔΙΩΝΥΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Μία άλλη πολύ σημαντική κατανομή που χρησιμοποιείται στην οδική ασφάλεια είναι η αρνητική διωνυμική κατανομή. Η χρήση της κατανομής αυτής ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου η διακύμανση των στοιχείων του δείγματος είναι μεγαλύτερη από τον μέσο όρο. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε φαινόμενα που εμφανίζουν περιοδικές μεταβολές (όπως για παράδειγμα αριθμός αφίξεων οχημάτων που αφορούν σε μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. 10 sec) σε κάποιο σημείο μετά από φωτεινό σηματοδότη. Μια τυχαία μεταβλητή X θεωρείται ότι ακολουθεί την αρνητική διωνυμική κατανομή με παραμέτρους k, p (k : θετικός ακέραιος, $0 < p < 1$), και γράφεται $X \sim NB(k, p)$, όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας της:

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

Όπου, $X = 0, 1, 2, \dots$

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

3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Βασικός στόχος των ερευνών που αφορούν στην οδική ασφάλεια είναι η διερεύνηση της επιρροής ενός ή περισσότερων παραγόντων στην πρόκληση οδικών ατυχημάτων. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών σκοπό έχουν να αναδείξουν τη σπουδαιότητα (ή μη) των παραγόντων αυτών και να ποσοτικοποιήσουν την επιρροή τους πάνω σε κάποια μεταβλητή που εκφράζει την οδική ασφάλεια.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, απαραίτητο εργαλείο είναι ο κλάδος της στατιστικής, ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μίας από τις υπόλοιπες, που ονομάζεται **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis). Η μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί ονομάζεται εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ η μεταβλητή, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής, ονομάζεται ανεξάρτητη. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία, αλλά παίρνει καθορισμένες τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή θεωρείται τυχαία και «καθοδηγείται» από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Προκειμένου να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή

συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκάλεσε τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων.

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

3.5.1 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

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

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

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

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

- Ο σταθερός όρος α είναι η τιμή του Y για $x = 0$
- Ο συντελεστής β του X είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή αλλιώς ο **συντελεστής παλινδρόμησης** (regression coefficient). Εκφράζει τη μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X μεταβληθεί κατά μία μονάδα

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

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές X ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_K$), γίνεται αναφορά στην

πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (multiple linear regression). Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η εξής:

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

Γενικά, το πρόβλημα και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει εάν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών ($\rho(x_i, x_j) \rightarrow 0$, για κάθε $i \neq j$).

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

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

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

3.5.2 ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης (lognormal regression) δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι γραμμική. Στη **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης. Υπολογίζονται από την ανάλυση παλινδρόμησης με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων.

Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι ο φυσικός λογάριθμος της εξαρτημένης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή με αριθμητικό μέσο μ και τυπική απόκλιση σ^2 . Με άλλα λόγια η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση αποτελεί χρήσιμο εργαλείο όταν τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της εξαρτημένης μεταβλητής ακολουθεί μια κανονική κατανομή και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

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

όπου Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης, $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ οι ανεξάρτητες μεταβλητές και ε_i το σφάλμα παλινδρόμησης.

3.5.3 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ POISSON

Στη διερεύνηση φαινομένων που σχετίζονται με μεταφορές και συγκοινωνιακά ζητήματα είναι πολύ συχνό να λαμβάνονται δεδομένα (τιμές μιας μεταβλητής Y) τα οποία χαρακτηρίζονται από ακέραιες τιμές μόνο. Συγκεκριμένα στην οδική ασφάλεια συνήθως τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούν κυρίως στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων ή στον αριθμό των παθόντων, ο οποίος είναι **διακριτή μεταβλητή**. Η χρήση της γραμμικής ή της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για την ανάπτυξη τέτοιων προτύπων των οποίων η εξαρτημένη μεταβλητή είναι διακριτή είναι λανθασμένη και θα πρέπει να αποφεύγεται. Οι λόγοι για αυτό είναι σημαντικοί καθώς οι παραπάνω τύποι παλινδρόμησης μπορούν να δώσουν αποτελέσματα για την εξαρτημένη μεταβλητή, τα οποία δεν είναι ακέραια ή είναι αρνητικά, γεγονός το οποίο δε συμβαδίζει με την αρχική υπόθεση ότι τα δεδομένα είναι αναγκαστικά θετικοί ακέραιοι αριθμοί.

Μια **εναλλακτική οικογένεια μεθόδων** είναι διαθέσιμη για την ανάπτυξη προτύπων, τα οποία αφορούν τέτοια δεδομένα. Η οικογένεια αυτή λαμβάνει υπόψη τη διακριτή φύση της εξαρτημένης μεταβλητής. Η **παλινδρόμηση Poisson** είναι η πιο διαδεδομένη τέτοια μέθοδος και χρησιμοποιείται πολύ συχνά για την αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικών με συγκοινωνιακά ζητήματα. Στηρίζεται στην κατανομή Poisson και είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη προτύπων που αφορούν φαινόμενα που εμφανίζονται σπάνια και των οποίων οι εμφανίσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή η εμφάνιση του φαινομένου μια φορά δεν επηρεάζει την επόμενη. Βασική παραδοχή για να υποθέσει κανείς ότι τα δεδομένα προσαρμόζονται καλύτερα στην κατανομή Poisson είναι ότι ο μέσος όρος των παρατηρήσεων ισούται με τη διακύμανση αυτών, δηλαδή $\mu = \sigma^2$.

Για να γίνει κατανοητή η παρουσίαση της μεθοδολογίας της παλινδρόμησης Poisson που θα περιγραφεί, χρησιμοποιείται ένα παράδειγμα οδικών ατυχημάτων που προκύπτουν σε ένα σύνολο οδικών τμημάτων σε μια πόλη για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Θεωρώντας ότι τα οδικά ατυχήματα είναι σπάνια γεγονότα ανεξάρτητα μεταξύ τους μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι

ακολουθούν την κατανομή Poisson, με άλλα λόγια η πιθανότητα να εμφανιστούν y_i ατυχήματα δίδεται από τον τύπο:

$$P(y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!}$$

όπου:

$P(y_i)$, η πιθανότητα να εμφανιστούν y_i ατυχήματα στην εξεταζόμενη περιοχή στη χρονική περίοδο αναφοράς,

λ_i , ο μέσος όρος της κατανομής Poisson, δηλαδή ο αναμενόμενος αριθμός ατυχημάτων στην εξεταζόμενη περιοχή.

Η σχέση αυτή μπορεί να μετασχηματιστεί έτσι ώστε για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης να είναι γνωστός ο αριθμός των ατυχημάτων που μπορούν να συμβούν στην περιοχή ελέγχου. Έτσι η πιθανότητα $\Pi(x)$ να συμβούν σε μια θέση το πολύ x ατυχήματα δίδεται από τη σχέση:

$$\Pi(x) = \sum_{z=0}^{z=x} \frac{e^{-\lambda} \lambda^z}{z!}$$

Η **μέθοδος της παλινδρόμησης Poisson** στοχεύει στον υπολογισμό της παραμέτρου λ της κατανομής Poisson, μέσω της οποίας γίνεται δυνατός ο υπολογισμός της πιθανότητας να συμβεί ορισμένος αριθμός ατυχημάτων στην εξεταζόμενη περιοχή. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται μια σειρά μεταβλητών, οι οποίες θεωρείται ότι επηρεάζουν το φαινόμενο εμφάνισης ατυχημάτων. Οι μεταβλητές αυτές μπορεί να είναι γεωμετρικά χαρακτηριστικά, κυκλοφοριακές παράμετροι, χαρακτηριστικά σηματοδότησης, καιρικές συνθήκες, χαρακτηριστικά οχημάτων, χαρακτηριστικά χρηστών και άλλες.

Οι **μεταβλητές** αυτές μπορεί να εισάγονται στο πρότυπο με διάφορες μορφές ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν ώστε να απεικονίζεται σωστά η επιρροή τους στο μέσο όρο λ . Οι μεταβλητές μπορούν να είναι κατηγορικές ή ποσοτικές. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στις κατηγορικές μεταβλητές ώστε να αναγνωρισθεί εάν αυτές είναι ονομαστικές ή διάταξης. Για παράδειγμα, η αντιμετώπιση μιας μεταβλητής ως διάταξης (ordinal) χρειάζεται προσοχή καθώς τα διάφορα επίπεδα της μπορεί να μην είναι ξεκάθαρα ενώ η αντιμετώπιση μιας μεταβλητής διάταξης ως απλή ονομαστική (nominal) θα στερήσει από το πρότυπο μεγάλη επεξηγηματική ικανότητα.

Ο υπολογισμός της παραμέτρου λ πραγματοποιείται με τη χρήση του απλού λογαριθμοκανονικού προτύπου και η σχέση μπορεί να εκφρασθεί μαθηματικά ως εξής:

$$\lambda_i = e^{[\beta][X_i]} \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad \ln(\lambda_i) = [\beta][X_i],$$

όπου το X_i είναι ένα διάνυσμα επεξηγηματικών (ανεξάρτητων) μεταβλητών και το β είναι το διάνυσμα των εκτιμώμενων παραμέτρων, μίας για κάθε μεταβλητή. Το λ_i στην πραγματικότητα δίνει τον αριθμό των γεγονότων (οδικά ατυχήματα) τα οποία αναμένεται να συμβούν στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Η εκτίμηση του διανύσματος των παραμέτρων β πραγματοποιείται με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, με τη συνάρτηση πιθανοφάνειας να δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$L([\beta]) = \prod_i \frac{\text{EXP}[-\text{EXP}([\beta][X_i])] \cdot [\text{EXP}([\beta][X_i)]^{y_i}}{y_i!}$$

Ο λογάριθμος της παραπάνω συνάρτησης είναι πιο εύκολος στον χειρισμό και για τον λόγο αυτό πολλές φορές χρησιμοποιείται έναντι της ίδιας της συνάρτησης:

$$LL([\beta]) = \sum_{i=1}^n [-\text{EXP}([\beta][X_i]) + y_i[\beta][X_i] - \text{LN}(y_i!)]$$

Οι παράμετροι που προκύπτουν από τη διαδικασία της μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας χρησιμοποιούνται για να εξαχθούν συμπεράσματα για τα άγνωστα χαρακτηριστικά του πληθυσμού τα οποία θεωρείται ότι επηρεάζουν τη διαδικασία εμφάνισης των γεγονότων. Η μέθοδος αυτή παράγει παραμέτρους οι οποίες είναι συνεπείς και αποτελεσματικές.

Για τον υπολογισμό της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη χρησιμοποιείται ο υπολογισμός των ελαστικότητας. Οι ελαστικότητες (elasticities) δίνουν τη μεταβολή στην εξαρτημένη μεταβλητή δεδομένης μιας μεταβολής στην τιμή της ανεξάρτητης. Για συνεχείς μεταβλητές υπολογίζεται το ποσοστό στο οποίο μεταβάλλεται η μεταβλητή Y δεδομένης της αλλαγής κατά 1% στη μεταβλητή X . Είναι προφανές ότι για μεταβλητές – δείκτες οι οποίες λαμβάνουν μόνο τις τιμές 0 και 1 (όπως στη συγκεκριμένη Εργασία) ένας τέτοιος υπολογισμός δεν έχει νόημα. Για το λόγο αυτό παρέχονται οι ψεύδο – ελαστικότητες (pseudo elasticities) οι οποίες απεικονίζουν την αλλαγή στην εξαρτημένη μεταβλητή (αλλαγή στη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου) που παρατηρείται με την αλλαγή στην τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής. Οι ελαστικότητες αυτές υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_{X_k}^\lambda = \frac{\text{EXP}(\beta_k) - 1}{\text{EXP}(\beta_k)}$$

3.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αρχικά, οι βασικές προϋποθέσεις που εξετάζονται **πριν την ανάπτυξη** ενός μοντέλου σχετίζονται με την **κανονικότητα**. Βάσει της προϋπόθεσης αυτής, απαιτείται οι τιμές της μεταβλητής Y να ακολουθούν κανονική κατανομή.

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

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

Όσον αφορά τους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των προσήμων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που η ταχύτητα διαδρομής αποτελεί την ανεξάρτητη και οι χρονικοί διαχωρισμοί την εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου θα πρέπει ο συντελεστής β_i της ταχύτητας να έχει αρνητικό πρόσημο. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής (x_i) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες.

Η **στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου** αξιολογείται μέσω του ελέγχου $t - test$ (κριτήριο t της κατανομής student). Με τον δείκτη t προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών, καθορίζεται δηλαδή ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής t εκφράζεται με τη σχέση:

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

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

Βάσει της ανωτέρω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής t_{stat} και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t , τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα που δίνεται στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή t (t^*) για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Βαθμός Ελευθερίας	Επίπεδο εμπιστοσύνης				
	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
80	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Πίνακας 3.1: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t

Έτσι για μέγεθος δείγματος περί τα 80 και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι $t^* = 1,7$ και για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι $t^* = 1,3$. Αν λοιπόν έχουμε $t = -3,2$ για κάποια ανεξάρτητη μεταβλητή X_i τότε παρατηρείται ότι η απόλυτη τιμή του t είναι μεγαλύτερη από την τιμή του t^* (1,7) και άρα είναι αποδεκτή η μεταβλητή ως στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

Εκτός από αυτούς τους ελέγχους, σημαντικό ρόλο στην επιλογή των μεταβλητών των μοντέλων κατέχει η **πιθανοφάνεια**. Για την εκτίμηση της επιρροής των παραμέτρων χρησιμοποιείται η μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανοφάνειας. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια προσπαθούμε ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας $L = -\log(\text{likelihood})$ να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος και προτιμούνται τα μοντέλα με μικρότερο λογάριθμο της συνάρτησης πιθανοφάνειας L . Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και χρειάζεται ένας κανόνας να αποφασίζει εάν η μείωση του $L = -\log(\text{likelihood})$ αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα και για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε το **Likelihood Ratio Test** (LRT) (κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας). Σύμφωνα με το κριτήριο του λόγου πιθανοφανειών (LRT) εάν η διαφορά

$$LRT = -2 (L(\hat{b}) - L(0))$$

όπου, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ ενώ $L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$, είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κριτηρίου x^2 για p βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5% το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές.

Η **εξέταση της ποιότητας του μοντέλου** καθορίζεται με τον συντελεστή προσαρμογής ρ^2 . Ο συντελεστής ρ^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο μοντέλο. Υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{b})}{L(0)}$$

Όπου, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ και

$L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$

Συγκεκριμένα, εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του ρ^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Επισημαίνεται ότι, ο συντελεστής ρ^2 έχει συγκριτική αξία, δηλαδή δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του που κρίνεται ως αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του ρ^2 .

3.7 ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

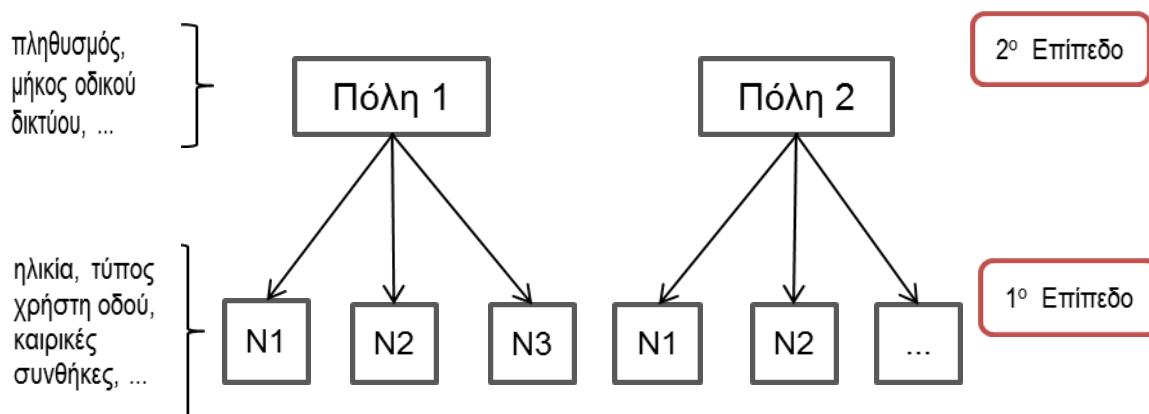
Τα περισσότερα από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για την οδική ασφάλεια είναι οργανωμένα σε **ιεραρχική διάταξη**, δηλαδή συχνά ανήκουν σε δομές με πολλαπλά ιεραρχικώς διατεταγμένα επίπεδα. Οι ιεραρχικές αυτές δομές των δεδομένων μπορεί να προκύπτουν είτε από τη χωρική (και χρονική) εξάπλωση των δεδομένων (π.χ. σε οδικά τμήματα, πόλεις, χώρες), είτε από την ίδια τη φύση των ατυχημάτων (π.χ. είδος οχήματος, τύπος χρήστη οδού). Ένα από τα βασικά προβλήματα που προκύπτει από την ιεραρχική οργάνωση των δεδομένων είναι η **εξάρτηση** που δημιουργείται μεταξύ των παρατηρήσεων. Για παράδειγμα, παρατηρήσεις από την ίδια γεωγραφική περιοχή θα έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά αναλόγως με την περιοχή από την οποία έχουν προέλθει. Με τη χρήση των κλασικών μοντέλων ανάλυσης, τέτοιου είδους χαρακτηριστικά, που ανήκουν σε υψηλότερο επίπεδο ανάλυσης από εκείνο στο οποίο έχουν οριστεί οι παρατηρήσεις, δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθούν ως μεταβλητές πρόβλεψης στο μοντέλο, παρά μόνο εάν αναλυθούν ως συγκεντρωτικά στοιχεία. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε **σημαντική απώλεια πληροφοριών** (Dupont et al., 2013).

Οι εκτιμήσεις που λαμβάνονται από τις περισσότερες συνήθεις τεχνικές ανάλυσης βασίζονται στην υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις του δείγματος προέρχονται από έναν μόνο **ομοιογενή πληθυσμό**, και ότι τα υπόλοιπα που προκύπτουν από το μοντέλο είναι **ανεξάρτητα**. Ωστόσο, η ιεραρχική οργάνωση των δεδομένων **αμφισβητεί ριζικά αυτή την υπόθεση**. Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή των παραδοσιακών τεχνικών ανάλυσης (γραμμικά ή γενικευμένα γραμμικά μοντέλα) σε ιεραρχικά οργανωμένα δεδομένα μπορεί να οδηγήσει σε υποτίμηση των τυπικών σφαλμάτων και στην εφαρμογή υπερβολικά στενών επιπέδων εμπιστοσύνης. Συνεπώς, υπάρχει ο κίνδυνος να προκύψουν **εσφαλμένα συμπεράσματα** σχετικά με το επίπεδο σημαντικότητας των παραμέτρων των οποίων εξετάζεται η επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή (Lenguerrand et al., 2006).

Για τον πιο σωστό και κατάλληλο χειρισμό της ιεραρχικής δομής των δεδομένων και της εξάρτησης που προκύπτει ανάμεσα σε αυτά, αναπτύχθηκαν τα **πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης**. Τα πολυεπίπεδα μοντέλα επιτρέπουν τον **καθορισμό της ιεραρχικής διάταξης** μέσα στο μοντέλο και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν σωστά οι μεταβλητές πρόβλεψης που χαρακτηρίζουν τα διαφορετικά επίπεδα

ανάλυσης, χωρίς να χρειάζεται τα στοιχεία να εξεταστούν μόνο συγκεντρωτικά ή μόνο εξατομικευμένα.

Υπάρχουν δύο κύριες ιεραρχίες στα δεδομένα οδικής ασφάλειας στις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν τα πολυεπίπεδα μοντέλα: η **γεωγραφική ιεραρχία** και η ιεραρχία του τύπου ατυχήματος. Η παρούσα Διπλωματική Εργασία στηρίζεται στη γεωγραφική ιεραρχική διάταξη των δεδομένων. Δηλαδή, το **πρώτο επίπεδο ιεραρχίας** είναι τα δεδομένα για την κάθε περίπτωση θανατηφόρου οδικού ατυχήματος με όλα τα χαρακτηριστικά που το προσδιορίζουν, όπως είναι τα χαρακτηριστικά των εμπλακέντων (ηλικία, φύλο, τύπος χρήστη οδού), ο τύπος του οχήματος και οι περιβάλλουσες συνθήκες (καιρικές συνθήκες, μήνας, μέρα της εβδομάδας). Τα δεδομένα αυτά είναι ένθετα και σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά των πόλεων (πληθυσμός, μήκος οδικού δικτύου, ετήσια επιβατοχιλιόμετρα) στις οποίες συνέβησαν και οι οποίες αποτελούν το **δεύτερο επίπεδο ιεραρχίας** (Διάγραμμα 3.2).



Διάγραμμα 3.2: Γεωγραφική ιεραρχία των δεδομένων οδικής ασφάλειας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας

Όσον αφορά στις **εξισώσεις** των πολυεπίπεδων μοντέλων, όταν τα δεδομένα έχουν γεωγραφική ιεραρχία μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι εμπίπτουν στην ευρύτερη οικογένεια των χωρικών αναλύσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από το στόχο τους να συμπεριλάβουν τη χωρική εξάρτηση μεταξύ των δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση, η χωρική εξάρτηση αναφέρεται σε μια γενική συνδιακύμανση των ιδιοτήτων εντός ενός γεωγραφικού χώρου. Συνήθως τότε, η **παλινδρόμηση Poisson** είναι η κατάλληλη για να χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις των ατυχημάτων, με συνεκτίμηση μιας παραμέτρου (π.χ. τον πληθυσμό N_i) ως όρο αντιστάθμισης (offset).

Στην περίπτωση των **πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson**, στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκεται μία καταμετρηση των περιπτώσεων των συμβάντων και οι περιπτώσεις αυτές ταξινομούνται σε ένα υψηλότερο επίπεδο, εντός του οποίου θεωρείται ότι η πιθανότητα απόκρισης τους μπορεί να ποικίλλει. Το

πολυεπίπεδο μοντέλο που προσαρμόζεται στα δεδομένα υπολογίζεται με βάση την επαναληπτική γενικευμένη εκτίμηση των ελαχίστων τετραγώνων. Υποθέτοντας πολυμεταβλητή κανονικότητα, οι υπολογισμοί εναλλάσσονται μεταξύ των εκτιμήσεων των σταθερών και των τυχαίων διανυσμάτων των παραμέτρων μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση (Langford et al., 1998). Θεωρώντας ότι το διάνυσμα απόκρισης (O) των παρατηρούμενων περιπτώσεων ακολουθεί την κατανομή Poisson, είναι αναγκαίο να συμπεριληφθεί μια αντιστάθμιση (offset) των αναμενόμενων αριθμών των περιπτώσεων του μοντέλου, έτσι ώστε:

$$O_{ij} \sim \text{Poisson}(\pi_{ij} E_{ij})$$

$$\log(\pi_{ij}) = \beta_{0j} + \beta_{1j} x_j$$

$$\beta_{0j} = \beta_0 + u_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \beta_1 + u_{1j}$$

όπου, το E_{ij} αντιπροσωπεύει τον αναμενόμενο αριθμό των περιπτώσεων για κάθε μονάδα στο πρώτο επίπεδο (Rasbash et al., 2000).

Η προσθήκη του 2^{ου} επιπέδου στην εξίσωση πραγματοποιείται επιτρέποντας στο **σταθερό συντελεστή β_{0j}** για την κάθε μονάδα j του 2^{ου} επιπέδου, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία για την κάθε Πρωτεύουσα j , να αποκλίνει, δηλαδή η τιμή του να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την συνολική κατά μία ποσότητα u_{0j} . Οι αποκλίσεις αυτές από τον συνολικό σταθερό συντελεστή ονομάζονται **κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου (level 2 residuals)**. Τα κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου μπορούν να θεωρηθούν ως οι επιδράσεις των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις Πρωτεύουσες. Η εκτίμηση των καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για τη σύγκριση των μονάδων του 2^{ου} επιπέδου, δηλαδή των Πρωτευουσών, και ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και τη διάγνωση του μοντέλου.

Η κατανομή Poisson χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει το πρώτο επίπεδο διακύμανσης με μια λογαριθμική συνάρτηση, θεωρώντας ότι οι τυχαίες παράμετροι στα υψηλότερα επίπεδα, είναι κανονικά πολυμεταβλητές. Μια αποτελεσματική διαδικασία εκτίμησης για αυτό το μη γραμμικό μοντέλο είναι η μέθοδος πρόβλεψης quasi-likelihood, όπου η αξιολόγηση των τυχαίων παραμέτρων, και των σχετικών καταλοίπων, γίνεται χρησιμοποιώντας το ανάπτυγμα της σειράς Taylor γύρω από τις ισχύουσες τιμές των σταθερών και των τυχαίων τμημάτων του μοντέλου (Langford et al., 1998).

Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι δεν μπορεί να οριστεί τυχαία δομή στο χαμηλότερο επίπεδο ενός πολυεπίπεδου μοντέλου Poisson. Συγκεκριμένα, δεν υπάρχει τίποτα τυχαίο να εκτιμηθεί, καθώς στα μοντέλα Poisson η σχέση μεταξύ της μέσης τιμής και της διακύμανσης είναι γνωστή και έτσι δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστούν ξεχωριστά. Αντίθετα, στα κλασικά γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης δεν ισχύει το ίδιο, αλλά η μέση τιμή του τυπικού

σφάλματος θεωρείται ίση με μηδέν και η διακύμανση είναι άγνωστη και πρέπει να υπολογιστεί. Κατά συνέπεια, η τυχαία διακύμανση του σταθερού όρου στο πρώτο επίπεδο θα είχε ενδιαφέρον σε ένα κανονικό μοντέλο, αλλά όχι σε ένα μοντέλο Poisson.

Η υπόθεση της διακύμανσης των περιπτώσεων στα μοντέλα Poisson μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω. Μία παράμετρος διασποράς υπολογίζεται στο πρώτο επίπεδο, έτσι ώστε:

$$\text{var}(O_{ij}\pi_{ij}) = \sigma_1^2 \pi_{ij} E_{ij}$$

Εάν $\sigma_1^2 = 1$, τότε η διακύμανση θεωρείται ότι είναι Poisson, εάν $\sigma_1^2 > 1$, τότε υπάρχει extra-Poisson διακύμανση (**υπερδιασπορά**), και εάν $\sigma_1^2 < 1$ τότε το μοντέλο έχει **υποδιασπορά**, όπως μπορεί να συμβεί αν πολλές από τις παρατηρήσεις είναι μηδενικές. Ωστόσο, πολύ συχνά μπορεί για θεωρητικούς λόγους να υποτεθεί extra-Poisson διακύμανση στα δεδομένα (Dean, 1992). Για παράδειγμα, εάν οι παρατηρήσεις προς εξέταση προέρχονται από σημαντικά ετερογενείς πληθυσμούς, τότε οι αναμενόμενες τιμές μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Ένας τρόπος αντιμετώπισης της υπερδιασποράς είναι η θεώρηση μιας επιπρόσθετης παραμέτρου a , η οποία οδηγεί σε extra-Poisson ή quasi-Poisson κατανομή, έτσι ώστε:

$$\text{var}(O_{ij}\pi_{ij}) = a\sigma_1^2 \pi_{ij} E_{ij}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αν αγνοηθεί μια extra-Poisson διακύμανση δεν θα επηρεαστεί σημαντικά η εκτίμηση των παραμέτρων, αλλά τα σχετικά επίπεδα σημαντικότητας μπορεί να επηρεαστούν ελαφρώς (Dean, 1992).

Τα αποτελέσματα ερευνών αποδεικνύουν ότι, αν αγνοηθεί μια ιεραρχική δομή δεδομένων προκύπτουν δύο κατηγορίες προβλημάτων: **στατιστικά προβλήματα και εννοιολογικά προβλήματα**. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η ανάλυση με πολυεπίπεδα μοντέλα:

- i) επιτρέπει τη βελτίωση της προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα
- ii) επιτρέπει την αναγνώριση και την εξήγηση τυχαίων διακυμάνσεων σε συγκεκριμένα επίπεδα της ιεραρχίας που εξετάζεται
- iii) μπορεί να αποφέρει διαφορετικά (πιο σωστά) συμπεράσματα από ότι τα μοντέλα ενός επιπέδου σε σχέση με τα επίπεδα σημαντικότητας των παραμέτρων.

Ωστόσο, το πιο σημαντικό είναι ότι, τα πολυεπίπεδα μοντέλα, ακόμα και τα πιο απλά, επιτρέπουν μία πιο εμπλουτισμένη και λεπτομερή ανάλυση πάνω στο θέμα της έρευνας. Πολλά προβλήματα στην έρευνα της οδικής ασφάλειας δεν μπορούν να κατανοηθούν σωστά, εάν η ανάλυση πραγματοποιείται μόνο σε ένα επίπεδο, καθώς η ερμηνεία των αποτελεσμάτων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ιεραρχική δομή των δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε **εσφαλμένα συμπεράσματα**. Το πιο συνήθες σφάλμα έγκειται στο να θεωρείται ότι οι σχέσεις που παρατηρούνται σε δοθέντα επίπεδα της ιεραρχίας ισχύουν και

για άλλα επίπεδα, κάτι που μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση των πολυεπίπεδων μοντέλων. Για τους λόγους αυτούς, τα πολυεπίπεδα μοντέλα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην έρευνα της οδικής ασφάλειας, όπως και σε πολλούς άλλους επιστημονικούς τομείς.

3.8 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων με πολυεπίπεδα μοντέλα Poisson έγινε με τη βοήθεια του ειδικού στατιστικού λογισμικού **MLwiN**. Αφού καταχωρήθηκαν τα αρχεία σε βάσεις δεδομένων, μεταφέρθηκαν στο στατιστικό λογισμικό στο πεδίο δεδομένων και ακολουθήθηκαν οι ενέργειες που συνοπτικά παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Αρχικά, καθορίστηκαν οι μεταβλητές στο πεδίο μεταβλητών **Names**. Εκεί καθορίζονται οι ιδιότητές τους (όνομα, τύπος μεταβλητής, αριθμός ψηφίων, κ.ά.). Είναι σημαντικό να γίνει διάκριση των μεταβλητών σε **ποσοτικές** και **κατηγορικές** με την επιλογή Toggle Categorical.

Στην συνέχεια, ακολούθησε η εξής διαδικασία:

Από το κεντρικό menu επιλογής **Basic Statistics** επιλέγεται το **Averages and Correlations**: Διαδικασίες για την παραγωγή περιγραφικών αποτελεσμάτων, με την επιλογή **Averages**. Πρόκειται για χρήσιμες στατιστικές περιγραφικές συναρτήσεις (μέση τιμή, τυπική απόκλιση). Η διαδικασία που υπολογίζει τη συσχέτιση ανάμεσα σε ζευγάρια μεταβλητών γίνεται μέσω της επιλογής **Correlation**.

Από το κεντρικό menu επιλογής **Model** επιλέγεται το **Equations**, όπου πραγματοποιείται η διαμόρφωση της εξίσωσης για την ανάλυση. Στην εντολή Equations επιλέγεται η εξαρτημένη μεταβλητή (Fatally Injured), η ανάλυση παλινδρόμησης Poisson καθώς και τα δύο επίπεδα ανάλυσης (πρώτο επίπεδο: περιπτώσεις θανατηφόρων ατυχημάτων και δεύτερο επίπεδο: οι πόλεις). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές, των οποίων θα εξεταστεί η επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή, τοποθετούνται καθεμία ξεχωριστά από το πεδίο **Add Term**. Επιλέγοντας την εντολή **Start** ξεκινάει η ανάλυση, η οποία παράγει το επιθυμητό μοντέλο.

Τέλος, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στα δεδομένα εξόδου. Για τον έλεγχο καταλληλότητας του μοντέλου εφαρμόζονται τα κριτήρια που έχουν προαναφερθεί. Επιδιώκεται:

- Οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης β_i να μπορούν να εξηγηθούν λογικά.
- Η τιμή του στατιστικού ελέγχου t να είναι μεγαλύτερη από εκείνες που αναφέρονται στον Πίνακα 3.1 για τα διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης.

- Η τιμή του (LRT) σύμφωνα με το Likelihood Ratio Test να είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κριτηρίου χ^2 για p βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, ούτως ώστε το μοντέλο να είναι στατιστικά σημαντικότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως στόχο τη **συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες**, η οποία θα **συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση των αιτιών των οδικών ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις**. Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών συναφών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας, ακολούθησε η συλλογή των στοιχείων που απαιτούνταν για την εκπόνησή της και η κατάλληλη επεξεργασία τους.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη **συλλογή των στοιχείων**, έτσι ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την ποιότητα και την αξιοπιστία των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, γίνεται αναφορά στα προβλήματα διαθεσιμότητας που παρουσιάστηκαν κατά τη συλλογή τους και στους τρόπους με τους οποίους αντιμετωπίστηκαν. Στη συνέχεια, ακολουθεί το στάδιο της **επεξεργασίας των στοιχείων**, όπου παρουσιάζεται ο τρόπος κωδικοποίησής τους και η διαμόρφωσή τους σε μία ενιαία βάση δεδομένων στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Τέλος, δίνονται τα βήματα της διαδικασίας της **στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων** στο ειδικό στατιστικό λογισμικό MLwiN, σύμφωνα με τη μεθοδολογία των πολυεπίπεδων μοντέλων στατιστικής ανάλυσης που επιλέχθηκε.

4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας απαιτήθηκε η **συλλογή στοιχείων** που αφορούσαν στον αριθμό και στα χαρακτηριστικά των νεκρών από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, στον πληθυσμό και σε δείκτες που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των εννέα ευρωπαϊκών Πρωτευουσών που επιλέχθηκαν, για την πενταετή περίοδο 2007 έως 2011. Η συλλογή των παραπάνω στοιχείων από μία μόνο βάση δεδομένων δεν ήταν δυνατή και κατά συνέπεια αναζητήθηκαν περισσότερες βάσεις δεδομένων, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια.

Οι ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες που επιλέχθηκαν είναι τρεις αντιπροσωπευτικές πόλεις από κάθε βασική γεωγραφική περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης

(νότια, κεντρική και ανατολική Ευρώπη), έτσι ώστε να εξαχθούν αξιόλογα και συγκρίσιμα αποτελέσματα για την κατάσταση της οδικής ασφάλειας σε όλες τις ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις. Οι πόλεις αυτές φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

A/A	ΠΟΛΗ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ
1	Αθήνα	Νότια
2	Βρυξέλλες	Κεντρική
3	Βουκουρέστι	Ανατολική
4	Βουδαπέστη	Ανατολική
5	Λισαβόνα	Νότια
6	Λονδίνο	Κεντρική
7	Μαδρίτη	Νότια
8	Παρίσι	Κεντρική
9	Πράγα	Ανατολική

Πίνακας 4.1: Οι εννέα ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας

4.2.1 ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.2.1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Βασικότερη πηγή παροχής των στοιχείων των οδικών ατυχημάτων αποτέλεσε η **Ευρωπαϊκή Βάση Οδικών Ατυχημάτων, CARE** (Community database on Accidents on the Roads in Europe). Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) συλλέγουν προ πολλού στοιχεία οδικής ασφάλειας με τη χρήση των **δικών τους εθνικών συστημάτων συλλογής στοιχείων**. Από το 1991, τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα και στη βάση δεδομένων CARE, που έχει δημιουργηθεί από πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η βάση δεδομένων CARE περιέχει λεπτομερή στοιχεία για κάθε ένα ατύχημα, όπως αυτά συγκεντρώνονται από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. Η δομή του συστήματος CARE εξασφαλίζει μεγάλη ευελιξία και δυνατότητες πολλαπλής επεξεργασίας των πληροφοριών που εισάγονται, ανοίγοντας νέες προοπτικές στον τομέα ανάλυσης των ατυχημάτων.

Ο στόχος της βάσης δεδομένων CARE είναι να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο, που θα συμβάλλει σημαντικά στην ανταλλαγή εμπειριών στον τομέα της οδικής ασφάλειας, στη σύγκριση του επιπέδου οδικής ασφάλειας ανάμεσα στα ευρωπαϊκά κράτη, στον εντοπισμό και τον ποσοτικό υπολογισμό των προβλημάτων οδικής ασφάλειας, στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων οδικής ασφάλειας και στην υποστήριξη της λήψης νέων μέτρων τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Τμήματα των εθνικών βάσεων δεδομένων ενσωματώνονται στη βάση δεδομένων CARE στην αρχική τους μορφή. Ωστόσο, επειδή τα υπάρχοντα εθνικά συστήματα συλλογής στοιχείων οδικών ατυχημάτων δεν είναι πάντα συμβατά

και συγκρίσιμα μεταξύ των διαφορετικών χωρών, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρέχει και εφαρμόζει ένα πλαίσιο με κανόνες μετασχηματισμού των εθνικών δεδομένων επιτρέποντας στη βάση δεδομένων CARE να διαθέτει συμβατά δεδομένα.

Αυτή τη στιγμή, η βάση δεδομένων CARE περιλαμβάνει 55 κοινές μεταβλητές ατυχημάτων. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι απαιτούνται περισσότερες μεταβλητές και τιμές για την καλύτερη περιγραφή και ανάλυση του φαινομένου των οδικών ατυχημάτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των υφιστάμενων εθνικών βάσεων δεδομένων στις μεταβλητές και στις τιμές των συλλεχθέντων στοιχείων, στους ορισμούς τους, στη δομή της φόρμας συλλογής των στοιχείων και στη μορφολογία των σχετικών δεδομένων, επηρεάζεται η ποιότητα και η διαθεσιμότητα των στοιχείων οδικών ατυχημάτων. Κατά συνέπεια, η έλλειψη ομοιογένειας στα δεδομένα των οδικών ατυχημάτων μεταξύ και εντός των χωρών της Ε.Ε. εμποδίζει την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της βάσης δεδομένων CARE και περιορίζει τις αναλύσεις και τις συγκρίσεις που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Υπό αυτή τη λογική, αναπτύχθηκε η πρόταση για ένα Κοινό Σύνολο Στοιχείων Οδικών Ατυχημάτων (**CADaS - Common Accident Data Set**), που να περιέχει ένα ελάχιστο σύνολο με τυποποιημένα δεδομένα, το οποίο θα επιτρέψει την διάθεση συγκρίσιμων στοιχείων οδικών ατυχημάτων στην Ευρώπη. Με αυτόν τον τρόπο, θα προστεθούν περισσότερες μεταβλητές και τιμές με κοινό ορισμό στις ήδη υπάρχουσες στη βάση δεδομένων CARE, έτσι ώστε, να μεγιστοποιηθούν οι δυνατότητες της και να επιτραπούν περισσότερο λεπτομερείς και αξιόπιστες αναλύσεις σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

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 επίσης υπόψη και άλλα διεθνή αρχεία δεδομένων (US - MMUCC, WHO).

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας απαιτούνταν στοιχεία οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν στις Πρωτεύουσες που επιλέχθηκαν για την ανάλυση. Στη δομή του 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, χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη μεταβλητή και εντάσσοντας τους αντίστοιχους κωδικούς των επιλεγμένων πόλεων (Πίνακας 4.2) στην αναζήτηση των δεδομένων, λήφθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάλυση.

ΠΟΛΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ NUTS	ΟΝΟΜΑΣΙΑ NUTS
Αθήνα	-	-
Βρυξέλλες	BE1	Région de Bruxelles-Capitale/ Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Βουκουρέστι	RO321	București
Βουδαπέστη	HU101	Budapest
Λισαβόνα	PT17	Lisboa
Λονδίνο	UK1	London
Μαδρίτη	ES3	Comunidad de Madrid
Παρίσι	FR101, FR105, FR106, FR107	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne
Πράγα	CZ01	Praha

Πίνακας 4.2: Υπόμνημα κωδικοποίησης NUTS

Ωστόσο, στην περίπτωση της Ελλάδας, το πρόγραμμα CADaS περιέχει δεδομένα για τη συνολική περιφέρεια της Αττικής. Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα οδικών ατυχημάτων για την πόλη της Αθήνας λήφθηκαν από το **Σύστημα Ανάλυσης Τροχαίων Ατυχημάτων (Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.)**, το οποίο έχει δημιουργηθεί από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στο Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. περιέχονται τα **στοιχεία οδικών ατυχημάτων της Ελλάδας**, τα οποία συμπληρώνονται λεπτομερώς στο Δελτίο Οδικού Τροχαίου Ατυχήματος (Δ.Ο.Τ.Α.) από την Τροχαία μετά το συμβάν ενός οδικού ατυχήματος το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τραυματισμό ή θάνατο προσώπου. Ύστερα, ακολουθεί κωδικοποίηση των στοιχείων από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), όπου κάθε μεταβλητή λαμβάνει συγκεκριμένες αριθμητικές και αλφαριθμητικές τιμές. Αυτή η συλλογή και ταξινόμηση εξασφαλίζει την ορθότητα των στοιχείων αλλά και τη διαθεσιμότητά τους στους ερευνητές. Τα στοιχεία από τα Δ.Ο.Τ.Α. αποτελούν για την Ελλάδα κύρια πηγή στοιχείων οδικών ατυχημάτων. Το Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την έρευνα στον τομέα της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, καθώς ο ερευνητής έχει άμεση πρόσβαση σε πληθώρα αναλυτικών δεδομένων ατυχημάτων σε εθνικό επίπεδο και σε βάθος πολλών ετών.

Από τα προαναφερθέντα αρχεία του προγράμματος CADaS της βάσης δεδομένων της CARE και του Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. επιδιώχθηκε μέσα από μία συστηματική διαδικασία να συγκεντρωθούν στοιχεία για όσο το δυνατόν περισσότερες μεταβλητές, που ο ερευνητής θεωρεί ότι είναι περισσότερο σημαντικές όσον αφορά στην επιρροή τους στα οδικά ατυχήματα. Από τη στατιστική ανάλυση θα προκύψει ποιες από αυτές είναι πρωτεύουσας σημασίας.

Η αναζήτηση των στοιχείων έγινε με κύρια βάση τη μεταβλητή: **Αριθμός νεκρών μέσα σε τριάντα ημέρες από το οδικό ατύχημα** για κάθε Πρωτεύουσα, με χρήση της μεταβλητής **NUTS** που προαναφέρθηκε, για την

πενταετή περίοδο από το 2007 έως το 2011. Οι περαιτέρω μεταβλητές που επιλέχθηκαν αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω. Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα και στο Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. για την πόλη της Αθήνας.

Μεταβλητές σχετικές με το οδικό ατύχημα:

- **Ημερομηνία του οδικού ατυχήματος:** Η ημέρα της εβδομάδας και ο μήνας που συνέβη το ατύχημα. Επιτρέπει την αναγνώριση της χρονικής στιγμής του ατυχήματος και δίνει την δυνατότητα για εποχιακές αναλύσεις και συγκρίσεις με χρονοσειρές.
- **Καιρικές συνθήκες:** Η μεταβλητή αυτή ορίζει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες στην τοποθεσία και την ώρα του ατυχήματος και επιτρέπει την αναγνώριση της επίδρασης των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Οι τιμές που μπορεί να λάβει είναι: ομίχλη, βροχή, χιόνι, άνεμος, ξηρές, κλπ.
- **Συνθήκες φωτισμού:** Ορίζει το επίπεδο φωτισμού στην τοποθεσία του ατυχήματος, την ώρα του ατυχήματος. Η πληροφορία για την ύπαρξη φωτισμού είναι σημαντικό στοιχείο για την ανάλυση σε κάποια τοποθεσία ή σε κάποιο δίκτυο. Οι τιμές που μπορεί να λάβει είναι: φως ημέρας, σούρουπο/αυγή, νύχτα, νύχτα χωρίς φωτισμό οδού, νύχτα με φωτισμό οδού.

Μεταβλητές σχετικές με το όχημα κυκλοφορίας:

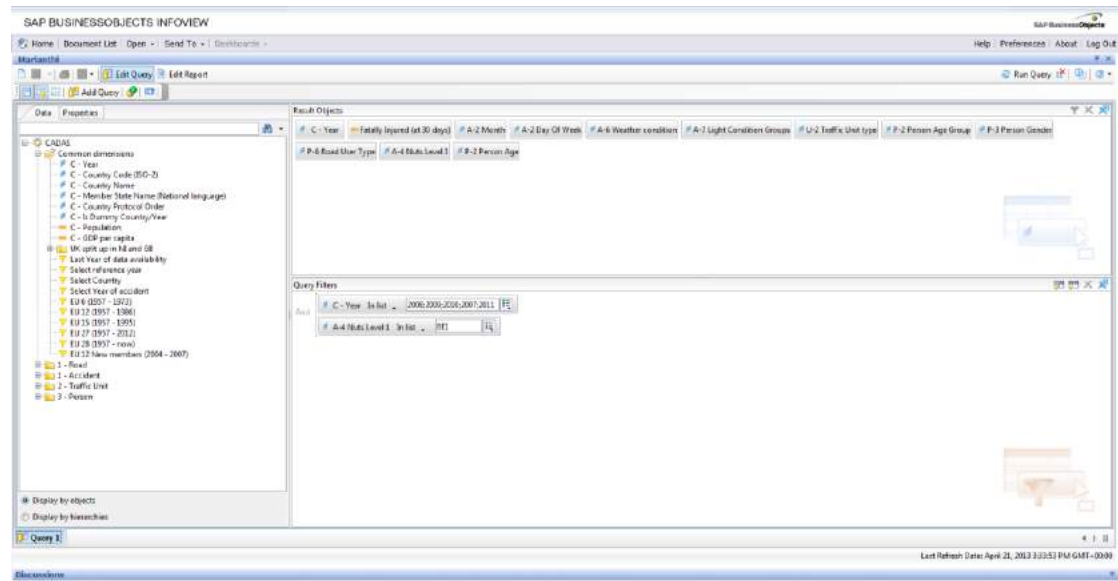
- **Τύπος οχήματος κυκλοφορίας:** Υποδηλώνει τον τύπο του οχήματος που ενεπλάκη στο οδικό ατύχημα. Η μεταβλητή αυτή είναι σημαντική για την αξιολόγηση των επιπέδων επικινδυνότητας για τους διαφορετικούς τύπους οχημάτων που κυκλοφορούν. Κάποιες από τις τιμές που λαμβάνει είναι: Ι.Χ., ταξί, αγροτικά μηχανήματα, λεωφορείο, πούλμαν, βαρέα οχήματα, φορτηγά κάτω των 3.5 τόνων, μοτοποδήλατα, μοτοσικλέτες, ποδήλατα, κ.ά.

Μεταβλητές σχετικές με τον παθόντα:

- **Ηλικία:** Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται στην ηλικία κάθε ατόμου που συμμετείχε στο οδικό ατύχημα. Είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μελέτη της επίδρασης της ηλικίας του ατόμου στο δείκτη επικινδυνότητας των οδικών ατυχημάτων.
- **Φύλο:** Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται στο φύλο κάθε ατόμου που συμμετείχε στο οδικό ατύχημα. Ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση της επιρροής του φύλου στο δείκτη επικινδυνότητας των οδικών ατυχημάτων.
- **Τύπος χρήστη της οδού:** Η μεταβλητή αυτή παρέχει την πληροφορία σχετικά με το αν ο παθών του οδικού ατυχήματος ήταν ο οδηγός του οχήματος, ένας από τους συνεπιβάτες ή ένας διερχόμενος πεζός.

Η μορφή του περιβάλλοντος αναζήτησης του προγράμματος CADaS της βάσης δεδομένων της CARE, για την αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε

στην παρούσα Διπλωματική Εργασία με τις μεταβλητές που αναλύθηκαν έχει την μορφή που φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Περιβάλλον αναζήτησης του προγράμματος CADaS της βάσης δεδομένων CARE

4.2.1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΩΝ

Κατόπιν της συλλογής των στοιχείων των οδικών ατυχημάτων, αναζητήθηκαν τα απαραίτητα **πληθυσμιακά στοιχεία**. Τα στοιχεία του πληθυσμού των ευρωπαϊκών Πρωτευουσών λήφθηκαν από την **EUROSTAT**, τη στατιστική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, σύμφωνα με την κωδικοποίηση NUTS που χρησιμοποιήθηκε και στο πρόγραμμα CADaS. Η EUROSTAT παρέχει στατιστικά στοιχεία, τα οποία αφορούν σε πολλούς τομείς δραστηριοτήτων, επιστημονικούς, οικονομικούς, μεταφορών, αναπτυξιακούς και κοινωνικούς. Από την υπηρεσία αυτή παρέχονται βάσεις δεδομένων με τα ετήσια στοιχεία της κάθε χώρας της Ε.Ε. αλλά και συγκρίσεις μεταξύ των χωρών και παρουσιάσεις της διαχρονικής εξέλιξης κάθε χώρας. Για την πόλη της Αθήνας, τα πληθυσμιακά στοιχεία λήφθηκαν από την **Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ)**. Ο πληθυσμός των Πρωτευουσών που χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική ανάλυση προέκυψε από το μέσο όρο της πενταετούς περιόδου για την οποία έγινε η μελέτη της Εργασίας.

Σε πρώτη φάση, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων που συλλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων που έχουν ήδη περιγραφεί. Ωστόσο, για την πληρότητα της ανάλυσης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας επιχειρήθηκε σε δεύτερη φάση, εκτός από τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων, να προστεθούν επιπλέον στα δεδομένα κάποιες μεταβλητές που να αναφέρονται σε **δείκτες χαρακτηριστικών** των Πρωτευουσών. Οι σχετικοί δείκτες λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων **Mobility in Cities** (Κινητικότητα στις Πόλεις), η οποία έχει δημιουργηθεί από τον **Διεθνή Οργανισμό Δημόσιων Μεταφορών UITP** (The International

Association of Public Transport). Η βάση δεδομένων Mobility in Cities αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση της κινητικότητας στις πόλεις και συνίσταται στη συλλογή και την ανάλυση δεικτών αστικής κινητικότητας σε 52 πόλεις παγκοσμίως. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι οι παρακάτω:

- Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)
- Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους
- Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων/ Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς

Οι τιμές που λαμβάνουν οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την κάθε Πρωτεύουσα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3).

Πόλη	Δείκτες		
	Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)	Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους	Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς
Αθήνα	65,70	2310	5,19
Βρυξέλλες	73,60	1940	4,39
Βουκουρέστι	51,08	2420	2,38
Βουδαπέστη	46,30	2430	0,83
Λισαβόνα	27,90	889	1,37
Λονδίνο	54,90	2030	1,75
Μαδρίτη	55,70	4870	2,40
Παρίσι	40,50	1980	2,26
Πράγα	44,00	2910	0,88

Πίνακας 4.3: Δείκτες χαρακτηριστικών των Πρωτευουσών

4.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΤΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Λόγω της ύπαρξης διαφορετικών συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων οδικών ατυχημάτων ανά χώρα, είναι δυνατό να παρουσιαστούν προβλήματα, που είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν στη διατύπωση εσφαλμένων συμπερασμάτων. 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 την ευρωπαϊκή βάση δεδομένων CARE και την ελληνική βάση δεδομένων Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α., οι οποίες παρέχουν στοιχεία που είναι ομοιόμορφα και συγκρίσιμα μεταξύ τους.

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τη συλλογή των δεδομένων ήταν η **μη διαθεσιμότητα** σε ορισμένες περιπτώσεις όλων των απαιτούμενων

στοιχείων. Στις περιπτώσεις που κάποια δεδομένα ήταν **ελλιπή**, δηλαδή η τιμή κάποιας μεταβλητής ήταν κενή ή αναγραφόταν «άγνωστο», τα δεδομένα αυτά δεν συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση για λόγους πληρότητας του στατιστικού μοντέλου.

4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα **βασικά στοιχεία** των Πρωτεύουσών (πληθυσμός και συνολικός αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα στην περίοδο αναφοράς) που συλλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων, οι οποίες περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4).

Α/Α	ΠΟΛΗ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΚΡΩΝ ΑΠΟ ΟΔΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΚΡΩΝ ΑΝΑ 1.000.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ
1	Αθήνα	3.089.698	986	319
2	Βρυξέλλες	1.074.911	149	139
3	Βουκουρέστι	1.942.141	607	313
4	Βουδαπέστη	1.706.059	405	237
5	Λισαβόνα	2.815.193	692	246
6	Λονδίνο	7.645.150	881	115
7	Μαδρίτη	6.248.372	946	151
8	Παρίσι	6.624.072	593	90
9	Πράγα	1.223.299	226	185

Πίνακας 4.4: Οι εννέα ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της Διπλωματικής Εργασίας και τα βασικά στοιχεία τους

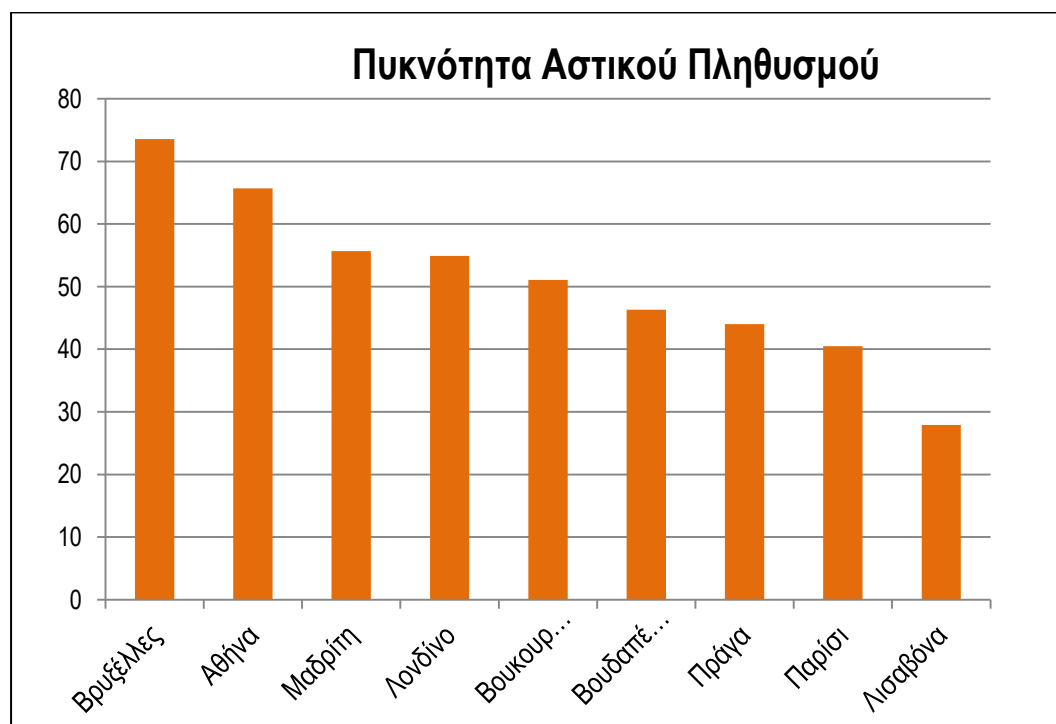
Επιπλέον, υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε διάγραμμα (Διάγραμμα 4.1) ο **δείκτης νεκρών ανά πληθυσμό** (1.000.000 κατοίκους) ως ένας αντιπροσωπευτικός δείκτης, που μπορεί να δώσει στον αναγνώστη μία πρώτη γενική εικόνα του επιπέδου οδικής ασφάλειας στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες της μελέτης.



Διάγραμμα 4.1: Δείκτης νεκρών ανά πληθυσμό στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες

Από την εξέταση του διαγράμματος αυτού προκύπτει ότι τις μεγαλύτερες τιμές σε αυτό το δείκτη παρουσιάζουν η Αθήνα, το Βουκουρέστι, η Λισαβόνα και η Βουδαπέστη. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο δείκτης της Αθήνας είναι περισσότερο από τριπλάσιος από τον δείκτη που έχει η πόλη του Παρισιού, που έχει τη μικρότερη τιμή στο δείκτη νεκρών ανά πληθυσμό.

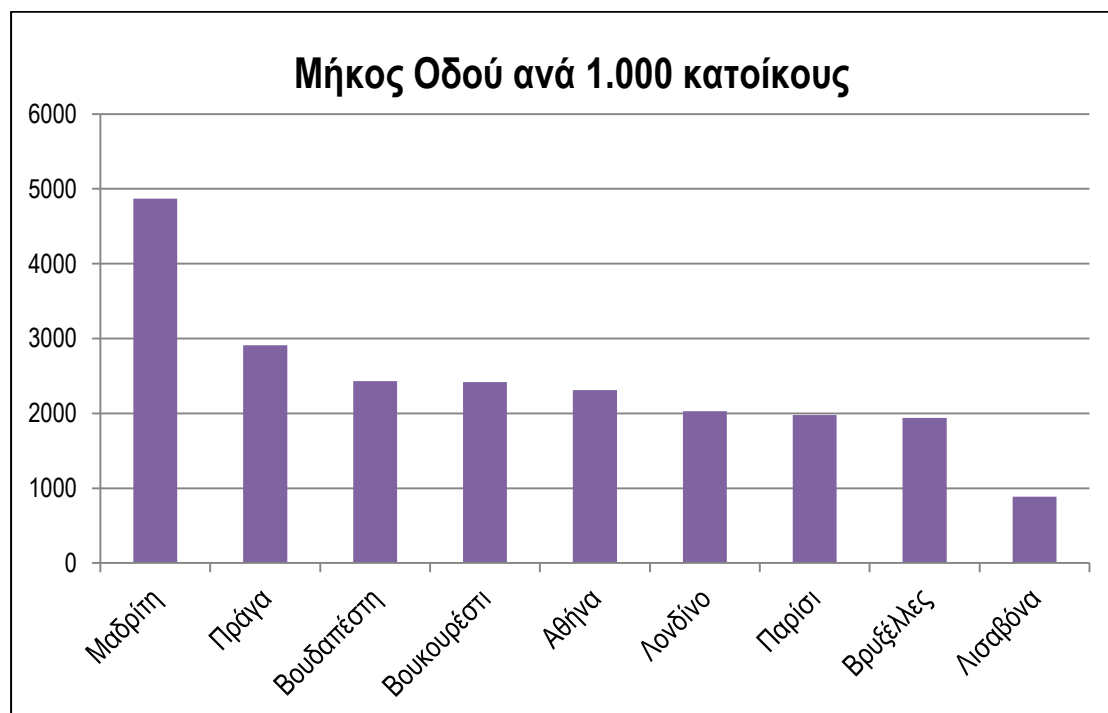
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε **γραφική απεικόνιση** οι δείκτες που λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων Mobility in Cities και αναφέρονται στα **χαρακτηριστικά των Πρωτευουσών** (Πίνακας 4.3). Ο κάθε δείκτης απεικονίζεται με τις τιμές που λαμβάνει για όλες τις Πρωτεύουσες σε φθίνουσα σειρά.



Διάγραμμα 4.2: Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/ εκτάρια) στην κάθε Πρωτεύουσα

Στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η **Πυκνότητα αστικού πληθυσμού (άτομα/ εκτάρια)** της κάθε Πρωτεύουσας. Όπως παρατηρείται, οι Βρυξέλλες καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη τιμή, σχεδόν τριπλάσια από τη Λισαβόνα, που καταλαμβάνει τη μικρότερη τιμή πυκνότητας αστικού πληθυσμού. Ύστερα, ακολουθούν η πόλη της Αθήνας και μετά η Μαδρίτη και το Λονδίνο, που έχουν περίπου ίσες τιμές.

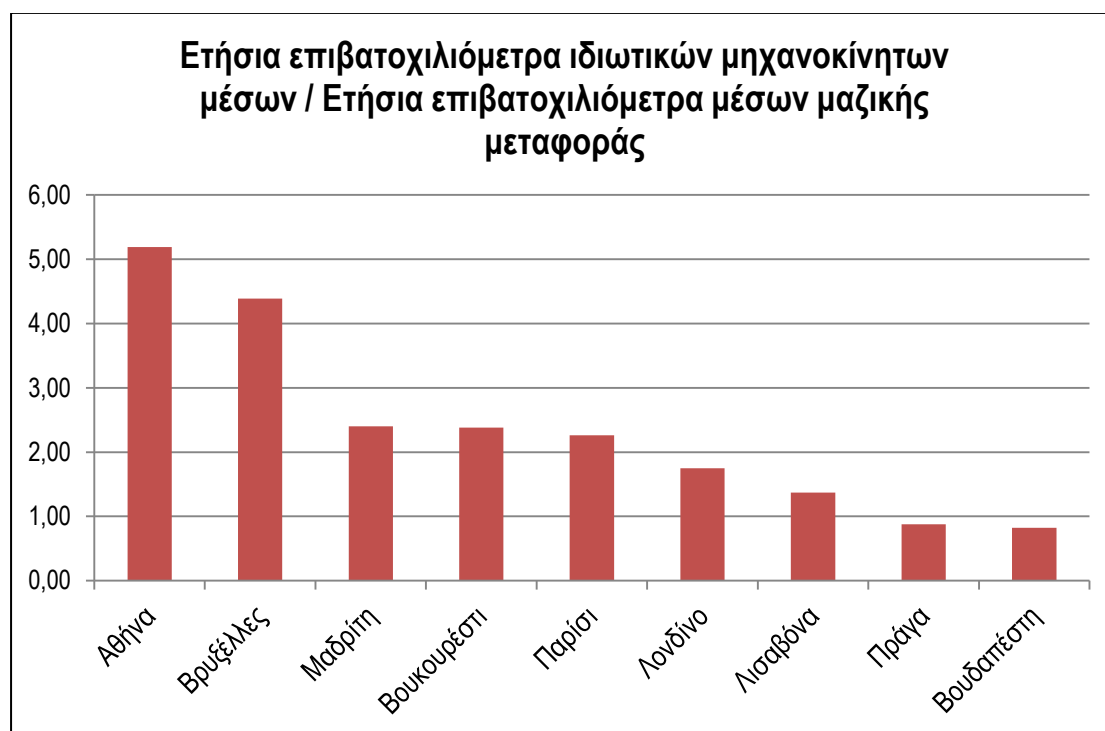
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε διάγραμμα (Διάγραμμα 4.3) οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης **Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους (m)** για όλες τις Πρωτεύουσες. Όπως παρατηρείται από την εξέταση αυτού του διαγράμματος, η πόλη της Μαδρίτης καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή του εν λόγω δείκτη με μήκος οδού ανά 1.000 κατοίκους 4870m, η οποία είναι σχεδόν πενταπλάσια από την τιμή που έχει αυτός ο δείκτης για την πόλη της Λισαβόνας, που βρίσκεται στην τελευταία θέση της κατάταξης με 889m μήκος οδού ανά 1.000 κατοίκους. Οι υπόλοιπες Πρωτεύουσες δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στις τιμές αυτού του δείκτη που κυμαίνονται από 1940m για τις Βρυξέλλες έως 2910m για την πόλη της Πράγα.



Διάγραμμα 4.3: Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους στην κάθε Πρωτεύουσα

Στο τελευταίο διάγραμμα (Διάγραμμα 4.4) παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη **Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς** σε φθίνουσα σειρά για όλες τις Πρωτεύουσες. Η εξέταση αυτού του δείκτη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς όπως παρατηρείται μόνο δύο Πρωτεύουσες, η Πράγα και η Βουδαπέστη, παρουσιάζουν τιμή του δείκτη μικρότερη από τη μονάδα, που σημαίνει ότι τα ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσω μαζικής μεταφοράς είναι περισσότερα από τα ετήσια επιβατοχιλιόμετρα των ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων. Σε όλες τις υπόλοιπες Πρωτεύουσες ο δείκτης είναι μεγαλύτερος από

τη μονάδα, που σημαίνει ότι τα ετήσια επιβατοχιλιόμετρα των ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων είναι περισσότερα από αυτά των μέσων μαζικής μεταφοράς. Πιο συγκεκριμένα, στη Μαδρίτη, το Βουκουρέστι και το Παρίσι τα ετήσια επιβατοχιλιόμετρα των ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων είναι σχεδόν διπλάσια από αυτά των μέσων μαζικής μεταφοράς, στις Βρυξέλλες σχεδόν τετραπλάσια και στην Αθήνα σχεδόν πενταπλάσια. Το γεγονός αυτό δείχνει την αυξημένη χρήση ΙΧ σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες.



Διάγραμμα 4.4: Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων/ Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς στην κάθε Πρωτεύουσα

4.3.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΝΙΑΙΑ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ωστόσο, η συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες δεν παρουσιάζεται αναλυτικά εδώ, καθώς αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου δεν αποτελεί η στατιστική ανάλυση, αλλά η επεξεργασία των στοιχείων που απαιτείται για αυτή. Έτσι, για την προετοιμασία των δεδομένων για τη στατιστική ανάλυση απαιτήθηκε σε πρώτη φάση η δημιουργία μιας **ενιαίας βάσης δεδομένων** με τη χρήση του προγράμματος **Microsoft Excel**. Η βάση αυτή περιέχει για κάθε περίπτωση οδικού ατυχήματος (Case ID) την Πρωτεύουσα στην οποία συνέβη το οδικό ατύχημα, με τα αντίστοιχα στοιχεία που συλλέχθηκαν για την Πρωτεύουσα (πληθυσμός, οδικοί δείκτες), και ακόμα, περιλαμβάνει τον αριθμό των νεκρών, με τα αντίστοιχα δεδομένα για τα χαρακτηριστικά των νεκρών και τις συνθήκες του

οδικού ατυχήματος, όπως προέκυψαν από τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν.

Κατόπιν της δημιουργίας της ενιαίας βάσης δεδομένων, έπρεπε να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να είναι δυνατή η χρήση της από το **ειδικό στατιστικό λογισμικό** για την εξαγωγή του μοντέλου. Το λογισμικό αυτό αναγνωρίζει **μόνο αριθμητικούς χαρακτήρες**. Για το λόγο αυτό, τα ονόματα των Πρωτευουσών αντικαταστάθηκαν με την αρίθμηση που αναγράφεται στον Πίνακα 4.4. Επιπλέον, στις τιμές των μεταβλητών πραγματοποιήθηκε η **κωδικοποίηση** που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.5.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΤΗ Β.Δ.	ΤΙΜΗ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
Μήνας	Month	1	μήνες 1,2,3,4,5,6,9,10,11,12
		2	μήνες 7,8
Ημέρα της Εβδομάδας	Day of Week	1	ημέρες 1,2,3,4,5
		2	ημέρες 6,7
Ηλικιακή Ομάδα	Person Age Group	1	<18
		2	18-29
		3	30-59
		4	>59
Φύλο	Person Gender	1	άνδρας
		2	γυναίκα
Τύπος Χρήστη της Οδού	Road User Type	1	οδηγός
		2	επιβάτης
		3	πεζός
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας	Traffic Unit Type	1	επιβατικό αυτοκίνητο
		2	μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο
		3	λεωφορείο, φορτηγό όχημα
		4	άλλο (τρακτέρ, ποδήλατο, πεζός)
Συνθήκες Φωτισμού	Light Condition	1	φως ημέρας
		2	σκοτάδι
Καιρός	Weather	1	ξηρός/ καθαρός
		2	βροχή, χιόνι

Πίνακας 4.5: Κωδικοποίηση μεταβλητών

Προκειμένου να γίνει χρήση των πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson, που περιγράφηκαν στο Θεωρητικό Υπόβαθρο (Ενότητα 3.7) απαιτείται η χρήση του **φυσικού λογαρίθμου** στην εξαρτημένη μεταβλητή και στον όρο αντιστάθμισης (offset). Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν και υπολογίστηκαν οι στήλες με το φυσικό λογάριθμο του αριθμού των νεκρών (logfat), που πρόκειται να αποτελέσει την εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου, και το

φυσικό λογάριθμο του πληθυσμού (logpop) και του μήκους του οδικού δικτύου (loglength), που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως όροι αντιστάθμισης.

Μετά και από αυτή τη διαδικασία δημιουργήθηκε η **τελική ενιαία βάση δεδομένων**, που είναι κατάλληλη για εισαγωγή και επεξεργασία στο ειδικό στατιστικό λογισμικό ανάλυσης και απόσπασμα της οποίας φαίνεται στην Εικόνα 4.2.

	Case ID	City	population	logpop	Month	Day of Week	Person Age Group	Person Gender	Road User Type	Traffic Unit Type	Weather	Fatally Injured (at 30 days)	logfat	Length of road per thousand inhabitants(m)	loglength	Urban population density (person/ha)	Annual private motorised passenger
1																	
2	1	1	3089698	14,94	1	1	1	1	1	2	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
3	2	1	3089698	14,94	1	1	1	1	1	4	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
4	3	1	3089698	14,94	1	1	1	1	2	1	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
5	4	1	3089698	14,94	1	1	1	1	3	2	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
6	5	1	3089698	14,94	1	1	1	1	3	3	1	2,00	0,69	2310	7,75	65,7	5,19
7	6	1	3089698	14,94	1	1	1	1	3	1	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
8	7	1	3089698	14,94	1	1	1	1	3	1	1	2,00	0,69	2310	7,75	65,7	5,19
9	8	1	3089698	14,94	1	1	1	2	2	2	1	2,00	0,69	2310	7,75	65,7	5,19
10	9	1	3089698	14,94	1	1	1	2	2	1	1	2,00	0,69	2310	7,75	65,7	5,19
11	10	1	3089698	14,94	1	1	1	2	3	2	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
12	11	1	3089698	14,94	1	1	1	2	3	3	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
13	12	1	3089698	14,94	1	1	1	2	3	3	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
14	13	1	3089698	14,94	1	1	1	2	3	1	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
15	14	1	3089698	14,94	1	1	1	2	3	1	1	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
16	15	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	2	1	37,00	3,61	2310	7,75	65,7	5,19
17	16	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	2	2	2,00	0,69	2310	7,75	65,7	5,19
18	17	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	2	1	56,00	4,03	2310	7,75	65,7	5,19
19	18	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	2	2	3,00	1,10	2310	7,75	65,7	5,19
20	19	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	1	1	6,00	1,79	2310	7,75	65,7	5,19
21	20	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	1	2	1,00	0,00	2310	7,75	65,7	5,19
22	21	1	3089698	14,94	1	1	2	1	1	1	1	16,00	2,77	2310	7,75	65,7	5,19

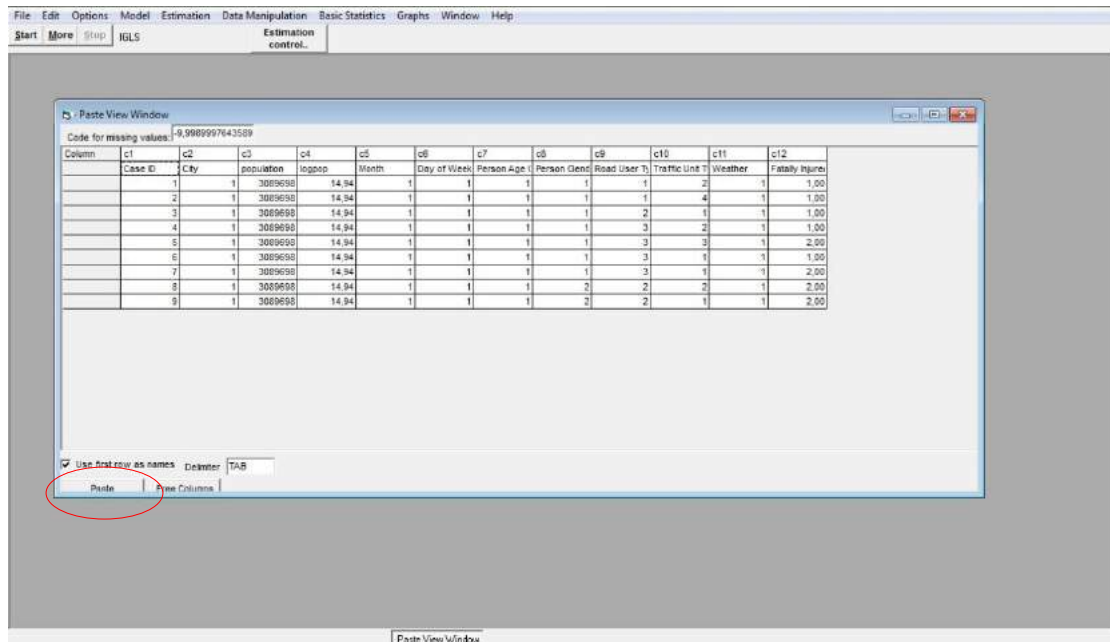
Εικόνα 4.2: Απόσπασμα της ενιαίας βάσης δεδομένων

4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μεθοδολογία στατιστικής επεξεργασίας που επιλέχθηκε είναι τα **πολυεπίπεδα μοντέλα ανάλυσης**. Για το λόγο αυτό, η στατιστική ανάλυση των στοιχείων έγινε με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού **MLwiN 2.27**, που είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων. Οπότε, μετά τη δημιουργία της ενιαίας βάσης δεδομένων, ακολούθησε η εισαγωγή της στο λογισμικό MLwiN, έτσι ώστε να αναπτυχθεί το απαιτούμενο στατιστικό μοντέλο ανάλυσης. Το μοντέλο θα έχει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό των νεκρών από οδικά ατυχήματα και ανεξάρτητες μεταβλητές τα στοιχεία που αφορούν στα οδικά ατυχήματα και στα χαρακτηριστικά των Πρωτευουσών.

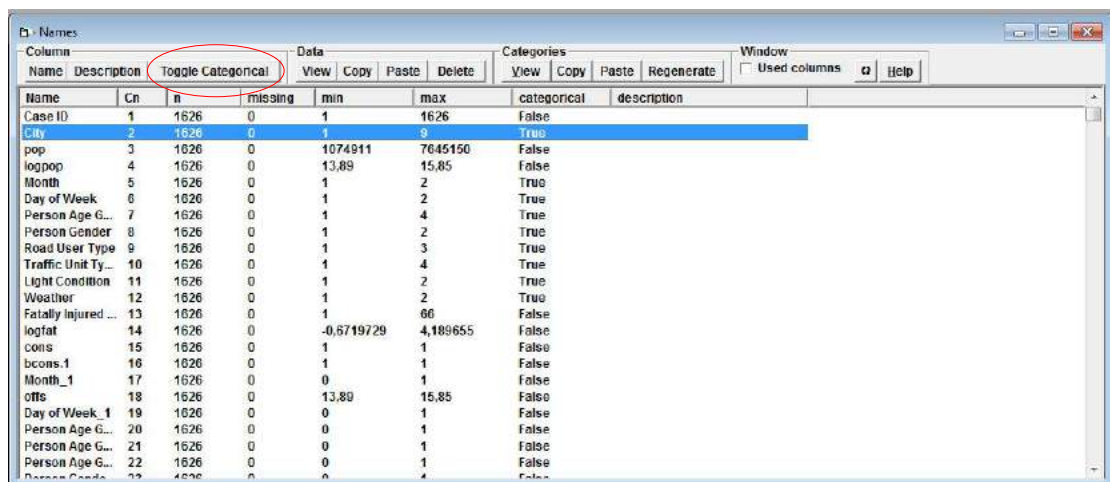
Το σύνολο των βημάτων που ακολουθήθηκε για τη στατιστική επεξεργασία στο λογισμικό MLwiN παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω και περιλαμβάνει τα αντίστοιχα στιγμιότυπα από το πρόγραμμα, τα οποία θα συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας από τον αναγνώστη.

Αρχικά, πραγματοποιείται **Αντιγραφή και Επικόλληση** της ενιαίας βάσης δεδομένων από το πρόγραμμα Microsoft Excel στο κεντρικό παράθυρο του προγράμματος MLwiN, πατώντας την επιλογή **Paste**.



Εικόνα 4.3: Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα MLwiN

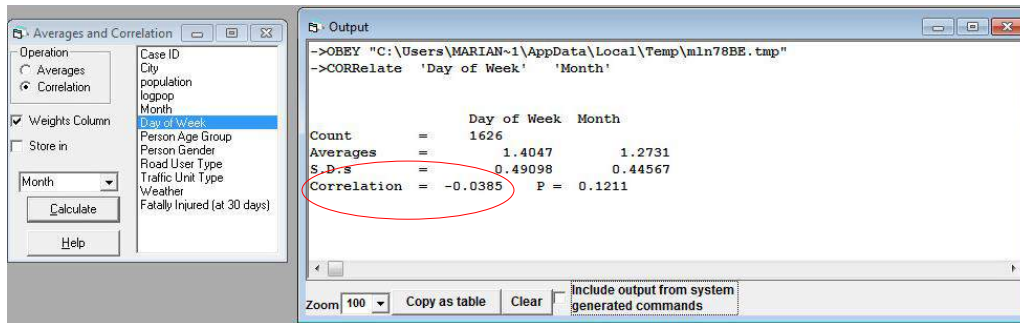
Όταν ολοκληρωθεί η επικόλληση των δεδομένων, εμφανίζεται το παράθυρο Names, όπου δίνεται η σύνοψη των δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνει τώρα το φύλλο εργασίας. Στο παράθυρο αυτό πραγματοποιείται ο **διαχωρισμός των μεταβλητών** σε κατηγορικές και ποσοτικές με την επιλογή Toggle Categorical.



Εικόνα 4.4: Διαχωρισμός μεταβλητών σε κατηγορικές και ποσοτικές

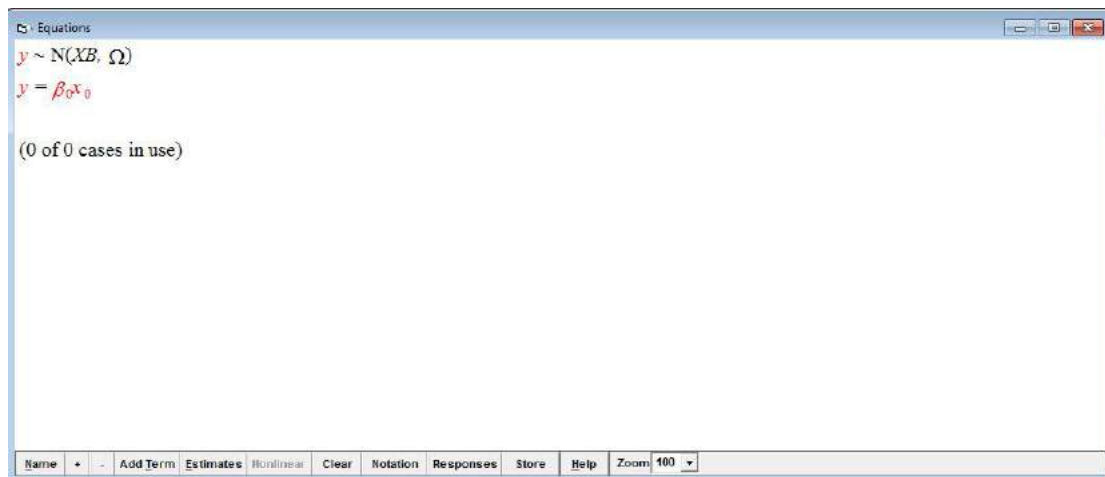
Για τον **έλεγχο της συσχέτισης** που παρουσιάζουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές μεταξύ τους χρησιμοποιείται από τη γραμμή του κεντρικού μενού η επιλογή Basic Statistics → **Averages and Correlations**. Ακολουθεί το

τσεκάρισμα της επιλογής Correlation και Weights Column, επιλέγεται το ζεύγος των μεταβλητών, των οποίων τη συσχέτιση θέλουμε να εξετάσουμε, και πατώντας την επιλογή Calculate υπολογίζεται η ζητούμενη συσχέτιση από το πρόγραμμα.



Εικόνα 4.5: Συσχέτιση μεταβλητών

Αφού πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της συσχέτισης των μεταβλητών, ακολουθεί η **ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου** με την επιλογή από τη γραμμή του κεντρικού μενού του Model → **Equations**. Με αυτόν τον τρόπο ανοίγει το παράθυρο Equations, το οποίο χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του στατιστικού μοντέλου και την επίβλεψη των αποτελεσμάτων του.



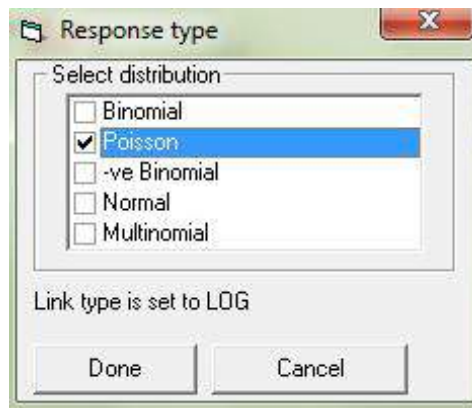
Εικόνα 4.6: Κεντρικό παράθυρο ανάπτυξης του στατιστικού μοντέλου

Σε αυτό το παράθυρο, κάνοντας αριστερό κλικ πάνω στο y , δίνεται η δυνατότητα επιλογής της **εξαρτημένης μεταβλητής y** και των **επιπέδων ανάλυσης**.



Εικόνα 4.7: Καθορισμός εξαρτημένης μεταβλητής y και επιπέδων ανάλυσης

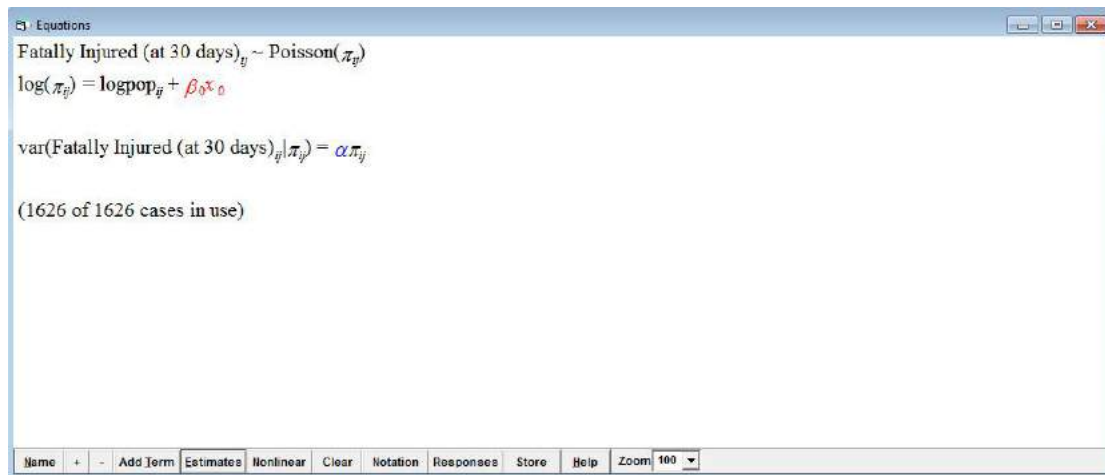
Επιπλέον, στο παράθυρο Equations κάνοντας αριστερό κλικ πάνω στο N στη σχέση $y \sim N(XB, \Omega)$, δίνεται η δυνατότητα επιλογής της επιθυμητής **στατιστικής κατανομής** που ακολουθούν τα δεδομένα της ανάλυσης. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιλέχθηκε η κατανομή Poisson.



Εικόνα 4.8: Επιλογή στατιστικής κατανομής

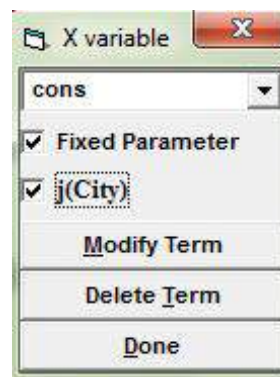
Στην περίπτωση της επιλογής της στατιστικής κατανομής Poisson πρέπει να επιλεγεί ο **όρος αντιστάθμισης (offset)** (Ενότητα 3.7). Κάνοντας αριστερό κλικ στο π_{ij} από το $\log(\pi_{ij})$ ανοίγει το παράθυρο specify offset, στο οποίο καθορίζεται ο φυσικός λογάριθμος της μεταβλητής που θα χρησιμοποιηθεί ως όρος αντιστάθμισης στο στατιστικό μοντέλο Poisson (π.χ. εδώ χρησιμοποιήθηκε ο λογάριθμος του πληθυσμού - logpop).

Μια άλλη επιλογή που δίνεται με τη χρήση της κατανομής Poisson είναι η χρήση της **extra Poisson** διακύμανσης στα δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή Nonlinear στο κάτω μέρος του παράθυρου Equations. Στη συνέχεια, εμφανίζεται το παράθυρο Nonlinear Estimation, στο οποίο επιλέγονται τα extra Poisson, 2nd Order, PQL. Στο σημείο αυτό το παράθυρο Equations πρέπει να έχει την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 4.9: Μορφή παράθυρου Equations μετά τις επιλογές της κατανομής Poisson

Αφού ολοκληρωθούν τα βήματα καθορισμού της εξαρτημένης μεταβλητής και της επιλογής της στατιστικής κατανομής, μπορεί να ακολουθήσει η επεξεργασία του **δεξιού μέρους της εξίσωσης**. Αρχικά, κάνοντας αριστερό κλικ στον όρο x_0 επιλέγεται ως *X variable* η σταθερή μεταβλητή *cons* και στη συνέχεια κλικάρεται η επιλογή j (εδώ j (*City*)), προκειμένου να καθοριστεί η διακύμανση του **σταθερού όρου** στο δεύτερο επίπεδο της ανάλυσης, όπως πρέπει να ισχύει στα πολυεπίπεδα μοντέλα Poisson (Ενότητα 3.7).

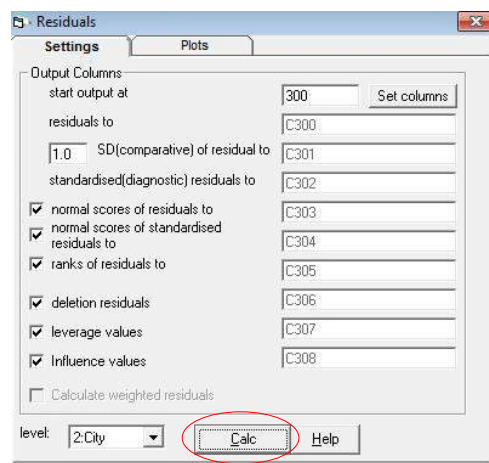


Εικόνα 4.10: Επιλογή διακύμανσης του σταθερού όρου στο 2ο επίπεδο ανάλυσης

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η προσθήκη των **ανεξάρτητων μεταβλητών** με την επιλογή **Add Term**, με την οποία δίνεται η δυνατότητα να προστεθούν οι ανεξάρτητες μεταβλητές μία-μία και να επιλεγεί η κατηγορία αναφοράς τους. Μετά την προσθήκη κάθε μεταβλητής επιλέγεται το **Start**, έτσι ώστε να ξεκινήσει η ανάλυση που θα παράγει το μοντέλο. Όταν έχουν προστεθεί όλες οι μεταβλητές, επιλέγοντας ξανά το Start ή το More, θα προκύψει το τελικό μοντέλο, η μορφή του οποίου θα είναι όπως φαίνεται παρακάτω:

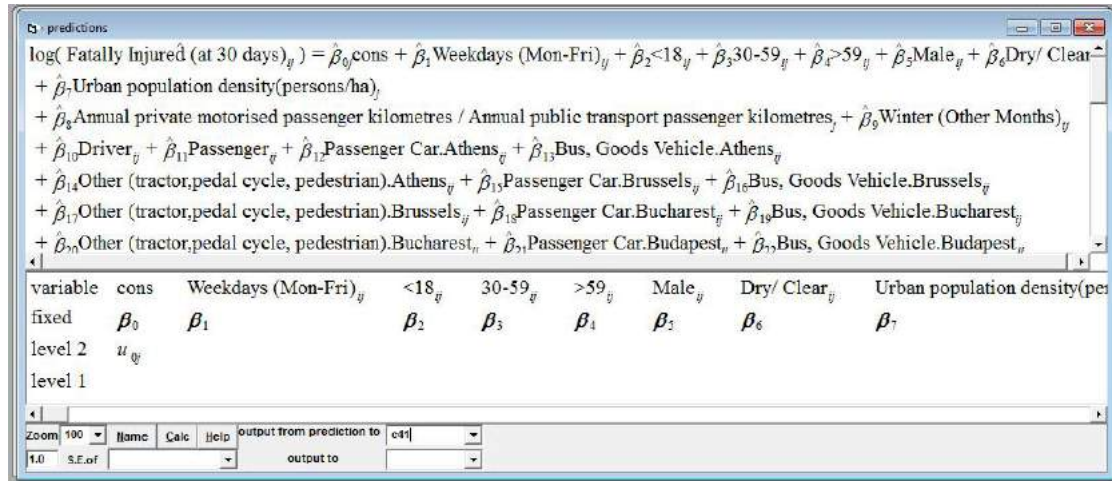
Εικόνα 4.11: Τελικό μοντέλο στατιστικής ανάλυσης

Προκειμένου να υπολογιστούν τα **κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου** χρησιμοποιείται η επιλογή Model → **Residuals**. Αρχικά, επιλέγεται το επιθυμητό επίπεδο που θα υπολογιστούν τα κατάλοιπα (εδώ level: 2: City) και στη συνέχεια με τις επιλογές Set columns και Calc πραγματοποιείται ο υπολογισμός τους.



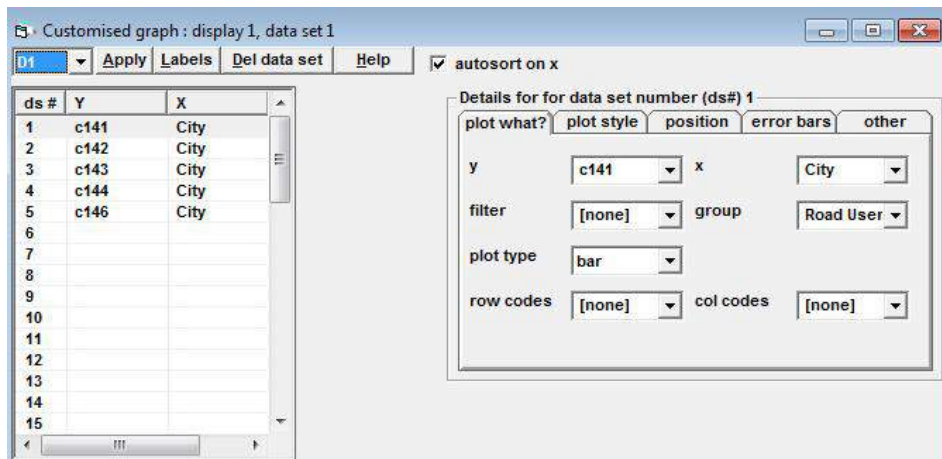
Εικόνα 4.12: Υπολογισμός καταλοίπων του στατιστικού μοντέλου

Για τον υπολογισμό των **προβλέψεων του μοντέλου** χρησιμοποιείται η επιλογή Model → **Predictions**. Επιλέγονται οι παράμετροι που θα συμπεριληφθούν στις προβλέψεις και η στήλη που θα αποθηκευτούν και στη συνέχεια επιλέγεται το Calc. Το παράθυρο Predictions έχει την παρακάτω μορφή:



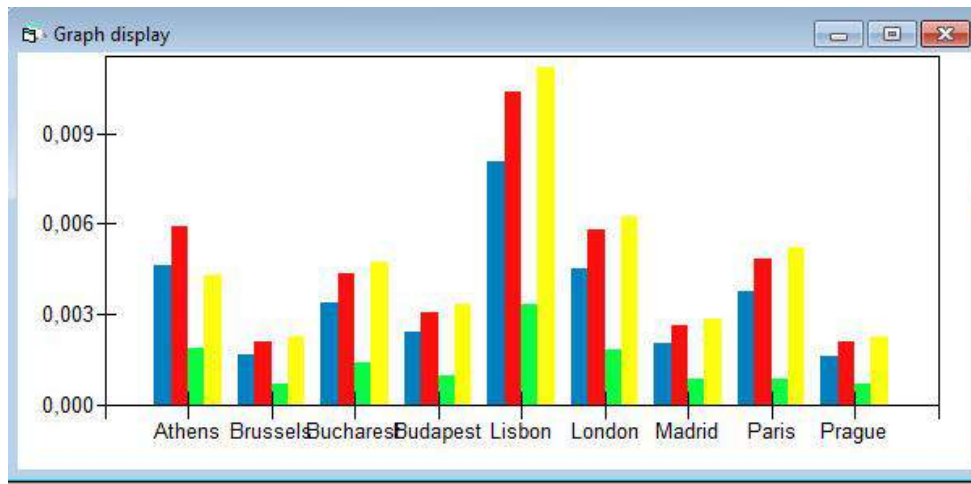
Εικόνα 4.13: Υπολογισμός προβλέψεων του στατιστικού μοντέλου

Ένας τρόπος εκτίμησης των προβλέψεων είναι η **γραφική τους απεικόνιση**. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής Graphs → **Customised Graphs**. Το παράθυρο των διαγραμμάτων έχει την εξής μορφή:



Εικόνα 4.14: Παράθυρο διαγραμμάτων

Ένα παράδειγμα της μορφής των διαγραμμάτων που μπορεί να προκύψουν από το παράθυρο Customised Graphs φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 4.15: Παράδειγμα συγκριτικού διαγράμματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας, καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Μετά τη συλλογή των στοιχείων από τις βάσεις δεδομένων και την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα Microsoft Excel, ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση** των δεδομένων στο πρόγραμμα MLwiN, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η στατιστική ανάλυση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε με πολυεπίπεδα μοντέλα Poisson.

Περιγράφονται, επομένως, αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης των κατάλληλων μοντέλων. Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις, από τις οποίες προέκυψαν τα αντίστοιχα μοντέλα. Αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι **στατιστικοί έλεγχοι** που απαιτούνται για την αποδοχή ή μη των μοντέλων.

Τέλος, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο φάσεις της στατιστικής επεξεργασίας και επιχειρείται η εξήγηση τους με βάση τη λογική, την εμπειρία και στοιχεία από τη σχετική βιβλιογραφία.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει ακόμα, κάποια σχετικά γραφήματα και συγκριτικά διαγράμματα που επιτρέπουν τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων και τη σύγκριση των Πρωτευουσών.

5.2 1^Η ΦΑΣΗ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

5.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Στην **πρώτη φάση** της ανάλυσης επιχειρήθηκε η διερεύνηση της σχέσης του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων με χρήση της μεθόδου των πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson.

Όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, αφού συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία από τις βάσεις δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία τους στο πρόγραμμα Microsoft Excel και η διαμόρφωση τους σε μία ενιαία βάση δεδομένων.

Ύστερα, σύμφωνα με τα βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 4.4, ακολούθησε η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης MLwiN, με στόχο την ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου που περιγράφει τη σχέση του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων. Στην αρχή, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή της ενιαίας βάσης δεδομένων στο φύλλο εργασίας του ειδικού λογισμικού στατιστικής ανάλυσης και στη συνέχεια, ακολούθησε το βήμα διαχωρισμού των μεταβλητών σε κατηγορικές και ποσοτικές. Στο συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μεταβλητές:

ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ:

Fatally Injured (at 30 days): Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)

ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ:

Month: Μήνας

Day of Week: Ημέρα της Εβδομάδας

Person Age Group: Ηλικιακή Ομάδα

Person Gender: Φύλο

Road User Type: Τύπος Χρήστη της Οδού

Traffic Unit Type: Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας

Light Condition: Συνθήκες Φωτισμού

Weather: Καιρός

ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

1^ο Επίπεδο → **Case ID:** Περίπτωση Οδικού Ατυχήματος

2^ο Επίπεδο → **City:** Πόλη

ΟΡΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ (OFFSET) ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ POISSON:

LogPop: Φυσικός Λογάριθμος του Πληθυσμού των Πρωτευουσών

Από τις ανωτέρω μεταβλητές, ορίστηκαν ως **κατηγορικές** (με χρήση της επιλογής Toggle Categorical (Βλ. Ενότητα 4.4)) οι μεταβλητές: City, Month, Day of Week, Person Age Group, Person Gender, Road User Type, Traffic Unit Type, Light Condition, Weather. Οι μεταβλητές αυτές εκφράζουν κατηγορίες χωρίς κάποια διαβάθμιση, είναι δηλαδή κατηγορικές ονομαστικές (categorical nominal) (Ενότητα 3.2). Οι υπόλοιπες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο στατιστικό μοντέλο είναι ποσοτικές.

5.2.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Το επόμενο βήμα αφορά στη **διερεύνηση της συσχέτισης των μεταβλητών**. Εκείνο που επιδιώκεται είναι η μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η διαδικασία υπολογισμού της συσχέτισης ανάμεσα σε ζευγάρια μεταβλητών πραγματοποιείται μέσω της επιλογής Basic Statistics → Averages and Correlations → Correlation → Calculate (Ενότητα 4.4). Απόλυτες τιμές των συντελεστών συσχέτισης κοντά στη μονάδα αποδεικνύουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν φανερώνουν ανύπαρκτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας διερεύνησης της συσχέτισης για τις μεταβλητές, φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.1).

<u>Συσχέτιση μεταβλητών</u>	Month	Day of Week	Person Age Group	Person Gender	Road User Type	Traffic Unit Type	Light Condition	Weather	Fatally Injured (at 30 days)
Month	1,000	-0,039	0,021	-0,048	-0,035	0,001	-0,044	-0,172	-0,144
Day of Week	-0,039	1,000	-0,025	-0,021	0,015	-0,065	0,046	-0,033	-0,123
Person Age Group	0,021	-0,025	1,000	0,034	0,073	0,108	-0,093	0,033	0,118
Person Gender	-0,048	-0,021	0,034	1,000	0,219	-0,008	-0,017	-0,023	-0,092
Road User Type	-0,035	0,015	0,073	0,219	1,000	0,477	0,039	0,019	0,036
Traffic Unit Type	0,001	-0,065	0,108	-0,008	0,477	1,000	-0,075	0,035	0,060
Light Condition	-0,044	0,046	-0,093	-0,017	0,039	-0,075	1,000	0,052	-0,015
Weather	-0,172	-0,033	0,033	-0,023	0,019	0,035	0,052	1,000	-0,162
Fatally Injured (at 30 days)	-0,144	-0,123	0,118	-0,092	0,036	0,060	-0,015	-0,162	1,000

Πίνακας 5.1: Πίνακας συσχέτισης μεταβλητών

Όπως υπολογίσθηκε και φαίνεται στον Πίνακα 5.1 δεν παρατηρείται συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01, οπότε οι μεταβλητές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο.

5.2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ POISSON

Το επόμενο στάδιο της ανάλυσης συνίσταται στην επιλογή του είδους της παλινδρόμησης, με στόχο την ανάπτυξη των κατάλληλων μαθηματικών

μοντέλων. Η ανάλυση στοχεύει στην εξέταση της επίδρασης των διάφορων χαρακτηριστικών του οχήματος κυκλοφορίας, του παθόντα, του οδικού περιβάλλοντος και των χαρακτηριστικών των Πρωτεύουσών στα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα στις ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Επισημαίνεται ότι ακολουθήθηκε μια σταδιακή διαδικασία για την επιλογή των μεταβλητών και την ανάπτυξη των κατάλληλων μοντέλων.

Όπως έχει αναφερθεί (Ενότητα 3.7), για τον πιο σωστό και κατάλληλο χειρισμό της ιεραρχικής δομής των δεδομένων οδικής ασφάλειας και της εξάρτησης που προκύπτει ανάμεσα σε αυτά, επιλέχθηκαν ως τεχνική ανάλυση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας τα **πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης**. Τα πολυεπίπεδα μοντέλα επιτρέπουν τον **καθορισμό της ιεραρχικής διάταξης** μέσα στο μοντέλο και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν σωστά οι μεταβλητές πρόβλεψης που χαρακτηρίζουν τα διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, χωρίς να χρειάζεται τα στοιχεία να εξεταστούν συγκεντρωτικά ή εξατομικευμένα (Dupont et al., 2013).

Η ανάλυση με πολυεπίπεδα μοντέλα:

- i) επιτρέπει τη βελτίωση της προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα
- ii) επιτρέπει την αναγνώριση και την εξήγηση τυχαίων διακυμάνσεων σε συγκεκριμένα επίπεδα της ιεραρχίας που εξετάζεται
- iii) μπορεί να αποφέρει διαφορετικά (πιο σωστά) συμπεράσματα από ότι τα μοντέλα ενός επιπέδου σε σχέση με τα επίπεδα σημαντικότητας των παραμέτρων.

Επιπλέον, τα πολυεπίπεδα μοντέλα, ακόμα και τα πιο απλά, επιτρέπουν μία πιο εμπλουτισμένη και λεπτομερή ανάλυση πάνω στο θέμα της έρευνας. Πολλά προβλήματα στην έρευνα της οδικής ασφάλειας δεν μπορούν να κατανοηθούν σωστά, εάν η ανάλυση πραγματοποιείται μόνο σε ένα επίπεδο, καθώς η ερμηνεία των αποτελεσμάτων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ιεραρχική δομή των δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε **εσφαλμένα συμπεράσματα**. Το πιο συνήθες σφάλμα έγκειται στο να θεωρείται ότι οι σχέσεις που παρατηρούνται σε δοθέντα επίπεδα της ιεραρχίας ισχύουν και για άλλα επίπεδα, κάτι που μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση των πολυεπίπεδων μοντέλων. Για τους λόγους αυτούς, τα πολυεπίπεδα μοντέλα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην έρευνα της οδικής ασφάλειας και χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Όσον αφορά στις **εξισώσεις** των πολυεπίπεδων μοντέλων, όταν τα δεδομένα έχουν γεωγραφική ιεραρχία μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι εμπίπτουν στην ευρύτερη οικογένεια των χωρικών αναλύσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τον στόχο τους να συμπεριλάβουν τη χωρική εξάρτηση μεταξύ των δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση, η χωρική εξάρτηση αναφέρεται σε μια γενική συνδιακύμανση των ιδιοτήτων εντός ενός γεωγραφικού χώρου. Συνήθως τότε, η **παλινδρόμηση Poisson** είναι η κατάλληλη για να χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις των ατυχημάτων, με συνεκτίμηση μιας παραμέτρου (π.χ. τον πληθυσμό N_i) ως όρο αντιστάθμισης (offset).

Στην περίπτωση των **πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson** που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Εργασία, στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκεται μία καταμετρήση των περιπτώσεων των οδικών ατυχημάτων και οι περιπτώσεις αυτές ταξινομούνται σε ένα υψηλότερο επίπεδο (το επίπεδο των πόλεων), εντός του οποίου θεωρείται ότι η πιθανότητα απόκρισης τους μπορεί να ποικίλλει. Το πολυεπίπεδο μοντέλο που προσαρμόζεται στα δεδομένα υπολογίζεται με βάση την επαναληπτική γενικευμένη εκτίμηση των ελαχίστων τετραγώνων. Υποθέτοντας πολυμεταβλητή κανονικότητα, οι υπολογισμοί εναλλάσσονται μεταξύ των εκτιμήσεων των σταθερών και των τυχαίων διανυσμάτων των παραμέτρων μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση (Langford et al., 1998). Θεωρώντας ότι το διάνυσμα απόκρισης (O) των παρατηρούμενων περιπτώσεων ακολουθεί την κατανομή Poisson, είναι αναγκαίο να συμπεριληφθεί μια αντιστάθμιση (offset) των αναμενόμενων αριθμών των περιπτώσεων του μοντέλου, έτσι ώστε:

$$O_{ij} \sim \text{Poisson}(\pi_{ij} E_{ij})$$

$$\log(\pi_{ij}) = \beta_{0j} + \beta_{1j} x_j$$

$$\beta_{0j} = \beta_0 + u_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \beta_1 + u_{1j}$$

όπου, το E_{ij} αντιπροσωπεύει τον αναμενόμενο αριθμό των περιπτώσεων για κάθε μονάδα στο πρώτο επίπεδο (Rasbash et al., 2000).

Η προσθήκη του 2^{ου} επιπέδου στην εξίσωση πραγματοποιείται επιτρέποντας στο **σταθερό συντελεστή β_{0j}** για την κάθε μονάδα j του 2^{ου} επιπέδου, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία για την κάθε Πρωτεύουσα j , να αποκλίνει, δηλαδή η τιμή του να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την συνολική κατά μία ποσότητα u_{0j} . Οι αποκλίσεις αυτές από τον συνολικό σταθερό συντελεστή ονομάζονται κατάλοιπα **του 2^{ου} επιπέδου (level 2 residuals)**. Τα κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου μπορούν να θεωρηθούν ως οι επιδράσεις των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις Πρωτεύουσες. Η εκτίμηση των καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για τη σύγκριση των μονάδων του 2^{ου} επιπέδου, δηλαδή των Πρωτεύουσών, και ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και τη διάγνωση του μοντέλου.

Η κατανομή Poisson χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει το πρώτο επίπεδο διακύμανσης με μια λογαριθμική συνάρτηση, θεωρώντας ότι οι τυχαίες παράμετροι στα υψηλότερα επίπεδα, είναι κανονικά πολυμεταβλητές. Μια αποτελεσματική διαδικασία εκτίμησης για αυτό το μη γραμμικό μοντέλο είναι η μέθοδος πρόβλεψης quasi-likelihood, όπου η αξιολόγηση των τυχαίων παραμέτρων, και των σχετικών καταλοίπων, γίνεται χρησιμοποιώντας το ανάπτυγμα της σειράς Taylor γύρω από τις ισχύουσες τιμές των σταθερών και των τυχαίων τμημάτων του μοντέλου (Langford et al., 1998).

Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι δεν μπορεί να οριστεί τυχαία δομή στο χαμηλότερο επίπεδο ενός πολυεπίπεδου μοντέλου Poisson. Συγκεκριμένα, δεν υπάρχει τίποτα τυχαίο να εκτιμηθεί, καθώς στα μοντέλα Poisson η σχέση μεταξύ της μέσης τιμής και της διακύμανσης είναι γνωστή και έτσι δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστούν ξεχωριστά. Αντίθετα, στα κλασσικά γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης δεν ισχύει το ίδιο, αλλά η μέση τιμή του τυπικού σφάλματος θεωρείται ίση με μηδέν και η διακύμανση είναι άγνωστη και πρέπει να υπολογιστεί. Κατά συνέπεια, η τυχαία διακύμανση του σταθερού όρου στο πρώτο επίπεδο θα είχε ενδιαφέρον σε ένα κανονικό μοντέλο, αλλά όχι σε ένα μοντέλο Poisson.

Η υπόθεση της διακύμανσης των περιπτώσεων στα μοντέλα Poisson μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω. Μία παράμετρος διασποράς υπολογίζεται στο πρώτο επίπεδο, έτσι ώστε:

$$\text{var}(O_{ij}\pi_{ij}) = \sigma_1^2 \pi_{ij} E_{ij}$$

Εάν $\sigma_1^2 = 1$, τότε η διακύμανση θεωρείται ότι είναι Poisson, εάν $\sigma_1^2 > 1$, τότε υπάρχει **extra-Poisson** διακύμανση (**υπερδιασπορά**), και εάν $\sigma_1^2 < 1$ τότε το μοντέλο έχει υποδιασπορά, όπως μπορεί να συμβεί αν πολλές από τις παρατηρήσεις είναι μηδενικές. Ωστόσο, πολύ συχνά μπορεί για θεωρητικούς λόγους να υποθεθεί extra-Poisson διακύμανση στα δεδομένα (Dean, 1992). Για παράδειγμα, εάν οι παρατηρήσεις προς εξέταση προέρχονται από σημαντικά ετερογενείς πληθυσμούς, τότε οι αναμενόμενες τιμές μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Ένας τρόπος αντιμετώπισης της υπερδιασποράς, που εφαρμόστηκε και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, είναι η θεώρηση μιας επιπρόσθετης παραμέτρου a , η οποία οδηγεί σε extra-Poisson ή quasi-Poisson κατανομή, έτσι ώστε:

$$\text{var}(O_{ij}\pi_{ij}) = a\sigma_1^2 \pi_{ij} E_{ij}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αν αγνοηθεί μια extra-Poisson διακύμανση δεν θα επηρεαστεί σημαντικά η εκτίμηση των παραμέτρων, αλλά τα σχετικά επίπεδα σημαντικότητας μπορεί να επηρεαστούν ελαφρώς (Dean, 1992).

5.2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ POISSON

Προκειμένου να κατασκευασθούν τα μοντέλα που παρουσιάζονται στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ένας **μεγάλος αριθμός δοκιμών** μέχρι τα αποτελέσματα που προέκυψαν να θεωρηθούν αξιόπιστα και ικανοποιητικά. Τα τελικά αποτελέσματα της Διπλωματικής Εργασίας παρήχθησαν μέσα από μία συνεχή διαδικασία αλλαγής της δομής των μεταβλητών και επανάληψης της διαδικασίας που εκτελούνταν στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παρήγαγε κάθε νέα προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν **μαθηματικά και ποιοτικά κριτήρια** (Ενότητα 3.6). Τα

ποιοτικά κριτήρια αφορούν στη δυνατή ερμηνεία του μοντέλου με βάση τη λογική, την εμπειρία και στοιχεία από τη σχετική βιβλιογραφία. Αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις τις οποίες θα πρέπει να πληρεί ένα μοντέλο για να γίνει αποδεκτό και ταυτόχρονα επαρκείς λόγους για την απόρριψη ενός άλλου, ακόμη και αν τα αντίστοιχα στατιστικά κριτήρια είναι ικανοποιητικά. Τα μαθηματικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός μοντέλου **μετά τη διαμόρφωσή** του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i της εξίσωσης και των αντίστοιχων επιπέδων σημαντικότητας. Οι δείκτες αυτοί απευθύνονται είτε στη συνολική εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, είτε στην τιμή του συντελεστή της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά.

Όσον αφορά στους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των προσήμων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης.

Η **στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου** αξιολογείται μέσω του ελέγχου $t - test$ (κριτήριο t της κατανομής student). Με τον δείκτη t προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών, καθορίζεται δηλαδή ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής t εκφράζεται με τη σχέση:

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

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

Βάσει της ανωτέρω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής t_{stat} και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t , τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία λήφθηκε δείκτης $t^* = 1,645$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Εκτός από αυτούς τους ελέγχους, σημαντικό ρόλο στην επιλογή των μεταβλητών των μοντέλων κατέχει η **πιθανοφάνεια**. Για την εκτίμηση της επιρροής των παραμέτρων χρησιμοποιείται η μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανοφάνειας. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια προσπαθούμε ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας $L = -\log(\text{likelihood})$ να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος και προτιμούνται τα μοντέλα με μικρότερο λογάριθμο της συνάρτησης πιθανοφάνειας L . Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και χρειάζεται ένας κανόνας να αποφασίζει εάν η μείωση του $L = -\log(\text{likelihood})$ αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε το **Likelihood Ratio Test** (LRT) (κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας). Σύμφωνα με το κριτήριο του λόγου πιθανοφάνειών (LRT) εάν η διαφορά

$$LRT = -2 (L(\hat{b}) - L(0))$$

όπου, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ ενώ $L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$ είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κριτηρίου χ^2 για p βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5% το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές.

Τέλος, η **εξέταση της συνολικής ποιότητας του μοντέλου** καθορίζεται με τον συντελεστή προσαρμογής ρ^2 . Ο συντελεστής ρ^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο μοντέλο. Υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{b})}{L(0)}$$

Όπου, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ και

$L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$

Συγκεκριμένα, εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του ρ^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Επισημαίνεται ότι, ο συντελεστής ρ^2 έχει συγκριτική αξία, δηλαδή δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του που κρίνεται ως αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του ρ^2 .

5.2.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα **αποτελέσματα** του πολυεπίπεδου μοντέλου Poisson που αναπτύχθηκε στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης MLwiN, σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει περιγραφεί αναλυτικά στην Ενότητα 4.4. Το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τις μεταβλητές που σχετίζονται με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων, όπως αναφέρονται στην αρχή της Ενότητας 5.2.1 και αναλύονται διεξοδικά στην Ενότητα 4.2.1.1. Στη συνέχεια της ενότητας, παρουσιάζονται οι απαραίτητοι **ποιοτικοί και στατιστικοί έλεγχοι** που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του στατιστικού μοντέλου.

Μετά την εισαγωγή της ενιαίας βάσης δεδομένων στο φύλλο εργασίας του ειδικού λογισμικού στατιστικής ανάλυσης, τον διαχωρισμό των μεταβλητών σε κατηγορικές και ποσοτικές και τη διερεύνηση της συσχέτισης των μεταβλητών μεταξύ τους ακολουθεί η **ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου** με την επιλογή από τη γραμμή του κεντρικού μενού του Model → **Equations**. Με

αυτόν τον τρόπο ανοίγει το παράθυρο Equations, το οποίο χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του στατιστικού μοντέλου και την επίβλεψη των αποτελεσμάτων του.

Πιο συγκεκριμένα, στο παράθυρο αυτό δίνεται η δυνατότητα επιλογής της **εξαρτημένης μεταβλητής y** και των **επιπέδων ανάλυσης**. Επιπλέον, επιλέγεται η κατανομή Poisson ως η στατιστική κατανομή που ακολουθούν τα δεδομένα της ανάλυσης και επιπρόσθετα για να αντιμετωπιστεί η υπερδιασπορά των δεδομένων επιλέγεται η **extra Poisson διακύμανση**. Ακόμα, πραγματοποιείται ο καθορισμός του όρου αντιστάθμισης της εξαρτημένης μεταβλητής (**offset**) που είναι απαραίτητος στην παλινδρόμηση Poisson.

Αφού ολοκληρωθούν τα βήματα καθορισμού της εξαρτημένης μεταβλητής και της επιλογής της στατιστικής κατανομής, μπορεί να ακολουθήσει η επεξεργασία του **δεξιά μέρους της εξίσωσης**. Αρχικά, επιλέγεται η διακύμανση του σταθερού όρου στο δεύτερο επίπεδο της ανάλυσης, όπως πρέπει να ισχύει στα πολυεπίπεδα μοντέλα Poisson. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η προσθήκη των **ανεξάρτητων μεταβλητών** με την επιλογή **Add Term**, με την οποία δίνεται η δυνατότητα να προστεθούν οι ανεξάρτητες μεταβλητές μία-μία και να επιλεγεί η κατηγορία αναφοράς τους. Μετά την προσθήκη κάθε μεταβλητής επιλέγεται το **Start**, έτσι ώστε να ξεκινήσει η ανάλυση που θα παράγει το μοντέλο. Όταν έχουν προστεθεί όλες οι μεταβλητές, επιλέγοντας ξανά το Start ή το More, θα προκύψει το τελικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα των συντελεστών των μεταβλητών που προέκυψαν από την τελική ανάλυση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.2).

Πολυεπίπεδο μοντέλο Poisson - Στοιχεία οδικών ατυχημάτων			
Εξαρτημένη μεταβλητή	Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)		
Όρος αντιστάθμισης	Φυσικός Λογάριθμος του Πληθυσμού των Πρωτευουσών		
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Συντελεστής β_i	S.E.	t-test = $\beta_i / S.E.$
Σταθερό μέρος της εξίσωσης			
Σταθερός όρος	-15,131	0,214	-70,706
Μήνας_1	0,944	0,072	13,111
Ημέρα της εβδομάδας_1	0,540	0,058	9,310
Ηλικιακή Ομάδα_1	-0,864	0,131	-6,595
Ηλικιακή Ομάδα_3	0,227	0,068	3,338
Ηλικιακή Ομάδα_4	0,227	0,074	3,068
Φύλο_2	-0,418	0,062	-6,742
Τύπος Χρήστη της Οδού_1	-0,405	0,080	-5,063
Τύπος Χρήστη της Οδού_2	-1,016	0,112	-9,071
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_1	-0,252	0,073	-3,452
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_3	-1,151	0,146	-7,884
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_4	-0,328	0,093	-3,527
Συνθήκες Φωτισμού_1	0,018	0,054	0,333
Καιρός_1	1,096	0,085	12,894
Τυχαίο μέρος της εξίσωσης			
2 ^ο Επίπεδο: Πόλη			
$\sigma^2_{u_0}$ (Όρος διακύμανσης)	0,199	0,098	2,031
1 ^ο Επίπεδο: Περίπτωση Ατυχήματος			
Όρος υπερδιασποράς	3,752	0,133	28,211

Πίνακας 5.2: Παρουσίαση αποτελεσμάτων 1^{ου} μοντέλου

Όπως παρατηρείται από την εξέταση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 5.2, για τη μεταβλητή **Συνθήκες Φωτισμού** ο δείκτης **t-test** είναι $t = 0,333$. Δηλαδή, η απόλυτη τιμή του t είναι μικρότερη από την τιμή του t^* (1,645), που έχει ληφθεί ως μέτρο αξιολόγησης στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, και άρα δεν είναι αποδεκτή η μεταβλητή αυτή ως στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων. Για το λόγο αυτό, αφαιρέθηκε η μεταβλητή Συνθήκες Φωτισμού από τις μεταβλητές και στη συνέχεια επαναλήφθηκε η διαδικασία ανάπτυξης του στατιστικού μοντέλου στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, όπως έχει ήδη περιγραφεί. Τα αποτελέσματα των συντελεστών των μεταβλητών που προέκυψαν από την δεύτερη ανάλυση χωρίς τη μεταβλητή Συνθήκες Φωτισμού παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.3).

Πολυεπίπεδο μοντέλο Poisson - Στοιχεία οδικών ατυχημάτων			
Εξαρτημένη μεταβλητή	Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)		
Όρος αντιστάθμισης	Φυσικός Λογάριθμος του Πληθυσμού των Πρωτευουσών		
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Συντελεστής β_i	S.E.	t-test = $\beta_i / S.E.$
Σταθερό μέρος της εξίσωσης			
Σταθερός όρος	-15,125	0,213	-71,009
Μήνας_1	0,943	0,072	13,097
Ημέρα της εβδομάδας_1	0,541	0,058	9,328
Ηλικιακή Ομάδα_1	-0,863	0,131	-6,588
Ηλικιακή Ομάδα_3	0,227	0,068	3,338
Ηλικιακή Ομάδα_4	0,229	0,074	3,095
Φύλο_2	-0,418	0,062	-6,742
Τύπος Χρήστη της Οδού_1	-0,403	0,080	-5,038
Τύπος Χρήστη της Οδού_2	-1,016	0,112	-9,071
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_1	-0,253	0,073	-3,466
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_3	-1,150	0,146	-7,877
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_4	-0,326	0,093	-3,505
Καιρός_1	1,097	0,085	12,906
Τυχαίο μέρος της εξίσωσης			
2 ^ο Επίπεδο: Πόλη			
$\sigma^2_{u_0}$ (Όρος διακύμανσης)	0,199	0,098	2,031
1 ^ο Επίπεδο: Περίπτωση Ατυχήματος			
Όρος υπερδιασποράς	3,755	0,132	28,447

Πίνακας 5.3: Παρουσίαση αποτελεσμάτων 2^{ου} μοντέλου (όλες οι μεταβλητές στατιστικά σημαντικές)

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.3, παρατηρείται ότι όλες οι μεταβλητές αυτού του μοντέλου είναι στατιστικά σημαντικές, καθώς η απόλυτη τιμή του **t-test** είναι σε όλες μεγαλύτερη από την τιμή t^* (1,645), που έχει ληφθεί ως μέτρο αξιολόγησης στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Άρα, παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης για το 95% των περιπτώσεων και μπορούν να συμπεριληφθούν στο στατιστικό μοντέλο.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο όρος που υποδηλώνει τη διακύμανση ($\sigma^2_{u_0}$) του σφάλματος στο **2^ο επίπεδο της ανάλυσης** είναι στατιστικά σημαντικός, καθώς ισούται με $t = \frac{0,199}{0,098} = 2,031$. Η ύπαρξη σημαντικής διακύμανσης στο 2^ο επίπεδο, δηλαδή στο επίπεδο των Πρωτευουσών, επιβεβαιώνει την ορθότητα επιλογής της ανάλυσης με πολυεπίπεδα και όχι απλά στατιστικά μοντέλα.

Όσον αφορά στον όρο της **υπερδιασποράς**, τα αποτελέσματα του στατιστικού μοντέλου δείχνουν ότι υπάρχει υπερδιασπορά και είναι στατιστικά σημαντική, αφού $t = \frac{3,755}{0,132} = 28,447$. Άρα, ορθώς επιλέχθηκε και η extra-Poisson διακύμανση στα δεδομένα του στατιστικού μοντέλου.

Ωστόσο, εκτός από τον έλεγχο του t-test, στη συνέχεια ακολουθεί ο έλεγχος της **πιθανοφάνειας** του στατιστικού μοντέλου. Για την εκτίμηση της πιθανοφάνειας χρησιμοποιούμε το **Likelihood Ratio Test** (LRT) (κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας). Για τον υπολογισμό του LRT υπολογίζονται οι λογάριθμοι των συναρτήσεων πιθανοφάνειας, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ και $L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$ και η διαφορά τους, όπως φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	-2 Log likelihood
ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΤΙΣ 13 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	8222,03
ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΙΣ ΤΙΣ 13 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	18728,9

Likelihood Ratio Test

$$LRT = -2(L(\hat{b}) - L(0)) = 18728,9 - 8222,03 = 10506,87 > x^2,$$

όπου είναι $x^2 = 21,03$ για $p - 1 = 12$ σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Αφού η τιμή του LRT είναι μεγαλύτερη από την εν λόγω τιμή του κριτηρίου x^2 , το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και άρα, γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές.

Τέλος, η εξέταση της **συνολικής ποιότητας του μοντέλου** καθορίζεται με τον συντελεστή προσαρμογής ρ^2 , ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

Υπολογισμός ρ^2

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{b})}{L(0)} = 1 - \frac{8222,03}{18728,9} = 0,561$$

Όπου, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ και

$L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$

Ο συντελεστής ρ^2 έχει συγκριτική αξία, δηλαδή δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του που κρίνεται ως αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του ρ^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Οπότε, η τιμή $\rho^2 = 0,561$ θεωρείται αρκετά ικανοποιητική για την ποιότητα του στατιστικού μοντέλου που αναπτύχθηκε.

5.3 2^Η ΦΑΣΗ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΩΝ

5.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Στη **δεύτερη φάση** της ανάλυσης επιχειρήθηκε να προστεθούν στο στατιστικό μοντέλο οι μεταβλητές που αναφέρονται στα **χαρακτηριστικά των Πρωτεύουσών**. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να διερευνηθεί η σχέση του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα όχι μόνο με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων, αλλά και με τα στοιχεία των Πρωτεύουσών. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία και οι τιμές τους για την κάθε Πρωτεύουσα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πόλη	Δείκτες		
	Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)	Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους	Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς
Αθήνα	65,70	2310	5,19
Βρυξέλλες	73,60	1940	4,39
Βουκουρέστι	51,08	2420	2,38
Βουδαπέστη	46,30	2430	0,83
Λισαβόνα	27,90	889	1,37
Λονδίνο	54,90	2030	1,75
Μαδρίτη	55,70	4870	2,40
Παρίσι	40,50	1980	2,26
Πράγα	44,00	2910	0,88

Πίνακας 5.4: Δείκτες χαρακτηριστικών των Πρωτεύουσών

Η διερεύνηση της σχέσης του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων και με τα στοιχεία των Πρωτεύουσών πραγματοποιήθηκε με την ανάπτυξη του ανάλογου στατιστικού μοντέλου, για την οποία χρησιμοποιήθηκε η **ίδια μεθοδολογία** που έχει ήδη περιγραφεί στις προηγούμενες Ενότητες του Κεφαλαίου 5 για την ανάπτυξη του μοντέλου της 1^{ης} φάσης. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson, καθώς όπως έχει αναφερθεί εκτενώς στην Ενότητα 3.7 και στην Ενότητα 5.2.3, τα πολυεπίπεδα μοντέλα Poisson επιλέχθηκαν ως η κατάλληλη μεθοδολογία ανάλυσης για τα δεδομένα οδικής ασφάλειας που εξετάζονται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, αφού συλλέχθηκαν και τα απαραίτητα στοιχεία των Πρωτεύουσών από τις βάσεις δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία τους στο πρόγραμμα Microsoft Excel και η διαμόρφωση τους σε μία ενιαία βάση δεδομένων. Ύστερα, σύμφωνα με τα βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 4.4, ακολούθησε η

στατιστική επεξεργασία των στοιχείων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης MLwiN. Στην αρχή, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή της ενιαίας βάσης δεδομένων στο φύλλο εργασίας του ειδικού λογισμικού στατιστικής ανάλυσης και στη συνέχεια, ακολούθησε το βήμα διαχωρισμού των μεταβλητών σε κατηγορικές και ποσοτικές.

Στο μοντέλο της 2^{ης} φάσης χρησιμοποιήθηκαν εκτός από τις μεταβλητές που σχετίζονται με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων και οι μεταβλητές που αναφέρονται στα στοιχεία των Πρωτευουσών. Μια άλλη αλλαγή που πραγματοποιήθηκε σε αυτό το μοντέλο είναι η αντικατάσταση του όρου αντιστάθμισης της παλινδρόμησης Poisson (offset). Στο προηγούμενο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ο Φυσικός Λογάριθμος του Πληθυσμού των Πρωτευουσών, ενώ σε αυτό το μοντέλο επιχειρήθηκε να χρησιμοποιηθεί ο Φυσικός Λογάριθμος του Μήκους Οδού ανά 1.000 κατοίκους, ως πιο αντιπροσωπευτικός δείκτης για την οδική κατάσταση των Πρωτευουσών. Το στοιχείο του πληθυσμού, που αναμφίβολα αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση της οδικής ασφάλειας, εκφράστηκε μέσω της ανεξάρτητης μεταβλητής της Πυκνότητας του Αστικού Πληθυσμού. Όλες οι μεταβλητές που συμπεριλήφθηκαν τελικά στο στατιστικό μοντέλο αναφέρονται παρακάτω:

ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ:

Fatally Injured (at 30 days): Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)

ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ:

Month: Μήνας

Day of Week: Ημέρα της Εβδομάδας

Person Age Group: Ηλικιακή Ομάδα

Person Gender: Φύλο

Road User Type: Τύπος Χρήστη της Οδού

Traffic Unit Type: Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας

Weather: Καιρός

Urban population density (persons/ha): Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)

Annual private motorised passenger kilometres / Annual public transport passenger kilometres: Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσω μαζικής μεταφοράς

ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ:

1^ο Επίπεδο ➔ **Case ID:** Περίπτωση Οδικού Ατυχήματος

2^ο Επίπεδο ➔ **City:** Πόλη

ΟΡΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ (OFFSET) ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ POISSON:

LogLength: Φυσικός Λογάριθμος του Μήκους Οδού ανά 1.000 κατοίκους

Από τις ανωτέρω μεταβλητές, ορίστηκαν ως **κατηγορικές** (με χρήση της επιλογής Toggle Categorical (Βλ. Ενότητα 4.4)) οι μεταβλητές: City, Month, Day of Week, Person Age Group, Person Gender, Road User Type, Traffic Unit Type, Weather. Οι μεταβλητές αυτές εκφράζουν κατηγορίες χωρίς κάποια διαβάθμιση, είναι δηλαδή κατηγορικές ονομαστικές (categorical nominal) (Ενότητα 3.2). Οι υπόλοιπες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο στατιστικό μοντέλο είναι ποσοτικές.

Αφού ολοκληρώθηκε ο διαχωρισμός των μεταβλητών σε κατηγορικές και ποσοτικές, ακολούθησε ο έλεγχος της συσχέτισης τους όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στην Ενότητα 5.2.2 στον Πίνακα 5.1. Στη συνέχεια, ακολούθησε η ανάπτυξη του πολυεπίπεδου στατιστικού μοντέλου Poisson που, όπως αναφέρθηκε, είναι η μεθοδολογία στατιστικής ανάλυσης η οποία επιλέχθηκε.

5.3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΩΝ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα **αποτελέσματα** του πολυεπίπεδου μοντέλου Poisson (Πίνακας 5.5) που αναπτύχθηκε στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης MLwiN, σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει περιγραφεί αναλυτικά στην Ενότητα 4.4. Το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον Αριθμό νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τις μεταβλητές που σχετίζονται με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων και τα στοιχεία των Πρωτευουσών, όπως αναφέρονται στην Ενότητα 5.3.1. Στη συνέχεια της ενότητας, παρουσιάζονται οι απαραίτητοι **ποιοτικοί και στατιστικοί έλεγχοι** που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του στατιστικού μοντέλου.

Πολυεπίπεδο μοντέλο Poisson - Στοιχεία οδικών ατυχημάτων και Πρωτευουσών			
Εξαρτημένη μεταβλητή	Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)		
Όρος αντιστάθμισης	Φυσικός Λογάριθμος του Μήκους Οδού ανά 1.000 κατοίκους		
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Συντελεστής β_i	S.E.	t-test = $\beta_i / S.E.$
Σταθερό μέρος της εξίσωσης			
Σταθερός όρος	-6,322	0,591	-10,697
Μήνας_1	0,937	0,073	12,836
Ημέρα της εβδομάδας_1	0,540	0,058	9,310
Ηλικιακή Ομάδα_1	-0,854	0,132	-6,470
Ηλικιακή Ομάδα_3	0,224	0,068	3,294
Ηλικιακή Ομάδα_4	0,228	0,075	3,040
Φύλο_2	-0,416	0,062	-6,710
Τύπος Χρήστη της Οδού_1	-0,399	0,081	-4,926
Τύπος Χρήστη της Οδού_2	-1,009	0,113	-8,929
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_1	-0,254	0,074	-3,432
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_3	-1,151	0,148	-7,777
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_4	-0,322	0,094	-3,426
Καιρός_1	1,095	0,086	12,733
Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)	-0,043	0,015	-2,867
Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς	0,242	0,136	1,779
Τυχαίο μέρος της εξίσωσης			
2 ^ο Επίπεδο: Πόλη			
$\sigma^2_{u_0}$ (Όρος διακύμανσης)	0,123	0,063	1,952
1 ^ο Επίπεδο: Περίπτωση Ατυχήματος			
Όρος υπερδιασποράς	3,795	0,133	28,534

Πίνακας 5.5: Παρουσίαση αποτελεσμάτων 3^{ου} μοντέλου

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.5, παρατηρείται ότι όλες οι μεταβλητές αυτού του μοντέλου είναι στατιστικά σημαντικές, καθώς η απόλυτη τιμή του **t-test** είναι σε όλες μεγαλύτερη από την τιμή t^* (1,645), που έχει ληφθεί ως μέτρο αξιολόγησης στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Άρα, παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης για το 95% των περιπτώσεων και μπορούν να συμπεριληφθούν στο στατιστικό μοντέλο.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο όρος που υποδηλώνει τη διακύμανση ($\sigma^2 u_0$) του σφάλματος στο **2^ο επίπεδο της ανάλυσης** είναι στατιστικά σημαντικός, καθώς ισούται με $t = \frac{0,123}{0,063} = 1,952$. Η ύπαρξη σημαντικής διακύμανσης στο 2^ο επίπεδο, δηλαδή στο επίπεδο των Πρωτευουσών, επιβεβαιώνει την ορθότητα επιλογής της ανάλυσης με πολυεπίπεδα και όχι απλά στατιστικά μοντέλα.

Όσον αφορά στον όρο της **υπερδιασποράς**, τα αποτελέσματα του στατιστικού μοντέλου δείχνουν ότι υπάρχει υπερδιασπορά και είναι στατιστικά σημαντική, αφού $t = \frac{3,795}{0,133} = 28,534$. Άρα, ορθώς επιλέχθηκε και η extra-Poisson διακύμανση στα δεδομένα του στατιστικού μοντέλου.

Ωστόσο, εκτός από τον έλεγχο του t-test, στη συνέχεια ακολουθεί ο έλεγχος της **πιθανοφάνειας** του στατιστικού μοντέλου. Για την εκτίμηση της πιθανοφάνειας χρησιμοποιούμε το **Likelihood Ratio Test (LRT)** (κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας). Για τον υπολογισμό του LRT υπολογίζονται οι λογάριθμοι των συναρτήσεων πιθανοφάνειας, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ και $L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$ και η διαφορά τους, όπως φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	-2 Log likelihood
ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΤΙΣ 15 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	8230,75
ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΙΣ ΤΙΣ 15 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	18728,9

Likelihood Ratio Test

$$LRT = -2(L(\hat{b}) - L(0)) = 18728,9 - 8230,75 = 10498,15 > x^2,$$

όπου είναι $x^2 = 23,68$ για $p - 1 = 14$ σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Αφού η τιμή του LRT είναι μεγαλύτερη από την εν λόγω τιμή του κριτηρίου x^2 , το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και άρα, γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές.

Τέλος, η εξέταση της **συνολικής ποιότητας του μοντέλου** καθορίζεται με τον συντελεστή προσαρμογής ρ^2 , ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

Υπολογισμός ρ^2

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{b})}{L(0)} = 1 - \frac{8230,75}{18728,9} = 0,561$$

Όπου, $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$ και

$L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$

Ο συντελεστής ρ^2 έχει συγκριτική αξία, δηλαδή δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του που κρίνεται ως αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του ρ^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Οπότε, η τιμή $\rho^2 = 0,561$ θεωρείται αρκετά ικανοποιητική για την ποιότητα του στατιστικού μοντέλου που αναπτύχθηκε.

5.3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα του τελικού πολυεπίπεδου μοντέλου Poisson (Πίνακας 5.5.) στο οποίο κατέληξε η διαδικασία ανάλυσης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η περιγραφή και η εξήγηση των αποτελεσμάτων του, εξετάζοντας τους συντελεστές των μεταβλητών που προέκυψαν.

Μήνας

Το πρόσημο της μεταβλητής Μήνας_1 που αντιστοιχεί στους χειμερινούς μήνες είναι θετικό. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι μεγαλύτερος τους χειμερινούς μήνες από ότι τους θερινούς μήνες. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η κινητικότητα των οχημάτων στις πόλεις είναι μειωμένη λόγω της περιόδου διακοπών.

Ημέρα της εβδομάδας

Το πρόσημο της μεταβλητής Ημέρα της εβδομάδας_1 που αντιστοιχεί στις ημέρες Δευτέρα-Παρασκευή είναι θετικό. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι μεγαλύτερος τις καθημερινές από ότι το σαββατοκύριακο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη κινητικότητα που παρατηρείται τις καθημερινές, συνήθως λόγω εργασιακών υποχρεώσεων σε όλες αυτές τις πόλεις, σε σχέση με τα σαββατοκύριακα που υπάρχει μικρότερη ανάγκη για μετακινήσεις.

Ηλικιακή Ομάδα

Το πρόσημο των μεταβλητών Ηλικιακή Ομάδα_3, Ηλικιακή Ομάδα_4, που συμβολίζουν τις κατηγορίες 30-59 και >59 αντίστοιχα έχουν θετικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτών των μεταβλητών, αυξάνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι σε αυτά τα ηλικιακά διαστήματα είναι περισσότεροι οδηγοί και ενδεχομένως, από τη συχνή κυκλοφορία αυτών των ηλικιών.

Φύλο

Το πρόσημο της μεταβλητής Φύλο_2 που αντιστοιχεί στην κατηγορία γυναίκα είναι αρνητικό, που σημαίνει ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι μεγαλύτερος στους άνδρες από ότι στις γυναίκες. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται, ίσως, στην πιο επιθετική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι άνδρες οδηγοί σε σχέση με τις γυναίκες, όπως επιβεβαιώνεται και από τη

διεθνή βιβλιογραφία. Ακόμα, ο αριθμός των οδηγών που είναι άνδρες είναι μεγαλύτερος από ότι στις γυναίκες.

Τύπος χρήστη της οδού

Τόσο το πρόσημο της μεταβλητής Τύπος χρήστη της οδού_1, που αντιστοιχεί στην κατηγορία οδηγός, όσο και το πρόσημο της μεταβλητής Τύπος χρήστη της οδού_2, που αντιστοιχεί στην κατηγορία επιβάτης, είναι αρνητικό. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι μικρότερος στις κατηγορίες οδηγός και επιβάτης σε σχέση με την κατηγορία πεζός. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στο γεγονός ότι, οι πεζοί είναι από τους πιο ευάλωτους χρήστες της οδού, καθώς η εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα έχει αυξημένη πιθανότητα θανάτου ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς προστασίας τους από τα οχήματα.τους από τα οχήματα.

Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας

Τα πρόσημα των μεταβλητών Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_1, που αντιστοιχεί στην κατηγορία επιβατικό αυτοκίνητο, Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_3, που αντιστοιχεί στην κατηγορία λεωφορείο, φορτηγό και Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_4, που αντιστοιχεί στην κατηγορία άλλο (τρακτέρ, ποδήλατο, πεζός) είναι αρνητικά. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα στην κατηγορία μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο είναι μεγαλύτερος σε σχέση με όλες τις άλλες κατηγορίες οχημάτων. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στην αυξημένη κυκλοφορία διπρόχων στις πόλεις και στη μεγάλη έκθεση σε κίνδυνο που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα οχήματα.

Καιρός

Το πρόσημο της μεταβλητής Καιρός_1 που αντιστοιχεί σε συνθήκες ξηρού/καθαρού καιρού είναι θετικό. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι μεγαλύτερος όταν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν είναι καλές σε σχέση με δυσμενείς καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι). Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι οι ημέρες βροχής είναι λιγότερες από τις ημέρες με κανονικές συνθήκες καιρού και αφετέρου στο ότι οι οδηγοί τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί και να ελαττώνουν την ταχύτητα των οχημάτων τους σε συνθήκες βροχής ή χιονιού.

Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)

Το πρόσημο της μεταβλητής αυτής είναι αρνητικό, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτής της μεταβλητής, μειώνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στις πολύ πυκνοκατοικημένες πόλεις, λόγω του μεγάλου αριθμού των οχημάτων στα αστικά κέντρα επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση, άρα οι οδηγοί μειώνουν αρκετά την ταχύτητα οδήγησης και έτσι αποφεύγονται τα οδικά ατυχήματα, σε αντίθεση με τις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές που παρατηρούνται συνήθως υψηλότερες ταχύτητες.

Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσω μαζικής μεταφοράς

Το πρόσημο της μεταβλητής αυτής είναι θετικό, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτής της μεταβλητής, αυξάνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται λογικό, καθώς η αύξηση αυτής της μεταβλητής οδηγεί σε αύξηση του αριθμητή του δείκτη, δηλαδή των ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων. Αυτό δικαιολογείται, ενδεχομένως, από το γεγονός ότι τα μέσα μαζικής μεταφοράς είναι πολύ πιο ασφαλή σε σχέση με τα αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης.

5.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

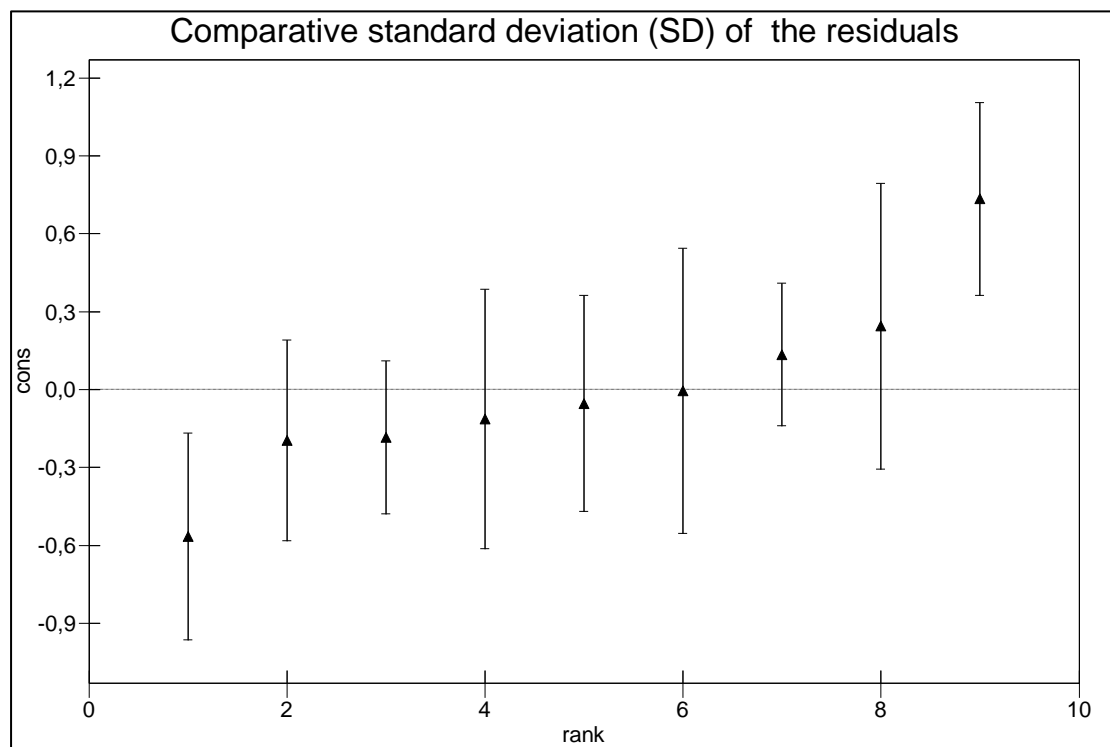
Το ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης MLwiN παρέχει τη δυνατότητα της **γραφικής απεικόνισης των προβλέψεων** των στατιστικών μοντέλων με ποικίλους τρόπους, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη ερμηνεία και ανάλυση των αποτελεσμάτων τους. Για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, δημιουργήθηκε ένα πλήρες σύνολο από γραφικές παραστάσεις και διαγράμματα που παράχθηκαν από τις προβλέψεις του τελικού στατιστικού μοντέλου που αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 5.5. Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται και περιγράφονται τα σημαντικότερα γραφήματα και συγκριτικά διαγράμματα από αυτά που αναπτύχθηκαν με στόχο την καλύτερη κατανόηση και εξήγηση των αποτελεσμάτων του στατιστικού μοντέλου και τέλος, τη σύγκριση των Πρωτευουσών.

Όπως έχει αναφερθεί, το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι ένα πολυεπίπεδο μοντέλο Poisson. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο δύο επιπέδων με τη συνολική μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα να προσδιορίζεται από ένα σταθερό συντελεστή β_0 . Η προσθήκη του 2^{ου} επιπέδου πραγματοποιήθηκε επιτρέποντας στο **σταθερό συντελεστή β_{0j}** για την κάθε Πρωτεύουσα j να αποκλίνει, δηλαδή η τιμή του να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την συνολική κατά μία ποσότητα u_{0j} . Οι αποκλίσεις αυτές από τον συνολικό σταθερό συντελεστή ονομάζονται **κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου (level 2 residuals)**. Η μέση τιμή τους είναι 0 και η διακύμανση τους υπολογίστηκε ως $\sigma^2 u_0 = 0.123$, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.5. Τα κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου μπορούν να θεωρηθούν ως οι επιδράσεις των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις Πρωτεύουσες.

Η εκτίμηση των καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για τη σύγκριση των μονάδων του 2^{ου} επιπέδου, δηλαδή των Πρωτευουσών, και ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και τη διάγνωση του μοντέλου. Για την εκτίμηση αυτή επιλέγεται από το κεντρικό μενού η επιλογή Model → **Residuals**. Στο παράθυρο Residuals δίνεται η

δυνατότητα υπολογισμού των καταλοίπων και της τυπικής τους απόκλισης και ο έλεγχος αυτών μέσα από τη γραφική τους απεικόνιση. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται και περιγράφονται τα διαγράμματα που παράχθηκαν μέσα από το παράθυρο Residuals.

Στο πρώτο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 5.1) παρουσιάζονται τα **κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου σε αύξουσα σειρά** με τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης τους. Η γραφική παράσταση αυτή, γνωστή για προφανείς λόγους ως διάγραμμα κάμπιας (caterpillar plot), αναπαριστά τα 9 κατάλοιπα του 2^{ου} επιπέδου, ένα για κάθε Πρωτεύουσα της ανάλυσης. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι υπάρχουν πόλεις στο αριστερό και το δεξί άκρο του διαγράμματος, των οποίων τα διαστήματα εμπιστοσύνης των καταλοίπων τους δεν επικαλύπτουν την τιμή μηδέν. Όπως αναφέρθηκε, τα κατάλοιπα αυτά αντιπροσωπεύουν τις αποκλίσεις των πόλεων από τον συνολικό σταθερό συντελεστή β_0 , άρα αυτό σημαίνει ότι αυτές οι πόλεις διαφέρουν σημαντικά από τον μέσο όρο σε επίπεδο 5%. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει πόσο σημαντική είναι η επιλογή της πολυεπίπεδης ανάλυσης των δεδομένων έναντι της απλής.



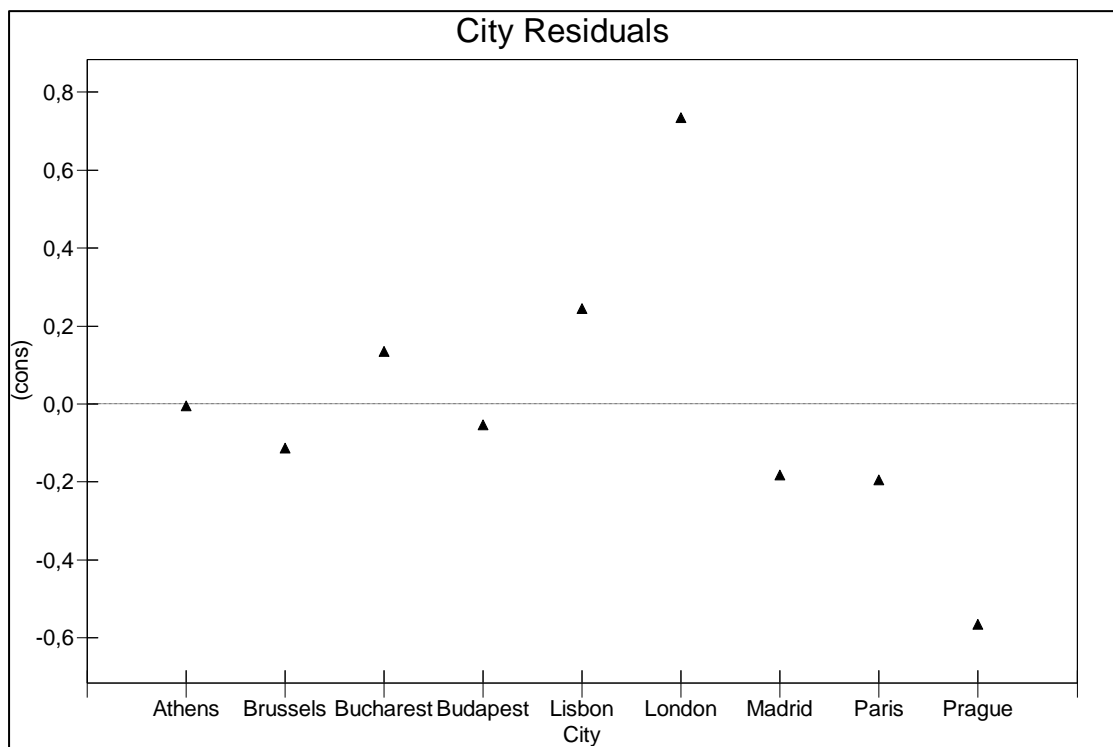
Διάγραμμα 5.1: Γραφική παράσταση της τυπικής απόκλισης των καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου σε αύξουσα σειρά

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι ακριβείς εκτιμήσεις των καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου, που παράχθηκαν με την ίδια μεθοδολογία που έχει ήδη περιγραφεί. Αρχικά, παρατίθενται οι αριθμητικές τιμές που λαμβάνουν για την κάθε Πρωτεύουσα (Πίνακας 5.6) και έπειτα παρουσιάζονται σε γραφική απεικόνιση (Διάγραμμα 5.2). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, παρατηρείται η σημαντική διακύμανση που παρουσιάζουν κάποιες τιμές των καταλοίπων του

2^{ου} επιπέδου u_{0j} από την τιμή μηδέν που αναφέρεται στο συνολικό **σταθερό συντελεστή** β_{0j} .

A/A	Πόλη	Υπόλοιπο 2 ^{ου} επιπέδου
1	Αθήνα	-0,005
2	Βρυξέλλες	-0,112
3	Βουκουρέστι	0,135
4	Βουδαπέστη	-0,053
5	Λισαβόνα	0,244
6	Λονδίνο	0,734
7	Μαδρίτη	-0,183
8	Παρίσι	-0,195
9	Πράγα	-0,565

Πίνακας 5.6: Πίνακας καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου



Διάγραμμα 5.2: Γραφική παράσταση των καταλοίπων του 2^{ου} επιπέδου (οι αριθμητικές τιμές αναγράφονται στον Πίνακα 5.6)

Τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν ήδη παραπάνω αποσκοπούσαν κυρίως στη συνολική επισκόπηση του στατιστικού μοντέλου και στον έλεγχο της ορθότητας του. Στα επόμενα διαγράμματα που παρουσιάζονται δόθηκε έμφαση στη σύγκριση των Πρωτευουσών μέσα από τον έλεγχο της

αλληλεπίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών του στατιστικού μοντέλου με τις πόλεις.

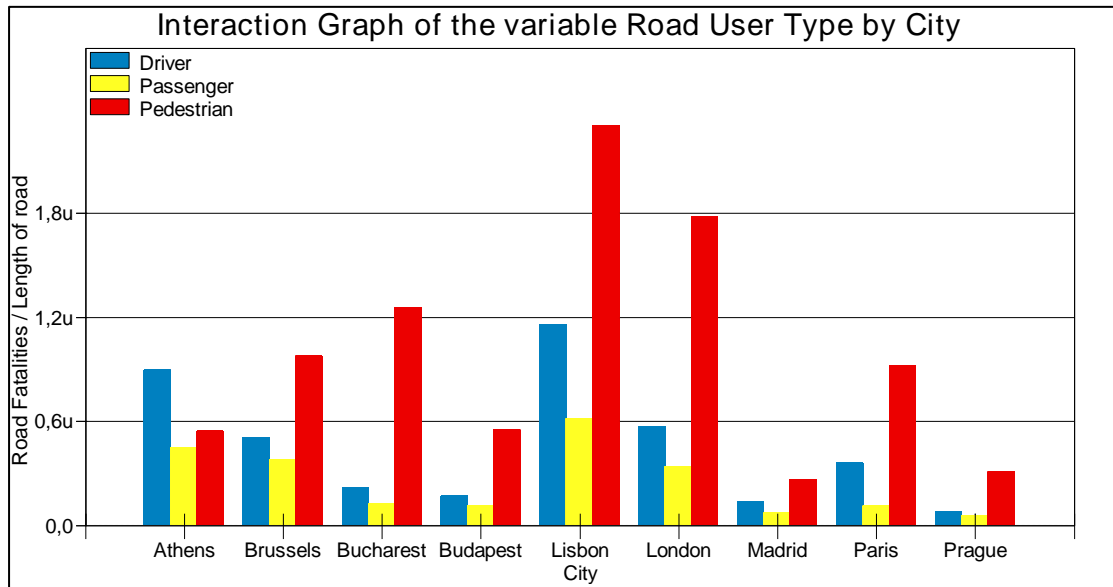
Για την εξαγωγή των συγκριτικών διαγραμμάτων από το πρόγραμμα MLwiN, αρχικά ορίζεται η αλληλεπίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών στο παράθυρο **Equations**, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 4.4. Ύστερα, χρησιμοποιείται η επιλογή Model → **Predictions**, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των προβλέψεων του μοντέλου και στη συνέχεια η επιλογή Graphs → **Customized Graphs**. Μέσω του παραθύρου Predictions επιλέγονται οι μεταβλητές που θα συμπεριληφθούν στον υπολογισμό των προβλέψεων του στατιστικού μοντέλου και με την επιλογή Calc πραγματοποιείται ο υπολογισμός τους. Οι προβλέψεις που υπολογίστηκαν αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του αρχείου και από εκεί δίνεται η δυνατότητα αναπαράστασής τους σε γραφικές παραστάσεις μέσα από το παράθυρο Customized Graphs. Κατά αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η παραγωγή συγκριτικών διαγραμμάτων από τις προβλέψεις του στατιστικού μοντέλου.

Μέσω των συγκριτικών διαγραμμάτων που παρουσιάζονται στη συνέχεια επιχειρήθηκε η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των μεταβλητών που σχετίζονται με τον τύπο χρήστη της οδού και το όχημα κυκλοφορίας σε κάθε Πρωτεύουσα. Στη συνέχεια, αναζητήθηκε η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των διαγραμμάτων με τον δείκτη του οδικού δικτύου κάθε Πρωτεύουσας, που χρησιμοποιήθηκε ως όρος αντιστάθμισης.

Αρχικά, παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση της μεταβλητής **Τύπος χρήστη της οδού** με τις Πρωτεύουσες (Διάγραμμα 5.3). Όπως παρατηρείται από το διάγραμμα σε όλες τις Πρωτεύουσες ο δείκτης Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους είναι μεγαλύτερος στην **κατηγορία των πεζών**. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται ενδεχομένως στο γεγονός ότι, οι πεζοί είναι από τους πιο ευάλωτους χρήστες της οδού, καθώς η εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα έχει αυξημένη πιθανότητα θανάτου ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς προστασίας τους από τα οχήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η παρατήρηση αυτή δεν ισχύει στην περίπτωση της Αθήνας, όπου είναι η μόνη Πρωτεύουσα στην οποία η στήλη της κατηγορίας των οδηγών είναι υψηλότερη από εκείνη των πεζών. Αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στην ιδιαίτερα αυξημένη κυκλοφορία ιδιωτικών αυτοκινήτων στην πόλη της Αθήνας.

Όσον αφορά στη **σύγκριση ανάμεσα στις Πρωτεύουσες**, από το διάγραμμα 5.3 προκύπτει ότι, τις μεγαλύτερες τιμές του εξεταζόμενου δείκτη σε όλες τις κατηγορίες χρήστη της οδού παρουσιάζει η Λισαβόνα και μετά ακολουθεί στην κατηγορία των οδηγών η Αθήνα, το Λονδίνο, οι Βρυξέλλες και το Παρίσι και στην κατηγορία των πεζών το Λονδίνο, το Βουκουρέστι, οι Βρυξέλλες και το Παρίσι. Παρατηρείται ότι, οι Πρωτεύουσες αυτές εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές του δείκτη μήκος οδού ανά 1.000 κατοίκους (Διάγραμμα 4.3-Κεφάλαιο 4), ενώ Πρωτεύουσες, όπως η Μαδρίτη, η Πράγα και η Βουδαπέστη, που παρουσιάζουν μικρότερες προβλέψεις του αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά μήκος οδού, έχουν μεγαλύτερες τιμές του δείκτη μήκος οδού

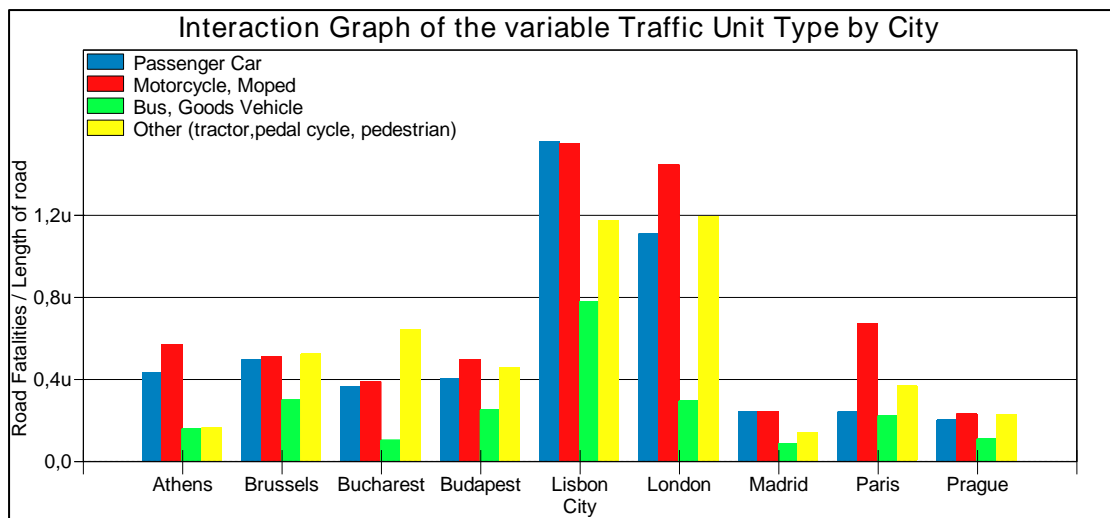
ανά 1.000 κατοίκους. Επομένως, προκύπτει ότι, όσο **πιο μεγάλο οδικό δίκτυο** έχει μία πόλη, τόσο καλύτερο είναι το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε αυτή.



Διάγραμμα 5.3: Συγκριτικό διάγραμμα αλληλεπίδρασης της μεταβλητής Τύπος χρήστη της Οδού με τις Πρωτεύουσες

Στο επόμενο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 5.4) παρουσιάζονται οι προβλέψεις που προέκυψαν από το στατιστικό μοντέλο για τον δείκτη Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά Μήκος Οδού ανά 1.000 κατοίκους, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση της μεταβλητής **Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας** με τις Πρωτεύουσες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που φαίνονται στο συγκριτικό διάγραμμα, συμπεραίνεται ότι στην πλειοψηφία των Πρωτευουσών η κατηγορία **μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο** παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη Αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά Μήκος Οδού συγκριτικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων κυκλοφορίας. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι στις πόλεις Παρίσι, Λονδίνο και Αθήνα η διαφορά της κατηγορίας μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο από τις άλλες κατηγορίες οχημάτων κυκλοφορίας είναι αρκετά μεγάλη. Η διαφορά αυτή επιβεβαιώνει την αυξημένη ανάγκη οδικής προστασίας για τη συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων στις πόλεις, λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας τους σε αυτές και της μεγάλης έκθεσης σε κίνδυνο που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα οχήματα.

Όσον αφορά στη σύγκριση ανάμεσα στις Πρωτεύουσες, παρατηρείται, όπως και στο διάγραμμα 5.3, ότι, οι Πρωτεύουσες που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες προβλέψεις αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά μήκος οδού (Λισαβόνα, Λονδίνο, Αθήνα, Βρυξέλλες) είναι αυτές που έχουν τις μικρότερες τιμές του δείκτη μήκος οδού ανά 1.000 κατοίκους. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει ότι, όσο **πιο μεγάλο οδικό δίκτυο** έχει μία πόλη, τόσο καλύτερο είναι το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε αυτή.



Διάγραμμα 5.4: Συγκριτικό διάγραμμα αλληλεπίδρασης της μεταβλητής Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας με τις Πρωτεύουσες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η **συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες, με χρήση πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων Poisson.**

Μετά την οριστικοποίηση του επιδιωκόμενου στόχου, ακολούθησε **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας σε χώρες της Ε.Ε. αλλά και παγκοσμίως, καθώς και στοιχείων χρήσιμων για την επιλογή μεθοδολογίας.

Ύστερα από τη μελέτη των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των στοιχείων** που απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τα απαραίτητα στοιχεία περιελάμβαναν στοιχεία που αφορούσαν στον αριθμό και στα χαρακτηριστικά των νεκρών από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, στον πληθυσμό και σε δείκτες που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των εννέα ευρωπαϊκών Πρωτευουσών που επιλέχθηκαν για τη μελέτη, για την πενταετή περίοδο 2007 έως 2011. Τα στοιχεία που αφορούν στα οδικά ατυχήματα λήφθηκαν από την ευρωπαϊκή βάση δεδομένων **CARE** (Community database on Accidents on the Roads in Europe) και για την πόλη της Αθήνας από την **ΕΛΣΤΑΤ** (Ελληνική Στατιστική Αρχή). Τα στοιχεία του πληθυσμού των Πρωτευουσών λήφθηκαν από την **EUROSTAT** και από την ΕΛΣΤΑΤ. Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των Πρωτευουσών, οι σχετικοί δείκτες λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων Mobility in Cities, η οποία έχει δημιουργηθεί από τον Διεθνή Οργανισμό **UITP** (The International Association of Public Transport).

Έπειτα από τη συλλογή των στοιχείων ακολούθησε η κατάλληλη **επεξεργασία των στοιχείων** και η ομαδοποίηση τους σε μία ενιαία βάση δεδομένων, προκειμένου να εφαρμοστεί η **επιλεγμένη μεθοδολογία** ανάλυσης. Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel. Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε περιέχει για κάθε περίπτωση οδικού ατυχήματος (Case ID) την Πρωτεύουσα στην οποία συνέβη το οδικό ατύχημα, με τα αντίστοιχα στοιχεία που συλλέχθηκαν για την Πρωτεύουσα (πληθυσμός, οδικοί δείκτες), και ακόμα, περιλαμβάνει τον αριθμό των νεκρών με τα αντίστοιχα δεδομένα για τα χαρακτηριστικά των

νεκρών και τις συνθήκες του οδικού ατυχήματος, όπως προέκυψαν από τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Για τον πιο σωστό και κατάλληλο χειρισμό της ιεραρχικής δομής των δεδομένων οδικής ασφάλειας και της εξάρτησης που προκύπτει ανάμεσα σε αυτά, επιλέχθηκαν ως τεχνική ανάλυσης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας τα **πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης**. Τα πολυεπίπεδα μοντέλα αποτελούν τον πιο κατάλληλο τρόπο για τον χειρισμό των συσχετίσεων που προκύπτουν μεταξύ των παρατηρήσεων, καθώς επιτρέπουν τον **καθορισμό της ιεραρχικής διάταξης** μέσα στο μοντέλο και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν σωστά οι μεταβλητές πρόβλεψης που χαρακτηρίζουν τα διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, χωρίς να χρειάζεται τα στοιχεία να εξεταστούν μόνο συγκεντρωτικά ή χωρίς δομή. Όσον αφορά στις **εξισώσεις** των πολυεπίπεδων μοντέλων, όταν τα δεδομένα έχουν γεωγραφική ιεραρχία μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι εμπίπτουν στην ευρύτερη οικογένεια των χωρικών αναλύσεων και σε αυτήν την περίπτωση, η **παλινδρόμηση Poisson** είναι η κατάλληλη επιλογή στατιστικής κατανομής που ακολουθούν τα δεδομένα. Για τον λόγο αυτό, η μεθοδολογία στατιστικής επεξεργασίας που επιλέχθηκε, τελικά, είναι τα **πολυεπίπεδα στατιστικά μοντέλα Poisson**.

Η **στατιστική ανάλυση** των στοιχείων έγινε με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού MLwiN, που είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις, από τις οποίες προέκυψαν τα αντίστοιχα μοντέλα. Στην **πρώτη φάση** της ανάλυσης επιχειρήθηκε η διερεύνηση της σχέσης του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα με τα **στοιχεία των οδικών ατυχημάτων**. Στη **δεύτερη φάση** της ανάλυσης επιχειρήθηκε να προστεθούν στο στατιστικό μοντέλο οι μεταβλητές που αναφέρονται στα **χαρακτηριστικά των Πρωτευουσών**. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να διερευνηθεί η σχέση του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα όχι μόνο με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων, αλλά και με τα στοιχεία των Πρωτευουσών.

Οπότε, το **τελικό μοντέλο** που προέκυψε από την 2^η φάση περιλαμβάνει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον Αριθμό νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τις μεταβλητές που σχετίζονται με τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων και τα στοιχεία των Πρωτευουσών. Για τον έλεγχο και την αξιολόγηση του στατιστικού μοντέλου πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητοι **ποιοτικοί και στατιστικοί έλεγχοι**. Τα αποτελέσματα του τελικού στατιστικού μοντέλου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6.1). Ακολούθησε η **ερμηνεία των αποτελεσμάτων** του τελικού στατιστικού μοντέλου μέσα από την περιγραφή των συντελεστών των μεταβλητών του. Ακόμα, παρουσιάστηκαν γραφικές παραστάσεις και **συγκριτικά διαγράμματα** που παράχθηκαν από τις προβλέψεις του τελικού στατιστικού μοντέλου με στόχο την καλύτερη κατανόηση και εξήγηση των αποτελεσμάτων του και τη σύγκριση των Πρωτευουσών. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρατίθενται συγκεντρωτικά τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Πολυεπίπεδο μοντέλο Poisson - Στοιχεία οδικών ατυχημάτων και Πρωτευουσών			
Εξαρτημένη μεταβλητή	Αριθμός νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα)		
Όρος αντιστάθμισης	Φυσικός Λογάριθμος του Μήκους Οδού ανά 1.000 κατοίκους		
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Συντελεστής β_i	S.E.	t-test = $\beta_i / S.E.$
Σταθερό μέρος της εξίσωσης			
Σταθερός όρος	-6,322	0,591	-10,697
Μήνας_1	0,937	0,073	12,836
Ημέρα της εβδομάδας_1	0,540	0,058	9,310
Ηλικιακή Ομάδα_1	-0,854	0,132	-6,470
Ηλικιακή Ομάδα_3	0,224	0,068	3,294
Ηλικιακή Ομάδα_4	0,228	0,075	3,040
Φύλο_2	-0,416	0,062	-6,710
Τύπος Χρήστη της Οδού_1	-0,399	0,081	-4,926
Τύπος Χρήστη της Οδού_2	-1,009	0,113	-8,929
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_1	-0,254	0,074	-3,432
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_3	-1,151	0,148	-7,777
Τύπος Οχήματος Κυκλοφορίας_4	-0,322	0,094	-3,426
Καιρός_1	1,095	0,086	12,733
Πυκνότητα Αστικού Πληθυσμού (άτομα/εκτάρια)	-0,043	0,015	-2,867
Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων / Ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς	0,242	0,136	1,779
Τυχαίο μέρος της εξίσωσης			
2 ^ο Επίπεδο: Πόλη			
$\sigma^2 u_0$ (Όρος διακύμανσης)	0,123	0,063	1,952
1 ^ο Επίπεδο: Περίπτωση Ατυχήματος			
Όρος υπερδιασποράς	3,795	0,133	28,534

Πίνακας 6.1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων τελικού μοντέλου

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ερμηνεία των συντελεστών των μεταβλητών του στατιστικού μοντέλου και από τα συγκριτικά διαγράμματα, αλλά και από τα υπόλοιπα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψαν αποτελέσματα άμεσα συνδεδεμένα με τον στόχο της Εργασίας. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύνθεση αυτών των αποτελεσμάτων είναι τα εξής:

1. Τα **πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης** επέτρεψαν την καλύτερη αποτύπωση της ιεραρχικής δομής που παρουσιάζουν τα δεδομένα οδικής ασφάλειας και οδήγησαν στον πληρέστερο προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν το επίπεδο οδικής ασφάλειας στις επιλεγείσες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Η συγκριτική ανάλυση μέσω των πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων αποκαλύψε **νέες επιπλέον πτυχές** των επιδόσεων οδικής ασφάλειας των ευρωπαϊκών Πρωτευουσών.

2. Από τα συγκριτικά διαγράμματα των μεταβλητών που σχετίζονται με τον τύπο χρήστη της οδού και το όχημα κυκλοφορίας σε κάθε Πρωτεύουσα προκύπτει ότι, οι Πρωτεύουσες που παρουσιάζουν τις υψηλότερες προβλέψεις αριθμού νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά **μήκος οδού** (Λισαβόνα, Λονδίνο, Αθήνα, Βρυξέλλες) είναι εκείνες που έχουν τις χαμηλότερες τιμές του δείκτη μήκους οδού ανά 1.000 κατοίκους. Δηλαδή, όσο πιο μεγάλο οδικό δίκτυο έχει μία πόλη, τόσο καλύτερο είναι το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε αυτή.

3. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του στατιστικού μοντέλου προκύπτει ότι, όσον αφορά στην **πυκνότητα του αστικού πληθυσμού** (κάτοικοι/εκτάρια), όσο αυξάνεται η τιμή αυτής της μεταβλητής, τόσο μειώνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, στις πολύ πυκνοκατοικημένες πόλεις, λόγω του μεγάλου αριθμού των οχημάτων που κυκλοφορούν, επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ταχύτητας οδήγησης από τους οδηγούς, σε αντίθεση με τις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές που παρατηρείται συνήθως υψηλότερη ταχύτητα οδήγησης, που αποτελεί, όπως επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία, μία από τις συχνότερες αιτίες πρόκλησης οδικών ατυχημάτων.

4. Αναφορικά με τον δείκτη **ετήσια επιβατοχιλιόμετρα ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων ανά ετήσια επιβατοχιλιόμετρα μέσων μαζικής μεταφοράς** προκύπτει ότι, όσο αυξάνεται η τιμή αυτού του δείκτη, τόσο αυξάνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται λογικό, καθώς η αύξηση αυτού του λόγου σημαίνει αύξηση των ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων των ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων σε σχέση με εκείνων των μέσων μαζικής μεταφοράς, και όπως είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία, τα ιδιωτικά μέσα μεταφοράς παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα οδικής ασφάλειας σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, που είναι πολύ πιο ασφαλή.

5. Όσον αφορά στον τύπο χρήστη της οδού, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος στην **κατηγορία των πεζών** σε σχέση με τις κατηγορίες του οδηγού και του επιβάτη. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται ενδεχομένως στο γεγονός ότι, οι πεζοί είναι από τους πιο ευάλωτους χρήστες της οδού, καθώς η εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα έχει αυξημένη πιθανότητα θανάτου ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς προστασίας τους από τα οχήματα.

Ωστόσο, η παρατήρηση αυτή δεν ισχύει στην περίπτωση της Αθήνας, όπου είναι η μόνη Πρωτεύουσα στην οποία ο εν λόγω δείκτης είναι υψηλότερος στην κατηγορία των οδηγών. Αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στην ιδιαίτερα αυξημένη κυκλοφορία ιδιωτικών οχημάτων (επιβατικά και μοτοσυκλές) στην πόλη της Αθήνας, όπως αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι η πόλη αυτή έχει τον υψηλότερο δείκτη ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων ιδιωτικών μηχανοκίνητων μέσων ανά ετήσιων επιβατοχιλιομέτρων μέσων μαζικής μεταφοράς.

6. Η κατηγορία οχήματος κυκλοφορίας **μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο** παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό νεκρών από οδικά ατυχήματα σε σχέση με όλες τις άλλες κατηγορίες οχημάτων στις περισσότερες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στην αυξημένη κυκλοφορία της συγκεκριμένης κατηγορίας οχημάτων στις πόλεις και στη μεγάλη έκθεση σε κίνδυνο που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα οχήματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις πόλεις Παρίσι, Λονδίνο και Αθήνα η διαφορά της κατηγορίας μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο από τις άλλες κατηγορίες οχημάτων κυκλοφορίας είναι αρκετά μεγάλη. Η διαφορά αυτή επιβεβαιώνει την αυξημένη ανάγκη οδικής προστασίας για τη συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων στις μεγάλες πόλεις, λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας τους σε αυτές και της μεγάλης έκθεσης σε κίνδυνο που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα οχήματα. Όσον αφορά στη σύγκριση ανάμεσα στις Πρωτεύουσες, παρατηρείται ότι στην κατηγορία **μοτοσικλέτα - μοτοποδήλατο** τις υψηλότερες τιμές του δείκτη αριθμός νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά πυκνότητα αστικού πληθυσμού παρουσιάζουν το Λονδίνο, η Λισαβόνα, το Παρίσι και η Βουδαπέστη, ενώ στην κατηγορία **επιβατικό αυτοκίνητο** η Λισαβόνα, το Λονδίνο, η Βουδαπέστη και η Μαδρίτη.

7. Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των παθόντων, διαπιστώθηκε ότι αναφορικά με το **φύλο**, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος στους άνδρες από ότι στις γυναίκες. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται, ενδεχομένως, στην πιο επιθετική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι άνδρες οδηγοί σε σχέση με τις γυναίκες, όπως επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία και από το γεγονός ότι, ο αριθμός των ανδρών οδηγών είναι υψηλότερος από τον αντίστοιχο των γυναικών.

8. Ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος τους **χειμερινούς μήνες** από ότι τους θερινούς μήνες. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η κινητικότητα των οχημάτων στις πόλεις είναι μειωμένη λόγω της περιόδου διακοπών.

9. Σχετικά με την **ημέρα της εβδομάδας** προέκυψε ότι, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος τις καθημερινές από ότι το σαββατοκύριακο. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανώς στην αυξημένη κινητικότητα που παρατηρείται τις καθημερινές, συνήθως λόγω εργασιακών υποχρεώσεων σε όλες αυτές τις πόλεις, σε σχέση με τα σαββατοκύριακα που υπάρχει μικρότερη ανάγκη για μετακινήσεις.

10. Ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος όταν οι **καιρικές συνθήκες** που επικρατούν είναι καλές σε σχέση με δυσμενείς καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι). Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι ημέρες βροχής είναι λιγότερες από τις ημέρες με κανονικές συνθήκες καιρού και αφετέρου στο ότι οι οδηγοί τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί και να ελαττώνουν την ταχύτητα των οχημάτων τους σε συνθήκες βροχής ή/και κακοκαιρίας.

11. Η μέθοδος των **πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων Poisson** είναι κατάλληλη για τη συγκριτική ανάλυση του επιπέδου οδικής ασφάλειας, ειδικά σε συγκρίσεις επιδόσεων διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών, όπως στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Το τελικό στατιστικό μοντέλο, το οποίο αναπτύχθηκε με τη χρήση της μεθόδου αυτής, θεωρείται γενικά αξιόπιστο, αφού είχε καλή προσαρμογή στα δεδομένα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες αντίστοιχες διερευνήσεις, μετά από τις απαραίτητες προσαρμογές.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται στη συνέχεια η παράθεση ορισμένων προτάσεων, οι οποίες θα συμβάλλουν ενδεχομένως στη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας στις πόλεις της Ευρώπης.

Όπως διαπιστώθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η κατηγορία χρήστη της οδού των πεζών και η κατηγορία οχήματος κυκλοφορίας μοτοσικλέτα, μοτοποδήλατο παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα επικινδυνότητας στο οδικό δίκτυο των ευρωπαϊκών Πρωτευουσών. Για τον λόγο αυτό, φαίνεται επιτακτική η ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα στη δημιουργία ενός ασφαλούς οδικού περιβάλλοντος για αυτούς τους ευάλωτους χρήστες της οδού, ενδεχομένως μέσω της βελτίωσης της υπάρχουσας οδικής υποδομής ή της επέκτασής της.

Από την ανάλυση του δείκτη της Πυκνότητας Αστικού Πληθυσμού και την επιρροή που έχει στα οδικά ατυχήματα, διαπιστώνεται ότι η οδική ασφάλεια πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα σχέδια αστικής κινητικότητας (urban mobility plans) και γενικότερα, στον πολεοδομικό σχεδιασμό κάθε πόλης.

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το δείκτη χρήσης των ιδιωτικών οχημάτων έναντι των μέσων μαζικής μεταφοράς συμπεραίνεται ότι κάποια βελτίωση του επιπέδου της οδικής ασφάλειας στις πόλεις θα μπορούσε,

ενδεχομένως, να επιτευχθεί εύκολα με την αύξηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Η παροχή ασφαλών και αποτελεσματικών δημόσιων συγκοινωνιών στους κατοίκους μιας πόλης θα μπορούσε να αποδειχθεί ένα μέτρο που θα συνεισφέρει όχι μόνο στη μείωση των οδικών ατυχημάτων, αλλά και στην αντιμετώπιση πολλών άλλων συγκοινωνιακών προβλημάτων. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των αστικών κέντρων, που οι διανυόμενες αποστάσεις είναι μικρές, η αντικατάσταση των ιδιωτικών αυτοκινήτων με τα μέσα μαζικής μεταφοράς μπορεί να αποφέρει αρκετά θετικά αποτελέσματα στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας των πόλεων.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι ευρωπαϊκοί στόχοι για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας απαιτείται ολοκληρωμένη προσέγγιση της οδικής ασφάλειας μέσα από τη συντονισμένη ανάπτυξη και εφαρμογή των σχεδίων οδικής ασφάλειας πόλεων. Σε αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να συμβάλλει η παρακολούθηση της εξέλιξης του επιπέδου οδικής ασφάλειας στις πόλεις που παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις και η ανταλλαγή πληροφοριών για τις επιτυχημένες πρακτικές, που θα βοηθήσουν στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος σε πόλεις που παρουσιάζουν χαμηλότερες επιδόσεις.

6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε μία πολυεπίπεδη συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες. Αρκετά ενδιαφέροντα θα ήταν η επέκταση της συγκεκριμένης έρευνας σε πιο πολλές πόλεις στην Ευρώπη και σε παγκόσμιο επίπεδο, προκειμένου να ελεγχθεί εάν οι παράμετροι οδικής ασφάλειας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ανάλυση έχουν την ίδια επιρροή και σε άλλες πόλεις.

Μία πρόταση που θα διευκολύνει την εκτενέστερη έρευνα των δεδομένων οδικής ασφάλειας, είναι ο εμπλουτισμός των ευρωπαϊκών βάσεων δεδομένων, όπως είναι το Κοινό Σύνολο Στοιχείων Οδικών Ατυχημάτων (CADaS - Common Accident Data Set), που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, με περισσότερα τυποποιημένα δεδομένα και κοινές μεταβλητές. Μία πλήρης και ενημερωμένη βάση δεδομένων οδικής ασφάλειας μπορεί να αποτελέσει ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο, που θα επιτρέψει την διάθεση συγκρίσιμων στοιχείων οδικών ατυχημάτων στην Ευρώπη, έτσι ώστε να επιτραπούν περισσότερο λεπτομερείς και αξιόπιστες αναλύσεις των επιδόσεων οδικής ασφάλειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Επιπλέον, θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα πιο αναλυτικό στατιστικό μοντέλο με περαιτέρω μεταβλητές που αναφέρονται στα οδικά ατυχήματα, όπως για παράδειγμα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου. Ακόμα, ιδιαίτερα χρήσιμη θα ήταν η προσθήκη περισσότερων δεικτών που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των πόλεων, όπως πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, εισόδημα κατοίκων, ποσοστά ανεργίας, αλλά και δείκτες κινητικότητας και χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Άλλοι δείκτες που

θα μπορούσαν να προστεθούν είναι δείκτες συμπεριφοράς των χρηστών της οδού, όπως είναι το ποσοστό παραβατικότητας, η κατανάλωση αλκοόλ, η χρήση ζώνης και κράνους και η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Ακόμα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η προσθήκη μεταβλητών που να προσδιορίζουν τον βαθμό της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων οδικής ασφάλειας που πραγματοποιούνται, καθώς η γενική αύξηση των επιδόσεων της οδικής ασφάλειας να μην αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων, αλλά δεν αναγνωρίζει ποιες από αυτές είναι οι πιο αποτελεσματικές.

Ακόμη, σε επόμενη φάση θα μπορούσε να γίνει διερεύνηση της συσχέτισης των παραμέτρων που επηρεάζουν τον αριθμό των νεκρών από οδικά ατυχήματα με χρήση πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων που ακολουθούν διαφορετική κατανομή, όπως είναι η αρνητική διωνυμική κατανομή.

Τέλος, η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα μπορούσε να επαναληφθεί μετά από λίγα χρόνια, προκειμένου να εξεταστεί εάν ισχύουν ακόμα τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Με τον τρόπο αυτό θα δοθεί η δυνατότητα να παρατηρηθεί μία ενδεχόμενη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας σε κάθε Πρωτεύουσα και να αποτιμηθούν οι επεμβάσεις που εφαρμόστηκαν σε αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brandon Schoettle, Michael Sivak, Road Safety in two european megacities: London and Paris, The University of Michigan Transportation Research Institute, 2012
2. Brandstaetter, C., et al., Annual Statistical Report, Deliverable D3.9 of the EC FP7 project DaCoTA, 2012
3. DaCoTA Road Safety Management, European Commission Directorate-General for Mobility and Transport, 2012
4. DaCoTA Traffic Safety Basic Facts 2012 – Main Figures, European Commission Directorate-General for Mobility and Transport, 2012
5. DaCoTA Traffic Safety Basic Facts 2012 - Urban areas, European Commission Directorate-General for Mobility and Transport, 2012
6. Elke Hermans et al., Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis, Accident Analysis and Prevention 41 174–182, 2009
7. Emmanuelle Dupont, Eleonora Papadimitriou, Heike Martensen, George Yannis, Multilevel analysis in road safety research, Belgian Road Safety Institute, National Technical University of Athens, Greece, 2013
8. ERSO - European Road Safety Observatory,
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/index_en.htm
9. Eurostat Methodologies and Working papers, Regions in the European Union Nomenclature of territorial units for statistics NUTS 2010/EU-27, 2011

10. Eurostat, European Commission
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>
11. Fabrizio Benvenuti, Implementing the 2012/2020 Road Safety Action Plan in Rome, Roma servizi per la mobilità, Annual Polis Conference, 2012
12. Fred Wegman, Siem Oppe, Benchmarking road safety performances of countries, *Safety Science* 48 1203–1211, 2010
13. George Yannis et al., When may road fatalities start to decrease?, *Journal of Safety Research* 42 17–25, 2011
14. George Yannis, Angeliki Kopsacheili, Panayiotis Klimis, Estimating the Adequacy of a Metro Network, *Journal of Urban Planning and Development*, 2012
15. George Yannis, Efficiency assessment of road safety measures in Europe, FERSI - CERTH/HIT, *European Best Practices in Road Safety*, 2011
16. George Yannis, Eleonora Papadimitriou, Constantinos Antoniou, Impact of enforcement on traffic accidents and fatalities: A multivariate multilevel analysis, *Safety Science* 46 738–750, 2008
17. George Yannis, Eleonora Papadimitriou, Constantinos Antoniou, Multilevel modelling for the regional effect of enforcement on road accidents, National Technical University of Athens, School of Civil Engineering, Department of Transportation Planning and Engineering, 2006
18. George Yannis, State of the Art on Road Safety, Università degli Studi di Brescia – CeSCAm International Conference “LIVING AND WALKING IN CITIES”, Vulnerable users’ road safety, Brescia, 2013
19. Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action, World Health Organization, 2013
20. Graziella Jost, Richard Allsop, Mircea Steriu, Back on track to reach the EU 2020 Road Safety Target?, 7th Road Safety PIN Report, European Transport Safety Council, 2013
21. Harvey Goldstein, David J. Spiegelhalter, League Tables and Their Limitations: Statistical Issues in Comparisons of Institutional Performance, *Journal of the*

- Royal Statistical Society, Series A (Statistics in Society), Vol. 159, No. 3., pp. 385-443, 1996
22. Harvey Goldstein, Michael J. R. Healy, The Graphical Presentation of a Collection of Means, Journal of the Royal Statistical Society, Series A (Statistics in Society), Vol. 158, No. 1., pp. 175-177, 1995
23. Helai Huang, Mohamed Abdel-Aty, Multilevel data and Bayesian analysis in traffic safety, Department of Civil, Environmental and Construction Engineering, University of Central Florida, 2010
24. Jon Rasbash, Fiona Steele, William Browne, Bob Prosser, A User's Guide to MLwiN, Centre for Multilevel Modelling, Institute of Education, University of London, 2004
25. Joop Hox, Multilevel Analysis Techniques and Applications, Utrecht University, the Netherlands, 2002
26. Letty Aarts, Rob van den Ban, Comparing areas to stimulate progress in road safety, Benchmarking road safety, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, 2010
27. Michael Sivak, Shan Bao, Road Safety in New York and Los Angeles: U.S. Megacities compared with the nation, The University of Michigan, Transportation Research Institute, 2012
28. S. Lassarre, Analysis of progress in road safety in ten European countries, Accident Analysis and Prevention 33743–751, 2011
29. Verma Saurabh, CARE DATABASE, CaDaS Common Accident Data Set, European Commission Directorate-General for Mobility and Transport, 2013
30. Yongjun Shen et al., A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation, Expert Systems with Applications 38 15262–15272, 2011
31. Yves Page, A statistical model to compare road mortality in OECD countries, Accident Analysis and Prevention 33 371–385, 2011

32. Γεώργιος Κανελλαΐδης, Γεώργιος Γιαννής, Σοφία Βαρδάκη, Αλεξάνδρα Λαΐου, Ανάπτυξη Στρατηγικού Σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, 2011-2020
33. Πνευματικού Α., Διαχρονική εξέλιξη βασικών παραμέτρων οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ομάδες Ευρωπαϊκών κρατών. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
34. Τσουμάνη Α., Συσχετίσεις μακροσκοπικών παραμέτρων οδικής ασφάλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
35. Χαζίρης Α., Συγκριτική διερεύνηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την επικινδυνότητα στους ελληνικούς αυτοκινητοδρόμους, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005
36. Γιώργος Γιαννής, Αλεξάνδρα Λαΐου, Σοφία Βαρδάκη, Γεώργιος Κανελλαΐδης, Καθορισμός και Επίτευξη Στόχων οδικής ασφάλειας στην Ευρώπη – Κριτική Επισκόπηση, 4ο Διεθνές Συνέδριο για την Έρευνα στις Μεταφορές στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη, 2006.
37. Γιώργος Γιαννής, Κώστας Αντωνίου, Ματθαίος Καρλαύτης, Ημερίδα για την Εβδομάδα Οδικής Ασφάλειας, Οι θέσεις του Συλλόγου Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων για την Οδική Ασφάλεια, Αθήνα 2013
38. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ανάπτυξη Στρατηγικού Σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, 2011-2020, Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, Αθήνα, 2011
39. Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ. ΣΤΑΤ.) Επεξεργασία Μάρτιος 2014.
<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>
40. Ιωάννης Πανάρετος, Γραμμικά Μοντέλα με έμφαση στις εφαρμογές (Συμπλήρωμα), Τμήμα Στατιστικής, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2003
41. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1990
42. Αντωνίου Κ., Γιαννής Γ., Ευγενικός Π., "Συγκριτική ανάλυση παραμέτρων

οδικής ασφάλειας στους Ευρωπαϊκούς αυτοκινητόδρομους", Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Οδοποιίας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα, Φεβρουάριος 2012.

43. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα 2001-2005, εξειδίκευση δράσεων. Τ.Μ.Σ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003
44. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα 2006-2010. Τ.Μ.Σ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005
45. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα 2011-2020. Τ.Μ.Σ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011
46. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., Οδική Ασφάλεια. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994
47. Ελευθερία Χουσουλάκη, "Πολυ-επίπεδη ανάλυση χαρακτηριστικών οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές της Ευρώπης", Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2013.