ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΧΡ. ΛΕΩΤΣΑΡΑΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΜΑΤΘΑΙΟΣ ΚΑΡΛΑΥΤΗΣ, ΕΛΕΝΗ ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΧΡ. ΛΕΩΤΣΑΡΑΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΜΑΤΘΑΙΟΣ ΚΑΡΛΑΥΤΗΣ, ΕΛΕΝΗ ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές κ. Ματθαίο Καρλαύτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και την κ. Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για την πολύτιμη συμπαράσταση και καθοδήγησή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, την οικογένεια μου για την συμπαράσταση τους σε όλη την πορεία μου στην σχολή και ειδικότερα κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας καθώς και για την συνεχή εμπιστοσύνη τους στο πρόσωπο μου.

ΣΥΝΟΨΗ

Τα τροχαία ατυχήματα είναι μια απ' τις κυριότερες αιτίες πρόκλησης κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αστικούς αυτοκινητοδρόμους με αποτέλεσμα την δημιουργία ουρών και σημαντικών καθυστερήσεων για τους χρήστες της οδού. Προκύπτει έτσι, η ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης των οδικών συμβάντων, απαραίτητο στοιχείο για την οποία, είναι η ανάλυση και ο προσδιορισμός των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν τη χρονική τους διάρκεια, βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα πρόβλεψης της διάρκειας οδικών συμβάντων: ένα με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και ένα μοντέλο επιβίωσης με τη μέθοδο αναλογικών κινδύνων του Cox. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε το συμπέρασμα ότι και τα δυο μοντέλα μπορούν να προβλέψουν με επιτυχία τη διάρκεια οδικών συμβάντων. Συνολικά θεωρήθηκε καταλληλότερη η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, ως ισοδύναμα αποτελεσματική με τη μέθοδο του μοντέλου επιβίωσης, αλλά απλούστερη τόσο ως προς τις διαδικασίες εφαρμογής, όσο και ως προς την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

ABSTRACT

Traffic accidents are one of the main causes of traffic congestion in urban motorways, resulting in the formation of queues and considerable delays for road users. This leads to the need for effective management of road incidents, a necessary element of which is the analysis and determination of traffic parameters affecting their duration. The identification of these parameters is the main objective of the present graduation thesis. For that purpose, two forecasting models of incident duration were developed: one with the method of linear regression and one with the use of Cox's proportional hazard model (survival model). From the analysis was indicated that both models can successfully predict the duration of road incidents. Overall more appropriate was considered the method of linear regression, as being equally effective with the survival model method, while simpler in both, its application procedures and interpretation of results.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τροχαία ατυχήματα είναι μια απ' τις κυριότερες αιτίες πρόκλησης κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αστικούς αυτοκινητοδρόμους με αποτέλεσμα την δημιουργία ουρών και σημαντικών καθυστερήσεων για τους χρήστες της οδού. Προκύπτει έτσι, η ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης των οδικών συμβάντων, απαραίτητο στοιχείο για την οποία, είναι η ανάλυση και ο προσδιορισμός των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν τη χρονική τους διάρκεια. Ως χρονική διάρκεια οδικού συμβάντος ορίζεται ο χρόνος μεταξύ της χρονικής στιγμής που συμβαίνει το συμβάν και της κανονικής επαναλειτουργίας της κυκλοφορίας μετά την εκκαθάριση της οδού.

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει εκτενής αριθμός εργασιών που πραγματεύονται στο συγκεκριμένο θέμα. Παρατηρείται ότι οι μέθοδοι πρόβλεψης και οι μεταβλητές διαφοροποιούνται σημαντικά ανάμεσα στις διάφορες έρευνες είτε χρησιμοποιούν διαφορετική είτε την ίδια μέθοδο πρόβλεψης της διάρκειας του ατυχήματος. Καθοριστικό στοιχείο για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου φαίνεται να αποτελούν τα διαθέσιμα στοιχεία των συμβάντων που σχετίζονται με τοπικές πρακτικές και συνθήκες. Επομένως, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προκύπτει κατά περίπτωση από το συγκεκριμένο υπό εξέταση οδικό έργο και τις τοπικές πρακτικές διαχείρισης και λειτουργίας του.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία κυκλοφοριακών δεδομένων και οδικών συμβάντων που πραγματοποιήθηκαν στον αστικό αυτοκινητόδρομο της Αττικής Οδού την τετραετία 2007-2010. Η βάση δεδομένων που σχηματίστηκε περιλαμβάνει 32 μεταβλητές που διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: γεωμετρία στην περιοχή του ατυχήματος, τύπος σύγκρουσης/εκτροπής, νεκροί-τραυματίες, χαρακτηριστικά του οδικού άξονα, κυκλοφοριακά δεδομένα και στοιχεία βροχόπτωσης.

Για τα δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, σε αρχικό στάδιο με χρήση της περιγραφικής στατιστικής για την ανάδειξη των βασικών χαρακτηριστικών της βάσης δεδομένων. Βρέθηκε ότι το 85% των συμβάντων είχαν διάρκεια μικρότερη της μιας ώρας, ένα στα δύο περιλάμβανε εμπλοκή δύο οχημάτων ενώ η ταχύτητα λίγο πριν το

ατύχημα ήταν στην μεγάλη πλειοψηφία τους μεταξύ 40 και 100 χλμ/ώρα. Τέλος, παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα μικρά ποσοστά θνησιμότητας και τραυματισμών γεγονός που αναδεικνύει την υψηλή αξιοπιστία του οδικού άξονα. Ταυτόχρονα γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα της μείωσης της διάρκειας των οδικών συμβάντων καθώς η απώλεια χρόνου λόγω καθυστερήσεων είναι μια απ' τις βασικότερες επιπτώσεις των ατυχημάτων στον συγκεκριμένο οδικό άξονα.

Για την εξεύρεση των παραγόντων που επηρεάζουν την διάρκεια οδικών συμβάντων, δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα: ένα με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και ένα με χρήση ανάλυσης επιβίωσης και συγκεκριμένα με το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι και τα δυο μοντέλα μπορούν να προβλέψουν με επιτυχία τη διάρκεια των οδικών συμβάντων. Οι παράμετροι με την μεγαλύτερη αυξητική επιρροή, όπως επιβεβαιώνεται και απ' τα δυο μοντέλα είναι οι «νεκροί», οι «τραυματίες», ο «αριθμός λωρίδων» και αν το συμβάν συνέβη στη «δεξιά λωρίδα». Αντίθετα, μικρότερη διάρκεια παρουσιάζουν τα οδικά συμβάντα που πραγματοποιούνται κατάντη κόμβων, διοδίων ή κατάντη περισσότερων του ενός εκ των διοδίων, κόμβων και τούνελ. Καταλληλότερη μέθοδος κρίθηκε αυτή της γραμμικής παλινδρόμησης ως εξίσου αποτελεσματική με το μοντέλο επιβίωσης και απλούστερη τόσο στην εφαρμογή όσο και στην ερμηνεία.

Περαιτέρω έρευνα προτείνεται να εξετάσει εναλλακτικά μοντέλα πρόβλεψης της διάρκειας οδικών συμβάντων καθώς και την επίδραση των καιρικών συνθηκών η οποία στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική λόγω των ήπιων καιρικών φαινομένων της περιοχής του υπό μελέτη αυτοκινητόδρομου (Αττική Οδός).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ 4
ABSTRACT 5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 6

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 9
1.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ 9
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 10
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 11

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ 12
2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 12
2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ 16

3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 21
3.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ 21
3.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ 26
3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ..... 29

4. ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 30
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 30
4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 36

5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ 43
5.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ (ΜΟΝΤΕΛΟ Α) 43
5.1.1 ΜΟΡΦΩΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α 44
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ 54
5.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ (ΜΟΝΤΕΛΟ Β) 57
5.3.1 ΜΟΡΦΩΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Β 58

6. ΣΥΓΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ 66

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 76
7.1 ΓΕΝΙΚΑ 76
7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 77
7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ 78

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ

Ένα από τα σοβαρότερα και πιο συχνά εμφανιζόμενα προβλήματα των μητροπολιτικών περιοχών παγκοσμίως αφορά στον τομέα των μεταφορών και ειδικότερα στις συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η συνεχής επέκταση των περιοχών αυτών έχει ως αποτέλεσμα την αύξησης της ζήτησης για μεταφορά ανθρώπων και αγαθών και οδηγεί στην επανειλημμένη εμφάνιση κυκλοφοριακής συμφόρησης στο οδικό δίκτυο, όταν η κυκλοφοριακή ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την κυκλοφοριακή ικανότητα των οδών.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση διακρίνεται σε επαναλαμβανόμενη περιοδικά και μη-επαναλαμβανόμενη περιοδικά, ανάλογα με τα περιοδικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά της. Η επαναλαμβανόμενη περιοδικά συμφόρηση προκαλείται από την ανισορροπία ανάμεσα στη μεταφορική ζήτηση και την μεταφορική ικανότητα και συνήθως παρατηρείται την ίδια περίπου ώρα της ημέρας και στα ίδια τμήματα του οδικού δικτύου. Ως εκ τούτου, η επαναλαμβανόμενη περιοδικά κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι σε μεγάλο βαθμό προβλέψιμη και μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο ή ακόμα να αναιρεθεί μόνιμα παρόλο που ένα τέτοιο επιχείρημα συνήθως συνοδεύεται από μεγάλο κόστος. Αντίθετα, η μη-επαναλαμβανόμενη περιοδικά συμφόρηση οφείλεται κυρίως στα έκτακτα οδικά συμβάντα (πχ. ατυχήματα, ακινητοποίηση οχήματος, κατάληψη κυκλοφοριακών λωρίδων κλπ.) και είναι απρόβλεπτη. Ωστόσο, η επιρροή της στην κυκλοφορία είναι αισθητή καθώς μειώνει άμεσα, έστω και προσωρινά, την κυκλοφορική ικανότητα της οδού, προκαλώντας μεγάλη απώλεια χρόνου στους οδηγούς. Οι οικονομικές επιπτώσεις από την απώλεια χρόνου λόγω αυτών των συμβάντων είναι κατά κανόνα ιδιαίτερα μεγάλες, τόσο σε ατομικό όσο και

σε κοινωνικό επίπεδο οδηγώντας στην ανάγκη για την επίλυση αυτού του προβλήματος.

Υπάρχουν δυο πιθανές λύσεις για να περιοριστεί μια τέτοια απώλεια: μία είναι να περιοριστεί το πρόβλημα αυτό καθ' αυτό, να μειωθεί δηλαδή δραματικά ο αριθμός των τροχαίων συμβάντων και η άλλη να γίνει αποτελεσματική διαχείριση αυτών των συμβάντων με στόχο την γρηγορότερη δυνατή αποκατάσταση της κυκλοφορίας. Η πρώτη προσέγγιση είναι μόνιμη λύση αλλά ταυτόχρονα και πολύ πιο δύσκολη καθώς ακόμα και εάν απαλειφθούν κάποιες κατηγορίες συμβάντων πάντα θα υπάρχουν τροχαία ατυχήματα αφού είναι πρακτικά αδύνατο να εξαλειφθούν. Προκύπτει έτσι, η ανάγκη εξέλιξης των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας που συμβάλουν στην κατά το ταχύτερο δυνατόν εκκαθάριση της οδού και αποκατάσταση της κυκλοφορίας. Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι περισσότερο συμβατή και παρέχει μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία σε αστικά τμήματα οδών ταχείας κυκλοφορίας και σε αστικούς αυτοκινητοδρόμους. Η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τον χρόνο αντίδρασης και εκκαθάρισης της σκηνής του ατυχήματος, των παραγόντων δηλαδή που επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος σε αστικούς αυτοκινητόδρομους αποτελεί τον κεντρικό στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και ο προσδιορισμός των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν τη χρονική διάρκεια οδικών συμβάντων σε αστικούς αυτοκινητοδρόμους. Ακόμα, αποσκοπεί στον προσδιορισμό της βέλτιστης μεθοδολογίας για την κατασκευή ενός μοντέλου πρόβλεψης της διάρκειας των συμβάντων αυτών. Γίνεται εφαρμογή με μια μέθοδο παλινδρόμησης και με μια μέθοδο ανάλυσης επιβίωσης με στόχο την συγκριτική ανάλυση των δυο μεθόδων και την ανάδειξη των πλεονεκτημάτων και των αδυναμιών της κάθε μιας για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Ο οδικός άξονας που εξετάζεται είναι αυτός της Αττικής οδού, του αστικού αυτοκινητοδρόμου της Αττικής όπου καταγράφονται καθημερινά πάνω από 295.000 διελεύσεις (δεδομένα 2007) και ετησίως περίπου 900 ατυχήματα. Το διαθέσιμο αρχείο ατυχημάτων που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει ατυχήματα της χρονικής περιόδου 2007-2010.

1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε επτά κεφάλαια:

Στο 1^{ο} κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της διάρκειας οδικού συμβάντος καθώς και η παρουσίαση του σκοπού και της διάρθρωσης της εργασίας.

Στο 2^{ο} κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε παλαιότερες έρευνες που μελετούν τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διάρκεια οδικών συμβάντων και παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που αυτές έχουν εξάγει. Τέλος, παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας βιβλιογραφίας.

Στο 3^{ο} κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν ή αποτέλεσαν αντικείμενο υπό εξέταση για την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και η μεθοδολογία κατασκευής ενός μαθηματικού προτύπου.

Στο 4^{ο} κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της βάσης δεδομένων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής.

Στο 5^{ο} κεφάλαιο πραγματοποιείται η κατασκευή και η ανάλυση των δυο μαθηματικών προτύπων: αυτού της γραμμικής παλινδρόμησης και αυτού της παλινδρόμησης αναλογικού κινδύνου με παλινδρόμηση τύπου Cox.

Στο 6^{ο} κεφάλαιο υλοποιείται η συγκριτική ανάλυση των δυο μοντέλων και εξάγονται συμπεράσματα για το βέλτιστο μοντέλο, για την παρούσα μελέτη-περίπτωση.

Τέλος, στο 7^{ο} κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των μοντέλων και από τη μεταξύ τους σύγκριση και προτείνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

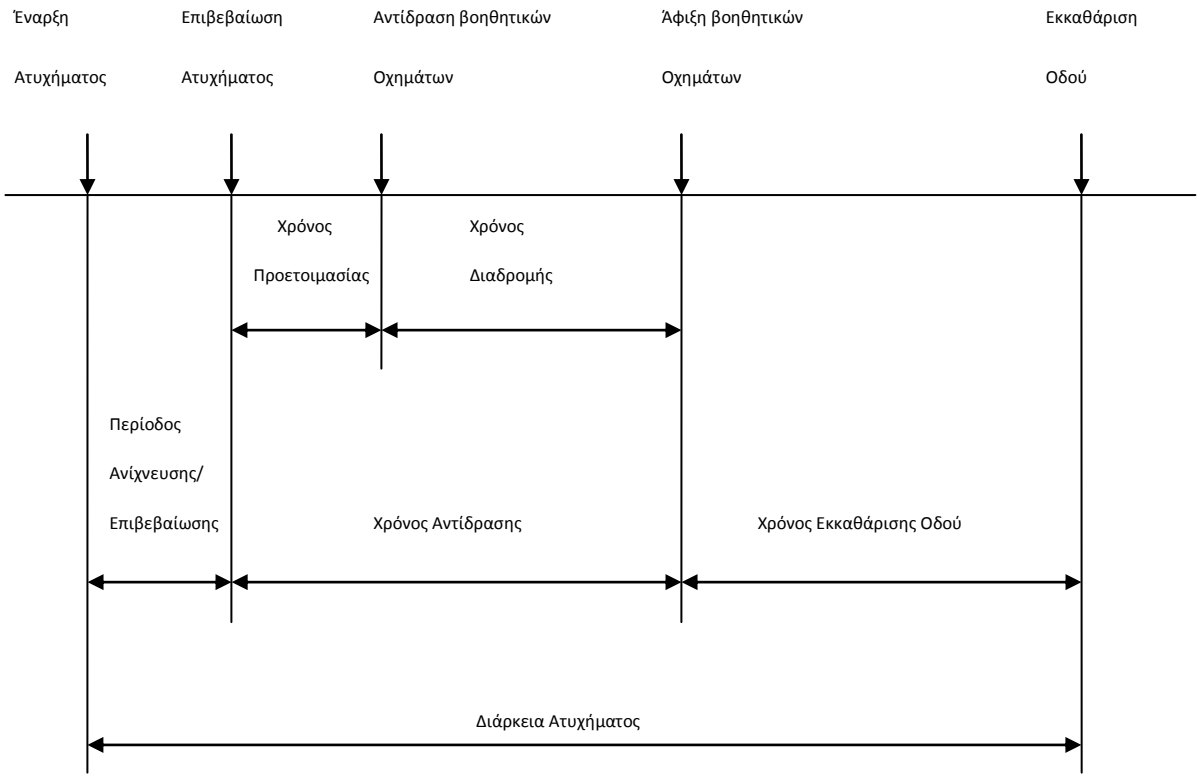
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα τροχαία ατυχήματα είναι μια απ' τις κυριότερες αιτίες πρόκλησης κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αστικές περιοχές. Έρευνες έχουν δείξει ότι περίπου το 60% της συνολικής συμφόρησης και των αντίστοιχων καθυστερήσεων στους αυτοκινητόδρομους, οφείλεται στα ατυχήματα. Λόγω του γεγονότος αυτού και για την κατά το δυνατόν μείωση των καθυστερήσεων προκύπτει η ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης των οδικών συμβάντων. Ο βασικός στόχος μιας τέτοιας διαχείρισης είναι η ελαχιστοποίηση της διάρκειας των συμβάντων και η παροχή κατάλληλου ελέγχου της κυκλοφορίας στην περιοχή του ατυχήματος.

Η διάρκεια του ατυχήματος ορίζεται συνήθως ως ο χρόνος μεταξύ της χρονικής στιγμής που συμβαίνει το ατύχημα και της κανονικής επαναλειτουργίας της κυκλοφορίας μετά την εκκαθάριση της οδού. Αυτή η διάρκεια μπορεί να διαιρεθεί σε τρία μέρη, την καταγραφή του ατυχήματος (ο χρόνος μεταξύ της χρονικής στιγμής που συμβαίνει το ατύχημα και της αντίστοιχης ανακοίνωσης), το χρόνο απόκρισης (ο χρόνος μεταξύ της ανακοίνωσης και της άφιξης των βοηθητικών οχημάτων) και το χρόνο εκκαθάρισης (ο χρόνος μεταξύ της άφιξης των βοηθητικών οχημάτων και της εκκαθάρισης της οδού), (Wei et al. 2006).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται σχηματικά οι υποπερίοδοι της διάρκειας ενός ατυχήματος.



Σχήμα 1: Οι επί μέρους χρόνοι της διάρκειας του ατυχήματος (Πηγή: Nam & Mannering 1998)

Για το λόγο αυτό στις περισσότερες μητροπολιτικές περιοχές έχουν αναπτυχθεί προγράμματα ελέγχου της κυκλοφορίας, ο σκοπός των οποίων ποικίλει από απλό εντοπισμό του συμβάντος και ενημέρωση μέσω ειδικών πληροφοριακών πινακίδων, έως την αποστολή επί τόπου ειδικά εκπαιδευμένων και εξοπλισμένων ομάδων για την άμεση επέμβαση και διαχείριση του συμβάντος.

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα τέτοιων προγραμμάτων, στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, είναι δύσκολο να αξιολογηθεί κυρίως λόγω της έλλειψης στοιχείων. Ακόμα, είναι δύσκολο να αξιολογηθούν και οι ανάγκες βελτίωσης των υφιστάμενων προγραμμάτων διαχείρισης κυκλοφορίας. Έτσι οι βελτιώσεις στα ήδη υπάρχοντα προγράμματα γίνονται κυρίως με εμπειρικά κριτήρια αντί με εμπεριστατωμένες στατιστικές αναλύσεις.

Από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη διαμόρφωσης μιας δόκιμης μεθοδολογίας για τον τρόπο υπολογισμού της διάρκειας ενός οδικού συμβάντος και του προσδιορισμού των παραγόντων από τους οποίους η διάρκεια αυτή εξαρτάται. Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές μέθοδοι για τη διερεύνηση της διάρκειας των ατυχημάτων:

Ο Giuliano (1989) ανέλυσε τα χαρακτηριστικά ενός συμβάντος σε αστικό περιβάλλον (Los Angeles, California) και με τη χρήση απλοποιημένων Μοντέλων Διάρκειας (Duration models), δύο στο σύνολο, εξέτασε τη σχέση μεταξύ της διάρκειας ενός συμβάντος και των παραγόντων του ίδιου συμβάντος. Παρατήρησε ότι η διάρκεια του συμβάντος εξαρτάται, εκτός των υπολοίπων, και από τον τύπο του συμβάντος, με αποτέλεσμα την ανάγκη για μελέτη του συνόλου των περιστατικών καθώς και του συνόλου των ατυχημάτων.

Οι Jones et al. (1991) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι χρόνοι εκκαθάρισης της οδού είναι περιοδικοί ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα κατέληξαν ότι η διάρκεια ενός συμβάντος εξαρτάται άμεσα από το μήνα στον οποίο συνέβη το ατύχημα. Ακόμα, βρήκαν ότι στις ώρες αιχμής η εκκαθάριση της οδού γινόταν γρηγορότερα απ’ ότι στις ώρες με μικρότερους φόρτους, πιθανόν λόγω πολιτικής των αρμόδιων αρχών της Washington που κινητοποιούσαν τα φορτηγά οχήματα οδικής βοήθειας μόνο τις ώρες αιχμής. Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις συμβάντων εμπλεκόμενων με κατανάλωση αλκοόλ, παρατηρήθηκε ότι είχαν μικρότερη διάρκεια, πιθανότατα λόγω της πολιτικής ευαισθητοποίησης σε τέτοιες περιπτώσεις και ταχείας αντίδρασης των αρμόδιων αρχών.

Οι Khattak et al. (1994) προσπάθησαν να προσδιορίσουν του παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η διάρκεια ενός ατυχήματος χρησιμοποιώντας δυο μεθόδους: ένα Περικεκομμένο Μοντέλο Παλινδρόμησης (Truncated Regression Model) και ένα Μοντέλο Επιβίωσης (Survival Model). Τα δυο μοντέλα κατέληξαν σε παραπλήσια αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες μεταβλητές ήταν κοινές και με παραπλήσια στατιστική επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή (διάρκεια ατυχήματος), οπότε έκριναν δόκιμο να παρουσιάσουν μόνο το μοντέλο παλινδρόμησης ως πιο απλό

και εύκολα αντιληπτό. Η έρευνα αυτή δείχνει μια χαρακτηριστική περίπτωση όπου η ανάλυση επιβίωσης, αν και θεωρητικά πιο κατάλληλη για τον προσδιορισμό μοντέλων με εξαρτημένη μεταβλητή τον χρόνο, απορρίπτεται λόγω της πολυπλοκότητας της και προτιμάται μια απλή παλινδρόμηση που οδηγεί πρακτικά, σε ίδια αποτελέσματα.

Παράλληλα, οι Garib et al. (1997) με σκοπό την εκτίμηση του μεγέθους και της διάρκειας των καθυστερήσεων λόγω ενός συμβάντος εφάρμοσαν Μοντέλα Πολλαπλής Παλινδρόμησης (Multiple Regression Models).

Οι Nam & Mannering (1998) επιχείρησαν την κατασκευή μιας μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια ενός οδικού συμβάντος με απώτερο στόχο την αξιολόγηση των προγραμμάτων διαχείρισης κυκλοφορίας. Η βάση δεδομένων τους προερχόταν από τους αυτοκινητοδρόμους της πολιτείας Washington των ΗΠΑ. Χρησιμοποίησαν ξεχωριστά μοντέλα για τους χρόνους εντοπισμού/αναφοράς του συμβάντος, απόκρισης του συνεργείου και εκκαθάρισης της οδού. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποίησαν μοντέλο Weibull με Γάμμα ετερογένεια για την περίοδο εντοπισμού/αναφοράς και για την περίοδο απόκρισης και Log-Logistic Κατανομή (χωρίς ετερογένεια) για την περίοδο εκκαθάρισης της οδού. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα μοντέλα κινδύνου ταιριάζουν στην ανάλυση διάρκειας ατυχημάτων καθώς επιτρέπουν στον ερευνητή να εξετάσει σημαντικές επιδράσεις της διάρκειας του συμβάντος στην κυκλοφορία.

Οι Ozbay et al. (2005) μελέτησαν την περίοδο καθαρισμού οδού με δίκτυα κατά Bayes. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν ο τύπος περιστατικού, το πλήθος βοηθητικών οχημάτων (περιπολικά και πυροσβεστικά οχήματα), οι τραυματίες, οι τύποι και το πλήθος οχημάτων και ο τύπος της οδού.

Επίσης, οι Wei et al. (2006) εκτίμησαν την περίοδο συμβάντος, όπου συμβάν θεωρείται μόνο το αυτοκινητιστικό ατύχημα, με Τεχνητό Νευρικό Δίκτυο (Artificial Neural Network) και Μοντέλο Πρόβλεψης Πολλαπλών Περιόδων (Multi- Period

Forecast Model). Τα στοιχεία της έρευνας προέρχονται από τον No 1 αυτοκινητόδρομο της Taiwan.

Την ίδια χρονιά, οι Boyes et al. (2006) εφάρμοσαν Πιθανολογικό Μοντέλο (Probabilistic Model) βασισμένο σε Απλή Κατηγοριοποίηση κατά Bayes (Naïve Bayesian Classifier) και Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης (Linear Regression Model), όπου στο κάθε μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικώς μεταβλητές. Για το Πιθανολογικό Μοντέλο (Probabilistic Model) τα συμβάντα χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες, διάρκειας μικρότερης της μισής ώρας, διάρκεια μεταξύ μισής και μίας ώρας και διάρκεια μεγαλύτερης της μιας ώρας.

2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η χρονική περίοδος που διαρκεί ένα ατύχημα, όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω, επηρεάζει άμεσα την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού που αυτό συντελέστηκε προκαλώντας καθυστερήσεις, ανάπτυξη ουρών και κίνδυνο για την πρόκληση περαιτέρω ατυχημάτων. Προκύπτει έτσι η ανάγκη για την εξεύρεση των παραγόντων που επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, με στόχο τη δυνατότητα πρόβλεψης της διάρκειας ενός συμβάντος τη στιγμή που πραγματοποιείται, την ιεράρχησή των παραγόντων αυτών ανάλογα με τη σπουδαιότητα τους από τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας και την συμβολή τους στην δυνατότητα άμεσης επέμβασης όπου κρίνεται αναγκαίο.

Έχουν χρησιμοποιηθεί από τους ερευνητές πληθώρα μεθόδων στατιστικής ανάλυσης για την εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια ενός συμβάντος και για την κατασκευή ενός κατάλληλου στατιστικού μοντέλου, με ποικίλα αποτελέσματα αλλά και αντιλεγόμενα συμπεράσματα για το ποια μέθοδος είναι η καλύτερη. Οι βασικότερες αναλύσεις είναι η ανάλυση με απλές παλινδρομήσεις (γραμμική, λογαριθμική, λογαριθμοκανονική κ.α.) και η ανάλυση επιβίωσης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ανάλυση με μια μέθοδο παλινδρόμησης και με μια ανάλυσης επιβίωσης προσπαθώντας να εξεταστεί εάν αρχικά, μπορούν και οι δυο να προσεγγίσουν το αντικείμενο στη συνέχεια να προσδιοριστούν τα πλεονεκτήματα κάθε μιας από της μεθόδους και εν τέλει να αναδειχθεί η καταλληλότερη για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Στον Πίνακα 1 συνοψίζεται η βιβλιογραφία και παρουσιάζονται οι συγγραφείς, ο τίτλος, η χρονολογία, η μέθοδος πρόβλεψης και οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση της βιβλιογραφίας

	Συγγραφείς	**Έτος**	**Μέθοδος Πρόβλεψης**	**Μεταβλητές**
1	Genevieve Giuliano	1989	Απλοποιημένα Duration Models (2 μοντέλα)	τύπος περιστατικού, πλήθος κλειστών λωρίδων, ώρα της ημέρας, παρουσία φορτηγών
2	Asad J. Khattak	1994	Truncated Regression Model	χαρακτηριστικά περιστατικού, λειτουργικοί και απόκρισης παράγοντες, καιρικές συνθήκες, χαρακτηριστικά τοποθεσίας, κυκλοφοριακές συνθήκες
	Joseph L. Schofer		Survival Model	
	Mu-Han Wang			
3	A. Garib	1997	Multiple Regression Models	χαρακτηριστικά περιστατικού, κυκλοφοριακές συνθήκες, καιρικές συνθήκες, γεωμετρικά χαρακτηριστικά
	A. E. Radwan		Logarithmic Format	
	H. Al-Deek			
4	Doohee Nam	1998	Weibull Model with gamma heterogeneity (περίοδος αναγνώρισης και καταγραφής/ περίοδος απόκρισης)	χρονικά χαρακτηριστικά, καιρικές συνθήκες , γεωγραφικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά περιστατικού
	Fred Mannering		Log-logistic Distribution (περίοδος καθαρισμού οδού)	υπεύθυνη υπηρεσία, χρονικά χαρακτηριστικά, καιρικές συνθήκες, γεωγραφικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά περιστατικού
5	Matthew G. Karlaftis	1998	Logistic Regression Models (2 μοντέλα)	περίοδος καθαρισμού οδού, τύπος οχήματος, τοποθεσία οχήματος, εποχή, ημέρα της βδομάδας
	Steven P. Latoski			
	Nadine J. Richards			
	Kumares C. Sinha			
6	Antony Stathopoulos	2002	Congestion Duration Models (Exponential, Loglogistic, Lognormal, Weibull)	περίοδος ημέρας, διάρκεια συμφόρησης, μετρήσεις κατάληψης
	Matthew G. Karlaftis			

	Συγγραφείς	**Έτος**	**Μέθοδος Πρόβλεψης**	**Μεταβλητές**
7	Chi-Hyun Shin	2003	Decision tree Multiple Linear Regression Models	βαρέα οχήματα, χύσιμο φορτίου, καιρικές συνθήκες, ώρα της ημέρας, τύποι ατυχημάτων, τραυματίες, νεκροί, πλήθος κλειστών λωρίδων, πλήθος βοηθητικών οχημάτων
8	Pei-Wei Lin Nan Zou Gang-Len Chang	2003	Ordered Probit Model Rule-Based Supplement Model	τύπος περιστατικού ή ατυχήματος, πλήθος κλειστών λωρίδων, ώρα της ημέρας, παρουσία φορτηγών, πλήθος εμπλεκομένων οχημάτων, χρόνος απόκρισης, καιρικές συνθήκες, ορατότητα
9	Kaan Ozbay Nebahat Noyan	2005	Bayesian Networks Dirichlet Distribution	τύπος περιστατικού, πλήθος βοηθητικών οχημάτων, τραυματίες, τύποι και πλήθος οχημάτων, τύπος οδού
10	Stephen Boyles David Fajardo S. Travis Waller	2006	Probabilistic Model based on Naive Bayesian Classifier Linear Regression Model	πλήθος κλειστών λωρίδων, τραυματίες, νεκροί, βοηθητικά οχήματα, τύποι οχημάτων, πλήθος οχημάτων
11	Chien-Hung Wei Ying Lee	2006	Artificial Neural Networks Multi- Period Forecast Model	χαρακτηριστικά περιστατικού, κυκλοφοριακές συνθήκες, χρονικά χαρακτηριστικά, γεωγραφικά χαρακτηριστικά, γεωμετρικά χαρακτηριστικά
12	Eleni I. Vlahogianni Matthew G. Karlaftis John C. Golias Bill M. Halkias	2010	Augmented Naive Bayesian Network Expectation- Maximization algorithm	ώρα έναρξης ατυχήματος, πλήθος εμπλεκομένων οχημάτων, απόσταση μεταξύ διαδοχικών ατυχημάτων, τοποθεσία ατυχήματος, μέγιστο μήκος ουράς, διάρκεια ουράς
13	Younshik Chung Lubinda Walubita Keechoo Choi	2010	Loglogistic Accelerated failure time metric model Survival analysis	τραυματίες, πλήθος οχημάτων, περίοδος ημέρας, ποσοστό ζημιών, νεκροί, εποχή, τύποι οχημάτων, κατάσταση οχήματος μετά το ατύχημα

Από τα στοιχεία του Πίνακα 1 προκύπτει ότι την τελευταία 25ετία έχουν γίνει 13 σχετικές έρευνες εκ των οποίων οι 3 με συμμετοχή Ελλήνων ερευνητών (Ε.Μ.Π.) και 10 από διεθνή ακαδημαϊκά ιδρύματα (Η.Π.Α., Ευρώπη, Ιαπωνία κλπ.). Παρατηρείται ότι οι μέθοδοι πρόβλεψης και οι μεταβλητές διαφοροποιούνται σημαντικά ανάμεσα στις διάφορες έρευνες είτε χρησιμοποιούν διαφορετική είτε την ίδια μέθοδο πρόβλεψης της διάρκειας του ατυχήματος. Καθοριστικό στοιχείο για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου φαίνεται να αποτελούν τα διαθέσιμα στοιχεία των συμβάντων που σχετίζονται με τοπικές πρακτικές και συνθήκες. Επομένως, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προκύπτει κατά περίπτωση από το συγκεκριμένο υπό εξέταση οδικό έργο και τις τοπικές πρακτικές διαχείρισης και λειτουργίας του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν ή εξετάστηκε το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης:

i. Γραμμική παλινδρόμηση
ii. Λογιστική παλινδρόμηση
iii. Ανάλυση επιβίωσης με παλινδρόμηση Cox

Το θεωρητικό υπόβαθρο των τριών αυτών μεθόδων αναλύεται παρακάτω:

Ανάλυση Παλινδρόμησης (Regression Analysis): είναι 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.

i. Η *πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση* (multiple linear regression) εξετάζει μια εξαρτημένη μεταβλητή και ένα σύνολο ανεξάρτητων με στόχο τη πρόβλεψη της πρώτης από τις υπόλοιπες. Η εξαρτημένη μεταβλητή συνδέεται με τις ανεξάρτητες μέσω μιας γραμμικής σχέσης της μορφής:

$$Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \ldots + \beta_v X_v$$

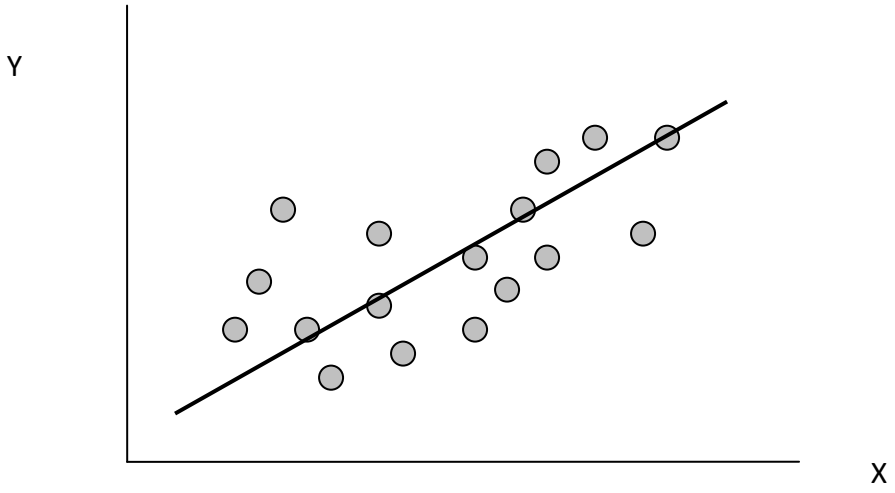
Όπου:

Y η εξαρτημένη μεταβλητή

$X_1, X_2, X_3, \ldots, X_v$ οι ανεξάρτητες μεταβλητές

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_v$ οι παράμετροι συσχέτισης

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων $\beta_o,\beta_1,\beta_2,\beta_3, \ldots, \beta_\nu$ δίνει μια προσεγγιστική ευθεία που συνδέει τις τιμές της μεταβλητής Y δοθέντων των τιμών των X_i. Η ευθεία αυτή μπορεί να κατασκευασθεί εμπειρικά ή μέσω μαθηματικών μεθόδων, όπως είναι η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων**.** Κατά τη μέθοδο αυτή σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων (X,Y) από την ευθεία να είναι ελάχιστο.



Σχήμα 2: Ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης

Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίζονται οι συντελεστές $\beta_o,\beta_1,\beta_2,\beta_3, \ldots, \beta_\nu$ από τον τύπο:

$$\hat{\beta} = \frac{\nu \sum_{i=1}^{\nu} x_i y_i - (\sum_{i=1}^{\nu} x_i)(\sum_{i=1}^{\nu} y_i)}{\nu \sum_{i=1}^{\nu} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{\nu} x_i)^2}$$

και $\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta} \cdot \bar{x}$

η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων θα είναι η :

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \cdot x$$

Το $\hat{\alpha}$ είναι η τεταγμένη του σημείου στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα y'y ενώ το $\hat{\beta}$, που είναι ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας, εκφράζει την μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X μεταβληθεί κατά μια μονάδα.

ii. Η *λογιστική παλινδρόμηση* (logistic regression) είναι μία τεχνική σχεδιασμένη για την πραγματοποίηση ανάλυσης δεδομένων που αφορούν την μελέτη και την πρόβλεψη τιμών μιας κατηγορικής εξαρτημένης μεταβλητής χρησιμοποιώντας ποσοτικές και ποιοτικές ανεξάρτητες μεταβλητές.

Η μελέτη της σχέσης της κατηγορικής εξαρτημένης μεταβλητής δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του αλγορίθμου της Γραμμικής Παλινδρόμησης για δύο βασικούς λόγους.

- Πρώτον, όταν προβλέπονται οι τιμές μιας κατηγορικής εξαρτημένης μεταβλητής, στην ουσία υπολογίζεται η πιθανότητα με την οποία η εξαρτημένη μεταβλητή θα λάβει κάποια συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή της πιθανότητας αυτής θα πρέπει, εξ ορισμού, να παίρνει τιμές μεταξύ του 0 και του 1. Με την χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί να υπολογιστούν τιμές πιθανότητας μεγαλύτερες του 1 ή μικρότερες του 0, που είναι άτοπο .
- Δεύτερον, η γραμμική παλινδρόμηση θα πρέπει να ικανοποιεί την υπόθεση της ισότητας των διακυμάνσεων. Ωστόσο, στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι διχοτομική, έχει τυπική απόκλιση (St dev)=√(p)*(1-p), όπου p είναι η μέση τιμή της μεταβλητής. Λόγω της συναρτησιακής σχέσης της τυπικής απόκλισης με την μέση τιμή, η ομοιογένεια της διακύμανσης των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής δεν είναι δυνατόν να ικανοποιείται.

Η πιο διαδεδομένη, έκφραση της εξίσωσης της Λογιστικής Παλινδρόμησης είναι:

$$\text{Ln (odds)} = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \ldots + \beta_v X_v$$

Το δεξιό μέρος της εξίσωσης δημιουργείται από ένα γραμμικό συνδυασμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που συμμετέχουν στο μοντέλο της παλινδρόμησης. Το αριστερό μέρος περιέχει τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής με την μορφή του λογαρίθμου των odd δηλαδή, του λογαρίθμου της σχέσης: odds = prob/(1-prob) . Το odds εναλλακτικά ονομάζεται logt και ο όρος Prob εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί το γεγονός που έχει ορισθεί σαν επιτυχία του πειράματος. Οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξίσωση της παλινδρόμησης εκτιμούνται βάση της μεθόδου Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Βάση της μεθόδου αυτής οι τιμές των συντελεστών των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι αυτές που κάνουν τις παρατηρηθήσες τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής πιο πιθανές, με βάση τα συγκεκριμένα δεδομένα τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών.

iii. Η *ανάλυση επιβίωσης με παλινδρόμηση Cox* καλείται επίσης ως Αναλογική Παλινδρόμηση Κινδύνου (Proportional Hazard Regression) και χρησιμοποιείται όταν η μεταβλητή αποτελέσματος είναι ο χρόνος για να συμβεί κάποιο γεγονός.

Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων είναι το πιο γενικό των μοντέλων παλινδρόμησης, διότι δεν βασίζεται σε υποθέσεις που αφορούν τη φύση ή τη μορφή της υποκείμενης κατανομής επιβίωσης. Το μοντέλο υποθέτει ότι ο υποκείμενος δείκτης επικινδυνότητας (αντί για τον χρόνο επιβίωσης που χρησιμοποιείται σε άλλα μοντέλα επιβίωσης) είναι μια συνάρτηση ανεξάρτητων μεταβλητών. Δεν γίνονται υποθέσεις σχετικά με τη φύση ή τη μορφή της συνάρτησης επικινδυνότητας. Έτσι υπό μια έννοια, η Cox παλινδρόμηση μπορεί να θεωρηθεί μια μη παραμετρική μέθοδος.

Το μοντέλο μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$h\{(t), (z_1, z_2, \ldots, z_m)\} = h_o(t)*\exp(b_1*z_1+b_2*z_2+\ldots+b_m*z_m),$$

όπου:

Το h(t) υποδηλώνει την επακόλουθη επικινδυνότητα, δεδομένων των τιμών των m μεταβλητών και του αντίστοιχου χρόνου επιβίωσης.

Ο όρος $h_o(t)$ ονομάζεται αρχική επικινδυνότητα και είναι η επικινδυνότητα όταν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι μηδενικές.

Το παραπάνω μοντέλο μπορεί να μετατραπεί σε γραμμικό διαιρώντας και τα δυο μέλη της εξίσωσης με $h_o(t)$ και κατόπιν παίρνοντας τον δεκαδικό λογάριθμο και των δυο μελών. Έτσι προκύπτει:

$$\log[h\{(t), (z_1, z_2, \ldots, z_m)\}/ h_o(t)] = b_1*z_1+b_2*z_2+\ldots+b_m*z_m,$$

Όσον αφορά τις υποθέσεις της μεθόδου, ενώ δεν γίνονται υποθέσεις για τη μορφή της υποκείμενης συνάρτησης επικινδυνότητας, οι εξισώσεις του μοντέλου που αναφέρθηκαν παραπάνω συνεπάγονται δυο υποθέσεις.

Η πρώτη υπόθεση καθορίζει μια πολλαπλασιαστική σχέση μεταξύ της υποκείμενης συνάρτησης επικινδυνότητας και της λογαριθμο-κανονικής συνάρτησης των μεταβλητών. Αυτή η υπόθεση καλείται ‘’υπόθεση της αναλογικότητας’’. Πρακτικά υποθέτεται ότι, δεδομένων δυο παρατηρήσεων με διαφορετικές τιμές για ανεξάρτητες μεταβλητές, ο λόγος των συναρτήσεων επικινδυνότητας για αυτές τις δυο παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητος του χρόνου.

Η δεύτερη υπόθεση είναι ότι υπάρχει μια λογαριθμο-κανονική σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της υποκείμενης συνάρτησης επικινδυνότητας.

3.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

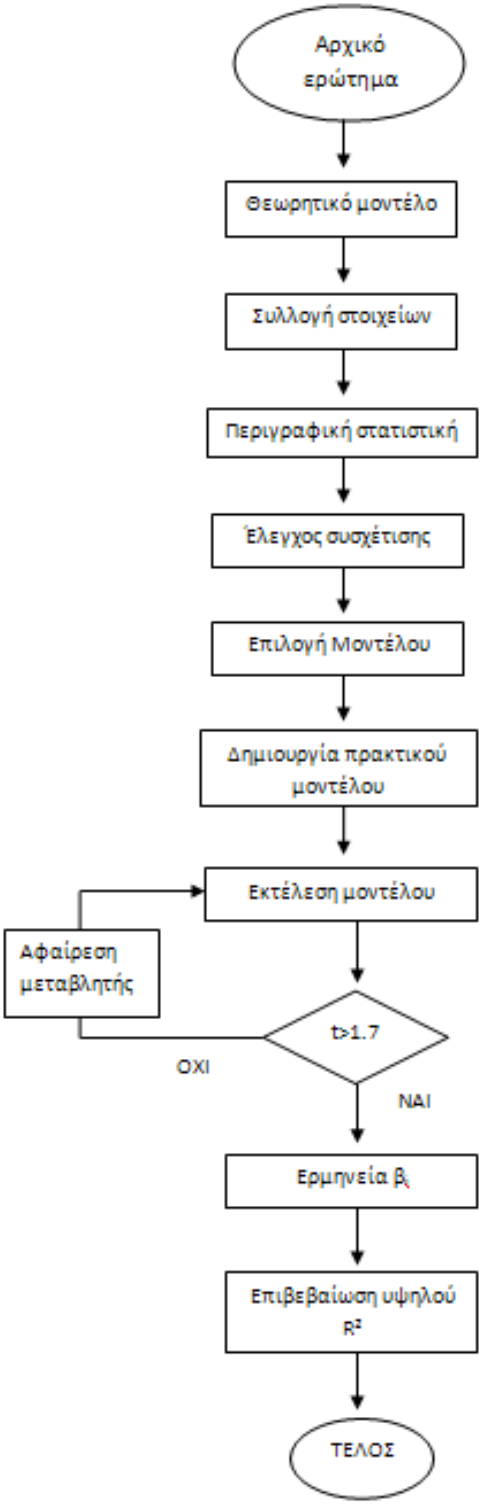
Για τη δημιουργία ενός πρακτικού μοντέλου με οποιαδήποτε από τις παραπάνω μεθόδους ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1. Τίθεται το αρχικό ερώτημα που καλείται να απαντήσει-ερμηνεύσει το υπό κατασκευήν μοντέλο. Ορίζεται έτσι η εξαρτημένη μεταβλητή.
2. Κατασκευάζεται ένα θεωρητικό μοντέλο συγκεντρώνοντας όλους εκείνους τους παράγοντες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές και γίνεται μια αρχική πρόβλεψη για το πώς μπορεί να επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή.
3. Ακολουθεί η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων που θα αποτελέσουν τη βάση δεδομένων για το μοντέλο.
4. Με χρήση της περιγραφικής στατιστικής εξάγονται τα πρώτα συμπεράσματα για τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν.
5. Ελέγχεται η συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών μέσω του συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) ρ. Μεταβλητές που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση (ρ>0,80) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα στο μοντέλο, καθώς υπεισέρχεται το πρόβλημα της πολυσυγραμμικότητας.
6. Επιλέγεται ο τύπος του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί (γραμμική παλινδρόμηση: για συνεχείς εξαρτημένες και ανεξάρτητες μεταβλητές αν δεν υπάρχουν περισσότερα στοιχεία για το ποια κατανομή ακολουθούν, λογιστική παλινδρόμηση: για εξαρτημένη μεταβλητή που έχει δυαδικό χαρακτήρα, λαμβάνει δηλαδή μόνο δυο διακριτές τιμές, παλινδρόμηση Cox: όταν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ο χρόνος για να συμβεί κάποιο γεγονός.)
7. Με βάση όλα τα παραπάνω επιλέγονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές και δημιουργείται το πρακτικό μοντέλο.
8. Γίνεται εφαρμογή του μοντέλου και προκύπτει η σχέση παλινδρόμησης μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων.
9. Ελέγχεται αν ικανοποιείται ο στατιστικός έλεγχος της κατανομής t στους συντελεστές παλινδρόμησης, δηλαδή η τιμή του να είναι μεγαλύτερη του 1,7 για

διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Για όσες μεταβλητές δεν ικανοποιείται, αυτές απορρίπτονται και επανεκτελείται το μοντέλο χωρίς αυτές.

10. Ερμηνεύονται τα μεγέθη και τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης και επιβεβαιώνεται ότι έχουν φυσικό νόημα και επιστημονική ακεραιότητα.
11. Επιδιώκεται ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερος στα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης ενώ στα μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης επιδιώκεται μεγάλη πιθανοφάνεια, δηλαδή η τιμή του λογαρίθμου των συναρτήσεων πιθανοφάνειας L = -log(likelihood) να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

Σχήμα 3: Αλγόριθμος κατασκευή μοντέλου παλινδρόμησης



3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και στον αλγόριθμο δημιουργίας ενός μοντέλου παλινδρόμησης, αυτό θα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια. Αρχικά θα πρέπει οι μεταβλητές παλινδρόμησης να μην παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους. Ειδικότερα, θα πρέπει ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) ρ να είναι μικρότερος του 0,80. Σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατή η εξακρίβωση της επιρροής κάθε μεταβλητής στο αποτέλεσμα.

Στη συνέχεια ελέγχεται η στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου μέσω του ελέγχου t-test της κατανομής Student. Ο έλεγχος του δείκτη t εξασφαλίζει ότι οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικές. Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% θα πρέπει t > 1.7. Όσες μεταβλητές δεν πληρούν αυτό το κριτήριο θεωρούνται στατιστικά μη σημαντικές και απορρίπτονται για χρήση στο μοντέλο.

Ο τελικός έλεγχος αφορά τον συντελεστή προσδιορισμού R^2. Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι μια μη-φθίνουσα συνάρτηση του αριθμού των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ορίζεται από την σχέση:

$$R^2 = SSR/SST, \qquad 0 \le R^2 \le 1$$

όπου: $SSR = \sum_{i=1}^{\nu} (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \hat{\beta}^2 \cdot \sum_{i=1}^{\nu} (x_i - \bar{x})^2$ και $SST = \sum_{i=1}^{\nu} (y_i - \bar{y})^2$

Ο συντελεστής R^2 εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από την μεταβλητή X. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 στην μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X. Ακόμα, όσο αυξάνεται ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου τόσο μεγαλώνει και το R^2. Μεταξύ δυο υποδειγμάτων με την ίδια εξαρτημένη μεταβλητή και ίδιο αριθμό παρατηρήσεων αλλά, διαφορετικό αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών επιλέγεται αυτή με υψηλότερο R^2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε βάση δεδομένων που περιλαμβάνει ατυχήματα που πραγματοποιήθηκαν στην Αττική Οδό κατά την τετραετία 2007-2010. Η Αττική Οδός είναι ένας σύγχρονος αυτοκινητόδρομος μήκους 65 χιλιομέτρων. Αποτελεί τον περιφερειακό δακτύλιο της ευρύτερης μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας και τη σπονδυλική στήλη του οδικού δικτύου ολόκληρου του Νομού Αττικής. Πρόκειται για έναν αστικού τύπου αυτοκινητόδρομο, με 3 λωρίδες κυκλοφορίας και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης ανά κατεύθυνση. Στο μέσον της, σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, κινείται ο προαστιακός σιδηρόδρομος. Αποτελεί έργο υποδομής μοναδικό, ακόμα και για τα ευρωπαϊκά δεδομένα, καθώς είναι ένας κλειστός αυτοκινητόδρομος με διόδια, που διασχίζει μια μητροπολιτική πρωτεύουσα με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.. Διέρχεται από αστικές και υπεραστικές περιοχές και πραγματοποιεί τη σύνδεση της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας με πιο μακρινές περιοχές της Αττικής, από την Ελευσίνα ως τα Σπάτα και παρέχει τη σύνδεση με το Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, Ελευθέριος Βενιζέλος.

Στόχος της ανάλυσης είναι η εξεύρεση των παραγόντων που επηρεάζουν την διάρκεια του εκάστοτε ατυχήματος και η δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο με βάση μια σειρά από στοιχεία που αφορούν το συμβάν, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της διάρκειάς του.

Έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν δείχνουν ότι τα τροχαία ατυχήματα είναι βασική αιτία πρόκλησης κυκλοφοριακής συμφόρησης και η ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισής τους είναι μεγάλη. Η ελαχιστοποίηση της διάρκειας των συμβάντων επιτυγχάνεται μέσω προγραμμάτων διαχείρισης κυκλοφορίας. Δυστυχώς, η αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων αυτών είναι δύσκολο να αξιολογηθεί, κυρίως λόγω έλλειψης δεδομένων. Έτσι είναι και δύσκολο να γίνουν βελτιώσεις και όταν αυτές

γίνονται, γίνονται με βάση την εμπειρία και όχι ως αποτέλεσμα στατιστικής ανάλυσης. Η συλλογή των στοιχείων είναι το πιο σημαντικό βήμα στην ανάλυση των χαρακτηριστικών των συμβάντων και της επιρροής τους στην κυκλοφορία. Απαιτείται μια εμπεριστατωμένη βάση δεδομένων με πλήρη στοιχεία για το κάθε συμβάν, ώστε να επιτρέψει στον ερευνητή την δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου που θα οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα. Δηλαδή, ακόμα και αν υπάρχει μια βάση δεδομένων με ικανοποιητικό αριθμό ατυχημάτων αυτό δεν εξασφαλίζει τους στόχους της ανάλυσης, καθώς η βάση αυτή θα πρέπει να συναληθευτεί με μια αντίστοιχη βάση με κυκλοφοριακά δεδομένα του οδικού άξονα, από την οποία θα προκύψουν τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά πριν το εκάστοτε συμβάν. Όπως γίνεται αντιληπτό, κάποια συμβάντα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω έλλειψης κυκλοφοριακών στοιχείων και τελικά χρησιμοποιούνται μόνο αυτά για τα οποία υπάρχουν στοιχεία για όλες τις μεταβλητές που έχουν οριστεί.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά, ελήφθησαν κυκλοφοριακά δεδομένα για τον οδικό άξονα της Αττικής Οδού από την «Αττικές Διαδρομές Α.Ε.» και πιο συγκεκριμένα στοιχεία για τον φόρτο και την μέση ταχύτητα σε κάθε χαρακτηριστική θέση, τα οποία μετρήθηκαν μέσω φωρατών και στις δυο κατευθύνσεις από τον VDS A 0.20, ο οποίος βρίσκεται 200 μέτρα δυτικά του αεροδρομίου, έως τον VDS A 41.40 ο οποίος βρίσκεται λίγο έξω απ’ την Ελευσίνα. Αντίστοιχα, για την αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας οι φωρατές κυμαίνονται από τον VDS E 0.20 έως τον VDS E 41.20.

Στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν τα στοιχεία ατυχημάτων για την εξεταζόμενη τετραετία. Πρόκειται για ένα σύνολο 3.321 ατυχημάτων σε όλο το μήκος της Αττικής Οδού, απ’ τα οποία ελήφθησαν υπόψη μόνο τα ατυχήματα που έγιναν στις δυο κύριες κατευθύνσεις: Αεροδρόμιο-Ελευσίνα και Ελευσίνα-Αεροδρόμιο και αγνοήθηκαν όσα συνέβησαν στα υπόλοιπα οδικά τμήματα όπως παραδείγματος χάριν, στην Δυτική Περιφερειακή Υμηττού, στο απολήκτικό οδικό τμήμα προς Μαρκόπουλο και στις ράμπες εισόδου και εξόδου όλων των ανισόπεδων κόμβων. Από τα συμβάντα που επιλέχθηκαν, αγνοήθηκαν όσα παρουσίαζαν ελλιπή στοιχεία και τελικά προέκυψε ένα σύνολο 1.442 ατυχημάτων,

δείγμα ικανοποιητικό σε μέγεθος για τους σκοπούς της ανάλυσης. Για τα συμβάντα αυτά υπήρχαν στοιχεία όπως η διάρκεια του ατυχήματος, η ημερομηνία και η ώρα, ο αριθμός και ο τύπος των εμπλεκόμενων οχημάτων, η λωρίδα που έγινε το ατύχημα καθώς και η χιλιομετρική του θέση. Τα στοιχεία αυτά συμπληρώθηκαν με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού στη θέση του συμβάντος καθώς και τα κυκλοφοριακά δεδομένα λίγο πριν τη στιγμή του ατυχήματος (οι φωρατές παρείχαν στοιχεία ανά πεντάλεπτο).

Δημιουργήθηκε μ' αυτόν τον τρόπο μια βάση δεδομένων με 1.442 γραμμές, όσες και τα ατυχήματα που επιλέχθηκαν, και 31 στήλες που περιέχουν όλα τα στοιχεία και τις πληροφορίες για το κάθε συμβάν. Για τις μεταβλητές των ατυχημάτων που έχουν δυαδικό χαρακτήρα ακολουθήθηκε η κατηγοριοποίηση με χρήση της μεθόδου 0,1. Δηλαδή η μια τιμή της μεταβλητής χαρακτηρίστηκε με την τιμή 0 και η άλλη με την τιμή 1. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για ποιοτικές μεταβλητές, ενώ στις ποσοτικές αναγράφεται κανονικά η τιμή τους. Οι μεταβλητές αυτές είναι:

1. <u>Τύπος ημέρας (Δευτέρα ως Παρασκευή ή Σαββατοκύριακο)</u>

   Αν το συμβάν συνέβη από Δευτέρα ως Παρασκευή (weekday) παίρνει τον αριθμό 1, ενώ αν συνέβη Σάββατο ή Κυριακή (weekend) παίρνει τον αριθμό 0.
2. <u>Διάρκεια ατυχήματος</u>

   Αναγράφεται η χρονική διάρκεια του ατυχήματος σε λεπτά, η οποία ορίζεται από τη στιγμή που έγινε η αναφορά για το συμβάν έως την τελική εκκαθάριση της περιοχής που αυτό έλαβε τόπο.
3. <u>Τύπος ατυχήματος (αρχικό-δευτερεύον)</u>

   Αν το συμβάν χαρακτηρίζεται ως δευτερεύον παίρνει τον αριθμό 1, ενώ αν χαρακτηρίζεται ως αρχικό παίρνει τον αριθμό 0.
4. <u>Τύπος σύγκρουσης</u>

   Αν η σύγκρουση έγινε με κινητό εμπόδιο παίρνει τον αριθμό 1, αν έγινε με κινητό εμπόδιο παίρνει τον αριθμό 2, εάν το όχημα ανετράπη από το εμπόδιο παίρνει

τον αριθμό 3, εάν εξετράπη από την οδό παίρνει τον αριθμό 4, ενώ σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση το συμβάν παίρνει τον αριθμό 0.

5. Πλήθος νεκρών

   Αναγράφεται ο αριθμός των νεκρών για το κάθε συμβάν.

6. Πλήθος τραυματιών

   Ομοίως αναγράφεται ο αριθμός των τραυματιών

7. Αριθμός λωρίδων (συμπεριλαμβανομένης της Λ.Ε.Α.)

   Αναγράφεται ο αριθμός των λωρίδων του οδικού τμήματος που έλαβε τόπο το συμβάν, συμπεριλαμβανομένης και της λωρίδας εκτάκτου ανάγκης.

8. Αριστερή λωρίδα

   Αν το ατύχημα έγινε στην αριστερή λωρίδα παίρνει τον αριθμό 1, αλλιώς 0.

9. Μεσαία λωρίδα

   Αν το ατύχημα έγινε στη μεσαία λωρίδα παίρνει τον αριθμό 1, αλλιώς 0.

10. Δεξιά λωρίδα

    Αν το ατύχημα έγινε στην δεξιά λωρίδα παίρνει τον αριθμό 1, αλλιώς 0.

11. Λωρίδα Εκτάκτου Ανάγκης (Λ.Ε.Α.)

    Αν το ατύχημα έγινε στην Λωρίδα Εκτάκτου Ανάγκης παίρνει τον αριθμό 1, αλλιώς 0.

12. Τύπος λωρίδας

    Αν το συμβάν πραγματοποιήθηκε σε λωρίδα ταξιδίου παίρνει τον αριθμό 1, αλλιώς το 0.

13. Αριθμός οχημάτων

    Στη στήλη αυτή τοποθετείται ο αριθμός των οχημάτων που εμπλέκονται στο συμβάν.

14. Ι.Χ.

    Εάν στο ατύχημα συμμετείχε αυτοκίνητο Ιδιωτικής Χρήσεως τοποθετείται ο αριθμός 1, αλλιώς το 0.

15. PTW

    Εάν στο ατύχημα συμμετείχε ημιφορτηγό τοποθετείται ο αριθμός 1, αλλιώς το 0.

16. Φορτηγό

    Εάν στο ατύχημα συμμετείχε φορτηγό τοποθετείται ο αριθμός 1, αλλιώς το 0.

17. Ταχύτητα

    Αναγράφεται η ταχύτητα του οχήματος λίγο πριν το ατύχημα, σε χιλιόμετρα ανά ώρα.

18. Φόρτος ανά λωρίδα κυκλοφορίας

    Αναγράφεται ο κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κυκλοφορίας για χρονική διάρκεια μιας ώρας.

19. Συνθήκες κυκλοφοριακής ροής

    Χαρακτηρίζονται οι συνθήκες κυκλοφοριακής ροής ως: ελεύθερη ροή, συμφόρηση και συγχρονισμός της κυκλοφορίας.

20. Βροχόπτωση

    Σημειώνεται το 1 εάν κατά το συμβάν υπήρχε βροχόπτωση και 0 εάν δεν υπήρχε.

21. Ύψος βροχόπτωσης

    Καταγράφεται το ύψος της βροχόπτωσης, όπου υπήρχε, σε χιλιοστά (mm).

22. Ευθυγραμμία ή καμπύλη

    Κωδικοποιείται αν το συμβάν πραγματοποιήθηκε σε ευθυγραμμία ή σε καμπύλη, με 1 για την ευθυγραμμία και 0 για την καμπύλη.

23. Γεωμετρία κατάντη

    Αναφέρονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατάντη του τόπου του συμβάντος. Σημειώνεται 1 εάν υπάρχει μόνο τούνελ, 2 εάν υπάρχει μόνο κόμβος, 3 εάν υπάρχουν μόνο διόδια και 4 για οποιοδήποτε συνδυασμό τους.

    Η συγκεκριμένη μεταβλητή αναγράφεται όπως περιγράφηκε παραπάνω στη βάση δεδομένων αλλά στη συνέχεια κρίθηκε σκόπιμο να χωριστεί σε 4 μεταβλητές οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν με την κωδικοποίηση 0,1 για λόγους λειτουργικότητας και ομοιομορφίας. Για το λόγο αυτό ακολουθούν παρακάτω η κάθε μια ξεχωριστά.

24. Γεωμετρία ανάντη

    Ομοίως αλλά για ανάντη του συμβάντος.

25. Τούνελ μετά

    Εάν υπάρχει τούνελ κατάντη του ατυχήματος σημειώνεται το 1, αλλιώς το 0.

26. Κόμβος μετά

    Εάν υπάρχει κόμβος κατάντη του ατυχήματος σημειώνεται το 1, αλλιώς το 0.

27. Διόδια μετά

    Εάν υπάρχουν διόδια κατάντη του ατυχήματος σημειώνεται το 1, αλλιώς το 0.

28. Περισσότερα του ενός

    Εάν υπάρχουν περισσότερα του ενός απ' τα παραπάνω σημειώνεται το 1 αλλιώς το 0.

29. Κόμβος πριν

    Εάν υπάρχει κόμβος ανάντη του ατυχήματος σημειώνεται το 1, αλλιώς το 0.

30. Διόδια πριν

    Εάν υπάρχουν διόδια κατάντη του ατυχήματος σημειώνεται το 1, αλλιώς το 0.

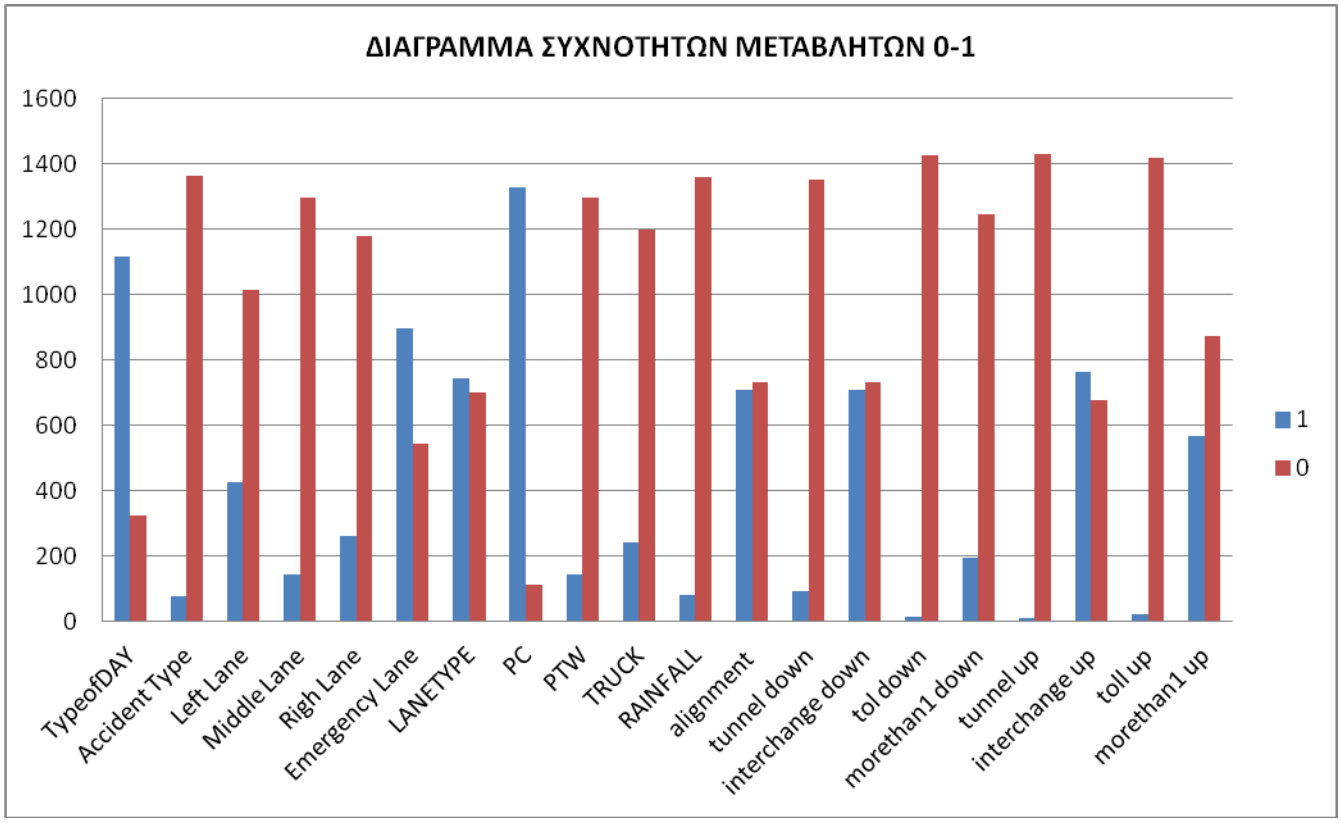
31. Περισσότερα του ενός

    Εάν υπάρχουν περισσότερα του ενός απ' τα παραπάνω σημειώνεται το 1, αλλιώς το 0.

Μ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια συγκεντρωτική απεικόνιση των χαρακτηριστικών κάθε ατυχήματος. Για κάθε παράμετρο αναγράφεται 0 ή 1 ανάλογα αν αυτή επιβεβαιώνεται ή όχι, όπως επεξηγήθηκε παραπάνω. Φυσικά, για παραμέτρους όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ταχύτητα, η στάθμη βροχόπτωσης κ.ο.κ. σημειώνεται η ακριβής τιμή τους. Έτσι μπορεί εύκολα να προκύψει μια πρώτη εικόνα για την βάση δεδομένων μέσω της περιγραφικής στατιστικής και ακολούθως να διεξαχθούν πιο σύνθετες στατιστικές αναλύσεις.

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε πρώτη φάση γίνεται η ανάλυση των δεδομένων με χρήση περιγραφικής στατιστικής. Από τα στοιχεία προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα συχνοτήτων των μεταβλητών μορφής 0,1.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα συχνοτήτων μεταβλητών 0-1

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Επεξήγηση κωδικοποίησης μεταβλητών

1	Type of day (weekday:1,weekend:0)	Τύπος ημέρας
2	Accident Duration (min)	Διάρκεια Ατυχήματος
3	Accident Type (Secondary:1,Primary:0)	Τύπος Ατυχήματος
4	Collision Type	Τύπος σύγκρουσης
5	FATALITIES	Νεκροί
6	INJURIES	Τραυματίες
7	Nr Lanes (including emegerncy lane)	Αριθμός λωρίδων
8	Left Lane	Αριστερή λωρίδα
9	Middle Lane	Μεσαία λωρίδα
10	Right Lane	Δεξιά λωρίδα
11	Emergency Lane	Λ.Ε.Α.
12	Lanetype (travel lane:1, other:0)	Τύπος λωρίδας
13	Nr Vehicles	Αριθμός Οχημάτων
14	PC	Ι.Χ.
15	PTW	Ημιφορτηγό
16	TRUCK	Φορτηγό
17	Speed	Ταχύτητα
18	Lane Volume	Φόρτος
19	Traffic flow condition	Συνθήκες κυκλοφοριακής ροής
20	RAINFALL (yes;1, no;0)	Βροχόπτωση
21	RAINFALL (mm)	Ύψος βροχόπτωσης (mm)
22	Alignment (curve;0, nocurve;1)	Ευθυγραμμία ή Καμπύλη
23	GEOMETRY DOWNSTREAM	Γεωμετρία κατάντη
24	GEOMETRY UPSTREAM	Γεωμετρία ανάντη
25	Tunnel down (yes;1, no;0)	Τούνελ κατάντη
26	inetrchange down (yes;1, no;0)	Κόμβος κατάντη
27	Toll down (yes;1, no;0)	Διοόδια κατάντη
28	More than one down (yes;1, no;0)	Περισσότερα του ενός κατάντη
29	Tunnel up (yes;1, no;0)	Τούνελ ανάντη
30	inetrchange up (yes;1, no;0)	Κόμβος ανάντη
31	Toll up (yes;1, no;0)	Διοόδια ανάντη
32	More than one up (yes;1, no;0)	Περισσότερα του ενός ανάντη

Παρατηρείται ότι τα ατυχήματα που πραγματοποιήθηκαν Σάββατο ή Κυριακή είναι εμφανώς λιγότερα απ' αυτά των καθημερινών ημερών της εβδομάδας αλλά και λιγότερα απ' αυτά που αντιστοιχούν σε ένα ''μέσο διήμερο'', αποτέλεσμα που κρίνεται αναμενόμενο αφού η κυκλοφορία είναι μειωμένη αυτές τις μέρες. Τα δευτερεύοντα ατυχήματα είναι περίπου το 5% του συνόλου των συμβάντων, ποσοστό που συνάδει με την βιβλιογραφία.

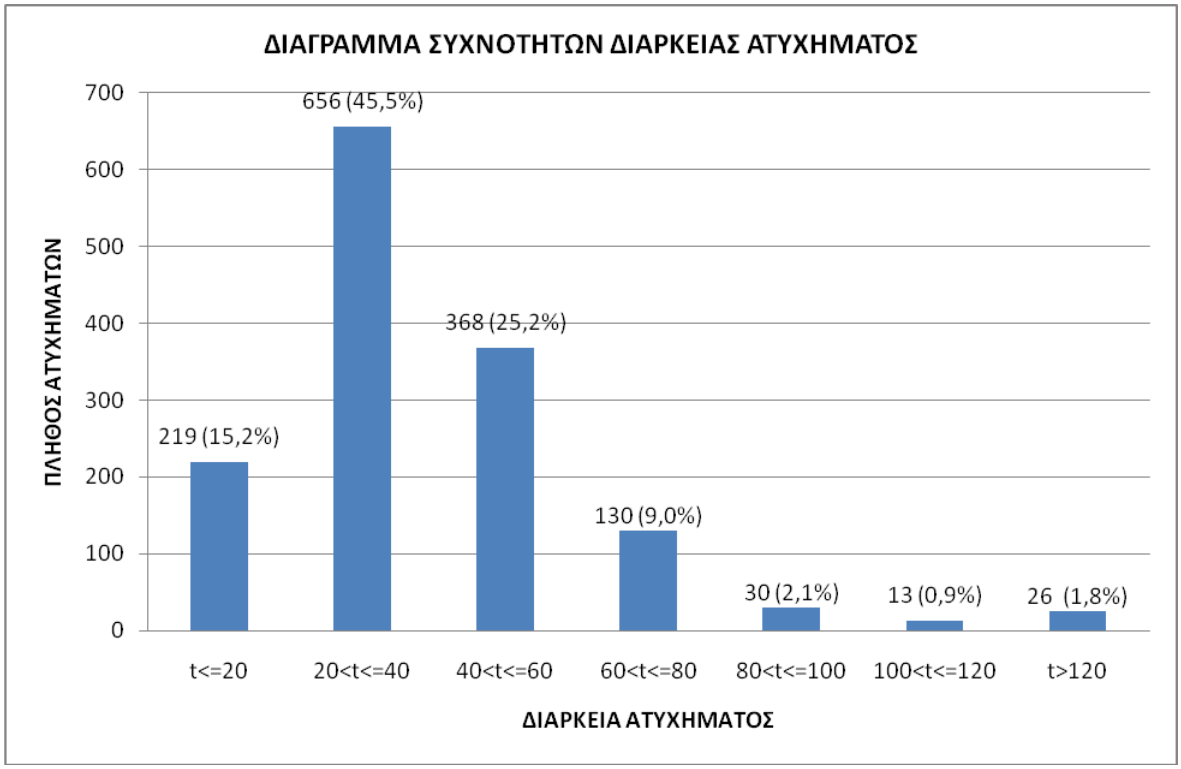
Όσον αφορά την κατανομή των συμβάντων στις λωρίδες κυκλοφορίας, τα περισσότερα πραγματοποιήθηκαν στις ακραίες λωρίδες με την πλειοψηφία τους στην αριστερή (29,7%), ακολούθως τη δεξιά (10%) και τα λιγότερα στη μεσαία (5,5%). Ιδιαίτερα αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μεγάλη πλειοψηφία των ατυχημάτων πραγματοποιήθηκε στη Λωρίδα Εκτάκτου Ανάγκης (51,5%).

Αυτοκίνητα Ιδιωτικής Χρήσης (Ι.Χ.) εμπλέκονταν στο 92,1% των συμβάντων ενώ δεν ήταν λίγα τα συμβάντα στα οποία εμπλέκονταν φορτηγά (17,9 %). Η βροχόπτωση αν και αναμένονταν να είναι καίριος παράγοντες παρατηρήθηκε μόνο στο 5,8% των ατυχημάτων γεγονός όμως, που μπορεί να ερμηνευτεί από το κλίμα της περιοχής και τη μειωμένη συχνότητα βροχοπτώσεων, αλλά και την καλή κατάσταση του υπό εξέταση οδικού άξονα που δεν αντιμετωπίζει προβλήματα απορροής ή ανεπαρκούς πρόσφυσης του οδοστρώματος. Αντίστοιχα, παρατηρείται ισοκατανομή των συμβάντων σε ευθυγραμμίες και καμπύλες, ενώ πιθανόν να αναμένονταν στις καμπύλες να είναι αυξημένα, αποτέλεσμα που αιτιολογείται από τις υψηλές προδιαγραφές σχεδιασμού της οδού.

Τέλος, όσον αφορά τον συνδυασμό περισσοτέρων του ενός εκ των τούνελ, κόμβων ή διοδίων, παρατηρείται ότι περισσότερα συμβάντα πραγματοποιούνται ανάντη του συνδυασμού αυτού (39,4%) ενώ κατάντη τους είναι πολύ λιγότερα (13,5%). Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να σχετίζεται με την απόσπαση της προσοχής της οδού για αφομοίωση της οδικής πληροφορίας που ενημερώνει για αυτές τις υποδομές.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι τα συμβάντα τροχαίων ατυχημάτων στον αυτοκινητόδρομο διαρκούν από 5 λεπτά έως 4 ώρες. Μετά από ομαδοποίηση της διάρκειας του ατυχήματος σε ομάδες διάρκειας 20 λεπτών από διάρκεια συμβάντος

μικρότερη των 20 λεπτών έως μεγαλύτερη των δύο ωρών προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα τόσο σε απόλυτους αριθμούς όσο και σε ποσοστά.

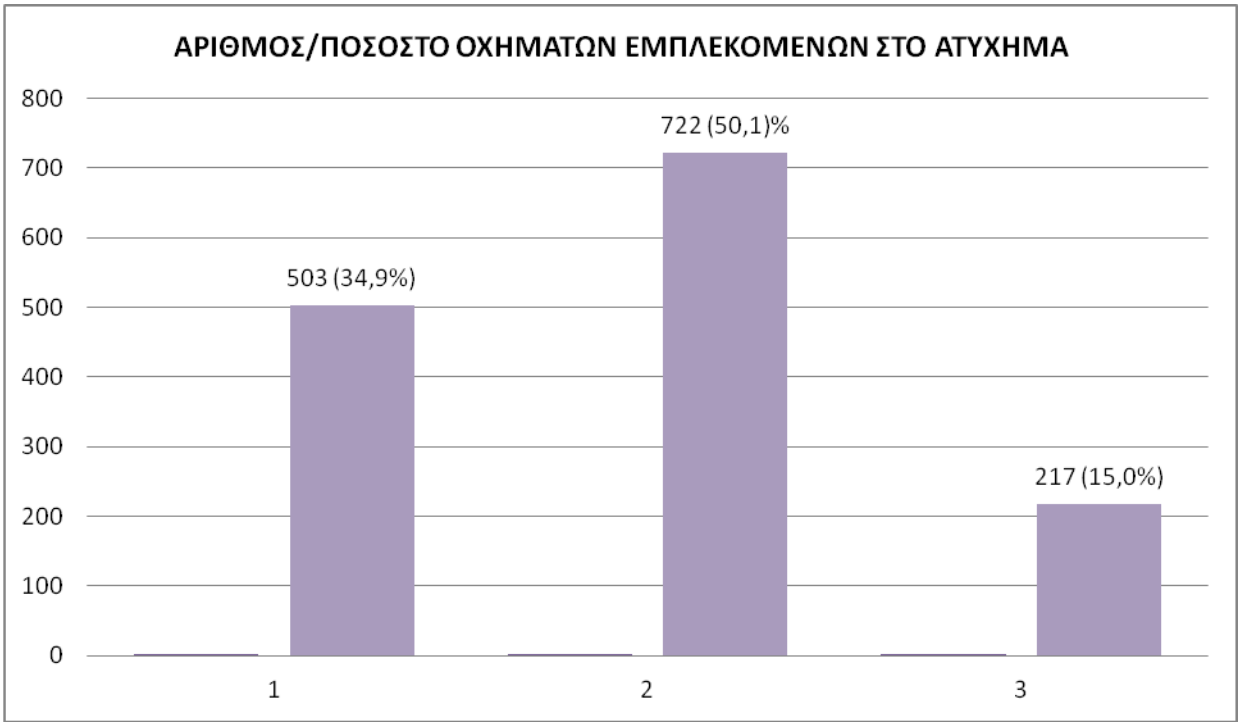


Διάγραμμα 2: Διάγραμμα συχνοτήτων διάρκειας ατυχήματος

Παρατηρείται ότι η μεγάλη πλειοψηφία των ατυχημάτων είχε διάρκεια από 20-40 λεπτά (45,5%), ακολούθως 40-60 λεπτά (25,5%) ενώ ένα ποσοστό 15,2% είχε διάρκεια λιγότερη από 20 λεπτά. Όσον αφορά τα συμβάντα με διάρκεια μεγαλύτερη της μιας ώρας όλα μαζί δεν ξεπερνούν το 14%. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει ότι οι υφιστάμενες διαδικασίες αποκατάστασης της κυκλοφορίας είναι αρκετά ικανοποιητικές αφού πάνω από το 60% των συμβάντων εκκαθαρίζεται σε λιγότερο από 40 λεπτά, ενώ το 86% των συμβάντων εκκαθαρίζεται σε λιγότερο από 1 ώρα. Οι επιμέρους παράγοντες που

επηρεάζουν τη διάρκεια του ατυχήματος αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας και αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια με χρήση μοντέλων προσομοίωσης.

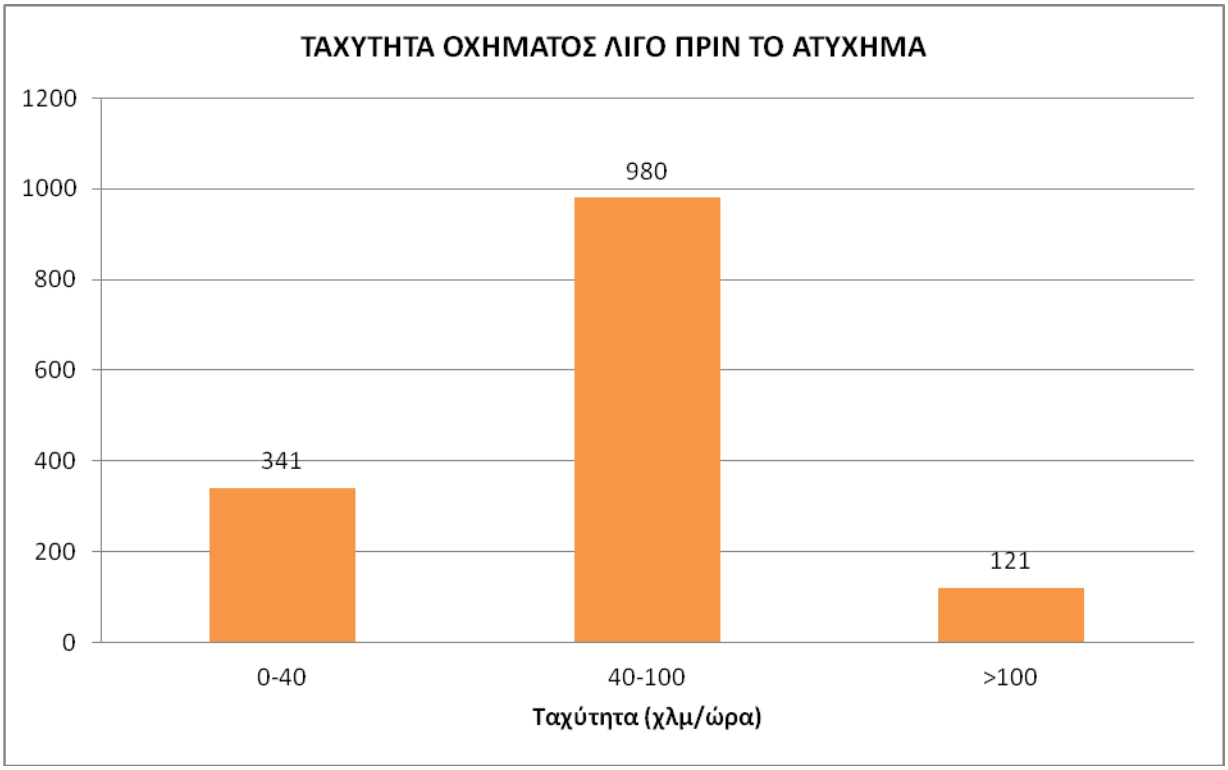
Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η κατανομή του αριθμού των οχημάτων που συμμετείχαν στο ατύχημα. Παρατηρούμε ότι στις μισές των περιπτώσεων είχαμε εμπλοκή δύο οχημάτων, πάνω από το ένα τρίτο (35%) μόνο ενός οχήματος και σε ένα ποσοστό 15% εμπλοκή τριών.



Διάγραμμα 3: Αριθμός/Ποσοστό οχημάτων εμπλεκόμενων στο ατύχημα

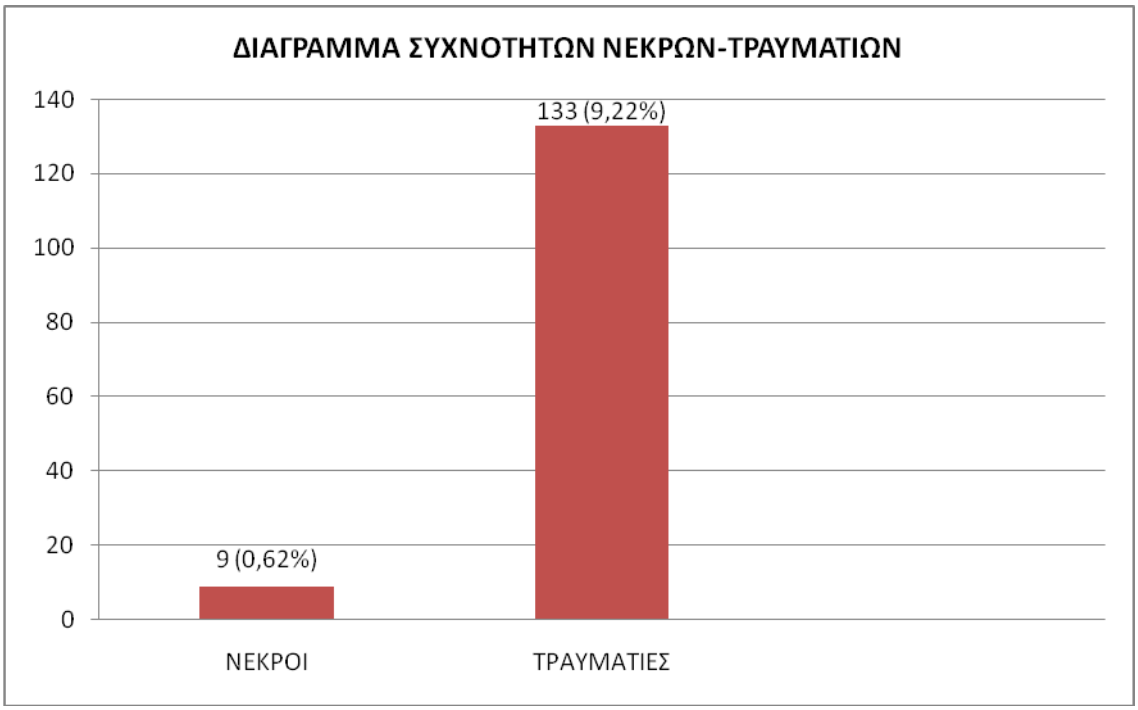
Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η ταχύτητα του οχήματος λίγο πριν το ατύχημα ομαδοποιημένη σε τρεις κατηγορίες (0-40, 40-100, >100 χλμ/ώρα). Η κατηγοριοποίηση κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μ' αυτό τον τρόπο καθώς έως 40 χλμ/ώρα είναι μικρές ταχύτητες για ελεύθερη λεωφόρο που ισοδυναμούν με μεγάλους φόρτους και χαμηλή στάθμη εξυπηρέτησης, από 40-100 χλμ/ώρα είναι μια λογική ταχύτητα για πυκνή ροή, ενώ ταχύτητες άνω των 100 χλμ/ώρα ισοδυναμούν με υψηλές στάθμες εξυπηρέτησης και

ελεύθερη κίνηση των οχημάτων. Η ταχύτητα αυτή είναι η ταχύτητα λίγο πριν το ατύχημα και προέκυψε από τα δεδομένα των φωρατών λαμβάνοντας το αμέσως προηγούμενο πεντάλεπτο πριν το εκάστοτε συμβάν. Παρατηρείτε ότι το 23,6% των ατυχημάτων πραγματοποιήθηκαν με ταχύτητα μικρότερη των 40 χλμ/ώρα, το 68% μεταξύ 40 και 100 χλμ/ώρα και τέλος μόλις το 8,4% με ταχύτητα μεγαλύτερη των 100 χλμ/ώρα.



Διάγραμμα 4: Ταχύτητα οχήματος λίγο πριν το ατύχημα

Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι η μεγάλη πλειοψηφία των ατυχημάτων του αυτοκινητόδρομου είναι ατυχήματα με υλικές ζημιές χωρίς τραυματισμό προσώπων, όπως πιστοποιείται και στο επόμενο διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τα ποσοστά τραυματιών και νεκρών εμπλεκόμενων στα ατυχήματα.



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα συχνοτήτων Νεκρών-Τραυματιών (%)

Παρατηρείται ότι τα επίπεδα θανατηφόρων ατυχημάτων είναι ιδιαίτερα χαμηλά, κάτω από 1%, αποτέλεσμα λογικό, καθώς η Αττική οδός αποτελεί έναν σύγχρονο αυτοκινητόδρομο ευρωπαϊκών προδιαγραφών που πληροί τις προϋποθέσεις για την ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων πρόκλησης θανατηφόρου ατυχήματος. Αντίστοιχα, το ποσοστό ατυχημάτων με τραυματίες είναι αρκετά μικρό, περίπου 9% για τους ίδιους λόγους. Προφανώς, το γεγονός ότι τα στοιχεία που πραγματεύεται η παρούσα εργασία αφορούν σε έναν ασφαλή οδικό άξονα, με ατυχήματα υλικών ζημιών κατά κύριο λόγο, επιτρέπει την ανάδειξη της διάρκειας του εκάστοτε συμβάντος σε σημαντική μεταβλητή που χρήζει περαιτέρω ανάλυσης και πρόβλεψης. Βασικό θέμα δηλαδή, των περισσότερων συμβάντων, πέρα από τις υλικές ζημιές, που αφορούν μόνο τους εμπλεκόμενους, είναι οι επιπτώσεις στους άλλους χρήστες της οδού μέσω της κυκλοφοριακής συμφόρησης που προκαλούν, παράγοντας άμεσα εξαρτώμενος από τη διάρκεια των συμβάντων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

5.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ (ΜΟΝΤΕΛΟ Α)

Η ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου υπολογισμού της διάρκειας του ατυχήματος έγινε μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS (Statistical Package for Social Sciences). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, σε πρώτη φάση, ήταν αυτή της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Η μέθοδος αυτή, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, εξετάζει μια εξαρτημένη μεταβλητή και ένα σύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών, με στόχο την πρόβλεψη της πρώτης από τις υπόλοιπες. Η σχέση που συνδέει την ανεξάρτητη μεταβλητή με τις εξαρτημένες είναι γραμμική. Σε πρώτη φάση καθορίζονται οι μεταβλητές που είναι στατιστικά σημαντικές και μπορούν να συμμετάσχουν στο μοντέλο. Ο έλεγχος αυτός έγινε μέσω της διαδικασίας CORRELATION που εξετάζει την συσχέτιση των μεταβλητών. Μεταβλητές που έχουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους δεν μπορούν να συμμετάσχουν ταυτόχρονα στο μοντέλο. Κατά τη διαδικασία επιλογής προκρίθηκαν οι μεταβλητές που εκτιμήθηκαν ως σημαντικότερες και μπορούσαν να συνυπάρξουν με όσο το δυνατόν περισσότερες μεταβλητές.

Η διαδικασία κατασκευής του μαθηματικού γραμμικού προτύπου ξεκίνησε ενσωματώνοντας αρχικά τις πιο σημαντικές μεταβλητές και προσθέτοντας στη συνέχεια όσο δυνατόν περισσότερες χωρίς να πέφτει το επίπεδο σημαντικότητας καμίας μεταβλητής. Στατιστικά σημαντική μεταβλητή, με επίπεδο σημαντικότητας 95%, θεωρήθηκαν όσες ικανοποιούν το t-Test με t>1,645.Ο δείκτης t αναφέρεται σε καθένα ξεχωριστά από τους συντελεστές των μεταβλητών και δείχνει αν το στατιστικό σφάλμα κατά τον υπολογισμό τους είναι υψηλό σε σχέση με την αριθμητική τους τιμή. Μ’ αυτό τον τρόπο προέκυψε το τελικό μοντέλο και τέλος, ελέγχθηκε ως προς το φυσικό του νόημα και επιβεβαιώθηκε ότι δεν έχει προκύψει κάποιο παράλογο αποτέλεσμα, όπως

για παράδειγμα ότι η παρουσία νεκρών ή τραυματιών μειώνει τη διάρκεια του ατυχήματος.

5.1.1 ΜΟΡΦΩΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α

Από την ανωτέρω διαδικασία προέκυψε η παρακάτω μαθηματική σχέση που συνδέει την διάρκεια του ατυχήματος με 13 παραμέτρους από το σύνολο των 31 διαθέσιμων στη βάση δεδομένων.

Παρουσιάζονται οι πίνακες ανάλυσης μεταβλητότητας και συντελεστών πολλαπλής συσχέτισης που περιγράφουν πόσο καλά περιγράφει το μοντέλο που προέκυψε την εξαρτημένη μεταβλητή και ακολούθως παρουσιάζεται το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης σε μορφή πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 (α): ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ

ΜΟΝΤΕΛΟ Α	Άθροισμα Τετραγώνων	df	Τυπική απόκλιση	F	Σημ. (Sig.)
Παλινδρόμηση	195209.41	13	15016	14.653	.000[b]
Διακύμανση σφάλματος	1460338.248	1425	1024.8		
Σύνολο	1655547.658	1438			

α. Εξαρτημένη μεταβλητή: Διάρκεια Ατυχήματος

ΠΙΝΑΚΑΣ 3(β): Χαρακτηριστικοί Δείκτες Μοντέλου

ΜΟΝΤΕΛΟ Α	R	R^2	Προσαρμοσμένο R^2	Τυπικό Σφάλμα Συντελεστών
	.343[a]	.118	.110	31.990

β. Εξαρτημένη μεταβλητή: Διάρκεια Ατυχήματος

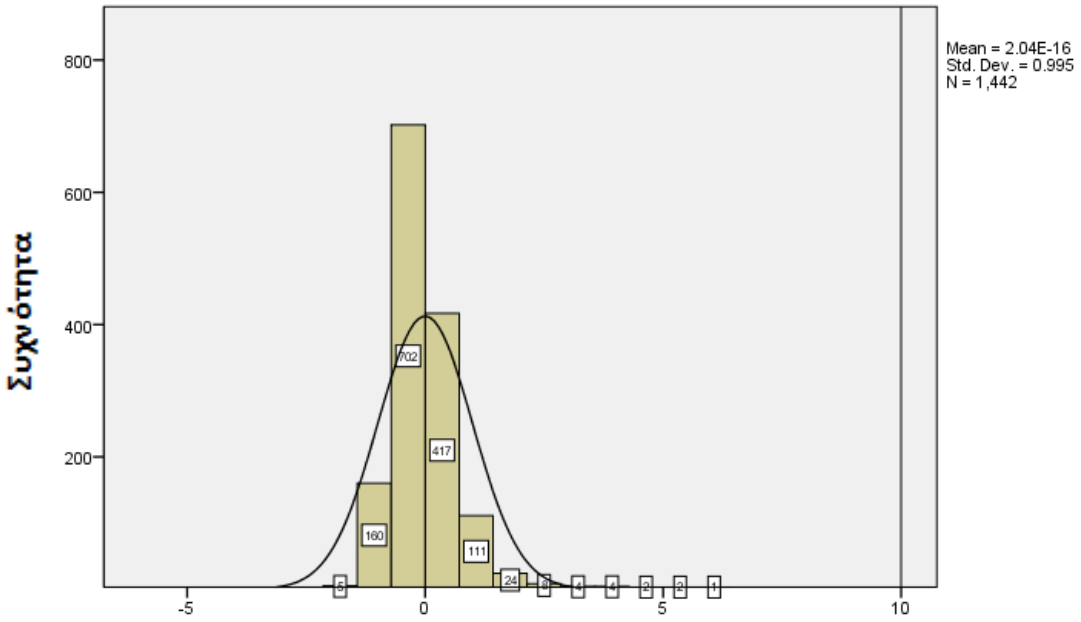
Ο πίνακας 3(α) ονομάζεται πίνακας ανάλυσης της μεταβλητότητας και απεικονίζει ένα συνολικό έλεγχο για την σημαντικότητα του μοντέλου της παλινδρόμησης. Ο έλεγχος βασίζεται στην συνάρτηση F και ελέγχει την υπόθεση ότι οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών που συμμετέχουν στο μοντέλο είναι ταυτόχρονα μηδέν. Από τον πίνακα της ανάλυσης διακύμανσης μπορεί να διαπιστωθεί τι ποσοστό της συνολικής διακύμανσης του δείγματος επεξηγείται από το μοντέλο της παλινδρόμησης. Το σύνολο της διακύμανσης του δείγματος (= 1655547.658) είναι άθροισμα της διακύμανσης της παλινδρόμησης (= 195209.41) και της διακύμανσης του λάθους (= 1460338.248). Όσο καλύτερο είναι το μοντέλο της παλινδρόμησης τόσο μεγαλύτερο μέρος της συνολικής διακύμανσης του δείγματος αυτή επεξηγεί. Όταν το Sig. είναι μικρότερο του 0.05 τότε το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό. Εδώ το sig. είναι μικρότερο του 0,01 τιμή ιδιαίτερα μικρή άρα το ΜΟΝΤΕΛΟ Α είναι στατιστικά σημαντικό.

Ο πίνακας 3(β) απεικονίζει τους συντελεστές R, R^2 προσαρμοσμένο R^2 και Std. Ο συντελεστής R ονομάζεται συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης και μετράει το βαθμό συσχέτισης της εξαρτημένης μεταβλητής και όλων των ανεξάρτητων μεταβλητών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση R = 0.343 που σημαίνει ότι η εξαρτημένη μεταβλητή (διάρκεια ατυχήματος) συσχετίζεται κατά 34,3% με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Το ποσοστό αυτό κρίνεται ικανοποιητικό για το συγκεκριμένο δείγμα και για το μεγάλο πλήθος ανεξάρτητων μεταβλητών που έχουν ενσωματωθεί στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Ο συντελεστής R^2 ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού και είναι μια μη-φθίνουσα συνάρτηση του αριθμού των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ο δείκτης R^2 είναι ένδειξη του ποσοστού της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που επεξηγεί το μοντέλο. Στο παρόν μοντέλο προκύπτει R^2 = 11.8% ποσοστό σχετικά μικρό. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι το μοντέλο δεν περιγράφει ικανοποιητικά την εξαρτημένη μεταβλητή. Γενικά σε αντίστοιχες έρευνες με τόσο μεγάλους δειγματικούς χώρους η τιμή του R^2 σπάνια είναι μεγάλη και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 10% και 50%. Ο συντελεστής: προσαρμοσμένο R^2 είναι ο διορθωμένος συντελεστής προσδιορισμού και η τιμή του είναι πολύ κοντινή με τον αρχικό R^2. Τέλος, η στήλη Std.Error περιέχει τις τιμές του

τυπικού σφάλματος της εκτίμησης των συντελεστών Β, των συντελεστών δηλαδή των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου.

Ακολούθως, δίνονται τα παρακάτω διαγράμματα που αποσκοπούν στον έλεγχο της κανονικότητας του μοντέλου.

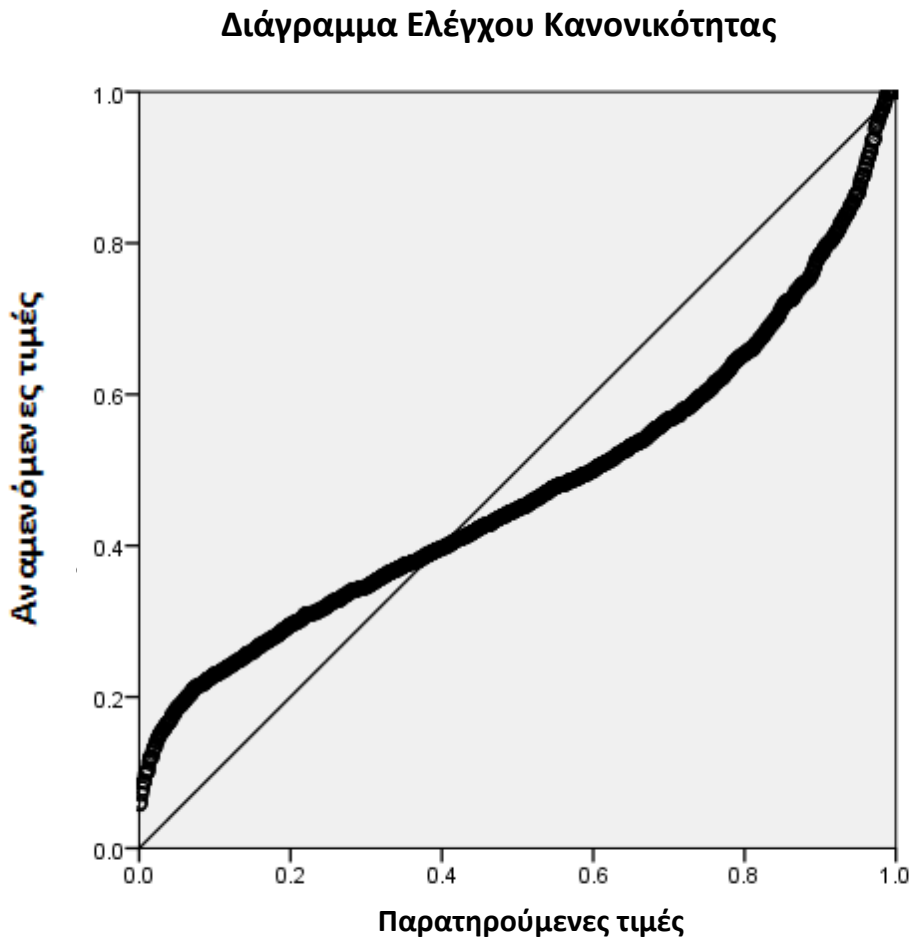
Ιστόγραμμα Ελέγχου Κανονικότητας



Παλινδρόμηση Διακύμανσης Σφάλματος

Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα Ελέγχου Κανονικότητας

Παρατηρείται ότι η κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής ακολουθεί ικανοποιητικά την καμπύλη του Gauss οπότε μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει πρόβλημα κανονικότητας.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Ελέγχου Κανονικότητας

Το παραπάνω διάγραμμα είναι και αυτό ένας έλεγχος της κανονικότητας του μοντέλου. Τα εικονιζόμενα σημεία πρέπει να ακολουθούν την ευθεία γραμμή της παλινδρόμησης. Σοβαρές αποκλίσεις σημαίνουν ότι η κανονικότητα της υπόθεσης δεν τηρείται. Η εικόνα που παρατηρείται εδώ είναι ικανοποιητική.

Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης όπως προέκυψε από το SPSS, σε μορφή πίνακα. Τα διαθέσιμα στοιχεία που απεικονίζει είναι:

i. οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών, (B)
ii. τις τιμές του τυπικού σφάλματος της εκτίμησης των συντελεστών B, (Std. Error)
iii. τις τιμές τις στατιστικής συνάρτησης βάση της οποίας γίνεται ο έλεγχος για την σημαντικότητα των συντελεστών στην συνάρτηση, (t), συγκεκριμένα συνάρτηση student.
iv. η τιμή σημαντικότητας βάση της οποίας επιβεβαιώνεται η διατήρηση ή η απόρριψη της μεταβλητής στο μοντέλο, Sig. (Significance).
v. για τις συνεχείς μεταβλητές η ελαστικότητα

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

	ΜΟΝΤΕΛΟ Α	Μη Σχετικοποιημένοι Συντελεστές		Σχετικοποιημένοι Συντελεστές	t	Σημ. (Sig.)	ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
		Β	Σφάλμα	Beta			
	(Σταθερά)	38.456	4.609		8.343	.000	
	Αριθμός λωρίδων	6.431	2.435	.083	2.641	.008	0.186431
	*Μήκος Ουράς*max *(χμ)*	1.857	.534	.090	3.475	.001	0.003771
	Δεξιά λωρίδα	5.931	2.722	.068	2.179	.029	
	Ευθυγραμμία/Καμπύλη	-3.293	1.750	-.049	-1.882	.060	
	Φορτηγό	10.938	2.299	.121	4.757	.000	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΝΑΝΤΗ	*Κόμβος ανάντη*	-12.490	3.661	-.184	-3.412	.001	
	Διόδια ανάντη	-15.730	7.594	-.058	-2.071	.038	
	Περισσότερα από ένα ανάντη	-15.060	3.775	-.217	-3.990	.000	
ΤΥΠΟΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ/ ΕΚΤΡΟΠΗΣ	*Ακίνητο εμπόδιο*	10.463	2.925	.093	3.577	.000	
	Εκτροπή εκτός δρόμου	5.761	2.294	.067	2.511	.012	
	Άλλο	24.155	3.286	.191	7.352	.000	
	Τραυματίες	16.633	3.025	.142	5.498	.000	0.036972
	Νεκροί	25.087	10.888	.058	2.304	.021	0.003771

α. Ανεξάρτητη μεταβλητή: Διάρκεια Ατυχήματος

Ακολούθως παρουσιάζεται και η μαθηματική σχέση γραμμικής παλινδρόμησης για τη διάρκεια του ατυχήματος:

AD = 38.456 + 6.431*(Nr lanes) + 1.857*(Ql max) +5.931*(Right lane) - 3.293*Alignment + 10.938*(Truck) - 12.490*(Interchange up) - 15.730*(Toll up) - 15.060*(More than one up) + 10.463*(stationary obstacle) + 5.761*(Run off road) + 24.155*(other collision type) + 25.087*(fatalities) + 16.087*(injuries)

Όπου:

AD = Accident Duration, η διάρκεια του ατυχήματος

Nr lanes = Ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας

Ql max = Μήκος της ουράς που σχηματίστηκε απ’ το συμβάν

Right lane = Το ατύχημα συνέβη στην δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας

Alignment = Το ατύχημα συνέβη είτε σε καμπύλη (για θετικό πρόσημο) είτε σε ευθυγραμμία (για αρνητικό πρόσημο)

Truck = Στο ατύχημα συμμετείχε φορτηγό

Toll up = Το ατύχημα συνέβη ανάντη διοδίων

More than one up = Το ατύχημα συνέβη σε περιοχή που υπήρχαν ανάντη περισσότερα του ενός εκ των τούνελ, κόμβος, διόδια

Stationery obstacle = Η σύγκρουση έγινε με ακίνητο εμπόδιο

Run off road = Εκτροπή εκτός δρόμου

Other Collision type = Άλλος τύπος σύγκρουσης/εκτροπής

Fatalities = Νεκροί

Injuries = Τραυματίες

Τα πρώτα συμπεράσματα που μπορούν να βγουν από την παραπάνω σχέση είναι ποιες μεταβλητές συντελούν στην αύξηση και ποιες στη μείωση της διάρκειας του ατυχήματος και ακολούθως ποιες επηρεάζουν περισσότερο τη μεταβολή της διάρκειας του ατυχήματος σε απόλυτη τιμή. Για το λόγο αυτό κατατάσσονται με αύξουσα σειρά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5: Εξαρτημένες μεταβλητές ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α σε αύξουσα σειρά

	B
Διόδια ανάντη	-15.730
Περισσότερα από ένα ανάντη	-15.060
Κόμβος ανάντη	-12.490
Ευθυγραμμία/Καμπύλη	-3.293
Μήκος Ουράς max (χμ)	1.857
Εκτροπή εκτός δρόμου	5.761
Δεξιά λωρίδα	5.931
Αριθμός λωρίδων	6.431
Ακίνητο εμπόδιο	10.463
Φορτηγό	10.938
Τραυματίες	16.633
Άλλος τύπος σύγκρουσης/ανατροπής	24.155
Νεκροί	25.087

Παρατηρείται ότι ο βασικότερος παράγοντας που συντελεί ώστε το συμβάν να έχει μειωμένη διάρκεια είναι η γεωμετρία ανάντη. Δηλαδή όταν συμβεί ένα ατύχημα σε περιοχή λίγο μετά από διόδια ή από κάποιο κόμβο ή από συνδυασμό διοδίων, κόμβου και τούνελ θα έχει μικρότερη διάρκεια σε σχέση με ένα ίδιο συμβάν που συνέβη σε άλλη περιοχή του οδικού άξονα. Να σημειωθεί ωστόσο, ότι μόνο μία από τις παραπάνω γεωμετρικές παραμέτρους μπορεί να ισχύει ανά συμβάν οπότε δεν μπορούν να υπάρξουν περισσότερες της μιας μειωτικής μεταβλητής από αυτή την κατηγορία. Τελευταία μειωτική μεταβλητή είναι το αν το συμβάν πραγματοποιήθηκε σε καμπύλη ή σε ευθυγραμμία. Ένα ατύχημα που πραγματοποιήθηκε σε ευθυγραμμία, σύμφωνα με το μοντέλο που προέκυψε, έχει μικρότερη διάρκεια του σε σχέση με ένα αντίστοιχο που πραγματοποιήθηκε σε καμπύλη. Ωστόσο παρατηρείται ότι ο συντελεστής αυτής της μεταβλητής είναι σχετικά μικρός σε σχέση με τις υπόλοιπες μειωτικές μεταβλητές (4 και 5 φορές μικρότερος), οπότε δεν έχει την ίδια βαρύτητα με τις γεωμετρικές μεταβλητές που υπεισέρχονται στο μοντέλο. . Να σημειωθεί ωστόσο, ότι μόνο μία από τις παραπάνω γεωμετρικές παραμέτρους μπορεί να ισχύει ανά συμβάν οπότε δεν μπορούν να υπάρξουν περισσότερες της μιας μειωτικής μεταβλητής

Οι υπόλοιπες εννέα μεταβλητές δρουν αυξητικά στην εξαρτημένη μεταβλητή, τείνουν δηλαδή να επιμηκύνουν την διάρκεια του ατυχήματος. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5 παραπάνω, όπου παρουσιάζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές με αύξουσα σειρά επιρροής στην εξαρτημένη, μικρότερη επιρροή έχει το μήκος της σχηματιζόμενης από το ατύχημα ουράς ενώ προς τη βάση του πίνακα είναι οι τραυματίες ο άλλος τύπος σύγκρουσης /εκτροπής και τέλος οι νεκροί, που έχουν και τη μεγαλύτερη επίδραση στην διάρκεια του ατυχήματος.

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι οι τρεις μεταβλητές της κατηγορίας του τύπου της σύγκρουσης-εκτροπής έχουν σημαντικά διαφορετική επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή. Η εκτροπή εκτός δρόμου έχει συντελεστή 5,761 ενώ η σύγκρουση με ακίνητο εμπόδιο έχει σχεδόν την διπλάσια επιρροή, με συντελεστή στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης 10,463 και τέλος ο άλλος τύπος σύγκρουσης/εκτροπής έχει

απ' τους μεγαλύτερους συντελεστές (24,155). Απ' αυτό προκύπτει το συμπέρασμα, ότι ο τύπος της σύγκρουσης-εκτροπής είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη διάρκεια του συμβάντος. Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων για τα δοθέντα ατυχήματα έγινε διαχωρισμός σε πέντε κατηγορίες σύγκρουσης/εκτροπής των εμπλεκόμενων οχημάτων:

i. Κινούμενο εμπόδιο
ii. Ακίνητο εμπόδιο
iii. Εκτροπή από εμπόδιο
iv. Εκτροπή εκτός δρόμου
v. Άλλο

Από τους πέντε αυτούς διαφορετικούς τύπους σύγκρουσης στο μαθηματικό πρότυπο που κατασκευάστηκε συμμετέχουν οι τρεις (ii,iii,v). Είναι σημαντικό, όμως να είναι γνωστοί και οι άλλοι δύο ώστε να γίνεται αντιληπτό πότε το συμβάν υπάγεται στην τελευταία περίπτωση (του άλλου τύπου σύγκρουσης/εκτροπής) η οποία όπως αποδείχθηκε έχει ιδιαίτερα δυσμενή επιρροή στη διάρκεια του συμβάντος. (Προφανώς, για να ανήκει ένα συμβάν στην κατηγορία ¨άλλο¨ θα πρέπει να μην ανήκει σε καμία από τις κατηγορίες i έως iv.)

Όσον αναφορά τις υπόλοιπες μεταβλητές, ο αριθμός των λωρίδων και το αν το ατύχημα συνέβη στη δεξιά λωρίδα, έχουν παρεμφερείς συντελεστές στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης και ως εκ τούτου παρόμοια επιρροή και στη διάρκεια του ατυχήματος (από τις μικρότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταβλητές). Αντίθετα ιδιαίτερα σημαντική είναι η παρουσία φορτηγού στο συμβάν καθώς αυξάνει σημαντικά τη διάρκειά του, με συντελεστή 10,938.

Τέλος, οι τραυματίες και οι νεκροί, όπως ήταν και αναμενόμενο, επιμηκύνουν σημαντικά τη διάρκεια του συμβάντος με τους νεκρούς να είναι η μεταβλητή με το μεγαλύτερο συντελεστή (25,087).

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για τις συνεχείς μεταβλητές που λαμβάνουν μέρος στο μαθηματικό πρότυπο υπολογίστηκε η ελαστικότητα τους ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή την διάρκεια του ατυχήματος.

Η ελαστικότητα είναι ένα μέγεθος ο υπολογισμός του οποίου χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί και να εκτιμηθεί το αποτέλεσμα που θα έχει η αλλαγή ενός μεγέθους σε ένα άλλο. Η ελαστικότητα, δηλαδή, ποσοτικοποιεί την ευαισθησία ή τον βαθμό στον οποίο μια μεταβλητή ανταποκρίνεται σε αλλαγές σε μια άλλη μεταβλητή. Ένα μέγεθος χαρακτηρίζεται ανελαστικό ως προς κάποιο άλλο, όταν το αντίτιμό του δεν αλλάζει σημαντικά μετά από μεταβολή του άλλου μεγέθους. Αντίθετα, ελαστικό χαρακτηρίζεται ένα μέγεθος ως προς κάποιο άλλο, όταν οι μεταβολές του δεύτερου μεγέθους αλλάζουν σημαντικά το αντίτιμο του πρώτου.

Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, υπολογίστηκε η ελαστικότητα του μήκους της ουράς, των τραυματιών, των νεκρών και του αριθμού των λωρίδων του αυτοκινητόδρομου ως προς την διάρκεια του ατυχήματος. Οι ελαστικότητες που προέκυψαν είναι μικρότερες της μονάδας γεγονός που σημαίνει ότι τα μεγέθη είναι ανελαστικά ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή. Αυτό, όμως, είναι λογικό να συμβαίνει, αν ληφθεί υπόψη το μεγάλο πλήθος μεταβλητών που συμμετέχουν στο μοντέλο. Δεν αναμένεται δηλαδή, μια ευθέως ελαστική σχέση της διάρκειας του ατυχήματος με κάποια μεταβλητή. Ωστόσο ο υπολογισμός της ελαστικότητας είναι σημαντικός καθώς καθιστά αντιληπτό ποιας μεταβλητής η μεταβολή επιδρά περισσότερο στη μεταβολή της διάρκειας του ατυχήματος. Έτσι είναι δυνατόν να απομονωθούν οι μεταβλητές που έχουν μεγαλύτερη επίδραση και με κατάλληλες μεταβολές τους, όπου αυτό είναι δυνατό, να μειωθεί η διάρκεια του εκάστοτε συμβάντος.

Πιο αναλυτικά, οι ελαστικότητες υπολογίστηκαν και για τις τέσσερεις συνεχείς μεταβλητές με δυο τρόπους με παραπλήσια αποτελέσματα. Αρχικά, υπολογίστηκε η ελαστικότητα κάθε μεταβλητής από τον τύπο:

ε = average(AD)*(β_ι /average(y_i)) όπου,

ε: η ελαστικότητα

average(AD): η μέση τιμή της διάρκειας του ατυχήματος για το δείγμα μας

β_ι : ο συντελεστής της εκάστοτε μεταβλητής στη σχέση γραμμικής παλινδρόμησης

average(y_i): η μέση τιμή της εκάστοτε μεταβλητής

Έτσι προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 6 (α): Ελαστικότητα συνεχών μεταβλητών γραμμικής παλινδρόμησης

	Μέγιστο Μήκος Ουράς	Νεκροί	Τραυματίες	Αριθμός Λωρίδων
Ελαστικότητα (ε)	0.02467	0.00377	0.03697	0.18643

Ενώ στη συνέχεια υπολογίστηκαν και από τον τύπο:

ε = average(AD/y_i)*β_ι όπου,

ε: η ελαστικότητα

average(AD/y_i): η μέση τιμή του λόγου της διάρκειας του ατυχήματος προς την αντίστοιχη τιμής της κάθε μεταβλητής i για κάθε συμβάν.

β_ι : ο συντελεστής της εκάστοτε μεταβλητής στη σχέση γραμμικής παλινδρόμησης

Και τα αποτελέσματα διαφοροποιήθηκαν ως εξής:

Πίνακας 6 (β): Ελαστικότητα συνεχών μεταβλητών γραμμικής παλινδρόμησης

	Μέγιστο Μήκος Ουράς	Νεκροί	Τραυματίες	Αριθμός Λωρίδων
Ελαστικότητα (ε)	0.03608	0.00219	0.03295	0.24969

Ουσιαστικά η διαφοροποίηση στους δυο τρόπους υπολογισμού της ελαστικότητας έγκειται στο αν λαμβάνεται ο μέσος όρος του λόγου εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής ή την μέση τιμή της εξαρτημένης προς τη μέση τιμή της ανεξάρτητης. Τα αποτελέσματα έχουν κάποια απόκλιση ανάλογα με την μέθοδο χωρίς ωστόσο να αλλάζει η τάξη μεγέθους. Παρατηρείται ότι μεγαλύτερη επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή έχει ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας του αυτοκινητόδρομου. Δηλαδή, μείωση των λωρίδων κυκλοφορίας έχει την τάση να αυξήσει την διάρκεια του ατυχήματος σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τις άλλες τρεις συνεχείς μεταβλητές των οποίων η ελαστικότητα υπολογίστηκε. Παραδείγματος χάριν, σε σύγκριση με την ελαστικότητα των τραυματιών και του μήκους της ουράς έχει οχταπλάσια επιρροή. Ιδιαίτερα μικρή και ουσιαστικά αμελητέα είναι η ελαστικότητα των ατυχημάτων με νεκρούς, καθώς αυτά είναι πολύ λίγα σε αριθμό και είναι λογικό να δίνουν μικρή ελαστικότητα. Βεβαίως το αν υπήρχαν νεκροί ή όχι στο συμβάν είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς όπως σημειώθηκε και παραπάνω η μεταβλητή αυτή (fatalities) έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

5.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ (ΜΟΝΤΕΛΟ Β)

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης ακολούθησε η επανάληψη της διαδικασίας με αναλογική παλινδρόμηση κινδύνου (Proportional hazard regression) ή ανάλυση επιβίωσης με παλινδρόμηση Cox όπως είναι ευρέως γνωστή. Μ' αυτό τον τρόπο θα καταστεί δυνατόν να συγκριθούν οι δυο μέθοδοι, να ελεγχθεί αν δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα, όπως και αναμένεται, να εντοπιστούν οι διαφορές και να διαφανεί ποια είναι η βέλτιστη λύση ή σε κάθε περίπτωση τα πλεονεκτήματα της κάθε μιας για τέτοιου τύπου ανάλυση. Η διαδικασία κατασκευής του μοντέλου Β είχε ως αφετηρία το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Έτσι άρχισε η εφαρμογή του μοντέλου αναλογικής παλινδρόμησης κινδύνου με τις δεκατρείς μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και πριν. Ωστόσο, όπως ήταν αναμενόμενο, δεν μπορούσαν να ενσωματωθούν όλες οι μεταβλητές, καθώς είτε δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, είτε οδηγούσαν σε μη αποδεκτά αποτελέσματα. Οι περισσότερες μεταβλητές παρά ταύτα, μπόρεσαν να ενσωματωθούν στο μοντέλο χωρίς πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα έντεκα (11) από τις δεκατρείς (13) μεταβλητές ενσωματώθηκαν στο μοντέλο με επιτυχία, ενώ αυτές που απορρίφθηκαν ήταν το μήκος της ουράς και η μεταβλητή ευθυγραμμία/καμπύλη, καθώς δεν προέκυψε ικανοποιητικό επίπεδο σημαντικότητας.

5.4 ΜΟΡΦΩΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Β

Έτσι προέκυψε το παρακάτω μαθηματικό πρότυπο ανάλυσης επιβίωσης με παλινδρόμηση Cox, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω σε μορφή πίνακα, όπως προέκυψε από το SPSS:

Πίνακας 7: Έλεγχοι καλής προσαρμογής ΜΟΝΤΕΛΟΥ Β

Έλεγχος Omnibus Συντελεστών Μοντέλου

-2 Λογ. Πιθανοφάνειας	Συνολικά αποτελέσματα			Αλλαγές από προηγούμενο βήμα			Αλλαγές από προηγούμενη ομάδα		
	X^2	df	Σημ. (Sig.).	X^2	df	Sig.	X^2	df	Σημ. (Sig.)
17974.440	170.902	12	.000	184.084	12	.000	184.084	12	.000

Πίνακας 8: ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ COX

	ΜΟΝΤΕΛΟ Β	B	SE	Wald	df	Σημ.	Exp(B)
	Αριθμός λωρίδων			11.644	2	.003	
	Αριθμός λωρίδων (1)	.764	.229	11.165	1	.001	2.147
	Αριθμός λωρίδων (2)	.632	.224	7.934	1	.005	1.882
	Δεξιά λωρίδα	.203	.088	5.261	1	.022	1.225
	Φορτηγό	.350	.072	23.830	1	.000	1.419
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΝΑΝΤΗ	*Κόμβος ανάντη*	-.253	.115	4.833	1	.028	.776
	Διόδια ανάντη	-.437	.237	3.385	1	.066	.646
	Περισσότερα από ένα ανάντη	-.337	.118	8.157	1	.004	.714
ΤΥΠΟΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ/ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ	*Ακίνητο εμπόδιο*	.397	.091	19.129	1	.000	1.487
	Ανατροπή εκτός δρόμου	.172	.070	5.950	1	.015	1.187
	Άλλο	.592	.104	32.389	1	.000	1.808
	Τραυματίες	.649	.095	46.830	1	.000	1.913
	Νεκροί	.571	.341	2.808	1	.094	1.771

Παρατηρείται ότι για όλες τις μεταβλητές η τιμή της στήλης Sig. είναι μικτότερη του 0,1. Αν οι τιμές του Sig. (Significance) είναι μεγαλύτερες του 0,1 τότε οι μεταβολές στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να οφείλονται σε σφάλμα ή στην τύχη και η συγκεκριμένη ανεξάρτητη μεταβλητή δεν έχει επαρκές επίπεδο σημαντικότητας για να συμπεριληφθεί στο μοντέλο.

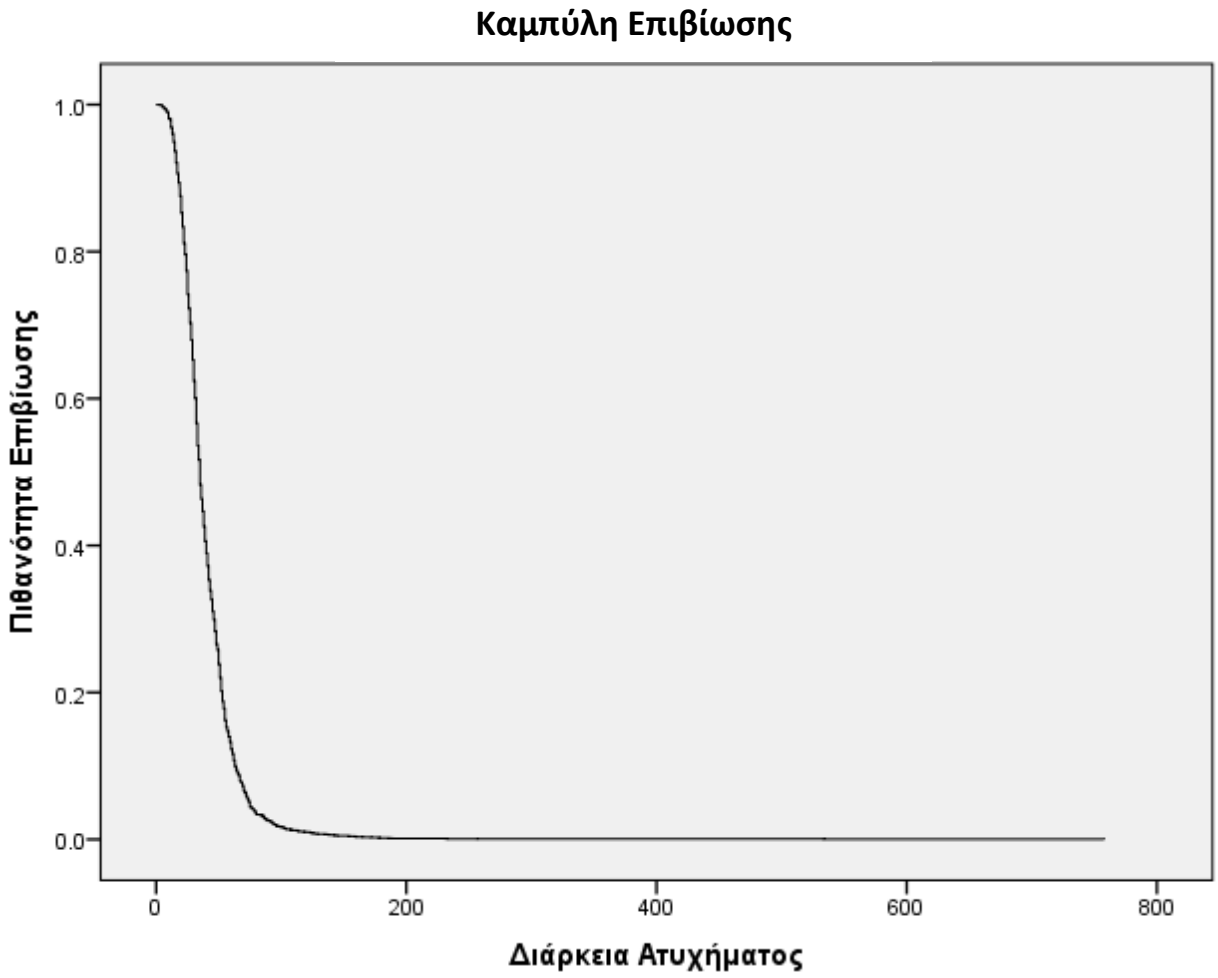
Τα πρώτα συμπεράσματα που μπορούν να βγουν από την παραπάνω σχέση είναι ποιες μεταβλητές συντελούν στην αύξηση και ποιες στη μείωση της διάρκειας του ατυχήματος και ακολούθως ποιες επηρεάζουν περισσότερο τη μεταβολή της διάρκειας του ατυχήματος σε απόλυτη τιμή. Για το λόγο αυτό τις κατατάσσουμε με αύξουσα σειρά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 9: Εξαρτημένες μεταβλητές ΜΟΝΤΕΛΟΥ Β σε αύξουσα σειρά

Μεταβλητή	**B**
Διόδια ανάντη	-.437
Περισσότερα από ένα ανάντη	-.337
Κόμβος ανάντη	-.253
Ανατροπή εκτός δρόμου	.172
Δεξιά λωρίδα	.203
Φορτηγό	.350
Ακίνητο εμπόδιο	.397
Νεκροί	.571
Άλλο	.592
Αριθμός λωρίδων (2)	.632
Τραυματίες	.649
Αριθμός λωρίδων (1)	.764

Αρχικά, παρατηρείται ότι η γεωμετρία ανάντη είναι ο μοναδικός παράγοντας που προκαλεί μείωση στην διάρκεια του συμβάντος. Πιο συγκεκριμένα και οι τρεις γεωμετρικές παράμετροι που συμμετέχουν στο μοντέλο τείνουν να μειώνουν την διάρκεια του ατυχήματος που πραγματοποιήθηκε ανάντη διοδίων, κόμβου ή συνδυασμού περισσότερων της μιας γεωμετρικών παραμέτρων ανάντη όπως αυτές έχουν παρουσιαστεί παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα την μεγαλύτερη μείωση στη διάρκεια του ατυχήματος προκαλεί η ύπαρξη διοδίων ανάντη του συμβάντος με συντελεστή στο εκθετικό μοντέλο b = -0.437 ακολούθως η ύπαρξη περισσότερων του ενός με συντελεστή b = -0.337 και τέλος η παρουσία κόμβου ανάντη με συντελεστή b = -0.253. Παρατηρείται ότι οι τιμές αυτές είναι αρκετά σημαντικές καθώς είναι ίδιας τάξης μεγέθους με τις αυξητικές μεταβλητές. Βέβαια μόνο μία από τις παραπάνω γεωμετρικές παραμέτρους μπορεί να ισχύει ανά συμβάν οπότε δεν μπορούν να υπάρξουν περισσότερες της μιας μειωτικής μεταβλητής. Αντίθετα, οι περισσότερες παράμετροι που τείνουν να αυξήσουν τη διάρκεια του ατυχήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα προκαλώντας σημαντική επιμήκυνση στη διάρκειά του. Εξετάζοντας τους συντελεστές των μεταβλητών κατά απόλυτη τιμή, παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη επιρροή την έχει ο αριθμός των λωρίδων είτε πρόκειται για δύο είτε για τρεις καθώς έχει απ’ τους μεγαλύτερους συντελεστές b στο εκθετικό μοντέλο. Μεγάλη επιρροή έχουν και οι τραυματίες, ενώ οι νεκροί επηρεάζουν λιγότερο γεγονός που δεν αναμενόταν καθώς στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είχαν την μεγαλύτερη επιρροή και γενικά αναμένεται όταν ένα ατύχημα είναι θανατηφόρο να έχει και μεγαλύτερη διάρκεια από όταν έχει απλώς τραυματίες. Βέβαια σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής b=0.571 είναι αμελητέος. Η απώλεια ζωής τείνει να αυξήσει σημαντικά τη διάρκεια του συμβάντος και δεν απέχει πολύ απ’ την μεταβλητή των τραυματιών. Τέλος, παρατηρείται ότι η ανατροπή εκτός δρόμου και το αν το συμβάν πραγματοποιήθηκε στη δεξιά λωρίδα είναι οι μεταβλητές με τους πιο μικρούς συντελεστές b και δεν αυξάνουν σημαντικά τη διάρκεια του συμβάντος.

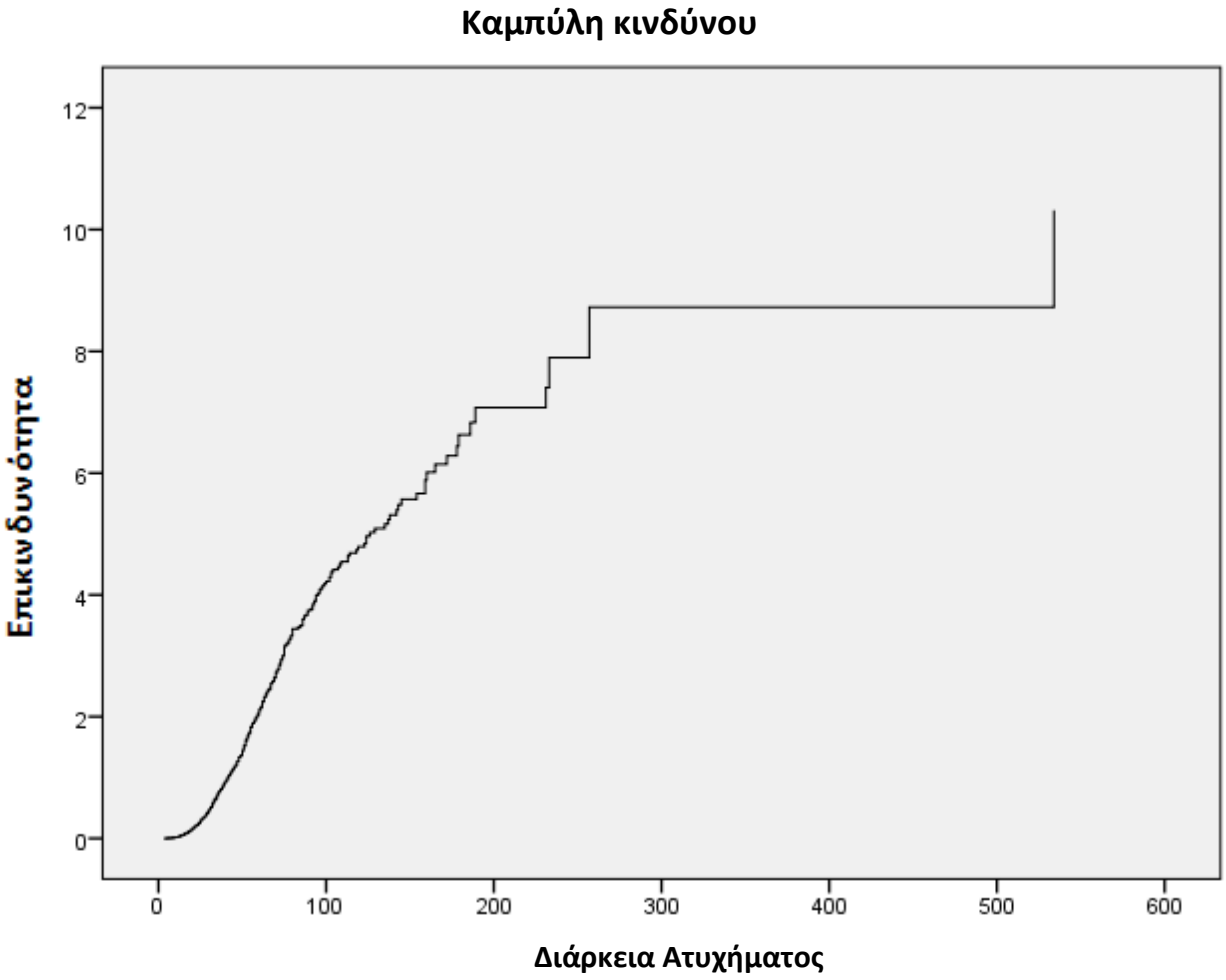
Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα επιβίωσης και κινδύνου του μοντέλου επιβίωσης που δίνουν επιπλέον πληροφορίες για την πιθανοτική εξέλιξη της διάρκειας του ατυχήματος.



Διάγραμμα 8: Καμπύλη επιβίωσης

Το παραπάνω διάγραμμα περιγράφει την πιθανότητα ένα ατύχημα να συνεχίσει να υφίσταται προϊόντος του χρόνου. Ο οριζόντιος άξονας δείχνει τον χρόνο που έχει διαρκέσει το συμβάν, σε λεπτά και ο κατακόρυφος την πιθανότητα επιβίωσης, δηλαδή

την πιθανότητα να συνεχίσει να υφίσταται το συμβάν ή αλλιώς την αντίθετη πιθανότητα από το να λήξει το ατύχημα. Παρατηρείται ότι η καμπύλη επιβίωσης είναι απόλυτα ομαλή. Είναι εμφανές ότι η πιθανότητα να διαρκέσει το γεγονός μετά το πέρας των 120 λεπτών τείνει στο μηδέν. Πράγματι από εξέταση του δείγματος παρατηρείται ότι διάρκεια ατυχήματος μεγαλύτερη των 120 λεπτών παρουσιάζει ποσοστό μικρότερο του 2% του συνόλου των ατυχημάτων.



Διάγραμμα 9: Καμπύλη κινδύνου

Η καμπύλη κινδύνου αποτελεί ένα διάγραμμα όπου ο οριζόντιος άξονας είναι ο χρόνος και στην προκειμένη περίπτωση η διάρκεια του ατυχήματος, ενώ ο κατακόρυφος δείχνει τον συσσωρευόμενο κίνδυνο ο οποίος ισούται με τον αρνητικό λογάριθμο της πιθανότητας επιβίωσης. Παρατηρείται ότι η αύξηση του κινδύνου έχει περίπου σταθερό ρυθμό έως τη διάρκεια των 250 λεπτών και στη συνέχεια σταθεροποιείται. Τα δεδομένα όμως που διατίθεται αφορούν διάρκεια ατυχημάτων μικρότερες των 120 λεπτών κατά

98%. Μπορούμε να πούμε έτσι ότι ο κίνδυνος αυξάνεται με σταθερό ρυθμό καθ' όλη τη διάρκεια του συμβάντος.

Από τα ανωτέρω γίνεται αντιληπτό ότι η ανάλυση επιβίωσης, παρέχει πληροφορίες για την πιθανοτική εξέλιξη της εξαρτημένης μεταβλητής μέσα στο χρόνο. Ωστόσο, για τα υπάρχοντα δεδομένα διαπιστώνεται ότι δεν προκύπτει κάποια επιπλέον πληροφορία σε σχέση με την απλή ανάλυση με γραμμική παλινδρόμηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Καθώς η έρευνα για την διάρκεια των ατυχημάτων εξελίσσεται τα μοντέλα που βασίζονται στην ανάλυση επιβίωσης και τα κλασικά μοντέλα παλινδρόμησης έχουν εξελιχθεί στις δυο βασικές ανταγωνιστικές εναλλακτικές μεθόδους προσέγγισης του θέματος. Όπως αναφέρουν και οι Khattak et al. (1995) τα μοντέλα κλασικής παλινδρόμησης, είτε αυτή είναι γραμμική είτε λογαριθμική ή λογαριθμοκανονική, προσφέρουν το πλεονέκτημα ότι γίνονται πιο εύκολα κατανοητά και ταυτόχρονα είναι πιο απλό να ερμηνευθούν σε σχέση με τα μοντέλα επιβίωσης. Απ' την άλλη, τα μοντέλα της ανάλυσης επιβίωσης επιτρέπουν μια πιο ξεκάθαρη μελέτη της επιρροής της διάρκειας. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπουν τη μελέτη της σχέσης μεταξύ της διάρκειας ενός συμβάντος και της πιθανότητας αυτό να τελειώσει σύντομα.

Για αυτούς τους λόγους, μετά την περιγραφή του κάθε μαθηματικού προτύπου ξεχωριστά και της επεξήγησης των βασικών του χαρακτηριστικών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συγκριτική ανάλυση των δυο μοντέλων. Όπως αποδείχθηκε και οι δυο μέθοδοι έχουν εφαρμογή στο συγκεκριμένο αντικείμενο και μπορούν να οδηγήσουν σε αποτελέσματα που ευσταθούν τόσο μαθηματικά όσο και πρακτικά.

Τα μαθηματικά πρότυπα που κατασκευάστηκαν παρέχουν την δυνατότητα υπολογισμού της διάρκειας ατυχήματος εάν είναι γνωστά απλά τοπογραφικά και γεωμετρικά δεδομένα της περιοχής που έγινε το ατύχημα, κάποια βασικά κυκλοφοριακά στοιχεία και αν αυτό είχε νεκρούς και τραυματίες. Με αυτά τα δεδομένα, πολλά εκ των οποίων μπορούν να εκτιμηθούν με «μια ματιά» στον τόπο του ατυχήματος, μπορεί να υπολογιστεί η προσδοκώμενη διάρκεια του συμβάντος, ο χρόνος δηλαδή που μεσολαβεί από τη στιγμή που πραγματοποιείται η κλήση στο κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας της Αττικής Οδού μέχρι την εκκαθάριση του οδικού άξονα.

Η σύγκριση των δυο μοντέλων δεν αμφισβητεί την ορθότητα τους στην επίλυση του προβλήματος, αυτό άλλωστε έχει αποδειχτεί ήδη, αλλά αποσκοπεί στον εντοπισμό των διαφορών τους και στην κατανόηση των διαφορετικών τρόπων αντιμετώπισης του θέματος. Ακόμα, στοχεύει στον εντοπισμό των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε μιας μεθόδου και στην ανάδειξη μιας ως βέλτιστη, αν φυσικά αυτό είναι δυνατόν. Το ποια από τις δυο είναι καλύτερη είναι συνάρτηση πολλών πραγμάτων και είναι σχετικό, καθώς στην περίπτωση δυο μεθόδων επιστημονικά άρτιων που δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα μπορεί να κριθεί καλύτερη η ευκολότερη ή αυτή με την οποία έχει μεγαλύτερη ευχέρεια ο ερευνητής. Αναλύονται, όμως, και οι δύο μέθοδοι και ο καθένας μπορεί να επιλέξει τον τρόπο που θα δουλέψει σε περίπτωση ενασχόλησης με το συγκεκριμένο θέμα.

Χάριν ευκολίας, το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης καλείται ΜΟΝΤΕΛΟ Α ενώ το μοντέλο αναλογικής παλινδρόμησης κινδύνου θα είναι το ΜΟΝΤΕΛΟ Β. Στο σημείο αυτό παρατίθενται ξανά οι πίνακες των δυο μοντέλων για την διευκόλυνση της σύγκρισης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

	ΜΟΝΤΕΛΟ Α	Μη Σχετικοποιημένοι Συντελεστές		Σχετικοποιημένοι Συντελεστές	t	Sig.	ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
		Β	Σφάλμα	Beta			
	(Σταθερά)	38.456	4.609		8.343	.000	
	Αριθμός λωρίδων	6.431	2.435	.083	2.641	.008	0.186431
	*Μήκος Ουράς*max *(χμ)*	1.857	.534	.090	3.475	.001	0.003771
	Δεξιά λωρίδα	5.931	2.722	.068	2.179	.029	
	Ευθυγραμμία/Καμπύλη	-3.293	1.750	-.049	-1.882	.060	
	Φορτηγό	10.938	2.299	.121	4.757	.000	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΝΑΝΤΗ	*Κόμβος ανάντη*	-12.490	3.661	-.184	-3.412	.001	
	Διόδια ανάντη	-15.730	7.594	-.058	-2.071	.038	
	Περισσότερα από ένα ανάντη	-15.060	3.775	-.217	-3.990	.000	
ΤΥΠΟΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ/ ΕΚΤΡΟΠΗΣ	*Ακίνητο εμπόδιο*	10.463	2.925	.093	3.577	.000	
	Εκτροπή εκτός δρόμου	5.761	2.294	.067	2.511	.012	
	Άλλο	24.155	3.286	.191	7.352	.000	
	Τραυματίες	16.633	3.025	.142	5.498	.000	0.036972
	Νεκροί	25.087	10.888	.058	2.304	.021	0.003771

α. Ανεξάρτητη μεταβλητή: Διάρκεια Ατυχήματος

Πίνακας 11: ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ COX

	ΜΟΝΤΕΛΟ Β	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)
	Αριθμός λωρίδων			11.644	2	.003	
	Αριθμός λωρίδων (1)	.764	.229	11.165	1	.001	2.147
	Αριθμός λωρίδων (2)	.632	.224	7.934	1	.005	1.882
	Δεξιά λωρίδα	.203	.088	5.261	1	.022	1.225
	Φορτηγό	.350	.072	23.830	1	.000	1.419
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΝΑΝΤΗ	*Κόμβος ανάντη*	-.253	.115	4.833	1	.028	.776
	Διόδια ανάντη	-.437	.237	3.385	1	.066	.646
	Περισσότερα από ένα ανάντη	-.337	.118	8.157	1	.004	.714
ΤΥΠΟΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ/ ΕΚΤΡΟΠΗΣ	*Ακίνητο εμπόδιο*	.397	.091	19.129	1	.000	1.487
	Εκτροπή εκτός δρόμου	.172	.070	5.950	1	.015	1.187
	Άλλο	.592	.104	32.389	1	.000	1.808
	Τραυματίες	.649	.095	46.830	1	.000	1.913
	Νεκροί	.571	.341	2.808	1	.094	1.771

Με μια πρώτη ανάγνωση διαπιστώνεται ότι τα δυο μοντέλα έχουν πολλά κοινά. Κατά' αρχήν έχουν τις ίδιες μεταβλητές με τη διαφορά ότι το ΜΟΝΤΕΛΟ Α έχει δυο ανεξάρτητες μεταβλητές παραπάνω. Οι μεταβλητές των δυο μοντέλων μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

i. Γεωμετρία ανάντη
ii. Τύπος σύγκρουσης/εκτροπής
iii. Νεκροί-Τραυματίες
iv. Χαρακτηριστικά του οδικού άξονα
v. Κυκλοφοριακά δεδομένα

Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται οι τρεις μεταβλητές που σημειώνονται στους πίνακες των μοντέλων και είναι κοινές στις δυο περιπτώσεις. Παρατηρείται μάλιστα, ότι ο συντελεστής Β των μεταβλητών αυτών, τόσο στο ΜΟΝΤΕΛΟ Α όσο και στο ΜΟΝΤΕΛΟ Β, είναι αρνητικός γεγονός που σημαίνει ότι σε περίπτωση που η μεταβλητή αυτή υφίσταται σε ένα συμβάν, (είναι μη μηδενική) τείνει να μειώσει τη διάρκεια του ατυχήματος. Η παρουσία δηλαδή, διοδίων κόμβου ή συνδυασμού περισσότερου του ενός γεωμετρικών χαρακτηριστικών ανάντη του ατυχήματος τείνει να μειώσει τη διάρκεια του σε σχέση με ένα ίδιο ατύχημα που δεν έγινε σε περιοχή με την ίδια γεωμετρία ανάντη. Παρατηρείται ακόμα, ότι και η σειρά επιρροής στο μοντέλο της κάθε μεταβλητής είναι ίδια και για τα δυο μοντέλα. Μεγαλύτερη επιρροή στη διάρκεια του ατυχήματος έχει και στις δυο περιπτώσεις η μεταβλητή «διόδια ανάντη», την μικρότερη η μεταβλητή «κόμβος ανάντη» και τη μεσαία η «περισσότερα από ένα ανάντη». Γίνεται ξεκάθαρο απ' το γεγονός αυτό, στο οποίο συνηγορούν και τα δυο μοντέλα, ότι κατάντη διοδίων, κόμβων και συνδυασμού γεωμετρικών οδικών χαρακτηριστικών τέτοιου τύπου, τα ατυχήματα που πραγματοποιούνται έχουν μικρότερη διάρκεια. Το γεγονός ότι συμπίπτει και η ιεραρχία επιρροής είναι ικανοποιητικό αλλά πιθανόν να είναι και τυχαίο καθώς για παράδειγμα, στο ΜΟΝΤΕΛΟ Α η μεταβλητή «διόδια ανάντη» είναι οριακά η μεγαλύτερη. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι επιβεβαιώθηκε με δυο ξεχωριστά μαθηματικά πρότυπα ότι

κατάντη αυτών των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του οδικού άξονα, τα ατυχήματα τείνουν να έχουν μικρότερη διάρκεια απ' ότι αν συνέβαιναν σε μια άλλη θέση.

Όσον αφορά το ΜΟΝΤΕΛΟ Β, αυτές είναι και οι μοναδικές μεταβλητές με αρνητικό συντελεστή. Στην περίπτωση του ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α υπάρχει ακόμα μία: η μεταβλητή «ευθυγραμμία/καμπύλη» η οποία, δεν συμπεριλήφθηκε στο ΜΟΝΤΕΛΟ Β καθώς δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Αυτή είναι και μια δεύτερη διαφορά των δυο μοντέλων, το ΜΟΝΤΕΛΟ Α έχει μια παραπάνω μειωτική μεταβλητή, η οποία όμως δεν έχει μεγάλη επιρροή στη διάρκεια του συμβάντος καθώς έχει τον δεύτερο μικρότερο συντελεστή σε απόλυτη τιμή. Ουσιαστικά και στις δυο περιπτώσεις ο καθοριστικός παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη διάρκεια ατυχήματος είναι η «γεωμετρία ανάντη».

Η δεύτερη κατηγορία μεταβλητών περιλαμβάνει τον τύπο σύγκρουσης ή εκτροπής του οχήματος και πιο συγκεκριμένα την «σύγκρουση με ακίνητο εμπόδιο», «την εκτροπή εκτός δρόμου» και την μεταβλητή «άλλο» που σημαίνει ότι η σύγκρουση ήταν άλλης μορφής απ' τις τέσσερις που περιλαμβάνει η βάση δεδομένων. Αυτές είναι οι δυο που προαναφέρθηκαν και η «σύγκρουση με κινούμενο εμπόδιο» και η «εκτροπή από εμπόδιο». Οι μεταβλητές «τύπος σύγκρουσης/εκτροπής» υπάρχουν και στα δυο μοντέλα και έχουν θετικό συντελεστή. Τείνουν δηλαδή, να αυξήσουν τη διάρκεια του ατυχήματος και μάλιστα με ίδια σειρά επιρροής. Η μεταβλητή «άλλο» έχει τη μεγαλύτερη επιρροή και μάλιστα με διαφορά απ' τη δεύτερη και στα δυο μοντέλα. Ακολουθεί η μεταβλητή «ακίνητο εμπόδιο» και τελευταία η «εκτροπή εκτός δρόμου». Εδώ παρατηρείται ότι οι κλιμάκωση στους συντελεστές των μεταβλητών είναι πιο διακριτή και μπορεί να ληφθεί υπόψη. Είναι πραγματικά αξιοσημείωτο πόσο μοιάζει ο τρόπος επιρροής της κάθε μεταβλητής στα δύο μοντέλα. Η μεταβλητή «ακίνητο εμπόδιο» είναι περίπου διπλάσια και στις δυο περιπτώσεις της «ανατροπή εκτός δρόμου», ενώ η μεταβλητή «άλλος» είναι μεγαλύτερη από 1,5 φορά η «ακίνητο εμπόδιο».

Συγκεντρωτικά η εικόνα αυτή φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 12 (α): Σύγκριση μεταβλητών μοντέλων Α και Β

Μεταβλητές	Β	
	ΜΟΝΤΕΛΟ Α	ΜΟΝΤΕΛΟ Β
Εκτροπή εκτός δρόμου	5.761	0.172
Ακίνητο εμπόδιο	10.463	0.397
Άλλο	24.155	0.592

Πίνακας 12 (β): Σύγκριση μεταβλητών μοντέλων Α και Β

Λόγοι μεταβλητών	ΜΟΝΤΕΛΟ Α	ΜΟΝΤΕΛΟ Β
Ακίνητο εμπόδιο/εκτροπή εκτός δρόμου	1.8	2.3
Άλλο/Ακίνητο εμπόδιο	2.3	1.5

Όσον αφορά την τρίτη κατηγορία μεταβλητών, αυτή αφορά τους τραυματίες και τους νεκρούς. Τόσο στο ΜΟΝΤΕΛΟ Α όσο και στο Β οι παρουσία των μεταβλητών αυτών τείνει να αυξήσει σημαντικά τη διάρκεια του ατυχήματος. Είναι λογικό σε ένα ατύχημα που είχε ανθρώπινες απώλειες να καθυστερήσει η εκκαθάριση του τόπου του συμβάντος, σε σχέση με ένα αντίστοιχο που είχε απλώς υλικές ζημιές. Αυτό το επιβεβαιώνουν και τα δυο μοντέλα και μάλιστα οι μεταβλητές «νεκροί» και «τραυματίες» έχουν μεγάλη βαρύτητα στην ανεξάρτητη μεταβλητή και στις δύο περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (ΜΟΝΤΕΛΟ Α) οι «νεκροί» είναι η μεταβλητή με τον μεγαλύτερο συντελεστή Β ενώ και οι «τραυματίες» είναι η τρίτη σε επιρροή στην ανεξάρτητη μεταβλητή. Αντίστοιχα, στο μοντέλο αναλογικής παλινδρόμησης Cox (ΜΟΝΤΕΛΟ Β) οι «νεκροί» και οι «τραυματίες» έχουν απ' τους μεγαλύτερους συντελεστές,

με τη διαφορά ότι εδώ οι «τραυματίες» φαίνεται να επηρεάζουν λίγο περισσότερο απ' τους «νεκρούς», χωρίς όμως, να έχουν σημαντική διαφορά.

Η τέταρτη κατηγορία που αφορά τα χαρακτηριστικά του οδικού άξονα περιλαμβάνει τις μεταβλητές: «αριθμός λωρίδων», «δεξιά λωρίδα», «ευθυγραμμία/καμπύλη». Αρχικά, παρατηρείται ότι από τις τρεις μεταβλητές οι δύο είναι κοινές και στα δυο μοντέλα. Η μεταβλητή «ευθυγραμμία/καμπύλη» υπάρχει μόνο στο ΜΟΝΤΕΛΟ Α και μάλιστα ο συντελεστής της Β είναι αρνητικός. Αυτό σημαίνει ότι όταν το ατύχημα πραγματοποιείται σε ευθυγραμμία τείνει να έχει μικρότερη διάρκεια από ένα αντίστοιχο που πραγματοποιήθηκε σε καμπύλη. Αυτή είναι και μια αξιοσημείωτη διαφορά των δυο μοντέλων: το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης έχει μια παραπάνω μειωτική μεταβλητή.

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο συντελεστής της μεταβλητής «ευθυγραμμία/καμπύλη» είναι σχετικά μικρός και δεν έχει μεγάλη επιρροή στη διάρκεια του ατυχήματος. Οι άλλες μειωτικές μεταβλητές που προαναφέρθηκαν και είναι κοινές στα δυο μοντέλα έχουν πολύ μεγαλύτερη επιρροή. Όσον αφορά τις άλλες δυο μεταβλητές κοινές στα δυο μοντέλα, «αριθμός λωρίδων» και «δεξιά λωρίδα», και στις δυο περιπτώσεις έχουν θετικούς συντελεστές και τείνουν να αυξήσουν την διάρκεια του συμβάντος. Στο ΜΟΝΤΕΛΟ Α οι δυο μεταβλητές έχουν παραπλήσια επιρροή (συντελεστές Β: 6.431 και 5.931 αντίστοιχα) με την «αριθμός λωρίδων» να είναι λίγο μεγαλύτερη. Στο ΜΟΝΤΕΛΟ Β η μεταβλητή «αριθμός λωρίδων» έχει διασπαστεί σε δυο μεταβλητές, γι' αυτό και το 1 και 2 στον πίνακα, καθώς έχει αναλυθεί ως κατηγορική μεταβλητή και όχι ως συνεχής. Είναι η μεταβλητή με τον μεγαλύτερο συντελεστή επιρροής στο μοντέλο, γεγονός που το διαφοροποιεί αρκετά σε σχέση με το ΜΟΝΤΕΛΟ Α, καθώς σ' αυτό η μεταβλητή αυτή δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τέλος, η μεταβλητή «δεξιά λωρίδα» παρουσιάζει παρόμοια εικόνα και στα δυο μοντέλα: μια αυξητική μεταβλητή με σχετικά μικρή επιρροή στην ανεξάρτητη μεταβλητή (και στις δυο περιπτώσεις ο συντελεστής της Β είναι μέσα στους τρεις μικρότερους) .

Η πέμπτη και τελευταία κατηγορία μεταβλητών που αφορά τα κυκλοφορικά δεδομένα περιλαμβάνει τις μεταβλητές: «μήκος ουράς» και «φορτηγό». Και σ' αυτήν την περίπτωση

δεν συμμετέχουν όλες και στα δυο μοντέλα. Η μεταβλητή «μήκος ουράς» βρέθηκε στατιστικά μη σημαντική στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων και δεν συμπεριλήφθηκε. Συμμετέχει μόνο στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης και έχει θετικό συντελεστή Β, τείνει δηλαδή να αυξήσει τη διάρκεια του συμβάντος. Βέβαια η τιμή του συντελεστή της (Β=1,857) είναι η μικρότερη όλων των μεταβλητών του μοντέλου, οπότε συνεπάγεται ότι δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την εξαρτημένη μεταβλητή. Η μεταβλητή «φορτηγό», κοινή στα δυο μοντέλα έχει κι αυτή αυξητικό συντελεστή και είναι και στις δυο περιπτώσεις μια απ' τις μεσαίες μεταβλητές ως προς την επιρροή τους στην εξαρτημένη μεταβλητή. Η συμμετοχή φορτηγού δηλαδή, στο ατύχημα τείνει να αυξήσει αρκετά σημαντικά την διάρκεια του σε σχέση με ένα αντίστοιχο συμβάν που δεν συμμετέχουν βαρέα οχήματα.

Ολοκληρώνοντας αυτή την σύγκριση, διαπιστώνεται ότι τα δυο μοντέλα είναι παρόμοια τόσο ως προς τις μεταβλητές που χρησιμοποιούν όσο και ως προς τα αποτελέσματα επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής τους στην εξαρτημένη. Οι δυο παραπάνω μεταβλητές του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφοροποιούν σημαντικά το αποτέλεσμα και η απουσία τους δεν θα το άλλαζε ιδιαίτερα. Οι υπόλοιπες μεταβλητές έχουν παρόμοια συμπεριφορά και στις δυο περιπτώσεις: ίδια πρόσημα και παρόμοιες απόλυτες τιμές. Μια αξιοσημείωτη διαφορά είναι η διαφορετική βαρύτητα της μεταβλητής «νεκροί» στα δυο μοντέλα και της μεταβλητής «αριθμός λωρίδων» που μεταπηδά από μια μεταβλητή με μικρή επιρροή στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης σ' αυτήν με τη μεγαλύτερη στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων.

Βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου Α είναι η απλότητα κατασκευής του, καθώς πρόκειται για γραμμική παλινδρόμηση τον πιο πρωταρχικό τρόπο κατασκευής ενός μαθηματικού προτύπου. Ενδεχομένως, λοιπόν, βλέποντας την ομοιότητα των αποτελεσμάτων και την ικανότητα του ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α να ενσωματώσει περισσότερες μεταβλητές, έστω κι αν αυτές έχουν μικρή επιρροή, να οδηγήσει στο να χαρακτηρισθεί ''καλύτερο''. Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων είναι εκθετικό και πιο δύσκολο στην κατασκευή του αλλά και στο γνωστικό υπόβαθρο που απαιτείται για την εφαρμογή του. Πέρα απ' αυτό πρόκειται για

δυο μεθόδους που οδηγούν σε κοντινά αποτελέσματα και μπορούν να υπολογίσουν την διάρκεια του ατυχήματος με επιτυχία και με ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας.

Όσον αφορά στον βαθμό προσαρμογής και στα δυο μοντέλα είναι ικανοποιητικός. Ωστόσο δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν μεταξύ τους, καθώς στη μια περίπτωση ο έλεγχος προσαρμογής γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (γραμμική παλινδρόμηση) ενώ στην άλλη με τη λογαριθμική πιθανότητα.

Εν κατακλείδι, μπορεί να πει κανείς ότι για την παρούσα βάση δεδομένων προτιμάται η ανάλυση με γραμμική παλινδρόμηση, καθώς προσφέρει τα ίδια και μάλιστα πιο πλήρη αποτελέσματα από το μοντέλο επιβίωσης. Η ανάλυση επιβίωσης προτείνεται για αναλύσεις με εξαρτημένη μεταβλητή τη διάρκεια, καθώς παρέχει πληροφορίες για την πιθανοτική εξέλιξη της εξαρτημένης μεταβλητής μέσα στο χρόνο. Ωστόσο, για τα υπάρχοντα δεδομένα δεν προκύπτει κάποια επιπλέον πληροφορία σε σχέση με την απλή ανάλυση με γραμμική παλινδρόμηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο προσδιορισμός των κυκλοφοριακών παραγόντων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια των οδικών συμβάντων σε ελεύθερες λεωφόρους με «μελέτη-περίπτωση» της Αττικής Οδού. Η χρονική διάρκεια των οδικών ατυχημάτων εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, ο εντοπισμός των οποίων και η κατασκευή ενός μαθηματικού προτύπου που τους εμπεριέχει μπορεί να επιτρέψει την πρόβλεψη της διάρκειας του συμβάντος. Μ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει ο οδικός άξονας στην αρχική του κατάσταση, στοιχείο ιδιαίτερα χρήσιμο για τα Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας κάθε μεγάλου αυτοκινητόδρομου. Παρέχεται μ' αυτό τον τρόπο η δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου αποκατάστασης του οδικού άξονα, ενημέρωσης των οδηγών για τον χρόνο που θα παραμείνει κλειστό ένα τμήμα του και λήψης μέτρων πρόληψης για την αποφυγή ατυχημάτων σε θέσεις που προκαλούνται ατυχήματα με μεγάλη χρονική διάρκεια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε ο αστικός αυτοκινητόδρομος της Αττικής Οδού και ειδικότερα το τμήμα που συνδέει το Αεροδρόμιο Αθηνών ''Ελευθέριος Βενιζέλος'' με την Ελευσίνα. Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία ατυχημάτων από τα έτη 2007-2010 και από το σύνολο 3.321 ατυχημάτων σε όλο το μήκος της Αττικής Οδού, επιλέχθηκαν 1.442 που έγιναν στο εξεταζόμενο τμήμα και για τα οποία υπήρχαν πλήρη δεδομένα. Στα στοιχεία αυτά προστέθηκαν κυκλοφορικά δεδομένα για τη στιγμή λίγο πριν κάθε συμβάν, καθώς και στοιχεία βροχόπτωσης και δημιουργήθηκε έτσι μια βάση δεδομένων με τα 1.442 ατυχήματα και 32 παραμέτρους για το καθένα.

Από τις παραμέτρους αυτές εντοπίστηκαν αυτές που έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στη χρονική διάρκεια του συμβάντος και ταυτόχρονα μπορούσαν να συνυπάρξουν σε ένα

μαθηματικό πρότυπο. Κατασκευάστηκαν έτσι δύο μαθηματικά πρότυπα και ακολούθησε η συγκριτική ανάλυσή τους.

7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα δυο μοντέλα προέκυψαν με τις μεθόδους της γραμμικής παλινδρόμησης και αναλογικών κινδύνων με παλινδρόμηση Cox και περιλαμβάνουν έντεκα κοινές μεταβλητές, ενώ το πρώτο περιέχει και δυο παραπάνω.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε είναι τα ακόλουθα:

- Ο υπολογισμός της χρονικής διάρκειας του συμβάντος μπορεί να γίνει είτε με γραμμική παλινδρόμηση είτε με μοντέλο αναλογικών κινδύνων παλινδρόμησης Cox με παραπλήσια αποτελέσματα. Τα δυο μαθηματικά πρότυπα δεν έχουν απλώς τις ίδιες μεταβλητές αλλά οι περισσότερες έχουν την ίδια συμπεριφορά και στα δυο μοντέλα.
- Οι περισσότερες μεταβλητές έχουν αυξητική επιρροή στην διάρκεια των οδικών συμβάντων. Υπάρχουν ωστόσο, και μεταβλητές που έχουν μειωτική επιρροή. Πιο συγκεκριμένα, όπως προέκυψε και απ’ τα δύο μοντέλα, τα ατυχήματα που πραγματοποιούνται κατάντη κόμβου, διοδίων ή και περισσότερων του ενός τέτοιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, τείνουν να έχουν μικρότερη χρονική διάρκεια από τα αντίστοιχα που δεν έγιναν σε τέτοιες θέσεις.
- Η παρουσία νεκρών και τραυματιών έχει ιδιαίτερα αυξητική επιρροή στη χρονική διάρκεια του συμβάντος όπως προκύπτει και απ’ τα δύο μοντέλα.
- Η δεξιά λωρίδα είναι κρίσιμη και η πραγματοποίηση ατυχήματος σ’ αυτή τείνει να αυξήσει τη διάρκεια του ατυχήματος.
- Ο αριθμός των λωρίδων είναι η μεταβλητή με τον μεγαλύτερο αυξητικό συντελεστή στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων, ενώ και στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης έχει τη μεγαλύτερη ελαστικότητα από όλες τις συνεχείς μεταβλητές, η επιρροή της δηλαδή, στη διάρκεια του ατυχήματος είναι μεγάλη.

- Ατυχήματα που πραγματοποιούνται στην ευθυγραμμία τείνουν να έχουν μικρότερη διάρκεια από τα αντίστοιχα που πραγματοποιούνται σε καμπύλη όπως προκύπτει απ' το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.
- Η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης αν και αποτελεί την πιο απλή προσέγγιση του προβλήματος, περιγράφει πολύ καλά το αντικείμενο και επιτρέπει την ενσωμάτωση περισσότερων μεταβλητών από το μοντέλο της ανάλυσης επιβίωσης. Ταυτόχρονα είναι πολύ πιο εύκολη στην επεξεργασία και πιο κατανοητή στους αναλυτές σε αντίθεση με την ανάλυση επιβίωσης η οποία γενικά αποτελεί μια πιο σύνθετη στατιστική ανάλυση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα που επιβεβαιώνει αυτή την άποψη είναι η έρευνα των Khattak et al. (1994) όπου, αφού κάνουν την ανάλυση με παλινδρόμηση και με ανάλυση επιβίωσης, παραλείπουν τελείως τη δεύτερη ως πιο πολύπλοκη και ως μη έχοντας κάτι επιπλέον να προσφέρει.

7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΕΤΑΙΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η περεταίρω έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στη εξέταση εναλλακτικών μοντέλων για την πρόβλεψη της διάρκειας των ατυχημάτων και να δημιουργήσει μια σχέση ανάμεσα στην διάρκεια του ατυχήματος και τη διάρκεια της ουράς. Ακόμα, υπάρχει η ανάγκη να εξεταστεί πώς η πρόβλεψη της διάρκειας του ατυχήματος μπορεί να επηρεάσει τους οδηγούς και αν προκύπτουν οφέλη από την ενημέρωση τους για την προβλεπόμενη διάρκεια του συμβάντος.

Επιπλέον, μπορεί κανείς να εξετάσει την επίδραση των καιρικών συνθηκών στη διάρκεια του ατυχήματος. Για την παρούσα εργασία ήταν διαθέσιμα καιρικά δεδομένα, κυρίως βροχόπτωσης, τα οποία δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικά. Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται σε τοπολογικούς παράγοντες καθώς ο οδικός άξονας που εξετάστηκε είναι στην Αττική όπου οι καιρικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα ήπιες. Πιθανότατα η ανάλυση σε ένα οδικό άξονα, όπως η Εγνατία Οδός με πιο έντονα καιρικά φαινόμενα να δώσει στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα.

Διερεύνηση, μπορεί να γίνει και στο πώς η διάρκεια του ατυχήματος συνδέεται με τα δευτερογενή ατυχήματα και πώς η αύξηση της διάρκειας επηρεάζει την πιθανότητα εμφάνισης ενός δευτερογενούς ατυχήματος.

Τέλος, ιδιαίτερα απαραίτητη είναι η διερεύνηση λύσεων για τη μείωση της διάρκειας του ατυχήματος σε συνδυασμό με μια οικονομική ανάλυση και ιεράρχησή τους ως πιο αποδοτικές-οικονομικές. Μ' αυτό τον τρόπο μπορεί να βρεθεί η πιο οικονομική λύση με τα μεγαλύτερα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cox, D. R. (1972). Regression Models and Life Tables. Journal of the Royal Statistical Society Series B

Giuliano G. (1989). Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. Transportation, Research 23 A (5).

Jones B., Jansen L., Mannering F., (1991). Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle.

Wang M., (1991). Modeling freeway incident clearance times. Unpublished MS Thesis. Civil Engineering Departement, Northwestern University, Evanston, Illinois.

Hensher David and Mannering Fred (1994). Hazard-based duration models and their application to transport analysis, Transport Reviews.

Khattak J. Asad, Schofer L. Joseph and Mu-Han Wang (1995). A simple time sequential procedure for predicting freeway incident duration. IVHS Journal,1995.

Garib A., Radwan A. E. and Al-Deek H. (1997). Estimating magnitude and duration of incident delays. Journal of transportation engineering, November/December1997.

Karlaftis G. Matthew, Latoski P. Steven, Richards J. Nadine and Sinha C. Kumares (1998). ITS impacts on safety and traffic management: an investigation of secondary crash causes. ITS Journal 1999, Vol. 5.

Nam Doohee and Mannering Fred (1998). An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration. Transportation Research part A 34.

Michael Parzen, Stuart R. Lipsitz (1999). A Global Goodness-of-Fit Statistic for Cox Regression Models.

Hensher David and Button Kenneth (2000). Handbook of transport modeling. Pergamon.

Fox John (2002). Cox proportional-hazards regression for survival data.

Stathopoulos Antony and Karlaftis G. Matthew (2002). Modeling duration of urban traffic congestion. Journal of transportation engineering, November/December2002.

Pei-Wei Lin, Nan Zou and Gang- Len Chang (2003). Integration of a discrete choice model and a rule-based system for estimation of incident duration: a case study in Maryland.

Washington, S, Karlaftis, M. and Mannering, F. (2003) Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Chapman & Hall, Washington D.C.

Shin Chi-Hyun (2003). Development of freeway incident duration prediction models. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp1734-1744.

Ozbay Kaan and Noyan Nebahat (2005). Estimation of incident clearance times using bayesian networks approach.

Boyles Stephen, Fajardo David and Travis Waller (2006). A naive bayesian classifier for incident duration prediction.

Wei Chien-Hung and Lee Ying (2006). Sequential forecast of incident duration using artificial neural network models.

Yazici Anil M., Kaan Ozbay, Steven I-Jy Chien (2010). Comprehensive analysis of important questions related to incident durations based on past studies and recent empirical data.

Younshik Chung, Lubinda F. Walubita, Keechoo Choi (2010). Modeling accident duration and its mitigation strategies on the Korean freeway systems.

Reliability Engineering Resource Web Site: http://www.weibull.com

IBM SPSS Statistics 19: http://127.0.0.1:49864/help/index.jsp

Αττική οδός: http://www.aodos.gr/

Γαλάνης Π. (2008). Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων.

Τσαγρής Μιχαήλ. Στατιστική με τη χρήση του SPSS 15..

Φραντζεσκάκης Ι. και Γιαννόπουλος Γ.(1986). Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική. Εκδόσεις Επίκεντρο, τόμος 1, Γ' Έκδοση.

Φραντζεσκάκης Ι., Πιτσιάβα - Λατινοπούλου Μ., Τσαμπούλας Δ. (1997). Διαχείριση της Κυκλφορίας. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Β' Έκδοση.

Φωκιανός Κ. και Χαραλάμπους Χ. (2010). Εισαγωγή στην R, Πρόχειρες Σημειώσεις.

Hui Bian. Survival Analysis Using SPSS, Office for Faculty Excellence.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αρχεία Αποτελεσμάτων Εξόδου SPSS

Regression

Variables Entered/Removed[a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	INJURIES, alignment , stationary_obst, TRUCK, FATALITIES, toll up, Righ Lane, other, Qlmax (km), interchange up, runn_off_road, Nr Lanes, morethan1 up[b]		Enter

a. Dependent Variable: Accident Duration

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.343[a]	.118	.110	31.990

a. Predictors: (Constant), INJURIES, alignment , stationary_obst, TRUCK, FATALITIES, toll up, Righ Lane, other, Qlmax (km), interchange up, runn_off_road, Nr Lanes, morethan1 up

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	195209.410	13	15016.108	14.653	.000[b]
	Residual	1460338.248	1425	1024.799		
	Total	1655547.658	1438			

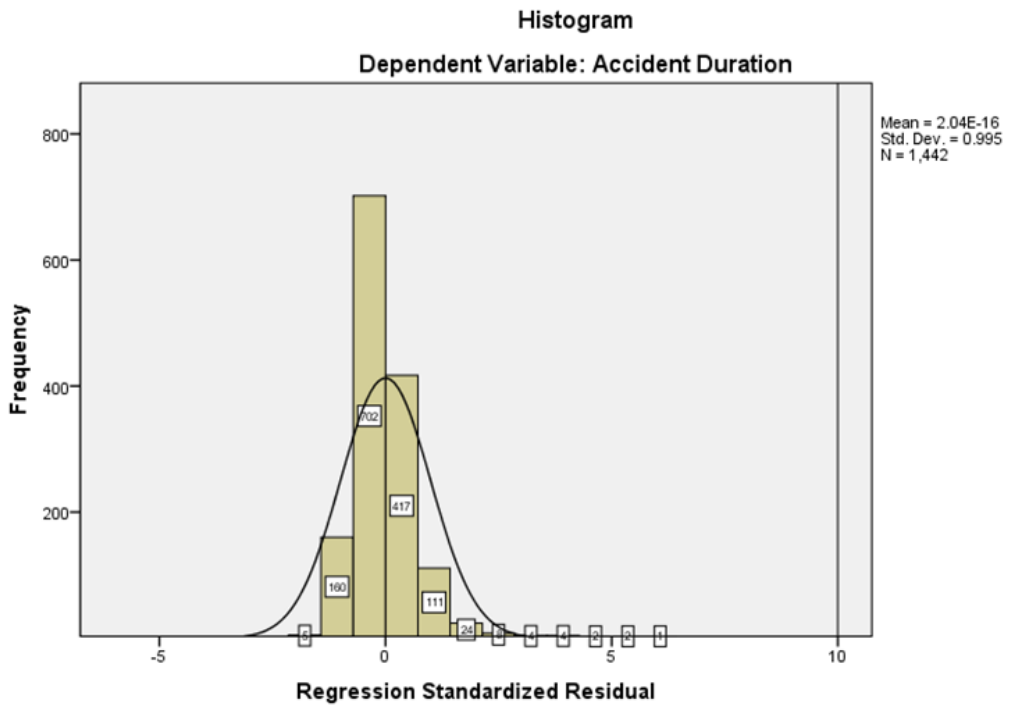
a. Dependent Variable: Accident Duration

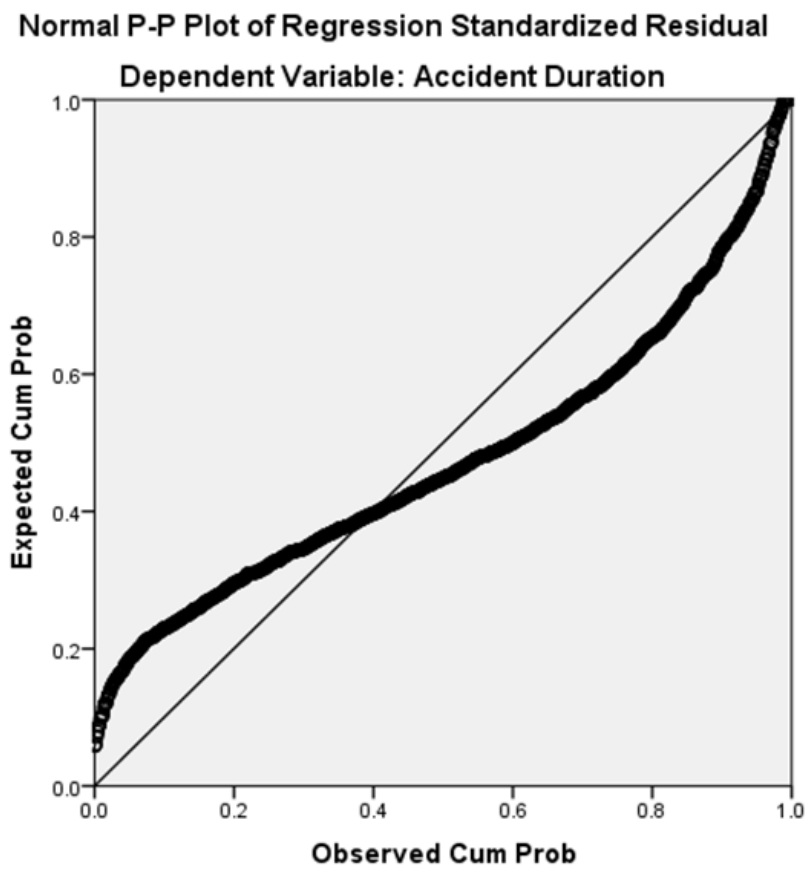
b. Predictors: (Constant), INJURIES, alignment , stationary_obst, TRUCK, FATALITIES, toll up,

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	38.456	4609.000		8.343	.000
	Nr Lanes	6.431	2.435	.083	2.641	.008
	Qlmax (km)	1.857	.534	.090	3.475	.001
	Righ Lane	5.931	2.722	.068	2.179	.029
	alignment	-3.293	1.750	-.049	-1.882	.060
	TRUCK	10.938	2.299	.121	4.757	.000
	interchange up	-12.490	3.661	-.184	-3.412	.001
	toll up	-15.730	7.594	-.058	-2.071	.038
	morethan1 up	-15.060	3.775	-.217	-3.990	.000
	stationary_obst	10.463	2.925	.093	3.577	.000
	runn_off_road	5.761	2.294	.067	2.511	.012
	other	24.155	3.286	.191	7.352	.000
	FATALITIES	25.087	10.888	.058	5.498	.021
	INJURIES	16.633	3.025	.142	2.304	.000

a. Dependent Variable: Accident Duration


Histogram
Dependent Variable: Accident Duration
Mean = 2.04E-16
Std. Dev. = 0.995
N = 1,442
Frequency
800
600
400
200
702
417
160
111
24
-5
0
5
10
Regression Standardized Residual


Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual
Dependent Variable: Accident Duration
Expected Cum Prob
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Observed Cum Prob

Cox Regression

Block 0: Beginning Block

Omnibus Tests of Model Coefficients

-2 Log Likelihood
18158.523

Block 1: Method = Enter

Omnibus Tests of Model Coefficients[a]

-2 Log Likelihood	Overall (score)			Change From Previous Step			Change From Previous Block		
	Chi-square	df	Sig.	Chi-square	df	Sig.	Chi-square	df	Sig.
17974.440	170.902	12	.000	184.084	12	.000	184.084	12	.000

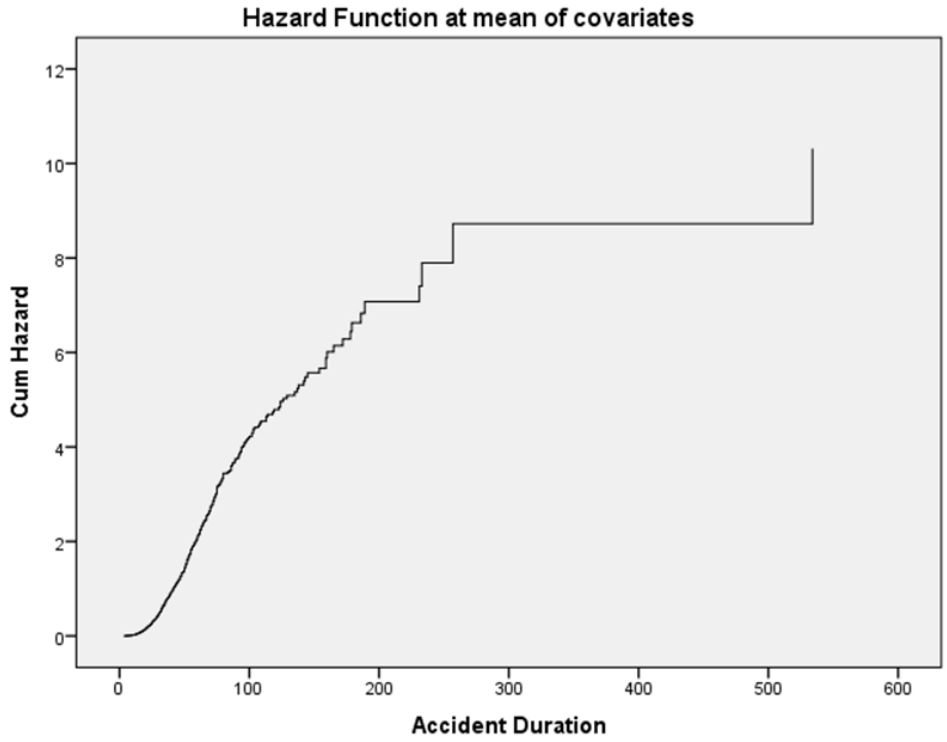
a. Beginning Block Number 1. Method = Enter

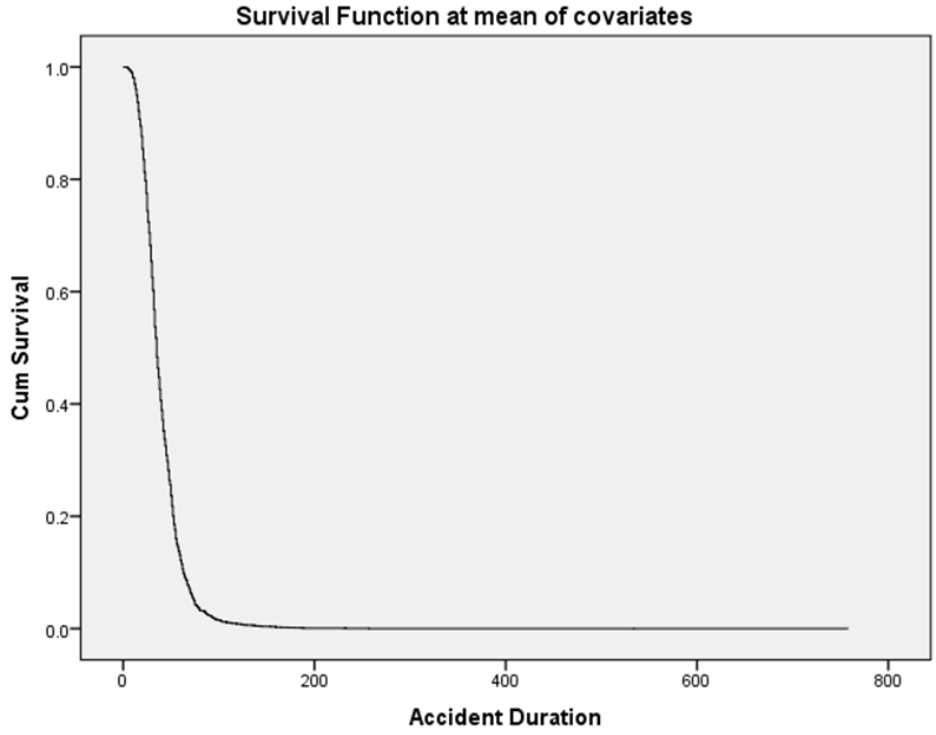
Variables in the Equation

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)
NrLanes			11.644	2	.003	
NrLanes(1)	.764	.229	11.165	1	.001	2.147
NrLanes(2)	.632	.224	7.934	1	.005	1.882
RighLane	.203	.088	5.261	1	.022	1.225
TRUCK	.350	.072	23.830	1	.000	1.419
interchangeup	-.253	.115	4.833	1	.028	.776
tollup	-.437	.237	3.385	1	.066	.646
morethan1up	-.337	.118	8.157	1	.004	.714
stationary_obst	-.397	.091	19.129	1	.000	1.487
runn_off_road	.172	.070	5.595	1	.015	1.187
other	.592	.104	32.389	1	.000	1.808
FATALITIES	.649	.341	2.808	1	.094	1.771
INJURIES	.649	.095	46.830	1	.000	1.913

Covariate Means

	Mean
NrLanes(1)	.811
NrLanes(2)	.174
RighLane	.817
TRUCK	.831
interchangeup	.469
tollup	.984
morethan1up	.606
stationary_obst	.899
runn_off_road	.807
other	.922
FATALITIES	.994
INJURIES	.908


Hazard Function at mean of covariates
Cum Hazard
0
2
4
6
8
10
12
0
100
200
300
400
500
600
Accident Duration


Survival Function at mean of covariates
Cum Survival
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
0
200
400
600
800
Accident Duration