



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

***Η συνδυασμένη επιρροή της οικονομικής κρίσης, της  
κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών στην οδική  
ασφάλεια στην Αθήνα***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**Ελένη Ζιάκα**

**Επιβλέποντες: Γιώργος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ  
Ματθαίος Καρλαύτης †, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ**

**Αθήνα, Ιούλιος 2014**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου, την παρούσα Διπλωματική Εργασία, για την επιστημονική του καθοδήγηση καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του καθόλη την διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω, τον αείμνηστο Ματθαίο Καρλαύτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις εύστοχες παρατηρήσεις του και τις πολύ χρήσιμες ιδέες του καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας. Παράλληλα, μου μετέδωσε το πάθος του για την επιστήμη και τον ευχαριστώ θερμά για την συνεργασία που είχαμε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Γκόλια, Καθηγητή και Κοσμήτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και την κ. Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους στην Διπλωματική μου Εργασία.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τον Υπαστυνόμο Α' της Διεύθυνσης Τροχαίας του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη, κ. Χαράλαμπο Γιαννακάκο για την άμεση ανταπόκριση και την πολύτιμη βοήθεια του στο στάδιο συλλογής των στοιχείων παραβάσεων, στο λεκανοπέδιο Αττικής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Σερμπή, Συγκοινωνιολόγο Μηχανικό του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας Αττικής για την υποστήριξη στη συλλογή των στοιχείων κυκλοφορίας. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Μαμάση, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ στον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος για την πολύτιμη βοήθεια του στο στάδιο συλλογής των μετεωρολογικών στοιχείων και τον κ. Παναγιώτη Παπαντωνίου, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για τη βοήθεια του στην αναζήτηση στοιχείων οδικών ατυχημάτων στη βάση δεδομένων Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α του ΕΜΠ.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και αγάπη που μου προσφέρουν πάντα. Τέλος, ευχαριστώ πολύ, τους φίλους μου για τις ξεχωριστές στιγμές που περάσαμε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

**Ελένη Ζιάκα**

Η ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ, ΤΗΣ  
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ  
ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

Ελένη Ζιάκα

Επιβλέποντες: Γιώργος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ματθαίος Καρλαύτης †, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΕΜΠ

Σύνοψη:

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η συνδυαστική μακροσκοπική διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών, των κυκλοφοριακών μεγεθών και της οικονομικής κρίσης στους παθόντες από τα οδικά ατυχήματα, στην Αθήνα. Για την επίτευξη του στόχου αυτού συλλέχθηκαν στοιχεία σε μηνιαία βάση για την περίοδο 2006-2011 στο λεκανοπέδιο Αττικής για τους παθόντες στα οδικά ατυχήματα (σύνολο μοτοσικλετιστών, πεζοί) για τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία, για τον κυκλοφοριακό φόρτο και την ταχύτητα σε επιλεγμένους άξονες και για τις παραβάσεις της Τρχοαίας (χρήση ζώνης, κράνους, οδήγησης υπό την επήρεια αλκοόλ και ταχύτητας) και ανπτύχθηκαν έξι μοντέλα λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Από την εφαρμογή των μοντέλων προέκυψε στατιστικά σημαντική επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου σε όλα τα μοντέλα και της ταχύτητας μόνο στα μοντέλα των σοβαρά τραυματιών και νεκρών. Επίσης καταδείχθηκε ότι με αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της βροχόπτωσης αυξάνονται οι παθόντες και κυρίως οι βαριά τραυματίες και οι νεκροί. Επιπλέον, βρέθηκε στατιστικά σημαντική επιρροή των παραβάσεων ταχύτητας και οδήγησης υπό την επήρεια αλκοόλ. Τέλος, φάνηκε μία καθαρή τάση μείωσης των παθόντων στα ατυχήματα κατά την περίοδο της οικονομικής κρίσης.

Λέξεις κλειδιά: οδικά ατυχήματα, οδική ασφάλεια, κυκλοφοριακά μεγέθη, καιρικές συνθήκες, οικονομική κρίση, λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση

# THE COMBINED EFFECT OF ECONOMIC CRISIS, TRAFFIC AND WEATHER CONDITONS ON ROAD SAFETY IN ATHENS

Eleni Ziaka

Supervisors: George Yannis, Associate Proffessor N.T.U.A.

Matthew Karlaftis†, Associate Professor N.T.U.A.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to macroscopically investigate the effect of weather conditions, traffic characteristics and economic crisis to the victims of road accidents in Athens. In order to achieve this, data was collected on a monthly basis for the period 2006-2011 in Attica for victims in road accidents (motorcyclists & pedestrians) including rainfall and temperature, traffic volume and speed in selected arterials and police reports (use of seatbelt and helmet, driving under the influence of alcohol and speed limit violations) and six lognormal regression models were developed. Results show that congestion is statistically significant in every model and speed is statistically significant only in models with severely wounded and dead. Also, it is seen that an increase in temperature and decrease in rainfall increases the victims and especially the seriously injured and the dead. Moreover, influence of speed limit violations and driving under the influence of alcohol is statistically significant. Finally, it is seen that there is a reducing trend in casualties during the economic crisis.

Key Words: roads accidents, road safety, traffic characteristics, weather conditions, economic crisis, lognormal regression

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η συσχέτιση των σοβαρά – νεκρών τραυματιών και των ελαφρά τραυματιών με τις καιρικές συνθήκες όπως βροχόπτωση και θερμοκρασία, με τα κυκλοφοριακά μεγέθη όπως η ταχύτητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος, με τις παραβάσεις όπως η χρήση ζώνης ασφαλείας, η χρήση κράνους, η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και οι παραβάσεις ταχύτητας και η οικονομική κρίση. Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε αξιοποιώντας τα σχετικά μηνιαία στοιχεία για το **Λεκανοπέδιο της Αττικής για την περίοδο 2006-2011**.

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη γενική ανάλυση των στοιχείων, **συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία από διάφορες πηγές**. Πιο συγκεκριμένα, για τα επιλέχθηκε στοιχεία οδικών ατυχημάτων αξιοποιήθηκε η βάση δεδομένων του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, τα οποία συλλέγονται μέσω των Δελτίων Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) από την Τροχαία και κωδικοποιούνται από την ΕΛ.ΣΤΑΤ. Τα στοιχεία που αφορούν στις παραβάσεις προέρχονται από τα αρχεία της Διεύθυνσης Τροχαίας του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη. Τα στοιχεία που αφορούν στις μετεωρολογικές συνθήκες προέρχονται από τις σχετικές βάσεις δεδομένων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και ειδικότερα του Τομέα Υδατικών Πόρων και συλλέγονται από κατάλληλα εγκατεστημένους σταθμούς καταγραφής στο λεκανοπέδιο. Και τέλος τα στοιχεία για τα κυκλοφοριακά μεγέθη σε επιλεγμένους άξονες του λεκανοπεδίου συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής.

Για τη στατιστική επεξεργασία των στοιχείων καθώς και την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων σε ότι αφορά στους αριθμούς των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών, των ελαφρά τραυματιών πεζών και των συνολικά ελαφρά τραυματιών καθώς και των σοβαρά – νεκρών τραυματιών μοτοσικλετιστών, των σοβαρά – νεκρών τραυματιών πεζών και των συνολικά σοβαρά – νεκρών τραυματιών **επιλέχθηκε η μέθοδος της πολλαπλής λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**. Επίσης κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε και μια σειρά από ψευδομεταβλητές, που είχαν ως σκοπό να περιγράψουν την επίδραση των εποχικών παραγόντων (μήνας, έτος) στο υπό εξέταση φαινόμενο. Επιπλέον, οι παραβάσεις συσχετίστηκαν με τους παθόντες μέσω χρονικής υστέρησης κατά ένα μήνα.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψαν τα τελικά μαθηματικά μοντέλα που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεταβλητών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Έχουν απομονωθεί τα πρόσημα των συντελεστών κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής, δίνοντας έτσι μια **πιο άμεση ποιοτική εκτίμηση της επιρροής** κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εκάστοτε εξαρτημένη. Τα αποτελέσματα της παρακάτω ανάλυσης οδήγησαν σε μια σειρά συμπερασμάτων όπως εκείνα που παρουσιάζονται στο επόμενο εδάφιο.

Εξαρτημένες Μεταβλητές	Λογάριθμος ελαφρά τραυματιών στο σύνολό τους	Λογάριθμος σοβαρά τραυματιών - νεκρών στο σύνολό τους	Λογάριθμος ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών	Λογάριθμος σοβαρά τραυματιών - νεκρών μοτοσικλετιστών	Λογάριθμος ελαφρά τραυματιών πεζών	Λογάριθμος σοβαρά τραυματιών - νεκρών πεζών
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο
Κυκλοφοριακός φόρτος	+	+	+	+	+	+
Ταχύτητα		+		+		+
Μη χρήση ζώνης ασφαλείας						
Μη χρήση κράνους						
Παραβάσεις ταχύτητας	+	-			-	-
Μέθη		-		-	+	
Βροχόπτωση	-				-	
Θερμοκρασία		+	+	+	-	+
Φόρτος*Ταχύτητα	-	-	-	-	-	-
Τραυματίες μετά την κρίση ( ας )			-			-

Πίνακας 6.1 : Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στις εξαρτημένες

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν αποτελέσματα σχετιζόμενα άμεσα με τους στόχους που τέθηκαν. Στο υποκεφάλαιο αυτό, επιχειρείται να δοθεί μια απάντηση στα συνολικά ερωτήματα της έρευνας με σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- ❖ Για πρώτη φορά στην Ελλάδα επιχειρείται η **μακροσκοπική συσχέτιση του αριθμού των παθόντων στα οδικά ατυχήματα** με τις παραβάσεις με χρονική υστέρηση κατά ένα μήνα. Η στατιστική ανάλυση των εξαρτημένων μεταβλητών αποφασίστηκε με τη μέθοδο της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Η μέθοδος αυτή αποδείχθηκε εκ του αποτελέσματος κατάλληλη καθώς έγινε προσπάθεια ανάλυσης με την γραμμική παλινδρόμηση αλλά δεν οδήγησε σε αποτελέσματα. Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση προσεγγίζει καλύτερα τις εξεταζόμενες μεταβλητές και αυτό επιβεβαιώνεται άμεσα από τους συντελεστές συσχέτισης καθώς και από τους συντελεστές Durbin-Watson.
- ❖ Η **χρήση των ψευδομεταβλητών** που αναφέρονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (μήνες, έτη) αλλά και σε συγκεκριμένες υποκατηγορίες (υποκατηγορίες παραβάσεων, ταχύτητας, θερμοκρασίας, βροχόπτωσης) φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Μάλιστα, η τεχνική αυτή ενδείκνυται για την προσέγγιση του παράγοντα εποχικότητας αλλά και της έλλειψης επιπλέον μεταβλητών. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από το γεγονός ότι αρκετές από τις χρησιμοποιηθείσες ψευδομεταβλητές αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές.
- ❖ Με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών μοντέλων η γενική εικόνα που παρουσιάζουν οι αριθμοί των παθόντων καταδεικνύει εν γένει ότι **αύξηση του κυκλοφοριακού φόρου προκαλεί αύξηση του αριθμού των παθόντων** τόσο σε πεζούς όσο και στους μοτοσικλετιστές αλλά και γενικά στο σύνολο των παθόντων. Το αποτέλεσμα αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου οδηγεί σε αύξηση των πιθανών εμπλοκών και των συνεπαγόμενων ατυχημάτων, το οποίο συμφωνεί και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

- ❖ Σημαντική είναι και η επιρροή της ταχύτητας καθώς **με αύξηση της ταχύτητας αυξάνονται οι σοβαρά παθόντες** (σοβαρά τραυματίες–νεκροί) μοτοσικλετιστές, πεζοί αλλά και στο σύνολο τους, όχι όμως και οι ελαφρά τραυματίες. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται πιθανώς στην επιρροή της ταχύτητας στη σφοδρότητα της σύγκρουσης και τη συνεπαγόμενη αύξηση της σοβαρότητας του ατυχήματος, όπως άλλωστε επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία.
  
- ❖ Αξιοσημείωτη στο υπό εξέταση φαινόμενο είναι και η επιρροή των μετεωρολογικών φαινομένων. Όσον αφορά στη βροχόπτωση, **η αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του συνολικού αριθμού των ελαφρά τραυματιών** αλλά και οι ελαφρά τραυματιών πεζών. Ενδεχομένως, όταν βρέχει οι οδηγοί αντισταθμίζουν τις συσκολίες και είναι πιο προσεκτικοί και μειώνουν την ταχύτητα τους με αποτέλεσμα να μειώνονται οι τραυματισμοί.
  
- ❖ Ταυτόχρονα, **η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση των συνολικά σοβαρά τραυματιών – νεκρών**, των ελαφρά και σοβαρά παθόντων μοτοσικλετιστών και των πεζών. Το γεγονός αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, αυξάνεται η κυκλοφορία των χρηστών της οδού και επίσης αυξάνονται και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες, σφοδρότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.
  
- ❖ Οι παραβάσεις ταχύτητας έχουν αρνητικό πρόσημο στους συνολικά σοβαρά τραυματίες, στους ελαφρά τραυματίες πεζούς και στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς πεζούς που σημαίνει **πως με αύξηση των ελέγχων ορίων ταχύτητας μειώνονται οι τραυματίες** στις αντίστοιχες κατηγορίες που αναφέραμε παραπάνω, με χρονική υστέρηση κατά ένα μήνα.
  
- ❖ Οι παραβάσεις μέθης έχουν αρνητικό πρόσημο στους συνολικά σοβαρά τραυματίες – νεκρούς και στους σοβαρά τραυματίες μοτοσικλετιστές. Δηλαδή, **με αύξηση των ελέγχων μέθης διαπιστώνεται μείωση στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς** και μάλιστα με χρονική υστέρηση κατά ένα μήνα. Το γεγονός αυτό, πιθανότατα οφείλεται στη συμμόρφωση των οδηγών με τα όρια αλκοόλ κατά την οδήγηση, καθώς όταν αρχίζουν να αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει εντατικοποίηση της αστυνόμευσης στους ελέγχους ορίων μέθης, γίνονται πιο προσεκτικοί με το αλκοόλ.



- ❖ Οι κατηγορίες σχετικά με τις παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας και τις παραβάσεις μη χρήσης κράνους δεν είναι στατιστικά σημαντικές σε κανένα μοντέλο. Αντιθέτως, στατιστικά σημαντικές είναι ορισμένες υποκατηγορίες ψευδομεταβλητών των παραπάνω παραβάσεων. Η ψευδομεταβλητή παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας 1.000- 3.000 (z2) έχει θετικό πρόσημο στους συνολικά ελαφρά τραυματίες, δηλαδή όσο αυξάνονται οι παραβάσεις αυξάνεται και το σύνολο των ελαφρά τραυματιών. Ενώ, η ψευδομεταβλητή παραβάσεις > 3.000 (z3) έχει αρνητικό πρόσημο που υποδηλώνει ότι **με αύξηση των ελέγχων για την χρήση ζώνης ασφαλείας μειώνονται οι συνολικά σοβαρά τραυματίες – νεκροί** με χρονική καθυστέρηση ένα μήνα. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τις ψευδομεταβλητές k2 ( παραβάσεις μη χρήσης κράνους 1.000-3.000) και k3 (παραβάσεις μη χρήσης κράνους > 3.000) που έχουν αρνητικό πρόσημο στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς μοτοσικλετιστές. Αυτό, ίσως επιβεβαιώνει πως οι οδηγοί συμμορφώνονται σταδιακά στην καλύτερη οδήγηση όταν αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει εντατικοποίηση της αστυνόμευσης.
  
- ❖ **Κατά τη διάρκεια της μεγάλης οικονομικής κρίση παρατηρείται μείωση στους σοβαρά τραυματίες** πεζούς και στους ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι λόγω της οικονομικής κρίσης, οι μετακινήσεις αναψυχής έχουν μειωθεί και γενικότερα έχει καταγραφεί μείωση των οχηματοχιλιομέτρων. Επιπλέον, οι αυξημένες τιμές καυσίμων επιβάλλουν μία πιο οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική οδήγηση με χαμηλότερες ταχύτητες. Παράλληλα, η οικονομική κρίση πλήττει τους οικονομικά ασθενέστερους (λιγότεροι νέοι, άπειροι και ηλικιωμένοι οδηγοί) με αποτέλεσμα την λιγότερο επικίνδυνη οδήγηση.
  
- ❖ Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι **η γενίκευση των αποτελεσμάτων** της συγκεκριμένης έρευνας θα πρέπει να επιχειρηθεί με ιδιαίτερη προσοχή και υπό αυστηρές προϋποθέσεις. Αυτό, διότι διαφορετικές πόλεις (ή και χώρες) εμφανίζουν διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά (θερμοκρασίες, ύψη βροχόπτωσης κ.λπ.), όπως και οι κάτοικοι (χρήστες της οδούς) μιας χώρας (ή ακόμη και τμημάτων εντός της ίδιας χώρας) μπορεί να εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και αναφορικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες αλλά και γενικά στις προτεραιότητες που ακολουθεί κάθε χώρα για την οδική ασφάλεια.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	6
1.3 Μεθοδολογία.....	7
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	9

## 2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γενικά.....	1
2.2 Συναφείς Έρευνες.....	1
2.2.1 Η επιρροή των καιρικών συνθηκών στα ατυχήματα.....	1
2.2.2 Η επιρροή των κυκλοφοριακών μεγεθών στα ατυχήματα.....	5
2.2.3 Η επιρροή των παραβάσεων και της χρονικής υστέρησης αυτών στα ατυχήματα.....	9
2.3 Σύνοψη – Κριτική Αξιολόγηση.....	11

## 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Γενικά.....	1
3.2 Βασικές Στατιστικές Έννοιες.....	2
3.3 Συσχέτιση Μεταβλητών – Συντελεστής Συσχέτισης.....	4
3.4 Βασικές Κατανομές.....	5
3.4.1 Κανονική Κατανομή.....	5
3.4.2 Κατανομή Poisson.....	5
3.4.3 Αρνητική Διωνυμική.....	6
3.5 Μαθηματικά Πρότυπα.....	7
3.5.1 Γραμμική Παλινδρόμηση.....	7
3.5.1.1 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων.....	9

3.5.1.2 Υποθέσεις Γραμμικής Παλινδρόμησης – Ανάλυση Σφαλμάτων.....	10
3.6 Η Τεχνική των Ψευδομεταβλητών.....	13
3.6.1 Διαχρονικές Επιδράσεις.....	13
3.6.2 Εποχικές Επιδράσεις.....	17
3.7 Αυτοσυσχέτιση και Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα.....	18
3.7.1. Η έννοια της Αυτοσυσχέτισης.....	18
3.7.2 Συνέπειες της Αυτοσυσχέτισης Ελέγχοι και Αντιμετώπιση.....	19
3.7.3 Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα.....	20
3.8 Στατιστική Αξιολόγηση και κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	20
3.9 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση.....	23
3.10 Λειτουργία του Εδικού Στατιστικού Λογισμικού.....	24

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

4.1 Εισαγωγή.....	1
4.2 Είδος Εξεταζόμενων Στοιχείων.....	1
4.3 Πηγές και διαδικασία καταγραφής στοιχείων.....	2
4.3.1 Μετεωρολογικά Στοιχεία.....	2
4.3.2 Στοιχεία Ατυχημάτων.....	4
4.3.3 Στοιχεία Παραβάσεων.....	11
4.3.4. Κυκλοφοριακά στοιχεία.....	11
4.4 Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία.....	15
4.5 Επεξεργασία Στοιχείων με το Ειδικό Λογισμικό.....	19

#### **5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

5.1 Γενικά.....	1
5.2. Ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων.....	4
5.2.1. Μοντέλο ελαφρά τραυματιών στο σύνολο τους.....	4
5.2.1.1 Δεδομένα εισόδου – Καθορισμός μεταβλητών.....	4

5.2.1.2 Παραγωγή Περιγραφικής Στατιστικής.....	7
5.2.1.3 Συσχέτιση Μεταβλητών.....	7
5.2.1.4 Επιλογή της μεθόδου παλινδρόμησης – Παρουσίαση αποτελεσμάτων μοντέλου.....	10
5.2.1.5 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	14
5.2.2. Μοντέλο σοβαρά τραυματιών - νεκροί στο σύνολό τους.....	15
5.2.2.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	18
5.2.3. Μοντέλο ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών.....	19
5.2.3.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	22
5.2.4. Μοντέλο σοβαρά τραυματιών – νεκρών μοτοσικλετιστών.....	23
5.2.4.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	26
5.2.5. Μοντέλο ελαφρά τραυματιών πεζών.....	27
5.2.5.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	30
5.2.6. Μοντέλο σοβαρά τραυματιών –νεκρών πεζών.....	31
5.2.6.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου.....	34
5.3. Σύγκριση Μοντέλων.....	35

## **6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	1
6.2 Συνολικά Αποτελέσματα.....	3
6.3 Προτάσεις Βελτίωσης για την οδική ασφάλεια.....	6
6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	7

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Η οδική ασφάλεια θεωρείται για κάθε χώρα, ένα μείζονος σημασίας ζήτημα δεδομένου ότι έχει ιδιαίτερα σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις. Αναμφισβήτητα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του σύγχρονου κόσμου και έχει συγκεντρώσει τα βλέμματα πολλών μελετητών σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες. Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις την οποία επιβάλλει πλέον ο σύγχρονος τρόπος ζωής και οι ανάγκες που διαμορφώνει η κοινή ευρωπαϊκή και παγκόσμια αγορά, συνοδεύεται, δυστυχώς, και από βαρύτατες κοινωνικές συνέπειες οι οποίες εκφράζονται με την απώλεια πολλών συνανθρώπων και το βαρύτατο τραυματισμό άλλων. Το θέμα της οδικής ασφάλειας είναι πολύπλοκο και δύσκολο να διευθετηθεί διότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι βασικότεροι κατά σειρά αυξανόμενης σπουδαιότητας είναι οι εξής:

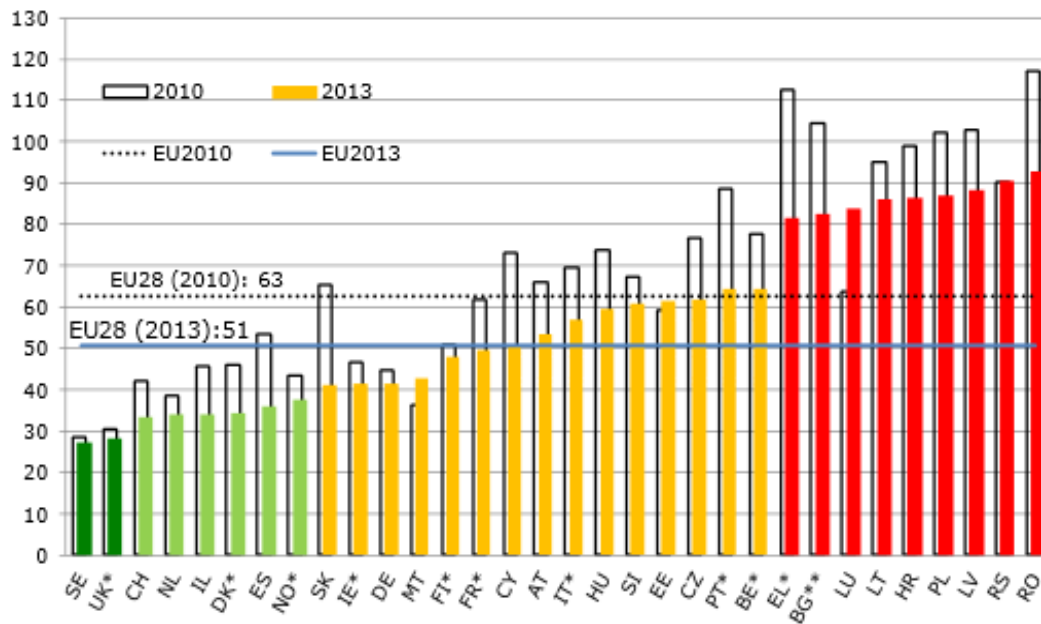
- Το όχημα
- Το οδικό περιβάλλον
- Η συμπεριφορά του χρήστη της οδού

Στις περισσότερες περιπτώσεις δύο ή και οι τρεις από τους παραπάνω παράγοντες συμβάλλουν στο ατύχημα. Ωστόσο διάφορες έρευνες ατυχημάτων δείχνουν ότι ο χρήστης της οδού μόνος ή σε συνδυασμό με τους άλλους δύο παράγοντες αποτελεί την κύρια αιτία των οδικών ατυχημάτων ως τυχαίος και απρόβλεπτος παράγοντας.

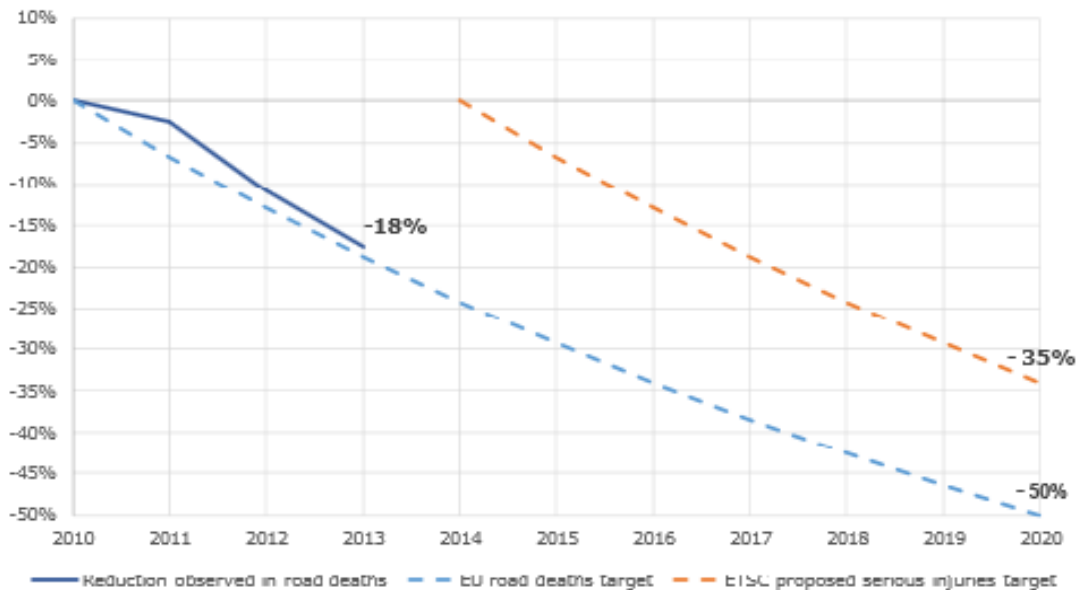
Τα οδικά ατυχήματα έχουν καταστεί η κύρια αιτία θανάτου στις νεαρές ηλικίες (15 έως 29 έτη) και αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό ατυχημάτων στις μεταφορές γενικότερα (United Nations, 2011). Η Ελλάδα υστερεί σημαντικά ανάμεσα στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου η πιθανότητα θανάτου των νέων είναι τετραπλάσια της αντίστοιχης πιθανότητας στη Σουηδία. (Διάγραμμα 1.1)

Στην Ελλάδα, το έτος 2013 υπήρξαν 874 νεκροί, 1.303 βαριά τραυματίες και 13.509 ελαφρά τραυματίες σε 12.231 συνολικά ατυχήματα (ΕΛΣΤΑΤ). Το μεγάλο οικονομικό, κοινωνικό και ψυχικό κόστος καθιστά τα οδικά ατυχήματα ως ζήτημα το οποίο χρήζει άμεσης αντιμετώπισης και εύλογα βρίσκεται στις άμεσες προτεραιότητες χωρών στην Ευρώπη αλλά και παγκοσμίως. Στο πλαίσιο αυτό, έχει αρχίσει από το 2001, από τα 25 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ένα μεγαλεπήβολο σχέδιο με σκοπό τη μείωση των θανάτων από τα οδικά ατυχήματα. Ο αρχικός στόχος ήταν η μείωση, έως το 2010, κατά 50% των νεκρών των οδικών ατυχημάτων. Οι στόχοι που είχαν τεθεί για το έτος 2010 δεν επετεύχθησαν πλήρως, και εμφανίζονται στο [διάγραμμα 1.2](#).

Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες που δεν πέτυχαν πλήρως τον στόχο, παρουσιάζοντας μείωση μόνο 32% (ETSC, 2011).

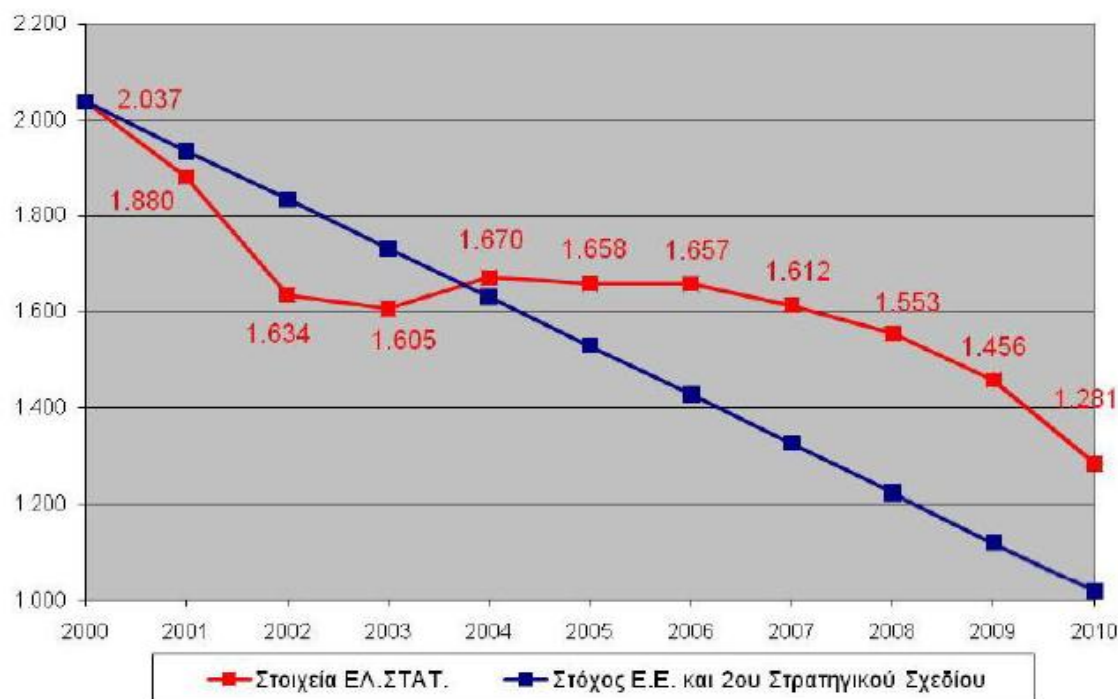


Διάγραμμα 1.1: Θάνατοι από οδικά ατυχήματα νέων ανά εκατομμύριο νέων κατοίκων και μη νέων ανά εκατομμύριο μη νέων κατοίκων για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πηγή: ESTC, 2013.



Διάγραμμα 1.2: Θάνατοι από οδικά ατυχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2013)

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με την πάροδο των ετών παρατηρείται μια πτωτική τάση στους αριθμούς των οδικών ατυχημάτων και των αντίστοιχων θυμάτων, όπως φαίνεται και στο [διάγραμμα 1.3](#). Ενδεχομένως όμως αυτή η τάση να οφείλεται στην επιρροή της τρέχουσας οικονομικής κρίσης παρά σε βελτίωση της οδικής ασφάλειας, γεγονός που σημαίνει ότι σε καιρούς οικονομικής ανάκαμψης τα ατυχήματα και τα θύματα σε αυτά ίσως αυξηθούν ξανά. Είναι απαραίτητο συνεπώς να υπάρχει καλή γνώση των αιτίων των οδικών ατυχημάτων ώστε η αντιμετώπισή τους να έχει τα ζητούμενα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 1.3: Εξέλιξη αριθμού νεκρών στα οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα 2000-2010 και ο στόχος της Ε.Ε για την ίδια περίοδο. Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., ETSC, 2011. Επεξεργασία: Τ.Μ.Σ.Υ/Ε.Μ.Π

Οι Ευρωπαϊκές πολιτικές κατευθύνσεις για την οδική ασφάλεια έως το 2020 αποβλέπουν στην δημιουργία γενικού πλαισίου διαχείρισης και ελκυστικούς στόχους που θα μπορούσαν να κατευθύνουν τις εθνικές ή τοπικές στρατηγικές. Στο πλαίσιο των εν λόγω πολιτικών κατευθύνσεων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί ότι πρέπει να αναληφθούν κατά προτεραιότητα οι τρεις ακόλουθες δράσεις :

- Θέσπιση ενός διαρθρωμένου και συνεκτικού πλαισίου συνεργασίας το οποίο θα βασίζεται στις βέλτιστες πρακτικές στα κράτη μέλη, ως αναγκαία προϋπόθεση για την αποτελεσματική εφαρμογή των πολιτικών κατευθύνσεων για την οδική ασφάλεια 2011 – 2020.
- Στρατηγική για τους τραυματισμούς και τις πρώτες βοήθειες για την αντιμετώπιση της επείγουσας και συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης μείωσης του αριθμού των τραυματισμών σε τροχαία δυστυχήματα.
- Βελτίωση της ασφάλειας των ευάλωτων οδικών χρηστών, και ειδικότερα των μοτοσικλετιστών για τους οποίους τα στατιστικά στοιχεία σχετικά με τα δυστυχήματα είναι ιδιαίτερα ανησυχητικά.

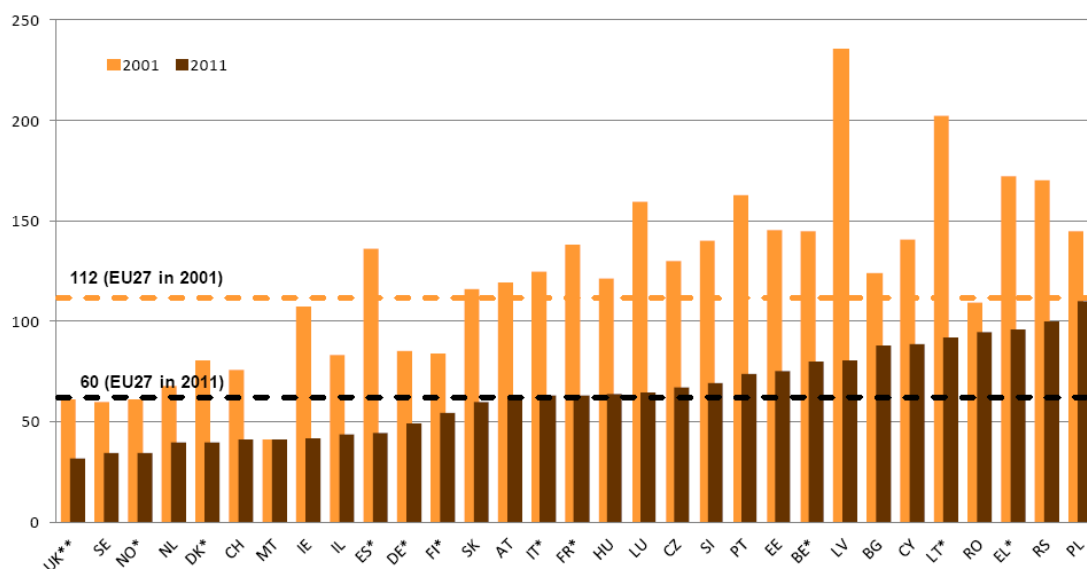
Το πρώτο Στρατηγικό Σχέδιο για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα εκπονήθηκε την περίοδο 2001-2005 από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής (Τ.Μ.Σ.Υ.) του Εθνικού Μετσόβου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π., 2001). Ο στόχος του 1ου Στρατηγικού Σχεδίου ήταν η μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα, σε σχέση με τον αριθμό των νεκρών του έτους 2000, κατά 20% έως το έτος 2005 και κατά 40% έως το έτος 2015.

Το δεύτερο Στρατηγικό Σχέδιο για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα (2006 - 2010), εκπονήθηκε από τον ΤΜΣΥ του ΕΜΠ και ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2005, για λογαριασμό του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών. (Ε.Μ.Π., 2005). Το 2ο Στρατηγικό Σχέδιο έθεσε νέους στόχους προς εφαρμογή, με την μείωση των ετήσιων νεκρών από οδικά ατυχήματα από 2.037 το έτος 2000 σε 1.018 το έτος 2010, οι οποίοι συμβάδιζαν με τις επιδιώξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Με την λήξη της περιόδου του 2ου Στρατηγικού Σχεδίου, εκπονήθηκε το τρίτο Στρατηγικό Σχέδιο από τον ΤΜΣΥ του ΕΜΠ για λογαριασμό του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων (Υπ) (Ε.Μ.Π., 2011). Σκοπός του έργου είναι η βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα για την περίοδο 2011 - 2020, με συγκεκριμένες δράσεις και έχοντας πάντα υπόψη την επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου στην Ελλάδα, ο οποίος εξειδικεύεται σε νέα μείωση του αριθμού νεκρών των οδικών ατυχημάτων κατά 50% το έτος 2020 σε σχέση με αυτόν του έτους 2010, δηλαδή σε περίπου 640 νεκρούς ( το 2011 οι νεκροί ήταν 1281 ). Επιπλέον, η δεκαετία 2011-2020, έχει χαρακτηριστεί από τον Ο.Η.Ε. ως «δεκαετία για δράσεις οδικής ασφάλειας» (Decade of action for road safety).



Το μεγάλο απαιτούμενο ποσοστό μείωσης καταδεικνύει την προσπάθεια που πρέπει να καταβάλλει η Ελλάδα στον τομέα της οδικής ασφάλειας τα επόμενα χρόνια, όπως άλλωστε και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Δυστυχώς η Ελλάδα κατατάσσεται στις πλέον μη ασφαλείς οδικά χώρες σταθερά τα τελευταία χρόνια. Το έτος 2010 σημειώθηκε αρνητική πρώτη θέση στον αριθμό των θανάτων από οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκων, παρά τις γενικότερες βελτιώσεις από το έτος 2001 (ETSC, 2011). Το έτος 2011 η Ελλάδα κατατάσσεται κοντά στην κορυφή των χωρών με τα περισσότερα θύματα, στην τρίτη θέση, όπως φαίνεται στο [διάγραμμα 1.4](#) που ακολουθεί. Ενώ το 2013, η Ελλάδα κατάφερε να βρῖσκεται στην ένατη θέση της κατάταξης.



Διάγραμμα 1.4: Θάνατοι από οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκων για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύγκριση ετών 2001 και 2011. (Η Ελλάδα έχει σήμανση EL). Πηγή: ESTC, 2012.

Σημαντική επιρροή στα οδικά ατυχήματα έχουν τα κυκλοφοριακά μεγέθη, όπως η ταχύτητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος. Επίσης, σημαντικός παράγοντας για τα ατυχήματα είναι και οι καιρικές συνθήκες βροχόπτωση και θερμοκρασία. Ακόμη, υπάρχει διαφοροποίηση στους αριθμούς των ατυχημάτων μετά την κρίση. Επομένως, είναι σημαντικό να εξετάζουμε την επιρροή των παραπάνω μεταβλητών στα οδικά ατυχήματα.

## 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μακροσκοπική διερεύνηση της συσχέτισης των ατυχημάτων με τα κυκλοφοριακά μεγέθη, τις καιρικές συνθήκες, τις παραβάσεις και την οικονομική κρίση. Ως ατυχήματα εξετάστηκαν δύο κατηγορίες οι ελαφρά τραυματίες και οι βαριά τραυματίες μαζί με τους νεκρούς. Επίσης εξετάστηκαν ξεχωριστά οι τραυματίες – νεκροί μοτοσικλετιστές, οι τραυματίες – νεκροί πεζοί και το σύνολο των τραυματιών - νεκρών. Τα κυκλοφοριακά μεγέθη που επιλέχθηκαν είναι ο μέσος μηνιαίος κυκλοφοριακός φόρτος και η μέση μηνιαία ταχύτητα. Τα δύο αυτά κυκλοφοριακά μεγέθη αποτελούν, σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία τα σημαντικότερα αίτια οδικών ατυχημάτων. Ως καιρικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκαν η μηνιαία βροχόπτωση και η μέση μηνιαία θερμοκρασία. Οι παραβάσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις ομάδες όπως τη μη χρήση ζώνης ασφαλείας, τη μη χρήση κράνους, τη μέθη και τις παραβάσεις ταχύτητας. Επιπλέον εξετάστηκε και η επιρροή της οικονομικής κρίσης στα ατυχήματα, με έτος έναρξης της οικονομικής κρίσης το 2009.

Για την διερεύνηση αυτής της συσχέτισης αναπτύχθηκαν μαθηματικά μοντέλα για να περιγράψουν και να ποσοτικοποιήσουν αυτήν την επιρροή. Τα μοντέλα που θα αναπτυχθούν, μέσα από τη διαδικασία της ανάλυσης, θα επιτρέψουν τον προσδιορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν τις εξαρτημένες μεταβλητές. Συνεπώς, επιμέρους στόχος της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων, που να αποτυπώνει επαρκώς και σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης, τη σχέση μεταξύ των ελαφρά τραυματιών και των βαριά τραυματιών - νεκρών με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που ορίστηκαν παραπάνω.

Με τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία δίνεται η δυνατότητα στους αρμόδιους φορείς να γνωρίσουν την επιρροή των μετεωρολογικών μεταβλητών και των παραβάσεων στην οδική ασφάλεια, γεγονός που θα λειτουργήσει εποικοδομητικά στην προσπάθεια να λάβουν τα ανάλογα μέτρα βελτίωσης της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα. Για παράδειγμα, η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων που θα εξαχθούν από τα μαθηματικά μοντέλα θα μπορούσε να οδηγήσει στην επιβολή μεταβλητών ορίων ταχύτητας και την εντατικοποίηση της αστυνόμευσης ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Επίσης, η ενημέρωση των οδηγών για τη σωστή οδήγηση στη βροχή ή σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες θα ήταν μία εξαιρετικά σημαντική πρωτοβουλία. Παράλληλα, στη διεθνή βιβλιογραφία επισημαίνεται η ανάγκη ελέγχου των καιρικών επιπτώσεων σε οποιαδήποτε ανάλυση, με σκοπό να εξηγηθούν πληρέστερα οι αλλαγές στην οδική ασφάλεια (Stipdonk, 2008). Μάλιστα, η ανάγκη αυτή γίνεται επιτακτικότερη στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής (Koetse, Rietveld, 2009). Επιπλέον, καταβάλλεται προσπάθεια αποτύπωσης της επιρροής της οικονομικής κρίσης στους τραυματίες και τους νεκρούς, ένα θέμα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα.

### 1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

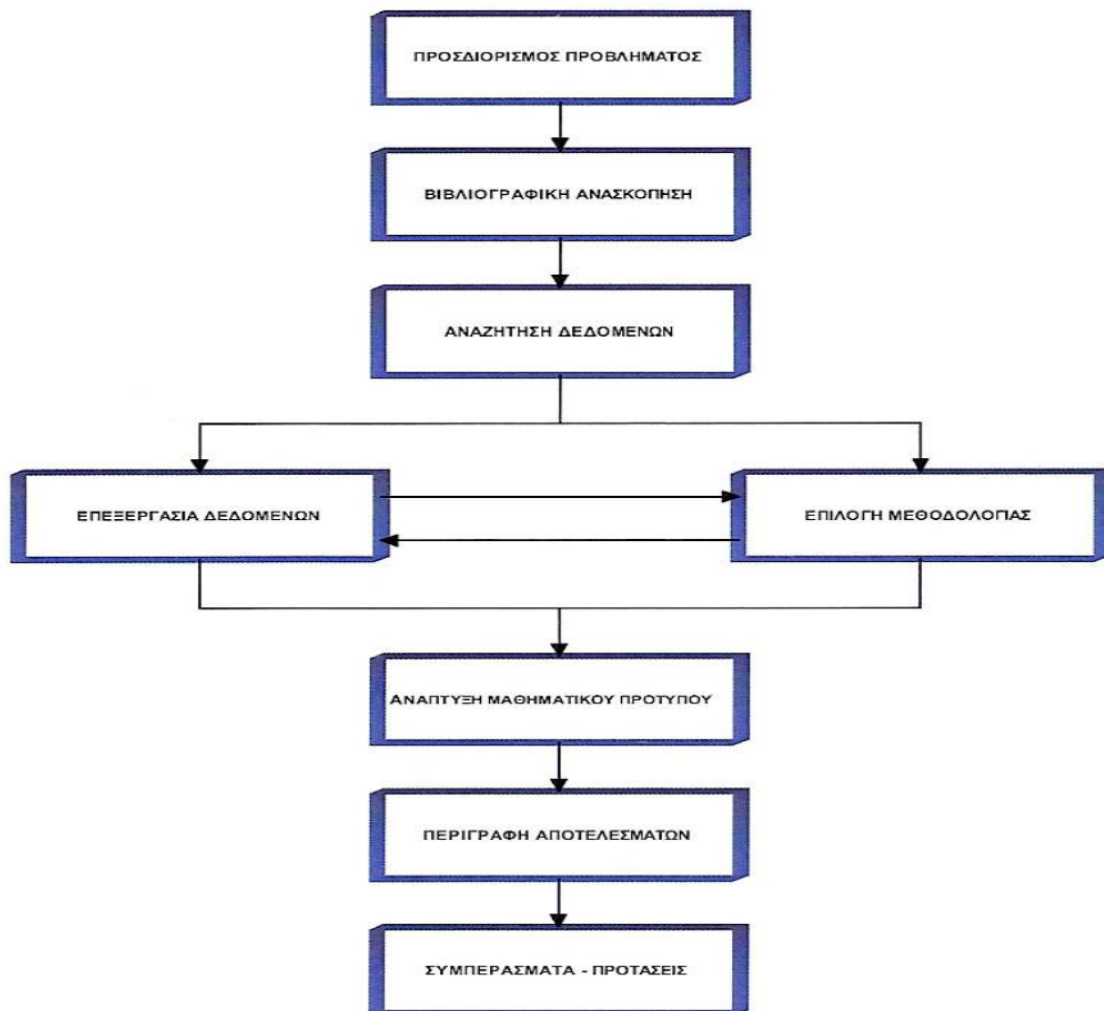
Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά καθορίστηκε το αντικείμενο που θα εξέταζε η παρούσα εργασία καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος. Για την υλοποίηση του στόχου πραγματοποιήθηκε ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αναζητήθηκαν, δηλαδή έρευνες με θέμα συναφές με εκείνο της Διπλωματικής Εργασίας τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Οι γνώσεις από τις έρευνες αυτές θα φαίνονταν χρήσιμες τόσο στην επιλογή μεθόδου συλλογής στοιχείων, όσο και στην επιλογή μεθόδου ανάλυσης αυτών.

Μετά την ολοκλήρωση της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών, σειρά είχε η εύρεση του τρόπου συλλογής των στοιχείων. Η συλλογή των στοιχείων έγινε μέσω του Συστήματος Ανάλυσης Τροχαίων Ατυχημάτων (Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.), το οποίο έχει αναπτυχθεί από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η βάση δεδομένων Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. περιέχει στοιχεία οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν σε ολόκληρο το οδικό δίκτυο της Ελλάδας για την περίοδο 1985-2011 στοιχεία τα οποία προέρχονται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) η οποία οργανώνει και καταγράφει συνολικά τα στοιχεία που συλλέγονται από τα Δελτία Οδικών τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) τα οποία συμπληρώνει η Τροχαία μετά από κάθε οδικό ατύχημα. Η ανάκτηση των στοιχείων γίνεται μέσω της διατύπωσης ερωτημάτων και τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται σε πίνακες. Παράλληλα οι παραβάσεις συλλέχθηκαν από τα στατιστικά αρχεία της Διεύθυνσης Τροχαίας του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη. Τα ατυχήματα και οι παραβάσεις αναφέρονται αποκλειστικά για το λεκανοπέδιο Αττικής.

Το δεύτερο σκέλος της φάσης συλλογής δεδομένων υλοποιήθηκε με την βοήθεια του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.) όπου μέσω των βάσεων δεδομένων του αντλήθηκαν τα ζητούμενα κυκλοφοριακά στοιχεία (κυκλοφοριακός φόρτος και ταχύτητα). Οι βασικές αρτηρίες για την συλλογή των κυκλοφοριακών στοιχείων ορίστηκαν οι Λεωφόρος Κηφισού, Λεωφόρος Ποσειδώνος, Λεωφόρος Κηφισίας και Λεωφόρος Βασιλίσσης Σοφίας. Στο τρίτο σκέλος συλλέχθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία, βροχόπτωση και θερμοκρασία, από την βάση δεδομένων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου όπου είναι μία εξέλιξη του υδρομετεωρολογικού δικτύου METEONET. Ως μετεωρολογικοί σταθμοί ορίστηκαν οι πιο κοντινοί στις παραπάνω λεωφόρους όπως ο μετεωρολογικός σταθμός Γαλασίου, Πεντέλης, Αγίου Κοσμά και Ζωγράφου. Με αυτόν τον τρόπο βελτιστοποιείται το σφάλμα απόκλισης των μετεωρολογικών φαινομένων των υπό εξέταση λεωφόρων.

Στη συνέχεια, τα στοιχεία αυτά κωδικοποιήθηκαν για να εισαχθούν και να αναλυθούν με το ειδικό λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας SPSS. Μετά από την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, αναπτύχθηκαν τα τελικά μαθηματικά μοντέλα προς επίτευξη των ορισθέντων στόχων της Διπλωματικής Εργασίας. Ακολούθησε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, όπου περιγράφεται η επιρροή των υπό εξέταση μεγεθών στους ελαφρά τραυματίες, τους βαριά τραυματίες - νεκρούς για τους μοτοσικλετιστές, τους πεζούς και το σύνολο τους.

Τέλος, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για τα υπό εξέταση προβλήματα και διατυπώθηκαν χρήσιμες προτάσεις για την αντιμετώπιση τους και για περαιτέρω έρευνα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά (υπό μορφή διαγράμματος ροής), τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.



Γράφημα 1. 1: Σχηματική απεικόνιση της ακολουθούμενης μεθοδολογία

## 1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Αρχικά πραγματοποιείται συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος της οδικής ασφάλειας για ατυχήματα τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη, περιγράφονται οι παράγοντες που επιδρούν στη οδική ασφάλεια και παρατίθενται στοιχεία, πίνακες και γραφήματα που δίνουν πληροφορίες για την εξέλιξη του φαινομένου έως σήμερα. Ακολούθως, περιγράφεται το αντικείμενο και οι στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας, θέτοντας τα ερωτήματα προς διερεύνηση. Κατόπιν παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία θα ακολουθηθεί για την επιδίωξη των τίθεντων στόχων, με την μορφή κειμένου αλλά και διαγράμματος ροής για μεγαλύτερη σαφήνεια. Το κεφάλαιο κλείνει με την παρούσα σύνοψη της δομής του συνόλου της Διπλωματικής Εργασίας.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, που έγινε στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, προκειμένου να αποκτηθεί το απαραίτητο υπόβαθρο για την εκπόνησή της. Παρατίθενται εργασίες από την Ελλάδα αλλά και το εξωτερικό, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί σε συνέδρια, επιστημονικά περιοδικά, άρθρα ή συγγράμματα. Έπειτα πραγματοποιείται σύνοψη των αποτελεσμάτων των ερευνών και κριτική αξιολόγησή τους, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσον κάποιες από αυτές είναι ικανές να συμβάλλουν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στο τρίτο κεφάλαιο, αφού γίνει μία σύντομη αναφορά στις κυριότερες βασικές έννοιες και στατιστικές θεωρίες δίνεται η περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου, πάνω στο οποίο θα βασιστεί η ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Ειδικότερα παρουσιάζεται το πλαίσιο της μεθοδολογίας, στο οποίο θα στηριχτεί η ανάλυση για το συνολικό αριθμό των ατυχημάτων με τη χρήση μαθηματικών προτύπων. Αναλύονται δηλαδή τα επιμέρους θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση που είναι και η επιλεγμένη μέθοδος ανάλυσης. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύντομη αναφορά στα βήματα που ακολουθούνται πριν την επεξεργασία των δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (IBM SPSS Statistics 20.0).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην ενότητα συλλογής και επεξεργασίας στοιχείων, και πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στη διαδικασία άντλησης στοιχείων από το Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α., την Διεύθυνση Τροχαίας Αττικής και η συμπλήρωσή τους με αυτά του Κ.Δ.Κ., με σκοπό τη διαμόρφωση του τελικού κεντρικού πίνακα-βάσης δεδομένων για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επεξεργασία συγκεκριμένων δεδομένων για την ανάπτυξη των μοντέλων και η κωδικοποίησή τους προκειμένου να εισαχθούν στο λογισμικό SPSS. Παρατίθενται επίσης κάποιες σειρές από τους κεντρικούς πίνακες δεδομένων ενδεικτικά και διάφορα περιγραφικά στοιχεία. Στο τέλος του κεφαλαίου αναλύεται η πορεία υπολογισμών μέσω της χρήσης του λογισμικού SPSS

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ολόκληρη η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής της επιλεγμένης μεθοδολογίας για την παραγωγή των τελικών μαθηματικών μοντέλων. Αναλύονται οι συσχετίσεις των μεταβλητών μεταξύ τους και οι επιλεγόμενες προς τελική χρήση. Κλείνοντας, παρουσιάζονται τα τελικά πρότυπα (μοντέλα).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Στο έκτο κεφάλαιο, αφού γίνει σύνοψη των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται τα εξαγόμενα συμπεράσματα σχετικά με τις παραμέτρους που επηρεάζουν τον συνολικό αριθμό οδικών ατυχημάτων, διατυπώνονται σχετικές προτάσεις για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας αλλά και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σε αντικείμενο συναφές με την παρούσα διπλωματική εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Το κεφάλαιο επτά αποτελεί τη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζεται, με μορφή καταλόγου, το σύνολο των ερευνών που έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια αλλά και στατιστικές έννοιες και μέθοδοι που ελήφθησαν υπόψη..

Τέλος, στα παραρτήματα περιλαμβάνονται ενδεικτικά ένα Δελτίο Οδικού Τροχαίου Ατυχήματος (Δ.Ο.Τ.Α.) προκειμένου να δοθεί η εικόνα της πρωτογενούς συλλογής στοιχείων οδικών ατυχημάτων όπως πραγματοποιείται από την Τροχαία με τη συμπλήρωσή του.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζονται αποτελέσματα από συναφείς έρευνες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα και διεθνώς, και των οποίων το αντικείμενο και τα συμπεράσματα είναι συναφή με τα υπό μελέτη ζητήματα, όπως αυτά τέθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται επιγραμματικά τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί σχετικά με την επίδραση των βασικότερων μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, βροχόπτωση ) στους αριθμούς που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια (αριθμός ατυχημάτων, νεκρών, κλπ). Έπειτα, αναλύονται εκτενέστερα ορισμένες πρόσφατες σχετικά έρευνες, συναφείς με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αλλά και έρευνες οι οποίες χρησιμοποίησαν συναφείς μεθοδολογίες προσέγγισης του προβλήματος με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Εκτός από τα παραχθέντα αποτελέσματα και συμπεράσματα, δίνεται έμφαση στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Τέλος, αξιολογείται το σύνολο των συγκεκριμένων εργασιών και προσδιορίζονται τα χρήσιμα στοιχεία για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου της Διπλωματικής Εργασίας.

### 2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες

#### 2.2.1 Η επιρροή των κυκλοφοριακών μεγεθών στα ατυχήματα

Η ταχύτητα είναι το πρώτο κυκλοφοριακό μέγεθος το οποίο εμφανίζεται όταν αναφέρεται κανείς στην οδική ασφάλεια. Θεωρείται ευρέως γνωστό ότι η αύξηση στην ταχύτητα μειώνει το χρόνο αντίδρασης των οδηγών και την ικανότητα ελιγμών των οχημάτων, ενώ αυξάνει την απόσταση πέδησης και την ενέργεια πιθανής σύγκρουσης. Υπάρχει συνεπώς πληθώρα ερευνών πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζονται επιλεγμένες από αυτές, για να βοηθήσουν στην επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων.

Στο Ινστιτούτο ερευνών οδικής ασφάλειας της Ολλανδίας (SWOV) πραγματοποιήθηκε μελέτη ευρείας βιβλιογραφικής ανασκόπησης από τις Aarts και Van Schagen. Η μελέτη αυτή συμπεριέλαβε τις νεότερες και σημαντικότερες εμπειρικές έρευνες οι οποίες συσχέτιζαν την ταχύτητα οχημάτων με το δείκτη οδικών ατυχημάτων. Οι περισσότερες εξ αυτών εξέτασαν την ταχύτητα ως απόλυτο μέγεθος (και όχι σχετικό) είτε σε μικροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή αναφερόμενη στο όχημα, είτε σε μακροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή ως μέση ταχύτητα αναφερόμενη σε ένα οδικό

τμήμα. Αναφέρθηκαν επίσης έρευνες οι οποίες είχαν ως αντικείμενο τη διερεύνηση της επιρροής της διακύμανσης ταχύτητας από τη μέση τιμή της στο δείκτη ατυχημάτων. (Aarts και Van Schagen, 2006)

Σύμφωνα με τις Aarts και Van Schagen, το συμπέρασμα ορισμένων μελετών αντιπροσωπευτικού δείγματος ότι η συχνότητα των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται με την ελάττωση της μέσης ταχύτητας αντιτίθεται με αυτά άλλων μελετών. Μία εξήγηση για αυτή την ασυμφωνία είναι το γεγονός ότι οι διάφοροι παράγοντες οι οποίοι εξετάστηκαν δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, αλλά αλληλεπιδρούν. Ως παράδειγμα, χαμηλό πλάτος λωρίδων και αυξημένος αριθμός διασταυρώσεων πιθανώς θα οδηγούσαν σε μειωμένη μέση ταχύτητα και τελικά σε αύξηση της συχνότητας οδικών ατυχημάτων. Στο τέλος της αναφοράς τους καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι για δεδομένη οδό, ο κίνδυνος εμφάνισης ατυχήματος αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας είτε σε μεμονωμένο όχημα, είτε σε τμήμα οδού. Παρόλα αυτά, επισημαίνουν ότι η ακριβής σχέση εξαρτάται από ένα μεγάλο πλήθος εξωτερικών παραγόντων οι οποίοι εμποδίζουν τον ακριβή προσδιορισμό της και τη γενίκευσή της σε πολλούς τύπους οδού, και για αυτό το λόγο χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης (Aarts και Van Schagen, 2006).

Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι το δεύτερο κύριο κυκλοφοριακό μέγεθος το οποίο θεωρείται ότι επηρεάζει την εμφάνιση οδικών ατυχημάτων. Για αυτό τον σκοπό έχουν πραγματοποιηθεί εδώ και αρκετά χρόνια έρευνες με αντικείμενο τη μελέτη της ακριβούς επιρροής του στην οδική ασφάλεια. Με την πάροδο των ετών, ο κυκλοφοριακός φόρτος ταυτίστηκε με την έκθεση σε κίνδυνο ατυχήματος τον οποίο διατρέχει κάθε όχημα που κινείται. Το 1987 οι Φραντζεσκάκης και Ιορδάνης, αναφέροντας ότι όμοιοι φόρτοι σε οδούς διαφορετικής κυκλοφοριακής ικανότητας οδηγούν σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, εξετάζουν τη συσχέτιση μεταξύ οδικών ατυχημάτων και το λόγο κυκλοφοριακού φόρτου και κυκλοφοριακής ικανότητας. Ειδικότερα, παρατίθενται στοιχεία από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Τ.Μ.Σ.Υ. – Ε.Μ.Π.) τα οποία αφορούν στη σχέση μεταξύ οδικών ατυχημάτων και το λόγο κυκλοφοριακού φόρτου και κυκλοφοριακής ικανότητας σε περιβάλλον υπεραστικής λεωφόρου τεσσάρων λωρίδων χωρίς νησίδα. Το συγκεκριμένο οδικό τμήμα βρίσκεται στην Εθνική Οδό Αθηνών Κορίνθου, από το 24ο έως και το 42ο χιλιόμετρο, με συνολικό μήκος 18 χιλιομέτρων. Η περίοδος έρευνας ήταν 89 μήνες, από 01/01/1975 έως και 31/05/1982.

Παρατηρήθηκε η θετική επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στην αύξηση του δείκτη ατυχημάτων για δεδομένη κυκλοφοριακή ικανότητα οδού για το σύνολο των ατυχημάτων και για τις δύο περιοχές έρευνας. Αντίθετα, στα ατυχήματα με παθόντες (νεκρούς και τραυματίες), ο δείκτης ατυχημάτων δεν φαίνεται παρουσιάζει σταθερή συσχέτιση με τον λόγο κυκλοφοριακού φόρτου προς κυκλοφοριακή ικανότητα.



Παρόμοια έρευνα διεξήχθη το 1997 από τους Zhou και Sisiopiku, όπου μελετήθηκε τμήμα αυτοκινητοδρόμου 26 χιλιομέτρων στην περιοχή του Detroit των Η.Π.Α.. Το συγκεκριμένο τμήμα παρουσίαζε συχνή συμφόρηση, συχνά οδικά ατυχήματα και υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Υπήρχαν επίσης πολύ συχνές ράμπες πρόσβασης (περίπου 1.5 ανά 1 km) και στα δύο ρεύματα του αυτοκινητόδρομου, με το αποτέλεσμα αυτός να αναγνωρίζεται γενικώς ως πολύ αντιπροσωπευτικό δείγμα αστικής λεωφόρου (urban freeway) (Zhou και Sisiopiku, 1997).

Μετά τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων (παρόμοια με τους Φραντζεσκάκη και Ιορδάνη), η συσχέτιση των ίδιων μεγεθών (λόγος κυκλοφοριακού φόρτου προς κυκλοφοριακή ικανότητα και δείκτης ατυχημάτων) δείχτηκε ότι ακολουθεί γενικώς καμπύλη μορφής U. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι αυτό το γεγονός εξηγεί καλύτερα τη διαφορά στις συνθήκες ροής μεταξύ καθημερινών και Σαββατοκύριακου, καθώς και το ότι η μορφή U είναι καταλληλότερη όταν εξετάζονται ατυχήματα με πολλά εμπλεκόμενα οχήματα, ατυχήματα τύπου νωτομετωπικής σύγκρουσης και ατυχήματα με υλικές ζημιές μόνο.

Σε σχετική έρευνα από την Christoforou et al. το 2010, αναφέρεται ότι από τη σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι συνδυασμός χαμηλών ταχυτήτων και υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων οδηγεί σε μείωση της σοβαρότητας οδικών ατυχημάτων, ενώ ο αντίθετος συνδυασμός οδηγεί σε αντίθετα αποτελέσματα. Από τους λοιπούς παράγοντες ενός ατυχήματος, επισημαίνονται ως σημαντικότεροι ο τύπος ατυχήματος, η ηλικία οδηγών, οι καιρικές συνθήκες και οι συνθήκες φωτισμού.

Το 2011 διεξήχθη έρευνα από τους Ahmed et al. με στόχο τη διερεύνηση εμφάνισης οδικών ατυχημάτων εξαρτώμενα από κυκλοφοριακά μεγέθη, γεωμετρικά και καιρικά χαρακτηριστικά σε λεωφόρο ορεινής περιοχής μήκους 24 km (15 mi). Το σύνολο του δείγματος ατυχημάτων ήταν 301, από το 2007 έως το 2009, και τα δεδομένα της κυκλοφορίας αλλά και του καιρού συλλέγονταν σε πραγματικό χρόνο.

Για τη συλλογή δεδομένων προτιμήθηκε το σύστημα ανίχνευσης της αυτόματης ταυτοποίησης οχήματος (Automatic Vehicle Identification – AVI) έναντι των παραδοσιακών φωρατών. Το σύστημα αυτό, το οποίο δεν είναι παρεμβατικό (non-intrusive) χρησιμοποιείται σε αυτοκινητοδρόμους για τη συλλογή διοδίων αλλά και για υπολογισμούς και προβλέψεις χρόνων διαδρομών. Τα δεδομένα ταχυτήτων προέκυψαν ως ο χωρικός μέσος όρος 20 μετρητών του συστήματος. Έπειτα ομαδοποιήθηκαν σε ομάδες των έξι λεπτών. Στην περίπτωση συλλογής δεδομένων που αφορούσαν σε εμφάνιση ατυχήματος, και ανάλογα με τη χρονική στιγμή του κάθε ατυχήματος, τα δεδομένα προέρχονταν από τις δύο πλησιέστερες στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή ομάδες (6 και 12 λεπτά πριν τη στιγμή του ατυχήματος).

Στην περίπτωση συλλογής δεδομένων για κανονικές συνθήκες ροής, όπου δηλαδή υπήρχε η ανάγκη αποτύπωσης της ομαλής κατάστασης χωρίς την εμφάνιση ατυχημάτων, επιλέχθηκαν τυχαία μετρήσεις δεδομένων από το σύνολο. Η επιλογή είχε μοναδικό όρο να μην είχε συμβεί οδικό ατύχημα μέχρι και δύο ώρες πριν τη συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων. Όμοια τακτική τυχειότητας ακολουθήθηκε και κατά τη συλλογή καιρικών δεδομένων σε περιπτώσεις ατυχημάτων και κανονικών καταστάσεων. Τα γεωμετρικά δεδομένα αφορούσαν στην κατά μήκος κλίση του οδικού τμήματος, στην καμπυλότητα και στο πλάτος οδοστρώματος.

Το τελικό σύνολο δεδομένων αποτελούνταν από δεδομένα τα οποία αφορούσαν 70 ατυχήματα κατά περιόδους χιονιού και 231 ατυχήματα κατά κανονικές (ξηρές) περιόδους, τα οποία συνόδευαν 256 και 624 περιπτώσεις μη εμφάνισης ατυχημάτων (non-crashes) αντίστοιχα, οι οποίες και επιλέχθηκαν τυχαία. Κατόπιν ακολουθήθηκε ανάλυση λογιστικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή την πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος. Αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα, ένα για περιόδους χιονιού και ένα για ξηρές περιόδους.

Τα κύρια συμπεράσματα της συγκεκριμένης έρευνας (Ahmed et al., 2011) είναι ότι τα μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη, εκτός από κυκλοφοριακά μεγέθη, γεωμετρικά αλλά και καιρικά χαρακτηριστικά είναι χρησιμότερα σε περιοχές όπου έχουν έντονες γεωμετρικές αλλά και καιρικές διαφοροποιήσεις, όπως οι ορεινές οδοί. Μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη μόνο κυκλοφοριακά μεγέθη είναι κατάλληλα για περισσότερο ήπιες συνθήκες. Επίσης, σε περιοχές με τέτοιες διαφοροποιήσεις, οι επιρροές των κυκλοφοριακών μεγεθών είναι διαφορετικές από τις περιοχές με ηπιότερες συνθήκες. Τέλος, προτείνεται η χρήση ποικίλων στρατηγικών διαχείρισης κυκλοφορίας ανάλογα με τα καιρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάθε οδικού τμήματος και την εποχή εφαρμογής

### 2.2.2 Η επιρροή των καιρικών συνθηκών στα ατυχήματα

Ένας από τους κύριους παράγοντες που έχουν σημαντική επίδραση στα ατυχήματα είναι οι καιρικές συνθήκες όπως η βροχή, η θερμοκρασία, το χιόνι, η ομίχλη, και ο άνεμος. Ο καιρός επηρεάζει αρκετά τις μετακινήσεις, έτσι θα πρέπει να αναμένεται ότι οι επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων και των τραυματισμών είναι εν μέρει εξαιτίας των αλλαγών των μετακινήσεων ( Ruth Bergel-Hayata, Mohammed Debbarha, Constantinos Antoniou, George Yannis, 2013). Επομένως είναι αναμενόμενο το φαινόμενο της επιρροής των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια να έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών. Εδώ και δεκαετίες έχει δημοσιευθεί μεγάλος αριθμός ερευνών, από τις οποίες προκύπτουν αξιολογικά συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή των μετεωρολογικών φαινομένων στα οδικά ατυχήματα. Η παρούσα Διπλωματική επικεντρώνεται στην

επιρροή της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, οπότε αναζητήθηκαν συναφείς έρευνες που αναλύουν αυτά τα δύο μετεωρολογικά φαινόμενα.

Το φαινόμενο, που συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη προσοχή από τους ερευνητές, είναι εκείνο της βροχόπτωσης. Η βροχή είναι το πιο επικίνδυνο καιρικό φαινόμενο που μπορούν να συναντήσουν οι οδηγοί στο βρετανικό οδικό δίκτυο, σύμφωνα με σχετική έρευνα (Edwards, 1996), και ως εκ τούτου για το 12% με 17% περίπου του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων είναι η συνηθέστερη καταγεγραμμένη καιρική συνθήκη την ώρα του συμβάντος. Πλήθος μελετών έχει δημοσιευθεί με στόχο τόσο την ποιοτική όσο και την ποσοτική ανάλυση της επιρροής της βροχόπτωσης στην οδική ασφάλεια. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών ποικίλλουν.

Μια εργασία που πραγματοποιήθηκε στον Καναδά έδειξε ότι όταν βρέχει συμβαίνουν 70% περισσότερα ατυχήματα (Andrey and Yagar, 1993). Το ποσοστό αυτό είναι ιδιαίτερα αυξημένο τις τελευταίες ώρες γεγονότων βροχής μακράς διάρκειας, ενώ όταν σταματήσει η βροχόπτωση η επικινδυνότητα επανέρχεται στις τιμές πριν τη βροχή. Τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας επιβεβαιώνονται από την έρευνα των Shankar et al, (1995) η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μέγιστη βροχόπτωση και ο αριθμός βροχερών ημερών επηρεάζουν σημαντικά τη συχνότητα των ατυχημάτων. Αυτό συμβαίνει λόγω της υδρολίσθησης και της κακής ορατότητας. Συγκεκριμένα, όταν αυξάνεται η μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση, αυξάνονται οι συγκρούσεις με το πλαϊνό μέρος του οχήματος, με άλλο παρκαρισμένο όχημα ή σταθερό αντικείμενο και οι ανατροπές, ενώ μειώνονται οι συγκρούσεις με συμμετοχή πολλών οχημάτων, οι οποίες όμως αυξάνονται όταν αυξάνεται η μέση ημερήσια βροχόπτωση. Τέλος, όταν αυξάνεται ο αριθμός των ημερών βροχής ανά μήνα, μειώνονται οι πλάγιες και νωτομετωπικές συγκρούσεις αλλά αυξάνονται οι προσκρούσεις με σταθερά αντικείμενα.

Μία εξίσου ενδιαφέρουσα έρευνα έδειξε ότι η βροχή αποτελεί πιθανή αιτία για αρκετά ατυχήματα λόγω της κακής ορατότητας, της μείωσης της πρόσφυσης των ελαστικών με το οδόστρωμα αλλά και της ανάκλασης. Ειδικά τα δίκυκλα είναι πιο ευάλωτα στη βροχή. Μάλιστα η αυξημένη επικινδυνότητα λόγω της βροχής είναι ακόμα πιο έντονη σε περιοχές που δεν βρέχει συχνά και συνεπώς οι οδηγοί δεν είναι συνηθισμένοι να αντιμετωπίζουν τέτοιες συνθήκες (Perry and Symons, 1991). Τα ατυχήματα αυξάνουν όταν βρέχει αφού τουλάχιστον το 1/3 των ατυχημάτων με τραυματισμό συμβαίνουν σε υγρό οδόστρωμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι οδηγοί δεν μειώνουν αρκετά την ταχύτητα των οχημάτων τους όταν βρέχει, επειδή υπερεκτιμούν την ικανότητά τους να αντεπεξέλθουν στις δυσμενείς οδικές συνθήκες. Επίσης, είναι χαρακτηριστικό ότι συχνά οι οδηγοί δεν αναβάλλουν τις διαδρομές τους λόγω βροχής ( J. B. Edwards (1999)) .

Μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε με δεδομένα βροχόπτωσης και κυκλοφορίας από το Ισραήλ, μια χώρα που κλιματολογικά έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την Ελλάδα, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η βροχή και το υγρό οδόστρωμα προκαλούν «οδηγικούς κινδύνους» ειδικά τη νύχτα που η ορατότητα είναι κακή (Brodsky and Hakkert, 1988).

Συγκεκριμένα, όταν το οδόστρωμα είναι υγρό, ο κίνδυνος θανατηφόρου ατυχήματος είναι 3,9 με 4,5 φορές μεγαλύτερος. Ιδιαίτερα επικίνδυνες δε είναι οι βροχές που ακολουθούν μετά από μια παρατεταμένη περίοδο καλοκαιρίας καθώς και εκείνες που είναι σποραδικές και διαρκούν λίγο και που παρατηρούνται συνήθως τους μεταβατικούς μήνες (Νοέμβριος, Μάρτιος). Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα λαμβάνεται κατά την εξέταση του μηνιαίου αριθμού ημερών με βροχόπτωση (Keay & Simmonds 2006; Hermans et al. 2006). Επιπλέον, συχνά εξετάζεται η επιρροή της βροχόπτωσης με χρονική υστέρηση. Ο Eisenberg (2004) έδειξε ότι η επιρροή της βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας είναι μειωμένη όταν παρατηρήθηκε βροχόπτωση τις προηγούμενες ημέρες.

Ο Stipdonk (2008) επισημαίνει ότι οι καιρικές επιπτώσεις πρέπει να ελεγχθούν σε οποιαδήποτε ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών (multivariate) με σκοπό να εξηγηθούν πληρέστερα οι αλλαγές στην οδική ασφάλεια. Οι Koetse και Rietveld (2009) επιπλέον δίνουν έμφαση σ' αυτήν την ανάγκη μέσα στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Σε ότι αφορά στην επιρροή της βροχόπτωσης διαπιστώθηκε ότι η αυξανόμενη καθημερινή, μηνιαία ή ακόμη και ετήσια βροχόπτωση σε εκατοστά φαίνεται να μειώνει τη συχνότητα των ατυχημάτων (Fridstrom et al. 1995; Chang and Chen 2005; Caliendo et al. 2007).

Άλλη μια έρευνα, η οποία εστιάστηκε μόνο στην επιρροή της βροχόπτωσης στα οδικά ατυχήματα είναι εκείνη των Keay και Simmonds του Πανεπιστημίου της Μελβούρνης της Αυστραλίας (Keay and Simmonds, 2006). Στην έρευνα αυτή, έγινε προσπάθεια διερεύνησης των επιπτώσεων της βροχής στον ημερήσιο αριθμό των οδικών ατυχημάτων στη μητροπολιτική περιοχή της Μελβούρνης για την περίοδο 1987 – 2002. Η ανάλυση χωρίστηκε σε τρεις χρονικές υποπεριόδους, 1987 – 1991, 1992 – 1996, 1997 – 2002. Επίσης για τις δύο πρώτες υποπεριόδους, οι ερευνητές χώρισαν τις ώρες της ημέρας σε διαστήματα διάρκειας 3 ωρών, έτσι ώστε να εξετάσουν την επίδραση του φαινομένου τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα. Έπειτα, για να προσεγγίσουν τον παράγοντα της έκθεσης, χρησιμοποίησαν ως εξαρτημένη μεταβλητή το λόγο:

$$VNC = C / N$$

όπου: C: το πλήθος των ατυχημάτων

N: ο κυκλοφοριακός φόρτος ανηγμένος στην ημέρα της εβδομάδας (έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι διακυμάνσεις του)

Τα αποτελέσματα έδειξαν αρχικά ότι η επιρροή της βροχόπτωσης στα οδικά ατυχήματα είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Η επιρροή αυτή όμως, παρουσιάζει μια εποχικότητα, καθώς βρέθηκε μεγαλύτερη το φθινόπωρο και μικρότερη την άνοιξη. Τέλος, η επίδραση της βροχόπτωσης είναι ιδιαίτερα έντονη μετά από περιόδους ξηρασίας (dry spells). Μάλιστα, η επίδραση αυτή αυξάνεται όσο αυξάνεται η περίοδος ξηρασίας και το ύψος της βροχόπτωσης. Χαρακτηριστικό είναι ότι για ύψος βροχόπτωσης 0 – 5 mm και περίοδο ξηρασίας 1 – 5 ημερών, εμφανίζεται 5% αύξηση στο VNC σε σχέση με τις υγρές ημέρες που δεν ακολουθούν περίοδο ξηρασίας. Ενώ για βροχόπτωση με ύψος μεγαλύτερο των 10 mm και περίοδο ξηρασίας μεγαλύτερη των 5 ημερών, η αντίστοιχη αύξηση ανεβαίνει στο 30%. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι συμβατά με την έρευνα του Eisenberg (2004).

Οι Tom Brijs, Dimitris Karlis, Geert Wets με την έρευνα τους διαπίστωσαν ότι όσο αυξάνεται η ένταση της βροχής τόσο αυξάνεται και ο αριθμός των ατυχημάτων. Επίσης απέδειξαν ότι όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα από την τελευταία βροχόπτωση τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα να συμβεί κάποιο ατύχημα. Όσον αφορά την θερμοκρασία, η βιβλιογραφία δεν προσφέρει εξίσου πολλές εργασίες όπως με την περίπτωση της βροχόπτωσης. Παρά το γεγονός ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες ευθύνονται για πολλά οδικά ατυχήματα (λόγω παγετού για παράδειγμα), μια άλλη άποψη που έχει βρει πρόσφορο έδαφος στα αποτελέσματα αρκετών ερευνών υποστηρίζει ότι οι υψηλές θερμοκρασίες εμφανίζουν αρνητική σχέση με την οδική ασφάλεια.

Ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι κάτω από υψηλές θερμοκρασίες η ικανότητα αντίληψης από τον οδηγό μειώνεται (Viteles and Smith, 1948), γεγονός που συνεπάγεται και την αύξηση του χρόνου αντίδρασης (Weiner and Hutchinson, 1945). Μάλιστα οι Harries et al, (1984) αναφερόμενοι στη σοβαρότητα των ατυχημάτων και τις καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία) χρησιμοποιούν τον όρο «ζεστός και κουρασμένος» (hot and tired). Συνεπώς με τις παραπάνω επιστημονικές έρευνες είναι η έρευνα των Welch et al, (1970), οι οποίοι βρήκαν ότι οι τιμές των ατυχημάτων στην Αυστραλία αυξάνονται τις ζηρές ημέρες με θερμοκρασία πάνω από 26 οC.

Η σημαντικότερη όμως έρευνα, που έγινε με στόχο τη μελέτη της επιρροής της θερμοκρασίας στην οδική ασφάλεια, είναι εκείνη των Stern και Zehavi (1989). Η έρευνα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού όπως και εκείνη των Brodsky και Hakkert (1988), αναφέρεται στο Ισραήλ. Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν στοιχεία που αφορούσαν στην οδό Arava (171 Km) του Ισραήλ, για μια περίοδο επτά ετών. Η έρευνα τους στηρίχθηκε στις υποθέσεις ότι: α) η πιθανότητα ατυχήματος αυξάνεται όσο πιο ζεστός είναι ο καιρός και β) ατυχήματα που σχετίζονται με την υψηλή θερμοκρασία, αναμένεται να οφείλονται στην κρίση ενός ατόμου (one-person judgment). Με άλλα λόγια είναι εκείνα τα ατυχήματα που συμβαίνουν κυρίως λόγω της μειωμένης εγρήγορσης, όπως εκτροπή από την πορεία, ανατροπή ή ολίσθηση.

Ο δείκτης δυσφορίας (Discomfort Index), που προκαλείται ανάλογα με τη θερμοκρασία είναι η βάση της μεθοδολογίας ανάλυσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όσο αυξάνεται η ένταση της δυσφορίας από τη θερμοκρασία (heat stress), αυξάνεται και ο αριθμός των ατυχημάτων. Μάλιστα για συνθήκες μεσαίας και μεγάλης έντασης υπερβαίνεται το ανώτατο όριο του αναμενόμενου αριθμού των ατυχημάτων σε σχέση με το μέσο αριθμό των ατυχημάτων. Έτσι επιβεβαιώθηκε η πρώτη υπόθεση. Όσον αφορά στον τύπο των ατυχημάτων αποδείχθηκε ότι το 73% του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων ήταν ατυχήματα που οφείλονταν σε εκτροπή από την πορεία και ανατροπή, γεγονός που επιβεβαιώνει τον δεύτερο ισχυρισμό των ερευνητών.

Επίσης, τις παραπάνω διαπιστώσεις σχετικά με την επιρροή της θερμοκρασίας στην οδική ασφάλεια, συμπληρώνει και το γεγονός ότι σε περιόδους με υψηλή θερμοκρασία (άνοιξη, καλοκαίρι) οι κυκλοφορικοί φόρτοι είναι αυξημένοι. Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλει βέβαια και η αυξημένη κίνηση μοτοποδηλάτων και μοτοσικλετών, οι οδηγοί των οποίων είναι περισσότερο ευάλωτοι στα ατυχήματα.

Δεν θα πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός των τροχαίων ατυχημάτων και σε καλές καιρικές συνθήκες. Έχει παρατηρηθεί πως οι καλές καιρικές συνθήκες δημιουργούν δυσμενής συνθήκες οδήγησης, έτσι σε θερμότερα κλίματα ή κατά την διάρκεια των θερμότερων μηνών του καλοκαιριού υπάρχει σημαντική επιρροή των καλών καιρικών συνθηκών στα τροχαία ατυχήματα (Stern & Zehavi, 1990; Nofal & Saeed, 1997). Επιπλέον η αντανάκλαση του ήλιου είναι ανησυχητικά επικίνδυνη στην οδήγηση (Satterthwaite, 1976) αν και αυτό είναι πιο επικίνδυνο κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, όταν ο ήλιος είναι πολύ χαμηλότερα στον ουρανό. Κατά παρέκκλιση των παραπάνω περιπτώσεων η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στις κακές καιρικές συνθήκες και ειδικότερα στην βροχόπτωση και την θερμοκρασία.

### 2.2.3 Η επιρροή των παραβάσεων και της χρονικής υστέρησης αυτών στα ατυχήματα

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία εξετάζονται οι παραβάσεις μέθης, ταχύτητας, οι παραβάσεις μη χρήση κράνους και οι παραβάσεις μη χρήση ζώνης ασφαλείας. Υπάρχουν αρκετές έρευνες που αποδεικνύουν την επιρροή των παραβάσεων στα οδικά ατυχήματα και στους τραυματίες. Το 1998, η το τμήμα Τροχαίας της Αστυνομίας ξεκίνησε την εντατικοποίηση της επιβολής προστίμων για την βελτίωση της οδικής ασφάλειας, έχοντας ως στόχο τη σταδιακή αύξηση των ελέγχων της κυκλοφορίας για τις δύο πιο σημαντικές παραβάσεις: υπερβολική ταχύτητα και μέθη. Η μη χρήση κράνους και η μη χρήση ζώνης ασφαλείας άρχισαν να καταγράφονται ως αδικήματα από την αστυνομία το 2002. Αν και η εντατικοποίηση της επιβολής των προστίμων είχε μεγαλύτερη επιρροή στο υπεραστικό οδικό δίκτυο, θεωρείται ότι είχε επιρροή στο συνολικό αριθμό ατυχημάτων του οδικού δικτύου της Ελλάδας.

Η ταχύτητα είναι υπαίτια τόσο για την σοβαρότητα των ατυχημάτων όσο και για την πρόκληση των οδικών ατυχημάτων, ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον όπου κυκλοφορούν πολλοί ευάλωτοι χρήστες της οδού, δηλαδή πεζοί, μοτοσικλετιστές, ποδηλάτες, παιδιά, ηλικιωμένοι. Τα μέτρα οδικής ασφάλειας αντιστρατεύονται ευθέως την ταχύτητα των οχημάτων και την αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας γενικότερα (Γιαννής, ΣΕΣ, 2011). Σύμφωνα με την έρευνα (Bjørnskau, Eivik, 2003), διαπιστώθηκε πως μόνο μια σημαντική αύξηση στο επίπεδο επιβολής του μέτρου, μπορεί να επηρεάσει τον αριθμό των ατυχημάτων. Ωστόσο σε ό,τι αφορά την Ελλάδα η εφαρμογή των μέτρων σε εθνικό επίπεδο επιτεύχθηκε όπως και η συστηματική αστυνόμευση η οποία καλύπτει όλους τους τύπους παραβάσεων.

Επίσης, η συσχέτιση της συστηματικής επιβολής μέτρων για την οδική ασφάλεια επιβεβαιώνεται και στην έρευνα των Γ.Γιαννής, Ε.Παπαδημητρίου και Π.Ευγενικός. Ειδικότερα, εκτιμήθηκε η σημαντική επίδραση της επιβολής ορίων ταχύτητας και ορίων στο αλκοόλ, αν και περιέργως το αποτέλεσμα αυτό δεν ήταν ομοιόμορφο σε εθνικό επίπεδο αλλά εμφανίστηκε πιο έντονα σε συγκεκριμένες περιοχές. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η εντατικοποίηση της επιβολής της οδικής ασφάλειας μπορεί να είναι ένας από τους δύο βασικούς λόγους (ο άλλος μπορεί να είναι η συμμόρφωση), το οποίο μπορεί να εξηγήσει τη σημαντική μείωση που παρατηρήθηκε στον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων, τα άτομα που σκοτώθηκαν και τραυματίστηκαν.

Επιπλέον, η συστηματική εντατικοποίηση της επιβολής των ορίων ταχύτητας και των ορίων για το αλκοόλ, βρέθηκε να είναι πολύ αποδοτική, επιβεβαιώνοντας έτσι τα υπάρχοντα ευρήματα στη βιβλιογραφία. Το γεγονός ότι μια μακροπρόθεσμη και σε εθνικό επίπεδο εντατικοποίηση της αστυνόμευσης αποδείχθηκε να είναι αποδοτική είναι ένα ενδιαφέρον εύρημα στο πλαίσιο της διεθνούς εμπειρίας, δεδομένου ότι συνήθως είναι πιο συμπυκνωμένα συστήματα επιβολής φαίνεται να είναι πιο αποδοτικά (Γ.Γιαννής, Ε.Παπαδημητρίου και Π.Ευγενικός).

Η αποτελεσματικότητα αυτού του μέτρου μπορεί να αποδοθεί από τον αυστηρό έλεγχο της ταχύτητας του οχήματος με τη χρήση σύγχρονου εξοπλισμού ραντάρ, την συνεχή παρουσία της Αστυνομίας σε περιοχές όπου εμφανίσουν υψηλά ποσοστά στα οδικά ατυχήματα, την μείωση των ορίων ταχύτητας σε αστικές περιοχές, τον έλεγχο για την μέθη ιδίως κατά την διάρκεια της νύχτας και τις αυξημένες περιπολίες στις εθνικές οδούς (Παπαιωάννου,2002).

Επιπλέον, μία ακόμη έρευνα (Γ.Γιαννής, Κ.Αντωνίου, Ε.Παπαδημητρίου ; 2007) επιβεβαιώνει την σαφή σχέση μεταξύ της εντατικοποίησης της αστυνόμευσης και της μείωσης των θυμάτων από τροχαία ατυχήματα. Συγκεκριμένα, η αύξηση του αριθμού των ελέγχων μέθης στην Ελλάδα μετά το 1998 συνέβαλε στη μείωση του αριθμού των νεκρών και των σοβαρά τραυματιών από τροχαία ατυχήματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ οι οδηγοί διαπράττουν τροχαίες παραβάσεις, πιστεύουν ότι η αστυνόμευση των οδικών δικτύων θα πρέπει να ενταθεί προς όφελος της οδικής ασφάλειας. Σύμφωνα με το ερευνητικό πρόγραμμα SARTRE της ΕΕ, το 70% των οδηγών πιστεύουν ότι η αστυνόμευση θα πρέπει να εντατικοποιηθεί προκειμένου να μειωθούν τα τροχαία ατυχήματα (SARTRE, 1998). Όπως έχει προταθεί από διάφορους ερευνητές (π.χ. Bjornskau και Elvik, 1992, Zaal, 1994, Newstead, Cameron, ο Mark και Leggett, 2001, Tay, 2005), ένας τρόπος για τη μείωση του αριθμού των παραβιάσεων κυκλοφορίας είναι η εντατικοποίηση των αστυνομικών ελέγχων . Αυτό υποστηρίζεται από τα εμπειρικά αποτελέσματα που αναφέρθηκαν από την Ολλανδία και Conner (1995). Είναι σαφές από τη βιβλιογραφία ότι η εντατικοποίηση των αστυνομικών ελέγχων αναμένεται να οδηγήσει σε βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Τέλος, όσον αφορά την χρονική υστέρηση των παραβάσεων, μία έρευνα ( Γ.Γιαννής, Ε.Παπαδημητρίου, Π.Ευγενικός) αποδεικνύει πως υπάρχει καθυστέρηση μερικών εβδομάδων πριν από μια σημαντική επίδραση της αστυνόμευσης. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών παραβάσεων που εξετάστηκαν, η επιβολή ορίων ταχύτητας και οι έλεγχοι μέθης είχαν σημαντική επίδραση στο συνολικό αριθμό ατυχημάτων.



### 2.3 Σύνοψη – Κριτική Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν οι σημαντικότερες έρευνες με αντικείμενο συναφές με εκείνο της Διπλωματικής Εργασίας από την διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, οι έρευνες οι οποίες παρατέθηκαν εξετάζαν την επιρροή των καιρικών συνθηκών (της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας), των κυκλοφοριακών μεγεθών (της ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου), των παραβάσεων και της χρονικής υστέρησης στα οδικά ατυχήματα. Από τη σύνθεση των βασικών σημείων των ερευνών που εξετάστηκαν, προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Σχετικά με τα κυκλοφοριακά μεγέθη, η αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ατυχήματος, ενώ η ακριβής σχέση παραμένει αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης. Όσον αφορά στην επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου, συνήθως εμφανίζεται ως θετική στην εμφάνιση ατυχημάτων (μετρήσεις κυρίως μέσω του δείκτη ατυχημάτων) και αρνητική στη σοβαρότητά τους (μεγαλύτεροι φόρτοι οδηγούν σε ατυχήματα μικρότερης σοβαρότητας). Βέβαια, είναι προτιμότερη η διερεύνηση της ταυτόχρονης επιρροής των κυκλοφοριακών μεγεθών από τις ξεχωριστές διερευνήσεις. Ενδιαφέροντα αποτελέσματα παρουσιάζονται από τη χρήση δεδομένων πραγματικού χρόνου τα οποία αφορούν στην τοποθεσία και χρονική στιγμή του ατυχήματος. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει ιδιαίτερος αριθμός ερευνών στις οποίες να χρησιμοποιείται συστηματικά ανάλογη μεθοδολογία.
- Σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, έχει επισημανθεί η ανάγκη ελέγχου των καιρικών επιπτώσεων σε οποιαδήποτε ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών (multivariate) με σκοπό να εξηγηθούν πληρέστερα οι αλλαγές στην οδική ασφάλεια. Επιπλέον ορισμένοι ερευνητές δίνουν έμφαση σ' αυτήν την ανάγκη μέσα στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Άλλες, μελέτες περιλαμβάνουν ή εστιάζονται στην επιρροή των καιρικών συνθηκών στη συχνότητα και στη σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών, οι υψηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται να έχουν μια μειωμένη επιρροή στη συχνότητα και στη σοβαρότητα των ατυχημάτων, τόσο σε ημερήσια όσο και σε εβδομαδιαία και μηνιαία βάση. Σε ότι αφορά στην επιρροή της βροχόπτωσης διαπιστώθηκε ότι η αυξανόμενη καθημερινή, μηνιαία ή ακόμη και ετήσια βροχόπτωση σε εκατοστά φαίνεται να μειώνει τη συχνότητα των ατυχημάτων. Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα λαμβάνεται κατά την εξέταση του μηνιαίου αριθμού ημερών με βροχόπτωση. Επιπλέον, συχνά εξετάζεται η επιρροή της βροχόπτωσης με χρονική υστέρηση. Όπως για παράδειγμα μία έρευνα έδειξε ότι η επιρροή της βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας είναι μειωμένη όταν παρατηρήθηκε βροχόπτωση τις προηγούμενες ημέρες.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ορισμένες έρευνες, κυρίως σε χώρες με βροχερό κλίμα, όπου η επιρροή της βροχόπτωσης είναι αρνητική δηλαδή με αύξηση της βροχόπτωσης αυξάνονται και τα ατυχήματα.

- Σχετικά με τις παραβάσεις και την χρονική υστέρηση, παρατηρήθηκε η σημαντική επίδραση της επιβολής ορίων ταχύτητας και ορίων στο αλκοόλ στη μείωση των ατυχημάτων. Χαρακτηριστικά, η αύξηση των ελέγχων μέθης οδήγησε στην μείωση των σοβαρά τραυματιών και των νεκρών. Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει χρονική υστέρηση (μερικών εβδομάδων) της επίδραση της αστυνόμευσης στα ατυχήματα.

### 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο αξιοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Ειδικότερα, παρουσιάζονται έννοιες από τα Μαθηματικά στις οποίες βασίζεται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή βασικών εννοιών από τη στατιστική. Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικότερες στατιστικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στην οδική ασφάλεια, αλλά και σε πλήθος άλλων εφαρμογών. Έπειτα πραγματοποιείται μια λεπτομερής ανάλυση του προτύπου και των προϋποθέσεων εφαρμογής της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, η οποία και χρησιμοποιήθηκε. Ο λόγος ο οποίος οδήγησε σε αυτή την επιλογή είναι το είδος των εξαρτημένων μεταβλητών στα μοντέλα προς ανάπτυξη.

Η μέθοδος που αρχικά επιλέχθηκε για την ανάλυση των στοιχείων ήταν η γραμμική παλινδρόμηση (linear regression). Ο κύριος λόγος στον οποίο στηρίχθηκε η επιλογή της μεθόδου αυτής συνίσταται στο ότι οι εξαρτημένες μεταβλητές αφενός λαμβάνουν συνεχείς τιμές και αφετέρου ακολουθούν κανονική κατανομή, ως επί το πλείστον. Πάρα ταύτα, τα αποτελέσματα από την γραμμική παλινδρόμηση δεν ήταν ικανοποιητικά οπότε αναζητήθηκε και δεύτερη μέθοδος ανάλυσης. Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση (lognormal regression) θεωρήθηκε κατάλληλη για τις συγκεκριμένες μεταβλητές, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και εκ του αποτελέσματος στην πορεία των αναλύσεων. Αμέσως μετά περιγράφεται η τεχνική των ψευδομεταβλητών μία τεχνική με καταλυτικό ρόλο στην εξαγωγή των τελικών μοντέλων.

#### 3.2 Βασικές Στατιστικές Έννοιες

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 ιδιοκτήτες 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). Εάν 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. Σε μία διακριτή μεταβλητή η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές της είναι σταθερή ποσότητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο αριθμός των μελών της οικογένειας. Αντίθετα, σε μία συνεχή μεταβλητή δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα.

Ως παράδειγμα αναφέρουμε την ηλικία, για την οποία η διαφορά ανάμεσα σε δύο τιμές θα μπορούσε να είναι χρόνια, μήνες, ημέρες, ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα. 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:

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

Για την περίπτωση συμμετρικά κατανομημένου 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

Η συνδιακύμανση μεταβλητών (covariance of the two variables) αποτελεί ένα μέτρο της σχέσης μεταξύ δύο περιοχών δεδομένων. Συνεπώς, για δύο μεταβλητές και ισχύει:

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

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 Συσχέτιση Μεταβλητών – Συντελεστής Συσχέτισης

Έστω δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές  $X$  και  $Y$ . 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:

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

Ο συντελεστής συσχέτισης  $\rho$  εκφράζει το 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  $r$ :

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

### 3.4 Βασικές Κατανομές

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

#### 3.4.1 Κανονική Κατανομή

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:

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

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

#### 3.4.2 Κατανομή Poisson

Είναι γνωστό ότι η πιο κατάλληλη κατανομή για την περιγραφή τελείως τυχαίων διακριτών γεγονότων είναι η κατανομή Poisson. Μια τυχαία μεταβλητή  $X$  (όπως π.χ. το πλήθος των ατυχημάτων ή των νεκρών 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:

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

όπου  $x=0, 1, 2, 3, \dots$  και  $x! = x(x-1)\dots$  3.2.1

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

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

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

Ο αριθμός των παθόντων είναι μία μεταβλητή, οι οποία παρουσιάζει όμοιες ιδιότητες με τη μεταβλητή του αριθμού των ατυχημάτων και γενικά υποστηρίζεται ότι τα οδικά ατυχήματα ακολουθούν συνήθως κατανομή Poisson (Charman 1971, Zahavi 1962) ή κανονική κατανομή (Hojati 2011). Να σημειωθεί ότι το παραπάνω συμπέρασμα επαληθεύτηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία καθώς η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση περιέγραψε καλύτερα τα δεδομένα από την απλή γραμμική παλινδρόμηση.

### 3.4.3 Αρνητική Διωνυμική

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

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

$$P(X) = \binom{X+k-1}{X} p^k (1-p)^X, X=0,1,2,\dots$$

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

### 3.5 Μαθηματικά Πρότυπα



### 3.5.1 Γραμμική Παλινδρόμηση

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

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 την σχέση:

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

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 μία μονάδα.

Η τυχαία μεταβλητή  $\epsilon_i$  λέγεται σφάλμα παλινδρόμησης (regression error) και ορίζεται ως η διαφορά της  $y_i$  από τη δεσμευμένη μέση τιμή  $E(Y|X = x_i)$  όπου  $E(Y|X = x_i) = \alpha + \beta \cdot x_i$ .

Στην πράξη ο γραμμικός προσδιορισμός που επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί μόνο να προσεγγίσει την πραγματική μαθηματική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών  $X$  και  $Y$ . Έτσι, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στο μοντέλο ο όρος του σφάλματος  $\epsilon_i$ . Αυτό γίνεται τόσο για να αντιπροσωπευθούν στο μοντέλο τυχόν παραληφθείσες μεταβλητές, όσο και για να ληφθεί υπόψη κάθε σφάλμα προσέγγισης που σχετίζεται με τη γραμμική συναρτησιακή μορφή (Σταθόπουλος και Καρλαύτης, 2008). 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:

$$y_i = \beta_0 + \beta_{1i} \cdot X_{1i} + \beta_2 \cdot X_{2i} + \beta_3 \cdot X_{3i} + \dots + \beta_k \cdot X_{ki} + \epsilon_i$$

Οι υποθέσεις της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι ίδιες με εκείνες της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή υποθέτει κανείς ότι τα σφάλματα  $\epsilon_i$  της παλινδρόμησης (όπως και η τυχαία μεταβλητή  $Y$  για κάθε τιμή της  $X$ ) ακολουθούν κανονική κατανομή με σταθερή διασπορά. Γενικά το πρόβλημα και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει αν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών ( $\rho(x_i, x_j)$  για κάθε  $i \neq j \rightarrow 0$ ). 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.

### 3.5.1.1 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων

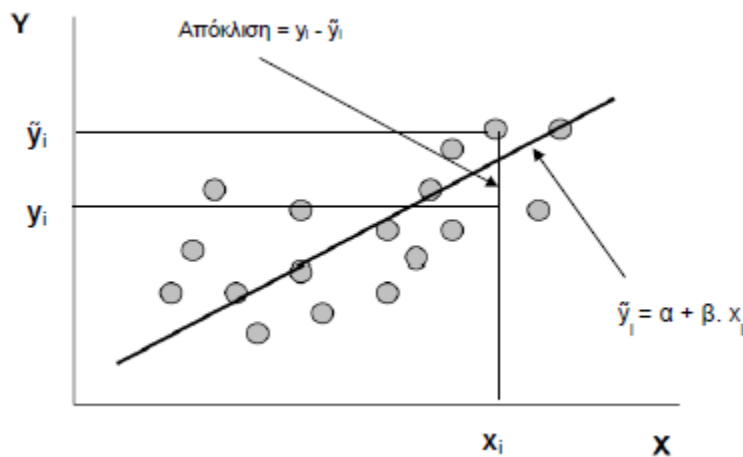
Επιλύοντας την εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης (απλή ή πολλαπλής) ως προς τον όρο του σφάλματος, προκύπτει η ακόλουθη έκφραση (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008):

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= y_i - \beta_0 - \beta_1 \cdot x_{1i} - \beta_2 \cdot x_{2i} - \beta_3 \cdot x_{3i} - \dots - \beta_k \cdot x_{ki} \\ &= y_i - \tilde{y}_i = \text{υπόλοιπο (μη ερμηνευόμενη απόκλιση)} \end{aligned}$$

όπου  $y_i$  είναι η παρατηρούμενη (πραγματική) τιμή για τη μεταβλητή  $Y$  και  $\tilde{y}_i$  είναι η προβλεπόμενη τιμή. Έτσι, το υπόλοιπο (σφάλμα) είναι η διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων (πραγματικών) και των προβλεπόμενων παρατηρήσεων. Εάν το δείγμα αποτελείται από  $n$  παρατηρήσεις, τότε για κάθε παρατήρηση θα υπάρχει ξεχωριστό σφάλμα,  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, y, n$ ).

Η βέλτιστη προσέγγιση για τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων  $\beta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) είναι εκείνη του τετραγωνισμού του σφάλματος και της επίλυσης για εκείνες τις τιμές των  $\beta_i$  οι οποίες ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων. Υψώνοντας τα υπόλοιπα στο τετράγωνο, επιτυγχάνονται δύο πράγματα: α) απαλείφεται το πρόσημο από το σφάλμα έτσι ώστε τα θετικά και τα αρνητικά σφάλματα να αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο, και β) αυξάνει παραπάνω από αναλογικά η «ποινή» που επιβάλλεται στα μεγαλύτερα σφάλματα. Αυτή η μέθοδος για την εκτίμηση των παραμέτρων με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων αναφέρεται ως μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων.

Στο γράφημα που ακολουθεί απεικονίζεται η παραπάνω προσέγγιση στην περίπτωση που έχουμε μία μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  (απλή γραμμική παλινδρόμηση).

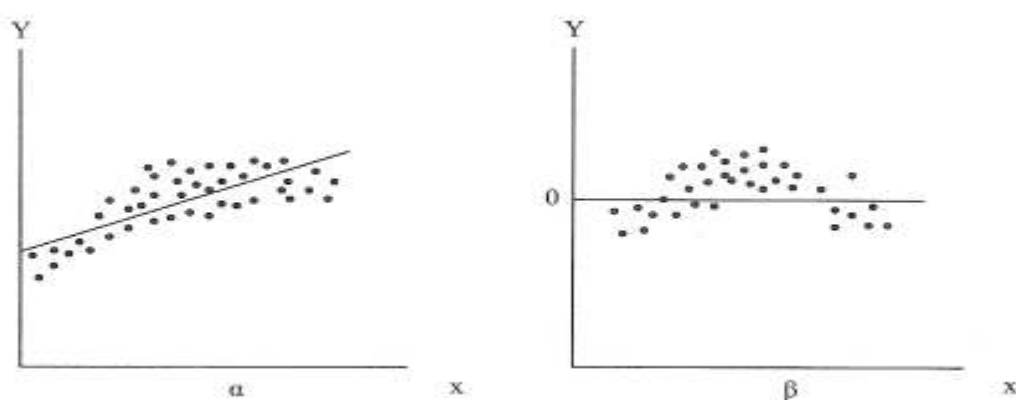


Γράφημα 3. 1: Ευθεία Ελαχίστων Τετραγώνων (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)

### 3.5.1.2 Υποθέσεις Γραμμικής Παλινδρόμησης – Ανάλυση Σφαλμάτων

Κάθε μοντέλο (γραμμικής) παλινδρόμησης θα πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις, έτσι ώστε το μοντέλο αυτό να μπορεί να προσεγγίσει τη επιρροή των ανεξαρτήτων μεταβλητών στην εξαρτημένη με όσο το δυνατόν πιο ορθό και αξιόπιστο τρόπο. Συγκεκριμένα στην περίπτωση της γραμμικής παλινδρόμησης πρέπει να πληρούνται (και φυσικά να γίνεται έλεγχος κάθε φορά) οι παρακάτω τέσσερις υποθέσεις (Σταθόπουλος και Καρλαύτης, 2008):

1. Η υπόθεση της γραμμικότητας, που δηλώνει ότι η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών  $X$  και  $Y$  είναι κατά προσέγγιση γραμμική. Αυτό φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί.



Γράφημα 3. 2: Γραφική διερεύνηση γραμμικότητας (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)

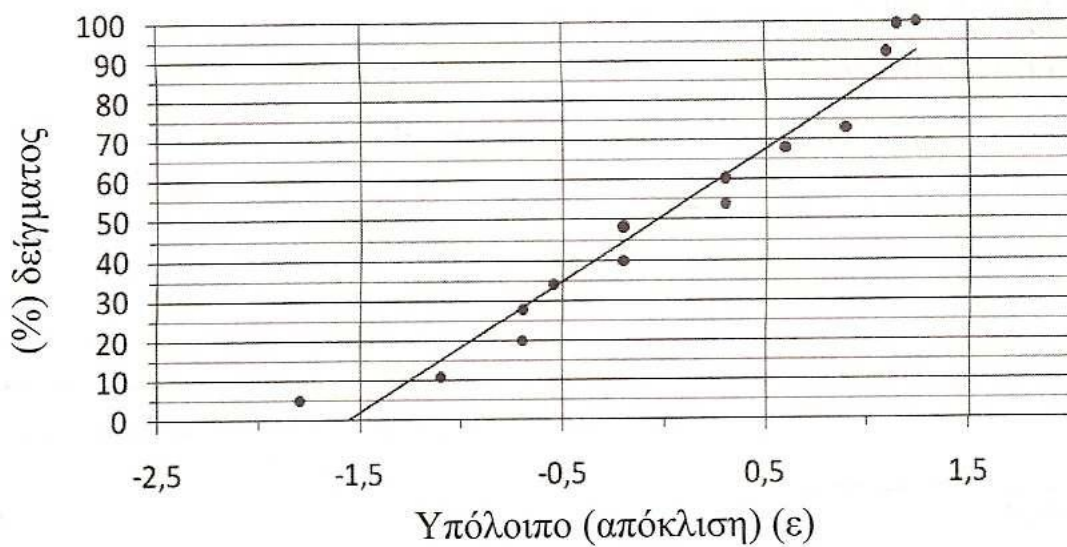
Στο σχήμα (α) φαίνεται το αρχικό διάγραμμα διασποράς που εμπεριέχει την εξαρτημένη μεταβλητή  $y$ , ενώ στο σχήμα (β) φαίνονται οι αποκλίσεις (εί) από το προσαρμοσμένο μοντέλο. Όπως είναι εμφανές, και στα δύο σχήματα ταιριάζει καλύτερα ένα μη-γραμμικό μοντέλο, παρά η γραμμή πρόβλεψης (γραμμική παλινδρόμηση).

2. Η υπόθεση της ανεξαρτησίας, που δηλώνει ότι τα υπόλοιπα (σφάλματα, αποκλίσεις) για διαφορετικές παρατηρήσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Για παράδειγμα, στα παρακάτω διαγράμματα (Γράφημα 3.3), η υπόθεση της ανεξαρτησίας παραβιάζεται και στις δύο περιπτώσεις, επειδή υπάρχει μια φανερή τάση μεταβολής των αποκλίσεων, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να προβλεφθεί το μέγεθος της απόκλισης σε μια δεδομένη παρατήρηση εάν είναι γνωστές οι αποκλίσεις για τις προηγούμενες παρατηρήσεις.

3. Η υπόθεση της κανονικότητας, που δηλώνει ότι η απόκλιση πρέπει να είναι (προσεγγιστικά) κανονικά κατανομημένη. Για παράδειγμα, στο διάγραμμα κανονικότητας του γραφήματος 3.4, οι αποκλίσεις είναι σχεδόν κατά μήκος της γραμμής που σημαίνει ότι ακολουθούν, σε σημαντικό βαθμό, την κανονική κατανομή.

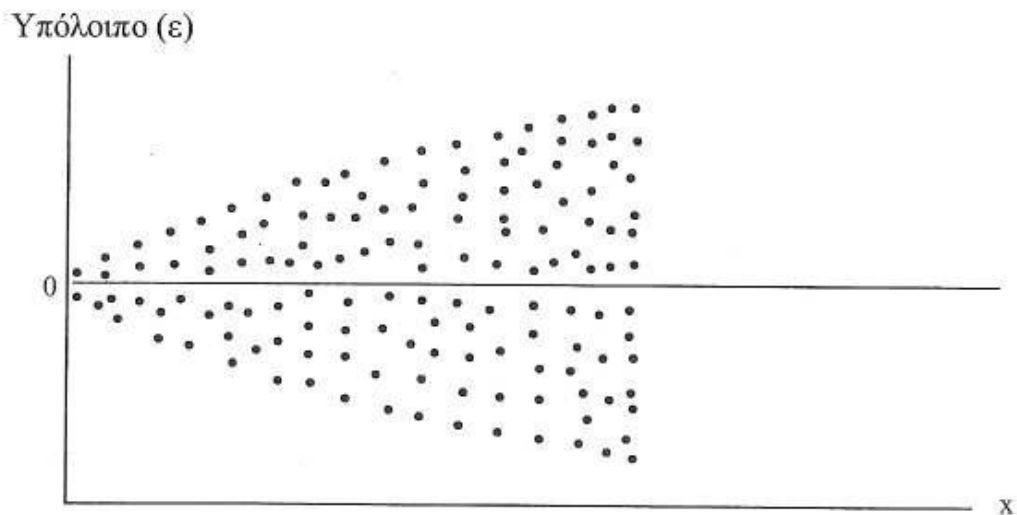


Γράφημα 3. 3: Γραφική διερεύνηση ανεξαρτησίας (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)



Γράφημα 3. 4: Διάγραμμα κανονικότητας (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)

4. Η υπόθεση της ίσης διακύμανσης, που δηλώνει ότι η διακύμανση των σφαλμάτων πρέπει να παραμένει στο ίδιο εύρος για όλες τις παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μία περίπτωση στην οποία αυτή η υπόθεση δεν ικανοποιείται, αφού η διακύμανση των σφαλμάτων αυξάνει σημαντικά σε συνάρτηση με την τιμή του  $x$ .



Γράφημα 3. 5: Γραφική διερεύνηση ίσης διακύμανσης (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)

### 3.6 Η Τεχνική των Ψευδομεταβλητών

Η συμπεριφορά μιας δεδομένης μεταβλητής (π.χ. αριθμός ατυχημάτων κ.λπ.) πολλές φορές είναι συνάρτηση και παραγόντων που από τη φύση τους δεν επιδέχονται ποσοτική μέτρηση, γιατί είναι ποιοτικοί. Τέτοιοι ποιοτικοί παράγοντες, όπως η οικογενειακή κατάσταση, το φύλο, ή το επάγγελμα κ.λπ., δεν μπορούν να μετρηθούν αλλά, μπορούν να απαριθμηθούν. Με άλλα λόγια για τους ποιοτικούς παράγοντες δεν υπάρχουν τιμές από το δείγμα που θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως παρατηρήσεις για την εκτίμηση μιας συναρτήσεως που περιλαμβάνει τους ποιοτικούς παράγοντες ως μεταβλητές. Το πρόβλημα της εισαγωγής ποιοτικών παραγόντων σε ένα υπόδειγμα παλινδρομήσεως αντιμετωπίζεται με την τεχνική των ψευδομεταβλητών (dummy variables) ή δυαδικών μεταβλητών. Οι ψευδομεταβλητές είναι τεχνητές μεταβλητές που παίρνουν συνήθως τις τιμές 0 και 1. Οι μεταβλητές αυτές καλούνται επίσης και διχοτομικές επειδή παίρνουν δύο μόνο τιμές (Χρήστου, 2002).

Οι ψευδομεταβλητές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να παραστήσουν όχι μόνο παράγοντες που δεν μπορούν να μετρηθούν, αλλά και παράγοντες ή χαρακτηριστικά που μπορούν να μετρηθούν, όπως π.χ. ηλικία, έτη φοιτήσεως κ.λπ. Επιπλέον, σε ένα υπόδειγμα παλινδρόμησης και η ίδια η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να παριστάνεται με ψευδομεταβλητή.

Στα επόμενα θα παρουσιαστούν κάποια είδη ψευδομεταβλητών, καθώς και η χρησιμότητα τους και οι τρόποι με τους οποίους επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα μιας εξίσωσης παλινδρόμησης. Τα παραδείγματα που θα παρουσιαστούν για την καλύτερη κατανόηση της μεθόδου, αντλήθηκαν από το σύγγραμμα «Εισαγωγή στην Οικονομετρία» (Χρήστου, 2002). Οι συγκεκριμένες αναφορές αφορούν οικονομικές μεταβλητές, όμως αυτό δεν περιορίζει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ψευδομεταβλητών σε οποιαδήποτε παλινδρόμηση, όπως και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας της οποίας οι εξαρτημένες μεταβλητές είναι αριθμοί ατυχημάτων, νεκρών και τραυματιών.

### 3.6.1 Διαχρονικές Επιδράσεις

Μία από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές των ψευδομεταβλητών αναφέρεται στην ανάλυση των διαχρονικών επιδράσεων, που έχουν ως συνέπεια τη μετατόπιση των διαφόρων συναρτήσεων. Κλασικό παράδειγμα (Χρήστου, 2002) αποτελεί η εκτίμηση της συνάρτησης κατανάλωσης για ένα χρονικό διάστημα που χαρακτηρίζεται από περιόδους ειρήνης και πολέμου. Οι ειδικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν την οικονομία σε περίοδο πολέμου οπωσδήποτε έχουν επιπτώσεις στη συμπεριφορά των δαπανών κατανάλωσης. Για την εκτίμηση, επομένως, της συνάρτησης κατανάλωσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη αν η περίοδος είναι πολεμική ή ειρηνική.

Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα θα ήταν να εκτιμηθούν δύο συναρτήσεις, δηλαδή μία για κάθε περίοδο. Έστω:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \epsilon_t \quad \text{η συνάρτηση κατανάλωσης για την περίοδο ειρήνης}$$

$$\text{και } C_t = b^*0 + b^*1 X_t + \epsilon_t \quad \text{η συνάρτηση κατανάλωσης για την περίοδο πολέμου,}$$

όπου

$$C_t = \text{η κατανάλωση για το έτος } t$$

$$X_t = \text{εισόδημα για το έτος } t$$

Η μεταβολή όμως της συνάρτησης από τη μια περίοδο στην άλλη μπορεί να αναφέρεται μόνο στο σταθερό όρο  $\beta_0$ , ή να αναφέρεται μόνο στην οριακή ροπή για κατανάλωση (κλίση), δηλαδή στο συντελεστή  $\beta_1$ . Μπορεί όμως να αναφέρεται και στους δύο συντελεστές. Παρακάτω θα εξεταστεί κάθε περίπτωση χωριστά.

Περίπτωση Α.

Ας υποθεθεί ότι η οριακή ροπή για κατανάλωση δεν επηρεάζεται και είναι η ίδια και για τις δύο περιόδους, δηλαδή  $\beta_1 = \beta^*1$ , οπότε οι προηγούμενες σχέσεις γράφονται:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \epsilon_t \quad (\text{περίοδος ειρήνης})$$

$$C_t = \beta^*0 + \beta_1 X_t + \epsilon_t \quad (\text{περίοδος πολέμου})$$

Οι δύο συναρτήσεις διαφέρουν τώρα μόνο κατά το σταθερό όρο, που σημαίνει μια παράλληλη μετατόπιση της συνάρτησης. Αντί όμως να εκτιμηθούν δύο συναρτήσεις, μπορεί να εκτιμηθεί μόνο μία, μετά από την εισαγωγή μιας ψευδομεταβλητής,  $D_t$ , ως εξής:

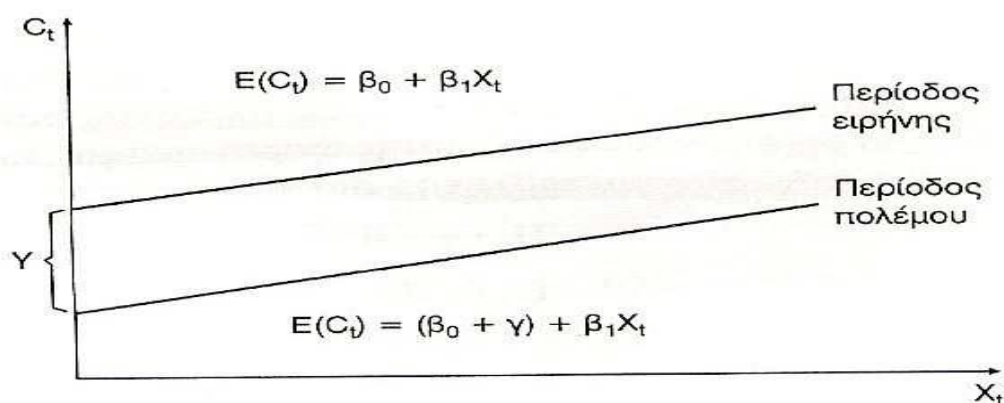
$$C_t = \beta_0 + \gamma D_t + \beta_1 X_t + \epsilon_t$$

όπου  $D_t = 0$  για τα έτη ειρήνης

$D_t = 1$  για τα έτη πολέμου

Συνεπώς για την περίοδο ειρήνης,  $D_t = 0$ , είναι  $C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \epsilon_t$  (περίοδος ειρήνης) ενώ για την περίοδο πολέμου  $D_t = 1$ , οπότε,  $C_t = (\beta_0 + \gamma) + \beta_1 X_t + \epsilon_t$  (περίοδος πολέμου)

Με άλλα λόγια, λοιπόν, ο συντελεστής της ψευδομεταβλητής παριστάνει τη διαφορά ανάμεσα στο σταθερό όρο την περίοδο του πολέμου και στο σταθερό όρο την περίοδο της ειρήνης. Οι προηγούμενες σχέσεις παρουσιάζονται γραφικά στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 3. 6: Παράλληλη μετατόπιση συνάρτησης (Πηγή: Χρήστου, 2002)

Η συνάρτηση εκτιμάται κανονικά με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Σε περίπτωση που η ψευδομεταβλητή  $D_t$  προκύψει στατιστικά σημαντική (από τον έλεγχο  $t$ -test), τότε θεωρείται ότι ο σταθερός όρος έχει επηρεαστεί από τις συνθήκες που επικρατούν κατά την περίοδο του πολέμου.

Περίπτωση Β.

Έστω τώρα, ότι οι διαφορετικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν την οικονομία κατά την περίοδο ειρήνης και κατά την περίοδο πολέμου, επηρεάζουν όχι το σταθερό όρο, αλλά την οριακή ροπή για κατανάλωση, που γραφικά ισοδυναμεί με μεταβολή στην κλίση της συνάρτησης. Οι σχετικές συναρτήσεις για τις δύο περιόδους είναι οι ακόλουθες:



$$C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t \text{ (περίοδος ειρήνης)}$$

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t \text{ (περίοδος πολέμου)}$$

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, αντί για δύο συναρτήσεις, μπορεί να εκτιμηθεί μία, με τη χρησιμοποίηση της (ψευδο)μεταβλητής  $D_t X_t$ , οπότε η εξίσωση γράφεται ως εξής:

$$C_t = \beta_0 + \delta D_t X_t + \beta_1 X_t + \varepsilon_t$$

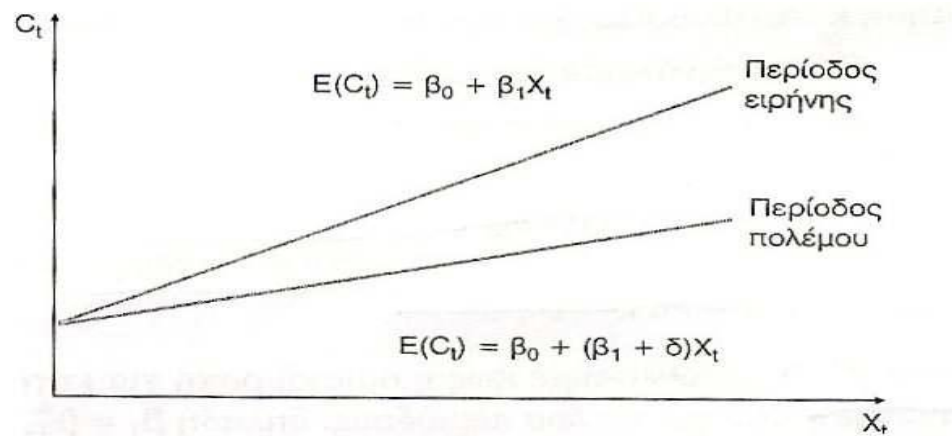
Η μεταβλητή  $D_t X_t$  που είναι το γινόμενο της ψευδομεταβλητής  $D$  επί την ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  είναι γνωστή ως πολλαπλασιαστική ψευδομεταβλητή (multiplicative dummy). Για την περίοδο ειρήνης,  $D_t = 0$  και  $D_t X_t = 0$ , οπότε η εξίσωση γίνεται:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t \text{ (περίοδος ειρήνης)}$$

Για την περίοδο πολέμου,  $D_t = 1$  και  $D_t X_t = X_t$ , οπότε:

$$C_t = \beta_0 + (\beta_1 + \delta) X_t + \varepsilon_t \text{ (περίοδος πολέμου)}$$

Επομένως, ο συντελεστής της ψευδομεταβλητής  $D_t X_t$  παριστάνει τη διαφορά στην οριακή ροπή για κατανάλωση ανάμεσα στις δύο περιόδους. Οι προηγούμενες σχέσεις παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα που ακολουθεί:



Γράφημα 3. 7: Μεταβολή της κλίσης της συνάρτησης (Πηγή: Χρήστου, 2002)

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η συνάρτηση εκτιμάται κανονικά με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Εάν η ψευδομεταβλητή  $D_t X_t$  προκύψει στατιστικά σημαντική, τότε θεωρείται ότι η οριακή ροπή (κλίση της ευθείας) έχει μεταβληθεί.

Περίπτωση Γ.

Αν τώρα υποτεθεί ότι και ο σταθερός όρος και η κλίση έχουν μεταβληθεί, οι δύο προηγούμενες περιπτώσεις μπορούν να συνδυαστούν, οπότε προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση:

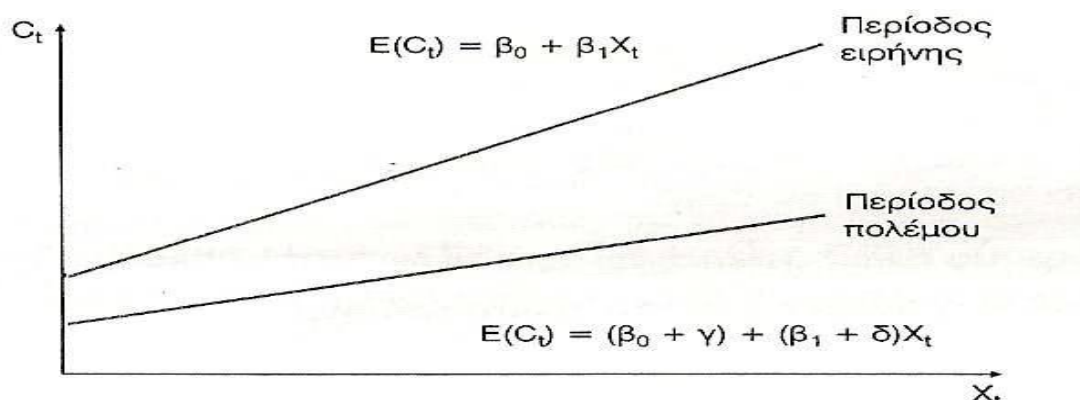
$$C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \gamma D_t + \delta D_t X_t + \epsilon_t \quad \text{όπου } D_t = 0 \text{ για τα έτη ειρήνης}$$

$$D_t = 1 \text{ για τα έτη πολέμου}$$

Επομένως,  $C_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \epsilon_t$  (περίοδος ειρήνης)

$$C_t = (\beta_0 + \gamma) + (\beta_1 + \delta) X_t + \epsilon_t \text{ (περίοδος πολέμου)}$$

Γραφικά η συνάρτηση έχει αλλάξει και θέση και κλίση, όπως στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 3. 8: Μεταβολή της θέσης και της κλίσης της συνάρτησης (Πηγή: Χρήστου, 2002)7

Μπορεί ναδειχθεί ότι με την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων οι εκτιμητές που προκύπτουν στην τελευταία περίπτωση είναι ακριβώς οι ίδιοι με εκείνους των δύο πρώτων περιπτώσεων. Συνεπώς πάντα μπορεί να χρησιμοποιείται κατευθείαν η περίπτωση Γ.

### 3.6.2 Εποχικές Επιδράσεις

Όπως είναι φανερό, οι παρατηρήσεις μιας χρονολογικής σειράς (χρονοσειράς) όταν η χρονική περίοδος στην οποία αναφέρονται είναι μικρότερη από έτος, όπως π.χ. τρίμηνο, μήνες κ.λπ., περιέχουν και εποχικές επιδράσεις. Η επίδραση των εποχικών παραγόντων στη διαμόρφωση των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να ληφθεί υπόψη με ψευδομεταβλητές.

Έστω, ότι (χωρίς βλάβη της γενικότητας)  $Y$  είναι η συνάρτηση μιας μόνο ανεξάρτητης μεταβλητής  $X$  και ότι οι διαθέσιμες παρατηρήσεις αναφέρονται σε τρίμηνα. Εάν υποθεθεί ότι οι εποχικοί παράγοντες επηρεάζουν μόνο το σταθερό όρο, η εξίσωση γράφεται ως εξής:

$$Y_t = \beta_0 + \gamma_1 D_{t1} + \gamma_2 D_{t2} + \gamma_3 D_{t3} + \gamma_4 D_{t4} + \beta_1 X_1 + \varepsilon_t$$

όπου  $D_{ti} = 1$  αν  $t$  αναφέρεται στο  $i$  τρίμηνο  $D_{ti} = 0$  για κάθε άλλη περίπτωση

Στο παραπάνω υπόδειγμα, ο εποχικός παράγοντας παριστάνεται με τέσσερις ψευδομεταβλητές, δηλαδή μία για κάθε τρίμηνο. Το πρόβλημα είναι ότι η εξίσωση, έτσι όπως είναι διατυπωμένη, δεν μπορεί να εκτιμηθεί, γιατί υπάρχει τέλεια γραμμική σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό σαν «παγίδα των ψευδομεταβλητών» (Dummy variable trap). Αντιμετωπίζεται όμως εύκολα αν απαλείψουμε μια ψευδομεταβλητή, έστω π.χ. την  $D_1$ , οπότε η εξίσωση γράφεται:

$$Y_t = \beta_0 + \gamma_2 D_{t2} + \gamma_3 D_{t3} + \gamma_4 D_{t4} + \beta_1 X_1 + \varepsilon_t$$

Γενικά, όταν ο παράγοντας ή το χαρακτηριστικό αναφέρεται σε  $m$  δυνατότητες ή ομάδες, για να είναι δυνατή η εκτίμηση του υποδείγματος στο οποίο υπάρχει σταθερός όρος, ο παράγοντας (το χαρακτηριστικό) παριστάνεται με  $m - 1$  ψευδομεταβλητές. Εάν ο εποχικός παράγοντας δεν έχει καμία σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, οι αντίστοιχες ψευδομεταβλητές δεν θα αποδειχθούν στατιστικά σημαντικές. Στην περίπτωση που εξετάστηκε έγινε η υπόθεση ότι ο εποχικός παράγοντας επηρεάζει μόνο το σταθερό όρο. Μπορούν όμως να διατυπωθούν ανάλογα υποδείγματα για την περίπτωση που θεωρείται ότι ο εποχικός παράγοντας επηρεάζει μόνο την κλίση ή και την κλίση και τον σταθερό όρο (με χρήση πολλαπλασιαστικών ψευδομεταβλητών κ.λπ.).

### 3.7 Αυτοσυσχέτιση και Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα

#### 3.7.1. Η έννοια της Αυτοσυσχέτισης

Μία από τις υποθέσεις της γραμμικής παλινδρόμησης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι η υπόθεση της ανεξαρτησίας των υπολοίπων. Με άλλα λόγια, τα υπόλοιπα (σφάλματα) για διαφορετικές παρατηρήσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Η υπόθεση αυτή ουσιαστικά σημαίνει ότι οι διάφορες τιμές του σφάλματος  $\varepsilon$  δεν συσχετίζονται. Δηλαδή το σφάλμα της περιόδου  $t$  δε συσχετίζεται με το σφάλμα μιας οποιασδήποτε άλλης περιόδου  $s$ . Εάν αυτή η υπόθεση δεν ικανοποιείται, τότε έχουμε το φαινόμενο της αυτοσυσχέτισης (autocorrelation) ή αυτοπαλινδρόμησης (autoregression). Η αυτοσυσχέτιση είναι συνηθισμένο φαινόμενο όταν

χρησιμοποιούνται στοιχεία χρονοσειρών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση όταν χρησιμοποιούνται διαστρωματικά στοιχεία.

Το σφάλμα  $\varepsilon$  της εξίσωσης, ουσιαστικά παριστάνει την επίδραση όλων των παραγόντων που δεν μπορούν να περιληφθούν στην εξεταζόμενη σχέση. Συχνά όμως, η επίδραση πολλών από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να μην εξαντλείται στην τρέχουσα περίοδο, αλλά να διαχέεται και σε μελλοντικές περιόδους. Στην περίπτωση αυτή, οι διαδοχικές τιμές του σφάλματος θα συσχετίζονται. Η αυτοσυσχέτιση μπορεί επίσης να οφείλεται στην παράλειψη ερμηνευτικών (ανεξάρτητων) μεταβλητών, στην εσφαλμένη εξειδίκευση της μαθηματικής μορφής του υποδείγματος καθώς και σε πολλούς άλλους λόγους (Χρήστου, 2002).

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

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

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

Εάν η τιμή τους σφάλματος στην περίοδο  $t$  εξαρτάται όχι μόνο από την τιμή του στην περίοδο  $t - 1$  αλλά και από την τιμή του στην περίοδο  $t - 2$ , δηλαδή,  $\varepsilon_t = \rho_1\varepsilon_{t-1} + \rho_2\varepsilon_{t-2} + u_t$  τότε έχουμε αυτοσυσχέτιση δεύτερης τάξης ή AR(2) κ.ο.κ.

### 3.7.2 Συνέπειες της Αυτοσυσχέτισης Ελέγχοι και Αντιμετώπιση

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

Για την ύπαρξη αυτοσυσχέτισης υπάρχουν αρκετοί τρόποι διαπίστωσης και ελέγχου. Οι περισσότεροι από αυτούς αναφέρονται σε αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης (που είναι και η συνηθέστερη) και βασίζονται στα κατάλοιπα που προκύπτουν από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Ενδεικτικά αναφέρονται η γραφική ανάλυση καταλοίπων, ο έλεγχος με τη στατιστική  $t$ , το κριτήριο  $h$  του Durbin κ.λπ. (Χρήστου, 2002). Ένας πολύ συνήθης έλεγχος γίνεται με το κριτήριο Durbin – Watson (DW) ο έλεγχος αυτός έγινε και στην παρούσα διπλωματική. Το μειονέκτημα αυτού του

κριτηρίου είναι ότι είναι κατάλληλο για τον έλεγχο αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης μόνο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην εκτίμηση του τελικού υποδείγματος δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές που προκύπτουν από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα θα πρέπει να εκτιμηθεί το γενικευμένο γραμμικό υπόδειγμα (generalized linear model). Το υπόδειγμα αυτό διατηρεί όλες τις υποθέσεις του κλασικού γραμμικού υποδείγματος, εκτός από τις υποθέσεις που αναφέρονται στη συμπεριφορά (διακύμανση) των σφαλμάτων (Χρήστου, 2002). Η εκτίμηση του γενικευμένου υποδείγματος γίνεται με τη χρήση της γενικευμένης μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων (generalized least squares method).

### 3.7.3 Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα

Προηγουμένως αναφέρθηκε ότι υπάρχει περίπτωση, κυρίως στην ανάλυση χρονοσειρών, το σφάλμα της περιόδου  $t$  να συσχετίζεται με το σφάλμα μιας οποιασδήποτε άλλης περιόδου  $s$ . Στην περίπτωση όμως που σε μια παλινδρόμηση οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής με χρονικές υστερήσεις ( $Y_{t-1}$ ,  $Y_{t-2}$ , κ.λπ.) χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές, τότε γίνεται λόγος για ένα αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα.

Στη γενική του μορφή, ένα αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα  $p$  τάξης ή  $AR(p)$  διατυπώνεται ως εξής:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + u_t$$

Κατά συνέπεια ένα αυτοπαλίνδρομο πρώτης τάξης ή  $AR(1)$  έχει τη μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + u_t$$

που βέβαια είναι ίδια με τη μορφή του υποδείγματος που περιγράφει την αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξεως και αναφέρθηκε παραπάνω. Αρκεί μόνο να αντικατασταθεί το σφάλμα  $u_t$  με την εξαρτημένη μεταβλητή  $Y_t$  και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης  $\rho$  με το συντελεστή  $\alpha_1$ .

### 3.8 Στατιστική Αξιολόγηση και κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Κάθε μοντέλο για να θεωρηθεί αποδεκτό πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Βασική προϋπόθεση είναι η μη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει να είναι γραμμικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους ( $\rho(x_i, x_j) = 0$ , για κάθε  $i \neq j$ ), διότι διαφορετικά δεν είναι δυνατή η εξακρίβωση της επιρροής της κάθε μεταβλητής στο αποτέλεσμα. Στην περίπτωση συσχέτισης δύο μεταβλητών εμφανίζονται προβλήματα μεροληψίας και επάρκειας.

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

Όσον αφορά στους συντελεστές της εξίσωσης, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των προσήμων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που θεωρηθεί ότι αύξηση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων, τότε σε ένα μοντέλο με ανεξάρτητη μεταβλητή την τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και εξαρτημένη την τιμή του αριθμού των ατυχημάτων, ο συντελεστής της θερμοκρασίας  $\beta_i$  έχει θετικό πρόσημο. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής ( $x_i$ ) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά  $\beta_i$  μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

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

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

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

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

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

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

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

Έτσι για μέγεθος δείγματος περί τα 80 και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι  $t^*=1,671$ , ενώ για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι  $t^*= 1,296$ . Συνεπώς, εάν έχουμε  $t = -3,246$  για κάποια ανεξάρτητη μεταβλητή  $X_i$  τότε παρατηρείται ότι η απόλυτη τιμή του  $t$  είναι μεγαλύτερη από την τιμή του  $t^*$  ( $= 1,671$ ) και άρα είναι αποδεκτή η μεταβλητή ως στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

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

$$R^2 = SSR / SST$$

όπου:

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

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

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής  $Y$  που εξηγείται από την μεταβλητή  $X$ . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του  $R^2$  στην μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών  $Y$  και  $X$ . Ο συντελεστής  $R^2$  έχει συγκριτική αξία. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του  $R^2$  που είναι αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του  $R^2$ .

Όσον αφορά στο σφάλμα της εξίσωσης του μοντέλου, αυτό θα πρέπει να πληροί τρεις προϋποθέσεις (όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως):

- Να ακολουθεί κανονική κατανομή
- Να έχει σταθερή διακύμανση,  $\text{Var}(e_i) = \sigma^2 = c$  και
- Να έχει μηδενική συσχέτιση,  $\rho(e_i, e_j) = 0$ , για κάθε  $i \neq j$

Αναφέρεται ότι η διασπορά του σφάλματος εξαρτάται από το συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$ . Όσο μεγαλύτερο είναι το  $R^2$  τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη που βασίζεται στην ευθεία παλινδρόμησης. Τέλος, σημαντικός είναι και ο έλεγχος της στατιστικής (κριτηρίου) Durbin- Watson. Με τον έλεγχο αυτό επιχειρείται η διερεύνηση ύπαρξης αυτοσυσχέτισης των σφαλμάτων. Η τιμή  $d$  του συντελεστή αυτού του ελέγχου

όπου,  $\varepsilon$  : το σφάλμα της παρατήρησης τη χρονική στιγμή  $t$

$T$ : ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Τα όρια της τιμής του  $d$  ποικίλλουν ανάλογα με το επίπεδο εμπιστοσύνης που επιθυμείται. Πάντως, η τιμή του  $d$  βρίσκεται πάντα μεταξύ του 0 και του 4. Επίσης, εάν  $d = 2$  δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση. Σε περίπτωση που  $d < 1$ , τότε υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο ύπαρξης αυτοσυσχέτισης μεταξύ των σφαλμάτων.

### 3.9 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Στην πορεία αναζήτησης μιας καταλληλότερης μεθόδου επιλέχθηκε η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση (lognormal regression). Μέσω της μεθόδου αυτής δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την έρευνα της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι ίδιο με εκείνο που εφαρμόζεται για την



εκτέλεση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι και αυτή γραμμική. Στη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση (lognormal regression) οι συντελεστές των μεταβλητών του προτύπου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης. Υπολογίζονται από την ανάλυση παλινδρόμησης με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων, δηλαδή υπολογίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το άθροισμα:

$$\sum (Y - (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_i X_i))^2$$

Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι ο φυσικός λογάριθμος της εξαρτημένης μεταβλητής ακολουθεί μια κανονική κατανομή με αριθμητικό μέσο  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma^2$ . Με άλλα λόγια η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση αποτελεί χρήσιμο εργαλείο όταν τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Με τη διαδικασία της παλινδρόμησης συσχετίζεται μια εξαρτημένη μεταβλητή με άλλες, τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Βρίσκει εφαρμογή στη μελλοντική πρόβλεψη μιας μεταβλητής σε σχέση με μια άλλη ή στον προσδιορισμό μιας συναρτησιακής σχέσης  $\log(\mu_i) = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq})$  μεταξύ των παρατηρηθέντων τιμών  $\mu_i (i=1, 2, \dots, q)$  της εξαρτημένης μεταβλητής και των τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών (Bauer, Harwood, 1998). Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$\text{Log}y_i = \beta_0 + \beta_{1i} \cdot X_{1i} + \beta_2 \cdot X_{2i} + \beta_3 \cdot X_{3i} + \dots + \beta_k \cdot X_{ki} + \varepsilon_i$$

όπου:

$y$  : είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$  : είναι οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}$  : είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές.

Εναλλακτικά, μπορεί να διατυπωθεί με την παρακάτω πιο πολύπλοκη μορφή:

$$\mu_i = \exp(\beta_0) \cdot \exp(\beta_1 X_{i1}) \cdot \dots \cdot \exp(\beta_q X_{iq})$$

όπου το  $\log(\mu_i)$  ακολουθεί κανονική κατανομή με μέσο  $\mu_i$  και τυπική απόκλιση  $\sigma^2$ .

### 3.10 Λειτουργία του Εδικού Στατιστικού Λογισμικού

Η ανάλυση παλινδρόμησης έγινε με τη βοήθεια ειδικού στατιστικού λογισμικού. Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης στο λογισμικό MICROSOFT EXCEL, τα στοιχεία τοποθετήθηκαν σε αρχεία και μεταφέρθηκαν στο ειδικό στατιστικό πρόγραμμα 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: Στις διαδικασίες για την παραγωγή περιγραφικών αποτελεσμάτων βρίσκεται η επιλογή Options. Πρόκειται για χρήσιμες στατιστικές περιγραφικές συναρτήσεις (μέσος, τυπική απόκλιση, μέγιστο, ελάχιστο).
- Correlate: Από την διαδικασία που μετράει τη συσχέτιση ανάμεσα σε ζευγάρια μεταβλητών 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 επιλέχθηκε για την ανάλυση των δεδομένων. 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 όσες 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:

- Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  να είναι κατά το δυνατό μεγαλύτερος
- 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  $t$  να είναι μεγαλύτερη από εκείνες που αναφέρονται στον Πίνακα 1 για τα διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης και
- Το επίπεδο σημαντικότητας να είναι μικρότερο από 5%.

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

#### 4.1 Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στη συσχέτιση των τραυματιών και των νεκρών με τις καιρικές συνθήκες, τα κυκλοφοριακά μεγέθη, τις παραβάσεις και την οικονομική κρίση. Μετά από ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ακολούθησε η ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης των στοιχείων. Έπειτα ακολούθησε το επόμενο βήμα που είναι 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.

Το παρόν κεφάλαιο, που αφορά στη συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων, αποτελείται ουσιαστικά από δύο υποκεφάλαια. Αρχικά, το κεφάλαιο αυτό αφορά στην περιγραφή του είδους των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, αλλά και στον τρόπο καταγραφής και επεξεργασίας των στοιχείων αυτών από τις αρμόδιες αρχές ( Τροχαία, ΕΛΣΤΑΤ, κλπ ). Παράλληλα, γίνεται και μια παρουσίαση των στοιχείων που επιλέγησαν και κυρίως της μορφής των αρχείων από τα οποία προήλθαν. Επίσης, περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των στοιχείων, ώστε να επιτευχθεί η κωδικοποίηση τους σε μορφή τέτοια που να είναι συμβατή με το περιβάλλον του λογισμικού, στο οποίο έγινε η στατιστική ανάλυση. Τέλος, παρουσιάζεται και ο τρόπος ανάλυσης των δεδομένων στο στατιστικό λογισμικό μέσω της περιγραφής των κυριότερων εντολών του λογισμικού.

#### 4.2 Είδος Εξεταζόμενων Στοιχείων

Για να επιτευχθεί η στατιστική διερεύνηση της συσχέτισης του αριθμού των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών, του αριθμού των βαριά τραυματιών και νεκρών μοτοσικλετιστών, του αριθμού των ελαφρά τραυματιών πεζών, του αριθμού των βαριά τραυματιών και νεκρών πεζών, του συνολικού αριθμού των ελαφρά τραυματιών και του συνολικού αριθμού των βαριά τραυματιών και νεκρών με τις καιρικές συνθήκες, τα κυκλοφοριακά μεγέθη , τις παραβάσεις και την οικονομική κρίση ήταν αναγκαίο να συλλεχθούν τα εξής στοιχεία :

- Κυκλοφοριακός Φόρτος
- Ταχύτητα
- Αριθμός ελαφρά τραυματιών, βαριά τραυματιών και νεκρών για τις κατηγορίες που ορίστηκαν παραπάνω

- Βροχόπτωση
- Θερμοκρασία
- Παραβάσεις μέθης, ταχύτητας, μη χρήση ζώνης ασφαλείας, μη χρήση κράνους

Η επιλογή των μεταβλητών έγινε με στόχο να αναπτυχθεί ένα αξιόπιστο μοντέλο συσχέτισης το οποίο θα περιγράφει ικανοποιητικά τον τρόπο συσχέτισης τους. Η ανάλυση έγινε μακροσκοπικά, για τον λόγο αυτό επιλέχθηκαν τα στοιχεία να είναι μηνιαία, για την περίοδο από το 2006 – 2011. Η εξαετία που επιλέχθηκε θα δώσει και ένα δείγμα στατιστικά σημαντικό. Τα στοιχεία αφορούν στο λεκανοπέδιο Αττικής.

Επομένως, συγκεντρωτικά τα στοιχεία που αναζητήθηκαν για το λεκανοπέδιο Αττικής είναι το μέσο ύψος βροχόπτωσης (mm), η μέση μηνιαία θερμοκρασία (οC), ο μηνιαίος αριθμός παραβάσεων μέθης, ο μηνιαίος αριθμός παραβάσεων μη χρήσης ζώνης ασφαλείας, ο μηνιαίος αριθμός παραβάσεων μη χρήσης κράνους, ο μηνιαίος αριθμός παραβάσεων ταχύτητας, ο μηνιαίος αριθμός τραυματιών (ελαφρά και βαριά) και νεκρών μοτοσικλετιστών, ο μηνιαίος αριθμός τραυματιών (ελαφρά και βαριά) και νεκρών πεζών και ο συνολικός μηνιαίος αριθμός τραυματιών (ελαφρά και βαριά) και νεκρών.

#### 4.3 Πηγές και διαδικασία καταγραφής στοιχείων

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω είναι εμφανές ότι ήταν αναγκαίο να αναζητηθεί και να συλλεχθεί μια πληθώρα διαφορετικών δεδομένων. Για να είναι χρήσιμα τα δεδομένα αυτά πρέπει να είναι συγκρίσιμα, να έχουν δηλαδή συλλεχθεί και καταγραφεί με ομοιόμορφο τρόπο, βάσει προτύπων συλλογής και κατάταξης που έχουν καθοριστεί από τις αρμόδιες υπηρεσίες (Φραντζεσκάκης και Γκόλιας, 1994).

##### 4.3.1. Κυκλοφοριακά στοιχεία

Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Περιφέρειας Αττικής, το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.) της Περιφέρειας Αττικής ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Ιούλιο του 2004 και έκτοτε η λειτουργία του είναι συνεχής (24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο). Οι κύριοι στόχοι της λειτουργίας του Κ.Δ.Κ. είναι:

- Η βελτιστοποίηση των κυκλοφοριακών συνθηκών και της ασφάλειας του βασικού οδικού δικτύου μέσω της γρήγορης απόκρισης στα συμβάντα, της

ενημέρωσης των οδηγών για τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες και των παρεμβάσεων στη φωτεινή σηματοδότηση.

- Η λήψη - επεξεργασία - μελέτη και αξιοποίηση των κυκλοφοριακών στοιχείων που λαμβάνονται κατά μήκος του βασικού οδικού δικτύου, καθώς και η συνεργασία με πανεπιστημιακούς φορείς (Α.Ε.Ι., Τ.Ε.Ι. κλπ.) για την πραγματοποίηση συναφών ερευνών.
- Η παροχή των κυκλοφοριακών στοιχείων σε «πραγματικό χρόνο» προς τρίτους για στήριξη εφαρμογών τηλεματικής.
- Η συνεργασία με άλλα κέντρα ελέγχου κυκλοφορίας (Τροχαία, Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας Αττικής Οδού, Πυροσβεστική, ΕΚΑΒ, ΤΡΑΜ, κλπ.).

Ο βασικός εξοπλισμός του Κ.Δ.Κ. αποτελείται από περίπου 550 θέσεις μέτρησης των κυκλοφοριακών δεδομένων (απλοί επαγωγικοί βρόχοι και βρόχοι «μηχανικής όρασης»), 217 κάμερες εποπτείας της κυκλοφορίας, 24 Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων, το σύστημα Εποπτείας της Κυκλοφορίας SITRAFFIC CONCERT, καθώς και ρυθμιστές κυκλοφορίας στους σηματοδοτούμενους κόμβους (περίπου 850). Στο πλαίσιο της λειτουργίας του συστήματος, ακολουθούνται αυστηρά οι όροι και προϋποθέσεις που θέτει η Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα και για το λόγο αυτό δεν τηρείται κανένα αρχείο εικόνων, δεν διαπιστώνονται από το Κ.Δ.Κ. παραβάσεις, ούτε εξατομικεύεται κάποιο κυκλοφοριακό στοιχείο.

Το Κ.Δ.Κ., αξιοποιώντας τα κυκλοφοριακά στοιχεία που συλλέγονται από το σύστημα πραγματοποιεί έρευνες σχετικές με την κυκλοφορία, τη φωτεινή σηματοδότηση και την οδική ασφάλεια, τόσο αυτοτελώς όσο και σε συνεργασία με διάφορα ερευνητικά ιδρύματα (π.χ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τ.Ε.Ι. Αθήνας). Αποτελέσματα των ερευνών αυτών είναι τόσο εργασίες που δημοσιεύονται σε επιστημονικά περιοδικά ή συνέδρια όσο και Διπλωματικές Εργασίες σπουδαστών διαφόρων σχολών. Στην εικόνα 4.10 που ακολουθεί φαίνεται το εσωτερικό της κεντρικής αίθουσας του Κ.Δ.Κ., με τις διάφορες οθόνες να εμφανίζουν βίντεο παρακολούθησης κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο.

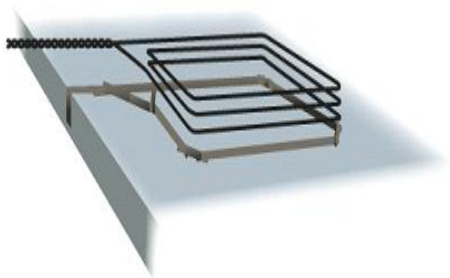


Εικόνα 4.10:Το εσωτερικό της κεντρικής αίθουσας του Κ.Δ.Κ.

Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από το Κ.Δ.Κ. πρωτογενώς είναι εκείνα της κατάληψης της οδού (Occupancy ή  $O$  [%]) μέσω μέτρησης του ποσοστού χρόνου στον οποίο υπάρχει όχημα πάνω στον μετρητή και ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού (Counting ή  $Q$  [Veh/h-οχήματα/ώρα]) με απλό μέτρημα οχημάτων. Επίσης εμφανίζεται η ποιότητα μέτρησης (Quality), η οποία διακρίνεται σε υψηλή και χαμηλή (high and low).

Κατόπιν, μέσω των μετρήσεων της κατάληψης και του μήκους βρόχου προκύπτει δευτερογενώς η ταχύτητα κίνησης οχημάτων (Velocity ή  $V$  [km/h-χιλιόμετρα/ώρα]). Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται είναι ο ορισμός της ταχύτητας, δηλαδή η απόσταση η οποία διανύεται στη μονάδα του χρόνου. Για τον υπολογισμό θεωρείται ένα μέσο μήκος οχήματος  $l_v$  (συνήθως περί τα 5 μέτρα). Έτσι, εάν σε χρόνο  $t_1$  πλέον πρόσθιο μέρος ενός οχήματος βρίσκεται στην αρχή του βρόχου (έναρξη μέτρησης κατάληψης), και σε χρόνο  $t_2$  το πλέον οπίσθιο μέρος ενός οχήματος βρίσκεται στο τέλος του βρόχου (λήξη μέτρησης κατάληψης), η ταχύτητα του οχήματος υπολογίζεται ως  $v=(l_v + l_b) / (t_2 - t_1)$  (όπου  $l_b$  ο μήκος βρόχου).

Επισημαίνεται ότι αυτά τα στοιχεία αφορούν στο σύνολο του ρεύματος κυκλοφορίας της κύριας οδού και όχι στη λωρίδα κυκλοφορίας. Εξαιρέση αποτελούν τοπικές βοηθητικές λωρίδες, όπως λωρίδες επιτάχυνσης/επιβράδυνσης, ράμπες εισόδου/εξόδου κ.λ.π.. Στα σημεία όπου βρίσκονται τέτοιες τοπικές βοηθητικές λωρίδες, όπως και στις λεωφορειολωρίδες, το Κ.Δ.Κ. έχει εγκαταστήσει ξεχωριστούς μετρητές αποκλειστικά για τα δεδομένα εισροών/εκροών στην κύρια λεωφόρο. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται ένας απλός επαγωγικός βρόχος σε απεικονίσεις σχεδιαστικά και σε οδό μετά την εγκατάστασή του.



Εικόνες 4.11 και 4.12: Απλός επαγωγικός βρόχος σε σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) και μετά την εγκατάσταση (δεξιά)

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από το Κ.Δ.Κ. ήταν οι μέσοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί φόρτοι και η μέση ωριαία ταχύτητα, τα οποία επεξεργαστήκαν σε λογισμικό Microsoft Excel και τα μετατρέψαμε σε μέσα μηνιαία μεγέθη. Τα στοιχεία αφορούσαν στις εξής λεωφόρους :

- Λεωφόρος Κηφισίας
- Λεωφόρος Βασιλίσσης Σοφίας
- Λεωφόρος Ποσειδώνος και
- Λεωφόρου Κηφισού

Η επιλογή των συγκεκριμένων λεωφόρων έγινε με γνώμονα το δείγμα μας να αποτελείται από τις κύριες και χαρακτηριστικές αρτηρίες του Λεκανοπεδίου Αττικής.



#### 4.3.2 Μετεωρολογικά Στοιχεία

Τα μετεωρολογικά στοιχεία συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων του ΕΜΠ η οποία αποτελεί μία εξέλιξη του υδρογραφικού συστήματος ΜΕΤΕΟΝΕΤ ( από την ιστοσελίδα [hoa.ntua.gr](http://hoa.ntua.gr) ). Το ΜΕΤΕΟΝΕΤ είναι ένα δίκτυο δέκα αυτόματων τηλεμετρικών υδρομετεωρολογικών σταθμών, εγκατεστημένο ώστε να καλύπτει την ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής. Λειτουργεί από το 2005 και σε κάθε σταθμό υπάρχουν αισθητήρες μέτρησης: βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας – διεύθυνσης - ριπής ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας, καθαρής ακτινοβολίας και διάρκειας ηλιοφάνειας.

Οι μετρήσεις γίνονται κάθε 10 λεπτά, αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων και είναι προσβάσιμες από το διαδίκτυο. Πάνω στη βάση δεδομένων έχουν αναπτυχθεί συστήματα: στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων, επιφανειακής ολοκλήρωσης των μεταβλητών, υπολογισμού βιοκλιματικών δεικτών και διαχείρισης των ιστορικών πρωτογενών και παράγωγων δεδομένων. Οι επεξεργασίες αυτές, επίσης είναι διαθέσιμες από το διαδίκτυο με τη μορφή αρχείων, διαγραμμάτων και χαρτών.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι θερμομέτρων (συνήθη, μεγίστου, ελαχίστου) που τοποθετούνται μέσα σε μετεωρολογικούς κλωβούς που εξασφαλίζουν σκίαση επιτρέποντας την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα. Η θερμοκρασία καταγράφεται σε συνεχή βάση με τη χρήση θερμογράφου. Τα δεδομένα θερμοκρασίας που συνήθως παρουσιάζονται είναι η μέση, μέγιστη, και ελάχιστη θερμοκρασία σε ημερήσια βάση καθώς και οι συνεπαγόμενοι μέσοι όροι αυτών σε μηνιαία βάση. Η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία προκύπτουν από άμεσες αναγνώσεις της ταινίας του θερμογράφου (θερμογράφημα). Η μέση ημερήσια θερμοκρασία προκύπτει με ακρίβεια από την ολοκλήρωση του ημερήσιου θερμογραφήματος. Στην Ελλάδα η θερμοκρασία μετράται σε βαθμούς Κελσίου (οC) (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997).

Σε ότι αφορά στη μέτρηση της βροχόπτωσης, υπάρχει ένα δίκτυο βροχομετρικών σταθμών σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια. Σε κάθε σταθμό είναι εγκατεστημένη μια διάταξη μέτρησης του ύψους της βροχόπτωσης (σε mm). Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει ένα μεταλλικό δοχείο υποδοχής της βροχής και έναν κύλινδρο συλλογής της βροχής με χιλιοστομετρική κλίμακα μέτρησης του ύψους βροχόπτωσης. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις συναντώνται βροχογράφοι, δηλαδή βροχόμετρα, στα οποία προστίθεται ένας καταγραφικός μηχανισμός ύψους – χρόνου βροχής. Σε τακτά χρονικά διαστήματα (24 ώρες ή εβδομάδα) η ταινία καταγραφής του ύψους βροχόπτωσης αντικαθίσταται και τα δεδομένα εισάγονται στον υπολογιστή. Σε περίπτωση που ακολουθείται η παλαιά μέθοδος (απλά βροχόμετρα), ο αρμόδιος υπάλληλος διαβάζει περιοδικά (ανά 12 ή 24 ώρες) το ύψος του νερού στη δεξαμενή.

Είναι προφανές ότι οι ακριβέστερες μετρήσεις δίνονται από τους βροχογράφους, ωστόσο το βροχομετρικό δίκτυο στη χώρα μας δεν έχει πλήρως ανανεωθεί με αποτέλεσμα να υπάρχουν ακόμα βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν τις παλαιές διατάξεις. Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι ότι το βροχομετρικό δίκτυο της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από μια ασυντόνιστη εγκατάσταση των σταθμών μέτρησης με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιοχές να συσσωρεύονται σταθμοί διαφόρων υπηρεσιών, ενώ άλλες περιοχές να παραμένουν σχεδόν ακάλυπτες. Έτσι η ποιότητα της συλλεγόμενης πληροφορίας δεν είναι πάντα επαρκής (Ξανθόπουλος, 1990). Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκαν οι μετεωρολογικοί σταθμοί Ζωγράφου, Πεντέλης, Γαλασίου και Αγίου Κοσμά.

#### 4.3.3 Στοιχεία Ατυχημάτων

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων ΣΑΝΤΡΑ (Σύστημα Ανάλυσης Τροχαίων Ατυχημάτων) του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ. Η βάση αυτή έχει διαμορφωθεί από στοιχεία που προέρχονται από τα Δελτία καταγραφής Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (ΔΟΤΑ) που συμπληρώνονται από την Τροχαία μετά το συμβάν ενός οδικού ατυχήματος το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τραυματισμό ή θάνατο προσώπου και κωδικοποιούνται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), όπου κάθε μεταβλητή λαμβάνει συγκεκριμένες αριθμητικές και αλφαριθμητικές τιμές. Αυτή η συλλογή και ταξινόμηση εξασφαλίζει την ορθότητα των στοιχείων αλλά και τη διαθεσιμότητά τους στους ερευνητές.

Τα στοιχεία των οδικών ατυχημάτων συλλέγονται σε πρώτο στάδιο από την Τροχαία για κάθε οδικό ατύχημα με τραυματισμό. Η συλλογή των στοιχείων γίνεται με τη συμπλήρωση του Δελτίου Οδικού Τροχαίου Ατυχήματος (ΔΟΤΑ), το οποίο συμπληρώνεται για κάθε οδικό ατύχημα που έχει ως αποτέλεσμα το θάνατο ή τον τραυματισμό προσώπου ή προσώπων. Το δελτίο εκδίδεται από την ΕΛ.ΣΤΑΤ. και συμπληρώνεται από την Τροχαία. Ισχύει για όλη τη χώρα ώστε να υπάρχει αξιοπιστία αλλά και ομοιομορφία στην καταγραφή των ατυχημάτων. Υπόδειγμα της μορφής ενός αυθεντικού ΔΟΤΑ παρουσιάζεται στο Παράρτημα.

Στο ΔΟΤΑ περιλαμβάνονται πληροφορίες που περιγράφουν όλες τις αντικειμενικές μεταβλητές του ατυχήματος καθώς και τις συνθήκες που επικρατούσαν όταν συνέβη αυτό. Αναλυτικότερα, περιλαμβάνονται πληροφορίες που σχετίζονται με το χρόνο που συνέβη το ατύχημα (έτος, μήνα, ημέρα, ώρα), τον τόπο του ατυχήματος (κατοικημένη ή μη κατοικημένη περιοχή, είδος και τύπος οδού), τον τύπο του ατυχήματος (μετωπική, πλαγιομετωπική κ.α.), τους συμμετέχοντες στο ατύχημα

(αριθμός παθόντων), τις ανθρώπινες απώλειες (νεκροί, βαριά ή ελαφρά τραυματίες), το είδος του ελιγμού που προκάλεσε το ατύχημα (προσπέραση, αλλαγή λωρίδας,

κ.α.), τις καιρικές συνθήκες (βροχή, καλοκαιρία κ.α.), το είδος και την κατάσταση του οδοστρώματος, την ύπαρξη σηματοδότησης - σηματορύθμισης και τέλος κάποια συμπληρωματικά στοιχεία που αφορούν στην ηλικία, την υπηκοότητα των παθόντων, την ηλικία των οχημάτων, τις κατηγορίες των διπλωμάτων, και τη γενική χρήση εξοπλισμού ασφαλείας όπως οι ζώνες ασφαλείας και το κράνος.

Το ΔΟΤΑ δηλαδή αποτελεί ένα δελτίο καταγραφής πληροφοριών σχετικά με τα οδικά ατυχήματα. Το πρώτο ΔΟΤΑ διαμορφώθηκε το 1963, ενώ εκείνο που ισχύει μέχρι και σήμερα, έχει διαμορφωθεί και εφαρμόζεται από το 1996. Έτσι από τις αρχές του 1996 έχει τεθεί σε εφαρμογή το νέο, αναμορφωμένο ΔΟΤΑ που καταρτίστηκε με τη συνεργασία σειράς αρμοδίων φορέων και υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένου του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ, και το οποίο έχει συμβολή στη διερεύνηση των αιτιών των οδικών ατυχημάτων.

Τα στοιχεία του ΔΟΤΑ, αναφέρονται στη στιγμή που συνέβη το οδικό ατύχημα και σε αυτήν προσδιορίζονται ο τύπος του ατυχήματος, οι αποφασιστικοί ελιγμοί, οι συνθήκες του ατυχήματος κλπ. Τα στοιχεία όμως που αφορούν στις συνέπειες του ατυχήματος (νεκροί και βαριά τραυματίες) συμπληρώνονται οριστικά μετά το τέλος της 30<sup>ης</sup> ημέρας από το ατύχημα. Για αυτό το λόγο πρέπει να παρακολουθείται η εξέλιξη της κατάστασης κάθε τραυματία, σε συνεργασία με το νοσηλευτικό ίδρυμα, στο οποίο αυτός εισήχθη και στην περίπτωση και μόνο που, συνεπεία του ατυχήματος, απεβίωσε, θα καταγραφεί ως νεκρός σύμφωνα με τις επιταγές των σχετικών διεθνών κανονισμών (εάν ο θάνατος επήλθε εντός 30 ημερών από την ημέρα του ατυχήματος). Λεπτομερής περιγραφή του ΔΟΤΑ καθώς και των τιμών που μπορεί να έχουν οι μεταβλητές του θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, αφού στα στοιχεία του ΔΟΤΑ θα στηριχθεί η στατιστική επεξεργασία που θα οδηγήσει στην ανάπτυξη του μαθηματικού προτύπου για τη συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με τις καιρικές συνθήκες.

Το ΔΟΤΑ αφού συμπληρωθεί από την Τροχαία αποστέλλεται σε αντίγραφο στην Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), αλλά και στη Διεύθυνση Μηχανογράφησης του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. Όταν η ΕΛ.ΣΤΑΤ. παραλάβει το αντίγραφο αποκωδικοποιεί τις πληροφορίες και τις οργανώνει σε πρωτογενείς βάσεις δεδομένων όπου κάθε μεταβλητή παίρνει αριθμητικές ή αλφαριθμητικές τιμές. Έτσι δημιουργείται μια βάση με λεπτομερή εξατομικευμένα στοιχεία πάνω στην οποία στηρίχτηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στη συνέχεια αναφέρονται υπό μορφή καταλόγου όλες οι μεταβλητές οι οποίες συμπληρώνονται σε ένα Δ.Ο.Τ.Α. ύστερα από ένα οδικό ατύχημα και κατόπιν κωδικοποιούνται κατάλληλα από την ΕΛ.ΣΤΑΤ. :

- Αύξων αριθμός ατυχήματος

- Τόπος ατυχήματος
- Είδος οδού
- Χρόνος ατυχήματος
- Παθόντες
- Αριθμός οχημάτων
- Είδος οδοστρώματος
- Ατμοσφαιρικές συνθήκες
- Συνθήκες οδοστρώματος
- Κατάσταση οδοστρώματος
- Φωτισμός κατά τη νύχτα
- Ειδικά στοιχεία οχήματος
- Τύπος οδού
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού
- Τύπος ατυχήματος πρώτης σύγκρουσης
- Ελιγμός οχήματος Α που πιθανόν συντέλεσε στο ατύχημα
- Θέση και κίνηση παθόντων πεζών
- Ρύθμιση κυκλοφορίας, σήμανση και σηματοδότηση
- Σκαρίφημα
- Δίπλωμα οδήγησης – κατηγορία και έτος απόκτησης αυτού

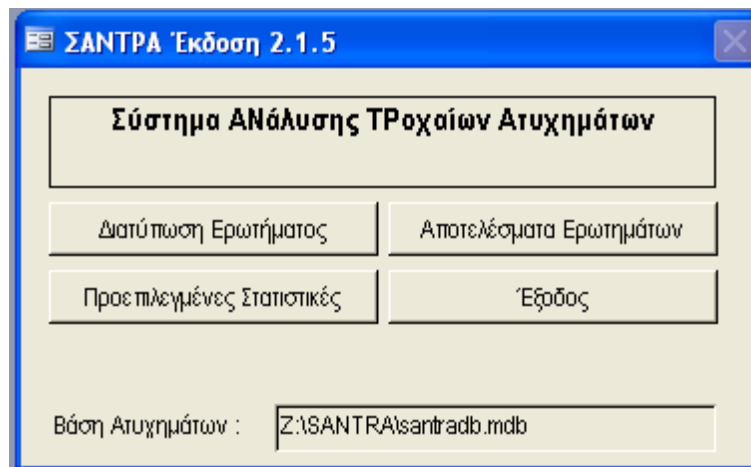
Τα στοιχεία αυτά υφίστανται μια δευτερογενή επεξεργασία – κωδικοποίηση, με βάση την οποία οι μεταβλητές κατηγοριοποιούνται σε τέσσερα επιμέρους αρχεία. Το πρώτο αρχείο αφορά στα στοιχεία του ατυχήματος (Accident table), το δεύτερο αρχείο έχει να κάνει με τα στοιχεία του οχήματος (Vehicle table), το τρίτο αρχείο αναφέρεται στις πληροφορίες για τα εμπλεκόμενα πρόσωπα (Person table), και το τελευταίο αρχείο αποτελείται από δεδομένα σχετικά με τον εξοπλισμό ασφαλείας του οχήματος (Safety Equipment table). Κάθε ένα από τα ατυχήματα περιγράφεται από μια εγγραφή (Record), η οποία αποτελείται από κάποια πεδία (Fields) που αντιστοιχούν στις μεταβλητές του Δ.Ο.Τ.Α. που κωδικογραφούνται στην ΕΛ.ΣΤΑΤ.. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η βάση δεδομένων αναφέρεται σε στοιχεία οδικών ατυχημάτων από το 1996 έως το 2010.

Το Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. λειτουργεί ως βάση δεδομένων μορφής Microsoft Access, με τα στοιχεία του να προέρχονται από τις βάσεις δεδομένων της ΕΛ.ΣΤΑΤ. και να ενημερώνονται σε ετήσια βάση. Με τη διατύπωση κατάλληλων ερωτημάτων από το χρήστη αντλούνται τα επιθυμητά δεδομένα για τα ζητήματα υπό εξέταση, τα οποία είναι διαθέσιμα υπό μορφή πινάκων για περαιτέρω επεξεργασία. Το Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την έρευνα στον τομέα της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, καθώς ο ερευνητής έχει άμεση πρόσβαση σε πληθώρα αναλυτικών δεδομένων ατυχημάτων σε εθνικό επίπεδο και σε βάθος πολλών ετών. Μολαταύτα, η χρήση της βάσης δεδομένων και του συστήματος γενικότερα απαιτεί προσοχή καθώς τα στοιχεία τα οποία εμπεριέχει είναι εμπιστευτικού χαρακτήρα και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε ερευνητικές δραστηριότητες με σκοπό τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

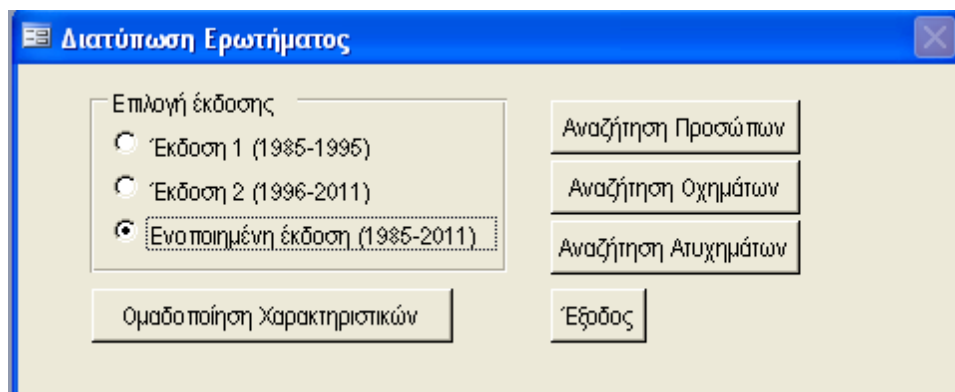
Κατά την υποβολή ερωτήματος, αφού επιλέξει την έκδοση του λογισμικού προς χρήση, ο χρήστης επιλέγει ένα από τα τέσσερα προαναφερθέντα αρχεία (ατυχήματος, οχήματος, προσώπου, εξοπλισμού ασφαλείας) από το οποίο θα αντληθούν τα στοιχεία. Η επιλογή αυτή πραγματοποιείται με βάση το αντικείμενο προς διερεύνηση. Κατόπιν επιλέγεται τοποθεσία και χρονολογίες ενδιαφέροντος, και οριοθετείται έτσι το ερώτημα. Έχει καθοριστεί δηλαδή το υποσύνολο των ατυχημάτων της βάσης δεδομένων τα οποία θα εξεταστούν, καθώς και η σκοπιά εξέτασής τους.

Εκτός από τα δεδομένα συμβάντων ατυχημάτων και παθόντων, πρόσθετοι παράγοντες είναι επιθυμητοί στην ανάλυση προκειμένου να κατανοηθούν οι συνθήκες οι οποίες οδηγούν σε οδικό ατύχημα αυξημένης σοβαρότητας. Στοιχεία για αυτούς τους παράγοντες, οι οποίοι έχουν τη μορφή των λοιπών χαρακτηριστικών κάθε οδικού ατυχήματος, παρέχονται μέσω του Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. κατά το στάδιο της ομαδοποίησης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση για το ποιοί παράγοντες έχουν αυξημένη επιρροή στη σοβαρότητα οδικών ατυχημάτων αντλήθηκε μεγάλος αριθμός μεταβλητών οι οποίες κρίθηκε ότι αναφέρονται στο οδικό ατύχημα και είναι δυνατόν να παρέχουν ενδιαφέρουσες πληροφορίες. Με την υποβολή του πλήρους ερωτήματος πραγματοποιείται η εκτέλεσή του από το λογισμικό, και τα στοιχεία εμφανίζονται όπως αυτά έχουν ζητηθεί και ομαδοποιηθεί σε αρχείο μορφής Microsoft Access. Για την περαιτέρω επεξεργασία τους το μόνο που απαιτείται είναι μια απλή μεταφορά σε αρχείο Microsoft Excel. Επίσης δίνεται στο χρήστη δυνατότητα επανασκόπησης του ερωτήματός του για έλεγχο.

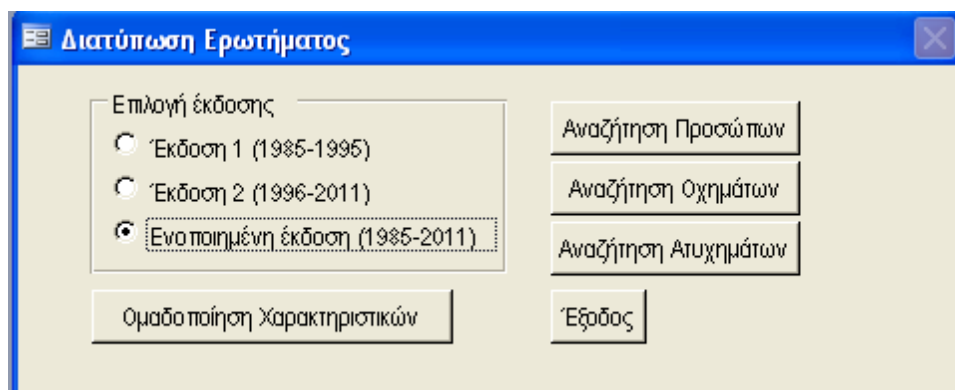
Ακολουθεί μια σειρά εικόνων (4.1 – 4.8) οι οποίες παρουσιάζουν τα στάδια δημιουργίας και υποβολής ερωτήματος στο Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.:



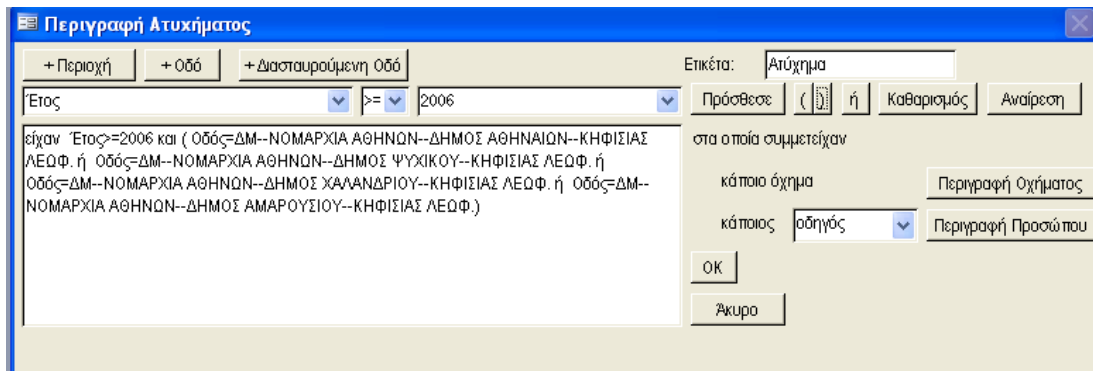
Εικόνα 4.1: Αρχική οθόνη Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α. – Επιλογή διατύπωσης ερωτήματος



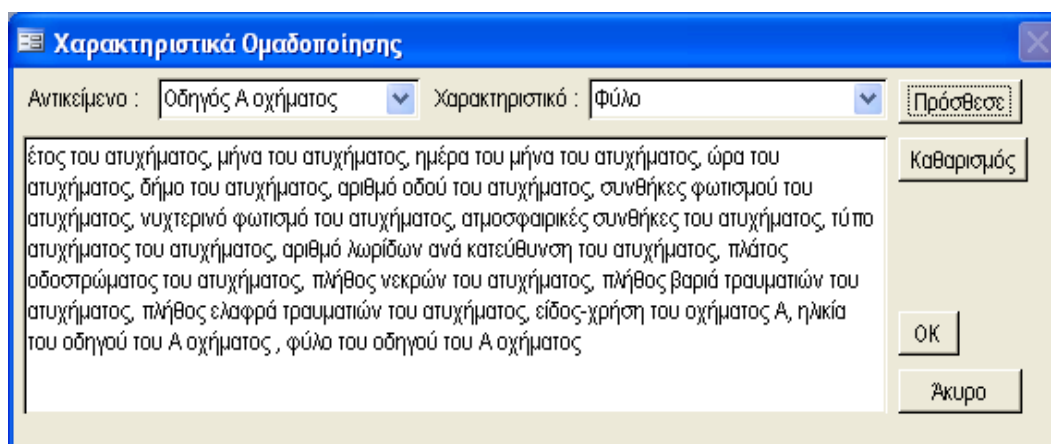
Εικόνα 4.2: Επιλογή έκδοσης Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.



Εικόνα 4.3: Επιλογή μετρούμενης μονάδας (αρχείου προς προσπέλαση)



Εικόνα 4.4: Περιγραφή ατυχημάτων προς ανάκτηση



Εικόνα 4.5: Επιλογή χαρακτηριστικών ομαδοποίησης ατυχημάτων

**Αναζήτηση Ατυχημάτων**

Δώσε το πλήθος ατυχημάτων  Περιγραφή Ατυχήματος

ομαδοποιημένα ανά  Χαρακτηριστικά Ομαδοποίησης

Δώσε το πλήθος ατυχημάτων όπου είχαν Έτος=2006 και ( Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΑΘΗΝΑΙΩΝ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΨΥΧΙΚΟΥ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.)

ομαδοποιημένα ανά έτος του ατυχήματος, μήνα του ατυχήματος, ημέρα του μήνα του ατυχήματος, ώρα του ατυχήματος, δήμο του ατυχήματος, αριθμό οδού του ατυχήματος, συνθήκες φωτισμού του ατυχήματος, νυχτερινό φωτισμό του ατυχήματος, ατμοσφαιρικές συνθήκες του ατυχήματος, τύπο ατυχήματος του ατυχήματος, αριθμό λωαίδων ανά κατεύθυνση του

Καθαρισμός

Εκτέλεση

Άκυρο

Εικόνα 4.6: Διατύπωση τελικού ερωτήματος

**Αποτελέσματα Ερωτημάτων**

Όνομα  ερώτημα 77  Αναφορά

Ερώτημα  πλήθος ατυχημάτων όπου είχαν ( Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΑΘΗΝΑΙΩΝ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΨΥΧΙΚΟΥ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ. ή Οδός=ΔΜ--ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ--ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.)

Ημερομηνία δημιουργίας  19/4/2012  Πίνακας  δύο διαστάσεων

Έκδοση  Έκδοση 2 (1996-2010)  Στοιχεία ερωτήματος

Πλήθος περιπτώσεων  697  Εξαγωγή Αρχείου κειμένου

Διαγραφή

Έξοδος

<  <  76  >  >  Συνολικό πλήθος Ερωτημάτων  200

Εξαγωγή ερωτημάτων  Εισαγωγή Ερωτημάτων  Διαγραφή όλων των ερωτημάτων

Εικόνα 4.7: Αναφορά στοιχείων τελικού ερωτήματος

**\_res\_show\_77 : Table**

έτος του ατυχήματος	μήνα του ατυχήματος	ημέρα του μήνα	ώρα του ατυχήματος	δήμο του ατυχήματος	αριθμό οδού του ατυχήματος	αριθμό λωαίδων	συνθήκες φωτισμού	πλήθος νεκρών	πλήθος βαριά τραυματιών	πλήθος ελαφρώς τραυματιών
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	22	18	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	23	6	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	23	13	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ	029	3	Μέρα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	24	3	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ	82	3	Νύχτα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	25	5	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	25	17	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ	085	3	Σούρουπο	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	26	5	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	26	16	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ	342	3	Μέρα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	28	16	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Μέρα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	28	20	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2006	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	29	5	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2007	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2	14	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Μέρα	0	0	0
2007	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	7	3	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0
2007	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11	16	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ	80	3	Μέρα	0	0	0
2007	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	19	19	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘ		3	Νύχτα	0	0	0

Record:  <  1  >  \* of 597

Εικόνα 4.8: Ενδεικτικό αρχείο πίνακα αποτελεσμάτων



Τα δεδομένα των τραυματιών και νεκρών αναφέρονται γενικότερα για την περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής. Αφού συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάλυση από την συγκεκριμένη βάση δεδομένων αποθηκεύτηκαν στο λογισμικό Microsoft Excel.

#### 4.3.4 Στοιχεία Παραβάσεων

Για την ανάπτυξη του μοντέλου απαραίτητα ήταν και τα στοιχεία των παραβάσεων. Η συλλογή τους έγινε από την Διεύθυνση Τροχαίας Αττικής και συγκεκριμένα από τη βάση δεδομένων τους όπου εκεί καταγράφουν τις παραβάσεις σε λογισμικό Microsoft Excel. Έτσι ήταν εύκολη η επεξεργασία τους και η συμβατότητα τους με τα δεδομένα ατυχημάτων αφού ανήκουν στο ίδιο περιβάλλον εργασίας. Παρακάτω φαίνεται χαρακτηριστικά η μορφή των στοιχείων των παραβάσεων όπως ακριβώς αντλήθηκε από τη Διεύθυνση Τροχαίας του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη. Οι παραβάσεις αυτές αφορούσαν τις παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας, μη χρήσης κράνους, τις παραβάσεις ορίων ταχύτητας και τις παραβάσεις για τη μέθη.

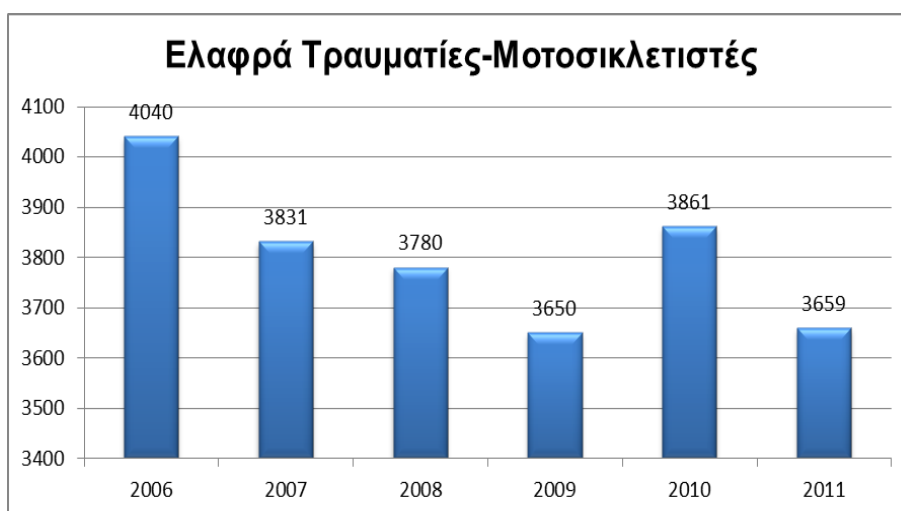
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΡΟΧΑΙΑΣ/Α.Ε.Α.											
ΜΕΘΗ						ΤΑΧΥΤΗΤΑ					
Ειρηφάνια Άοισμα 2006	Ειρηφάνια Άοισμα 2005	Ποσοστιαία διαφορά	Πιαισίματα 2006	Πιαισίματα 2005	Ποσοστιαία διαφορά	Πλημμελήματα 2006	Πλημμελήματα 2005	Ποσοστιαία διαφορά	Παράβες 2006	Παράβες 2005	Ποσοστιαία διαφορά
28736	27172	5,8%	800	652	22,7%	104	108	-3,7%	4427	3825	15,7%
6002	4299	39,6%	312	270	15,6%	62	78	-20,5%	2793	2381	17,3%
1460	808	80,7%	39	26	50,0%	4	10	-60,0%	462	408	13,2%
1778	1502	18,4%	66	5	%	12	8	50,0%	830	747	11,1%
1770	1868	-5,2%	42	3	Δύοσε μόνο ΑΚΕΡΑΙΟ ΑΡΙΘΜΟ	4	10	-60,0%	285	168	69,6%
2803	2290	22,4%	68	3	%	9	5	80,0%	353	346	2,0%
2150	1364	57,6%	42	17	147,1%	6	3	100,0%	731	167	337,7%
499	523	-4,6%	4	10	-60,0%	1	0	#DIV/0!	275	202	36,1%
3261	2379	37,1%	81	105	-22,9%	12	12	0,0%	1130	706	60,1%

Εικόνα 4.9: Βάση δεδομένων Διεύθυνσης Τροχαίας Αττικής

#### 4.4 Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία

Στη συνέχεια ακολουθούν τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία όπως προέκυψαν από την περιγραφική ανάλυση των συγκεντρωτικών δεδομένων. Αυτά τα στοιχεία επιτρέπουν μία πρώτη ανασκόπηση των δεδομένων και ως εκ τούτου την αναγνώριση ορισμένων φαινομένων ή τάσεων και την εξοικείωση με την τάξη μεγέθους των αριθμών. Επίσης, είναι πιθανό με την περιγραφική ανάλυση να ανιχνευτεί η βαρύτητα κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη ώστε έπειτα να διερευνηθεί περαιτέρω κατά την διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων.

Από μία πρώτη στατιστική ανάλυση των δεδομένων προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα με την μορφή διαγραμμάτων και για τις τρεις εξεταζόμενες κατηγορίες, τους μοτοσικλετιστές, τους πεζούς και τους τραυματίες στο σύνολό τους. Παρατίθενται κυρίως εκείνοι που θεωρήθηκε ότι προσέφεραν τις σημαντικότερες πληροφορίες για την αντιμετώπιση των ζητημάτων της Διπλωματικής Εργασίας.



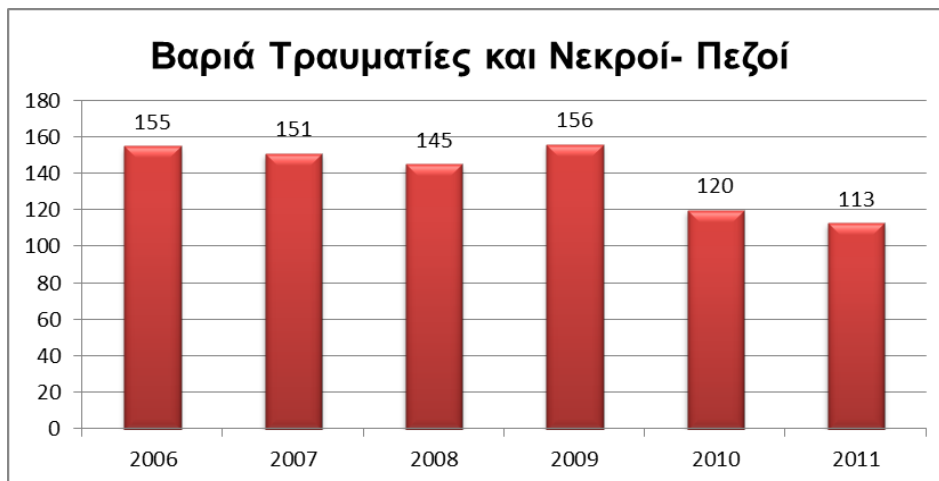
Διάγραμμα 4.1: Ελαφρά Τραυματίες - Μοτοσικλετιστές



Διάγραμμα 4.2: Βαριά Τραυματίες και Νεκροί - Μοτοσικλετιστές



Διάγραμμα 4.3: Ελαφρά Τραυματίες - Πεζοί



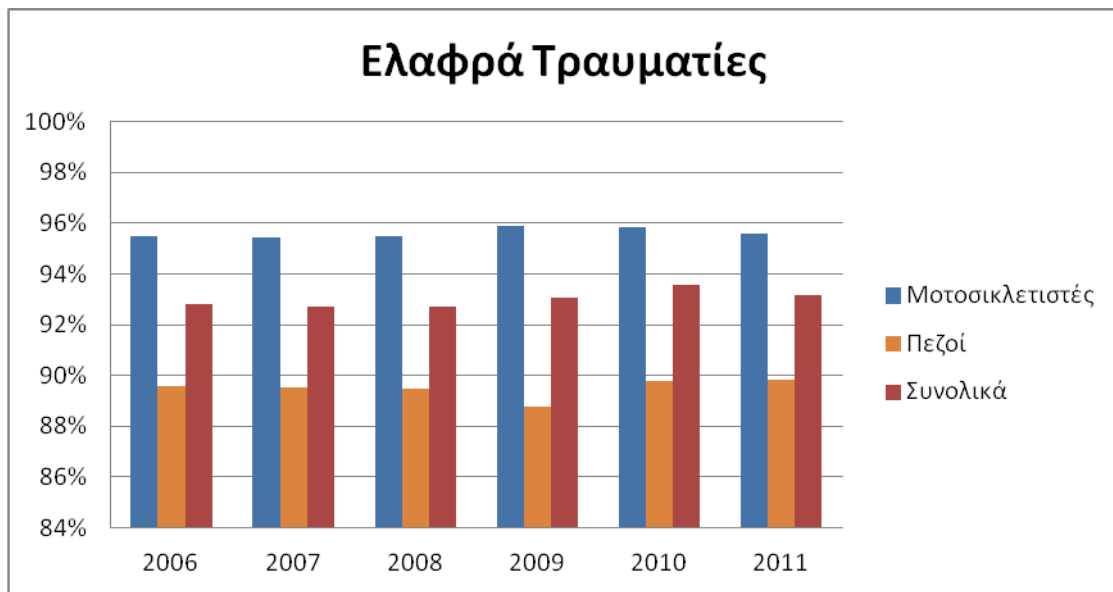
Διάγραμμα 4.4: Βαριά Τραυματίες και Νεκροί - Πεζοί



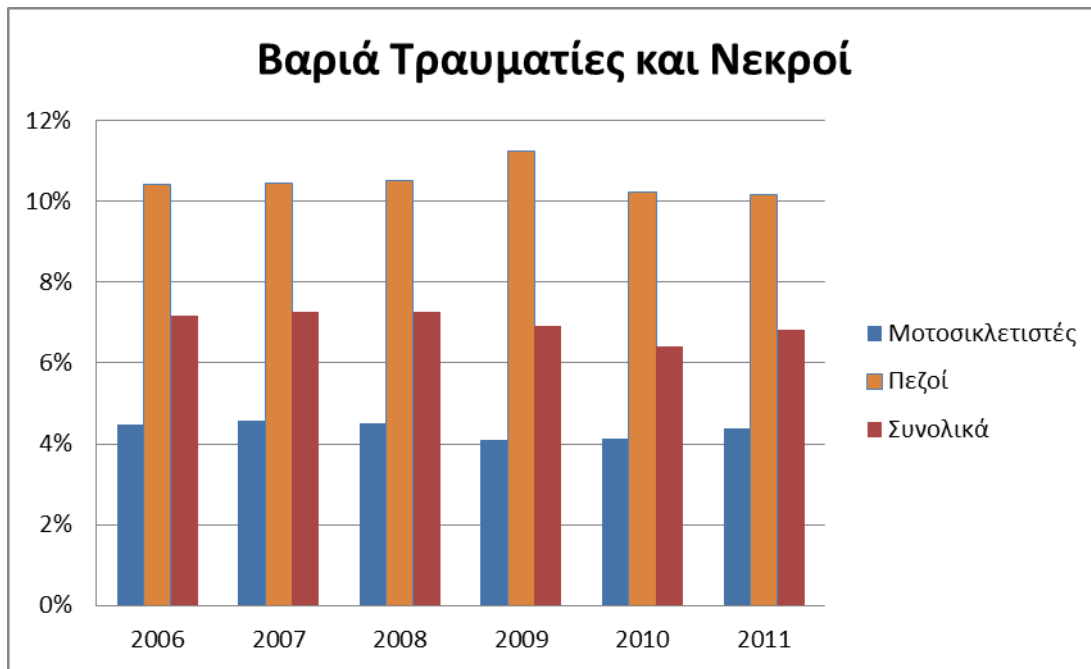
Διάγραμμα 4.5: Ελαφρά Τραυματίες – Συνολικά



Διάγραμμα 4.6: Βαριά Τραυματίες και Νεκροί – Συνολικά



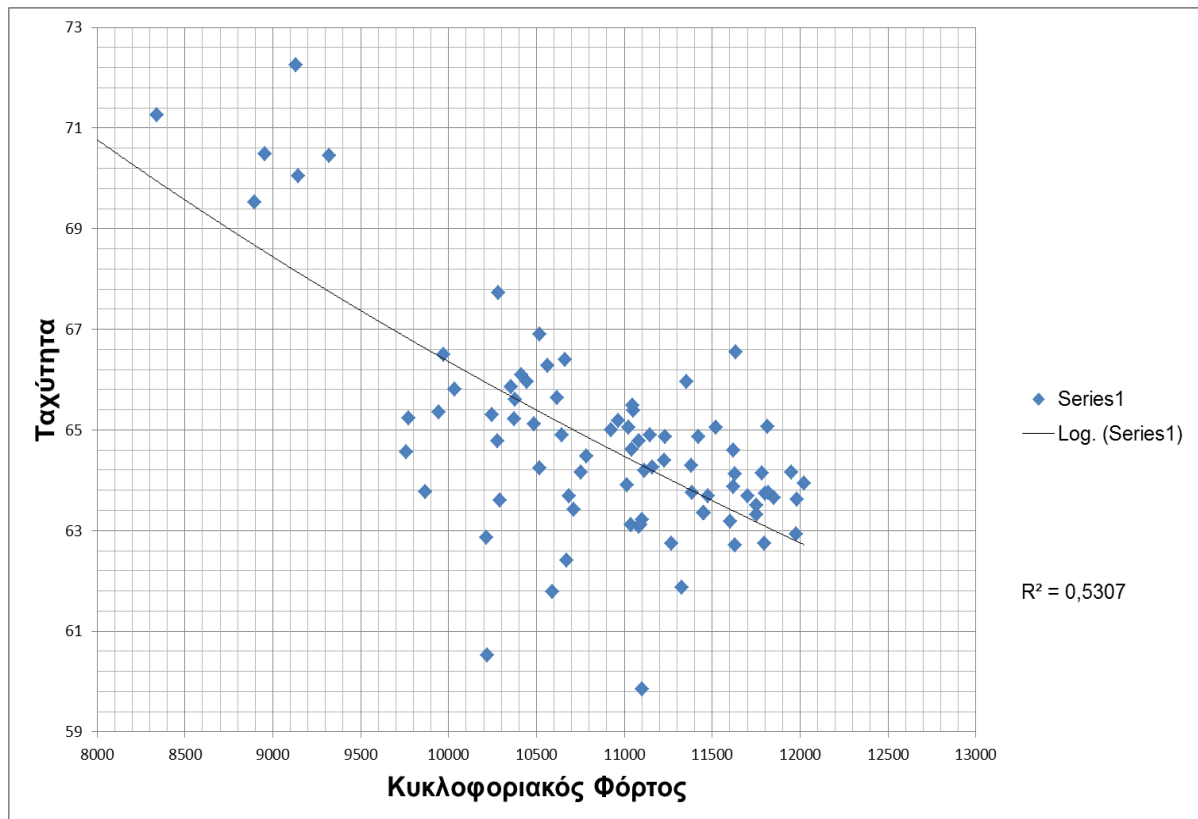
Διάγραμμα 4.7: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Ελαφρά Τραυματιών



Διάγραμμα 4.8: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Βαριά Τραυματιών και Νεκρών

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι οι ελαφρά τραυματίες υπερτερούν κατά πολύ σε αριθμό σε σχέση με τους βαριά τραυματίες και νεκρούς. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι παρατηρείται κάποια συγκεκριμένη τάση μείωσης των τραυματιών και νεκρών στη διάρκεια της περιόδου έρευνα.

Έπειτα καταγράφηκε η σχέση ταχύτητας και κυκλοφοριακού φόρτου, τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα 4.9 ταχύτητας – φόρτου. Η τάση του διαγράμματος προσαρμόζεται καλύτερα από την λογαριθμική καμπύλη με  $R^2 = 0,53$  σε σχέση με την γραμμική όπου είχε  $R^2 = 0,504$ . Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η ταχύτητα δεν παρουσιάζει σημαντική διακύμανση δηλαδή κυμαίνεται μεταξύ 63km/h και 67km/h και αντίστοιχα ο κυκλοφοριακός φόρτος κυμαίνεται μεταξύ 10.000 και 12.000 οχημάτων την ώρα. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντική ένδειξη για τη συσχέτιση που θα υπάρχει μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών.



Διάγραμμα 4.9: Σχέση Ταχύτητας και Κυκλοφοριακού Φόρτου

#### 4.5 Επεξεργασία Στοιχείων με το Ειδικό Λογισμικό

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 κλπ.), ο αριθμός δεκαδικών ψηφίων και ο τύπος της. 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.
- Διακριτές μεταβλητές (nominal variables), οι οποίες λαμβάνουν συμβολικές ακέραιες τιμές χωρίς μαθηματική συσχέτιση.

Επισημαίνεται ότι διαφορετικές μορφές της ίδιας μεταβλητής (π.χ. ελαφρά τραυματίες και logslight injuries) πρέπει να εισαχθούν ως ξεχωριστές μεταβλητές αφού έχουν δημιουργηθεί πρώτα στο Excel. Στις εικόνες 4.13 και 4.14 που ακολουθούν εμφανίζεται ενδεικτικά η εισαγωγή των στοιχείων στο λογισμικό και ο χαρακτηρισμός των μεταβλητών.

	log_s_tot	log_sl_tot	Q1000	speed	Μηχρήσηζώνησαφ αλείας	Μηχρήσηκράνους	Παραβάσειςταχύτη ας	Μέθη1000	Precipitat...	Temperature	QV	Q1	Q2	Q3	T1
1	1,79	2,79	11,10	60	4033	1697	3314	,68	64	8	664375	0	0	1	1
2	1,67	2,87	10,59	62	4539	2517	4195	,70	60	11	654448	0	0	1	0
3	1,63	2,81	10,96	65	4013	3159	4427	,91	24	15	714749	0	0	1	0
4	1,67	2,86	11,98	63	4062	5821	3835	,91	7	19	753701	0	0	1	0
5	1,73	2,85	11,85	64	5455	5739	4601	,91	30	24	754367	0	0	1	0
6	1,67	2,84	11,42	65	5116	5990	4240	,87	7	25	740921	0	0	1	0
7	1,72	2,71	9,14	70	4792	6447	3951	1,07	0	28	640536	0	1	0	0
8	1,79	2,80	11,75	63	4835	7777	4275	1,01	69	22	743939	0	0	1	0
9	1,76	2,86	11,27	63	4934	4477	3951	,78	158	17	707117	0	0	1	0
10	1,66	2,90	11,33	62	4410	3337	3951	,89	27	12	700593	0	0	1	0
11	1,79	2,85	11,01	64	4489	2961	3835	,90	15	9	703819	0	0	1	1
12	1,74	2,83	11,23	65	4934	3337	4195	,68	5	11	728551	0	0	1	0
13	1,54	2,73	11,62	64	4853	2324	5157	,77	76	9	742309	0	0	1	1
14	1,74	2,84	11,80	64	3973	1797	4601	1,33	70	11	752051	0	0	1	0
15	1,61	2,76	11,05	65	4394	2374	4388	,66	8	15	722685	0	0	1	0
16	1,69	2,84	11,60	63	4132	3129	4069	,80	64	20	732957	0	0	1	0
17	1,49	2,79	11,63	63	4781	4323	4451	,84	9	25	729203	0	0	1	0
18	1,76	2,81	11,23	64	5455	5742	3285	,82	0	28	722886	0	0	1	0
19	1,59	2,65	8,90	70	4781	4323	4069	,78	1	28	618679	0	1	0	0
20	1,72	2,78	11,95	64	1922	2694	5277	,93	0	22	766596	0	0	1	0
21	1,80	2,83	11,70	64	1113	1194	3285	,89	76	18	745063	0	0	1	0
22	1,74	2,78	11,45	63	2140	1957	4348	,66	40	12	725459	0	0	1	0

Εικόνα 4.13: Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό

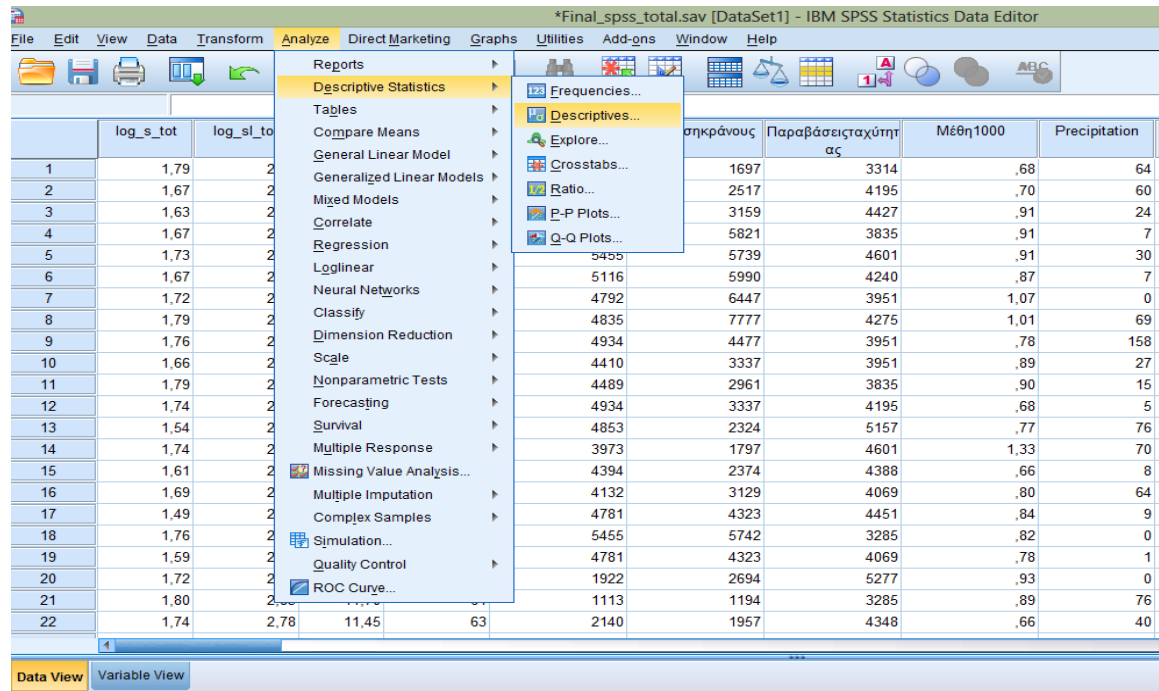
	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	log_s_tot	Numeric	17	2		None	None	8	Right	Scale	Input
2	log_sl_tot	Numeric	17	2		None	None	8	Right	Scale	Input
3	Q1000	Numeric	16	2		None	None	7	Right	Scale	Input
4	speed	Numeric	16	0		None	None	6	Right	Scale	Input
5	Μηχρήσιζώ...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
6	Μηχρήσηκρ...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
7	Παραβάσεις...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
8	Μέθη1000	Numeric	12	2		None	None	9	Right	Scale	Input
9	Precipitation	Numeric	17	0		None	None	7	Right	Scale	Input
10	Temperature	Numeric	12	0		None	None	8	Right	Scale	Input
11	QV	Numeric	12	0		None	None	5	Right	Scale	Input
12	Q1	Numeric	12	0		None	None	5	Right	Nominal	Input
13	Q2	Numeric	12	0		None	None	5	Right	Nominal	Input
14	Q3	Numeric	12	0		None	None	5	Right	Nominal	Input
15	T1	Numeric	12	0		None	None	4	Right	Nominal	Input
16	T2	Numeric	12	0		None	None	5	Right	Nominal	Input
17	T3	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
18	P1	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
19	P2	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
20	P3	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
21	s1	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
22	s2	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
23	pc	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
24	ac	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
25	1	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input

Data View Variable View

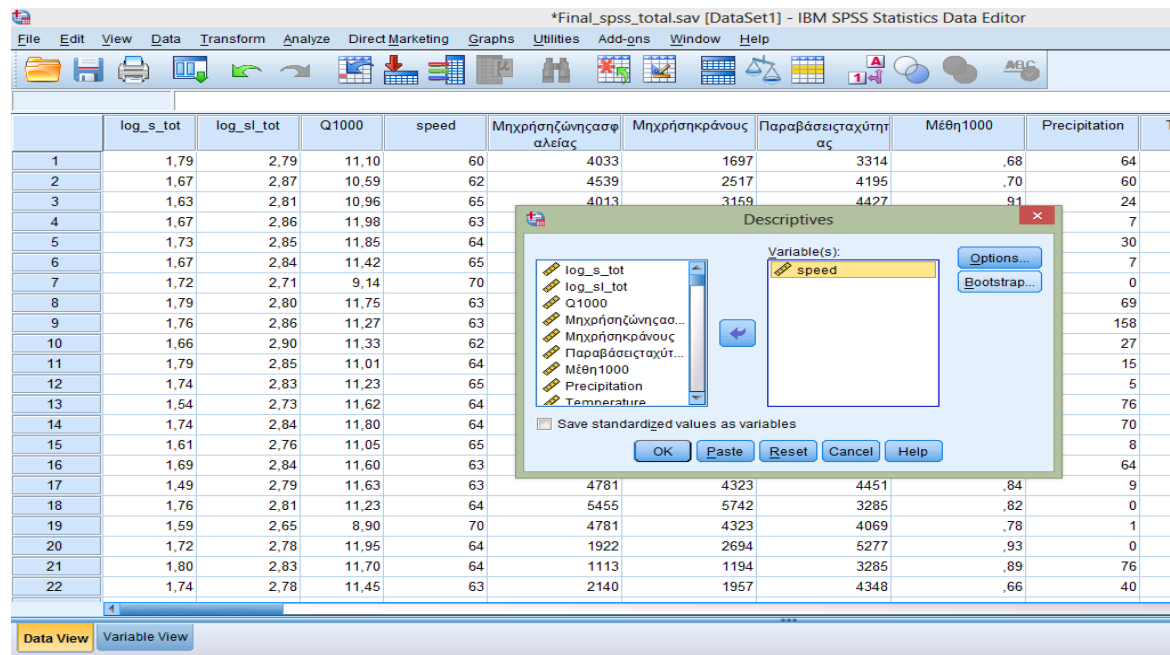
Εικόνα 4.14: Παράδειγμα καθορισμού μεταβλητών στο λογισμικό



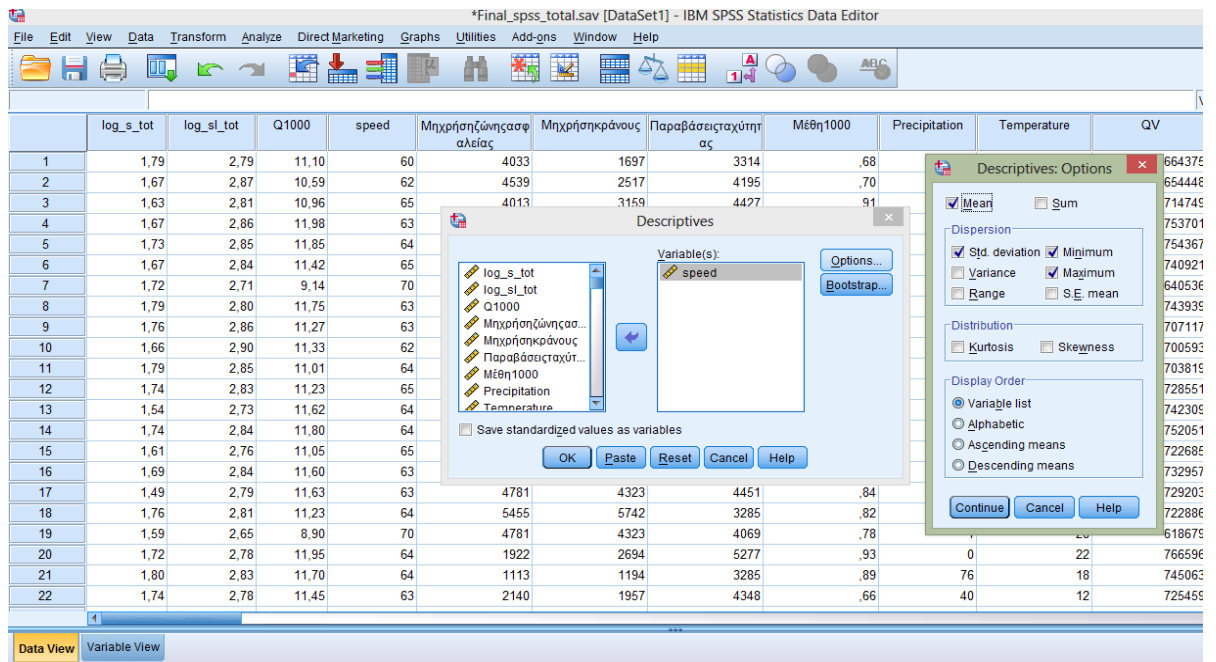
Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν κάποιες αρχικές λειτουργίες για την εξαγωγή βασικών περιγραφικών στατιστικών με το λογισμικό, πριν από την κύρια στατιστική ανάλυση. Τα βήματα εντολών για αυτό το σκοπό είναι: Analyze → Descriptive Statistics → Descriptives → Options και έπειτα η επιλογή μεταβλητών και στατιστικών μεγεθών προς διερεύνηση. Η διαδικασία φαίνεται στις εικόνες 4.15, 4.16, 4.17 .



Εικόνα 4.15: Εξαγωγή περιγραφικών στατιστικών

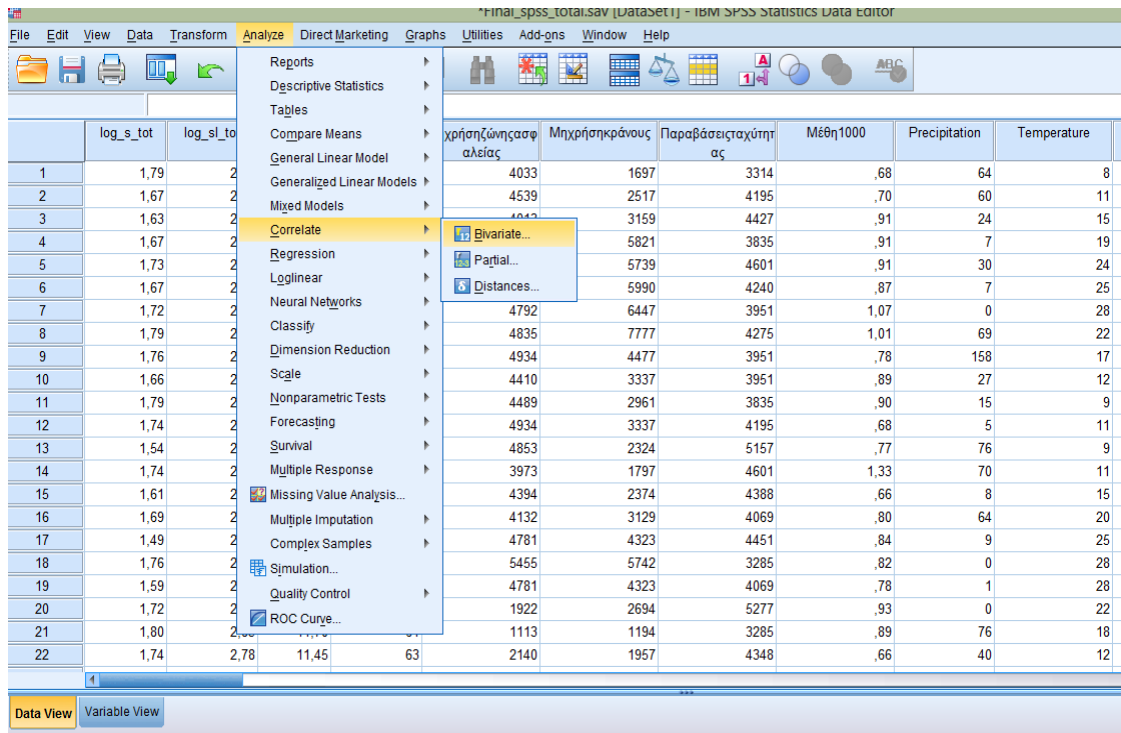


Εικόνα 4.16: Επιλογή επιθυμητών μεταβλητών

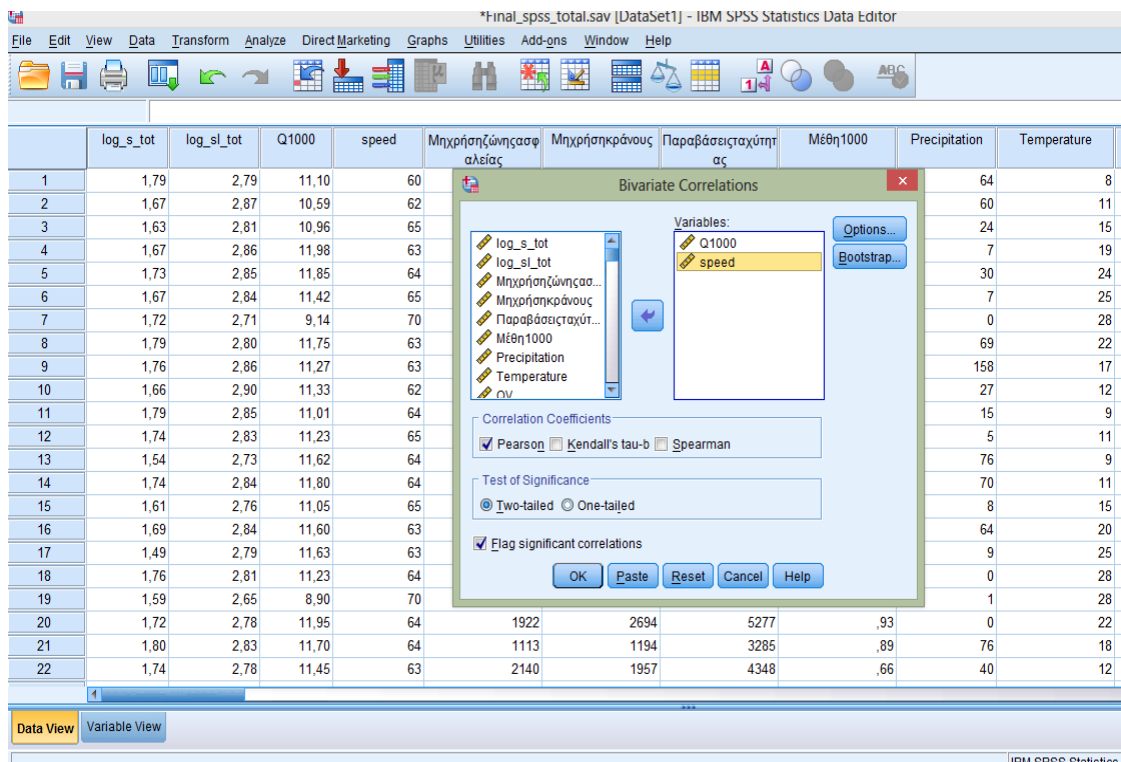


Εικόνα 4.17: Επιλογή στατιστικών μεγεθών

Ακολούθησε διερεύνηση συσχετίσεων μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Όλες οι επιλεγμένες μεταβλητές αναλύονται ανά ζεύγη και προκύπτουν 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 4.18 και 4.19 από το λογισμικό:

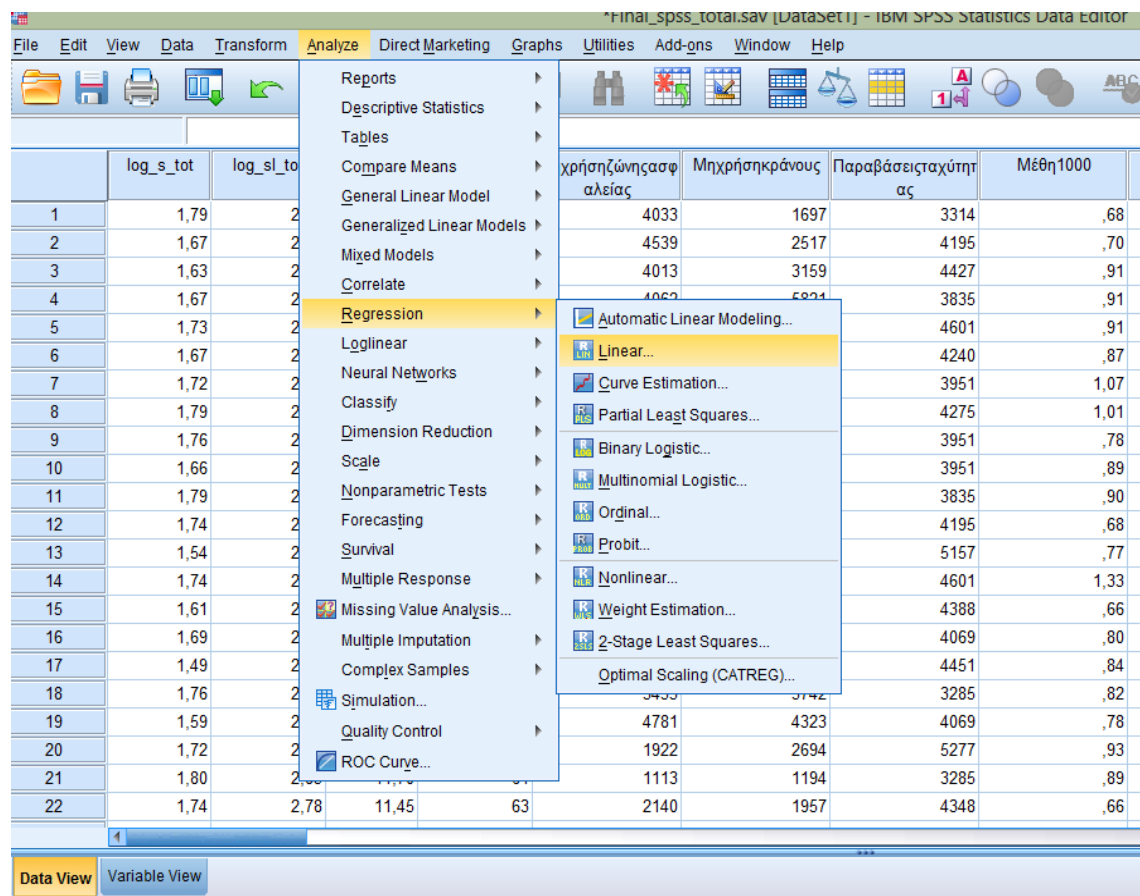


Εικόνα 4.18: Διαδικασία συσχέτισης μεταβλητών



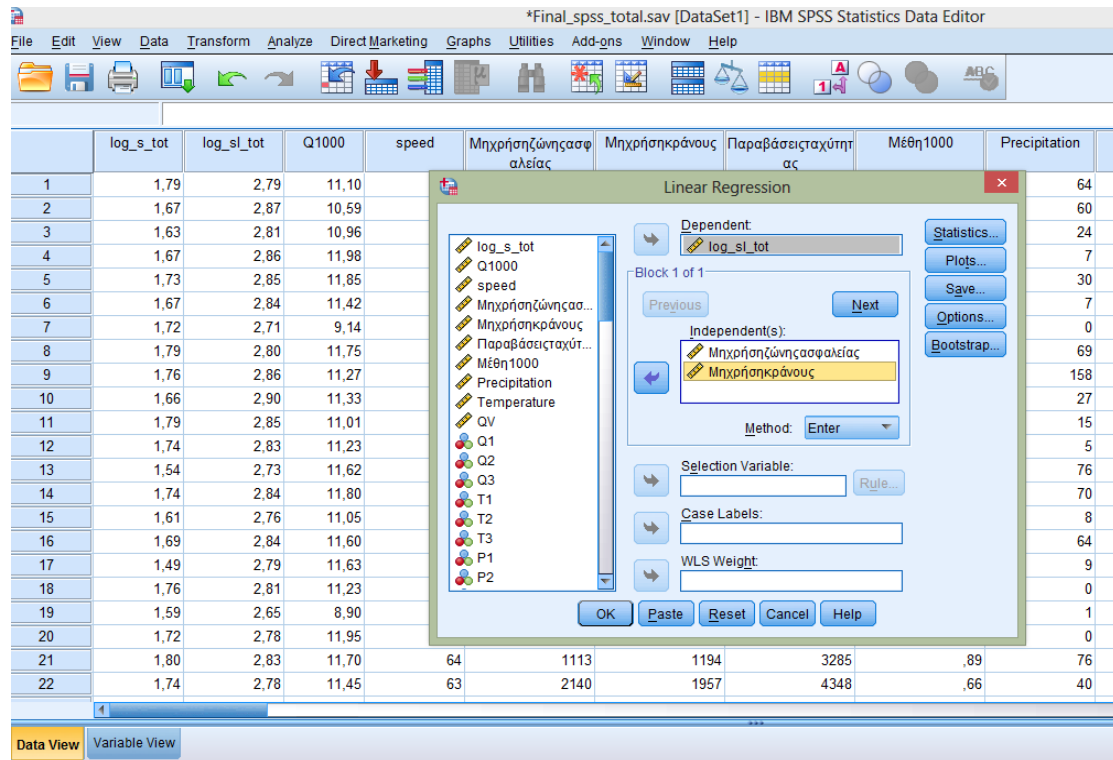
Εικόνα 4.19: Επιλογή μεταβλητών και είδους συσχέτισης

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η κύρια στατιστική ανάλυση, με στόχο την ανάπτυξη των τελικών μοντέλων. Εξετάστηκαν δύο αναλύσεις η γραμμική παλινδρόμηση και η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση, για την μεν πρώτη ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα Analyze → Regression → Linear , όπως φαίνονται και στην εικόνα 4.20 και για την δεύτερη ακολουθούνται τα ίδια βήματα Analyze → Regression → Linear, η μόνη διαφορά είναι στην εξαρτημένη μεταβλητή που είναι εκφρασμένη σε λογάριθμο δηλαδή logslight injuries, logserious injuries.

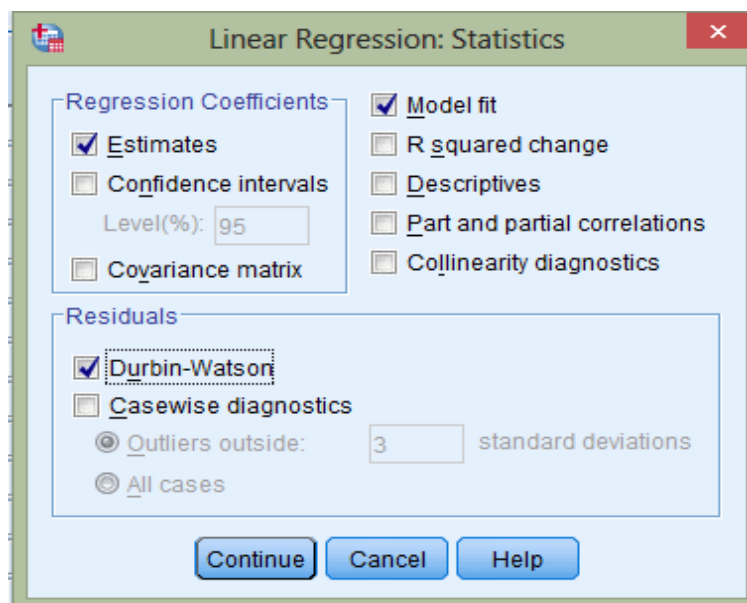


Εικόνα 4.20: Επιλογή γραμμικής παλινδρόμησης

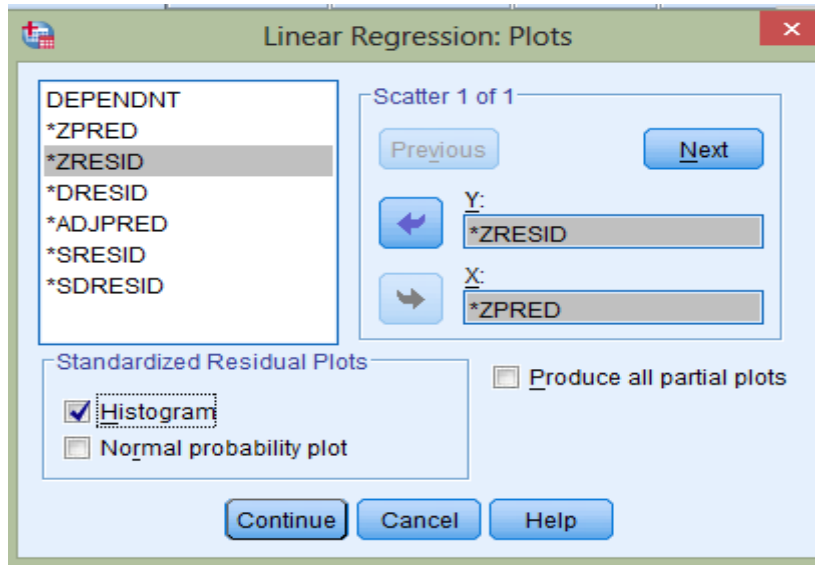
Έπειτα επιλέγονται οι ανεξάρτητες (independent) και οι εξαρτημένες (dependent) μεταβλητές. Στη συνέχεια επιλέγεται ο έλεγχος που θέλουμε να γίνει, στην συγκεκριμένη περίπτωση εκείνος των Durbin-Watson, το ιστόγραμμα της κατανομής και τέλος επιλέγουμε unstandardized predicted values . Η διαδικασία αυτή φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.



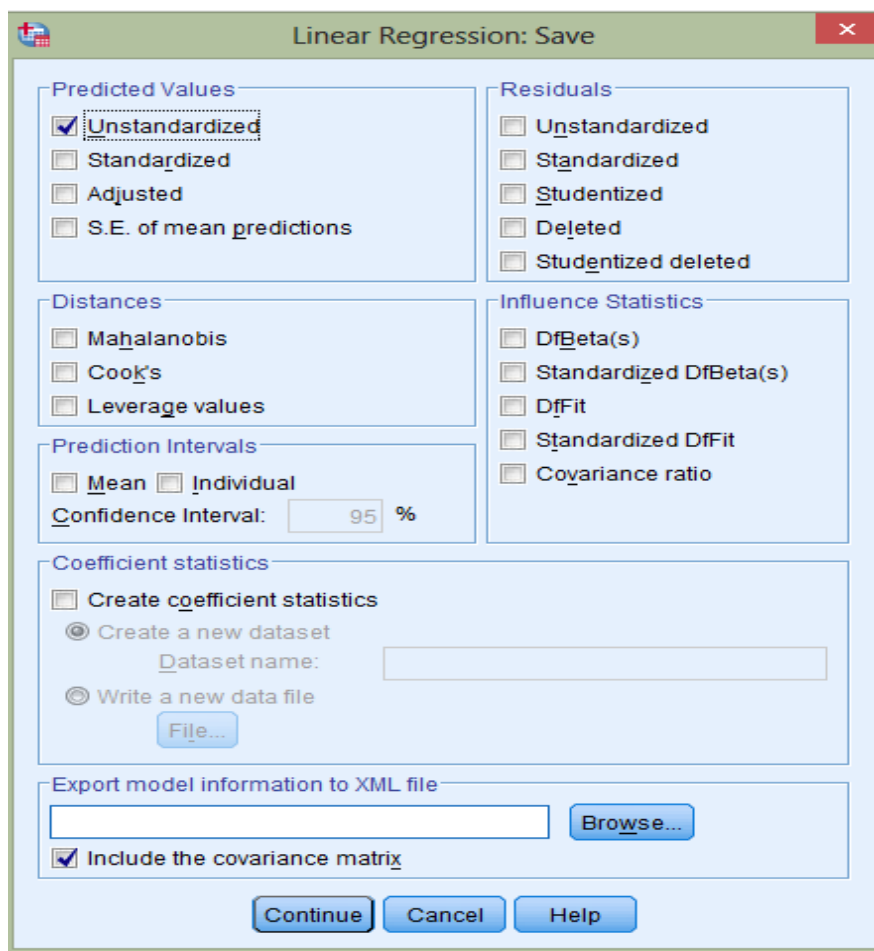
Εικόνα 4.21: Επιλογή μεταβλητών



Εικόνα 4.22: Επιλογή ελέγχου Durbin-Watson



Εικόνα 4.23: Επιλογή ιστογράμματος κατανομής



Εικόνα 4.24: Επιλογή Predicted Values

## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1 Γενικά

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας, καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η στατιστική ανάλυση των στοιχείων που συλλέχθηκαν από τις πηγές και με τη διαδικασία που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε κυρίως με την εφαρμογή της μεθόδου της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Έτσι προέκυψαν λογαριθμοκανονικά μοντέλα, τα οποία περιγράφουν με αξιόπιστο τρόπο το υπό εξέταση φαινόμενο.

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης των κατάλληλων μοντέλων. Παρουσιάζεται, δηλαδή, το σύνολο των περιπτώσεων που εξετάστηκαν και οι διαδοχικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται 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.

Τέλος, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία και πραγματοποιείται προσπάθεια εξήγησης 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, αφενός τη μαθηματική σχέση του μοντέλου και αφετέρου κατάλληλους πίνακες που επεξηγούν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής (συντελεστές, κλπ). Επίσης, παρουσιάζονται και σχετικά διαγράμματα που επιτρέπουν τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

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 ο αριθμός των τραυματιών σοβαρά και ελαφρά για τους μοτοσικλετιστές, τους πεζούς και τον συνολικό αριθμό των τραυματιών. Υπενθυμίζεται ότι οι εξαρτημένες μεταβλητές ομαδοποιήθηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες: στις μεταβλητές που αφορούσαν τα κυκλοφοριακά μεγέθη, στις μεταβλητές που αφορούσαν τα καιρικά φαινόμενα και στις μεταβλητές που στις αφορούσαν παραβάσεις. Εξ'αρχής ορίστηκε ως βέλτιστο μοντέλο, το μοντέλο που θα περιείχε έστω και μία μεταβλητή από κάθε κατηγορία εξαρτημένων μεταβλητών.

Η διερεύνηση μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης κρίθηκε μη ικανοποιητική, καθώς δεν επιτεύχθηκε το βέλτιστο μοντέλο και τα σφάλματα παρουσίαζαν μία τάση που δεν μπορούσε να απαλειφθεί μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης. Παράλληλα, το  $R^2$  είναι μικρότερο, συγκριτικά με την λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση. Αναλυτικά, τα βασικά αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης φαίνονται στους παρακάτω συγκεντρωτικούς πίνακες.

slight injuries motocyclist												
	1η δοκιμή			2η δοκιμή			3η δοκιμή			4η δοκιμή		
	β	t	e	β	t	e	β	t	e	β	t	e
Constant	729,876	2,009		707,46	1,979		716,858	2,038		715,753	2,116	
Precipitation	-0,281	-1,822	-0,00894	-0,292	-1,932	-0,00929	-0,297	-2	-0,00945	-2,97	-2,02	-2,56535
Temperature	1,995	1,795	0,107441	1,876	1,751	0,101033	1,955	1,977	1,688638	1,954	1,994	2,858165
Volume	0,022	2,206	0,76149	0,023	2,352	0,796104	0,023	2,366	0,002337	0,023	2,526	21,62237
Speed	-10,617	-2,373	-2,16319	-10,263	-2,346	-2,09107	-10,427	-2,444	-2,36935	-10,412	-2,555	-57,6184
Παραβάσεις ταχύτητας	0,002	0,44	0,02828									
Μη χρήση κράνους	0,001	0,185	0,007508	0,001	0,2	0,007508						
Μέθη	-0,004	-0,134	-0,01005	-0,002	-0,077	-0,00503	0	0,013	0			
R-square	0,467			0,465			0,465			0,465		

serious injuries motocyclist															
	1η δοκιμή			2η δοκιμή			3η δοκιμή			4η δοκιμή			5η δοκιμή		
	β	t	e	β	t	e	β	t	e	β	t	e	β	t	e
Constant	-3,724	-0,089		-6,729	-0,164		-28,26	-0,826		18,605	1,029		-18,702	-0,608	
Precipitation	0,015	0,849	0	0,014	0,779	0	0,011	0,647	0	0,005	0,311	0			
Temperature	0,133	1,047	0	0,117	0,956	0									
Volume	0,001	0,926	5,22E-05	0,001	1,053	5,22E-05	0,002	1,606	0,000104361				0,001	1,509	0,756621
Speed	0,081	0,159	0,007563	0,129	0,257	0,012046	0,421	1,058	0,039311328	-0,044	-0,16	-0,00411	0,304	0,862	1,353953
Παραβάσεις ταχύτητας	0	1,587	0												
Μη χρήση κράνους	0,001	0,514	1,13E-05	0,001	1,614	1,13E-05	0,001	2,115	1,1318E-05	0,001	2,389	1,13E-05	0,001	2,031	0,164111
Μέθη	-0,006	-1,601	0,000136	-0,005	-1,55	0,000114	-0,006	-1,793	0,000136391	-0,005	-1,436	0,000114	-0,006	-1,775	-0,32961
R-square	0,133			0,13			0,117			0,083			0,112		



slight injuries pedestrians									
	1η δοκιμή			2η δοκιμή			3η δοκιμή		
	β	t	e	β	t	e	β	t	e
Constant	26,315	0,191		-0,543	-0,004		-81,707	-3,104	
Precipitation	-0,041	-0,68	-0,00417						
Temperature	-0,874	-2,188	-0,15041	-0,815	-2,099	-0,14026	-0,987	-3,588	-0,16986
Volume	0,016	4,279	1,769695	-0,016	4,459	-1,76969			
Speed	-1,31	-0,789	-0,85291	1,002	-0,63	0,652376	0,018	7,753	0,011719
R-square	0,534			0,531			0,528		

serious injuries pedestrians									
	1η δοκιμή			2η δοκιμή			3η δοκιμή		
	β	t	e	β	t	e	β	t	e
Constant	0,366	0,061		2,297	0,371		2,746	0,4741	
Precipitation	0,014	1,103	0,012093	0,01	0,75	0,008638	-0,126	-2,073	-0,1088329
Temperature	-0,084	-1,19	-0,12287	-0,01	-1,424	-0,01	0,001	1,961	0,001462725
Volume	0,001	1,682	0,940103	0,001	1,881	0,001			
Παραβάσεις ταχύτητας	0,001	1,533	0,383992						
R-squares	0,15			0,12			0,113		

slight injuries total												
	1η δοκιμή			2η δοκιμή			3η δοκιμή			4η δοκιμή		
	β	t	e	β	t	e	β	t	e	β	t	e
Constant	1679,17	3,108		1644,902	3,115		1519,92	3,02		1488,718	2,994	
Precipitation	-0,386	-1,7	-0,08771	-0,396	-1,773	-0,00676	-390	-1,752	-6,65955	-0,372	-1,698	-0,00635
Temperature	-1,366	-0,756	-0,52565	-1,437	-0,805	-0,04155	-1,592	-0,899	-0,04604	-1,107	-0,729	-1,87465
Volume	0,028	1,879	6,924887	0,014	1,99	0,260192	0,032	2,318	0,594725	0,031	2,279	19,9239
Speed	-22,079	-3,292	-32,143	-21,547	-3,318	-2,35724	-19,773	-3,247	-2,16317	-19,311	-3,22	-0,11367
Παραβάσεις ταχύτητας	0,002	0,356	0,202037									
Μη χρήση ζώνης	-0,008	-0,714	-0,47435	-0,007	-0,653	-0,03119	-0,005	-0,541	-0,02228			
Μη χρήση κράνους	0,023	2,24	1,233792	0,023	2,227	0,092716	0,024	2,338	0,096747	0,019	3,835	0,019
Μέθη	0,034	0,758	0,610528	0,035	0,803	0,047229						
R-square	0,621			0,621			0,617			0,615		

serious injuries total												
	1η δοκιμή			2η δοκιμή			3η δοκιμή			4η δοκιμή		
	β	t	e	β	t	e	β	t	e	β	t	e
Constant	-38,059	-0,453		-32,661	-0,41		-35,271	-0,444		21,24	1,327	
Precipitation	0,08	0,219	0,018179									
Temperature	-0,341	-1,2	-0,13122	-0,354	-1,28	-0,13622	-0,237	-1,058	-0,09119905	-0,126	-0,771	-0,04849
Volume	0,004	1,542	0,98927	0,003	1,538	0,741952	0,003	1,489	0,741952209	0,002	1,446	0,494635
Speed	0,748	0,723	1,08895	0,683	0,695	0,994322	0,711	0,727	1,035085212			
Μη χρήση ζώνης	0,002	1,022	0,118588	0,002	1,008	0,118588	0,003	3,033	0,177882552	0,002	2,957	0,118588
Μη χρήση κράνους	0,001	0,71	0,053643	0,001	0,727	0,053643						
Μέθη	-0,008	-1,072	-0,14365	-0,007	-1,073	-0,1257	-0,007	-1,001	-0,12569702	-0,005	-0,798	-0,08978
R-square	0,224			0,223			0,217			0,211		

## 5.2. Ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια περιγράφεται η διαδικασία διερεύνησης του πλήθους και του είδους των παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τους τραυματίες μοτοσικλετιστές, τους τραυματίες πεζούς και τους τραυματίες στο σύνολο τους, τόσο για τους ελαφρά όσο και για τους βαριά τραυματίες - νεκρούς. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου σε κάθε μοντέλο καθώς και η αντίστοιχη περιγραφική στατιστική των μεταβλητών αυτών. Αρχικά, εξετάστηκε η συσχέτιση των μεταβλητών ώστε να απορριφθούν μεταβλητές με υψηλό δείκτη συσχέτισης. Έπειτα, γίνεται η επιλογή της μεθόδου παλινδρόμησης και η περιγραφή των αποτελεσμάτων. Και τέλος, παρουσιάζεται η εξήγηση των αποτελεσμάτων για το εκάστοτε μοντέλο.

### 5.2.1. Μοντέλο ελαφρά τραυματιών στο σύνολο τους

#### 5.2.1.1 Δεδομένα εισόδου – Καθορισμός μεταβλητών

Για την ανάπτυξη του μοντέλου εξετάστηκαν οι παρακάτω μεταβλητές οι οποίες κωδικοποιήθηκαν για να εισαχθούν στο ειδικό λογισμικό.

- Εξαρτημένη μεταβλητή : συνολικά ελαφρά τραυματίες ( log\_sl\_tot )
- Ανεξάρτητες μεταβλητές :
  - Κυκλοφοριακός Φόρτος ( Q/1000 )
  - Ταχύτητα ( speed )
  - Μη χρήση ζώνης ασφαλείας (Μηχρήσηζώνηςασφαλείας)
  - Μη χρήση κράνους (Μηχρήσηκράνους)
  - Παραβάσεις ταχύτητας (ΠαραβάσειςΤαχύτητας)
  - Μέθη ( Μέθη/1000)
  - Βροχόπτωση ( Precipitation )
  - Θερμοκρασία (Temperature )
  - Φόρτος \* Ταχύτητα ( Q\*V )
  - Φόρτος 0 – 8.500 ΜΕΑ ( Q1 )
  - Φόρτος 8.500 – 10.000 ΜΕΑ ( Q2 )
  - Φόρτος > 10.000 ΜΕΑ ( Q3 )

- Θερμοκρασία 0 – 10 ° C ( T1 )
- Θερμοκρασία 10 – 25 ° C ( T2 )
- Θερμοκρασία > 25 ° C ( T3 )
- Βροχόπτωση 0 – 50mm ( P1 )
- Βροχόπτωση 50– 100mm ( P2 )
- Βροχόπτωση > 100mm ( P3 )
- Ταχύτητα 60 - 65 km/h ( s1 )
- Ταχύτητα > 65 km/h ( s2 )
- Τραυματίες πριν την κρίση ( έτος κρίσης 2009 ) ( pc )
- Τραυματίες μετά την κρίση ( ac )
- Παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας 0 – 1.000 ( z1 )
- Παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας 1.000 – 3.000 ( z2 )
- Παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας > 3.000 ( z3 )
- Παραβάσεις μη χρήσης κράνους 0 – 1.000 ( k1 )
- Παραβάσεις μη χρήσης κράνους 1.000 – 3.000 ( k2 )
- Παραβάσεις μη χρήσης κράνους > 3.000 ( k3 )
- Παραβάσεις ταχύτητας 0 – 1.000 ( Ta1 )
- Παραβάσεις ταχύτητας 1.000 –3.000 ( Ta2 )
- Παραβάσεις ταχύτητας > 3.000 ( Ta3 )
- Παραβάσεις μέθης 0 – 1.000 ( M1 )
- Παραβάσεις μέθης 1.000 –3.000 ( M2 )
- Παραβάσεις μέθης > 3.000 ( M3 )
- Οι μήνες του χρόνου ( February, March, April, May, June, July, August, September, October, November, December )
- Τα έτη από το 2007 – 2011

Οι κατηγοριοποιήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου (Q1,Q2,Q3), της βροχόπτωσης (P1,P2,P3), της θερμοκρασίας (T1,T2,T3), της ταχύτητας (s1,s2), της οικονομικής κρίσης (pc,ac), των παραβάσεων (z1,z2,z3,k1,k2,k3,Ta1,Ta2,Ta3,M1,M2,M3), των

μηνών ( February, March, April, May, June, July, August, September, October, November, December) και των ετών (2007, 2008, 2009, 2010, 2011) εισήχθησαν ως ψευδομεταβλητές (dummies). Αξίζει να σημειωθεί πως η εισαγωγή των ψευδομεταβλητών έγινε παράλληλα με την εισαγωγή και των αντίστοιχων κατηγοριών τους, δηλαδή για παράδειγμα οι ψευδομεταβλητές Q1, Q2, Q3 εισήχθησαν παράλληλα με την κατηγορία κυκλοφοριακός φόρτος Q/100, κατ' αντιστοιχία έγινε και για τις υπόλοιπες κατηγορίες. Οι μήνες και τα έτη εισήχθησαν στο μοντέλο για να συμπεριληφθεί στα αποτελέσματα και η εποχικότητα των μεταβλητών. Οι ψευδομεταβλητές δημιουργήθηκαν με την εντολή create του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας τη λογική εντολή if.

Επιπροσθέτως, πρέπει να αναφερθεί ότι για να αποφευχθεί η «παγίδα των ψευδομεταβλητών», ο αριθμός των ψευδομεταβλητών πρέπει να είναι κατά 1 μικρότερος από το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν. Έτσι ο αριθμός των ψευδομεταβλητών για τους μήνες είναι 11 (δεν δημιουργήθηκε αντίστοιχη ψευδομεταβλητή για τον Ιανουάριο), ενώ για τα έτη είναι 5 (δεν δημιουργήθηκε αντίστοιχη ψευδομεταβλητή για το 2006 ). Ακόμη, οι τραυματίες εισήχθησαν με υστέρηση κατά ένα μήνα σε σχέση με τις παραβάσεις δηλαδή οι παραβάσεις του Ιανουαρίου για παράδειγμα σε σχέση με του τραυματίες του Φεβρουαρίου

Την κωδικοποίηση τους και την εισαγωγή στο ειδικό λογισμικό ακολούθησε ο έλεγχος συσχέτισης και οι έλεγχοι σημαντικότητας τους όσον αφορά στο εκάστοτε μοντέλο. Οι μεταβλητές οι οποίες βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές και περιλαμβάνονται στο τελικό μοντέλο παρουσιάζονται παρακάτω :

- Ο κυκλοφοριακός φόρτος Q/1000 και η ψευδομεταβλητή Q3
- Το γινόμενο κυκλοφοριακός φόρτος επί ταχύτητα  $Q \cdot V$
- Η βροχόπτωση ( Precipitation) και η ψευδομεταβλητή P2 ( βροχόπτωση 20–100mm )
- Η ψευδομεταβλητή T2 θερμοκρασία ( 10 – 25 ° C )
- Οι παραβάσεις ταχύτητας
- Η ψευδομεταβλητή ac ( τραυματίες μετά την κρίση )
- Η ψευδομεταβλητή z2 ( παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας 1.000 – 3.000 )
- Η ψευδομεταβλητή k3 ( παραβάσεις μη χρήσης κράνους > 3.000 )
- Οι μήνες Φεβρουάριος και Σεπτέμβριος
- Τα έτη 2007 και 2008

### 5.2.1.2 Παραγωγή Περιγραφικής Στατιστικής

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 εκείνη 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
log_sl	83	2,53	2,90	2,7543	,07444
slightinjuries	83	341,00	791,00	574,8795	93,76676
Q1000	83	7,84	12,02	10,8399	,86110
speed	83	59,85	72,26	64,8970	2,23336
Μηχρήσηζώνηςασφαλείας	83	43	5455	2397,34	1541,564
Μηχρήσηκράνους	83	428	7777	2222,55	1544,255
ΠαραβάσειςΤαχύτητας	83	2132	6996	4337,87	1070,599
Μεθη1000	83	,45	1,43	,7903	,18225
Precipitation	83	,00	157,65	40,9533	39,63736
Temperature	83	5,90	28,60	17,2771	6,82244
QV	83	565846	774169	702062,80	42893,431
Valid N (listwise)	83				

Πίνακας 5.1: Περιγραφική Στατιστική μοντέλου ελαφρά τραυματιών στο σύνολό τους

### 5.2.1.3 Συσχέτιση Μεταβλητών

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 την συσχέτιση των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Pearson.

Όπως έχει επισημανθεί στα προηγούμενα, δεν υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας για την αποδοχή ή απόρριψη μιας συσχέτισης μεταξύ δύο μεγεθών. Συνεπώς οι υψηλοί συντελεστές επισημάνθηκαν, με βάση το εμπειρικό όριο του 0,5 στη συγκεκριμένη περίπτωση, και κατόπιν εξετάστηκε κατά πόσο τα δύο μεγέθη που τους δημιούργησαν θα ήταν δυνατό να συσχετίζονται στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, η ταχύτητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος έχουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους, παρ' όλα αυτά κρίνεται σκόπιμο για να συμπεριλάβουμε τα στοιχεία κυκλοφορίας να ενταχθούν στο μοντέλο. Αρκετές έρευνες έχουν δείξει πως το γινόμενο κυκλοφοριακού φόρτου και ταχύτητας μπορεί να απαλείψει μέρος της συσχέτισης αυτής και για το λόγο αυτό εισάγεται η μεταβλητή ( $Q \cdot V$ ).

Ακολουθεί ο πίνακας ο οποίος παρουσιάζει τους συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών. Ειδικότερα από τον παρακάτω πίνακα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση με την ταχύτητα, γεγονός αναμενόμενο αφού είναι αποδεδειγμένη η σχέση μεταξύ φόρτου και ταχύτητας. Παρ' όλα αυτά, κρίθηκε απαραίτητη η εισαγωγή και των δύο μεταβλητών για να συμπεριλάβουμε τα στοιχεία της κυκλοφορίας.

**Correlations**

	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	slightinjuries	Q1000	speed	Μηχρησηζώνη σαρωαξίας	Μηχρησηκράν ους	Παραβάσεις αχύτητας	Μεθη1000	Precipitation	Temperature	QV
slightinjuries		1									
Q1000			1								
speed				1							
Μηχρησηζώνησαρωαξίας					1						
Μηχρησηκράνου						1					
ΠαραβάσειςΤαχύτητας							1				
Μεθη1000								1			
Precipitation									1		
Temperature										1	
QV											1

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

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

#### 5.2.1.4 Επιλογή της μεθόδου παλινδρόμησης – Παρουσίαση αποτελεσμάτων μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο η επιλογή της μεθόδου της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, βασίστηκε αφενός στο γεγονός ότι η μεταβλητή που εξετάζεται (εξαρτημένη) είναι συνεχής και αφετέρου στο ότι η κατανομή που ακολουθεί μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει περισσότερο την κατανομή Poisson από την κανονική κατανομή. Συνεπώς, επιλέχθηκε η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση έναντι της γραμμικής. Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση εφαρμόζεται μέσω της ακολουθίας των εντολών: `analyze → regression → linear`.

Τη μετάβαση στην επιλογή `linear` διαδέχεται ο καθορισμός των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Η μεταβλητή που ενδιαφέρει (εξαρτημένη μεταβλητή) εισάγεται στο πλαίσιο `Dependent`. Οι επεξηγηματικές μεταβλητές, βάσει των οποίων θα εξηγηθεί η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής, εισάγονται στο πλαίσιο `Independent(s)`. Προτεραιότητα, στο σημείο αυτό, δίδεται στην περιγραφή της διαδικασίας αξιολόγησης των δεδομένων εξόδου της ανάλυσης και κατ' επέκταση του μοντέλου. Τα δεδομένα που εξετάζονται για την αξιολόγηση του μοντέλου είναι ο συντελεστής  $R^2$ , οι συντελεστές της εξίσωσης  $\beta_i$ , οι τιμές  $t$  του στατιστικού ελέγχου  $t$ -test, το σφάλμα της εξίσωσης και ο συντελεστής Durbin-Watson.

Ο συντελεστής  $R^2$  καθορίζει την ποιότητα του προτύπου. Ο συντελεστής αυτός, για τον οποίο έγινε αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό πρότυπο. Συγκεκριμένα, εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής  $Y$  που εξηγείται από τη μεταβλητή  $X$ . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του  $R^2$  στην μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών  $Y$  και  $X$ . Επισημαίνεται ότι, ο συντελεστής  $R^2$  έχει συγκριτική αξία. Αυτό σημαίνει ότι, δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του  $R^2$  που κρίνεται ως αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων προτύπων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του  $R^2$ . Σε μοντέλα με πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές ελέγχεται και το διορθωμένο  $R^2$  ( `adjusted R2` ), καθώς στην περίπτωση αυτή, η τιμή του διαφέρει σημαντικά από εκείνη του  $R^2$ .

Όσον αφορά στους συντελεστές  $\beta_i$  των μεταβλητών, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας τόσο των προσήμων, όσο και των τιμών τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Βάσει της φυσικής έννοιας



της τιμής του συντελεστή, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά  $\beta$  μονάδες.

Στη συνέχεια αξιολογείται η στατιστική εμπιστοσύνη του προτύπου, μέσω του ελέγχου t-test (κριτήριο t της κατανομής student). Με το δείκτη t προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών. Καθορίζεται, δηλαδή, ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στο τελικό πρότυπο.

Ο συντελεστής t ορίζεται από τη σχέση :

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

όπου s.e. : τυπικό σφάλμα ( standar error )

Από την ανωτέρω σχέση παρατηρείται ότι, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα αυξάνεται ο συντελεστής tstat.. Όπως προαναφέρθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης ορίζεται μια κρίσιμη τιμή του t (  $t^*$  ). Έτσι για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και μεγάλο μέγεθος δείγματος, είναι  $t^* = 1,7$ . Οι μεταβλητές των οποίων οι απόλυτες τιμές του t είναι μικρότερες από 1,7 δεν συμπεριλαμβάνονται στην επόμενη δοκιμή για τη διαμόρφωση του μοντέλου.

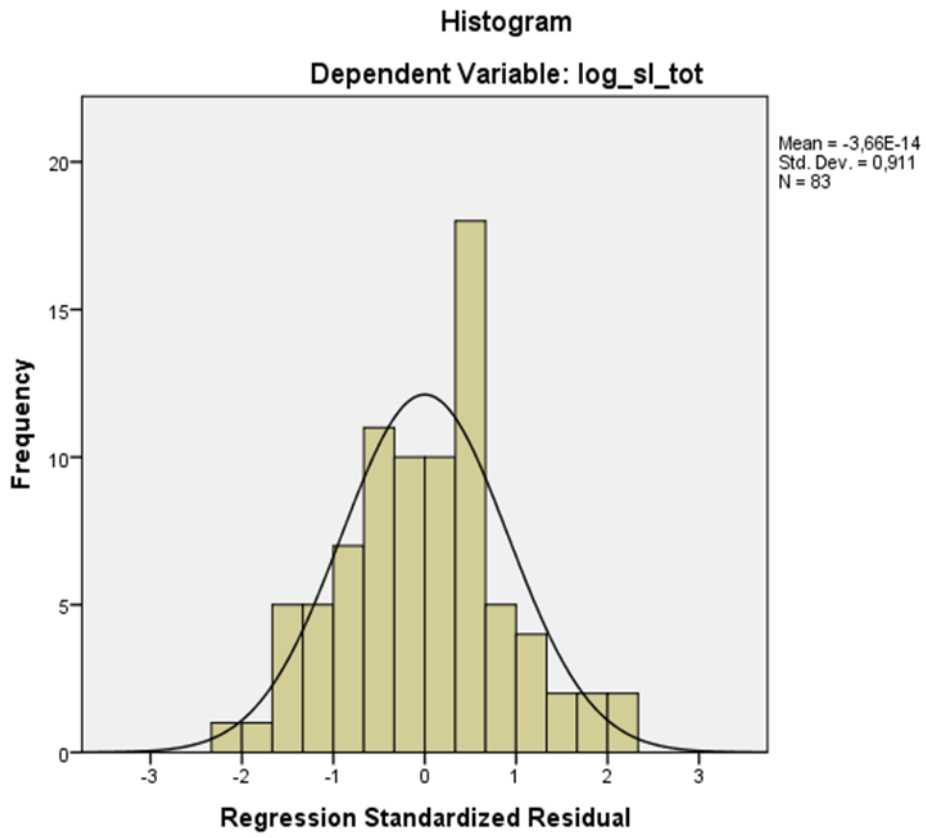
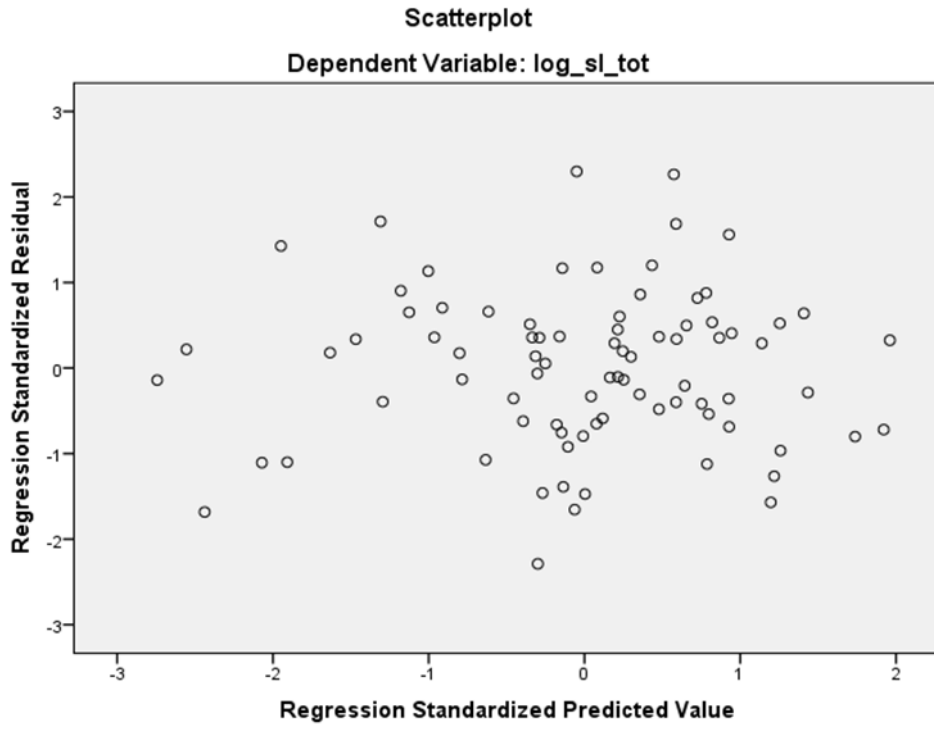
Από την αξιολόγηση ενός μοντέλου δε θα πρέπει να παραλείπεται ο έλεγχος του σφάλματος. Σε κάθε εξίσωση υπάρχει ο προσθετός εἰ, που ονομάζεται σφάλμα της εξίσωσης. Επίσης, και ο έλεγχος Durbi-Watson είναι εξίσου σημαντικός καθώς δείχνει την συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου. Ο συντελεστής Durbin-Watson όταν είναι μεταξύ των τιμών 1,8 και 2,5 σημαίνει ότι το μοντέλο μας δεν έχει πολλές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών του.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του μοντέλου των ελαφρά τραυματιών στο σύνολό τους.

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,921 <sup>a</sup>	,847	,816	,03192	1,622

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,385	14	,027	26,971	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,069	68	,001		
	Total	,454	82			

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,534	,096		26,260	,000
	Q/1000	,095	,018	1,100	5,238	,000
	Παραβάσεις ταχύτητας	8,003E-06	,000	,115	1,888	,063
	Precipitation	-,00026	,000	-,140	-2,347	,022
	QV	-1,298E-06	,000	-,748	-3,750	,000
	Q3	,054	,017	,255	3,070	,003
	T2	,021	,010	,135	2,146	,035
	P2	,020	,010	,116	2,122	,037
	z2	,015	,009	,098	1,748	,085
	κ3	,041	,012	,240	3,510	,001
	February	-,052	,016	-,195	-3,233	,002
	September	-,047	,013	-,176	-3,477	,001
	@2007	-,032	,015	-,152	-2,194	,032
	@2008	-,063	,016	-,297	-3,867	,000



### 5.2.1.5 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων για το μοντέλο των συνολικά ελαφρά τραυματιών προκύπτει το  $R^2 = 0,847$  και Durbin-Watson = 1.622. Από όλες τις δοκιμές το τελικό αυτό μοντέλο κρίθηκε ως το βέλτιστο και για τους δύο παραπάνω συντελεστές. Η εξίσωση που προκύπτει για το συγκεκριμένο μοντέλο μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι η παρακάτω :

$$\text{Log(slight\_injuries\_total\_)} = 2.534 + 0.095*(Q/1000) + 8.00E-06*(\text{Παραβάσεις Ταχύτητας}) - 0,00026*\text{Precipitation} - 1.298E-06*(Q*V) + 0.054*Q3 + 0.021*T2 + 0.020*P2 + 0.047*ac + 0.015*z2 + 0.041*k3 - 0.052*\text{February} - 0.047*\text{September} - 0.032*(@2007) - 0.063*(@2008)$$

Όπως παρατηρείται από την παραπάνω σχέση ο κυκλοφοριακός φόρτος έχει θετικό πρόσημο, επομένως συνεπάγεται ότι όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος τόσο αυξάνονται και οι συνολικά ελαφρά τραυματίες. Αυτό, πιθανώς, εξηγείται από το γεγονός ότι όσο αυξάνονται οι χρήστες τις οδού πληθαίνουν οι πιθανότητες να συμβεί κάποιο ατύχημα. Και μάλιστα από το ατύχημα αυτό θα έχουμε ελαφρά τραυματίες καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο φόρτος τόσο πιο μικρές ταχύτητες αναπτύσσονται. Το ίδιο πρόσημο έχει και η ψευδομεταβλητή Q3 (Κυκλοφοριακός Φόρτος > 3.000 ΜΕΑ ), η οποία επιβεβαιώνει ότι σε υψηλούς φόρτους έχουμε περισσότερους ελαφρά τραυματίες.

Οι παραβάσεις ταχύτητας έχουν θετικό πρόσημο στην παραπάνω σχέση, γεγονός που υποδηλώνει ότι όσο αυξάνονται οι παραβάσεις ταχύτητας του μήνα, αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες τον επόμενο μήνα. Το ίδιο πρόσημο έχουν και οι ψευδομεταβλητές (z2) παραβάσεις μη χρήση ζώνης ασφαλείας 1.000 – 3.000 και (k3) παραβάσεις μη χρήσης κράνους 1.000 – 3.000.

Η βροχόπτωση, από την άλλη πλευρά, έχει αρνητικό πρόσημο που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η βροχόπτωση τόσο μειώνονται οι ελαφρά τραυματίες. Ενδεχομένως, όταν βρέχει οι οδηγοί είναι πιο προσεκτικοί και μειώνουν την ταχύτητα τους με αποτέλεσμα να μην σημειώνονται αρκετοί ελαφρά τραυματίες. Η ψευδομεταβλητή (P2) βροχόπτωση 50 – 100mm έχει θετικό πρόσημο, που σημαίνει όσο αυξάνονται τα χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης τόσο αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες για τον λόγο που αναφέραμε πιο πάνω. Η ψευδομεταβλητή (P2) θερμοκρασία 10 – 20°C έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι με αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες.

Αυτό οφείλεται στο ότι μετά την κρίση έχουν αυξηθεί οι χρήστες των λεωφόρων. Οι μήνες Φεβρουάριος και Σεπτέμβριος όπως και τα έτη 2007 και 2008 είναι στατιστικά σημαντικές ψευδομεταβλητές, ίσως κάποιες μεταβολές σε αυτές τις χρονικές

περιόδους ή κάποιο τυχαίο γεγονός που συνέβη, έχει σημαντική επιρροή στους ελαφρά τραυματίες.

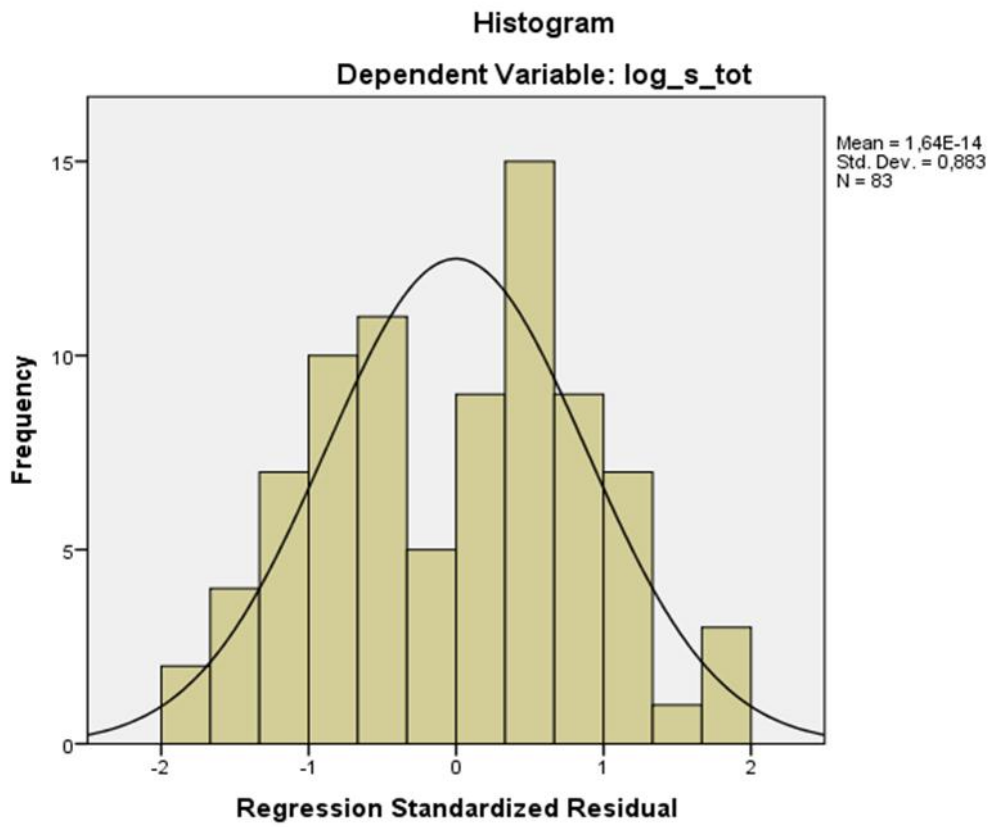
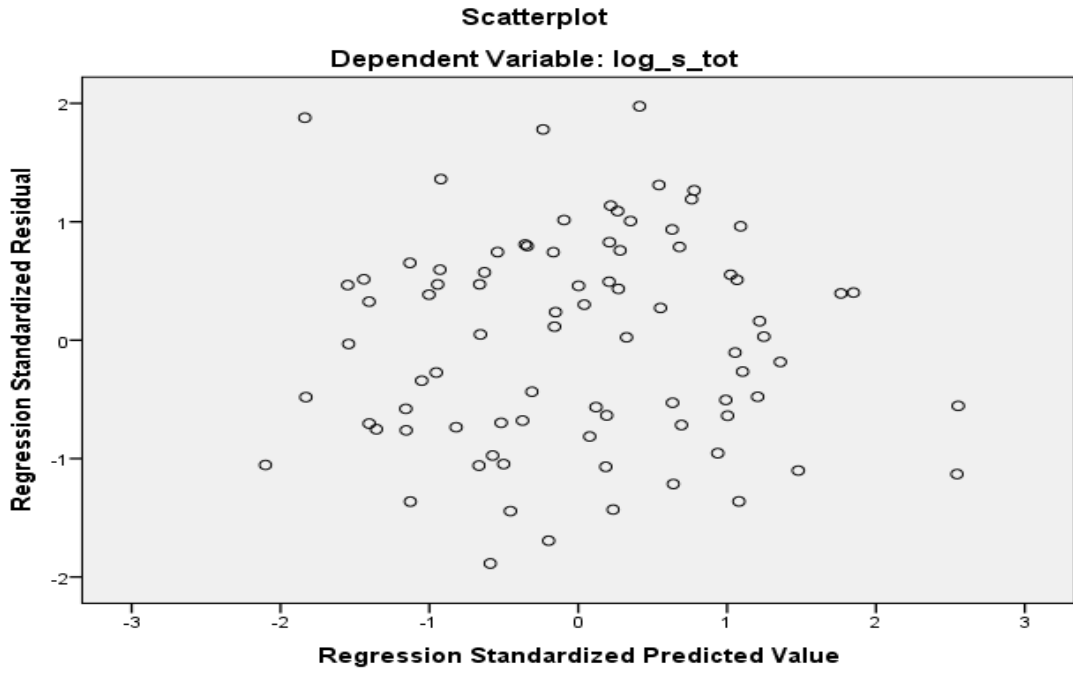
### 5.2.2. Μοντέλο σοβαρά τραυματιών - νεκροί στο σύνολό τους

Τα δεδομένα εισόδου – μεταβλητές είναι ακριβώς τα ίδια με εκείνα που εισήχθησαν στο μοντέλο των ελαφρά τραυματιών. Έτσι και οι αντίστοιχοι πίνακες περιγραφικής στατιστικής και συσχέτισης μεταβλητών είναι οι ίδιοι. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου των σοβαρά τραυματιών – νεκρών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,741 <sup>a</sup>	,549	,422	,07695	1,969

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,461	18	,026	4,325	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,379	64	,006		
	Total	,840	82			

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-13,527	4,904		-2,758	,008
	Q1000	1,316	,444	11,199	2,968	,004
	speed	,244	,076	5,374	3,195	,002
	Παραβάσεις ταχύτητας	-2,817E-05	,000	-,298	-2,235	,029
	Μέθη 1000	-,148	,077	-,266	-1,911	,061
	Temperature	,011	,003	,724	3,231	,002
	QV	-2,111E-05	,000007	-8,947	-3,053	,003
	T2	-,070	,034	-,334	-2,046	,045
	T3	-,240	,065	-,940	-3,702	,000
	z3	-,052	,030	-,246	-1,719	,090
	Ta3	,144	,045	,396	3,215	,002
	M2	,119	,041	,366	2,880	,005
	August	-,464	,142	-1,282	-3,263	,002
	November	,111	,034	,306	3,223	,002
	@2008	-,078	,037	-,271	-2,081	,041
	@2010	-,107	,039	-,375	-2,771	,007
	@2011	-,174	,047	-,608	-3,707	,000
	@2012	-,133	,057	-,464	-2,318	,024



### 5.2.2.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων για το μοντέλο των συνολικά σοβαρά τραυματιών – νεκρών προκύπτει το  $R^2 = 0,546$  και Durbin-Watson = 1,969. Η εξίσωση που προκύπτει για το συγκεκριμένο μοντέλο μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι η παρακάτω :

$$\text{Log}(\text{serious\_injuries\_total\_}) = - 13.527 + 1.316*(Q/1000) + 0.244*\text{speed} - 2.817\text{E-}05*\text{ΠαραβάσειςΤαχύτητας} - 0.148*\text{Μέθη} + 0.011*\text{Temperature} - 2.111\text{E-}05*(Q*V) - 0.070*T2 - 0.240*T3 - 0.052*z3 + 0.144*Ta3 + 0.119*M2 - 0.464*August + 0.111*November - 0.078*(@2008) - 0.107*(@2010) - 0.174*(@2011) - 0.133*(@2012)$$

Παρατηρείται ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται ο φόρτος, αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί. Το ίδιο πρόσημο έχει και η ταχύτητα που υποδηλώνει πως όταν αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί ενδεχομένως διότι η σύγκρουση είναι πιο δυνατή με αποτέλεσμα να υπάρχουν σοβαρά τραυματίες.

Από την άλλη οι παραβάσεις ταχύτητας έχουν αρνητικό πρόσημο άρα όταν αυξάνονται οι παραβάσεις ταχύτητας του μήνα τότε τον επόμενο μήνα μειώνονται οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί. Αυτό ίσως οφείλεται στην συμμόρφωση των οδηγών καθώς γνωρίζοντας πως τον προηγούμενο μήνα υπήρχε εντατικοποίηση της αστυνόμευσης σε παραβάσεις ταχύτητας, συμμορφώνονται με τα όρια ταχύτητας.

Κάτι ανάλογο με τις παραβάσεις ταχύτητας συμβαίνει και με την μέθη. Η μέθη έχει αρνητικό πρόσημο δηλαδή όταν αυξάνονται οι έλεγχοι μέθης του μήνα τότε μειώνονται οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί. Και αυτό το γεγονός, μπορεί να εξηγηθεί με τη συμμόρφωση των οδηγών λόγω αστυνόμευσης. Το ίδιο ισχύει και με την ψευδομεταβλητή z3 (Παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας > 3.000) όσο αυξάνονται οι παραβάσεις του μήνα τότε σημειώνεται μείωση στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς τον επόμενο μήνα.

Η θερμοκρασία έχει θετικό πρόσημο, επομένως όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί.

Οι μήνες και τα χρόνια που είναι στατιστικά σημαντικά στο μοντέλο μας, αποδεικνύουν πως η εποχικότητα επηρεάζει τους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς.



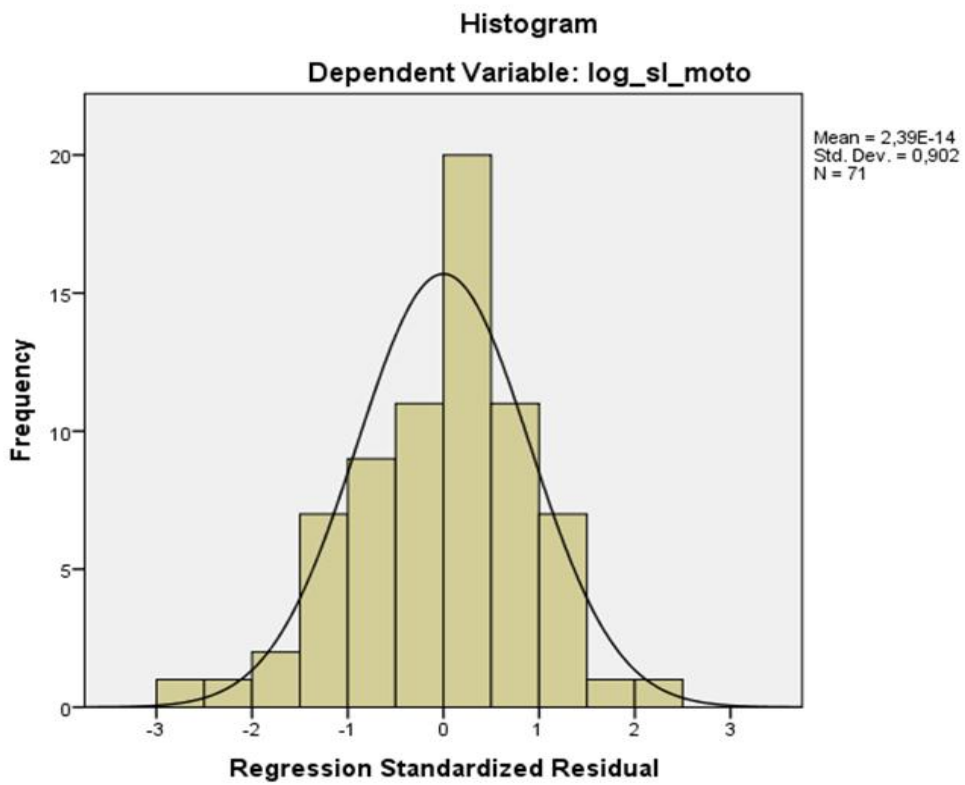
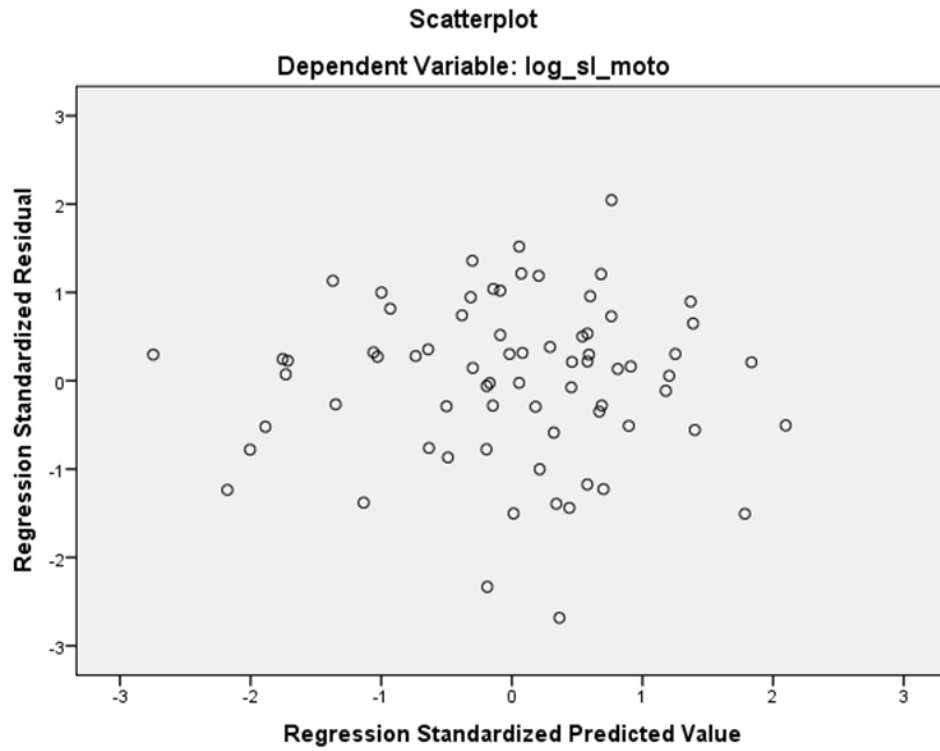
### 5.2.3. Μοντέλο ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών

Τα δεδομένα εισόδου – μεταβλητές είναι ίδια με εκείνα των προηγούμενων μοντέλων, η μόνη διαφορά είναι ότι έχουν αφαιρεθεί οι παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας και οι υποκατηγορίες τους. Έτσι και από τους αντίστοιχους πίνακες περιγραφικής στατιστικής και συσχέτισης μεταβλητών συμπεραίνεται όπως παραπάνω. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες :

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,870 <sup>a</sup>	,756	,700	,03903	1,947

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,269	13	,021	13,590	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,087	57	,002		
	Total	,356	70			

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,906	,110		17,289	,000
	Q1000	,126	,022	1,416	5,704	,000
	Temperature	,007	,002	,674	4,228	,000
	QV	-1,247E-06	,000	-,700	-2,888	,005
	T3	-,081	,025	-,444	-3,315	,002
	P3	-,043	,018	-,167	-2,319	,024
	ac	-,054	,014	-,380	-3,795	,000
	κ3	,064	,015	,404	4,215	,000
	March	,048	,018	,189	2,601	,012
	June	-,059	,021	-,231	-2,733	,008
	September	-,087	,021	-,340	-4,031	,000
	November	,051	,018	,200	2,820	,007
	December	,060	,019	,237	3,184	,002
	@2009	-,059	,015	-,311	-3,867	,000



### 5.2.3.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων για το μοντέλο των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών προκύπτει το  $R^2 = 0,756$  και Durbin-Watson = 1,947. Η εξίσωση που προκύπτει για το συγκεκριμένο μοντέλο μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι η παρακάτω :

$$\text{Log(slight\_injuries\_moto)} = - 1.906 + 1.316*(Q/1000) + 0.007*Temperature - 1.24E-06*(Q*V) - 0.081*T3 - 0.043*P3 - 0.054*ac + 0.064*k3 + 0.048*March - 0.059*June - 0.087*September + 0.051*November + 0.060*December -0.059*(@2009)$$

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι ο φόρτος έχει θετικό πρόσημο, επομένως όσο αυξάνεται ο φόρτος, αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές. Ακόμη η θερμοκρασία έχει θετικό πρόσημο ενώ η βροχόπτωση αρνητικό που υποδηλώνει ότι όταν αυξάνεται η θερμοκρασία και μειώνεται η βροχόπτωση έχουμε περισσότερους ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές. Το γεγονός αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, αυξάνεται η κυκλοφορία των μοτοσικλετιστών.

Επίσης ο δείκτης τραυματίες μετά την κρίση έχει αρνητικό πρόσημο που σημαίνει πως μετά την κρίση μειώθηκαν οι ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές.

Τέλος, η εποχικότητα παίζει σημαντικό ρόλο και σε αυτό το μοντέλο καθώς παρατηρείται πως αρκετοί μήνες είναι στατιστικά σημαντικοί.

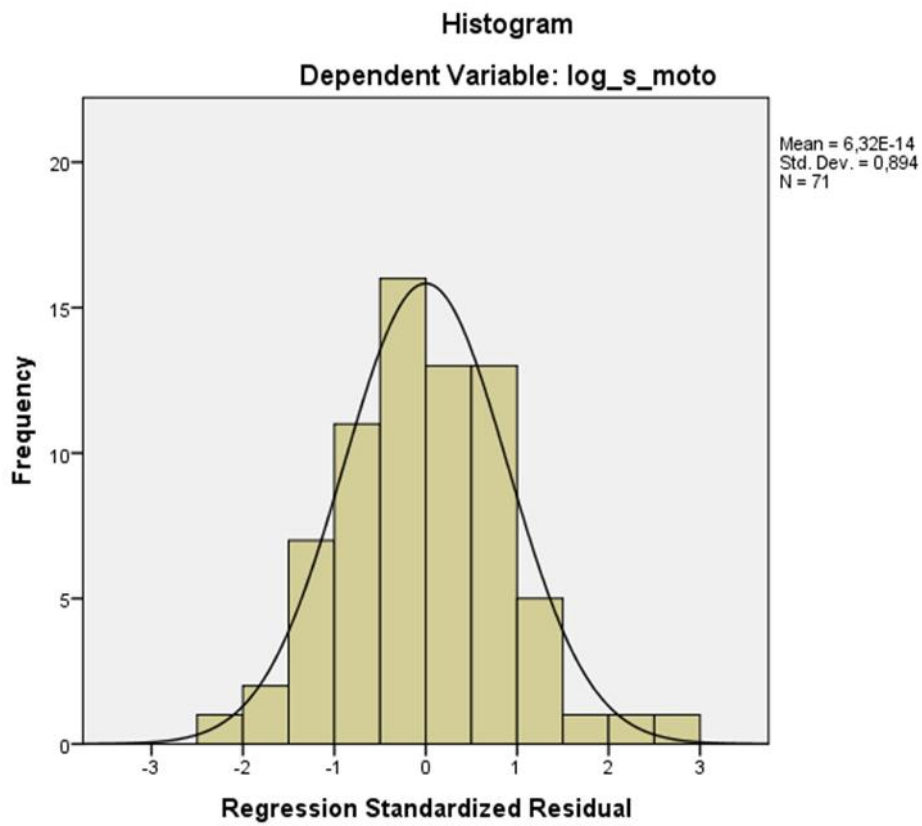
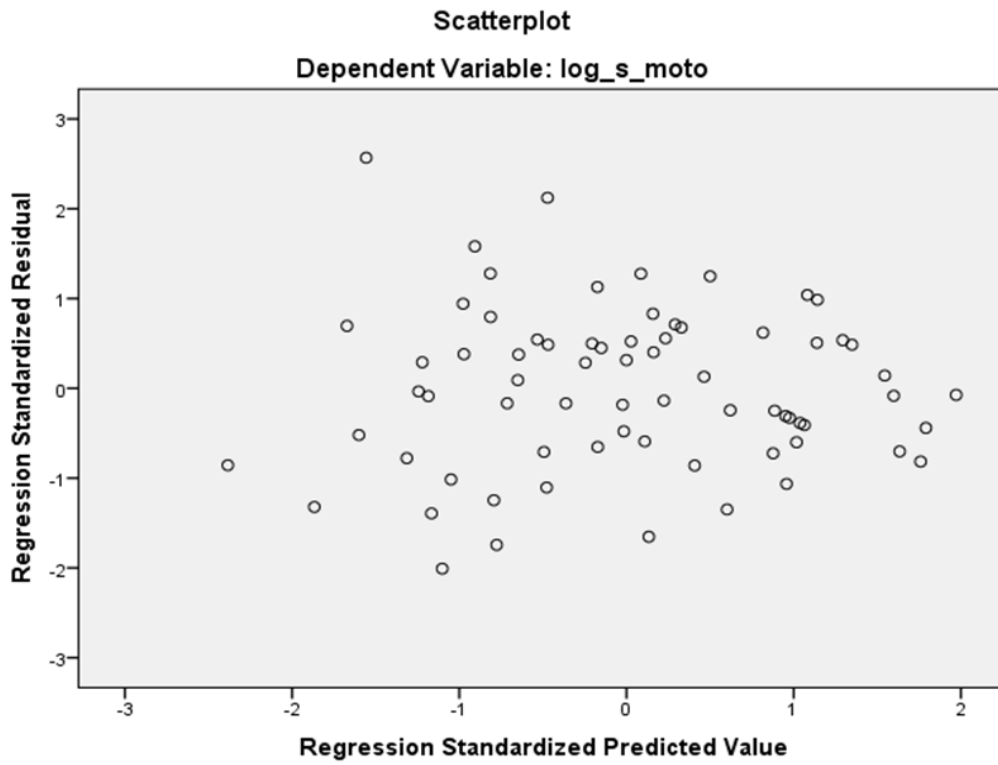
#### 5.2.4. Μοντέλο σοβαρά τραυματιών – νεκρών μοτοσικλετιστών

Όσον αφορά στις μεταβλητές, την περιγραφική στατιστική και την συσχέτιση των μεταβλητών ισχύει ότι αναφέρθηκε και για το μοντέλο των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου των σοβαρά τραυματιών – νεκρών μοτοσικλετιστών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες :

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,709 <sup>a</sup>	,502	,378	,12014	1,866

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,816	14	,058	4,039	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,808	56	,014		
	Total	1,624	70			

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-11,052	5,927		-1,865	,067
	Q1000	1,319	,563	6,925	2,343	,023
	speed	,180	,088	2,574	2,044	,046
	Méθη1000	-,368	,121	-,458	-3,039	,004
	Temperature	,024	,006	1,062	3,776	,000
	QV	-1,950E-05	,000	-5,122	-2,325	,024
	T3	-,270	,085	-,689	-3,178	,002
	κ2	-,204	,054	-,664	-3,781	,000
	κ3	-,195	,079	-,580	-2,480	,016
	M2	,160	,070	,335	2,288	,026
	March	-,182	,056	-,335	-3,259	,002
	May	-,176	,066	-,323	-2,661	,010
	June	-,219	,076	-,403	-2,866	,006
	September	-,217	,079	-,399	-2,749	,008



#### 5.2.4.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων για το μοντέλο των σοβαρά τραυματιών - νεκρών μοτοσικλετιστών προκύπτει το  $R^2 = 0,502$  και Durbin-Watson = 1,866. Η εξίσωση που προκύπτει για το συγκεκριμένο μοντέλο μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι η παρακάτω :

$$\text{Log}(\text{serious\_injuries\_moto}) = - 11.052 + 1.319*(Q/1000) + 0.180*\text{speed} - 0.368*\text{Μέθη} + 0,024*\text{Temperature} - 1.95\text{E-}05*(Q*V) - 0.270*T3 - 0.204*k2 - 0.195*k3 + 0.160*M2 - 0.182*March - 0.176*May - 0.219*June - 0.217*September$$

Παρατηρούμε πως και σε αυτό το μοντέλο ο φόρτος έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει πως καθώς αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί μοτοσικλετιστές. Επίσης, και η ταχύτητα έχει θετικό πρόσημο επομένως καθώς αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί μοτοσικλετιστές.

Όσον αφορά τις παραβάσεις μέθης, έχουν αρνητικό πρόσημο το οποίο υποδηλώνει πως όταν αυξάνονται οι έλεγχοι μέθης μειώνονται τα ατυχήματα των σοβαρά τραυματιών – νεκρών με χρονική υστέρηση ενός μήνα. Αρνητικό πρόσημο έχουν και οι παραβάσεις μη χρήσης κράνους γεγονός που σημαίνει ότι όσο αυξάνονται οι έλεγχοι για τις παραβάσεις μη χρήσης κράνους, μειώνονται οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί μοτοσικλετιστές με χρονική υστέρηση ένα μήνα από τις παραβάσεις μη χρήσης κράνους.

Η θερμοκρασία έχει θετικό πρόσημο άρα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί.

Και σε αυτό το μοντέλο η εποχικότητα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, όπως προκύπτει από τις στατιστικά σημαντικές μεταβλητές.



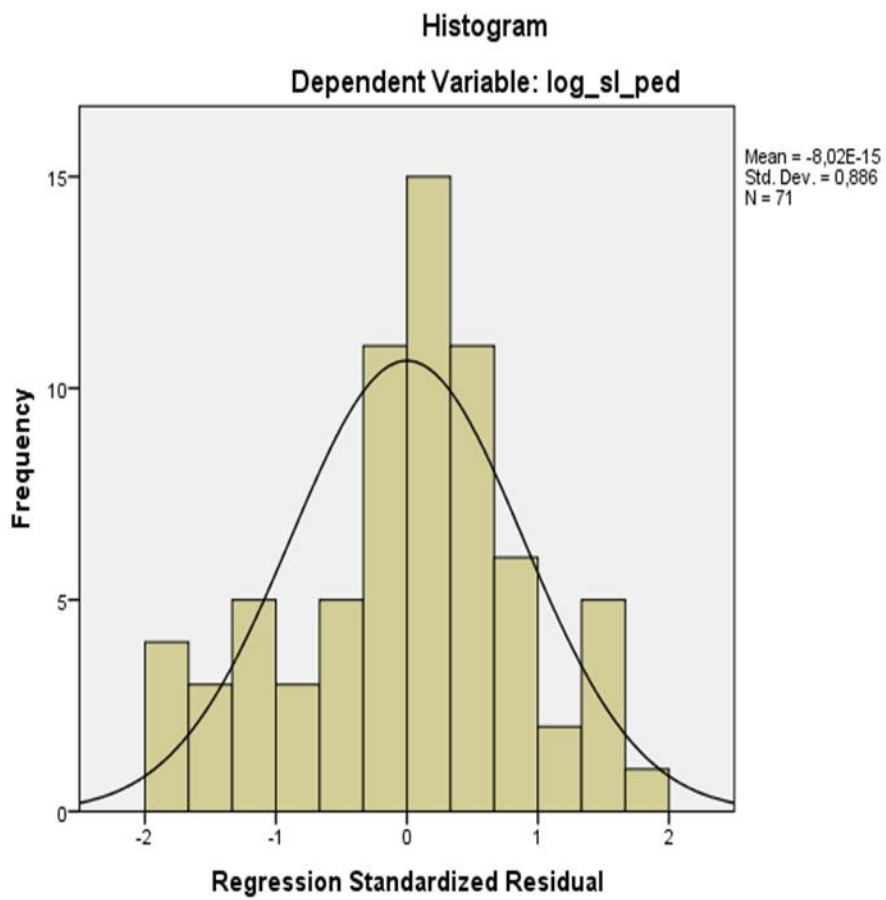
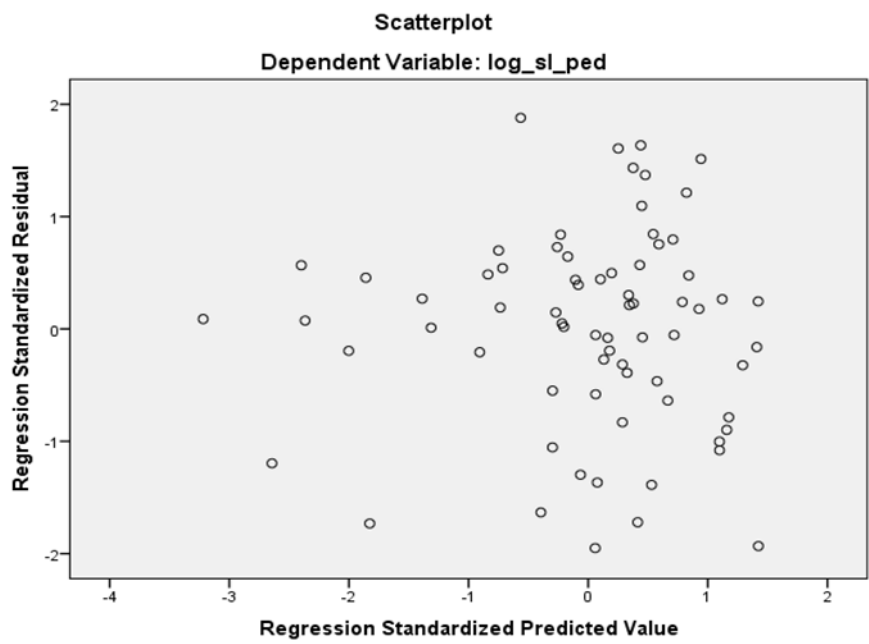
### 5.2.5. Μοντέλο ελαφρά τραυματιών πεζών

Στο μοντέλο αυτό έχουν αφαιρεθεί οι παραβάσεις μη χρήσης κράνους και οι παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας. Τα υπόλοιπα είναι ακριβώς όμοια με τα προηγούμενα μοντέλα. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου των ελαφρά τραυματιών πεζών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες :

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,908 <sup>a</sup>	,824	,776	,05270	1,698

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,715	15	,048	17,157	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,153	55	,003		
	Total	,868	70			

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,413	,154		9,154	,000
	Q1000	,213	,037	1,532	5,731	,000
	Παραβάσεις ταχύτητας	3,062E-05	,000	,280	3,223	,002
	Μέθη1000	,137	,041	,234	3,355	,001
	Precipitation	-,000410	,000	-,138	-1,760	,084
	Temperature	-,010	,002	-,570	-4,348	,000
	QV	-2,526E-06	,000	-,908	-3,588	,001
	T2	,081	,023	,348	3,513	,001
	T3	,103	,045	,359	2,264	,028
	s2	,058	,021	,241	2,731	,008
	Ta3	-,129	,038	-,235	-3,393	,001
	May	,056	,025	,142	2,289	,026
	October	,075	,028	,188	2,690	,009
	December	,069	,026	,175	2,689	,009
	@2008	-,035	,020	-,118	-1,756	,085



### 5.2.5.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων για το μοντέλο των ελαφρά τραυματιών πεζών προκύπτει το  $R^2 = 0,824$  και Durbin-Watson = 1,698. Η εξίσωση που προκύπτει για το συγκεκριμένο μοντέλο μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι η παρακάτω :

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{slight\_injuries\_pedestrians}) &= 1.413 + 0.213*(Q/1000) + 3.062E- \\ &05*\text{ΠαραβάσειςΤαχύτητας} + 0,137*\text{Μέθη} - 0.000410*\text{Precipitation} - \\ &0.10*\text{Temperature} - 2.526E-06*(Q*V) + 0.081*T2 + 0.103*T3 + 0.058*s2 - \\ &0.129*Ta3 + 0.056*May + 0.075*October + 0.069*December - 0.035*(@2008) \end{aligned}$$

Παρατηρείται, ότι ο φόρτος έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες πεζοί. Η βροχόπτωση έχει αρνητικό πρόσημο επομένως όταν έχουμε αύξηση του ύψους βροχόπτωσης παρατηρείται και μείωση των ελαφρά τραυματιών πεζών. Ενεζομένως, εύλογο συμπέρασμα, καθώς οι πεζοί κυκλοφορούν περισσότερο όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές. Από την άλλη, η θερμοκρασία έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι με αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες πεζοί.

Και στο μοντέλο των πεζών η εποχικότητα παίζει σημαντικό ρόλο αφού όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα έχει σημαντική επιρροή στους ελαφρά τραυματίες πεζούς.

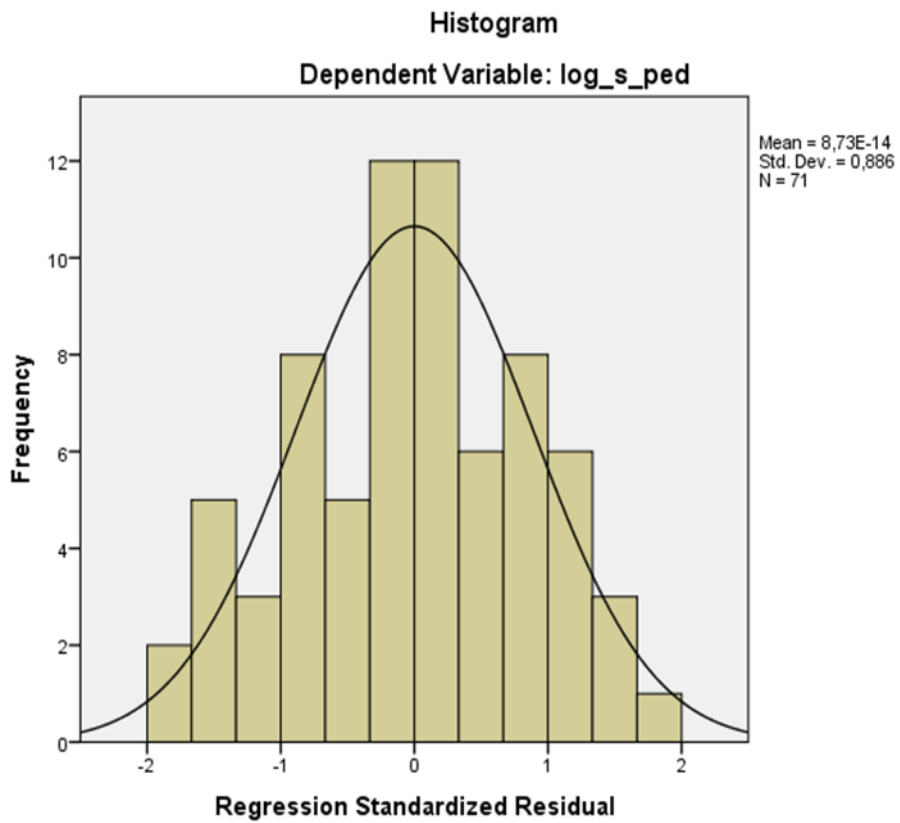
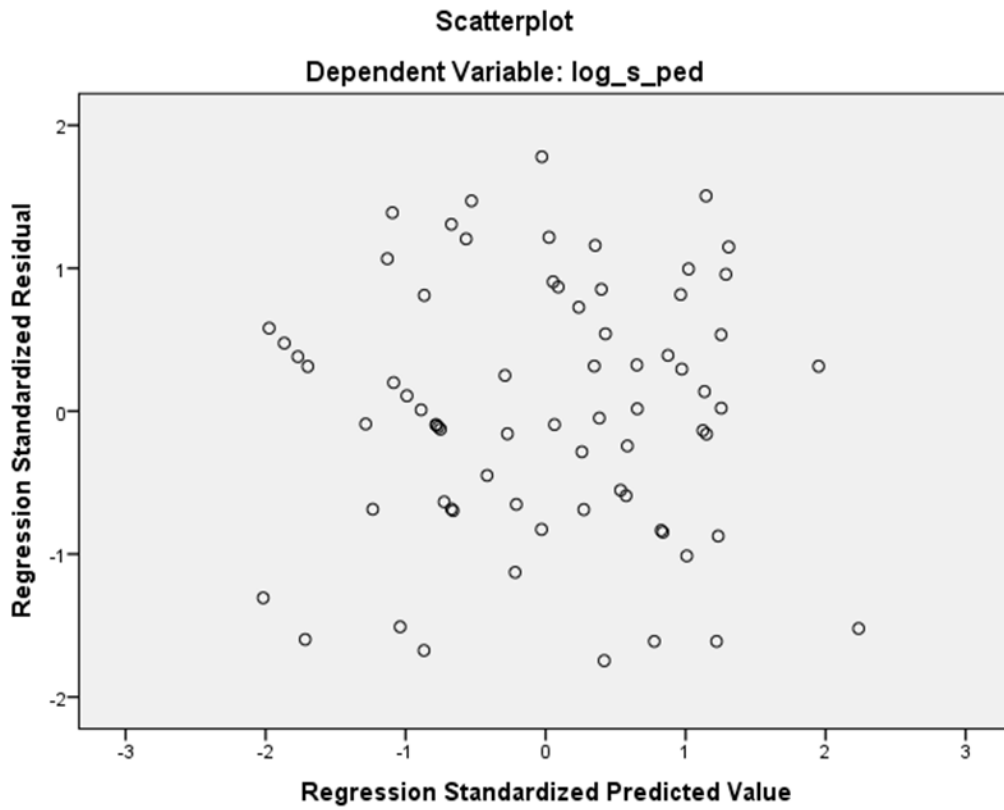
### 5.2.6. Μοντέλο σοβαρά τραυματιών –νεκρών πεζών

Στο μοντέλο αυτό έχουμε αφαιρέσει τις παραβάσεις μη χρήσης κράνους και τις παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας. Τα υπόλοιπα είναι ακριβώς όμοια με τα προηγούμενα μοντέλα. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση και τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου των σοβαρά τραυματιών – νεκρών πεζών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες :

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,739 <sup>a</sup>	,546	,422	,10586	1,818

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,741	15	,049	4,411	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,616	55	,011		
	Total	1,358	70			

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-36,096	11,143		-3,239	,002
	Q1000	3,251	1,014	18,672	3,207	,002
	speed	,596	,174	9,330	3,417	,001
	Παραβάσεις ταχύτητας	-4,855E-05	,000017	-,355	-2,796	,007
	Temperature	,013	,005	,643	2,587	,012
	QV	-5,222E-05	,0000159	-15,008	-3,286	,002
	T2	-,083	,048	-,283	-1,727	,090
	T3	-,354	,099	-,990	-3,592	,001
	s2	-,086	,048	-,285	-1,800	,077
	ac	-,072	,040	-,260	-1,794	,078
	M2	,145	,051	,331	2,864	,006
	August	-1,055	,268	-2,121	-3,930	,000
	September	-,176	,057	-,354	-3,071	,003
	@2010	-,174	,050	-,470	-3,449	,001
	@2011	-,288	,066	-,780	-4,390	,000
	Ta3	,280	,091	,408	3,089	,003



### 5.2.6.1 Περιγραφή και Εξήγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων για το μοντέλο των σοβαρά τραυματιών – νεκρών πεζών προκύπτει το  $R^2 = 0,546$  και Durbin-Watson = 1,818. Η εξίσωση που προκύπτει για το συγκεκριμένο μοντέλο μέσω της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι η παρακάτω :

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{serious\_injuries\_pedestrians}) = & - 36.096 + 3.251*(Q/1000) - 4.855E- \\ & 05*\text{Παραβάσεις Ταχύτητας} + 0.013*\text{Temperature} - 5.222E-05*(Q*V) - 0.083*T2 - \\ & 0.354*T3 - 0.086*s2 - 0.072*ac + 0.145*M2 - 1.055*August - 0.176*September - \\ & 0.174*(@2010) - 0.288*(@2011) + 0.280*Ta3 \end{aligned}$$

Παρατηρείται ότι ο φόρτος έχει θετικό πρόσημο επομένως με αύξηση του φόρτου αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί πεζοί. Οι παραβάσεις ταχύτητας έχουν αρνητικό πρόσημο, το οποίο υποδηλώνει πως με αύξηση των ελέγχων ορίων ταχύτητας μειώνονται οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί πεζοί.

Η θερμοκρασία από την άλλη πλευρά, έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει πως καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί πεζοί. Και σε αυτό το μοντέλο η εποχικότητα έχει σημαντική επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή.



### 5.3. Σύγκριση Μοντέλων

Στο εδάφιο αυτό θα αναλύσουμε τα μοντέλα συγκριτικά μεταξύ τους. Σε μερικές περιπτώσεις η συγκριτική ανάλυση υπερτερεί της μεμονωμένης ανάλυσης του μοντέλου. Άλλωστε, μέσω των συγκρίσεων θα κατανοήσουμε και τις επιδράσεις μεταξύ των μοντέλων και θα έχουμε μια πιο πλήρη και γενικότερη εικόνα του φαινομένου. Παρακάτω παρατίθεται και ο συγκεντρωτικός πίνακας των μοντέλων.

Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων είναι τα εξής :

- Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της επιρροής των εξετασθέντων παραμέτρων στους συνολικά ελαφρά τραυματίες και στους ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές, φάνηκε ότι:
  - Τη μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζει η μεταβλητή του κυκλοφοριακού φόρτου. Μάλιστα, αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου αυξάνονται και οι τραυματίες.
  - Σημαντική επιρροή έχει και η οικονομική κρίση καθώς μετά την οικονομική κρίση παρατηρήθηκε μείωση των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών.
  - Ανάμεσα στην βροχόπτωση και την θερμοκρασία, η βροχόπτωση επηρεάζει περισσότερο το μοντέλο των συνολικά τραυματιών και ειδικότερα με αύξηση της βροχόπτωσης καταγράφονται περισσότεροι τραυματίες. Ενώ, η θερμοκρασία επηρεάζει τους μοτοσικλετιστές καθώς με αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρούνται περισσότεροι ελαφρά τραυματίες.
  - Από τις παραβάσεις πιο σημαντική για τους συνολικά ελαφρά τραυματίες είναι οι παραβάσεις ταχύτητας και για τους ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές η μη χρήση κράνους. Γενικά, οι παραβάσεις αποδεικνύουν πως με εντατικοποίηση της αστυνόμευσης αυξάνονται οι ελαφρά τραυματίες με χρονική υστέρηση ένα μήνα.

- Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της επιρροής των εξετασθέντων παραμέτρων στους συνολικά σοβαρά τραυματίες – νεκροί και των σοβαρά τραυματιών – νεκρών μοτοσικλετιστών, φάνηκε ότι:
  - Σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι με αύξηση της ταχύτητας αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί και στα δύο μοντέλα.
  - Η θερμοκρασία υπερισχύει σε σημαντικότητα έναντι της βροχόπτωσης. Ειδικότερα, αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση και των σοβαρά τραυματιών – νεκρών και για τα δύο μοντέλα
  - Από τις παραβάσεις οι πιο σημαντικές είναι οι παραβάσεις ταχύτητας για το σύνολο των σοβαρά τραυματιών – νεκρών και η μέθη για τους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς μοτοσικλετιστές. Παρατηρείται δηλαδή, ότι αύξηση των παραβάσεων προκαλεί μείωση στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς.
  
- Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της επιρροής των εξετασθέντων παραμέτρων στους ελαφρά τραυματίες και στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς πεζούς, φάνηκε ότι:
  - Και στα δύο μοντέλα η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου προκαλεί αύξηση και των τραυματιών.
  - Η θερμοκρασία και η βροχόπτωση επηρεάζει σημαντικά τους τραυματίες πεζούς. Μάλιστα με αύξηση της βροχόπτωσης μειώνονται οι ελαφρά τραυματίες όπως και με αύξηση της θερμοκρασίας. Ενώ, για τους σοβαρά τραυματίες όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνονται και οι σοβαρά τραυματίες – νεκροί πεζοί.
  - Για τους ελαφρά τραυματίες πεζούς σημαντικές παραβάσεις είναι οι παραβάσεις ταχύτητας και μέθης. Με αύξηση των παραβάσεων αυτών αυξάνονται και οι ελαφρά τραυματίες πεζοί. Ενώ για τους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς πεζούς αύξηση των παραβάσεων ταχύτητας οδηγεί σε μείωση των σοβαρά τραυματιών – νεκρών πεζών με υστέρηση ένα μήνα.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η συνδυαστική μακροσκοπική ανάλυση των σοβαρά – νεκρών τραυματιών και των ελαφρά τραυματιών με τις καιρικές συνθήκες όπως βροχόπτωση και θερμοκρασία, με τα κυκλοφοριακά μεγέθη όπως η ταχύτητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος, με τις παραβάσεις όπως η χρήση ζώνης ασφαλείας, η χρήσης κράνους, η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και οι παραβάσεις ταχύτητας και η οικονομική κρίση. Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε αξιοποιώντας τα σχετικά μηνιαία στοιχεία για το **Λεκανοπέδιο της Αττικής για την περίοδο 2006-2011**.

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη γενική ανάλυση των στοιχείων, **συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία από διάφορες πηγές**. Πιο συγκεκριμένα, για τα επιλέχθηκε στοιχεία οδικών ατυχημάτων αξιοποιήθηκε η βάση δεδομένων του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, τα οποία συλλέγονται μέσω των Δελτίων Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) από την Τροχαία και κωδικοποιούνται από την ΕΛ.ΣΤΑΤ. Τα στοιχεία που αφορούν στις παραβάσεις προέρχονται από τα αρχεία της Διεύθυνσης Τροχαίας του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη. Τα στοιχεία που αφορούν στις μετεωρολογικές συνθήκες προέρχονται από τις σχετικές βάσεις δεδομένων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και ειδικότερα του Τομέα Υδατικών Πόρων και συλλέγονται από κατάλληλα εγκατεστημένους σταθμούς καταγραφής στο λεκανοπέδιο. Και τέλος τα στοιχεία για τα κυκλοφοριακά μεγέθη σε επιλεγμένους άξονες του λεκανοπεδίου συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής.

Για τη στατιστική επεξεργασία των στοιχείων καθώς και την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων σε ότι αφορά στους αριθμούς των ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών, των ελαφρά τραυματιών πεζών και των συνολικά ελαφρά τραυματιών καθώς και των σοβαρά – νεκρών τραυματιών μοτοσικλετιστών, των σοβαρά – νεκρών τραυματιών πεζών και των συνολικά σοβαρά – νεκρών τραυματιών **επιλέχθηκε η μέθοδος της πολλαπλής λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**. Επίσης κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε και μια σειρά από ψευδομεταβλητές, που είχαν ως σκοπό να περιγράψουν την επίδραση των εποχικών παραγόντων (μήνας, έτος) στο υπό εξέταση φαινόμενο. Επιπλέον, οι παραβάσεις συσχετίστηκαν με τους παθόντες μέσω χρονικής υστέρησης κατά ένα μήνα.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψαν τα τελικά μαθηματικά μοντέλα που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεταβλητών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Έχουν απομονωθεί τα πρόσημα των συντελεστών κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής, δίνοντας έτσι μια **πιο άμεση ποιοτική εκτίμηση της επιρροής** κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εκάστοτε εξαρτημένη. Τα αποτελέσματα της παρακάτω ανάλυσης οδήγησαν σε μια σειρά συμπερασμάτων όπως εκείνα που παρουσιάζονται στο επόμενο εδάφιο.

Εξαρτημένες Μεταβλητές	Λογάριθμος ελαφρά τραυματιών στο σύνολό τους	Λογάριθμος σοβαρά τραυματιών - νεκρών στο σύνολό τους	Λογάριθμος ελαφρά τραυματιών μοτοσικλετιστών	Λογάριθμος σοβαρά τραυματιών - νεκρών μοτοσικλετιστών	Λογάριθμος ελαφρά τραυματιών πεζών	Λογάριθμος σοβαρά τραυματιών - νεκρών πεζών
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο	πρόσημο
Κυκλοφοριακός φόρτος	+	+	+	+	+	+
Ταχύτητα		+		+		+
Μη χρήση ζώνης ασφαλείας						
Μη χρήση κράνους						
Παραβάσεις ταχύτητας	+	-			-	-
Μέθη		-		-	+	
Βροχόπτωση	-				-	
Θερμοκρασία		+	+	+	-	+
Φόρτος*Ταχύτητα	-	-	-	-	-	-
Τραυματίες μετά την κρίση ( ας )			-			-

Πίνακας 6.1 : Επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στις εξαρτημένες

## 6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν αποτελέσματα σχετιζόμενα άμεσα με τους στόχους που τέθηκαν. Στο υποκεφάλαιο αυτό, επιχειρείται να δοθεί μια απάντηση στα συνολικά ερωτήματα της έρευνας με σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- ❖ Για πρώτη φορά στην Ελλάδα επιχειρείται η **συνδυαστική μακροσκοπική συσχέτιση του αριθμού των παθόντων στα οδικά ατυχήματα** με τις παραβάσεις με χρονική υστέρηση κατά ένα μήνα. Η στατιστική ανάλυση των εξαρτημένων μεταβλητών αποφασίστηκε με τη μέθοδο της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Η μέθοδος αυτή αποδείχθηκε εκ του αποτελέσματος κατάλληλη καθώς έγινε προσπάθεια ανάλυσης με την γραμμική παλινδρόμηση αλλά δεν οδήγησε σε αποτελέσματα. Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση προσεγγίζει καλύτερα τις εξεταζόμενες μεταβλητές και αυτό επιβεβαιώνεται άμεσα από τους συντελεστές συσχέτισης καθώς και από τους συντελεστές Durbin-Watson.
  
- ❖ Η **χρήση των ψευδομεταβλητών** που αναφέρονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (μήνες, έτη) αλλά και σε συγκεκριμένες υποκατηγορίες (υποκατηγορίες παραβάσεων, ταχύτητας, θερμοκρασίας, βροχόπτωσης) φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Μάλιστα, η τεχνική αυτή ενδείκνυται για την προσέγγιση του παράγοντα εποχικότητας αλλά και της έλλειψης επιπλέον μεταβλητών. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από το γεγονός ότι αρκετές από τις χρησιμοποιηθείσες ψευδομεταβλητές αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές.
  
- ❖ Με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών μοντέλων η γενική εικόνα που παρουσιάζουν οι αριθμοί των παθόντων καταδεικνύει εν γένει ότι **αύξηση του κυκλοφοριακού φόρου προκαλεί αύξηση του αριθμού των παθόντων** τόσο σε πεζούς όσο και στους μοτοσικλετιστές αλλά και γενικά στο σύνολο των παθόντων. Το αποτέλεσμα αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου οδηγεί σε αύξηση των πιθανών εμπλοκών και των συνεπαγόμενων ατυχημάτων, το οποίο συμφωνεί και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

- ❖ Σημαντική είναι και η επιρροή της ταχύτητας καθώς **με αύξηση της ταχύτητας αυξάνονται οι σοβαρά παθόντες** (σοβαρά τραυματίες–νεκροί) μοτοσικλετιστές, πεζοί αλλά και στο σύνολο τους, όχι όμως και οι ελαφρά τραυματίες. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται πιθανώς στην επιρροή της ταχύτητας στη σφοδρότητα της σύγκρουσης και τη συνεπαγόμενη αύξηση της σοβαρότητας του ατυχήματος, όπως άλλωστε επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία.
  
- ❖ Αξιοσημείωτη στο υπό εξέταση φαινόμενο είναι και η επιρροή των μετεωρολογικών φαινομένων. Όσον αφορά στη βροχόπτωση, **η αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του συνολικού αριθμού των ελαφρά τραυματιών** αλλά και οι ελαφρά τραυματιών πεζών. Ενδεχομένως, όταν βρέχει οι οδηγοί αντισταθμίζουν τις δυσκολίες και είναι πιο προσεκτικοί και μειώνουν την ταχύτητα τους με αποτέλεσμα να μειώνονται οι τραυματισμοί.
  
- ❖ Ταυτόχρονα, **η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση των συνολικά σοβαρά τραυματιών – νεκρών**, των ελαφρά και σοβαρά παθόντων μοτοσικλετιστών και των πεζών. Το γεγονός αυτό εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, αυξάνεται η κυκλοφορία των χρηστών της οδού και επίσης αυξάνονται και οι ταχύτητες, με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες, σφοδρότερες και σοβαρότερες συγκρούσεις.
  
- ❖ Οι παραβάσεις ταχύτητας έχουν αρνητικό πρόσημο στους συνολικά σοβαρά τραυματίες, στους ελαφρά τραυματίες πεζούς και στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς πεζούς που σημαίνει **πως με αύξηση των ελέγχων ορίων ταχύτητας μειώνονται οι τραυματίες** στις αντίστοιχες κατηγορίες που αναφέραμε παραπάνω, με χρονική υστέρηση κατά ένα μήνα.
  
- ❖ Οι παραβάσεις μέθης έχουν αρνητικό πρόσημο στους συνολικά σοβαρά τραυματίες – νεκρούς και στους σοβαρά τραυματίες μοτοσικλετιστές. Δηλαδή, **με αύξηση των ελέγχων μέθης διαπιστώνεται μείωση στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς** και μάλιστα με χρονική υστέρηση κατά ένα μήνα. Το γεγονός αυτό, πιθανότατα οφείλεται στη συμμόρφωση των οδηγών με τα όρια αλκοόλ κατά την οδήγηση, καθώς όταν αρχίζουν να αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει εντατικοποίηση της αστυνόμευσης στους ελέγχους ορίων μέθης, γίνονται πιο προσεκτικοί με το αλκοόλ.

- ❖ Οι κατηγορίες σχετικά με τις παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας και τις παραβάσεις μη χρήσης κράνους δεν είναι στατιστικά σημαντικές σε κανένα μοντέλο. Αντιθέτως, στατιστικά σημαντικές είναι ορισμένες υποκατηγορίες ψευδομεταβλητών των παραπάνω παραβάσεων. Η ψευδομεταβλητή παραβάσεις μη χρήσης ζώνης ασφαλείας 1.000- 3.000 (z2) έχει θετικό πρόσημο στους συνολικά ελαφρά τραυματίες, δηλαδή όσο αυξάνονται οι παραβάσεις αυξάνεται και το σύνολο των ελαφρά τραυματιών. Ενώ, η ψευδομεταβλητή παραβάσεις > 3.000 (z3) έχει αρνητικό πρόσημο που υποδηλώνει ότι **με αύξηση των ελέγχων για την χρήση ζώνης ασφαλείας μειώνονται οι συνολικά σοβαρά τραυματίες – νεκροί** με χρονική καθυστέρηση ένα μήνα. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τις ψευδομεταβλητές k2 ( παραβάσεις μη χρήσης κράνους 1.000-3.000) και k3 (παραβάσεις μη χρήσης κράνους > 3.000) που έχουν αρνητικό πρόσημο στους σοβαρά τραυματίες – νεκρούς μοτοσικλετιστές. Αυτό, ίσως επιβεβαιώνει πως οι οδηγοί συμμορφώνονται σταδιακά στην καλύτερη οδήγηση όταν αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει εντατικοποίηση της αστυνόμευσης.
  
- ❖ **Κατά τη διάρκεια της μεγάλης οικονομικής κρίση παρατηρείται μείωση στους σοβαρά τραυματίες πεζούς και στους ελαφρά τραυματίες μοτοσικλετιστές.** Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι λόγω της οικονομικής κρίσης, οι μετακινήσεις αναψυχής έχουν μειωθεί και γενικότερα έχει καταγραφεί μείωση των οχηματοχιλιομέτρων. Επιπλέον, οι αυξημένες τιμές καυσίμων επιβάλλουν μία πιο οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική οδήγηση με χαμηλότερες ταχύτητες. Παράλληλα, η οικονομική κρίση πλήττει τους οικονομικά ασθενέστερους (λιγότεροι νέοι, άπειροι και ηλικιωμένοι οδηγοί) με αποτέλεσμα την λιγότερο επικίνδυνη οδήγηση.
  
- ❖ Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι **η γενίκευση των αποτελεσμάτων** της συγκεκριμένης έρευνας θα πρέπει να επιχειρηθεί με ιδιαίτερη προσοχή και υπό αυστηρές προϋποθέσεις. Αυτό, διότι διαφορετικές πόλεις (ή και χώρες) εμφανίζουν διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά (θερμοκρασίες, ύψη βροχόπτωσης κ.λπ.), όπως και οι κάτοικοι (χρήστες της οδούς) μιας χώρας (ή ακόμη και τμημάτων εντός της ίδιας χώρας) μπορεί να εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά, τόσο στην αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας όσο και αναφορικά με τις αντιδράσεις τους στις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες αλλά και γενικά στις προτεραιότητες που ακολουθεί κάθε χώρα για την οδική ασφάλεια.



### 6.3 Προτάσεις Βελτιώσεις της Οδικής Ασφάλειας

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

- Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι χρήσιμα για **την ανάπτυξη πολιτικών, στρατηγικών σχεδίων και προγραμμάτων** οδικής ασφάλειας και για τη λήψη μέτρων βελτίωσης της οδικής ασφάλειας.
- Επίσης, απαραίτητα είναι τα **σχέδια διαχείρισης κυκλοφορίας και οδικής ασφάλειας** ειδικά για τις διάφορες καιρικές συνθήκες. Τα σχέδια αυτά θα πρέπει να περιλαμβάνουν τρόπους διαχείρισης της κυκλοφορίας αλλά και διαχείρισης της αστυνόμευσης για την οδική ασφάλεια.
- Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην υιοθέτηση στρατηγικών και στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων ώστε **μετά την κρίση να μην επιστρέψουμε σε υψηλότερους αριθμούς παθόντων** σε οδικά ατυχήματα καθώς όπως αναφέρθηκε έχει καταγραφεί μείωση των παθόντων λόγω της οικονομικής κρίσης.
- Είναι σημαντικό, να γνωρίζει κανείς την αναμενόμενη τάση εξέλιξης του αριθμού των παθόντων στα οδικά ατυχήματα και του αριθμού των οδικών ατυχημάτων, γενικότερα στην Ελλάδα και διεθνώς, για να γνωρίζει κανείς με τι συγκρίνεται σε διεθνές επίπεδο. Επίσης, χρήσιμη είναι η **εφαρμογή πολιτικών που να οδηγούν σε επιδόσεις οδικής ασφάλειας καλύτερες από τις αναμενόμενες.**

#### 6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω έρευνα

1. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε ανάλυση με λογαριθμοκανονικά μοντέλα. Για περαιτέρω στατιστική ανάλυση και εξαγωγή πιο αξιόπιστων συμπερασμάτων θα ήταν ενδεχομένως χρήσιμη **η εφαρμογή και άλλων μεθόδων στατιστικής ανάλυσης**, οι οποίες ίσως να ανήκουν σε διαφορετική οικογένεια από την ήδη επιλεγείσα. Παραδείγματος χάριν, στατιστικές αναλύσεις πολλαπλής ανάλυσης μεταβλητών (multivariate analysis) ή χρονοσειρών (time series).
2. Ακόμα θα παρουσίαζε ενδιαφέρον **η περαιτέρω ανάλυση ευαισθησίας των μοντέλων αλλά και ενδεχομένως μία μελέτη ανάλυσης της σχετικής επιρροής** ώστε να αναδειχθεί ξεχωριστά η επιρροή της κάθε μεταβλητής. Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y στην μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.
3. Χρήσιμο θα ήταν να πραγματοποιηθούν παρόμοιες έρευνες **σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα** (Περιφέρειες, Χώρες, σύγκριση Ευρωπαϊκών Χωρών) λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής. Τα συμπεράσματα της Διπλωματικής Εργασίας καταδεικνύουν μία τέτοια έρευνα ως απαραίτητη για τη γνώση του αριθμού των παθόντων και την εφαρμογή στρατηγικών σχεδίων και προγραμμάτων για την βελτίωση της οδικής ασφάλειας.
4. Για το ίδιο πρόβλημα αξίζει **να μελετηθούν περισσότεροι δείκτες-μεταβλητές** καθώς είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Για παράδειγμα, σημαντικό είναι να μελετηθούν δείκτες όπως ο τύπος οχήματος, ο τύπος σύγκρουσης, ο δείκτης σοβαρότητας, ο δείκτης επικινδυνότητας αλλά και περισσότεροι δείκτες μετεωρολογικών φαινομένων όπως η ομίχλη, ο άνεμος, το χιόνι.
5. Μία άλλη πρόταση για περαιτέρω έρευνα είναι **να μελετηθεί η επιρροή της διακύμανσης του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας** διότι αποδείχθηκαν καθοριστικές ως μεταβλητές στη διερεύνηση του φαινομένου. Η έρευνα αυτή θα οδηγούσε σε μία καλύτερη εικόνα της επιρροής των κυκλοφοριακών μεγεθών στους παθόντες από οδικά ατυχήματα.

6. Τέλος, για την προσέγγιση της συσχέτισης της οικονομικής κρίσης με τα οδικά ατυχήματα θα ήταν χρήσιμο **να διερευνηθεί περαιτέρω η διαχρονική σχέση των ατυχημάτων με το Α.Ε.Π.** της Ελλάδας. Ενδιαφέρον, θα αποτελούσε και μία συγκριτική ανάλυση των Α.Ε.Π. των χωρών με τους αντίστοιχους αριθμούς των παθόντων.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Abdel-Aty, M., Keller, J., 2005. Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. *Accid. Anal. Prev.* 37 (3), 417- 425.
2. Ahmed, M., Abdel-Aty, M., Yu, R.: Assessment of the Interaction between Crash Occurrence, Mountainous Freeway Geometry, Real-Time Weather and AVI Traffic Data, Transportation Research Board 91st Annual Meeting, 2012
3. Brijs, T., Karlis, D., Wets, G. (2008). Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis and Prevention* 40, 1180-1190.
4. Brodsky, H., Hakkert, A.S. (1988). Risk of a road accident in rainy weather, *Accident Analysis and Prevention* 20(3), 161-176
5. Chang, L.Y., Chen, W.C. (2005). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. *Journal of Safety Research* 36, 365-375.
6. Chapman R.A., 1971. Number of accidents per Day and Times between Accidents. *Traffic Engineering and Control.* 12 (2), 82-84.
7. Edwards, J.B. (1999). Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather, *Transportation Research Part F* 2, 1-14.
8. Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis and Prevention* 36, 637-647.
9. European Road Safety Observatory (2013), European Commission, Brussels. [www.erso.eu](http://www.erso.eu)
10. Fildes, B.N., Rumbold, G., Leening, A: Speed behaviour and drivers' attitude to speeding. General Report No. 16. VIC Roads, Hawthorn, Vic, 1991.
11. Fridstrom, L., Iver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., and Thomsen, L.K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts, *Accident Analysis and Prevention* 27(1), 1-20
12. G. Yannis, E. Papadimitriou, and C. Antoniou. Impact of enforcement on traffic accidents and fatalities: A multivariate multilevel analysis. *Safety Science*, 46, pp. 738-750, 2008
13. G. Yannis, E. Papadimitriou, and C. Antoniou. Multilevel modeling for the regional effect of enforcement on road accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp. 818-825, 2007
14. Hauer, E., Ahlin, E.J., Bowser, J.S., 1982. Speed enforcement and speed choice. *Accident Anal. Prev.* 14 (4), 267–278.

15. McDonald, J.: Relation between number of accidents and traffic volume at divided-highway intersections. Bulletin 74, 7-17 (Highway Research Board), 1953
16. Stipdonk, H.L. (Ed.) (2008). Time series applications on road safety developments in Europe. Deliverable D7.10 of the EU FP6 project SafetyNet, European Commission, Brussels
17. United Nations (UN), UN Secretary-General Ban Ki-moon: "Road Accidents have Become the Leading Cause of Death for People Aged 15 to 29" Message on the World Day of Remembrance for Road Traffic Victims, 2011. United Nations Information Service (UNIS) Vienna
18. Yannis G., Antoniou C., "A mixed logit model for the sensitivity analysis of Greek drivers' behaviour towards enforcement for road safety", European Transport, Vol. 37, December 2007, pp 62-77
19. Yannis G., Antoniou C., Papadimitriou E., "Road casualties and enforcement: distributional assumptions of serially correlated count data", Traffic Injury and Prevention, Vol. 8, Issue 3, 2007, pp.300-308.
20. Yannis G., Papadimitriou E., Antoniou C., "Impact of enforcement on traffic accidents and fatalities: A multivariate multilevel analysis", Safety Science, Vol. 46, June 2008, pp. 738-750.
21. Απόστολος Ζιακόπουλος, "Συσχέτιση κυκλοφοριακών μεγεθών με τη σοβαρότητα και την πιθανότητα οδικών ατυχημάτων", Μάρτιος 2013.
22. Δημήτρης Μπιλιώνης, "Συσχέτιση οδικών ατυχημάτων και καιρικών συνθηκών", Ιούλιος 2011.
23. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., 1999 Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
24. Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., (1997). Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π., Αθήνα Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2001). Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ανάπτυξη Στρατηγικού Σχεδιασμού για τη Βελτίωση της Οδικής Ασφάλειας στην Ελλάδα 2001 – 2005, Αθήνα.
25. Ξανθόπουλος Θ., (1990). Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
26. Σταθόπουλος Α., Καρλαύτης Μ., (2008). Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
27. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., 2005. Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα 2006-2010. Τ.Μ.Σ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
28. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., 2011. Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα 2011-2020. Τ.Μ.Σ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.

29. Φραντζεσκάκης Ι., Ιορδάνης Δ. "Volume to Capacity Ratio and Traffic Accidents, Interurban 4-lane Highways in Greece" Transportation Research Record 1112 "Highway Capacity and Traffic Characteristics". p.p. 29-38. HRB Washington D.C., 1987
  
30. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ. (1994). Οδική Ασφάλεια, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
  
31. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., Πιτσιάβα – Λατινοπούλου Μ.Χ., 2009. Κυκλοφοριακή Τεχνική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
  
32. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Πιτσιάβα – Λατινοπούλου Μ.Χ., Τσαμπούλας Δ.Α. 1997. Διαχείριση Κυκλοφορίας, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.