



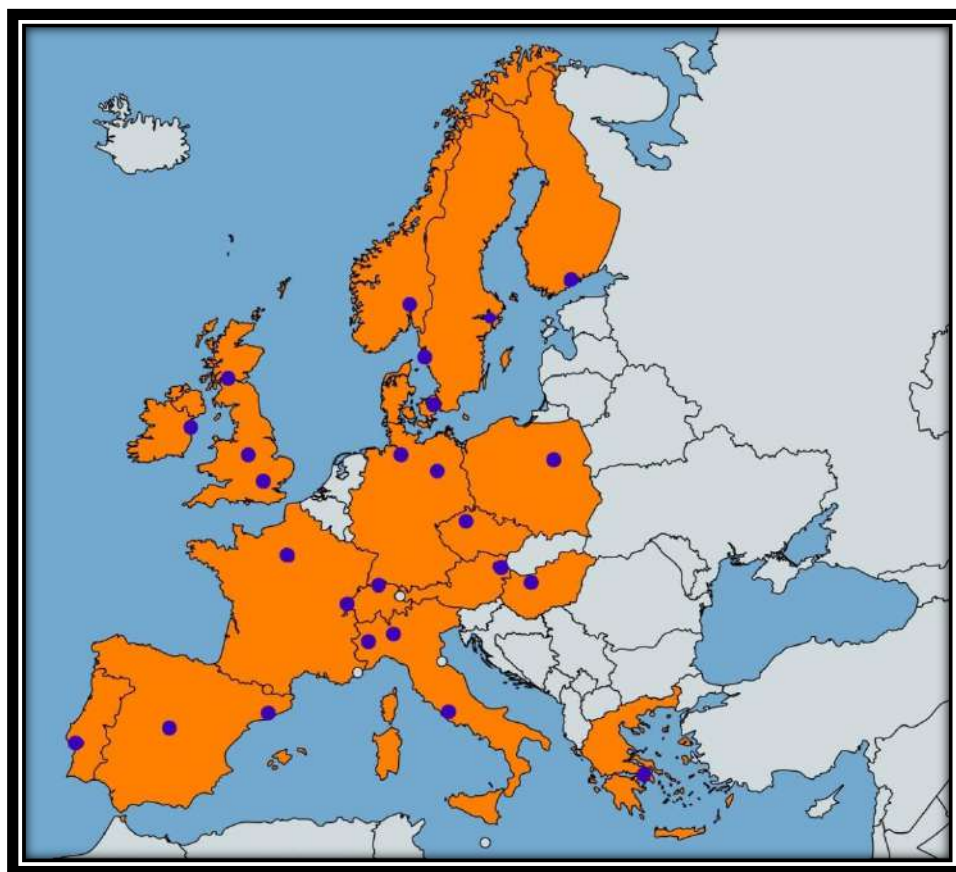
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

# ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΓΙΑΓΚΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2018



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου, την παρούσα Διπλωματική Εργασία, για την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της, καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία μας.

Παράλληλα, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Γκόλια, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και Πρύτανη Ε.Μ.Π. και την κα. Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους πάνω στην εργασία.

Εξίσου θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω την Κατερίνα Φώλλα, Υποψήφια Διδάκτορα ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια της καθώς και για τις συμβουλές και υποδείξεις της σε σημαντικά ζητήματα της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, ένα ξεχωριστό ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, όπως επίσης και σε όλους τους φίλους που ήταν δίπλα μου στις όμορφες αλλά και στις δύσκολες στιγμές όλα αυτά τα χρόνια.

Γιάγκου Δημήτριος

Αθήνα, Ιούλιος 2018



# **ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ**

Γιάγκου Δημήτριος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

## **ΣΥΝΟΨΗ**

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις. Για την ανάλυση αξιοποιήθηκαν διεθνείς βάσεις δεδομένων που περιελάμβαναν στοιχεία για τον αριθμό των νεκρών σε οδικά ατυχήματα, δημογραφικά στοιχεία και χαρακτηριστικά κινητικότητας για 25 ευρωπαϊκές πόλεις το έτος 2012. Για τη στατιστική ανάλυση αναπτύχθηκαν Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα τόσο για το σύνολο των νεκρών, όσο και για συγκεκριμένες υποκατηγορίες του συνόλου αυτού. Τα αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι μεγαλύτερη προσφερόμενη χωρητικότητα στα μέσα μαζικής μεταφοράς, περισσότερες μετακινήσεις με ποδήλατο και λιγότερες μοτοσυκλέτες επιφέρουν μείωση του αριθμού νεκρών στα οδικά ατυχήματα στις πόλεις. Επιπλέον διαπιστώθηκε πως πυκνότερο οδικό δίκτυο, μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού και υψηλότερο κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. είναι συσχετισμένα επίσης με λιγότερους νεκρούς στα οδικά ατυχήματα στις πόλεις.

Λέξεις κλειδιά: Κινητικότητα, Οδική ασφάλεια, Ευρωπαϊκές πόλεις, Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα

# **MOBILITY AND ROAD SAFETY IN EUROPEAN CITIES**

Giagkou Dimitrios

Supervisor: George Yannis, Professor, NTUA

## **ABSTRACT**

The objective of this Diploma Thesis is to investigate the impact of mobility characteristics on road safety in European cities. For this analysis, various international databases were exploited with data on road accident fatalities, demographics and mobility characteristics of 25 European cities in 2012. Generalized Linear Models were developed for both the total number of fatalities and for specific subcategories too. The results led to the conclusion that more public transport capacity offered, more cycle trips and fewer motorcycles lead to a reduction in the number of fatalities in urban road accidents. Moreover, it was found that denser road network, higher population density and higher GDP per capita are correlated with fewer fatalities in urban road accidents.

Key-words: Mobility, Road safety, European cities, Generalized Linear Models



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η **διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας** (κατανομή στα μέσα μεταφοράς, χαρακτηριστικά δικτύου, κλπ.) **στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις**. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η επιρροή διαφόρων χαρακτηριστικών των αστικών περιοχών στον συνολικό αριθμό των θυμάτων λόγω οδικών ατυχημάτων, καθώς και σε ειδικές κατηγορίες των θυμάτων αυτών.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου πραγματοποιήθηκε, **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας για αστικές περιοχές στην Ευρώπη αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η **συλλογή και επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων**, που κρίθηκαν απαραίτητα για την επίτευξη του προαναφερόμενου στόχου. Η συλλογή για τα χαρακτηριστικά των πόλεων έγινε αξιοποιώντας τα δεδομένα της βάσης δεδομένων του οργανισμού **UITP**. Για τον αριθμό των θυμάτων στα οδικά ατυχήματα εντός των πόλεων τα στοιχεία λήφθηκαν από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων οδικών ατυχημάτων **CARE**.

Ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση των στοιχείων**, με βάση τη μέθοδο των **γενικευμένων γραμμικών μοντέλων**, που επιλέχθηκε μετά τη μελέτη του θεωρητικού υπόβαθρου. Σε πρώτη φάση η ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τον συνολικό αριθμό των νεκρών στις πόλεις λόγω οδικών ατυχημάτων και ως ανεξάρτητες τα χαρακτηριστικά των πόλεων, που συλλέχθηκαν και ήταν στατιστικά σημαντικά, διαμορφώνοντας έτσι, μετά από πολλές δοκιμές **το βασικό μοντέλο**. Στη συνέχεια αναλύθηκε ο τρόπος με τον οποίο ανεξάρτητες μεταβλητές του βασικού μοντέλου, επηρεάζουν συγκεκριμένες υποκατηγορίες θυμάτων στις πόλεις, χρησιμοποιώντας αυτές τις κατηγορίες ως εξαρτημένες μεταβλητές και δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο τα **δευτερεύοντα μοντέλα**.

Τέλος, καταγράφηκαν εκτενώς τα **αποτελέσματα και η ερμηνεία** των στατιστικών αναλύσεων, όπως επίσης και οι παρατηρήσεις, που προέκυψαν από τη σύγκριση των μοντέλων. Στον Πίνακα 6.1, που ακολουθεί παρατίθενται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μοντέλων.

|                                        |      | Σταθερά | Α.Ε.Π.  | Πυκνότητα πληθυσμού | Πυκνότητα οδικού δικτύου | Μοτοσυκλέτες | Μέσα Μαζικής Μεταφοράς | Μετακινήσεις με ποδήλατο |
|----------------------------------------|------|---------|---------|---------------------|--------------------------|--------------|------------------------|--------------------------|
| ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ<br>(ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ) | Bi   | 11,041  | -0,526  | -0,402              | -0,007                   | 0,019        | -0,462                 | -0,067                   |
|                                        | WALD | 9,265   | 3,523   | 2,507               | 7,774                    | 28,145       | 2,523                  | 3,872                    |
|                                        | e    |         | -1,893  | -0,351              | -0,351                   | 0,293        | -0,170                 | -0,085                   |
|                                        | e*   |         | -22,386 | -4,149              | -4,149                   | 3,469        | -2,009                 | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΗΝ ΝΥΧΤΑ                     | Bi   | 17,435  | -1,086  | -0,687              | -0,130                   | 0,027        | -0,585                 | -0,065                   |
|                                        | WALD | 11,355  | 8,190   | 3,623               | 6,032                    | 16,696       | 1,759                  | 1,946                    |
|                                        | e    |         | -5,734  | -1,393              | -0,901                   | 0,599        | -0,322                 | -0,150                   |
|                                        | e*   |         | -38,273 | -9,300              | -6,017                   | 3,998        | -2,147                 | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ                     | Bi   | 10,878  | -0,455  | -0,611              | -0,013                   | 0,020        |                        | -0,092                   |
|                                        | WALD | 10,782  | 3,510   | 7,003               | 14,931                   | 23,425       |                        | 9,542                    |
|                                        | e    |         | -2,127  | -1,010              | -0,848                   | 0,360        |                        | -0,161                   |
|                                        | e*   |         | -13,192 | -6,262              | -5,259                   | 2,234        |                        | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΕΖΩΝ                         | Bi   | 9,481   | -0,691  |                     | -0,004                   | 0,011        |                        | -0,035                   |
|                                        | WALD | 12,897  | 11,444  |                     | 3,857                    | 17,838       |                        | 1,975                    |
|                                        | e    |         | -3,801  |                     | -0,305                   | 0,260        |                        | -0,069                   |
|                                        | e*   |         | -54,907 |                     | -4,404                   | 3,762        |                        | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ                      | Bi   | 13,124  | -0,579  | -0,928              | -0,009                   | 0,024        | -0,864                 | -0,161                   |
|                                        | WALD | 10,029  | 3,270   | 10,262              | 8,851                    | 33,236       | 6,771                  | 17,174                   |
|                                        | e    |         | -1,323  | -0,642              | -0,459                   | 0,361        | -0,107                 | -0,366                   |
|                                        | e*   |         | -12,355 | -6,001              | -4,292                   | 3,372        | -1,000                 | -3,419                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΟΔΗΛΑΤΙΣΤΩΝ                  | Bi   |         | 0,533   |                     | -0,080                   | 0,010        | -0,610                 |                          |
|                                        | WALD |         | 1,993   |                     | 4,786                    | 4,367        | 2,435                  |                          |
|                                        | e    |         | 6,195   |                     | -1,286                   | 4,342        | -0,793                 |                          |
|                                        | e*   |         | 7,809   |                     | -1,621                   | 5,474        | -1,000                 |                          |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ               | Bi   | 15,744  | -0,978  | -0,820              | -0,010                   | 0,027        |                        | -0,132                   |
|                                        | WALD | 8,837   | 5,697   | 4,905               | 6,233                    | 25,320       |                        | 7,080                    |
|                                        | e    |         | -9,863  | -3,278              | -1,355                   | 0,603        |                        | -0,612                   |
|                                        | e*   |         | -16,358 | -5,438              | -2,247                   | 1,000        |                        | -1,015                   |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1** Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων

Με βάση τις αναλύσεις των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των μαθηματικών μοντέλων, τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- 1) Στον τομέα της **οδικής ασφάλειας**, η διερεύνηση της επιρροής των **χαρακτηριστικών της κινητικότητας** αποτελεί **πολύ σημαντικό κεφάλαιο** και ειδικά εντός των ορίων των αστικών περιοχών, όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιχειρήθηκε για πρώτη φορά η ποσοτικοποίηση της σχέσης αυτής με τη χρήση αναλυτικών και συγκρίσιμων στατιστικών στοιχείων από συνδυασμό αξιόπιστων βάσεων δεδομένων.
- 2) Η προσφερόμενη χωρητικότητα των **δημόσιων συγκοινωνιών** διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο να περιοριστούν σημαντικά τα συνολικά θύματα των οδικών ατυχημάτων στις πόλεις. Όσο μεγαλύτερη η προσφερόμενη χωρητικότητα, τόσο μεγαλύτερη και η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και συνεπώς μικρότερη πιθανότητα να συμβούν οδικά ατυχήματα. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι η



μεταβλητή αυτή ήταν στατιστικά σημαντική για το σύνολο του αριθμού των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων, ωστόσο δεν ήταν στατιστικά σημαντική για όλες τις επιμέρους κατηγορίες νεκρών.

- 3) Οι **μετακινήσεις με ποδήλατο** σε μία πόλη είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που συμβάλλει στη μείωση των συνολικών θυμάτων, καθώς και στις άλλες κατηγορίες οδικών ατυχημάτων, που εξετάστηκαν. Το ποδήλατο αποτελεί εναλλακτική επιλογή μετακίνησης, κυρίως για οδηγούς και επιβάτες αυτοκινήτων, αλλά και μοτοσυκλετών. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται το επίπεδο οδικής ασφάλειας στις οδούς, με την προϋπόθεση βέβαια ότι παρέχονται οι κατάλληλες υποδομές για τη χρήση του.
- 4) Όσον αφορά στον **αριθμό των μοτοσυκλετών** ανά κάτοικο, τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν πως παρουσιάζονται περισσότεροι νεκροί σε οδικά ατυχήματα, όταν αυτός ο αριθμός αυξάνεται. Οι μετακινήσεις των μοτοσυκλετιστών έχουν υψηλότερο βαθμό κινδύνου σε σύγκριση με τη μετακίνηση με επιβατικά οχήματα, γεγονός που πιθανώς εξηγεί αυτή την επιρροή.
- 5) Παρόμοιο συμπέρασμα προκύπτει και για τα στοιχεία των πόλεων, που αφορούν στην **πυκνότητα του αστικού πληθυσμού**. Καθώς αυξάνεται η τιμή της μεταβλητής αυτής, τόσο μειώνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών συνολικά, αλλά και στις υπόλοιπες κατηγορίες, εκτός αυτής των πεζών, όπου δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί ενδεχομένως να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στις πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις, λόγω του μεγάλου αριθμού των πολιτών και οχημάτων, που κυκλοφορούν, επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση στις οδούς. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας από τους οδηγούς, σε αντίθεση με τις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου παρατηρούνται συνήθως υψηλότερες ταχύτητες.
- 6) Αναφορικά με την **πυκνότητα του οδικού δικτύου** (μέτρα ανά εκτάριο), το συμπέρασμα που προκύπτει, είναι ότι μεγαλύτερη πυκνότητα οδικού δικτύου οδηγεί σε λιγότερα θύματα για όλες τις κατηγορίες θυμάτων. Ειδικά όμως στα θύματα οδικών ατυχημάτων την ημέρα, η μείωση αυτή είναι κατακόρυφη. Η υψηλή πυκνότητα του οδικού δικτύου είναι συνδεδεμένη με χαμηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας, άρα και καλύτερο επίπεδο οδικής ασφάλειας.
- 7) Η μεταβλητή του **Α.Ε.Π.** ανά κάτοικο της πόλης διαπιστώθηκε ότι αποτελεί τον βασικότερο μη συγκοινωνιακό παράγοντα επιρροής του αριθμού των θυμάτων, σε σύγκριση με τις άλλες εξεταζόμενες μεταβλητές και συνολικά, αλλά και σε όλες τις κατηγορίες θυμάτων των

δευτερευόντων μοντέλων. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι η οικονομική ευημερία είναι συνδεδεμένη με καλύτερη κουλτούρα οδικής ασφάλειας και τις συνεπαγόμενες υψηλές επιδόσεις.

- 8) Από τις αναλύσεις των δευτερευόντων μοντέλων προέκυψε πως οι παράγοντες που, επηρεάζουν τον συνολικό αριθμό θυμάτων στην πόλη επηρεάζουν εξίσου στατιστικά σημαντικά και τον αριθμό των θυμάτων λόγω οδικών ατυχημάτων, που συνέβησαν κατά τη διάρκεια **της νύχτας**. Στα θύματα λόγω οδικών ατυχημάτων στις πόλεις που συνέβησαν κατά τη διάρκεια **της ημέρας**, δεν ασκούσε στατιστικά σημαντική επιρροή η μεταβλητή της χωρητικότητας των δημόσιων συγκοινωνιών.
- 9) Στο στάδιο της συλλογής στοιχείων παρατηρήθηκε ότι εντός των πόλεων ο μεγαλύτερος αριθμός νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανήκει στην κατηγορία των **πεζών**. Από τη συγκριση των μονέλων διαπιστώθηκε πως στην συγκεκριμένη κατηγορία, όπως και σ' αυτή των νεκρών **μοτοσυκλετιστών**, το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. ασκεί τον υψηλότερο βαθμό επιρροής σε σχέση με τις άλλες μεταβλητές που εξετάστηκαν.
- 10) Στις μαθηματικές αναλύσεις έγινε προσπάθεια διερεύνησης της επιρροής διαφόρων χαρακτηριστικών κινητικότητας και στις **απώλειες ποδηλατιστών** μέσα στις πόλεις. Οι διαθέσιμοι όμως αριθμοί των θυμάτων αυτών ήταν πολύ μικροί σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία, έτσι ήταν στατιστικά αδύνατη η ανάλυση αυτή.
- 11) Τα παραπάνω σχόλια οδηγούν στο **γενικό συμπέρασμα** ότι τα θύματα των οδικών ατυχημάτων στις πόλεις εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι είναι δυνατόν να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες μεταξύ τους (συγκοινωνιακοί, οικονομικοί, δημογραφικοί κλπ.). Επιπρόσθετα από τις αναλύσεις ευαισθησίας τεκμαίρεται πως αυτοί οι παράγοντες δεν ασκούν τον ίδιο βαθμό επιρροής σε όλες τις κατηγορίες θυμάτων.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ                | 1  |
| 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 10 |
| 1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ                      | 11 |
| 1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ   | 14 |

### 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ                                                                                                                               | 16 |
| 2.2 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ                                                                                                      | 16 |
| 2.2.1 Οδική ασφάλεια στην Νέα Υόρκη και στο Λος Άντζελες: σε σύγκριση με τις άλλες πόλεις των Η.Π.Α                                        | 16 |
| 2.2.2 Οδική ασφάλεια σε δύο Ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις: Λονδίνο και Παρίσι                                                                   | 18 |
| 2.2.3 Πολυεπίπεδη ανάλυση χαρακτηριστικών οδικής ασφάλειας στις αστικές περιοχές της Ευρώπης                                               | 22 |
| 2.2.4 Πολυεπίπεδη συγκριτική ανάλυση οδικής ασφάλειας σε Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες                                                            | 24 |
| 2.2.5 Ανάλυση της σχέσης μεταξύ του αριθμού των θανάτων σε οδικά ατυχήματα και της επιλογής τρόπου μετάβασης στην εργασία σε επίπεδο πόλης | 26 |
| 2.3 ΣΥΝΟΨΗ – ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ                                                                                                            | 27 |

### 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ                                    | 30 |
| 3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ                 | 30 |
| 3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ–ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ | 32 |
| 3.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ                           | 33 |

|       |                                                     |    |
|-------|-----------------------------------------------------|----|
| 3.4.1 | ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ                                   | 33 |
| 3.4.2 | ΚΑΤΑΝΟΜΗ POISSON                                    | 33 |
| 3.4.3 | ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΔΙΩΝΥΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ                         | 34 |
| 3.5   | ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ                                  | 35 |
| 3.5.1 | ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ                               | 35 |
| 3.5.2 | ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ                              | 37 |
| 3.5.3 | ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ                      | 38 |
| 3.5.4 | ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ POISSON                                | 39 |
| 3.5.5 | ΓΕΝΙΚΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ                             | 41 |
| 3.5.6 | ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ                        | 42 |
| 3.6   | ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 45 |
| 3.7   | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ     | 49 |

#### **4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

|         |                                                             |    |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| 4.1     | ΕΙΣΑΓΩΓΗ                                                    | 51 |
| 4.2     | ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ                                           | 51 |
| 4.2.1   | ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ                                            | 52 |
| 4.2.1.1 | UITP                                                        | 52 |
| 4.2.1.2 | CARE                                                        | 55 |
| 4.2.2   | ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ                            | 60 |
| 4.3     | ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ                                       | 61 |
| 4.4     | ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ | 67 |

#### **5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

|     |                                        |    |
|-----|----------------------------------------|----|
| 5.1 | ΓΕΝΙΚΑ                                 | 76 |
| 5.2 | ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 77 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ-ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ _____         | 78 |
| 5.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ _____              | 79 |
| 5.2.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ _____                           | 79 |
| 5.2.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ _____                       | 81 |
| 5.2.5 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ _____                         | 83 |
| <br>5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ _____ | 84 |
| <br>5.3.1 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ _____                      | 88 |
| 5.3.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ _____                         | 94 |
| <br>5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ _____                            | 95 |
| <br>5.4.1 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ _____                            | 95 |
| 5.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ _____                            | 98 |

## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ _____           | 103 |
| 6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ _____                   | 105 |
| 6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ _____                      | 107 |
| 6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ _____ | 108 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ _____</b> | <b>110</b> |
|------------------------------|------------|

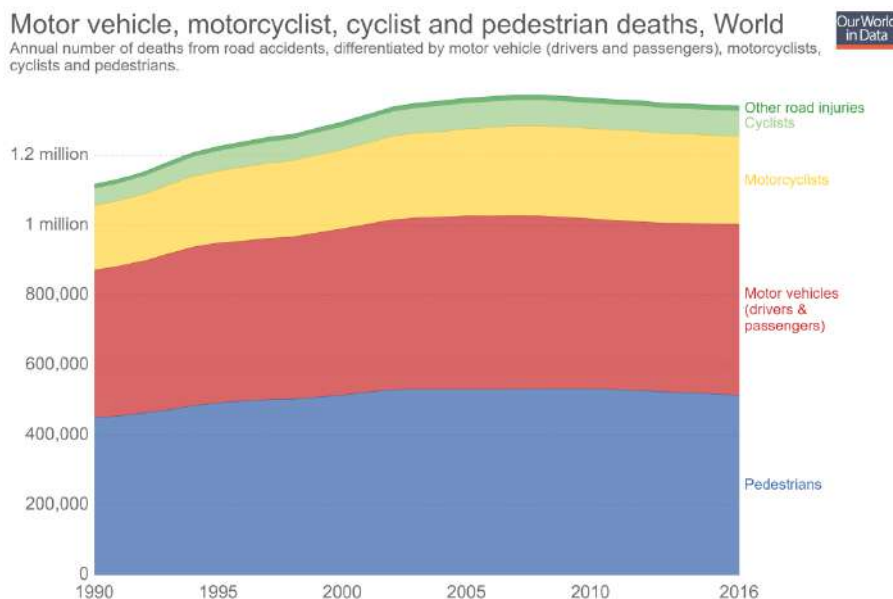


## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας τον τελευταίο αιώνα κατέστησε το αυτοκίνητο αναπόσπαστο κομμάτι κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι **οδικές μεταφορές** αποτελούν αναμφίβολα ένα κοινωνικό αγαθό και λειτουργούν ως σημαντικός παράγοντας εξέλιξης και προόδου. Όμως, η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις συνοδεύεται και από αρνητικές κοινωνικές συνέπειες, οι οποίες εκφράζονται σε μεγάλες καθημερινές ανθρώπινες απώλειες και σοβαρούς τραυματισμούς.

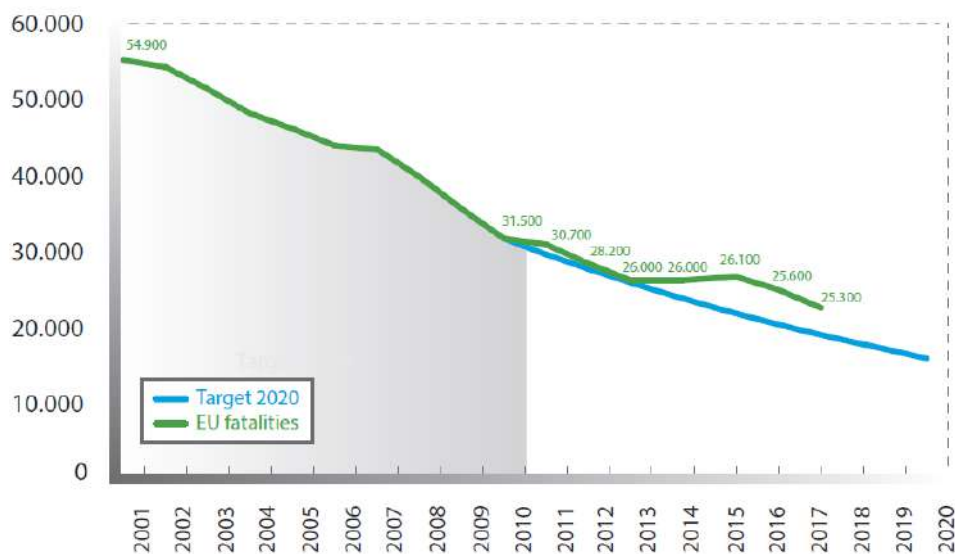
Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) οι **νεκροί** από τα οδικά ατυχήματα κάθε χρόνο ξεπερνούν τα 1,2 εκατομμύρια παγκοσμίως, ενώ τα **οδικά ατυχήματα** είναι παγκοσμίως η όγδοη κυριότερη αιτία απώλειας ζωής και η κύρια αιτία απώλειας ζωής για τους νέους ηλικίας 15-29 ετών. Οι σημερινές τάσεις δείχνουν ότι, αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα, μέχρι το 2030 τα οδικά ατυχήματα θα αποτελούν την πέμπτη κυριότερη αιτία απώλειας ζωής. Η Γενική Συνέλευση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών αποφάσισε το 2010 το 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.



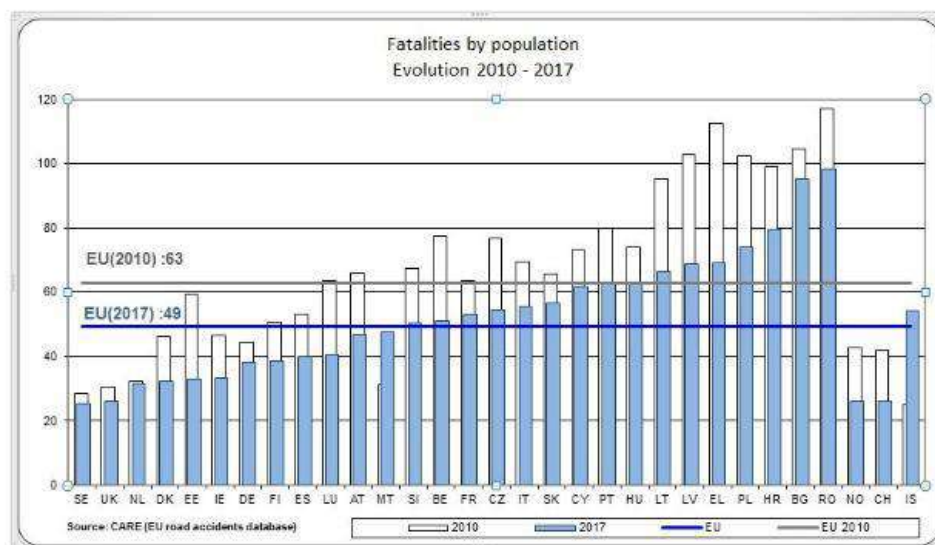
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1** Ετήσιος αριθμός θανάτων από οδικά ατυχήματα, ανά χρήστη οδού, στον κόσμο (ΠΗΓΗ: ΙΗΜΕ, 2009)



Οι **Ευρωπαϊκοί δρόμοι** παραμένουν οι ασφαλέστεροι με 49 οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους, έναντι 174 θανάτων ανά εκατομμύριο παγκοσμίως. Το 2017, 25.300 άτομα έχασαν τη ζωή τους στο οδικό δίκτυο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ήτοι 300 λιγότεροι από το 2016 (-2 %) και 6.200 λιγότεροι από το 2010 (-20 %). Παρόλο που η τάση αυτή είναι ενθαρρυντική, η επίτευξη του στόχου της ΕΕ για τη μείωση των θανάτων από οδικά ατυχήματα κατά το ήμισυ μεταξύ του 2010 και του 2020 θα αποτελέσει πλέον μεγάλη πρόκληση. Επιπλέον, εκτιμάται ότι άλλοι 135.000 άνθρωποι τραυματίστηκαν σοβαρά τον περασμένο χρόνο, συμπεριλαμβανομένου ενός μεγάλου ποσοστού ευάλωτων χρηστών (European Commission, 2017)

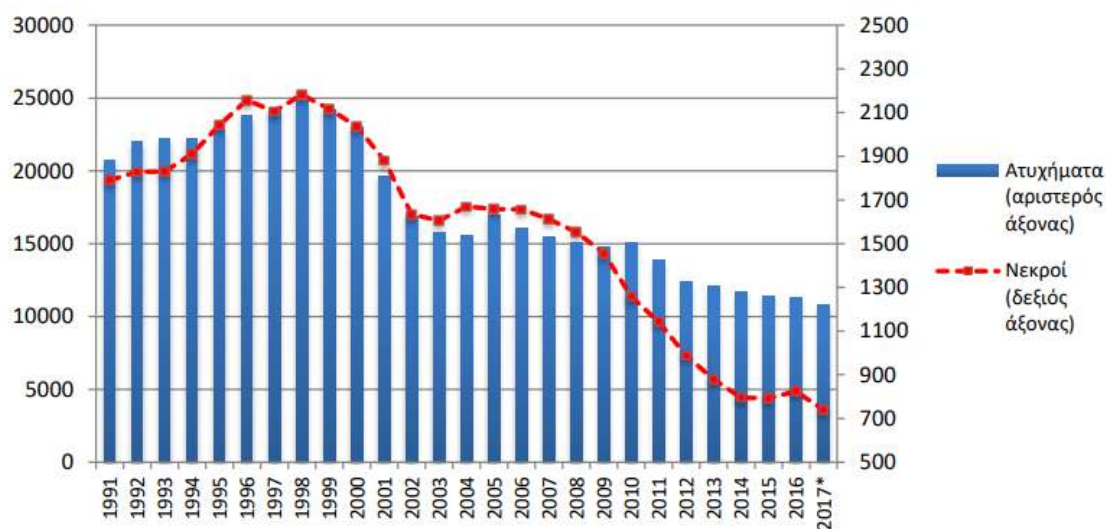


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.2** Ετήσιος αριθμός θυμάτων οδικών ατυχημάτων στην Ευρώπη (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.3** Αριθμός θυμάτων ανά πληθυσμό στις χώρες της Ευρώπης τα έτη 2010 και 2017 (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)

Στη χώρα μας, σύμφωνα με τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), η κατάσταση είναι οριακά βελτιωμένη τα τελευταία χρόνια, γεγονός πάντως που δεν πρέπει να μας εφησυχάζει, καθώς η **Ελλάδα** παραμένει μεταξύ των χωρών με τα περισσότερα ατυχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το 2017 στην ελληνική επικράτεια καταγράφηκαν 679 οδικά ατυχήματα, στα οποία είχαμε 740 νεκρούς. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες χρονιές παρατηρείται μείωση, αφού μεταξύ 2014 και 2016 έχασαν τη ζωή τους το 2014 798, το 2015 796 και το 2016 804 συνάνθρωποί μας. Αυτές οι επιδόσεις των τελευταίων ετών στην οδική ασφάλεια κρίνονται στάσιμες και πολύ μακριά από τους στόχους που είχαν τεθεί στο 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.

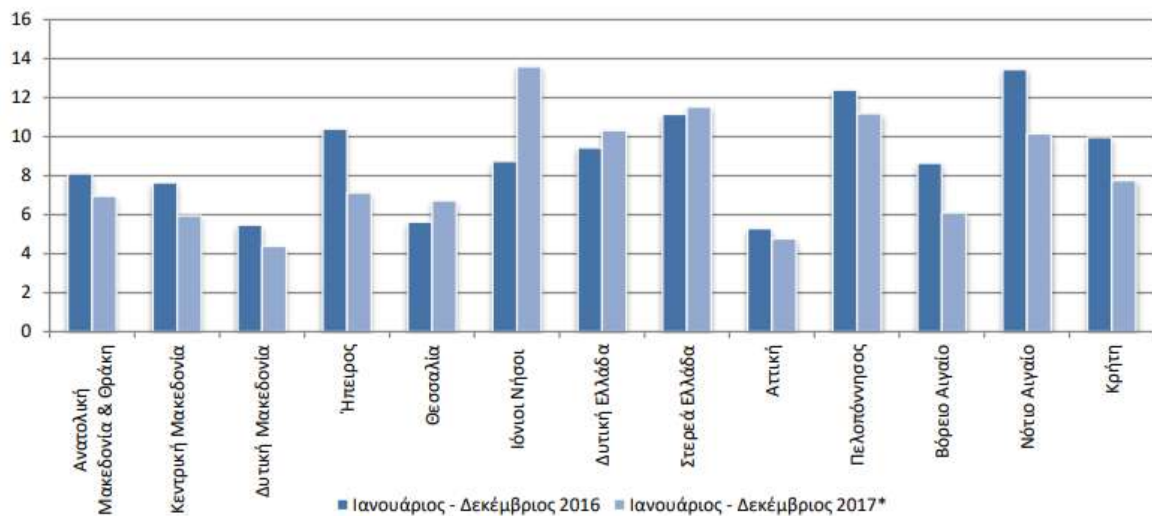


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.4** Σύνολο οδικών ατυχημάτων και νεκρών στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2017 (ΠΗΓΗ: ΕΛΣΤΑΤ, 2018)

Από το 2000 έως το 2015, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΑΣ, σε 245.404 οδικά συμβάντα καταγράφηκαν 22.397 νεκροί, 32.555 βαριά τραυματίες και ανάπηροι και 277.967 ελαφρά τραυματίες. Όπως εκτιμάται στο πόρισμα της ειδικής μόνιμης επιτροπής, την οποία έχει συγκροτήσει η Βουλή για την οδική ασφάλεια «η χώρα μας δαπάνησε περισσότερα από 81.181.704.000 € τα τελευταία 16 χρόνια (2000 – 2015), το ένα τέταρτο δηλαδή του χρέους».

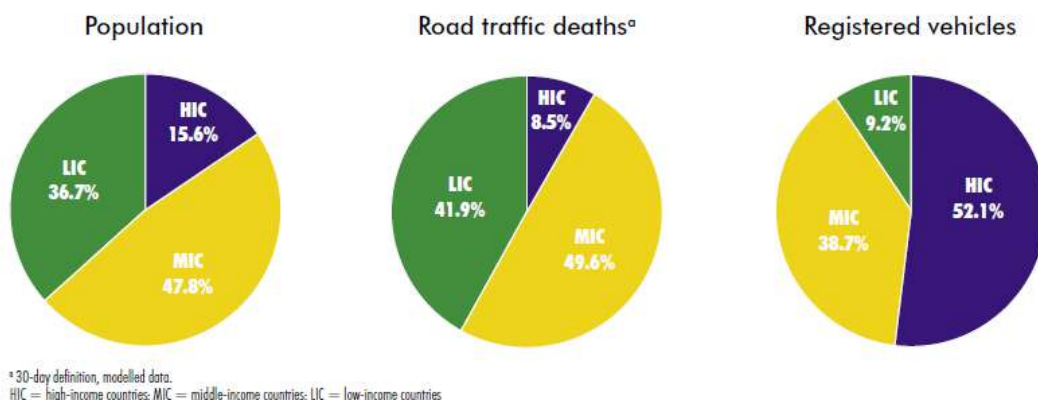
Στο παρακάτω Διάγραμμα αναγράφονται οι νεκροί ανά εκατό χιλιάδες κατοίκους ανά περιφέρεια στην Ελλάδα συγκριτικά για το 2016 και 2017. Ενώ

συνολικά υπήρξε μείωση των θυμάτων σε 4 από τις 13 περιφέρειες σημειώθηκε αύξηση και ειδικά στα Ιόνια νησιά σε μεγάλο βαθμό.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.5** Νεκροί ανά 100.000 κατοίκους στις Ελληνικές Περιφέρειες για τα έτη 2016 και 2017 (ΠΗΓΗ: ΕΛΣΤΑΤ, 2018)

Όπως συμπεραίνεται, τα παραπάνω στοιχεία καθιστούν την **οδική ασφάλεια** θέμα μείζονος σημασίας, καθώς εξέλιξη και ενίσχυση της θα σημαίνει μείωση του κινδύνου θανάτου ή σοβαρού τραυματισμού για τους χρήστες του οδικού δικτύου. Επιπλέον οι επιδόσεις της οδικής ασφάλειας συνιστούν κρίσιμο αντικείμενο μελέτης παγκοσμίως, αφού τα οδικά ατυχήματα έχουν σημαντικές **κοινωνικές και οικονομικές** προεκτάσεις και συνέπειες.



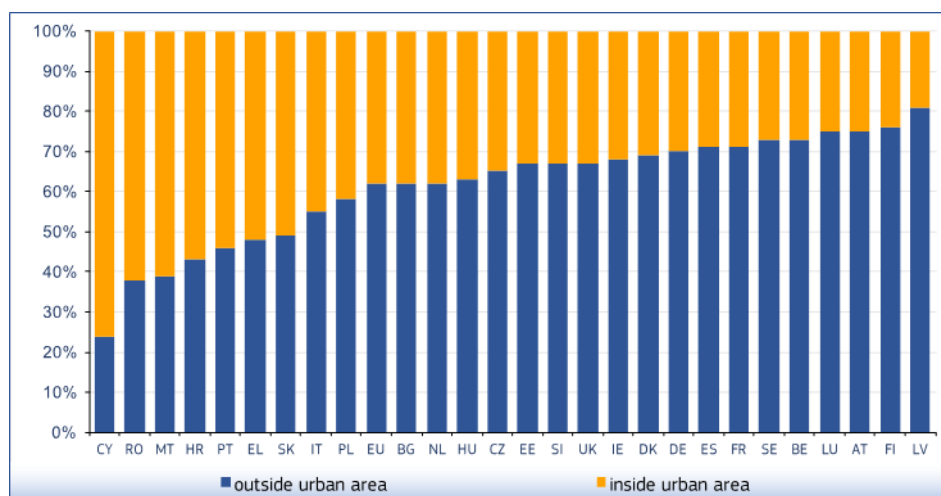
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.6** Ποσοστά πληθυσμού, θυμάτων οδικών ατυχημάτων και αριθμού οχημάτων ανάλογα την κατηγορία εισοδήματος (ΠΗΓΗ: WHO, 2009)

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα το **οικονομικό κόστος** από τα οδικά ατυχήματα ανέρχεται σε 1-3% του **Α.Ε.Π.**, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση διατίθεται ετησίως για το λόγο αυτό ποσό ύψους 160 δισ. ευρώ, το οποίο ισοδυναμεί με το 2% του ΑΕΠ της Ε.Ε. Η μελέτη αυτή διαπιστώνει ότι οι

χώρες που δεν επενδύουν στην οδική ασφάλεια θα μπορούσαν να χάσουν μεταξύ 7 και 22% της δυνητικής αύξησης του ΑΕΠ ανά κάτοικο για μια περίοδο 24 ετών. Χρησιμοποιώντας λεπτομερή στοιχεία σχετικά με τους θανάτους και τους οικονομικούς δείκτες από 135 χώρες, εκτιμάται ότι, κατά μέσο όρο, η μείωση κατά 10% των θανάτων από οδικά ατυχήματα αυξάνει το κατά κεφαλήν πραγματικό ΑΕΠ κατά 3,6% σε χρονικό ορίζοντα 24 ετών.

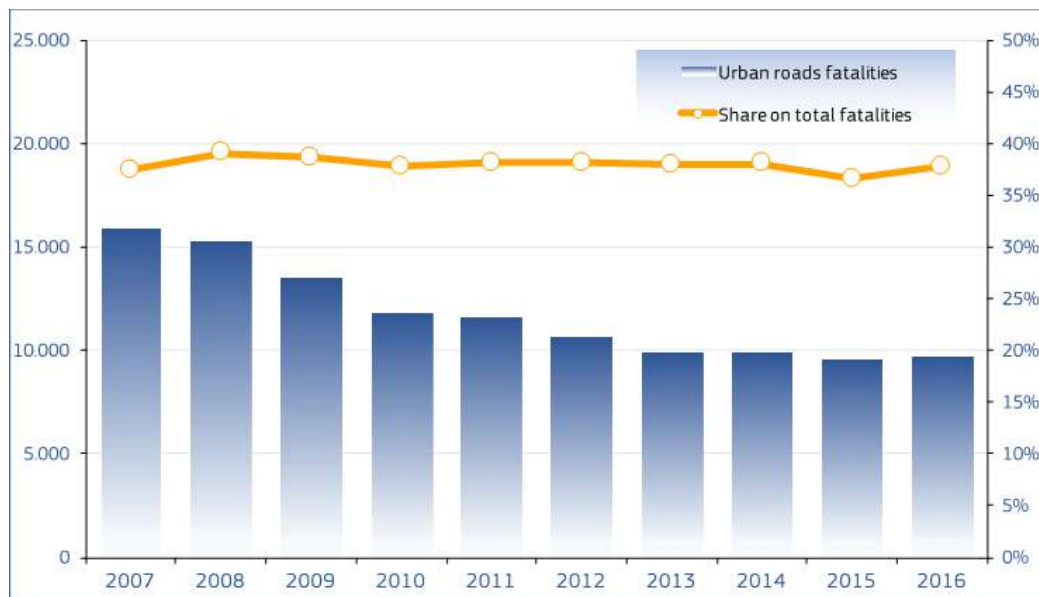
Το κόστος των οδικών ατυχημάτων διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Το **άμεσο κόστος** (ιατρικό κόστος, κόστος αποκατάστασης, ζημιές σε περιουσία, διοικητικό κόστος) και το **έμμεσο κόστος**, το οποίο επιβάλλεται στην κοινωνία και επηρεάζει την ευημερία της (απώλεια παραγωγικής ικανότητας και ανθρώπινο κόστος). Η εκτίμηση στην οποία έχει καταλήξει η Ε.Ε. είναι 1 εκατομμύριο ευρώ ανά ανθρώπινη ζωή.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις στην **Ελλάδα** κάθε βαριά τραυματισμένος κοστίζει πάνω από 500.000 ευρώ και κάθε ελαφριά τραυματισμένος πάνω από 200.000 ευρώ συνυπολογίζοντας και το ανθρώπινο κόστος. (Yannis et al., 2005). Η ελληνική οικονομία επιβαρύνεται ετησίως με δαπάνες πάνω από 14 εκατ. ευρώ για την πληρωμή συντάξεων ή αποζημιώσεων για νοσήλια, για αποκατάσταση ζημιών και σωματικών βλαβών κ.λπ. χωρίς να υπολογίσουμε την απώλεια εργατικού δυναμικού ή την επιπλέον εργασιακή απασχόληση για την αντιμετώπιση των συνεπειών των οδικών ατυχημάτων, δηλαδή ιατρικό προσωπικό, νοσοκομεία, τροχονόμοι, πραγματογνώμονες, δικαστικοί, ασφαλιστές, όπως και με άλλα δευτερεύοντα έξοδα π.χ. δικαστικά, οδοιπορικά κ.λπ. που θα πρέπει να συνυπολογισθούν στην επιβάρυνση της ελληνικής οικονομίας. Όπως αναφέρει ο Σύλλογος Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων το οικονομικό κόστος των οδικών ατυχημάτων στην Ελλάδα εκτιμάται στα 3 δισεκατομμύρια ευρώ το χρόνο (ΣΕΣ, 2017).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.7** Απώλειες οδικών ατυχημάτων εντός και εκτός αστικών περιοχών (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)

Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση των απωλειών οδικών ατυχημάτων **εντός των αστικών περιοχών**, και των παραγόντων που τις επηρεάζουν, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης αστικοποίησης και της αύξησης των οχημάτων στις πόλεις. Όπως φαίνεται και στα επόμενα Διαγράμματα περισσότεροι από 120.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν σε οδικά ατυχήματα σε δρόμους εντός αστικών περιοχών σε 31 χώρες της Ευρώπης μεταξύ 2006 και 2015. Έτσι, ενώ οι θάνατοι των αστικών οδών παρουσίασαν σημαντική μείωση κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας, το ποσοστό όλων των θανάτων αυξήθηκε ελαφρά από 36% το 2006 σε 37% το 2017.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.8** Συνολικός αριθμός θυμάτων και ποσοστό αυτών εντός αστικών περιοχών (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)

|               | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| BE            | 275    | 274    | 257    | 246    | 281    | 213    | 179   | 188   | 224   | 175   |
| BG            | -      | 447    | 312    | 312    | 235    | 233    | 227   | 251   | 269   | -     |
| CZ            | 442    | 444    | 329    | 291    | 280    | 265    | 241   | 234   | 220   | 215   |
| DK            | 129    | 129    | 92     | 78     | 69     | 59     | 59    | 46    | 62    | 66    |
| DE            | 1.335  | 1.261  | 1.225  | 1.011  | 1.115  | 1.062  | 977   | 983   | 1.048 | 960   |
| EE            | 63     | 41     | 19     | 14     | 25     | -      | -     | 22    | -     | -     |
| IE            | 77     | 62     | 56     | 45     | 38     | 36     | 35    | 61    | -     | -     |
| EL            | 724    | 744    | 646    | 593    | 559    | 499    | 464   | 401   | 388   | 427   |
| ES            | 740    | 634    | 584    | 550    | 457    | 461    | 450   | 441   | 441   | 519   |
| FR            | 1.359  | 1.235  | 1.252  | 1.133  | 1.096  | 1.027  | 932   | 993   | 987   | 1.016 |
| HR            | 328    | 414    | 316    | 265    | 252    | 230    | 213   | 191   | 220   | 176   |
| IT            | 2.269  | 2.070  | 1.892  | 1.782  | 1.744  | 1.602  | 1.428 | 1.505 | 1.502 | 1.463 |
| CY            | 49     | 57     | 42     | 42     | 40     | 31     | 30    | 34    | 37    | 35    |
| LV            | 165    | 97     | 68     | 78     | 53     | 53     | 53    | 69    | 44    | 30    |
| LT            | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -     | -     | -     | -     |
| LU            | 9      | 9      | 10     | 3      | 7      | 7      | 15    | 9     | 5     | 8     |
| HU            | 505    | 419    | 301    | 272    | 234    | 210    | 232   | 237   | 261   | 224   |
| MT            | 12     | 9      | 15     | 13     | -      | -      | -     | -     | 10    | 14    |
| NL            | 270    | 243    | 227    | 199    | 233    | 208    | 201   | 158   | 126   | 204   |
| AT            | 173    | 189    | 173    | 141    | 139    | 151    | 115   | 123   | 128   | 110   |
| PL            | 2.549  | 2.499  | 2.171  | 1.813  | 1.959  | 1.652  | 1.581 | 1.466 | 1.248 | 1.275 |
| PT            | 389    | 417    | 386    | 484    | 487    | 397    | 352   | 347   | 159   | 302   |
| RO            | 1.780  | 1.922  | 1.756  | 1.493  | 1.271  | 1.246  | 1.160 | 1.146 | 1.154 | 1.189 |
| SI            | 94     | 73     | 64     | 60     | 47     | 42     | 53    | 40    | 39    | 43    |
| SK            | 298    | 280    | 176    | 157    | -      | -      | -     | -     | -     | -     |
| FI            | 81     | 108    | 76     | 63     | 74     | 56     | 57    | 62    | 73    | 63    |
| SE            | 127    | 99     | 89     | 67     | 80     | 87     | 55    | 67    | 58    | 74    |
| UK            | 1.178  | 1.087  | 1.000  | 597    | 645    | 632    | 553   | 631   | 618   | 618   |
| EU            | 15.569 | 14.983 | 13.358 | 11.645 | 11.420 | 10.484 | 9.687 | 9.705 | 9.404 | 9.558 |
| Yearly Change |        | -3,8%  | -11,3% | -12,8% | -1,8%  | -8,1%  | -7,5% | 0,2%  | -3,2% | 1,6%  |
| IS            | 1      | 5      | 5      | 4      | 3      | 2      | 4     | 0     | 3     | 5     |
| NO            | 0      | 0      | 54     | 34     | 41     | 0      | 31    | 30    | 22    | 27    |
| CH            | 141    | 135    | 137    | 114    | 133    | 125    | 113   | 93    | 119   | 88    |

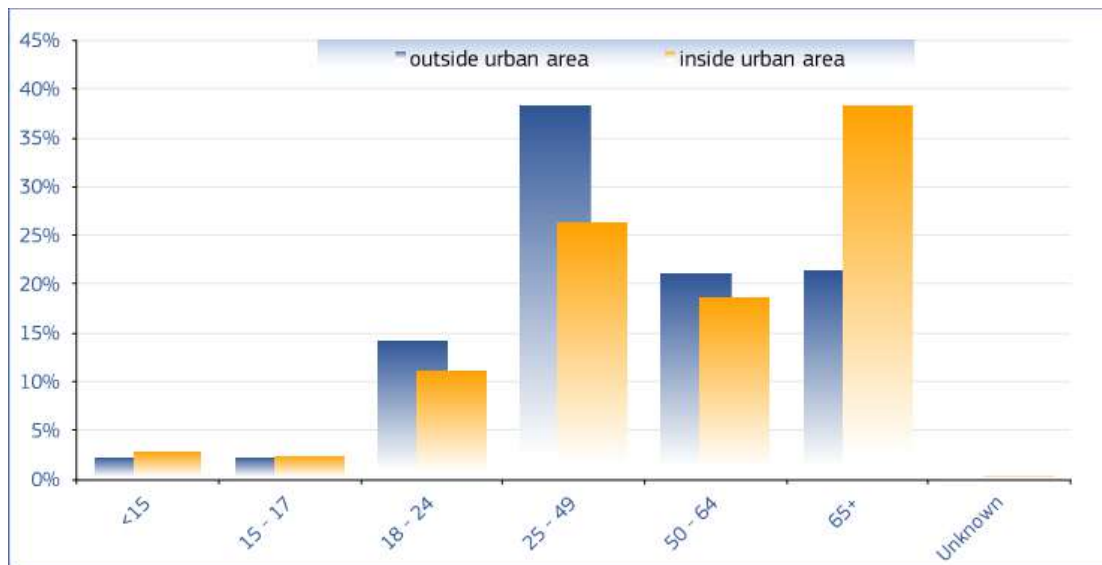
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.9** Ετήσιος αριθμός θυμάτων ανά χώρα της Ευρώπης (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)

Πολύ αξιόλογα είναι τα στοιχεία της έκθεσης του Ευρωπαϊκού Παρατηρητηρίου Οδικής Ασφάλειας (ERSO) για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ατυχημάτων **εντός αστικών περιοχών** το 2017 στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρουσιάζονται στοιχεία για τους νεκρούς στις πόλεις ανά χώρα, ανάλογα το φύλο, την ηλικία, τον τύπο χρήστη, τον τόπο όπου σημειώθηκε το ατύχημα, ακόμα και την ημέρα και τον μήνα.

Όσον αφορά στο **φύλο** 73% των θυμάτων εντός αστικών περιοχών ήταν άντρες ενώ το 27% γυναίκες. Η Ελλάδα, η Ιταλία και η Πορτογαλία ήταν οι χώρες με το μικρότερο ποσοστό απωλειών στις γυναίκες. Διαπιστώθηκε

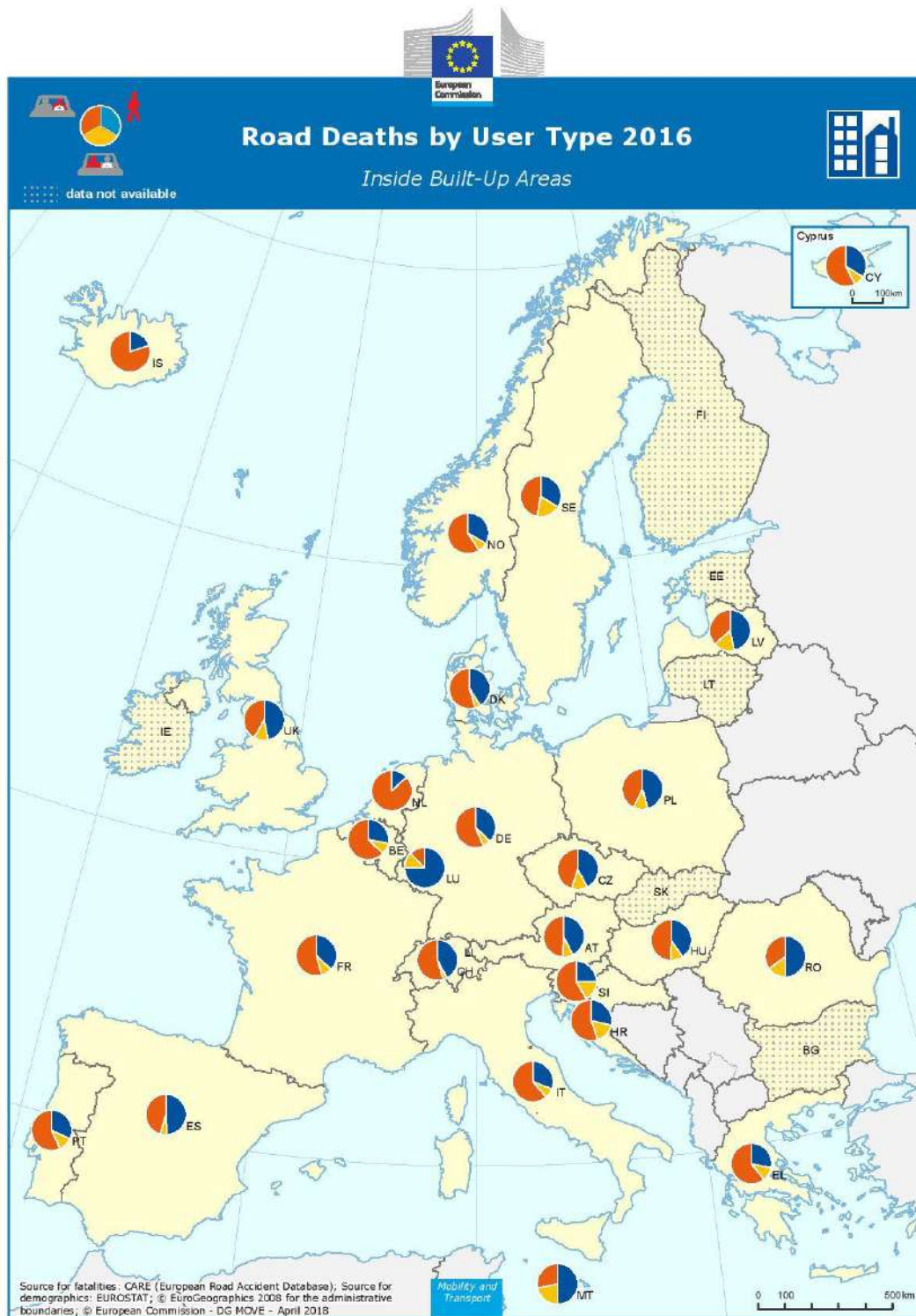


ακόμα ότι τα ποσοστά θανάτων **ηλικιωμένων** από οδικά ατυχήματα (ηλικίας άνω των 65 ετών) καθώς και των πεζών, ήταν πολύ υψηλότερα στις αστικές περιοχές από ό, τι εκτός. Μία πιθανή εξήγηση είναι ότι οι μετακινήσεις των ηλικιωμένων είναι συνήθως μικρές, και σπανίως εκτός αστικών περιοχών. Βέβαια όσον αφορά τις ηλικίες μεταξύ 18-49 το ποσοστό είναι καθαρά μεγαλύτερο σε περιοχές εκτός πόλης. Επιπλέον, το ποσοστό θανάτων σε **κόμβους** στις αστικές περιοχές ήταν διπλάσιο από το ποσοστό θανάτων σε κόμβους εκτός αστικές περιοχές.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.10** Θύματα εντός και εκτός αστικών περιοχών ανάλογα την ηλικία (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σημειώνεται στην παρουσίαση των ποσοστών των νεκρών από οδικά ατυχήματα στις αστικές περιοχές **ανά τύπο χρήστη** της οδού. Εντός αστικών περιοχών 50% των θυμάτων ήταν οδηγοί αυτοκινήτων και 39% πεζοί. 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, με την Λετονία να είναι πρωταθλήτρια με ποσοστό 59% (CARE). Άρα, συμπεραίνεται ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις κατηγορίες χρηστών της οδού ανά αστική περιοχή χώρας.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.11** Θύματα στις χώρες της Ευρώπης ανά χρήση οδού (ΠΗΓΗ: European Commission, 2018)

Όπως γίνεται αντιληπτό ένα μεγάλο μέρος των οδικών ατυχημάτων συμβαίνει μέσα στις πόλεις παρόλο που το οδικό δίκτυο είναι κατά κανόνα ασφαλές. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Θεσσαλονίκης στην **Ελλάδα**, όπου εντός του πολεοδομικού της συγκροτήματος κατά μέσο όρο την πενταετία



2011-2016 τα οδικά περιστατικά στους δρόμους της ανέρχονταν σε ποσοστό 78,7% (Διεύθυνση Τροχαίας Θεσσαλονίκης, 2017).

Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, υπάρχουν διαφορές τόσο ως προς τη συχνότητα όσο και ως προς τη σοβαρότητα των ατυχημάτων στο εσωτερικό και στο εξωτερικό των αστικών περιοχών. Αυτό αναμφίβολα οφείλεται στα ειδικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού, τον διαφορετικό συνδυασμό κυκλοφορίας, αλλά και τη διαφορετική συμπεριφορά των χρηστών του δικτύου εντός των αστικών περιοχών απ' ότι στο υπόλοιπο οδικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα αυτά επιτρέπουν μια συνολική εκτίμηση του επιπέδου **οδικής ασφάλειας** στις ευρωπαϊκές αστικές περιοχές, παρέχοντας έτσι χρήσιμη υποστήριξη στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων που εργάζονται για τη βελτίωση της ασφάλεια στο ευρωπαϊκό οδικό δίκτυο.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, κρίνεται χρήσιμη η διερεύνηση και η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τις απώλειες λόγω οδικών ατυχημάτων σε επίπεδο πόλεων. Λόγω πληθώρας στατιστικών στοιχείων κρίνεται πιο αντιπροσωπευτική η εξέταση των αστικών περιοχών της Ευρώπης. Μέσα από την ανάλυση κοινών χαρακτηριστικών των περιοχών αυτών θα είναι εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στο ποια από αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζουν στατιστικά σημαντικά τα θύματα των οδικών ατυχημάτων και ποια όχι, συμπεράσματα τα οποία ενδεχομένως συμβάλουν στον περιορισμό αυτών.

## 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η **διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας (κατανομή στα μέσα μεταφοράς, χαρακτηριστικά δικτύου, κλπ.) στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις.**

Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί αρχικά η επιρροή στον αριθμό των νεκρών, των **διαφόρων χαρακτηριστικών της πόλης** όπως ο πληθυσμός, η πυκνότητα του πληθυσμού, το Α.Ε.Π. της πόλης, η πυκνότητα του οδικού δικτύου, ο αριθμός των οχημάτων και των μοτοσυκλετών, η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, το ποσοστό των ημερήσιων διαδρομών με τα πόδια ή το ποδήλατο και πολλούς ακόμα παράγοντες. Σε δεύτερο επίπεδο θα εξεταστεί πως τα παραπάνω χαρακτηριστικά επηρεάζουν τους νεκρούς ανάλογα τις συνθήκες φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, αλλά και τους νεκρούς ανάλογα το είδος μετακίνησης του χρήστη της οδού, δηλαδή πεζούς, επιβάτες, μοτοσυκλετιστές κλπ.

Προκειμένου να γίνει αυτή η ποσοτικοποίηση της επιρροής απαιτείται η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης των δεδομένων. Άρα, επιμέρους στόχος της Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την ανάπτυξη ενός **μαθηματικού μοντέλου** που θα αποτυπώνει επαρκώς τη σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων. Τα μοντέλα που θα αναπτυχθούν από τη διαδικασία ανάλυσης θα αποτυπώνουν τη σχέση μεταξύ του αριθμού των νεκρών συναρτήσει των διάφορων χαρακτηριστικών, στις πόλεις της Ευρώπης. Βέβαια ο αριθμός των νεκρών επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες που δεν εξετάζονται αναλυτικά στη συγκεκριμένη εργασία, όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, η ποιότητα του οδικού δικτύου ή η οδική συμπεριφορά των χρηστών.

Επομένως εκτιμάται ότι με το πέρας της Διπλωματικής Εργασίας τα **μοντέλα** που θα αναπτυχθούν, καθώς και τα συμπεράσματα τα οποία θα απορρέουν από τη σύγκριση αυτών, αναμένεται να βοηθήσουν στην κατανόηση των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τον αριθμό των νεκρών από οδικά ατυχήματα στις αστικές περιοχές. Ως απώτερος στόχος, λοιπόν, τίθεται η παραχθείσα γνώση να συμβάλλει στη **μείωση των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων** στις πόλεις της Ευρώπης μέσω της λήψης κατάλληλων μέτρων. Επιπλέον τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν ως χρήσιμα δεδομένα και συμπεράσματα για μελλοντικές μελέτες.

### 1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας, τα στάδια της οποίας παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Αρχικά, μετά τον ορισμό του θέματος και την οριστικοποίηση του επιδιωκόμενου στόχου πραγματοποιήθηκε η **βιβλιογραφική ανασκόπηση** τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Στη φάση αυτή πραγματοποιήθηκε αναζήτηση παρεμφερών ερευνών, επιστημονικών άρθρων καθώς και γενικών πληροφοριών σχετικά με το εξεταζόμενο αντικείμενο που θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες για τη συγκεκριμένη εργασία. Μέσω των ερευνών αυτών καταβλήθηκε προσπάθεια να αποκτηθεί μια σχετική εμπειρία στην επεξεργασία τέτοιων θεμάτων, καθώς επίσης και να αποφασιστεί η μέθοδος με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των στοιχείων και να επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος.

Ύστερα από τη μελέτη των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των στατιστικών στοιχείων** που απαιτούνταν για την εκπόνηση της

Διπλωματικής Εργασίας. Η λήψη των στοιχείων όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των πόλεων έγινε αξιοποιώντας τα δεδομένα της αναφοράς «Mobility in Cities Database 2015» του οργανισμού **UITP** (The International Association of Public Transport, French: *L'Union Internationale des Transports Publics*). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα συγκεκριμένα στοιχεία της βάσης δεδομένων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ανάλυση στον τομέα της συγκοινωνιακής τεχνικής, όπως για παράδειγμα τα συνολικά οχηματοχιλιόμετρα των μέσων μαζικής μεταφοράς, το μήκος των τοπικών οδών και των αυτοκινητοδρόμων ή ο αριθμός ημερήσιων μετακινήσεων όλα αναγόμενα ανά κάτοικο. Βέβαια κάποιες πόλεις με ελλιπή στοιχεία απορρίφθηκαν, όπως και κάποιες αστικές περιοχές της Ασίας και της Αμερικής λόγω των μη συγκρίσιμων μεγεθών τους με αυτές της Ευρώπης, καταλήγοντας τελικά σε 25 πόλεις.

Σχετικά με τον αριθμό των νεκρών εντός των αστικών ορίων τα στοιχεία λήφθηκαν από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων **CARE** (Community database on Accidents on the Roads in Europe) και έχουν όπως και τα δεδομένα από την UITP ως έτος αναφοράς το 2012. Πρέπει να τονιστεί 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 ταξινόμησης αυτών με σκοπό να δημιουργηθεί μία **ενιαία βάση δεδομένων**, η οποία θα τροφοδοτούσε το ειδικό λογισμικό (SPSS) με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι στατιστικές αναλύσεις. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε σε αυτό το βήμα ώστε να διατηρηθεί η αντιστοιχία των αστικών περιοχών μεταξύ των δύο βάσεων δεδομένων του CARE και της UITP. Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel, με το οποίο πραγματοποιήθηκε η απαραίτητη **επεξεργασία των στοιχείων**.

Μετά την επεξεργασία των στοιχείων ακολούθησε η **επιλογή της μεθοδολογίας στατιστικής επεξεργασίας τους** και η εισαγωγή της ενιαίας βάσης δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης. Για την εξαγωγή των μαθηματικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της **γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης** έχοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τον συνολικό αριθμό των νεκρών σε οδικά ατυχήματα εντός πόλεων και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τους δείκτες της βάσης της UITP, οι οποίοι καθορίστηκαν έπειτα από τη διενέργεια αρκετών δοκιμών, με γνώμονα τη στατιστική τους σημαντικότητα. Αφού λοιπόν διαμορφώθηκε το **βασικό μοντέλο** και οι μεταβλητές που το αποτελούν, αναπτύχθηκαν **δευτερεύοντα μοντέλα** με άλλες εξαρτημένες μεταβλητές συγκρίνοντας τα με το αρχικό βασικό μοντέλο.

Έτσι, μετά την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, αναπτύχθηκαν τα μοντέλα και ακολούθησε η **παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων**, μέσω των οποίων προέκυψαν τα **συμπεράσματα** και σημαντικές πληροφορίες για τα συνολικά ερωτήματα της εργασίας. Από τις μαθηματικές σχέσεις που δημιουργήθηκαν, πραγματοποιήθηκε περιγραφή της εξάρτησης των θανατηφόρων ατυχημάτων από κάποια κοινά χαρακτηριστικά 25 πόλεων της Ευρώπης και στη συνέχεια έγινε σύγκριση αυτών των χαρακτηριστικών μεταξύ τους. Επίσης διερευνήθηκε και η επιρροή των παραγόντων αυτών σε ειδικές περιπτώσεις χρηστών των οδών όπως είναι οι πεζοί, οι οδηγοί, οι μοτοσυκλετιστές ή τα θύματα κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύκτας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια εκτέλεσης της Διπλωματικής Εργασίας.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.12** Σχηματική απεικόνιση σταδίων Διπλωματικής Εργασίας

## 1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας, μέσω της συνοπτικής αναφοράς στο περιεχόμενο των κεφαλαίων της.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:** Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την **εισαγωγή** της Διπλωματικής Εργασίας και έχει σκοπό να παρουσιάσει στον αναγνώστη το γενικότερο πλαίσιο του αντικείμενου με το οποίο ασχολείται. Ξεκινά με μια **γενική αναφορά** στις οδικές μεταφορές και τα στατιστικά στοιχεία για τα θύματα αυτών σε Ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Ακόμα δίνονται στοιχεία για το οικονομικό κόστος που χαρακτηρίζει τα ατυχήματα, δείγμα του πόσο σημαντική προτεραιότητα θα πρέπει να αποτελέσει ο περιορισμός τους από τις διοικούσες αρχές, αλλά και συγκεκριμένοι αριθμοί για το κόστος και τον αριθμό των ατυχημάτων στην Ελλάδα. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια συνοπτικής παρουσίασης των χαρακτηριστικών των απωλειών **εντός των αστικών περιοχών**, αντικείμενο με το οποίο ασχολείται κατά βάση η παρούσα διπλωματική. Παρακάτω παρουσιάζεται ο **στόχος** της συγκεκριμένης εργασίας και περιγράφεται η **μεθοδολογία** η οποία ακολουθήθηκε. Το παρόν κεφάλαιο τελειώνει με την παρουσίαση της **δομής** της διπλωματικής εργασίας.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της **βιβλιογραφικής ανασκόπησης**. Περιγράφεται περιληπτικά ένα πλήθος ερευνών που εντοπίστηκαν σχετικά με τα ατυχήματα και τα χαρακτηριστικά της οδικής ασφάλειας στις αστικές περιοχές της Ευρώπης αλλά και παγκοσμίως. Στο τέλος του κεφαλαίου, καταγράφεται η σύνοψη και κριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ερευνών, προκειμένου να διαπιστωθεί ποιες από αυτές μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην παρούσα εργασία.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:** Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την πλήρη περιγραφή του **θεωρητικού υποβάθρου** στο οποίο θα στηριχθεί η κατασκευή των βάσεων δεδομένων και η στατιστική ανάλυση για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Με άλλα λόγια αναφέρεται στη θεωρητική βάση στην οποία θα στηριχθούν όσα θα διερευνηθούν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Ξεκινά με την περιγραφή βασικών στατιστικών αρχών και μεγεθών για να γίνει κατανοητή η προσέγγιση του θέματος από τη συγκεκριμένη μαθηματική σκοπιά, στη συνέχεια περιγράφει αναλυτικά μια σειρά ευρέως χρησιμοποιημένων μεθοδολογιών με τη χρησιμότητα και το πεδίο εφαρμογής τους, ενώ καταλήγει στην επιλογή συγκεκριμένων μεθόδων από αυτές που περιγράφηκαν τεκμηριώνοντας παράλληλα αυτή την επιλογή. Έμφαση δίνεται επίσης στις μεθοδολογίες ελέγχου των αποτελεσμάτων, καθώς και στον τρόπο που προσαρμόζονται οι μεθοδολογίες στα δεδομένα της Εργασίας.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:** Το θέμα του κεφαλαίου αυτού είναι η **συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων**. Εκ πρώτης, επιλέχθηκαν οι πόλεις που θα εξεταστούν και οι μεταβλητές που θεωρήθηκαν ότι έχουν ουσιαστική επίδραση στους νεκρούς από ατυχήματα στις αστικές περιοχές από τη βάση της UITP. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια της βάσης δεδομένων οδικών ατυχημάτων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (CARE) αντλήθηκαν δεδομένα για τις απώλειες στις αντίστοιχες περιοχές. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η απαιτούμενη επεξεργασία των δεδομένων μέχρι τον καθορισμό της οριστικής μορφής του βασικού πίνακα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:** Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την **αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε** ως την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Αρχικά, περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής του μαθηματικού μοντέλου. Παρουσιάζονται, δηλαδή, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου με ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Γίνεται επιπλέον αναφορά στο σύνολο των διαδοχικών βασικών και δευτερευόντων δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν. Τα τελικά **αποτελέσματα** συνοδεύονται από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις που τα περιγράφουν και από διαγράμματα ευαισθησίας, για την ευκολότερη κατανόηση τους.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:** Το κεφάλαιο 6 αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Σε αυτό περιλαμβάνονται τα **συνολικά συμπεράσματα** που προέκυψαν ύστερα από την ερμηνεία των μαθηματικών μοντέλων. Αποτελούν μία σύνθεση αρκετών ποσοτικοποιημένων στοιχείων σε συνδυασμό με τα επιμέρους αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου. Επιπρόσθετα, καταγράφονται **προτάσεις** για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είτε με άλλες μεθόδους, είτε με εξέταση πρόσθετων παραμέτρων και μεταβλητών.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:** Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται ο κατάλογος **των βιβλιογραφικών αναφορών**. Ο κατάλογος αυτός περιλαμβάνει αναφορές, που αφορούν τόσο σε έρευνες που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια της εισαγωγής και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όσο και σε στατιστικές έννοιες και μεθόδους, που αναλύθηκαν στο θεωρητικό υπόβαθρο.

## **2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και περιλαμβάνει αποτελέσματα που προέκυψαν από έρευνες συναφείς τόσο με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας όσο και με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται έρευνες που σχετίζονται με την επιρροή των διάφορων παραμέτρων των οδικών ατυχημάτων στον αριθμό των νεκρών, των βαριά και ελαφρά τραυματιών σε πόλεις. Εκτός από τη συνοπτική παράθεση των αποτελεσμάτων των ερευνών, γίνεται αναφορά και στις μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των κατάλληλων στατιστικών μοντέλων. Τέλος, με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προσδιορίστηκε το ακριβές αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και επιχειρήθηκε να επιλεγεί η καταλληλότερη μεθοδολογία.

### **2.2 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ**

#### **2.2.1 Οδική ασφάλεια στην Νέα Υόρκη και στο Λος Άντζελες: σε σύγκριση με τις άλλες πόλεις των Η.Π.Α. (Michael Sivak - Shan Bao, 2012)**

Αυτή η μελέτη εξέτασε την οδική ασφάλεια στις δύο μεγαλουπόλεις των ΗΠΑ, τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες. Μοτίβα των οδικών ατυχημάτων με θύματα σε αυτές τις μεγαλουπόλεις συγκρίθηκαν με εκείνα για το σύνολο των ΗΠΑ (Επίσης, περιλαμβάνονται στοιχεία και για τις δύο αντίστοιχες Πολιτείες, τη Νέα Υόρκη και την Καλιφόρνια. Τα στοιχεία για τα θανατηφόρα ατυχήματα πάρθηκαν 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 2002 έως 2009.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα ατυχήματα στις δύο μεγαλουπόλεις τείνουν να διαφέρουν σε πολλές πτυχές από τα τυπικά ατυχήματα στις ΗΠΑ. Σε αυτές περιλαμβάνονται θέματα που σχετίζονται με το πότε και πού αυτά τα ατυχήματα συνέβησαν, τη φύση των οδικών ατυχημάτων, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, τα εμπλεκόμενα πρόσωπα, καθώς και τις ενέργειες του οδηγού.



Όσον αφορά στη μέθοδο, πραγματοποιήθηκαν τρία σύνολα αναλύσεων. Στο πρώτο σύνολο εξετάστηκαν οι κατανομές των δημογραφικών μεταβλητών που επιλέχθηκαν για την 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 οχτώ ετών από το 2002 έως το 2009. Και πάλι, η σχετική σύγκριση τόσο για τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες ήταν το σύνολο των ΗΠΑ, ωστόσο, περιλαμβάνονται επίσης και τα στοιχεία για την Πολιτεία της Νέας Υόρκης και της Καλιφόρνια. Εξετάστηκε μια ποικιλία των μεταβλητών που σχετίζονται με τα οδικά ατυχήματα, τα οχήματα, τους οδηγούς και όσων συμμετέχουν.

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

Ο Πίνακας 2.1 περιλαμβάνει τον αριθμό των οδικών ατυχημάτων που εξετάζονται στις δύο σειρές 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 ατυχημάτων και όλων των ατυχημάτων

Τα αποτελέσματα της μελέτης έχουν ως εξής:

### **Πρότυπα των θανατηφόρων ατυχημάτων και των ατυχημάτων με παθόντες**

Οι αναλύσεις των ατυχημάτων που συγκρίνουν την 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 στην 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 ατυχήματα με παθόντες και θανατηφόρα ατυχήματα τόσο σε βρεγμένους οδούς όσο και σε οδούς με χιόνι, ενώ στην Νέα Υόρκη τα οδικά ατυχήματα και με νεκρούς και με παθόντες ήταν περισσότερα σε βρεγμένους οδούς.

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 φωτισμένους οδούς τα οδικά ατυχήματα και με παθόντες και με νεκρούς αυξάνονται. Τα δύο τελευταία μοντέλα δείχνουν ότι τα ατυχήματα στο σκοτάδι σε οδούς χωρίς φωτισμό είναι πιο σοβαρές.

Μελετώντας κάποια χαρακτηριστικά του **χρήστη της οδού** αλλά και του **οδηγού** προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Παρατηρούνται περισσότεροι θάνατοι πεζούς και δικυκλιστές, ειδικά στη Νέα Υόρκη. Περισσότεροι άνδρες οδηγοί εμπλέκονται σε οδικά ατυχήματα με παθόντες και με νεκρούς, ειδικά στη Νέα Υόρκη. Όσον αφορά στην ηλικία του οδηγού, συμβαίνουν περισσότερα ατυχήματα και κυρίως θανατηφόρα ατυχήματα που αφορούν τους οδηγούς ηλικίας 25-34 ετών. Περισσότερα ατυχήματα, όχι θανατηφόρα, αφορούν τους οδηγούς 35-55 ετών. Τα μοντέλα της ανάλυσης δείχνουν ότι γενικώς οι οδηγοί 35-55 ετών τείνουν να εμπλέκονται σε λιγότερο σοβαρά ατυχήματα.

Ολοκληρώνοντας τη μελέτη παρατηρείται ότι τα οδικά ατυχήματα με παθόντες αλλά και τα θανατηφόρα ατυχήματα τόσο στην Νέα Υόρκη όσο και στο Λος Άντζελες, **τήνουν να διαφέρουν σε αρκετά σημεία** από τα τυπικά ατυχήματα στο σύνολο των Η.Π.Α.

### **2.2.2 Οδική ασφάλεια σε δύο Ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις: Λονδίνο και Παρίσι (Schoettle Brandon - Sivak Michael, 2012)**

Η συγκεκριμένη μελέτη εξέτασε την οδική ασφάλεια δύο ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων, το Λονδίνο και το Παρίσι. Πρότυπα για θανατηφόρα ατυχήματα (και για τις δύο πόλεις) και για όλα τα 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 ατυχήματα για τα έτη 2005 - 2011. Τα στοιχεία για το Παρίσι και τη Γαλλία προήλθαν από το ONISR, και περιλαμβάνουν στοιχεία των θανατηφόρων ατυχημάτων από το 2007 έως το 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, ποιός εμπλέκεται, τον αριθμό των οχημάτων, που εμπλέκονται, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, και τις ενέργειες του οδηγού πριν το ατύχημα. Επίσης συζητήθηκαν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ αυτών των δύο ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων και των δύο αμερικανικών μεγαλουπόλεων (Νέα Υόρκη και Λος Άντζελες).

Όσον αφορά στη μέθοδο, είναι παρόμοια με εκείνη της προηγούμενης μελέτης. Τρία σύνολα με αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν. 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 (UK) 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 2005 έως το 2011. Οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ Λονδίνου και ολόκληρου του Ηνωμένου Βασιλείου. Εξετάστηκε ένα σύνολο μεταβλητών, που σχετίζονται με τα ατυχήματα, τα οχήματα που εμπλέκονται, και τα θύματα.

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

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

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

**Πίνακας 2.2** Αριθμός συντριβών που εξετάστηκαν στην ανάλυση των θανατηφόρων 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. Σε περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα και ατυχήματα με παθόντες εμπλέκονται ποδήλατα, μοτοσυκλέτες, λεωφορεία και παρόμοια οχήματα, ενώ τα οδικά ατυχήματα με νεκρούς, αλλά και τραυματίες, είναι λιγότερα για τα αυτοκίνητα και τα ταξί.

Τα αποτελέσματα της ανάλυση των χαρακτηριστικών, που αφορούν τον **χρήστη οδού**, έδειξαν ότι είναι περισσότερα τα 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 μοτοσυκλετών και για επιβάτες λεωφορείου (ή παρόμοιου οχήματος), αλλά δεν υπάρχει καμία ουσιαστική διαφορά στα θανατηφόρα ατυχήματα, που δείχνει ότι αυτά τα ατυχήματα τείνουν να είναι λιγότερο σοβαρά.

Όσον αφορά στον **τύπο θύματος**, παρατηρούνται περισσότερα ατυχήματα με παθόντες και θανατηφόρα ατυχήματα με θύματα πεζούς και λιγότερα με θύματα επιβάτες, οδηγούς ή αναβάτες.

Η ανάλυση για τα **χαρακτηριστικά του οδηγού** έδειξε ότι οι άνδρες εμπλέκονται σε περισσότερα ατυχήματα με παθόντες καθώς και θανατηφόρα ατυχήματα (και το αντίστροφο για τις γυναίκες οδηγούς). Επίσης τα περισσότερα ατυχήματα με παθόντες, καθώς και θανατηφόρα ατυχήματα, αφορούν τους οδηγούς 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 ατυχήματα.

Για το **φύλο του θύματος** διαπιστώθηκε πως τα ατυχήματα με παθόντες και άνδρα ως θύμα ήταν περισσότερα από τα θανατηφόρα 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 ατυχήματα με παθόντες, αλλά περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα με θύματα ηλικίας από 0 έως 10 ετών και 56 και άνω, αποδεικνύοντας ότι τα ατυχήματα που αφορούν αυτές τις ηλικιακές ομάδες τείνουν να είναι πιο σοβαρά, ενώ τα 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 θανατηφόρα ατυχήματα με θύματα ηλικίας από 26 έως 45 ετών.

Μια άλλη μεταβλητή της μελέτης ήταν και οι **καιρικές συνθήκες**, όπου Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν πως τα ατυχήματα με παθόντες και νεκρούς ήταν περισσότερα σε καλοκαιρία και λιγότερα κατά τη 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 στεγνούς οδούς και λιγότερα σε βρεγμένους, χιονισμένους και παγωμένους οδούς.

Εξετάζοντας τις **συνθήκες φωτισμού** προέκυψε πως τα περισσότερα ατυχήματα με παθόντες και θανατηφόρα έγιναν σε φωτισμένους οδούς και λιγότερα 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 στη Γαλλία**

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

Αρχικά, εξετάζοντας τον **χρήστη οδού** παρατηρούνται περισσότεροι θάνατοι πεζών, μοτοσυκλετιστών καθώς και αναβατών μοτοποδηλάτων και λιγότεροι θάνατοι 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 με εμπλεκόμενα μηχανοκίνητα δίκυκλα και / ή μοτοσυκλέτες (περίπου διπλάσια από το ποσοστό για τη Γαλλία), πεζούς και χρήστες του οδικού δικτύου 75 ετών και άνω. Οι νέοι οδηγοί θεωρούνται λιγότερο υπεύθυνοι για θανατηφόρα ατυχήματα και τα θανατηφόρα ατυχήματα με οδηγούς ή πεζούς που έχουν καταναλώσει αλκοόλ ήταν λιγότερα.

Από τις παραπάνω επισημάνσεις παρατηρείται ότι **τα ατυχήματα με παθόντες και θανατηφόρα ατυχήματα σε Λονδίνο και Παρίσι διαφέρουν σε αρκετά σημεία από τις συγκρούσεις 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 ατυχημάτων για το Παρίσι δεν ήταν διαθέσιμα, γι' αυτό η σύγκριση των προτύπων των ατυχημάτων με τις ομοιότητες και τις διαφορές βασίζεται κυρίως στα δεδομένα από το Λονδίνο, τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες.

#### **Πρότυπα ατυχημάτων**

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

- Περισσότερα ατυχήματα και θάνατοι για τους πεζούς και τους ποδηλάτες.
- Περισσότερα ατυχήματα και θάνατοι που εμπλέκονται άνδρες οδηγοί.
- Περισσότερα ατυχήματα που εμπλέκονται οδηγοί ηλικίας 25-45 (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 Νέα Υόρκη) και λιγότερες συγκρούσεις κατά τη διάρκεια χιονόπτωσης και σε χιονισμένες οδούς, 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, λιγότερο 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 Πολυεπίπεδη ανάλυση χαρακτηριστικών οδικής ασφάλειας στις αστικές περιοχές της Ευρώπης (Ελευθερία Χουστουλάκη, 2013)**

Αντικείμενο της εν λόγω εργασίας αποτέλεσε η πολυεπίπεδη ανάλυση χαρακτηριστικών οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές της Ευρώπης, με χρήση πολυεπίπεδων μοντέλων Poisson. Για την ανάλυση αυτή, αναπτύχθηκε βάση δεδομένων που περιελάμβανε στοιχεία για τον αριθμό των

νεκρών στα οδικά ατυχήματα, τα χαρακτηριστικά του οδηγού, του οδικού περιβάλλοντος και του τύπου οχήματος, το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π., τον πληθυσμό στις αστικές περιοχές και τον στόλο οχημάτων για 24 Ευρωπαϊκά κράτη για το έτος 2009. Ως πηγή για τα παραπάνω στοιχεία αξιοποιήθηκαν οι βάσεις της EUROSTAT και του CARE.

Η ανάλυση της εργασίας **έγινε σε δύο επίπεδα**. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται ανάλυση των χαρακτηριστικών των οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές ολόκληρης της Ευρώπης, ενώ στο δεύτερο επίπεδο η ανάλυση αφορά στη διερεύνηση της επιρροής των ίδιων χαρακτηριστικών στις αστικές περιοχές κάθε Ευρωπαϊκού κράτους ξεχωριστά. Αρχικά δημιουργήθηκε ένα μοντέλο με εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό των νεκρών στις αστικές περιοχές των κρατών, τον λογάριθμο του πληθυσμού στις αστικές περιοχές και ως μεταβλητή μόνο τη σταθερά η οποία εξετάστηκε και στα δύο επίπεδα. Παρατηρήθηκε ότι η σταθερά ήταν στατιστικά σημαντική και στα δύο επίπεδα, άρα υπήρχε επιμέρους εξάρτηση των δεδομένων από τις αστικές περιοχές κάθε κράτους, επομένως μπορούσε να γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών και στα δύο επίπεδα.

Το πρώτο μοντέλο, που αναπτύχθηκε, είχε εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό των νεκρών στις αστικές περιοχές των κρατών και όλες τις στατιστικά σημαντικές μεταβλητές, κάποιες από τις οποίες αναλυθήκαν και στα δύο επίπεδα (όπως η σταθερά και οι πεζοί). Το δεύτερο μοντέλο, που έχει και πάλι ως εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό των νεκρών και ως ανεξάρτητη μεταβλητή μόνο τα κράτη, εξετάζει σε ποια κράτη διαφέρει αρκετά ο αριθμός των νεκρών σε σχέση με την Αυστρία, που έχει επιλεγεί ως χώρα αναφοράς. Το τελευταίο μοντέλο δείχνει την επιμέρους επιρροή του στόλου οχημάτων σε κάθε κράτος ξεχωριστά.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης οδήγησαν σε μια σειρά συμπερασμάτων, τα σημαντικότερα των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω:

- ➔ Από την ανάλυση σε δεύτερο επίπεδο προέκυψε διαφοροποίηση στον αριθμό των νεκρών στα διάφορα Ευρωπαϊκά κράτη, γεγονός που καταδεικνύει ότι ο αριθμός των νεκρών στις αστικές περιοχές της Ευρώπης εξαρτάται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά των αστικών περιοχών των κρατών αυτών.
- ➔ Προέκυψε επίσης διαφοροποίηση της επιρροής του στόλου των οχημάτων στον αριθμό των νεκρών ανάμεσα στις αστικές περιοχές των διαφόρων κρατών, που ως χαρακτηριστικό των περιοχών εξηγεί εν μέρει τη σχετική διακύμανση στον αριθμό των νεκρών στις περιοχές αυτές.
- ➔ Φάνηκε ακόμα ότι, κατά τη διάρκεια βροχής, μειώνεται ο αριθμός των νεκρών στις αστικές περιοχές, γεγονός που πιθανώς οφείλεται αφενός



στο ότι στη βροχή κυκλοφορούν λιγότερα οχήματα και αφετέρου στην ελάττωση της ταχύτητας των οχημάτων σε συνθήκες βροχής.

- ➔ Κατά τη διάρκεια της ημέρας, αυξάνεται ο αριθμός των νεκρών στις αστικές περιοχές σε σχέση με τη νύχτα και το σούρουπο ή την αυγή. Η επιρροή αυτή φαίνεται αναμενόμενη, καθώς κατά τη διάρκεια της ημέρας κυκλοφορούν περισσότερα οχήματα και το φυσικό φως αυξάνει την ορατότητα των οδηγών και οι οποίοι τείνουν να οδηγούν αναλαμβάνοντας περισσότερους κινδύνους
- ➔ Ο αριθμός των νεκρών σε αστικές περιοχές είναι αυξημένος για τις ηλικιακές ομάδες 20-29. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι οδηγοί αυτής της ηλικιακής ομάδας κυκλοφορούν αναλαμβάνοντας περισσότερους κινδύνους.
- ➔ Η αύξηση του στόλου οχημάτων στις αστικές περιοχές μειώνει τον αριθμό των νεκρών. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί διότι με την αύξηση των οχημάτων επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση άρα οι οδηγοί μειώνουν την ταχύτητα οδήγησης, που αποτελεί βασική αιτία των ατυχημάτων.

#### **2.2.4 Πολυεπίπεδη συγκριτική ανάλυση οδικής ασφάλειας σε Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες (Μαριάνθη Μέρμυγκα, 2014)**

Η μελέτη αυτή διενεργήθηκε με σκοπό τη συγκριτική ανάλυση της οδικής ασφάλειας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες. Για την εκπλήρωση αυτού του σκοπού εφαρμόστηκε η μεθοδολογία των πολυεπίπεδων στατιστικών μοντέλων 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 πόλεις

Τα απαραίτητα στοιχεία, που επιλέχθηκαν, αφορούσαν στον αριθμό και τα χαρακτηριστικά των νεκρών από θανατηφόρα οδικά ατυχήματα, στον πληθυσμό και σε συγκοινωνιακούς δείκτες εννέα ευρωπαϊκών πρωτευουσών για την πενταετία 2007-2011. Για τα οδικά ατυχήματα, τα στατιστικά στοιχεία λήφθηκαν από την ευρωπαϊκή βάση δεδομένων CARE, ενώ για την Αθήνα από την ΕΛΣΤΑΤ. Τα στοιχεία των πληθυσμών συλλέχθηκαν 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.

Μετά τη συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων ακολούθησε η εφαρμογή της μεθοδολογίας, που επιλέχθηκε, η οποία, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ήταν τα πολυεπίπεδα μοντέλα στατιστικής ανάλυσης. 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.

Το **τελικό μοντέλο** προέκυψε από την 2η φάση, και περιλαμβάνει ως εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό νεκρών (μέσα σε 30 ημέρες από το οδικό ατύχημα) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές, αυτές 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**.

Στη συνέχεια, από την ερμηνεία των στατιστικών μοντέλων και από τα συγκριτικά διαγράμματα που παράχθηκαν, προέκυψαν τα αποτελέσματα που εξυπηρετούσαν τον σκοπό της εργασίας. Τα σημαντικότερα **συμπεράσματα** που προκύπτουν από τη σύνθεση αυτών των αποτελεσμάτων είναι τα εξής:

- ➔ Όσο πιο μεγάλο οδικό δίκτυο έχει μία πόλη, τόσο καλύτερο θα είναι το επίπεδο οδικής ασφάλειας σε αυτή.
- ➔ Υψηλότερη πυκνότητα του πληθυσμού της πόλης οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα.
- ➔ Όσον αφορά στο 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
- ➔ Για την κατηγορία των πεζών οι αναλύσεις έδειξαν ότι αποτελούν την πιο ευάλωτη κατηγορία θυμάτων. Αυτό ωστόσο δεν ισχύει στην περίπτωση της Αθήνας, όπου ο τύπος χρήστη της οδού με τα υψηλότερα ατυχήματα ήταν αυτός των οδηγών.
- ➔ Η κατηγορία οχήματος κυκλοφορίας μοτοσυκλέτα-μοτοποδήλατο παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό νεκρών από οδικά ατυχήματα σε σχέση με όλες τις άλλες κατηγορίες οχημάτων στις περισσότερες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες.
- ➔ Αναφορικά με το φύλο των παθόντων διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος στους άνδρες από ότι στις γυναίκες.
- ➔ Ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος τους χειμερινούς μήνες από ότι τους θερινούς μήνες.
- ➔ Σχετικά με την ημέρα της εβδομάδας προέκυψε ότι, ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος τις καθημερινές από ότι το σαββατοκύριακο.



- ➔ Ο αριθμός των νεκρών από οδικά ατυχήματα είναι υψηλότερος όταν οι **καιρικές συνθήκες** είναι καλές σε σχέση με δυσμενείς καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι).

### 2.2.5 Ανάλυση της σχέσης μεταξύ του αριθμού των θανάτων σε οδικά ατυχήματα και της επιλογής τρόπου μετάβασης στην εργασία σε επίπεδο πόλης (Moeinaddini et al., 2015)

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη **διερεύνηση της επιρροής του τρόπου μετάβασης στην εργασία στον αριθμό των νεκρών, λόγω οδικών ατυχημάτων στις πόλεις**

Για την πραγματοποίηση του σκοπού αυτού αναπτύχθηκε ένα μοντέλο που περιγράφει τη σχέση μεταξύ του αριθμού των νεκρών από οδικά ατυχήματα ως **εξαρτημένης μεταβλητής** και των τρόπων μετάβασης στην εργασία (με τα πόδια, με ποδήλατο, με μοτοσυκλέτα, με μέσα μαζικής μεταφοράς) ως **ανεξάρτητων μεταβλητών**. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τη στατιστική επεξεργασία είναι αυτή των **γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (GLM)**.

Για τη **συλλογή των στοιχείων** κινητικότητας αξιοποιήθηκε η βάση δεδομένων της Eurostat για τις επιθυμητές ανεξάρτητες μεταβλητές. Συνολικά συλλέχθηκαν στοιχεία για 37 Ευρωπαϊκές πόλεις, ενώ εκτός από τις μεταβλητές αυτές, συλλέχθηκαν και στοιχεία για τον αριθμό των αυτοκινήτων, αλλά και τον αριθμό των νεκρών ανά 100.000 πληθυσμό σε αυτές τις πόλεις.

Σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε περιγραφική ανάλυση, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι έλεγχοι συσχέτισης, με τους οποίους διαπιστώθηκε μη συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Τέλος, εφαρμόστηκε η στατιστική επεξεργασία για την παραγωγή του βασικού μοντέλου. Η τελική μορφή του μοντέλου ήταν η εξής:

$$D = EXP (-7.789 - 0.102P - 0.031F + 0.238M - 0.044B)$$

Όπου:

D, ο αριθμός των νεκρών ανά 100.000 πληθυσμού σε οδικά ατυχήματα στις πόλεις.

P, το ποσοστό των μεταβάσεων στην εργασία με μέσα μαζικής μεταφοράς.

F, το ποσοστό των μεταβάσεων στην εργασία με τα πόδια.

M, το ποσοστό των μεταβάσεων στην εργασία με μοτοσυκλέτα.

B, το ποσοστό των μεταβάσεων στην εργασία με ποδήλατο.

Η ανάλυση των **αποτελεσμάτων** του μοντέλου έδειξε ότι ο τρόπος μετάβασης στην εργασία με μέσα μαζικής μεταφοράς, με μοτοσυκλέτα, με ποδήλατο είτε με τα πόδια, ενδέχεται να επηρεάσει στατιστικά σημαντικά τον αριθμό των νεκρών την πόλης σε οδικά ατυχήματα.

Συγκεκριμένα η μετάβαση στην εργασία **με μοτοσυκλέτα** παρουσιάζει θετικό συντελεστή, το οποίο σημαίνει ότι αύξηση του συγκεκριμένου δείκτη οδηγεί σε περισσότερους νεκρούς σε οδικά ατυχήματα. Ταυτόχρονα η μεταβλητή αυτή ασκεί τον μεγαλύτερο βαθμό επιρροής στην εξαρτημένη μεταβλητή σε σχέση με τις άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές.

Αντίθετα οι υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές δηλαδή το ποσοστό μετάβασης στην εργασία **με μέσα μαζικής μεταφοράς, με ποδήλατο και με τα πόδια**, είχαν αρνητικό συντελεστή, γεγονός που καταδεικνύει πως αύξηση των ποσοστών αυτών επιφέρει μείωση του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα στην πόλη.

Από την ολοκλήρωση της εν λόγω ανάλυσης συμπεραίνεται πως ο αριθμός των νεκρών σε οδικά ατυχήματα εντός των πόλεων είναι συσχετισμένος την επιλογή του τρόπου μετάβασης στην εργασία. Μείωση του ποσοστού μεταβάσεων με μοτοσυκλέτα, καθώς και αύξηση της χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς για μετάβαση στην εργασία συμβάλλουν θετικά στη μεταβολή του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα.

Στη μείωση αυτή μπορεί να συμβάλει και το ποσοστό των μεταβάσεων στην εργασία με τα πόδια και με το ποδήλατο. Συνεπώς βελτίωση της ασφάλειας των πεζών αλλά και των υποδομών για τους ποδηλάτες θα συνέβαλε στο να γίνουν αυτοί οι τρόποι μετάβασης ελκυστικοί και θα οδηγούσε σε λιγότερους νεκρούς.

Τα **συμπεράσματα** αυτά είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στις πόλεις καθώς και για λήψη στρατηγικών αποφάσεων με σκοπό την ελάττωση του αριθμού των νεκρών στις πόλεις αυτές. Η μελέτη θα μπορούσε να επεκταθεί και σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ επιπρόσθετα θα μπορούσε να αναλυθεί η επιρροή του τρόπου μετάβασης στην εργασία, αλλά και περισσότερων παραγόντων κινητικότητας σε ειδικές κατηγορίες του συνολικού αριθμού νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων.

## 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 πόλεις της Ευρώπης και παγκοσμίως, με σκοπό τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών

της οδικής ασφάλειας στις πόλεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι, από την αναζήτηση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης διαπιστώθηκε πως η αναζήτηση παραγόντων που επηρεάζουν τους θανάτους λόγω οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές, παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον, αντικείμενο το οποίο τέθηκε προς διερεύνηση στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

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).

Όσον αφορά στις επόμενες δυο έρευνες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, σκοπός τους ήταν η πολυεπίπεδη ανάλυση των χαρακτηριστικών της οδικής ασφάλειας σε ευρωπαϊκές πόλεις. Συγκεντρώθηκαν στατιστικά στοιχεία από διάφορους τομείς μεγάλου ενδιαφέροντος και αναλύθηκε η επιρροή τους στον τομέα της οδικής ασφάλειας, πάντα αναφερόμενες σε επίπεδο πόλεων.

Τα συμπεράσματα αυτών των ερευνών δείχνουν ότι τα θύματα στις αστικές περιοχές λόγω οδικών ατυχημάτων μπορούν να επηρεαστούν από παράγοντες ανεξάρτητους μεταξύ τους, όπως επίσης κι ότι μερικοί

παράγοντες επηρεάζουν περισσότερο τα θύματα μιας κατηγορίας σε μία πόλη, απ' ότι σε μία άλλη.

Η τελευταία έρευνα παρουσίασε ενδιαφέρον τόσο στο είδος των ανεξάρτητων μεταβλητών που συλλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν, όσο και στη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τη στατιστική επεξεργασία. Από τα συμπεράσματα μπορεί να γίνει αντιληπτό το πως η επιλογή του τρόπου μετάβασης στην εργασία μπορεί να συμβάλει στη μείωση του αριθμού των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων στις πόλεις, κι εν γένει στη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας.

Τόσο η περιορισμένη σχετική βιβλιογραφία, όσο και τα αποτελέσματα των λίγων υφιστάμενων ερευνών καταδεικνύουν την **ανάγκη διερεύνησης της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις**. Η διερεύνηση αυτή παρουσιάζει υψηλό βαθμό ενδιαφέροντος καθώς λαμβάνονται υπόψη παράμετροι από διάφορους τομείς (κοινωνίο-οικονομικές, δημογραφικές, οδικές, κυκλοφοριακές, κλπ.) που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια στα όρια των αστικών περιοχών.

### **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 μοντέλων.

#### **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. Οι μεταβλητές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ποιοτικές μεταβλητές** (qualitative variables). Είναι οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Η χρήση αριθμών για την παράσταση των τιμών μίας τέτοιας μεταβλητής είναι καθαρά συμβολική και δεν έχει την έννοια της μέτρησης.
- **Ποσοτικές μεταβλητές** (quantitative variables). Είναι οι μεταβλητές με τιμές αριθμούς, που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις διακριτές και τις συνεχείς. Σε μία διακριτή μεταβλητή η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές είναι

σταθερή ποσότητα. Αντίθετα σε μια συνεχή μεταβλητή δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα. Στην πράξη, συνεχής θεωρείται μια μεταβλητή όταν μπορεί να πάρει όλες τις τιμές σε ένα διάστημα, διαφορετικά θεωρείται διακριτή.

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

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

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

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

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 περίπου το 99% των δεδομένων

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

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

**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  $\sigma_X^2$  και  $\sigma_Y^2$  αντίστοιχα και συνδιασπορά  $\sigma_{XY} = \text{Cov}[X, Y]$  καθορίζεται με τον **συντελεστή συσχέτισης** ( Correlation coefficient )  $\rho$  ο οποίος ορίζεται ως εξής:

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

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

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

### 3.4 ΒΑΣΙΚΕΣ 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  $\mu, \sigma$  ( $-\infty < \mu < +\infty, \sigma > 0$ ), και γράφεται  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την:

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

όπου  $\mu$  και  $\sigma$  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  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ), 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  $E\{x\} = \mu$  και  $\sigma^2\{x\} = \mu$  και είναι ίσες μεταξύ τους.

Η κατανομή Poisson αφορά στον αριθμό των “συμβάντων” σε ορισμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Γενικά, ο αριθμός  $X$  των συμβάντων σε χρονικό (ή χωρικό) διάστημα  $t$  ακολουθεί την κατανομή Poisson αν (α) ο ρυθμός  $\lambda$ ,



έστω των συμβάντων είναι χρονικά σταθερός και (β) οι αριθμοί των συμβάντων σε ξένα διαστήματα αποτελούν ανεξάρτητα ενδεχόμενα (Κοκολάκης και Σπηλιώτης, 1999).

Η κατανομή Poisson είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη μοντέλων που αφορούν φαινόμενα, τα οποία 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, η οποία παρουσιάζει όμοιες ιδιότητες με τη 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, στις οποίες 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 την:

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

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  $\alpha$  που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . Είναι μία σημαντική τιμή, διότι ποσοτικοποιεί τη στατιστική απόδειξη που υποστηρίζει την εναλλακτική υπόθεση. Γενικά, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της πιθανότητας  $p$ , τόσο περισσότερες είναι οι αποδείξεις για την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . Εάν η τιμή  $p$  είναι μικρότερη ή ίση του επιπέδου σημαντικότητας  $\alpha$ , τότε η μηδενική υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται.

### 3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

**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 μοντέλων.

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

#### 3.5.1 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές μέγεθος και ακολουθεί κανονική κατανομή χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. 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 της  $x_i$  της  $X$ , δίνεται από τη σχέση:

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

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

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

Ο όρος  $\varepsilon_i$  λέγεται **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  $\varepsilon_i$ . 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  $\varepsilon_i$  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 παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούργιο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει αν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών ( $\rho(x_i, x_j) \forall i \neq j \rightarrow 0$ ).

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 πρότυπο 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 ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Στα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης που αναφέρθηκαν παραπάνω, ισχύει η προϋπόθεση ότι η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής. Στην περίπτωση που η **εξαρτημένη μεταβλητή είναι διακριτή**, εφαρμόζεται η **λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης**. Η λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης και ταξινόμησης. Είναι δυνατή η έκβαση μιας κατηγορικής μεταβλητής με δύο κατηγορίες με τη χρήση ενός συνόλου συνεχών και διακριτών μεταβλητών. Σε αντίθεση με τη γραμμική παλινδρόμηση, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η πιθανότητα η έκβαση του αποτελέσματος να ισούται με 1. Χρησιμοποιείται ο νεπέριος λογάριθμος για την πιθανότητα ή τον λόγο πιθανοφάνειας (likelihood ratio), η εξαρτημένη μεταβλητή να είναι 1 σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = B_0 + B_i x_i$$

όπου

$B_0$ : η σταθερά του μοντέλου

$B_i$ : οι παραμετρικές εκτιμήτριες για τις ανεξάρτητες μεταβλητές ( $x_i = 1, 2, \dots, n$ )

$n$ : το σύνολο των εξαρτημένων μεταβλητών.

Η πιθανότητα κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ ο νεπέριος λογάριθμος  $\ln(P_i / 1 - P_i)$  λαμβάνει τιμές από  $-\infty$  έως  $+\infty$ . Όταν οι πιθανές κατηγορίες της εξαρτημένης μεταβλητής είναι δύο, η ανάλυση ονομάζεται **διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση** (binary logistic regression), ενώ σε περίπτωση

πλήθους κατηγοριών περισσότερων των δύο χρησιμοποιείται η **πολυωνυμική** λογιστική παλινδρόμηση (multinomial logistic regression).

Η λογική της λογιστικής παλινδρόμησης είναι παρόμοια με εκείνη της γραμμικής (πολλαπλής) παλινδρόμησης, με τη διαφορά ότι επειδή η εξαρτημένη μεταβλητή είναι κατηγορική, δεν προβλέπονται τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, αλλά ταξινόμηση σε μία εκ των (δύο) κατηγοριών της (group membership).

Τα μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης υπολογίζουν την **καμπυλόγραμμη σχέση** ανάμεσα στην κατηγορική επιλογή  $Y$  και στις μεταβλητές  $X_i$  οι οποίες μπορεί να είναι συνεχείς ή διακριτές. Η καμπύλη της λογιστικής παλινδρόμησης είναι προσεγγιστικά γραμμική στις μεσαίες τιμές και λογαριθμική στις ακραίες τιμές. Με απλό μετασχηματισμό της παραπάνω σχέσης οδηγούμαστε στην εξής νέα σχέση:

$$\frac{P_i}{1 - P_i} = e^{B_0 + B_i x_i}$$

Η θεμελιώδης εξίσωση για την λογιστική παλινδρόμηση δείχνει ότι όταν μια τιμή μιας ανεξάρτητης μεταβλητής αυξηθεί κατά μία μονάδα και όλες οι υπόλοιπες παραμείνουν σταθερές, ο **νέος λόγος πιθανοφάνειας** ( $P_i / 1 - P_i$ ) δίδεται από τη σχέση:

$$\left( \frac{P_i}{1 - P_i} \right) = e^{B_0 + B_i x_i + 1} = e^{B_0} e^{B_i} e^{B_i}$$

Έτσι παρατηρείται ότι όταν η εξαρτημένη μεταβλητή  $X_i$  αυξηθεί κατά μία μονάδα, με όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές να παραμένουν σταθερές, η πιθανότητα αυξάνεται κατά ένα συντελεστή  $e^{B_i}$ .

### 3.5.3 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 της παλινδρόμησης με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων.

Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή

και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

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

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

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 εξαρτημένες μεταβλητές και  $\varepsilon_i$  το σφάλμα παλινδρόμησης.

### 3.5.4 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ POISSON

Η παλινδρόμηση Poisson είναι ίσως η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την ανάπτυξη προτύπων που αφορούν **διακριτά** και ανεξάρτητα μεταξύ τους δεδομένα. Για να γίνει κατανοητή η παρουσίαση της μεθοδολογίας που θα περιγραφεί χρησιμοποιείται ένα παράδειγμα, αυτό των 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,

$\lambda_i$ , 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  $\lambda$  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 τον σκοπό που εξυπηρετούν ώστε να απεικονίζεται σωστά η επιρροή τους στον μέσο όρο  $\lambda$ . Οι μεταβλητές μπορούν να είναι συνεχείς ή διακριτές, ενώ ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στις διακριτές ανεξάρτητες μεταβλητές ώστε να αναγνωρισθεί εάν αυτές είναι κατηγορικές ή κλιμακωτές. Για παράδειγμα, η αντιμετώπιση μιας μεταβλητής ως σειριακής (ordinal) χρειάζεται προσοχή καθώς τα διάφορα επίπεδα της μπορεί να μην είναι ξεκάθαρα ενώ η αντιμετώπιση μιας σειριακής μεταβλητής ως απλή ονομαστική (nominal) θα στερήσει από το πρότυπο μεγάλη επεξηγηματική ικανότητα.

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

$$\lambda_i = e^{[\beta][x_i]}$$

όπου το  $X_i$  είναι ένα διάνυσμα επεξηγηματικών (ανεξάρτητων) μεταβλητών και το  $\beta$  είναι το διάνυσμα των εκτιμώμενων παραμέτρων, μίας για κάθε μεταβλητή. Το  $\lambda_i$  στην πραγματικότητα δίνει τον αριθμό των γεγονότων (οδικά ατυχήματα) τα οποία αναμένεται να συμβούν στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Η εκτίμηση του διανύσματος των παραμέτρων  $\beta$  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 στο χειρισμό και για το 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.

### 3.5.5 ΓΕΝΙΚΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

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

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

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

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

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

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

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

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

όπου  $X$  είναι ένας πίνακας δεδομένων, ο οποίος έχει στοιχεία  $x_{ij}$  σε κάθε στήλη για κάθε παράγοντα  $j$  και σε κάθε σειρά για κάθε παρατήρηση  $i$ . Ο πίνακας  $G$  αποτελείται από τους συντελεστές  $g_{ik}$  και ονομάζεται στη διεθνή



ορολογία design matrix, ενώ  $\beta = [\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_j]$  είναι πίνακας παραμέτρων, όπου  $\chi_j$  είναι ένα διάνυσμα στήλη με παραμέτρους για τους παράγοντες  $j$ . Επιπλέον,  $e$  είναι ένας πίνακας με κανονικά κατανεμημένους όρους σφαλμάτων.

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

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

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

### 3.5.6 ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα είναι μια αξιοσημείωτη σύνθεση και επέκταση των γνωστών μοντέλων παλινδρόμησης όπως τα γραμμικά μοντέλα και τα μοντέλα logit και probit (Nelder και Wedderburn (1972)). Είναι σημαντικά στην αποτελεσματική ανάλυση στατιστικών δεδομένων, για αυτό αξίζει την προσπάθεια που απαιτείται για την κατανόησή τους. (ΠΡΙΣΚΑ Ε., 2014)

Τα **γενικευμένα γραμμικά μοντέλα** ή Generalized Linear Model (GLM) αναπτύχθηκαν για να μας βοηθήσουν να προσαρμόσουμε μοντέλα παλινδρόμησης για μονοπαραμετρικά δεδομένα απόκρισης που ακολουθούν μια πολύ γενική κατανομή που καλείται **εκθετική οικογένεια**. Η εκθετική οικογένεια περιλαμβάνει την κανονική, τη διωνυμική, την Poisson, τη γεωμετρική, την αρνητική διωνυμική, την εκθετική, τη Γάμμα και την αντίστροφη κανονική κατανομή. Μεταγενέστερες εργασίες, όμως, έχουν επεκτείνει τα GLM σε πολυμεταβλητές εκθετικές οικογένειες (όπως η πολυωνυμική κατανομή) σε ορισμένες μη εκθετικές οικογένειες (όπως η δύο παραμέτρων αρνητική διωνυμική κατανομή), και σε ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες η κατανομή του  $y_i$  δεν καθορίζεται πλήρως.

Έστω  $y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  τα οποία παριστάνουν τις τιμές απόκρισης, τότε τα GLM δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$g(\mu_i) = g[E(y_i)] = x_i' \beta$$

όπου  $x_i$  είναι το διάνυσμα των μεταβλητών απόκρισης ή οι συμμεταβλητές για την  $i$ -οστή παρατήρηση και  $\beta$  είναι το διάνυσμα των παραμέτρων ή των συντελεστών παλινδρόμησης.

Η **τυπική δομή** του γενικευμένου γραμμικού μοντέλου αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

1. Μια τυχαία συνιστώσα, που προσδιορίζει τη δεσμευμένη κατανομή της μεταβλητής απόκρισης  $y_i$  (για το  $i$ -οστό στοιχείο των  $n$  ανεξάρτητων παρατηρήσεων δείγματος), και δίνει τις τιμές των επεξηγηματικών μεταβλητών στο μοντέλο (μερικές φορές καλείται και δομή σφάλματος-error structure).
2. Μια γραμμική επεξηγηματική μεταβλητή που περιλαμβάνει τις μεταβλητές παλινδρόμησης ή τις συμμεταβλητές.

Το μοντέλο κατασκευάζεται γύρω από αυτή τη μεταβλητή .

$$\eta = \mathbf{x}' \beta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i$$

Η συμμετοχή αυτής της γραμμικής επεξηγηματικής μεταβλητής προτείνει την ορολογία των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων.

Όπως και στο γραμμικό μοντέλο και στα logit και probit, οι μεταβλητές παλινδρόμησης  $x_i$  είναι προκαθορισμένες συναρτήσεις των επεξηγηματικών μεταβλητών και ως εκ τούτου μπορεί να περιλαμβάνουν ποσοτικές επεξηγηματικές μεταβλητές, μετασχηματισμούς ποσοτικών επεξηγηματικών μεταβλητών, πολυωνυμικές μεταβλητές παλινδρόμησης, dummy μεταβλητές παλινδρόμησης, αλληλεπιδράσεις και ούτω καθ' εξής. Πράγματι, ένα από τα πλεονεκτήματα των GLM είναι ότι η δομή της γραμμικής επεξηγηματικής μεταβλητής είναι η γνωστή δομή ενός γραμμικού μοντέλου.

3. Μια ομαλή και αντιστρέψιμη γραμμική συνάρτηση σύνδεσης (*link function*)  $g$  που συνδέει τη γραμμική επεξηγηματική μεταβλητή με τη μέση τιμή της μεταβλητής απόκρισης. Η  $g$  μετασχηματίζει τη μέση τιμή της μεταβλητής απόκρισης  $\mu_i \equiv E(y_i)$  στη γραμμική επεξηγηματική μεταβλητή:

$$g(\mu_i) = \eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

Επειδή η συνάρτηση σύνδεσης είναι αντιστρέψιμη, μπορούμε να τη γράψουμε

$$\mu_i = g^{-1}(\eta_i) = g^{-1}(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)$$

και έτσι τα GLM μπορούν να θεωρηθούν ως ένα γραμμικό μοντέλο για το μετασχηματισμό της αναμενόμενης απόκρισης ή ως μη γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης για την απόκριση. Ο αντίστροφος σύνδεσμος  $g^{-1}$  καλείται και **συνάρτηση μέσου**.

Το μοντέλο βρίσκεται μέσω της χρήσης της **συνάρτησης σύνδεσης**:

$$\eta_i = g(\mu_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Ο όρος σύνδεση προέρχεται από το γεγονός ότι η συνάρτηση είναι η σύνδεση μεταξύ της μέσης τιμής και της γραμμικής επεξηγηματικής μεταβλητής. Παρατηρούμε ότι η αναμενόμενη απόκριση είναι:

$$E(y_i) = g^{-1}(\eta_i) = g^{-1}(x_i' \beta)$$

Στην πραγματικότητα, στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση το μοντέλο

$$\mu_i = \eta_i = x_i' \beta, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

προτείνει μια ειδική περίπτωση στην οποία  $g(\mu_i) = \mu_i$ , και για αυτό η συνάρτηση σύνδεσης που χρησιμοποιείται είναι η **ταυτοτική σύνδεση**.

Η συνάρτηση σύνδεσης είναι μια μονότονη διαφορίσιμη συνάρτηση.

Υπάρχουν πολλές πιθανές επιλογές για τη συνάρτηση σύνδεσης. Αν επιλέξουμε  $\eta_i = \theta_i$  τότε λέμε ότι η  $\eta_i$  είναι η **κανονική σύνδεση**.

Άλλες συναρτήσεις σύνδεσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα είναι οι εξής:

1. Η σύνδεση probit

$$\eta_i = \Phi^{-1}[E(y_i)]$$

όπου το  $\Phi$  παριστάνει την αθροιστική τυπική κανονική συνάρτηση κατανομής.

2. Η log-log σύνδεση

$$\eta_i = \ln\{\ln(\mu_i)\}$$

3. Η complementary log-log

$$\eta_i = \ln\{-\ln(1 - \mu_i)\}$$

Οι πιο συνηθισμένες συναρτήσεις σύνδεσης και οι αντίστροφές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3.1. Παρατηρούμε ότι η ταυτοτική σύνδεση απλά επιστρέφει το όρισμα της αναλλοίωτο,  $\eta_i = g(\mu_i) = \mu_i = g^{-1}(\eta_i) = \eta_i$

| Link                  | $\eta_i = g(\mu_i)$              | $\mu_i = g^{-1}(\eta_i)$    |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Identity              | $\mu_i$                          | $\eta_i$                    |
| Log                   | $\log_e \mu_i$                   | $e^{\eta_i}$                |
| Inverse               | $\mu_i^{-1}$                     | $\eta_i^{-1}$               |
| Inverse-square        | $\mu_i^{-2}$                     | $\eta_i^{-1/2}$             |
| Square-root           | $\sqrt{\mu_i}$                   | $\eta_i^2$                  |
| Logit                 | $\log_e \frac{\mu_i}{1 - \mu_i}$ | $\frac{1}{1 + e^{-\eta_i}}$ |
| Probit                | $\Phi^{-1}(\mu_i)$               | $\Phi(\eta_i)$              |
| Log-log               | $-\log_e[-\log_e(\mu_i)]$        | $\exp[-\exp(-\eta_i)]$      |
| Complementary log-log | $\log_e[-\log_e(1 - \mu_i)]$     | $1 - \exp[-\exp(\eta_i)]$   |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1** Μερικές συνηθισμένες συναρτήσεις σύνδεσης και οι αντίστροφες τους, όπου  $\mu_i$  είναι η μέση τιμή της απόκρισης,  $\eta_i$  η γραμμική επεξηγηματική μεταβλητή,  $\Phi$  η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της κανονικής κατανομής.

### 3.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο εδάφιο, κάθε μοντέλο που αναπτύσσεται, για να θεωρηθεί αποδεκτό πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Αρχικά πρέπει να ισχύει η **κανονικότητα**. Βάσει της προϋπόθεσης αυτής, απαιτείται οι τιμές της μεταβλητής να ακολουθούν κανονική κατανομή.

#### ➤ Μη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών

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

#### ➤ Λογική ερμηνεία των προσήμων

Σημαντικό κριτήριο για την αποδοχή ενός μοντέλου μετά τη διαμόρφωση του είναι οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης β. Πρέπει αρχικά να υπάρχει λογική ερμηνεία των προσήμων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο επιφέρει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης.

➤ **Κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας (Likelihood Ratio Test-LRT)**

Σημαντικό ρόλο στην επιλογή των μεταβλητών των μοντέλων της λογιστικής παλινδρόμησης παίζει και η πιθανοφάνεια. Για την εκτίμηση της επιρροής των παραμέτρων  $\beta$  χρησιμοποιείται η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια επιχειρείται ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας  $L = -\log\text{likelihood}$  να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος, καθώς προτιμώνται μοντέλα με μικρότερο λογάριθμο της συνάρτησης πιθανοφάνειας. Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και χρειάζεται ένας κανόνας να αποφασίζει εάν η μείωση του λογαρίθμου της πιθανοφάνειας αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα και για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το Likelihood Ratio Test (LRT) ή αλλιώς κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο κριτήριο εάν ισχύει:

$$LRT = -2(L(b) - L(0)) > \chi^2_{b,0.05}$$

Όπου:

- $L(b)$  είναι ο λογάριθμος πιθανοφάνειας του μοντέλου με τις  $b$  μεταβλητές
- $L(0)$  είναι ο λογάριθμος πιθανοφάνειας του μοντέλου χωρίς τις  $b$  μεταβλητές
- $\chi^2_{b,0.05}$  η τιμή του κριτηρίου  $\chi^2$  για  $b$  βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%

Το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές. Επισημαίνεται ότι οι διακριτές μεταβλητές με κατηγορίες  $k$  έχουν  $k-1$  βαθμούς ελευθερίας, ενώ οι συνεχείς έχουν πάντοτε ένα βαθμό ελευθερίας.

➤ **Στατιστική αξιολόγηση των παραμέτρων**

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

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

όπου  $s.e.$ : το τυπικό σφάλμα των σταθερών παραμέτρων (standard error)

Βάσει της παραπάνω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται η τιμή του  $t_{\text{stat}}$  και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του  $t_{\text{stat}}$  τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της

συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι τιμές του  $t_{stat}$  για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης.

| Βαθμός<br>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 |
| $\infty$             | 1.282                | 1.645 | 1.960 | 2.326 | 2.576 |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2** Κρίσιμες τιμές του συντελεστή  $t$

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα για ένα δείγμα περί τα 80 και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι  $t^* = 1,671$  και για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι  $t^* = 1,3$ . Έτσι αν για παράδειγμα μια μεταβλητή έχει τιμή  $t^*$  ίση με -3,8, η απόλυτη τιμή της τιμής  $t$  είναι 3,8 δηλαδή μεγαλύτερη από 1,671 και επομένως η μεταβλητή είναι αποδεκτή και στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

Όσον αφορά στα μοντέλα λογιστικής ανάλυσης παλινδρόμησης, ισχύει ό,τι και στην απλή γραμμική παλινδρόμηση, με τη διαφορά ότι στη λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης το αντίστοιχο  $t$ -test έχει την ονομασία **Wald**. Η τιμή του Wald για κάθε μεταβλητή πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1,7 όπως ακριβώς ισχύει και για τον συντελεστή  $t$ .

#### ➤ Συντελεστής προσαρμογής $R^2$

Μετά τον έλεγχο στατιστικής εμπιστοσύνης εξετάζεται η ποιότητα του μοντέλου. Η ποιότητα του μοντέλου καθορίζεται με βάση τον συντελεστή προσαρμογής. Ο συντελεστής  $R^2$  χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Όπου

$$SSR = \sum_{i=1}^v (y_i - \hat{y})^2 = \beta^2 \sum_{i=1}^v (x_i - \bar{x})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^v (y_i - \bar{y})^2$$

Τα αρχικά SSR και SST έχουν προέλθει από τις φράσεις υπόλοιπο άθροισμα τετραγώνων (Residual Sum of Squares) και συνολικό άθροισμα τετραγώνων (Total Sum of Squares) αντίστοιχα. Με  $\hat{y}$  συμβολίζεται η προβλεπόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής από τις ανεξάρτητες.

Ο συντελεστής αυτός 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  $R^2$  στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών  $Y$  και  $X$ . Ο συντελεστής  $R^2$  έχει συγκριτική αξία, κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του  $R^2$  που είναι αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή  $R^2$ . Ο συντελεστής  $R^2$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το  $X$  παίρνει καθορισμένες τιμές ή αν είναι τυχαία μεταβλητή.

#### ➤ Ελαστικότητα

Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την **ευαισθησία** μιας εξαρτημένης μεταβλητής στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα η τιμή της ελαστικότητας ερμηνεύεται ως το ποσοστό επί της εκατό της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλείται από μια μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά 1%. Η ελαστικότητα, για γραμμικά πρότυπα, δίδεται από τη σχέση:

$$e_i = \left( \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) * \left( \frac{X_i}{Y_i} \right) = \beta_i * \left( \frac{X_i}{Y_i} \right)$$

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται αποκλειστικά σε **συνεχείς** μεταβλητές. Για **διακριτές** μεταβλητές χρησιμοποιείται η **έννοια της ψευδοελαστικότητας**, η οποία περιγράφει τη μεταβολή στην τιμή της πιθανότητας επιλογής κατά τη μετάβαση από τη μία τιμή της διακριτής μεταβλητής στην άλλη. Η σχέση που υπολογίζει την τιμή της ψευδοελαστικότητας για διακριτές μεταβλητές είναι η παρακάτω:

$$E_{x_{ink}}^{P_i} = e^{\beta_{ik}} \frac{\sum_{j=1}^I e^{\beta_{ij} x_{jn}}}{\sum_{j=1}^I e^{\beta_{ij} x_{jn}}} - 1$$

Όπου:

- $I$ , το πλήθος των πιθανών επιλογών
- $x_{ink}$ , η τιμή της μεταβλητής  $k$  για την εναλλακτική  $i$  του ατόμου  $n$
- $\Delta(\beta_i x_n)$ , η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της  $x_{nk}$  έχει μεταβληθεί από 0 σε 1
- $\beta_i x_n$ , η αντίστοιχη τιμή όταν η  $x_{nk}$  έχει τιμή 0
- $\beta_{ik}$ , η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής  $x_{nk}$

Όσον αφορά στο **σφάλμα της εξίσωσης του μοντέλου**, πρέπει να πληρούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις:

- να ακολουθεί κανονική κατανομή
- να έχει σταθερή διασπορά,  $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2_\varepsilon = c$
- να έχει μηδενική συσχέτιση,  $\rho(x_i, x_j) = 0 \quad \forall i \neq j$

Η **διασπορά του σφάλματος** εξαρτάται από τον συντελεστή  $R^2$ . Όσο μεγαλύτερο είναι το  $R^2$  τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη που βασίζεται στην ευθεία παλινδρόμησης.

### 3.7 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν έγινε με τη χρήση ειδικού στατιστικού λογισμικού. Αφού καταχωρήθηκαν τα δεδομένα σε ειδικές 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 (variable view). Εκεί δίνονται οι ονομασίες και καθορίζονται οι ιδιότητές τους (όνομα, τύπος μεταβλητής, αριθμός ψηφίων, κωδικοποίηση τιμών κ.α). Είναι σημαντικό να γίνει διάκριση των μεταβλητών σε συνεχείς (scale), διατεταγμένες (ordinal) και διακριτές (nominal).

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή **Analyze** για τη **στατιστική ανάλυση** των δεδομένων. Η εντολή αυτή περιλαμβάνει τις παρακάτω επιλογές:

- **Descriptive Statistics:** Διαδικασίες για την παραγωγή περιγραφικών αποτελεσμάτων. Εδώ βρίσκεται η επιλογή **Options**. Πρόκειται για χρήσιμες στατιστικές περιγραφικές συναρτήσεις (μέσος, τυπική απόκλιση, μέγιστο, ελάχιστο).
- **Correlate:** Η διαδικασία που μετράει τη συσχέτιση ανάμεσα σε ζευγάρια μεταβλητών. Από εδώ επιλέγεται η εντολή **Bivariate correlations**. Οι μεταβλητές που ενδιαφέρουν εισάγονται στο πλαίσιο Variables και χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης **Pearson** αν πρόκειται για συνεχείς μεταβλητές και ο συντελεστής συσχέτισης **Spearman** αν πρόκειται για διακριτές μεταβλητές.



- **Regression:** Η διαδικασία εκτελεί διάφορα είδη αναλύσεων παλινδρόμησης, μία εκ των οποίων είναι η γραμμική (**Linear**) που επιλέξαμε για την ανάλυση των δεδομένων μας. Η μεταβλητή που ενδιαφέρει (εξαρτημένη μεταβλητή) εισάγεται στο πλαίσιο Dependent. Οι επεξηγηματικές μεταβλητές με τις οποίες θα εξηγηθεί η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής, εισάγονται στο πλαίσιο Independent(s). Στο πλαίσιο Method μπορεί να επιλεγεί μια μέθοδος για τη βέλτιστη επιλογή επεξηγηματικών μεταβλητών. Αυτή συνήθως αφήνεται Enter που σημαίνει ότι στο μοντέλο εισέρχονται όλες μεταβλητές βρίσκονται στο πλαίσιο Independent(s) με τη σειρά που αναγράφονται εκεί.

Τέλος, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στα δεδομένα εξόδου. Για τον **έλεγχο καταλληλότητας** του μοντέλου εφαρμόζονται τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν.

#### Επιδιώκεται:

- ✓ Οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης  $\beta_i$  να μπορούν να εξηγηθούν λογικά.
- ✓ Ο **σταθερός όρος** της εξίσωσης, που εκφράζει το σύνολο των παραμέτρων που δε λήφθηκαν υπόψη, να είναι κατά το δυνατό μικρότερος.
- ✓ Η τιμή του στατιστικού ελέγχου **Wald** να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1,7 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και το επίπεδο σημαντικότητας να είναι μικρότερο από 5%.
- ✓ Τα τελικά μοντέλα να έχουν όσο το δυνατόν χαμηλότερο **LRT**, ειδικά σε σχέση με τα αρχικά (μοντέλα χωρίς μεταβλητές).
- ✓ Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  να είναι κατά το δυνατό μεγαλύτερος, αν και δευτερεύων στην ανάλυση λογιστικής παλινδρόμησης

## **4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη **διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας (κατανομή στα μέσα μεταφοράς, χαρακτηριστικά δικτύου, κλπ.) στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις**. Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών συναφών με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας, ακολούθησε η ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης των στοιχείων. Έπειτα ακολούθησε το παρόν βήμα το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια, δηλαδή η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και η επεξεργασία τους. Η σωστή επιλογή των στοιχείων είναι πάρα πολύ σημαντική, αφού και η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων αυτών οδηγεί στην επίτευξη του στόχου της εργασίας.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η **διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας** των στοιχείων από τις βάσεις δεδομένων, ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την ποιότητα και αξιοπιστία των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη συλλογή στοιχείων, καθώς και στους τρόπους με τους οποίους αυτά αντιμετωπίστηκαν. Στο στάδιο της επεξεργασίας, παρουσιάζεται ο τρόπος κωδικοποίησης των στοιχείων και εισαγωγής τους στον υπολογιστή, καθώς και η αρχική επεξεργασία, που υπέστησαν στο πρόγραμμα EXCEL. Τέλος, δίνονται τα βήματα της διαδικασίας της στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων στο ειδικό στατιστικό λογισμικό SPSS.

### **4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Η πορεία της συλλογής στοιχείων, που πραγματοποιήθηκε, είναι η ακόλουθη. Σε πρώτο στάδιο απαραίτητη ήταν η εύρεση **χαρακτηριστικών στοιχείων πόλεων**, που παρουσιάζουν ξεχωριστό ενδιαφέρον στη συγκοινωνιακή τεχνική και θα ήταν χρήσιμα στην επίτευξη του στόχου της εργασίας. Σε δεύτερο στάδιο ήταν αναγκαία τα στοιχεία, που αφορούν στον **αριθμό των θυμάτων** λόγω οδικών ατυχημάτων στην περιοχή της Ευρώπης. Ο λόγος, για τον οποίο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή, αναλύεται στη συνέχεια της ενότητας.

#### 4.2.1 ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

##### 4.2.1.1 UITP (L 'Union Internationale des transports publics)

Για την περάτωση του πρώτου σταδίου συλλογής στοιχείων για τα χαρακτηριστικά των πόλεων, χρησιμοποιήθηκε η αναφορά «**Mobility in Cities Database**» (MCD) του οργανισμού **UITP**. Παρ' όλο, που όπως φάνηκε από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, έχουν πραγματοποιηθεί παρόμοιες μελέτες, δηλαδή συσχέτισης του αριθμού των θυμάτων των οδικών ατυχημάτων με διάφορους παράγοντες, διαπιστώθηκε ότι η συγκεκριμένη βάση δεδομένων της UITP, με τα ιδιαίτερου χαρακτήρα της στατιστικά στοιχεία, δεν είχε αξιοποιηθεί επαρκώς. Αυτός είναι και ο λόγος που προκάλεσε το ενδιαφέρον και αποφασίστηκε η επιλογή της εν λόγω βάσης δεδομένων.

Ο συγκεκριμένος οργανισμός (UITP) είναι μη-κερδοσκοπικού χαρακτήρα και ασχολείται κυρίως με τον κλάδο των μεταφορών και των δημόσιων συγκοινωνιών, εστιάζοντας στην εύρεση λύσεων για την πρόοδο τους, με απώτερο σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών των μεγαλουπόλεων. Αποτελείται από ένα διεθνές δίκτυο με 1.500 εταιρείες-μέλη, που βρίσκονται σε 96 χώρες. Είναι το μοναδικό παγκόσμιο δίκτυο που συγκεντρώνει στοιχεία από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς σχετικά με τις αστικές συγκοινωνίες και μεταφορές. Η συγκεκριμένη αναφορά δημοσιεύτηκε τον Νοέμβριο του 2015 και τα στοιχεία της αφορούν το **έτος 2012**. Περιλαμβάνει πάνω από 80 δείκτες σε ένα φάσμα κατηγοριών, όπως η δημογραφία, η οικονομία, η κυκλοφορία, οι υποδομές των μεταφορών, η προσφορά και η ζήτηση δημόσιων συγκοινωνιών για πάνω από 60 μητροπολιτικές περιοχές παγκοσμίως. Η επόμενη έκδοση του MCD προγραμματίζεται για το 2019.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.1** Χάρτης με τις περιοχές που περιλαμβάνονται στη βάση της UITP

## Mobility in Cities Database 2015

### LIST OF 63 CITIES INCLUDED

|             |              |             |
|-------------|--------------|-------------|
| Abu Dhabi   | Hamburg      | Paris       |
| Addis Ababa | Helsinki     | Phoenix AZ  |
| Amsterdam   | Hong Kong    | Portland OR |
| Ankara      | Izmir        | Prague      |
| Athens      | Jerusalem    | Rome        |
| Barcelona   | Johannesburg | Seoul       |
| Beijing     | Kocaeli      | Shizuoka    |
| Berlin      | Lagos        | Singapore   |
| Birmingham  | Lisbon       | Stockholm   |
| Brisbane    | London       | Strasbourg  |
| Brussels    | Madrid       | Sydney      |
| Budapest    | Mashhad      | Taipei      |
| Casablanca  | Melbourne    | Tallinn     |
| Chicago     | Milan        | Tehran      |
| Copenhagen  | Montreal     | Tokyo       |
| Delhi       | Moscow       | Tshwane     |
| Dubai       | Mumbai       | Turin       |
| Dublin      | Munich       | Vancouver   |
| Geneva      | Nairobi      | Vienna      |
| Glasgow     | Niigata      | Warsaw      |
| Göteborg    | Oslo         | Zürich      |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1** Πόλεις για τις οποίες παρέχονται στατιστικά στοιχεία στη βάση της UITP

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η βάση περιλαμβάνει πάνω από 80 δείκτες. Είναι φανερό ότι δεν θα ήταν χρήσιμο και ευέλικτο να χρησιμοποιηθούν όλοι οι δείκτες για την έρευνα μας. Έτσι επιλέχθηκαν **35 δείκτες** ως πιο αντιπροσωπευτικοί και σημαντικοί για τις πόλεις, αλλά και λόγω του υψηλού ενδιαφέροντος στον τομέα της συγκοινωνιακής ανάλυσης. Οι δείκτες αυτοί είχαν τις λιγότερες ελλείψεις και παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα, όπως ακριβώς αναγράφονται στη βάση με τις αντίστοιχες μονάδες τους. Μερικοί από αυτούς είναι ο πληθυσμός, η πυκνότητα, το Α.Ε.Π., η πυκνότητα του αστικού οδικού δικτύου, η πυκνότητα αυτοκινητοδρόμων, ο αριθμός των οχημάτων, ο αριθμός των ταξί, η μέση ταχύτητα στο οδικό δίκτυο, ο αριθμός οχημάτων μέσων μαζικής μεταφοράς, οι προσφερόμενες θέσεις ανά μέσο μαζικής μεταφοράς, οι ημερήσιες διαδρομές ανά κάτοικο, το ποσοστό των διαδρομών με τα πόδια, με το ποδήλατο, με τη δημόσια συγκοινωνία και άλλα πολλά πάντα αναφερόμενα στα όρια των αστικών περιοχών των προαναφερθεισών πόλεων. Οι δείκτες αυτοί, με τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης τους, γραμμένοι στα αγγλικά φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.2.

| INDICATORS                                                                       | UNIT                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Population                                                                       | persons                  |
| Urban population density                                                         | persons/ha               |
| Urban population + job density                                                   | persons+jobs/ha          |
| GDP per inhabitant                                                               | EUR                      |
| Length of road per thousand inhabitants                                          | m/1000 persons           |
| Length of road per urban hectare                                                 | m/ha                     |
| Length of motorway per urban hectare                                             | m/ha                     |
| Length of reserved public transport routes per thousand inhabitants - road modes | m/1000 persons           |
| Length of reserved public transport routes per thousand inhabitants - rail modes | m/1000 persons           |
| Length of reserved public transport routes per urban hectare - road modes        | m/ha                     |
| Length of reserved public transport routes per urban hectare- rail modes         | m/ha                     |
| Passenger cars per thousand inhabitants                                          | vehicles/1000 persons    |
| Motorcycles per thousand inhabitants                                             | vehicles/1000 persons    |
| Taxis per thousand inhabitants                                                   | vehicles/1000 persons    |
| Average annual distance - passenger car                                          | VKM/car                  |
| Annual average distance travelled in passenger cars per inhabitant               | PKM/inhabitant           |
| Average speed on the road network                                                | km/h                     |
| Total public transport vehicles per million inhabitants                          | vehicles/million persons |
| Buses per million inhabitants                                                    | vehicles/million persons |
| Metro vehicles per million inhabitants                                           | vehicles/million persons |
| Total public transport vehicle kilometres                                        | VKM/inhabitant           |
| Bus kilometres per inhabitant                                                    | VKM/inhabitant           |
| Tramway vehicle kilometres per inhabitant                                        | VKM/inhabitant           |
| Metro vehicle kilometres per inhabitant                                          | VKM/inhabitant           |
| Suburban railway vehicle kilometres per inhabitant                               | VKM/inhabitant           |
| Total public transport place kilometres per inhabitant                           | PI-KM/inhabitant         |
| Bus place kilometres per inhabitant                                              | PI-KM/inhabitant         |
| Tramway place kilometres per inhabitant                                          | PI-KM/inhabitant         |
| Metro place kilometres per inhabitant                                            | PI-KM/inhabitant         |
| Suburban railway place kilometres per inhabitant                                 | PI-KM/inhabitant         |
| Daily trips per inhabitant                                                       | trips/inhabitant         |
| Percentage of daily trips on foot                                                | trips/inhabitant         |
| Percentage of daily trips by bicycle                                             | trips/inhabitant         |
| Percentage of daily trips by private motorised modes                             | trips/inhabitant         |
| Percentage of daily trips by public transport                                    | trips/inhabitant         |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2** Δείκτες και μονάδες που συλλέχθηκαν από τη βάση UITP για την κάθε πόλη

#### 4.2.1.2 CARE (Community Database on Accidents on the Roads in Europe)

Έπειτα αναζητήθηκαν στατιστικά στοιχεία για τον **αριθμό των θυμάτων** στο ανάλογο πλαίσιο της εργασίας. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι λόγω έλλειψης συγκρίσιμων στοιχείων οδικών ατυχημάτων σε επίπεδο παγκόσμιων πόλεων, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για επεξεργασία, μόνο οι Ευρωπαϊκές αστικές περιοχές που περιλαμβάνονται στη βάση που αναφέρθηκε στις παραπάνω παραγράφους.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η **Ευρωπαϊκή Βάση Οδικών Ατυχημάτων, CARE** (CARE- Community database on Accidents on the Roads in Europe). Η βάση αυτή αποτελεί μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, προκειμένου να δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων εξατομικευμένων στοιχείων οδικών ατυχημάτων. Περιέχονται αναλυτικά στοιχεία για κάθε 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 τη 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 για τα θύματα οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν στις αστικές περιοχές της Ευρώπης. 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 από το 1988 για στατιστικούς λόγους.

Υπάρχουν τρία επίπεδα NUTS και δύο επίπεδα τοπικών διοικητικών μονάδων (local administrative units – LAUs) τα οποία βρίσκονται κάτω από τα επίπεδα NUTS. Αυτά ονομάζονταν επίπεδα NUTS 4 και 5, μέχρι τον Ιούλιο του 2003, αλλά επίσημα καταργήθηκαν, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις περιγράφονται με την παλαιά τους κωδικοποίηση. Σημειωτέον ότι δεν έχουν όλες οι χώρες κατηγορίες για κάθε επίπεδο, καθώς αυτό εξαρτάται από το μέγεθός τους. Πάνω από το επίπεδο NUTS 1 είναι το 'εθνικό' επίπεδο, δηλαδή το κράτος μέλος.

Ο κανονισμός για την ταξινόμηση NUTS προσδιορίζει τα ακόλουθα ελάχιστα και ανώτατα όρια πληθυσμού για τα διαφορετικά επίπεδα των μονάδων:

| Level         | Minimum   | Maximum   |
|---------------|-----------|-----------|
| <b>NUTS 1</b> | 3 000 000 | 7 000 000 |
| <b>NUTS 2</b> | 800 000   | 3 000 000 |
| <b>NUTS 3</b> | 150 000   | 800 000   |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3** Όρια πληθυσμού για την ταξινόμηση NUTS

Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη μεταβλητή και με βάση τους ορισμούς των πόλεων των δύο βάσεων έγινε η αντιστοίχιση των αστικών περιοχών και ελέγχθηκε η συμβατότητα των δεδομένων της πρώτης βάσης δεδομένων (UITP) στην κατηγοριοποίηση NUTS της δεύτερης βάσης (CARE). Η τελική κατάταξη φαίνεται στον Πίνακα 4.4.

| No. | CITY       | DEFINITION OF METROPOLITAN AREA                                                                       | NUTS CODE    |
|-----|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1   | Athens     | Attika region                                                                                         | <i>NUTS2</i> |
| 2   | Barcelona  | Barcelona Metropolitan Area (Area Metropolitana de Barcelona 36 municipalities)                       | <i>NUTS3</i> |
| 3   | Berlin     | State of Berlin (Lander Berlin)                                                                       | <i>NUTS1</i> |
| 4   | Birmingham | West Midlands Metropolitan Area                                                                       | <i>NUTS2</i> |
| 5   | Budapest   | Municipality of Budapest (Fopolgarmesteri Hivatal Budapest)                                           | <i>NUTS3</i> |
| 6   | Copenhagen | Copenhagen Capital region                                                                             | <i>NUTS2</i> |
| 7   | Dublin     | Greater Dublin Area                                                                                   | <i>NUTS3</i> |
| 8   | Geneva     | Republic and Canton of Geneva                                                                         | <i>NUTS3</i> |
| 9   | Glasgow    | Strathclyde Partnership for Transport                                                                 | <i>NUTS3</i> |
| 10  | Göteborg   | Göteborg metropolitan area (Vastra Gotalands Lan)                                                     | <i>NUTS3</i> |
| 11  | Hamburg    | Hamburg Transport Association HVV                                                                     | <i>NUTS1</i> |
| 12  | Helsinki   | Helsinki Region Transport (municipalities of Helsinki, Espoo, Kauniainen, Kerava, Kirkkonummi, Sipoo) | <i>NUTS2</i> |
| 13  | Lisbon     | Lisbon Metropolitan Area (Area Metropolitana de Lisboa 18 municipalities)                             | <i>NUTS2</i> |
| 14  | London     | Greater London Area                                                                                   | <i>NUTS1</i> |
| 15  | Madrid     | Community of Madrid (Comunidad de Madrid)                                                             | <i>NUTS1</i> |
| 16  | Milan      | Milan Metropolitan area (Commune of Milan + periferical communes)                                     | <i>NUTS3</i> |
| 17  | Oslo       | Oslo and Akershus County                                                                              | <i>NUTS2</i> |
| 18  | Paris      | Paris Ile-de-France                                                                                   | <i>NUTS2</i> |
| 19  | Prague     | City of Prague (Mesto Praha)                                                                          | <i>NUTS2</i> |
| 20  | Rome       | Commune of Rome                                                                                       | <i>NUTS3</i> |
| 21  | Stockholm  | Stockholm Lan                                                                                         | <i>NUTS3</i> |

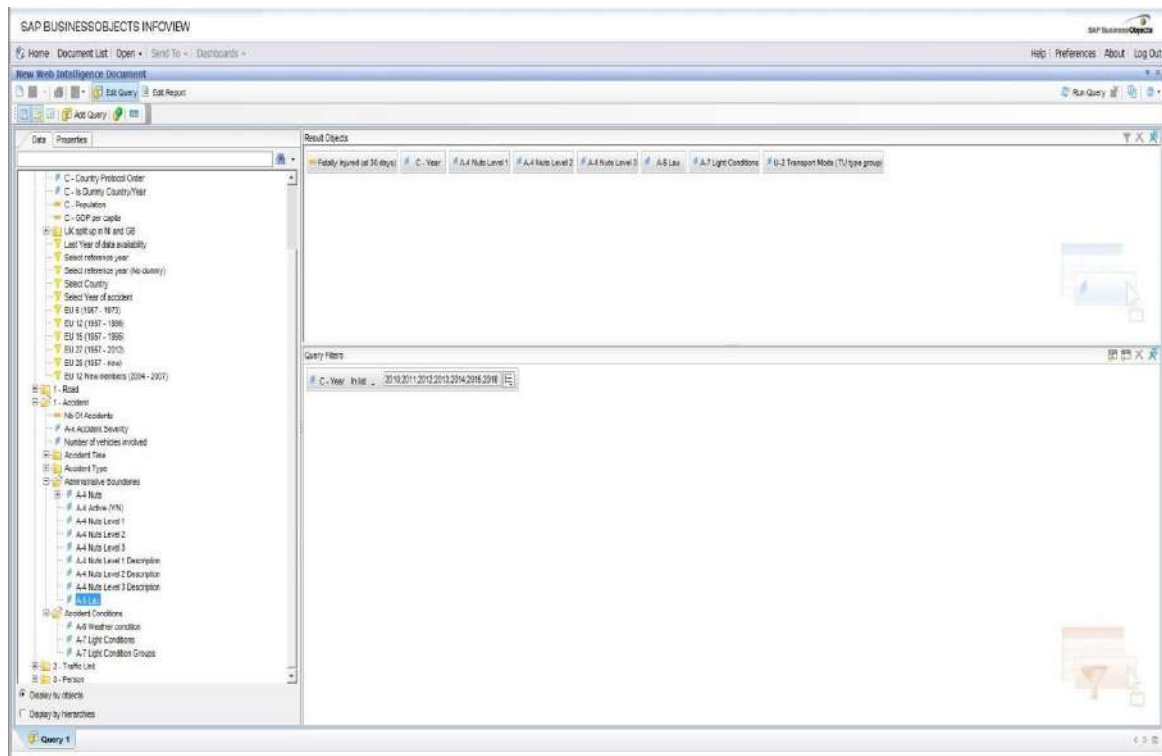


|    |        |                             |       |
|----|--------|-----------------------------|-------|
| 22 | Turin  | Turin Metropolitan Area     | NUTS3 |
| 23 | Vienna | City of Vienna (Stadt Wien) | NUTS2 |
| 24 | Warsaw | City of Warsaw              | NUTS3 |
| 25 | Zurich | Canton of Zurich            | NUTS2 |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4** Κατάταξη περιοχών στην κωδικοποίηση NUTS

Έτσι με γνώμονα αυτή την αντιστοίχιση των περιοχών προχώρησε η **συλλογή στοιχείων** για τα θύματα από το CARE για τα έτη 2010 έως 2016. Επισημαίνεται ότι ο ορισμός για τα θύματα σε αυτή τη βάση αφορά στους νεκρούς είτε επί τόπου, είτε μέχρι και 30 ημέρες μετά την ημέρα της πραγματοποίησης του ατυχήματος. Φυσικά, τα στοιχεία του 2012 ήταν αυτά που ήταν απαραίτητα μιας και τα χαρακτηριστικά των πόλεων αφορούσαν αυτή τη χρονιά, αλλά συλλέχθηκαν και τα στοιχεία από άλλες χρονιές προκειμένου να γίνει μια πρώτη επεξεργασία των δεδομένων, χάριν πληρότητας της έρευνας.

Η μορφή του περιβάλλοντος αναζήτησης της βάσης δεδομένων CARE, για την αναζήτηση, που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, με τις μεταβλητές που αναλύθηκαν έχει τη μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 4.2. Στη συνέχεια ο Πίνακας 4.5 δείχνει τη μορφή των εξαγόμενων στοιχείων για τον αριθμό των θυμάτων ανά περιοχή σε πίνακα της μορφής EXCEL.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.2** Περιβάλλον αναζήτησης της βάσης δεδομένων CARE

|    | A              | B                | C            | D    | E    | F    | G    | H    | I    | J    | K |
|----|----------------|------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 1  |                |                  |              |      |      |      |      |      |      |      |   |
| 2  |                |                  | Report Title |      |      |      |      |      |      |      |   |
| 3  |                |                  |              |      |      |      |      |      |      |      |   |
| 4  |                |                  |              | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |   |
| 38 | Czech Republic | Moravskoslezsko  | 76           | 80   | 80   | 74   | 58   | 64   | 53   |      |   |
| 39 | Czech Republic | Praha            | 36           | 46   | 30   | 36   | 27   | 27   | 27   |      |   |
| 40 | Czech Republic | Severovychod     | 146          | 137  | 126  | 101  | 108  | 122  | 105  |      |   |
| 41 | Czech Republic | Severozapad      | 91           | 78   | 74   | 64   | 78   | 70   | 53   |      |   |
| 42 | Czech Republic | Stredni Cechy    | 109          | 98   | 112  | 94   | 121  | 108  | 109  |      |   |
| 43 | Czech Republic | Stredni Morava   | 89           | 91   | 79   | 74   | 67   | 98   | 76   |      |   |
| 44 | Denmark        | Hovedstaden      | 48           | 34   | 34   | 24   | 30   | 36   | 52   |      |   |
| 45 | Denmark        | Midtjylland      | 58           | 75   | 42   | 40   | 52   | 45   | 45   |      |   |
| 46 | Denmark        | Nordjylland      | 34           | 26   | 20   | 30   | 29   | 30   | 34   |      |   |
| 47 | Denmark        | Sjælland         | 44           | 38   | 35   | 34   | 29   | 29   | 37   |      |   |
| 48 | Denmark        | Syddanmark       | 71           | 47   | 36   | 63   | 42   | 38   | 43   |      |   |
| 49 | Estonia        | Eesti            | 79           | 101  | 87   | 81   | 78   | 67   | -    |      |   |
| 50 | Finland        | Åland            | -            | -    | 1    | 4    | 3    | 1    | -    |      |   |
| 51 | Finland        | Etelä-Suomi      | 105          | 110  | 60   | 58   | 50   | 56   | -    |      |   |
| 52 | Finland        | Helsinki-Uusimaa | -            | -    | 39   | 36   | 25   | 36   | -    |      |   |
| 53 | Finland        | Itä-Suomi        | 42           | 42   | -    | -    | -    | -    | -    |      |   |
| 54 | Finland        | Länsi-Suomi      | 84           | 90   | 76   | 91   | 79   | 90   | -    |      |   |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5** Μορφή των εξαγομένων στοιχείων από τη βάση CARE σε πίνακα EXCEL

Εκτός από την καταγραφή του αριθμού των θυμάτων στις αστικές περιοχές συλλέχθηκαν κι άλλα στοιχεία για το 2012 αξιοποιώντας την πληθώρα κατηγοριοποιημένων δεδομένων. Οι κατηγορίες των μεταβλητών, που επιλέχθηκαν, ώστε να αναλυθούν σε δεύτερη φάση, ήταν οι ακόλουθες:

#### ⊕ **Ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού**

Η μεταβλητή αυτή ορίζει την ώρα του ατυχήματος. Η πληροφορία αυτή είναι σημαντικό στοιχείο για την ανάλυση των ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο, καθώς εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα της επιρροής των επικρατουσών συνθηκών φωτισμού στα ατυχήματα. Τα δεδομένα,, που αντλήθηκαν, αφορούσαν σε θύματα οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν κατά **τη διάρκεια της ημέρας** και θύματα οδικών ατυχημάτων, που συνέβησαν **κατά τη διάρκεια της νύχτας**.

#### ⊕ **Ανάλογα με το είδος μετακίνησης**

Η μεταβλητή αυτή υποδηλώνει το είδος μετακίνησης (πεζή ή τύπος οχήματος) του χρήστη της οδού που σκοτώθηκε στο οδικό ατύχημα. Η μεταβλητή αυτή είναι σημαντική για την αξιολόγηση των επιπέδων επικινδυνότητας για τους διαφορετικούς τρόπους μετακίνησης ή τύπους οχημάτων που εμπλέκονται στα οδικά ατυχήματα. Τα στοιχεία που λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων CARE για τις συγκεκριμένες μεταβλητές είναι: **επιβατικό όχημα και ταξί, μοτοποδήλατα και μοτοσυκλέτες, ποδήλατα** καθώς και ο αριθμός των **πεζών** θυμάτων.

#### 4.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφερθούν κάποια **προβλήματα** που παρουσιάστηκαν κατά την εξαγωγή των στοιχείων από τις βάσεις δεδομένων, όπως και το πώς αντιμετωπίστηκαν. Τα προβλήματα αυτά, πρέπει να τονιστεί, ότι αντιμετωπίστηκαν ανάλογα έτσι ώστε να μην επηρεάσουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και των τελικών συμπερασμάτων.

Αρχικά, 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 που παρέχει στοιχεία ομοιόμορφα και συγκρίσιμα μεταξύ τους έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία.

Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τη συλλογή των δεδομένων ήταν η **μη διαθεσιμότητα** σε ορισμένες περιπτώσεις όλων των απαιτούμενων στοιχείων. Αυτό το πρόβλημα σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν καθοριστικό, αφού η πλήρης έλλειψη στοιχείων από τη βάση CARE ή άλλες διεθνείς βάσεις δεδομένων για τον αριθμό των θυμάτων σε συγκεκριμένες πόλεις, οδήγησε στο να απορριφθούν οι πόλεις αυτές από τη βάση της UITP και να μην ληφθούν υπόψη στην ανάλυση. Σε τρεις πόλεις που δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για το 2012, χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμα στοιχεία από το πιο πρόσφατο έτος. Στα επιμέρους πρότυπα ανάλυσης σχετικά με την επιρροή των εξεταζόμενων μεταβλητών στις ανθρώπινες απώλειες, ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού ή το είδος μετακίνησης, οι πόλεις για τις οποίες δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία δεν λήφθηκαν υπόψη. Λιγότερο προβληματική ήταν απουσία στοιχείων από τη βάση δεδομένων της UITP, διότι τα λίγα στοιχεία που έλειπαν αναζητήθηκαν από άλλες πηγές. Πιο συγκεκριμένα, αναζητήθηκαν το Α.Ε.Π. δύο πόλεων και η πυκνότητα του πληθυσμού για επιπλέον δύο πόλεις.

Το βασικότερο ζήτημα που έπρεπε να διευθετηθεί σωστά, ήταν η **αντιστοιχία των περιοχών μεταξύ των δύο βάσεων δεδομένων**. Όπως αναφέρθηκε γι αυτό τον σκοπό, αξιοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση NUTS της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο ορισμός όμως των περιοχών στην αναφορά MCD της UITP δεν ήταν πάντα ταυτόσημος με τους κωδικούς διοικητικής διαίρεσης NUTS. Έτσι πραγματοποιήθηκε αναλυτικός έλεγχος ώστε η περιοχή αναφοράς της πρώτης βάσης να έχει τα στοιχεία των θυμάτων από τη βάση CARE που της αντιστοιχούν. Για παράδειγμα σε κάποιες περιπτώσεις αθροίστηκαν στοιχεία απωλειών από δύο ή τρεις υποπεριοχές του CARE, αφού αντιστοιχούσαν σε μία ευρύτερη περιοχή της UITP.

### 4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Εφόσον ολοκληρώθηκε η συλλογή των στοιχείων, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, απαραίτητη ήταν η επεξεργασία των δεδομένων. Γι' αυτό τον λόγο χρειάστηκε η **δημιουργία ενιαίας βάσης δεδομένων** η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel. Η βάση αυτή περιλαμβάνει σε κάθε γραμμή τις 25 πόλεις της έρευνας και σε κάθε στήλη τις μεταβλητές με τα χαρακτηριστικά των πόλεων, αλλά και τα στοιχεία σχετικά με τις ανθρώπινες απώλειες σε οδικά ατυχήματα.

Κατόπιν της δημιουργίας του ενιαίου πίνακα, έπρεπε να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να είναι δυνατή η χρήση της από το **ειδικό στατιστικό λογισμικό** για την εξαγωγή των προτύπων. Η γλώσσα του περιβάλλοντος είναι τα Αγγλικά, και κατ' επέκταση για λόγους ομοιομορφίας, οι ονομασίες των πόλεων και των διαφόρων παραγόντων παρουσιάζονται στα **Αγγλικά**.

Ακόμα, για πρακτικούς κυρίως λόγους, στη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων από το ειδικό λογισμικό, μετονομάστηκαν κάποιες μεταβλητές με **κωδικές ονομασίες** καθώς ήταν πολύ μεγάλη η αρχική περιγραφή τους. Για παράδειγμα η μεταβλητή «Metro vehicles per million inhabitants» τροποποιήθηκε σε «MetroV\_Plnh».

Κατά τη διάρκεια της στατιστικής ανάλυσης ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η χρήση **ειδικών μαθηματικών μετατροπών των υπό εξέταση μεταβλητών**. Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκαν για τις περισσότερες μεταβλητές οι αντίστοιχοι **λογάριθμοι**, καθώς και τα **τετράγωνα** των μεταβλητών αυτών. Στο λογισμικό αυτό δεν επιτρέπεται η πραγματοποίηση μαθηματικών πράξεων μεταξύ των περιεχομένων των κελιών, έτσι περάστηκαν οι τελικές τιμές των μεταβλητών, μετά τη μαθηματική μετατροπή τους στο Excel. Επίσης επεξεργάστηκαν τα στοιχεία από τη βάση CARE για τον αριθμό των θυμάτων και δημιουργήθηκαν δυο νέες μεταβλητές. Η πρώτη ήταν ο αριθμός των θυμάτων ανά εκατομμύριο πληθυσμού της πόλης (Fatalities 2012 per population) και υπολογίστηκε ως εξής:

$$Fat12\_pP = (\text{θύματα πόλης για το 2012} / \text{πληθυσμός της πόλης}) * 1.000.000$$

Η δεύτερη ήταν ο λογάριθμος της πρώτης δηλαδή **LnFat12\_pP**.

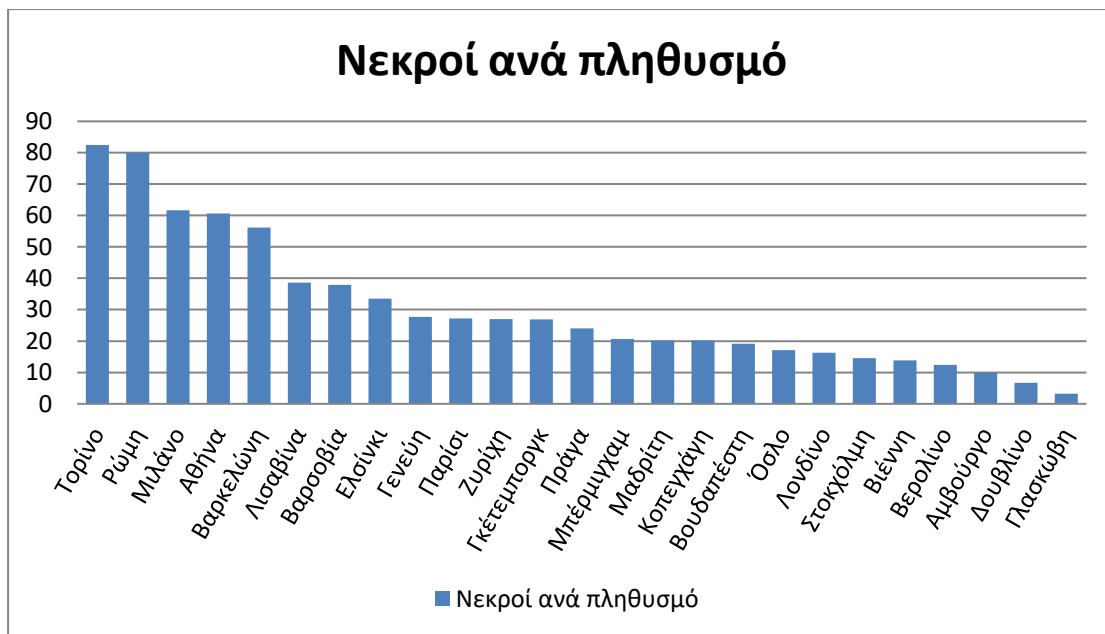
Ο λογάριθμος του αριθμού των θυμάτων ανά εκατομμύριο πληθυσμού αποτέλεσε την **εξαρτημένη μεταβλητή** στην εφαρμογή της μεθοδολογίας για την αναζήτηση ενός βασικού μοντέλου. Τελικώς, ο ενιαίος πίνακας περιλαμβάνει 25 πόλεις και πάνω από 90 μεταβλητές για την κάθε μία σε μορφή κατάλληλη για την εισαγωγή του στο στατιστικό πρόγραμμα. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα τμήμα της τελικής βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε για τη στατιστική ανάλυση.

| City       | Population | Density | LnDensity | Density^2 | GDP    | LnGDP | MetroV_Plnh | Road_Plnh | LnRoad | Road_PHeC | F12 | F12_pP | LnF12_pP | LnF12-Daylight_pP | LnF12-Pedestrian_pP | LnF12-PTW_pP |
|------------|------------|---------|-----------|-----------|--------|-------|-------------|-----------|--------|-----------|-----|--------|----------|-------------------|---------------------|--------------|
| Athens     | 3.828.000  | 64,4    | 4,17      | 4147,4    | 26.200 | 10,17 | 135,80      | 4.736     | 8,46   | 305       | 232 | 60,61  | 4,10     | 2,83              | 2,95                | 3,11         |
| Barcelona  | 3.220.000  | 145,7   | 4,98      | 21228,5   | 23.500 | 10,06 | 253,40      |           |        |           | 181 | 56,21  | 4,03     | 3,63              | 2,72                | 2,78         |
| Berlin     | 3.375.000  | 53,9    | 3,99      | 2905,2    | 27.900 | 10,24 | 368,00      | 1.606     | 7,38   | 86        | 42  | 12,44  | 2,52     | 1,92              | 1,62                | 0,58         |
| Birmingham | 2.762.000  | 55,5    | 4,02      | 3080,3    | 21.300 | 9,97  | 0           | 2.832     | 7,95   | 157       | 57  | 20,64  | 3,03     | 2,24              | 2,08                | 0,93         |
| Budapest   | 1.727.000  | 63,2    | 4,15      | 3994,2    | 22.300 | 10,01 | 222         | 2.489     | 7,82   | 157       | 33  | 19,11  | 2,95     | 2,54              | 2,16                | 0,15         |
| Copenhagen | 1.691.000  | 22,9    | 3,13      | 524,4     | 57.700 | 10,96 | 60          | 3.242     | 8,08   | 74        | 34  | 20,11  | 3,00     | 2,65              | 1,55                | 0,86         |
| Dublin     | 1.804.000  | 34,9    | 3,55      | 1218,0    | 39.900 | 10,59 | 0           | 341       | 5,83   |           | 12  | 6,65   | 1,89     | 1,20              | 1,02                | 0,10         |
| Geneva     | 470.000    | 49,9    | 3,91      | 2490,0    | 81.400 | 11,31 | 0           | 3.931     | 8,28   | 196       | 13  | 27,66  | 3,32     | 2,55              | 1,85                | 0,00         |
| Glasgow    | 2.162.000  |         |           |           | 30.402 | 10,32 | 19          | 6.824     | 8,83   |           | 7   | 3,24   | 1,17     | 1,02              | 1,17                | 0,00         |
| Gothenburg | 1.600.000  | 10,6    | 2,36      | 112,4     | 36.800 | 10,51 | 0           | 17.210    | 9,75   | 182       | 43  | 26,88  | 3,29     | 2,57              | 1,73                | 1,93         |
| Hamburg    | 3.327.000  | 21,6    | 3,07      | 466,6     | 35.900 | 10,49 | 226         |           |        |           | 33  | 9,92   | 2,29     | 1,57              | 1,69                | -0,10        |
| Helsinki   | 1.165.000  | 18,8    | 2,93      | 353,4     | 50.741 | 10,83 | 93          |           |        |           | 39  | 33,48  | 3,51     | 3,03              | 2,04                | 1,64         |
| Lisbon     | 2.800.000  | 36,1    | 3,59      | 1303,2    | 20.100 | 9,91  | 121         |           |        |           | 108 | 38,57  | 3,65     | 2,96              | 2,53                | 2,34         |
| London     | 8.310.000  | 58,1    | 4,06      | 3375,6    | 44.300 | 10,70 | 334         | 1.782     | 7,49   | 103       | 135 | 16,25  | 2,79     | 2,40              | 2,13                | 1,18         |
| Madrid     | 6.498.000  | 80,2    | 4,38      | 6432,0    | 26.900 | 10,20 | 354         |           |        |           | 131 | 20,16  | 3,00     | 2,39              | 2,04                | 1,31         |
| Milan      | 2.123.000  | 72,0    | 4,28      | 5184,0    | 43.000 | 10,67 | 434         | 952       | 6,86   | 68        | 131 | 61,71  | 4,12     |                   | 2,74                | 2,98         |
| Oslo       | 1.169.000  | 28,0    | 3,33      | 784,0     | 71.500 | 11,18 | 363         | 5.118     | 8,54   | 143       | 20  | 17,11  | 2,84     | 2,41              | 1,45                | 0,94         |
| Paris      | 11.978.000 | 40,1    | 3,69      | 1608,0    | 45.800 | 10,73 | 295         | 3.147     | 8,05   | 126       | 326 | 27,22  | 3,30     | 2,74              | 1,91                | 2,25         |
| Prague     | 1.246.000  | 53,5    | 3,98      | 2862,3    | 27.300 | 10,21 | 588         | 3.180     | 8,06   | 170       | 30  | 24,08  | 3,18     | 2,61              | 2,61                | 0,88         |
| Rome       | 2.913.000  | 100,4   | 4,61      | 10080,2   | 42.800 | 10,66 | 167         | 2.746     | 7,92   | 275       | 233 | 79,99  | 4,38     |                   | 3,16                | 3,16         |
| Stockholm  | 2.127.000  | 24,1    | 3,18      | 580,8     | 52.000 | 10,86 | 241         | 5.179     | 8,55   | 125       | 31  | 14,57  | 2,68     | 2,46              | 1,32                | 1,19         |
| Turin      | 1.515.000  | 61,6    | 4,12      | 3794,6    | 27.200 | 10,21 | 77          |           |        |           | 125 | 82,51  | 4,41     |                   | 2,53                | 3,25         |
| Vienna     | 1.741.000  | 75,0    | 4,32      | 5625,0    | 40.500 | 10,61 | 486         | 1.614     | 7,39   | 121       | 24  | 13,79  | 2,62     | 2,34              | 2,22                | 0,54         |
| Warsaw     | 1.715.000  | 53,7    | 3,98      | 2883,7    | 25.600 | 10,15 | 140         | 1.115     | 7,02   | 59        | 65  | 37,90  | 3,63     | 3,07              | 3,15                | 1,25         |
| Zurich     | 1.406.000  | 37,2    | 3,62      | 1383,8    | 71.400 | 11,18 | 0           | 5.174     | 8,55   | 192       | 38  | 27,03  | 3,30     | 2,70              | 1,86                | 1,86         |

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 Τμήμα της τελικής βάσης δεδομένων

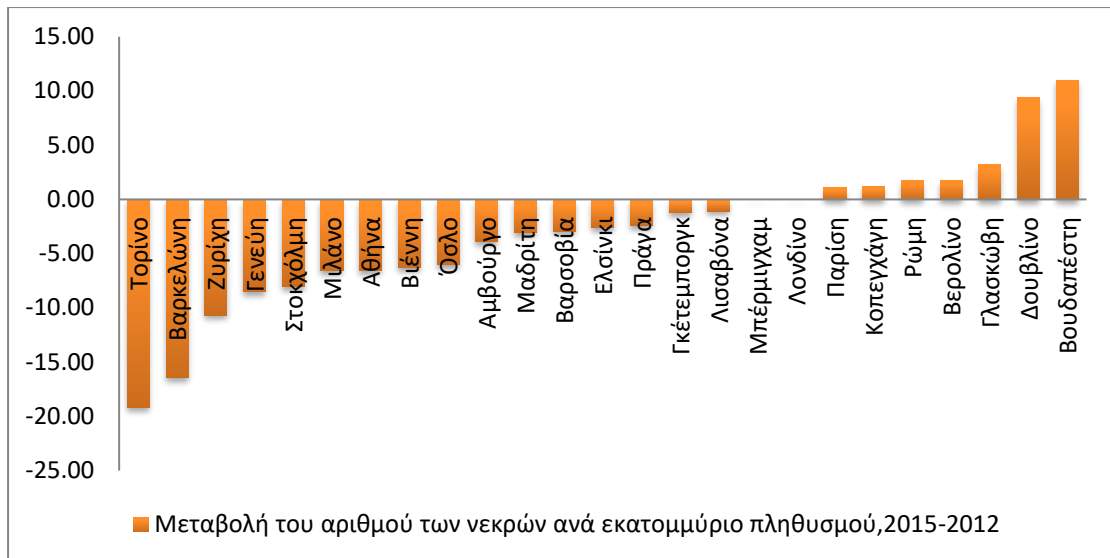
Πριν γίνει η εισαγωγή του βασικού πίνακα στο ειδικό λογισμικό για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε μια **περιγραφική ανάλυση** των στοιχείων, ώστε να εξαχθούν κάποια αρχικά συμπεράσματα. Αυτό το κομμάτι περατώθηκε με τη δημιουργία συγκριτικών διαγραμμάτων στο πρόγραμμα EXCEL. Τα διαγράμματα, έδειξαν ότι οι πληροφορίες αυτές πριν ακόμα τη στατιστική ανάλυση, είναι ιδιαίτερα αξιόλογες, και δίνουν μια αρχική εικόνα για τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή.

Συγκεκριμένα, είναι ξεκάθαρο ποιες πόλεις έχουν τον μεγαλύτερο λόγο νεκρών ανάλογα με τον πληθυσμό τους, αλλά και ποιες πετυχαίνουν υψηλότερο ρυθμό μείωσης τους τα τελευταία χρόνια. Ακόμα φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση του Α.Ε.Π. και της πυκνότητας του πληθυσμού της περιοχής με τον αριθμό των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων. Ένα μέρος των διαγραμμάτων επισημαίνεται στις επόμενες σελίδες.



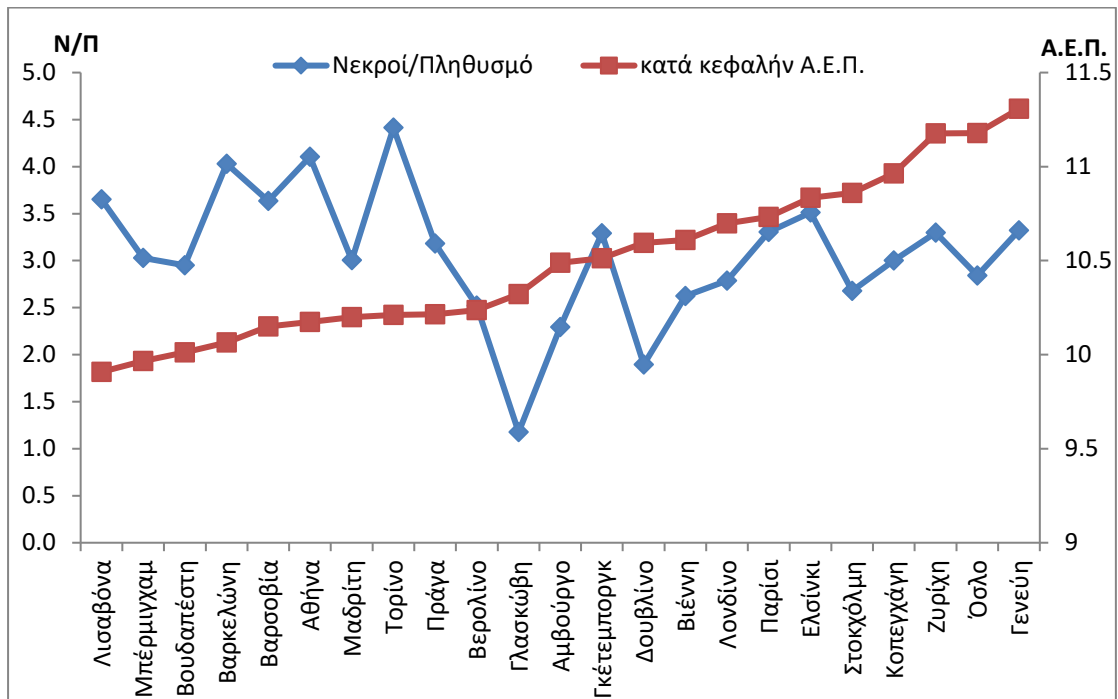
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1** Νεκροί ανά εκατομμύριο πληθυσμό στις εξεταζόμενες πόλεις για το 2012

Στο Διάγραμμα 4.1 φαίνεται ο λόγος των νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού για τις εξεταζόμενες πόλεις για το έτος 2012. Όπως διαφαίνεται, οι πόλεις που βρίσκονται σε νότιες χώρες της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της Αθήνας, έχουν υψηλότερους δείκτες ατυχημάτων σε σχέση με τις βορειότερες πόλεις. Ο μέσος όρος είναι 30,31 νεκροί ανά εκατομμύριο πληθυσμού της πόλης.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2** Μεταβολή του αριθμού των νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού, 2015-2012

Το Διάγραμμα 4.2 φανερώνει τη μείωση ή αύξηση των νεκρών ανά πληθυσμό στις εξεταζόμενες πόλεις. Παρατηρείται ότι σε 7 από τις 25 πόλεις οι νεκροί ανά πληθυσμό παρουσίασαν αύξηση από το 2012 στο 2015, παρατήρηση καθόλου ενθαρρυντική. Το Τορίνο και η Βαρκελώνη παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μείωση στον συγκεκριμένο δείκτη, ενώ οι πόλεις της Αγγλίας διατήρησαν σχεδόν τον ίδιο αριθμό νεκρών και το 2015. Μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη Βουδαπέστη και το Δουβλίνο.

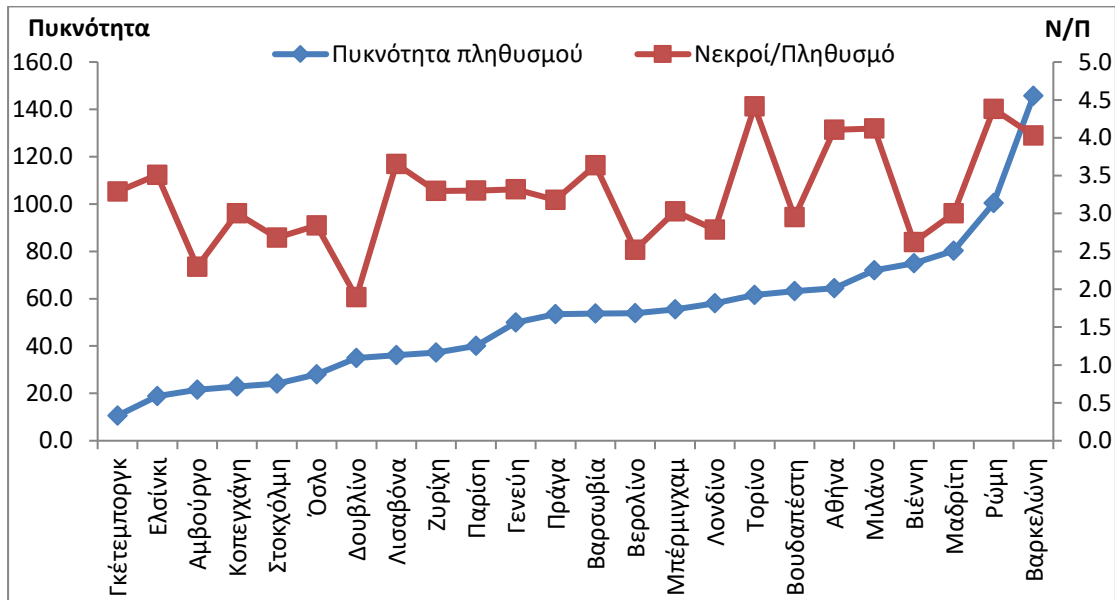


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3** Συγκριτικό διάγραμμα νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού και κατά κεφαλήν ΑΕΠ πόλεων, 2012

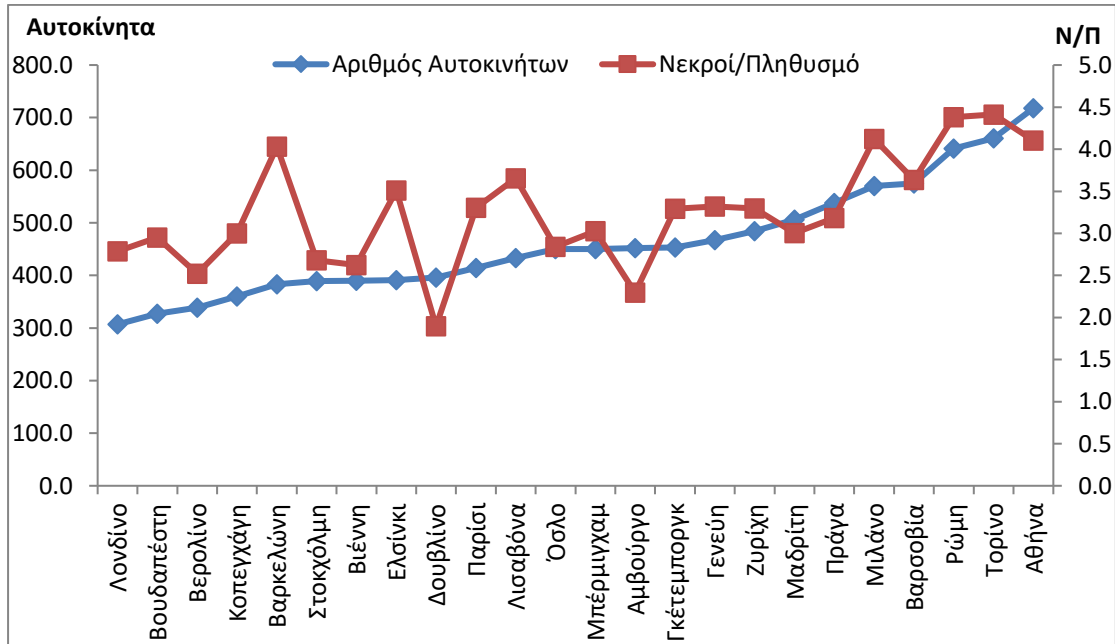
Ενδιαφέρον στον τρόπο επιρροής των νεκρών από οδικά ατυχήματα παρουσιάζει το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν. Στο Διάγραμμα 4.3 φαίνεται η



μεταβολή των νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού, όταν αυξάνεται το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. των πόλεων. Σημειώνεται ότι στον άξονα των απωλειών έχει εισαχθεί ο λογάριθμος των νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού για το 2012, ενώ στον άξονα του Α.Ε.Π. ο λογάριθμος του Α.Ε.Π. ανά κάτοικο της περιοχής.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.4** Συγκριτικό διάγραμμα πυκνότητας πληθυσμού και νεκρών οδικών ατυχημάτων ανά εκατομμύριο πληθυσμού πόλης, 2012



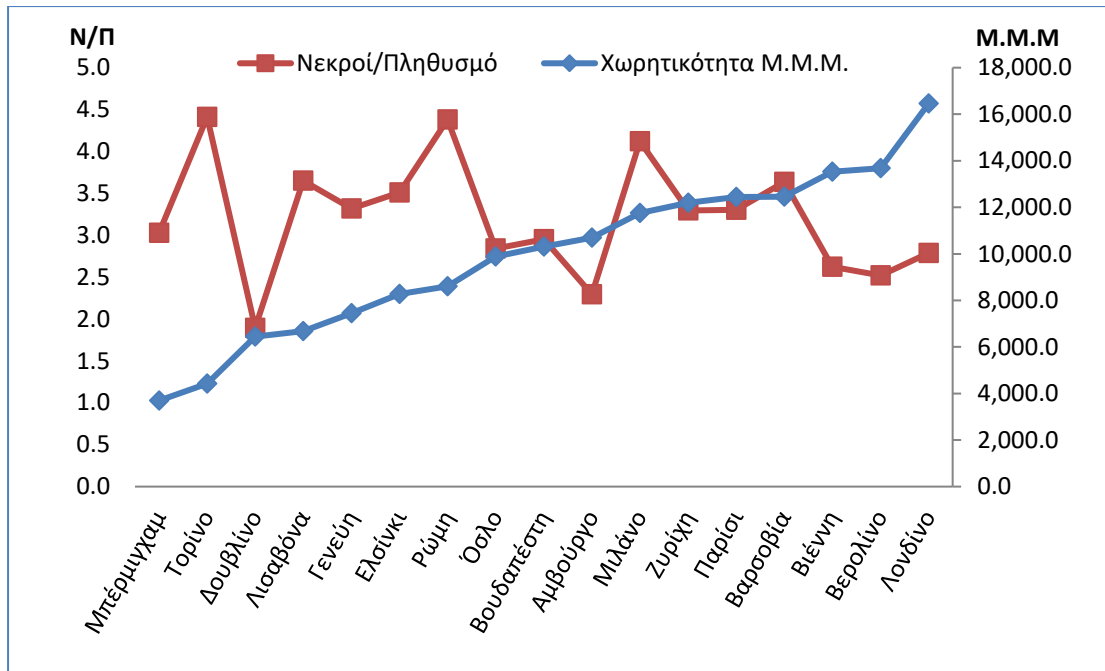
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.5** Συγκριτικό διάγραμμα αριθμού αυτοκινήτων ανά κάτοικο και νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο πληθυσμού πόλης, 2012

Στο Διάγραμμα 4.4 γίνεται σύγκριση της πυκνότητας του πληθυσμού της πόλης και των νεκρών ανά κάτοικο λόγω οδικών ατυχημάτων. Στο επόμενο Διάγραμμα φαίνεται η σχέση των νεκρών αυτών με τον αριθμό των

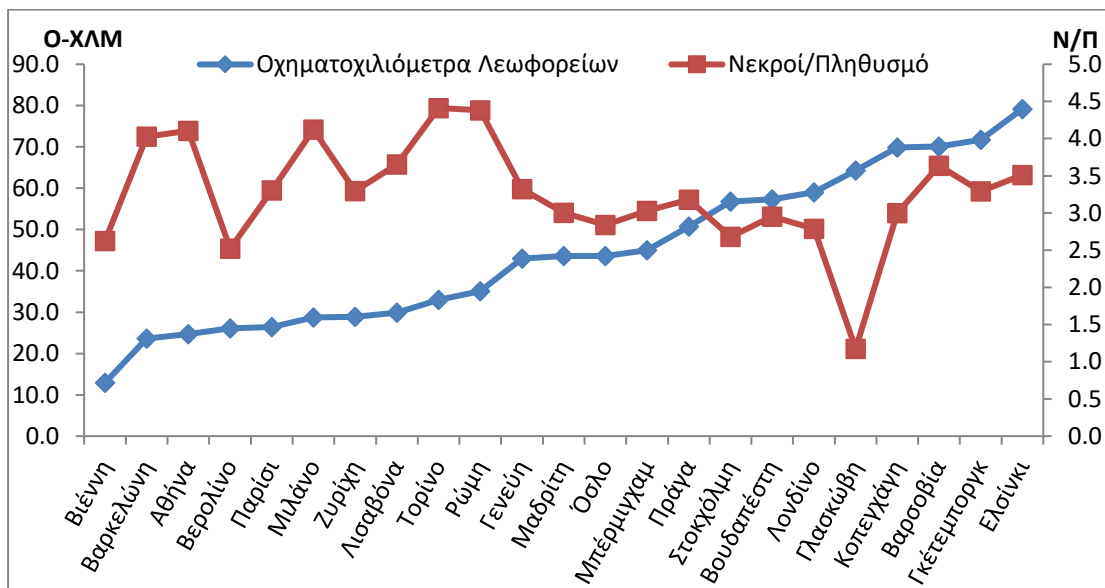


αυτοκινήτων ανά κάτοικο. Όπως μπορεί να επισημανθεί, η Αθήνα παρουσιάζει τον υψηλότερο αριθμό αυτοκινήτων ανά κάτοικο.

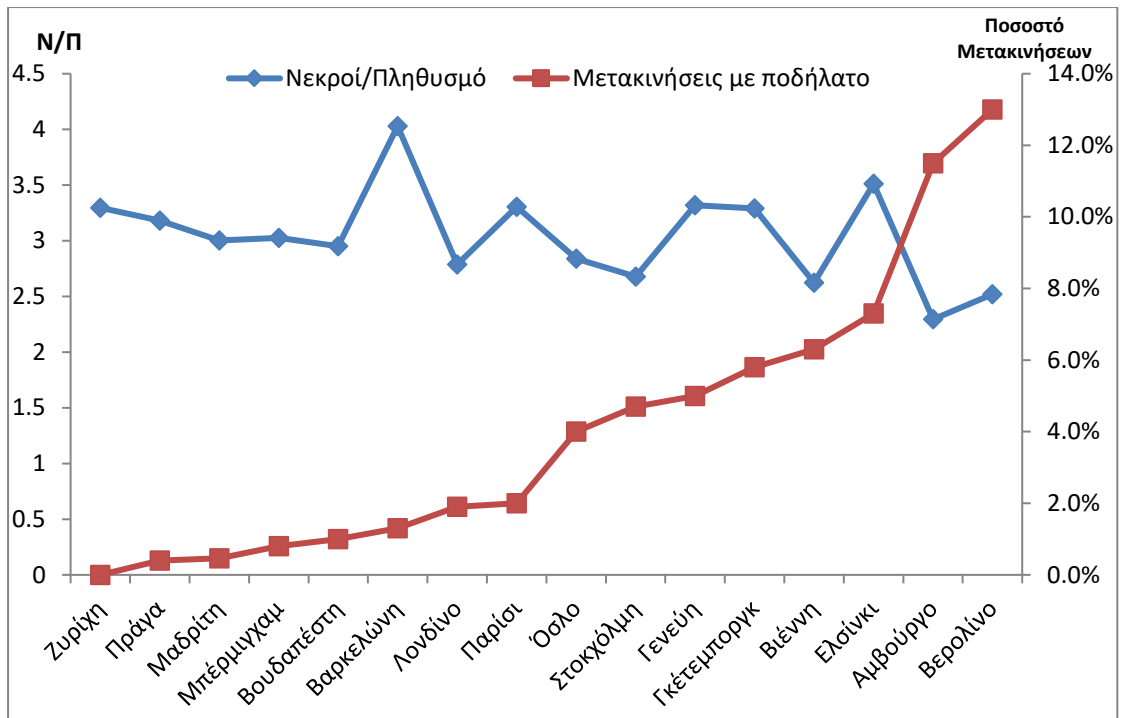
Στη συνέχεια το Διάγραμμα 4.6 δείχνει το πώς μειώνονται οι νεκροί ανά εκατομμύριο πληθυσμού σε οδικά ατυχήματα στις πόλεις όταν η προσφερόμενη χωρητικότητα των μέσων μαζικής μεταφοράς αυξάνεται, ενώ το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει με τον αριθμό των νεκρών και στο Διάγραμμα 4.7 όταν αυξάνονται τα συνολικά διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα των αστικών λεωφορείων.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.6** Συγκριτικό διάγραμμα χωρητικότητας Μ.Μ.Μ. και νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο πληθυσμού πόλης, 2012



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.7** Συγκριτικό διάγραμμα διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων των αστικών λεωφορείων και των νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο πληθυσμού, 2012



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.8** Συγκριτικό διάγραμμα ποσοστού μετακινήσεων με ποδήλατο και νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο πληθυσμού, 2012

Τέλος το Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζεται η εξέλιξη του αριθμού των νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού σε οδικά ατυχήματα, καθώς και ο λόγος των μετακινήσεων με ποδήλατο σε σχέση με τις συνολικές καθημερινές μετακινήσεις των κατοίκων. Το συγκεκριμένο ποσοστό δεν ήταν διαθέσιμο και για τις 25 πόλεις, που εξετάζονται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

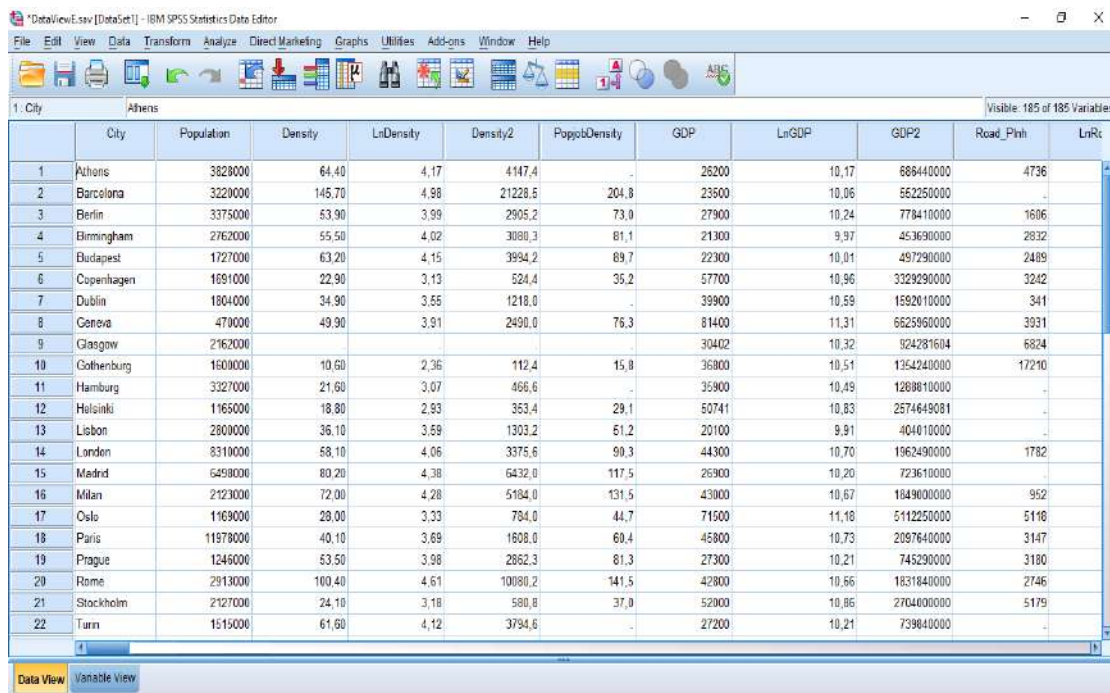
#### 4.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Μετά από την τελική διαμόρφωση των πινάκων στο λογισμικό Microsoft Excel, τα στοιχεία **μεταφέρθηκαν στο ειδικό λογισμικό** στατιστικής ανάλυσης IBM SPSS Statistics. Η εισαγωγή τους πραγματοποιήθηκε αρχικά στο πεδίο δεδομένων (Data View), το οποίο δέχεται στοιχεία μόνο αριθμητικής μορφής. Έπειτα καθορίστηκαν και χαρακτηρίστηκαν οι μεταβλητές μέσω του πεδίου μεταβλητών (Variable View). Ειδικότερα, για κάθε μεταβλητή επιλέχθηκε το είδος της (αριθμητική, ημερομηνία, κείμενο, νόμισμα κλπ.), ο αριθμός δεκαδικών ψηφίων και ο τύπος της. Επίσης στο πεδίο label καταγράφηκε η αναλυτική περιγραφή της μεταβλητής, που επεξηγεί την κωδική της ονομασία. Ως τύποι μεταβλητών ορίζονται οι εξής:

- **Συνεχείς** μεταβλητές (scale variables), οι οποίες λαμβάνουν όλες τις τιμές πραγματικών αριθμών.

- **Διατεταγμένες** μεταβλητές (ordinal variables), οι οποίες λαμβάνουν ακέραιες τιμές, με μαθηματική συσχέτιση μεταξύ τους, δηλαδή μικρότεροι αριθμοί συμβολίζουν μικρότερες αξίες μεταβλητής. Μια τέτοια μεταβλητή είναι η σοβαρότητα παθόντα.
- **Διακριτές** μεταβλητές (nominal variables), οι οποίες λαμβάνουν συμβολικές ακέραιες τιμές χωρίς μαθηματική συσχέτιση, όπως οι συνθήκες φωτισμού.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω διαφορετικές μορφές της ίδιας μεταβλητής (για παράδειγμα Α.Ε.Π., λογάριθμος του Α.Ε.Π και τετράγωνο του Α.Ε.Π.) καταχωρήθηκαν ως ξεχωριστές μεταβλητές απευθείας όπως είχαν δημιουργηθεί στο Excel. Όλες οι μεταβλητές του ενιαίου πίνακα ήταν συνεχείς (scale) μεταβλητές, εκτός από τα ονόματα των πόλεων, που ήταν διακριτές (nominal). Στις Εικόνες, που ακολουθούν εμφανίζεται ενδεικτικά η εισαγωγή των στοιχείων στο λογισμικό και ο χαρακτηρισμός των μεταβλητών.



|    | City       | Population | Density | LnDensity | Density2 | PopobDensity | GDP   | LnGDP | GDP2       | Road_Plnh | LnRc |
|----|------------|------------|---------|-----------|----------|--------------|-------|-------|------------|-----------|------|
| 1  | Athens     | 3828000    | 64.40   | 4.17      | 4147.4   | -            | 26200 | 10.17 | 686440000  | 4736      | -    |
| 2  | Barcelona  | 3220000    | 145.70  | 4.98      | 21228.6  | 204.8        | 23600 | 10.06 | 562250000  | -         | -    |
| 3  | Berlin     | 3375000    | 53.90   | 3.99      | 2905.2   | 73.0         | 27900 | 10.24 | 778410000  | 1606      | -    |
| 4  | Birmingham | 2762000    | 55.50   | 4.02      | 3080.3   | 81.1         | 21300 | 9.97  | 453690000  | 2832      | -    |
| 5  | Budapest   | 1272000    | 63.20   | 4.15      | 3994.2   | 89.7         | 22300 | 10.01 | 497290000  | 2489      | -    |
| 6  | Copenhagen | 1691000    | 22.90   | 3.13      | 524.4    | 35.2         | 57700 | 10.96 | 3329290000 | 3242      | -    |
| 7  | Dublin     | 1004000    | 34.90   | 3.55      | 1218.0   | -            | 39900 | 10.59 | 1592010000 | 341       | -    |
| 8  | Geneva     | 470000     | 49.90   | 3.91      | 2490.0   | 76.3         | 81400 | 11.31 | 6625960000 | 3931      | -    |
| 9  | Glasgow    | 2162000    | -       | -         | -        | -            | 30402 | 10.32 | 924281604  | 6824      | -    |
| 10 | Gothenburg | 1609000    | 10.60   | 2.36      | 112.4    | 15.8         | 36800 | 10.51 | 1354240000 | 17210     | -    |
| 11 | Hamburg    | 3327000    | 21.60   | 3.07      | 466.6    | -            | 35900 | 10.49 | 1280810000 | -         | -    |
| 12 | Helsinki   | 1165000    | 18.80   | 2.93      | 353.4    | 29.1         | 50741 | 10.83 | 2574649081 | -         | -    |
| 13 | Lisbon     | 2809000    | 36.10   | 3.59      | 1303.2   | 61.2         | 20100 | 9.91  | 404010000  | -         | -    |
| 14 | London     | 8310000    | 58.10   | 4.06      | 3375.6   | 90.3         | 44300 | 10.70 | 1962490000 | 1782      | -    |
| 15 | Madrid     | 6490000    | 80.20   | 4.38      | 6432.0   | 117.5        | 26900 | 10.20 | 723610000  | -         | -    |
| 16 | Milan      | 2123000    | 72.00   | 4.28      | 5184.0   | 131.5        | 43000 | 10.67 | 1849000000 | 952       | -    |
| 17 | Oslo       | 1169000    | 28.00   | 3.33      | 784.0    | 44.7         | 71500 | 11.18 | 5112250000 | 5118      | -    |
| 18 | Paris      | 11979000   | 40.10   | 3.69      | 1608.0   | 60.4         | 45800 | 10.73 | 2097640000 | 3147      | -    |
| 19 | Prague     | 1245000    | 53.50   | 3.98      | 2862.3   | 81.3         | 27300 | 10.21 | 745290000  | 3180      | -    |
| 20 | Rome       | 2913000    | 100.40  | 4.61      | 10080.2  | 141.5        | 42800 | 10.66 | 1831840000 | 2746      | -    |
| 21 | Stockholm  | 2127000    | 24.10   | 3.18      | 580.8    | 37.0         | 52000 | 10.85 | 2704000000 | 5179      | -    |
| 22 | Turin      | 1515000    | 61.60   | 4.12      | 3794.6   | -            | 27200 | 10.21 | 739840000  | -         | -    |

**ΕΙΚΟΝΑ 4.3** Εισαγωγή στοιχείων στο λογισμικό SPSS

|    | Name          | Type    | Width | Decimals | Label                                                                  | Values | Missing | Columns | Align | Measure | Role  |
|----|---------------|---------|-------|----------|------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|-------|---------|-------|
| 1  | City          | String  | 10    | 0        | City                                                                   | None   | None    | 10      | Left  | Nominal | Input |
| 2  | Population    | Numeric | 12    | 0        | Population                                                             | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 3  | Density       | Numeric | 12    | 2        | Urban population density                                               | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 4  | LnDensity     | Numeric | 12    | 2        | LN Urban Population Density                                            | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 5  | Density2      | Numeric | 12    | 1        | Urban Population Density * 2                                           | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 6  | PopjobDens... | Numeric | 12    | 1        | Urban population + job density                                         | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 7  | GDP           | Numeric | 12    | 0        | GDP per inhabitant                                                     | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 8  | LnGDP         | Numeric | 15    | 2        | LN GDP                                                                 | None   | None    | 15      | Right | Scale   | Input |
| 9  | GDP2          | Numeric | 12    | 0        | GDP * 2                                                                | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 10 | Road_Plnh     | Numeric | 12    | 0        | Length of road per thousand inhabitants                                | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 11 | LnRoad        | Numeric | 12    | 2        | LN Length of Road per thousand inhabitants                             | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 12 | Road2         | Numeric | 12    | 0        | Length of Road * 2                                                     | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 13 | Road_PHec     | Numeric | 12    | 0        | Length of road per urban hectare                                       | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 14 | LnRoad_PHec   | Numeric | 12    | 2        | LN Length of Road per urban hectare                                    | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 15 | Motorway_...  | Numeric | 12    | 2        | Length of motorway per urban hectare                                   | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 16 | Transporto... | Numeric | 12    | 1        | Length of reserved public transport routes per thousand inhabitant...  | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 17 | Transporto... | Numeric | 12    | 1        | Length of reserved public transport routes per thousand inhabitant...  | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 18 | Transporto... | Numeric | 12    | 1        | Length of reserved public transport routes per urban hectare - road... | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 19 | Transporto... | Numeric | 12    | 1        | Length of reserved public transport routes per urban hectare - rail... | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 20 | Cars          | Numeric | 12    | 0        | Passenger cars per thousand inhabitants                                | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 21 | Motorcycles   | Numeric | 12    | 2        | Motorcycles per thousand inhabitants                                   | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 22 | Taxis         | Numeric | 12    | 2        | Taxis per thousand inhabitants                                         | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 23 | AnnualDist... | Numeric | 12    | 0        | Average annual distance travelled per passenger car                    | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |
| 24 | AnnualDist... | Numeric | 12    | 0        | Annual average distance travelled in passenger cars per inhabitant     | None   | None    | 12      | Right | Scale   | Input |

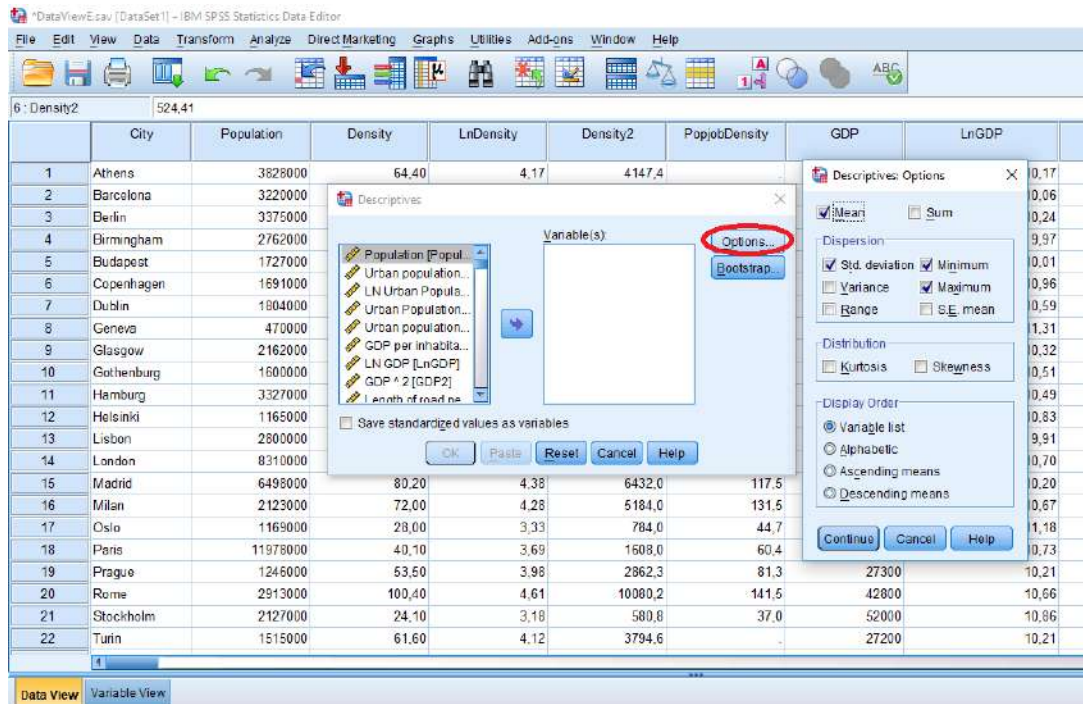
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 Χαρακτηρισμός μεταβλητών στο πεδίο μεταβλητών

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν κάποιες αρχικές λειτουργίες για την εξαγωγή **βασικών περιγραφικών στατιστικών** (όπως αυτή της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, του μέγιστου και του ελάχιστου) με το λογισμικό, πριν από την κύρια στατιστική ανάλυση. Τα βήματα εντολών για αυτό τον σκοπό είναι: Analyze → Descriptive Statistics → Descriptives → Options και έπειτα η επιλογή μεταβλητών και στατιστικών μεγεθών προς διερεύνηση. Η διαδικασία φαίνεται στις Εικόνες 4.5 και 4.6.

|    | City       | Pop | Density2 | PopjobDensity | GDP |
|----|------------|-----|----------|---------------|-----|
| 1  | Athens     |     |          |               |     |
| 2  | Barcelona  |     |          |               |     |
| 3  | Berlin     |     |          |               |     |
| 4  | Birmingham |     |          |               |     |
| 5  | Budapest   |     |          |               |     |
| 6  | Copenhagen |     |          |               |     |
| 7  | Dublin     |     |          |               |     |
| 8  | Geneva     |     |          |               |     |
| 9  | Glasgow    |     |          |               |     |
| 10 | Gothenburg |     |          |               |     |
| 11 | Hamburg    |     |          |               |     |
| 12 | Helsinki   |     |          |               |     |
| 13 | Lisbon     |     |          |               |     |
| 14 | London     |     |          |               |     |
| 15 | Madrid     |     |          |               |     |
| 16 | Milan      |     |          |               |     |
| 17 | Oslo       |     |          |               |     |
| 18 | Paris      |     |          |               |     |
| 19 | Prague     |     |          |               |     |
| 20 | Rome       |     |          |               |     |
| 21 | Stockholm  |     |          |               |     |
| 22 | Turin      |     |          |               |     |

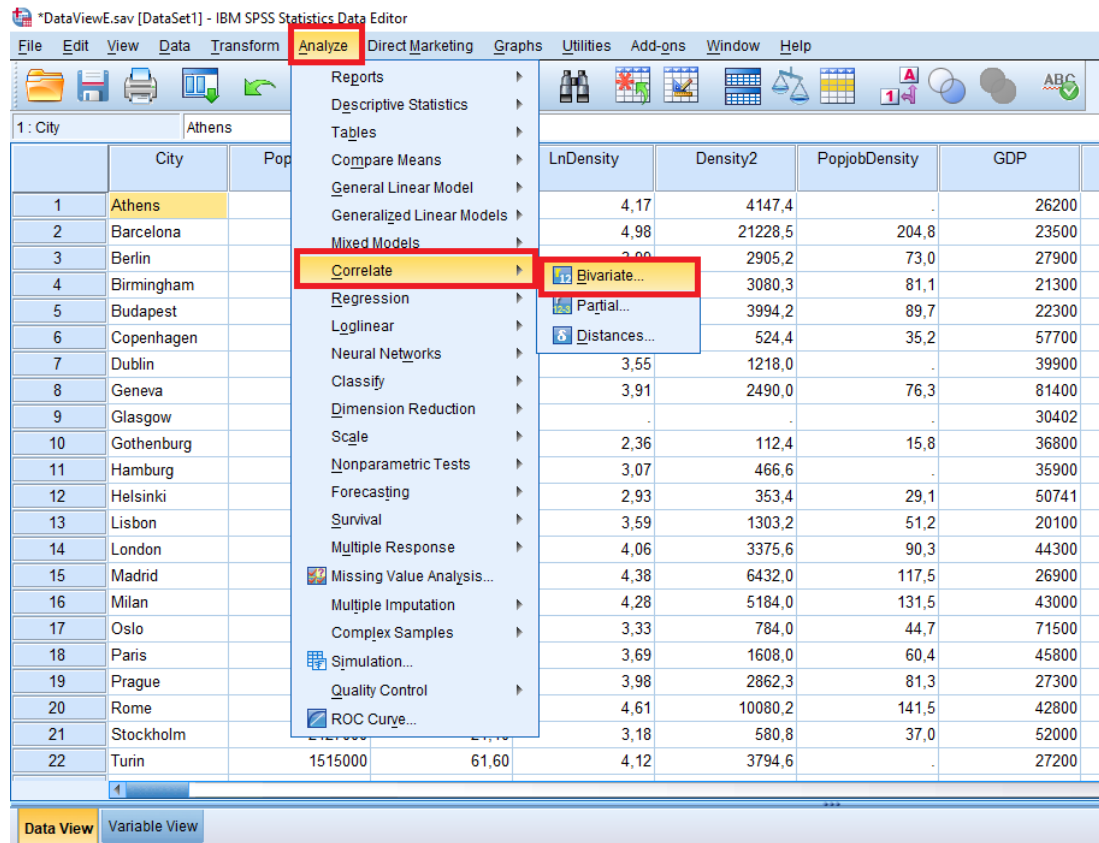
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 Εξαγωγή περιγραφικών στατιστικών στοιχείων



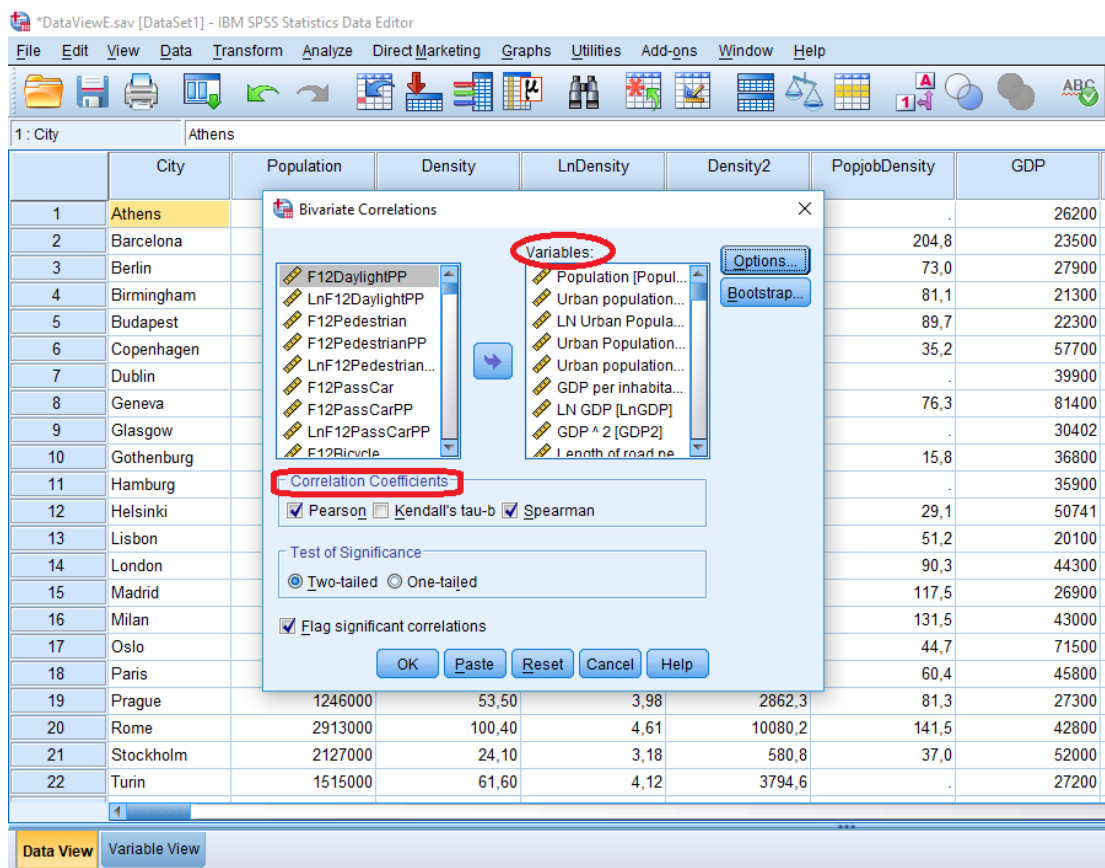


**ΕΙΚΟΝΑ 4.6** Επιλογή επιθυμητών στατιστικών μεταβλητών για εξαγωγή

Ακολούθησε η **διερεύνηση συσχετίσεων** (correlation test) μεταξύ των μεταβλητών. Επιλέχθηκαν να αναλυθούν όλες οι μεταβλητές και έτσι να προκύψουν οι συντελεστές συσχέτισης Pearson και Spearman. Οι συντελεστές κυμαίνονται από -1.00 (τέλεια αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση) έως +1.00 (τέλεια ανάλογη συσχέτιση), ενώ συντελεστής 0.00 δηλώνει τέλεια ασυσχέτιστες μεταβλητές. Επισημαίνεται ότι παρά τους ορισμούς αυτούς, δεν υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας αποδοχής ή απόρριψης ζεύγους μεταβλητών προς ανάλυση παρά μόνο η κρίση του ερευνητή. Τα βήματα εντολών για αυτό τον σκοπό είναι: Analyze → Correlate → Bivariate και έπειτα η επιλογή μεταβλητών και στατιστικών μεγεθών προς διερεύνηση. Παρατίθενται οι σχετικές Εικόνες 4.7 και 4.8 από το λογισμικό:

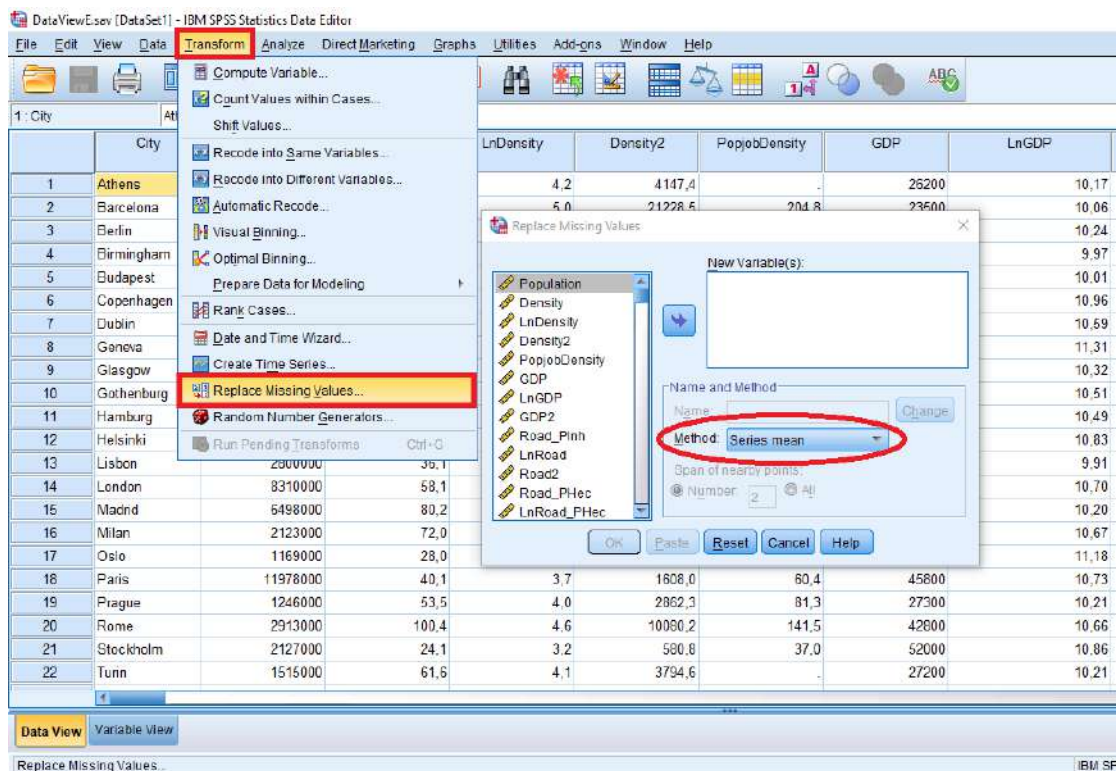


ΕΙΚΟΝΑ 4.7 Διαδικασία συσχέτισης μεταβλητών



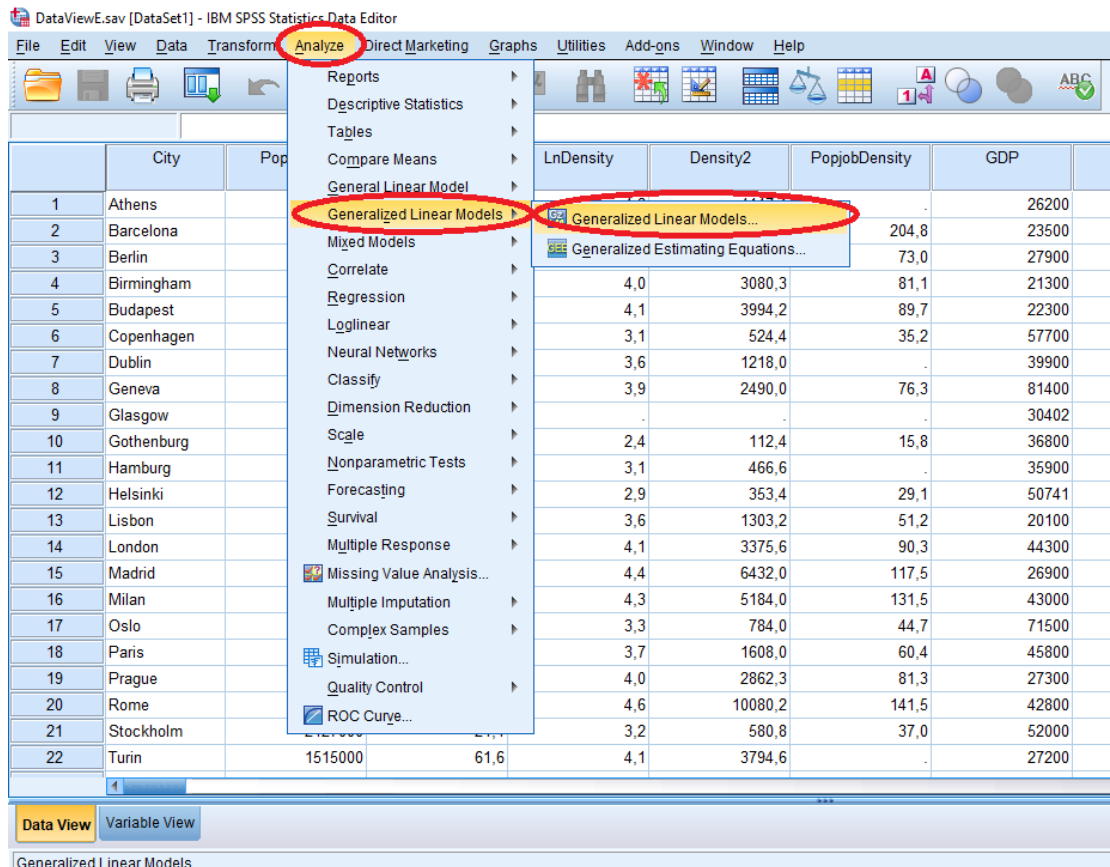
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 Επιλογή μεταβλητών και είδους συσχέτισης

Μία παραδοχή, που έγινε πριν την τελική στατιστική ανάλυση, ήταν η αντικατάσταση των τιμών στις μεταβλητές, για τις οποίες δεν είχαμε στοιχεία. Αυτή η διεργασία κρίθηκε απαραίτητη, καθώς θα συνέβαλε σε καλύτερα στατιστικά αποτελέσματα κατά την επεξεργασία. Έτσι οι κενές τιμές αντικαταστάθηκαν με τους μέσους όρους όλων των τιμών και δημιουργήθηκαν εκ νέου καινούργια ονόματα μεταβλητών. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν Transform → Replace Missing Values → Series Mean όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.9.

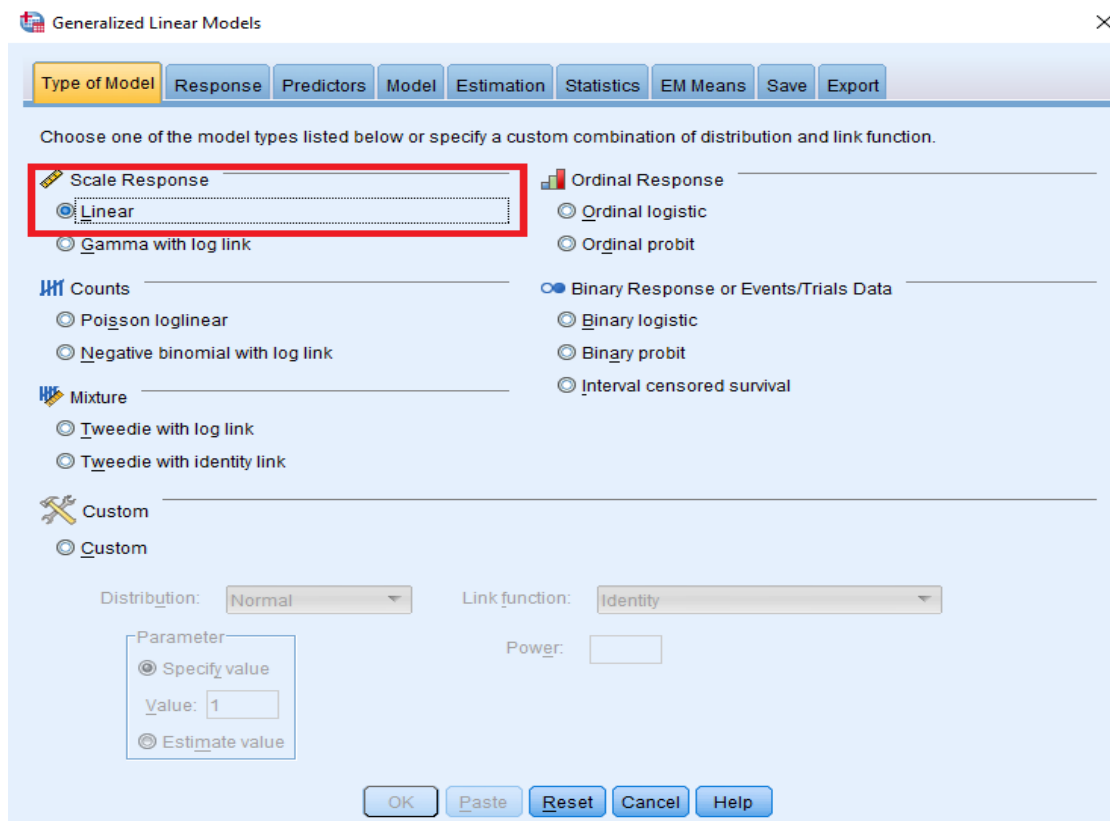


**ΕΙΚΟΝΑ 4.9** Διαδικασία αντικατάστασης κενών τιμών

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η **κύρια στατιστική ανάλυση**, με στόχο την ανάπτυξη των τελικών μοντέλων. Αναλυτικότερα η εφαρμογή της ανάλυσης θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο. Η μέθοδος που τελικά χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων ακολουθώντας τα βήματα Analyze → Generalized Linear Models → Generalized Linear Models, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.10. Στο παράθυρο που εμφανίζεται, επιλέγονται οι παράμετροι που επιθυμούνται για τον στατιστικό έλεγχο και παρουσιάζονται τις επόμενες εικόνες. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 4.11 φαίνεται ο τύπος του μοντέλου, στην Εικόνα 4.12 η επιλογή της εξαρτημένης μεταβλητής, στην Εικόνα 4.13 οι ανεξάρτητες μεταβλητές και τέλος στην Εικόνα 4.14 ο τύπος της μεθόδου, που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή του μοντέλου.

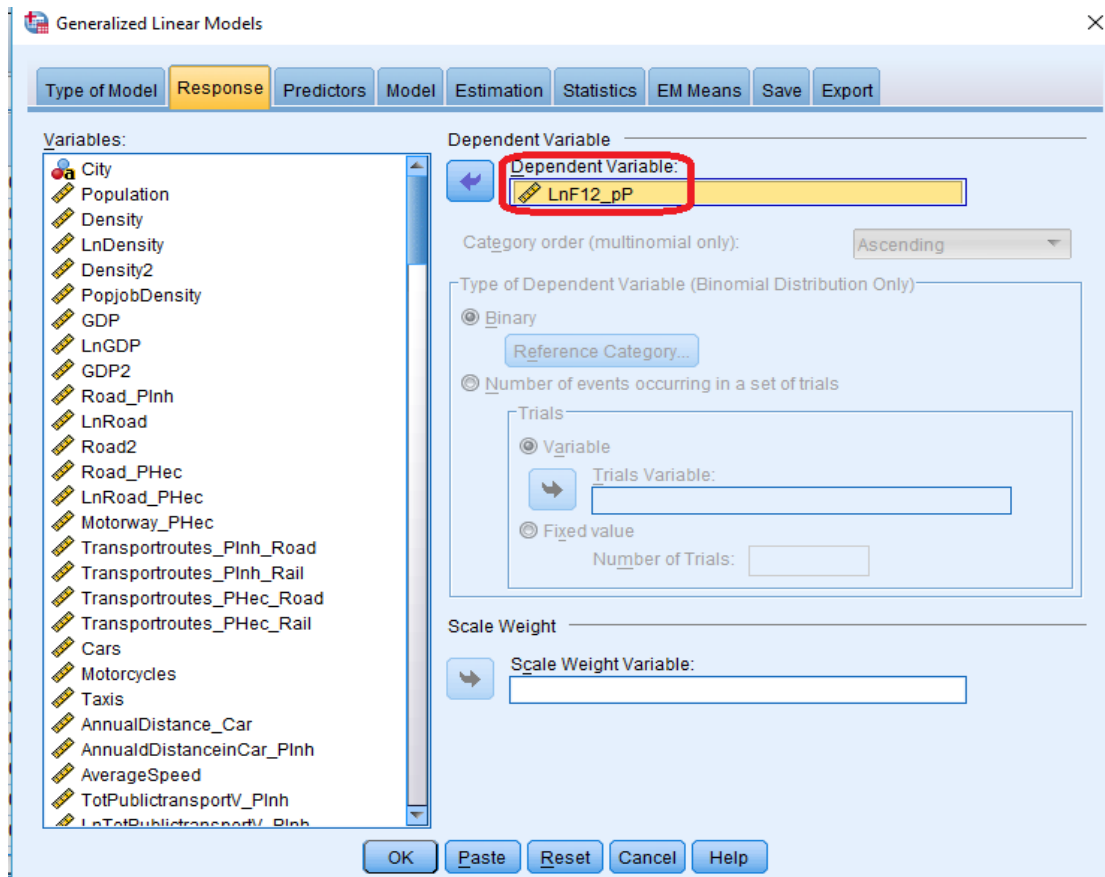


ΕΙΚΟΝΑ 4.10 Επιλογή μεθόδου Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων

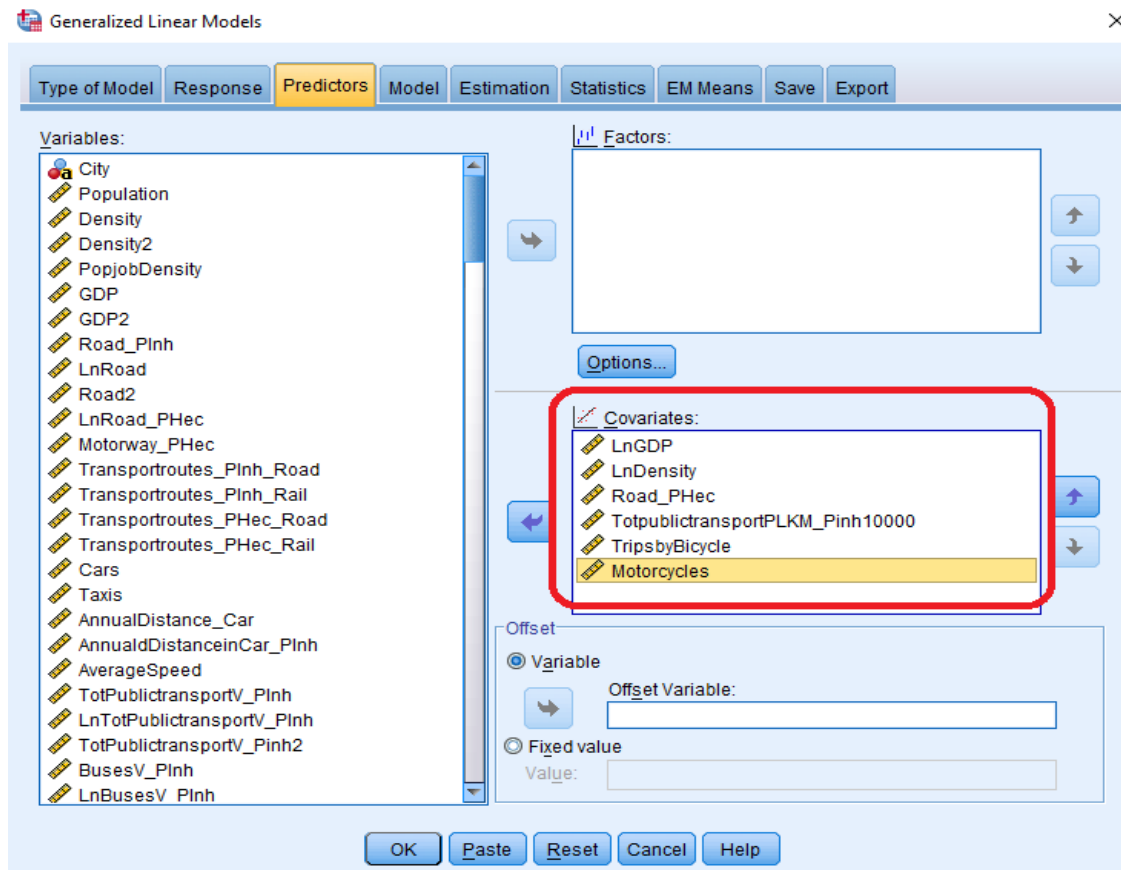


ΕΙΚΟΝΑ 4.11 Επιλογή τύπου μοντέλου

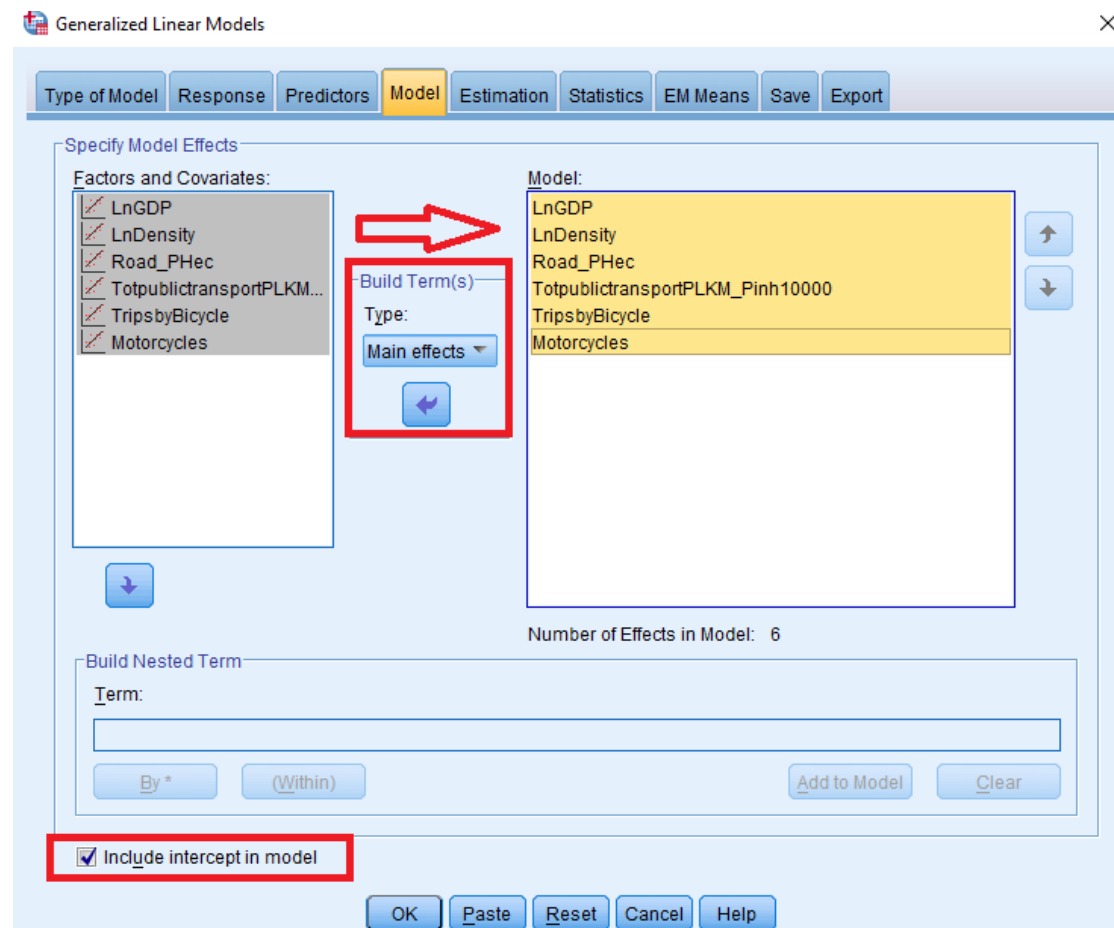




ΕΙΚΟΝΑ 4.12 Επιλογή εξαρτημένης μεταβλητής



ΕΙΚΟΝΑ 4.13 Επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών



ΕΙΚΟΝΑ 4.14 Επιλογή τύπου της μεθόδου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### **5.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Μετά τη συλλογή και την επεξεργασία των στοιχείων στο πρόγραμμα EXCEL, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση** των δεδομένων.

Περιγράφονται, επομένως, αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης των κατάλληλων μοντέλων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση ζητημάτων αξιοπιστίας των δεδομένων και στις διαδικασίες αντιμετώπισής τους. Αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι **στατιστικοί έλεγχοι** που απαιτούνται για την αποδοχή ή μη των μοντέλων.

Η ανάλυση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας **έγινε σε δύο επίπεδα**. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται ανάλυση της επιρροής των χαρακτηριστικών των πόλεων στις ανθρώπινες απώλειες λόγω οδικών ατυχημάτων, ενώ στο δεύτερο επίπεδο η ανάλυση αφορά στη διερεύνηση της επιρροής των ίδιων χαρακτηριστικών σε ειδικές κατηγορίες θυμάτων, ανάλογα τον τύπο του οχήματος ή των επικρατουσών συνθηκών φωτισμού.

Τέλος, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και περιγράφονται τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία και πραγματοποιείται προσπάθεια εξήγησής τους με βάση τη λογική, την εμπειρία και στοιχεία από τη σχετική βιβλιογραφία. Η **παρουσίαση των αποτελεσμάτων** διακρίνεται σε τρεις φάσεις:

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

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τους πίνακες, που προέκυψαν από τις μαθηματικές αναλύσεις και τη μαθηματική σχέση του μοντέλου. Επιπλέον, στην τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου πραγματοποιείται ανάλυση ελαστικότητας και ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων των συγκεκριμένων αναλύσεων.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούν οι υπόλοιπες διερευνήσεις, οι οποίες **δεν οδήγησαν σε αποτελέσματα**, αν και πραγματοποιήθηκαν σχετικές προσπάθειες στο πλαίσιο εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά, υπήρξε η σκέψη να διερευνηθεί μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης η επιρροή των χαρακτηριστικών των πόλεων στα θύματα από οδικά ατυχήματα, εφόσον αυτή ήταν στατιστικά σημαντική. Σαν εξαρτημένη μεταβλητή επιλέχθηκε ο λογάριθμος των ανθρωπίνων απωλειών ανά εκατομμύριο πληθυσμού της κάθε αστικής περιοχής. Σαν ανεξάρτητες δοκιμάστηκαν χαρακτηριστικά των πόλεων, από διάφορες συγκοινωνιακές και μη κατηγορίες που συλλέχτηκαν από τη βάση δεδομένων, όπως αυτή περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Λόγω όμως του είδους των συλλεχθέντων στοιχείων και του μεγάλου αριθμού των μεταβλητών δεν προέκυψαν αξιόπιστα και ικανοποιητικά στατιστικά αποτελέσματα από τα συγκεκριμένα πρότυπα. Συνεπώς, η επίδραση των στοιχείων στον αριθμό των θυμάτων δεν ήταν δυνατό να διερευνηθεί με την πιο άμεση μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης, και για αυτό το λόγο αναζητήθηκε μια άλλη πιο λειτουργική μέθοδος. Συνεπώς κρίνεται μη σκόπιμο να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των δοκιμών της γραμμικής παλινδρόμησης.

Η μέθοδος τελικά που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων, το θεωρητικό υπόβαθρο των οποίων αναλύθηκε εκτενώς στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

## 5.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο ακόλουθο υποκεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία στατιστικής **διερεύνησης** του πλήθους και του είδους των **χαρακτηριστικών** των πόλεων, τα οποία επηρεάζουν τα **θύματα λόγω των οδικών ατυχημάτων** εντός των αστικών τους ορίων, κάτι που θα οδηγήσει στο τελικό στάδιο επίτευξης των στόχων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η λέξη «βασικό» δηλώνει ότι το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνει το σύνολο των θυμάτων των πόλεων ως εξαρτημένη μεταβλητή. Δηλαδή δεν λαμβάνεται υπόψη το πότε και το πώς συνέβη το ατύχημα, ούτε και η κατηγορία των θυμάτων που αναμειγνύονται, στοχεύοντας έτσι σε μια μαθηματική σχέση, που να ισχύει καθολικά και ταυτόχρονα για όλα τα θύματα στις υπό εξέταση πόλεις.

Με αυτό το σκεπτικό θα πραγματοποιηθεί αρχικά η πρώτη από τις αναλύσεις, οι οποίες αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Πρώτα παρουσιάζονται τα **δεδομένα εισόδου** σε κάθε μοντέλο, καθώς και η αντίστοιχη **περιγραφική στατιστική** των μεταβλητών αυτών. Έπειτα

εξετάζεται η **συσχέτιση των μεταβλητών** και παρουσιάζονται τα **αποτελέσματα** της εφαρμογής της επιλεγμένης μεθοδολογίας. Τέλος, παρατίθεται η **παρουσίαση** και η **ερμηνεία των αποτελεσμάτων**.

### 5.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ – ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Για την ανάπτυξη του βασικού μοντέλου εξετάστηκαν όλες οι μεταβλητές, που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4, αυτές δηλαδή της βάσης δεδομένων UITP. Την κωδικοποίηση και εισαγωγή τους στο ειδικό λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας ακολούθησε ο έλεγχος συσχέτισής τους και οι έλεγχοι σημαντικότητάς τους όσον αφορά στο εκάστοτε μοντέλο. Πραγματοποιήθηκε πληθώρα δοκιμών, με γνώμονα την παρουσία μεταβλητών από διάφορες κατηγορίες χαρακτηριστικών, αλλά φυσικά και την *καλή λειτουργία των μοντέλων*. Οι μεταβλητές οι οποίες τελικώς βρέθηκαν **στατιστικά σημαντικές** και συμπεριλήφθηκαν στο τελικό μοντέλο, λόγω **καλής προσαρμογής** παρουσιάζονται παρακάτω:

#### Εξαρτημένη μεταβλητή:

- ο Λογάριθμος των συνολικών νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο πληθυσμού για το έτος 2012 (***LnF12\_pP***)

#### Ανεξάρτητες μεταβλητές:

- ο Λογάριθμος της πυκνότητας του πληθυσμού της αστικής περιοχής (***LnDensity***)
- ο Λογάριθμος του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. της περιοχής (***LnGDP***)
- ο Μήκος δρόμου σε μέτρα ανά αστικό εκτάριο (***Road\_PHec***)
- ο Αριθμός μοτοσυκλετών ανά χίλιους κατοίκους (***Motorcycles***)
- ο Συνολική προσφερόμενη χωρητικότητα θέσεων όλων των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς ανά πληθυσμό 10.000 κατοίκων (***TotpublictransportPLKM\_Pinh/10000***)
- ο Ποσοστό Ημερήσιων Μετακινήσεων με Ποδήλατο (***TripsbyBicycle***)

### 5.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Για τη διαμόρφωση μιας πληρέστερης εικόνας για την κατανομή και τη διασπορά των τιμών των μεταβλητών, είναι απαραίτητη η **παραγωγή περιγραφικών στατιστικών στοιχείων** πέρα από τους άμεσους αριθμούς του σταδίου της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Αυτό το ζητούμενο επιτυγχάνεται με την πορεία επιλογών στο λογισμικό Analyze → Descriptive Statistics → Descriptives → Options και την εντολή για εξαγωγή των ζητούμενων στοιχείων. Τα στατιστικά μεγέθη, που επιλέγονται είναι εκείνα της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, του μέγιστου και του ελάχιστου. Επισημαίνεται ότι οι προαναφερθείσες συναρτήσεις έχουν νόημα μόνο για συνεχείς μεταβλητές.

| Descriptive Statistics                |    |         |         |         |                |
|---------------------------------------|----|---------|---------|---------|----------------|
|                                       | N  | Minimum | Maximum | Mean    | Std. Deviation |
| LnDensity                             | 25 | 2,4     | 5,0     | 3,808   | ,5781          |
| LnGDP                                 | 25 | 9,91    | 11,31   | 10,5098 | ,39984         |
| Road_PHec                             | 25 | 59      | 305     | 149,35  | 55,611         |
| Motorcycles                           | 25 | 8,32    | 183,43  | 52,9226 | 45,27400       |
| TotpublictransportPLKM_Pinh<br>/10000 | 25 | 0       | 2       | 1,07    | ,352           |
| TripsbyBicycle                        | 25 | ,00     | 13,00   | 3,5983  | 3,25580        |
| Valid N (listwise)                    | 25 |         |         |         |                |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1** Περιγραφική στατιστική για το βασικό μοντέλο

### 5.2.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Το επόμενο στάδιο αφορά στη **διερεύνηση της συσχέτισης των μεταβλητών**. Επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και μη συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η διαδικασία της μέτρησης της συσχέτισης ανάμεσα σε ζεύγη μεταβλητών πραγματοποιείται και πάλι μέσω της εντολής Analyze (Analyze → Correlate → Bivariate Correlations). Οι μεταβλητές που ενδιαφέρουν εισάγονται στο πεδίο Variables.

Απόλυτες τιμές των **συντελεστών συσχέτισης** κοντά στη μονάδα αποδεικνύουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν φανερώνουν ανύπαρκτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Θετικό πρόσημο της εκάστοτε τιμής του κάθε συντελεστή δηλώνει ότι με αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής υπάρχει ομόσημη αύξηση της ανεξάρτητης, ενώ αρνητικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει ετερόσημη αύξηση. Επίσης, ο συντελεστής

Pearson χρησιμοποιείται για συνεχείς μεταβλητές και ο συντελεστής Spearman για διακριτές και διατεταγμένες μεταβλητές. Στη συγκεκριμένη Διπλωματική για τη συσχέτιση των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής **Pearson**.

Στο Πίνακα 5.2 εμφανίζεται η συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών, αλλά και των ανεξαρτήτων μεταξύ τους που επιλέχθηκαν για το βασικό μοντέλο. Η παρουσίαση της συσχέτισης των υπολοίπων μεταβλητών που δεν χρησιμοποιήθηκαν παραλείπεται. Όπως φαίνεται, η εξαρτημένη μεταβλητή (**LnF12\_pP**) έχει υψηλή συσχέτιση με τη μεταβλητή των μοτοσυκλετών (Motorcycles) σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01. Από την άλλη η συγκεκριμένη ανεξάρτητη μεταβλητή παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση με δύο άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές, την πυκνότητα του πληθυσμού (**LnDensity**) και του οδικού δικτύου (**Road\_Phec**). Τέλος, η πυκνότητα του πληθυσμού παρουσιάζει συσχέτιση με τη μεταβλητή του ποσοστού των μετακινήσεων με ποδήλατο (**TripsbyBicycle**). Τα αποτελέσματα αυτά κρίνονται ικανοποιητικά αναλογικά με το σύνολο των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

| Correlations                      |                     |          |           |       |           |             |                                   |                |
|-----------------------------------|---------------------|----------|-----------|-------|-----------|-------------|-----------------------------------|----------------|
|                                   |                     | LnF12_pP | LnDensity | LnGDP | Road_Phec | Motorcycles | TotpublictransportPLKM_Pinh/10000 | TripsbyBicycle |
| LnF12_pP                          | Pearson Correlation | 1        | ,330      | -,101 | ,286      | ,661**      | -,082                             | -,234          |
|                                   | Sig. (2-tailed)     |          | ,107      | ,630  | ,166      | ,000        | ,698                              | ,261           |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |
| LnDensity                         | Pearson Correlation | ,330     | 1         | -,385 | ,122      | ,456*       | ,220                              | -,414*         |
|                                   | Sig. (2-tailed)     | ,107     |           | ,057  | ,563      | ,022        | ,292                              | ,040           |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |
| LnGDP                             | Pearson Correlation | -,101    | -,385     | 1     | -,015     | ,074        | ,009                              | ,113           |
|                                   | Sig. (2-tailed)     | ,630     | ,057      |       | ,943      | ,727        | ,966                              | ,590           |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |
| Road_Phec                         | Pearson Correlation | ,286     | ,122      | -,015 | 1         | ,649**      | -,226                             | -,225          |
|                                   | Sig. (2-tailed)     | ,166     | ,563      | ,943  |           | ,000        | ,278                              | ,279           |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |
| Motorcycles                       | Pearson Correlation | ,661**   | ,456*     | ,074  | ,649**    | 1           | ,073                              | -,140          |
|                                   | Sig. (2-tailed)     | ,000     | ,022      | ,727  | ,000      |             | ,730                              | ,503           |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |
| TotpublictransportPLKM_Pinh/10000 | Pearson Correlation | -,082    | ,220      | ,009  | -,226     | ,073        | 1                                 | ,010           |
|                                   | Sig. (2-tailed)     | ,698     | ,292      | ,966  | ,278      | ,730        |                                   | ,961           |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |
| TripsbyBicycle                    | Pearson Correlation | -,234    | -,414*    | ,113  | -,225     | -,140       | ,010                              | 1              |
|                                   | Sig. (2-tailed)     | ,261     | ,040      | ,590  | ,279      | ,503        | ,961                              |                |
|                                   | N                   | 25       | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                                | 25             |

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2** Συσχέτιση μεταβλητών για το βασικό μοντέλο



#### 5.2.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο, αφού ολοκληρώθηκε η συλλογή και κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων όπως αυτά αναλύθηκαν εκτενώς σε προηγούμενα κεφάλαια, και καθώς ολοκληρώθηκαν οι αρχικές διεργασίες στατιστικής ανάλυσης οι οποίες περιγράφηκαν προηγουμένως **εφαρμόστηκε η μεθοδολογία** για την εξαγωγή του βασικού μοντέλου. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων, το θεωρητικό υπόβαθρο των οποίων παρουσιάστηκε στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και η διαδικασία εκτέλεσης της στο ειδικό στατιστικό λογισμικό στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα αξιολόγησης και οι παράμετροι του μοντέλου διακρίνονται στους επόμενους Πίνακες.

Σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο τα κριτήρια που ήταν απαραίτητο να ελεγχθούν είναι τα εξής:

- I. Οι τιμές και τα πρόσημα των **συντελεστών παλινδρόμησης β<sub>i</sub>** να μπορούν να εξηγηθούν λογικά για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή.
- II. Η τιμή του στατιστικού **ελέγχου t ή Wald** να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1,7 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- III. Το **επίπεδο σημαντικότητας κάθε μεταβλητής** να είναι μικρότερο από 5% (ίσως οριακά μικρότερο του 10%). Ο έλεγχος αυτός είναι συνυφασμένος με τον προηγούμενο.
- IV. Τα τελικά μοντέλα να έχουν όσο το δυνατόν **χαμηλότερο Log Likelihood**

Έτσι η τελική μορφή του βασικού μοντέλου γίνεται:

$$\text{LnF12\_pP} = 11,041 - (0,067) * \text{TripsbyBicycle} - (0,462) * \text{TotpublictransportPLKM\_Pinh/10000} + (0,019) * \text{Motorcycles} - (0,007) * \text{Road\_PHec} - (0,526) * \text{LnGDP} - (0,402) * \text{Ln Density}$$

| Goodness of Fit <sup>a</sup>         |         |    |          |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
|                                      | Value   | df | Value/df |
| Deviance                             | 5,333   | 18 | ,296     |
| Scaled Deviance                      | 25,000  | 18 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 5,333   | 18 | ,296     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 25,000  | 18 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -16,161 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 48,323  |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 57,323  |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 58,074  |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 66,074  |    |          |

Dependent Variable: LnF12\_pP

Model: (Intercept), TripsbyBicycle, TotpublictransportPLKM\_Pinh/10000, Motorcycles, Road\_PHec, LnGDP, LnDensity<sup>a</sup>

a. Information criteria are in small-is-better form.

b. The full log likelihood function is displayed and used in computing

| Omnibus Test <sup>a</sup>   |    |      |
|-----------------------------|----|------|
| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
| 23,913                      | 6  | ,001 |

Dependent Variable: LnF12\_pP

a. Compares the fitted model

| Parameter Estimates               |                   |            |          |        |                 |    |      |
|-----------------------------------|-------------------|------------|----------|--------|-----------------|----|------|
| Parameter                         | B                 | Std. Error | Interval |        | Hypothesis Test |    |      |
|                                   |                   |            | Lower    | Upper  | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                       | 11,041            | 3,6274     | 3,932    | 18,151 | 9,265           | 1  | ,002 |
| TripsbyBicycle                    | -,067             | ,0341      | -,134    | ,000   | 3,872           | 1  | ,049 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh/10000 | -,462             | ,2906      | -1,031   | ,108   | 2,523           | 1  | ,112 |
| Motorcycles                       | ,019              | ,0036      | ,012     | ,026   | 28,145          | 1  | ,000 |
| Road_PHec                         | -,007             | ,0026      | -,013    | -,002  | 7,774           | 1  | ,005 |
| LnGDP                             | -,526             | ,2805      | -1,076   | ,023   | 3,523           | 1  | ,061 |
| LnDensity                         | -,402             | ,2536      | -,899    | ,096   | 2,507           | 1  | ,113 |
| (Scale)                           | ,213 <sup>a</sup> | ,0603      | ,123     | ,371   |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12\_pP

Model: (Intercept), TripsbyBicycle, TotpublictransportPLKM\_Pinh/10000, Motorcycles, Road\_PHec, LnGDP, LnDensity

a. Maximum likelihood estimate.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3** Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων βασικού μοντέλου

Οι στατιστικοί έλεγχοι, που βοήθησαν στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, οδήγησαν στις επόμενες παρατηρήσεις.

- ❖ Το **Log Likelihood** έχει τιμή -16,161. Η τιμή αυτή ήταν η μικρότερη μεταξύ των δοκιμών, που έγιναν συνδυάζοντας όλα τα στοιχεία που είχαν συλλεχθεί γι αυτό και επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο.
- ❖ Ο έλεγχος όσον αφορά τον συντελεστή **Wald** ικανοποιείται για όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές, αφού η τιμή του είναι πάνω από 1,7, που είναι το όριο αποδοχής.
- ❖ Από τη σύγκριση του τρέχοντος μοντέλου με το «άδειο» μοντέλο (περιλαμβάνει μόνο τον σταθερό όρο), προέκυψε η **τιμή  $\chi^2 = 23,913$**  για 6 βαθμούς ελευθερίας. Η τιμή σημαντικότητας (sig) του συγκεκριμένου ελέγχου είναι μικρότερη από 0,05, άρα το μοντέλο είναι στατιστικά αποδεκτό.
- ❖ Ένα άλλο χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι ότι περιλαμβάνεται στις παραμέτρους της στατιστικής ανάλυσης η **σταθερά** (intercept). Αυτό είναι κάτι σημαντικό καθώς υποδηλώνει την υψηλότερη ακρίβεια του μοντέλου.

### 5.2.5 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το τελικό στάδιο, που θα παρουσιαστεί στο παρόν υποκεφάλαιο, μετά την εξαγωγή του βασικού μοντέλου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων, είναι ο **σχολιασμός των αποτελεσμάτων**. Η ερμηνεία αυτή αποτελεί το πιο ουσιαστικό μέρος της Διπλωματικής Εργασίας, καθώς μέσα από αυτή θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και θα εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα. Οι βασικότερες παρατηρήσεις επισημαίνονται στη συνέχεια.

Οι συντελεστές  **$\beta_i$**  φανερώνουν τη σχέση, που έχουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές με την εξαρτημένη, δηλαδή τα διάφορα χαρακτηριστικά των πόλεων με τα θύματα των οδικών ατυχημάτων. Όλες οι μεταβλητές έχουν αρνητικό πρόσημο εκτός από μία, κάτι που δηλώνει ότι αύξηση της εκάστοτε μονάδας της μεταβλητής, επιφέρει μείωση των θυμάτων. Συγκεκριμένα:

- ❖ Αύξηση της **χρήσης ποδηλάτου** οδηγεί σε λιγότερες απώλειες εντός των αστικών περιοχών λόγω οδικών ατυχημάτων. Αυτό είναι κάτι λογικό, αφού σε πόλεις με μεγαλύτερο αριθμό ποδηλατών κυκλοφορούν αντίστοιχα λιγότερα αυτοκίνητα.
- ❖ Περισσότερες προσφερόμενες **θέσεις μέσων μαζικής μεταφοράς** συμβάλλουν θετικά στη μείωση των θυμάτων. Ενδεχομένως αυτό

οφείλεται στο ότι προσφέρονται στους πολίτες περισσότεροι εναλλακτικοί τρόποι μετακίνησης εκτός του αυτοκινήτου.

- ❖ Η μεγαλύτερη **πυκνότητα του οδικού δικτύου** συμβάλλει κι αυτή θετικά στη μείωση των ανθρωπίνων απωλειών. Βέβαια ο συντελεστής της συγκεκριμένης μεταβλητής είναι αρκετά μικρός σε σύγκριση με τους άλλους. Η εξήγηση εδώ είναι πιθανώς ότι όσο πυκνότερο είναι το οδικό δίκτυο, τόσο χαμηλότερες είναι οι ταχύτητες που αναπτύσσονται σε αυτό.
- ❖ Το **Α.Ε.Π.** είναι ένα χαρακτηριστικό που έχει απασχολήσει αρκετές συγκοινωνιακές έρευνες για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει θέματα οδικής ασφάλειας. Εδώ είναι σαφές ότι υψηλότερο κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. συσχετίζεται με λιγότερα θύματα, το οποίο θα μπορούσε να αποδοθεί σε καλύτερες υποδομές και ασφαλέστερο οδικό δίκτυο, καθώς και σε πιο σύγχρονα και ασφαλέστερα οχήματα στην κυκλοφορία.
- ❖ Η **πυκνότητα του πληθυσμού**, όπως και οι παραπάνω μεταβλητές έχει αρνητικό συντελεστή. Έτσι, όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι μια πόλη, τόσο μικρότερο αριθμό απωλειών σε οδικά ατυχήματα ανά πληθυσμό παρουσιάζει. Όπως και η πυκνότητα του οδικού δικτύου, η αύξηση αυτή μεταφράζεται σε ηπιότερες ταχύτητες κυκλοφορίας.
- ❖ Η μόνη μεταβλητή, που έχει θετικό συντελεστή είναι οι **μοτοσυκλές**. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός των μοτοσυκλετών ανά κάτοικο σε μία πόλη, μεγαλώνει ταυτόχρονα και ο λόγος των νεκρών ανά κάτοικο από οδικά ατυχήματα. Το σχόλιο αυτό δεν προκαλεί εντύπωση, αφού οι μοτοσυκλετιστές αποτελούν ευάλωτους χρήστες του δικτύου και είναι περισσότερο εκτεθειμένοι στον κίνδυνο σε περίπτωση εμπλοκής τους σε οδικό ατύχημα.

### 5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Έχοντας ολοκληρώσει τη στατιστική ανάλυση του βασικού μοντέλου και την εξαγωγή των αντίστοιχων παρατηρήσεων, κρίθηκε ενδιαφέρον σε δεύτερο επίπεδο να συνεχιστεί η διερεύνηση της επιρροής των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών των πόλεων σε επιμέρους κατηγορίες θυμάτων. Για το λόγο αυτό απαραίτητη ήταν η διενέργεια νέων δοκιμών για την παραγωγή δευτερευόντων μοντέλων.

Ως ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέχθηκαν οι ίδιες με το βασικό πρότυπο, δηλαδή:

- Λογάριθμος της πυκνότητας του πληθυσμού της αστικής περιοχής (***LnDensity***)
- Λογάριθμος του κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. της περιοχής (***LnGDP***)
- Μήκος δρόμου σε μέτρα ανά εκτάριο (***Road\_PHec***)
- Αριθμός μοτοσυκλετών ανά χίλιους κατοίκους (***Motorcycles***)
- Συνολική προσφερόμενη χωρητικότητα θέσεων όλων των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς ανά πληθυσμό 10.000 κατοίκων (***TotpublictransportPLKM\_Pinh/10000***)
- Ποσοστό Ημερήσιων Μετακινήσεων με Ποδήλατο (***TripsbyBicycle***)

Πραγματοποιήθηκαν έξι δοκιμές, χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένες μεταβλητές τα εξής στοιχεία, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία :

- Λογάριθμος των νεκρών του 2012, σε ατυχήματα που συνέβησαν κατά τη διάρκεια της νύχτας, ανά πληθυσμό της περιοχής (***LnF12DarknessPP***)
- Λογάριθμος των νεκρών του 2012, σε ατυχήματα που συνέβησαν κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά πληθυσμό της περιοχής (***LnF12DaylightPP***)
- Λογάριθμος των νεκρών πεζών του 2012, ανά πληθυσμό (***LnF12PedestrianPP***)
- Λογάριθμος των νεκρών του 2012, σε επιβατικά οχήματα, ανά πληθυσμό (***LnF12PassCarPP***)
- Λογάριθμος των νεκρών ποδηλατιστών του 2012, ανά πληθυσμό περιοχής (***LnF12BicyclePP***)
- Λογάριθμος των νεκρών μοτοσυκλετιστών του 2012, ανά πληθυσμό περιοχής (***LnF12PTWPP***)

Η παραγωγή των εν λόγω μοντέλων κρίνεται ενδιαφέρουσα, καθώς μέσα από αυτή είναι δυνατόν να φανεί, εάν οι παράγοντες, που επηρεάζουν τις συνολικές ανθρώπινες απώλειες λόγω οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές, επηρεάζουν και τις προαναφερθείσες κατηγορίες θυμάτων, και σε ποιο βαθμό.

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες με τα στατιστικά αποτελέσματα της κάθε εξαρτημένης μεταβλητής των δευτερευόντων μοντέλων. Στη συνέχεια θα αναφερθούν παρατηρήσεις ερμηνείας πάνω στα συγκεκριμένα αποτελέσματα. Τέλος, για την καλύτερη σύγκριση μεταξύ όλων των μοντέλων και εξαγωγή περισσότερων συμπερασμάτων θα παρουσιαστούν στο τελευταίο κεφάλαιο οι αναλύσεις ελαστικότητας και ευαισθησίας για όλα τα μοντέλα.

Στον Πίνακα 5.4, που ακολουθεί, φαίνεται η συσχέτιση των εξαρτημένων μεταβλητών των δευτερευόντων μοντέλων με τις ίδιες ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως στο βασικό μοντέλο. Ο αριθμός των μοτοσυκλετών είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, που παρουσιάζει την υψηλότερη συσχέτιση με τις εξαρτημένες μεταβλητές. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν δείχνουν να παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους σε μεγάλο βαθμό, γεγονός που είναι επιθυμητό.

| Correlations                   |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
|--------------------------------|-----------|-------|-----------|-------------|--------------------------------|----------------|------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
|                                | LnDensity | LnGDP | Road_PHec | Motorcycles | TopublictransponPLKM_Pinh10000 | TripsbyBicycle | LnF12PTWPP | LnF12BicyclePP | LnF12PassCarPP | LnF12PedestrianPP | LnF12DaylightPP | LnF12DarknessPP |
| LnDensity                      |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Pearson Correlation            | 1         |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Sig. (2-tailed)                |           | -,385 | ,122      | ,456*       | ,220                           | -,414          | ,285       | ,092           | ,142           | ,587**            | ,182            | ,192            |
| N                              | 25        | ,057  | ,563      | ,022        | ,292                           | ,040           | ,167       | ,661           | ,498           | ,002              | ,383            | ,359            |
| LnGDP                          |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Pearson Correlation            | -,385     | 1     | -,015     | ,074        | ,009                           | ,113           | -,149      | ,295           | ,000           | -,410*            | -,051           | -,275           |
| Sig. (2-tailed)                | ,057      |       | ,943      | ,727        | ,966                           | ,590           | ,476       | ,153           | 1,000          | ,042              | ,809            | ,183            |
| N                              | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                             | 25             | 25         | 25             | 25             | 25                | 25              | 25              |
| Road_PHec                      |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Pearson Correlation            | ,122      | -,015 | 1         | ,649**      | -,226                          | -,225          | ,302       | -,122          | ,344           | ,240              | ,056            | ,256            |
| Sig. (2-tailed)                | ,563      | ,943  |           | ,000        | ,278                           | ,279           | ,142       | ,561           | ,092           | ,248              | ,789            | ,216            |
| N                              | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                             | 25             | 25         | 25             | 25             | 25                | 25              | 25              |
| Motorcycles                    |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Pearson Correlation            | ,456*     | ,074  | ,649**    | 1           | ,073                           | -,140          | ,615**     | ,261           | ,573**         | ,606**            | ,381            | ,467*           |
| Sig. (2-tailed)                | ,022      | ,727  | ,000      |             | ,730                           | ,503           | ,001       | ,207           | ,003           | ,001              | ,061            | ,019            |
| N                              | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                             | 25             | 25         | 25             | 25             | 25                | 25              | 25              |
| TopublictransponPLKM_Pinh10000 |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Pearson Correlation            | ,220      | ,009  | -,226     | ,073        | 1                              | ,010           | -,045      | -,082          | -,250          | ,160              | ,231            | -,012           |
| Sig. (2-tailed)                | ,292      | ,966  | ,278      | ,730        |                                | ,961           | ,833       | ,697           | ,229           | ,446              | ,267            | ,956            |
| N                              | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                             | 25             | 25         | 25             | 25             | 25                | 25              | 25              |
| TripsbyBicycle                 |           |       |           |             |                                |                |            |                |                |                   |                 |                 |
| Pearson Correlation            | -,414*    | ,113  | -,225     | -,140       | ,010                           | 1              | -,305      | ,130           | -,389          | -,274             | -,215           | -,068           |
| Sig. (2-tailed)                | ,040      | ,590  | ,279      | ,503        | ,961                           |                | ,138       | ,535           | ,054           | ,185              | ,302            | ,746            |
| N                              | 25        | 25    | 25        | 25          | 25                             | 25             | 25         | 25             | 25             | 25                | 25              | 25              |

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 Συσχέτιση μεταβλητών δευτερευόντων μοντέλων



## 5.3.1 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

## ΝΕΚΡΟΙ ΣΕ ΟΔΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΝΥΧΤΑΣ

Goodness of Fit<sup>a</sup>

|                                      | Value   | df | Value/df |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| Deviance                             | 7,831   | 15 | ,522     |
| Scaled Deviance                      | 22,000  | 15 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 7,831   | 15 | ,522     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 22,000  | 15 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -19,854 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 55,708  |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 66,785  |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 64,436  |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 72,436  |    |          |

Dependent Variable: LnF12DarknessPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Information criteria are in small-is-better form.

b. The full log likelihood function is displayed and used in computing information criteria.

Omnibus Test<sup>a</sup>

| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
|-----------------------------|----|------|
| 16,700                      | 6  | ,010 |

Dependent Variable:  
 LnF12DarknessPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Compares the fitted model against the intercept-only model.

Parameter Estimates

| Parameter                          | B                 | Std. Error | 95% Wald Confidence Interval |        | Hypothesis Test |    |      |
|------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------|--------|-----------------|----|------|
|                                    |                   |            | Lower                        | Upper  | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                        | 17,435            | 5,1740     | 7,294                        | 27,576 | 11,355          | 1  | ,001 |
| LnGDP_1                            | -1,086            | ,3796      | -1,830                       | -,342  | 8,190           | 1  | ,004 |
| Road_PHec_1                        | -,013             | ,0053      | -,023                        | -,003  | 6,032           | 1  | ,014 |
| LnDensity_1                        | -,687             | ,3607      | -1,394                       | ,020   | 3,626           | 1  | ,057 |
| Motorcycles_1                      | ,027              | ,0066      | ,014                         | ,040   | 16,696          | 1  | ,000 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh10000_1 | -,585             | ,4411      | -1,450                       | ,280   | 1,759           | 1  | ,185 |
| TripsbyBicycle_1                   | -,065             | ,0466      | -,156                        | ,026   | 1,946           | 1  | ,163 |
| (Scale)                            | ,356 <sup>a</sup> | ,1073      | ,197                         | ,643   |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12DarknessPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Maximum likelihood estimate.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5** Αποτελέσματα μοντέλου για νεκρούς σε οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας

ΝΕΚΡΟΙ ΣΕ ΟΔΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ**Goodness of Fit<sup>a</sup>**

|                                      | Value   | df | Value/df |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| Deviance                             | 3,210   | 15 | ,214     |
| Scaled Deviance                      | 22,000  | 15 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 3,210   | 15 | ,214     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 22,000  | 15 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -10,045 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 36,090  |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 47,167  |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 44,818  |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 52,818  |    |          |

Dependent Variable: LnF12DaylightPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Information criteria are in small-is-better form.  
 b. The full log likelihood function is displayed and used in computing information criteria.

**Omnibus Test<sup>a</sup>**

| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
|-----------------------------|----|------|
| 18,595                      | 6  | ,005 |

Dependent Variable: LnF12DaylightPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Compares the fitted model against the intercept-only model.

**Parameter Estimates**

| Parameter                          | B                 | Std. Error | 95% Wald Confidence Interval |        | Hypothesis Test |    |      |
|------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------|--------|-----------------|----|------|
|                                    |                   |            | Lower                        | Upper  | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                        | 10,878            | 3,3127     | 4,385                        | 17,371 | 10,782          | 1  | ,001 |
| LnGDP_1                            | -,455             | ,2431      | -,932                        | ,021   | 3,510           | 1  | ,061 |
| Road_PHec_1                        | -,013             | ,0034      | -,020                        | -,006  | 14,931          | 1  | ,000 |
| LnDensity_1                        | -,611             | ,2309      | -1,064                       | -,158  | 7,003           | 1  | ,008 |
| Motorcycles_1                      | ,020              | ,0042      | ,012                         | ,029   | 23,425          | 1  | ,000 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh10000_1 | -,023             | ,2824      | -,576                        | ,531   | ,006            | 1  | ,936 |
| TripsbyBicycle_1                   | -,092             | ,0298      | -,151                        | -,034  | 9,542           | 1  | ,002 |
| (Scale)                            | ,146 <sup>a</sup> | ,0440      | ,081                         | ,263   |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12DaylightPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Maximum likelihood estimate.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6** Αποτελέσματα μοντέλου για νεκρούς σε οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας

ΝΕΚΡΟΙ ΠΕΖΟΙ**Goodness of Fit<sup>a</sup>**

|                                      | Value  | df | Value/df |
|--------------------------------------|--------|----|----------|
| Deviance                             | 2,825  | 18 | ,157     |
| Scaled Deviance                      | 25,000 | 18 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 2,825  | 18 | ,157     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 25,000 | 18 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -8,218 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 32,435 |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 41,435 |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 42,186 |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 50,186 |    |          |

Dependent Variable: LnF12PedestrianPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Information criteria are in small-is-better form.  
 b. The full log likelihood function is displayed and used in computing information criteria.

**Omnibus Test<sup>a</sup>**

| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
|-----------------------------|----|------|
| 27,385                      | 6  | ,000 |

Dependent Variable:  
 LnF12PedestrianPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Compares the fitted model against the intercept-only model.

**Parameter Estimates**

| Parameter                          | B                 | Std. Error | 95% Wald Confidence Interval |            | Hypothesis Test |    |      |
|------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------|------------|-----------------|----|------|
|                                    |                   |            | Lower                        | Upper      | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                        | 9,481             | 2,6400     | 4,306                        | 14,655     | 12,897          | 1  | ,000 |
| LnGDP_1                            | -,691             | ,2041      | -1,091                       | -,290      | 11,444          | 1  | ,001 |
| Road_PHec_1                        | -,004             | ,0019      | -,008                        | -,494E-006 | 3,857           | 1  | ,050 |
| LnDensity_1                        | -,023             | ,1846      | -,385                        | ,339       | ,015            | 1  | ,901 |
| Motorcycles_1                      | ,011              | ,0026      | ,006                         | ,016       | 17,838          | 1  | ,000 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh10000_1 | ,049              | ,2115      | -,365                        | ,464       | ,054            | 1  | ,816 |
| TripsbyBicycle_1                   | -,035             | ,0248      | -,083                        | ,014       | 1,975           | 1  | ,160 |
| (Scale)                            | ,113 <sup>a</sup> | ,0320      | ,065                         | ,197       |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12PedestrianPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Maximum likelihood estimate.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7** Αποτελέσματα μοντέλου για νεκρούς πεζούς

## ΝΕΚΡΟΙ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

**Goodness of Fit<sup>a</sup>**

|                                      | Value   | df | Value/df |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| Deviance                             | 6,961   | 18 | ,387     |
| Scaled Deviance                      | 25,000  | 18 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 6,961   | 18 | ,387     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 25,000  | 18 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -19,492 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 54,984  |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 63,984  |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 64,735  |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 72,735  |    |          |

Dependent Variable: LnF12PassCarPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Information criteria are in small-is-better form.  
 b. The full log likelihood function is displayed and used in computing information criteria.

**Omnibus Test<sup>a</sup>**

| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
|-----------------------------|----|------|
| 28,682                      | 6  | ,000 |

Dependent Variable:  
 LnF12PassCarPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Compares the fitted model against the intercept-only model.

**Parameter Estimates**

| Parameter                          | B                 | Std. Error | 95% Wald Confidence Interval |        | Hypothesis Test |    |      |
|------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------|--------|-----------------|----|------|
|                                    |                   |            | Lower                        | Upper  | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                        | 13,124            | 4,1443     | 5,002                        | 21,247 | 10,029          | 1  | ,002 |
| LnGDP_1                            | -,579             | ,3205      | -1,208                       | ,049   | 3,270           | 1  | ,071 |
| Road_PHec_1                        | -,009             | ,0030      | -,015                        | -,003  | 8,851           | 1  | ,003 |
| LnDensity_1                        | -,928             | ,2897      | -1,496                       | -,360  | 10,262          | 1  | ,001 |
| Motorcycles_1                      | ,024              | ,0041      | ,016                         | ,032   | 33,236          | 1  | ,000 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh10000_1 | -,864             | ,3320      | -1,515                       | -,213  | 6,771           | 1  | ,009 |
| TripsbyBicycle_1                   | -,161             | ,0389      | -,238                        | -,085  | 17,174          | 1  | ,000 |
| (Scale)                            | ,278 <sup>a</sup> | ,0788      | ,160                         | ,485   |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12PassCarPP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

- a. Maximum likelihood estimate.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8 Αποτελέσματα μοντέλου για νεκρούς επιβατικών αυτοκινήτων

ΝΕΚΡΟΙ ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ**Goodness of Fit<sup>a</sup>**

|                                      | Value   | df | Value/df |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| Deviance                             | 9,654   | 18 | ,536     |
| Scaled Deviance                      | 25,000  | 18 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 9,654   | 18 | ,536     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 25,000  | 18 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -23,580 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 63,159  |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 72,159  |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 72,910  |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 80,910  |    |          |

Dependent Variable: LnF12BicyclePP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Information criteria are in small-is-better form.

b. The full log likelihood function is displayed and used in computing information criteria.

**Omnibus Test<sup>a</sup>**

| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
|-----------------------------|----|------|
| 10,607                      | 6  | ,101 |

Dependent Variable: LnF12BicyclePP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Compares the fitted model against the intercept-only model.

**Parameter Estimates**

| Parameter                          | B                 | Std. Error | 95% Wald Confidence Interval |       | Hypothesis Test |    |      |
|------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------|-------|-----------------|----|------|
|                                    |                   |            | Lower                        | Upper | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                        | -4,388            | 4,8805     | -13,954                      | 5,177 | ,808            | 1  | ,369 |
| LnGDP_1                            | ,533              | ,3774      | -,207                        | 1,272 | 1,993           | 1  | ,158 |
| Road_PHec_1                        | -,008             | ,0036      | -,015                        | -,001 | 4,786           | 1  | ,029 |
| LnDensity_1                        | ,133              | ,3412      | -,536                        | ,801  | ,151            | 1  | ,698 |
| Motorcycles_1                      | ,010              | ,0049      | ,001                         | ,020  | 4,367           | 1  | ,037 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh10000_1 | -,610             | ,3910      | -1,377                       | ,156  | 2,435           | 1  | ,119 |
| TripsbyBicycle_1                   | ,024              | ,0458      | -,065                        | ,114  | ,283            | 1  | ,595 |
| (Scale)                            | ,386 <sup>a</sup> | ,1092      | ,222                         | ,672  |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12BicyclePP  
 Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Maximum likelihood estimate.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9** Αποτελέσματα μοντέλου για νεκρούς ποδηλάτες

ΝΕΚΡΟΙ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΕΣ**Goodness of Fit<sup>a</sup>**

|                                      | Value   | df | Value/df |
|--------------------------------------|---------|----|----------|
| Deviance                             | 11,370  | 18 | ,632     |
| Scaled Deviance                      | 25,000  | 18 |          |
| Pearson Chi-Square                   | 11,370  | 18 | ,632     |
| Scaled Pearson Chi-Square            | 25,000  | 18 |          |
| Log Likelihood <sup>b</sup>          | -25,624 |    |          |
| Akaike's Information Criterion (AIC) | 67,249  |    |          |
| Finite Sample Corrected AIC (AICC)   | 76,249  |    |          |
| Bayesian Information Criterion (BIC) | 77,000  |    |          |
| Consistent AIC (CAIC)                | 85,000  |    |          |

Dependent Variable: LnF12PTWPP

Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Information criteria are in small-is-better form.

b. The full log likelihood function is displayed and used in computing information criteria.

**Omnibus Test<sup>a</sup>**

| Likelihood Ratio Chi-Square | df | Sig. |
|-----------------------------|----|------|
| 22,526                      | 6  | ,001 |

Dependent Variable: LnF12PTWPP

Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Compares the fitted model against the intercept-only model.

**Parameter Estimates**

| Parameter                          | B                 | Std. Error | 95% Wald Confidence Interval |        | Hypothesis Test |    |      |
|------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------|--------|-----------------|----|------|
|                                    |                   |            | Lower                        | Upper  | Wald Chi-Square | df | Sig. |
| (Intercept)                        | 15,744            | 5,2964     | 5,364                        | 26,125 | 8,837           | 1  | ,003 |
| LnGDP_1                            | -,978             | ,4095      | -1,780                       | -,175  | 5,697           | 1  | ,017 |
| Road_PHec_1                        | -,010             | ,0039      | -,017                        | -,002  | 6,233           | 1  | ,013 |
| LnDensity_1                        | -,820             | ,3703      | -1,546                       | -,094  | 4,905           | 1  | ,027 |
| Motorcycles_1                      | ,027              | ,0053      | ,016                         | ,037   | 25,320          | 1  | ,000 |
| TotpublictransportPLKM_Pinh10000_1 | -,410             | ,4244      | -1,241                       | ,422   | ,932            | 1  | ,334 |
| TripsbyBicycle_1                   | -,132             | ,0498      | -,230                        | -,035  | 7,080           | 1  | ,008 |
| (Scale)                            | ,455 <sup>a</sup> | ,1286      | ,261                         | ,792   |                 |    |      |

Dependent Variable: LnF12PTWPP

Model: (Intercept), LnGDP\_1, Road\_PHec\_1, LnDensity\_1, Motorcycles\_1, TotpublictransportPLKM\_Pinh10000\_1, TripsbyBicycle\_1

a. Maximum likelihood estimate.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10** Αποτελέσματα μοντέλου για νεκρούς μοτοσυκλετιστές

### 5.3.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών των δευτερευόντων μοντέλων προκύπτουν ενδιαφέρουσες **παρατηρήσεις**, οι οποίες αν αναλυθούν, είναι δυνατόν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Αρχικά το μοντέλο των **απωλειών σε ατυχήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας** (Fatalities Darkness), όπως είναι φανερό λειτουργεί το ίδιο ικανοποιητικά με το βασικό μοντέλο, με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Όπως και στο βασικό μοντέλο των συνολικών απωλειών, όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές (Α.Ε.Π., πυκνότητα οδικού δικτύου, πυκνότητα πληθυσμού, μέσα μαζικής μεταφοράς και διαδρομές με ποδήλατο) έχουν αρνητικό συντελεστή, εκτός από τη μεταβλητή των μοτοσυκλετών. Αύξηση του αριθμού των μοτοσυκλετών σε μία πόλη επιφέρει μικρή αύξηση στα θύματα οδικών ατυχημάτων τη νύχτα.

Όσον αφορά τη λειτουργία του μοντέλου των **απωλειών σε οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας** (Fatalities Daylight), η μεταβλητή των μέσων μαζικής μεταφοράς (TotpublictransportPLKM) δεν αποδείχθηκε να έχει στατιστικά σημαντική επιρροή. Ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι στατιστικά σημαντικές, όπως και στο βασικό μοντέλο η μεταβλητή αυτή δεν παρουσιάζει ικανοποιητικό συντελεστή Wald. Εντούτοις οι υπόλοιποι δείκτες έχουν καλή προσαρμογή και επιδρούν στις απώλειες από οδικά ατυχήματα με τους ίδιους συντελεστές όπως και στα στις συνολικές απώλειες.

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι ίδιες μεταβλητές στο μοντέλο των **πεζών θυμάτων** οδικών ατυχημάτων (Fatalities Pedestrian). Στο συγκεκριμένο μοντέλο δεν κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές οι μεταβλητές της πυκνότητας του πληθυσμού (LnDensity) και των μέσων μαζικής μεταφοράς (TotpublictransportPLKM). Αντίθετα οι υπόλοιπες μεταβλητές συμμετέχουν στατιστικά σημαντικά σε αυτό το δευτερεύον μοντέλο. Το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π., η πυκνότητα του οδικού δικτύου (μέτρα ανά εκτάριο) και οι μετακινήσεις με ποδήλατο έχουν αρνητικό συντελεστή  $B_i$ , ενώ ο αριθμός των μοτοσυκλετών έχει θετικό συντελεστή  $B_i$  και την υψηλότερη τιμή συντελεστή Wald από τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές.

Το επόμενο δευτερεύον μοντέλο ήταν εκείνο με τα **θύματα των επιβατικών οχημάτων** (Fatalities PassCar). Όλες οι υπό εξέταση μεταβλητές προέκυψαν στατιστικά σημαντικές, όπως επίσης στο βασικό μοντέλο και στο μοντέλο των απωλειών τη νύχτα. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα επιθυμητό, αλλά και αναμενόμενο, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό θυμάτων οδικών ατυχημάτων ανήκει στην εν λόγω κατηγορία σε σύγκριση με τους ποδηλάτες και μοτοσυκλετιστές.

Έπειτα αναλύθηκαν τα αποτελέσματα για την επιρροή των μεταβλητών στις **απώλειες ποδηλατιστών** (Fatalities Bicycle). Αυτό το μοντέλο, όπως



φαίνεται και στον Πίνακα 5.11 δεν ήταν ικανοποιητικό, καθώς δύο μεταβλητές, και ο σταθερός όρος (Intercept) δεν κρίθηκαν στατιστικά σημαντικοί. Οι μεταβλητές αυτές είναι η πυκνότητα του πληθυσμού (LnDensity) και οι διαδρομές με ποδήλατο (TripsbyBicycle). Ειδικά το αποτέλεσμα σχετικά με τη δεύτερη μεταβλητή προκαλεί εντύπωση, αφού η εξαρτημένη μεταβλητή αφορά θύματα ποδηλατιστές. Αυτό ωστόσο πιθανόν να συμβαίνει λόγω του ότι στη συγκεκριμένη εξαρτημένη μεταβλητή, οι αριθμοί των θυμάτων από ποδήλατα ανά πληθυσμό είναι πολύ μικροί σε σχέση με τα υπόλοιπα μεγέθη, πράγμα που καθιστά τις στατιστικές αναλύσεις δύσκολες και μη αξιόπιστες. Σημειώνεται ότι, πέρα από την παρουσίαση του μοντέλου αυτού δεν θα αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα του σε περαιτέρω στατιστική επεξεργασία στη συνέχεια της εργασίας.

Τέλος στο μοντέλο για τις **απώλειες των μοτοσυκλετιστών** παρατηρήθηκε καλή λειτουργία με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές, εκτός από αυτή της χωρητικότητας των μέσων μαζικής μεταφοράς (TotpublictransportPLKM), που εμφάνισε μη αποδεκτή τιμή στον συντελεστή Wald. Όσο αυξάνονται οι υπόλοιπες μεταβλητές, μειώνονται τα συγκεκριμένα θύματα, εκτός από τη μεταβλητή του αριθμού των μοτοσυκλετών, που τα επηρεάζει αυξητικά, κάτι που συνέβαινε και στα προηγούμενα μοντέλα.

Οι ανώτερες παρατηρήσεις σημειώθηκαν με την παρουσίαση των πινάκων με τα αποτελέσματα των δευτερευόντων μοντέλων. Εντούτοις χρήσιμα συμπεράσματα θα προκύψουν και στην επόμενη ενότητα της εργασίας, όπου παρουσιάζονται οι αναλύσεις ελαστικότητας και ευαισθησίας.

## 5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

### 5.4.1 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ

Ο **βαθμός της επιρροής** των ανεξάρτητων μεταβλητών στην αντίστοιχη εξαρτημένη μεταβλητή των νεκρών, που περιέχεται στη μαθηματική σχέση των παραπάνω μοντέλων, εκφράζεται ποσοτικά μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού βασίστηκε στη θεωρία της **ελαστικότητας** και αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Η ελαστικότητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, που σε αντίθεση με τους συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου, δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών. Σε συνδυασμό με το πρόσημο των συντελεστών, είναι πιθανό να προσδιοριστεί αν η αύξηση κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής

επιφέρει αύξηση ή μείωση στην εξαρτημένη. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η κατά 1% μεταβολή της ανεξάρτητης.

Η σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου που αναπτύχθηκε, υπολογίστηκε σύμφωνα με τη σχέση:

$$e_i = \left( \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) * \left( \frac{X_i}{Y_i} \right) = \beta_i * \left( \frac{X_i}{Y_i} \right)$$

Ο προσδιορισμός της σχετικής επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής αποδείχθηκε η πιο απλή και κατάλληλη τεχνική, ικανή να αναδείξει την επιρροή της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, αλλά και να καταστήσει εφικτή τη σύγκριση μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

Ο υπολογισμός της σχετικής επιρροής για κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων ακολούθησε την παρακάτω διαδικασία. Στη στήλη της σχετικής επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής εφαρμόστηκε η σχέση  $e_i = \beta_i * (X_i / Y_i)$ , όπου  $\beta_i$  ο συντελεστής της εξεταζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής,  $X_i$  η τιμή της και  $Y_i$  η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Για την εξαγωγή της τιμής της σχετικής επιρροής, υπολογίστηκε ο **μέσος όρος** των ανωτέρω τιμών και διαιρέθηκε με τη μικρότερη κατ' απόλυτο τιμή.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3 του θεωρητικού υπόβαθρου η έννοια της σχετικής επιρροής έχει νόημα μόνο για συνεχείς μεταβλητές και όχι για διακριτές μεταβλητές. Στους ελέγχους ελαστικότητας δεν λήφθηκε υπόψη το μοντέλο των νεκρών ποδηλατιστών, καθώς κρίθηκε στατιστικά αναξιόπιστο. Οι ελαστικότητες  $e_i$  και οι σχετικές επιρροές  $e^*$  των ανεξαρτήτων μεταβλητών για κάθε μοντέλο φαίνονται στους επόμενους Πίνακες. Οι τιμές, που είναι κενές, αφορούν τις μεταβλητές των δευτερευόντων μοντέλων οι οποίες βγήκαν από τις αναλύσεις μη στατιστικά σημαντικές, άρα δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στους ελέγχους.

| ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ $e$         | Βασικό μοντέλο | Απώλειες τη νύχτα | Απώλειες την ημέρα | Απώλειες πεζών | Απώλειες επιβατών | Απώλειες μοτοσυκλετιστών |
|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------------|
| ΑΕΠ                      | -1,893         | -5,734            | -2,127             | -3,801         | -1,323            | -9,863                   |
| Πυκνότητα Πληθυσμού      | -0,351         | -1,393            | -1,010             |                | -0,642            | -3,278                   |
| Πυκνότητα οδικού δικτύου | -0,351         | -0,901            | -0,848             | -0,305         | -0,459            | -1,355                   |
| Μοτοσυκλέτες             | 0,293          | 0,599             | 0,360              | 0,260          | 0,361             | 0,603                    |
| Μέσα Μαζικής Μεταφοράς   | -0,170         | -0,322            |                    |                | -0,107            |                          |
| Μετακινήσεις με ποδήλατο | -0,085         | -0,150            | -0,161             | -0,069         | -0,366            | -0,612                   |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.11** Ελαστικότητα ανεξαρτήτων μεταβλητών στα μοντέλα

| ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ e*       | Βασικό μοντέλο | Απώλειες τη νύχτα | Απώλειες την ημέρα | Απώλειες πεζών | Απώλειες επιβατών | Απώλειες μοτοσυκλετιστών |
|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------------|
| ΑΕΠ                      | -22,386        | -38,273           | -13,192            | -54,907        | -12,355           | -16,358                  |
| Πυκνότητα Πληθυσμού      | -4,149         | -9,300            | -6,262             |                | -6,001            | -5,438                   |
| Πυκνότητα οδικού δικτύου | -4,149         | -6,017            | -5,259             | -4,404         | -4,292            | -2,247                   |
| Μοτοσυκλέτες             | 3,469          | 3,998             | 2,234              | 3,762          | 3,372             | 1,000                    |
| Μέσα Μαζικής Μεταφοράς   | -2,009         | -2,147            |                    |                | -1,000            |                          |
| Μετακινήσεις με ποδήλατο | -1,000         | -1,000            | -1,000             | -1,000         | -3,419            | -1,015                   |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.12** Σχετική επιρροή ανεξαρτήτων μεταβλητών στα μοντέλα

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι δυνατό να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- I. Τα **μέσα μαζικής μεταφοράς** είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, που χρησιμοποιήθηκε στους συγκεκριμένους ελέγχους για το βασικό μοντέλο και για δύο από τα δευτερεύοντα μοντέλα, αυτό των απωλειών κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς και των απωλειών επιβατών αυτοκινήτων. Στα μοντέλα αυτά η εν λόγω μεταβλητή έχει αρνητικό συντελεστή, γεγονός που δείχνει πως είναι επιθυμητό να αυξάνεται η συγκεκριμένη μεταβλητή, για να μειωθεί ο αριθμός των νεκρών στα οδικά ατυχήματα. Στα υπόλοιπα τρία δευτερεύοντα μοντέλα δεν αναλύθηκε η επιρροή της μεταβλητής αυτής.
- II. Για τις **μοτοσυκλέτες**, η επιρροή στα μοντέλα έχει παντού θετικό πρόσημο. Το γεγονός αυτό δείχνει πως μεγαλύτερος αριθμός μοτοσυκλετών ανά κάτοικο συνεπάγεται αυξημένο αριθμό απωλειών για το σύνολο, αλλά και για όλες τις κατηγορίες θυμάτων, κάτι που κρίνεται αναμενόμενο.
- III. Η μεταβλητή των **μετακινήσεων με ποδήλατο** έχει αρνητικό συντελεστή σε όλα τα μοντέλα. Περισσότερες μετακινήσεις με ποδήλατο οδηγούν σε μικρή μείωση των πεζών θυμάτων, όμως σε μεγαλύτερη μείωση στις απώλειες των μοτοσυκλετιστών. Σχεδόν σε όλα τα μοντέλα η συγκεκριμένη μεταβλητή ασκεί τη μικρότερη σχετική επιρροή σε σχέση με τις άλλες μεταβλητές.
- IV. Το **ΑΕΠ** επηρεάζει όλες τις κατηγορίες των απωλειών με αρνητικό συντελεστή. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο ΑΕΠ έχει κάποια πόλη, τόσο λιγότερες απώλειες έχει από οδικά ατυχήματα στις επιμέρους κατηγορίες που αναλύθηκαν. Φανερά αυτός ο συντελεστής είναι

μεγαλύτερος στις απώλειες των μοτοσυκλετιστών, κάτι που μπορεί να συμβαίνει, επειδή στις αστικές περιοχές με μεγαλύτερο οικονομικό επίπεδο κυκλοφορούν λιγότερες μοτοσυκλέτες.

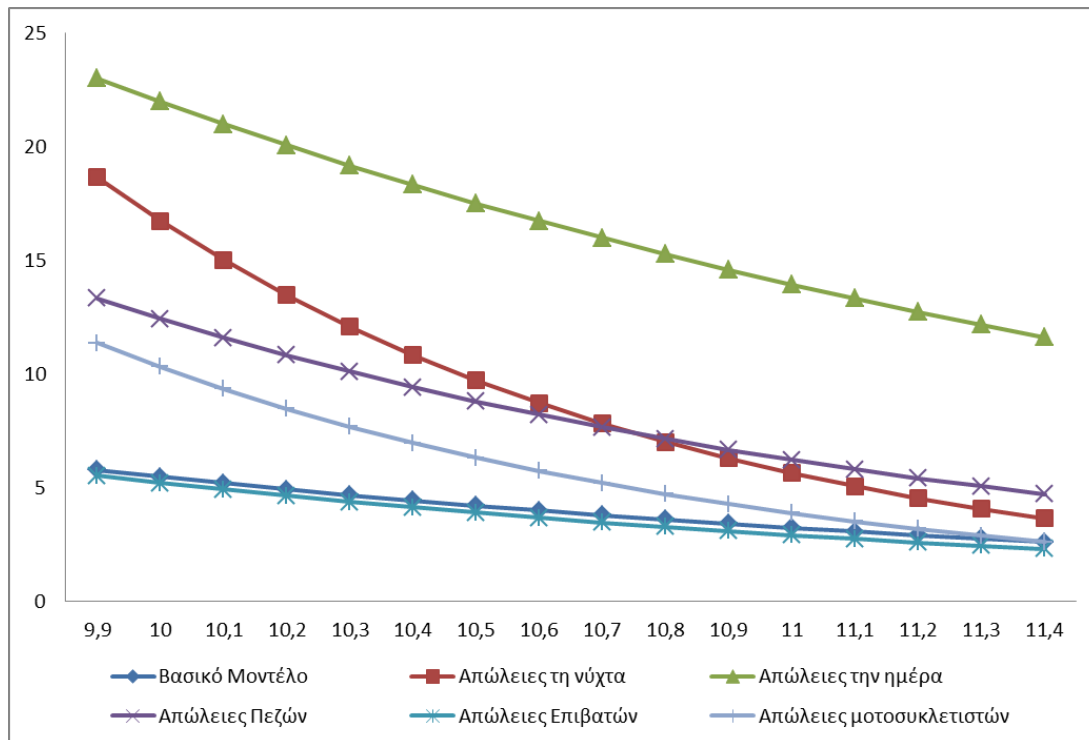
- V. Τέλος το ίδιο παρατηρείται και για τη μεταβλητή της **πυκνότητας του πληθυσμού** αλλά και του **οδικού δικτύου**. Ομοίως, οι συντελεστές των μέσων όρων της ελαστικότητας είναι αρνητικοί και, όπως και προηγουμένως, ο συντελεστής αυτός για τις απώλειες των μοτοσυκλετιστών, είναι αισθητά μεγαλύτερος. Οι σχετικές επιρροές είναι μικρότερες σε σχέση με το Α.Ε.Π., ωστόσο έχουν κι αυτές αρνητικό συντελεστή.

#### 5.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

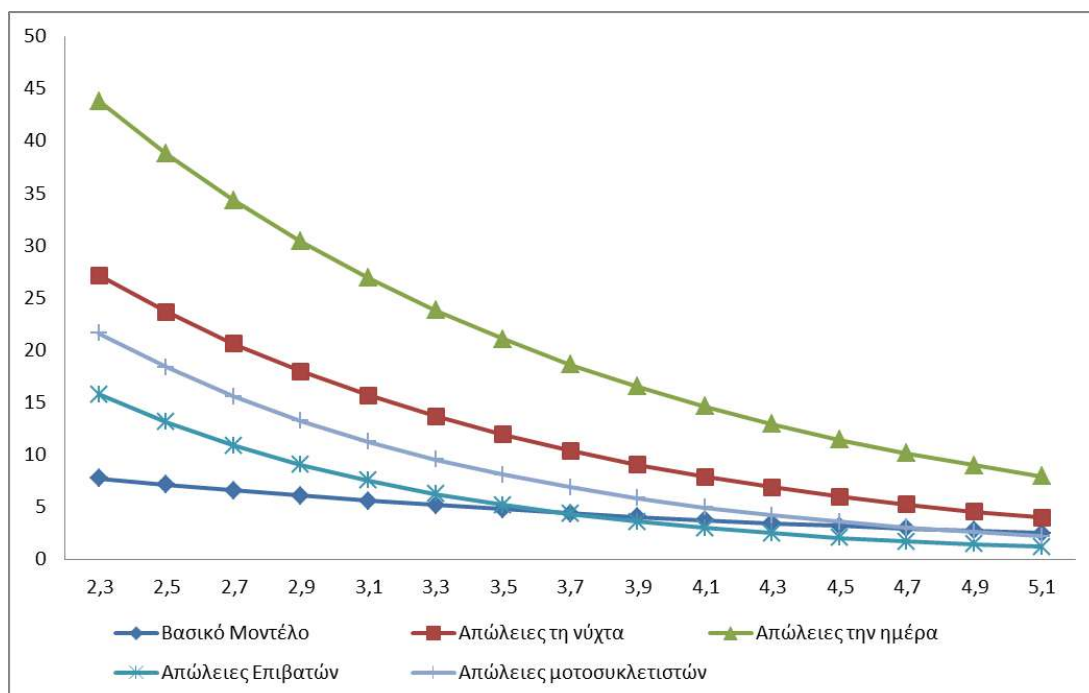
Στο παρόν σημείο παρουσιάζονται ορισμένα **διαγράμματα ευαισθησίας**, που αναπτύχθηκαν με στόχο την καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή, καθώς και τα αντίστοιχα σχόλια, που προκύπτουν από την ερμηνεία τους. Τα Διαγράμματα αυτά προκύπτουν, εάν στην τελική εξίσωση κάθε μοντέλου κρατήσουμε σταθερές τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές και ίσες με τον μέσο όρο τους, και δώσουμε διάφορες τιμές στην εξεταζόμενη ανεξάρτητη μεταβλητή. Στην περίπτωση που η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν λειτουργούσε ικανοποιητικά κατά την εξαγωγή του μοντέλου, το μοντέλο αυτό δεν συμπεριλήφθηκε στα Διαγράμματα.

Στο **Διάγραμμα 5.1** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας στα μοντέλα, όταν μεταβάλλεται μόνο το κατά κεφαλήν **Α.Ε.Π.** Παρατηρείται μείωση σε όλα τα μοντέλα των απωλειών με την αύξηση του Α.Ε.Π., ενώ λίγο μεγαλύτερη κλίση διαπιστώνεται στο μοντέλο των απωλειών τη νύχτα.

Το **Διάγραμμα 5.2** δείχνει την ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή της πυκνότητας του πληθυσμού. Όπως και πριν, όταν οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι σταθερές και μεταβάλλεται αυξητικά η **πυκνότητα του πληθυσμού** ο αριθμός των απωλειών μειώνεται. Οι απώλειες τη νύχτα και την ημέρα παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης ενώ το βασικό μοντέλο των συνολικών απωλειών έχει την ηπιότερη κλίση.



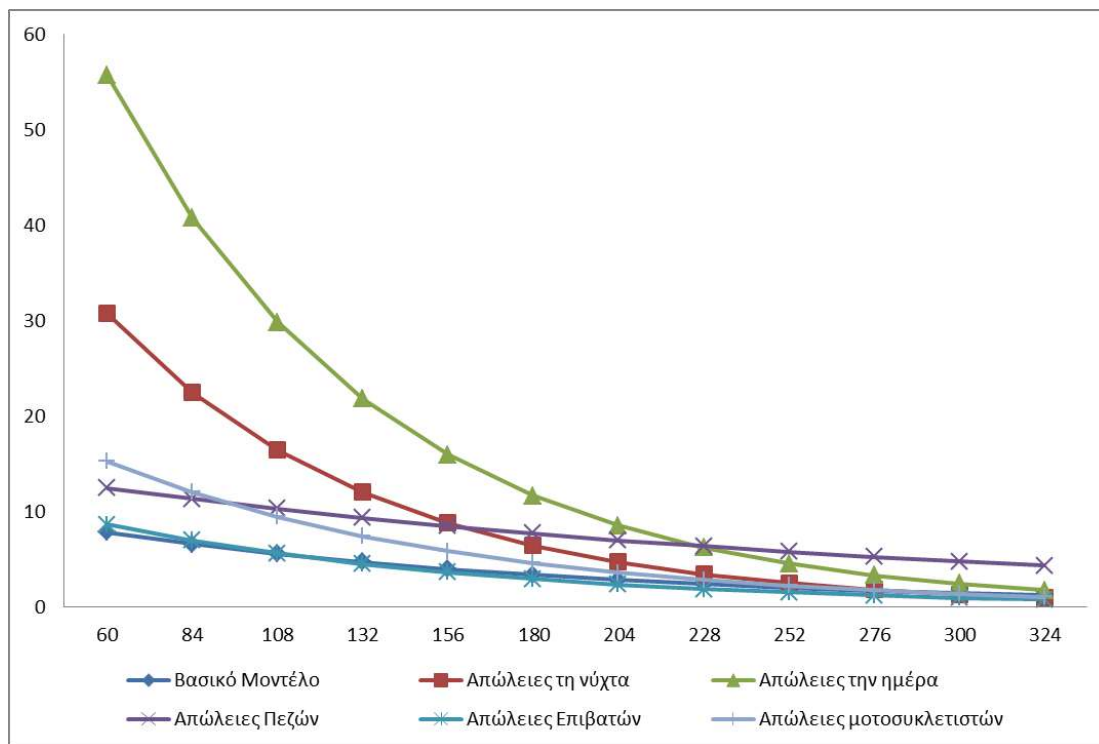
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1 Ανάλυση ευαισθησίας κατά κεφαλήν ΑΕΠ



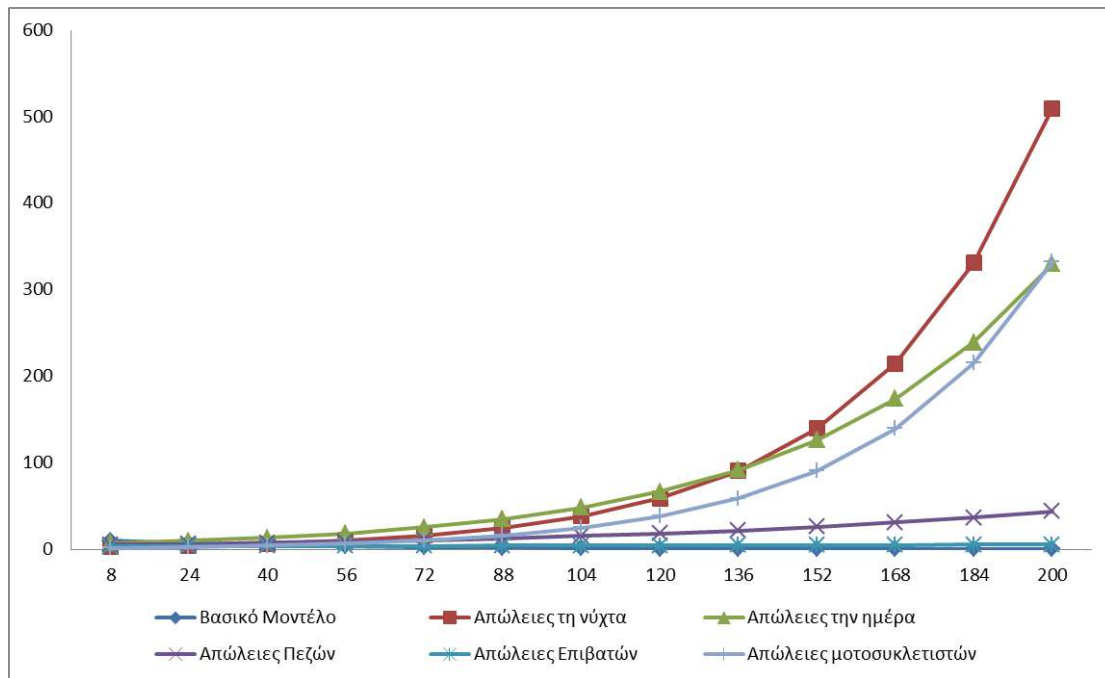
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2 Ανάλυση ευαισθησίας πυκνότητας πληθυσμού

Στα επόμενα **Διαγράμματα 5.3 και 5.4** επισημαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευαισθησίας για τη μεταβολή μόνο των παραγόντων της **πυκνότητας του οδικού δικτύου**, όταν οι άλλες μεταβλητές παραμένουν σταθερές στο πρώτο διάγραμμα και παρομοίως για τον παράγοντα των

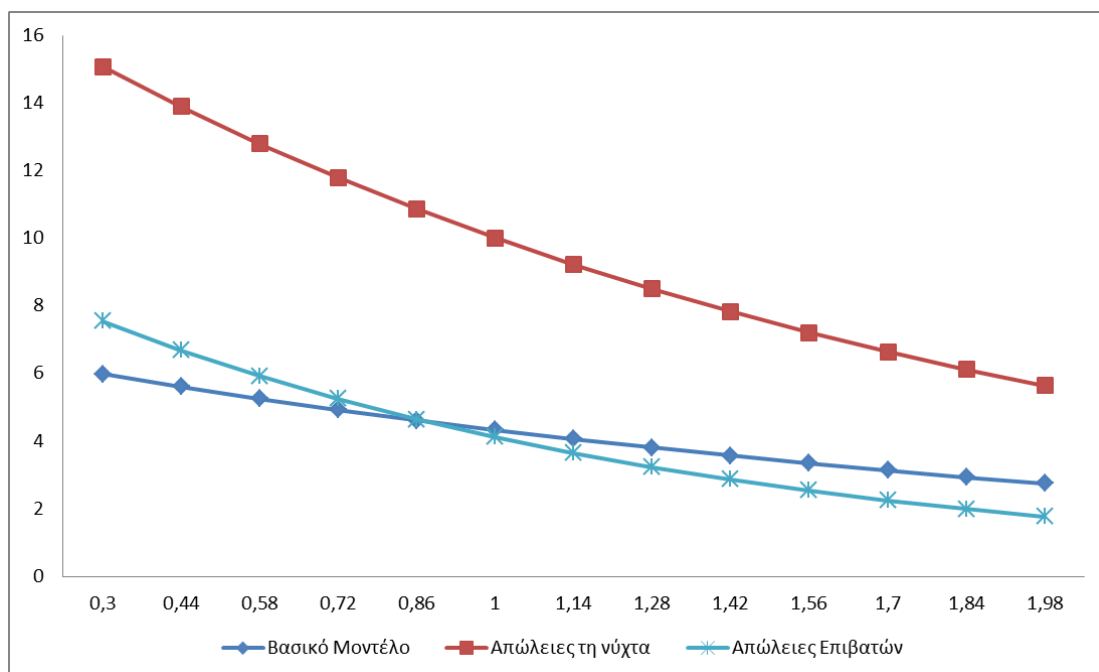
**μοτοσυκλετών** στο δεύτερο διάγραμμα. Η παρατήρηση των συγκεκριμένων διαγραμμάτων οδηγεί στη διαπίστωση ότι η αύξηση της πυκνότητας του οδικού δικτύου επιφέρει κατακόρυφη μείωση στα θύματα των οδικών ατυχημάτων, που συμβαίνουν, ιδίως την ημέρα, λόγω προφανώς των μικρότερων ταχυτήτων μετακίνησης των οχημάτων. Από την άλλη η αύξηση του αριθμού των μοτοσυκλετών ανά κάτοικο, όταν οι άλλες μεταβλητές παραμένουν σταθερές, επιφέρει αύξηση των απωλειών σε όλα τα μοντέλα, αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό στις κατηγορίες των απωλειών από οδικά ατυχήματα, που συμβαίνουν την ημέρα, τη νύχτα και των απωλειών των μοτοσυκλετιστών. Από την άλλη μικρότερη αύξηση επιφέρει στο βασικό μοντέλο, δηλαδή στις συνολικές απώλειες, όπως και στο μοντέλο για τις απώλειες των επιβατών αυτοκινήτων.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3** Ανάλυση ευαισθησίας πυκνότητας οδικού δικτύου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4 Ανάλυση ευαισθησίας αριθμού μοτοσυκλετών



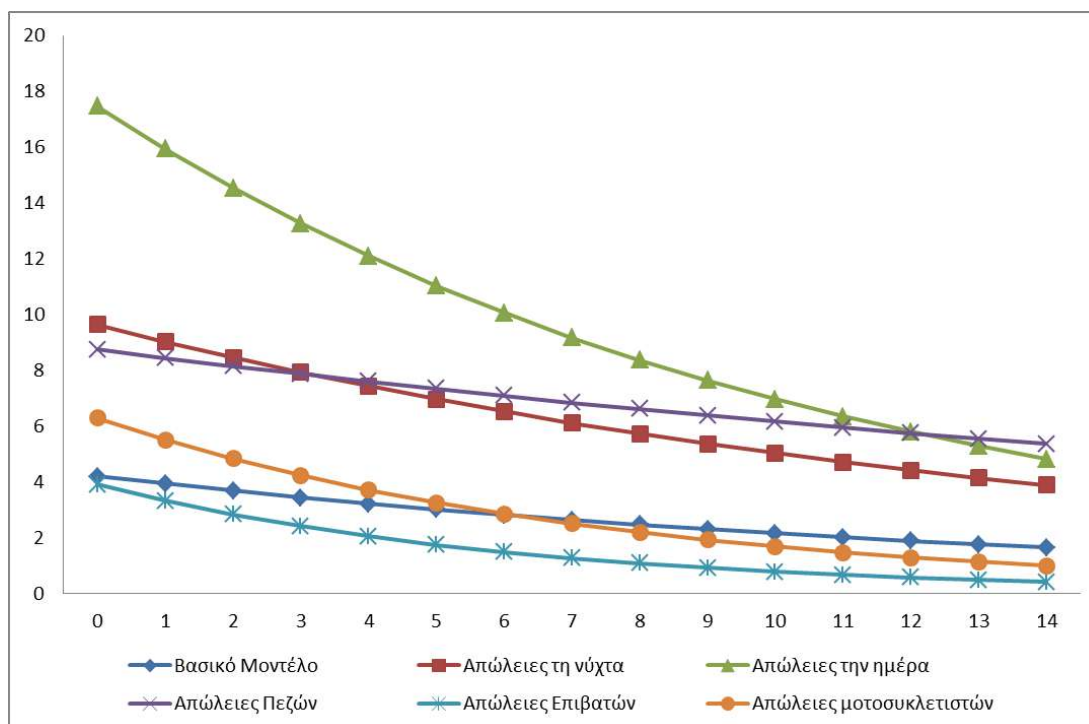
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5 Ανάλυση ευαισθησίας προσφερόμενης χωρητικότητας μέσω μαζικής μεταφοράς

Η ανάλυση ευαισθησίας της μεταβλητής για την προσφερόμενη χωρητικότητα των **μέσων μαζικής μεταφοράς** διαφαίνεται στο **Διάγραμμα 5.5** και τα συμπεράσματα, που προκύπτουν παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Στο αναφερόμενο διάγραμμα συμπεριλαμβάνονται το βασικό μοντέλο των συνολικών απωλειών, το μοντέλο των απωλειών τη νύχτα και αυτό των



απωλειών των επιβατών. Στα μοντέλα αυτά, όταν οι υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές παραμένουν σταθερές, προκύπτει μείωση του αριθμού των απωλειών, με τις απώλειες κατά τη διάρκεια της νύχτας να παρουσιάζουν κάπως εντονότερο ρυθμό μείωσης. Ωστόσο για τα υπόλοιπα μοντέλα η μεταβλητή αυτή δεν μπορούσε να ληφθεί υπόψη καθώς ήταν στατιστικά μη σημαντική.

Το τελευταίο **Διάγραμμα 5.6** αφορά στην ανάλυση ευαισθησίας που παρουσιάζει η μεταβλητή των **μετακινήσεων με ποδήλατο** στα μοντέλα που παράχθηκαν. Σε όλα τα μοντέλα, με την αύξηση της εν λόγω μεταβλητής, επέρχεται μείωση του αριθμού των θυμάτων, όταν οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμένουν σταθερές. Ο ρυθμός μείωσης στα θύματα την ημέρα είναι αισθητά μεγαλύτερος σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες θυμάτων, που παρουσιάζουν σχεδόν παρόμοιο ρυθμό μείωσης.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6** Ανάλυση ευαισθησίας μετακινήσεων με ποδήλατο

## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε **η διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας** (κατανομή στα μέσα μεταφοράς, χαρακτηριστικά δικτύου, κλπ.) **στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις**. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η επιρροή διαφόρων χαρακτηριστικών των αστικών περιοχών στον συνολικό αριθμό των θυμάτων λόγω οδικών ατυχημάτων, καθώς και σε ειδικές κατηγορίες των θυμάτων αυτών.

Μετά τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου πραγματοποιήθηκε, **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας για αστικές περιοχές στην Ευρώπη αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η **συλλογή και επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων**, που κρίθηκαν απαραίτητα για την επίτευξη του προαναφερόμενου στόχου. Η συλλογή για τα χαρακτηριστικά των πόλεων έγινε αξιοποιώντας τα δεδομένα της βάσης δεδομένων του οργανισμού **UITP**. Για τον αριθμό των θυμάτων στα οδικά ατυχήματα εντός των πόλεων τα στοιχεία λήφθηκαν από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων οδικών ατυχημάτων **CARE**.

Ακολούθησε η **στατιστική ανάλυση των στοιχείων**, με βάση τη μέθοδο των **γενικευμένων γραμμικών μοντέλων**, που επιλέχθηκε μετά τη μελέτη του θεωρητικού υπόβαθρου. Σε πρώτη φάση η ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τον συνολικό αριθμό των νεκρών στις πόλεις λόγω οδικών ατυχημάτων και ως ανεξάρτητες τα χαρακτηριστικά των πόλεων, που συλλέχθηκαν και ήταν στατιστικά σημαντικά, διαμορφώνοντας έτσι, μετά από πολλές δοκιμές **το βασικό μοντέλο**. Στη συνέχεια αναλύθηκε ο τρόπος με τον οποίον ανεξάρτητες μεταβλητές του βασικού μοντέλου, επηρεάζουν συγκεκριμένες υποκατηγορίες θυμάτων στις πόλεις, χρησιμοποιώντας αυτές τις κατηγορίες ως εξαρτημένες μεταβλητές και δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο τα **δευτερεύοντα μοντέλα**.

Τέλος, καταγράφηκαν εκτενώς τα **αποτελέσματα και η ερμηνεία** των στατιστικών αναλύσεων, όπως επίσης και οι παρατηρήσεις, που προέκυψαν

από τη σύγκριση των μοντέλων. Στον Πίνακα 6.1, που ακολουθεί παρατίθενται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μοντέλων.

|                                        | Σταθερά | Α.Ε.Π. | Πικνότητα πληθυσμού | Πικνότητα οδικού δικτύου | Μοτοσυκλίδες | Μέσα Μαζικής Μεταφοράς | Μετακινήσεις με ποδήλατο |
|----------------------------------------|---------|--------|---------------------|--------------------------|--------------|------------------------|--------------------------|
| ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ<br>(ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ) | Bi      | 11,041 | -0,526              | -0,402                   | -0,007       | 0,019                  | -0,067                   |
|                                        | WALD    | 9,265  | 3,523               | 2,507                    | 7,774        | 28,145                 | 3,872                    |
|                                        | e       |        | -1,893              | -0,351                   | -0,351       | 0,293                  | -0,085                   |
|                                        | e*      |        | -22,386             | -4,149                   | -4,149       | 3,469                  | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΗΝ ΝΥΧΤΑ                     | Bi      | 17,435 | -1,086              | -0,687                   | -0,130       | 0,027                  | -0,065                   |
|                                        | WALD    | 11,355 | 8,190               | 3,623                    | 6,032        | 16,696                 | 1,946                    |
|                                        | e       |        | -5,734              | -1,393                   | -0,901       | 0,599                  | -0,150                   |
|                                        | e*      |        | -38,273             | -9,300                   | -6,017       | 3,998                  | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ                     | Bi      | 10,878 | -0,455              | -0,611                   | -0,013       | 0,020                  | -0,092                   |
|                                        | WALD    | 10,782 | 3,510               | 7,003                    | 14,931       | 23,425                 | 9,542                    |
|                                        | e       |        | -2,127              | -1,010                   | -0,848       | 0,360                  | -0,161                   |
|                                        | e*      |        | -13,192             | -6,262                   | -5,259       | 2,234                  | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΙΕΖΩΝ                        | Bi      | 9,481  | -0,691              |                          | -0,004       | 0,011                  | -0,035                   |
|                                        | WALD    | 12,897 | 11,444              |                          | 3,857        | 17,838                 | 1,975                    |
|                                        | e       |        | -3,801              |                          | -0,305       | 0,260                  | -0,069                   |
|                                        | e*      |        | -54,907             |                          | -4,404       | 3,762                  | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ                      | Bi      | 13,124 | -0,579              | -0,928                   | -0,009       | 0,024                  | -0,864                   |
|                                        | WALD    | 10,029 | 3,270               | 10,262                   | 8,851        | 33,236                 | 6,771                    |
|                                        | e       |        | -1,323              | -0,642                   | -0,459       | 0,361                  | -0,107                   |
|                                        | e*      |        | -12,355             | -6,001                   | -4,292       | 3,372                  | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΟΔΗΛΑΤΙΣΤΩΝ                  | Bi      |        | 0,533               |                          | -0,080       | 0,010                  | -0,610                   |
|                                        | WALD    |        | 1,993               |                          | 4,786        | 4,367                  | 2,435                    |
|                                        | e       |        | 6,195               |                          | -1,286       | 4,342                  | -0,793                   |
|                                        | e*      |        | 7,809               |                          | -1,621       | 5,474                  | -1,000                   |
| ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ               | Bi      | 15,744 | -0,978              | -0,820                   | -0,010       | 0,027                  | -0,132                   |
|                                        | WALD    | 8,837  | 5,697               | 4,905                    | 6,233        | 25,320                 | 7,080                    |
|                                        | e       |        | -9,863              | -3,278                   | -1,355       | 0,603                  | -0,612                   |
|                                        | e*      |        | -16,358             | -5,438                   | -2,247       | 1,000                  | -1,015                   |

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων

## 6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν αποτελέσματα, άμεσα συνδεδεμένα με τον κύριο στόχο που τέθηκε αρχικά. Με βάση τις αναλύσεις των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των μαθηματικών μοντέλων, τα σημαντικότερα **συμπεράσματα** που προκύπτουν, είναι τα εξής:

- 1) Στον τομέα της **οδικής ασφάλειας**, η **διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας αποτελεί πολύ σημαντικό κεφάλαιο** και ειδικά εντός των ορίων των αστικών περιοχών, όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιχειρήθηκε για πρώτη φορά η ποσοτικοποίηση της σχέσης αυτής με τη χρήση αναλυτικών και συγκρίσιμων στατιστικών στοιχείων από συνδυασμό αξιόπιστων βάσεων δεδομένων.
- 2) Η προσφερόμενη χωρητικότητα των **δημόσιων συγκοινωνιών** διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο να περιοριστούν σημαντικά τα συνολικά θύματα των οδικών ατυχημάτων στις πόλεις. Όσο μεγαλύτερη η προσφερόμενη χωρητικότητα, τόσο μεγαλύτερη και η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και συνεπώς μικρότερη πιθανότητα να συμβούν οδικά ατυχήματα. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι η μεταβλητή αυτή ήταν στατιστικά σημαντική για το σύνολο του αριθμού των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων, ωστόσο δεν ήταν στατιστικά σημαντική για όλες τις επιμέρους κατηγορίες νεκρών.
- 3) Οι **μετακινήσεις με ποδήλατο** σε μία πόλη είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που συμβάλλει στη μείωση των συνολικών θυμάτων, καθώς και στις άλλες κατηγορίες οδικών ατυχημάτων, που εξετάστηκαν. Το ποδήλατο αποτελεί εναλλακτική επιλογή μετακίνησης, κυρίως για οδηγούς και επιβάτες αυτοκινήτων, αλλά και μοτοσυκλετών. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται το επίπεδο οδικής ασφάλειας στις οδούς, με την προϋπόθεση βέβαια ότι παρέχονται οι κατάλληλες υποδομές για τη χρήση του.
- 4) Όσον αφορά στον **αριθμό των μοτοσυκλετών** ανά κάτοικο, τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν πως παρουσιάζονται περισσότεροι νεκροί σε οδικά ατυχήματα, όταν αυτός ο αριθμός αυξάνεται. Οι μετακινήσεις των μοτοσυκλετιστών έχουν υψηλότερο βαθμό κινδύνου σε σύγκριση με τη μετακίνηση με επιβατικά οχήματα, γεγονός που πιθανώς εξηγεί αυτή την επιρροή.
- 5) Παρόμοιο συμπέρασμα προκύπτει και για τα στοιχεία των πόλεων, που αφορούν στην **πυκνότητα του αστικού πληθυσμού**. Καθώς

αυξάνεται η τιμή της μεταβλητής αυτής, τόσο μειώνεται η τιμή του αριθμού των νεκρών συνολικά, αλλά και στις υπόλοιπες κατηγορίες, εκτός αυτής των πεζών, όπου δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί ενδεχομένως να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στις πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις, λόγω του μεγάλου αριθμού των πολιτών και οχημάτων, που κυκλοφορούν, επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση στις οδούς. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας από τους οδηγούς, σε αντίθεση με τις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου παρατηρούνται συνήθως υψηλότερες ταχύτητες.

- 6) Αναφορικά με την **πυκνότητα του οδικού δικτύου** (μέτρα ανά εκτάριο), το συμπέρασμα που προκύπτει, είναι ότι μεγαλύτερη πυκνότητα οδικού δικτύου οδηγεί σε λιγότερα θύματα για όλες τις κατηγορίες θυμάτων. Ειδικά όμως στα θύματα οδικών ατυχημάτων την ημέρα, η μείωση αυτή είναι κατακόρυφη. Η υψηλή πυκνότητα του οδικού δικτύου είναι συνδεδεμένη με χαμηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας, άρα και καλύτερο επίπεδο οδικής ασφάλειας.
- 7) Η μεταβλητή του **Α.Ε.Π.** ανά κάτοικο της πόλης διαπιστώθηκε ότι αποτελεί τον βασικότερο μη συγκοινωνιακό παράγοντα επιρροής του αριθμού των θυμάτων, σε σύγκριση με τις άλλες εξεταζόμενες μεταβλητές και συνολικά, αλλά και σε όλες τις κατηγορίες θυμάτων των δευτερευόντων μοντέλων. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι η οικονομική ευημερία είναι συνδεδεμένη με καλύτερη κουλτούρα οδικής ασφάλειας και τις συνεπαγόμενες υψηλές επιδόσεις.
- 8) Από τις αναλύσεις των δευτερευόντων μοντέλων προέκυψε πως οι παράγοντες που, επηρεάζουν τον συνολικό αριθμό θυμάτων στην πόλη επηρεάζουν εξίσου στατιστικά σημαντικά και τον αριθμό των θυμάτων λόγω οδικών ατυχημάτων, που συνέβησαν κατά τη διάρκεια **της νύχτας**. Στα θύματα λόγω οδικών ατυχημάτων στις πόλεις που συνέβησαν κατά τη διάρκεια **της ημέρας**, δεν ασκούσε στατιστικά σημαντική επιρροή η μεταβλητή της χωρητικότητας των δημόσιων συγκοινωνιών.
- 9) Στο στάδιο της συλλογής στοιχείων παρατηρήθηκε ότι εντός των πόλεων ο μεγαλύτερος αριθμός νεκρών σε οδικά ατυχήματα ανήκει στην κατηγορία των **πεζών**. Από τη συγκριση των μοντέλων διαπιστώθηκε πως στην συγκεκριμένη κατηγορία, όπως και σ' αυτή των νεκρών **μοτοσυκλετιστών**, το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. ασκεί τον υψηλότερο βαθμό επιρροής σε σχέση με τις άλλες μεταβλητές που εξετάστηκαν.

- 10) Στις μαθηματικές αναλύσεις έγινε προσπάθεια διερεύνησης της επιρροής διαφόρων χαρακτηριστικών κινητικότητας και στις **απώλειες ποδηλατιστών** μέσα στις πόλεις. Οι διαθέσιμοι όμως αριθμοί των θυμάτων αυτών ήταν πολύ μικροί σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία, έτσι ήταν στατιστικά αδύνατη η ανάλυση αυτή.
- 11) Τα παραπάνω σχόλια οδηγούν στο **γενικό συμπέρασμα** ότι τα θύματα των οδικών ατυχημάτων στις πόλεις εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι είναι δυνατόν να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες μεταξύ τους (συγκοινωνιακοί, οικονομικοί, δημογραφικοί κλπ.). Επιπρόσθετα από τις αναλύσεις ευαισθησίας τεκμαίρεται πως αυτοί οι παράγοντες δεν ασκούν τον ίδιο βαθμό επιρροής σε όλες τις κατηγορίες θυμάτων.

### 6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων, αλλά και σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, είναι δυνατόν να διατυπωθούν οι **συνολικές προτάσεις** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, οι οποίες ενδεχομένως θα συμβάλλουν στη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας στις πόλεις της Ευρώπης.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, είναι φανερό πως τα **μέσα μαζικής μεταφοράς** συμβάλλουν θετικά στη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας στις πόλεις. Συνεπώς προτείνεται αύξηση της προσφερόμενης χωρητικότητας των δημόσιων συγκοινωνιών, με βάση κατάλληλο σχεδιασμό, που θα συμβάλλει στη διεξαγωγή ασφαλών μετακινήσεων, προσφέροντας μ' αυτό τον τρόπο εναλλακτικές επιλογές μετακίνησης στους πολίτες.

Το ίδιο ισχύει και για τις μετακινήσεις των πολιτών με **ποδήλατο**. Προτείνεται επομένως η λήψη κατάλληλων αποφάσεων και μέτρων για την προώθηση της χρήσης του μέσου αυτού. Ωστόσο, για να αυξηθούν οι μετακινήσεις με ποδήλατο, απαραίτητη είναι η διαμόρφωση κατάλληλων και ασφαλών υποδομών.

Καθοριστικό μέτρο, για τη μείωση του αριθμού των νεκρών λόγω οδικών ατυχημάτων στις πόλεις, αποτελεί η μείωση του αριθμού των **μοτοσυκλετών** και συνεπώς των μετακινήσεων των πολιτών με το μέσο αυτό. Είναι απαραίτητο να περιοριστεί ο αριθμός των μοτοσυκλετιστών, διότι όπως παρατηρήθηκε, αποτελούν, μαζί με τους πεζούς τους πιο εκτεθειμένους στον κίνδυνο χρήστες του δικτύου. Για τον λόγο αυτό, είναι επιτακτική η ανάγκη να

δοθεί προτεραιότητα στη δημιουργία ενός **ασφαλούς οδικού περιβάλλοντος** και να δοθούν κίνητρα για επιλογή εναλλακτικών μέσων μετακίνησης.

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 και, γενικότερα, στον πολεοδομικό σχεδιασμό κάθε πόλης. Ειδικά οι αστικές περιοχές που είναι πιο αραιοκατοικημένες, θα πρέπει να μεριμνήσουν, ώστε το οδικό τους δίκτυο να διαθέτει καλές υποδομές, καθώς και να λάβουν μέτρα για να διαχειριστούν τις υψηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας, που αναπτύσσονται στις περιοχές αυτές.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι ευρωπαϊκοί στόχοι για τη **βελτίωση της οδικής ασφάλειας**, απαιτείται ολοκληρωμένη προσέγγιση, με ενσωμάτωση των παραμέτρων της οδικής ασφάλειας στα σχέδια βιώσιμης αστικής κινητικότητας. Σε αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να συμβάλλει η παρακολούθηση της εξέλιξης του επιπέδου οδικής ασφάλειας στις πόλεις που εφαρμόζουν σχέδια βιώσιμης αστικής κινητικότητας και η ανταλλαγή πληροφοριών για τις επιτυχημένες πρακτικές, που θα βοηθήσουν στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος σε πόλεις, που παρουσιάζουν χαμηλότερες επιδόσεις οδικής ασφάλειας.

## 6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε μία διερεύνηση της επιρροής των χαρακτηριστικών της κινητικότητας (κατανομή στα μέσα μεταφοράς, χαρακτηριστικά δικτύου, κλπ.) στην οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκές πόλεις. Η ανάλυση αυτή θα μπορούσε να διευρυνθεί για **περαιτέρω έρευνα** στα πλαίσια που αναλύονται στη συνέχεια.

Αρκετά ενδιαφέρουσα θα ήταν η επέκταση της συγκεκριμένης εργασίας σε **περισσότερες πόλεις** στην Ευρώπη, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, προκειμένου να ελεγχθεί, εάν οι παράμετροι κινητικότητας, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ανάλυση, έχουν την ίδια επιρροή και σε άλλες πόλεις, με διαφορετικά ίσως χαρακτηριστικά. Εντούτοις, για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να αναζητηθούν επαρκή στοιχεία για τις αστικές περιοχές από αξιόπιστες βάσεις δεδομένων.

Επιπρόσθετα, η ανάλυση αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες επιμέρους κατηγορίες θυμάτων οδικών ατυχημάτων, ώστε να διαπιστωθεί πώς τα χαρακτηριστικά κινητικότητας των πόλεων επηρεάζουν αυτές τις κατηγορίες. Για παράδειγμα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση της επιρροής διαφόρων παραγόντων των πόλεων, όχι μόνο στους νεκρούς, αλλά και στους **τραυματίες**, κατηγορία που αποτελεί βασικό ζήτημα,



άρρηκτα συνδεδεμένο με θέματα οδικής ασφάλειας. Ακόμα ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ίδια διερεύνηση επιρροής, πραγματοποιούμενη σε κατηγορίες θυμάτων ανάλογα την **ηλικία** τους και το **φύλο**.

Στην παρούσα εργασία τα χαρακτηριστικά κινητικότητας των πόλεων λήφθηκαν από τη βάση της UITP. Σε επόμενη φάση θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στοιχεία των πόλεων διαφορετικού χαρακτήρα, από άλλες βάσεις δεδομένων, με στόχο τη συγκριτική ανάλυση της επιρροής τους στην οδική ασφάλεια. Τέτοια στοιχεία ενδεχομένως είναι οι επικρατούσες **καιρικές συνθήκες, ο τόπος της διεξαγωγής των ατυχημάτων, ο δείκτης σοβαρότητας ατυχήματος, η ποιότητα του οδικού δικτύου και η συμπεριφορά των χρηστών.**

Χρήσιμη θα ήταν επιπλέον η συλλογή περισσότερων δεδομένων σχετικά με τα χαρακτηριστικά των **δημόσιων συγκοινωνιών** στις πόλεις, καθώς και για περισσότερα έτη, ώστε να διερευνηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό η επιρροή τους στις υποκατηγορίες θυμάτων οδικών ατυχημάτων και να εξαχθούν χρήσιμα και αξιόπιστα συμπεράσματα.

Τα στοιχεία, που αξιοποιήθηκαν κατά την ανάλυση, αφορούσαν το έτος 2012. Η εξειδίκευση της συγκεκριμένης εργασίας, θα ήταν δυνατό να γίνει για μία **συγκεκριμένη πόλη** για κάθε χρονιά ξεχωριστά. Θα γινόταν έτσι αντιληπτό, πως οι ίδιοι παράγοντες μεταβάλλουν την επιρροή τους στον αριθμό των θυμάτων τα τελευταία χρόνια. Ακόμα θα μπορούσε να συγκριθεί η συγκεκριμένη πόλη με άλλες πόλεις ή και με τις μη αστικές περιοχές της ίδιας χώρας.

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

## **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. Chapman R.A., Number of accidents per Day and Times between Accidents. Traffic Engineering and Control.,12(2), pp.82-84, 1971
3. ERSO – European Road Safety Observatory, 2017
4. European Commission, Traffic Safety Basic Facts on Urban Areas, Directorate General for Transport, June 2018.
5. Hojati T.A., Charles P., Ferreira L., Bin Kabit M.R., An analysis of traffic incidents on an Australian Urban road network. Australian Transport Research Forum Proceedings, Adelaide, Australia., 2011
6. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), Global Burden of Disease Study 2016 (GBD 2016), 2017
7. International Transport Forum (ITF), Safer City Streets, Methodology for Developing the Database and Network, 2016
8. Mehdi Moeinaddini, Zohreh Asadi-Shekari, Zahid Sultan, Muhammad Zaly Shah, Analyzing the relationships between the number of deaths in road accidents and the work travel mode choice at the city level, Safety science-Journal-Elsevier, 2014
9. 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
10. Nelder and Wedderburn, Generalized Linear Models, 1972
11. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), ITF, Road Safety Annual Report, 2017

12. Robert Bauer, Klaus Machata, Christian Brandstaetter, George Yannis, Alexandra Laiou, Katerina Folla, Road traffic accidents in European urban areas, 1 st European Road Infrastructure Congress, 2016
13. Union Internationale des Transports Publics (UITP), Mobility in Cities Database, 2015
14. World Health Organization (WHO), Global status report on road safety, 2009
15. World Health Organization (WHO), Saving millions of lives: decade of action for road safety 2011-2020, 2011
16. Yannis G., Papadimitriou E., Evgenikos P., Cost benefit assessment of selected road safety measures in Greece, Proceedings of the 13th International Conference on Road Safety on Four Continents, Swedish National Road Administration and Transport Research Institute, Warsaw, October 2005
17. Zahavi Y., The problem of Accident Distribution. Traffic Quarterly., 16(4), pp.540-548, 1962
18. Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ. ΣΤΑΤ.), ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ, Οδικά Τροχαία Ατυχήματα: Δεκέμβριος 2017, Αθήνα Φεβρουάριος 2018
19. Ζαντήρης Ι., Συσχέτιση επιδόσεων οδικής ασφάλειας με οικονομικούς και κοινωνικούς δείκτες στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Νοέμβριος 2016
20. Ζιακόπουλος Α., Συσχέτιση κυκλοφοριακών μεγεθών με τη σοβαρότητα και την πιθανότητα οδικών ατυχημάτων, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Νοέμβριος 2013
21. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1999
22. Μέρμυγκα Μ., Πολυεπίπεδη συγκριτική ανάλυση οδικής ασφάλειας σε Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Μάιος 2014
23. Πρίσκα Ε., Μέθοδοι επιλογής μεταβλητών σε δεδομένα υψηλής διάστασης για τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών ΕΜΠ, Αθήνα, Φεβρουάριος 2014

24. Σ.Ε.Σ, Δελτίο Τύπου του Συλλόγου Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων για την Οδική Ασφάλεια στην Ελλάδα - Αθήνα, Μάρτιος 2017
25. Σπανάκης Δ., Πολυεπίπεδη διερεύνηση χαρακτηριστικών οδικών ατυχημάτων στις Ελληνικές πόλεις, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2013
26. Σταθόπουλος Α., Καρλαύτης Μ., Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2008
27. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα 2011-2020., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011
28. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ.Χ., Κυκλοφοριακή Τεχνική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009
29. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., Οδική Ασφάλεια, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994
30. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Πιτσιάβα – Λατινοπούλου Μ.Χ., Τσαμπούλας Δ.Α., Διαχείριση Κυκλοφορίας, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997
31. Φώλλα Κ., Η επιρροή της μεταβολής του Α.Ε.Π. στα οδικά ατυχήματα, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 2012
32. Χουστουλάκη Ε., Πολυεπίπεδη ανάλυση χαρακτηριστικών οδικών ατυχημάτων στις αστικές περιοχές της Ευρώπης, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2013



