ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Συσχετίσεις Χρονοσειρών Οδικών Ατυχημάτων και Μετεωρολογικών Συνθηκών

Διπλωματική Εργασία

Δημήτριος Β. Μπιλιώνης

Επιβλέποντες: Γιώργος Δ. Γιαννής, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ
Ματθαίος Γ. Καρλαύτης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Η φωτογραφία του εξωφύλλου αντλήθηκε από την ηλεκτρονική διεύθυνση: http://blogs.sch.gr/geopatsoul/files/2009/09/rain-athens.jpg

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. κ. Γιώργο Γιαννή και Ματθαίο Καρλαύτη, Αναπληρωτές Καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που επέδειξαν στο πρόσωπό μου και την ιδιαίτερη τιμή που μου έκαναν αναθέτοντάς μου την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης θερμές ευχαριστίες οφείλω και στον κ. Αντώνη Σταθόπουλο, Καθηγητή ΕΜΠ, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του.

Ειλικρινείς ευχαριστίες θα πρέπει να αποτείνω στο Σύλλογο Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων και κυρίως στην επιστημονική επιτροπή του 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Οδικής Ασφάλειας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να παρουσιάσω τα σημαντικότερα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας από το βήμα του συγκεκριμένου συνεδρίου.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες οφείλω στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για την διάθεση των μετεωρολογικών στοιχείων, χωρίς τα οποία η εκπόνηση της παρούσας εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Επιπλέον, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την κ. Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα ΕΜΠ, τον κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου και την κ. Ελεονώρα Παπαδημητρίου, Διδάκτορες ΕΜΠ, καθώς και την κ. Χριστίνα Μηλιώτη με τον κ. Παναγιώτη Παπαντωνίου, Υποψήφιους Διδάκτορες ΕΜΠ, για την πολύτιμη αρωγή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θέλω να διατυπώσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη που οφείλω στην οικογένειά μου και κυρίως τους γονείς μου, για την αμέριστη αγάπη, γενναιοδωρία και υποστήριξη που μου παρείχε και παρέχει σε κάθε απόφαση και βήμα στη ζωή μου. Επίσης, απεριόριστη εκτίμηση οφείλω στους φίλους και συμφοιτητές μου, οι οποίοι αποδείχθηκαν ανεκτίμητης αξίας συνοδοιπόροι στο ταξίδι της γνώσης που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΕΜΠ.

Άργος, Ιούλιος 2011

Δημήτριος Β. Μπιλώνης

Στη μνήμη
του πατέρα μου,
Βασίλειου Δ. Μπιλώνη
(1944-2009)

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Μπιλιώνης Δημήτριος

ΣΥΝΟΨΗ

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η συσχέτιση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων και των βασικών μετεωρολογικών συνθηκών όπως το ύψος βροχόπτωσης και θερμοκρασία. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά ημερήσια στοιχεία για τον αριθμό των ατυχημάτων και των νεκρών και τραυματιών από τη βάση δεδομένων της Εθνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) για το Λεκανοπέδιο της Πρωτεύουσας, καθώς και τα αντίστοιχα αναλυτικά ημερήσια στοιχεία για το ύψος βροχόπτωσης και τη μέση ημερήσια θερμοκρασία από τη βάση δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.). Για την ανάλυση των χρονοσειρών αναπτύχθηκε σύστημα μοντέλων τύπου SURE (Seemingly Unrelated Regression Equations) με ταυτόχρονη διόρθωση του σφάλματος για σειριακή αυτοσυσχέτιση πρώτου βαθμού. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του πλήθους των ατυχημάτων, ενώ αύξηση της βροχόπτωσης προκαλεί μείωση του αριθμού των ατυχημάτων αλλά και των νεκρών σε αυτά. Επίσης, από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι σημαντική επιρροή στον αριθμό των ατυχημάτων έχουν η θερμοκρασία και η μέση βροχόπτωση της προηγούμενης ημέρας (μεταβλητές με χρονική υστέρηση), ενώ το φαινόμενο της επιρροής των καιρικών συνθηκών στα οδικά ατυχήματα παρουσιάζει και έντονα στοιχεία μη-γραμμικότητας. Τέλος, οι μεταβολές της θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης μπορεί να έχουν διαφορετικό αντίκτυπο στους αριθμούς των ατυχημάτων ανάλογα με το μήνα κατά τον οποίο συμβαίνουν.

Λέξεις - κλειδιά: οδικά ατυχήματα, μετεωρολογικές συνθήκες, μοντέλα SURE, ψευδομεταβλητές

TIME-SERIES CORRELATIONS OF ROAD ACCIDENT AND METEOROLOGICAL CONDITIONS

by Bilionis Dimitrios

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to investigate the correlation between accident counts and basic meteorological conditions, such as rainfall and temperature. For this reason, analytical daily data for the number of accidents, fatalities and injuries were used. These data were obtained from the database of the Hellenic Statistical Authority (EL.STAT.) for the basin of Athens, the capital city of Greece. Moreover, the corresponding analytical daily data for the precipitation and mean temperature were employed. The later data were obtained from the database of the Hellenic National Meteorological Service (HNMS). For the analysis of time series, a system of SURE models was developed. The results show that the drop of temperature causes a decrease in the number of accidents, while an increase in precipitation causes a decrease in the number of accidents and fatalities as well. Furthermore, the results reveal that temperature and rainfall of the previous day (lagged values) have a significant influence on the number of accidents. Finally, the impact of the variations in temperature or rainfall on the accident counts may be different depending on which month they occur.

Keywords: road accidents, meteorological conditions, SURE models, dummy variables

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε **η συσχέτιση χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και βασικών μετεωρολογικών συνθηκών,** όπως η θερμοκρασία και το ύψος βροχόπτωσης ανά ημέρα, αξιοποιώντας τα σχετικά ημερήσια στοιχεία για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας.

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη γενική ανάλυση των στοιχείων, **επιλέχθηκε σειρά μεταβλητών** της βάσης δεδομένων οδικών ατυχημάτων του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα στοιχεία που αφορούν στα ατυχήματα προέρχονται από τα αρχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) και συλλέγονται μέσω των Δελτίων Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) από την Τροχαία. Από την άλλη, τα στοιχεία που αφορούν στις μετεωρολογικές συνθήκες προέρχονται από τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) και συλλέγονται από κατάλληλα εγκατεστημένους σταθμούς καταγραφής.

Για τη **στατιστική επεξεργασία των στοιχείων** καθώς και την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων σε ό,τι αφορά στους αριθμούς των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών πεζών και των τραυματιών πεζών, επιλέχθηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Μάλιστα τα τελικά μοντέλα προήλθαν από εκτίμηση με εφαρμογή της μεθόδου των Φαινομενικά Ασυσχέτιστων Εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Equations – SURE). Επίσης κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε και μια σειρά από ψευδομεταβλητές, τόσο απλές όσο και πολλαπλασιαστικές, που ως σκοπό είχαν να περιγράψουν την επίδραση των εποχικών παραγόντων (ημέρα, μήνας, έτος) στο υπό εξέταση φαινόμενο.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψαν **τα τελικά μαθηματικά μοντέλα** που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεταβλητών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν. Επισημαίνεται ότι η σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών κάθε μοντέλου στην αντίστοιχη εξαρτημένη μεταβλητή προσδιορίστηκε μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής.

Η σχετική επιρροή χρησιμοποιήθηκε ως μέγεθος ικανό να αναδείξει την επιρροή κάθε μεταβλητής ξεχωριστά. Ο υπολογισμός της βασίστηκε στη θεωρία της ελαστικότητας.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η επιρροή των ανεξάρτητων μετεωρολογικών μεταβλητών (όχι των ψευδομεταβλητών) στα μοντέλα του αριθμού των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών πεζών και των τραυματιών πεζών. Στον πρώτο πίνακα περιλαμβάνονται οι τιμές των συντελεστών $\boldsymbol{\beta_i}$ (όπως προέκυψαν από την εκτίμηση με τη μέθοδο SURE) και οι τιμές της σχετικής επιρροής $\mathbf{e_i}$ των ανεξάρτητων μετεωρολογικών μεταβλητών του συστήματος των τεσσάρων μοντέλων. Στον δεύτερο πίνακα έχουν απομονωθεί τα πρόσημα των συντελεστών κάθε ανεξάρτητης μετεωρολογικής μεταβλητής, δίνοντας έτσι μια πιο άμεση ποιοτική εκτίμηση της επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εκάστοτε εξαρτημένη.

Αποτελέσματα Μαθηματικών Μοντέλων

Ανεξάρτητες Μετεωρολογικές Μεταβλητές	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)		Αριθμός Νεκρών (FATALITI)		Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)		Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)	
	β_i	e_i	β_i	e_i	β_i	e_i	β_i	e_i
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	0,226	0,171					0,05	0,228
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	0,099	5,824E-05	0,005	7,237E-06			0,026	1,484E-04
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,151	-0,009	-0,005	-0,004	-0,002	-0,002	-0,02	-0,006
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,096	-0,005	-0,006	-0,005			-0,019	-0,006

Ανεξάρτητες Μετεωρολογικές Μεταβλητές	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)	Αριθμός Νεκρών (FATALITI)	Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)	Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	+			+
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	+	+		+
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-	-	-	-
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (TOTALPRE)	-	-		-

Από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής που έχει κάθε ανεξάρτητη μετεωρολογική μεταβλητή στην εξαρτημένη. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης οδήγησαν σε μια σειρά συμπερασμάτων όπως αυτά που παρουσιάζονται στο επόμενο εδάφιο.

Για πρώτη φορά στην Ελλάδα επιχειρείται προσπάθεια συσχέτισης των μετεωρολογικών συνθηκών με τους αριθμούς των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών και τραυματιών πεζών, χρησιμοποιώντας ημερήσια στοιχεία και για μεγάλη περίοδο μελέτης. Επομένως **επεκτάθηκε η έρευνα που δημοσιεύθηκε το 2008 (Yannis et al., 2008) η οποία αναφέρονταν μόνο σε αριθμούς ατυχημάτων και νεκρών** και όχι σε αριθμούς που σχετίζονται με τους πεζούς (νεκρούς και τραυματίες). Επίσης, οι τέσσερις εξαρτημένες μεταβλητές εξετάστηκαν από κοινού ως σύστημα.

Η στατιστική ανάλυση των εξαρτημένων μεταβλητών αποφασίστηκε να γίνει χρησιμοποιώντας **τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης**. Μάλιστα, η εκτίμηση των μαθηματικών μοντέλων δεν έγινε μόνο με την ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS), αλλά και με τη χρήση της μεθόδου των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (SURE). Παραταύτα, και κυρίως λόγω των ιδιαιτεροτήτων της παρούσας έρευνας (έλλειψη στοιχείων κυκλοφοριακών φόρτων, εξέταση παρόμοιων εξαρτημένων μεταβλητών), **η μέθοδος των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (SURE) φαίνεται καταλληλότερη.**

Η **χρήση των ψευδομεταβλητών** που αναφέρονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (έτη, μήνες, ημέρες) φαίνεται πως είναι **ιδιαίτερα χρήσιμη και προσφέρει αξιόλογα συμπεράσματα.** Μάλιστα, η τεχνική αυτή ενδείκνυται για την προσέγγιση του παράγοντα της έκθεσης στον κίνδυνο όταν λείπουν αντίστοιχα πραγματικά (κυκλοφοριακά) στοιχεία, γεγονός που συνέβαινε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αξιοσημείωτα δε συμπεράσματα δίδει και η χρήση πολλαπλασιαστικών ψευδομεταβλητών (μήνας-θερμοκρασία, μήνας-βροχόπτωση).

Σε γενικές γραμμές **το φαινόμενο αποδεικνύεται πως είναι αρκετά πολύπλοκο.** Χαρακτηριστικό είναι ότι από τα τέσσερα μοντέλα (εξισώσεις) που προέκυψαν, περισσότερο αξιόπιστα θεωρούνται τα μοντέλα που αναφέρονται στους αριθμούς των ατυχημάτων και των τραυματιών πεζών και λιγότερο αξιόπιστα τα αντίστοιχα μοντέλα για τους αριθμούς των νεκρών οι οποίοι είναι αριθμητικά πολύ λιγότεροι. Σε αυτό πιθανές αιτίες να είναι το μέγεθος του δείγματος και η κατανομή που ακολουθεί για την εκάστοτε εξαρτημένη μεταβλητή, όπως και η έλλειψη επιπλέον μεταβλητών (π.χ. στοιχεία κυκλοφορίας). Επίσης, ιδιαιτέρως για του αριθμούς που σχετίζονται με τους πεζούς, η πολυπλοκότητα που εμφανίζεται στη συμπεριφορά τους δυσχεραίνει την εξαγωγή μοντέλων.

Η γενική εικόνα που παρουσιάζουν οι αριθμοί που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια (αριθμοί ατυχημάτων, νεκρών, νεκρών και τραυματιών πεζών) καταδεικνύει εν γένει ότι **αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων και των τραυματιών πεζών.** Αντίθετα **η επιρροή της βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση των οδικών ατυχημάτων.** Πιο συγκεκριμένα αύξηση του ύψους βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών.

Αξιοσημείωτη στο υπό εξέταση φαινόμενο είναι και η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών της προηγούμενης ημέρας. Τόσο η μεταβλητή της διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών, όσο και του ύψους βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές σε ορισμένα μοντέλα.

Επιρροή παρατηρήθηκε να έχουν και οι αλλαγές της θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης εντός συγκεκριμένων μηνών. Από τα αποτελέσματα μάλιστα αποδεικνύεται ότι τυχόν αλλαγές σε μια μετεωρολογική μεταβλητή εντός συγκεκριμένων μηνών (ή εποχών) μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και προς την αντίθετη κατεύθυνση τις μεταβολές των αριθμών των οδικών ατυχημάτων. Για παράδειγμα αύξηση της θερμοκρασίας τον Αύγουστο οδηγεί σε μείωση (και όχι αύξηση) των ατυχημάτων, όπως και αύξηση τους ύψους βροχόπτωσης τους θερινούς μήνες οδηγεί σε αύξηση (και όχι μείωση) των ατυχημάτων, των νεκρών κ.λπ.

Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των ατυχημάτων,** φάνηκε ότι:

- Τη μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζει η μεταβλητή της θερμοκρασίας. Μάλιστα, αύξηση της θερμοκρασίας γενικά, προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων.
- Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη βροχόπτωση (γενικά) εμφανίζουν αρνητικά πρόσημα στους συντελεστές τους. Με άλλα λόγια, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης γενικά, προκαλεί μείωση του αριθμού των ατυχημάτων.
- Η παραπάνω επιρροή, όμως, φαίνεται ότι αντιστρέφεται το καλοκαίρι. Αυτό καθώς αύξηση της θερμοκρασίας τους θερινούς μήνες οδηγεί σε μείωση των ατυχημάτων (και όχι αύξηση), ενώ επίσης αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε αύξηση (και όχι μείωση) του αριθμού των ατυχημάτων.

Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των νεκρών,** φάνηκε ότι:

- Η μεταβλητή της θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας δεν φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντική. Όμως αξίζει να σημειωθεί πως, με αύξηση της διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών προκαλείται αύξηση στον αριθμό των ατυχημάτων. Τέλος, αύξηση της θερμοκρασίας του θερινούς μήνες οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των νεκρών.

- Η βροχόπτωση επιδρά αρνητικά στους αριθμούς των νεκρών. Συνεπώς, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης προκαλεί μείωση του αριθμού των νεκρών. Αυτό οφείλεται ενδεχομένως στην αύξηση της έντασης της προσοχής των οδηγών υπό συνθήκες βροχής (χαμηλότερες ταχύτητες, ασφαλέστερη οδήγηση).

Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των νεκρών πεζών,** φάνηκε ότι:

- Οι μεταβολές στη θερμοκρασία γενικά, φαίνεται πως δεν έχουν αξιοσημείωτη επιρροή στο υπό εξέταση φαινόμενο, αφού οι αντίστοιχες μεταβλητές δεν αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές. Μπορεί όμως να ειπωθεί ότι αύξηση της θερμοκρασίας εντός του χειμώνα, προκαλεί αύξηση στους θανόντες πεζούς. Η εικόνα αυτή πάντως φαίνεται να αντιστρέφεται το μήνα Ιούλιο.

- Η βροχόπτωση προκαλεί μείωση στους αριθμούς των νεκρών πεζών, προφανώς λόγω της μείωσης των μετακινήσεων κατά τις βροχερές ημέρες. Το φαινόμενο αυτό όμως παρουσιάζει αντίστροφη εικόνα κατά το μήνα Ιούνιο.

Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των τραυματιών πεζών,** φάνηκε ότι:

- Η αύξηση της θερμοκρασίας (με τη μεταβλητή της μέσης θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας να εμφανίζει μεγαλύτερη επιρροή) προκαλεί αύξηση στους αριθμούς των τραυματιών πεζών. Αν και το φαινόμενο αυτό αντιστρέφεται κατά τους θερινούς μήνες.

- Η βροχόπτωση φαίνεται πως οδηγεί σε μείωση του αριθμού των τραυματιών πεζών. Αξίζει όμως και εδώ να σημειωθεί ότι το μήνα Ιούνιο επεισόδια βροχόπτωσης προκαλούν μάλλον αύξηση του αριθμού των τραυματιών πεζών.

Αξίζει δε 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 (π.χ. πιο εξοικειωμένοι οι οδηγοί των βόρειων περιοχών στην οδήγηση υπό κακοκαιρία κ.λπ.).

Τέλος, 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.

- **Ο καθορισμός μεταβλητών ορίων ταχύτητας**, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες θα μπορούσε να είναι ένα αρκετά χρήσιμο μέτρο οδικής ασφάλειας, αφού από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αποδεικνύεται η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια.

- **Επέκταση της χρήσης των φωτεινών πινακίδων** που θα δίδουν εκτός από πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία και πληροφορίες σχετικά με τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η ενημέρωση αυτή θα πρέπει να γίνεται ιδίως, όταν προβλέπονται έντονα καιρικά φαινόμενα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, ενημέρωση των χρηστών της οδού για επικείμενη καταιγίδα, ιδιαιτέρως όταν αυτό πρόκειται να συμβεί εντός περιόδου καλοκαιριού (ξηρή περίοδος).

- **Σωστή κατασκευή των νέων οδών και επαρκής συντήρηση του υφιστάμενου οδικού δικτύου.** Με άλλα λόγια, κατάλληλη χάραξη και σωστή διαμόρφωση των κλίσεων και κυρίως των επικλίσεων των οδών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική αποστράγγιση, όπως και αποτελεσματικός σχεδιασμός του δικτύου αποστράγγισης (αγωγοί ομβρίων, οχετοί κ.λπ.). Τέλος σε συνδυασμό με τα παραπάνω, η χρήση ασφάλτου παρασκευασμένης με μεθόδους που επιβάλλουν οι κανονισμοί και η ταυτόχρονη τοποθέτηση αντιολισθητικού ασφαλτοτάπητα είναι βέβαιο ότι θα συμβάλλουν στη **διαμόρφωση του «συγχωρητικού περιβάλλοντος της οδού»**, που αποτελεί βασικό ζητούμενο και προϋπόθεση για την οδική ασφάλεια.

- **Εντατικοποίηση της αστυνόμευσης,** όχι μόνο όταν επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, αλλά και σε περιόδους καλοκαιρίας, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Το τελευταίο δε μάλλον θα έχει θετικά αποτελέσματα στην προσπάθεια βελτίωσης της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, αφού όπως αποδεικνύεται από την παρούσα εργασία, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση στους αριθμούς των ατυχημάτων.

- **Επένδυση στη σωστή εκπαίδευση των οδηγών.** Με άλλα λόγια, οι υποψήφιοι οδηγοί θα πρέπει κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης τους να υποβάλλονται σε σενάρια οδήγησης υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οδήγηση υπό καλές καιρικές συνθήκες, αλλά και υπό βροχή. Αυτό μπορεί να γίνει τόσο σε πραγματικό περιβάλλον (μέσα στο όχημα σε κανονική οδό) όσο και σε εικονικό περιβάλλον με τη χρήση προσομοιωτή. Αποτέλεσμα των παραπάνω θα είναι η επαρκής εκπαίδευση των οδηγών και η καλλιέργεια ικανοτήτων αντίστοιχων προς τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι σημαντικό θα ήταν να δίνεται προσοχή στις παραπάνω ικανότητες του υποψήφιου οδηγού και να αξιολογούνται κατά τη διάρκεια της εξέτασης (θεωρητικής και πρακτικής) για την απόκτηση διπλώματος.

- **Εκστρατείες ενημέρωσης σχετικά με τη σωστή οδήγηση και συμπεριφορά υπό βροχή, αλλά και σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.** Οι εκστρατείες αυτές θα πρέπει να απευθύνονται σε όλους

εν γένει τους χρήστες της οδού και όχι μόνο τους οδηγούς, αφού όπως αποδεικνύεται, το υπό εξέταση φαινόμενο επηρεάζει και τους πεζούς. Κατάλληλοι φορείς για τον σκοπό αυτό, εκτός από το αρμόδιο Υπουργείο, θα μπορούσαν να είναι τα σχολεία (ιδίως με το μάθημα της κυκλοφοριακής αγωγής), οι δήμοι, αλλά και άλλοι σύλλογοι και ινστιτούτα με τη διοργάνωση ημερίδων και ανάλογων εκδηλώσεων. Τέλος, τα ΜΜΕ με την καθολική τους απήχηση θα μπορούσαν να συμβάλλουν τα μέγιστα στην προσπάθεια αυτή.

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΕΙΚΟΝΕΣ

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

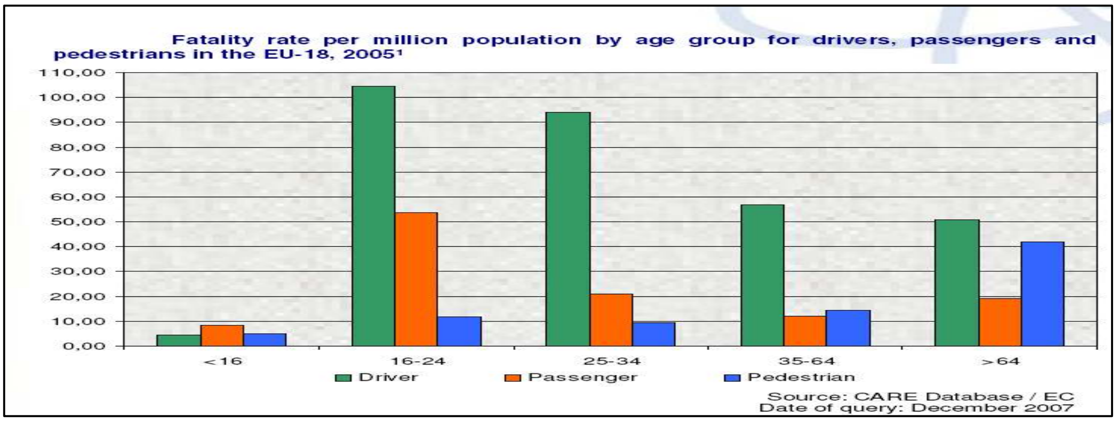
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η **οδική ασφάλεια** αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του σύγχρονου κόσμου και συνεπώς έχει συγκεντρώσει τα βλέμματα των μελετητών σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες. Σύμφωνα **με επίσημα στοιχεία των φορέων οδικής ασφάλειας τα οδικά ατυχήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των ατυχημάτων στις μεταφορές**.

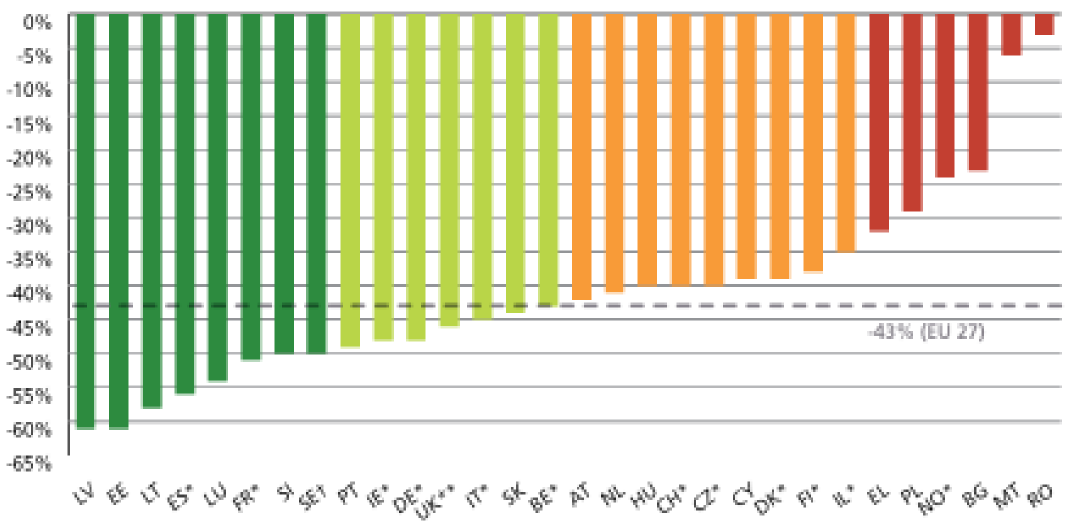
Είναι επομένως σαφές ότι ο αριθμός των θανάτων και των τραυματισμών εξαιτίας των οδικών ατυχημάτων έχει λάβει διαστάσεις **σοβαρού κοινωνικού προβλήματος** στη σύγχρονη εποχή, και επομένως χρήζει άμεσης και σοβαρής αντιμετώπισης. Εκτός από το τεράστιο κοινωνικό κόστος που προκαλείται από τα οδικά ατυχήματα δεν πρέπει να μένει απαρατήρητο και το μεγάλο οικονομικό κόστος με το οποίο επιβαρύνονται οι κοινωνίες. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) εκτιμήθηκε ότι το 2010 έχασαν τη ζωή τους σε οδικά ατυχήματα περίπου 31.000 άνθρωποι, ενώ περίπου 300.000 τραυματίστηκαν σοβαρά (ETSC, 2011).



Γράφημα 1. 1: Κατανομή θυμάτων οδικών ατυχημάτων (οδηγοί, συνεπιβάτες, πεζοί) με βάση την ηλικία ανά εκατομμύριο κατοίκων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. (Πηγή: CARE, 2007)

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι πέρα από κάθε αμφιβολία, τα οδικά ατυχήματα έχουν εξελιχθεί σε έναν από τους σπουδαιότερους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Όπως φαίνεται και στο γράφημα 1.1, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα οδικά ατυχήματα αποτελούν **τη συχνότερη αιτία θανάτου για τις νεαρότερες ηλικίες**. Από το γράφημα προκύπτει ότι ο αριθμός των νεκρών ανά εκατομμύριο κατοίκων είναι εμφανώς μεγαλύτερος στις ηλικίες 16 έως 34, από ότι στις υπόλοιπες ηλικίες.

Στην **Ευρωπαϊκή Ένωση** καταγράφεται μια συστηματική προσπάθεια τις τελευταίες δεκαετίες να βελτιωθεί η υφιστάμενη κατάσταση με στόχο την πρόληψη των οδικών ατυχημάτων και κατά συνέπεια τη μείωση των θυμάτων. Ο στόχος ήταν ως το 2010 να μειωθούν συνολικά οι θάνατοι από οδικά ατυχήματα κατά 50% σε σχέση με το 2001. Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η ποσοστιαία μείωση των θανάτων μεταξύ 2001 και 2010 στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ETSC, 2011).



Γράφημα 1. 2: Ποσοστιαία μείωση θανάτων από οδικά ατυχήματα στις χώρες της Ε.Ε. μεταξύ 2001 και 2010. (Πηγή: ETSC, 2011)

Στην **Ελλάδα** η προσπάθεια βελτίωσης της συγκοινωνιακής υποδομής, με στόχο την πρόληψη των οδικών ατυχημάτων, δεν μπορεί να ακολουθήσει σε ικανοποιητικό βαθμό τους ταχείς ρυθμούς αύξησης των μετακινήσεων με αποτέλεσμα τον υψηλό ετήσιο αριθμό των οδικών ατυχημάτων. Αυτό έχει ως συνέπεια η χώρα μας να βρίσκεται στις **τελευταίες θέσεις ανάμεσα στις 27**

χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην οδική ασφάλεια, αντικατοπτρίζοντας έτσι τις ανεπαρκείς προσπάθειες τόσο από τις αρχές όσο και από τους πολίτες για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας (Yannis, 2007).

Όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 1.1), σε σχέση με άλλες χώρες η Ελλάδα έχει έναν από τους υψηλότερους δείκτες θανάτων από οδικά ατυχήματα. Είναι χαρακτηριστικό ότι η **Ελλάδα καταλαμβάνει την τελευταία θέση μεταξύ των κρατών της Ε.Ε. στον τομέα της οδικής ασφάλειας**.

Πίνακας 1. 1: Αριθμός Νεκρών από οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους το 2010 (και το 2001 για σύγκριση). (Πηγή: ETSC, 2011)

	2010			2001		
Country	Road Deaths	Population	Road Deaths per Million Population	Road Deaths	Population	Road Deaths per Million Population
Sweden	266	9,340,682	28	531	8,882,792	60
UK	*1,943***	62,008,048[1]	31	3,598	58,999,781	61
Malta	15	412,970	36	16	391,415	41
The Netherlands	640	16,574,989	39	1,083	15,987,075	68
Switzerland	*327**	7,785,806	42	544	7,204,055	76
Norway	*210**	4,858,199	43	275	4,503,436	61
Germany	*3,657**	81,802,257[2]	45	6,977	82,259,540	85
Israel	*352**	7,695,000[3]	46	542	6,508,800	83
Ireland	*212**	4,467,854	47	411	3,832,973	107
Denmark	*265**	5,534,738	48	431	5,349,212	81
Finland	*270**	5,351,427	50	433	5,181,115	84
Spain	*2,470**	45,989,016	54	5,517	40,476,723	136
Estonia	78	1,340,127	58	199	1,366,959	146
France	*3,992**	64,350,759[2]	62	8,162	60,979,315	134
Luxembourg	32	502,066	64	70	439,000	159
Slovakia	353	5,424,925	65	625	5,378,783	116
Austria	552	8,375,290	66	958	8,020,946	119
Italy	*3,998**	60,340,328	66	7,096	56,960,692	125
Slovenia	138	2,046,976	67	278	1,990,094	140
Hungary	739	10,014,324	74	1,239	10,200,298	121
Cyprus	60	803,147	75	98	697,549	140
Czech Republic	*802**	10,506,813	76	1,334	10,266,546	130
Belgium	*840**	10,839,905	77	1,486	10,263,414	145
Portugal	845	10,637,713[1]	79	1,670	10,256,658	163
Lithuania	300	3,329,039	90	706	3,486,998	202
Latvia	218	2,248,374	97	558	2,364,254	236
Poland	3,907	38,167,329	102	5,534	38,253,955	145
Bulgaria	775	7,563,710	102	1,011	8,149,468	124
Romania	2,377	21,462,186	111	2,454	22,430,457	109
Greece	1,281	11,305,118	113	1,880	10,931,206	172
PIN	31,809	521,079,115	61	55,716	502,013,509	111
EU 27	30,921	500,740,110	62	54,375	417,906,188	112
EU 15	21,158	397,420,190	53	40,303	378,820,442	106
EU10	6,610	74,294,024	89	10,587	74,396,851	142
EU2	3152	29,025,896	109	3465	30,579,925	113

Πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα το 2010 υποχώρησε στην 27η και τελευταία θέση, από την 25η θέση που καταλάμβανε το 2001, μεταξύ των 27 χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η παραπάνω υποβάθμιση συνέβη παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των νεκρών ανά εκατομμύριο κατοίκους υποχώρησε το 2010 σε 113 νεκρούς/εκατομμύριο σε σχέση με τους 172 νεκρούς/εκατομμύριο το 2001. Γίνεται επομένως φανερή η αναγκαιότητα βελτίωσης της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα ώστε να επιτευχθεί η μείωση του δείκτη θανάτων από οδικά ατυχήματα σε επίπεδα ανάλογα με εκείνα που έχουν επιτύχει οι περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το θέμα της οδικής ασφάλειας περά από την αναγκαιότητα βελτίωσης της συγκοινωνιακής υποδομής και του οδικού δικτύου είναι αρκετά πιο πολύπλοκο διότι εξαρτάται από **πολλούς παράγοντες** που συντελούν στην πρόκληση οδικού ατυχήματος. Κατά σειρά αυξανόμενης σπουδαιότητας οι παράγοντες αυτοί μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω τρεις βασικές κατηγορίες:

I. Το όχημα
II. Η οδός και το περιβάλλον
III. Οι χρήστες της οδού

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δύο ή και τρεις από τους παραπάνω παράγοντες συμβάλλουν στο ατύχημα. Η πολυπλοκότητα, καθώς και η έλλειψη λεπτομερούς καταγραφής και ανάλυσης των συνθηκών υπό τις οποίες πραγματοποιήθηκε ένα ατύχημα, δεν επιτρέπουν πάντα τον αντικειμενικό εντοπισμό της συμβολής κάθε παράγοντα. Παρόλα αυτά διάφορες έρευνες ατυχημάτων σε βάθος δείχνουν ότι ο **χρήστης** της οδού μόνος ή σε συνδυασμό με τους άλλους δυο παράγοντες, **αποτελεί την κύρια αιτία των οδικών ατυχημάτων** (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας 1994).

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στη Μ. Βρετανία (Sabey, 1980) οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο ανθρώπινος παράγοντας μόνος ή σε συνδυασμό με τους άλλους παράγοντες παίζει ρόλο στο 95% των ατυχημάτων, το όχημα στο 8.5% των ατυχημάτων ενώ το **περιβάλλον** και η οδός στο 28% των ατυχημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από αντίστοιχη έρευνα με στοιχεία οδών των Η.Π.Α. (Rumar, 1985).

Οι **συνθήκες οδού και γενικότερα του οδικού περιβάλλοντος,** οι οποίες θεωρείται ότι έχουν επιρροή στην οδική ασφάλεια, είναι οι παρακάτω (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας 1994):

1. Ανεπαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού, όπως λωρίδες κυκλοφορίας και ερείσματα με ανεπαρκές πλάτος, έλλειψη μεσαίων διαχωριστικών νησίδων και κακή διαμόρφωση κόμβων .
2. Χαμηλά πρότυπα κατασκευής, όπως μειωμένη πρόσφυση και ανεπαρκής αποστράγγιση.
3. Κακή μελέτη, τοποθέτηση και κατασκευή παρόδιων στοιχείων όπως στύλοι, στηθαία, κρασπεδόρειθρα.
4. Κακή οργάνωση της κυκλοφορίας, όπως έλλειψη ή ανεπαρκής σήμανση/σηματοδότηση, καθώς και στάθμευση στην οδό.
5. Πλήρης έλλειψη ή ανεπάρκεια οδικού φωτισμού.
6. **Δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες,** όπως ομίχλη, βροχή, υγρές επιφάνειες, χιόνι, παγετός, άνεμος.
7. Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά της οδού.

Στην **Ελλάδα σχετικές έρευνες** πραγματοποιούνται την τελευταία εικοσαετία κυρίως από τα πανεπιστήμια και τα αποτελέσματά τους εφαρμόζονται κατά περίπτωση. Η περιορισμένη χρησιμότητα των αναλύσεων αυτών οφείλεται σε σημαντικό βαθμό στην έλλειψη επαρκών στοιχείων για τα οχηματοχιλιόμετρα και επιβατοχιλιόμετρα στη χώρα μας, με αποτέλεσμα να αποτελεί μονόδρομο η χρήση εναλλακτικών δεικτών όπως ατυχήματα και νεκροί ανά κάτοικο ή ανά όχημα. Οι παράγοντες που έχουν επίδραση στη συχνότητα και στη σοβαρότητα των ατυχημάτων, όπως π.χ. τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ή οι οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες της οδού, αναλύονται και ερμηνεύονται κυρίως με τη χρήση στατιστικών μεθόδων. Οι μελέτες που έχουν γίνει δείχνουν ότι σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν στατιστικά σημαντικές σχέσεις παρότι συχνά δεν είναι εύκολη η γενίκευσή τους.

Βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις τα **αποτελέσματα** που λαμβάνονται από διαφορετικές πηγές μπορεί να είναι **αντικρουόμενα**. Η κατάσταση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από τους παρακάτω λόγους:

- Την επίδραση σε κάθε ατύχημα διαφόρων παραγόντων, εκτός από τα γεωμετρικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων των τυχαίων γεγονότων που δεν σχετίζονται με τις οδικές συνθήκες. Μια άμεση συνέπεια αυτού του γεγονότος, είναι η **επιρροή του κάθε παράγοντα να είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί**.
- **Τη μη λεπτομερή καταγραφή των ατυχημάτων και των συνθηκών** κάτω από τις οποίες συνέβησαν, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι όποιες δυνατότητες εξαγωγής αξιόπιστων συμπερασμάτων από την ανάλυση.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με βάση όσα προαναφέρθηκαν στη γενική ανασκόπηση, ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι **η συσχέτιση χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και βασικών μετεωρολογικών συνθηκών,** όπως η θερμοκρασία και το ύψος βροχόπτωσης ανά ημέρα, αξιοποιώντας τα σχετικά ημερήσια στοιχεία για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Για τη διερεύνηση αυτής της επιρροής επιχειρήθηκε η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων μέσω των οποίων περιγράφεται και ποσοτικοποιείται η επιρροή της θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων, των θανατηφόρων ατυχημάτων, καθώς και των νεκρών και τραυματιών πεζών. Δίνεται έτσι η δυνατότητα στους αρμόδιους φορείς να γνωρίσουν την επιρροή αυτών των δύο σημαντικών μετεωρολογικών μεταβλητών 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 πρότυπα 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 πολλά υποσχόμενη ιδέα.

Αναλυτικότερα, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία καταβάλλεται προσπάθεια για την **ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου** που θα υπολογίζει τις τιμές του πλήθους των ατυχημάτων, των νεκρών, καθώς και των νεκρών και τραυματιών πεζών για δεδομένες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. **Βασική επιδίωξη** αποτελεί το μαθηματικό μοντέλο που θα προκύψει να επιτρέπει τον προσδιορισμό εκείνων των μεταβλητών που συμβάλλουν στα οδικά ατυχήματα και ιδιαιτέρως να ποσοτικοποιήσει το βαθμό επιρροής της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στο τελικό αποτέλεσμα, ώστε να είναι δυνατή η επιλογή των κατάλληλων μέτρων για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Προκειμένου βεβαία για την ποσοτικοποίηση αυτών των επιρροών, απαιτείται η **εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης** των διαθέσιμων στοιχείων. Συνεπώς, **επιμέρους στόχο** της Διπλωματικής αυτής Εργασίας αποτελεί η **επιλογή της κατάλληλης μεθόδου** για την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου που να αποτυπώνει επαρκώς και σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης, τη σχέση μεταξύ των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών.

Σε γενικές γραμμές, οι **καιρικές συνθήκες** όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση **σχετίζονται με την οδική ασφάλεια**, κυρίως μέσω της επιρροής τους τόσο στον κυκλοφοριακό φόρτο όσο και στη συμπεριφορά των οδηγών. Η αλληλεπίδραση των καιρικών συνθηκών και των επιπτώσεων άλλων παραγόντων οδικής ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων του τύπου της οδού, του οδηγού, του οχήματος και των επεμβάσεων στη συχνότητα των οδικών ατυχημάτων είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο προσελκύει όλο και περισσότερη προσοχή από τους ερευνητές.

Για παράδειγμα, **σχετικές έρευνες** που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ένας λόγος που εμφανίζονται υψηλοί δείκτες σοβαρότητας ατυχημάτων σε κράτη της νότιας Ευρώπης αποτελεί το γεγονός ότι στα κράτη αυτά εξαιτίας της καλοκαιρίας η κυκλοφορία δικύκλων και πεζών - που είναι πολύ περισσότερο εκτεθειμένοι στους κινδύνους της οδού - είναι πολύ μεγαλύτερη της αντίστοιχης των βορειότερων κρατών (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας 1994).

Τέλος, **στη διεθνή βιβλιογραφία** επισημαίνεται η ανάγκη ελέγχου των καιρικών επιπτώσεων σε οποιαδήποτε ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών (multivariate) με σκοπό να εξηγηθούν πληρέστερα οι αλλαγές στην οδική ασφάλεια (Stipdonk, 2008). Μάλιστα, η ανάγκη αυτή γίνεται επιτακτικότερη στο πλαίσιο της κλιματική αλλαγής (Koetse, Rietveld, 2009).

1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ακολουθήθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζεται στη συνέχεια και φαίνεται σχηματικά στο Διάγραμμα 1.1.

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

Ύστερα από τη μελέτη των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προέκυψε ότι τα **κατάλληλα στοιχεία** για την περαιτέρω ανάλυση είναι εκείνα που αφορούν στους αριθμούς των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών, καθώς και στις τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Τα στοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα στη βάση δεδομένων του τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα στοιχεία αυτά, όσον αφορά στα ατυχήματα, προέρχονται από τα αρχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) – πρώην Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (Ε.Σ.Υ.Ε.) – και συγκεντρώνονται μέσω της συλλογής των Δελτίων Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.), που συγκεντρώνει η Τροχαία για κάθε ατύχημα με τραυματισμό. Από την άλλη πλευρά, αναφορικά με τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, πηγή των στοιχείων αποτελεί η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.).

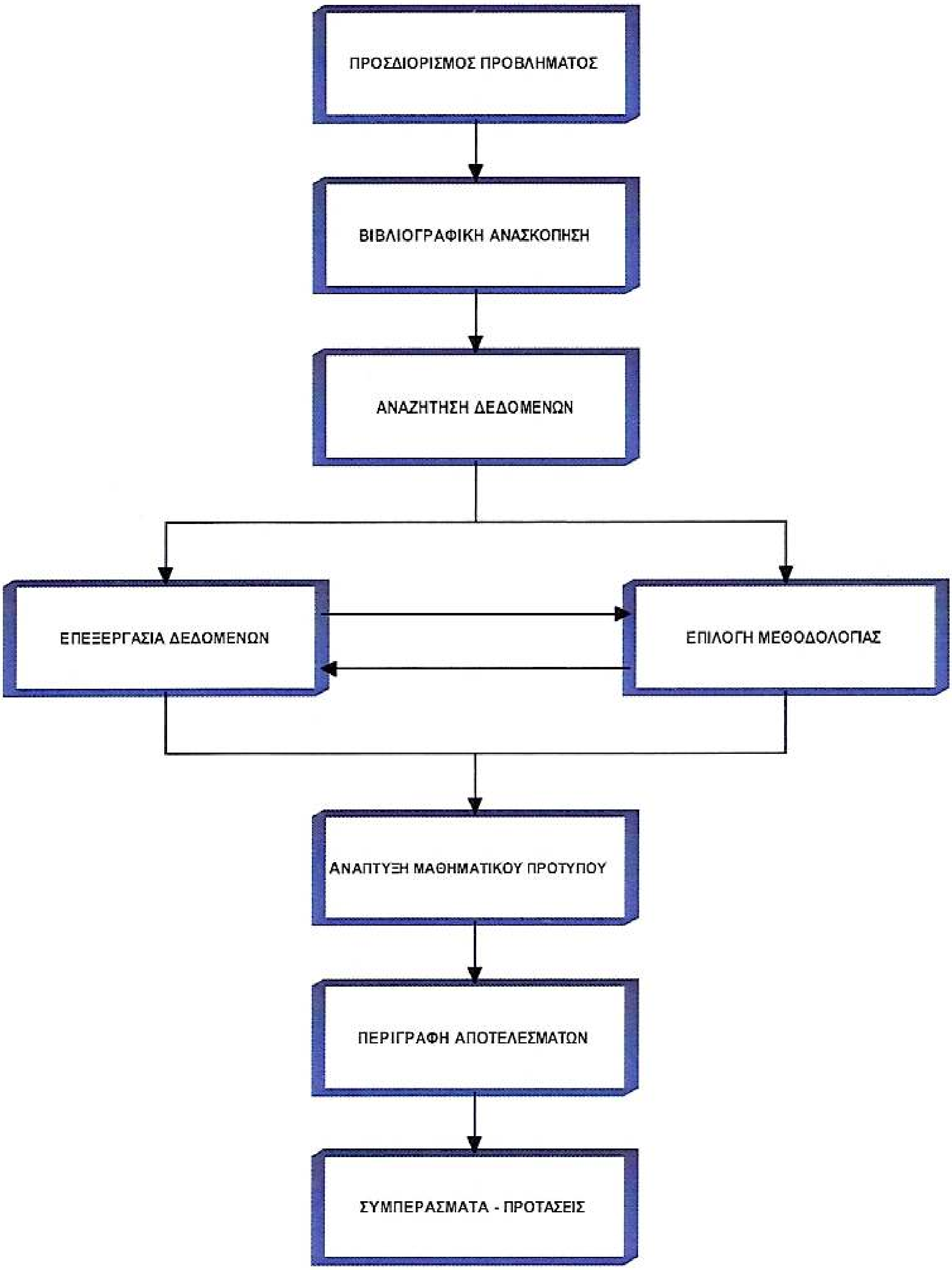
Το επόμενο στάδιο της εργασίας ήταν η **στατιστική ανάλυση** των στοιχείων που συλλέχθηκαν για την εικοσαετία από 1985 έως 2005 και που αφορούσαν τις ημερήσιες τιμές των υπό εξέταση μεγεθών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Το πρώτο βήμα αυτής της επεξεργασίας ήταν η **περιγραφική στατιστική ανάλυση των δεδομένων**, η οποία πραγματοποιήθηκε αρχικά στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Από τη διαδικασία αυτή προέκυψαν και κάποια διαγράμματα που παρουσιάζουν την εικόνα των ατυχημάτων την περίοδο μελέτης.

Μετά από τη σύντομη περιγραφική στατιστική ανάλυση, ακολούθησε η **επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας στατιστικής επεξεργασίας** των στοιχείων. Τελικά, αποφασίστηκε η εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression) για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν το οικονομετρικό (στατιστικό) πρόγραμμα Limdep της Econometric Software. Πιο συγκεκριμένα, τα αναλυτικά ημερήσια στοιχεία για τον αριθμό των ατυχημάτων, των θανατηφόρων ατυχημάτων, των νεκρών και τραυματιών πεζών, καθώς και αυτά των τιμών της μέσης θερμοκρασίας και μέσου ύψους βροχόπτωσης, εισήχθησαν στο πρόγραμμα, αφού πρώτα επεξεργάστηκαν κατάλληλα ώστε να είναι συμβατά με το περιβάλλον επεξεργασίας του λογισμικού.

Στη συνέχεια, ακολούθησε μια **σειρά από δοκιμές** έτσι ώστε να προκύψουν τα κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα τα οποία να περιγράφουν και να ποσοτικοποιούν σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης την επίδραση των καιρικών συνθηκών (ανεξάρτητες μεταβλητές) στους αριθμούς των ατυχημάτων και των νεκρών (εξαρτημένες μεταβλητές). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής αποφασίστηκε να αναπτυχθεί ένα σύστημα γραμμικών μοντέλων τύπου SURE (Seemingly Unrelated Regression Equations). Επίσης, επειδή στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία χρονοσειρών θεωρήθηκε απαραίτητο να γίνει διόρθωση σφάλματος για σειριακή αυτοσυσχέτιση πρώτου βαθμού.

Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, προέκυψε ένα σύστημα (μαθηματικό πρότυπο) τεσσάρων γραμμικών εξισώσεων (μία για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή). Το σύστημα αυτό περιγράφει τη σχέση των ανεξάρτητων μεταβλητών (θερμοκρασίας και βροχόπτωσης) στους αριθμούς των ατυχημάτων και των νεκρών. **Μετά την αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων**, εξήχθησαν τα **αντίστοιχα συμπεράσματα** για το βαθμό και τον τύπο της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκάστοτε εξαρτημένη. Έτσι, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το υπό εξέταση πρόβλημα καθώς και **διατυπώθηκαν αξιόλογες προτάσεις** για την αντιμετώπισή του όπως και για περαιτέρω έρευνα, γεγονός που ήταν και ο σκοπός της παρούσας εργασίας.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά (υπό μορφή διαγράμματος ροής), τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. (Γράφημα 1.3)



Γράφημα 1. 3: Σχηματική απεικόνιση της ακολουθούμενης μεθοδολογίας

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το **«κεφάλαιο 1»** είναι **εισαγωγικό** και έχει ως σκοπό να δώσει στον αναγνώστη τη δυνατότητα να σχηματίσει μια εικόνα για το αντικείμενο το οποίο διαπραγματεύεται η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Στην αρχή του κεφαλαίου πραγματοποιείται μια γενική ανασκόπηση του προβλήματος της οδικής ασφάλειας. Μέσω της ανασκόπησης αυτής παρουσιάζονται ορισμένες γενικές πληροφορίες που αφορούν στο φαινόμενο των οδικών ατυχημάτων, καθώς και διάφορα στατιστικά δεδομένα σχετικά με τη διαχρονική εξέλιξη του πλήθους των ατυχημάτων και των παθόντων τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας, ο οποίος δεν είναι άλλος από τη διερεύνηση της συσχέτισης χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και μετεωρολογικών συνθηκών, χρησιμοποιώντας αναλυτικά ημερήσια στοιχεία για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Ακολούθως, γίνεται μια συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Τέλος, το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της δομής της Διπλωματικής Εργασίας.

Το **«κεφάλαιο 2»** αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση,** η οποία διεξήχθη για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή στα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από έρευνες, οι οποίες είχαν ως στόχο τη μελέτη της επιρροής διαφόρων μετεωρολογικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Στη συνέχεια, περιγράφονται και αναλύονται τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών συσχέτισης του πλήθους των οδικών ατυχημάτων με τις καιρικές συνθήκες. Οι έρευνες αυτές τροφοδοτούν με πολύτιμο υλικό από πλευράς μεθοδολογιών, με τις οποίες μπορεί να προσεγγιστεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Τέλος, γίνεται η παρουσίαση ορισμένων ερευνών που έχουν ως σκοπό τη μελέτη του υπό εξέταση φαινομένου χρησιμοποιώντας στοιχεία που προέρχονται από την Ελλάδα. Το κεφάλαιο δε, κλείνει με τη σύνοψη και κριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ερευνών προκειμένου να διαπιστωθεί ποιες από αυτές μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην παρούσα εργασία. Εν ολίγοις, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη όλων των βιβλιογραφικών πηγών που μελετήθηκαν, ώστε να αποκτηθεί το απαραίτητο γνωσιολογικό υπόβαθρο για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Το θέμα του **«κεφαλαίου 3»** είναι το **θεωρητικό υπόβαθρο** πάνω στο οποίο στηρίζεται η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Με άλλα λόγια, παρουσιάζεται το γνωσιολογικό υπόβαθρο, στο οποίο στηρίζεται η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων καθώς και η ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ακολούθως, περιγράφονται βασικές μαθηματικές και στατιστικές έννοιες και στη συνέχεια αναλύονται οι προϋποθέσεις εφαρμογής και τα επιμέρους στοιχεία της γραμμικής παλινδρόμησης, όπως και της μεθόδου των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Equations – SURE). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων και οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι στους οποίους υποβάλλονται. Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύντομη αναφορά στα βήματα που ακολουθούνται, για την επεξεργασία των δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Το **«κεφάλαιο 4»** αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η **συλλογή και η επεξεργασία των στοιχείων** που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στην αρχή παρουσιάζονται τα απαραίτητα στοιχεία προς εξέταση, όπως αυτά καθορίζονται από τη μορφή της συσχέτισης που διερευνάται στην εργασία αυτή. Έπειτα, περιγράφονται οι πηγές των στοιχείων αυτών καθώς και η **διαδικασία συλλογής** που ακολουθήθηκε προκειμένου αυτά να συλλεχθούν όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή, ακριβή και ολοκληρωμένα. Ύστερα, γίνεται η απαρίθμηση των συλλεχθέντων στοιχείων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη στατιστική ανάλυση και πάνω στα οποία βασίστηκε η ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων συσχέτισης. Στην πορεία, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η **επεξεργασία των στοιχείων.** Η περιγραφή έγινε ξεχωριστά για κάθε μια από τις μεταβλητές που αποτελούν τη βάση διερεύνησης της εξεταζόμενης συσχέτισης (θερμοκρασία, βροχόπτωση, ατυχήματα, νεκροί, τραυματίες).

Το **«κεφάλαιο 5»** αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της παρούσας εργασίας, μιας και περιλαμβάνει την **αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας** που εφαρμόστηκε ως την εξαγωγή των **τελικών**

αποτελεσμάτων. Αρχικά, περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου. Παρουσιάζονται, δηλαδή, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου δίνοντας μάλιστα ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Τα τελικά αποτελέσματα παρατίθενται σε αναλυτική μορφή, συνοδευόμενα από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις που τα περιγράφουν και από διαγράμματα ευαισθησίας, για την ευκολότερη κατανόηση τους.

Το **«κεφάλαιο 6»** είναι το τελευταίο κεφάλαιο της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αρχικά μια **επισκόπηση των αποτελεσμάτων** που προέκυψαν. Στη συνέχεια **συνοψίζονται τα συμπεράσματα** που μπορούν να εξαχθούν από τα προκύπτοντα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης. Τέλος διατυπώνονται οι **σχετικές προτάσεις** για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Έτσι με το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται ο σκοπός της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή στα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από έρευνες, οι οποίες είχαν ως στόχο τη μελέτη της επιρροής διαφόρων μετεωρολογικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται επιγραμματικά τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί σχετικά με την επίδραση των βασικότερων μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, βροχόπτωση, χιονόπτωση, ομίχλη, κλπ) στους αριθμούς που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια (αριθμός ατυχημάτων, νεκρών, κλπ). Στο τρίτο υποκεφάλαιο, 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. Το τέταρτο υποκεφάλαιο, μιας και η παρούσα εργασία αναφέρεται στον ελληνικό χώρο, περιλαμβάνει την παρουσίαση ορισμένων ερευνών που έχουν ως σκοπό τη μελέτη του υπό εξέταση φαινομένου χρησιμοποιώντας στοιχεία που προέρχονται από την Ελλάδα. Τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο υποκεφάλαιο, επιχειρείται μια γενική ανασκόπηση των αποτελεσμάτων και μεθοδολογιών των συναφών με το αντικείμενο ερευνών. Το υποκεφάλαιο αυτό είναι ίσως το σημαντικότερο, καθώς μέσω αυτής της ανασκόπησης αναζητήθηκε ο προσδιορισμός της καταλληλότερης μεθόδου για την αντιμετώπιση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

2.2 ΓΕΝΙΚΑ

Ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την οδήγηση είναι οι **καιρικές συνθήκες** όπως η ομίχλη, η βροχή, το χιόνι, και ο άνεμος. Είναι επομένως 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 αξιοσημείωτα συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή των μετεωρολογικών φαινομένων στα οδικά ατυχήματα. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται επιγραμματικά τα βασικότερα πορίσματα σχετικά με κάθε καιρικό φαινόμενο.

2.2.1 Βροχόπτωση

Το φαινόμενο, που συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη προσοχή από τους ερευνητές, είναι εκείνο της **βροχόπτωσης**. 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.

Μια ακόμα έρευνα (Perry and Symons, 1991) 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. Χαρακτηριστική είναι και η έρευνα της J. B. Edwards (1999), η οποία κατέληξε στο ότι 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.

Τέλος, μια έρευνα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του ότι 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 μια παρατεταμένη περίοδο καλοκαιρίας (λόγω του σχηματισμού «γλίτσας») καθώς και εκείνες που είναι σποραδικές και διαρκούν λίγο και που παρατηρούνται συνήθως τους μεταβατικούς μήνες (Νοέμβριος, Μάρτιος).

2.2.2 Θερμοκρασία

Παρά τον μεγάλο αριθμό ερευνών σχετικά με τη βροχόπτωση, η βιβλιογραφία δεν προσφέρει εξίσου πολλές εργασίες σχετικά με την **επιρροή της**

θερμοκρασίας. Βέβαια, παρά το γεγονός ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες ευθύνονται για πολλά οδικά ατυχήματα (λόγω παγετού κλπ), μια άλλη άποψη η οποία υποστηρίζει ότι οι υψηλές θερμοκρασίες εμφανίζουν αρνητική σχέση με την οδική ασφάλεια έχει βρει πρόσφορο έδαφος στα αποτελέσματα αρκετών ερευνών.

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). Συνεπής με τις παραπάνω επισημάνσεις είναι η έρευνα των Welch et al, (1970), οι οποίοι βρήκαν ότι οι τιμές των ατυχημάτων στην Αυστραλία αυξάνονται τις ξηρές ημέρες με θερμοκρασία πάνω από 26 ^{o}C.

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.

Η μεθοδολογία ανάλυσης βασίστηκε στο δείκτη δυσφορίας (Discomfort Index), που προκαλείται ανάλογα με τη θερμοκρασία. 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.

2.2.3 Χιόνι και Παγετός

Σε ότι αφορά στο **χιόνι** και στο **παγωμένο οδόστρωμα (παγετός)**, σύμφωνα με έρευνες (Φραντζεσκάκης και Γκόλιας, 1994), προκύπτει ότι οδηγούν σε αύξηση του δείκτη ατυχημάτων. Επιπλέον, μεγαλύτερη είναι και η σοβαρότητα των ατυχημάτων που συμβαίνουν όταν χιονίζει ή όταν το οδόστρωμα είναι παγωμένο. Παρόμοια είναι και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από έρευνα (Perry and Symons, 1991) σύμφωνα με τους οποίους το χιόνι αποτελεί έναν σημαντικό λόγο ατυχημάτων καθώς προκαλεί προβλήματα ορατότητας και κίνησης.

Μια ακόμα έρευνα (Peltola and Kantonen, 1987) στη Φινλανδία οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το 1/3 των ατυχημάτων συμβαίνει όταν υπάρχει χιόνι ή πάγος επειδή οι συνεπακόλουθες συνθήκες ολισθηρότητας του οδοστρώματος αιφνιδιάζουν τους οδηγούς. Επίσης αποδείχθηκε ότι τα βαρέα οχήματα είναι πιο επικίνδυνα από ότι τα επιβατικά και ότι περίπου τα μισά από τα θανατηφόρα ατυχήματα συνέβησαν όταν η θερμοκρασία ήταν μεταξύ -2 και 1^{o}C. Επιπλέον, έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία (Schandersson, 1988) οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για μικρές και μέσες τιμές χιονόπτωσης ο κίνδυνος ατυχήματος αυξάνεται απότομα. Για χιονόπτωση μεγαλύτερη από 5 με 10 mm, ο κίνδυνος ατυχήματος είναι 3 με 5 φορές μεγαλύτερος από ότι για κανονικές συνθήκες. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και η έρευνα που αφορούσε στην περιοχή του Μόντρεαλ του

Καναδά (Andreescu and Frost, 1998). Πιο συγκεκριμένα, ακόμη και για ελαφρά (για τα δεδομένα της περιοχής) χιονόπτωση έως 25 mm, παρατηρείται αύξηση κατά 20 ατυχήματα σε σχέση με ημέρες χωρίς εγκατακρήμνιση (dry days).

2.2.4 Άνεμος

Ο **δυνατός άνεμος** αποτελεί μια ακόμα δυσμενή περιβαλλοντική κατάσταση που επηρεάζει τα ατυχήματα. Έρευνα (Pauwelussen and De Vos, 1991) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο κίνδυνος λόγω του ανέμου αυξάνεται όταν βρέχει και ακόμα περισσότερο, όταν η ταχύτητα των οχημάτων είναι μεγάλη. Μια άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Βρετανία (Baker and Reynolds, 1992) κατέληξε στο ότι ο δυνατός άνεμος προκαλεί πιο συχνά ανατροπές (47%), εκτροπή από την πορεία (19%) και πρόσκρουση σε δέντρα (16%). Επίσης το 66% των ατυχημάτων με τραυματίες ή/και νεκρούς αφορούν σε βαρέα οχήματα, ενώ το 27% αφορά σε επιβατικά αυτοκίνητα, οπότε είναι εμφανές ότι τα πρώτα εμφανίζουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα στον άνεμο. Τέλος, τα ατυχήματα με θύματα υπό συνθήκες ανέμου αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνόλου. Τα περισσότερα ατυχήματα αφορούσαν σε επιβατικά οχήματα, όμως στα ατυχήματα με φορτηγά είναι πιο πιθανό να υπάρχουν τραυματίες. Αξιοσημείωτη είναι επίσης και η έρευνα των Pelegatti et al. (2006), η οποία αναφέρεται στα θερμά καταβατικά ρεύματα ανέμων από τις Άλπεις (foehn winds) στην περιοχή της κοιλάδας του Πάδου ποταμού (Po Valley) στην Ιταλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι στατιστικά σημαντική η επιρροή των ρευμάτων αυτών στους αριθμούς των οδικών ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, ο μέσος ημερήσιος αριθμός ατυχημάτων αυξάνεται με την παρουσία των ανέμων αυτών.

2.2.5 Ομίχλη

Όσον αφορά την **ομίχλη**, σύμφωνα με διάφορες έρευνες (Φραντζεσκάκης και Γκόλιας 1994), η ομίχλη αυξάνει αφενός τον δείκτη ατυχημάτων κατά 40 – 50%, και αφετέρου τη σοβαρότητα των ατυχημάτων περίπου κατά 40%. Της ίδιας τάξης είναι και η αύξηση του λόγου των θανατηφόρων ατυχημάτων προς το σύνολο των ατυχημάτων. Επίσης, η ομίχλη αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των οχημάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι στους αυτοκινητόδρομους, 50% των ατυχημάτων σε ομίχλη αφορούν σε περισσότερα από δύο οχήματα ενώ το αντίστοιχο ποσοστό όταν δεν υπάρχει ομίχλη είναι 10%.

Ωστόσο, διαφορετικά είναι τα συμπεράσματα μιας άλλης έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην Βρετανία (Smeed, 1953), σύμφωνα με την οποία η ομίχλη προκαλεί μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου και έτσι παρατηρήθηκαν λιγότερα ατυχήματα ανά οχηματο–μίλια. Επίσης παρατηρήθηκε μείωση στα ατυχήματα με τραυματισμό αλλά τα ατυχήματα με μόνο υλικές ζημιές αυξήθηκαν. Μια λογική εξήγηση για τα συμπεράσματα της έρευνας αυτής είναι ότι οι δυσμενείς συνθήκες τελικά δεν επιδρούν στο πλήθος των ατυχημάτων είτε επειδή οι οδηγοί είναι πιο προσεκτικοί, είτε επειδή μειώνεται ο αριθμός των κυκλοφορούντων οχημάτων.

Τέλος, έρευνα που πραγματοποιήθηκε (Perry and Symons, 1991) κατέληξε στο ότι από όλες τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες οι οδηγοί φοβούνται περισσότερο την ομίχλη επειδή μειώνει σημαντικά την ορατότητά τους (οι οδηγοί επηρεάζονται όταν βλέπουν λιγότερο από 150m). Η ομίχλη μειώνει μεν την κυκλοφορία κατά περίπου 20% αλλά αυξάνει τον κίνδυνο για αυτούς που βρίσκονται στο δρόμο. Στους αυτοκινητόδρομους, οι ταχύτητες μειώνονται όχι όμως σε τέτοιο βαθμό ώστε να μειώνουν σημαντικά και τα ατυχήματα τα οποία είναι και πιο «εντυπωσιακά» (συμμετοχή πολλών οχημάτων). Δυστυχώς δεν έχει βρεθεί μια εξίσωση που να επιτρέπει τον υπολογισμό της επιρροής της ομίχλης στον αριθμό των ατυχημάτων.

2.3 ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Στο υποκεφάλαιο αυτό γίνεται μια εκτενέστατη παρουσίαση ορισμένων σχετικά πρόσφατων ερευνών που είχαν ως αντικείμενο τη μελέτη της συσχέτισης των καιρικών συνθηκών με τα οδικά ατυχήματα και χρησιμοποίησαν συναφείς μεθοδολογίες ανάλυσης (π.χ. στοιχεία χρονοσειρών, εισαγωγή ψευδομεταβλητών (dummies) κλπ)

2.3.1 Επιρροή Θερμοκρασίας, Βροχόπτωσης και Χιονόπτωσης

Μια έρευνα που μελετά τη συσχέτιση των οδικών ατυχημάτων με μετεωρολογικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η χιονόπτωση, δημοσιεύτηκε από τους Andreescu και Frost (1998). Η έρευνα αυτή αναφερόταν στην πόλη Μόντρεαλ του Καναδά. Η περίοδος στην οποία αναφέρονταν τα χρησιμοποιούμενα στην έρευνα στοιχεία ήταν η τριετία 1990 – 1992.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε τόσο για μηνιαίο και ετήσιο επίπεδο, όσο και για το τριετές επίπεδο (χρονικό εύρος της μελέτης). Στην ακολουθούμενη μεθοδολογία, θεωρήθηκε σκόπιμη η εξαγωγή των μέσων τιμών των ατυχημάτων για κάθε ημέρα της εβδομάδας. Αυτό συνέβη διότι παρατηρήθηκαν διαφορές στο πλήθος των ατυχημάτων ανάλογα με τις ημέρες της εβδομάδας (μεγαλύτεροι αριθμοί τις καθημερινές με αιχμή τις Παρασκευές). Τέλος, όπως είναι φυσικό, ως εξαρτημένη μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός των ατυχημάτων και ως ανεξάρτητες η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η χιονόπτωση.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής οδηγούν σε αξιοσημείωτες διαπιστώσεις σχετικά με την επιρροή των καιρικών συνθηκών στα ατυχήματα. Αρχικά, η θερμοκρασία φαίνεται ότι δε διαδραματίζει ιδιαίτερα μεγάλο ρόλο στην οδική ασφάλεια. Μάλλον είναι ένας τροποποιητικός (modifier) παράγοντας των συνθηκών του ατυχήματος και όχι η αιτία (de Freitas, 1975). Πάντως η έρευνα καταλήγει στο ότι η επιρροή της θερμοκρασίας είναι αρνητική, δηλαδή όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνονται τα ατυχήματα. Όμως, η σχέση αυτή αντιστρέφεται τους θερινούς μήνες, προφανώς λόγω της επιρροής της θερμοκρασίας στην οδηγική συμπεριφορά. Σε αυτό βέβαια ενδέχεται να παίζουν ρόλο και οι αυξημένοι κυκλοφορικοί φόρτοι. Η αύξηση αυτή οφείλεται εν μέρει και στην κίνηση των μοτοσικλετιστών (κατά τους θερινούς μήνες) που είναι σαφώς πιο ευάλωτοι στα οδικά ατυχήματα.

Αναφορικά με τη βροχή, εμφανίζεται θετική επίδραση στα ατυχήματα. Με άλλα λόγια, όταν το ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται, τότε ο αριθμός των ατυχημάτων αυξάνεται. Μάλιστα, το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερη οξύτητα τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου συνήθως εμφανίζονται επεισόδια βροχόπτωσης μικρής διάρκειας αλλά μεγάλης ποσότητας νερού. Σ' αυτό το πρόβλημα πρέπει να συνυπολογιστούν και οι τυχόν ανωμαλίες του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων της οδού. Επίσης ιδιαίτερο κίνδυνο αποτελεί και το φαινόμενο της «κρυσταλλοποίησης», που δημιουργείται όταν το νερό της βροχής πέσει στην παγωμένη επιφάνεια του οδοστρώματος.

Παραταύτα, σύμφωνα με τους μελετητές ο σοβαρότερος παράγοντας αποδεικνύεται ότι είναι η χιονόπτωση. Χαρακτηριστικό είναι ότι ακόμη και για ελαφρά (για τα δεδομένα της περιοχής) χιονόπτωση έως 25 mm, παρατηρείται αύξηση κατά 20 ατυχήματα σε σχέση με ημέρες χωρίς εγκατακρήμνιση (dry days).

2.3.2 Επιρροή Εγκατακρήμνισης (Βροχόπτωσης και Χιονόπτωσης)

Η έρευνα του Daniel Eisenberg (2004), προσπάθησε να εξετάσει την επιρροή τόσο της βροχόπτωσης όσο και της χιονόπτωσης στα οδικά ατυχήματα. Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία (μηνιαία και ημερήσια) από 48 πολιτείες των Η.Π.Α. για την περίοδο 1975 – 2000.

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε περιελάμβανε την αρνητική διωνυμική κατανομή. Μάλιστα στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν και ψευδομεταβλητές (dummies), οι οποίες αναφέρονται στην επίδραση κάθε έτους, αλλά και στο συνδυασμό πολιτείας-μήνα (state-month combination), δηλαδή π.χ. California-January, California-February κτλ. Με τον τρόπο αυτό επιδιώχθηκε να αποφευχθούν τυχόν παρερμηνείες στην επίδραση της εγκατακρήμνισης στα ατυχήματα. Για παράδειγμα, εάν σε μια πολιτεία (state) εμφανίζεται μεγαλύτερη τουριστική κίνηση από ότι σε άλλες κατά τη διάρκεια μηνών που δεν αναμένεται βροχόπτωση.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρησιμοποίηση των μηνιαίων στοιχείων, δείχνουν ότι εμφανίζεται αρνητική σχέση μεταξύ της βροχόπτωσης και του αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων. Αντίθετα, η βροχόπτωση φαίνεται ότι επηρεάζει θετικά τους αριθμούς των μη θανατηφόρων ατυχημάτων. Με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται το ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται και ο αριθμός των ατυχημάτων, αλλά από την άλλη πλευρά μείωση παρουσιάζει ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων.

Όταν, όμως, η ανάλυση ανάγεται σε ημερήσια στοιχεία τότε η επιρροή της βροχόπτωσης τόσο στα θανατηφόρα ατυχήματα όσο και στα μη θανατηφόρα είναι θετική. Σημαντική δε διαπίστωση της έρευνας αυτής αποτελεί και το ότι στον αριθμό των ατυχημάτων μιας δεδομένης ημέρας σημαντικό ρόλο παίζει και το ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας (lagged effects). Για παράδειγμα εάν χθες έβρεξε πολύ, σήμερα αναμένεται μικρότερος αριθμός ατυχημάτων. Τέλος ο κίνδυνος για ατύχημα μεγαλώνει όταν υπάρχει μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο βροχοπτώσεων, π.χ. μετά από μια μακρά περίοδο ξηρασίας. Χαρακτηριστικό είναι ότι, εάν η τελευταία βροχόπτωση παρατηρήθηκε πριν από 21 ημέρες, τότε μια πιθανή βροχόπτωση σήμερα, αυξάνει τον κίνδυνο για θανατηφόρα ατυχήματα 3 φορές περισσότερο σε σχέση με το εάν η τελευταία βροχόπτωση συνέβη πριν δύο ημέρες. Όσον αφορά τα μη θανατηφόρα ατυχήματα, ο αντίστοιχος κίνδυνος αυξάνει κατά 2 φορές.

Αναφορικά με τη χιονόπτωση, κατά τη χρήση των μηνιαίων στοιχείων φαίνεται πως παρουσιάζει θετική επιρροή (μειώνεται ο αριθμός) στα θανατηφόρα ατυχήματα, αν και η επιρροή αυτή δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική (για επίπεδο 90%). Επίσης, το μέσο ύψος χιονιού εμφανίζει μια ξεκάθαρη αρνητική συσχέτιση με τα θανατηφόρα ατυχήματα. Στην περίπτωση δε των ημερήσιων στοιχείων η επίδραση της χιονόπτωσης εμφανίζει τη μορφή ενός ανεστραμμένου U. Με άλλα λόγια, οι αριθμοί των ατυχημάτων γίνονται μέγιστοι για μέσες τιμές ύψους χιονιού, ενώ μειώνονται για μεγαλύτερες. Αυτό βέβαια μπορεί να εξηγηθεί από τους χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους και τις χαμηλές ταχύτητες κατά τη διάρκεια σφοδρής χιονόπτωσης.

2.3.3 Επιρροή Βροχόπτωσης

Άλλη μια έρευνα, η οποία εστιάσθηκε μόνο στην επιρροή της βροχόπτωσης στα οδικά ατυχήματα είναι εκείνη των Keay και Simmons του Πανεπιστημίου της Μελβούρνης της Αυστραλίας (Keay and Simmons, 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).

2.3.4 Διερεύνηση του φαινομένου με τη χρήση στοιχείων από χρονοσειρές

Μία σημαντικότατη έρευνα, κυρίως λόγω της μεθοδολογικής προσέγγισης στο φαινόμενο της συσχέτισης των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια, δημοσιεύτηκε από τους Brijs et al. (2008). Στην έρευνα αυτή επιχειρήθηκε η διερεύνηση της επίδρασης των καιρικών συνθηκών στους ημερήσιους αριθμούς οδικών ατυχημάτων χρησιμοποιώντας στοιχεία από χρονοσειρές και εφαρμόζοντας μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης. Τα στοιχεία περιελάμβαναν ημερήσιους αριθμούς ατυχημάτων, μετεωρολογικών και κυκλοφοριακών δεδομένων για τρεις πόλεις της Ολλανδίας (Utrecht, Dordrecht και Haarlemmermeer) και αφορούσαν στο έτος 2001. Με μια πρώτη ματιά, τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι μερικές υποθέσεις για την επίδραση των καιρικών συνθηκών στο πλήθος των ατυχημάτων είναι στατιστικά σημαντικές. Όμως σε περίπτωση που δε ληφθεί υπόψη τυχόν σειριακή αυτοσυσχέτιση των στοιχείων, τότε μπορεί να προκύψουν εσφαλμένα συμπεράσματα. Άλλωστε, όπως υποστηρίζουν χαρακτηριστικά ορισμένοι ερευνητές (Levine et al., 1995; Fridstrom et al, 1995), η σειριακή αυτοσυσχέτιση όσον αφορά διαδοχικά στοιχεία (χρονοσειρές) οδικών ατυχημάτων είναι μια πραγματική πρόκληση για όλα τα πρότυπα μελέτης που αφορούν σε ατυχήματα.

Αναλυτικότερα, στη συγκεκριμένη έρευνα για την ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται διόρθωση για σειριακή αυτοσυσχέτιση πρώτου βαθμού (AR1) στα στοιχεία των χρονοσειρών. Για τη χρησιμοποίηση της μεθόδου αυτής θεωρείται ότι η παρατήρηση την στιγμή t (π.χ. αριθμός ατυχημάτων την Τρίτη) εξαρτάται κατά ένα μέρος από την αντίστοιχη παρατήρηση της στιγμής t–1 (π.χ. αριθμός ατυχημάτων τη Δευτέρα). Μάλιστα για περιπτώσεις διακριτών ακεραίων μεταβλητών, οι McKenzie (1985) και Al-Osh και Al-Zaid (1987) έχουν προτείνει την αυτοσυσχέτιση ακεραίων τιμών (integer-valued autoregressive - INAR), η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην εργασία. Τέλος, αναπτύχθηκαν και ψευδομεταβλητές για κάθε ημέρα της εβδομάδας (day-of-the-week dummies) έτσι ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητα προσέγγισης της έκθεσης ανάλογα με την ημέρα. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις που απουσιάζουν στοιχεία κυκλοφορίας.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιηθήκαν στην ανάλυση αφορούσαν τις παρακάτω καιρικές συνθήκες:

- **Άνεμος** (επικρατούσα κατεύθυνση, μέση ημερήσια ταχύτητα, μέση ωριαία ταχύτητα και μέγιστη ριπή ανέμου)

- **Θερμοκρασία** (μέση ημερήσια θερμοκρασία, ελάχιστη θερμοκρασία, μέγιστη θερμοκρασία. Επίσης, αναπτύχθηκαν μεταβλητές που δίνουν την απόκλιση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας από τη μηνιαία θερμοκρασία. Τέλος, οι τιμές της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας χωρίστηκαν τέσσερις κατηγορίες ($T<0$, $10\leq T<20$, $T\geq 20$).
- **Ηλιοφάνεια** (διάρκεια της ηλιοφάνειας και ποσοστό αυτής ως προ τη μέγιστη δυνατή διάρκεια της. Επίσης δημιουργήθηκε ψευδομεταβλητή για την επίδραση του θαμπώματος.)
- **Βροχόπτωση** (Μεταβλητές για τη διάρκεια της βροχόπτωσης και το ύψος της. Μεταβλητή για την ένταση (ως το πηλίκο του ύψους προς τη διάρκεια). Μεταβλητή με υστέρηση (lagged variable), η οποία έδειχνε πόσες ημέρες μεσολαβούσαν από την τελευταία ημέρα με βροχόπτωση. Τέλος, τα ύψη της βροχόπτωσης κατηγοριοποιήθηκαν, όπως έγινε και με τη θερμοκρασία, ενώ αναπτύχθηκε και μια δυαδική μεταβλητή, έτσι ώστε να φαίνεται εάν έβρεξε ή όχι μέσα στην ημέρα.

Τέλος, στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν και ψευδομεταβλητές για τις διαφορές που μπορεί να οφείλονται σε ξεχωριστούς παράγοντες για κάθε πόλη και όχι στις καιρικές συνθήκες. Πάντως, οι τιμές για τις ανεξάρτητες καιρικές μεταβλητές (θερμοκρασία κλπ) θεωρήθηκαν κοινές και για τις τρεις πόλεις.

Κατά την ανάλυση αναπτύχθηκαν τριών ειδών μοντέλα:

- **Μοντέλο 1**. Στο μοντέλο αυτό για να προσεγγιστεί ο παράγοντας της έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι ψευδομεταβλητές για τις ημέρες της εβδομάδας (day-of-the-week dummies).
- **Μοντέλο 2**. Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία για τους κυκλοφοριακούς φόρτους και όχι ψευδομεταβλητές.
- **Μοντέλο 3**. Συμπεριλήφθηκαν τόσο οι ψευδομεταβλητές για τις ημέρες της εβδομάδας, όσο και τα πραγματικά στοιχεία των

κυκλοφοριακών φόρτων.

Ασφαλώς, και στα τρία μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν όλες οι καιρικές μεταβλητές.

Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

- Όσον αφορά την **έκθεση** στον κίνδυνο, αποδείχθηκε ότι οι ψευδομεταβλητές για τις ημέρες είναι στατιστικά σημαντικές (Μοντέλο 1). Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η πραγματική έκθεση στον κίνδυνο (κυκλοφοριακοί φόρτοι). Μάλιστα όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο περισσότερα ατυχήματα αναμένονται (μοντέλο 2). Το μοντέλο 3, έδειξε ότι οι τιμές των μεταβλητών των καιρικών συνθηκών δεν επηρεάζονται από τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται ο παράγοντας της έκθεσης (με ψευδομεταβλητές ή με πραγματικά στοιχεία κυκλοφορίας). Συνεπώς, οι ψευδομεταβλητές για τις ημέρες είναι ικανές να προσεγγίσουν (αντιπροσωπεύσουν) την έκθεση όταν δεν είναι διαθέσιμα πραγματικά κυκλοφοριακά μεγέθη.
- Η **βροχόπτωση** βρέθηκε στατιστικά σημαντική και στα τρία μοντέλα. Μάλιστα, η ένταση της βροχής παρουσιάζει θετική συσχέτιση. Επίσης θετική συσχέτιση δίνει και η διάρκεια της βροχόπτωσης. Πάντως, σε αντίθεση με την έρευνα του Eisenberg (2004), δε βρέθηκε κάποια απόδειξη για τις επιπτώσεις της βροχόπτωσης των προηγούμενων ημερών (lagged effects).
- Αναφορικά με τη **θερμοκρασία,** η έρευνα κατέληξε ότι δεν υπάρχει «ευθεία» συσχέτιση μεταξύ αυτού του παράγοντα και των οδικών ατυχημάτων. Τα αποτελέσματα όμως οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η σχέση μεταξύ της απόλυτης θερμοκρασίας και του αριθμού των ατυχημάτων είναι αρνητική, αρκετά σημαντική στατιστικά και εμφανίζει μη γραμμικότητα. Χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζουν περισσότερα ατυχήματα, με περισσότερο επικίνδυνες να είναι αυτές υπό το μηδέν. Όμως, όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τη μέση μηνιαία θερμοκρασία, τότε αναμένεται μεγαλύτερος αριθμός ατυχημάτων.
- Η **ηλιοφάνεια**, σε απόλυτους αριθμούς (δηλαδή το ποσό της

ηλιοφάνειας σε ώρες) δεν βρέθηκε να προσφέρει άμεση πρόβλεψη για τον αριθμό των ατυχημάτων. Όμως, η σχετική ηλιοφάνεια βρέθηκε ότι έχει στατιστικά σημαντική επιρροή και μάλιστα θετική. Τέλος, το «θάμπωμα» αποδείχθηκε ως ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας και με θετική επιρροή

- Σχετικά με τις **ψευδομεταβλητές για τις πόλεις**, η επιρροή τους βρέθηκε στατιστικά σημαντική.

Τέλος, καμία από τις υπόλοιπες καιρικές μεταβλητές (άνεμος) δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική.

Επίσης, στα πλαίσια της έρευνας έγινε και σύγκριση μεταξύ τριών διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης: της Poisson, της αρνητική διωνυμικής και της INAR. Αποδείχθηκε ότι η μέθοδος INAR υπερτερεί των άλλων δύο. Μεταξύ δε της Poisson και της αρνητική διωνυμικής, χειρότερη είναι η Poisson.

Τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας ήταν σημαντικά καθώς:

- Αποδεικνύεται ότι εκτός από την έκθεση στον κίνδυνο (κυκλοφοριακά μεγέθη) σημαντικό ρόλο στα οδικά ατυχήματα διαδραματίζουν και οι καιρικές συνθήκες.
- Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της επιρροής των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια δεν είναι απόλυτα και πολλές φορές βασίζονται και στη μεθοδολογία η οποία ακολουθείται.
- Όταν χρησιμοποιούνται στοιχεία χρονοσειρών σημαντικό αντίκτυπο στα αποτελέσματα μπορεί να έχουν και οι αυτοσυσχετίσεις μεταξύ των στοιχείων. Για το λόγο αυτό κατάλληλες μέθοδοι πρέπει να εφαρμόζονται, όπως π.χ. η INAR σε αντίθεση με την απλή Poisson.

2.4 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Παρά το γεγονός ότι σε διεθνές επίπεδο η βιβλιογραφία είναι αρκετά πλούσια σε εργασίες σχετικά με τη διερεύνηση του φαινομένου της επιρροής των καιρικών συνθηκών στα οδικά ατυχήματα, **στην Ελλάδα ο αριθμός των**

αντίστοιχων ερευνών είναι περιορισμένος. Ελάχιστες μόνο έρευνες έχουν δημοσιευθεί, κυρίως χρησιμοποιώντας στοιχεία από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) για τα ατυχήματα και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για τις καιρικές συνθήκες. Στο παρόν υποκεφάλαιο θα επιχειρηθεί μια σύντομη περιγραφή των αποτελεσμάτων και των μεθοδολογιών που παρουσιάζονται σε αυτού του είδους έρευνες, οι οποίες αναφέρονται στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα, ως χώρα της Μεσογείου, ανήκοντας στην εύκρατη ζώνη παρουσιάζει αρκετά θερμό και ήπιο κλίμα. Ιδιαιτέρως δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, που προκαλούνται από έντονα καιρικά φαινόμενα (όπως χιονοθύελλες, ανεμοστρόβιλοι κ.α.), εμφανίζουν εξαιρετικά χαμηλή συχνότητα σε σχέση με άλλες χώρες. Μια από τις πιο συνηθισμένες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες στη χώρα μας αποτελεί η **βροχή** και το **υγρό οδόστρωμα** (Φραντζεσκάκης και Γκόλιας, 1994). Σε σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα (Παραβάντης, 1984) βρέθηκε ότι για υγρό οδόστρωμα ο δείκτης για το σύνολο των ατυχημάτων και ο δείκτης ατυχημάτων με παθόντες είναι περίπου διπλάσιοι από τους αντίστοιχους για στεγνό οδόστρωμα. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μηνιαία διακύμανση του δείκτη ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα παρακολουθεί την αντίστοιχη μηνιαία διακύμανση του αριθμού ολίσθησης, κάτι που επηρεάζει έντονα την οδική ασφάλεια.

Τέλος, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. (Φραντζεσκάκης και Γκόλιας, 1994) ο λόγος των θανατηφόρων ατυχημάτων προς το σύνολο των ατυχημάτων με παθόντες είναι 0,14 για ατυχήματα σε χιονοπτώσεις έναντι 0,06 για ατυχήματα με αίθριο καιρό. Επίσης, ο λόγος αυτός γίνεται 0,11 για τα ατυχήματα σε παγωμένο οδόστρωμα ενώ παραμένει στο 0,06 για το στεγνό οδόστρωμα.

2.4.1 Συσχέτιση Καιρικών Συνθηκών με την επικινδυνότητα και σοβαρότητα των ατυχημάτων

Μια αρκετά ενδιαφέρουσα και σχετικά πρόσφατη έρευνα (Νικολόπουλος, 2004) αποσκοπούσε στη διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών στη σοβαρότητα και την επικινδυνότητα των ατυχημάτων στο οδικό υπεραστικό δίκτυο της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος της έρευνας αυτής ήταν να εξετασθεί (και να ποσοτικοποιηθεί) η επιρροή της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στο πλήθος των οδικών ατυχημάτων και των νεκρών.

Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αναφέρονταν στα έτη από το 1985 έως το 1999. Τα στοιχεία που αφορούσαν στα οδικά ατυχήματα αντλήθηκαν από τα Δελτία Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.), που συγκεντρώνει και επεξεργάζεται η ΕΛ.ΣΤΑΤ. Τα στοιχεία που αφορούσαν στις καιρικές συνθήκες (ύψος βροχόπτωσης, θερμοκρασία) προήλθαν από την ΕΜΥ. Τέλος, τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου συγκεντρώθηκαν από τους σταθμούς διοδίων του υπεραστικού οδικού δικτύου της Ελλάδας.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προέβλεπε τη στατιστική ανάλυση των παραπάνω δεδομένων με τη χρήση της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης ήταν η ανάπτυξη τριών μαθηματικών προτύπων. Στο πρώτο μαθηματικό πρότυπο, προσδιορίστηκε η επιρροή των καιρικών συνθηκών στο σύνολο των οδικών ατυχημάτων. Στο δεύτερο πρότυπο, προσδιορίστηκε η επιρροή των καιρικών συνθηκών στην επικινδυνότητα για τα δίκυκλα. Τέλος, το τρίτο μαθηματικό πρότυπο αποσκοπούσε στον προσδιορισμό της επιρροής των καιρικών συνθηκών στη σοβαρότητα του συνόλου των ατυχημάτων.

Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία ήταν τα εξής:

- Η **βροχή**, αν και καταρχήν οδηγεί σε μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, προκαλεί αύξηση του πλήθους των ατυχημάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κυκλοφορούντα οχήματα είναι πιο επιρρεπή στο να εμπλακούν σε ατύχημα (λόγω κακής ορατότητας, μειωμένης πρόσφυσης κλπ).
- Επίσης, η βροχή οδηγεί στην αύξηση της επικινδυνότητας των δικύκλων. Αυτό συμβαίνει διότι ο αναβάτης είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένος

στα καιρικά φαινόμενα, τα οποία όταν είναι δυσχερή επηρεάζουν αρνητικά την οδηγική του ικανότητα.

- Τέλος, η βροχή οδηγεί σε μείωση της σοβαρότητας του συνόλου των ατυχημάτων. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι οι οδηγοί είναι πιο προσεκτικοί και μειώνουν την ταχύτητα κίνησης όταν βρέχει. Η επιπλέον αυτή προσοχή, ακόμη και εάν δε συμβάλει στη μείωση της επικινδυνότητας για εμπλοκή σε ατύχημα, έχει θετική επίδραση στη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων, κυρίως λόγω των μειωμένων ταχυτήτων κίνησης.
- Σχετικά με τη **θερμοκρασία** και το πλήθος των ατυχημάτων φαίνεται ότι η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση στον κυκλοφοριακό φόρτο και συνεπώς μείωση και στα ατυχήματα.
- Όμως, η χαμηλή θερμοκρασία οδηγεί στην αύξηση της επικινδυνότητας των δικύκλων (παρόμοια επιρροή με εκείνη της βροχόπτωσης).
- Από την άλλη, η χαμηλή θερμοκρασία οδηγεί στη μείωση της σοβαρότητας του συνόλου των ατυχημάτων. Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι οι οδηγοί εντείνουν την προσοχή τους ή/και χρησιμοποιούν χαμηλότερες ταχύτητες (π.χ. λόγω του φόβου για σχηματισμό πάγου στο οδόστρωμα, θαμπώματος των παραθύρων κλπ).

Δηλαδή, τα παραπάνω οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι, για το μεν πλήθος των ατυχημάτων παρατηρείται μείωση όταν επικρατεί χαμηλή θερμοκρασία και δε βρέχει. Για τη δε επικινδυνότητα, αναφορικά με τα δίκυκλα, παρατηρείται μείωση όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή και δε βρέχει. Ενώ, τέλος, η σοβαρότητα του συνόλου των ατυχημάτων μειώνεται όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή και βρέχει. Επίσης, από πλευράς μεθοδολογίας αξίζει να επισημανθεί ότι η λογαριθμική παλινδρόμηση αποτελεί μια κατάλληλη μέθοδο για την περιγραφή του υπό διερεύνηση φαινομένου.

2.4.2 Επιρροή Καιρικών Συνθηκών με την Επικινδυνότητα και Σοβαρότητα των ατυχημάτων

Η σημαντικότερη και συναφέστερη με την παρούσα Διπλωματική Εργασία έρευνα, τόσο από πλευράς στοιχείων όσο και μεθοδολογίας, ήταν εκείνη που αφορούσε στην περιοχή της Αθήνας και διεξήχθη από Έλληνες ερευνητές (Yannis et al., 2008). Η έρευνα αυτή συμπεριλήφθηκε στην αναφορά με τίτλο: «Time series applications on road safety developments in Europe» (Stipdonk, 2008). Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία για τα οδικά ατυχήματα (αριθμός ατυχημάτων και νεκρών) και για τις βασικές μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία και βροχόπτωση). Τα στοιχεία προέρχονταν από τη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας και η περίοδος αναφοράς τους ήταν από το έτος 1985 έως το 2005.

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Η μία περιελάμβανε Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Generalized Linear Models – GLM) και η άλλη Δυναμικά Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Dynamic Generalized Linear Models – DGLM). Στην πρώτη περίπτωση αναπτύχθηκαν δύο πρότυπα, ένα για το συνολικό αριθμό των ατυχημάτων και ένα για τον αριθμό των νεκρών. Στη δεύτερη περίπτωση αναπτύχθηκε μόνο ένα πρότυπο για τον αριθμό των ατυχημάτων. Επίσης, ενώ στην πρώτη περίπτωση δε συμπεριλήφθηκαν στοιχεία για τον παράγοντα της έκθεσης (κυκλοφοριακοί φόρτοι), στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τα οποία προσεγγίζουν αυτόν τον παράγοντα. Τα στοιχεία αυτά αντλήθηκαν από το σταθμό διοδίων στο Σχηματάρι. Όμως, αυτού του είδους τα στοιχεία ήταν διαθέσιμα μόνο για τα εννέα τελευταία χρόνια της μελέτης (1997 – 2005). Τέλος, τα στοιχεία που αφορούσαν τις μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία και ύψος βροχόπτωσης) κατηγοριοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση. Έτσι, υπολογίστηκε το συνολικό ύψος βροχόπτωσης για κάθε μήνα, όπως επίσης και ο μηνιαίος μέσος όρος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες μέσες θερμοκρασίες για κάθε μήνα.

Η διαδικασία ανάλυσης και τα αποτελέσματα για κάθε μια από τις δύο μεθοδολογίες παρατίθενται παρακάτω.

Όσον αφορά την ανάλυση **χωρίς δεδομένα για την έκθεση**, κατά την οποία έγινε υπόθεση ότι ακολουθείται η αρνητική διωνυμική κατανομή και χρησιμοποιήθηκαν γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (GLM), τα συμπεράσματα ήταν τα εξής:

- Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση των ατυχημάτων.
- Αύξηση του ύψους βροχόπτωσης προκαλεί μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, ενδεχομένως λόγω των χαμηλότερων φόρτων και της εντονότερης προσοχής των οδηγών.
- Η θερμοκρασία παρατηρείται ότι έχει θετική επίδραση και στους αριθμούς των νεκρών.
- Μεγάλα δε ύψη βροχόπτωσης σχετίζονται με μείωση του αριθμού των νεκρών.
- Παραταύτα, μόνο η χρήση των μετεωρολογικών μεταβλητών ως ανεξάρτητων δεν παρέχει ικανή αξιοπιστία ώστε να γίνουν προβλέψεις.

Η **δεύτερη ανάλυση** ήταν εκείνη στην οποία χρησιμοποιήθηκαν δυναμικά γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (DGLM). Επίσης θεωρήθηκε ότι ακολουθείται η κατανομή Poisson. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Δυαδική μεταβλητή για τη θερμοκρασία, η οποία λάμβανε την τιμή 1, εάν η μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν μικρότερη από 5 ^{o}C και την τιμή 0 σε αντίθετη περίπτωση.
- Το συνολικό ύψος βροχόπτωσης σε μια ημέρα.
- Ο αριθμός των βαρέων φορτηγών.
- Ο αριθμός των μοτοποδηλάτων και μοτοσικλετών.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μειώνουν τα ατυχήματα. Επίσης και οι υψηλές τιμές βροχόπτωσης προκαλούν μικρότερες τιμές ατυχημάτων. Τέλος, μεγαλύτεροι φόρτοι επιβατικών αυτοκινήτων προκαλούν μικρότερους αριθμούς ατυχημάτων, ενώ αντίθετα μεγαλύτεροι φόρτοι φορτηγών οδηγούν σε περισσότερα ατυχήματα.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας έχουν ιδιαίτερη σημασία. Θα μπορούσε να σημειωθεί ότι είναι ενθαρρυντικά καθότι δείχνουν συγκεκριμένες τάσεις της επιρροής των μετεωρολογικών συνθηκών στα οδικά ατυχήματα. Τάσεις, οι οποίες επιβεβαιώνονται και από άλλες έρευνες (Hermans et al., 2006; Brijs et al., 2008). Επιγραμματικά, χαμηλές θερμοκρασίες, ιδίως τους χειμερινούς μήνες, οδηγούν σε μείωση των καταγεγραμμένων οδικών ατυχημάτων. Επίσης το ίδιο συμβαίνει και όταν η συνολική βροχόπτωση για ένα μήνα αυξάνει, προφανώς λόγω της μειωμένης έκθεσης.

2.5 ΣΥΝΟΨΗ – ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν ορισμένες από τις σημαντικότερες έρευνες οι οποίες αφορούν στη διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Από την παραπάνω παράθεση των μεθοδολογιών ανάλυσης και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μπορούν να προκύψουν σημαντικά συμπεράσματα.

Οι **καιρικές συνθήκες** όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση σχετίζονται με την οδική ασφάλεια, κυρίως μέσω της επιρροής τους τόσο στον κυκλοφοριακό φόρτο όσο και στη συμπεριφορά των οδηγών. Η αλληλεπίδραση των καιρικών συνθηκών και των επιπτώσεων άλλων παραγόντων οδικής ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων του τύπου της οδού, του οδηγού, του οχήματος και των επεμβάσεων στη συχνότητα των οδικών ατυχημάτων είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο προσελκύει όλο και περισσότερη προσοχή από τους ερευνητές. Είναι χαρακτηριστικό ότι έχει επισημανθεί η ανάγκη ελέγχου των καιρικών επιπτώσεων σε οποιαδήποτε ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών (multivariate) με σκοπό να εξηγηθούν πληρέστερα οι αλλαγές στην οδική ασφάλεια (Stipdonk, 2008). Επιπλέον ορισμένοι ερευνητές δίνουν έμφαση σ’ αυτήν την ανάγκη μέσα στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής (Koetse and Rietveld, 2009). Διάφορες δε μελέτες περιλαμβάνουν ή εστιάζονται στην επιρροή των καιρικών συνθηκών στη συχνότητα και στη σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων (Eisenberg, 2004).

Τα **στοιχεία** των καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη στιγμή του ατυχήματος καταγράφονται στο δελτίο του ατυχήματος. Παράλληλα, συνεχείς χρονοσειρές μετεωρολογικών στοιχείων συγκεντρώνονται με τη βοήθεια μόνιμων και κατάλληλα εγκατεστημένων σταθμών μέτρησης, οι οποίοι επιτρέπουν την καταγραφή τόσο συνολικών όσο και εποχιακών αποτελεσμάτων. Αυτές οι μελέτες ποικίλλουν από ετήσιες έως ημερήσιες αναλύσεις και από εθνικό έως τοπικό επίπεδο και χρησιμοποιούν από γενικευμένες τεχνικές γραμμικών μοντέλων (π.χ. οικογένεια μοντέλων Poisson) έως προηγμένες τεχνικές ειδικές για ανάλυση χρονοσειρών στοιχείων. Επιπλέον, συχνά ελέγχονται διάφορες επιπρόσθετες μεταβλητές, όπως η έκθεση στο κίνδυνο (οχηματο-χιλιόμετρα, κλπ.), ο σχεδιασμός της οδού, δημογραφικά στοιχεία και οι επεμβάσεις (Eisenberg, 2004).

Από τη μέχρι τώρα έρευνα έχουν προκύψει αρκετά ενδιαφέροντα πορίσματα σχετικά με την ανάλυση του παραπάνω φαινομένου. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι πολλές φορές προκύπτουν και αντιφατικά συμπεράσματα μεταξύ διαφορετικών ερευνών. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι η συχνότητα και η ένταση του κάθε καιρικού φαινομένου διαφέρουν από τόπο σε τόπο (π.χ. εντονότερη και συνηθέστερη η επιρροή των δυσμενών καιρικών συνθηκών στις Βορειότερες χώρες σε σχέση με τις Νότιες). Επίσης σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η επιλογή της μεθοδολογίας ανάλυσης από τον κάθε ερευνητή, καθώς πολλές φορές παρατηρείται απόκλιση των αποτελεσμάτων ανάλογα με την επιλεγείσα μέθοδο ανάλυσης (Brijs et al., 2008). Παραταύτα, από τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας μπορούν να εξαχθούν βασικά συμπεράσματα σχετικά με τις κύριες τάσεις που παρουσιάζει το υπό εξέταση φαινόμενο.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι υψηλότερες **θερμοκρασίες** εμφανίζονται να έχουν μια μειωμένη επιρροή στη συχνότητα και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων, τόσο σε ημερήσια όσο και σε εβδομαδιαία και μηνιαία βάση (Scott, 1986; Brijs et al. 2008), ενώ οι ώρες ηλιοφάνειας εμφανίζονται να οδηγούν σε αύξηση των ατυχημάτων (Hermans et al., 2006; Brijs et al., 2008). Επιπλέον, όταν ο μηνιαίος αριθμός των ημερών με θερμοκρασία υπό το μηδέν αυξάνεται, τότε τα οδικά ατυχήματα μειώνονται (Hermans et al., 2006; Stipdonk, 2008) πιθανώς λόγω της μειωμένης έκθεσης στο κίνδυνο.

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). Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα λαμβάνεται κατά την εξέταση του μηνιαίου αριθμού ημερών με βροχόπτωση (Keay and 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.

Αναφορικά με τον **ελληνικό χώρο** δυστυχώς ο αριθμός των αναφορών σχετικά με το υπό εξέταση φαινόμενο είναι αρκετά περιορισμένος. Με εξαίρεση τη διπλωματική εργασία του Παραβάντη (1984) που ήταν από τις από τις πρώτες στην Ελλάδα που επιχείρησαν να διερευνήσουν τη συσχέτιση των καιρικών συνθηκών με τα ατυχήματα, έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζουν άλλες δύο εργασίες. Η πρώτη είναι η διπλωματική εργασία του Νικολόπουλου (2004), η οποία αναφέρεται στη μακροσκοπική συσχέτιση των καιρικών συνθηκών, της επικινδυνότητας και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων στο υπεραστικό δίκτυο της Ελλάδας. Η δεύτερη, η οποία είναι ίσως και η συναφέστερη με την παρούσα Διπλωματική Εργασία, είναι η μελέτη που συντάχθηκε από Έλληνες ερευνητές και αποσκοπούσε στη συσχέτιση των μετεωρολογικών συνθηκών με τους αριθμούς των ατυχημάτων και των νεκρών στην περιοχή της Αθήνας (Yannis et al., 2008).

Με βάση τα παραπάνω, φανερώνεται η επιτακτική ανάγκη για τη διερεύνηση της επίδρασης των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια, ιδιαιτέρως σε ότι αφορά τον ελληνικό χώρο. Έτσι, ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η συσχέτιση χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και μετεωρολογικών συνθηκών. Η προσπάθεια αυτή θα γίνει με γνώμονα τις μέχρι τώρα έρευνες πάνω στο συγκεκριμένο φαινόμενο, τόσο από πλευράς αποτελεσμάτων όσο και από πλευράς μεθοδολογιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η στατιστική ανάλυση των στοιχείων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. 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 γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία και χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τη συσχέτιση των μετεωρολογικών συνθηκών με τα οδικά ατυχήματα. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτός ο τύπος παλινδρόμησης συνίσταται στο ότι πρόκειται περί μιας απλής και ευρέως χρησιμοποιούμενης μεθόδου πρόβλεψης της επιρροής κάποιας μεταβλητής. Επίσης ένας άλλος λόγος, είναι ότι κατά μία προσέγγιση οι αριθμοί των ατυχημάτων και των τραυματιών πεζών θεωρείται ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή. Αμέσως μετά περιγράφονται η τεχνική των ψευδομεταβλητών, η έννοια της σειριακής αυτοσυσχέτισης σε στοιχεία χρονοσειρών καθώς και η μέθοδος των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Equations – SURE). Στο προτελευταίο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων και οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι στους οποίους υποβάλλονται. Τέλος, το κεφάλαιο κλείνει με μία σύντομη αναφορά των βασικότερων λειτουργιών του στατιστικού λογισμικού στο οποίο έγινε η κύρια ανάλυση των δεδομένων.

3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

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

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

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

(α) Ποιοτικές μεταβλητές (qualitative variables). Είναι οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Η χρήση αριθμών για την παράσταση των τιμών μίας τέτοιας μεταβλητής είναι καθαρά συμβολική και δεν έχει την έννοια της μέτρησης. Για παράδειγμα, η οικογενειακή κατάσταση είναι μια τέτοια μεταβλητή.

(β) Ποσοτικές μεταβλητές (quantitative variables). Είναι οι μεταβλητές με τιμές αριθμούς, που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης. Η ηλικία και ο αριθμός παιδιών μιας οικογένειας συνιστούν τέτοιες μεταβλητές. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις **διακριτές (ή ασυνεχείς)** και τις **συνεχείς.**

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 $x_{1,}$ $x_{2,\ldots,}$ x_v η μέση τιμή υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\overline{x} = (x_1 + x_2 + \ldots + x_3) / v = (1/v) \,.\, \Sigma^{v}_{i=1} (x_i)$$

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

$$s^2 = [1/(\, v\text{-}1)] \,.\, \Sigma^{v}_{i=1} (x_i - \overline{x})^2$$

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

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

$$s = (s^2)^{1/2} = [\, (\Sigma^{v}_{i=1} (x_i - \overline{x})^2) \,/\, (v\text{-}1)]^{1/2}$$

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

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

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

$$Cov\,(X, Y) = [1/(v-1)].\ \Sigma^{v}_{i=1} [(x_i - \overline{x}).\ (y_i - \overline{y})]$$

Μέτρα αξιοπιστίας:

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

3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Έστω δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές Χ και Υ. Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο αυτών μεταβλητών Χ και Υ με διασπορά σ_X^2 και σ_Y^2 αντίστοιχα και συνδιασπορά σ_{XY} = Cov [X,Y] καθορίζεται με τον **συντελεστή συσχέτισης** (correlation coefficient) ρ ο οποίος ορίζεται ως:

$$\rho = (\sigma_{XY} / \sigma_X).(1/\sigma_Y)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται. Δεν εξαρτάται από τη μονάδα μέτρησης των Χ και Υ 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 Χ και Υ.

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

$$r\,(X, Y) = [\Sigma^{v}_{i=1} (x_i - \overline{x})\ .\ (y_i - \overline{y})] / [(\Sigma^{v}_{i=1} (x_i - \overline{x})^2)^{1/2}\ .\ (\Sigma^{v}_{i=1} (y_i - \overline{y})^2)^{1/2}]$$

3.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

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 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 λ (λ>0), και γράφεται X~P(λ), όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας την:

$$P(x) = e^{-\lambda}(\lambda^{x}/x!)\ ,\ x = 0,1,2,\ldots$$

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

3.4.2 Αρνητική Διωνυμική Κατανομή

Μία άλλη πολύ σημαντική κατανομή που χρησιμοποιείται στην οδική ασφάλεια είναι η αρνητική διωνυμική κατανομή. Η χρήση της κατανομής αυτής ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου διακύμανση των στοιχείων του δείγματος είναι μεγαλύτερη από το 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~NB(k,p), όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας την:

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

3.4.3 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 μ, σ ($^{-}\infty < \mu < {}^{+}\infty$, σ>0), και γράφεται $X \sim N(\mu,\sigma^2)$, όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την:

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

όπου οι παράμετροι μ και σ είναι ίσες με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση αντίστοιχα.

3.5 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Ο κλάδος της στατιστικής, ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσοτέρων 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 την κανονική κατανομή, μία από τις πλέον διαδεδομένες στατιστικές τεχνικές είναι η γραμμική παλινδρόμηση. Η απλούστερη περίπτωση γραμμικής παλινδρόμησης είναι η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** (simple linear regression).

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

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

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

- Ο σταθερός όρος α είναι η τιμή του y για x=0.
- Ο συντελεστής β του x είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή αλλιώς ο **συντελεστής παλινδρόμησης** (regression coefficient). Εκφράζει την μεταβολή της μεταβλητής Υ όταν η μεταβλητή Χ μεταβληθεί κατά μια μονάδα.

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

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές X ($X_{1,}$ $X_{2,}$ $X_{3,\ ....,}$ X_κ), γίνεται αναφορά στην **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression). Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η εξής:

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

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

3.5.1 Η Μέθοδος των 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):

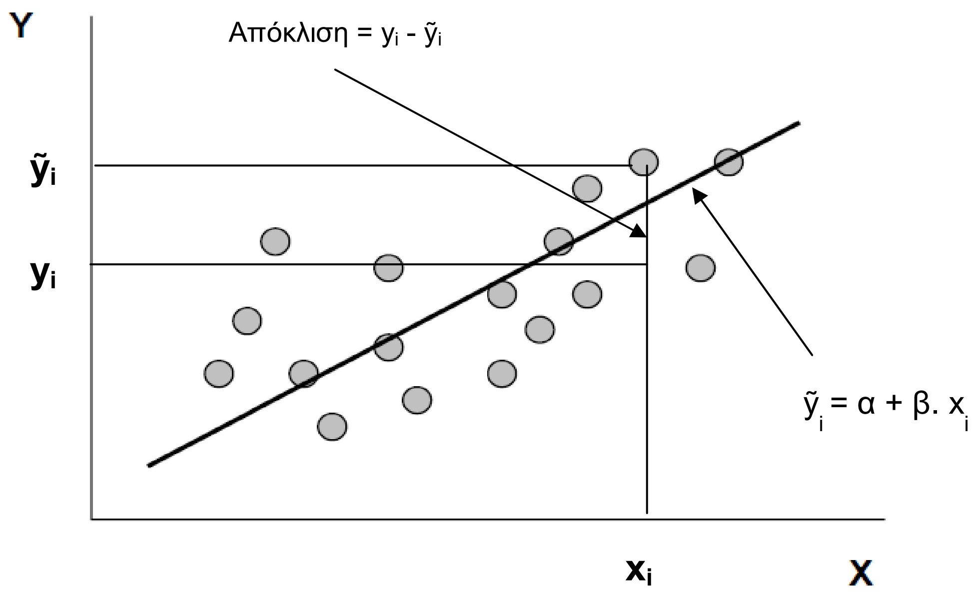
$$\varepsilon_i = y_i - \beta_0 - \beta_1 . x_{1i} - \beta_2 . x_{2i} - \beta_3 . x_{3i} - .....- \beta_k . x_{ki}$$

$$= y_i - \tilde{y}_i = \text{υπόλοιπο (μη ερμηνευόμενη απόκλιση)}$$

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, ε_i (i = 1,…,n).

Η βέλτιστη προσέγγιση για τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων β_i (i = 1,2,..k) είναι εκείνη του τετραγωνισμού του σφάλματος και της επίλυσης για εκείνες τις τιμές των β_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).

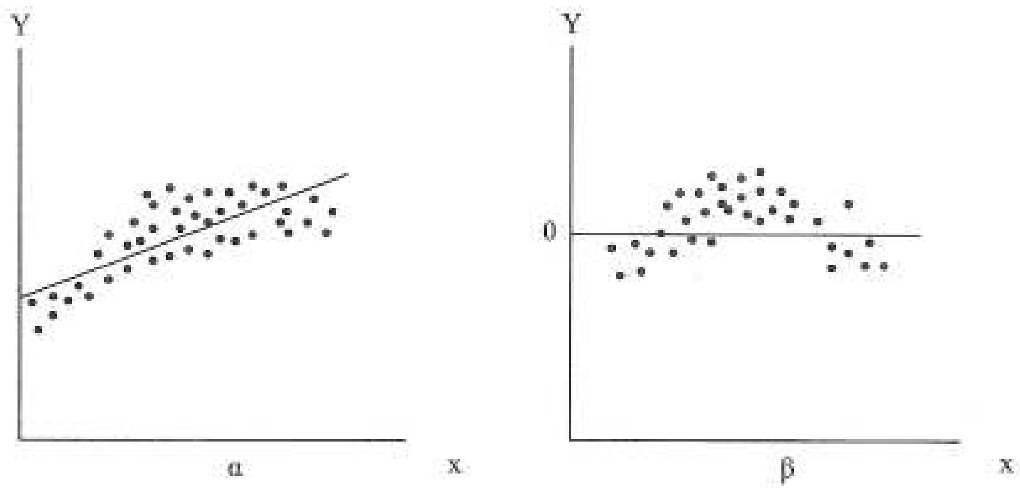


Γράφημα 3. 1: Ευθεία Ελαχίστων Τετραγώνων (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)

3.5.2 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.



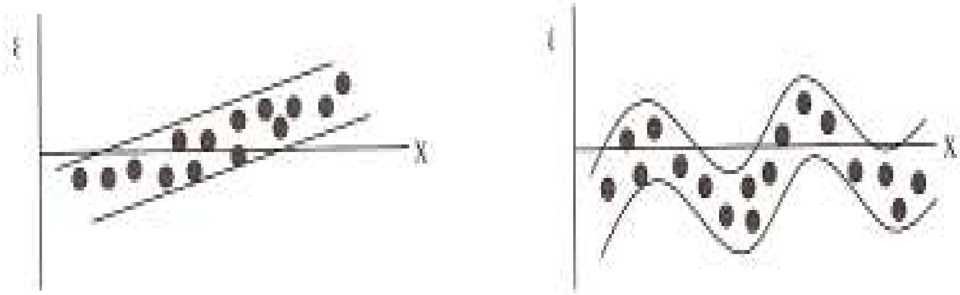
Γράφημα 3. 2: Γραφική διερεύνηση γραμμικότητας (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)

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

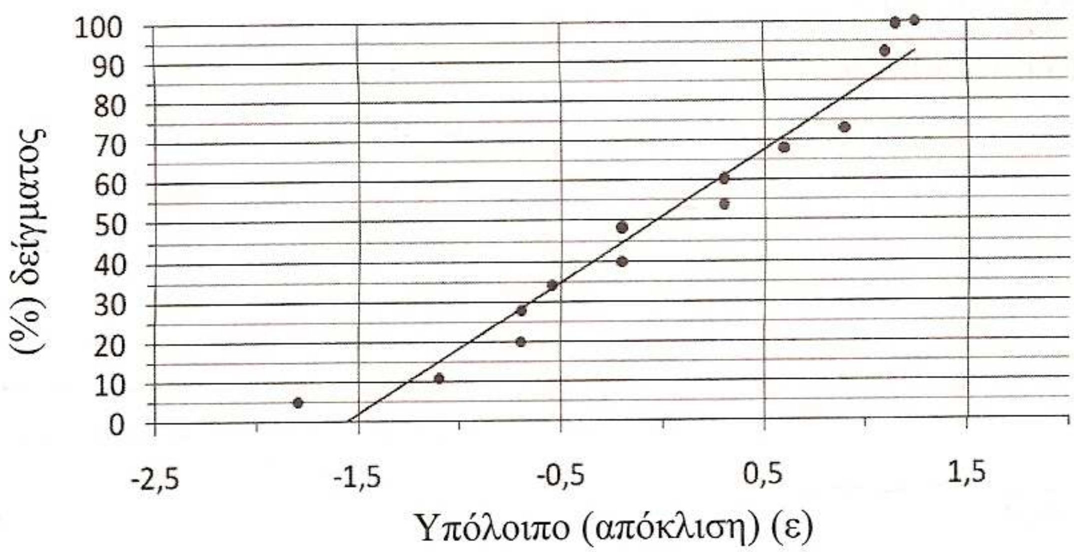
2. Η υπόθεση της **ανεξαρτησίας**, που δηλώνει ότι τα υπόλοιπα (σφάλματα, αποκλίσεις) για διαφορετικές παρατηρήσεις πρέπει να είναι

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 κατανεμημένη. 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.

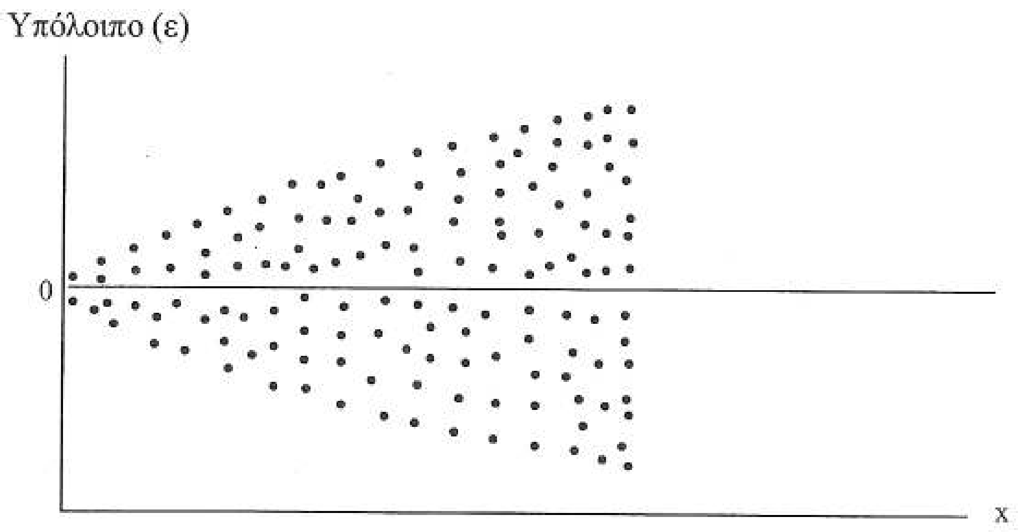


Γράφημα 3. 3: Γραφική διερεύνηση ανεξαρτησίας (Πηγή: Σταθόπουλος & Καρλαύτης, 2008)



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 ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΨΕΥΔΟΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

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 οικογενειακή κατάσταση, φύλο, 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:

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

η συνάρτηση κατανάλωσης για την περίοδο ειρήνης και

$$C_t = \beta^*_0 + \beta^*_1 X_t + \varepsilon_t$$

η συνάρτηση κατανάλωσης για την περίοδο πολέμου, όπου

C_t = η κατανάλωση για το έτος t

X_t = εισόδημα για το έτος t

Η μεταβολή όμως της συνάρτησης από τη μια περίοδο στην άλλη μπορεί να αναφέρεται μόνο στο σταθερό όρο β_0, ή να αναφέρεται μόνο στην οριακή ροπή για κατανάλωση (κλίση), δηλαδή στο συντελεστή β_1. Μπορεί όμως να αναφέρεται και στους δύο συντελεστές. Παρακάτω θα εξεταστεί κάθε περίπτωση χωριστά.

Περίπτωση Α. Ας υποτεθεί 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:

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

$$C_t = \beta^*_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t \text{ (περίοδος πολέμου)}$$

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:

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

όπου $D_t = 0$ για τα έτη ειρήνης

$D_t = 1$ για τα έτη πολέμου

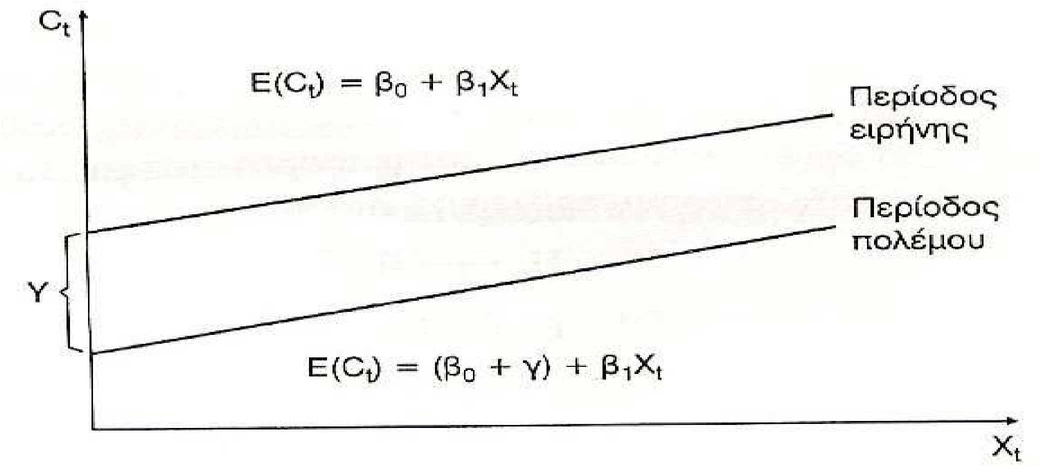
Συνεπώς για την περίοδο ειρήνης, $D_t = 0$, είναι

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

ενώ για την περίοδο πολέμου $D_t = 1$, οπότε,

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

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 DX** που είναι το γινόμενο της ψευδομεταβλητής D επί την ανεξάρτητη μεταβλητή X είναι γνωστή ως **πολλαπλασιαστική ψευδομεταβλητή (multiplicative dummy).**

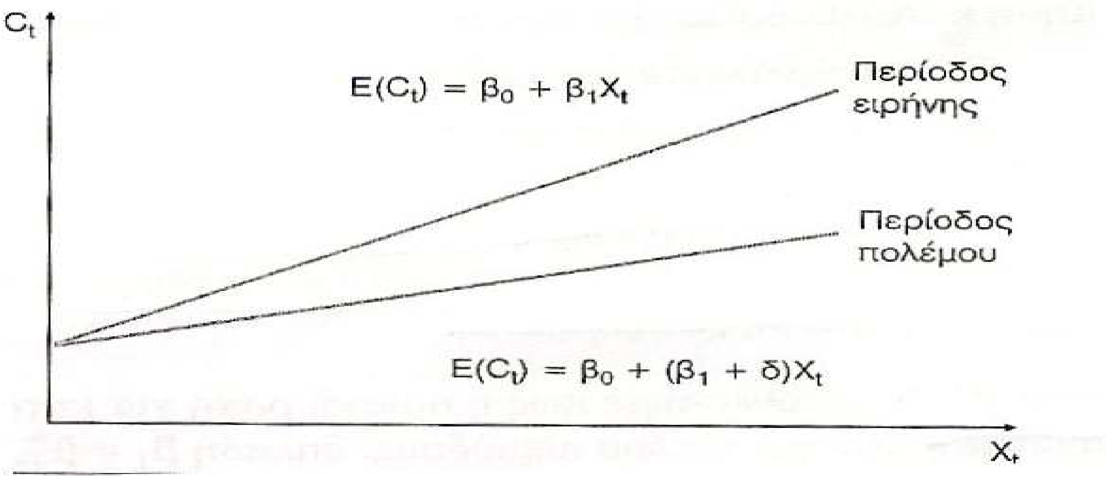
Για την περίοδο ειρήνης, $D_t = 0$ και $D_t X_t = 0$, οπότε η εξίσωση γίνεται:

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

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_tX_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_tX_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:

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

όπου $D_t = 0$ για τα έτη ειρήνης

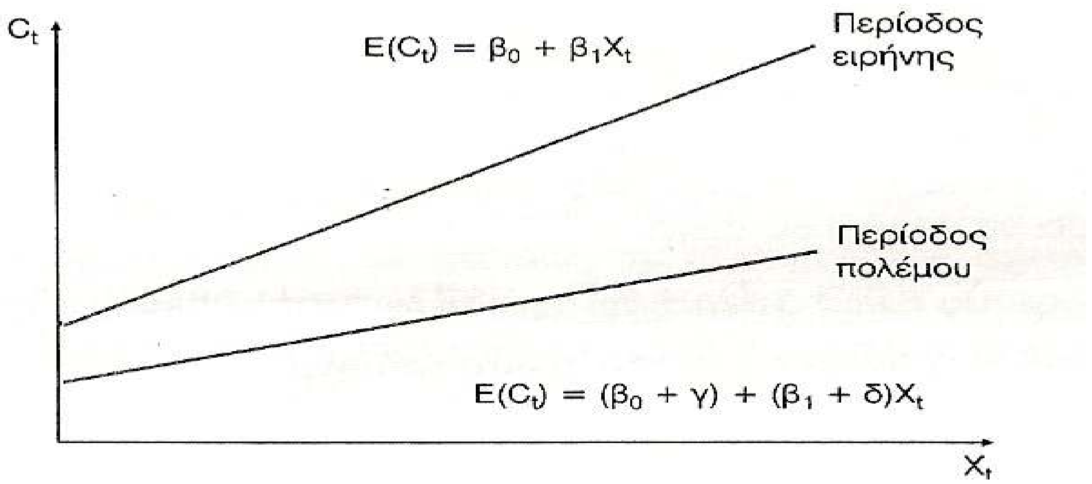
$D_t = 1$ για τα έτη πολέμου

Επομένως,

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

$$C_t = (\beta_0 + \gamma) + (\beta_1 + \delta) Xt + \varepsilon_t \text{ (περίοδος ειρήνης)}$$

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)

Μπορεί να δειχθεί ότι με την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων οι εκτιμητές που προκύπτουν στην τελευταία περίπτωση είναι ακριβώς οι ίδιοι με αυτούς 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 υποτεθεί 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 ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΑΥΤΟΠΑΛΙΝΔΡΟΜΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ

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 ε 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 ε 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 ρ 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 ρ 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 ,Έλεγχοι 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 και η μεθοδολογία του αναφέρεται σε επόμενο υποκεφάλαιο. 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 **αυτοπαλίδρομο υπόδειγμα p τάξης ή AR(p)** διατυπώνεται ως εξής:

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

Κατά συνέπεια ένα **αυτοπαλίδρομο 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 ε_t με την εξαρτημένη μεταβλητή Y_t και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης ρ με το συντελεστή α_1.

3.8 ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΜΗ ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ (ΜΕΘΟΔΟΣ SURE)

Η γνωστή, και ευρέως χρησιμοποιούμενη, γραμμική παλινδρόμηση υπολογίζεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS). Όταν όμως υπάρχει ένα μοντέλο με πολλές εξισώσεις (σύστημα), τα ελάχιστα τετράγωνα επιλύουν μια εξίσωση κάθε φορά, παραγνωρίζοντας τις πιθανές ιδιαιτερότητες του συστήματος. Η **μέθοδος των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Estimation – SURE)** είναι μια τεχνική αυτού του υπολογισμού, με βάση την οποία **οι πολλαπλές εξισώσεις ενός συστήματος συνδυάζονται για να γίνουν οι νέοι υπολογισμοί.** Οι νέοι εκτιμητές (συντελεστές) που προκύπτουν είναι αποτελεσματικοί (efficient) και συνεπείς (consistent) και ενδέχεται να διαφέρουν από εκείνους που υπολογίζονται από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων αν οι συσχετίσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι φαινομενικά ασυσχέτιστες εξισώσεις χρησιμοποιούνται **στην περίπτωση που υπάρχει ταυτόχρονη (simultaneous) συσχέτιση ανάμεσα στους όρους σφάλματος δύο ή περισσότερων εξισώσεων.** Στις περιπτώσεις αυτές, τα σφάλματα ενδέχεται να αντανακλούν κάποιο κοινό παράγοντα που είτε δεν είναι μετρήσιμος είτε παραλείπεται, με αποτέλεσμα να συσχετίζονται μεταξύ τους. Η ταυτόχρονη συσχέτιση αυτή είναι πιθανή όταν υπολογίζονται εξισώσεις παρόμοιων εξαρτημένων μεταβλητών (π.χ. ατυχημάτων και νεκρών) με δεδομένα χρονοσειρών. Στην περίπτωση αυτή, οι εξισώσεις μπορούν να εκτιμηθούν από κοινού (jointly), ώστε οι εκτιμητές που θα προκύψουν να είναι πιο αποτελεσματικοί (Washington et al., 2003).

3.8.1 Εκτίμηση με τη μέθοδο SURE

Έστω οι ακόλουθες M εξισώσεις:

$$Y_1 = \beta_{10} + \beta_{11}X_{1n} + \varepsilon_{1n}$$

$$Y_2 = \beta_{20} + \beta_{21}X_{2n} + \varepsilon_{2n}$$

…………………………..

$$Y_1 = \beta_{M0} + \beta_{M1}X_{Mn} + \varepsilon_{Mn}$$

Για κάθε εξίσωση του παραπάνω συστήματος ικανοποιούνται οι υποθέσεις της κλασικής γραμμικής παλινδρόμησης, πράγμα που σημαίνει ότι οι εκτιμητές που προκύπτουν από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων κάθε εξίσωσης έχουν όλες τις επιθυμητές ιδιότητες. Επειδή, όμως, θεωρείται ότι υπάρχει ταυτόχρονη συσχέτιση, **υπάρχει καλύτερος εκτιμητής**, με την έννοια ότι είναι περισσότερο αποτελεσματικός (Χρήστου, 2002).

Ο εκτιμητής της μεθόδου αυτής $\hat{\beta}_{SUR}$ (Seemingly Unrelated Regressions Estimator) προτάθηκε από το Zellner το 1962. Οι βασικές σχέσεις από τις οποίες προκύπτει παρουσιάζονται παρακάτω.

Έστω το σύστημα των προηγούμενων M εξισώσεων και επίσης ότι έχουμε N παρατηρήσεις για κάθε εξίσωση. Σε μητρωϊκή μορφή το σύστημα γράφεται ως εξής:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

όπου: $\mathbf{Y}$ = διάνυσμα διαστάσεων MN x 1

$\mathbf{X}$ = μητρώο διαστάσεων MN x 2M

$\boldsymbol{\beta}$ = διάνυσμα διαστάσεων 2M x 1

$\boldsymbol{\varepsilon}$ = διάνυσμα διαστάσεων MN x 1

Η εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων στην παραπάνω εξίσωση δίνει ακριβώς τους εκτιμητές που προκύπτουν όταν η OLS εφαρμόζεται σε κάθε εξίσωση ξεχωριστά. Η μέθοδος SURE όμως **χρησιμοποιώντας τη γενικευμένη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (GLS),** υπολογίζει τον εκτιμητή ως εξής:

$$\hat{\beta}_{SUR} = \left(X'V^{-1}X\right)^{-1} X'V^{-1}Y$$

όπου: $$V(Y) = \Sigma \otimes I_N$$

με: $\mathbf{\Sigma}$ το μητρώο των διακυμάνσεων – συνδιακυμάνσεων του διανύσματος **ε**, διαστάσεων M x M.

I_N το μοναδιαίο μητρώο διαστάσεων N x N

$\otimes$ το γινόμενο Kronecker

$\mathbf{V(Y)}$ μητρώο διαστάσεων N x N

Στην παραπάνω ανάλυση υποτέθηκε ότι κάθε εξίσωση περιλαμβάνει μία μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή. Η ανάλυση μπορεί να επεκταθεί εύκολα και στη γενική περίπτωση με περισσότερες, έστω Κ, ανεξάρτητες μεταβλητές σε κάθε εξίσωση. Το μόνο που μεταβάλλεται είναι οι διαστάσεις των μητρώων.

Εν κατακλείδι, **το κέρδος από την εκτίμηση με την μέθοδο SURE** σε σχέση με την OLS εκτίμηση κάθε εξίσωσης ξεχωριστά είναι **η αύξηση της αποτελεσματικότητας.** Όσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση ανάμεσα στα σφάλματα τόσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος σε αποτελεσματικότητα. Το κέρδος επίσης είναι μεγαλύτερο, όσο μικρότερη είναι η συσχέτιση ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές.

3.9 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

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 β_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 β_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 β_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:

$$e_i = (\Delta Y_i / \Delta X_i) \,.\, (X_i / Y_i) = \beta_i \,.\, (X_i / Y_i)$$

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

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

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

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

Πίνακας 3. 1: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t (Πηγή Θεοφιλάτος, 2009)

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

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 Xi 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: $$SSR = \Sigma^{v}_{i=1} (y_i - y)^2 = \beta^2 . \Sigma^{v}_{i=1} (x_i - x)^2$$

και $$SST = \Sigma^{v}_{i=1} (y_i - y)^2$$

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Υ που εξηγείται από την μεταβλητή Χ. 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 Υ και Χ. Ο συντελεστής R^2 έχει συγκριτική αξία. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του R^2 που είναι αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του 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, $Var(\varepsilon_i)= \sigma^2_\varepsilon = c$ και
- Να έχει μηδενική συσχέτιση, $\rho(\varepsilon_i, \varepsilon_j)= 0$, 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 δίνεται από τη σχέση:

$$d = \Sigma^{T}_{t=2} (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2 / \Sigma^{T}_{t=1} \varepsilon_t^2$$

όπου, ε : 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.

3.10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Ο κύριος όγκος της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων έγινε με τη χρήση ειδικού στατιστικού λογισμικού (Limdep της Econometric Software). Αφού επιλέχθηκαν τα δεδομένα τα οποία θα χρησιμοποιούνταν στην ανάλυση, διαμορφώθηκαν τα κατάλληλα αρχεία εισόδου (input files) έτσι ώστε να είναι συμβατά με το περιβάλλον του λογισμικού. Η εισαγωγή των δεδομένων αυτών γίνεται με την εντολή **Project ⟶ Import ⟶ Variables.**

Άλλες εντολές, οι οποίες ήταν χρήσιμες κατά τη διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης, είναι οι εξής:

- **Descriptive Statistics (DSTATS):** Η εντολή αυτή είναι διαθέσιμη από το μενού **Model ⟶ Data Description.** Με την εντολή αυτή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη του λογισμικού να πραγματοποιήσει περιγραφική στατιστική ανάλυση των δεδομένων (μεταβλητών) εισόδου (υπολογισμός μέσων όρων, μέγιστων και ελάχιστων τιμών, κλπ).
- **Display Correlation Matrix:** Με την επιλογή αυτή, που είναι διαθέσιμη από το παράθυρο της εντολής **DSTATS**, με άνοιγμα του παραθύρου Options και επιλογή (check) της αντίστοιχης εντολής (Display Correlation Matrix), παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού των συντελεστών συσχέτισης των επιλεγμένων μεταβλητών μεταξύ τους (ανά ζεύγη). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών είναι σημαντικός παράγοντας για την επιλογή των μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο.

- **Regression:** Η εντολή αυτή είναι διαθέσιμη από το μενού **Model Linear Models ⟶ Regression.** Με την εντολή αυτή εκτελούνται γραμμικές παλινδρομήσεις. Για κάθε περίπτωση (δοκιμή), η εξαρτημένη μεταβλητή εισάγεται στο πλαίσιο dependent variable. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισάγονται στο πλαίσιο independent variables. Με την επιλογή του πλήκτρου Run, εμφανίζεται το αρχείο εξόδου με τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης.

Τέλος, εντολές μπορούν να δοθούν και από αρχεία τύπου Text/Command Document, τα οποία δημιουργούνται από το μενού **File ⟶ New.** Στην περίπτωση αυτή, αφού πληκτρολογηθεί η εντολή (απαραίτητη είναι στο τέλος του κειμένου της εντολής η τοποθέτηση του συμβόλου $) και επιλεχθεί το πλήκτρο GO, γίνεται η εκτέλεση της εντολής.

Όλα τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο αρχείο εξόδου (output file). Για τον έλεγχο της καταλληλότητας του εκάστοτε 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 $β_i$ να μπορούν να εξηγηθούν λογικά.
- Η τιμή του στατιστικού ελέγχου t να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1,645, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- Η τιμή του συντελεστή d της στατιστικής Durbin – Watson να είναι όσο το δυνατόν εντός του αποδεκτού εύρους για το επίπεδο εμπιστοσύνης της έρευνας (από 1,7 έως 2,3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε το πρόβλημα της επιλογής των απαραίτητων στοιχείων που θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Η σωστή επιλογή των στοιχείων είναι πάρα πολύ σημαντική, αφού και η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων αυτών οδηγεί στην επίτευξη του στόχου της εργασίας, που δεν είναι άλλος από τη συσχέτιση χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και μετεωρολογικών συνθηκών. Το παρόν κεφάλαιο, που αφορά **στη συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων**, αποτελείται ουσιαστικά από δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος 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 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., Ε.Μ.Υ., Τροχαία κλπ). Στο δεύτερο σκέλος γίνεται μια παρουσίαση των στοιχείων που επιλέγησαν και κυρίως της μορφής των αρχείων από τα οποία προήλθαν. Επίσης, περιγράφεται ο τρόπος επεξεργασίας των στοιχείων αυτών, ώστε να κωδικοποιηθούν 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 ΕΙΔΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ

Η απόφαση σχετικά με το είδος των στοιχείων που θα ήταν απαραίτητα ακολούθησε την οριστικοποίηση του αντικειμένου της παρούσα

Διπλωματικής Εργασίας, που είναι η συσχέτιση των βασικών μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, βροχόπτωση) με το πλήθος των ατυχημάτων, τον αριθμό των νεκρών, των νεκρών πεζών και τραυματιών πεζών στο λεκανοπέδιο της Αθήνας. Είναι λοιπόν προφανές ότι προκειμένου να γίνει η στατιστική διερεύνηση του βαθμού, στον οποίο υπάρχει μια τέτοια συσχέτιση και να προκύψει ένα αξιόπιστο μαθηματικό πρότυπο ήταν **αναγκαίο να συλλεχθούν δεδομένα**: α) θερμοκρασίας, β) βροχόπτωσης, γ) πλήθους οδικών ατυχημάτων, δ) αριθμού νεκρών, ε) αριθμού νεκρών πεζών και στ) αριθμού τραυματιών πεζών, που αφορούσαν στην περίοδο έρευνας και φυσικά στην περιοχή αναφοράς (λεκανοπέδιο της Αθήνας).

Ο **στόχος** ήταν αφενός να αυξηθεί η πιθανότητα ανάπτυξης αξιόπιστου προτύπου συσχέτισης και αφετέρου να εξασφαλιστεί στον μέγιστο δυνατό βαθμό, ότι το πρότυπο αυτό θα περιγράφει ικανοποιητικά τον τρόπο με τον οποίο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η βροχόπτωση επηρεάζουν τους εξεταζόμενους αριθμούς που αφορούν στην οδική ασφάλεια. Για αυτό το λόγο ήταν επιθυμητή η συλλογή δεδομένων που να καλύπτουν μεγάλη χρονική περίοδο (τουλάχιστον 10 έτη). Ακόμα, είναι σημαντικό αυτή η χρονική περίοδος να περιλαμβάνει και όσο το δυνατόν πιο πρόσφατα έτη. Τέλος αποφασίσθηκε στη μελέτη να χρησιμοποιηθούν ημερήσια στοιχεία.

Επομένως, τα **στοιχεία** που αναζητήθηκαν για το λεκανοπέδιο της Αθήνας, συγκεκριμένα ήταν:

- Η μέση ημερήσια θερμοκρασία (^oC)
- Το μέσο ύψος βροχόπτωσης (mm)
- Ο αριθμός των ατυχημάτων
- Ο αριθμός των νεκρών (εντός οχήματος)
- Ο αριθμός των νεκρών πεζών
- Ο αριθμός των τραυματιών πεζών

4.3 ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

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 Μετεωρολογικά Στοιχεία

Σε ότι αφορά στα καιρικά δεδομένα (θερμοκρασία και βροχόπτωση), ο αρμόδιος φορέας καταγραφής, κωδικοποίησης, ταξινόμησης, και «αποθήκευσης» είναι η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) και συγκεκριμένα η Διεύθυνση Κλιματολογίας – Τμήμα Στατιστικής Κλιματολογίας. Η ελεύθερη παροχή των στοιχείων είναι εφικτή σε οποιονδήποτε τα ζητήσει αρκεί να δικαιολογήσει επαρκώς τους λόγους για τους οποίους τα αναζητεί.

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 (^{o}C). Τα παρεχόμενα από την Ε.Μ.Υ. στοιχεία αφορούν ξεχωριστά σε κάθε σταθμό μέτρησης, κάθε έτος, και περιγράφουν τη μέση ημερήσια θερμοκρασία για κάθε ημέρα του έτους και αποτελούν τα πιο ακριβή διαθέσιμα (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997).

Σε ότι αφορά τη 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). Παρόλα αυτά, και με βάση πρόσφατες βελτιώσεις, τα δεδομένα της Ε.Μ.Υ. είναι τα πλέον έγκυρα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή διαθέσιμα. Τα στοιχεία αφορούν ξεχωριστά σε κάθε βροχομετρικό σταθμό, κάθε έτος, και περιγράφουν τη μέση ημερήσια βροχόπτωση για κάθε ημέρα του έτους.

4.3.2 Στοιχεία Ατυχημάτων

Αναφορικά με τους **αριθμούς που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια (πλήθος ατυχημάτων, αριθμοί νεκρών, τραυματιών κλπ)** πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση. Η ανάλυση των οδικών ατυχημάτων θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και να αποφεύγεται η άκριτη σύγκριση απολύτων αριθμών ή απλών ποσοστών. Για παράδειγμα η παρατήρηση ότι το 9% των ατυχημάτων συμβαίνουν στο εθνικό δίκτυο δεν παρέχει απ' ευθείας χρήσιμη γνώση και αντιθέτως παραπλανεί αφού δεν είναι γνωστός ο αριθμός των οχηματοχιλιομέτρων και επιβατοχιλιομέτρων στο εθνικό οδικό δίκτυο (Γκόλιας και Γιαννής, 1995).

Για την εκπόνηση της παρούσας έρευνας 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 και κωδικοποιούνται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Το σημαντικότερο πρόβλημα για τους μελετητές και ερευνητές στην Ελλάδα αποτελεί η έλλειψη στοιχείων και πληροφοριών και το οποίο αντιμετωπίζεται μόνο εφόσον δημιουργηθούν οι κατάλληλοι μηχανισμοί συλλογής και επεξεργασίας στοιχείων. Οι ερευνητές που επιθυμούν να συσχετίσουν τα οδικά ατυχήματα με τις καιρικές συνθήκες απαιτούν τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων στοιχείων και πληροφοριών από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Οι έρευνες συσχέτισης των οδικών ατυχημάτων και των αντίστοιχων νεκρών με τις καιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν την περιοχή που διασχίζει ένας οδικός άξονας επιτρέπουν την πρόβλεψη της επικινδυνότητας αυτού του άξονα και της σοβαρότητας των ατυχημάτων που θα συμβούν με στόχο τον ασφαλή σχεδιασμό και τη λήψη μέτρων βελτίωσης της οδικής ασφάλειας. Λόγω του περιορισμένου πεδίου εφαρμογής της πλειοψηφίας αυτών των ερευνών, η γενίκευση των αποτελεσμάτων τους πρέπει να γίνεται πάντα με ιδιαίτερη προσοχή (Νικολόπουλος, 2004).

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της **ΕΛ.ΣΤΑΤ**. 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^{ης} 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 Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε (σημερινού 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.

Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά οι **μεταβλητές** που περιλαμβάνονται στο **ΔΟΤΑ** και εισάγονται κωδικοποιημένες στη βάση δεδομένων. Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας (4.1) στον οποίο περιγράφονται επιλεγμένες μεταβλητές της βάσης δεδομένων.

- Τόπος ατυχήματος
- Είδος Οδού
- Χρόνος Ατυχήματος
- Παθόντες
- Αριθμός οχημάτων
- Ατμοσφαιρικές συνθήκες
- Συνθήκες οδοστρώματος
- Κατάσταση οδοστρώματος
- Φωτισμός κατά τη νύχτα
- Ειδικά στοιχεία οχήματος
- Τύπος οδού
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού
- Τύπος ατυχήματος πρώτης σύγκρουσης

- Ελιγμός οχημάτων
- Θέση και κίνηση πεζών
- Ρύθμιση κυκλοφορίας, σήμανση και σηματοδότηση
- Σκαρίφημα
- Δίπλωμα οδήγησης - Κατηγορία και έτος απόκτησης αυτού
- Εξάρτημα ασφαλείας
- Αλκοτέστ
- Στοιχεία οδηγού και παθόντων προσώπων

Τα στοιχεία αυτά, υφίστανται μια **δευτερογενή επεξεργασία - κωδικοποίηση** με βάση την οποία όλες 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 ΔΟΤΑ που κωδικογραφούνται στην ΕΛ.ΣΤΑΤ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται επιλεγμένες μεταβλητές της βάσης δεδομένων της ΕΛ.ΣΤΑΤ.

Πίνακας 4. 1: Περιγραφή επιλεγμένων μεταβλητών της βάσης δεδομένων για την περίοδο 1985-2005 της ΕΛ.ΣΤΑΤ.

Βάση Δεδομένων 1985-2005
▪ **Α/Α Ατυχήματος (Serial number of accident)**
▪ **Γεωγραφικός κώδικας οικισμού (Geographical code)**
▪ **Τύπος Περιοχής (Area type)** – κατοικημένη περιοχή – μη κατοικημένη περιοχή
▪ **Είδος Οδού (Road type)**

– Νέα Εθνική – Παλαιά Εθνική – Επαρχιακή – Δημοτική – Κοινοτική – Άλλο είδος
▪ **Έτος (Year)**
▪ **Νεκροί (number of persons killed)**
▪ **Βαριά τραυματίες (number of persons seriously injured)**
▪ **Ελαφρά τραυματίες (number of persons slightly injured)**
▪ **Αριθμός οχημάτων (number of vehicles)**
▪ **Καιρός 2 (Weather 2)** – καλοκαιρία – βροχή – άλλος
▪ **Συνθήκες Οδοστρώματος (pavement conditions)** – κανονικές (υγρό σε καλή κατάσταση) – υγρό – βρεγμένο – γλίτσα – χιονισμένο – παγωμένο – άλλες
▪ **Συνθήκες φωτισμού (lighting conditions)** – μέρα – σούρουπο – νύχτα ▪ **Φωτισμός κατά τη νύχτα (night lighting)** – τεχνητός φωτισμός επαρκής – τεχνητός φωτισμός αμυδρός – τεχνητός φωτισμός σβηστός – χωρίς εγκατάσταση φωτισμού

- **Κατευθύνσεις (number of directions)**
  - μία
  - δύο

- **Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση (number of lines per direction)**

- **Διαγράμμιση κατευθύνσεων στον άξονα της οδού (direction markings)**
  - ευκρινής
  - μη ευκρινής
  - όχι

- **Όχημα (Vehicle)**

- **Τύπος ατυχήματος (accident type)**
  - μετωπική
  - πλαγιομετωπική
  - πλάγια
  - νωτομετωπική
  - πρόσκρουση σε τρένο
  - πρόσκρουση οχήματος σε σταθμευμένο όχημα
  - πρόσκρουση σε όχημα που πραγματοποιεί στάση
  - πρόσκρουση σε όχημα που πραγματοποιεί διακοπή πορείας
  - πρόσκρουση οχήματος σε κτίσμα ή ελεύθερο αντικείμενο
  - παράσυρση πεζού
  - παράσυρση ζώου
  - εκτροπή στο αντίθετο ρεύμα
  - εκτροπή προς τα δεξιά
  - εκτροπή προς τα αριστερά
  - ανατροπή στην οδό
  - ανατροπή εκτός οδού
  - πυρκαγιά

– άλλος, να περιγραφεί
▪ **Ηλικία 2 (Age 2)** – 0-4 έτη – 5-14 έτη – 15-24 έτη – 25-34 έτη – 35-44 έτη – 45-54 έτη – 55-64 έτη – άνω των 65 ετών

4.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

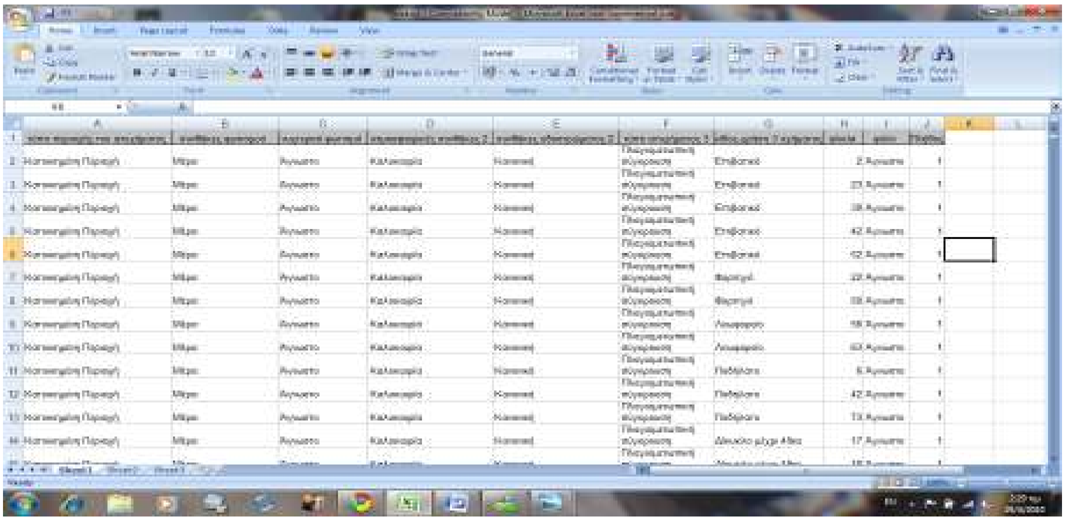
4.4.1 Εξαγωγή των κατάλληλων στοιχείων από τη βάση ΣΑΝΤΡΑ

Σύμφωνα λοιπόν με εκείνα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, από τα τέσσερα αρχεία (tables) της βάσης δεδομένων της ΕΛ.ΣΤΑΤ. **επιδιώχθηκε** μέσα από μια συστηματική διαδικασία να **συγκεντρωθούν** τα απαραίτητα στοιχεία για την πραγματοποίηση της παρούσας έρευνας. Χαρακτηριστικό είναι πως μπορεί να μην είναι χρήσιμες όλες οι παράμετροι που περιέχονται μέσα στη βάση δεδομένων ΣΑΝΤΡΑ. Με άλλα λόγια το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι να επιλεγούν τα στοιχεία εκείνα που μπορούν μετά από ανάλυση, να περιγράψουν όσο γίνεται καλύτερα το υπό διερεύνηση φαινόμενο, που δεν είναι άλλο από τη συσχέτιση των μετεωρολογικών συνθηκών με τα οδικά ατυχήματα.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι από τη βάση δεδομένων ΣΑΝΤΡΑ για τα ατυχήματα της περιόδου από το 1985 έως το 2005 έπρεπε να γίνει η **επιλογή των κατάλληλων στοιχείων**. Ο σχεδιασμός της βάσης αυτής παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας ερωτημάτων (queries) που επιτρέπουν στο χρήστη να επιλέξει από τα τέσσερα αρχεία (tables) όσα στοιχεία θεωρεί ότι είναι χρήσιμα για την έρευνα του.

Όπως είναι φυσικό για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, τα ερωτήματα (queries) που τέθηκαν σχετίζονταν με τους αριθμούς που αφορούν στα οδικά ατυχήματα και τις καιρικές συνθήκες υπό τις οποίες συνέβησαν. Πιο συγκεκριμένα, από **τη βάση δεδομένων εξήχθησαν στοιχεία** για το αριθμό των οδικών ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών πεζών και των τραυματιών πεζών για την περίοδο της μελέτης. Επίσης καταγράφηκαν και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες καθώς και οι συνθήκες οδοστρώματος.

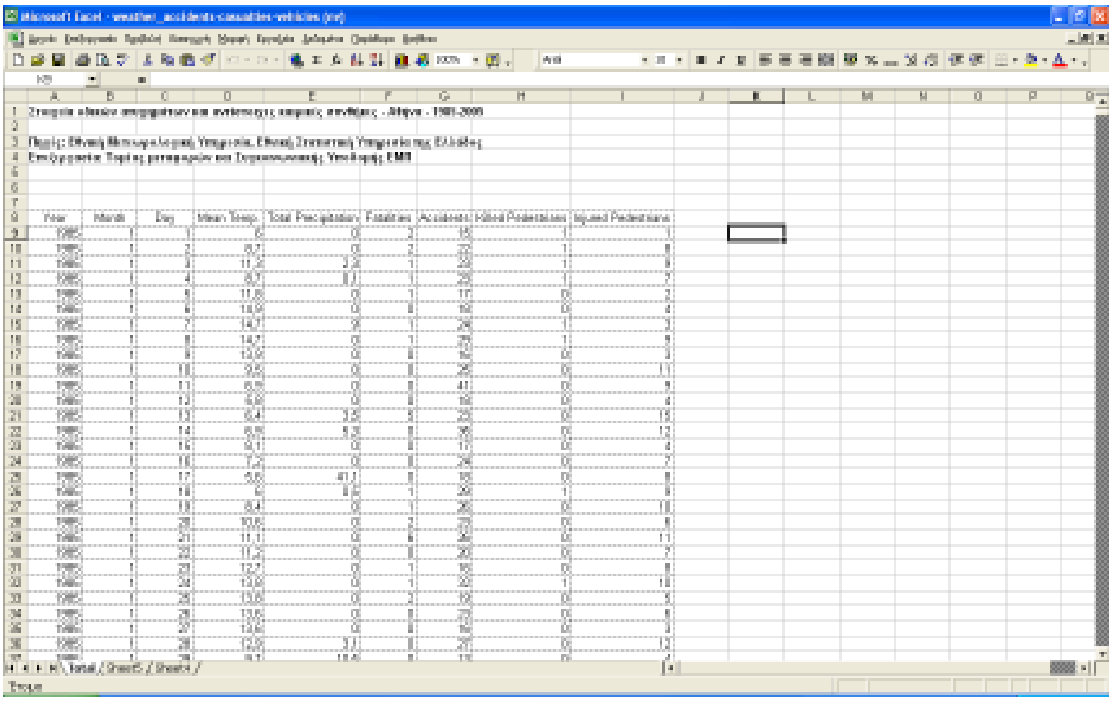
Μια τυπική μορφή των αποτελεσμάτων της αναζήτησης με τη χρήση ερωτημάτων, έτσι όπως εξάγονται από τη ΣΑΝΤΡΑ παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4. 1: Μορφή αποτελεσμάτων έτσι όπως εξάγονται από τη ΣΑΝΤΡΑ

4.4.2 Επεξεργασία και διαμόρφωση των στοιχείων

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας ήταν η συσχέτιση χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και μετεωρολογικών συνθηκών. Επομένως, η μορφή με την οποία εξήχθησαν τα στοιχεία από τη ΣΑΝΤΡΑ δεν ήταν ικανή να χρησιμοποιηθεί απευθείας στο λογισμικό της στατιστικής ανάλυσης. Με άλλα λόγια, έπρεπε τα εξαχθέντα στοιχεία να υποστούν μια επεξεργασία τέτοια ώστε να αποτελούν στοιχεία χρονοσειρών και να περιέχονται σε συγκεκριμένη μορφή αρχείου που να είναι συμβατή με το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού ανάλυσης.



Εικόνα 4. 2: Αρχικό αρχείο δεδομένων στο Microsoft Excel

Εξαιτίας της ανάγκης αυτής έγινε χρήση του Microsoft Excel. Η μορφή του αρχικού αρχείου Excel φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν για κάθε ημέρα από 1/1/1985 έως και 31/12/2005 ο αριθμός των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών και τραυματιών πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Στη συνέχεια, σε δύο ξεχωριστές στήλες τοποθετήθηκαν και οι τιμές της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης για την παραπάνω περίοδο, όπως προκύπτουν από τα αντίστοιχα αρχεία της ΕΜΥ.

Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψε ένα λογιστικό φύλλο (Excel) που περιελάμβανε οκτώ στήλες:

Year: Το έτος (τιμές από 1985 έως 2005)

Month: Ο μήνας (τιμές από 1 έως 12)

Day: Η ημέρα (τιμές από 1 έως 31)

Mean Temp.: Η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε ^{o}C, για την αντίστοιχη ημερομηνία των τριών πρώτων στηλών

Total Precipitation: Το μέσο ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης (κυρίως βροχόπτωσης) σε mm, για την αντίστοιχη ημερομηνία των τριών πρώτων στηλών

Fatalities: Ο αριθμός των νεκρών που παρατηρήθηκε την ημερομηνία των τριών πρώτων στηλών

Accidents: Ο αριθμός των ατυχημάτων που παρατηρήθηκε την ημερομηνία των τριών πρώτων στηλών

Killed Pedestrians: Ο αριθμός των νεκρών πεζών που παρατηρήθηκε την ημερομηνία των τριών πρώτων στηλών

Injured Pedestrians: Ο αριθμός των τραυματιών πεζών που παρατηρήθηκε την ημερομηνία των τριών πρώτων στηλών

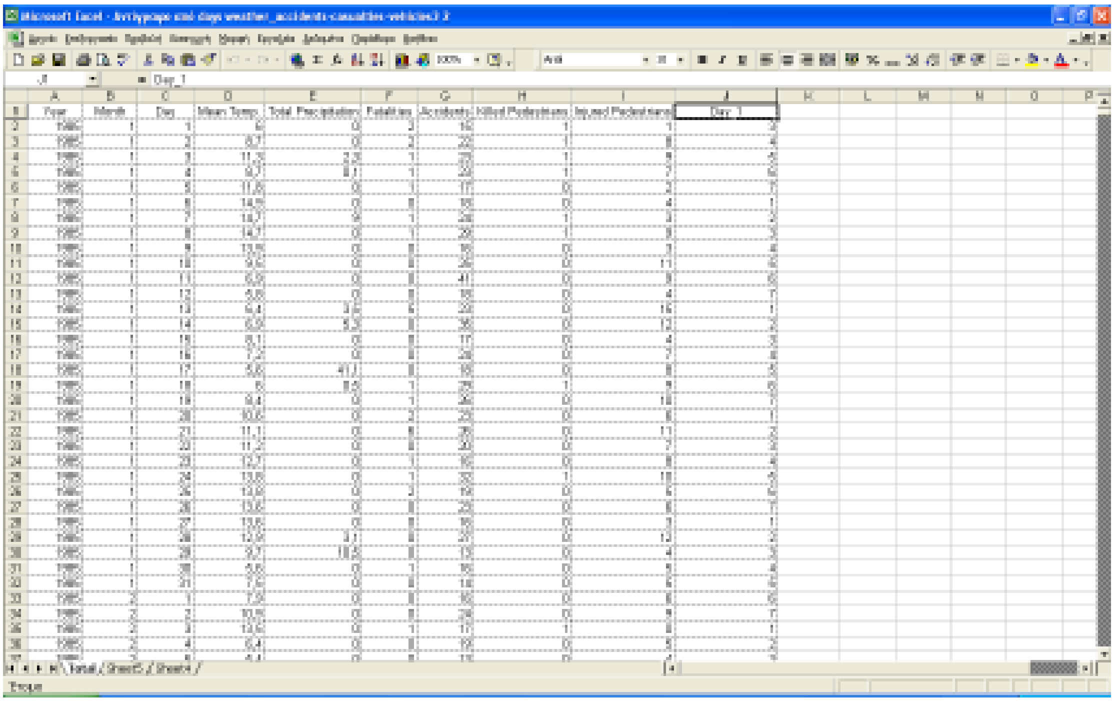
Στη φάση όμως αυτή, παρατηρήθηκε ότι στο αρχείο παρουσιάζονταν μόνο η ημερομηνία όχι και η ημέρα της εβδομάδας. Πιο συγκεκριμένα δεν αναφέρονταν σε κάθε ημερομηνία κατά την περίοδο μελέτης η ημέρα εβδομάδας στην οποία αντιστοιχούσαν οι παρατηρηθείσες τιμές. Το γεγονός αυτό εμπόδιζε τη δημιουργία ψευδομεταβλητών για κάθε ημέρα της εβδομάδας (Κυριακή, Δευτέρα,…).

Για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα πραγματοποιήθηκε η εξής διαδικασία. Σε αρχεία ημερολογίων (π.χ. στο ημερολόγιο του ρολογιού της γραμμής εργασιών των windows) βρέθηκε σε ποια ημέρα της εβδομάδας αντιστοιχούσε η 1/1/1985. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.3 που ακολουθεί, η πρωτοχρονιά του 1985 συνέπεσε ημέρα Τρίτη. Συνεπώς η $2^{α}$ Φεβρουαρίου 1985 συνέπεσε Τετάρτη κ.ο.κ.

Εικόνα 4. 3: Εύρεση 1/1/1985

Πλέον με την παραπάνω διαδικασία έγινε γνωστό σε ποιες ημέρες της εβδομάδας αντιστοιχούσε κάθε τιμή που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο μελέτης από 1/1/1985 έως και 31/12/2005.

Στη συνέχεια, αποφασίστηκε για κάθε ημέρα της εβδομάδας να αντιστοιχιστεί ένας αριθμός από το 1 έως το 7. Πιο συγκεκριμένα, στην Κυριακή αντιστοιχήθηκε ο αριθμός 1, στη Δευτέρα ο αριθμός 2, στην Τρίτη ο αριθμός 3 κ.ο.κ. Στο Σάββατο, τελευταία ημέρα της εβδομάδας, αντιστοιχήθηκε ο αριθμός 7. Έτσι δημιουργήθηκε στο αρχείο Excel μία επιπλέον στήλη (με τίτλο DAY_1) με τους «αριθμούς-ταυτότητες» για τις ημέρες της εβδομάδας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4. 4: Δημιουργία της νέας στήλης DAY_1

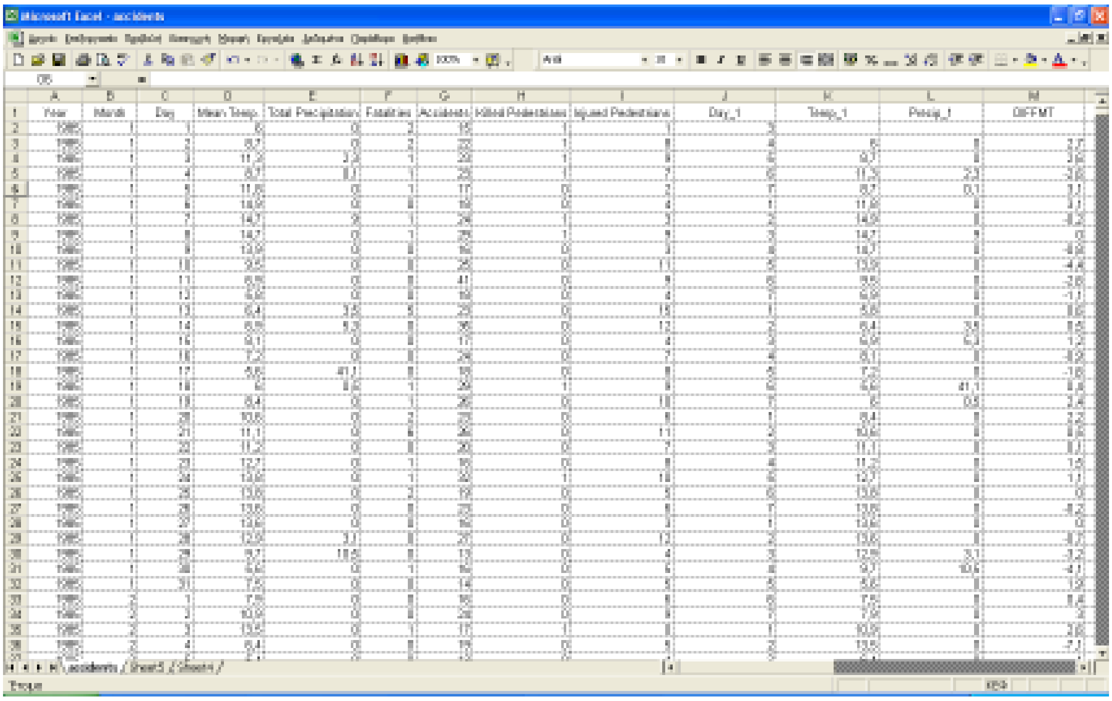
Τέλος, πριν την εισαγωγή του διαμορφωθέντος αρχείου Excel (αρχείο εισόδου) στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, σε κάθε παρατήρηση (ημερομηνία) της περιόδου μελέτης αντιστοιχήθηκαν η τιμή της θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας, δηλαδή δημιουργήθηκαν μεταβλητές με υστέρηση (lagged variables). Έτσι στο αρχείο εισόδου προστέθηκαν νέες στήλες (μεταβλητές). Επίσης υπολογίστηκε για κάθε ημέρα και η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας με τη μέση θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας (διαφορά θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών).

Πιο συγκεκριμένα, προστέθηκαν νέες στήλες, οι οποίες αντιστοιχούσαν στις εξής μεταβλητές:

Temp_1: Η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε ^{o}C, για την προηγούμενη ημέρα της ημερομηνίας των τριών πρώτων στηλών

Precip_1: Το μέσο ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης (κυρίως βροχόπτωσης) σε mm, για την προηγούμενη ημέρα της ημερομηνίας των τριών πρώτων στηλών

DIFFMT: Η διαφορά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας μιας ημέρας από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας (διαφορά των θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών)

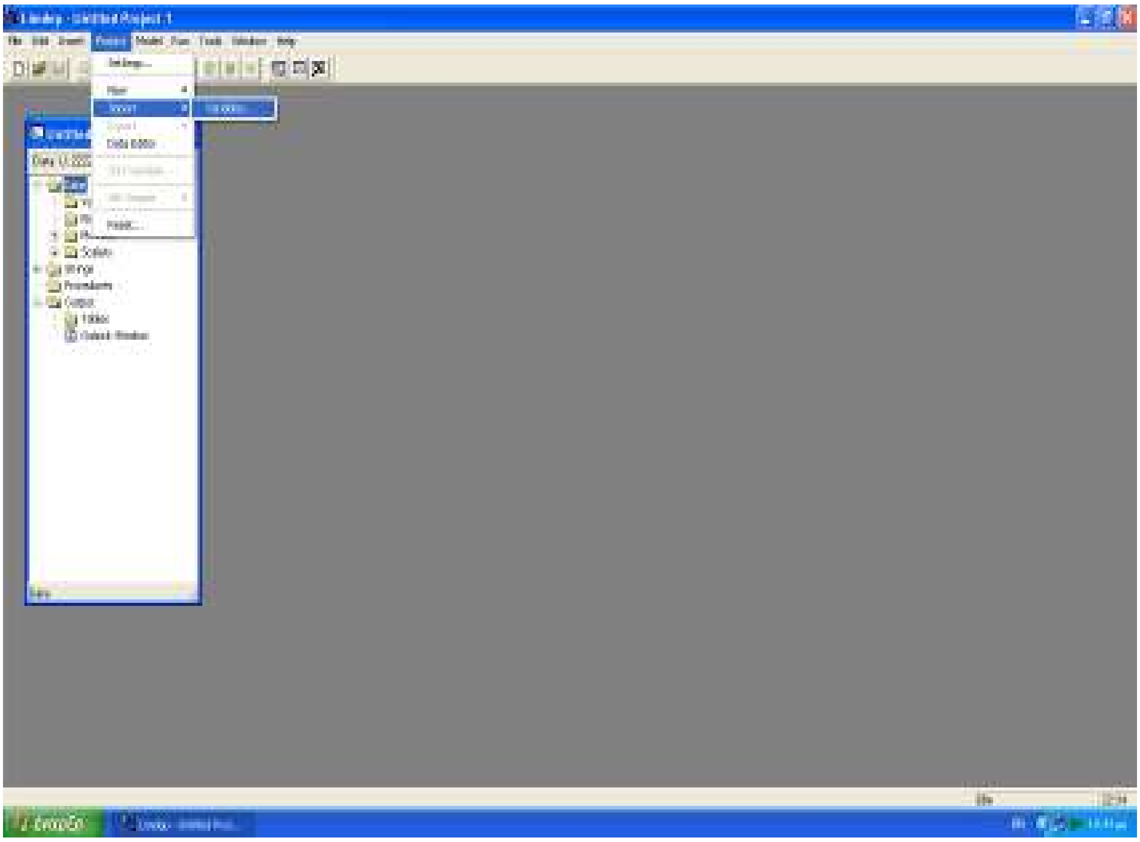


Εικόνα 4. 5: Μεταβλητές με υστέρηση και μεταβλητές από πράξεις

4.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Μετά τη διαμόρφωση των αρχείων εισόδου στο Excel, με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, ακολούθησε η **εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.**

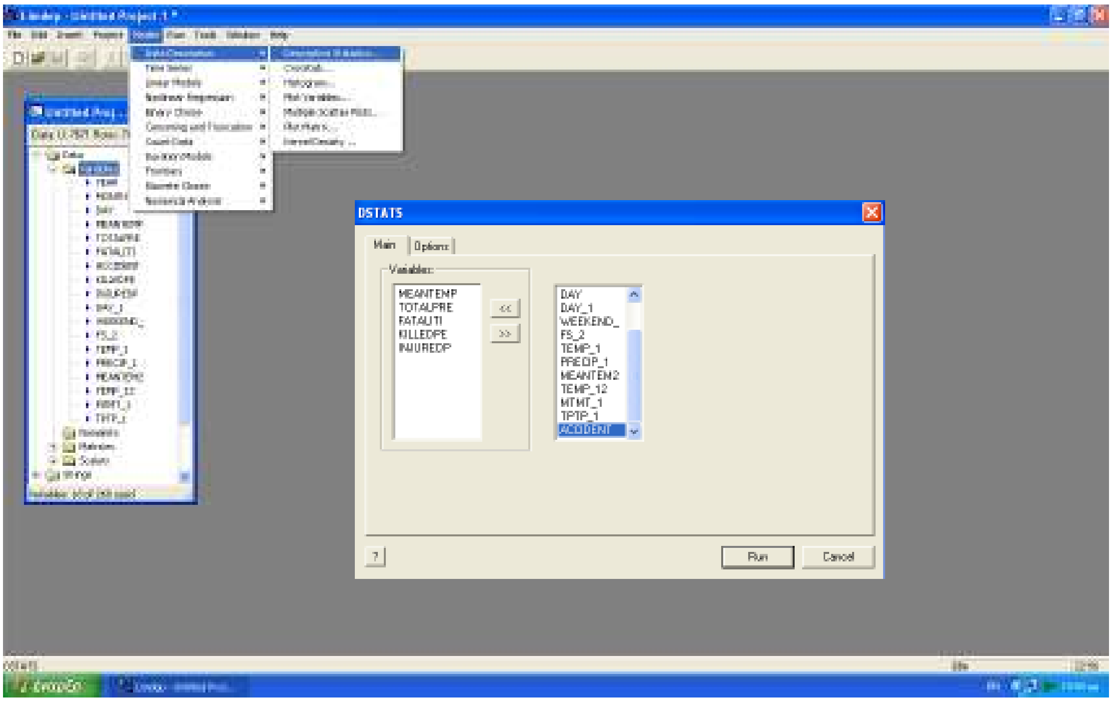
Η εισαγωγή των μεταβλητών που περιέχονται στα αρχεία εισόδου γίνεται με την εντολή **Project** ⟶**Import** ⟶**Variables,** όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



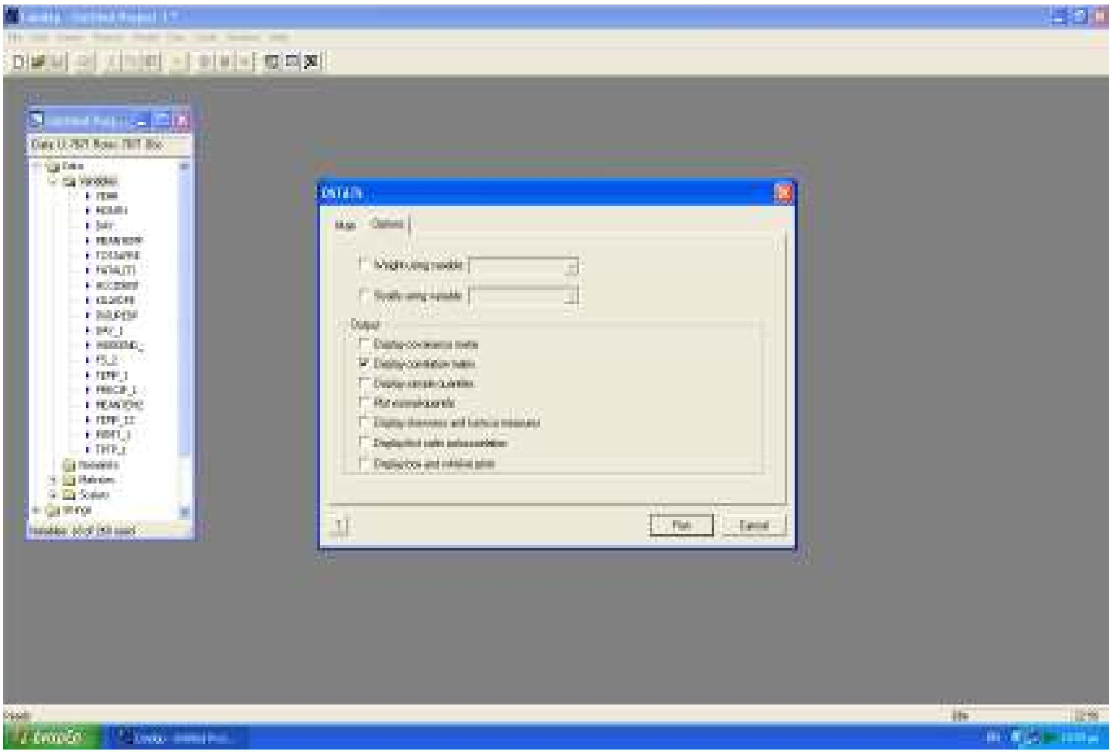
Εικόνα 4. 6: Εισαγωγή μεταβλητών (αρχείων εισόδου)

Στη συνέχεια, αφού πλέον έχουν εισαχθεί οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση, μπορεί με τις **κατάλληλες εντολές να γίνει η στατιστική επεξεργασία**.

Για την περιγραφική στατιστική ανάλυση των στοιχείων χρησιμοποιείται η εντολή **Descriptive Statistics (DSTATS).** Η εντολή αυτή είναι διαθέσιμη από το μενού **Model** ⟶ **Data Description.** Με την εντολή αυτή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη του λογισμικού να πραγματοποιήσει περιγραφική στατιστική ανάλυση των μεταβλητών που έχει επιλέξει. Επίσης από το παράθυρο της εντολής αυτής παρέχεται και η δυνατότητα υπολογισμού των συντελεστών συσχέτισης των επιλεγμένων μεταβλητών μεταξύ τους (ανά ζεύγη). Αυτό είναι δυνατό με την εντολή **Display Correlation Matrix** που επιλέγεται από το μενού Options τους παραθύρου της εντολής **DSTATS.** Η εντολή εκτελείται με την επιλογή του πλήκτρου **Run**. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η παραπάνω διαδικασία.



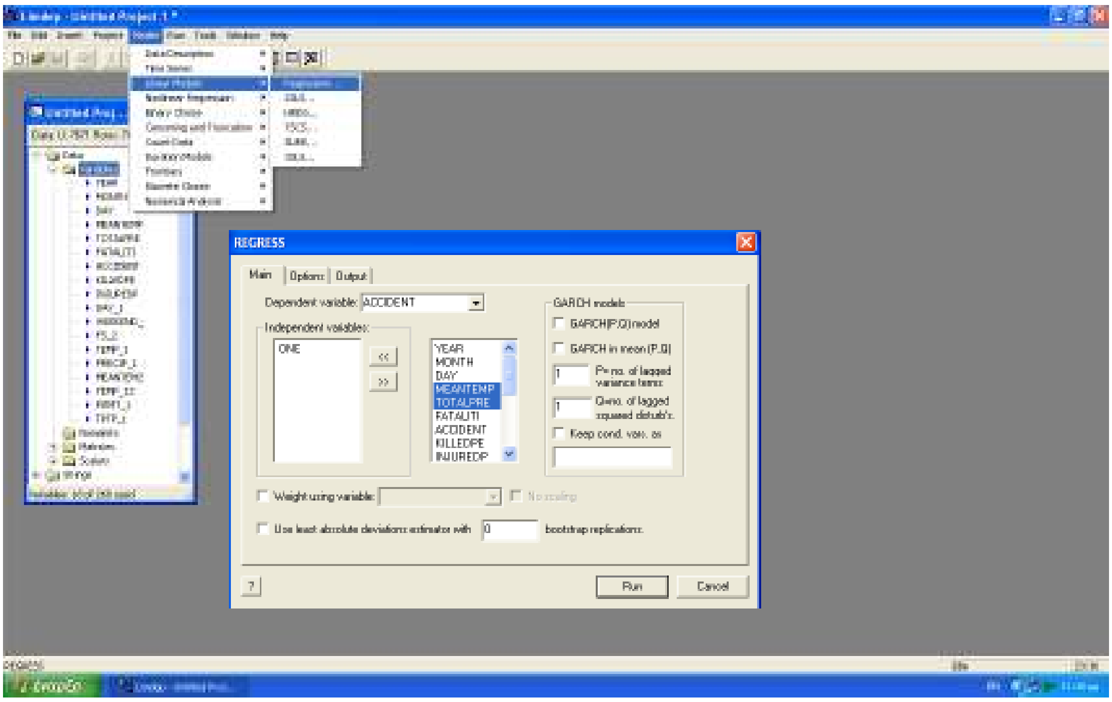
Εικόνα 4. 7: Παράδειγμα επιλογής μεταβλητών για περιγραφική στατιστική ανάλυση



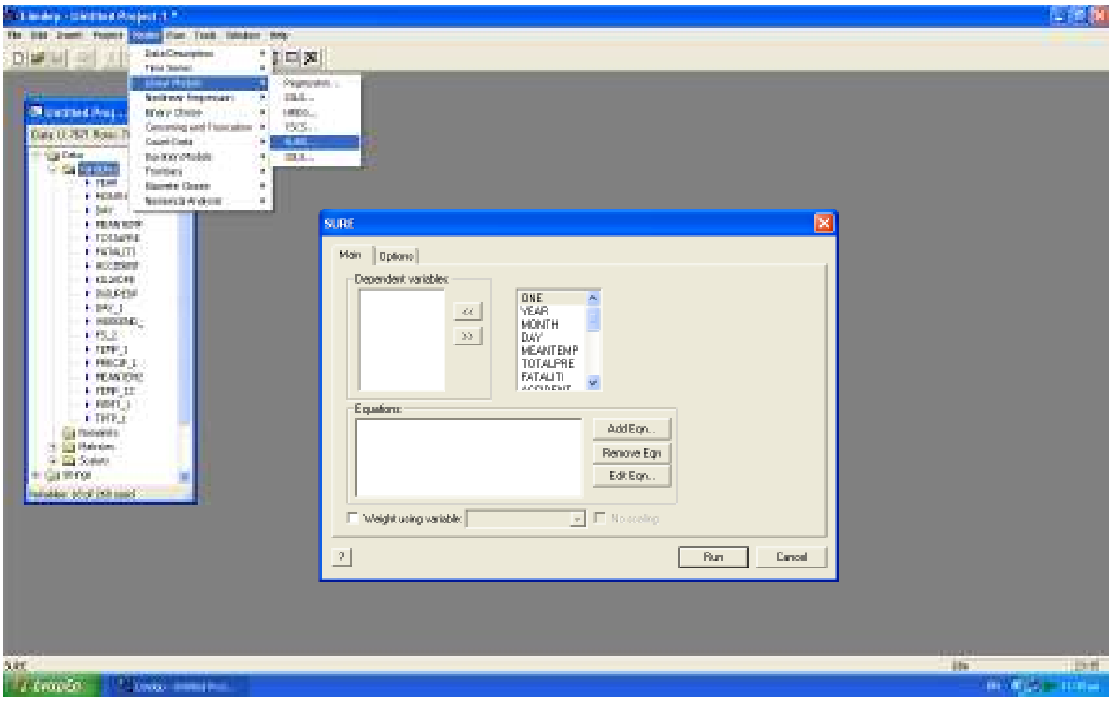
Εικόνα 4. 8: Επιλογή υπολογισμού συντελεστών συσχέτισης των επιλεγμένων μεταβλητών (Display correlation matrix)

Η ανάπτυξη προτύπων γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται με την εντολή **Regression.** Η εντολή αυτή είναι διαθέσιμη από το μενού **Model** ⟶ **Linear Models** ⟶ **Regression.** Με την εντολή αυτή εκτελούνται γραμμικές παλινδρομήσεις. Για κάθε περίπτωση (δοκιμή), η εξαρτημένη μεταβλητή εισάγεται στο πλαίσιο dependent variable. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισάγονται στο πλαίσιο independent variables. Με την επιλογή του πλήκτρου **Run**, εμφανίζεται το αρχείο εξόδου με τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης (Εικόνα 4.9).

Σε περίπτωση που χρειάζεται να δημιουργηθούν συστήματα φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Equations – SURE), τότε πρέπει να εκτελεστεί η εντολή **Model** ⟶ **Linear Models SURE…** Στο πλαίσιο **Dependent variables** εισάγονται οι εξαρτημένες μεταβλητές των εξισώσεων του συστήματος από την παρακείμενη λίστα μεταβλητών. Στο πλαίσιο **Equations** εισάγονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές για κάθε εξίσωση του συστήματος, διαμορφώνοντας έτσι τη μορφή των εξισώσεων. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην Εικόνα 4.10.

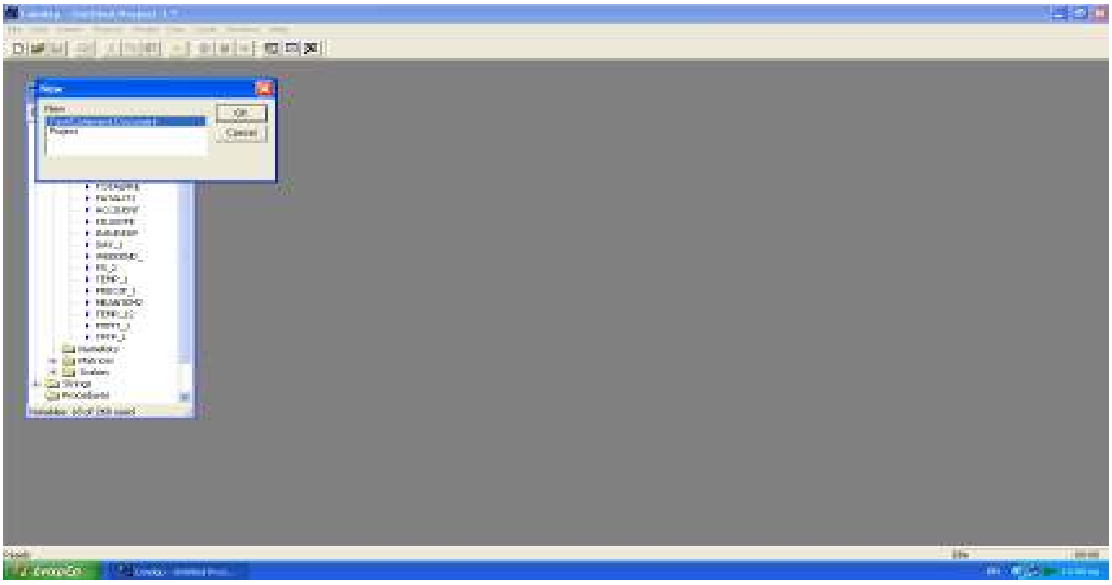


Εικόνα 4. 9: Παράδειγμα εκτέλεσης Γραμμικής Παλινδρόμησης

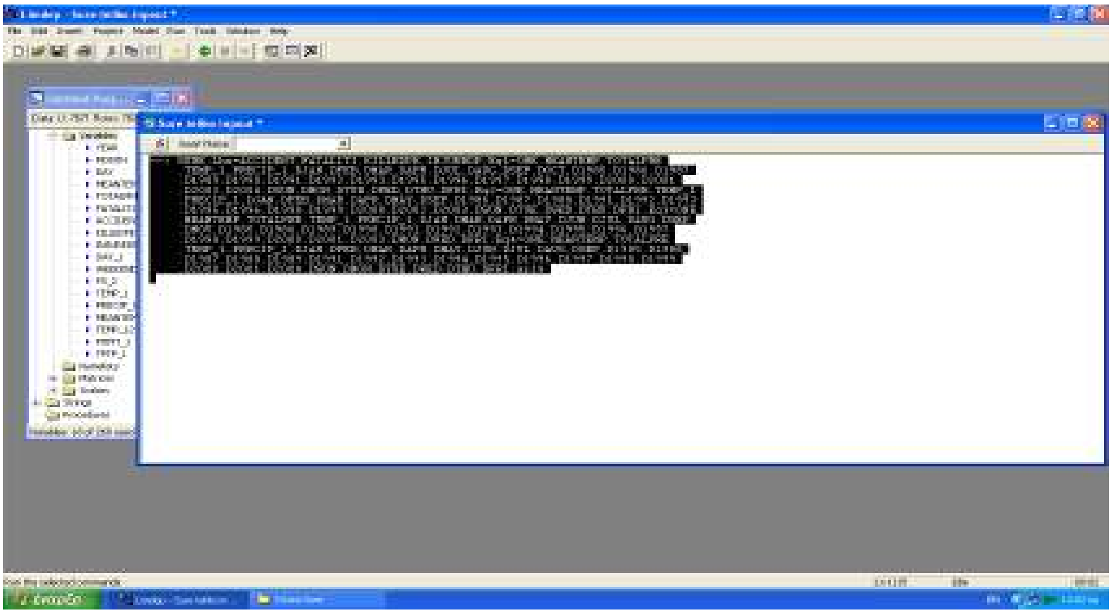


Εικόνα 4. 10: Δημιουργία Συστήματος Γραμμικών Εξισώσεων (SURE)

Τέλος, εντολές μπορούν να δοθούν και από αρχεία τύπου **Text/Command Document**, τα οποία δημιουργούνται από το μενού **File ⟶ New.** Στην περίπτωση αυτή, αφού πληκτρολογηθεί η εντολή (απαραίτητη είναι στο τέλος του κειμένου της εντολής η τοποθέτηση του συμβόλου $) και επιλεχθεί το κείμενο της, πατώντας το πλήκτρο **GO**, γίνεται η εκτέλεση της εντολής (Εικόνες 4.11 και 4.12).

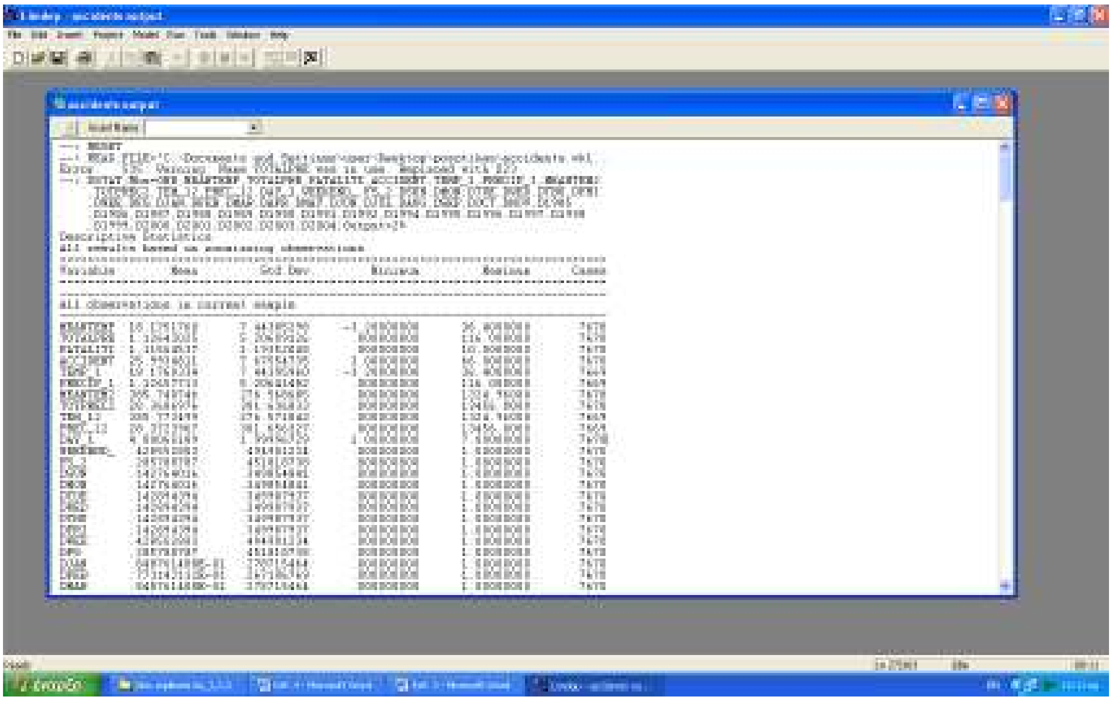


Εικόνα 4. 11: Δημιουργία αρχείου Text/Command Document



Εικόνα 4. 12: Εκτέλεση εντολής από Text/Command Document

Όλα τα αποτελέσματα κάθε εντολής εμφανίζονται στο αρχείο εξόδου **(output file)**. Τυπική μορφή του αρχείου εξόδου φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4. 13: Τυπική Μορφή αρχείου εξόδου (output file)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε κυρίως με την εφαρμογή της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης. Έτσι προέκυψαν γραμμικά 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 (συντελεστής, ελαστικότητα κλπ). Επίσης, παρουσιάζονται και σχετικά διαγράμματα που επιτρέπουν τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μετά τη διαμόρφωση του αρχείου Excel, με τη διαδικασία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, και πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση των στοιχείων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές των κυριότερων στατιστικών μεγεθών (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, κλπ) για τις τιμές των μεταβλητών των μετεωρολογικών συνθηκών και της οδικής ασφάλειας.

Πίνακας 5. 1: Αποτελέσματα περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης

	Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)	Μέσο Ημερήσιο Ύψος Βροχόπτωσης (mm)	Αριθμός Νεκρών	Αριθμός Ατυχημάτων	Αριθμός Νεκρών Πεζών	Αριθμός Τραυματιών Πεζών
Μέσος Όρος	18,21	1,13	1,12	25,99	0,36	5,66
Τυπική απόκλιση	7,42	5,21	1,19	7,68	0,61	2,96
Διάμεσος	17,60	0,00	1,00	25,00	0,00	5,00
MAX	36,40	116,00	10,00	66,00	6,00	21,00
MIN	-3,20	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
Επικρατούσα Τιμή	13,30	0,00	0,00	25,00	0,00	5,00

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα, μπορούν να εξαχθούν τα πρώτα χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εικόνα που παρουσιάζουν τα εξεταζόμενα μεγέθη που αποτελούν άλλωστε και τις μεταβλητές της παρούσας έρευνας.

Αναφορικά με τη **μέση ημερήσια θερμοκρασία**, παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των τιμών της είναι ίσος με 18,21 °C. Επίσης το μέγεθος αυτό παρουσιάζει τυπική απόκλιση ίση με 7,42 °C. Τέλος, η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η θερμοκρασία την περίοδο της μελέτης είναι 36,40 °C και η ελάχιστη – 3,20 °C. Η επικρατούσα τιμή είναι 13,30 °C.

Ο μέσος όρος του **μέσου ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης** ισούται με 1,13 mm, ενώ η τυπική απόκλιση με 5,21 mm. Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει το μέγεθος αυτό είναι 116,00 mm, ενώ η ελάχιστη 0,00 mm. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή που εμφανίζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (επικρατούσα τιμή) είναι η τιμή 0,00 mm. Μάλιστα, σε σύνολο 7.670 παρατηρήσεων η τιμή αυτή εμφανίζεται 6.340 φορές (υπολογισμός με τη στατιστική συνάρτηση COUNTIF του προγράμματος Excel). Αυτό είναι ένα σημαντικό στοιχείο που χαρακτηρίζει το σχετικά ξηρό κλίμα της περιοχής του λεκανοπεδίου της Αθήνας.

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχόπτωσης που παρατηρήθηκαν κάθε μήνα κατά την περίοδο μελέτης.

Πίνακας 5. 2: Μέγιστες και Ελάχιστες τιμές Θερμοκρασίας και Ύψους Βροχόπτωσης

ΜΗΝΑΣ	Θερμοκρασία (^oC)		Ύψος Βροχόπτωσης (mm)	
	MIN	MAX	MIN	MAX
Ιανουάριος	-0,8	16,8	0,0	53,0
Φεβρουάριος	-3,2	17,4	0,0	45,4
Μάρτιος	0,1	22,9	0,0	116,0
Απρίλιος	6,9	24,1	0,0	82,0
Μάιος	12,7	29,4	0,0	27,2
Ιούνιος	16,3	32,7	0,0	23,4
Ιούλιος	21,2	36,4	0,0	91,0
Αύγουστος	21,4	34,6	0,0	51,5
Σεπτέμβριος	17,4	33,1	0,0	75,9
Οκτώβριος	9,6	28,6	0,0	44,7
Νοέμβριος	4,8	21,9	0,0	92,0
Δεκέμβριος	1,2	18,8	0,0	73,2

Όπως είναι λογικό, οι χαμηλότερες μέσες ημερήσιες **θερμοκρασίες** παρατηρήθηκαν τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριος και Φεβρουάριος) οι οποίες ήταν θερμοκρασίες υπό το μηδέν. Οι ψηλότερες μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν τους θερινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο) και ήταν πάνω από 30^oC. Αναφορικά με το μέσο ημερήσιο **ύψος βροχόπτωσης**, σε όλους τους μήνες παρατηρήθηκαν ημέρες με ύψος βροχόπτωσης 0,0 mm (ξηρές ημέρες). Η μέγιστη τιμή βροχόπτωσης που παρατηρήθηκε ήταν 116,0 mm και εμφανίστηκε το μήνα Μάρτιο. Ενώ οι μήνες

Μάιος και Ιούνιος παρουσίασαν τα χαμηλότερα ύψη βροχόπτωσης (27,2 mm και 23,4 mm αντίστοιχα).

Όσον αφορά τον **αριθμό των ημερήσιων ατυχημάτων**, παρατηρείται ότι εμφανίζει μέσο όρο περίπου 26 ατυχήματα ανά ημέρα, με τυπική απόκλιση 7,68 ατυχήματα. Επίσης η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ισούνται με 66 και 3 ατυχήματα, αντίστοιχα. Τέλος, η επικρατούσα τιμή για αυτό το μέγεθος είναι η τιμή 25.

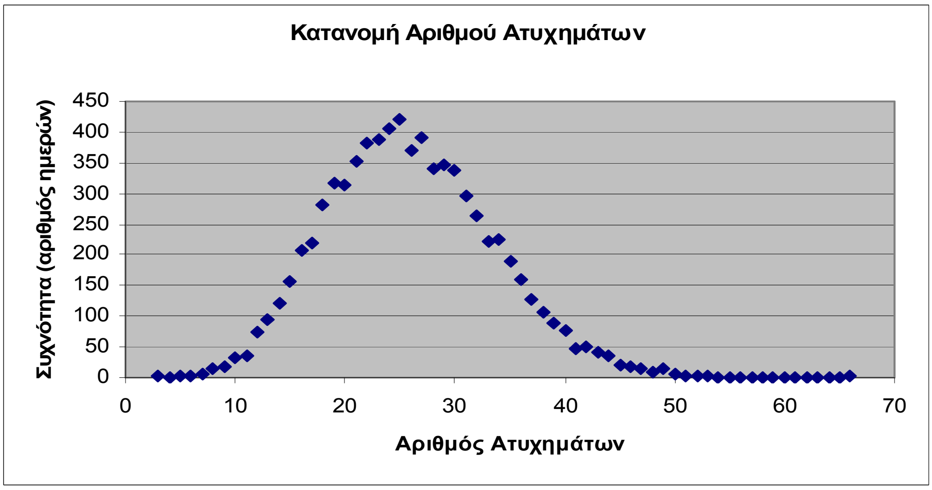
Τα αντίστοιχα στατιστικά μεγέθη για τους **αριθμούς των νεκρών** παρουσιάζουν μέσο όρο 1,12 νεκρούς την ημέρα, με τυπική απόκλιση 1,19. Ο μέγιστος αριθμός νεκρών σε μια ημέρα είναι 10, ενώ ο ελάχιστος 0. Χαρακτηριστικό είναι ότι η επικρατούσα τιμή για αυτή την μεταβλητή ισούται με 0 και μάλιστα παρουσιάζει συχνότητα εμφάνισης ίση με 2.837. Με άλλα λόγια, από τις 7.670 ημέρες της περιόδου μελέτης δεν καταγράφηκε κανένας νεκρός τις 2.837 ημέρες.

Τέλος, για τους **αριθμούς που σχετίζονται με τους πεζούς** προέκυψαν: για **τους νεκρούς,** μέσος όρος 0,36 νεκροί πεζοί ανά ημέρα, με τυπική απόκλιση 0,61. Η μέγιστη τιμή είναι ίση με 6, ενώ η ελάχιστη ίση με 0. Η επικρατούσα τιμή είναι ίση με μηδέν, με συχνότητα εμφάνισης 5.393 φορές. Για δε **τους τραυματίες πεζούς**, τα μεγέθη είναι λίγο πιο αυξημένα σε σχέση με τα αντίστοιχα των νεκρών αυτής της κατηγορίας. Αναλυτικότερα, ο μέσος όρος είναι 5,66 τραυματίες πεζοί ανά ημέρα, με τυπική απόκλιση 2,96. Ο μέγιστος αριθμός τραυματιών πεζών σε μια ημέρα ισούται με 21, ενώ ο ελάχιστος με 0. Η τιμή δε που επικρατεί είναι 5 τραυματίες πεζοί ανά ημέρα.

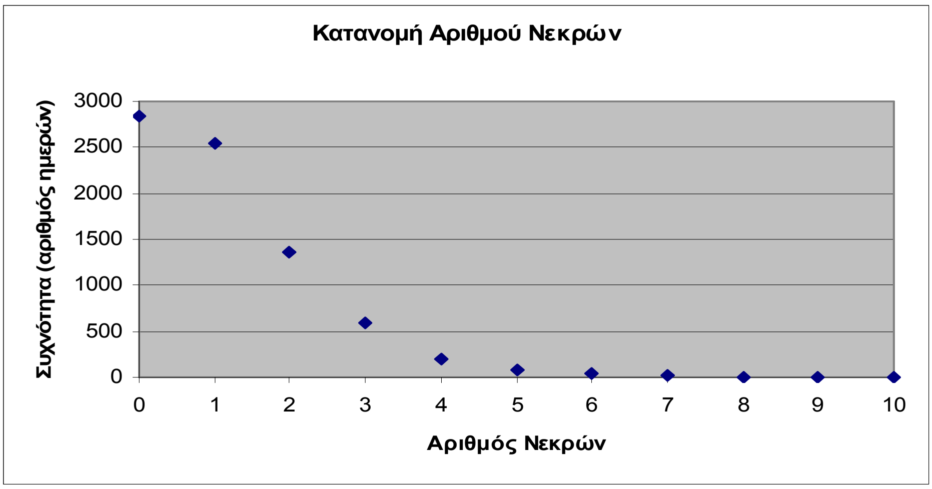
Συνοψίζοντας, παρατηρείται ότι κατά την περίοδο της μελέτης (21 έτη από 1985 έως 2005), η μέση ημερήσια θερμοκρασία ανά ημέρα λάμβανε τιμές από -3,2 ^{o}C έως 36,4 ^{o}C, με μέση τιμή 18,2 ^{o}C. Αντίθετα, το μέσο ύψος βροχόπτωσης κυμάνθηκε από 0,00 mm (που ήταν και η συνηθέστερη τιμή) έως 116,00 mm, με μέσο όρο 5,21 mm. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το **κλίμα της Αθήνας** μπορεί να χαρακτηριστεί ως ήπιο κλίμα με μέση θερμοκρασία κοντά στους 20 ^{o}C. Συνάμα, το κλίμα αυτό είναι και ξηρό με χαμηλά ύψη βροχόπτωσης και πολλές πλήρως ξηρές ημέρες (με ύψος βροχόπτωσης 0,00 mm).

Αναφορικά με τους αριθμούς που αφορούν στην **οδική ασφάλεια** παρατηρείται ότι, ο μέσος ημερήσιος αριθμός ατυχημάτων είναι 26 ατυχήματα ανά ημέρα. Σε αυτά χάνει τη ζωή του περίπου 1 άτομο την ημέρα. Επίσης σε ημερήσια βάση χάνουν τη ζωή τους 0,36 πεζοί, ενώ τραυματίζονται περίπου 5 με 6 πεζοί. Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι για περίπου το 1/3 του συνολικού αριθμού των ημερών της περιόδου μελέτης δεν παρατηρήθηκε κανένας νεκρός. Αντίστοιχα, για κάτι παραπάνω από τα 2/3 των ημερών της περιόδου μελέτης (70%) δεν παρατηρήθηκε κανένας νεκρός πεζός.

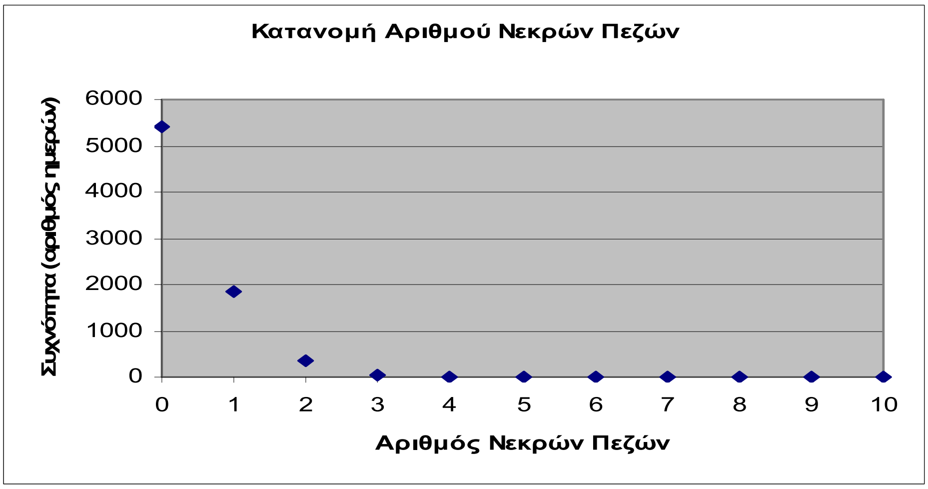
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα κατανομής (συχνοτήτων) για τους αριθμούς που σχετίζονται με τα οδικά ατυχήματα και τους παθόντες.



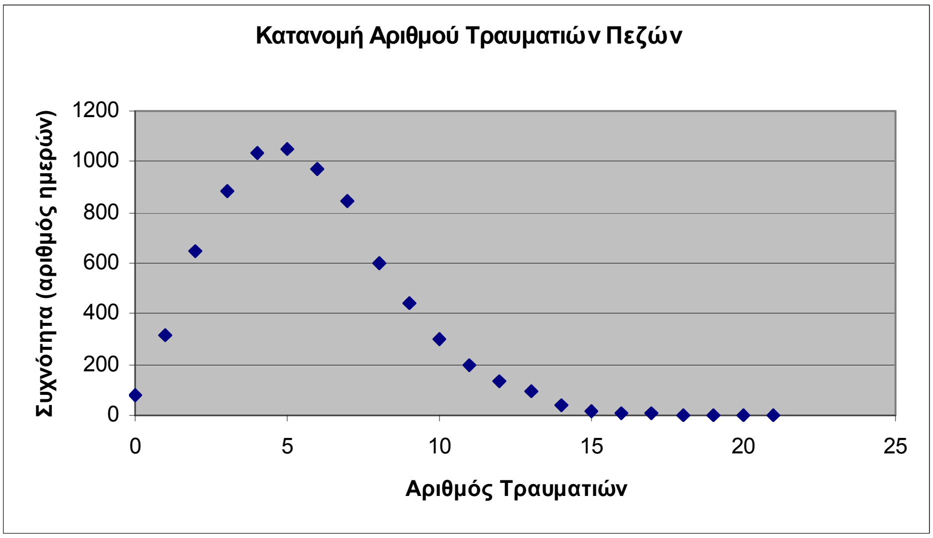
Γράφημα 5. 1: Κατανομή αριθμού ατυχημάτων



Γράφημα 5. 2: Κατανομή αριθμού νεκρών



Γράφημα 5. 3: Κατανομή αριθμού νεκρών πεζών

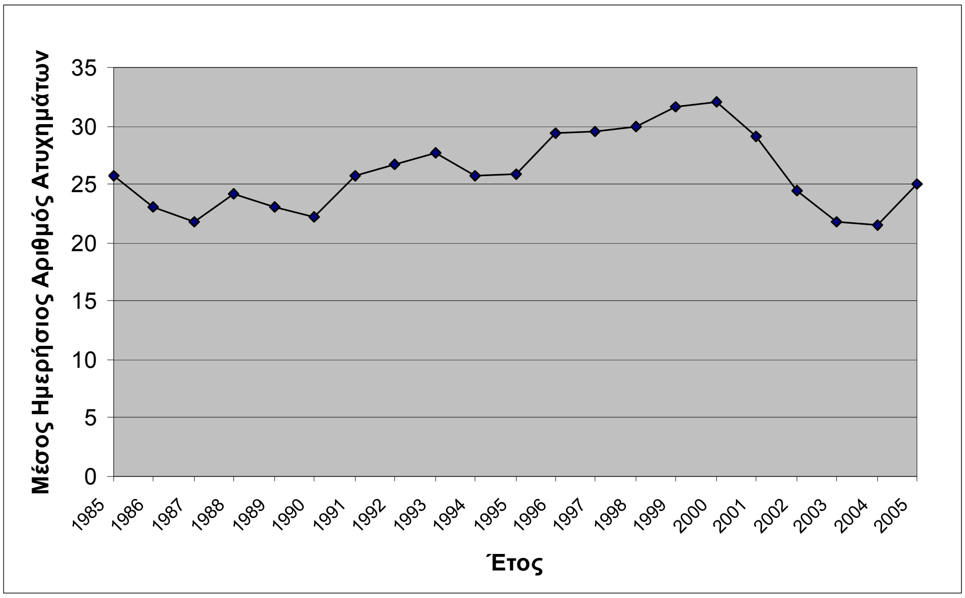


Γράφημα 5. 4: Κατανομή αριθμού τραυματιών πεζών

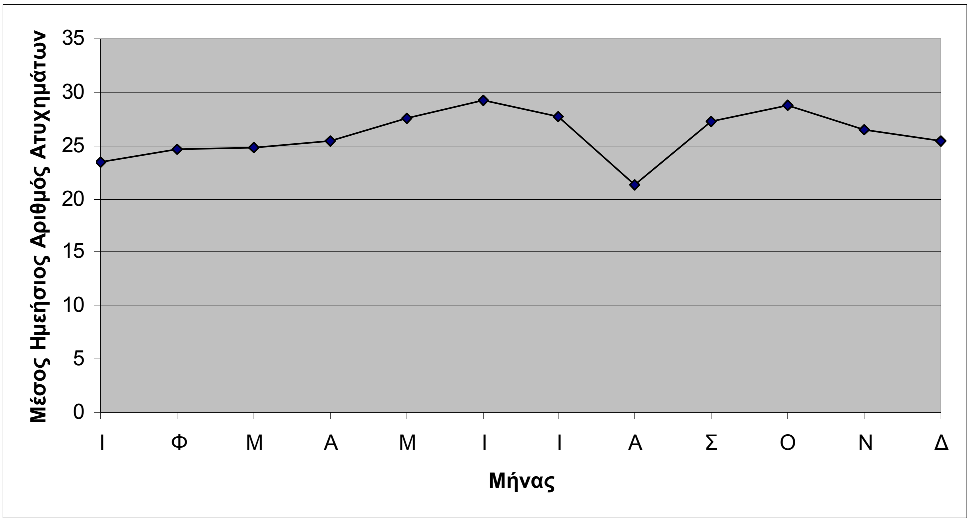
Από τη μορφή των παραπάνω γραφημάτων μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με το **είδος της κατανομής** που ακολουθεί η κάθε μεταβλητή που αφορά στους αριθμούς που σχετίζονται με τα οδικά ατυχήματα. Σημειωτέον δε ότι οι μεταβλητές αυτές αποτελούν τις εξαρτημένες μεταβλητές της παρούσας έρευνας.

Αναφορικά με τον **αριθμό των ατυχημάτων**, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι το διάγραμμα της κατανομής του (Γράφημα 4.1) προσεγγίζει την κανονική κατανομή σε ικανοποιητικό βαθμό, παρά τη «μικρή» θετική του ασυμμετρία. Έτσι θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ο αριθμός των ατυχημάτων ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η ίδια θεώρηση μπορεί να γίνει και για τους **αριθμούς των τραυματιών πεζών**. Από την άλλη πλευρά, για τους **αριθμούς που σχετίζονται με τους νεκρούς και τους νεκρούς πεζούς** φαίνεται ότι δεν ακολουθείται η κανονική κατανομή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μορφή των διαγραμμάτων κατανομής τους (Γραφήματα 4.2 και 4.3) δεν προσεγγίζει σε καμία περίπτωση τη μορφή της «καμπάνας» της κανονικής κατανομής, όπως συμβαίνει για τις άλλες δύο εξαρτημένες μεταβλητές που αναλύθηκαν προηγουμένως. Στο γεγονός αυτό αναμφίβολα συμβάλλουν και οι πολλές παρατηρήσεις στις οποίες οι τιμές των μεταβλητών αυτών ισούνται με 0, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

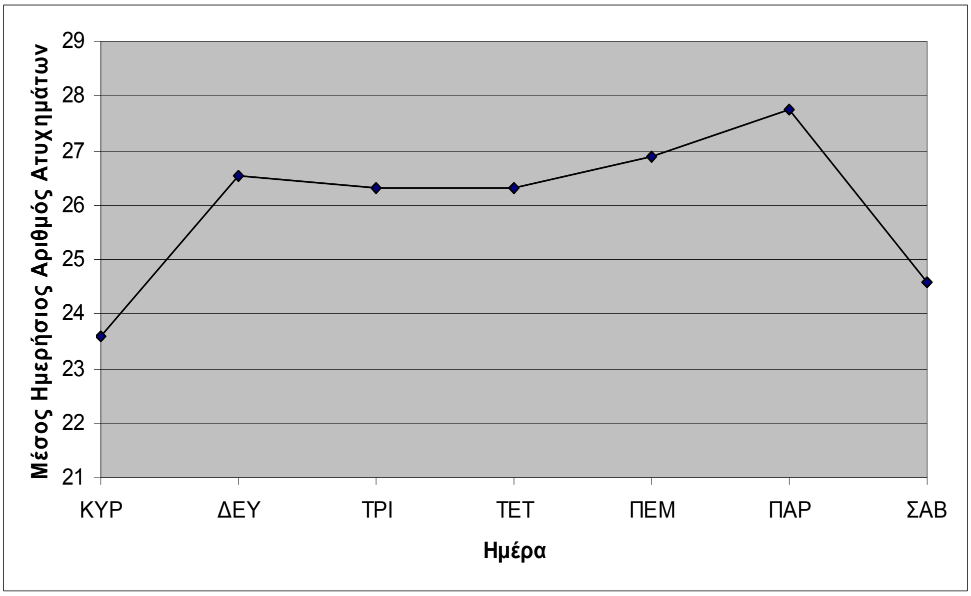
Επίσης, στο στάδιο αυτό δημιουργήθηκαν και κάποια διαγράμματα στα οποία αποτυπώνεται η εικόνα του μέσου ημερήσιου αριθμού των ατυχημάτων ανάλογα με το έτος, το μήνα και την ημέρα. Τα διαγράμματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Γράφημα 5. 5: Μέσος Ημερήσιος Αριθμός Ατυχημάτων ανά Έτος



Γράφημα 5. 6: Μέσος Ημερήσιος Αριθμός Ατυχημάτων ανά Μήνα



Γράφημα 5. 7: Μέσος Ημερήσιος Αριθμός Ατυχημάτων ανά Ημέρα

Ο σκοπός των διαγραμμάτων αυτών ήταν να διερευνηθούν τυχόν επιρροές μιας δεδομένης ημέρας ή ενός δεδομένου μήνα στο πλήθος των ατυχημάτων. Πράγματι, όπως παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα στον αριθμό των ημερήσιων ατυχημάτων ενδέχεται να παίζει ρόλο η ημέρα της εβδομάδας και ο μήνας. Πιο συγκεκριμένα, ο μεγαλύτερος αριθμός ατυχημάτων εμφανίζεται τις καθημερινές με αιχμή τις Παρασκευές, ενώ τα Σαββατοκύριακα ο αριθμός αυτός είναι αισθητά μικρότερος, πράγμα που ίσως να οφείλεται και στους μειωμένους κυκλοφοριακούς φόρτους. Επίσης το μήνα Αύγουστο παρατηρείται μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, προφανώς λόγω των καλοκαιρινών διακοπών. Τέλος, παρά τη φθίνουσα πορεία των πρώτων ετών της τρέχουσας δεκαετίας (2000 και έπειτα), παρουσιάζεται αύξηση των ατυχημάτων το 2005.

Με βάση τα παραπάνω, αποφασίστηκε στην ανάλυση **να χρησιμοποιηθούν ψευδομεταβλητές (dummies)** για κάθε ημέρα, μήνα και έτος, καθώς εμφανίζεται ότι οι μεταβλητές αυτές επηρεάζουν τον μέσο ημερήσιο αριθμό των ατυχημάτων και κατ' επέκταση όπως είναι λογικό, θα πρέπει να μεταβάλλουν και τους αριθμούς των νεκρών και τραυματιών. Επίσης, η χρήση των ψευδομεταβλητών ενδείκνυται στην προσπάθεια προσέγγισης του παράγοντα της έκθεσης σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία κυκλοφορίας (φόρτοι), όπως συμβαίνει στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Μάλιστα, και άλλες παρόμοιες έρευνες συνιστούν αυτήν την τακτική αποδεικνύοντας ότι η χρησιμοποίηση τέτοιου είδους ψευδομεταβλητών (κυρίως για τις ημέρες) μπορεί σε ικανοποιητικό βαθμό να υποκαταστήσει τα πραγματικά κυκλοφοριακά στοιχεία (Brijs et al., 2008). Τέλος, εκτός από τις (απλές) ψευδομεταβλητές, δημιουργήθηκαν και πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές, οι οποίες αναφέρονται στη συνδυαστική επιρροή μήνα-θερμοκρασίας και μήνα-βροχόπτωσης. Σχετικά με αυτού του είδους τις ψευδομεταβλητές έγινε εκτενής αναφορά στο κεφάλαιο 3.

5.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

5.3.1 Καθορισμός Μεταβλητών

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η περιγραφή της διαδικασίας συλλογής των στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά αποτέλεσαν τη βάση δεδομένων της παρούσας έρευνας. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και τα διαδοχικά βήματα που ακολουθήθηκαν κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης της τελικής μορφής των αρχείων εισόδου, ώστε να είναι συμβατά με το περιβάλλον του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης. Πριν την εισαγωγή των μεταβλητών (αρχείων εισόδου) στο λογισμικό, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση των στοιχείων τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Μετά την εισαγωγή των μεταβλητών στο λογισμικό, η οποία έγινε με τις κατάλληλες εντολές και τη διαδικασία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ήταν δυνατή η ανάπτυξη των μαθηματικών προτύπων συσχέτισης. Στη συνέχεια καταγράφονται όλες οι μεταβλητές (εξαρτημένες και ανεξάρτητες) που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση. Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή μελετήθηκαν τέσσερις διαφορετικές εξαρτημένες μεταβλητές αναπτύχθηκαν τέσσερις εξισώσεις.

Εξαρτημένες Μεταβλητές

ACCIDENT: ο (ημερήσιος) αριθμός των ατυχημάτων

FATALITI: ο (ημερήσιος) αριθμός των νεκρών (εντός του οχήματος)

KILLEDPE: ο (ημερήσιος) αριθμός των νεκρών πεζών

INJUREDP: ο (ημερήσιος) αριθμός των τραυματιών πεζών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές

MEANTEMP: η μέση (ημερήσια) θερμοκρασία

TOTALPRE: το συνολικό (ημερήσιο) ύψος εγκατακρήμνισης

TEMP_1: η μέση (ημερήσια) θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας

PRECIP_1: το συνολικό (ημερήσιο) ύψος εγκατακρήμνισης

της προηγούμενης ημέρας

DIFFMT: η διαφορά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας μιας ημέρας από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας (διαφορά των θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών)

DSUN, DMON,…, DFRI: Ψευδομεταβλητές για τις ημέρες (Κυριακή, Δευτέρα, κλπ)

DJAN, DFEB,…, DNOV: Ψευδομεταβλητές για τους μήνες (Ιανουάριος, Φεβρουάριος, κλπ)

D1985, D1986,…, D2004: Ψευδομεταβλητές για τα έτη (1985,1986, κλπ)

DJANM, DFEBM,…, DNOVM: Πολλαπλασιαστικές Ψευδομεταβλητές (Χρήστου, 2002) για την επίδραση των μηνών στη μεταβλητή της θερμοκρασίας. Οι μεταβλητές αυτές προκύπτουν από το γινόμενο της εκάστοτε ψευδομεταβλητής επί τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, π.χ.:

DJANM = DJAN * MEANTEMP

DJANP, DFEBP,…, DNOVP: Πολλαπλασιαστικές Ψευδομεταβλητές (Χρήστου, 2002) για την επίδραση των μηνών στη μεταβλητή της βροχόπτωσης. Οι μεταβλητές αυτές προκύπτουν από το γινόμενο της εκάστοτε ψευδομεταβλητής επί το μέσο ύψος βροχόπτωσης, π.χ.:

DJANP = DJAN * TOTALPRE

Όσον αφορά στις **(απλές) ψευδομεταβλητές** πρέπει να σημειωθεί ότι είναι **δυαδικής μορφής**. Με άλλα λόγια παίρνουν μόνο τις τιμές 0 ή 1. Πιο συγκεκριμένα, η ψευδομεταβλητή λαμβάνει την τιμή 1 εφόσον ικανοποιείται, ενώ σε αντίθετη περίπτωσης λαμβάνει την τιμή 0. Για παράδειγμα η ψευδομεταβλητή DSUN λαμβάνει την τιμή 1 για τις Κυριακές και την τιμή 0 για όλες τις άλλες ημέρες της εβδομάδας. Εννοείται ότι οι πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές παίρνουν τις τιμές της θερμοκρασίας ή του ύψους βροχόπτωσης που παρατηρήθηκαν τον αντίστοιχο μήνα.

Επιπροσθέτως, πρέπει να αναφερθεί ότι για να αποφευχθεί η «παγίδα των ψευδομεταβλητών», που αναπτύχθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο (Κεφάλαιο 3), ο **αριθμός των ψευδομεταβλητών πρέπει να είναι κατά 1 μικρότερος** από το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν. Έτσι ο αριθμός των ψευδομεταβλητών για τις ημέρες είναι 6 (δεν δημιουργήθηκε αντίστοιχη ψευδομεταβλητή για το Σάββατο), για τους μήνες είναι 11 (δεν δημιουργήθηκε αντίστοιχη ψευδομεταβλητή για το Δεκέμβριο), ενώ για τα έτη είναι 20 (δεν δημιουργήθηκε αντίστοιχη ψευδομεταβλητή για το τελευταίο έτος (2005)).

Κατά συνέπεια και οι πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές μήνας-θερμοκρασία και μήνας-βροχόπτωση είναι 11 για κάθε περίπτωση.

Οι ψευδομεταβλητές δημιουργήθηκαν με την εντολή **create** του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας τη λογική εντολή **if.** Στο παράρτημα παρατίθεται το αρχείο (Text/Command Document) από το οποίο δόθηκαν οι εντολές δημιουργίας των ψευδομεταβλητών.

5.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ OLS

Το επόμενο στάδιο της ανάλυσης συνίσταται στην ανάπτυξη των μαθηματικών προτύπων (εξισώσεων) για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή. Από τη στιγμή που σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου που θα υπολογίζει τις τιμές του πλήθους των ατυχημάτων, των νεκρών, καθώς και των νεκρών και τραυματιών πεζών για δεδομένες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, στο στάδιο αυτό έγινε εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης στα στοιχεία εισόδου.

Κατά συνέπεια, **αναπτύχθηκαν τέσσερις γραμμικές εξισώσεις** (όσες δηλαδή και οι εξαρτημένες μεταβλητές), σε κάθε μια από τις οποίες περιγράφεται η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών και των υπόλοιπων ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή.

Η επιλογή της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης βασίστηκε αρχικά στο γεγονός ότι πρόκειται για μια μέθοδο ανάλυσης η οποία είναι ευρέως γνωστή και σχετικά απλή στην εφαρμογή της. Επίσης σημαντικό ρόλο έπαιξε και το γεγονός ότι, ιδιαιτέρως για τον αριθμό των ατυχημάτων και των τραυματιών πεζών, ακολουθείται (ή έστω προσεγγίζεται) η κανονική κατανομή.

Στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε η γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόζεται μέσω της ακολουθίας των εντολών Model → Linear Models → Regression. Τη μετάβαση στην εντολή Regression διαδέχεται **ο καθορισμός των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών.** Η μεταβλητή που ενδιαφέρει (εξαρτημένη μεταβλητή) εισάγεται στο πλαίσιο Dependent Variable. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές, βάσει των οποίων θα εξηγηθεί η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής, εισάγονται στο πλαίσιο Independent Variables. 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 βi, οι τιμές t του στατιστικού ελέγχου t-test και το σφάλμα της εξίσωσης.

Ο συντελεστής R^2 καθορίζει την ποιότητα του μοντέλου. Ο συντελεστής αυτός, για τον οποίο έγινε αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο. 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 μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του R^2.

Σε μοντέλα με πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές ελέγχεται και το διορθωμένο R^2 (adjusted R^2), καθώς στην περίπτωση αυτή, η τιμή του διαφέρει σημαντικά από εκείνη του R^2.

Όσον αφορά στους **συντελεστές βi 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 β μονάδες.

Στη συνέχεια αξιολογείται **η στατιστική εμπιστοσύνη** του μοντέλου, 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 μοντέλο.

Ο συντελεστής t ορίζεται από τη σχέση:

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

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

Από την ανωτέρω σχέση παρατηρείται ότι, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα αυξάνεται ο συντελεστής $t_{stat.}$. 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 $t^* = 1,645$. Οι μεταβλητές των οποίων οι απόλυτες τιμές του t είναι μικρότερες από 1,645 δεν συμπεριλαμβάνονται στην επόμενη δοκιμή για τη διαμόρφωση του μοντέλου. Σε κάθε εξίσωση υπάρχει ο προσθετέος ε, που ονομάζεται σφάλμα της εξίσωσης. Από την αξιολόγηση ενός μοντέλου δε θα πρέπει να παραλείπεται και **ο έλεγχος του σφάλματος**.

Τέλος, **πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών παίζουν και οι συσχετίσεις μεταξύ τους.** Γενικά, πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση ως ανεξάρτητων μεταβλητών στην ίδια εξίσωση δύο μεταβλητών με υψηλό βαθμό συσχέτισης, που έχουν δηλαδή απόλυτη τιμή συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα. Για το λόγο αυτό, πριν την εισαγωγή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο θα πρέπει να υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισής τους.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης για τις μετεωρολογικές μεταβλητές της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 5. 3: Συντελεστές Συσχέτισης μεταξύ Μετεωρολογικών Μεταβλητών

	MEANTEMP	TOTALPRE	TEMP_1	PRECIP_1	DIFFMT
MEANTEMP	1,000	-0,138	0,974	-0,148	0,109
TOTALPRE	-0,138	1,000	-0,107	0,155	-0,140
TEMP_1	0,974	-0,107	1,000	-0,138	-0,111
PRECIP_1	-0,148	0,155	-0,138	1,000	-0,048
DIFFMT	0,109	-0,140	-0,111	-0,048	1,000

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, οι μεταβλητές μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (MEANTEMP) μιας δεδομένης ημέρας με εκείνες της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας της προηγούμενης ημέρας (TEMP_1) παρουσιάζουν **μεγάλο βαθμό συσχέτισης**. Αυτό ίσως πλήττει την αξιοπιστία των τελικών μοντέλων.

Για το λόγο αυτό, αντί της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας της προηγούμενης ημέρας (TEMP_1), αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η διαφορά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας μιας δεδομένης ημέρας (MEANTEMP) από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας (TEMP_1) ή με άλλα λόγια η διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών, μεταβλητή **DIFFMT**. Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα η μεταβλητή αυτή δεν παρουσιάζει μεγάλο βαθμό συσχέτισης με τις υπόλοιπες μετεωρολογικές μεταβλητές και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με τις άλλες στο ίδιο μοντέλο.

Για τον προσδιορισμό της εξίσωσης που να περιγράφει κάθε εξαρτημένη μεταβλητή, έγινε μια σειρά από δοκιμές. Στις δοκιμές αυτές αρχικά συμπεριλήφθηκαν οι τέσσερις μετεωρολογικές μεταβλητές (MEANTEMP, DIFFMT, TOTALPRE, PRECIP_1), καθώς και όλες οι ψευδομεταβλητές (για ημέρες, μήνες, έτη, μήνα-θερμοκρασία, μήνα-βροχόπτωση).

Στο τέλος κάθε δοκιμής ελέγχονταν τα αποτελέσματα και απαλείφονταν από την επόμενη δοκιμή οι μεταβλητές των οποίων οι συντελεστές δεν προέκυπταν στατιστικά σημαντικοί από τον έλεγχο t-test για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επίσης αξιολογούνταν και ο συντελεστής R^2 καθώς και η επεξηγηματική αξία των μεταβλητών του μοντέλου.

Στα επόμενα παρουσιάζονται **ενδεικτικά αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας.** Να σημειωθεί ότι για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή θα παρουσιάζεται η πρώτη δοκιμή (με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές) και η τελική δοκιμή (μόνο με τις στατιστικά σημαντικές μεταβλητές). Οι ενδιάμεσες δοκιμές παρατίθενται στο παράρτημα. **Τέλος η εκτίμηση των συντελεστών έγινε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS).**

5.4.1 Αριθμός των Ατυχημάτων

Πίνακας 5. 4: Ανάπτυξη Μοντέλου για τον Αριθμό των Ατυχημάτων

<u>Πρώτη Δοκιμή</u>

Dependent Variable		*ACCIDENT*	
Number of observations	7670	R-squared	0,322
Parameters	64	Adjusted R-squared	0,317
Degrees of Freedom	7606	Durbin - Watson	1,619

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	*t_{stat} = b/SE*
Constant	21,548	0,94091	22,901
MEANTEMP	0,199	0,07551	2,638
TOTALPRE	-0,151	0,03398	-4,436
DIFFMT	0,098	0,01490	6,604
PRECIP_1	-0,096	0,01371	-6,971
DSUN	-0,954	0,27126	-3,518
DMON	1,943	0,27132	7,163
DTUE	1,695	0,27131	6,247
DWED	1,714	0,27118	6,321
DTHU	2,311	0,27136	8,515
DFRI	3,177	0,27123	11,714
DJAN	-4,543	1,19173	-3,812
DFEB	-4,029	1,17818	-3,420
DMAR	-5,135	1,24413	-4,127
DAPR	2,940	1,71247	1,717
DMAY	-1,970	2,00508	-0,983
DJUN	4,037	2,72491	1,482
DJUL	7,730	3,08885	2,502
DAUG	0,792	3,39903	0,233
DSEP	5,188	2,70146	1,921
DOCT	0,946	1,73069	0,546
DNOV	0,267	1,42169	0,188
D1985	0,680	0,47193	1,442
D1986	-2,179	0,47169	-4,619
D1987	-2,997	0,47320	-6,334
D1988	-0,787	0,47071	-1,673

D1989	-2,010	0,47283	-4,250
D1990	-3,100	0,47212	-6,565
D1991	0,877	0,47445	1,849
D1992	1,805	0,47325	3,813
D1993	2,776	0,47110	5,893
D1994	0,629	0,47171	1,333
D1995	0,742	0,47174	1,574
D1996	4,507	0,47194	9,550
D1997	4,333	0,47221	9,176
D1998	5,019	0,47155	10,643
D1999	6,359	0,47147	13,487
D2000	6,847	0,47121	14,530
D2001	3,778	0,47229	8,000
D2002	-0,482	0,47342	-1,017
D2003	-3,182	0,47246	-6,735
D2004	-3,535	0,47074	-7,508
DJANM	0,258	0,11095	2,326
DFEBM	0,311	0,10841	2,872
DMARM	0,340	0,10484	3,242
DAPRM	-0,281	0,11872	-2,364
DMAYM	0,071	0,11409	0,622
DJUNM	-0,151	0,12471	-1,210
DJULM	-0,339	0,12848	-2,638
DAUGM	-0,320	0,13914	-2,301
DSEPM	-0,271	0,13038	-2,080
DOCTM	0,028	0,10823	0,258
DNOVM	0,013	0,10762	0,121
DJANP	-0,028	0,05684	-0,496
DFEBP	0,043	0,07177	0,602
DMARP	0,050	0,04976	1,003
DAPRP	0,034	0,06721	0,511
DMAYP	0,176	0,10975	1,606
DJUNP	0,452	0,14132	3,196
DJULP	0,193	0,06983	2,758
DAUGP	0,103	0,11112	0,926
DSEPP	-0,042	0,06715	-0,629
DOCTP	-0,126	0,06225	-2,021
DNOVP	-0,012	0,04486	-0,274

Τελική Δοκιμή

Dependent Variable		*ACCIDENT*	
Number of observations	7670	R-squared	0,317
Parameters	41	Adjusted R-squared	0,314
Degrees of Freedom	7629	Durbin - Watson	1,609

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	*t_{stat} = b/SE*

Constant	22,364	0,42212	52,980
MEANTEMP	0,194	0,01894	10,227
TOTALPRE	-0,153	0,01483	-10,314
DIFFMT	0,099	0,01488	6,660
PRECIP_1	-0,097	0,01368	-7,085
DSUN	-0,955	0,27173	-3,516
DMON	1,935	0,27181	7,119
DTUE	1,695	0,27177	6,235
DWED	1,723	0,27169	6,342
DTHU	2,297	0,27168	8,455
DFRI	3,173	0,27168	11,679
DJAN	-5,015	0,90154	-5,563
DFEB	-4,256	0,87974	-4,838
DMAR	-5,184	0,95269	-5,441
DAPR	2,834	1,47724	1,918
DJUL	8,110	2,98823	2,714
DSEP	4,565	2,57431	1,773
D1986	-2,590	0,36058	-7,183
D1987	-3,428	0,36154	-9,482
D1988	-1,177	0,35972	-3,272
D1989	-2,429	0,36090	-6,730
D1990	-3,492	0,36029	-9,691
D1992	1,413	0,36103	3,914
D1993	2,370	0,36036	6,577
D1996	4,091	0,36061	11,346
D1997	3,912	0,36094	10,837
D1998	4,615	0,36064	12,796
D1999	5,958	0,36050	16,527
D2000	6,438	0,36094	17,837
D2001	3,387	0,36163	9,365
D2003	-3,606	0,36208	-9,958
D2004	-3,963	0,35948	-11,025
DJANM	0,266	0,08355	3,186
DFEBM	0,305	0,08000	3,810
DMARM	0,322	0,07429	4,336
DAPRM	-0,292	0,09147	-3,188
DJULM	-0,361	0,10590	-3,409
DAUGM	-0,300	0,01180	-25,442
DSEPM	-0,257	0,10766	-2,391
DJUNP	0,495	0,13339	3,712
DJULP	0,187	0,06292	2,965

Από τα αποτελέσματα της τελικής δοκιμής διαπιστώνεται ότι ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** για το συγκεκριμένο μοντέλο παίρνει την τιμή **0,317**. Ο συντελεστής αυτός θεωρείται μάλλον χαμηλός, αφού μόλις το 31,7% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να εξηγηθεί από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Επίσης ο έλεγχος της **στατιστικής Durbin-Watson** έδωσε τιμή **d = 1,609**. Το γεγονός αυτό (d<1,7) υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιου είδους αυτοσυσχέτιση, κυρίως πρώτου βαθμού μεταξύ των στοιχείων και κατά συνέπεια των σφαλμάτων της εξίσωσης.

Όσον αφορά στους συντελεστές (στήλη coefficient) που σχετίζονται με τις **μεταβλητές της θερμοκρασίας** (MEANTEMP και DIFFMT) παρουσιάζουν θετικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία έχει θετική επιρροή στο υπό εξέταση φαινόμενο. Με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μιας δεδομένης ημέρας, αλλά και όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας από την προηγούμενή της, τόσο αυξάνεται ο αριθμός των ατυχημάτων.

Αντίθετα, οι **μεταβλητές της βροχόπτωσης** (TOTALPRE και PRECIP_1) εμφανίζουν αρνητικά πρόσημα στους συντελεστές τους. Κατά συνέπεια φαίνεται ότι η βροχόπτωση έχει αρνητική επιρροή στο υπό εξέταση φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται το ύψος βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας, αλλά και της προηγούμενής της, τόσο μειώνεται ο αριθμός των ατυχημάτων.

Οι (ψευδο)μεταβλητές που αφορούν **στην επίδραση των ημερών** της εβδομάδας στον αριθμό των ατυχημάτων είναι όλες στατιστικά σημαντικές και μάλιστα εμφανίζουν θετικά πρόσημα, με εξαίρεση τη μεταβλητή που αναφέρεται στις Κυριακές, η οποία εμφανίζει αρνητικό πρόσημο.

Όσον αφορά στις ψευδομεταβλητές **των ετών**, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλες στατιστικά σημαντικές. Χαρακτηριστικό δε είναι ότι κατά τα πρώτα έτη της μελέτης παρατηρούνται αρνητικά πρόσημα ενώ κατά τα τελευταία έτη παρατηρούνται θετικά πρόσημα.

Σημαντικά δε συμπεράσματα μπορούν να αντληθούν και από την παρατήρηση των συντελεστών που αφορούν στις μεταβλητές των μηνών. Αρχικά παρατηρείται ότι ορισμένοι μήνες και όχι όλοι φαίνεται ότι έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή στο φαινόμενο. Οι συντελεστές των **(απλών) ψευδομεταβλητών** για τους μήνες επηρεάζουν μόνο το σταθερό όρο της εξίσωσης αντικατοπτρίζοντας έτσι τυχαίες αλλαγές για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

Από την άλλη πλευρά, οι συντελεστές των **πολλαπλασιαστικών ψευδομεταβλητών** που περιγράφουν τη συνδυαστική επιρροή του μήνα και της θερμοκρασίας ή του μήνα και της βροχόπτωσης, επηρεάζουν την κλίση της συνάρτησης (Χρήστου, 2002). Με τη βοήθεια των μεταβλητών αυτών εξάγονται συμπεράσματα για το πώς η μεταβολή της θερμοκρασίας ή του ύψους βροχόπτωσης μέσα σε ένα συγκεκριμένο μήνα μπορεί να επηρεάσει την εξαρτημένη μας μεταβλητή.

Αναλυτικότερα οι πολλαπλασιαστικές **ψευδομεταβλητές μήνα-θερμοκρασίας** φαίνεται ότι παρουσιάζουν **θετικά πρόσημα** για τους **χειμερινούς μήνες** (Ιανουάριο, Φεβρουάριο) και για το Μάρτιο. Αντίθετα **αρνητικά πρόσημα** παρουσιάζουν για τους **καλοκαιρινούς μήνες** (Ιούλιο, Αύγουστο) και Σεπτέμβριο. Με άλλα λόγια, αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων το χειμώνα, ενώ μείωση των ατυχημάτων το καλοκαίρι.

Από την άλλη πλευρά οι **ψευδομεταβλητές μήνα-βροχόπτωσης** παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές μόνο για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Πιο συγκεκριμένα, τα πρόσημα των μεταβλητών αυτών είναι θετικά, με μεγαλύτερο εκείνο του Ιουνίου. Συνεπώς αύξηση του ύψους βροχόπτωσης τους θερινούς μήνες φαίνεται ότι προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων.

Συνεπώς, η εξίσωση που αναφέρεται στον αριθμό των ατυχημάτων διατυπώνεται ως εξής:

$$\mathbf{ACCIDENT = 22{,}364 + 0{,}194*MEANTEMP + 0{,}099*DIFFMT - 0{,}153*TOTALPRE - 0{,}097*PRECIP\_1 + \gamma_i DYEAR + \gamma_i DDAY + \gamma_i DMONTH + \gamma_i DMONTHM + \gamma_i DMONTHP + \varepsilon}$$

όπου **γ_iDYEAR:** οι ψευδομεταβλητές (με τους συντελεστές τους) των ετών, που αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές

γ_iDDAY: οι ψευδομεταβλητές (με τους συντελεστές τους) των ημερών, που αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές

$γ_i$DMONTH: οι ψευδομεταβλητές (με τους συντελεστές τους) των μηνών, που αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές

$γ_i$DMONTHM: οι πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές (με τους συντελεστές τους) μήνα-θερμοκρασίας, που αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές

$γ_i$DMONTHP: οι πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές (με τους συντελεστές τους) μήνα-βροχόπτωσης, που αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές

5.4.2 Αριθμός των Νεκρών

Πίνακας 5. 5: Ανάπτυξη Μοντέλου για τον Αριθμό των Νεκρών

<u>Πρώτη Δοκιμή</u>

Dependent Variable		*FATALITI*	
Number of observations	7670	R-squared	0,033
Parameters	64	Adjusted R-squared	0,025
Degrees of Freedom	7606	Durbin - Watson	1,969

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	*t_{stat} = b/SE*
Constant	1,292	0,17476	7,394
MEANTEMP	-0,008	0,01403	-0,538
TOTALPRE	0,000	0,00631	-0,047
DIFFMT	0,005	0,00277	1,821
PRECIP_1	-0,007	0,00255	-2,565
DSUN	0,146	0,05038	2,903
DMON	-0,056	0,05040	-1,112
DTUE	-0,239	0,05039	-4,743
DWED	-0,138	0,05037	-2,749
DTHU	-0,175	0,05040	-3,480
DFRI	-0,098	0,05038	-1,950
DJAN	-0,519	0,22135	-2,347
DFEB	-0,645	0,21884	-2,948
DMAR	-0,307	0,23108	-1,330
DAPR	-0,285	0,31807	-0,897
DMAY	-0,395	0,37242	-1,060
DJUN	-0,009	0,50612	-0,018
DJUL	0,188	0,57372	0,327
DAUG	0,715	0,63133	1,133
DSEP	-0,505	0,50177	-1,006
DOCT	-0,086	0,32146	-0,267

DNOV	-0,004	0,26407	-0,015
D1985	0,005	0,08766	0,053
D1986	-0,235	0,08761	-2,687
D1987	-0,191	0,08789	-2,177
D1988	-0,175	0,08743	-2,000
D1989	-0,056	0,08782	-0,642
D1990	0,040	0,08769	0,456
D1991	0,182	0,08812	2,064
D1992	0,129	0,08790	1,467
D1993	0,238	0,08750	2,716
D1994	-0,021	0,08762	-0,242
D1995	0,174	0,08762	1,987
D1996	0,255	0,08766	2,909
D1997	0,083	0,08771	0,949
D1998	0,154	0,08759	1,764
D1999	0,166	0,08757	1,893
D2000	0,195	0,08752	2,226
D2001	0,077	0,08772	0,881
D2002	-0,130	0,08793	-1,481
D2003	-0,161	0,08775	-1,836
D2004	-0,082	0,08744	-0,938
DJANM	0,048	0,02061	2,318
DFEBM	0,054	0,02014	2,689
DMARM	0,016	0,01947	0,844
DAPRM	0,014	0,02205	0,632
DMAYM	0,018	0,02119	0,861
DJUNM	0,005	0,02316	0,221
DJULM	0,000	0,02386	0,018
DAUGM	-0,020	0,02584	-0,757
DSEPM	0,023	0,02422	0,939
DOCTM	0,008	0,02010	0,401
DNOVM	0,002	0,01999	0,120
DJANP	-0,021	0,01056	-1,952
DFEBP	0,001	0,01333	0,069
DMARP	-0,005	0,00924	-0,567
DAPRP	0,005	0,01248	0,407
DMAYP	0,010	0,02039	0,467
DJUNP	0,023	0,02625	0,879
DJULP	0,002	0,01297	0,182
DAUGP	-0,024	0,02064	-1,180
DSEPP	-0,012	0,01247	-0,996
DOCTP	-0,003	0,01156	-0,242
DNOVP	-0,007	0,00833	-0,892

Τελική Δοκιμή

Dependent Variable		*FATALITI*	
Number of observations	7670	R-squared	0,028
Parameters	26	Adjusted R-squared	0,025
Degrees of Freedom	7664	Durbin - Watson	1,962

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	$t_{stat} = b/SE$
Constant	1,177	0,03007	39,153
TOTALPRE	-0,004	0,00276	-1,521
DIFFMT	0,005	0,00271	1,953
PRECIP_1	-0,007	0,00249	-2,751
DSUN	0,172	0,04362	3,944
DTUE	-0,212	0,04362	-4,859
DWED	-0,111	0,04360	-2,551
DTHU	-0,151	0,04360	-3,455
DFRI	-0,072	0,04360	-1,656
DJAN	-0,442	0,15483	-2,852
DFEB	-0,520	0,14976	-3,471
DMAR	-0,111	0,04875	-2,271
D1986	-0,234	0,06473	-3,612
D1987	-0,195	0,06472	-3,019
D1988	-0,177	0,06464	-2,738
D1991	0,184	0,06473	2,838
D1993	0,230	0,06480	3,548
D1995	0,171	0,06474	2,637
D1996	0,247	0,06464	3,825
D1998	0,141	0,06474	2,178
D1999	0,157	0,06471	2,422
D2000	0,187	0,06470	2,883
D2003	-0,172	0,06495	-2,653
DJANM	0,042	0,01508	2,779
DFEBM	0,044	0,01441	3,053
DJANP	-0,017	0,00890	-1,907

Παρατηρώντας τον πίνακα της τελικής δοκιμής διαπιστώνεται ότι ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** για το συγκεκριμένο μοντέλο παίρνει την τιμή **0,028**. Ο συντελεστής αυτός είναι εξαιρετικά χαμηλός. Η πιθανότερη αιτία σε αυτό είναι ότι η εξαρτημένη μεταβλητή του συγκεκριμένου μοντέλου δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Αυτό φαίνεται και από τα διαγράμματα συχνοτήτων που προέκυψαν από την περιγραφική στατιστική ανάλυση των στοιχείων. Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και το γεγονός ότι το δείγμα είναι σχετικά μικρό σε σύγκριση με τον αριθμό των ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται μόλις 8.557 νεκροί στα 21 έτη μελέτης σε σχέση με τα 199.370 συνολικά ατυχήματα. Ενώ σε σύνολο 7.670 ημερών (περίοδος μελέτης) τις 2.836 ημέρες δεν προέκυψε κανένας νεκρός.

Από πλευράς αυτοσυσχέτισης ο συντελεστής της **στατιστικής Durbin-Watson** έχει τιμή **d = 1,962.** Αυτό είναι ένα πολύ ενδιαφέρον και θετικό στοιχείο καθώς αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει ουσιαστική αυτοσυσχέτιση μεταξύ των σφαλμάτων, αφού ο εν λόγω συντελεστής είναι περίπου ίσος με 2 (μηδενική αυτοσυσχέτιση).

Από τις μεταβλητές που σχετίζονται με τη **θερμοκρασία**, μόνο η μεταβλητή που αναφέρεται στη διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών είναι στατιστικά σημαντική. Μάλιστα η μεταβλητή αυτή εμφανίζει θετική επιρροή (θετικό πρόσημο στο αντίστοιχο συντελεστή). Με άλλα λόγια, φαίνεται ότι αύξηση της διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των νεκρών.

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με το μέσο ημερήσιο **ύψος βροχόπτωσης** και το μέσο ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας (μεταβλητή με υστέρηση) εμφανίζουν αρνητική επιρροή (αρνητικό πρόσημο στον αντίστοιχο συντελεστή). Με άλλα λόγια, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών. Αξίζει, τέλος, να σημειωθεί ότι η επιρροή της βροχόπτωσης (γενικά) στον αριθμό των νεκρών, εμφανίζει **τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (αρνητική σχέση**) με την επιρροή της βροχόπτωσης στον αριθμό των ατυχημάτων.

Οι (ψευδο)μεταβλητές που αφορούν **στην επίδραση των ημερών** της εβδομάδας στον αριθμό των νεκρών είναι όλες στατιστικά σημαντικές, εκτός από εκείνη της Δευτέρας. Χαρακτηριστικό όμως είναι ότι παρατηρείται το αντίστροφο φαινόμενο από εκείνο που παρατηρήθηκε στον αριθμό των ατυχημάτων. Οι μεταβλητές που αναφέρονται στις καθημερινές εμφανίζουν αρνητικό συντελεστή. Αντίθετα η μεταβλητή που αναφέρεται τις Κυριακές εμφανίζει θετικό συντελεστή.

Όσον αφορά στις ψευδομεταβλητές **των ετών**, πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως και στην προηγούμενη εξίσωση, δεν είναι όλες στατιστικά σημαντικές. Επομένως και εδώ συμπεριλήφθησαν μόνο οι μεταβλητές για τα έτη που ικανοποιούν τον έλεγχο t-test. Όπως και στο μοντέλο με εξαρτημένη ψευδομεταβλητή των αριθμό των ατυχημάτων, έτσι και στο μοντέλο αυτό τα πρώτα έτη της μελέτης εμφανίζουν αρνητική επιρροή στους αριθμούς των νεκρών σε αντίθεση με τα τελευταία που εμφανίζουν θετική επιρροή.

Αναφορικά με την **επιρροή των μηνών**, μόνο οι χειμερινοί μήνες (Ιανουάριος, Φεβρουάριος) εμφανίζονται να έχουν ουσιαστική επιρροή στον αριθμό των νεκρών. Μάλιστα η επιρροή αυτή είναι αρνητική. Επίσης η πολλαπλασιαστική ψευδομεταβλητή που αντιπροσωπεύει την επιρροή Ιανουαρίου-Βροχόπτωσης παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο. Με άλλα λόγια αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά τον Ιανουάριο οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών. Αντίθετα, αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες προκαλεί αύξηση του αριθμού των νεκρών (όπως συμβαίνει και με τον αριθμό των ατυχημάτων).

Συνεπώς (όπως και για τον αριθμό των ατυχημάτων), η εξίσωση που αναφέρεται στον αριθμό των νεκρών διατυπώνεται ως εξής:

$$\mathbf{FATALITI = 1{,}177 + 0{,}005*DIFFMT - 0{,}004*TOTALPRE - 0{,}007*PRECIP\_1 + \gamma_i DYEAR + \gamma_i DDAY + \gamma_i DMONTH + \gamma_i DMONTHM + \gamma_i DMONTHP + \varepsilon}$$

5.4.3 Αριθμός των Νεκρών Πεζών

Πίνακας 5. 6: Ανάπτυξη Μοντέλου για τον Αριθμό των Νεκρών Πεζών

<u>Πρώτη Δοκιμή</u>

Dependent Variable		*KILLEDPE*	
Number of observations	7670	R-squared	0,021
Parameters	64	Adjusted R-squared	0,013
Degrees of Freedom	7606	Durbin - Watson	1,999

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	t_{stat} *= b/SE*
Constant	0,371	0,08978	4,132
MEANTEMP	-0,003	0,00721	-0,448
TOTALPRE	-0,002	0,00324	-0,741
DIFFMT	0,001	0,00142	0,474
PRECIP_1	-0,001	0,00131	-1,047
DSUN	0,001	0,02588	0,038
DMON	0,069	0,02589	2,674
DTUE	0,013	0,02589	0,514
DWED	0,037	0,02587	1,416
DTHU	-0,014	0,02589	-0,544
DFRI	0,031	0,02588	1,205
DJAN	-0,289	0,11371	-2,542
DFEB	-0,248	0,11242	-2,206

DMAR	-0,162	0,11871	-1,368
DAPR	-0,375	0,16340	-2,293
DMAY	-0,120	0,19132	-0,626
DJUN	-0,429	0,26000	-1,648
DJUL	0,447	0,29472	1,515
DAUG	-0,311	0,32432	-0,959
DSEP	-0,254	0,25776	-0,987
DOCT	-0,046	0,16514	-0,277
DNOV	-0,176	0,13565	-1,299
D1985	0,102	0,04503	2,267
D1986	0,043	0,04501	0,966
D1987	0,035	0,04515	0,785
D1988	0,047	0,04491	1,038
D1989	0,098	0,04512	2,163
D1990	0,214	0,04505	4,757
D1991	0,145	0,04527	3,197
D1992	0,089	0,04516	1,978
D1993	0,165	0,04495	3,681
D1994	0,105	0,04501	2,326
D1995	0,107	0,04501	2,387
D1996	0,168	0,04503	3,733
D1997	0,088	0,04506	1,960
D1998	0,122	0,04499	2,720
D1999	0,082	0,04499	1,834
D2000	0,119	0,04496	2,654
D2001	0,055	0,04506	1,216
D2002	0,005	0,04517	0,105
D2003	-0,048	0,04508	-1,062
D2004	0,009	0,04492	0,190
DJANM	0,025	0,01059	2,346
DFEBM	0,021	0,01034	1,998
DMARM	0,005	0,01000	0,453
DAPRM	0,018	0,01133	1,604
DMAYM	0,001	0,01089	0,128
DJUNM	0,015	0,01190	1,245
DJULM	-0,017	0,01226	-1,363
DAUGM	0,008	0,01328	0,620
DSEPM	0,008	0,01244	0,683
DOCTM	0,002	0,01033	0,237
DNOVM	0,009	0,01027	0,858
DJANP	-0,002	0,00542	-0,439
DFEBP	0,000	0,00685	-0,024
DMARP	-0,002	0,00475	-0,478
DAPRP	0,008	0,00641	1,268
DMAYP	-0,008	0,01047	-0,731
DJUNP	0,031	0,01348	2,286
DJULP	-0,003	0,00666	-0,453
DAUGP	-0,003	0,01060	-0,292
DSEPP	-0,001	0,00641	-0,208
DOCTP	0,004	0,00594	0,655
DNOVP	0,001	0,00428	0,154

Τελική Δοκιμή

Dependent Variable		*KILLEDPE*	
Number of observations	7670	R-squared	0,014
Parameters	23	Adjusted R-squared	0,011
Degrees of Freedom	7647	Durbin - Watson	1,987

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	t_{stat} *= b/SE*
Constant	0,281	0,01239	22,703
TOTALPRE	-0,002	0,00134	-1,739
DMON	0,057	0,01978	2,894
DJAN	-0,174	0,07905	-2,206
DFEB	-0,146	0,07684	-1,895
DJUL	0,562	0,28252	1,988
D1985	0,086	0,03374	2,556
D1989	0,081	0,03377	2,400
D1990	0,197	0,03370	5,845
D1991	0,125	0,03375	3,694
D1992	0,070	0,03381	2,074
D1993	0,147	0,03373	4,358
D1994	0,087	0,03367	2,572
D1995	0,086	0,03369	2,557
D1996	0,145	0,03366	4,321
D1997	0,066	0,03365	1,958
D1998	0,106	0,03366	3,156
D1999	0,067	0,03365	1,986
D2000	0,107	0,03369	3,185
DJANM	0,022	0,00773	2,787
DFEBM	0,019	0,00739	2,561
DJULM	-0,020	0,00993	-1,998
DJUNP	0,027	0,01267	2,119

Παρατηρώντας τον πίνακα αρχικά διαπιστώνεται ότι ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** για το συγκεκριμένο μοντέλο παίρνει την τιμή **0,014**. Ο συντελεστής αυτός, όπως και στην περίπτωση του (συνολικού) αριθμού των νεκρών, είναι εξαιρετικά χαμηλός. Ας σημειωθεί δε, ότι ο συντελεστής της **στατιστικής Durbin-Watson** έχει τιμή **d = 1,987.** Αυτό υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει ισχυρή αυτοσυσχέτιση μεταξύ των σφαλμάτων της εξίσωσης. Παρά το γεγονός ότι λόγω του χαμηλού συντελεστή προσαρμογής R^2 η ποιότητα του μοντέλου δεν είναι ιδιαιτέρως καλή, κάτι που σημαίνει ότι τυχόν συμπεράσματα θα πρέπει να διατυπωθούν με ιδιαίτερη επιφύλαξη, παρατηρώντας **τους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών** προκύπτουν τα παρακάτω:

Από τις μεταβλητές που σχετίζονται με τη **θερμοκρασία, καμία μεταβλητή** δεν είναι στατιστικά σημαντική ώστε να συμπεριληφθεί στο μοντέλο.

Από τις μεταβλητές που αφορούν στο **ύψος βροχόπτωσης**, μόνο η μεταβλητή του ύψους βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας είναι στατιστικά σημαντική. Μάλιστα παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο, πράγμα που σημαίνει ότι, όσο αυξάνεται το ύψος βροχόπτωσης τόσο μειώνεται ο αριθμός των νεκρών πεζών.

Από τις μεταβλητές που αφορούν στις **ημέρες της εβδομάδας**, μόνο η μεταβλητή της Δευτέρας παρουσιάζεται να έχει στατιστικά σημαντική επίδραση.

Αναφορικά με τα **έτη**, μόνο 9 από τα 21 έτη παρουσιάζονται ότι έχουν επιρροή στο σταθερό όρο της συγκεκριμένης εξίσωσης.

Παρεμφερή συμπεράσματα, σε σχέση με τις δύο πρώτες εξισώσεις, προκύπτουν από τις **μεταβλητές των μηνών**. Και εδώ κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο, παρατηρείται μείωση του αριθμού των νεκρών πεζών. Το φαινόμενο αυτό όμως αντιστρέφεται όταν παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των δύο αυτών χειμερινών μηνών. Τέλος, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά το μήνα Ιούνιο προκαλεί αύξηση του αριθμού των νεκρών πεζών.

Επομένως η εξίσωση του αριθμού των νεκρών πεζών διατυπώνεται ως εξής:

$$\mathbf{KILLEDPE = 0{,}281 - 0{,}002*TOTALPRE + \gamma_i DYEAR + \gamma_i DDAY + \gamma_i DMONTH + \gamma_i DMONTHM + \gamma_i DMONTHP + \varepsilon}$$

5.4.4 Αριθμός των Τραυματιών Πεζών

Πίνακας 5. 7: Ανάπτυξη Μοντέλου για τον Αριθμό των Τραυματιών Πεζών

<u>Πρώτη Δοκιμή</u>

Dependent Variable		*INJUREDP*	
Number of observations	7670	R-squared	0,192
Parameters	64	Adjusted R-squared	0,185
Degrees of Freedom	7606	Durbin - Watson	1,908

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	$t_{stat} = b/SE$
Constant	3,286	0,39615	8,295
MEANTEMP	0,093	0,03179	2,940
TOTALPRE	-0,035	0,01430	-2,457
DIFFMT	0,025	0,00627	4,038
PRECIP_1	-0,020	0,00577	-3,399
DSUN	-0,719	0,11421	-6,299
DMON	1,317	0,11423	11,529
DTUE	1,411	0,11423	12,351
DWED	1,376	0,11417	12,052
DTHU	1,377	0,11425	12,052
DFRI	1,704	0,11419	14,924
DJAN	-0,220	0,50175	-0,438
DFEB	-0,794	0,49604	-1,601
DMAR	-1,286	0,52381	-2,455
DAPR	0,763	0,72099	1,059
DMAY	1,028	0,84418	1,218
DJUN	0,316	1,14725	0,276
DJUL	0,846	1,30048	0,651
DAUG	0,866	1,43107	0,605
DSEP	2,300	1,13737	2,023
DOCT	-0,004	0,72866	-0,006
DNOV	0,128	0,59857	0,214
D1985	2,211	0,19869	11,129
D1986	1,649	0,19859	8,301
D1987	1,155	0,19923	5,795
D1988	1,886	0,19818	9,516
D1989	0,670	0,19907	3,368
D1990	0,126	0,19877	0,631
D1991	1,172	0,19975	5,867
D1992	0,988	0,19925	4,957
D1993	1,005	0,19834	5,068
D1994	0,773	0,19860	3,890
D1995	0,423	0,19861	2,131
D1996	0,827	0,19870	4,161
D1997	0,960	0,19881	4,830
D1998	1,294	0,19853	6,518

D1999	1,159	0,19850	5,840
D2000	1,013	0,19839	5,107
D2001	0,707	0,19884	3,555
D2002	0,058	0,19932	0,291
D2003	-0,146	0,19892	-0,733
D2004	-0,292	0,19819	-1,475
DJANM	-0,017	0,04671	-0,362
DFEBM	0,045	0,04564	0,996
DMARM	0,060	0,04414	1,368
DAPRM	-0,101	0,04998	-2,021
DMAYM	-0,092	0,04803	-1,913
DJUNM	-0,056	0,05250	-1,064
DJULM	-0,118	0,05409	-2,179
DAUGM	-0,169	0,05858	-2,883
DSEPM	-0,160	0,05489	-2,912
DOCTM	-0,019	0,04557	-0,406
DNOVM	-0,015	0,04531	-0,320
DJANP	0,025	0,02393	1,032
DFEBP	0,046	0,03022	1,538
DMARP	0,035	0,02095	1,647
DAPRP	0,012	0,02830	0,422
DMAYP	-0,033	0,04621	-0,716
DJUNP	0,133	0,05950	2,228
DJULP	0,027	0,02940	0,926
DAUGP	0,021	0,04678	0,457
DSEPP	-0,009	0,02827	-0,330
DOCTP	-0,017	0,02621	-0,663
DNOVP	0,012	0,01889	0,627

Τελική Δοκιμή

Dependent Variable		*INJUREDP*	
Number of observations	7670	R-squared	0,185
Parameters	35	Adjusted R-squared	0,181
Degrees of Freedom	7647	Durbin - Watson	1,896

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	*t_{stat} = b/SE*
Constant	3,415	0,14316	23,854
MEANTEMP	0,056	0,00637	8,789
TOTALPRE	-0,020	0,00606	-3,299
DIFFMT	0,026	0,00622	4,123
PRECIP_1	-0,020	0,00572	-3,410
DSUN	-0,717	0,11439	-6,264
DMON	1,321	0,11440	11,543
DTUE	1,411	0,11441	12,334
DWED	1,376	0,11438	12,031
DTHU	1,382	0,11437	12,081
DFRI	1,711	0,11437	14,959
DMAR	-0,283	0,11508	-2,460

DSEP	2,100	1,08153	1,942
D1985	2,254	0,15380	14,656
D1986	1,701	0,15382	11,055
D1987	1,191	0,15392	7,735
D1988	1,935	0,15349	12,607
D1989	0,730	0,15386	4,747
D1991	1,231	0,15381	8,000
D1992	1,024	0,15372	6,664
D1993	1,044	0,15365	6,793
D1994	0,816	0,15397	5,300
D1995	0,491	0,15364	3,196
D1996	0,854	0,15358	5,560
D1997	1,013	0,15368	6,592
D1998	1,335	0,15351	8,695
D1999	1,222	0,15361	7,953
D2000	1,062	0,15351	6,918
D2001	0,796	0,15370	5,178
DAPRM	-0,028	0,00720	-3,883
DMAYM	-0,016	0,00573	-2,715
DJULM	-0,057	0,00501	-11,378
DAUGM	-0,107	0,00502	-21,316
DSEPM	-0,122	0,04520	-2,702
DJUNP	0,101	0,05618	1,794

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί να ειπωθεί ότι η εξίσωση για τον αριθμό των τραυματιών πεζών εμφανίζει ορισμένες (ποιοτικές) ομοιότητες με εκείνη για τον συνολικό αριθμό των ατυχημάτων (και οι τέσσερις ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρονται στις μετεωρολογικές συνθήκες είναι στατιστικά σημαντικές, όλες οι μεταβλητές για τις ημέρες της εβδομάδας πρέπει να περιληφθούν στην εξίσωση κ.α.). Ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** όμως παίρνει την τιμή **0,185**. Ο συντελεστής αυτός θεωρείται χαμηλός, αφού μόλις το 18,5% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να εξηγηθεί από τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

Από πλευράς αυτοσυσχέτισης ο συντελεστής της **στατιστικής Durbin-Watson** έχει τιμή **d = 1,894.** Αποδεικνύεται λοιπόν ότι δεν υπάρχει μεγάλος βαθμός αυτοσυσχέτισης των σφαλμάτων της εξίσωσης.

Αναφορικά με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, παρατηρείται ότι και οι τέσσερις μεταβλητές που σχετίζονται με τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι στατιστικά σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αναλυτικότερα, προκύπτουν τα εξής:

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με την μέση ημερησία **θερμοκρασία** και τη διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών εμφανίζουν θετική επιρροή (θετικό πρόσημο στο αντίστοιχο συντελεστή). Με άλλα λόγια, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των τραυματιών πεζών.

Αντιθέτως, οι μεταβλητές που σχετίζονται με **το ύψος βροχόπτωσης** έχουν αρνητική επιρροή στον αριθμό των τραυματιών πεζών. Με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται το ύψος βροχόπτωσης τόσο μειώνεται ο αριθμός των τραυματιών πεζών.

Όσον αφορά στις μεταβλητές που σχετίζονται με τις **ημέρες της εβδομάδας**, παρατηρείται ότι όλες οι ημέρες επηρεάζουν το σταθερό όρο της εξίσωσης. Συνεπώς παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την κάθε ημέρα της εβδομάδας επηρεάζουν τους αριθμούς των τραυματιών πεζών. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι η μεταβλητή για την Κυριακή παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο.

Αναφορικά με την επιρροή κάθε **έτους** της μελέτης στο υπό εξέταση φαινόμενο παρατηρείται ότι, όπως και στις τρεις προηγούμενες εξισώσεις, δεν είναι όλα τα έτη στατιστικώς σημαντικά για να συμπεριληφθούν οι αντίστοιχες ψευδομεταβλητές στην εξίσωση του μοντέλου.

Τέλος, σχετικά με την **επιρροή των μηνών** παρουσιάζονται και εδώ συναφή αποτελέσματα σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα. Αναλυτικότερα, αύξηση της θερμοκρασίας εντός των θερινών μηνών (Ιούλιο, Αύγουστο) προκαλεί μείωση του αριθμού των τραυματιών πεζών. Από την άλλη πλευρά αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά το μήνα Ιούνιο επιφέρει αύξηση στον αριθμό των τραυματιών πεζών.

Συνεπώς, η εξίσωση που αναφέρεται στον αριθμό των τραυματιών πεζών διατυπώνεται ως εξής:

$$\mathbf{INJUREDP = 3{,}415 + 0{,}056*MEANTEMP + 0{,}026*DIFFMT - 0{,}020*TOTALPRE - 0{,}020*PRECIP\_1 + \gamma_i DYEAR + \gamma_i DDAY + \gamma_i DMONTH + \gamma_i DMONTHM + \gamma_i DMONTHP + \varepsilon}$$

5.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SURE

Στα προηγούμενα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής της γραμμικής παλινδρόμησης σε κάθε εξαρτημένη μεταβλητή. Όπως επισημάνθηκε και προηγουμένως οι συντελεστές των παραπάνω τεσσάρων εξισώσεων υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας μελετούνται τέσσερις παρόμοιες εξαρτημένες μεταβλητές. Οι μεταβλητές αυτές είναι: ατυχήματα, νεκροί, νεκροί πεζοί και τραυματίες πεζοί. Συνεπώς ίσως θα ήταν καλύτερο τα μεγέθη αυτά να μελετηθούν από κοινού. Με άλλα λόγια ενδεχομένως, να προέκυπτε μεγαλύτερο κέρδος εάν μελετούνταν και οι τέσσερις μεταβλητές μαζί, ως σύστημα δηλαδή, και όχι κάθε μια ξεχωριστά όπως έγινε παραπάνω.

Μια τεχνική που ενδείκνυται για τέτοιες περιπτώσεις **είναι η μέθοδος των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Equations – SURE)**, για την οποία έγινε λόγος στο κεφάλαιο 3. Με την τεχνική αυτή **οι πολλαπλές εξισώσεις ενός συστήματος συνδυάζονται για να γίνουν οι νέοι υπολογισμοί,** σε αντίθεση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, τα οποία επιλύουν μια εξίσωση κάθε φορά, παραγνωρίζοντας έτσι τις πιθανές ιδιαιτερότητες του συστήματος. Το αποτέλεσμα είναι οι νέοι εκτιμητές (συντελεστές) που προκύπτουν να είναι αποτελεσματικοί (efficient) και συνεπείς (consistent) και ενδέχεται να διαφέρουν από εκείνους που υπολογίζονται από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων αν οι συσχετίσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Ας σημειωθεί δε ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και **στην περίπτωση που υπάρχει ταυτόχρονη (simultaneous) συσχέτιση ανάμεσα στους όρους σφάλματος δύο ή περισσότερων εξισώσεων.** Στις περιπτώσεις αυτές, τα σφάλματα ενδέχεται να αντανακλούν κάποιο κοινό παράγοντα που είτε δεν είναι μετρήσιμος είτε παραλείπεται (όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος στην παρούσα εργασία), με αποτέλεσμα να συσχετίζονται μεταξύ τους. Η ταυτόχρονη συσχέτιση αυτή είναι πιθανή όταν υπολογίζονται εξισώσεις παρόμοιων εξαρτημένων μεταβλητών (όπως ατυχημάτων και νεκρών) με δεδομένα χρονοσειρών. Στην περίπτωση αυτή, οι εξισώσεις μπορούν να εκτιμηθούν από κοινού (jointly), ώστε οι εκτιμητές που θα προκύψουν να είναι πιο αποτελεσματικοί (Washington et al., 2003).

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι, ιδίως για τον αριθμό των ατυχημάτων η τιμή της στατιστικής Durbin-Watson, ήταν εκτός των αποδεκτών ορίων. Συνεπώς, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει **ταυτόχρονη διόρθωση του σφάλματιος για σειριακή αυτοσυσχέτιση πρώτου βαθμού AR(1).**

Για τον προσδιορισμό του μαθηματικού μοντέλου (συστήματος) που να περιγράφει κάθε εξαρτημένη μεταβλητή, έγινε μια σειρά από δοκιμές. Στις δοκιμές αυτές αρχικά συμπεριλήφθηκαν οι τέσσερις μετεωρολογικές μεταβλητές (MEANTEMP, DIFFMT, TOTALPRE, PRECIP_1), καθώς και όλες οι ψευδομεταβλητές (για ημέρες, μήνες, έτη, μήνα-θερμοκρασία, μήνα-βροχόπτωση).

Στο τέλος κάθε δοκιμής ελέγχονταν τα αποτελέσματα και απαλείφονταν από την επόμενη δοκιμή οι μεταβλητές των οποίων οι συντελεστές δεν προέκυπταν στατιστικά σημαντικοί από τον έλεγχο t-test για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επίσης αξιολογούνταν και ο συντελεστής R^2 καθώς και η επεξηγηματική αξία των μεταβλητών του μοντέλου.

Στα επόμενα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή. Επειδή **τα αποτελέσματα αυτά**, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, **είναι πιο συνεπή**, **η ανάλυση και η εξαγωγή των συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας θα βασισθεί σε αυτά και όχι στα αποτελέσματα που παρατέθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.** Τα προηγούμενα αποτελέσματα είχαν σκοπό απλά να δείξουν μια πρώτη εικόνα που παρουσιάζει το υπό εξέταση φαινόμενο.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα γίνει και εδώ για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή ξεχωριστά. Μόνο που τώρα θα δοθούν και πιθανές εξηγήσεις για τη συμπεριφορά της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής. Επίσης τα αποτελέσματα θα συνοδευτούν και από πίνακες στους οποίους θα εκτιμάται η σχετική επιρροή κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη (για τις μετεωρολογικές μόνο μεταβλητές). Τέλος, η συμπεριφορά αυτή θα παρουσιαστεί και με έναν εποπτικότερο τρόπο με τη βοήθεια των κατάλληλων διαγραμμάτων ευαισθησίας.

5.5.1 Αριθμός των Ατυχημάτων

Πίνακας 5. 8: Τελικά Αποτελέσματα για τον Αριθμό των Ατυχημάτων

Dependent Variable		*ACCIDENT*	
Number of observations	7670	R-squared	0,315
Parameters	41	Adjusted R-squared	0,312
Degrees of Freedom	7629	Durbin - Watson	1,605

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	$t_{stat} = b/SE$
Constant	21,658	0,38993	55,543
MEANTEMP	0,226	0,01742	12,954
TOTALPRE	-0,151	0,01466	-10,297
DIFFMT	0,099	0,01471	6,723
PRECIP_1	-0,095	0,01353	-7,060
DSUN	-0,932	0,26860	-3,469
DMON	1,987	0,26634	7,462
DTUE	1,700	0,26864	6,328
DWED	1,696	0,26855	6,317
DTHU	2,343	0,26855	8,727
DFRI	3,160	0,26854	11,769
DJAN	-3,804	0,76546	-4,970
DFEB	-2,259	0,74164	-3,047
DMAR	-2,984	0,80709	-3,697
DAPR	2,987	1,23094	2,427
DJUL	7,555	2,49187	3,032
DSEP	5,732	2,51814	2,276
D1986	-2,523	0,35551	-7,096
D1987	-3,389	0,35619	-9,516
D1988	-1,121	0,35465	-3,162
D1989	-2,304	0,35227	-6,541
D1990	-3,626	0,30847	-11,754
D1992	1,301	0,35219	3,694
D1993	2,222	0,35526	6,255
D1996	4,092	0,35771	11,438
D1997	3,868	0,35209	10,987
D1998	4,628	0,35772	12,938
D1999	5,921	0,35535	16,663
D2000	6,447	0,35789	18,013
D2001	3,406	0,35257	9,662
D2003	-3,201	0,30977	-10,335

D2004	-3,476	0,30763	-11,301
DJANM	0,199	0,07109	2,802
DFEBM	0,151	0,06760	2,240
DMARM	0,163	0,06190	2,633
DAPRM	-0,288	0,07672	-3,758
DJULM	-0,353	0,08850	-3,993
DAUGM	-0,310	0,01144	-27,070
DSEPM	-0,309	0,10527	-2,933
DJUNP	0,461	0,13072	3,530
DJULP	0,166	0,05243	3,162

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα αρχικά διαπιστώνεται ότι ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** για το συγκεκριμένο μοντέλο παίρνει την τιμή **0,315**, δηλαδή μόλις το 31,5% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να εξηγηθεί από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι το υπό εξέταση φαινόμενο παρουσιάζει κάποια στοιχεία μη-γραμμικότητας. Επίσης αυτό μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι λείπουν άλλου είδους μεταβλητές που ενδέχεται να παίζουν ρόλο στην υπό διερεύνηση σχέση (κυκλοφοριακοί φόρτοι κλπ). Το τελευταίο αντικατοπτρίζεται και στη μεγάλη σχετικά τιμή του σταθερού όρου (constant).

Επίσης ο έλεγχος της **στατιστικής Durbin-Watson** έδωσε τιμή **d = 1,605**. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιου είδους αυτοσυσχέτιση, κυρίως πρώτου βαθμού μεταξύ των στοιχείων και κατά συνέπεια των σφαλμάτων της εξίσωσης. Με άλλα λόγια ο αριθμός των ατυχημάτων μιας δεδομένης ημέρας κατά ένα μέρος επηρεάζεται και από τον αριθμό των ατυχημάτων της προηγούμενης ημέρας. Για τον λόγο αυτό έγινε άλλωστε διόρθωση για σειριακή αυτοσυσχέτιση πρώτου βαθμού AR(1). Δεν αποκλείεται δε να υπάρχει και αυτοσυσχέτιση μεγαλύτερου βαθμού.

Από τους **συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών** (στήλη Coefficient) παρατηρείται ότι:

Η μεταβλητή που σχετίζεται με τη μέση ημερησία **θερμοκρασία** δεδομένης ημέρας εμφανίζει θετική επιρροή (θετικό πρόσημο στο αντίστοιχο συντελεστή). Με άλλα λόγια, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων. Επίσης, η μεταβλητή που αφορά στη διαφορά της θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας από την αντίστοιχη θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας φαίνεται ότι επηρεάζει θετικά τους αριθμούς των ατυχημάτων. Συνεπώς, όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά της θερμοκρασίας μιας ημέρας από την προηγούμενή της, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ατυχημάτων της ημέρας αυτής.

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με το μέσο ημερήσιο **ύψος βροχόπτωσης** και το μέσο ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας (μεταβλητή με υστέρηση) εμφανίζουν αρνητική επιρροή (αρνητικό πρόσημο στο αντίστοιχο συντελεστή). Με άλλα λόγια, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων.

Οι (ψευδο)μεταβλητές που αφορούν **στην επίδραση των ημερών** της εβδομάδας στον αριθμό των ατυχημάτων είναι όλες στατιστικά σημαντικές και μάλιστα εμφανίζουν θετικά πρόσημα, με εξαίρεση τη μεταβλητή που αναφέρεται στις Κυριακές, η οποία εμφανίζει αρνητικό πρόσημο. Το τελευταίο ενδεχομένως να οφείλεται και στους χαμηλότερους φόρτους που παρατηρούνται τις Κυριακές στην Αθήνα σε σχέση με τις εργάσιμες ημέρες (μειωμένη έκθεση τις Κυριακές).

Όσον αφορά στις ψευδομεταβλητές **των ετών**, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλες στατιστικά σημαντικές. Έτσι στο μοντέλο συμπεριλήφθησαν μόνο οι μεταβλητές για τα έτη που ικανοποιούν τον έλεγχο t-test. Μια πρώτη παρατήρηση δείχνει ότι κατά τα πρώτα έτη της μελέτης παρατηρούνται αρνητικά πρόσημα ενώ κατά τα τελευταία έτη έχουμε θετικά πρόσημα. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε αλλαγές που συντελέστηκαν κατά την περίοδο της μελέτης, όπως π.χ. αύξηση των κυκλοφορούντων οχημάτων, αύξηση του πληθυσμού της πρωτεύουσας, αλλαγές στον ΚΟΚ, αλλαγές στα οχήματα κλπ.

Σημαντικά δε συμπεράσματα μπορούν να αντληθούν και από την παρατήρηση των συντελεστών που αφορούν στις μεταβλητές των μηνών. Αρχικά εκτιμάται ότι ορισμένοι μήνες και όχι όλοι φαίνεται ότι έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή στο φαινόμενο. Οι συντελεστές των **(απλών) ψευδομεταβλητών** για τους μήνες επηρεάζουν μόνο το σταθερό όρο της εξίσωσης αντικατοπτρίζοντας έτσι τυχαίες αλλαγές που σχετίζονται με τους μήνες του έτους για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

Από την άλλη πλευρά, οι συντελεστές των **πολλαπλασιαστικών ψευδομεταβλητών,** που περιγράφουν τη συνδυαστική επιρροή του μήνα και της θερμοκρασίας ή του μήνα και της βροχόπτωσης, επηρεάζουν την κλίση της συνάρτησης (Χρήστου, 2002). Με τη βοήθεια των μεταβλητών αυτών μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα για το πώς η μεταβολή της θερμοκρασίας ή του ύψους βροχόπτωσης μέσα σε ένα συγκεκριμένο μήνα μπορεί να επηρεάσει την εκάστοτε εξαρτημένη μεταβλητή.

Αναλυτικότερα, οι πολλαπλασιαστικές **ψευδομεταβλητές μήνα-θερμοκρασίας** φαίνεται ότι παρουσιάζουν **θετικά πρόσημα** για τους **χειμερινούς μήνες** (Ιανουάριο, Φεβρουάριο) και για το Μάρτιο. Αντίθετα **αρνητικά πρόσημα** παρουσιάζουν για τους **καλοκαιρινούς μήνες** (Ιούλιο, Αύγουστο) και Σεπτέμβριο. Με άλλα λόγια, αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων το χειμώνα, ενώ μείωση των ατυχημάτων το καλοκαίρι. Η πιο πιθανή εξήγηση στο φαινόμενο αυτό ενδεχομένως να έγκειται στον παράγοντα της έκθεσης των χρηστών της οδού. Για παράδειγμα τις **χειμωνιάτικες ημέρες** που παρατηρείται υψηλή θερμοκρασία για την εποχή προφανώς παρατηρούνται περισσότερες μετακινήσεις των κατοίκων της πρωτεύουσας. Αυτό οφείλεται ενδεχομένως στο γεγονός ότι οι πολίτες επιλέγουν να βγουν από το σπίτι όχι μονό για τις ανελαστικές μετακινήσεις τους (π.χ. εργασία, εκπαίδευση), αλλά και για αγορές, αναψυχή κλπ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των μετακινήσεων και έτσι της πιθανότητας να προκληθούν ατυχήματα. Σημαντικό εδώ είναι να αναφερθεί ότι οι υψηλές θερμοκρασίες το χειμώνα ευνοούν και τη χρήση των δικύκλων τα οποία είναι ιδιαιτέρως ευάλωτα σε οδικά ατυχήματα. Αντίθετα, κατά την περίοδο του **καλοκαιριού** φαίνεται ότι αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μάλλον μείωση του αριθμού των ατυχημάτων. Αυτό ενδεχομένως να εξηγείται από το γεγονός ότι εκείνη την περίοδο οι κάτοικοι της Αθήνας λείπουν σε διακοπές και κατά συνέπεια οι μετακινήσεις εντός της πόλης μειώνονται.

Εξίσου ενδιαφέροντα συμπεράσματα προσφέρουν και οι **ψευδομεταβλητές μήνα-βροχόπτωσης** για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, αφού μόνο για αυτούς τους μήνες εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές. Πιο συγκεκριμένα, τα πρόσημα των μεταβλητών αυτών είναι θετικά, με μεγαλύτερο εκείνο του Ιουνίου. Συνεπώς αύξηση του ύψους βροχόπτωσης τους θερινούς μήνες προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων. Το φαινόμενο αυτό πρέπει να οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι τα επεισόδια βροχόπτωσης κατά του θερινούς μήνες μπορεί να είναι σποραδικά και σύντομης διάρκεια, όμως συνήθως χαρακτηρίζονται από υψηλές ποσότητες νερού. Έτσι, προκαλούν προβλήματα στο οδικό δίκτυο που σχετίζονται κυρίως με την αποστράγγιση των οδών. Με άλλα λόγια, μεγάλες ποσότητες νερού καλύπτουν την επιφάνεια του οδοστρώματος αυξάνοντας τον κίνδυνο πρόκλησης ατυχήματος. Εδώ αξίζει να σημειωθεί και το γεγονός ότι κατά τους θερινούς μήνες κυκλοφορούν περισσότερα δίκυκλα σε σχέση με τους χειμερινούς, τα οποία όμως σε μια ξαφνική νεροποντή, με ότι αυτή συνεπάγεται (πλημμυρισμένες οδοί κλπ), είναι ιδιαιτέρως ευάλωτα. Τέλος, σε τέτοιες περιπτώσεις ευάλωτοι είναι και οι πεζοί. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι θερινές νεροποντές εμφανίζονται συνήθως ξαφνικά και έχουν ιδιαιτέρως τοπικό χαρακτήρα και έτσι οι πεζοί δεν είναι ιδιαιτέρως προετοιμασμένοι. Έτσι στην προσπάθειά τους να προφυλαχθούν από τη βροχή, μειώνουν την προσοχή τους σε σχέση με την ασφάλεια τους από τα διερχόμενα οχήματα. Στο συμπέρασμα αυτό, σχετικά με τον ισχυρό αντίκτυπο βροχοπτώσεων εντός ξηρών περιόδων (όπως το καλοκαίρι στην Ελλάδα), καταλήγουν και άλλες έρευνες που περιλαμβάνονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Eisenberg, 2004).

Συνεπώς, η εξίσωση που αναφέρεται στον αριθμό των ατυχημάτων διατυπώνεται πλέον ως εξής:

$$\mathbf{ACCIDENT = 21{,}658 + 0{,}226*MEANTEMP + 0{,}099*DIFFMT - 0{,}151*TOTALPRE - 0{,}091*PRECIP\_1 + \gamma_i DYEAR + \gamma_i DDAY + \gamma_i DMONTH + \gamma_i DMONTHM + \gamma_i DMONTHP + \varepsilon}$$

Παρατηρούνται λοιπόν κάποιες μεταβολές στο σταθερό όρο και στο συντελεστή της μεταβλητής της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας σε σχέση με την εξίσωση που προέκυψε από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS).

Σχετική Επιρροή των Μετεωρολογικών Μεταβλητών

Πίνακας 5. 9: Σχετική Επιρροή (ελαστικότητες) των μετεωρολογικών μεταβλητών

	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)	
	β_i	e_i
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	0,226	0,171
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	0,099	5,824E-05
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,151	-0,009
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,096	-0,005

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οι ελαστικότητες για κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές που σχετίζονται με τις μετεωρολογικές συνθήκες (δεν περιλαμβάνονται οι ψευδομεταβλητές).

Η ελαστικότητα αποτελεί ένα μέτρο της σχετικής επιρροής μιας ανεξάρτητης μεταβλητής στην αντίστοιχη εξαρτημένη. Η σχέση η οποία δίνει την ελαστικότητα είναι:

$$e_i = (\Delta Y_i / \Delta X_i) \,.\, (X_i / Y_i) = \beta_i \,.\, (X_i / Y_i)$$

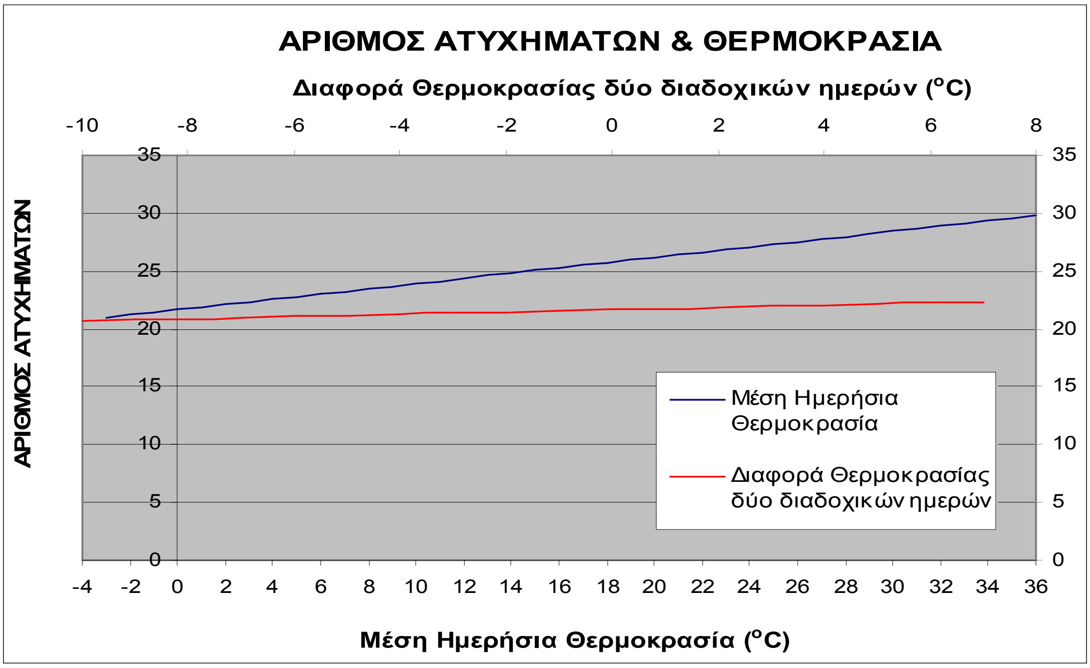
όπου β_i :ο συντελεστής (απόλυτη τιμή) της ανεξάρτητης μεταβλητής.

Όπως ήταν φυσικό υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των παραπάνω τιμών για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή.

Από τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη επιρροή στον αριθμό των ατυχημάτων έχει η μεταβλητή που σχετίζεται με την θερμοκρασία (στήλη **e**). Τη μικρότερη όμως επιρροή εμφανίζει η μεταβλητή που αφορά στη διαφορά της θερμοκρασίας μιας δεδομένης ημέρας από την αντίστοιχη θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές αυτής της μεταβλητής είναι ιδιαιτέρως χαμηλές (μικρές διαφορές στη θερμοκρασία μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών). Από την άλλη πλευρά, οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη βροχόπτωση φαίνεται ότι παρουσιάζουν μικρότερη επιρροή σε σχέση με εκείνες της θερμοκρασίας. Αυτό ίσως οφείλεται και στο γεγονός ότι στον πληθυσμό που εξετάστηκε σημαντικά μεγάλος αριθμός ημερών είχαν μηδενικό ύψος βροχόπτωσης (ξηρές ημέρες).

Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ευαισθησίας με στόχο μια εποπτική παρατήρηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη.



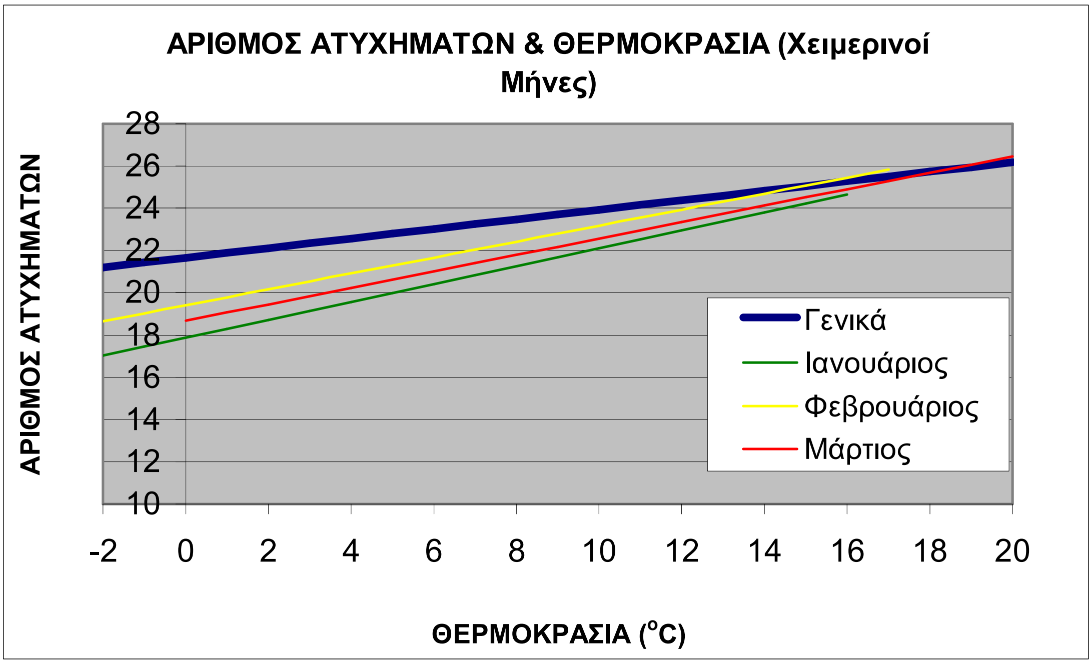
Γράφημα 5. 8: Διάγραμμα Ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας (γενικά)

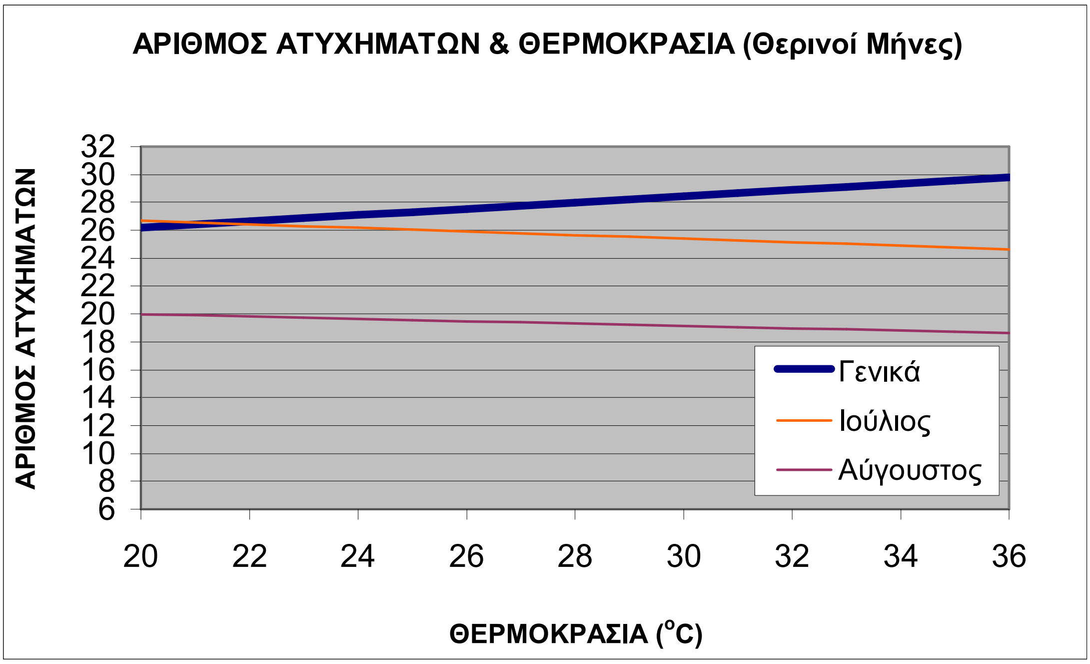
Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή στον αριθμό των ατυχημάτων σε σχέση με τη **μέση ημερήσια θερμοκρασία** (μπλε γραμμή) και τη **διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών** (κόκκινη γραμμή). Τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν εάν στην τελική εξίσωση του μοντέλου διατηρηθεί μόνο η ανεξάρτητη μεταβλητή της οποίας μετράμε την επιρροή και το σταθερό όρο, ενώ μηδενιστούν οι υπόλοιπες μεταβλητές.

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η θερμοκρασία σχετίζεται θετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων, καθώς η συνάρτηση είναι αύξουσα (θετική κλίση). Αυτό άλλωστε αποδεικνύεται και από τα θετικά πρόσημα των συντελεστών, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ο ρυθμός (κλίση της ευθείας) με τον οποίο επηρεάζει η μεταβολή της θερμοκρασίας (μπλε γραμμή) είναι μεγαλύτερος (μεγαλύτερη κλίση ευθείας) σε σχέση με εκείνον της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών.

Ας σημειωθεί ότι το παραπάνω γράφημα, καθώς και όλα τα επόμενα γραφήματα, αναφέρεται σε τιμές θερμοκρασίας ή διαφοράς θερμοκρασίας οι οποίες παρατηρήθηκαν και περιλαμβάνονται στα δεδομένα της εργασίας αυτής.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται δύο διαγράμματα στα οποία φαίνεται η επιρροή των μεταβολών της θερμοκρασίας, σε σχέση με το μήνα που αυτές συντελούνται, στην υπό εξέταση εξαρτημένη μεταβλητή.



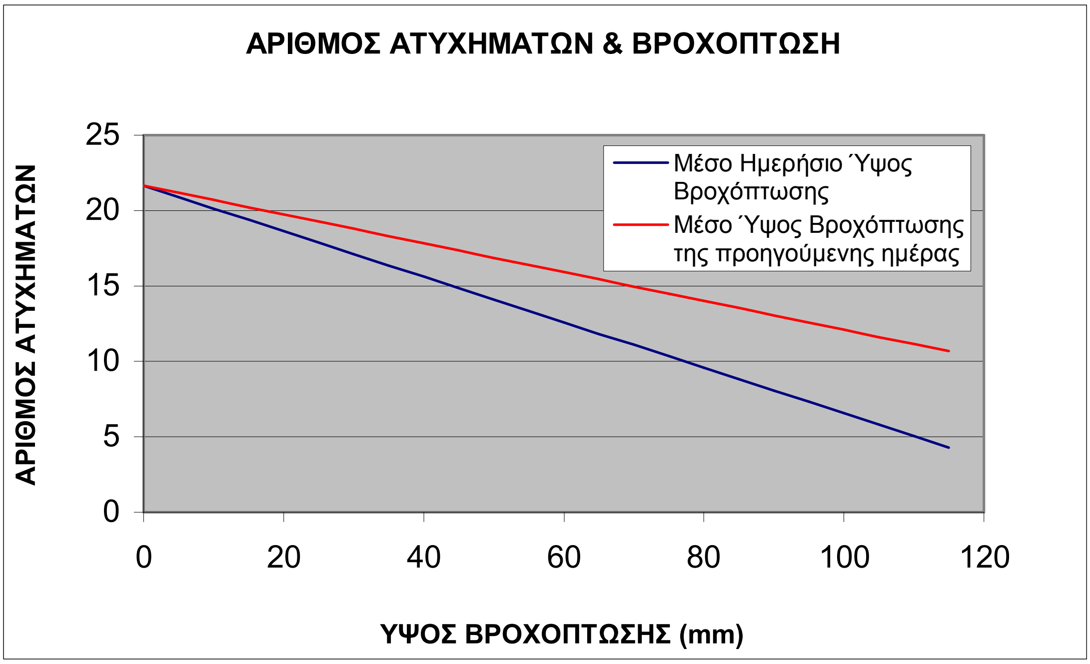


Γράφημα 5. 9: Διαγράμματα Ευαισθησίας για τη μεταβολή της θερμοκρασίας εντός συγκεκριμένων μηνών

Στα παραπάνω διαγράμματα με έντονη μπλε γραμμή φαίνεται η μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων όταν μεταβάλλεται η μέση ημερήσια θερμοκρασία (γενικά). Οι υπόλοιπες γραμμές δείχνουν τη μεταβολή του αριθμού των ατυχημάτων όταν παρατηρούνται μεταβολές της θερμοκρασίας εντός συγκεκριμένων μηνών. Οι μήνες αυτοί είναι ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος, ο Μάρτιος (άνω διάγραμμα) και ο Ιούλιος με τον Αύγουστο (κάτω διάγραμμα) των οποίων οι πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές μήνας-θερμοκρασία αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Οι κλίσεις των ευθειών για κάθε μήνα σε σχέση με εκείνη της ευθείας για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, αποδεικνύουν όσα αναφέρθηκαν και προηγουμένως. Δηλαδή, αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων, ενώ αντίθετα αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες (Ιούλιο και Αύγουστο) προκαλεί μείωση στο αντίστοιχο αριθμό των ατυχημάτων. Τέλος κατά το μήνα Αύγουστο παρατηρούνται χαμηλότεροι αριθμοί ατυχημάτων σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες. Αυτό προκύπτει και από τα διαγράμματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης.

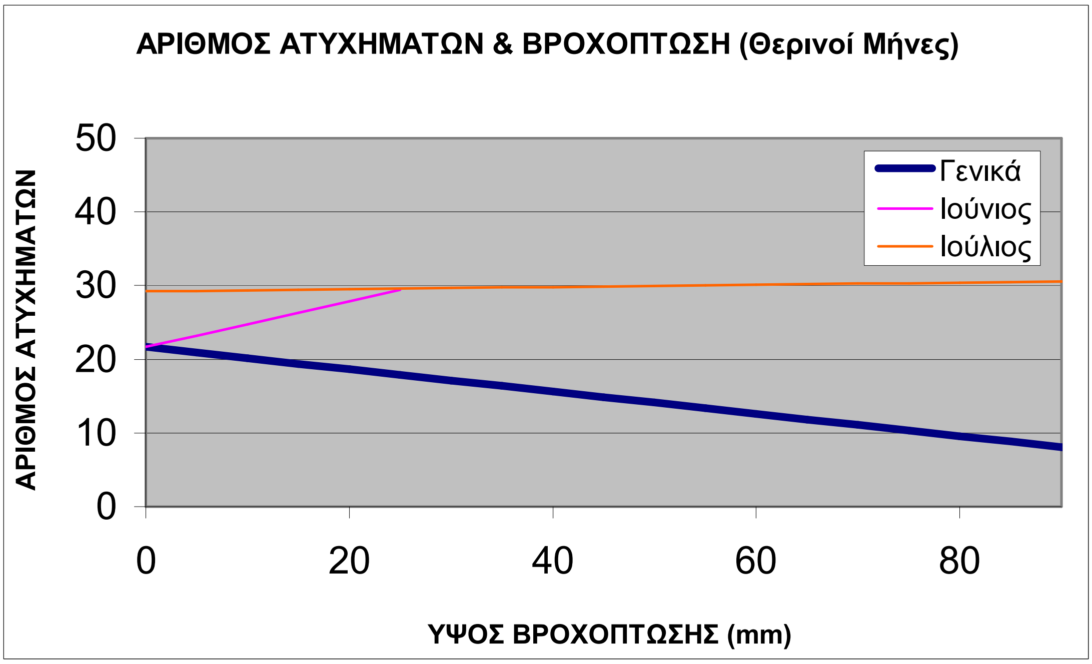
Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή στον αριθμό των ατυχημάτων σε σχέση με το **μέσο ύψος βροχόπτωσης** (μπλε γραμμή) και τη **μέσο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας** (κόκκινη γραμμή).



Γράφημα 5. 10: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή του ύψους βροχόπτωσης (γενικά)

Γίνεται φανερό ότι το ύψος βροχόπτωσης σχετίζεται αρνητικά με τον αριθμό των ατυχημάτων. Αυτό άλλωστε προκύπτει και από την παρατήρηση των προσήμων των συντελεστών των αντίστοιχων μεταβλητών. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το μέσο ύψος βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας επηρεάζει περισσότερο τον ρυθμό μεταβολής (μείωσης) των ατυχημάτων σε σχέση με το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας.

Το τελευταίο γράφημα παρουσιάζει την επιρροή των μεταβολών του ύψους βροχόπτωσης, σε σχέση με το μήνα που αυτές συντελούνται, στην υπό εξέταση μεταβλητή.



Γράφημα 5. 11: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή του ύψους βροχόπτωσης εντός συγκεκριμένων μηνών

Στο γράφημα αυτό παρουσιάζονται εποπτικά τα συμπεράσματα σχετικά με τον αντίκτυπο της βροχόπτωσης κατά τους θερινούς μήνες, έτσι όπως καταγράφηκαν και προηγουμένως. Έτσι φαίνεται ότι αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά τον μήνα Ιούνιο (ροζ γραμμή) προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων σε αντίθεση με την αύξηση του ύψους βροχόπτωσης γενικά (έντονη μπλε γραμμή).Το ίδιο συμβαίνει και με τον μήνα Ιούλιο (πορτοκαλί γραμμή), αν και εδώ η συνάρτηση εμφανίζει μικρότερη κλίση σε σχέση με εκείνη του Ιουνίου. Παρατηρείται ότι ο μήνας Ιούλιος επηρεάζει και τον σταθερό όρο της εξίσωσης (σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα Υ), αυτό οφείλεται ενδεχομένως στο γεγονός ότι και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τον μήνα αυτό, αλλά δεν είναι μετρήσιμοι στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, επηρεάζουν το υπό εξέταση φαινόμενο. Άλλωστε αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι είναι στατιστικά σημαντική η (ψεύδο)μεταβλητή DJUL. Τέλος, να σημειωθεί ότι οι τιμές του άξονα Χ ανταποκρίνονται στα όρια που παρατηρήθηκαν στα δεδομένα της παρούσας εργασίας. Για τον λόγο αυτό η ευθεία για το μήνα Ιούνιο παίρνει τιμές Χ μέχρι 23 mm (μέγιστο παρατηρηθέν ύψος βροχόπτωσης για τον μήνα Ιούνιο).

5.5.2 Αριθμός των Νεκρών

Πίνακας 5. 10: Τελικά Αποτελέσματα για τον Αριθμό των Νεκρών

Dependent Variable		*FATALITI*	
Number of observations	7670	R-squared	0,026
Parameters	25	Adjusted R-squared	0,023
Degrees of Freedom	7645	Durbin - Watson	1,958

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	t_{stat} *= b/SE*
Constant	1,182	0,02739	43,132
TOTALPRE	-0,005	0,00271	-1,877
DIFFMT	0,005	0,00230	2,116
PRECIP_1	-0,006	0,00212	-2,706
DSUN	0,171	0,03818	4,478
DTUE	-0,226	0,03818	-5,927
DWED	-0,149	0,03817	-3,917
DTHU	-0,137	0,03817	-3,580
DFRI	-0,105	0,03817	-2,740
DJAN	-0,408	0,15406	-2,645
DFEB	-0,391	0,12705	-3,076
DMAR	-0,070	0,04150	-1,677
D1986	-0,231	0,05513	-4,199
D1987	-0,182	0,05509	-3,307
D1988	-0,172	0,05502	-3,135
D1991	0,163	0,06317	2,584
D1993	0,111	0,05515	2,010
D1995	0,158	0,06317	2,508
D1996	0,246	0,06412	3,834
D1998	0,143	0,06421	2,230
D1999	0,119	0,05508	2,161
D2000	0,187	0,06419	2,915
DJANM	0,039	0,01502	2,567
DFEBM	0,033	0,01248	2,633
DJANP	-0,013	0,00746	-1,682

Παρατηρώντας τον πίνακα αρχικά διαπιστώνεται ότι ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** για το συγκεκριμένο μοντέλο παίρνει την τιμή **0,026**. Ο συντελεστής αυτός είναι εξαιρετικά χαμηλός. Η πιθανότερη αιτία σε αυτό είναι ότι η εξαρτημένη μεταβλητή του συγκεκριμένου μοντέλου δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Αυτό φαίνεται και από τα διαγράμματα συχνοτήτων που προέκυψαν από την περιγραφική στατιστική ανάλυση των στοιχείων. Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και το γεγονός ότι το δείγμα είναι σχετικά μικρό σε σύγκριση με τον αριθμό των ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται μόλις 8.557 νεκροί στα 21 έτη μελέτης σε σχέση με τα 199.370 συνολικά ατυχήματα. Ενώ σε σύνολο 7.670 ημερών (περίοδος μελέτης) τις 2.836 ημέρες δεν υπήρχε κανένας νεκρός.

Από πλευράς αυτοσυσχέτισης ο συντελεστής της **στατιστικής Durbin-Watson** έχει τιμή **d = 1,958.** Αυτό είναι ένα πολύ ενδιαφέρον και θετικό στοιχείο καθώς αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει ουσιαστική αυτοσυσχέτιση μεταξύ των σφαλμάτων, αφού ο εν λόγω συντελεστής είναι περίπου ίσος με 2 (μηδενική αυτοσυσχέτιση).

Από τους **συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών** μπορούν να υποτεθούν τα εξής:

Από τις μεταβλητές που σχετίζονται με τη **θερμοκρασία**, μόνο η μεταβλητή που αναφέρεται στη διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών είναι στατιστικά σημαντική. Μάλιστα η μεταβλητή αυτή εμφανίζει θετική επιρροή (θετικό πρόσημο στο αντίστοιχο συντελεστή). Με άλλα λόγια, φαίνεται ότι αύξηση της διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των νεκρών.

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με το μέσο ημερήσιο **ύψος βροχόπτωσης** και το μέσο ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας (μεταβλητή με υστέρηση) εμφανίζουν αρνητική επιρροή (αρνητικό πρόσημο στον αντίστοιχο συντελεστή). Δηλαδή, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών. Αξίζει, τέλος, να σημειωθεί ότι η επιρροή της βροχόπτωσης (γενικά) στον αριθμό των νεκρών, εμφανίζει **τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (αρνητική σχέση**) με την επιρροή της βροχόπτωσης στον αριθμό των ατυχημάτων.

Οι (ψευδο)μεταβλητές που αφορούν **στην επίδραση των ημερών** της εβδομάδας στον αριθμό των νεκρών είναι όλες στατιστικά σημαντικές, εκτός από εκείνη της Δευτέρας. Χαρακτηριστικό όμως είναι ότι παρατηρείται το αντίστροφο φαινόμενο από εκείνο που παρατηρήθηκε στον αριθμό των ατυχημάτων. Οι μεταβλητές που αναφέρονται στις καθημερινές ημέρες εμφανίζουν αρνητικό συντελεστή. Αντίθετα η μεταβλητή που αναφέρεται στις Κυριακές εμφανίζει θετικό συντελεστή. Μία πιθανή αιτία είναι ότι τα ξημερώματα της Κυριακής υπάρχει σημαντική πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος και μάλιστα θανατηφόρου λόγω της επιστροφής πολλών Αθηναίων από τη νυχτερινή διασκέδαση του Σαββάτου. Άλλωστε όπως έχει παρατηρηθεί πολλοί οδηγοί βρίσκονται να οδηγούν υπό την επήρεια αλκοόλ τα ξημερώματα Σαββάτου προς Κυριακή. Πρέπει δε να τονιστεί εδώ, ότι το φαινόμενο αυτό απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Μάλιστα σε μια τέτοια έρευνα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι επιμέρους χρονικές περίοδοι μέσα στο εικοσιτετράωρο (μεσάνυχτα, ξημερώματα κλπ).

Όσον αφορά στις ψευδομεταβλητές **των ετών**, πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως και στην προηγούμενη εξίσωση, δεν είναι όλες στατιστικά σημαντικές. Επομένως και εδώ συμπεριλήφθησαν μόνο οι μεταβλητές για τα έτη που ικανοποιούν τον έλεγχο t-test. Όπως και στο μοντέλο με εξαρτημένη ψευδομεταβλητή των αριθμό των ατυχημάτων, έτσι και εδώ τα πρώτα έτη της μελέτης εμφανίζουν αρνητική επιρροή στους αριθμούς των νεκρών σε αντίθεση με τα τελευταία που εμφανίζουν θετική επιρροή.

Αναφορικά με την **επιρροή των μηνών**, μόνο οι χειμερινοί μήνες (Ιανουάριος, Φεβρουάριος) εμφανίζονται να έχουν ουσιαστική επιρροή στον αριθμό των νεκρών. Μάλιστα η επιρροή αυτή είναι αρνητική. Προφανώς αυτό να οφείλεται και στις βροχοπτώσεις που είναι πιο πιθανό να παρατηρηθούν αυτήν την εποχή. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι η πολλαπλασιαστική ψευδομεταβλητή που εκπροσωπεί την επιρροή Ιανουαρίου-Βροχόπτωσης παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο. Με άλλα λόγια αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά τον Ιανουάριο οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών. Αντίθετα, αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες προκαλεί αύξηση του αριθμού των νεκρών (όπως συμβαίνει και με τον αριθμό των ατυχημάτων).

Συνεπώς (όπως και για τον αριθμό των ατυχημάτων), η εξίσωση που αναφέρεται στον αριθμό των νεκρών διατυπώνεται ως εξής:

FATALITI = 1,182 + 0,005*DIFFMT - 0,005*TOTALPRE - 0,006*PRECIP_1 + γ_iDYEAR + γ_iDDAY + γ_iDMONTH + γ_iDMONTHM + γ_iDMONTHP + ε

<u>Σχετική Επιρροή των Μετεωρολογικών Μεταβλητών</u>

Πίνακας 5. 11: Σχετική Επιρροή (ελαστικότητες) των μετεωρολογικών μεταβλητών

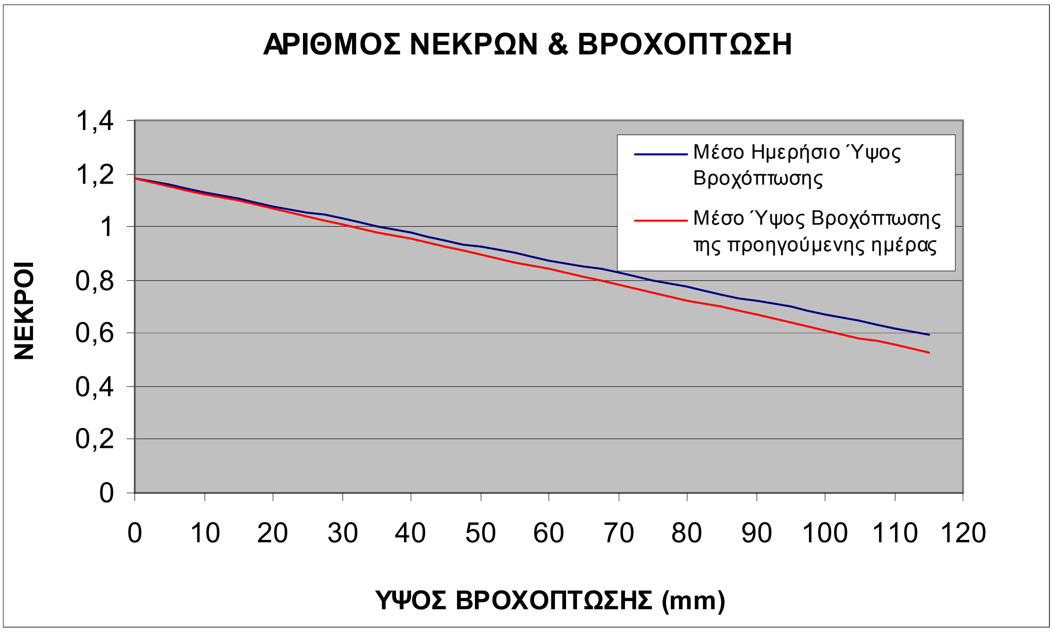
	Αριθμός Νεκρών (FATALITI)	
	β_i	**e_i**
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	-	-
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	0,005	7,237E-06
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,005	-0,004
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,006	-0,005

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οι ελαστικότητες των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών που σχετίζονται με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Παρουσιάζεται η σχετική επιρροή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στον αριθμό των νεκρών. Χαρακτηριστικό είναι ότι απουσιάζει η μεταβλητή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, αφού από τον έλεγχο t-test αποδείχθηκε ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική για το επίπεδο εμπιστοσύνης της παρούσας έρευνας.

Συμπερασματικά τη μεγαλύτερη επιρροή (υψηλότερη ελαστικότητα) στην εξαρτημένη μεταβλητή φαίνεται να ασκούν οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη βροχόπτωση. Αντίθετα τη μικρότερη επιρροή (μικρότερη τιμή ελαστικότητας) ασκεί η μεταβλητή που παριστάνει τη διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών.

Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity)

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται και εποπτικά η «συμπεριφορά» της βροχόπτωσης (ύψους) στον αριθμό των νεκρών.



Γράφημα 5. 12: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή του ύψους βροχόπτωσης (γενικά)

Πράγματι, όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, τόσο το ύψος βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας (μπλε γραμμή), όσο και της προηγούμενης (κόκκινη γραμμή), παρουσιάζει αρνητική σχέση με τον αριθμό των νεκρών. Αυτό φαίνεται από την αρνητική κλίση των δύο ευθειών του διαγράμματος. Μάλιστα ο ρυθμός μείωσης του αριθμού των νεκρών φαίνεται ότι είναι μεγαλύτερος κατά την αύξηση του ύψους βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας

5.5.3 Αριθμός των Νεκρών Πεζών

Πίνακας 5. 12: Τελικά Αποτελέσματα για τον Αριθμό των Νεκρών Πεζών

Dependent Variable		*KILLEDPE*	
Number of observations	7670	R-squared	0,010
Parameters	18	Adjusted R-squared	0,008
Degrees of Freedom	7652	Durbin - Watson	1,979

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	$t_{stat} = b/SE$
Constant	0,310	0,01006	30,865
TOTALPRE	-0,002	0,00134	-1,853
DMON	0,070	0,01789	3,886
DJAN	-0,161	0,07892	-2,040
DJUL	0,506	0,23940	2,112
D1985	0,055	0,02833	1,926
D1989	0,068	0,02836	2,384
D1990	0,157	0,02831	5,562
D1991	0,088	0,03280	2,684
D1994	0,062	0,02828	2,198
D1995	0,054	0,03275	1,659
D1996	0,115	0,03294	3,503
D1998	0,079	0,03297	2,390
D2000	0,079	0,03299	2,380
DJANM	0,020	0,00772	2,609
DFEBM	0,005	0,00251	2,108
DJULM	-0,019	0,00842	-2,229
DJUNP	0,018	0,01078	1,634

Παρατηρώντας τον πίνακα αρχικά διαπιστώνεται ότι ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** για το συγκεκριμένο μοντέλο παίρνει την τιμή **0,010**. Ο συντελεστής αυτός, όπως και στην περίπτωση του (συνολικού) αριθμού των νεκρών, είναι εξαιρετικά χαμηλός. Η πιθανότερη αιτία και στην περίπτωση αυτή, είναι ότι η εξαρτημένη μεταβλητή του συγκεκριμένου μοντέλου δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα συχνοτήτων που προέκυψαν από την περιγραφική στατιστική ανάλυση των στοιχείων (Γράφ. 5.2). Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και το γεγονός ότι το δείγμα είναι σχετικά μικρό σε σύγκριση με τον αριθμό των ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται μόλις 2.751 νεκροί πεζοί στα 21 έτη μελέτης. Επίσης σε σύνολο 7.670 ημερών (περίοδος μελέτης) τις 5.392 ημέρες δεν προέκυψε κανένας νεκρός πεζός. Ας σημειωθεί δε, ότι ο συντελεστής της **στατιστικής Durbin-Watson** έχει τιμή **d = 1,979.** Αυτό υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει ισχυρή αυτοσυσχέτιση μεταξύ των σφαλμάτων της εξίσωσης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι **η συμπεριφορά των πεζών** και κατά συνέπεια η μελέτη των ατυχημάτων στα οποία εμπλέκονται πεζοί είναι **ένα πολύ σύνθετο φαινόμενο,** το οποίο έχει απασχολήσει εκτενώς την έρευνα στον τομέα της οδικής ασφάλειας. Οι έρευνες που αναφέρονται στο αντικείμενο αυτό αποδεικνύουν ότι η συμπεριφορά των πεζών σχετίζεται με ένα πλήθος παραγόντων, όπως η ηλικία, το φύλο, η σωματική κατάσταση κ.α. Ακόμη και η κυκλοφοριακή παιδεία ενός λαού σε συνδυασμό με την αστυνόμευση των οδών ενδεχομένως να παίζουν ρόλο. Έτσι λοιπόν είναι πραγματικά πολύ δύσκολο να περιγραφεί η διακύμανση στους αριθμούς των νεκρών πεζών μόνο και μόνο με τη χρήση μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως επιχειρείται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Τα παραπάνω εξηγούν σε ένα βαθμό το λόγο για τον οποίο το μοντέλο για τους νεκρούς πεζούς παρουσιάζει έναν σχετικά χαμηλό συντελεστή προσαρμογής R^2.

Επισημαίνεται ότι δεδομένου του χαμηλού συντελεστή προσαρμογής R^2 τυχόν συμπεράσματα θα πρέπει να διατυπωθούν με ιδιαίτερη επιφύλαξη, παρατηρώντας **τους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών** προκύπτουν τα παρακάτω:

Από τις μεταβλητές που σχετίζονται με τη **θερμοκρασία, καμία μεταβλητή** δεν είναι στατιστικά σημαντική ώστε να συμπεριληφθεί στο μοντέλο.

Από τις μεταβλητές που αφορούν στο **ύψος βροχόπτωσης**, μόνο η μεταβλητή του ύψους βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας είναι στατιστικά σημαντική. Μάλιστα παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο, γεγονός που σημαίνει ότι, όσο αυξάνεται το ύψος βροχόπτωσης τόσο μειώνεται ο αριθμός των νεκρών πεζών. Η προφανέστερη εξήγηση για τη συμπεριφορά αυτή είναι οι μειωμένες μετακινήσεις των πεζών κατά τις βροχερές μέρες. Επίσης ενδεχομένως και το γεγονός ότι υπό συνθήκες βροχής οι οδηγοί είναι περισσότερο προσεκτικοί και επιλέγουν μικρότερες ταχύτητες, γεγονός που συνεπάγεται και μη θανατηφόρους τραυματισμούς πεζών (έρευνες δείχνουν ότι η πιθανότητα θανάτου παρασυρθέντος πεζού μειώνεται σημαντικά όσο μειώνεται η ταχύτητα του εμπλεκόμενου οχήματος).

Από τις μεταβλητές που αφορούν στις **ημέρες της εβδομάδας**, μόνο η μεταβλητή της Δευτέρας παρουσιάζεται να έχει στατιστικά σημαντική επίδραση. Αυτό ίσως να οφείλεται στις αυξημένες μετακινήσεις πεζών που μπορεί να παρατηρούνται την πρώτη εργάσιμη ημέρα της εβδομάδας.

Αναφορικά με τα **έτη**, μόνο 9 από τα 21 έτη παρουσιάζονται ότι έχουν επιρροή στο σταθερό όρο της συγκεκριμένης εξίσωσης. Αυτή η επιρροή ενδεχομένως να οφείλεται σε μεταβολές παραγόντων που συνέβησαν κατά τα έτη αυτά και συνέβαλλαν στο υπό εξέταση φαινόμενο, χωρίς όμως να είναι διαθέσιμα άλλα περαιτέρω στοιχεία.

Παρεμφερή συμπεράσματα, σε σχέση με τις δύο πρώτες εξισώσεις, προκύπτουν από τις **μεταβλητές των μηνών**. Και εδώ κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο, παρατηρείται μείωση του αριθμού των νεκρών πεζών, προφανώς λόγω των χαμηλών μετακινήσεων των πεζών. Το φαινόμενο αυτό όμως αντιστρέφεται όταν παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των δύο αυτών χειμερινών μηνών. Τέλος, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά τον μήνα Ιούνιο προκαλεί αύξηση του αριθμού των νεκρών πεζών. Στα πιθανά αίτια αυτής της συμπεριφοράς έγινε αναφορά κατά την ανάλυση της εξίσωσης του αριθμού των ατυχημάτων.

Επομένως η εξίσωση του αριθμού των νεκρών πεζών διατυπώνεται ως εξής:

KILLEDPE = 0,310 - 0,002*TOTALPRE + γ_iDYEAR + γ_iDDAY + γ_iDMONTH + γ_iDMONTHM + γ_iDMONTHP + ε

Σχετική Επιρροή των Μετεωρολογικών Μεταβλητών

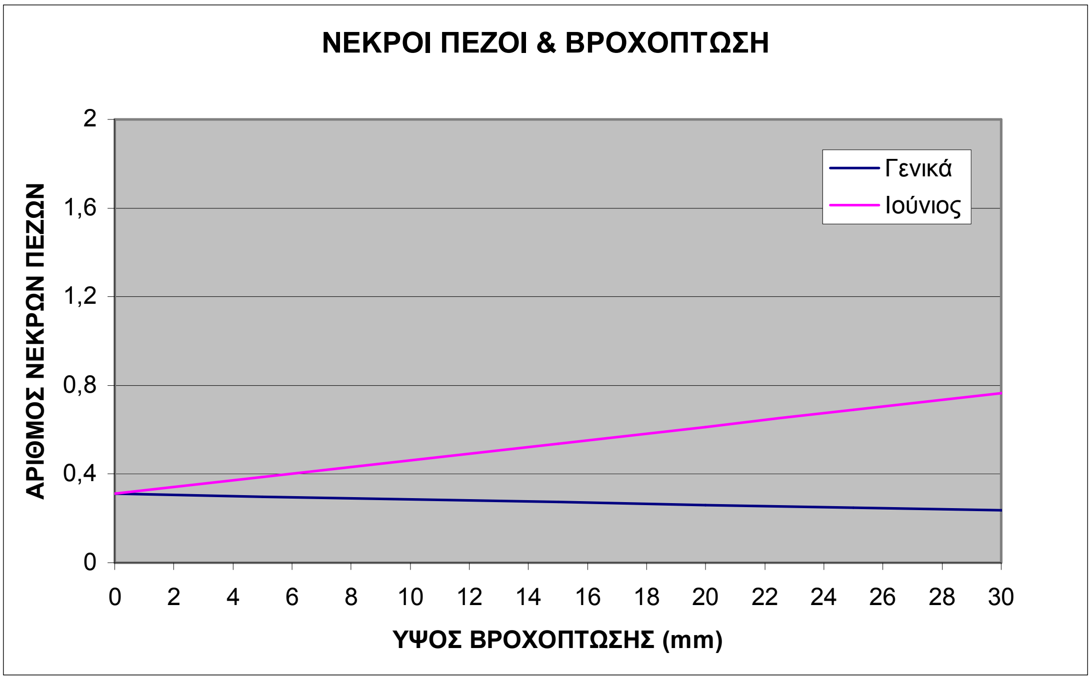
Πίνακας 5. 13: Σχετική Επιρροή (ελαστικότητες) των μετεωρολογικών μεταβλητών

	Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)	
	β_i	e_i
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	-	-
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	-	-
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,002	-0,002
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-	-

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η σχετική επιρροή για τη μόνη ανεξάρτητη μεταβλητή που σχετίζεται με τις μετεωρολογικές συνθήκες και προέκυψε στατιστικά σημαντική. Η μεταβλητή αυτή είναι το μέσο ύψος βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας. Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μεταβλητή αυτή έχει χαμηλή επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή (0,2%).

Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity)

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται και εποπτικά η «συμπεριφορά» της βροχόπτωσης (ύψους) στον αριθμό των νεκρών πεζών.



Γράφημα 5. 13: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή του ύψους βροχόπτωσης εντός συγκεκριμένων μηνών

Όπως παρατηρείται και από το γράφημα, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης (μπλε γραμμή) προκαλεί μείωση στον αριθμό των νεκρών πεζών (αρνητική κλίση της ευθείας). Χαρακτηριστικό όμως είναι ότι εάν αυτή η αύξηση στο ύψος βροχόπτωσης συμβεί κατά το μήνα Ιούνιο τότε προκαλείται αύξηση (και όχι μείωση) του αριθμού των νεκρών πεζών (θετική κλίση της ευθείας).

5.5.4 Αριθμός των Τραυματιών Πεζών

Πίνακας 5. 14: Τελικά Αποτελέσματα για τον Αριθμό των Τραυματιών Πεζών

Dependent Variable		*INJUREDP*	
Number of observations	7670	R-squared	0,184
Parameters	34	Adjusted R-squared	0,181
Degrees of Freedom	7636	Durbin - Watson	1,894

Variable	*Coefficient (b)*	*Standard Error (SE)*	$t_{stat} = b/SE$
Constant	3,537	0,14064	25,151
MEANTEMP	0,050	0,00602	8,293
TOTALPRE	-0,020	0,00604	-3,288
DIFFMT	0,026	0,00621	4,122
PRECIP_1	-0,019	0,00571	-3,402
DSUN	-0,715	0,11417	-6,266
DMON	1,323	0,11417	11,584
DTUE	1,411	0,11419	12,360
DWED	1,374	0,11415	12,033
DTHU	1,385	0,11415	12,132
DFRI	1,709	0,11415	14,969
DMAR	-0,255	0,11448	-2,231
DSEP	2,075	1,07820	1,925
D1985	2,111	0,13367	15,791
D1986	1,624	0,15246	10,651
D1987	1,115	0,15255	7,309
D1988	1,858	0,15213	12,211
D1989	0,658	0,15249	4,315
D1991	1,032	0,13396	7,703
D1992	0,940	0,15234	6,168
D1993	0,956	0,15229	6,277
D1994	0,675	0,13371	5,047
D1995	0,332	0,13379	2,478
D1996	0,774	0,15225	5,086
D1997	0,931	0,15231	6,110
D1998	1,262	0,15220	8,291
D1999	1,147	0,15228	7,533
D2000	0,989	0,15220	6,499
D2001	0,721	0,15234	4,733
DAPRM	-0,025	0,00709	-3,466
DJULM	-0,053	0,00476	-11,099
DAUGM	-0,103	0,00478	-21,503
DSEPM	-0,117	0,04503	-2,596
DJUNP	0,105	0,05603	1,870

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η εξίσωση για τον αριθμό των τραυματιών πεζών εμφανίζει ορισμένες (ποιοτικές) ομοιότητες με εκείνη για τον συνολικό αριθμό των ατυχημάτων (και οι τέσσερις ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρονται στις μετεωρολογικές συνθήκες είναι στατιστικά σημαντικές, όλες οι μεταβλητές για της ημέρες της εβδομάδας πρέπει να περιληφθούν στην εξίσωση κ.α.). Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται και στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο δείγμα είναι σαφώς μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα για τους αριθμούς των νεκρών και των νεκρών πεζών (43.424 τραυματίες πεζοί, 7.590 ημέρες από τις 7.670 με τραυματίες πεζούς). Ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** όμως παίρνει την τιμή **0,184**. Ο συντελεστής αυτός θεωρείται χαμηλός, αφού μόλις το 18% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να εξηγηθεί από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Πιθανές αιτίες της χαμηλής ποιότητας του συγκεκριμένου μοντέλου μάλλον πρέπει να αναζητηθούν στα όσα αναφέρθηκαν και στην περίπτωση του μοντέλου με εξαρτημένη μεταβλητή τον αριθμό των ατυχημάτων. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη και η πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς των πεζών (πρβλ. μοντέλο για τον αριθμό των νεκρών πεζών).

Από πλευράς αυτοσυσχέτισης ο συντελεστής της **στατιστικής Durbin-Watson** έχει τιμή **d = 1,894.** Αποδεικνύεται λοιπόν ότι δεν υπάρχει μεγάλος βαθμός αυτοσυσχέτισης των σφαλμάτων της εξίσωσης.

Αναφορικά με τις ανεξάρτητες μεταβλητές, παρατηρείται ότι και οι τέσσερις μεταβλητές που σχετίζονται με τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι στατιστικά σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αναλυτικότερα, προκύπτουν τα εξής:

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη μέση ημερησία **θερμοκρασία** και τη διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών εμφανίζουν θετική επιρροή (θετικό πρόσημο στο αντίστοιχο συντελεστή). Δηλαδή, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των τραυματιών πεζών. Προφανώς αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση της θερμοκρασίας ωθεί περισσότερους κατοίκους να βγουν από τα σπίτια τους, αυξάνοντας τις μετακινήσεις των πεζών και συνεπώς τον αριθμό των ατυχημάτων με τραυματισμό πεζού.

Αντιθέτως, οι μεταβλητές που σχετίζονται με **το ύψος βροχόπτωσης** έχουν αρνητική επιρροή στον αριθμό των τραυματιών πεζών. Με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται το ύψος βροχόπτωσης τόσο μειώνεται ο αριθμός των τραυματιών πεζών. Αυτό φυσικά εξηγείται από το γεγονός ότι οι πεζοί περιορίζουν τις μετακινήσεις τις βροχερές ημέρες, είτε μένοντας στο σπίτι είτε επιλέγοντας άλλα μέσα μεταφοράς (ΙΧ, Μέσα Μαζικής Μεταφοράς).

Όσον αφορά στις μεταβλητές που σχετίζονται με τις **ημέρες της εβδομάδας**, παρατηρείται ότι όλες οι ημέρες επηρεάζουν τον σταθερό όρο της εξίσωσης. Συνεπώς παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την κάθε ημέρα της εβδομάδας επηρεάζουν τους αριθμούς των τραυματιών πεζών. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι η μεταβλητή για την Κυριακή παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο. Αυτό προφανώς εξηγείται από το γεγονός ότι τις Κυριακές έχουμε λιγότερες μετακινήσεις (πεζών) εντός της Αθήνας σε σχέση με τις καθημερινές.

Αναφορικά με την επιρροή κάθε **έτους** της μελέτης στο υπό εξέταση φαινόμενο παρατηρείται ότι, όπως και στις τρεις προηγούμενες εξισώσεις, δεν είναι όλα τα έτη στατιστικώς σημαντικά για να συμπεριληφθούν οι αντίστοιχες ψευδομεταβλητές στην εξίσωση του μοντέλου.

Τέλος, σχετικά με την **επιρροή των μηνών** παρουσιάζονται και εδώ συναφή αποτελέσματα σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα. Αναλυτικότερα, αύξηση της θερμοκρασίας εντός των θερινών μηνών (Ιούλιο, Αύγουστο) προκαλεί μείωση του αριθμού των τραυματιών πεζών. Η τάση αυτή έχει τις ρίζες της στο γεγονός ότι κατά τις θερινές ημέρες με μεγάλη θερμοκρασία (ημέρες καύσωνα), οι πεζοί και κυρίως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι που είναι από τις πιο ευπαθείς κατηγορίες πεζών αποφεύγουν τις μετακινήσεις. Από την άλλη πλευρά αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά τον μήνα Ιούνιο επιφέρει αύξηση στον αριθμό των τραυματιών πεζών. Αίτια για τη σχέση αυτή έχουν περιγραφεί προηγουμένως, με κύριο εκείνο της μειωμένης προσοχής των πεζών λόγω της ανάγκης προφύλαξης από τη βροχή.

Συνεπώς, η εξίσωση που αναφέρεται στον αριθμό των τραυματιών πεζών διατυπώνεται ως εξής:

INJUREDP = 3,537 + 0,050*MEANTEMP + 0,026*DIFFMT - 0,020*TOTALPRE - 0,019*PRECIP_1 + γ_iDYEAR + γ_iDDAY + γ_iDMONTH + γ_iDMONTHM + γ_iDMONTHP + ε

Σχετική Επιρροή των Μετεωρολογικών Μεταβλητών

Πίνακας 5. 15: Σχετική Επιρροή (ελαστικότητες) των μετεωρολογικών μεταβλητών

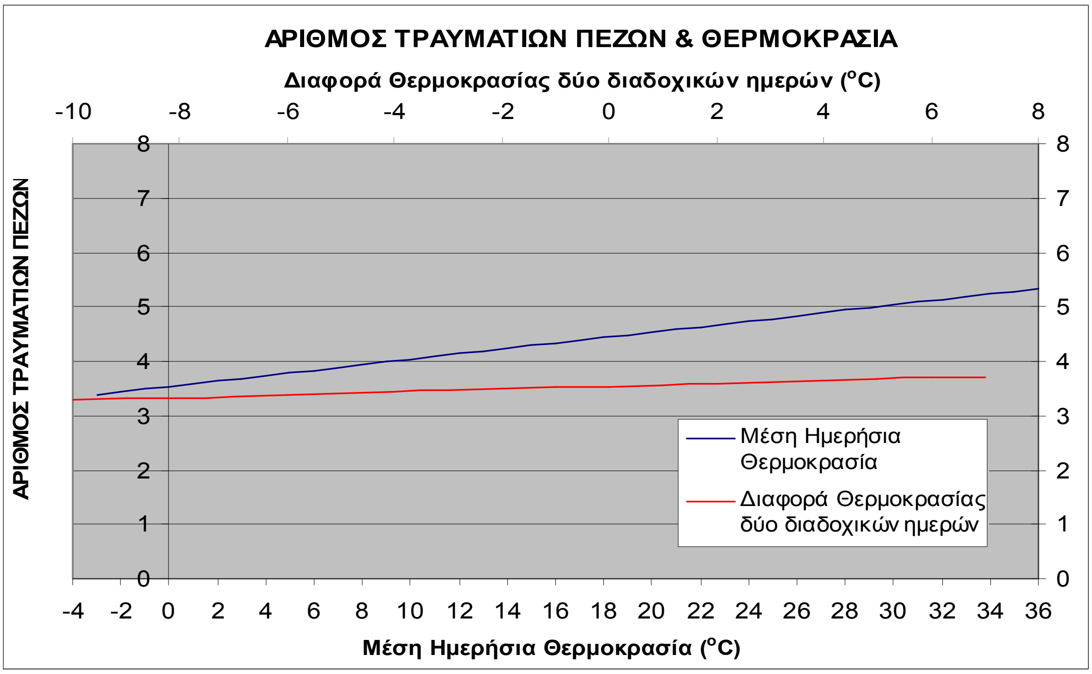
	Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)	
	β_i	e_i
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	0,050	0,228
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	0,026	1,484E-04
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,020	-0,006
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,019	-0,006

Στον προηγούμενο πίνακα δίδονται οι ελαστικότητες για κάθε μια από τις ανεξάρτητες (μετεωρολογικές) μεταβλητές.

Όπως μπορεί να συμπεράνει κανείς (στήλη e_i) τη μεγαλύτερη επιρροή φαίνεται ότι ασκεί η μέση ημερήσια θερμοκρασία μιας δεδομένης ημέρας. Αμέσως μετά ακολουθούν οι μεταβλητές που σχετίζονται με το ύψος βροχόπτωσης. Τέλος, αρκετά μικρή επιρροή φαίνεται ότι έχει η μεταβλητή που αναφέρεται στη διαφορά των θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών.

Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity)

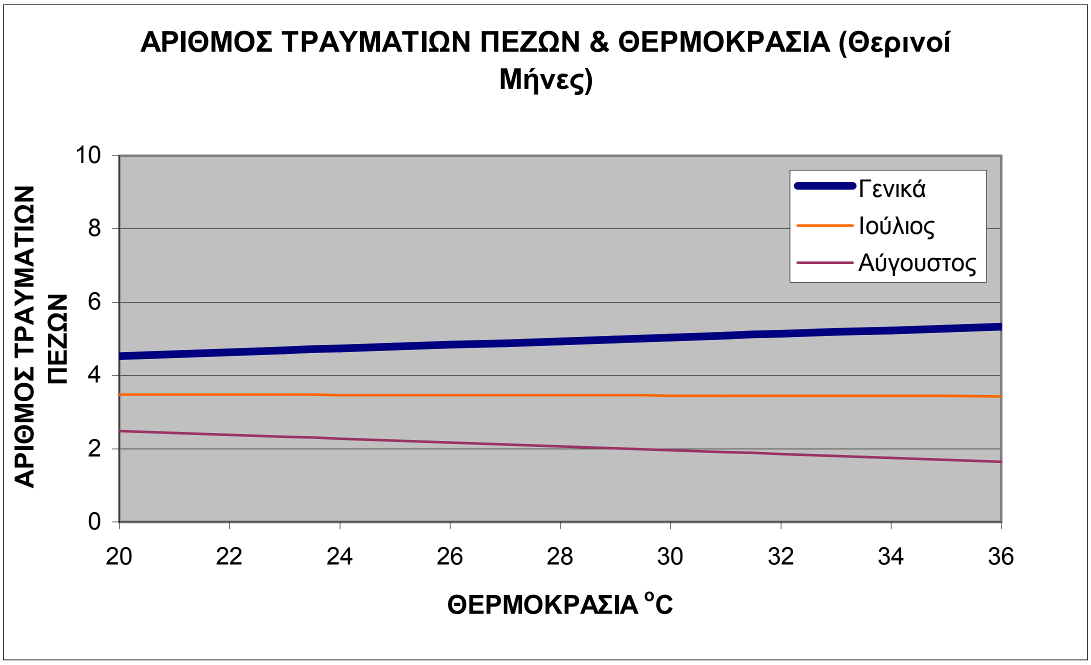
Στα επόμενα παρουσιάζονται τα διαγράμματα ευαισθησίας με στόχο την εποπτική παρατήρηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη.



Γράφημα 5. 14: Διάγραμμα Ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας (γενικά)

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η μεταβολή στον αριθμό των τραυματιών σε σχέση με τη **μέση ημερήσια θερμοκρασία** (μπλε γραμμή) και τη **διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών** (κόκκινη γραμμή). Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι και οι δύο μεταβλητές έχουν θετική επιρροή στον αριθμό των τραυματιών πεζών (θετική κλίση των ευθειών). Μάλιστα η διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών επηρεάζει λιγότερο τον ρυθμό μεταβολής του αριθμού των ατυχημάτων αφού η κλίση της ευθείας είναι μικρότερη (αυτό άλλωστε αποδεικνύεται και από τη μικρότερη ελαστικότητα). Και εδώ ας σημειωθεί ότι οι ευθείες αναφέρονται σε τιμές θερμοκρασίας ή διαφοράς θερμοκρασίας οι οποίες παρατηρήθηκαν και περιλαμβάνονται στα δεδομένα της εργασίας αυτής.

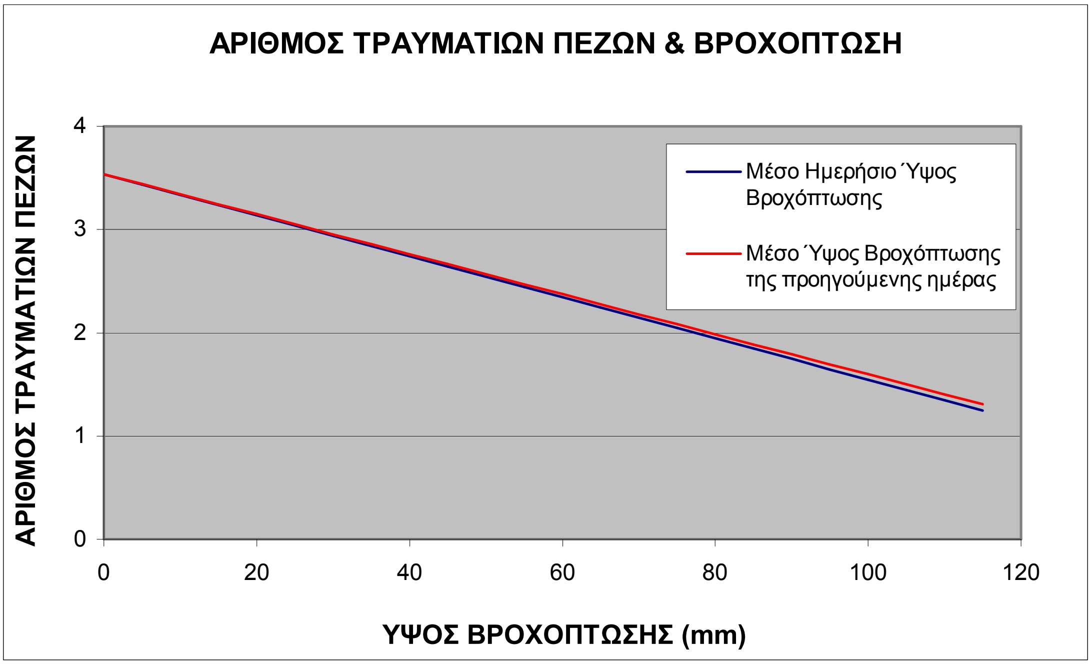
Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η επιρροή των μεταβολών της θερμοκρασίας γενικά, καθώς και σε σχέση με το μήνα που αυτές συντελούνται, στην υπό εξέταση εξαρτημένη μεταβλητή.



Γράφημα 5. 15: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή της θερμοκρασίας εντός συγκεκριμένων μηνών

Όπως παρατηρείται, παρά το γεγονός ότι με αύξηση της θερμοκρασίας (γενικά) προκαλείται αύξηση του αριθμού των τραυματιών πεζών (έντονη μπλε γραμμή), το φαινόμενο αυτό αντιστρέφεται τους θερινούς μήνες. Με άλλα λόγια, τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας κατά τον Ιούλιο (πορτοκαλί γραμμή) ή τον Αύγουστο (μωβ γραμμή) προκαλεί μείωση στον αριθμό των τραυματιών πεζών. Μάλιστα, ο ρυθμός μείωσης των τραυματιών πεζών το μήνα Αύγουστο είναι μεγαλύτερος από ότι τον Ιούλιο (μεγαλύτερη κλίση μωβ ευθείας από την πορτοκαλί). Αυτό ίσως εξηγείται και από το γεγονός ότι τον μήνα Αύγουστο παρατηρούνται γενικά λιγότερες μετακινήσεις στην Αθήνα λόγω της απουσίας των κατοίκων της πόλης σε καλοκαιρινές διακοπές.

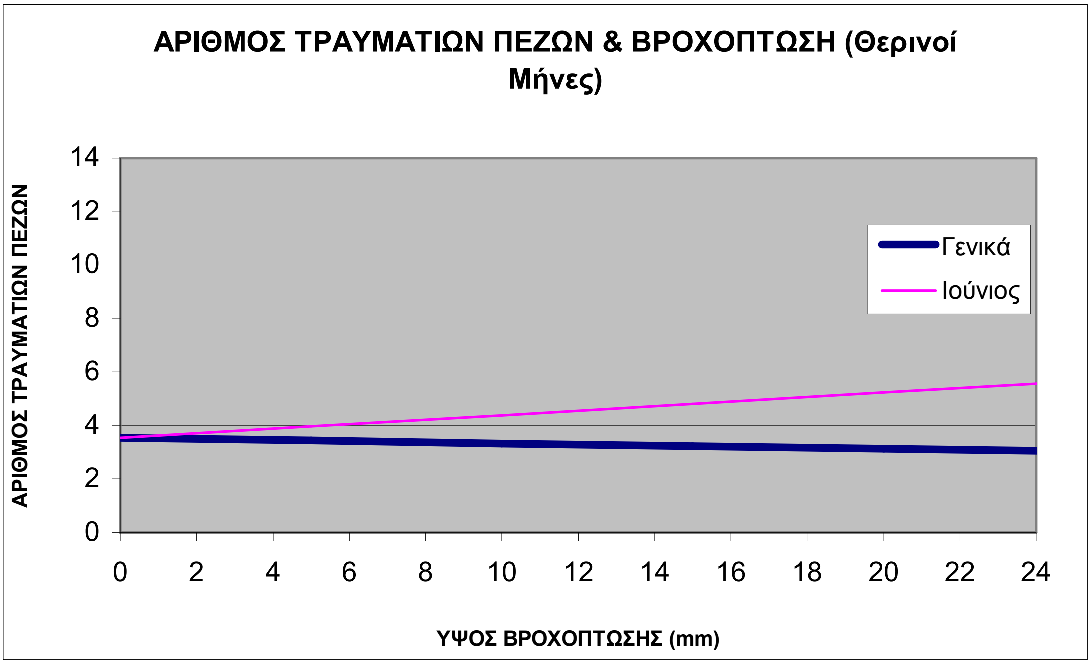
Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή στον αριθμό των τραυματιών πεζών σε σχέση με το **μέσο ύψος βροχόπτωσης** (μπλε γραμμή) και το **μέσο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας** (κόκκινη γραμμή).



Γράφημα 5. 16: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή του ύψους βροχόπτωσης (γενικά)

Στο γράφημα αυτό φαίνεται ότι το ύψος βροχόπτωσης σχετίζεται αρνητικά με τον αριθμό των τραυματιών πεζών. Αυτό άλλωστε προκύπτει και από την παρατήρηση των προσήμων των συντελεστών των αντίστοιχων μεταβλητών. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το μέσο ύψος βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας επηρεάζει σχεδόν όμοια τον ρυθμό μεταβολής (μείωσης) των ατυχημάτων σε σχέση με το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας.

Το επόμενο γράφημα παρουσιάζει την επιρροή των μεταβολών του ύψους βροχόπτωσης, σε σχέση με τον μήνα που αυτές συντελούνται, στον αριθμό των τραυματιών πεζών.



Γράφημα 5. 17: Διάγραμμα Ευαισθησίας για τη μεταβολή του ύψους βροχόπτωσης εντός συγκεκριμένων μηνών

Παρατηρείται ότι αύξηση του ύψους βροχόπτωσης (γενικά) προκαλεί μείωση του αριθμού των τραυματιών πεζών (έντονη μπλε γραμμή). Αντίθετα όμως, αύξηση τους ύψους βροχόπτωσης κατά τον θερινό μήνα Ιούνιο προκαλεί αύξηση του αριθμού των τραυματιών πεζών (ροζ γραμμή).

5.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ (OLS-SURE)

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Πιο συγκεκριμένα **οι παρακάτω πίνακες δίδουν μια συγκεντρωτική εικόνα των αποτελεσμάτων** που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των μεθόδων εκτίμησης χρησιμοποιώντας τα ελάχιστα τετράγωνα (OLS) και τη μέθοδο των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (SURE). Στους πίνακες αυτούς παρουσιάζονται μόνο οι συντελεστές και οι δείκτες t για τις τέσσερις ανεξάρτητες μετεωρολογικές μεταβλητές και τον σταθερό όρο κάθε εξίσωσης. Επίσης δίδονται και οι ελαστικότητες για κάθε μεταβλητή έτσι όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα της μεθόδου SURE. Τέλος, δίδονται και οι συντελεστές καλής προσαρμογής R^2, καθώς και ο αριθμός των παραμέτρων (ανεξάρτητων μεταβλητών) κάθε μοντέλου. **Ο στόχος της**

παρουσίασης αυτής είναι η σύγκριση των δύο μεθόδων και οι διαφορές που παρουσιάζουν τα επιμέρους μοντέλα.

Πίνακας 5. 16: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα των δύο μεθόδων για τους αριθμούς των ατυχημάτων και των νεκρών

	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)					Αριθμός Νεκρών (FATALITI)				
	Εκτίμηση OLS		Εκτίμηση SURE			Εκτίμηση OLS		Εκτίμηση SURE		
	β_i	t	β_i	T	e_i	β_i	t	β_i	t	e_i
Σταθερός Όρος (Constant)	22,364	52,980	21,658	55,543	-	1,177	39,153	1,182	43,132	-
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	0,194	10,227	0,226	12,954	0,171					
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	0,099	6,660	0,099	6,723	5,824E-05	0,005	1,953	0,005	2,116	7,237E-06
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,153	-10,314	-0,151	-10,297	-0,009	-0,004	-1,521	-0,005	-1,877	-0,004
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,097	-7,085	-0,096	-7,060	-0,005	-0,007	-2,751	-0,006	-2,706	-0,005
R-squared	0,317		0,315			0,028		0,026		
Number of Parameters	41		41			26		25		

Στον παραπάνω πίνακα (Πίν. 5.16) φαίνονται τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων εκτίμησης για τους αριθμούς των ατυχημάτων και των νεκρών. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρατήρηση του πίνακα αυτού παρουσιάζονται παρακάτω.

Αριθμός των Ατυχημάτων

Παρατηρώντας τις στήλες που αναφέρονται στην εξαρτημένη μεταβλητή του αριθμού των ατυχημάτων, πρωτίστως προκύπτει ότι υπάρχουν διαφορές στην τιμή του σταθερού όρου της εξίσωσης και του συντελεστή της μεταβλητής της μέσης θερμοκρασίας. Μάλιστα, μεγαλύτερες είναι οι τιμές που πρόκυπτουν από την εκτίμηση με τη μέθοδο SURE. Αντιθέτως, για τους συντελεστές των μεταβλητών της βροχόπτωσης παρουσιάζονται πάρα πολύ μικρές διαφορές, της τάξεως του χιλιοστού. Τέλος, αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, ο συντελεστή καλής προσαρμογής (R^2) είναι περίπου ο ίδιος και για τις δύο περιπτώσεις (0,317 και 0,315), όπως και ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών (παραμέτρων).

Αριθμός των Νεκρών

Αναφορικά με τους αριθμούς των νεκρών δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ο σταθερός όρος εμφανίζεται όμως λίγο μεγαλύτερος έπειτα από εκτίμηση με τη μέθοδο SURE. Ιδιαίτερη προσοχή όμως απαιτεί το γεγονός ότι η μεταβλητή για το ύψος βροχόπτωσης δεδομένης ημέρας (TOTALPRE), ενώ εμφανίζεται στατιστικά σημαντική στην εκτίμηση με τη μέθοδο SURE (για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), στην εκτίμηση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS) δεν πληροί τον έλεγχο t-test για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του μοντέλου, ο συντελεστής καλής προσαρμογής (R^2) είναι και εδώ περίπου ο ίδιος. Παραταύτα, η εκτίμηση με τη μέθοδο SURE δείχνει ότι στην εξίσωση πρέπει να συμπεριληφθεί μία λιγότερη μεταβλητή σε σχέση με το μοντέλο της εκτίμησης των OLS. Η μεταβλητή αυτή συγκεκριμένα είναι η ψευδομεταβλητή για το έτος 2003 (D2003).

Πίνακας 5. 17: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα των δύο μεθόδων για τους αριθμούς που αναφέρονται στους πεζούς (νεκροί και τραυματίες)

	Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)					Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)				
	Εκτίμηση OLS		Εκτίμηση SURE			Εκτίμηση OLS		Εκτίμηση SURE		
	β_i	t	β_i	T	e_i	β_i	t	β_i	t	e_i
Σταθερός Όρος (Constant)	0,281	22,703	0,310	30,865	-	3,415	23,854	3,537	25,151	-
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)						0,056	8,789	0,050	8,293	0,228
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)						0,026	4,123	0,026	4,122	1,484E-04
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,002	-1,739	-0,002	-1,853	-0,002	-0,020	-3,299	-0,020	-3,288	-0,006
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)						-0,020	-3,41	-0,019	-3,402	-0,006
R-squared	0,014		0,010			0,185		0,184		
Number of Parameters	23		18			35		34		

Στον δεύτερο πίνακα (Πίν. 5.17) φαίνονται τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων εκτίμησης για τους αριθμούς που αφορούν στους πεζούς (νεκρούς και τραυματίες). Στα επόμενα παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρατήρηση του συγκεκριμένου πίνακα.

Αριθμός των Νεκρών Πεζών

Ο σταθερός όρος της εξίσωσης που προκύπτει από την εκτίμηση με τη μέθοδο SURE είναι λίγο μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο όρο της μεθόδου των OLS (0,310 και 0,281 αντίστοιχα). Όσο αφορά στη μόνη στατιστικά σημαντική μετεωρολογική μεταβλητή (εκείνη του ύψους βροχόπτωσης δεδομένης ημέρας, TOTALPRE), οι συντελεστές που προκύπτουν είναι ακριβώς οι ίδιοι και για τις δύο μεθόδους.

Ο συντελεστής καλής προσαρμογής (R^2) διαφέρει ελάχιστα. Αξιοσημείωτο όμως είναι ότι η εξίσωση που προκύπτει από τη μέθοδο SURE περιλαμβάνει πέντε ανεξάρτητες μεταβλητές λιγότερες. Πιο συγκεκριμένα οι (ψευδο)μεταβλητές για τον μήνα Φεβρουάριο και για τα έτη 1992, 1993, 1997 και 1999, ενώ στην εκτίμηση με τη μέθοδο των OLS παρουσιάζονταν στατιστικά σημαντικές, με την εκτίμηση SURE αποδείχθηκε ότι δεν ικανοποιούν τον έλεγχο t-test για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Αριθμός των Τραυματιών Πεζών

Από την πλευρά της εξίσωσης που αφορά στους τραυματίες πεζούς, παρατηρείται αρχικά αυξημένος σταθερός όρος στο μοντέλο που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο SURE σε σχέση με εκείνο που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο των OLS (3,537 και 3,415 αντίστοιχα). Οι συντελεστές των μετεωρολογικών μεταβλητών δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτες μεταβολές, με εξαίρεση μια μείωση κατά έξι χιλιοστά του συντελεστή της μέσης θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας, που προκύπτει από τη μέθοδο SURE.

Όσον αφορά στο μοντέλο εν γένει, ο συντελεστής καλής προσαρμογής (R^2) είναι περίπου ο ίδιος και για τις δύο περιπτώσεις. Όμως αξίζει να σημειωθεί ότι η πολλαπλασιαστική ψευδομεταβλητή που αναφέρεται στις μεταβολές της θερμοκρασίας εντός του μήνα Μάιου (DMAY), ενώ με την εκτίμηση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων φαίνεται ότι είναι στατιστικά σημαντική, με τη μέθοδο SURE αποδεικνύεται ότι δεν ικανοποιεί τον έλεγχο t-test για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στα παραπάνω επιχειρήθηκε μια σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. **Θα πρέπει, όμως, για μια ακόμα φορά να τονιστεί ότι η μέθοδος των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (SURE) είναι καταλληλότερη για να δώσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.** Αυτό καθώς στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια ανάλυσης εξισώσεων που περιλαμβάνουν παρόμοιες εξαρτημένες μεταβλητές (όπως ατυχήματα και νεκρούς), όπως επίσης και καθώς απουσίαζε ο παράγοντας της έκθεσης (κυκλοφοριακοί φόρτοι), πράγμα που ενδέχεται να προκαλεί ταυτόχρονη συσχέτιση των σφαλμάτων μεταξύ των εξισώσεων. Έτσι, η από κοινού εκτίμηση των εξισώσεων (ως σύστημα) που διενεργεί η μέθοδος SURE μπορεί να δώσει πιο συνεπή και αξιόπιστα αποτελέσματα, ιδιαίτερα στις ειδικές συνθήκες της παρούσας εργασίας (έλλειψη στοιχείων κυκλοφοριακού φορτού, κ.λπ.) Επομένως, η εξαγωγή και ανάλυση των συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας βασίστηκε στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτίμηση με τη μέθοδο SURE.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε **η συσχέτιση χρονοσειρών οδικών ατυχημάτων και βασικών μετεωρολογικών συνθηκών,** όπως η θερμοκρασία και το ύψος βροχόπτωσης ανά ημέρα, αξιοποιώντας τα σχετικά ημερήσια στοιχεία για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας.

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη γενική ανάλυση των στοιχείων, **επιλέχθηκε σειρά μεταβλητών** της βάσης δεδομένων οδικών ατυχημάτων του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα στοιχεία που αφορούν στα ατυχήματα προέρχονται από τα αρχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) και συλλέγονται μέσω των Δελτίων Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) από την Τροχαία. Από την άλλη, τα στοιχεία που αφορούν στις μετεωρολογικές συνθήκες προέρχονται από τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) και συλλέγονται από κατάλληλα εγκατεστημένους σταθμούς καταγραφής.

Για τη **στατιστική επεξεργασία των στοιχείων** καθώς και την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων σε ό,τι αφορά στους αριθμούς των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών πεζών και των τραυματιών πεζών, επιλέχθηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Μάλιστα τα τελικά μοντέλα προήλθαν από εκτίμηση με εφαρμογή της μεθόδου των Φαινομενικά Ασυσχέτιστων Εξισώσεων (Seemingly Unrelated Regression Equations – SURE). Επίσης κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε και μια σειρά από ψευδομεταβλητές, τόσο απλές όσο και πολλαπλασιαστικές, που ως σκοπό είχαν να περιγράψουν την επίδραση των εποχικών παραγόντων (ημέρα, μήνας, έτος) στο υπό εξέταση φαινόμενο.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψαν **τα τελικά μαθηματικά μοντέλα** που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεταβλητών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν. Επισημαίνεται ότι η σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών κάθε μοντέλου στην αντίστοιχη εξαρτημένη μεταβλητή προσδιορίστηκε μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής.

Η σχετική επιρροή χρησιμοποιήθηκε ως μέγεθος ικανό να αναδείξει την επιρροή κάθε μεταβλητής ξεχωριστά. Ο υπολογισμός της βασίστηκε στη θεωρία της ελαστικότητας.

Στους πίνακες που ακολουθούν (Πιν. 6.1 και 6.2), παρουσιάζεται η επιρροή των ανεξάρτητων μετεωρολογικών μεταβλητών (όχι των ψευδομεταβλητών) στα μοντέλα του αριθμού των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών πεζών και των τραυματιών πεζών. Στον πίνακα 6.1 περιλαμβάνονται οι τιμές των συντελεστών $\boldsymbol{\beta_i}$ (όπως προέκυψαν από την εκτίμηση με τη μέθοδο SURE) και οι τιμές της σχετικής επιρροής $\mathbf{e_i}$ των ανεξάρτητων μετεωρολογικών μεταβλητών του συστήματος των τεσσάρων μοντέλων. Στον πίνακα 6.2 έχουν απομονωθεί τα πρόσημα των συντελεστών κάθε ανεξάρτητης μετεωρολογικής μεταβλητής, δίνοντας έτσι μια πιο άμεση ποιοτική εκτίμηση της επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εκάστοτε εξαρτημένη.

Πίνακας 6. 1: Σχετική Επιρροή των ανεξάρτητων (μετεωρολογικών) μεταβλητών σε κάθε μοντέλο

Ανεξάρτητες Μετεωρολογικές Μεταβλητές	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)		Αριθμός Νεκρών (FATALITI)		Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)		Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)	
	β_i	e_i	β_i	e_i	β_i	e_i	β_i	e_i
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	0,226	0,171					0,05	0,228
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	0,099	5,824E-05	0,005	7,237E-06			0,026	1,484E-04
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,151	-0,009	-0,005	-0,004	-0,002	-0,002	-0,02	-0,006
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,096	-0,005	-0,006	-0,005			-0,019	-0,006

Πίνακας 6. 2: Πρόσημα των συντελεστών των ανεξάρτητων (μετεωρολογικών) μεταβλητών σε κάθε μοντέλο

Ανεξάρτητες Μετεωρολογικές Μεταβλητές	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)	Αριθμός Νεκρών (FATALITI)	Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)	Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	+			+
Διαφορά της Μέσης Θερμοκρασίας μιας Δεδομένης Ημέρας από τη Μέση Θερμοκρασία της Προηγούμενης Ημέρας (DIFFMT)	+	+		+
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-	-	-	-
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (TOTALPRE)	-	-		-

Από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής που έχει κάθε ανεξάρτητη μετεωρολογική μεταβλητή στην εξαρτημένη. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης οδήγησαν σε μια σειρά συμπερασμάτων όπως αυτά που παρουσιάζονται στο επόμενο εδάφιο.

6.2 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν αποτελέσματα σχετιζόμενα άμεσα με τον κύριο στόχο που τέθηκε στην αρχή. 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:

1. Για πρώτη φορά στην Ελλάδα επιχειρείται προσπάθεια συσχέτισης των μετεωρολογικών συνθηκών με τους αριθμούς των ατυχημάτων, των νεκρών, των νεκρών και τραυματιών πεζών, χρησιμοποιώντας ημερήσια στοιχεία και για μεγάλη περίοδο μελέτης. Επομένως **επεκτάθηκε η έρευνα που δημοσιεύθηκε το 2008 (Yannis et al., 2008) η οποία αναφέρονταν μόνο σε αριθμούς ατυχημάτων και**

νεκρών και όχι σε αριθμούς που σχετίζονται με τους πεζούς (νεκρούς και τραυματίες). Επίσης, οι τέσσερις εξαρτημένες μεταβλητές εξετάστηκαν από κοινού ως σύστημα.

2. **Η στατιστική ανάλυση** των εξαρτημένων μεταβλητών αποφασίστηκε να γίνει χρησιμοποιώντας **τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης**. Μάλιστα, η εκτίμηση των μαθηματικών μοντέλων δεν έγινε μόνο με την ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS), αλλά και με τη χρήση της μεθόδου των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (SURE). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν εμφανίζουν μικρές, μόνο ποσοτικές (π.χ. τιμές συντελεστών κ.λπ.) και όχι ποιοτικές διαφορές (όπως πρόσημα συντελεστών, είδος επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής κ.λπ.) μεταξύ των δύο μεθόδων. Παραταύτα, και κυρίως λόγω των ιδιαιτεροτήτων της παρούσας έρευνας (έλλειψη στοιχείων κυκλοφοριακών φόρτων, εξέταση παρόμοιων εξαρτημένων μεταβλητών), **η μέθοδος των φαινομενικά ασυσχέτιστων εξισώσεων (SURE) φαίνεται καταλληλότερη.**

3. Η **χρήση των ψευδομεταβλητών** που αναφέρονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (έτη, μήνες, ημέρες) φαίνεται πως είναι **ιδιαίτερα χρήσιμη και προσφέρει αξιόλογα συμπεράσματα.** Μάλιστα, η τεχνική αυτή ενδείκνυται για την προσέγγιση του παράγοντα της έκθεσης στον κίνδυνο όταν λείπουν αντίστοιχα πραγματικά (κυκλοφοριακά) στοιχεία, γεγονός που συνέβαινε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τα παραπάνω αποδεικνύονται από το γεγονός ότι αρκετές από τις χρησιμοποιηθείσες ψευδομεταβλητές αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές. Αξιοσημείωτα δε συμπεράσματα δίδει και η χρήση πολλαπλασιαστικών ψευδομεταβλητών (μήνας-θερμοκρασία, μήνας-βροχόπτωση).

4. Σε γενικές γραμμές **το φαινόμενο αποδεικνύεται πως είναι αρκετά πολύπλοκο.** Χαρακτηριστικό είναι ότι από τα τέσσερα μοντέλα (εξισώσεις) που προέκυψαν, περισσότερο αξιόπιστα θεωρούνται τα μοντέλα που αναφέρονται στους αριθμούς των ατυχημάτων και των

τραυματιών πεζών και λιγότερο αξιόπιστα τα αντίστοιχα μοντέλα για τους αριθμούς των νεκρών οι οποίοι είναι αριθμητικά πολύ λιγότεροι. Σε αυτό πιθανές αιτίες να είναι το μέγεθος του δείγματος και η κατανομή που ακολουθεί για την εκάστοτε εξαρτημένη μεταβλητή, όπως και η έλλειψη επιπλέον μεταβλητών (π.χ. στοιχεία κυκλοφορίας). Επίσης, ιδιαιτέρως για του αριθμούς που σχετίζονται με τους πεζούς, η πολυπλοκότητα που εμφανίζεται στη συμπεριφορά τους δυσχεραίνει την εξαγωγή μοντέλων.

5. **Η γενική εικόνα** που παρουσιάζουν οι αριθμοί που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια (αριθμοί ατυχημάτων, νεκρών, νεκρών και τραυματιών πεζών) καταδεικνύει εν γένει ότι **αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων και των τραυματιών πεζών.** Αντίθετα **η επιρροή της βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση των οδικών ατυχημάτων.** Πιο συγκεκριμένα αύξηση του ύψους βροχόπτωσης μιας δεδομένης ημέρας οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών.

6. **Αξιοσημείωτη στο υπό εξέταση φαινόμενο είναι και η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών της προηγούμενης ημέρας.** Τόσο η μεταβλητή της διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών, όσο και του ύψους βροχόπτωσης της προηγούμενης ημέρας εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές σε ορισμένα μοντέλα.

7. **Επιρροή παρατηρήθηκε να έχουν και οι αλλαγές της θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης εντός συγκεκριμένων μηνών.** Από τα αποτελέσματα μάλιστα αποδεικνύεται ότι τυχόν αλλαγές σε μια μετεωρολογική μεταβλητή εντός συγκεκριμένων μηνών (ή εποχών) μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και προς την αντίθετη κατεύθυνση τις μεταβολές των αριθμών των οδικών ατυχημάτων. Για παράδειγμα αύξηση της θερμοκρασίας τον Αύγουστο οδηγεί σε μείωση (και όχι αύξηση) των ατυχημάτων, όπως και αύξηση τους ύψους βροχόπτωσης τους θερινούς μήνες οδηγεί σε αύξηση (και όχι μείωση) των ατυχημάτων, των νεκρών κ.λπ.

8. Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των ατυχημάτων,** φάνηκε ότι:

    - Τη μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζει η μεταβλητή της θερμοκρασίας. Μάλιστα, αύξηση της θερμοκρασίας γενικά, προκαλεί αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων.

    - Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη βροχόπτωση (γενικά) εμφανίζουν αρνητικά πρόσημα στους συντελεστές τους. Με άλλα λόγια, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης γενικά, προκαλεί μείωση του αριθμού των ατυχημάτων.

    - Η παραπάνω επιρροή, όμως, φαίνεται ότι αντιστρέφεται το καλοκαίρι. Αυτό καθώς αύξηση της θερμοκρασίας τους θερινούς μήνες οδηγεί σε μείωση των ατυχημάτων (και όχι αύξηση), ενώ επίσης αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε αύξηση (και όχι μείωση) του αριθμού των ατυχημάτων.

9. Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των νεκρών,** φάνηκε ότι:

    - Η μεταβλητή της θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας δεν φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντική. Όμως αξίζει να σημειωθεί πως, με αύξηση της διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών προκαλείται αύξηση στον αριθμό των ατυχημάτων. Τέλος, αύξηση της θερμοκρασίας του θερινούς μήνες οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των νεκρών.

    - Η βροχόπτωση επιδρά αρνητικά στους αριθμούς των νεκρών. Συνεπώς, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης προκαλεί μείωση του αριθμού των νεκρών. Αυτό οφείλεται ενδεχομένως στην αύξηση της έντασης της προσοχής των οδηγών υπό συνθήκες βροχής (χαμηλότερες ταχύτητες, ασφαλέστερη οδήγηση).

10. Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των νεκρών πεζών,** φάνηκε ότι:

    - Οι μεταβολές στη θερμοκρασία γενικά, φαίνεται πως δεν έχουν αξιοσημείωτη επιρροή στο υπό εξέταση φαινόμενο, αφού οι αντίστοιχες μεταβλητές δεν αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές. Μπορεί όμως να ειπωθεί ότι αύξηση της θερμοκρασίας εντός του χειμώνα, προκαλεί αύξηση στους θανόντες πεζούς. Η εικόνα αυτή πάντως φαίνεται να αντιστρέφεται το μήνα Ιούλιο.

    - Η βροχόπτωση προκαλεί μείωση στους αριθμούς των νεκρών πεζών, προφανώς λόγω της μείωσης των μετακινήσεων κατά τις βροχερές ημέρες. Το φαινόμενο αυτό όμως παρουσιάζει αντίστροφη εικόνα κατά το μήνα Ιούνιο.

11. Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων, για τον προσδιορισμό της **επιρροής** των εξετασθέντων παραμέτρων **στον αριθμό των τραυματιών πεζών,** φάνηκε ότι:

    - Η αύξηση της θερμοκρασίας (με τη μεταβλητή της μέσης θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας να εμφανίζει μεγαλύτερη επιρροή) προκαλεί αύξηση στους αριθμούς των τραυματιών πεζών. Αν και το φαινόμενο αυτό αντιστρέφεται κατά τους θερινούς μήνες.

    - Η βροχόπτωση φαίνεται πως οδηγεί σε μείωση του αριθμού των τραυματιών πεζών. Αξίζει όμως και εδώ να σημειωθεί ότι το μήνα Ιούνιο επεισόδια βροχόπτωσης προκαλούν μάλλον αύξηση του αριθμού των τραυματιών πεζών.

12. 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 (π.χ. πιο εξοικειωμένοι οι οδηγοί των βόρειων περιοχών στην οδήγηση υπό κακοκαιρία κ.λπ.).

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

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.

1. **Ο καθορισμός μεταβλητών ορίων ταχύτητας**, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες θα μπορούσε να είναι ένα αρκετά χρήσιμο μέτρο οδικής ασφάλειας, αφού από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αποδεικνύεται η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια.

2. **Επέκταση της χρήσης των φωτεινών πινακίδων** που θα δίδουν εκτός από πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία και πληροφορίες σχετικά με τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η ενημέρωση αυτή θα πρέπει να γίνεται ιδίως, όταν προβλέπονται έντονα καιρικά φαινόμενα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, ενημέρωση των χρηστών της οδού για επικείμενη καταιγίδα, ιδιαιτέρως όταν αυτό πρόκειται να συμβεί εντός περιόδου καλοκαιριού (ξηρή περίοδος).

3. **Σωστή κατασκευή των νέων οδών και επαρκής συντήρηση του υφιστάμενου οδικού δικτύου.** Με άλλα λόγια, κατάλληλη χάραξη και σωστή διαμόρφωση των κλίσεων και κυρίως των επικλίσεων των οδών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική αποστράγγιση, όπως και αποτελεσματικός σχεδιασμός του δικτύου αποστράγγισης (αγωγοί ομβρίων, οχετοί κ.λπ.). Τέλος σε συνδυασμό με τα παραπάνω, η

χρήση ασφάλτου παρασκευασμένης με μεθόδους που επιβάλλουν οι κανονισμοί και η ταυτόχρονη τοποθέτηση αντιολισθητικού ασφαλτοτάπητα είναι βέβαιο ότι θα συμβάλλουν στη **διαμόρφωση του «συγχωρητικού περιβάλλοντος της οδού»**, που αποτελεί βασικό ζητούμενο και προϋπόθεση για την οδική ασφάλεια.

4. **Εντατικοποίηση της αστυνόμευσης,** όχι μόνο όταν επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, αλλά και σε περιόδους καλοκαιρίας, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Το τελευταίο δε μάλλον θα έχει θετικά αποτελέσματα στην προσπάθεια βελτίωσης της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα, αφού όπως αποδεικνύεται από την παρούσα εργασία, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση στους αριθμούς των ατυχημάτων.

5. **Επένδυση στη σωστή εκπαίδευση των οδηγών.** Με άλλα λόγια, οι υποψήφιοι οδηγοί θα πρέπει κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής τους να υποβάλλονται σε σενάρια οδήγησης υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οδήγηση υπό καλές καιρικές συνθήκες, αλλά και υπό βροχή. Αυτό μπορεί να γίνει τόσο σε πραγματικό περιβάλλον (μέσα στο όχημα σε κανονική οδό) όσο και σε εικονικό περιβάλλον με τη χρήση προσομοιωτή. Αποτέλεσμα των παραπάνω θα είναι η επαρκής εκπαίδευση των οδηγών και η καλλιέργεια ικανοτήτων αντίστοιχων προς τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι σημαντικό θα ήταν να δίνεται προσοχή στις παραπάνω ικανότητες του υποψήφιου οδηγού και να αξιολογούνται κατά τη διάρκεια της εξέτασης (θεωρητικής και πρακτικής) για την απόκτηση διπλώματος.

6. **Εκστρατείες ενημέρωσης σχετικά με τη σωστή οδήγηση και συμπεριφορά υπό βροχή, αλλά και σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.** Οι εκστρατείες αυτές θα πρέπει να απευθύνονται σε όλους εν γένει τους χρήστες της οδού και όχι μόνο τους οδηγούς, αφού όπως αποδεικνύεται, το υπό εξέταση φαινόμενο επηρεάζει και τους πεζούς. Κατάλληλοι φορείς για τον σκοπό αυτό, εκτός από το αρμόδιο Υπουργείο, θα μπορούσαν να είναι τα σχολεία (ιδίως με το μάθημα της

κυκλοφοριακής αγωγής), οι δήμοι, αλλά και άλλοι σύλλογοι και ινστιτούτα με τη διοργάνωση ημερίδων και ανάλογων εκδηλώσεων. Τέλος, τα ΜΜΕ με την καθολική τους απήχηση θα μπορούσαν να συμβάλλουν τα μέγιστα στην προσπάθεια αυτή.

6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

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

1. Θα ήταν χρήσιμο να συμπεριληφθούν στη μελέτη και **άλλες παράμετροι**, όπως πραγματικά στοιχεία κυκλοφορίας (κυκλοφοριακοί φόρτοι, οχηματοχιλιόμετρα, ταχύτητες κ.λπ.). Η χρήση των παραμέτρων αυτών ενδεχομένως να οδηγούσε σε καλύτερη εξήγηση της επιρροής των μετεωρολογικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια. Επίσης, επιπλέον μεταβλητές που θα αφορούσαν και σε άλλες μετεωρολογικές συνθήκες (χιόνι, ομίχλη, άνεμος) θα μπορούσαν να δώσουν μια πληρέστερη εικόνα του φαινομένου.

2. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε ανάλυση με γραμμικά μοντέλα. Για περαιτέρω στατιστική ανάλυση και εξαγωγή πιο αξιόπιστων συμπερασμάτων θα φαίνονταν χρήσιμη **η εφαρμογή και άλλων μεθόδων στατιστικής ανάλυσης**, οι οποίες ενδεχομένως να ανήκουν σε διαφορετική οικογένεια από την ήδη επιλεχθείσα. Παραδείγματος χάριν, στατιστικές αναλύσεις που θα βασίζονταν στην κατανομή Poisson ή στην πολλαπλή ανάλυση μεταβλητών (multivariate analysis).

3. Ενδιαφέρουσες θα ήταν και **οι έρευνες που θα μελετούσαν το υπό εξέταση φαινόμενο και υπό το πρίσμα άλλων παραγόντων**. Με άλλα λόγια, θα μπορούσε να μελετηθεί η μεταβολή στους αριθμούς των ατυχημάτων, νεκρών κ.λπ. εντός των διαφορετικών περιόδων μέσα σε ένα 24ωρο (ξημερώματα, μεσημέρι, μεσάνυχτα κ.λπ.). Έτσι σε αυτή την περίπτωση θα

εξετάζονταν και η συμμετοχή άλλων παραγόντων, όπως φωτισμός, κατάσταση οδηγού (επιστροφή από εργασία, διασκέδαση κ.λπ.).

4. Όπως αναφέρθηκε και στη βιβλιογραφική ανασκόπηση ο αριθμός αντίστοιχων ερευνών στον ελληνικό χώρο είναι πάρα πολύ μικρός, σε αντίθεση με το διεθνή χώρο που η σχετική βιβλιογραφία είναι πλουσιότατη. Συνεπώς είναι **επιβεβλημένο παρόμοιες έρευνες να διεξαχθούν και σε άλλες περιοχές και οδικά δίκτυα της χώρας.**

5. Ενδεχόμενο κέρδος θα μπορούσε να προκύψει και **από τη χρήση προσομοιωτών οδήγησης.** Με την προσπάθεια αυτή θα μελετούνταν πιο συστηματικά η μεταβολή των αντιδράσεων των χρηστών της οδού (οδηγών) ανάλογα με τη μεταβολή στις μετεωρολογικές συνθήκες. Έτσι συμπεράσματα, τα οποία να περιγράφουν πιο αποτελεσματικά τις τάσεις του υπό εξέταση φαινομένου, θα μπορούσαν να εξαχθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γκόλιας Ι.Κ. (2007). Σημειώσεις για τη χρήση στατιστικών κατανομών στην περιγραφή της κυκλοφοριακής ροής. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής Ε.Μ.Π., Αθήνα.
2. Γκόλιας Ι., Γιαννής Γ. (1995). Παράμετροι Ασφαλείας των Ελληνικών Οδών, 1^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Λάρισα, Οκτώβριος 1995.
3. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2001). Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ανάπτυξη Στρατηγικού Σχεδιασμού για τη Βελτίωση της Οδικής Ασφάλειας στην Ελλάδα 2001 – 2005, Αθήνα.
4. Θεοφιλάτος Α. (2009). Διερεύνηση του ελάχιστου διαστήματος από το όχημα που αποδέχεται ο πεζός για να διασχίσει αστική οδό εκτός διασταυρώσεων. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής Ε.Μ.Π., Αθήνα.
5. Καπότσης Γ. (2002). Διερεύνηση σχετικής επικινδυνότητας οδού ανά ηλικία οδηγού συναρτήσει επιλεγμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής Ε.Μ.Π., Αθήνα.
6. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. (1999). Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
7. Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., (1997). Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
8. Μιτζάλης Ν., (2010). Διερεύνηση της επιρροής του φωτισμού στη συχνότητα και τη σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής Ε.Μ.Π., Αθήνα.
9. Νικολόπουλος Θ. (2004). Μακροσκοπική Συσχέτιση Καιρικών Συνθηκών, Επικινδυνότητας και Σοβαρότητας των ατυχημάτων στο υπεραστικό οδικό δίκτυο της Ελλάδας. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής Ε.Μ.Π., Αθήνα.

10. Ξανθόπουλος Θ., (1990). Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

11. Παραβάντης Γ. (1984). Ατυχήματα σε Εθνική οδό. Συσχέτιση με Στάθμη Εξυπηρέτησης, Νύκτα – Ημέρα και Καιρικές Συνθήκες. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

12. Σταθόπουλος Α., Καρλαύτης Μ., (2008). Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

13. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ. (1994). Οδική Ασφάλεια, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

14. Χρήστου Γ.Κ. (2002). Εισαγωγή στην Οικονομετρία (τόμοι Α και Β), Εκδόσεις Δαρδανός Ο.Ε./ Gutenberg, Αθήνα.

15. Andreescu, M., Frost, D.B., (1998). Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. Climate Res. 9, 225–230.

16. Andrey, J., Yagar, S. (1993). A temporal analysis of rain – related crash risk, Accident Analysis and Prevention 25(4), 465-472

17. Baker, C.J., Reynolds, S. (1992). Wind – induced accidents of road vehicles, Accident Analysis and Prevention 24(6), 559-575

18. 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.

19. Brodsky, H., Hakkert, A.S. (1988). Risk of a road accident in rainy weather, Accident Analysis and Prevention 20(3), 161-176

20. Caliendo, C., Guida, M., Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. Accident Analysis and Prevention 39, 657-670.

21. CARE (2009): EU road database or national publications, Road accidents statistics in Europe, European Commission, Brussels.

22. 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.

23. De Freitas, C.R. (1975). Estimation of the disruptive impact of snowfalls in urban areas. J Appl Meteorol 14: 1166-1173

24. Edwards, J.B. (1999). Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather, Transportation Research Part F 2, 1-14.

25. Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. Accident Analysis and Prevention 36, 637-647.

26. European Road Safety Observatory (2009), European Commission, Brussels. www.erso.eu

27. European Transport Safety Council (2011). 5th Road Safety PIN Report, ETSC, European Comission, Brussels.

28. 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.

29. Harries, D. K., Stadler, J. S. and Zdorskowski, R. T. (1984) Seasonality and assault: explorations in inter-neighborhood variations, Dallas, 1980, Ann. Ass. Am. Geogr. 74: 590-604

30. Hermans, E., Wets, G., Van Den Bossche, F. (2006). Frequency and Severity of Belgian Road Traffic Accidents Studied by State Space Methods. Journal of Transportation and Statistics 9 (1), 63-76

31. Kanellaidis G. (1996). Human factors in highway geometric design. Journal of Transportation Engineering 122(1), 59-66

32. Keay, K., Simmonds, I. (2006). Road accidents and rainfall in a large Australian city. Accident Analysis and Prevention 38, 445-454.

33. Koetse, M.J., Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Article in press, Transportation Research Part D.

34. Pauwelussen, J.P., De Vos, AP. (1991). Traffic safety under bad weather, 24th isata international symposium on automotive technology and automation, 687-694

35. Pelagatti, M., Fuà, D., Galliani, C., Brugnoli, A., & Condemi, V. (2006). Statistical investigation on the relation between car accidents and warm katabatic winds. Il Nuovo Cimento C, 29(2), 229-235.

36. Peltola, H., Kantonen, J. (1987). Experience on winter time road accidents, Tie ja liikenne 57(3), 11-14.

37. Perry, A.H., Symons, L.J. (1991). Highway meteorology, New York: E & FN Spon.

38. Sabey, B. (1980).Road Safety and Value of Money. Supplementary Report 581. Transport and Road Research Laboratory, England.

39. Schandersson, R. (1988). Relationships between traffic accidents, road surface conditions and winter maintenance measures. Accident risks for different quantities of snow fall, Statens vaeg – och trafikinstitut.

40. Smeed, R. J. (1953). Some factors affecting visibility from a driver's seat and their effect on road safety, The British Journal of Physiological Optics 10(2), 63-85

41. Stern, E., Zehavi, Y. (1990). *Road safety and hot weather: A study in applied transport geography.* Institute of British Geographers 15(1), 102-111.

42. 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.

43. Veteles, M. S. and Smith, R. K. (1946). *An experimental investigation of the effect of change in atmospheric conditions and noise upon performance*. Trans. Am. Soc. Heat and Ventilation Engineers 52: 167-70

44. Washington, S.P. Karlaftis, M.G., Mannering, F.L. (2003). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis,* Chapman and Hall/ CRC Press, Boca Raton, FL.

45. Weiner, J. S. and Hutchinson, J. C. D. (1945). Hot humid environment, its effect on the performance of a motor coordination test, Br. J. Ind. Med. 2: 154-60

46. Welch, J.A., Vaughan, R. J., Andreassend, D. C. and Folovary, L. A. (1970). Weather conditions and road accidents, in Proceedings-Australian Road Research Board Conference 5: 190-208