



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΟΔΗΓΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Σ. Χατζηπαναγιώτου

Επιβλέπουσα: Ελένη Βλαχογιάννη

Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

Ε. Βλαχογιάννη

Επικ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Γ. Γιαννής

Καθηγητής ΕΜΠ

Κ. Κεπαπτσόγλου

Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και την ουσιαστική καθοδήγηση κατά την εκπόνησή της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και ιδιαίτερα του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής για τις γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσαν καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου.

Ευχαριστώ επίσης τον φίλο μου, Δρ. Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη, για τις συμβουλές και τις υποδείξεις του κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η βοήθεια και οι παρατηρήσεις του ήταν καταλυτικές για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη στήριξη, τη βοήθεια και την υπομονή τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Χατζηπαναγιώτου Δημήτριος

Διπλωματούχος Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Copyright © Δημήτριος Χατζηπαναγιώτου, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Εκτίμηση και Ανάλυση Διάρκειας Οδηγικού Συμβάντος

Δημήτριος Χατζηπαναγιώτου

Επιβλέπουσα: Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να εκτιμήσει τους παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν την διάρκεια οδηγικών συμβάντων, καθώς επίσης να ποσοτικοποιήσει την επιρροή των παραγόντων αυτών στην διάρκεια του συμβάντος. Ως συμβάν στη παρούσα εργασία θεωρούνται οι απότομες στροφές και η απότομη επιτάχυνση ή επιβράδυνση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο αναλογικών κινδύνων Cox. Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε σε δεδομένα που συλλέχθηκαν από 19 οδηγούς σε πραγματικές συνθήκες μέσω συσκευών OBD-II παρακολούθησης των χαρακτηριστικών κίνηση του οχήματος. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι υπάρχει εξάρτηση μεταξύ του χρόνου των συμβάντων και της μέσης ταχύτητας διαδρομής, των καιρικών συνθηκών και της οδήγησης τη νύχτα.

Λέξεις κλειδιά: οδηγικό συμβάν, οδηγική συμπεριφορά, ανάλυση επιβίωσης, διάρκεια συμβάντος, ακραία γεγονότα

Estimation and Analysis of Driving Incident Duration

Dimitrios Chatzipanagiotou

Supervisor: Eleni Vlahogianni, Assistant Professor NTUA

ABSTRACT

The present thesis aims to evaluate the factors that affect the duration of incidents that occur daily to every driver, as well as to quantify the influence of those factors to the duration of the event. Incidents in the present thesis are defined as sharp turns and sudden acceleration or deceleration. The Cox analogue risk model was used for this purpose. The model was applied for the data collected from 19 drivers in real conditions by using OBD - II devices that record the characteristics of the vehicles' motion. The results show that there is dependence between the duration of the events and the examined factors, such as average travel speed, rain and risky hours driving.

Key words: driving incident, driving behavior, survival analysis, incident duration, harsh events

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ως συμβάν κατά τη διάρκεια της οδήγησης ορίζεται (1) η απότομη αριστερή στροφή, (2) η απότομη δεξιά στροφή, (3) η απότομη επιβράδυνση και (4) η απότομη επιτάχυνση. Η εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη χρονική διάρκεια αυτών των συμβάντων αποτελεί μία σημαντική περιοχική έρευνας του ευρύτερου κλάδου της οδικής ασφάλειας. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τη χρονική διάρκεια των 4 προαναφερθέντων συμβάντων και στον προσδιορισμό των διαφοροποιήσεων που προκαλούνται στη διάρκεια των συμβάντων από τις μεταβολές στις τιμές των παραγόντων αυτών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται περιγραφική στατιστική ανάλυση (descriptive analysis) με το Excel και εφαρμογή του μοντέλου αναλογικών κινδύνων του Stata, το οποίο ονομάζεται Cox.

Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox εφαρμόζεται για συνολικά 38586 συμβάντα, τα οποία πραγματοποιήθηκαν από 19 οδηγούς και καταγράφηκαν με τη συσκευή mupic.box. Στην εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή η διάρκεια του συμβάντος (σε ms) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι ακόλουθες: η βροχόπτωση, η επικίνδυνη ώρα, η εργάσιμη μέρα, το συμβάν στον άξονα κίνησης και η τιμή στην κορυφή του συμβάντος.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με τη μορφή πινάκων, στους οποίους φαίνεται το επίπεδο σημαντικότητας και οι συντελεστές παλινδρόμησης κάθε μεταβλητής, και διαγραμμάτων. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει η επιρροή ή όχι των διάφορων παραμέτρων στη διάρκεια των συμβάντων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι υπάρχει εξάρτηση μεταξύ του χρόνου των συμβάντων και της μέσης ταχύτητας διαδρομής, των καιρικών συνθηκών και της οδήγησης τη νύχτα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	1
1. Εισαγωγή.....	2
1.1. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.2. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	2
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
2.1. Παρακολούθηση Οδηγικής Συμπεριφοράς.....	4
2.2. Ανάλυση Οδηγικής Συμπεριφοράς.....	5
2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την Οδηγική Συμπεριφορά.....	6
2.4. Σύνοψη ανάλυσης βιβλιογραφίας.....	8
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο Ανάλυσης Επιβίωσης.....	9
3.1. Εισαγωγή.....	9
3.2. Ανάλυση επιβίωσης.....	10
3.3. Συνάρτηση επιβίωσης.....	12
3.4. Συνάρτηση Κινδύνου.....	13
3.5. Στατιστική εξάρτηση - Παλινδρόμηση.....	14
3.6. Μοντέλο αναλογικών συναρτήσεων κινδύνου.....	16
3.7. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε μη παραμετρική μορφή.....	17
3.8. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε παραμετρική μορφή.....	19
3.9. Παραδείγματα πλήρως παραμετρικών μοντέλων.....	21
3.10. Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox.....	23
4. Συλλογή, Επεξεργασία και Ανάλυση Βάσης δεδομένων.....	26
4.1. Εισαγωγή.....	26
4.2. Συλλογή στοιχείων.....	26
4.3. Επεξεργασία Στοιχείων και Διαμόρφωση Βάσης Δεδομένων.....	27
4.4. Εισαγωγή δεδομένων στο ειδικό στατιστικό πρόγραμμα STATA.....	36
4.5. Ανάπτυξη και Εφαρμογή Μοντέλων.....	37
4.6. Αποτελέσματα.....	38
5. Συμπεράσματα.....	42
5.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων - Βασικά συμπεράσματα.....	42
5.2. Προοπτικές - κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα.....	43
Βιβλιογραφία.....	45

1. Εισαγωγή

1.1. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της συσχέτισης της διάρκειας οδηγικού συμβάντος (όπου συμβάν είναι η αριστερή στροφή, η δεξιά στροφή, η απότομη επιτάχυνση και η απότομη επιβράδυνση) με διάφορους παράγοντες όπως η βροχόπτωση, η κρίσιμη ώρα και οι εργάσιμες μέρες.

Συγκεκριμένα αναλύθηκαν δεδομένα που καταγράφηκαν με τη μηχανή Munic, από ένα πλήθος 19 οδηγών που πραγματοποίησαν διαδρομές κατά τις οποίες καταγράφηκαν 38586 συμβάντα, με το αυτοκίνητό τους στο χρονικό διάστημα μεταξύ 9/1/2015 - 14/3/2016. Το πλήθος των 38586 συμβάντων προέκυψε μετά από αρχική εκτενή επεξεργασία των δεδομένων σε υπολογιστικό περιβάλλον excel ώστε να υπάρχει ομοιομορφία και πληρότητα μεταξύ των δεδομένων των συμβάντων.

1.2. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη:

1. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, περιγράφεται ο στόχος της και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

2. Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται βιβλιογραφική διερεύνηση με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία σε παρόμοια θέματα και γίνεται αναφορά σε παλαιότερες έρευνες, οι οποίες αναφέρονται σε παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια των συμβάντων.

3. Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχτηκε η στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα βασικά θεωρητικά στοιχεία της ανάλυσης επιβίωσης και του μοντέλου αναλογικών κινδύνων Cox.

4. Κεφάλαιο 4: Συλλογή και Επεξεργασία και Ανάλυση Βάσης δεδομένων.

Παρουσιάζεται η βάση δεδομένων και τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

5. Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της ανάλυσης και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Παρακολούθηση Οδηγικής Συμπεριφοράς

Σύμφωνα με τον Ζυγούρη (2016) η παρακολούθηση της οδηγικής συμπεριφοράς αποτελεί αντικείμενο πολλών ερευνητών τα τελευταία χρόνια. Μία προσπάθεια έγινε από τους Bergasa et. al. (2014) όπου η εφαρμογή DriveSafe που δημιουργήθηκε χρησιμοποιεί τους αδρανειακούς αισθητήρες, την πίσω κάμερα, το μικρόφωνο και το GPS, με σκοπό να εντοπίζονται οι μισοκοιμισμένοι και οι οξύθυμοι οδηγοί.

Ακόμα, η Chiu et. al. (2014) ανέπτυξαν μια εφαρμογή που χρησιμοποιεί τα δεδομένα που συλλέγονται από το GPS και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων και παρατηρούνται οι επιταχύνσεις, οι επιβραδύνσεις την ώρα ατυχημάτων ή παρ' ολίγον ατυχημάτων.

Επιπρόσθετα, η εργασία των Engelbrecht et. al. (2014) μεταχειρίζεται τους αδρανειακούς αισθητήρες, όπως επιταχυνσιόμετρο (με τιμές a_x , a_y και a_z) και γυροσκόπιο (με τιμές ω_x , ω_y και ω_z), και το GPS έτσι ώστε να βρίσκονται τα καταληκτικά σημεία των οδηγικών συμβάντων. Ευρετική μέθοδος και δυναμική χρονική στρέβλωση (DTW) χρησιμοποιείται ώστε να διαχωρίζονται οι κανονικές από τις βίαιες κινήσεις.

Παρόμοια προσπάθεια έγινε στην εργασία των Lane et al. (2010) όπου χρησιμοποιούνται εφαρμογές ασφαλιστικών εταιρειών με τιμολόγηση ανάλογα με τη χρήση των οδηγών UBI (Usage Based Auto Insurance).

Μια διαφορετική προσέγγιση υιοθετήθηκε στην εργασία των Johnson (2014) και Trivedi et. al. (2014). Ναι μεν η εφαρμογή MIROAD (A Mobile-Sensor-Platform for Intelligent Recognition Of Aggressive Driving) που δημιούργησαν χρησιμοποιούσε τους αδρανειακούς αισθητήρες και το GPS αλλά όλη η επεξεργασία με δυναμική χρονική στρέβλωση (DTW) γίνεται εξολοκλήρου από το ίδιο το έξυπνο κινητό.

Η Σταυρακάκη (2018) κατηγοριοποίησε τις μεθόδους καταγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς σε:

- Αυτοαξιολόγηση - Έρευνες με ερωτηματολόγια (Parker et al. 1998, Lajunen et al. 1998, Chliaoutakis et al. 2002, Ulleberg and Rundmo 2002, Iversen 2004, Maxwell et al. 2005, Shinar 1995, Schechtman et al. 1999, Caetano and Clark 2000, Begg and Langley 2004, Yagil 1998, Lourens et al. 1999, Golias and Karlaftis 2001, Boyce and Geller 2002).
- Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων εντός του οχήματος (Krause et al. 1999, Grindle et al. 2000, Sulzer-Azaroff and Austin 2000, Toledo and Lotan 2006).
- Έξυπνα κινητά για την παρακολούθηση της οδηγικής συμπεριφοράς (Eren et al. 2012, Handel et al. 2014, Husnjak et al. 2015, Johnson and Trivedi 2011, Meseguer et al. 2013, Tselentis et al. 2016, Wahlstrom et al. 2015, Tselentis et al. 2017, Handel et al. 2014, Vlahogianni and Barmounakis 2017).

2.2. Ανάλυση Οδηγικής Συμπεριφοράς

Η συχνότητα των διάφορων μετρήσεων σε σχέση με την απόσταση που διανύθηκε, την ώρα της ημέρας κ.λ.π. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση της επικίνδυνης οδήγησης, την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του οδηγού, τη διερεύνηση της επιθετικότητας κατά την οδήγηση κ.ο.κ. (Chakravarty et al. 2013, Johnson and Trivedi 2011, Musicant et al. 2014). Ο κανονικός τρόπος οδήγησης μπορεί να ταξινομηθεί σε διάφορες κατηγορίες, όπως κανονική ή επιθετική, ασφαλής ή επικίνδυνη, εξειδικευμένη ή ανειδίκευτη κλπ. Μπορούν επίσης να δοθούν συστάσεις στον οδηγό για να βελτιώσει την οδήγησή του αναλόγως (feedback). Επιπροσθέτως, καθώς η οδηγική συμπεριφορά ποικίλλει από άτομο σε άτομο, και επίσης ποικίλλει λόγω ορισμένων πρόσθετων παραγόντων όπως η κατανάλωση αλκοόλ, ναρκωτικών, περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης κλπ., υπάρχει η δυνατότητα σε τέτοιες περιπτώσεις, το αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης του οδηγού να εμφανίζει προειδοποίηση

στον οδηγό σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά του και με τη συγκατάθεσή του, η θέση τους μπορεί να κοινοποιηθεί στις υπηρεσίες προστασίας των πολιτών (Σταυρακάκη, 2018).

2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την Οδηγική Συμπεριφορά

Σύμφωνα με την έρευνα της Κυριακούλη (2017):

- η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επαρχιακή οδό επιφέρει μείωση στη μέση ταχύτητα οδήγησης και αύξηση στη μέση απόσταση που διατηρούν οι οδηγοί από το προπορευόμενο όχημα. Παρόλα αυτά η ασφαλέστερη αυτή συμπεριφορά δεν επαρκεί για να αντισταθμίσει την αύξηση του χρόνου αντίδρασης του οδηγού σε περίπτωση απρόοπτου συμβάντος με αποτέλεσμα τελικώς να αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα ατυχήματος.
- Η νυχτερινή οδήγηση επηρεάζει τη μέση ταχύτητα οδήγησης, τη μέση απόσταση που διατηρούν οι οδηγοί από το προπορευόμενο όχημα, το χρόνο αντίδρασης του οδηγού σε απρόοπτο συμβάν και τέλος την πιθανότητα να συμβεί ατύχημα.
- Η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επαρχιακή οδό επιφέρει μείωση στην ταχύτητα κυκλοφορίας.
- Η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επαρχιακή οδό οδηγεί στην αύξηση της μέσης απόστασης που διατηρούν οι οδηγοί από το προπορευόμενο όχημα. Η ύπαρξη του παράγοντα της νύχτας, ενδεχομένως ωθεί τους οδηγούς να αντισταθμίσουν τον πιθανό κίνδυνο διατηρώντας μεγαλύτερη απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα.
- Η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επαρχιακή οδό οδηγεί στην αύξηση του χρόνου αντίδρασης του οδηγού σε απρόοπτο συμβάν. Στις διαδρομές, δηλαδή, οι οποίες πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι οδηγοί

αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη δυσκολία να συγκεντρωθούν στην οδήγηση, με αποτέλεσμα να καθυστερούν ενδεχομένως να αντιληφθούν τα πιθανά συμβάντα και έτσι να εμφανίζουν μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης. Επιπλέον, οι οδηγοί αποδείχθηκε ότι όντως θεωρούν επικίνδυνο παράγοντα τη νύχτα, με αποτέλεσμα να οδηγούνται σε αύξηση του χρόνου αντίδρασής τους.

- Η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επαρχιακή οδό αυξάνει την πιθανότητα να συμβεί ατύχημα. Στις διαδρομές, δηλαδή, στις οποίες πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι οδηγοί αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη δυσκολία να συγκεντρωθούν στην οδήγηση λόγω της μειωμένης ορατότητας και του ανεπαρκούς οδικού φωτισμού, με αποτέλεσμα να εμπλέκονται πιο εύκολα σε ατυχήματα.

Οι Bella et al. (2014) του τρίτου κρατικού πανεπιστημίου της Ρώμης (Università degli Studi Roma Tre) ανέλυσαν την ταχύτητα οδήγησης κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επαρχιακή οδό με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης με σκοπό να συγκρίνουν τη συμπεριφορά του οδηγού μέσω της ταχύτητάς του κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας προσδιορίζοντας σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα οδήγησης υπό διαφορετικές συνθήκες περιβαλλοντικού φωτισμού.

Οι Konstantopoulos et al. (2009) του πανεπιστημίου του Νότινγκχαμ στην Αγγλία (University of Nottingham, UK) πραγματοποίησαν μια έρευνα για να καταγράψουν τις εμπειρικές διαφορές της οπτικής συγκέντρωσης και συγκεκριμένα τον τρόπο με τον οποίο οι οδηγοί επηρεάζονται από την οδήγηση κάτω από νυχτερινές και βροχερές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφηκαν οι κινήσεις των ματιών των εκπαιδευτών οδήγησης και των μαθητευόμενων οδηγών, ενώ οδήγησαν τρεις εικονικές διαδρομές που περιλάμβαναν διαδρομές κατά τη διάρκεια της ημέρας, της νύχτας και με βροχή με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης.

Ο Πλαϊνής και Παλλήκαρης (2005), του πανεπιστημίου της Κρήτης, ανέλυσαν στατιστικά τα οδικά ατυχήματα με έναν πρωτότυπο τρόπο που επιδεικνύει ότι ένας δυσανάλογος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων συμβαίνει κατά τις νυχτερινές ώρες.

2.4. Σύνοψη ανάλυσης Βιβλιογραφίας

Από την παρούσα βιβλιογραφική διερεύνηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, διαπιστώνονται τα εξής:

Έχουν πραγματοποιηθεί εκτενείς έρευνες για τον εντοπισμό των συμβάντων κατά την οδήγηση καθώς και για τον προσδιορισμό μεθόδων που περιγράφουν την οδηγική συμπεριφορά. Οι έρευνες αυτές μάλιστα έχουν αξιοποιήσει νέες τεχνολογίες (έξυπνα κινητά, συσκευές καταγραφής κ.α.) με στόχο την τροφοδότηση του οδηγού με στοιχεία για την οδηγική του συμπεριφορά σε πραγματικό χρόνο.

Μεγάλο μέρος των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί, αφορά επίσης στην ανάλυση των παραγόντων που μπορεί να οδηγήσουν σε συμβάντα που θα έχουν ως ενδεχόμενο αποτέλεσμα ατύχημα. Αναλύονται μάλιστα τόσο παράγοντες που συσχετίζονται με τα στοιχεία του οδικού δικτύου και τις συνθήκες του συμβάντος (ώρα, ημέρα, καιρικές συνθήκες κ.α.) όσο και με το προφίλ του οδηγού, είτε αναφερόμαστε σε συνήθειες του οδηγού (χρήση αλκοόλ και άλλων ουσιών κ.α.) είτε σε χαρακτηριστικά του οδηγού (ηλικία, φύλλο κ.α.).

Ωστόσο παρατηρείται περιορισμένη ανάλυση σχετικά με παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια των συμβάντων, όπως αυτά ορίζονται στη παρούσα διπλωματική εργασία. Έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που χρησιμοποιώντας την ανάλυση επιβίωσης που θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα μελέτη, αναλύουν το μέγεθος του χρόνου, αλλά εξετάζοντας το σε σχέση με τη διάρκεια ενός ατυχήματος ή με το χρονικό διάστημα που απαιτείται για το καθαρισμό του οδοστρώματος μετά από ένα ατύχημα. Δεν έχουν βρεθεί όμως εκτενείς αναφορές στο αντικείμενο που ερευνάται σε αυτήν την εργασία.

3. Θεωρητικό Υπόβαθρο Ανάλυσης Επιβίωσης

3.1. Εισαγωγή

Όπως περιγράφεται αναλυτικά από τη Μαδούρου (2010) τα στατιστικά μοντέλα που βασίζονται στην πρόβλεψη του κινδύνου και της διάρκειας ανήκουν σε μια γενική κατηγορία αναλυτικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή συμπερασμάτων για περιστατικά με πεπερασμένη διάρκεια, δηλ. για τα περιστατικά τα οποία εξελίσσονται εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος (Kiefer 1988, Hensher και Mannering 1994).

Τα μοντέλα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια σε πολλούς τομείς, όπως για παράδειγμα στον κλάδο της στατιστικής ιατρικής για την πρόβλεψη της προσδοκώμενης διάρκειας ζωής μετά την εμφάνιση - έναρξη χρόνιων παθήσεων, στον κλάδο της μηχανολογίας για τον προσδιορισμό του χρόνου αποτυχίας ενός μηχανήματος στον κλάδο της βιομηχανίας, τη διάρκεια της ανεργίας στον κλάδο των κοινωνικών επιστημών και στη διάρκεια των οδικών ατυχημάτων στον κλάδο της οδικής ασφάλειας. Τα «μοντέλα κινδύνου» ονομάζονται επίσης «μοντέλα χρονικής αποτυχίας» ή/και «μοντέλα διάρκειας» δεδομένου ότι διερευνούν / εμπλέκουν την έννοια της υπό όρους πιθανότητα της λήξης της διάρκειας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της ιατρικής, η πιθανότητα του θανάτου - λήξη της διάρκειας ζωής ενός ασθενούς από την έναρξη - την εμφάνιση μιας χρόνια πάθησης συνδέεται άμεσα με το διάστημα - διάρκεια που έχει παρέλθει από την εμφάνιση της νόσου.

Τα μοντέλα κινδύνου προτιμώνται για την ανάλυση δεδομένων και περιστατικών διάρκειας, σε σχέση με την κλασσική παλινδρόμηση, δεδομένου ότι (α) η κλασσική παλινδρόμηση στοχεύει στον προσδιορισμό μιας κατανομής πιθανότητας για το χρόνο διάρκειας ενός συμβάντος και στην προσαρμογή της με βάση τα δεδομένα ενώ (β) η προσέγγιση με τα μοντέλα κινδύνου καθορίζει την πιθανότητα έκβασης ενός περιστατικού ως ακολουθία απλούστερων γεγονότων υπό δεδομένους όρους. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι τα δεδομένα διάρκειας μπορούν να αναλυθούν και να

ερμηνευθούν καλύτερα με τα μοντέλα κινδύνου καθώς αυτά συνδέονται με μία δυναμική ακολουθία πιθανοτήτων υπό όρους.

Σύμφωνα με τον Kiefer (1988), για οποιαδήποτε διευκρίνιση σχετικά με μία συνάρτηση κινδύνου υπάρχει ακριβής μαθηματική αντιστοιχία θεωρώντας μία απεριόριστη κατανομή πιθανότητας. Γενικά, σύμφωνα με τους Henser et al. (2000) η χρησιμοποίηση μοντέλων διάρκειας που βασίζονται σε προσεγγίσεις κινδύνου έχει ένα εύρος μεθοδολογικών και εννοιολογικών πλεονεκτημάτων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μοντέλα παλινδρόμησης.

3.2. Ανάλυση επιβίωσης

Η ανάλυση επιβίωσης (δηλ. survival analysis) αφορά σε μια στατιστική μέθοδο που χρησιμοποιούμε για να διερευνήσουμε το χρόνο που μεσολαβεί μέχρι την εμφάνιση ενός συμβάντος δηλ. την χρησιμοποιούμε για να δούμε αν και πότε θα συμβεί ένα συγκεκριμένο γεγονός που αλλιώς αναφέρεται συχνά σαν αποτυχία (failure). Σε ορισμένες περιπτώσεις ο χρόνος - διάρκεια ανάμεσα σε ένα χρονικό σημείο έναρξης και του ορισμένου ως τέλους αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή και ονομάζεται χρόνος επιβίωσης (survival time).

Στην περίπτωση της συγκοινωνιακής υποδομής και των μεταφορών αναλύουμε συχνά το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ ενός ατυχήματος και του χρόνου καθαρισμού της οδού ή στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας το χρόνο που μεσολαβεί από την έναρξη μέχρι τη λήξη ενός συμβάντος όπου ως συμβάν ορίζεται η αριστερή στροφή, η δεξιά στροφή, η απότομη επιβράδυνση και η απότομη επιτάχυνση. Ως βασικό πλεονέκτημα της ανάλυσης επιβίωσης είναι ότι συσχετίζει την εξαρτημένη μεταβλητή, π.χ. χρόνος μεταξύ ατυχήματος και καθαρισμού οδού, με τις επεξηγηματικές μεταβλητές δεδομένου ότι η διάρκεια σχετίζεται με μία δεσμευμένη πιθανότητα.

Στην ανάλυση επιβίωσης δημιουργείται μια συνεχής τυχαία μεταβλητή T και μία αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(t)$, η οποία ονομάζεται συνάρτηση αποτυχίας (failure). Η συνάρτηση της τυχαίας μεταβλητής T δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F(t) = \int_0^t f(u) du = P(T < t), \quad 0 < t < \infty$$

Όπου υπολογίζεται η πιθανότητα ο χρόνος επιβίωσης T να υπερβαίνει μία τιμή του χρόνου t οπότε επέρχεται η αποτυχία. Στα σημεία εκείνα όπου η αθροιστική συνάρτηση κατανομής διαφοροποιείται, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(t)$ δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{\Delta t}$$

Όπου δίνεται η στιγμιαία πιθανότητα ένα συμβάν να πραγματοποιηθεί στο απειροελάχιστο οριακό μηδενικό χρονικό διάστημα $[t, t + \Delta t]$.

Αφού οριστεί (α) η συνάρτηση επιβίωσης και (β) η πυκνότητα του χρόνου αποτυχίας, η συνάρτηση κινδύνου είναι εκείνη που χρησιμοποιείται για να συνδέσει το χρόνο αποτυχίας και τη συνάρτηση επιβίωσης. Η συνάρτηση του κινδύνου, ή αλλιώς ρυθμός κινδύνου, δείχνει το ρυθμό αποτυχίας στη μονάδα του χρόνου ή αλλιώς υπολογίζει το στιγμιαίο ρυθμό αλλαγής της πιθανότητας τέλους τη χρονική στιγμή t , θεωρώντας ότι το συμβάν έχει διαρκέσει χρόνο t . Ο ρυθμός αυτός δεν ακολουθεί κάποιο δεδομένο μοτίβο αλλά μπορεί να αυξομειώνεται ή να παραμένει σταθερός ή και να υποδεικνύει μια πιο σύνθετη διαδικασία ανάλογα με τα δεδομένα που υπόκεινται σε επεξεργασία.

Υπολογίζοντας την επιρροή των επεξηγηματικών μεταβλητών χρησιμοποιώντας την ανάλυση επιβίωσης, υπάρχουν δύο εναλλακτικές μορφές: το μοντέλο των αναλογικών κινδύνων (proportional hazards) και το μοντέλο του επιταχυνόμενου χρόνου αποτυχίας (accelerated failure time).

Τυπικά, η εστίαση του μοντέλου αναλογικών κινδύνων είναι στο πως μεταβάλλεται η διάρκεια με βάση τιμές των επεξηγηματικών μεταβλητών στο μοντέλο. Ως αποτέλεσμα στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων δεν δίνεται μεγάλη σημασία στην ακριβή διάρκεια του συμβάντος. Από την άλλη πλευρά το μοντέλο επιταχυνόμενου χρόνου αποτυχίας δίνει μεγαλύτερη σημασία στη διάρκεια, συνεπώς θεωρείται ακριβέστερη μέθοδος στην επεξεργασία της διάρκειας ατυχημάτων.

Ο χρόνος επιβίωσης, όντας περιορισμένος και πάντα θετικός και καθώς στη πλειοψηφία των περιπτώσεων η μελετώμενη έκβαση δεν είναι γνωστή για όλα τα περιστατικά, χρίζει ιδιαίτερης μεταχείρισης. Συνεπώς η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται χωρίς να μελετηθεί η έκβαση για όλα τα περιστατικά, τα οποία ως συνέπεια περιέχουν λογοκριμένες (censored) παρατηρήσεις. Το μόνο είναι δυνατόν να λεχθεί είναι ότι ο χρόνος επιβίωσης τους είναι μεγαλύτερος από την τιμή που έχει καταγραφεί (Φωκιανός et al., 2010).

3.3. Συνάρτηση επιβίωσης

Συμβολίζοντας το χρόνο επιβίωσης με T , η συνάρτηση επιβίωσης (survival function) $S(t)$ ορίζεται ως η πιθανότητα επιβίωσης ενός ατόμου πέραν τη χρονική στιγμή t και δίνεται από τη σχέση:

$$S(t) = P(T > t) = 1 - F(t)$$

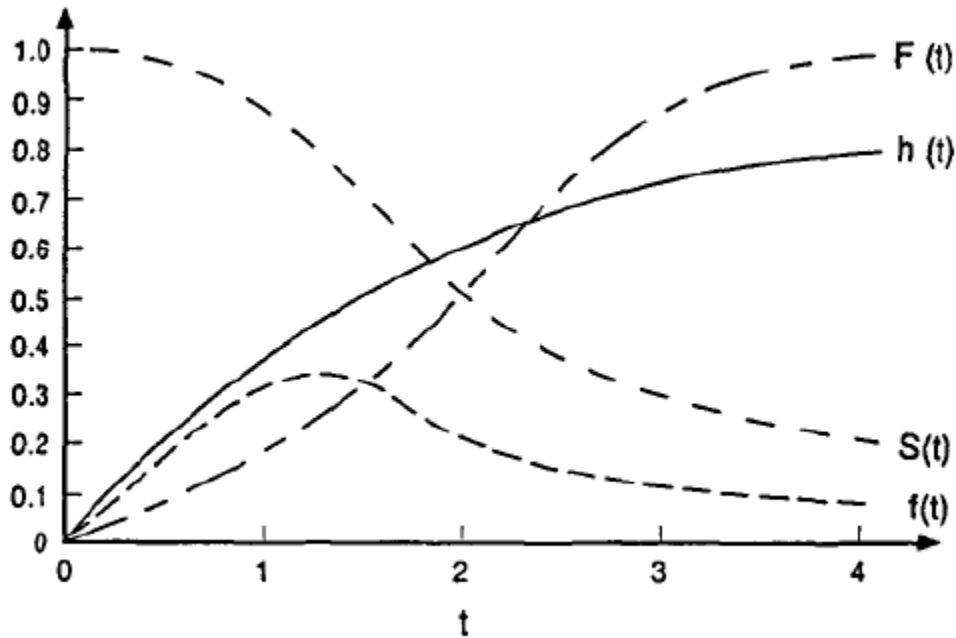
Η συνάρτηση επιβίωσης είναι μη αρνητική και μη αύξουσα συνάρτηση του t με $S(0) = 1$ και $S(\infty) = 0$. Η γραφική παράσταση της $S(t)$ συναρτήσει του t είναι γνωστή ως καμπύλη επιβίωσης και είναι ιδιαίτερης σημασίας στην ανάλυση δεδομένων χρόνου επιβίωσης (Φωκιανός et al. 2010).

3.4. Συνάρτηση Κινδύνου

Η συνάρτηση κινδύνου, $h(t)$, ορίζεται ως η πιθανότητα αποβίωσης (ή μη πραγμάτωσης του γεγονότος που εξετάζεται) τη χρονική στιγμή t , δεδομένου ότι το άτομο έχει επιβιώσει μέχρι τη χρονική στιγμή t . Δηλαδή:

$$h(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T \leq t+s | T \geq t)}{s}$$

Η συνάρτηση κινδύνου δίνει ένα μέτρο του πόσο πιθανό είναι ένα άτομο να αποβιώσει ως συνάρτηση της ηλικίας του ατόμου. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η συνάρτηση κινδύνου (Φωκιανός et al. 2010).



Σχήμα 3-1. Απεικόνιση των συναρτήσεων κινδύνου $h(t)$, πυκνότητας $f(t)$, αθροιστικής κατανομής $F(t)$ και επιβίωσης $S(t)$ (Πηγή: Henser και Mannering, 1994)

3.5. Στατιστική εξάρτηση - Παλινδρόμηση

Αν θελήσουμε να περιγράψουμε τη σχέση μεταξύ των τιμών δύο ή περισσότερων μεταβλητών μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη στατιστική μέθοδο που ονομάζεται παλινδρόμηση (Regression). Αν παρατηρήσουμε τις τιμές δύο μεταβλητών, X (π.χ. ηλικία παιδιών) και Y (π.χ. ύψος παιδιών), μπορούμε να πραγματοποιήσουμε παλινδρόμηση του X στο Y . Ερευνούμε τη σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής Y που βασίζεται στην επεξηγηματική μεταβλητή X . Όταν πάνω από μια επεξηγηματικές μεταβλητές πρέπει να ληφθούν (π.χ. το ύψος του πατέρα), τότε η μέθοδος ονομάζεται πολλαπλή παλινδρόμηση (multiple regression).

Η μέθοδος του Cox είναι παρόμοια με την ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, αν εξαιρέσουμε ότι η εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι η συνάρτηση κινδύνου μια δεδομένη στιγμή. Αν έχουμε πολλές επεξηγηματικές μεταβλητές, τότε μπορούμε να εκφράσουμε τον κίνδυνο την χρονική στιγμή ως:

$$h(t) = h_0(t) x e^{(b_1 + b_2 + \dots + b_m)}$$

γίνεται λογαρίθμηση και στις δύο πλευρές της παράστασης:

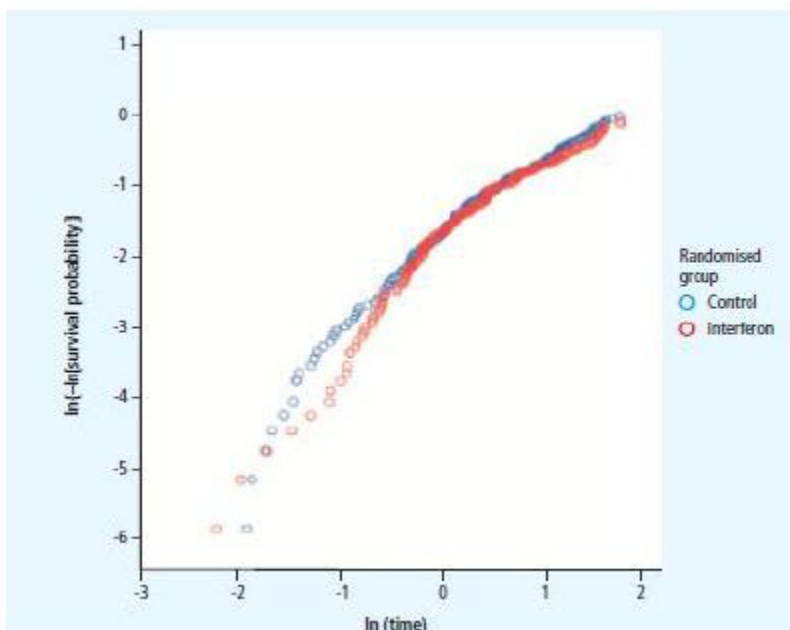
$$\ln h(t) = \ln h_0(t) + x e^{(b_1 + b_2 + \dots + b_m)}$$

Η $h_0(t)$ είναι η βασική γραμμή ή η υποκείμενη συνάρτηση κινδύνου και αντιστοιχεί στην πιθανότητα “αποτυχίας” (να συμβεί ένα γεγονός) όταν όλες οι επεξηγηματικές μεταβλητές είναι μηδέν. Η βασική γραμμή της συνάρτησης κινδύνου είναι ανάλογη της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων της κανονικής παλινδρόμησης.

Οι συντελεστές παλινδρόμησης b_i δίνουν την αναλογική αλλαγή που μπορεί να αναμένεται από τον κίνδυνο, σε συσχέτιση με τις αλλαγές στις επεξηγηματικές μεταβλητές. Υπολογίζονται με τη χρήση της στατιστικής μεθόδου που ονομάζεται

μέγιστη πιθανοφάνεια. Η υπόθεση για μια σταθερή σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των επεξηγηματικών μεταβλητών ονομάζεται αναλογικός κίνδυνος. Αυτό σημαίνει ότι οι συναρτήσεις κινδύνου για κάθε δύο περιπτώσεις οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι αναλογικές.

Ο έλεγχος υποθέσεων των αναλογικών κινδύνων είναι πιο άμεσος όταν συγκρίνουμε δύο ομάδες χωρίς μεταβλητές. Ο απλός έλεγχος είναι ο σχεδιασμός των καμπύλων επιβίωσης Kaplan-Meier. Αν τέμνονται, τότε οι υποθέσεις των αναλογικών κινδύνων παραβιάζονται. Για μικρά σύνολα δεδομένων, όπου μπορεί να συμπεριλαμβάνεται μεγάλο σφάλμα στις καμπύλες επιβίωσης, είναι πιθανό οι καμπύλες να τέμνονται, έστω υπό την υπόθεση των αναλογικών κινδύνων. Ένα ακριβέστερος έλεγχος βασίζεται στο συμπληρωματικό διάγραμμα log-log (βλ. Σχήμα 3-2).



Σχήμα 3-2. Συμπληρωματικό διάγραμμα log-log (Πηγή: Walters, 2009)

Με αυτή τη μέθοδο, ένα διάγραμμα του λογαρίθμου του αρνητικού λογαρίθμου της εκτιμημένης συνάρτησης επιβίωσης σε σύγκριση με το λογάριθμο του χρόνου

επιβίωσης θα παράγουν παράλληλες καμπύλες υπό την προϋπόθεση ότι οι κίνδυνοι είναι αναλογικοί για ολόκληρες τις ομάδες δεδομένων (Walters 2009).

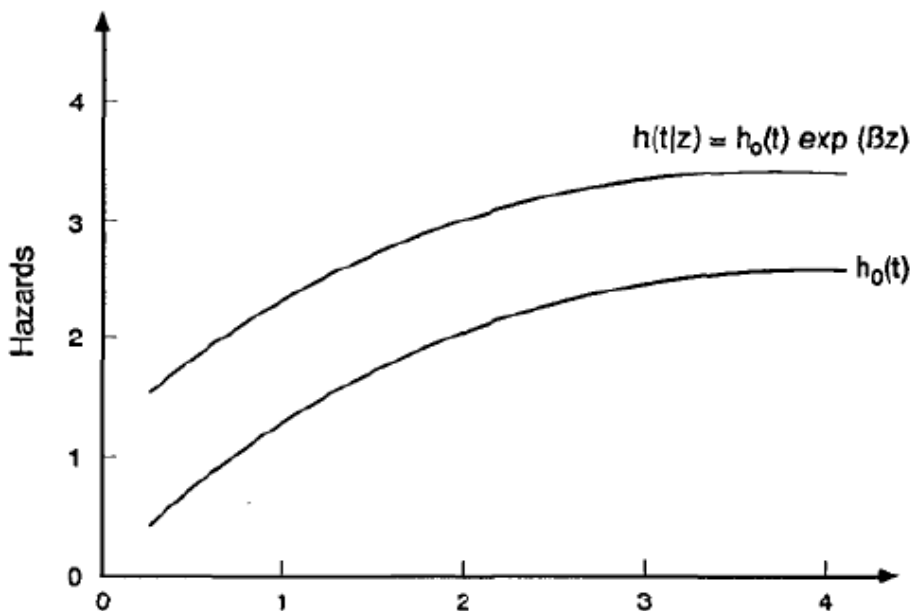
3.6. Μοντέλο αναλογικών συναρτήσεων κινδύνου

Τα μοντέλα αναλογικού κινδύνου είναι μια κατηγορία μοντέλων επιβίωσης στη στατιστική. Τα μοντέλα επιβίωσης συνδέουν τον χρόνο που περνά μέχρι ένα γεγονός να συμβεί με μια ή περισσότερες μεταβλητές που μπορεί να συνδέονται με αυτή τη ποσότητα (χρόνο). Στο Σχήμα 3-3 απεικονίζεται η συνάρτηση κινδύνου που προκύπτει από το μοντέλο αναλογικών κινδύνων.

Στην ανάλυση επιβίωσης παίζει μεγάλο ρόλο η εξεύρεση παραγόντων που σχετίζονται με το χρόνο επιβίωσης. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο που χρησιμοποιείται για τη σχετική ανάλυση των δεδομένων. Αφού η συνάρτηση κινδύνου είναι μη αρνητική, ο λογάριθμός της μπορεί να εκφραστεί ως γραμμική συνάρτηση επεξηγηματικών μεταβλητών.

$$\ln h(t) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

Το μοντέλο αυτό είναι πολύ περιοριστικό αφού υποθέτει ότι η συνάρτηση κινδύνου δεν εξαρτάται από το χρόνο. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι με τις οποίες το μοντέλο θα μπορούσε να υιοθετήσει την εξάρτηση του χρόνου, με τη πιο γνωστή να είναι το μοντέλο αναλογικών συναρτήσεων κινδύνου (Cox, 1972).



Σχήμα 3-3. Απεικόνιση της συνάρτησης κινδύνου που προκύπτει από το μοντέλο αναλογικών κινδύνων (Πηγή: Hensher and Mannering, 1994)

3.7. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε μη παραμετρική μορφή

Σύμφωνα με το μοντέλο αναλογικών κινδύνων, ο ρυθμός αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) ενός συστήματος επηρεάζεται όχι μόνο από τους χρόνους λειτουργίας αλλά και από τις μεταβλητές σύμφωνα με τις οποίες λειτουργεί.

Ο στιγμιαίος ρυθμός αποτυχίας δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

όπου:

$f(t)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

$R(t)$ είναι η συνάρτηση αξιοπιστίας

Να σημειωθεί ότι για την περίπτωση του ρυθμού αποτυχίας μιας μονάδας που εξαρτάται όχι μόνο από το χρόνο αλλά και από άλλες μεταβλητές, η παραπάνω εξίσωση πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε να αποτελεί συνάρτηση του χρόνου και των μεταβλητών.

Τα μοντέλα αναλογικών κινδύνων υποθέτουν ότι ο ρυθμός αποτυχίας μιας μονάδας είναι αποτέλεσμα των παρακάτω:

- μιας αυθαίρετης και απροσδιόριστης βασικής γραμμής του ρυθμού αποτυχίας, $\lambda_0(t)$, που είναι συνάρτηση μόνο του χρόνου
- μια θετική συνάρτηση $g(xA)$, ανεξάρτητη του χρόνου, η οποία ενσωματώνει την επιρροή των μεταβλητών.

Ο ρυθμός αποτυχίας μια μονάδας δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\lambda(t, \underline{X}) = \lambda_0(t) \cdot g(\underline{X}, \underline{A})$$

Όπου X είναι διάνυσμα σειράς που συνίσταται από τις ακόλουθες μεταβλητές:

$$\underline{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

A είναι διάνυσμα στήλης που συνίσταται από τις μη γνωστές παραμέτρους (παραμέτροι στατιστικής εξάρτησης) του μοντέλου:

$$\underline{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$$

Όπου m είναι ο αριθμός των μεταβλητών που είναι ανεξάρτητες του χρόνου.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι η μορφή της $g(x_A)$ είναι γνωστή και το $\lambda_0(t)$ είναι αδιευκρίνιστο. Διαφορετικές μορφές του $g(x_A)$ μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όμως αυτή που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η ακόλουθη εκθετική μορφή εξαιτίας της απλότητας της:

$$g(\underline{X}, \underline{A}) = e^{\underline{A}^T \underline{X}^T} = e^{\sum_{j=1}^m a_j x_j}$$

Ο ρυθμός αποτυχίας μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\lambda(t, \underline{X}) = \lambda_0(t) \cdot e^{\sum_{j=1}^m a_j x_j}$$

3.8. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε παραμετρική μορφή

Η παραμετρική μορφή του μοντέλου αναλογικών κινδύνων μπορεί να αποκτηθεί υποθέτοντας υποκειμενική κατανομή. Χρησιμοποιούμε την κατανομή Weibull για την κατασκευή του παραμετρικού μοντέλου αναλογικών κινδύνων. Η εκθετική κατανομή μπορεί εύκολα να προκύψει από την εξίσωση Weibull, απλώς θέτοντας $\beta = 1$. Υποθέτεται δηλαδή ότι η βασική γραμμή του ρυθμού αποτυχίας στην εξίσωση είναι παραμετρική και δίνεται από την κατανομή Weibull. Σε αυτή την περίπτωση, η βασική γραμμή του ρυθμού αποτυχίας δίνεται από την εξής σχέση:

$$\lambda_0(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

και ο ρυθμός αποτυχίας του αναλογικού κινδύνου παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\lambda_0(t, \underline{X}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{\sum_{j=1}^m a_j x_j}$$

(να σημειωθεί ότι η είναι η βασική γραμμή της Weibull παραμέτρου κλίμακας, αλλά όχι η παράμετρος κλίμακας των αναλογικών κινδύνων).

Συχνά είναι πιο βολικό να θεωρείται μια επιπλέον μεταβλητή, $x_0 = 1$, έτσι ώστε να επιτρέπει στην παράμετρο κλίμακας Weibull προσαρμοσμένη στην βήτα παράμετρο να συμπεριλαμβάνεται στο διάνυσμα των συντελεστών παλινδρόμησης. Ο ρυθμός αποτυχίας του αναλογικού κινδύνου μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\lambda(t, \underline{X}) = \beta \cdot t^{\beta-1} \cdot e^{\sum_{j=0}^m a_j x_j}$$

Η συνάρτηση αξιοπιστίας του αναλογικού κινδύνου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} R(t, \underline{X}) &= e^{-\int_0^t \lambda(u) du} \\ &= e^{-\int_0^t \lambda(u, \underline{X}) du} \\ &= e^{-t^\beta \cdot e^{\sum_{j=0}^m a_j x_j}} \end{aligned}$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μπορεί να κατασκευαστεί παίρνοντας τη μερική παράγωγο ως προς το χρόνο της συνάρτησης αξιοπιστίας που δίνεται παραπάνω. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του αναλογικού κινδύνου είναι η ακόλουθη:

$$\begin{aligned} f(t, \underline{X}) &= \lambda(t, \underline{X}) \cdot R(t, \underline{X}) \\ &= \beta \cdot t^{\beta-1} e^{[\sum_{j=0}^m a_j x_j - t^\beta \cdot e^{\sum_{j=0}^m a_j x_j}]} \end{aligned}$$

Ο συνολικός αριθμός των αγνώστων στο μοντέλο είναι $m+2$.

Η μέθοδος εκτίμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό αυτών των παραμέτρων.

Η συνάρτηση της λογαριθμικής πιθανοφάνειας μπορεί να δοθεί από την ακόλουθη:

$$\ln(L) = \Lambda = \sum_{i=0}^{FI} N_i \ln(\beta \cdot T_i^{\beta-1} e^{-T_i^\beta \cdot e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}}}) e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}} \\ - \sum_{i=1}^S N_i' (T_i')^\beta e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}} + \sum_{i=1}^{FI} N_i'' \ln [R_{Li}'' - R_{Ri}'']$$

Όπου

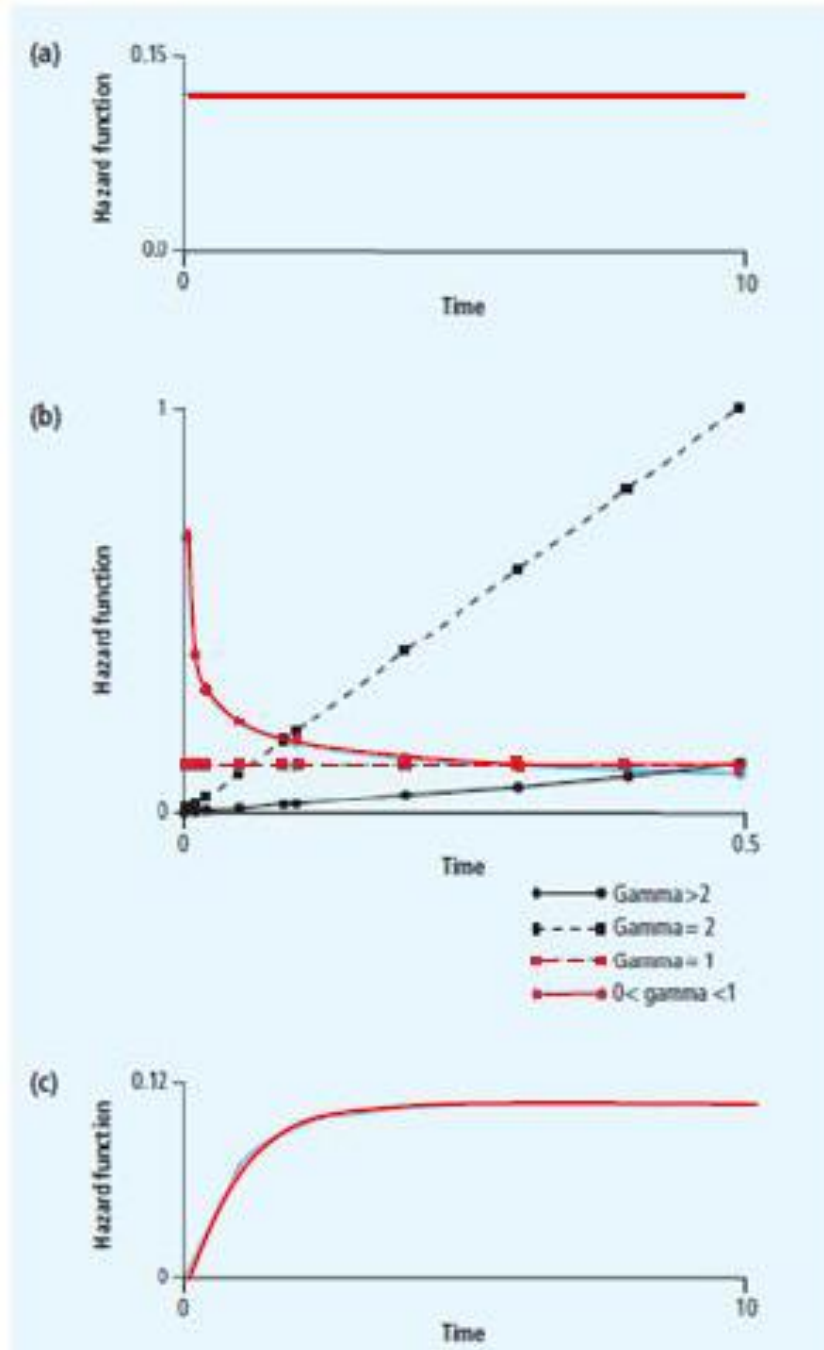
$$R_{Li}'' = e^{-T_{Li}^\beta} e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}}$$

$$R_{Ri}'' = e^{-T_{Ri}^\beta} e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}}$$

Λύνοντας για τις παραμέτρους που μεγιστοποιούν τη συνάρτηση λογαριθμικής πιθανοφάνειας προκύπτουν οι παράμετροι για το μοντέλο αναλογικών κινδύνων-Weibull. Να σημειωθεί ότι για $\beta = 1$, η συνάρτηση λογαριθμικής πιθανοφάνειας γίνεται συνάρτηση πιθανοφάνειας για το αναλογικών κινδύνων-εκθετικό μοντέλο, που είναι παρόμοιο με το μοντέλο αναλογικών κινδύνων που πρότεινε ο Cox (1972).

3.9. Παραδείγματα πλήρως παραμετρικών μοντέλων

Ένα πλήρως παραμετρικό μοντέλο αναλογικών κινδύνων θέτει υποθέσεις αλλά παράλληλα υποθέτει και τη βασική γραμμή της συνάρτησης κινδύνου, $h_0(t)$, και μπορεί να χρησιμοποιήσει παραμέτρους ενός συγκεκριμένου μοντέλου για την κατανομή των χρόνων επιβίωσης. Οι κατανομές του χρόνου επιβίωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόν τον σκοπό είναι κυρίως η εκθετική, η Weibull και η Gompertz, όπως φαίνονται στο σχήμα 3-4.



Σχήμα 3-4. Παραδείγματα συναρτήσεων κινδύνου για το χρόνο (α) εκθετική κατανομή, (β) κατανομή Weibull, (γ) κατανομή Gompertz (Πηγή: Walters, 2009)

Το πιο απλό μοντέλο για τη συνάρτηση κινδύνου προκύπτει αν υποθεθεί ότι είναι σταθερά πάνω από το χρόνο. Ο κίνδυνος να συμβεί ένα γεγονός έπειτα από την έναρξη της μελέτης είναι ο ίδιος, ανεξαρτήτως του χρόνου που περνάει, και η υπόθεση μιας σταθερής συνάρτησης κινδύνου (ή αντίστοιχα εκθετικά κατανομημένοι χρόνοι επιβίωσης) είναι σπάνια λογική.

Μια γενικότερη μορφή για τη συνάρτηση κινδύνου ονομάζεται κατανομή Weibull. Το σχήμα της συνάρτησης κινδύνου Weibull εξαρτάται επικίνδυνα από την παράμετρο σχήματος, που συνήθως συμβολίζεται ως γ . Αφού η συνάρτηση κινδύνου Weibull μπορεί να πάρει διάφορες μορφές εξαρτώμενη από την παράμετρο σχήματος γ , αυτή η παραμετρική ανάλυση χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση δεδομένων επιβίωσης.

Όταν ο κίνδυνος να συμβεί ένα γεγονός αναμένεται να αυξάνεται ή να μειώνεται με το χρόνο στο άμεσο μέλλον και μετά να σταθεροποιείται, μια συνάρτηση κινδύνου που ακολουθεί κατανομή Gompertz μπορεί να είναι κατάλληλη. Διαφορετικές κατανομές υποδηλώνουν και διαφορετικά σχήματα για τη συνάρτηση κινδύνου, και στην πράξη η κατανομή που περιγράφει καλύτερα τη συναρτησιακή μορφή της παρατηρούμενης συνάρτησης κινδύνου επιλέγεται (Walters 2009) όπως φαίνεται στο σχήμα 3-4.

Μια οικογένεια πλήρως παραμετρικών μοντέλων που προσαρμόζουν ευθέως την πολυπλοκότητα της επιρροής των επεξηγηματικών μεταβλητών στους χρόνους επιβίωσης, και άρα δεν χρειάζεται να βασίζονται στους αναλογικούς κινδύνους, ονομάζονται μοντέλα επιταχυνόμενου χρόνου αποτυχίας.

3.10. Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox

Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox (Cox's proportional hazards model/ Cox regression) θεωρείται μια ημι-παραμετρική διαδικασία, καθώς η βασική γραμμή της συνάρτησης κινδύνου, $h_0(t)$, και η κατανομή πιθανοτήτων των χρόνων επιβίωσης δεν χρειάζεται να προσδιοριστούν. Αφού η βασική γραμμή των αναλογικών κινδύνων δεν προσδιορίζεται, μια διαφορετική παράμετρος χρησιμοποιείται για κάθε χρόνο

επιβίωσης. Επειδή η συνάρτηση κινδύνου δεν είναι περιορισμένη σε μια συγκεκριμένη μορφή, το ημιπαραμετρικό μοντέλο έχει μια σχετική ευελιξία και χρησιμοποιείται εκτενώς.

Παρ' όλα αυτά, αν η υπόθεση μιας συγκεκριμένης κατανομής πιθανοτήτων για τα δεδομένα είναι έγκυρη, τα συμπεράσματα που βασίζονται σε αυτή την υπόθεση είναι πιο ακριβή. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα της αναλογίας κινδύνου θα περιλαμβάνουν μικρότερα σφάλματα και θα περιορίζουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης.

Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox ή απλούστερα το μοντέλο του Cox αποτελεί μια γενικότερη μέθοδο ανάλυσης της επιβίωσης, στην οποία ενδεχομένως να συμπεριλαμβάνονται περισσότεροι από έναν προσδιοριστές.

Το μοντέλο του Cox αποτελεί μια στατιστική τεχνική για την εξεύρεση της σχέσης μεταξύ της επιβίωσης ενός γεγονότος και διαφόρων προσδιοριστικών μεταβλητών. Το μοντέλο του Cox είναι χρήσιμο στη μοντελοποίηση του χρόνου ενός συγκεκριμένου γεγονότος βασιζόμενη στην τιμή μιας συγκεκριμένης μεταβλητής. Στο συγκεκριμένο μοντέλο εκτιμάται ο συντελεστής μιας επεξηγηματικής μεταβλητής.

Το μοντέλο του Cox είναι βασισμένο σε μια προσέγγιση μοντέλων για την ανάλυση των δεδομένων επιβίωσης. Ο σκοπός του είναι να ερευνήσει ταυτόχρονα τις συνέπειες διαφόρων μεταβλητών στην επιβίωση.

Το μοντέλο αυτό δίνεται από τη σχέση:

$$\ln h(t) = \alpha(t) + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

όπου $\alpha(t)$ είναι οποιαδήποτε συνάρτηση του χρόνου. Ο όρος “ανάλογων συναρτήσεων κινδύνου” είναι λόγω του γεγονότος ότι για οποιαδήποτε άτομα για οποιοδήποτε σημείο του χρόνου, ο λόγος των συναρτήσεων κινδύνου είναι σταθερός. Εξαιτίας του

ότι η συνάρτηση κινδύνου $\alpha(t)$ δεν είναι ανάγκη να ορισθεί εξ ολοκλήρου, το μοντέλο ανάλογων συναρτήσεων κινδύνου θεωρείται ημι-παραμετρικό.

Ο Cox εισήγαγε μια μέθοδο δέσμευσης πιθανοφάνειας για εκτίμηση των παραμέτρων. Το σημαντικό στοιχείο αυτής της μεθόδου είναι ότι οι εκτιμήσεις εξαρτώνται από τη σειρά με την οποία συμβαίνει το γεγονός και όχι από τον ακριβή χρόνο.

4. Συλλογή, Επεξεργασία και Ανάλυση βάσης δεδομένων

4.1. Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των οδηγών μέσω των διαγνωστικών στοιχείων του οχήματος τα οποία καταγράφονται με κατάλληλη συσκευή συνδεδεμένη με το όχημα, εξάγονται σε ηλεκτρονικό προσωπικό υπολογιστή και, στη συνέχεια, επεξεργάζονται με το Microsoft Excel ώστε να εισαχθούν στο στατιστικό μοντέλο STATA.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας και κωδικοποίησης των στοιχείων στο πρόγραμμα Microsoft Excel και στη συνέχεια η ανάλυσή τους στο πρόγραμμα Stata.

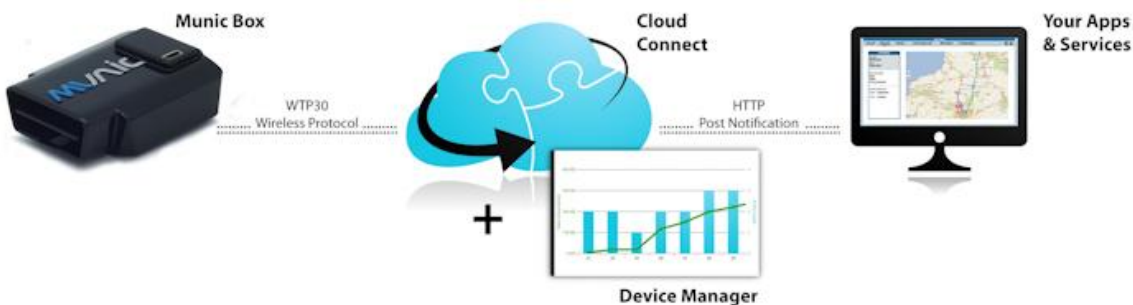
4.2. Συλλογή στοιχείων

Τα στοιχεία τα οποία απαιτούνται στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας για τη διερεύνηση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των οδηγών συλλέγονται με μία συσκευή που βρίσκεται εντός του οχήματος και είναι συνδεδεμένη με την κεντρική ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Η συσκευή αυτή (βλ. Εικόνα 4-1) έχει διαστάσεις 27 x 48 x 49.5 cm, λειτουργεί σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας περιβάλλοντος (-20/+60 °C), έχει μνήμη 64 Mbytes και διαθέτει ενσωματωμένα GPS και επιταχυνσιογράφο. Η συσκευή, χρησιμοποιώντας την ασύρματη τηλεματική, δίνει τη δυνατότητα άμεσης μεταφοράς των στοιχείων τα οποία καταγράφει σε ηλεκτρονικές συσκευές όπως το κινητό ή ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η διαδικασία αυτή της μεταφοράς φαίνεται στην Εικόνα 4-1. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη συσκευή μπορεί να βρει στην ακόλουθη διεύθυνση https://www.munic.io/documentations/get_started.

Ειδικότερα, η μεταφορά των δεδομένων γίνεται ως εξής: Η συσκευή munic.box, η οποία όπως προαναφέρθηκε είναι ενσωματωμένη στο όχημα συνδέεται ασύρματα με ένα χώρο αποθήκευσης δεδομένων στο διαδίκτυο (Cloud Connect) στην οποία ο

ενδιαφερόμενος χρήστης αποκτά πρόσβαση μέσω δημιουργίας λογαριασμού. Η μεταφορά των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω ενός προηγμένου πρωτοκόλλου το οποίο δίνει τη δυνατότητα συνεχούς real - time μεταφοράς των δεδομένων, συμπίεσης όλων των αρχείων και εύκολης διαχείρισης τους.

Παρόλο που στη σημερινή εποχή κάθε όχημα έχει ένα ενσωματωμένο ένα περίπλοκο σύστημα δικτύων (OBD - On Board Diagnostics), δηλ. ένα σύστημα το οποίο παρέχει στοιχεία σχετικά με το όχημα, όπως για τους αερόσακους, τις ζώνες ασφαλείας, τους εκπνεόμενους ρύπους, τη στιγμιαία κατανάλωση καυσίμων, κτλ. η συγκεκριμένη συσκευή υπερτερεί καθόσον παρέχει τη δυνατότητα άμεσης αποθήκευσης των στοιχείων που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή συμπεριφορά τα οποία είναι εύκολα και άμεσα επεξεργάσιμα.



Εικόνα 4-1: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας συστήματος καταγραφής και μεταφοράς δεδομένων από τη συσκευή munic.box σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (https://www.munic.io/documentations/how_it_works#toc_2)

4.3. Επεξεργασία Στοιχείων και Διαμόρφωση Βάσης Δεδομένων

Η συσκευή καταγράφει μια ευρεία γκάμα δεδομένων με συχνότητα δευτερολέπτου κάθε φορά που ο οδηγός χρησιμοποιεί το όχημα, με παράλληλη καταγραφή της ημερομηνίας. Η ενσωματωμένη στο όχημα συσκευή συνδέεται στο cloud και από εκεί τα δεδομένα στέλνονται στην προσωπική ηλεκτρονική συσκευή (π.χ. Η/Υ) με τη

μορφή αρχείων csv. Τα αρχεία με την επέκταση .csv είναι αρχεία με μορφή πίνακα. Πρόκειται για αρχεία τα οποία περιέχουν δεδομένα τα οποία χωρίζονται με κόμμα. Τα αρχεία με τα δεδομένα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποθηκεύτηκαν στον υπολογιστή και, στη συνέχεια, για την ευχερέστερη επεξεργασία τους μετατράπηκαν σε αρχεία με επέκταση .xls, δηλ. αρχεία Excel.

Τα στοιχεία αποθηκεύονταν σε αρχεία ανά ημέρα, τα οποία περιελάμβαναν στοιχεία όπως η ταχύτητα, οι συντεταγμένες, η ώρα και η ημέρα οδήγησης, η κατανάλωση καυσίμων, η κατάσταση μπαταρίας οχήματος, απόσταση, κτλ. Το σημαντικότερο από τα στοιχεία αυτά που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική είναι η καταγραφή κάποιου γεγονότος (event). Ως event ορίζεται η στιγμή κατά την οποία ο οδηγός προβαίνει σε κάποια απότομη αλλαγή ταχύτητας, δηλ. σημειώνεται απότομη επιτάχυνση ή απότομη επιβράδυνση (φρενάρισμα) ή πραγματοποιεί κάποιον απότομο ελιγμό (δεξιά ή αριστερή στροφή - πλευρική επιτάχυνση). Στην περίπτωση καταγραφής ενός γεγονότος κατά τη διάρκεια οδήγησης, η συσκευή καταγράφει επιπλέον την τιμή της επιτάχυνσης (ή επιβράδυνσης).

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει στοιχεία για:

- Χρονική Περίοδο Μελέτης: Τα στοιχεία αφορούν στο χρονικό διάστημα 9/1/2015 -14/3/2016.
- Αριθμός Οδηγών: Το δείγμα αποτελείται από 19 άτομα κάθε ένας από τους οποίους συμβολίζεται με διαφορετικό όνομα.

Τα στοιχεία που περιέχει η βάση δεδομένων (αφορά στα στοιχεία που καταγράφονται από τη συσκευή και χρησιμοποιούνται στην παρούσα Διπλωματική εργασία) είναι τα ακόλουθα:

- BEHAVE_ID, Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές 10-13 και δείχνει αν έχει πραγματοποιηθεί κάποιο συμβάν κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Ως συμβάν

ορίζεται η απότομη επιτάχυνση (10), η απότομη επιβράδυνση (11), η αριστερή στροφή (12) και η δεξιά στροφή (13).

- BEHAVE_GPS_SPEED_BEGIN, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της ταχύτητας GPS στην αρχή του συμβάντος σε 1/1000th κόμβους.
- BEHAVE_GPS_SPEED_PEAK, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της ταχύτητας GPS στην «κορυφή» του συμβάντος σε 1/1000th κόμβους.
- BEHAVE_GPS_SPEED_END, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της ταχύτητας GPS στο τέλος του συμβάντος σε 1/1000th κόμβους.
- BEHAVE_ACC_X_BEGIN, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της επιτάχυνσης κατά X στην αρχή του συμβάντος σε mG.
- BEHAVE_ACC_X_PEAK, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της επιτάχυνσης κατά X στην «κορυφή» του συμβάντος σε mG.
- BEHAVE_ACC_X_END, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της επιτάχυνσης κατά X στο τέλος του συμβάντος σε mG.
- BEHAVE_ACC_Y_BEGIN, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της επιτάχυνσης κατά Y στην αρχή του συμβάντος σε mG.
- BEHAVE_ACC_Y_PEAK, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της επιτάχυνσης κατά Y στην «κορυφή» του συμβάντος σε mG.
- BEHAVE_ACC_Y_END, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της επιτάχυνσης κατά Y στο τέλος του συμβάντος σε mG.

- BEHAVE_ELAPSED, Η μεταβλητή αυτή δίνει την τιμή της διάρκειας του συμβάντος σε ms.
- BEHAVE_UNIQUE_ID: Η μεταβλητή αυτή δίνει - καταγράφει το μοναδικό αριθμό id ανά περίοδο καταγραφής γεγονότος.

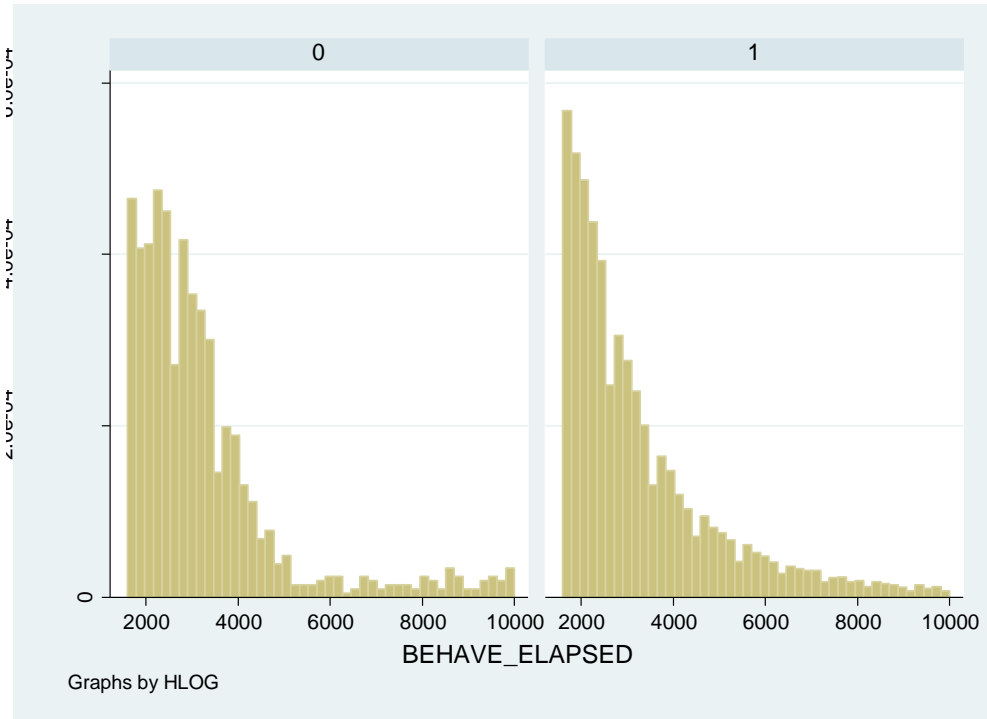
Τα στοιχεία της αρχικής βάσης δεδομένων που προέκυψαν από την εξαγωγή των στοιχείων από τη συσκευή munic.box επεξεργάστηκαν στο excel πριν από την εισαγωγή τους στο Στατιστικό Πρόγραμμα Stata. Ειδικότερα, κωδικοποιήθηκαν τα δεδομένα σε 8 κατηγορίες (SPEEDlevel, NIGHT, RAIN, WEEKEND, Riskyh, WorkingDay, HLOG, carstoped) και υπολογίστηκαν 7 νέες μεταβλητές (speeddiff, speeddiffall, speedifendstr, embadonX, embadonY, INTENSITY και absIntensity). Πιο αναλυτικά:

- SPEEDlevel, Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές 0 ή 1. Η μεταβλητή παίρνει την τιμή 1 όταν η μεταβλητή BEHAVE_GPS_SPEED_BEGIN παίρνει τιμή μεγαλύτερη από 45m/hr.
- NIGHT, Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές 0 ή 1. Η μεταβλητή παίρνει την τιμή 0 για οδήγηση κατά τις ακόλουθες ώρες: 00.00 - 04.00 και τιμή 1 για οδήγηση κατά την υπόλοιπη διάρκεια του 24ωρου.
- RAIN, Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές 0 ή 1. Η μεταβλητή παίρνει την τιμή 0 για οδήγηση χωρίς βροχή και 1 για οδήγηση σε συνθήκες βροχής. Για τον εντοπισμό των ημερών που σημειώθηκε βροχόπτωση χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- WEEKEND, Η μεταβλητή αυτή δείχνει την ημέρα της εβδομάδας κατά την οποία έγινε η οδήγηση και παίρνει τιμές 1-7. Η τιμή 1 αντιστοιχεί στην Κυριακή, η τιμή 2 στη Δευτέρα, η τιμή 3 στην Τρίτη, κτλ.

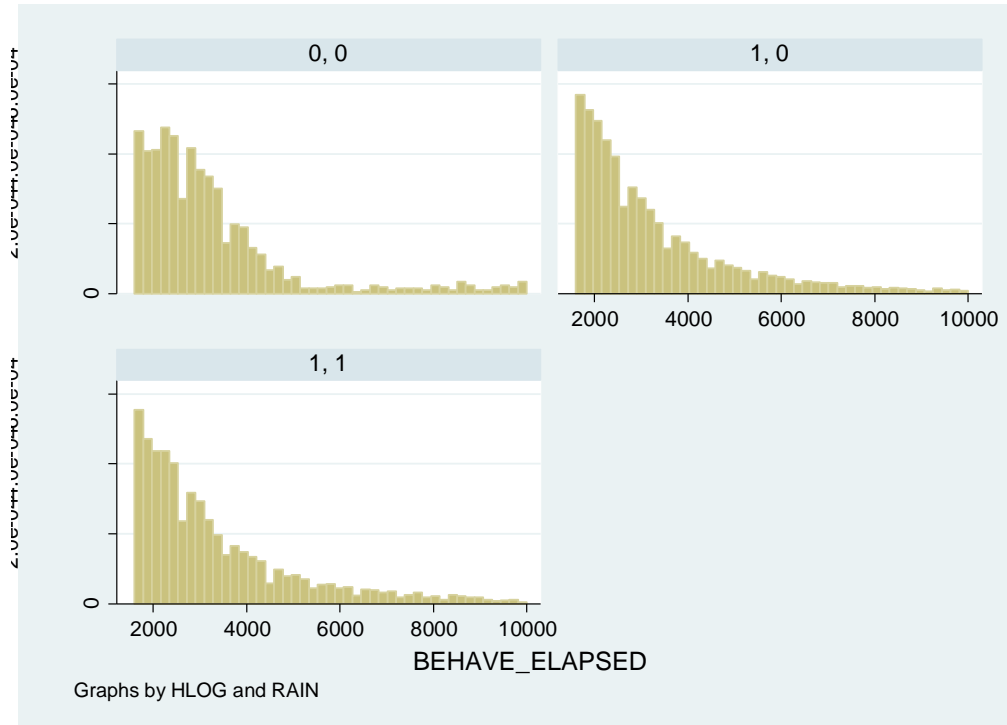
- WorkingDay, Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμή 0 ή 1 και δείχνει αν η οδήγηση έγινε το Σαββατοκύριακο ή εργάσιμη ημέρα. Για Σαββατοκύριακο παίρνει την τιμή 0 και για εργάσιμη ημέρα την τιμή 1.
- HLOG. Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμή 0 ή 1 και δείχνει τα ακραία συμβάντα στον διαμήκη άξονα (1: ακραία επιτάχυνση/επιβράδυνση, 0: κανονική οδήγηση).
- carstoped. Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμή 0 ή 1 και δείχνει αν το αυτοκίνητο έχει σταματήσει να κινείται. Παίρνει τιμή 1 όταν η μεταβλητή BEHAVE_GPS_SPEED_END είναι ίση με 0, δηλ. όταν το αυτοκίνητο δεν κινείται, και τιμή 0 για όλες τις υπόλοιπες τιμές.
- speeddiff. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζει τη μεταβολή της ταχύτητας μεταξύ της «κορυφής» - peak του συμβάντος και της έναρξης του συμβάντος, δηλ. υπολογίζεται από τον τύπο:
 - $(\text{BEHAVE_GPS_SPEED_PEAK} - \text{BEHAVE_GPS_SPEED_BEGIN}) /$
 - $\text{BEHAVE_GPS_SPEED_BEGIN}$
- speeddiffall. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζει τη μεταβολή της ταχύτητας μεταξύ της λήξης και της «κορυφής» - peak του συμβάντος, δηλ. υπολογίζεται από τον τύπο:
 - $(\text{BEHAVE_GPS_SPEED_END} - \text{BEHAVE_GPS_SPEED_PEAK}) /$
 - $\text{BEHAVE_GPS_SPEED_PEAK}$
- speedifendstr. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζει τη μεταβολή της ταχύτητας μεταξύ της λήξης και της έναρξης του συμβάντος, δηλ. υπολογίζεται από τον τύπο:
 - $(\text{BEHAVE_GPS_SPEED_END} - \text{BEHAVE_GPS_SPEED_BEGIN}) /$
 - $\text{BEHAVE_GPS_SPEED_BEGIN}$.

- embadonX. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζει το ακόλουθο γινόμενο:
 $ABS(BEHAVE_ELAPSED * BEHAVE_ACC_X_PEAK)/2$
- embadonY. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζει το ακόλουθο γινόμενο:
 $ABS(BEHAVE_ELAPSED * BEHAVE_ACC_Y_PEAK)/2$
- Η ένταση του ακραίου συμβάντος. Υπολογίζεται από την τιμή της επιτάχυνσης.

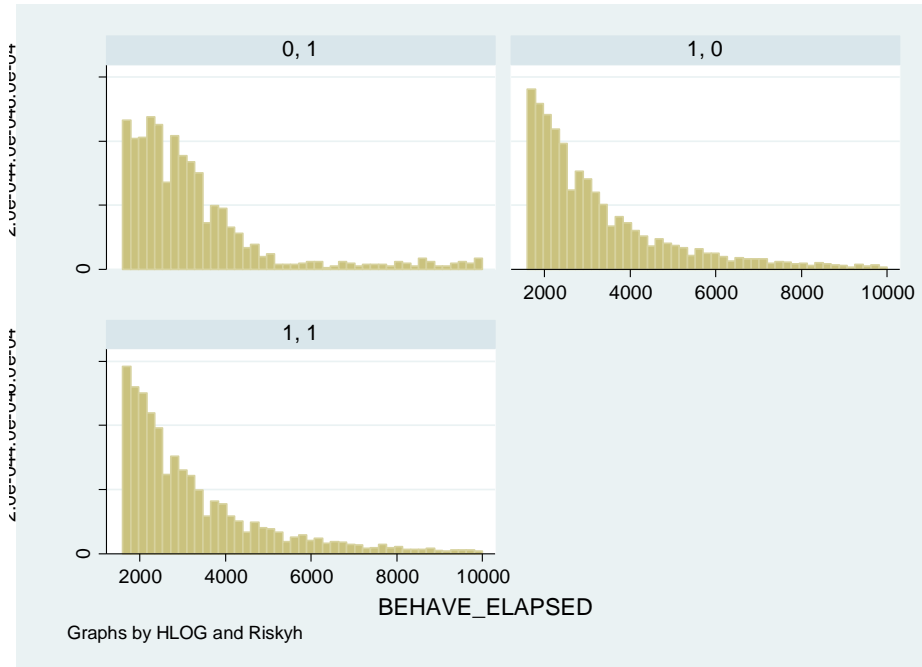
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα κατανομής διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβραδύνση (1) και στρέφουσες κινήσεις) με διάφορες μεταβλητές (Διαγράμματα 4.1 - 4.6). Είναι εμφανής η εξάρτηση των διαρκειών των συμβάντων με την μέση ταχύτητα και τον τύπο του οδηγού. Ακόμα, φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση με τις καιρικές συνθήκες και το αν το ταξίδι έχει πραγματοποιηθεί ημέρα ή νύχτα.



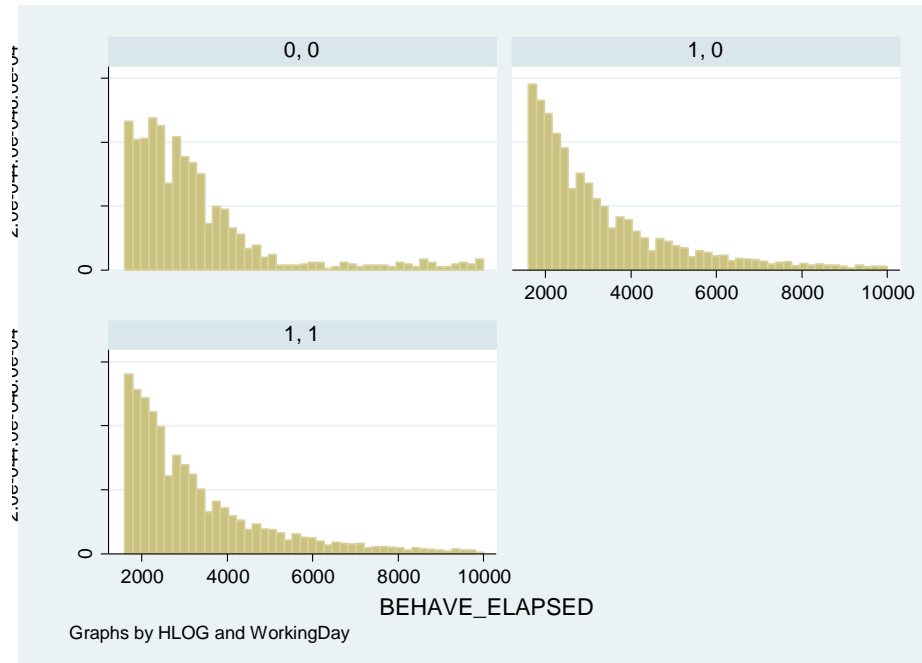
Διάγραμμα 4-1. Κατανομή διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβραδύνηση (1) και στρέφουσες κινήσεις).



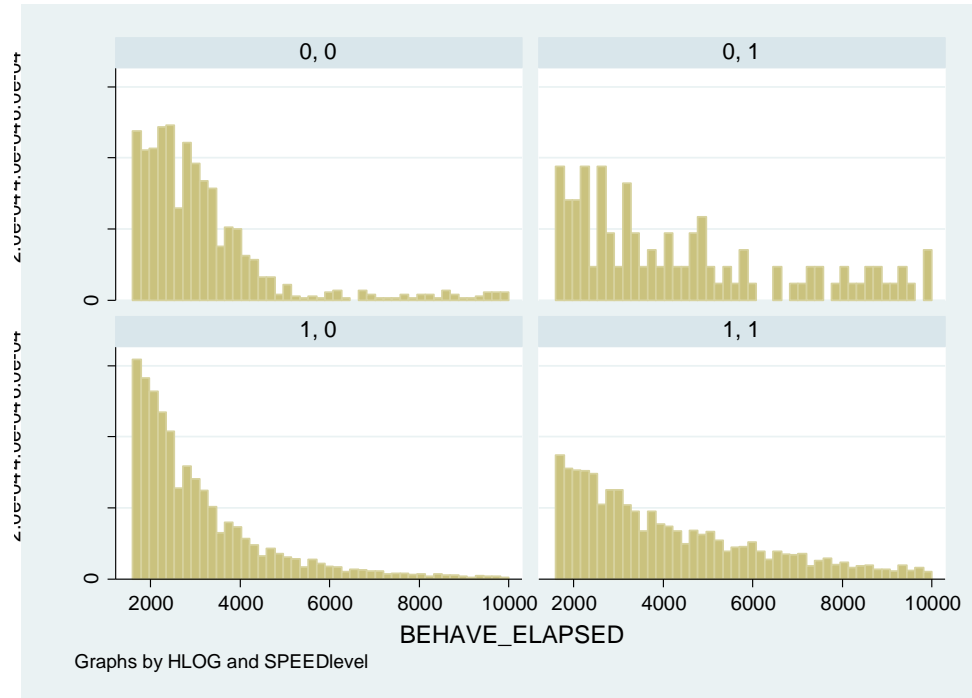
Διάγραμμα 4-2. Κατανομή διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβράδυνση (1) και στρέφουσες κινήσεις) με (1) και χωρίς βροχή (0).



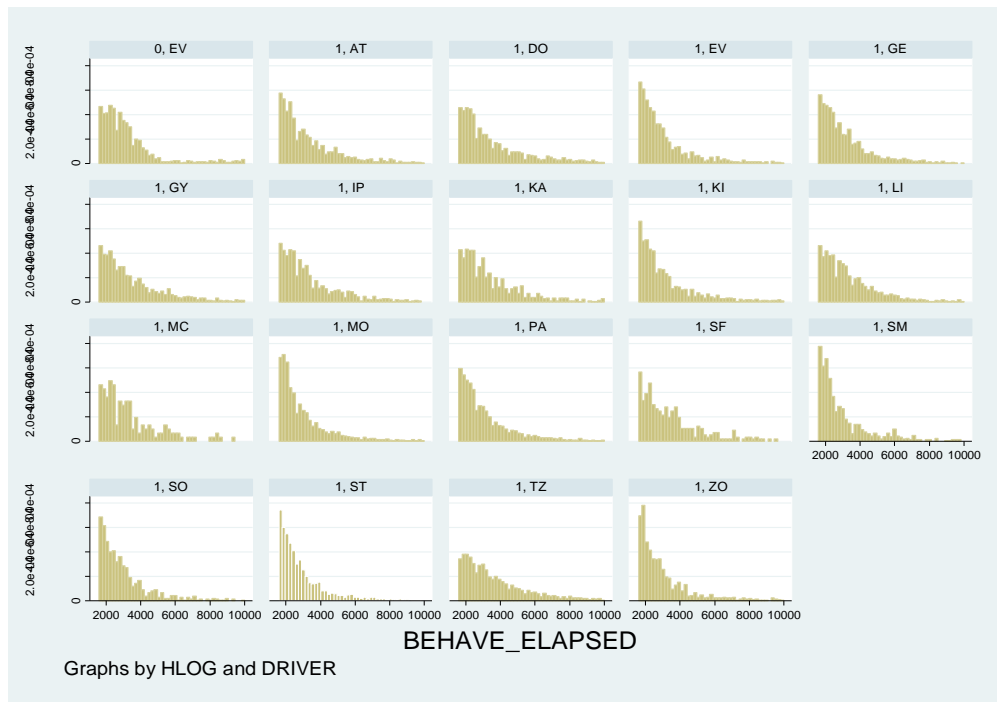
Διάγραμμα 4-3. Κατανομή διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβράδυνση (1) και στρέφουσες κινήσεις) εντός (1) και εκτός περιόδου νυχτερινής οδήγησης (0).



Διάγραμμα 4-4. Κατανομή διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβράδυνση (1) και στρέφουσες κινήσεις) καθημερινές (1) και Σαββατοκύριακα (0).



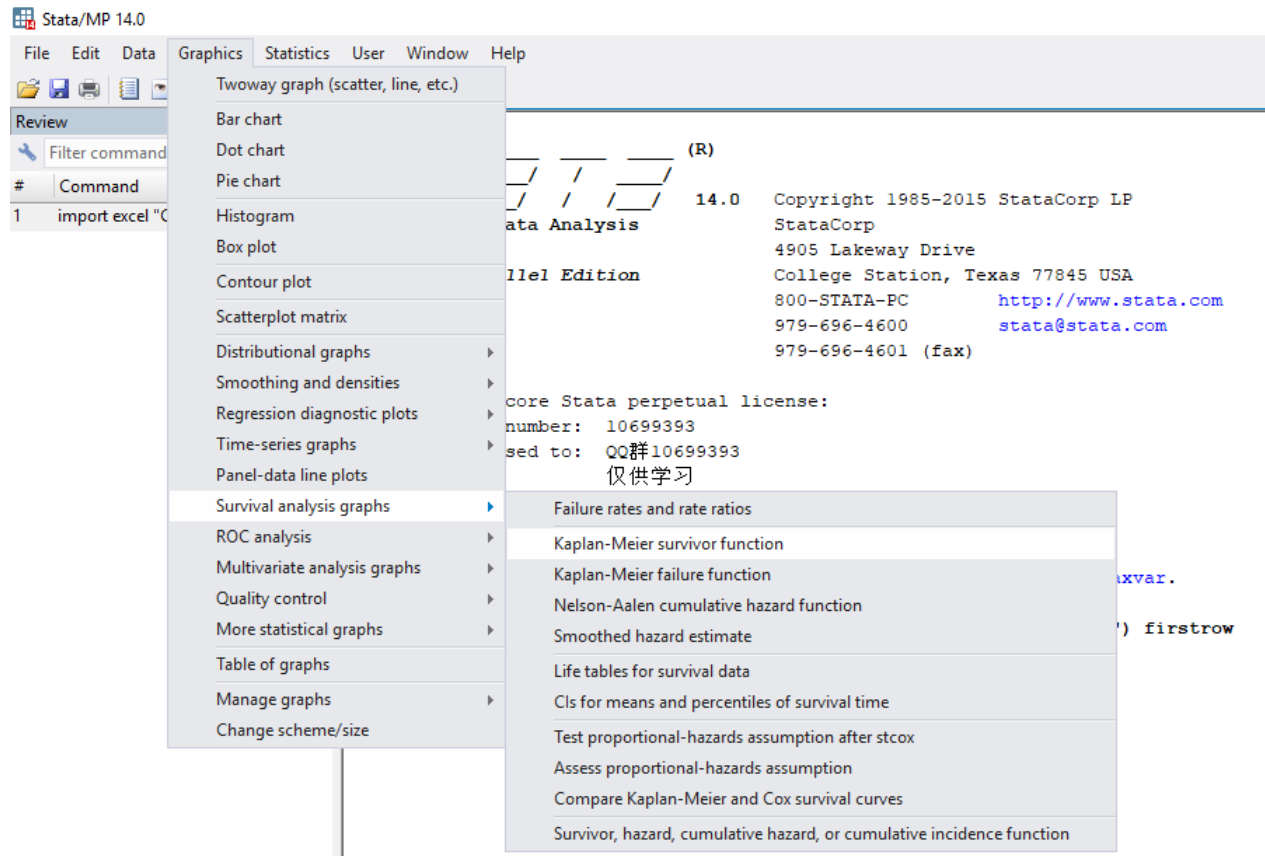
Διάγραμμα 4-5. Κατανομή διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβραδύνηση (1) και στρέφουσες κινήσεις) ανάλογα με το επίπεδο μέσης ταχύτητας ανά διαδρομή.



Διάγραμμα 4-6. Κατανομή διάρκειας συμβάντος ανά τύπο γεγονότος (απότομη επιτάχυνση/επιβραδύνηση (1) και στρέφουσες κινήσεις) ανά οδηγό.

4.4. Εισαγωγή δεδομένων στο ειδικό στατιστικό πρόγραμμα STATA

Μετά τη διαμόρφωση της βάσης δεδομένων εισήχθη στο πεδίο δεδομένων (data view) του ειδικού λογισμικού στατιστικής ανάλυσης Stata 14.0, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-2.



Εικόνα 4-2: Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο Stata 14.0

4.5. Ανάπτυξη και Εφαρμογή Μοντέλων

Με στόχο τη διερεύνηση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των οδηγών χρησιμοποιήθηκαν ως εξαρτημένες μεταβλητές τα παρακάτω δεδομένα: i. Απότομη Δεξιά Στροφή (Sudden Right Turn) ii. Απότομη Αριστερή Στροφή (Sudden Left Turn) iii. Απότομη επιβράδυνση (Sudden Deceleration) iv. Απότομη Επιτάχυνση (Sudden Acceleration).

Οι μεταβλητές αυτές είναι διακριτές και λαμβάνουν μόνο δύο τιμές (0 = Μη εμφάνιση αυτού του συμβάντος, 1 = Εμφάνιση).

Στόχος ήταν να διερευνηθεί ο χρόνος των παραπάνω συμβάντων σε συνδυασμό με τη βροχή, την επικίνδυνη ώρα, την εργάσιμη ημέρα, τα ακραία συμβάντα στο διαμήκη άξονα (HLOG = 1: ακραία επιτάχυνση/επιβράδυνση, 0: κανονική οδήγηση) και την ταχύτητα άνω των 45 Km/h.

Τα μοντέλα και οι αντίστοιχες εντολές του script όπως διαμορφώθηκαν είναι οι ακόλουθες:

```
stset BEHAVE_ELAPSED, scale(1)
#model 1
stcox i.RAIN i. Riskyh i.WorkingDay i.HLOG#i.SPEEDlevel INTENSITY, strata(DRIVER)
nohr

#evaluation
predict cs, csnell
stset cs
sts generate H = na
line H cs cs, sort xlab(0 1 to 10) ylab(0 1 to 10)
```

4.6. Αποτελέσματα

Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται και σχολιάζονται στη συνέχεια.

```
. #model 1
. stcox i.RAIN i. Riskyh i.WorkingDay i.HLOG#i.SPEEDlevel INTENSITY, strata(DRIVER)
nohr
```

Στον Πίνακα 4-1 φαίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου. Το LR test δείχνει ότι το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι καλύτερο από το μηδενικό μοντέλο (το μοντέλο με μόνο μια σταθερά).

Πίνακας 4-1. Αποτελέσματα μοντέλου

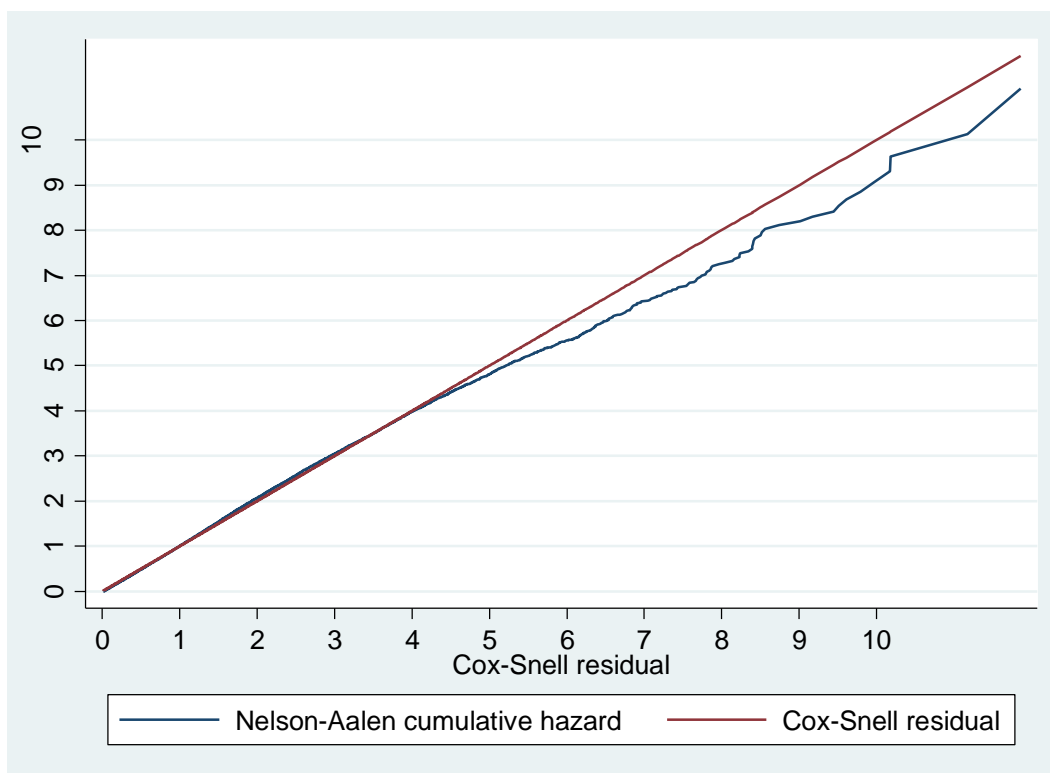
Stratified Cox regr. -- Breslow method for ties

No. of subjects =	38,510	Number of obs =	38,510
No. of failures =	38,510		
Time at risk =	125944457		
		LR chi2(7) =	2221.50
Log likelihood =	-265868.44	Prob > chi2 =	0.0000

_t	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
1.RAIN	-.0464177	.0157027	-2.96	0.003	-.0771944 -.015641
1.Riskyh	.0234171	.0134884	1.74	0.083	-.0030197 .0498538
1.WorkingDay	.042373	.0121345	3.49	0.000	.0185898 .0661561
HLOG#SPEEDlevel					
0 1	-.6035391	.0997048	-6.05	0.000	-.7989569 -.4081214
1 0	.1650824	.0406576	4.06	0.000	.0853951 .2447698
1 1	-.2817532	.0426335	-6.61	0.000	-.3653133 -.198193
INTENSITY	.4535669	.019812	22.89	0.000	.4147362 .4923977

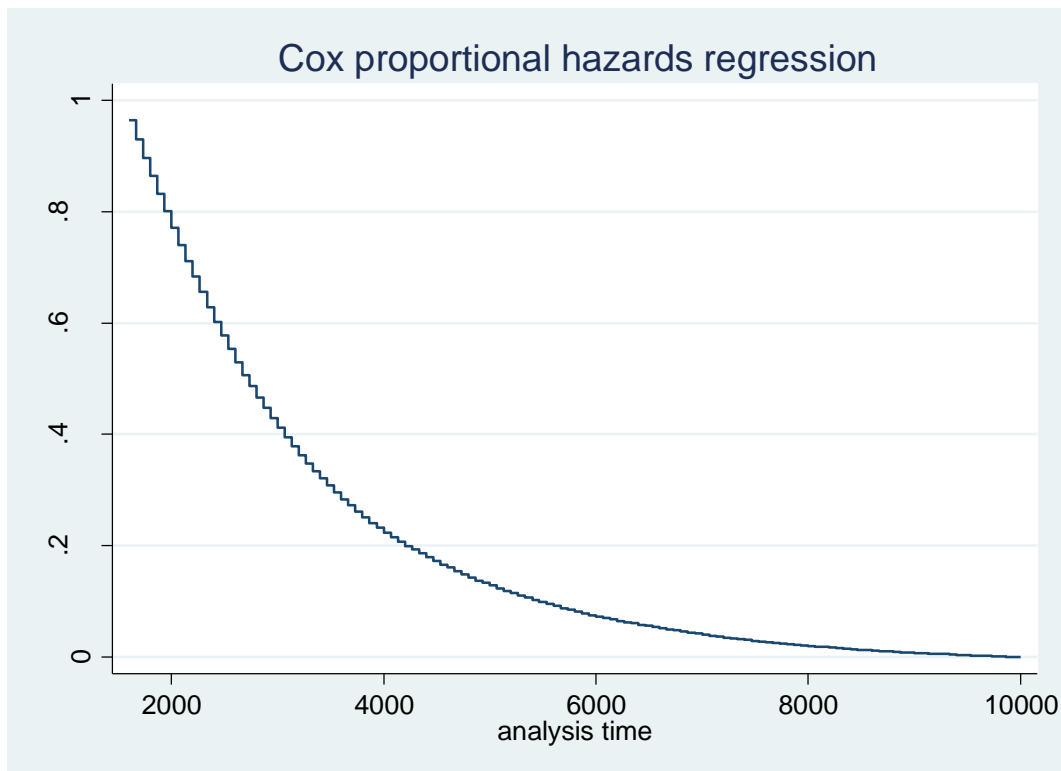
Stratified by DRIVER

Από το Διάγραμμα 4-7 που δείχνει την κατανομή των τυποποιημένων υπολοίπων (standardized residuals) του μοντέλου φαίνεται ότι το μοντέλο κάνει καλή προσαρμογή στα δεδομένα (δεν υπάρχουν ακραίες τιμές και δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από τη γραμμική σχέση).



Διάγραμμα 4-7. Κατανομή των τυποποιημένων υπολοίπων

Στο Διάγραμμα 4-8 φαίνεται η καμπύλη επιβίωσης για τη διάρκεια των συμβάντων. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα αυτό η πιθανότητα το συμβάν να συνεχίσει είναι μικρότερη από 20%, αν το συμβάν έχει διάρκεια μεγαλύτερη από 5 δευτερόλεπτα.



Διάγραμμα 4-8. Καμπύλη επιβίωσης για τη διάρκεια των συμβάντων

Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ως στατιστικά σημαντική η επίδραση της βροχής στη διάρκεια του συμβάντος. Η επίδραση αυτή είναι αρνητική, δηλαδή ο κίνδυνος (ρυθμός υποτροπής) είναι μικρότερος (ίσος με $\exp(-0.046)$), άρα ο χρόνος του συμβάντος αυξάνει.

Η επίδραση της επικίνδυνης ώρας, αν δηλαδή το συμβάν πραγματοποιήθηκε μεταξύ 0:00 μμ και 04:00 πμ, χαρακτηρίζεται στατιστικά σημαντικός παράγοντας από την ανάλυση που προηγήθηκε. Η διάρκεια του συμβάντος μειώνεται σε αυτό το διάστημα που ενδεχομένως φανερώνει πιο απότομη οδήγηση αυτές τις ώρες.

Ο διαχωρισμός της εβδομάδας σε εργάσιμες και μη, επίσης φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικός. Εξετάζοντας το συντελεστή για τις εργάσιμες ημέρες, που είναι

θετικός, διαπιστώνουμε ότι ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος άρα ο χρόνος του συμβάντος μειώνεται.

Και τα αποτελέσματα της συνδυαστικής ανάλυσης του τύπου του συμβάντος και της ταχύτητας προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Δεδομένου ότι το coefficient για το HLOG#SPEEDlevel 0 1 είναι αρνητικό, αυτό δείχνει ότι ο κίνδυνος είναι μικρότερος άρα ο χρόνος του συμβάντος αυξάνει. Δηλαδή, σε συνθήκες συμβάντος απότομης στροφής σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 45 km/h αναμένονται μεγαλύτερες διάρκειες συμβάντος.

Δεδομένου ότι το coefficient για το HLOG#SPEEDlevel 1 0 είναι θετικό, αυτό δείχνει ότι ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος άρα ο χρόνος του συμβάντος μειώνεται. Δηλαδή, σε συνθήκες συμβάντος επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης σε ταχύτητες μικρότερες από 45 km/h αναμένονται μικρότερες διάρκειες συμβάντος.

Δεδομένου ότι το coefficient για το HLOG#SPEEDlevel 1 1 είναι αρνητικό, αυτό δείχνει ότι ο κίνδυνος είναι μικρότερος άρα ο χρόνος του συμβάντος αυξάνει. Δηλαδή, σε συνθήκες συμβάντος επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 45 km/h αναμένονται μεγαλύτερες διάρκειες συμβάντος.

5. Συμπεράσματα

5.1. Συνόψιση αποτελεσμάτων - Βασικά συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση και η εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια ενός οδηγικού συμβάντος, αναλύοντας δεδομένα που ελήφθησαν με τη χρήση ειδικής ηλεκτρονικής συσκευής που εγκαταστάθηκε στα ιδιωτικά οχήματα των συμμετεχόντων στην έρευνα, και κατέγραψε δεδομένα για ένα πλήθος διαδρομών. Ως συμβάντα στη παρούσα εργασία, ορίστηκαν: η απότομη επιτάχυνση/επιβράδυνση και η απότομη αλλαγή κατεύθυνσης (αριστερή - δεξιά στροφή).

Στο χρόνο που συνελέγησαν τα δεδομένα, δεν είχε πραγματοποιηθεί ικανός αριθμός διαδρομών από ικανό αριθμό χρηστών ώστε να υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω διερεύνησης άλλων παραγόντων που εκτιμάται πως μπορεί να επηρεάζουν τη διάρκεια ενός συμβάντος και αυτό οφείλεται στο ότι η συγκεκριμένη συσκευή επρόκειτο για μια σχετικά πρόσφατη τεχνολογία. Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενη χρήση νέων τεχνολογιών στο χώρο της συγκοινωνιακής έρευνας.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, η βάση εισήχθη στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης STATA όπου χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση επιβίωσης και το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox. Η εξαρτημένη μεταβλητή, στην προκειμένη η διάρκεια του συμβάντος, συσχετίστηκε με τις ακόλουθες ανεξάρτητες μεταβλητές: το αν ήταν εργάσιμη ημέρα, αν έβρεχε και αν ήταν σε επικίνδυνη ώρα της ημέρας καθώς επίσης έγινε ανάλυση του δείγματος και συσχέτιση με τη διάρκεια του συμβάντος, για τις μεταβλητές HLOG και SPEEDlevel, εξετάζοντας τους δυνατούς συνδυασμούς των τιμών που λαμβάνουν.

Από τις παραπάνω προέκυψαν στατιστικά σημαντικές όλες οι παράμετροι.

5.2. Προοπτικές - κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα

Όπως προέκυψε και στη βιβλιογραφική διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, η χρήση νέων τεχνολογιών στην έρευνα για την εκτίμηση της οδηγικής συμπεριφοράς ολοένα και αυξάνεται, και τα δεδομένα που είναι πλέον δυνατόν να συλλεχθούν και να επεξεργαστούν ανοίγουν σημαντικούς δρόμους για την καλύτερη εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά και άλλα στοιχεία, όπως η διάρκεια ενός οδηγικού συμβάντος, θέμα με το οποίο ασχολήθηκε η παρούσα εργασία.

Το μικρό δείγμα οδηγών δεν επέτρεψε την προσπάθεια εκτίμησης άλλων σημαντικών παραγόντων στο εξεταζόμενο θέμα. Συγκεκριμένα το γεγονός πως από τους 19 οδηγούς, οι 18 ήταν άνδρες και μόλις 1 γυναίκα, όπως επίσης η απουσία μεγάλης ηλικιακής γκάμας στο δείγμα δεν επέτρεψε την εξέταση της επιρροής των συγκεκριμένων παραγόντων. Ακόμα, η έλλειψη στοιχείων όπως ο σκοπός της διαδρομής, η κατηγορία του οδικού δικτύου στο οποίο πραγματοποιήθηκε (αστική/υπεραστική οδός, αυτοκινητόδρομος κλπ), ο αριθμός των συνεπιβατών, το είδος του οχήματος, η εμπειρία του οδηγού, δεν έδωσε τη δυνατότητα να εκτιμηθούν παράγοντες που ενδεχομένως να παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Η συνδυαστική χρήση του `music.box` επίσης με άλλες συσκευές, όπως έξυπνα κινητά τηλέφωνα με ειδικές εφαρμογές (Ζυγούρης, 2016), μπορεί να επιτρέψει την συλλογή στοιχείων για την ψυχολογική κατάσταση του οδηγού, την κόπωση, τη χρήση αλκοόλ ή άλλων ουσιών και να τα συσχετίσει με τη διάρκεια του συμβάντος.

Τέλος η συσχέτιση των στοιχείων που συλλέγονται από το `music.box` μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα οι μέσες τιμές των ταχυτήτων ή των επιταχύνσεων όταν το συμβάν είναι εντός/εκτός επικίνδυνης ώρας ή σε μέρα με βροχή, μπορεί να αξιοποιηθεί για περαιτέρω σχολιασμό των αποτελεσμάτων και κατανόηση των πραγματικών παραγόντων. Στη παρούσα Διπλωματική Εργασία αυτό δεν ήταν εφικτό

λόγω ανομοιομορφίας που παρουσιάστηκε στα δεδομένα τιμών ταχυτήτων και επιταχύνσεων, οπότε κρίθηκε ασφαλέστερο να μην εξεταστούν.

Βιβλιογραφία

Begg D.J. and Langley J.D., (2004) “Identifying Predictors of Persistent Non-Alcohol or Drug-Related Risky Driving Behaviors Among a Cohort of Young Adults”, *Accident Analysis & Prevention*, 36(6), pp. 1067-1071.

Bella F., Calvi A. and D'Amico F., (2014) “Analysis of driver speeds under night driving conditions using a driving simulator”. Roma Tre University, Department of Engineering, Rome, Italy.

Bergasa M., Almería D., Almazán J. and Arroyo R., (2014) «DriveSafe: an App for Alerting Inattentive Drivers and Scoring Driving Behaviors», 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 8-11 June 2014.

Boyce T.E. and Geller E.S., (2002) “An instrumented vehicle assessment of problem behavior and driving style: Do younger males really take more risks?”, *Accident Analysis & Prevention*, 34(1), pp 51-64.

Caetano R. and Clark C.L., (2000) “Hispanics, Blacks and Whites Driving under the Influence of Alcohol: Results from the 1995 National Alcohol Survey”, *Accident Analysis and Prevention*, 32(1), pp. 57-64.

Chiu Y.C., Ma Y.L. and Hu X., (2014) «Identifying Driving Risk Factors to Support UsageBased Insurance using Smartphone Personalized Driving Data», TRB workshops on Big Data and Urban Informatics.

Chliaoutakis J.E., Demakakos P., Tzamalouka G., Bakou V., Koumaki M. and Darviri C., (2002) “Aggressive behavior while driving as predictor of self-reported car crashes”, *Journal of Safety Research*, 33(4), pp. 431-443.

Cox, D. R., (1972) «Regression Models and Life Tables», Journal of the Royal Statistical Society Series B 34 (2), pp 187-220.

Engelbrecht J., Booysen M. J. and v. Rooyen G.-J., (2014) «Recognition of driving manoeuvres using smartphone-based inertial and GPS measurement», in Proceedings of the First International Conference on the use of Mobile Informations and Communication Technology (ICT) in Africa UMICTA 2014, 9-10 December 2014.

Eren H., Makinist S., Akin E. and Yilmaz A., (2012) “Estimating driving behavior by a smartphone”, Proceedengs of in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE, pp. 234 -239.

Golias I. and Karlaftis M.G, (2001) “An International Comparative Study of Self-Reported Driver Behavior”, Transportation Research part F, 4(4), pp 243-256.

Grindle A.C., Dickinson A.M. and Boettcher W., (2000) “Behavioral safety research in manufacturing settings: A review of the literature”, Journal of Organizational Behavior Management, 20(1), pp. 29.

Handel P., Skog I., Wahlstrom J., Bonawiede F., Welch R., Ohlsson J. and Ohlsson M., (2014) “Insurance telematics: Opportunities and challenges with the smartphone solution”, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 6(4), 57-70.

Hensher D. and Mannering F., (1994) «Hazard-based duration models and their application to transport analysis», Transport Reviews, 14(1), pp 63-82.

Husnjak S., Peraković D., Forenbacher I. and Mumdziev M., (2015) “Telematics system in usage based motor insurance”, Procedia Engineering, 100, pp. 816-825.

Iversen H., (2004) “Risk-Taking Attitudes and Risky Driving Behaviour”
Transportation Research Part F, 7(3), pp 135-150.

Johnson A. and Trivedi M. M., (2011) «Driving Style Recognition Using a Smartphone as a Sensor Platform,» σε 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC).

Johnson D.A. and Trivedi M.M., (2011) “Driving Style Recognition Using a Smartphone as a Sensor Platform”, 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Washington, DC, USA. October 5-7 2011.

Konstantopoulos P., Chapman P. and Crundall D., (2009) “Driver’s visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers’ eye movements in day, night and rain driving.”
University of Nottingham, Nottingham, UK.

Krause T.R., Robin J.L. and Knipling R.R., (1999) “The Potential Application of Behavior- Based Safety in the Trucking Industry”, Report No. FHWA-MC-99-071.
Federal Highway Administration, Office of Motor Carrier and Highway safety, Washington D.C.

Lajunen T., Parker D. and Stradling S.G., (1998) “Dimensions of driver anger, aggressive and highway code violations and their mediation by safety orientation in UK drivers”, Transportation Research Part F, 1(2), pp. 107-121.

Lane N. D., Miluzzo E., Lu H., Peebles D., Choudhury T. and Campbell A. T., (2010) «A Survey of Mobile Phone Sensing», IEEE Communications Magazine , 48 (9) pp. 140-150.

Lourens P.F., Vissers J.A.M.M. and Jessurun M., (1999) “Annual Mileage, Driving Violations, and Accident Involvement in Relation to Drivers’ Sex, Age, and Level of Education”, *Accident Analysis & Prevention*, 31(5), pp. 593-597.

Maxwell J.P., Grant S. and Lipkin S., (2005) “Further Validation of the Propensity for Angry Driving Scale in British Drivers”, *Personality and Individual Differences*, 38(1), pp. 213-224 .

Meseguer J., Calafate C. T., Cano J. C. and Manzoni P., (2013) “Driving Styles: A smartphone application to assess driver behavior”, *Proceedings - International Symposium on Computers and Communications*, July 2013.

Parker D., Lajunen T. and Stradling S.G., (1998) “Attitudinal Predictors of Interpersonally Aggressive Violations on the Road”, *Trans. Research F*, 1(1), pp. 11-24.

Schechtman E., Shinar D. and Compton R.C., (1999) “The Relationship Between Drinking Habits and Safe Driving Behaviors”, *Transportation Research F*, 2(1), pp. 15-26.

Shinar D., (1995) “Drinking and Driving of Pub Patrons in Israel Accident Analysis & Prevention”, 27(1), pp. 65-71.

Sulzer-Azaroff B. and Austin J., (2000) “Does BBS Work?”, *Professional Safety*, 45(7), pp. 19-24.

Toledo T. and Lotan T., (2006) “An In-Vehicle Data Recorder for Evaluation of Driving Behavior and Safety”, *Transportation Meeting Board, Annual Meeting 2005*.

Trivedi, K. S. Ravi and M. M., (2014) «Drive Analysis using Vehicle Dynamics and Visionbased Lane Semantics» IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,16(1).

Tselentis D.I., Yannis G. and Vlahogianni E.I., (2016) “Innovative insurance schemes: pay as/how you drive”, Transportation Research Procedia, 14, pp. 362 - 371.

Tselentis D.I., Yannis G. and Vlahogianni E.I., (2017) “Innovative motor insurance schemes: a review of current practices and emerging challenges”, Accident Analysis and Prevention, 98, pp. 139-148.

Ulleberg P. and Rundmo T., (2002) “Risk-Taking Attitudes among Young Drivers: The Psychometric Qualities and Dimensionality of an Instrument to Measure Young Drivers' Risk-Taking Attitudes”, Scandinavian Journal of Psychology, 43(3), pp 227.

Vlahogianni E.I. and Barmounakis E.N., (2017) “Driving analytics using smartphones: Algorithms, comparisons and challenges”, Transportation Research Part C 79, pp. 196-206.

Wahlstrom J., Skog I., Handel P., 2015, Detection of Dangerous Cornering in GNSS-Data-Driven Insurance Telematics Article in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 16(6):1-11 · December 2015.

Walters S. (2009) «What is a Cox Model?», Hayward Group Ltd.

Yagil D., (1998) “Gender and Age-Related Differences in Attitudes Toward Traffic Laws and Traffic Violations”, Transportation research F., 1(2), pp. 123-135.

Ζυγούρης Μ., (2016) «Πρότυπα Μηχανικής Μάθησης για την Αναγνώριση Ακραίας Οδηγικής Συμπεριφοράς», Αθήνα 2016.

Κυριακούλη Ε., (2017) «Ανάλυση της επιρροής της νυχτερινής οδήγησης στη συμπεριφορά και στην ασφάλεια των νέων οδηγών στις επαρχιακές οδούς με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης» Αθήνα 2017.

Μαδούρου Μ., (2010) «Κυκλοφοριακοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χρονική διάρκεια οδικών συμβάντων σε ελεύθερες λεωφόρους», Αθήνα 2010.

Πλαϊνής Σ. και Παλλήκαρης Ι., (2005) «Οδικά ατυχήματα σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού: Ο ρόλος της όρασης. Ινστιτούτο Οπτικής και Όρασης (ΙΟΟ)», Πανεπιστήμιο Κρήτης.

Σαπλαούρας Ε., (2015) «Διερεύνηση της Κυκλοφοριακής Συμπεριφοράς του οδηγού με χρήση των διαγνωστικών στοιχείων του οχήματος», Αθήνα 2015.

Φωκιανός Κ. και Χαραλάμπους Χ., (2010) Πρόχειρες Σημειώσεις, σελ. 207-218.