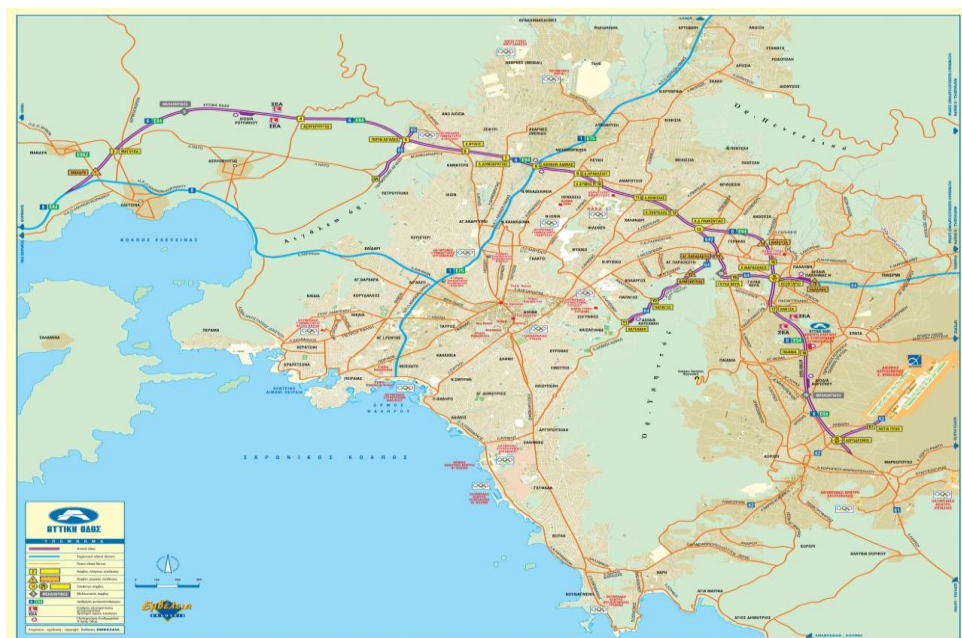




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
Επιβλέπων: Βλαχογιάννη Ελένη, Λέκτορας ΕΜΠ

**ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΟΔΙΚΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥΣ**



Διπλωματική Εργασία

ΜΑΔΟΥΡΟΥ Δ. ΜΥΡΤΩ

Αθήνα, Νοέμβριος 2010

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Πινάκων	3
Κατάλογος Σχημάτων	3
Κατάλογος Διαγραμμάτων	4
Σύνοψη	6
Abstract	7
Περίληψη	8
Εισαγωγή	
1.1. Κυκλοφοριακή συμφόρηση	9
1.2. Συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και των μη αναμενόμενων κυκλοφοριακών συνθηκών	10
1.3. Σκοπός εργασίας	11
1.4. Διάρθρωση εργασίας	11
Βιβλιογραφική ανασκόπηση	
2.1. Προγενέστερη έρευνα	13
2.2. Συνοπτική παρουσίαση βιβλιογραφίας και συμπεράσματα	16
Βασικές έννοιες στην ανάλυση επιβίωσης	
3.1. Εισαγωγή	20
3.2. Ανάλυση επιβίωσης	21
3.2.1. Συνάρτηση Επιβίωσης	22
3.2.2. Συνάρτηση Κινδύνου	24
3.3. Στατιστική Εξάρτηση – Παλινδρόμηση	24
3.4. Μοντέλο αναλογικών συναρτήσεων κινδύνου	26
3.4.1. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε μη παραμετρική μορφή	27
3.4.2. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε πλήρως παραμετρική μορφή	28
3.4.2.1. Παραδείγματα πλήρως παραμετρικών μοντέλων	30
3.4.3. Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox	32
Περιγραφή, Ανάλυση και Αποτελέσματα	
4.1. Ανάπτυξη μοντέλων	34
4.2. Περιγραφή της βάσης δεδομένων	34
4.3. Ανάλυση δεδομένων και αποτελέσματα	45
4.3.1. Επιρροή ύπαρξης ουράς κατά τη διάρκεια του συμβάντος	49
4.3.2. Επιρροή νεκρών και τραυματιών	54
4.3.3. Επιρροή κλειστών λωρίδων	64
4.3.4. Επιρροή σύνθεσης κυκλοφορίας	70
4.3.5. Επιρροή περιόδων ημέρας	80
Συμπεράσματα	
5.1. Εισαγωγή	85
5.2. Συμπεράσματα επεξεργασίας	85
5.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	87
Βιβλιογραφία	88

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση της βιβλιογραφίας	18
Πίνακας 2: Συχνότητες και ποσοστά ατυχημάτων σε υποπεριόδους των 20 λεπτών	36
Πίνακας 3: Πιθανές ανεξάρτητες μεταβλητές	38
Πίνακας 4: Συχνότητες, ποσοστά ατυχημάτων και αύξοντες αριθμοί για διάρκειες ουρών σε υποπεριόδους των 20 λεπτών	43
Πίνακας 5: Συχνότητες, ποσοστά ατυχημάτων και αύξοντες αριθμοί για μέγιστο μήκος ουράς	44
Πίνακας 6: Καθολικά τεστ των συντελεστών των μοντέλων	46
Πίνακας 7: Αποτελέσματα ανά μεταβλητή	47
Πίνακας 8: Τιμές μεταβλητών που είναι σημαντικές	48

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1: Αναλογίες χρόνου στην διάρκεια ατυχήματος	14
Σχήμα 2: Απεικόνιση των συναρτήσεων κινδύνου ($h(t)$), πυκνότητας ($f(t)$), αθροιστικής κατανομής ($F(t)$) και επιβίωσης ($S(t)$)	24
Σχήμα 3: Συμπληρωματικό διάγραμμα log-log	26
Σχήμα 4: Απεικόνιση της συνάρτησης κινδύνου που προκύπτει από το μοντέλο αναλογικών κινδύνων	27
Σχήμα 5: Παραδείγματα συναρτήσεων κινδύνου για τον χρόνο (α) εκθετική κατανομή, (b) κατανομή Weibull και (c) κατανομή Gompertz	31
Σχήμα 6: Χάρτης της Αττικής Οδού	35

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ποσοστών ατυχημάτων σε υποπεριόδους των 20 λεπτών	37
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα συχνοτήτων νεκρών και τραυματιών	40
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα συχνοτήτων κλειστών λωρίδων	41
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα συχνοτήτων ΜΕΑ, ΙΧ, δικύκλων, βαρέων οχημάτων	41
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα συχνοτήτων περιόδων ημέρας	42
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα συχνοτήτων ατυχημάτων για διάρκειες ουρών σε υποπεριόδους των 20 λεπτών	43
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα συχνοτήτων μέγιστου μήκους ουράς	45
Διάγραμμα 8: Καμπύλη επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστου μήκους ουράς	50
Διάγραμμα 9: Καμπύλη κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς	51
Διάγραμμα 10: Καμπύλη επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς	52
Διάγραμμα 11: Καμπύλη κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς	53
Διάγραμμα 12: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή νεκροί	56
Διάγραμμα 13: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή νεκροί	57
Διάγραμμα 14: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή νεκροί	58
Διάγραμμα 15: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή περίοδος νεκροί	59
Διάγραμμα 16: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή τραυματίες	60
Διάγραμμα 17: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή τραυματίες	61
Διάγραμμα 18: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή τραυματίες	62
Διάγραμμα 19: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή τραυματίες	63
Διάγραμμα 20: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες	66
Διάγραμμα 21: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες	67
Διάγραμμα 22: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες	68
Διάγραμμα 23: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες	69
Διάγραμμα 24: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ	72

Διάγραμμα 25: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ	73
Διάγραμμα 26: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ	74
Διάγραμμα 27: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ	75
Διάγραμμα 28: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων	76
Διάγραμμα 29: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων	77
Διάγραμμα 30: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων	78
Διάγραμμα 31: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων	79
Διάγραμμα 32: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας	81
Διάγραμμα 33: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας	82
Διάγραμμα 34: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας	83
Διάγραμμα 35: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας	84

Σύνοψη

Η εκτίμηση των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια των οδικών συμβάντων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την δημιουργία επιτυχημένων συστημάτων διαχείρισης των συμβάντων και της κυκλοφορίας. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην εκτίμηση των κυκλοφοριακών παραγόντων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια των ατυχημάτων σε ελεύθερες λεωφόρους και στον προσδιορισμό των διαφοροποιήσεων που προκαλούνται στη διάρκεια ατυχήματος από τις μεταβολές στις τιμές των παραγόντων. Η επιρροή των κυκλοφοριακών παραγόντων εξετάζεται με δύο εφαρμογές στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox, όπου κάθε μία αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή στρωματοποίησης, μέγιστο μήκος ουράς και διάρκεια ουράς. Τα αποτελέσματα της εργασίας καταδεικνύουν την εξάρτηση της διάρκειας ατυχήματος από τις μεταβολές των τιμών των παραμέτρων του ατυχήματος. Επιπλέον γίνεται φανερή η μεγάλη επίδραση των ουρών στην διάρκεια του ατυχήματος.

Abstract

The determination of traffic factors impact on incident duration is critical for the creation of effective incident and traffic management systems. The present thesis focuses on the estimation of factors that influence the accident duration. The influence of traffic factors is examined with two applications of Cox's proportional hazards model. Each application varies with the stratified variable, maximum queue length and queue duration. Among the results revealed, it has been shown that the interaction among accident duration and traffic factors is significant to the estimation of accident duration. Moreover, queues seem to have a great impact on accident duration.

Περίληψη

Η εκτίμηση των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια των οδικών συμβάντων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την δημιουργία επιτυχημένων συστημάτων διαχείρισης των συμβάντων και της κυκλοφορίας. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην εκτίμηση των κυκλοφοριακών παραγόντων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια των ατυχημάτων σε ελεύθερες λωφόρους και στον προσδιορισμό των διαφοροποιήσεων που προκαλούνται στη διάρκεια ατυχήματος από τις μεταβολές στις τιμές των παραγόντων.

Η επιρροή των κυκλοφοριακών παραγόντων εξετάζεται με εφαρμογή του μοντέλου αναλογικών κινδύνων του Cox. Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox πλεονεκτεί έναντι των υπολοίπων μοντέλων διότι ως ημιπαραμετρικό μοντέλο προσφέρει σχετική ευελιξία και οι εκτιμήσεις εξαρτώνται από τη σειρά με την οποία συμβαίνει το γεγονός και όχι από τον ακριβή χρόνο.

Στο μοντέλο του Cox εφαρμόζονται τα δεδομένα 1633 ατυχημάτων, τα οποία συνέβησαν σε αστικό αυτοκινητόδρομο. Η ανάλυση γίνεται με δύο εφαρμογές στο μοντέλο του Cox, όπου κάθε μια αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή στρωματοποίησης, μέγιστο μήκος ουράς και διάρκεια ουράς. Τα αποτελέσματα των δύο εφαρμογών εξετάζονται με σκοπό τον προσδιορισμό της επιρροής των ουρών στη διάρκεια ατυχήματος, των σημαντικών μεταβλητών και την επίδραση των τιμών αυτών στην διάρκεια ατυχήματος.

Στις δύο εφαρμογές του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή η διάρκεια του ατυχήματος και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι εξής: νεκροί, τραυματίες, κλειστές λωρίδες, ΜΕΑ, ποσοστό βαρέων οχημάτων και περίοδοι ημέρας. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με την χρήση πινάκων, που παρουσιάζουν το επίπεδο σημαντικότητας και τους συντελεστές παλινδρόμησης κάθε μεταβλητής, και διαγραμμάτων, που απεικονίζουν τις καμπύλες επιβίωσης και κινδύνου. Από την διερεύνηση των πινάκων και διαγραμμάτων προκύπτει η επιρροή των χαρακτηριστικών των ουρών στη διάρκεια ατυχήματος και ο βαθμός εξάρτησης της διάρκειας ατυχήματος από τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

1.1. Κυκλοφοριακή συμφόρηση

Ένα από τα σημαντικότερα και πιο συνηθισμένα προβλήματα των μητροπολιτικών περιοχών παγκοσμίως είναι το πρόβλημα των μεταφορών και πιο συγκεκριμένα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για μεταφορά ανθρώπων και αγαθών οδηγεί στην εμφάνιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η οποία εμφανίζεται όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες, επαναλαμβανόμενη περιοδικά και μη επαναλαμβανόμενη περιοδικά. Οι επαναλαμβανόμενες περιοδικά συμφορήσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλους κυκλοφοριακούς φόρτους που συνεπάγονται χαμηλές ταχύτητες οχημάτων στο σύστημα και οφείλονται στην ανεπαρκή κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού δικτύου. Οι επαναλαμβανόμενες περιοδικά συμφορήσεις γενικότερα συμβαίνουν τις ώρες αιχμής. Αντίθετα, οι μη επαναλαμβανόμενες περιοδικά συμφορήσεις οφείλονται σε τυχαία γεγονότα όπως τα ατυχήματα, χαλασμένα οχήματα, ακραία καιρικά φαινόμενα κτλ. Τα τροχαία ατυχήματα θεωρούνται ο κυρίως λόγος για μη επαναλαμβανόμενες περιοδικά συμφορήσεις. Για το λόγο αυτό πολλές έρευνες επικεντρώνονται στην αντιμετώπιση των τροχαίων ατυχημάτων. Επειδή είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του χώρου και του χρόνου που θα συμβεί το ατύχημα, οι μελέτες επικεντρώνονται στην πρόβλεψη της διάρκειας του ατυχήματος και των παραγόντων που την επηρεάζουν έτσι ώστε να είναι εφικτή η ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης των ατυχημάτων.

Η συνεχής αύξηση της ζήτησης μετακινήσεων προσώπων και αγαθών και η αντίστοιχη αύξηση της κυκλοφορίας, συνδυαζόμενες με το γεγονός ότι οι αστικές περιοχές δεν έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με την πρόβλεψη μιας τέτοιας αύξησης, δημιουργούν σοβαρά κυκλοφοριακά και περιβαλλοντικά προβλήματα.

Το κύριο οδικό δίκτυο, που εξυπηρετεί το μεγαλύτερο ποσοστό της κυκλοφορίας, παρουσιάζει κορεσμό ο οποίος συνεχώς εξαπλώνεται τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά. Στα κορεσμένα τμήματα του δικτύου, που συνεχώς αυξάνονται, και κατά

τις περιόδους του κορεσμού, που συνεχώς επεκτείνονται, παρουσιάζονται σημαντικές καθυστερήσεις οι οποίες δημιουργούν απώλεια χρόνου και αυξάνουν την ατμοσφαιρική και ηχητική ρύπανση. Επί πλέον, στην προσπάθεια τους να αποφύγουν τα κορεσμένα τμήματα του κύριου οδικού δικτύου, οι χρήστες ανακαλύπτουν νέες διαδρομές μέσω του δευτερεύοντος οδικού δικτύου, δημιουργώντας διαμπερείς κινήσεις μέσα από τις περιοχές κατοικίας και άλλες ευαίσθητες περιοχές, χειροτερεύοντας συνεχώς την ποιότητα ζωής (Φραντζεσκάκης et al. 1997).

1.2. Συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και των μη αναμενόμενων κυκλοφοριακών συνθηκών

Τα μέτρα Διαχείρισης Κυκλοφορίας έχουν σχεδιαστεί με στόχο τη βελτίωση της λειτουργίας της υπάρχουσας συγκοινωνιακής υποδομής. Ο σχεδιασμός της Διαχείρισης της Κυκλοφορίας στοχεύει στον εντοπισμό των προβληματικών περιοχών του οδικού δικτύου και προτείνει μέτρα που μπορούν να επιτύχουν βελτιώσεις βραχυπρόθεσμα. Ουσιαστικά, παρέχει πληροφορίες ως προς την προσφορότερη επένδυση του δημοσίου χρήματος, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα συμφόρησης και να βελτιωθεί το οδικό δίκτυο. Η Διαχείριση της κυκλοφορίας γενικά, αποτελεί μια προσπάθεια μείωσης της κατασκευής νέων οδών και συγκοινωνιακών έργων με την πιο αποτελεσματική χρησιμοποίηση της υπάρχουσας συγκοινωνιακής υποδομής βραχυχρόνια και με περιορισμένου ύψους επενδύσεις (Διαχείριση Συστήματος Μεταφορών) και με τον περιορισμό της ζήτησης για μεταφορές και της χρήσης του επιβατικού αυτοκινήτου στις κυκλοφοριακά συμφορημένες περιοχές και ειδικότερα κατά τις περιόδους αιχμής (Διαχείριση Ζήτησης Μεταφορών) (Φραντζεσκάκης et al. 1997).

Η Διαχείριση Συμβάντων ορίζεται ως μια ακολουθία προσχεδιασμένων και ολοκληρωμένων δραστηριοτήτων, οι οποίες χρησιμοποιούν τόσο ανθρώπινο δυναμικό όσο και τεχνολογικά μέσα, με στόχο της εξάλειψης των συμβάντων με ταχύτητα και ασφάλεια και την επαναφορά της κυκλοφοριακής ικανότητας του δικτύου στα αρχικά του επίπεδα. Οι κύριες δραστηριότητες των συστημάτων διαχείρισης συμβάντων, περιλαμβάνουν τον εντοπισμό του συμβάντος και την επιβεβαίωση αυτού, την πληροφόρηση των χρηστών, την καταγραφή των αντιδράσεων τους, τη διαχείριση της κυκλοφορίας και τέλος την εξάλειψη/καθαρισμό του (Smith et al., 2003). Ουσιαστικά, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τα ίδια μέσα που εφαρμόζονται συνήθως για την εξάλειψη των συμβάντων, απλά με πιο αποδοτικούς τρόπους. Ο χρόνος αποτελεί βασική παράμετρο αφού έχει υπολογισθεί ότι περίπου 4 λεπτά απαιτούνται για να επανέλθει ένας δρόμος στις αρχικές του συνθήκες για κάθε συμβάν διάρκειας ενός λεπτού.

Τα συστήματα Διαχείρισης Συμβάντων εφαρμόζονται σε πολλές πόλεις προκειμένου να μειωθεί ο χαμένος χρόνος εξαιτίας των συμβάντων και να αυξηθεί η ασφάλεια των μοτοσικλετιστών, με ταυτόχρονη μείωση των θυμάτων από συγκρούσεις και των εμπλεκόμενων σε ατυχήματα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα που παρέχουν στους οδηγούς σημαντικές κυκλοφορίες σχετικά με την κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω συμβάντων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει ένα αποτελεσματικό σύστημα Διαχείρισης Συμβάντων είναι η βελτίωση του χρόνου αντίδρασης, η μείωση των καθυστερήσεων, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα, η μείωση συμβάντων δευτερεύουσας σημασίας και τέλος, η αύξηση της οδικής ασφάλειας.

1.3. Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και ο προσδιορισμός των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια οδικών συμβάντων (ατυχημάτων), συμπεριλαμβανομένων και των στοιχείων που σχετίζονται με κυκλοφοριακές ουρές.

Πιο συγκεκριμένα θα εξεταστεί η περίπτωση της Αττικής οδού, του αστικού αυτοκινητοδρόμου όπου καταγράφονται καθημερινά πάνω από 295.000 διελεύσεις (δεδομένα του 2007) και ετησίως περίπου 850-900 ατυχήματα. Το διαθέσιμο αρχείο ατυχημάτων της Αττικής οδού περιλαμβάνει 1740 ατυχήματα για την χρονική περίοδο 2007-2008. Τα ατυχήματα που συνέβησαν κοντά ή στις κεκλιμένες ράμπες δεν περιλαμβάνονται στην βάση αυτή.

1.4. Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε πέντε βασικά κεφάλαια:

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην κυκλοφοριακή συμφόρηση και στα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και των μη αναμενόμενων κυκλοφοριακών συνθηκών και μια παρουσίαση του σκοπού και της διάρθρωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε παλαιότερες έρευνες σχετικές με τους κυκλοφοριακούς παράγοντες που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια των οδικών συμβάντων.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται η ανάλυση επιβίωσης και τα μοντέλα αναλογικών κινδύνων, καταλήγοντας στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox, το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της βάσης δεδομένων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης (κεφ. 4) και προτείνονται κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Προγενέστερη έρευνα

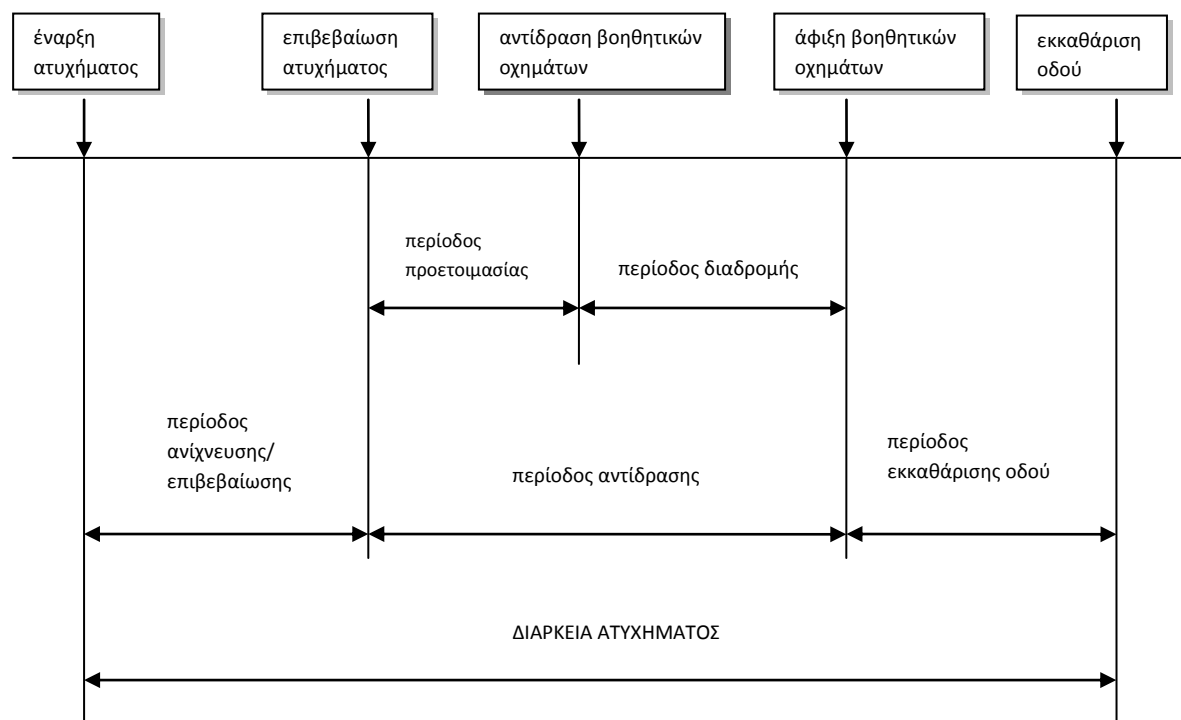
Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αυτοκινητόδρομων εμφανίζεται όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος στον αυτοκινητόδρομο υπερβαίνει τη κυκλοφοριακή του ικανότητά. Τέτοια συμφόρηση μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τύπους συγκεκριμένα, επαναλαμβανόμενος και μη επαναλαμβανόμενος. Στον πρώτο τύπο η συμφόρηση προκαλείται πρώτιστα από την υψηλή ζήτηση για μετακινήσεις για μια περιορισμένη κυκλοφοριακή ικανότητα. Πιο συγκεκριμένα, η επαναλαμβανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση γενικά εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής και μπορεί συχνά να ανακουφιστεί με τη χρήση εναλλακτικών διαδρομών. Στον δεύτερο τύπο, όμως, η κυκλοφοριακή συμφόρηση προκαλείται από τυχαία γεγονότα όπως τα ατυχήματα. Τα τροχαία ατυχήματα θεωρούνται ο κυρίως λόγος για μη επαναλαμβανόμενες περιοδικά συμφορήσεις. Επειδή είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του χώρου και του χρόνου που θα συμβεί το ατύχημα, οι μελέτες επικεντρώνονται στην πρόβλεψη της διάρκειας του ατυχήματος και των παραγόντων που την επηρεάζουν έτσι ώστε να είναι εφικτή η ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης των ατυχημάτων.

Η πρόβλεψη της διάρκειας ενός ατυχήματος είναι ένα από τα σημαντικά βήματα της διαδικασίας διαχείρισης αυτού. Οι αποφάσεις, σε πραγματικό χρόνο, σχετικά με τους πόρους που απαιτούνται για την εκκαθάριση της οδού, την διαχείριση του ατυχήματος και τις πληροφορίες που δίνονται στους οδηγούς εξαρτώνται από τη γνώση της διάρκειας.

Το σημείο κλειδί είναι το γεγονός ότι μια μείωση της διάρκειας του ατυχήματος μειώνει τη συνολική καθυστέρηση που βιώνεται από τους χρήστες της οδού. Περαιτέρω, οι προβλέψεις για τη διάρκεια μπορούν να βοηθήσουν τους χρήστες της οδού από την άποψη της πρόγνωσης της καθυστέρησης και της παρότρυνσης για τη χρήση εναλλακτικών διαδρομών πριν συναντήσουν την ήδη δημιουργημένη ουρά. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού των αφίξεων στη

περιοχή του ατυχήματος και την απαίτηση λιγότερου χρόνου για την αποσυμφόρηση του συγκεκριμένου σημείου (Khattak et al. 1994).

Η διάρκεια του ατυχήματος ορίζεται συνήθως ως ο χρόνος μεταξύ της χρονικής στιγμής που συμβαίνει το ατύχημα και της εκκαθάρισης 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 σχήμα 1 παρουσιάζονται οι παραπάνω υποπερίοδοι της διάρκειας ενός ατυχήματος.



Σχήμα 1: Αναλογίες χρόνου στην διάρκεια ατυχήματος (Πηγή: Nam and Mannering 1998)

Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τομείς της εφαρμογής των μοντέλων διάρκειας στον τομέα των μεταφορών. Αυτοί περιλαμβάνουν την ανάλυση των καθυστερήσεων στην κυκλοφορία, για παράδειγμα στις διασταυρώσεις με σήμανση, την ανάλυση ατυχήματος, δηλαδή οι προσωπικοί ή περιβαλλοντικοί παράγοντες που αυξάνουν την πιθανότητα της ανάμειξης σε ένα ατύχημα, την ανάλυση διάρκειας περιστατικού, για παράδειγμα ο χρόνος για τον εντοπισμό ενός γεγονότος, ο χρόνος για την απόκριση, ο χρόνος για την εκκαθάριση της οδού, και τις χρονικές πτυχές της συμμετοχής σε δραστηριότητες, για παράδειγμα ο χρόνος ταξιδιού.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια των ατυχημάτων περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά του ατυχήματος, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά της οδού και της ροής, οι γεωγραφικοί παράγοντες και οι λειτουργικοί παράγοντες. Παραδείγματος χάριν, η διάρκεια μπορεί να είναι πιο μεγάλη εάν το ατύχημα περιλαμβάνει τραυματίες, εάν ο καιρός είναι δυσμενής, εάν υπάρχει οδικό έργο κοντά στην συγκεκριμένη θέση π.χ., λόγω των μέγιστων περιόδων ή/και των πρόσθετων γεγονότων) μπορούν να παρεμποδίσουν την άμεση απόκριση(των βοηθητικών οχημάτων. Τα χαρακτηριστικά οχημάτων όπως το ποσοστό των βαριών φορτηγών μπορούν να επηρεάσουν τις συναφείς διάρκειες, δηλαδή μεγάλα φορτηγά είναι πιθανότερο να παρεμποδίσουν τις διαδικασίες εκκαθάρισης. Επιπλέον, οι εποχιακές τάσεις μπορούν να υπάρξουν, δηλαδή τα ατυχήματα μπορεί να είναι πιο μακροχρόνια σε περιόδους του έτους λόγω ενός πλήθους παραγόντων, για παράδειγμα οι δραστηριότητες τουριστών και οι οικονομικές δραστηριότητες (Khattak et al. 1994).

Πιο συγκεκριμένα, το 1989, ο Giuliano ανέλυσε τα χαρακτηριστικά ενός περιστατικού σε αστικό περιβάλλον (Los Angeles, California) και με τη χρήση απλοποιημένων Μοντέλων Διάρκειας (Duration models), δύο στο σύνολο, εξέτασε τη σχέση μεταξύ της περιόδου ενός περιστατικού και των παραγόντων του ίδιου περιστατικού. Παρατήρησε ότι η περίοδος περιστατικού εξαρτάται, εκτός των υπολοίπων, και από τον τύπο του περιστατικού, με αποτέλεσμα την ανάγκη για μελέτη του συνόλου των περιστατικών καθώς και του συνόλου των ατυχημάτων. Στη συνέχεια, οι Khattak et al. (1994), προσπάθησαν να προσδιορίσουν τη σχέση μεταξύ της περιόδου ενός περιστατικού, στην περιοχή του Chicago, και των συμβαλλόμενων παραγόντων εφαρμόζοντας Περικομμένο Μοντέλο Παλινδρόμησης (Truncated Regression Model) και Μοντέλο Επιβίωσης (Survival Model). Ο Shin (2003) για την πρόβλεψη της περιόδου του περιστατικού σε αυτοκινητόδρομο (Korea) χρησιμοποίησε δέντρο αποφάσεων (Decision Tree) σε συνδυασμό με Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης (Linear Regression Models) και οι Lin et al. (2003) με στόχο την κατασκευή μοντέλου για την πρόβλεψη της περιόδου περιστατικού (Maryland) εφάρμοσαν αρχικά Μοντέλο Ordered Probit και στη συνέχεια Βασισμένο στους κανόνες Συμπληρωματικό Μοντέλο (Rule- Based supplement Model). Επίσης, οι Wei et al. (2006) εκτίμησαν την περίοδο περιστατικού, όπου περιστατικό 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 Απλοϊκός Ταξινομητής κατά Bayes (Naïve Bayesian Classifier) και Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης (Linear Regression Model), όπου στο κάθε μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μεταβλητές. Για το Πιθανολογικό Μοντέλο (Probabilistic Model) τα περιστατικά χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες, διάρκειας

μικρότερης της μισής ώρας, διάρκεια μεταξύ μισής και μίας ώρας, διάρκεια μεγαλύτερη της μίας ώρας.

Παράλληλα, οι Garib et al. (1997) με σκοπό την εκτίμηση του μεγέθους και της διάρκειας των καθυστερήσεων λόγω ενός περιστατικού εφάρμοσαν Μοντέλα Πολλαπλής Παλινδρόμησης (Multiple Regression Models). Έπειτα, οι Nam et al. (1998) εξέτασαν την περίοδο περιστατικού σε επιμέρους περιόδου, περίοδος αναγνώρισης και καταγραφής, περίοδος απόκρισης και περίοδος καθαρισμού οδού, με χρήση Βασισμένα στον Κίνδυνο Μοντέλα Διάρκειας (Hazard- Based Duration Models) και πιο συγκεκριμένα Μοντέλο Weibull με Γόμμα ετερογένεια για τις περίοδο αναγνώρισης και καταγραφής και περίοδο απόκρισης και Log- Logistic Κατανομή (χωρίς ετερογένεια) για την περίοδος καθαρισμού οδού. 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.

Συγχρόνως, οι Karlaftis et al. (1998) εφάρμοσαν Μοντέλα Λογιστικής Παλινδρόμησης (Logistic Regression Models) για τον προσδιορισμό των παραγόντων ενός πρωτεύοντος ατυχήματος που συντελούν στο να συμβεί ένα δευτερεύον ατύχημα και τον βαθμό στον οποίο αυτό συμβαίνει. Για να επιτευχθεί η συσχέτιση δύο ατυχημάτων (πρωτεύον και δευτερεύον) το δεύτερο ατύχημα θα πρέπει να συμβεί σε απόσταση 0.8 km (αργότερα αυξήθηκε σε 1.5 km) από το πρώτο και εντός της περιόδου καθαρισμού της οδού συν 15 min. Όμοια, οι Vlahogianni et al. (2010) μελετώντας τις λειτουργίες σε έναν αυτοκινητόδρομο, τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά περιστατικών και τα δευτερεύοντα ατυχήματα, χρησιμοποίησαν Αυξημένα Απλοϊκά Δίκτυα κατά Bayes (Augmented Naïve Bayesian Networks). Στον Πίνακα 1 συνοψίζεται η βιβλιογραφία και παρουσιάζονται οι συγγραφείς, ο τίτλος, η χρονολογία, η μέθοδος πρόβλεψης και οι μεταβλητές που αναφέρονται στην παγκόσμια βιβλιογραφία.

2.2. Συνοπτική παρουσίαση βιβλιογραφίας και συμπεράσματα

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι:

- α. είναι αναγκαία η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την διάρκεια ατυχήματος
- β. οι παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ατυχήματος διαφέρουν ανάλογα με τον οδικό άξονα που εξετάζεται

- γ. δεν έχει μελετηθεί η επίδραση των χαρακτηριστικών των κυκλοφοριακών ουρών στην διάρκεια ατυχήματος

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διευκρίνιση των παραγόντων του ατυχήματος που επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται άμεσα με την διάρκεια ατυχήματος και η διερεύνηση της επιρροής τους θα βοηθήσει στην διαχείριση του ατυχήματος.

Χρησιμοποιείται η Ανάλυση Επιβίωσης (Survival Analysis) και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox. Η διαφοροποίηση της εργασίας αυτής από την προϋπάρχουσα έρευνα συνίσταται στην χρήση μεταβλητών που σχετίζονται με τις ουρές.

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις ουρές είναι το μέγιστο μήκος ουράς και η διάρκεια ουράς, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές στρωματοποίησης. Η ανάλυση γίνεται με δύο εφαρμογές στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox, όπου κάθε μία αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή στρωματοποίησης. Οι υπόλοιπες μεταβλητές, νεκροί, τραυματίες, κλειστές λωρίδες, ΜΕΑ, ποσοστό βαρέων οχημάτων και περίοδος ημέρας, συμμετέχουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές και στις δύο εφαρμογές.

Με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω θα γίνει προσπάθεια να απαντηθεί το ερώτημα «ποιες μεταβλητές και πιο συγκεκριμένα ποιες τιμές των μεταβλητών επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος άρα και την διαχείριση του;».

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 φορητών
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 συμφώρησης, μετρήσεις κατάληψης
	Matthew G. Karlaftis			

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

Βασικές έννοιες στην ανάλυση επιβίωσης

3.1. Εισαγωγή

Τα μοντέλα διάρκειας βασισμένα στον κίνδυνο αντιπροσωπεύουν μια κατηγορία αναλυτικών μεθόδων που είναι κατάλληλες για τη επεξεργασία των δεδομένων τα οποία εστιάζουν σε περιστατικά με πεπερασμένη διάρκεια, δεδομένου ότι η διάρκεια είναι καθορισμένος χρόνος (Kiefer 1988, Hensher και Mannering 1994). Αυτή η έννοια της υπό όρους πιθανότητας της λήξης της διάρκειας αναγνωρίζει τη δυναμική της διάρκειας δηλαδή, αναγνωρίζει ότι η πιθανότητα λήξης της διάρκειας εξαρτάται από το μήκος της παρερχόμενης περιόδου από την έναρξη της διάρκειας.

Τα μοντέλα που βασίζονται στον κίνδυνο έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για πολλές δεκαετίες στη βιομετρική και στην εφαρμοσμένη μηχανική για να εξετάσουν τα ζητήματα όπως η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής μετά από την αρχή των χρόνων παθήσεων. Λόγω αυτής της αρχικής σχέσης με το χρόνο μέχρι την αποτυχία (είτε του ανθρώπινου σώματος που λειτουργεί είτε των βιομηχανικών συστατικών), τα μοντέλα κινδύνου έχουν χαρακτηριστεί ως «μοντέλα χρονικής αποτυχίας». Εντούτοις, η ονομασία «μοντέλα διάρκειας» απεικονίζει καταλληλότερα το πεδίο της εφαρμογής σε οποιοδήποτε φαινόμενο διάρκειας.

Δύο σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των δεδομένων διάρκειας είναι το πρώτο ότι τα δεδομένα μπορούν να λογοκριθούν σε κάποια μορφή και το δεύτερο ότι οι εξωγενείς καθοριστικοί παράγοντες των χρόνων γεγονότος που χαρακτηρίζουν τα στοιχεία μπορούν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της περιόδου γεγονότος.

Η βασισμένη στον κίνδυνο προσέγγιση στη διαμόρφωση της διάρκειας μπορεί να προσαρμόσει και τα δύο από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των στοιχείων διάρκειας δηλαδή λογοκρίνοντας και μεταβλητές που κυμαίνεται ο χρόνος με τρόπο σχετικά απλό και εύκαμπτο. Παράλληλα, η λογοκρισία προσαρμογής στα πλαίσια των παραδοσιακών μεθόδων παλινδρόμησης είναι αρκετά δυσκίνητη, και η ενσωμάτωση των εξωγενών μεταβλητών για τις οποίες κυμαίνεται ο χρόνος σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης δεν είναι απλή.

Εκτός από τα μεθοδολογικά ζητήματα που συζητούνται παραπάνω, υπάρχουν επίσης διαισθητικοί και εννοιολογικοί λόγοι για να χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα κινδύνου για να αναλύσουν τα δεδομένα διάρκειας. Η παραδοσιακή προσέγγιση παλινδρόμησης είναι να διευκρινιστεί μια κατανομή πιθανότητας για το χρόνο διάρκειας και να προσαρμοστεί με χρήση των δεδομένων. Η προσέγγιση κινδύνου, εντούτοις, καθορίζει την πιθανότητα της έκβασης ως ακολουθία απλούστερων γεγονότων υπό όρους. Γενικότερα, η βασισμένη στον κίνδυνο προσέγγιση είναι ένας κατάλληλος τρόπος να ερμηνευθούν τα δεδομένα διάρκειας, η παραγωγή των οποίων πλήρως και διαισθητικά συνδέεται με μια δυναμική ακολουθία πιθανοτήτων υπό όρους.

Όπως υποδεικνύεται από τον Kiefer (1988), για οποιαδήποτε διευκρίνιση για τη συνάρτηση κινδύνου, υπάρχει ακριβής αντιστοιχία στα μαθηματικά θεωρώντας μια απεριόριστη κατανομή πιθανότητας. Η ερώτηση που μπορεί να προκύψει είναι γιατί να μην διευκρινιστεί μια κατανομή πιθανότητας, να μην υπολογιστούν οι παράμετροι αυτής της κατανομής και να μην ληφθούν οι εκτιμήσεις των υπό όρους πιθανοτήτων (ή οι αναλογίες κινδύνου); Ενώ αυτό μπορεί να γίνει, είναι προτιμότερο να γίνει άμεση εστίαση στις πιθανότητες υπό όρους (δηλαδή τις αναλογίες κινδύνου) επειδή η διαδικασία διάρκειας μπορεί να υπαγορεύσει μια ιδιαίτερη συμπεριφορά σχετικά με τον κίνδυνο που μπορεί να επιβληθεί με την υιοθέτηση μιας ακατάλληλης κατανομής για τον κίνδυνο. Επίσης, η άμεση διευκρίνιση μιας διακριτής κατανομής πιθανότητας για τις διάρκειες σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης μπορεί να μην μεταφραστεί αμέσως σε μια απλή ή ερμηνεύσιμη κατανομή κινδύνου. Συνοψίζοντας, χρησιμοποιώντας μια βασισμένη στον κίνδυνο προσέγγιση για την διαμόρφωση των μοντέλων διάρκειας έχουμε και τα μεθοδολογικά και τα εννοιολογικά πλεονεκτήματα σε αντίθεση με παραδοσιακότερες μεθόδους παλινδρόμησης (Henser et al. 2000).

3.2. Ανάλυση επιβίωσης

Η ανάλυση επιβίωσης (survival analysis) αναφέρεται στην ανάλυση δεδομένων που αφορούν στο χρόνο που μεσολαβεί μέχρι κάποιο συγκεκριμένο συμβάν. Είναι μια μέθοδος που αναλύει αν θα συμβεί ένα συγκεκριμένο γεγονός. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε ένα συμβατικό χρονικό σημείο έναρξης της μέτρησης και την εμφάνιση της μελετώμενης έκβασης. Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στο συμβατικό χρονικό σημείο έναρξης της μέτρησης και την εμφάνιση της μελετώμενης έκβασης ονομάζεται χρόνος επιβίωσης (survival time). Μολονότι τα δεδομένα είναι ποσοτικά, οι κατανομές των χρόνων επιβίωσης σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις ακολουθούν την κανονική κατανομή, τείνοντας να έχουν δεξιά ασυμμετρία.

Ανάλυση επιβίωσης είναι μια φράση που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ανάλυση των δεδομένων σε μορφή χρόνου από μια καλώς προσδιορισμένη χρονική στιγμή έως την πραγματοποίηση ενός γεγονότος. Παραδείγματα χρόνων επιβίωσης περιλαμβάνουν τον χρόνο αποτυχίας ενός μηχανήματος για την βιομηχανία, την διάρκεια ανεργίας για τις κοινωνικές επιστήμες, τον χρόνο επιβίωσης για ασθενείς για την ιατρική και διάρκειες οδικών ατυχημάτων. Αρχικά η ανάλυση αναφερόταν στην περίοδο από την έναρξη της θεραπείας μέχρι τον θάνατο και για αυτό το λόγο πήρε και το συγκεκριμένο όνομα.

Όταν αναλύεται η διάρκεια ενός ατυχήματος, η ενδιαφέρουσα μεταβλητή είναι ο χρόνος μεταξύ της χρονικής στιγμής που συμβαίνει το ατύχημα και του καθαρισμού της οδού. Ως αποτέλεσμα έχουμε ότι η ανάλυση επιβίωσης συνδέεται με την πιθανότητα η διάρκεια του ατυχήματος να λήξει στο άμεσο μέλλον $t + \Delta t$ δεδομένου ότι έχει διαρκέσει ήδη t . Όπως περιγράφεται από τους Nam και Mannering αυτό το μοντέλο έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την μελέτη της σχέσης μεταξύ της διάρκειας ατυχήματος και των επεξηγηματικών μεταβλητών επειδή η μεταβλητή της διάρκειας σχετίζεται με μια δεσμευμένη πιθανότητα.

Η περίοδος ενός αντικειμένου στην ανάλυση επιβίωσης είναι η δημιουργία μια συνεχούς τυχαίας μεταβλητής T , με μια αθροιστική συνάρτηση κατανομής, $F(t)$, που ονομάζεται συνάρτηση αποτυχίας στην ανάλυση. Αυτή η συνάρτηση της τυχαίας μεταβλητής T δίνεται ως:

$$F(t) = \int_0^1 f(u) du = P(T < t), \quad 0 < t < \infty$$

η οποία διευκρινίζει την πιθανότητα ο χρόνος επιβίωσης T να είναι μεγαλύτερος μιας τιμής του χρόνου t . Σε όλα τα σημεία που η $F(t)$ διαφοροποιείται, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(t)$ ορίζεται ως:

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

που δίνει την στιγμιαία πιθανότητα ότι ένα γεγονός θα πραγματοποιηθεί σε απειροελάχιστα μικρό διάστημα $[t, t + \Delta t]$.

Έχοντας προσδιορίσει τη συνάρτηση επιβίωσης (βλ. παρακάτω) και την πυκνότητα του χρόνου αποτυχίας, η σχέση μεταξύ του χρόνου αποτυχίας και της συνάρτησης επιβίωσης διατυπώνεται μέσω της συνάρτησης κινδύνου. Η συνάρτηση κινδύνου είναι ένας δείκτης το στιγμιαίου ρυθμού αλλαγής της πιθανότητας τέλους την χρονική στιγμή t , υπό την προϋπόθεση ότι το γεγονός έχει διαρκέσει χρόνο t .

Αφού η συνάρτηση δηλώνει τον ρυθμό αποτυχίας ανά μονάδα χρόνου στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$, ονομάζεται επίσης και ρυθμός κινδύνου. Αυτός ο ρυθμός μπορεί να αυξάνεται, να μειώνεται, να παραμένει σταθερός και/ή να υποδεικνύει μια πιο σύνθετη διαδικασία ανάλογα με τα δεδομένα που υπόκεινται σε επεξεργασία. Ο ρυθμός μπορεί επίσης να πάρει διαφόρων ειδών κατευθύνσεις, όπως αύξηση και στην συνέχεια μείωση και αντίστροφα, με την πάροδο του χρόνου.

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 τις τιμές των επεξηγηματικών μεταβλητών στο μοντέλο. Ως αποτέλεσμα μικρή σημασία δίνεται στην ακριβή διάρκεια του γεγονότος στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων. Το μοντέλο επιταχυνόμενου χρόνου αποτυχίας, όμως, δίνει μεγαλύτερη σημασία στην διάρκεια και ως εκ τούτου θεωρείται πιο ακριβής μέθοδος στην επεξεργασία της διάρκειας των ατυχημάτων.

Ο χρόνος επιβίωσης χρίζει ειδικής μεταχείρισης για τον λόγο ότι είναι περιορισμένος και πάντα θετικός, και γιατί στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όπου διεξάγεται ανάλυση επιβίωσης, η μελετώμενη έκβαση δεν είναι γνωστή για όλα τα περιστατικά. Έτσι, η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται χωρίς να μελετηθεί η έκβαση για όλα τα περιστατικά, τα οποία ως συνέπεια περιέχουν λογοκριμένες (censored) παρατηρήσεις. Το μόνο που μπορεί να λεχθεί είναι ότι ο χρόνος επιβίωσης τους είναι μεγαλύτερος από την τιμή που έχει καταγραφεί (Φωκιανός και Χαραλάμπους, 2010).

3.2.1. Συνάρτηση Επιβίωσης

Συμβολίζοντας τον 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:

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

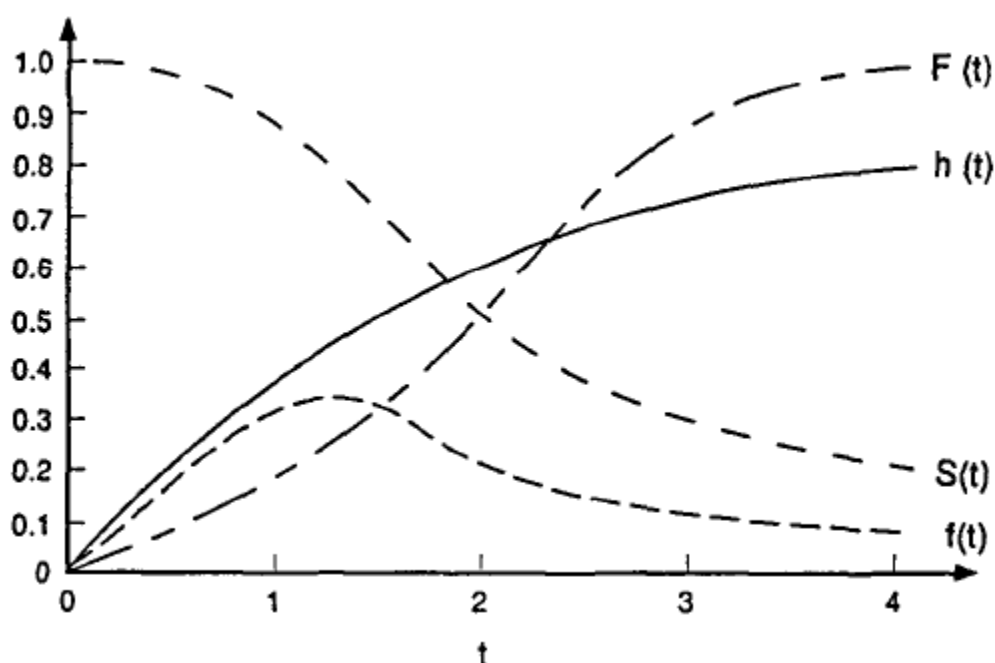
Η συνάρτηση επιβίωσης είναι μη αρνητική και μη αύξουσα συνάρτηση του t με $S(0)=1$ και $S(\infty)=0$. Η γραφική παράσταση της $S(t)$ συναρτήσεως του t είναι γνωστή ως καμπύλη επιβίωσης και είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση δεδομένων χρόνου επιβίωσης (Φωκιανός et al. 2010).

3.2.2. 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 σχήμα 2 απεικονίζεται η συνάρτηση κινδύνου (Φωκιανός et al. 2010).



Σχήμα 2: Απεικόνιση των συναρτήσεων κινδύνου ($h(t)$), πυκνότητας ($f(t)$), αθροιστικής κατανομής ($F(t)$) και επιβίωσης ($S(t)$) (Πηγή: Hensher and Mannering 1994).

3.3. Στατιστική εξάρτηση- Παλινδρόμηση

Αν θελήσουμε να περιγράψουμε την σχέση μεταξύ των τιμών δύο ή περισσότερων μεταβλητών μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την 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 Y στο X . Ερευνάμε την σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής Y που βασίζεται στην εξηγηματική μεταβλητή X . Όταν πάνω από μια εξηγηματικές 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:

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

γίνεται λογαρίθμηση και τις δύο πλευρές της παράστασης.

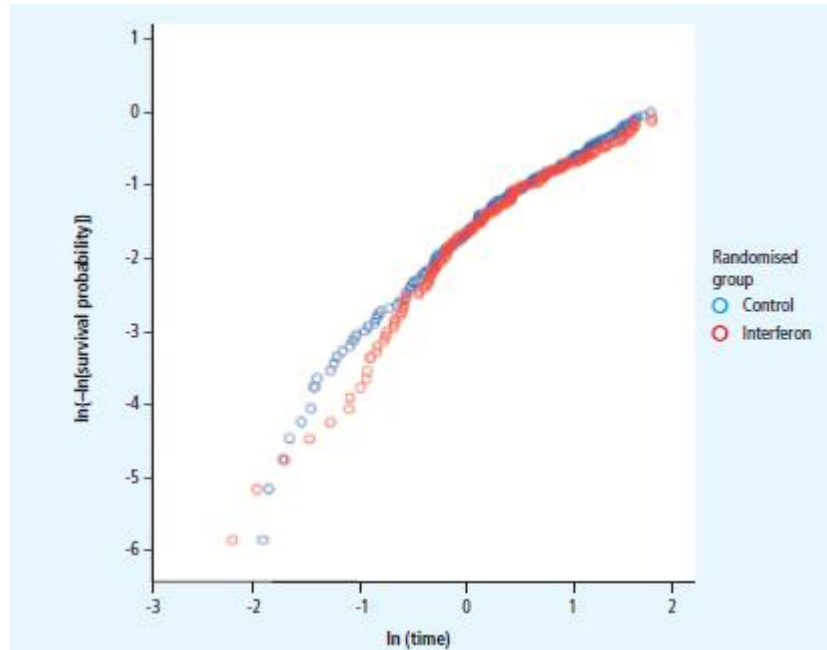
$$\ln h(t) = \ln h_0(t) + (b_1 + b_2 + \dots + b_m)$$

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 (ordinary regression).

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 την 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 καμπυλών 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. Ένας ακριβέστερος έλεγχος βασίζεται στο συμπληρωματικό διάγραμμα log-log (Σχήμα 3).

Με αυτή την μέθοδο, ένα διάγραμμα του λογαρίθμου του αρνητικού λογαρίθμου της εκτιμημένης συνάρτησης επιβίωσης σε σύγκριση με τον λογάριθμο του χρόνου επιβίωσης θα παράγουν παράλληλες καμπύλες υπό την προϋπόθεση ότι οι κίνδυνοι είναι αναλογικοί για ολόκληρες τις ομάδες δεδομένων (Walters 2009).



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

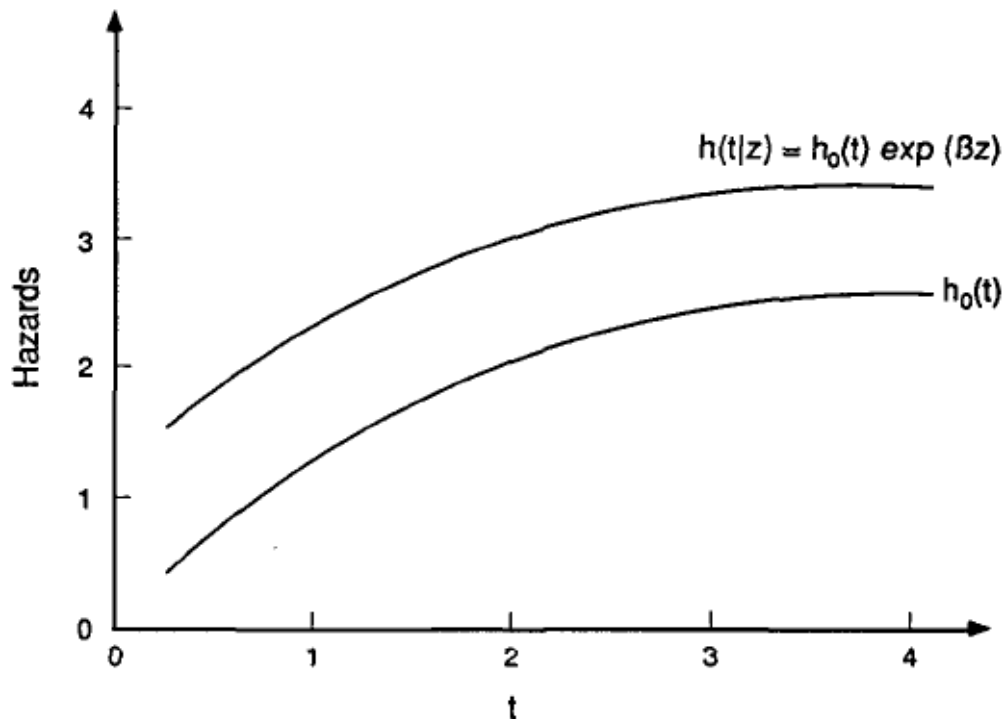
3.4. Μοντέλο αναλογικών συναρτήσεων κινδύνου

Τα μοντέλα αναλογικού κινδύνου είναι μία κατηγορία μοντέλων επιβίωσης στην στατιστική. Τα μοντέλα επιβίωσης συνδέουν τον χρόνο που περνά μέχρι ένα γεγονός να συμβεί με μία ή περισσότερες μεταβλητές που μπορεί να συνδέονται με αυτή την ποσότητα (χρόνο). Στο σχήμα 4 απεικονίζεται της συνάρτησης κινδύνου που προκύπτει από το μοντέλο αναλογικών κινδύνων.

Στην ανάλυση επιβίωσης παίζει μεγάλο ρόλο η εξεύρεση παραγόντων που σχετίζονται με τον χρόνο επιβίωσης. Αυτοί οι παράγοντες θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί 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 την πιο γνωστή να είναι το μοντέλο αναλογικών συναρτήσεων κινδύνου (Cox 1972).



Σχήμα 4: Απεικόνιση της συνάρτησης κινδύνου που προκύπτει από το μοντέλο αναλογικών κινδύνων (Πηγή: Hensher and Mannering 1994).

3.4.1. 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 (ρυθμός κινδύνου) δίνεται από:

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

όπου:

- $f(t)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
- $R(t)$ είναι η συνάρτηση αξιοπιστίας

Να σημειωθεί ότι για την περίπτωση του ρυθμού αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) μιας μονάδας που εξαρτάται όχι μόνο από τον 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 (ρυθμός κινδύνου)μίας μονάδας είναι αποτέλεσμα των παρακάτω:

- Μιας αυθαίρετης και απροσδιόριστης βασικής γραμμής του ρυθμού αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου), $\lambda_0(t)$, που είναι συνάρτηση μόνο του χρόνου
- Μια θετική συνάρτηση $g(x,A)$, ανεξάρτητη του χρόνου, η οποία ενσωματώνει την επιρροή των μεταβλητών.

Ο ρυθμός αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) μιας μονάδας δίνεται από:

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

όπου

- X είναι διάνυσμα σειράς που συνίσταται από τις 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 εκθετική μορφή εξαιτίας της απλότητάς της:

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

Ο ρυθμός αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) μπορεί να γραφτεί:

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

3.4.2. Μοντέλο αναλογικών κινδύνων διατυπωμένο σε παραμετρική μορφή

Η παραμετρική μορφή του μοντέλου αναλογικών κινδύνων μπορεί να αποκτηθεί υποθέτοντας υποκείμενη 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 $\beta = 1$. Με άλλα λόγια, υποθέτεται ότι η βασική γραμμή του ρυθμού αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) στην εξίσωση $\lambda(t, X) = \lambda_0(t) \cdot e^{\sum_{j=1}^m a_j x_j}$ είναι παραμετρική και δίνεται από την κατανομή Weibull. Σε αυτή την περίπτωση, η βασική γραμμή του ρυθμού αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) δίνεται από την εξής σχέση:

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

και ο ρυθμός αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) του αναλογικού κινδύνου γίνεται,

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

(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 επιτρέπεται στην παράμετρο κλίμακας Weibull προσαρμοσμένη στην βήτα παράμετρο να συμπεριλαμβάνεται στο διάνυσμα των συντελεστών παλινδρόμησης. Ο ρυθμός αποτυχίας (ρυθμός κινδύνου) του αναλογικού κινδύνου μπορεί να γραφτεί:

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

Η συνάρτηση αξιοπιστίας του αναλογικού κινδύνου δίνεται:

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

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

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

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:

$$\ln(L) = \Lambda = \sum_{i=0}^{F_e} N_i \ln(\beta \cdot T_i^{\beta-1} e^{-T_i^{\beta} \cdot e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}}} e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}}) \\ - \sum_{i=1}^S N'_i (T'_i)^{\beta} e^{\sum_{j=0}^m a_j x_{i,j}} + \sum_{i=1}^{F_I} N_i \ln [R_{Li} - R_{Ri}]$$

οπού:

$$R_{Li} = e^{-T_{Li}^{\beta} e^{\sum_{j=0}^m a_j x_j}}$$

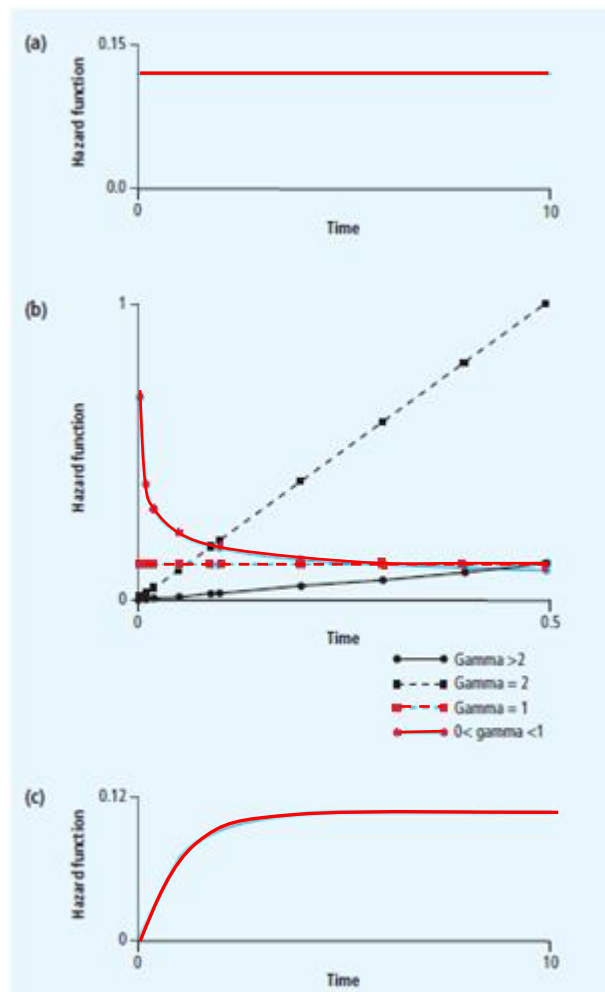
$$R_{Ri} = e^{-T_{Ri}^{\beta} e^{\sum_{j=0}^m a_j x_j}}$$

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 η συνάρτηση πιθανοφάνειας για το αναλογικών κινδύνων-εκθετικό μοντέλο, που είναι παρόμοιο με το μοντέλο αναλογικών κινδύνων που πρότεινε ο Cox.

3.4.2.1. Παραδείγματα πλήρως παραμετρικών μοντέλων

Ένα πλήρως παραμετρικό μοντέλο αναλογικών κινδύνων θέτει υποθέσεις αλλά παράλληλα υποθέτει και την 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 το σκοπό είναι κυρίως η εκθετική, η Weibull και η Gompertz, όπως φαίνονται στο σχήμα 5. Το πιο απλό μοντέλο για τη συνάρτηση κινδύνου είναι να υποτεθεί ότι είναι σταθερά πάνω από τον χρόνο. Ο κίνδυνος να συμβεί ένα γεγονός έπειτα από την έναρξη της μελέτης είναι ο ίδιος, ανεξαρτήτως του χρόνου που περνάει, και η συνάρτηση κινδύνου ακολουθεί την εκθετική κατανομή. Στην πράξη, η υπόθεση μιας σταθερής συνάρτησης κινδύνου (ή αντίστοιχα εκθετικά κατανομημένοι χρόνοι επιβίωσης) είναι σπάνια λογική. Μια γενικότερη μορφή για την συνάρτηση κινδύνου ονομάζεται κατανομή Weibull. Το σχήμα της συνάρτησης κινδύνου Weibull εξαρτάται επικίνδυνα από κάτι που ονομάζεται παράμετρος σχήματος, που συνήθως συμβολίζεται ως γ . Αφού η συνάρτηση κινδύνου Weibull μπορεί να πάρει διάφορες μορφές εξαρτώμενη από την παράμετρο σχήματος γόμμα, 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 τον χρόνο στο άμεσο μέλλον και μετά να σταθεροποιείται, μια συνάρτηση κινδύνου που ακολουθεί την κατανομή Gompertz μπορεί να είναι κατάλληλη. Διαφορετικές κατανομές υποδηλώνουν και διαφορετικά σχήματα για την συνάρτηση κινδύνου, και στην πράξη η κατανομή που περιγράφει καλύτερα την συναρτησιακή μορφή της παρατηρούμενης συνάρτησης κινδύνου επιλέγεται (Walters 2009).



Σχήμα 5: Παραδείγματα συναρτήσεων κινδύνου για τον χρόνο (α) εκθετική κατανομή, (b) κατανομή Weibull, (c) κατανομή Gompertz (Πηγή: Walters 2009).

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.

3.4.3. Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox

Το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox (Cox's proportional hazards model/ Cox regression) θεωρείται μια ημιπαραμετρική 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.

Παρόλα αυτά, αν η υπόθεση μια 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 (Cox's proportional hazards model) ή απλούστερα το μοντέλο του Cox αποτελεί μια γενικότερη μέθοδο ανάλυσης της επιβίωσης, στην οποία ενδεχομένως να συμπεριλαμβάνονται περισσότεροι από ένας 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 στην μοντελοποίηση του χρόνου ενός συγκεκριμένου γεγονότος βασιζόμενη στην τιμή μια 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 την 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 ημιπαραμετρικό.

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.

Περιγραφή, Ανάλυση και Αποτελέσματα

4.1. Μεθοδολογία Ανάπτυξης μοντέλων

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διευκρίνιση των παραγόντων του ατυχήματος που επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος. οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται άμεσα με την διάρκεια ατυχήματος και η διερεύνηση της επιρροής τους θα βοηθήσει στην διαχείριση του ατυχήματος.

Η ανάλυση βασίζεται στην Ανάλυση Επιβίωσης (Survival Analysis) και πιο συγκεκριμένα στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox. Η διαφοροποίηση της εργασίας αυτής από την προϋπάρχουσα έρευνα συνίσταται στην χρήση μεταβλητών που σχετίζονται με τις ουρές.

Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις ουρές είναι το μέγιστο μήκος ουράς και η διάρκεια ουράς, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές στρωματοποίησης. Η ανάλυση γίνεται με δύο εφαρμογές στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox, όπου κάθε μία αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή στρωματοποίησης. Χρησιμοποιούμε μεταβλητές στρωματοποίησης για να μπορέσουμε να εισάγουμε τα χαρακτηριστικά των ουρών στο μοντέλο. Οι τιμές των μεταβλητών μέγιστο μήκος ουράς και διάρκεια ουράς έχουν ομαδοποιηθεί και έχει προστεθεί σε κάθε μία η ομάδα μηδέν (0) που αποτελείται από τα ατυχήματα που δεν έχουν ουρές. Οι υπόλοιπες μεταβλητές, νεκροί, τραυματίες, κλειστές λωρίδες, ΜΕΑ, ποσοστό βαρέων οχημάτων και περίοδος ημέρας, συμμετέχουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές και στις δύο εφαρμογές.

Με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω θα γίνει προσπάθεια να απαντηθεί το ερώτημα «ποιες μεταβλητές και πιο συγκεκριμένα ποιες τιμές των μεταβλητών επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος άρα και την διαχείριση του;».

4.2. Περιγραφή της βάσης δεδομένων

Η Αττική Οδός είναι ο, 65 km μήκους, αστικός αυτοκινητόδρομος που συνδέει δύο υπεραστικούς αυτοκινητοδρόμους, τον διεθνή αερολιμένα Ελευθέριος Βενιζέλος και το κέντρο της Αθήνας. Σε καθημερινή βάση, καταγράφονται πάνω από 295.000

διελεύσεις (data 2007), υπερβαίνοντας κατά 30% τις αρχικές προβλέψεις. Οι διαδικασίες ρυθμίζονται από ένα προηγμένο κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας. Ο έλεγχος κυκλοφορίας και η διαχείριση διευθύνονται μέσω ενός εκτεταμένου δικτύου ITS εξοπλισμένου με 220 φωτογραφικές μηχανές CCTV, επαγωγικούς βρόχους ανά 500m στον ανοικτό δρόμο και ανά 50m στις σήραγγες, τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης (ERT) στην άκρη του δρόμου, CO/ ανιχνευτές διαφάνειας σε σήραγγες κάλυψης, σύστημα ανίχνευσης των οχημάτων που ξεπερνούν το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος οχήματος σε σημεία εισόδων και περισσότερα από 70 μεταβλητά σημάδια μηνυμάτων (VMS), (Vlahogianni et al, 2010).



Σχήμα 6: Χάρτης της Αττικής Οδού (Πηγή: www.aodos.gr/)

Το διαθέσιμο αρχείο ατυχημάτων περιλαμβάνει 1740 ατυχήματα για την χρονική περίοδο 2007-2008 (853 το έτος 2007, 887 το έτος 2008). Τα ατυχήματα που συνέβησαν κοντά ή στις κεκλιμένες ράμπες δεν εξετάστηκαν.

Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει πληροφορίες για την ημερομηνία και ώρα έναρξης και λήξης, την χιλιομετρική θέση, τον τύπο του ατυχήματος, την υποκατηγορία, το

αποτέλεσμα, το πλήθος των νεκρών και των τραυματιών, τις λωρίδες, τους τύπους και το πλήθος των οχημάτων, την ημερομηνία και ώρα έναρξης και λήξης της ουράς και το μέγιστο μήκος ουράς.

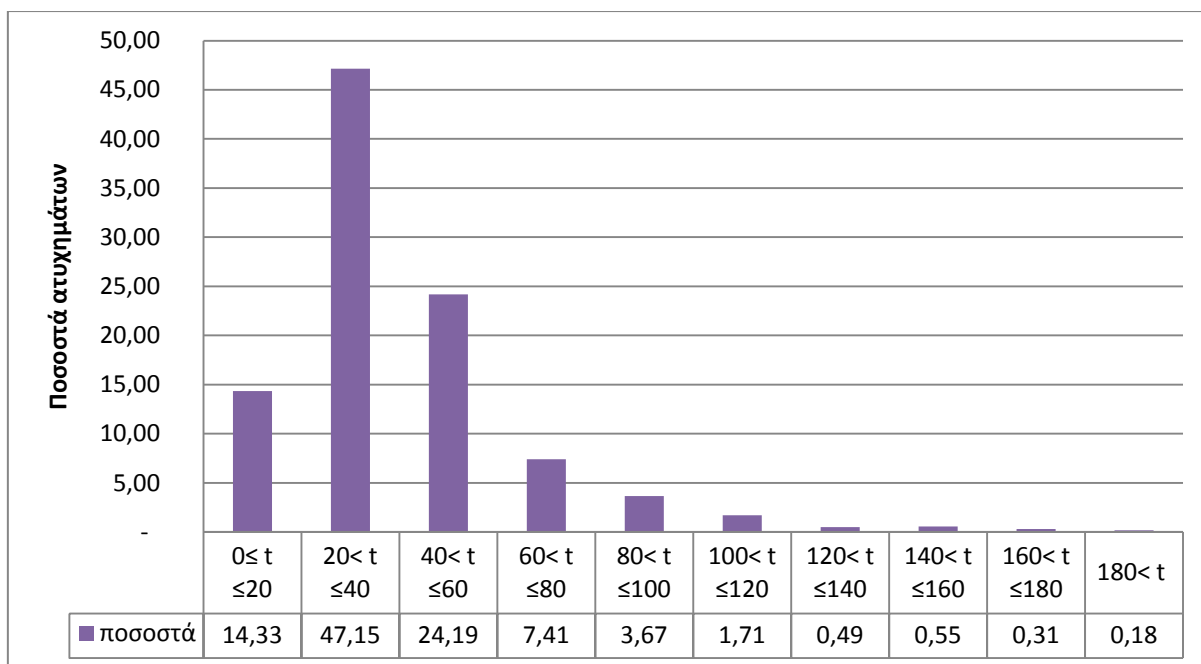
Η ανάλυση των δεδομένων θα γίνει με το μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox. Θα δημιουργηθεί μία νέα βάση δεδομένων η οποία θα περιλαμβάνει την διάρκεια του ατυχήματος σε λεπτά, τους νεκρούς, τους τραυματίες, τις κλειστές λωρίδες, τις ΜΕΑ, το ποσοστό βαρέων οχημάτων που συμμετείχαν στο ατύχημα, την περίοδο ημέρα, το μέγιστο μήκος ουράς και την διάρκεια της ουράς σε λεπτά. Η μεταβλητή διάρκεια ατυχήματος τίθεται ως εξαρτημένη, οι μεταβλητές νεκροί, τραυματίες, κλειστές λωρίδες, ΜΕΑ, ποσοστό βαρέων οχημάτων και περίοδος ημέρας χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές και οι μεταβλητές μέγιστο μήκος ουράς και διάρκεια ουράς αποτελούν τις μεταβλητές στρωματοποίησης, οι οποίες ορίζουν και τις δύο περιπτώσεις μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν.

Η βάση δεδομένων μειώθηκε στα 1633 ατυχήματα, η οποία περιλαμβάνει μόνο τα ατυχήματα που δεν έχουν ελλείπει στοιχεία.

Με βάση τα δεδομένα που διατίθενται ο μέσος όρος της περιόδου του ατυχήματος είναι 41 λεπτά με ελάχιστη τιμή 4 λεπτά και μέγιστη 221 λεπτά. Παρακάτω παρατίθενται ο Πίνακας 2 και το Διάγραμμα 1 στα οποία αποτυπώνεται το πλήθος των ατυχημάτων (συχνότητα) που εμπίπτουν σε υποπεριόδους των 20 λεπτών. Στον Πίνακα 2 έχουν καταγραφεί οι πιθανές ανεξάρτητες μεταβλητές, συνοδευόμενες από τις τιμές τους, την συχνότητα με την οποία εμφανίζονται και τα ποσοστά επί του συνολικού δείγματος.

Πίνακας 2: Συχνότητες και ποσοστά ατυχημάτων σε υποπεριόδους των 20 λεπτών

Χρονική Περίοδος σε λεπτά	Αριθμός Ατυχημάτων	Ποσοστά
$0 \leq t \leq 20$	234	14,33
$20 < t \leq 40$	770	47,15
$40 < t \leq 60$	395	24,19
$60 < t \leq 80$	121	7,41
$80 < t \leq 100$	60	3,67
$100 < t \leq 120$	28	1,71
$120 < t \leq 140$	8	0,49
$140 < t \leq 160$	9	0,55
$160 < t \leq 180$	5	0,31
$180 < t$	3	0,18



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ποσοστών ατυχημάτων σε υποπεριόδους των 20 λεπτών

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα και στο παραπάνω διάγραμμα σχεδόν τα μισά ατυχήματα (47,15%) έχουν χρονική διάρκεια μεταξύ 20 και 40 λεπτών και για το 85,67% των ατυχημάτων η οδός καθαρίζεται σε διάστημα μικρότερο της μιας ώρας. Όμως βλέπουμε ότι 25 ατυχήματα έχουν διάρκεια πάνω από δύο ώρες.

Ο Πίνακας 3 συνοδεύεται και από τα αντίστοιχα διαγράμματα (Διάγραμμα 2, Διάγραμμα 3, Διάγραμμα 4, Διάγραμμα 5).

Πίνακας 3: Πιθανές ανεξάρτητες μεταβλητές

Μεταβλητές	Πιθανές	Αριθμός	Πιθανότητα	Μεταβλητές	Πιθανές	Αριθμός	Πιθανότητα
νεκροί ¹	0	1614	98,84	ΜΕΑ ³	1	590	36,13
	1	19	1,16		2	579	35,46
τραυματίες ¹	0	1490	91,24		3	151	9,25
	1	143	8,76		4	232	14,21
κλειστές λωρίδες ²	11	343	21,00		5	43	2,63
	12	69	4,23		6	22	1,35
	13	121	7,41		7	11	0,67
	14	782	47,89		8	3	0,18
	2	113	6,92		9	1	0,06
	3	12	0,73		11	1	0,06
	4	156	9,55	% βαρέων οχημάτων ⁴	0,0	1351	82,73
	5	37	2,27		42,9	5	0,30
δίκυκλα	0	1447	88,61		50,0	3	0,18
	1	177	10,84		60,0	22	1,35
	2	9	0,55		75,0	199	12,19
ΙΧ	0	138	8,45		85,7	5	0,31
	1	795	48,68		100,0	48	2,94
	2	522	31,97	περίοδοι ημέρας ⁵	1	113	6,92
	3	112	6,86		2	312	19,11
	4	35	2,14		3	319	19,53
	5	21	1,29		4	582	35,64
	6	4	0,24		5	307	18,80
	7	2	0,12				
	8	4	0,24				
βαρέα οχήματα (φορτηγά/ λεωφορεία)	0	1351	82,73				
	1	261	15,98				
	2	20	1,22				
	3	1	0,06				

1. Επιλέγονται οι μεταβλητές νεκροί και τραυματίες καθώς στην περίπτωση ύπαρξης νεκρού ή τραυματία τα βοηθητικά οχήματα που απαιτούνται στον καθαρισμό της οδού είναι περισσότερα και επιβάλλεται μεγάλη προσοχή στον χειρισμό. Θέτονται και στις δύο μεταβλητές τις τιμές 0 και 1 όπου αντιπροσωπεύουν την μη ύπαρξη και την ύπαρξη αντίστοιχα.

2. Οι κλειστές λωρίδες έχουν κωδικοποιηθεί ως εξής:

# 11	Αριστερή Λωρίδα Κλειστή
# 12	Μεσαία Λωρίδα Κλειστή
# 13	Δεξιά Λωρίδα Κλειστή
# 14	ΛΕΑ Κλειστή
# 2	Λωρίδες = 2
# 3	Λωρίδες ≥ 3
# 4	Λωρίδες = 1 και ΛΕΑ κλειστή
# 5	Λωρίδες ≥ 2 και ΛΕΑ κλειστή

Η μεταβλητή κλειστές λωρίδες υποθέτεται ως σημαντική καθώς με το κλείσιμο των λωρίδων μειώνεται η κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού με πιθανό αποτέλεσμα την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

3. Οι γενικευμένοι συντελεστές μετατροπής σε Μονάδες Επιβατικών Αυτοκινήτων είναι σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών της Μ. Βρετανίας για υπεραστικές οδούς έχουν ως εξής (Φραντζεσκάκης, Λατινοπούλου, Τσαμπούλας, 1997):

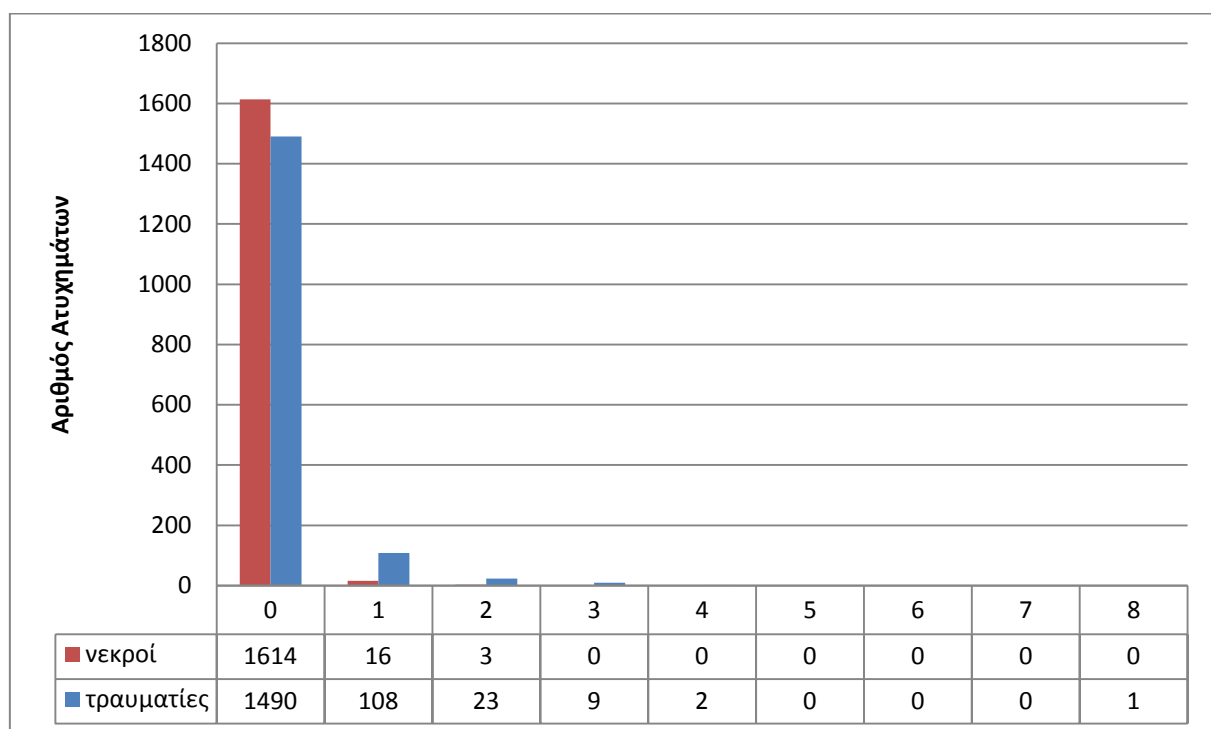
- Επιβατικά αυτοκίνητα, ταξί, τρίκυκλες μοτοσυκλέτες, ελαφρά φορτηγά (μέχρι 1.5 τόνο ωφέλιμο φορτίο) 1,00
- Μοτοσυκλέτες, μοτοποδήλατα 1,00
- Μέσα και βαρέα φορτηγά αυτοκίνητα (ωφέλιμου φορτίου πάνω από 1.5 τόνο) 3,00
- Λεωφορεία, πούλμαν, τρόλεϊ 3,00

4. Η μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων χρησιμοποιείται με στόχο να συμπεριλαμβάνεται η σύνθεση των οχημάτων του ατυχήματος.

5. Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι παρουσιάζουν διακρινόμενους κύκλους διακύμανσης. Η εντονότερη διακύμανση παρουσιάζεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Με σκοπό την ενσωμάτωση των κυκλοφοριακών συνθηκών στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν περίοδοι της ημέρας.

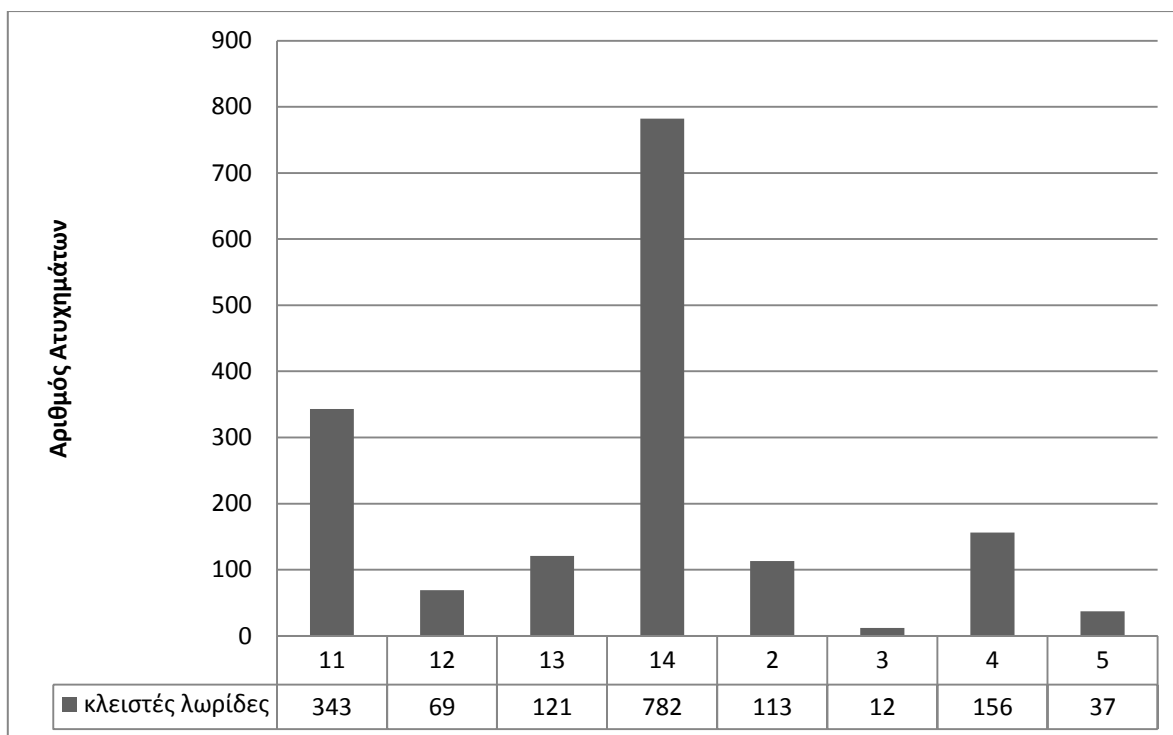
Ευρήματα προγενέστερης έρευνας στο ίδιο δίκτυο έδειξαν ότι για την πιο αποτελεσματική ανάλυση των δεδομένων είναι απαραίτητος ο χωρισμός της ημέρας στις ακόλουθες περιόδους (Τσιριγώτης 2010):

# 1	Νυχτερινή	00:00-04:59
# 2	Πρωινή	05:00-08:59
# 3	Μεσημεριανή	09:00-11:59
# 4	Απογευματινή	12:00-17:59
# 5	Βραδινή	18:00-23:50



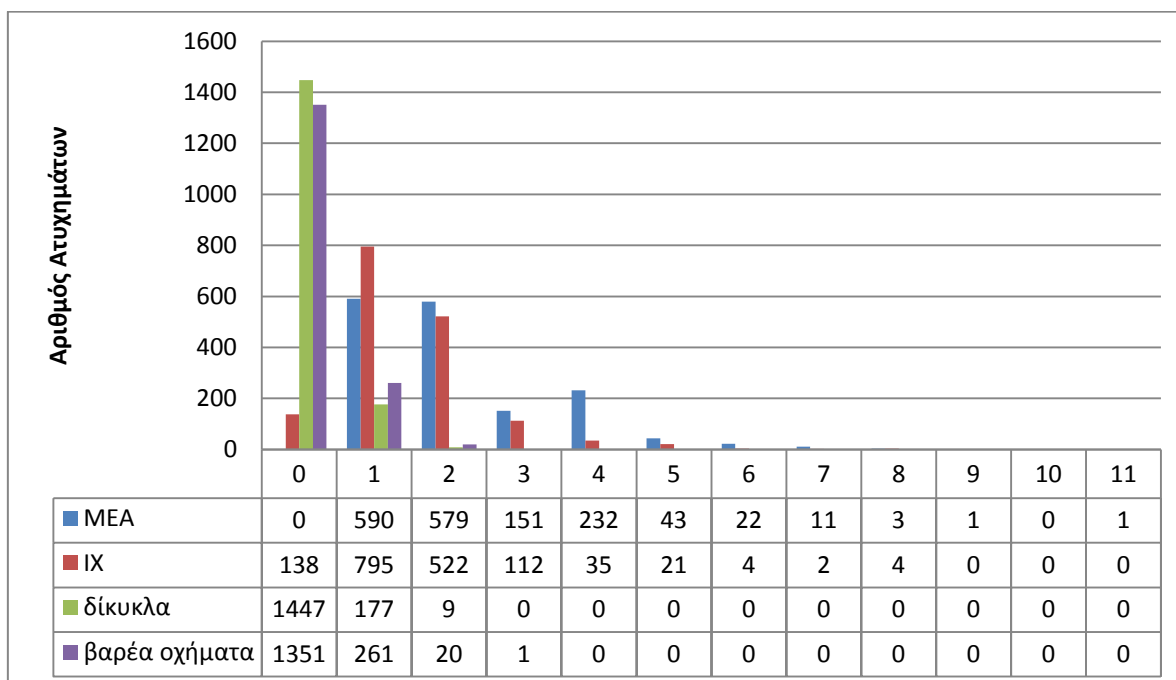
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα συχνοτήτων νεκρών και τραυματιών

Παρατηρείται ότι τα ατυχήματα που περιλαμβάνουν περισσότερους από 1 νεκρό ή τραυματία είναι αμελητέα σε σχέση με τον συνολικό όγκο των ατυχημάτων.



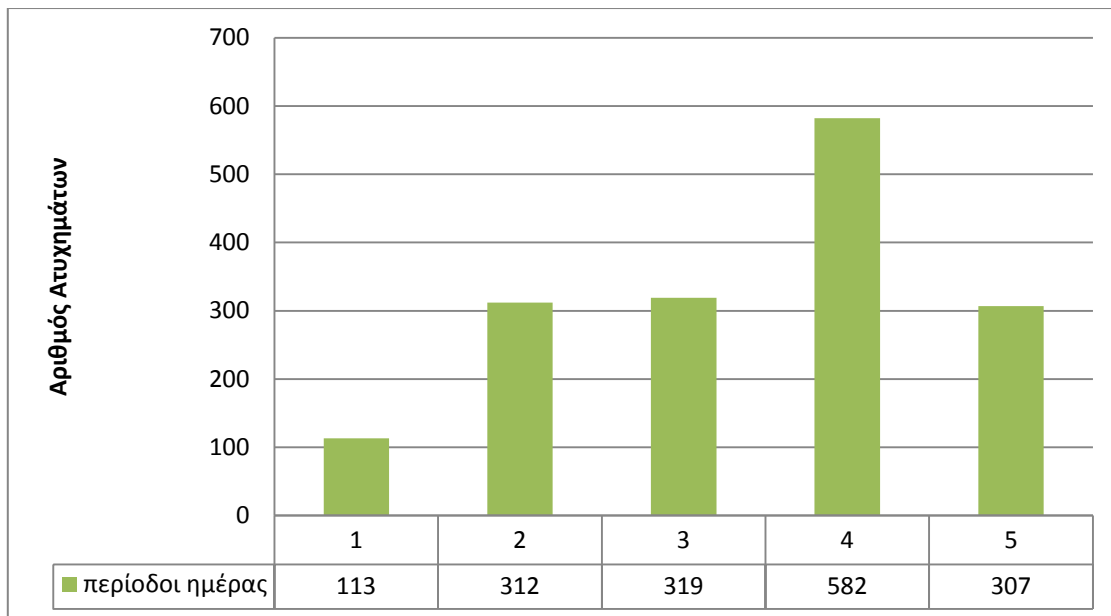
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα συχνοτήτων κλειστών λωρίδων

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι σχεδόν στα μισά ατυχήματα (782) η λωρίδα που κλείνει είναι η ΛΕΑ και η επόμενη που κλείνει είναι η αριστερή λωρίδα (343). Στο μεγαλύτερο ποσοστό των ατυχημάτων βλέπουμε να κλείνει μια λωρίδα.



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα συχνοτήτων MEA, IX, δίκυκλων, βαρέων οχημάτων

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα στην κατηγορία οχημάτων ΜΕΑ είναι πιο ομαλή η μείωση από ότι στις υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η χρήση ΜΕΑ σε συνδυασμό με το ποσοστό των βαρέων οχημάτων, έτσι ώστε να έχουμε αντίληψη της σύνθεσης της κυκλοφορίας σε συνδυασμό με μια μεταβλητή της οποίας οι τιμές να είναι κυμαίνονται ομαλότερα.



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα συχνοτήτων περιόδων ημέρας

Όπως είναι αναμενόμενο εξαιτίας της μειωμένης κυκλοφορίας τα λιγότερα ατυχήματα λαμβάνουν χώρα την βραδινή περίοδο και τα περισσότερα την απογευματινή.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι το μέγιστο μήκος ουράς δεν σημαίνει απαραίτητα ελάχιστες ή μηδενικές ταχύτητες αλλά πιθανώς μια ροή χαμηλών ταχυτήτων με περιοχές υψηλότερων και χαμηλών μέσα στο μήκος της ουράς. Επίσης ότι η καταγραφή έγινε από το προσωπικό του ΚΔΚ από τις κάμερες και ότι πολλές φορές ένα ατύχημα γίνεται μέσα σε ουρά που την επιτείνει αλλά δεν την προκαλεί και ότι μια ουρά από ατύχημα μπορεί να ενωθεί χρονικά ή χωρικά με ουρά λόγω ζήτησης οπότε είναι δυσδιάκριτο αν αυτή οφείλεται στο ατύχημα και σε ποιο βαθμό.

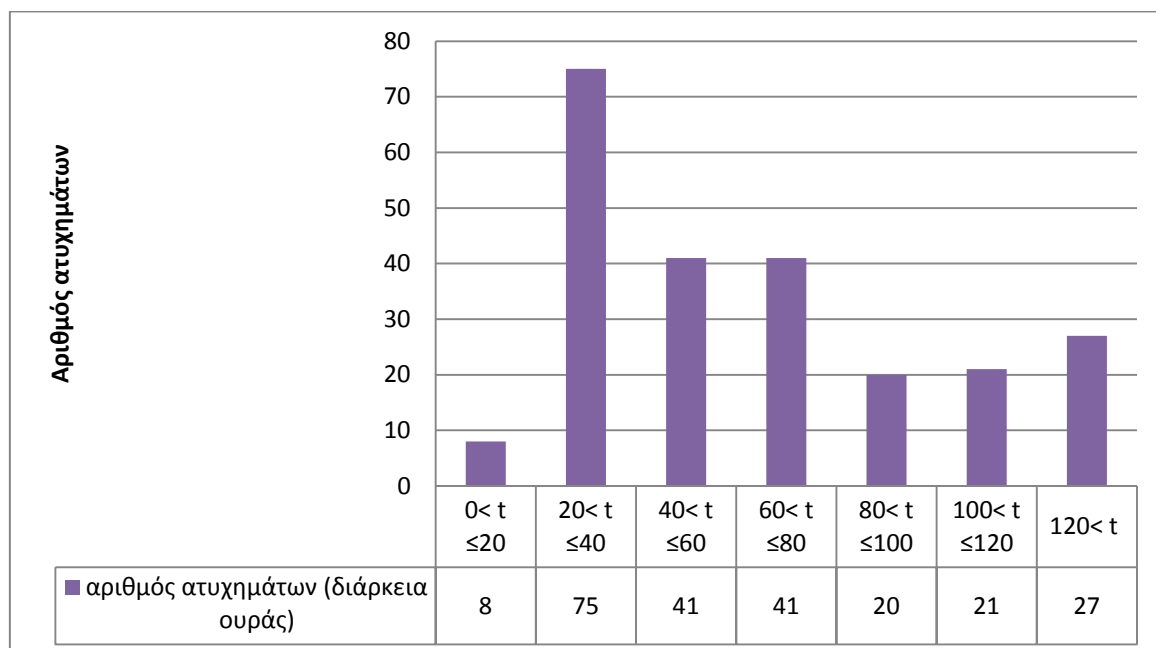
Παρόμοια διεργασία με αυτή που έγινε ανεξάρτητες μεταβλητές, εφαρμόστηκε και στις μεταβλητές στρωματοποίησης. Με βάση τα δεδομένα που διατίθενται ο μέσος όρος της περιόδου της ουράς είναι 68 λεπτά με ελάχιστη τιμή 10 λεπτά και μέγιστη 301 λεπτά και ο μέσος όρος της του μέγιστου μήκους ουράς είναι 3019 m με ελάχιστη τιμή 300 m και μέγιστη 10700 m. Παρακάτω παρατίθενται ο Πίνακας 4 και το Διάγραμμα 6 στα οποία αποτυπώνεται το πλήθος των ουρών (συχνότητα) που η διάρκεια τους ανήκει σε υποπεριόδους των 20 λεπτών, δηλαδή είναι ένας πίνακας

όπου παρουσιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων που η διάρκεια της ουράς αντιστοιχεί στην κάθε χρονική περίοδο. Παράλληλα ο Πίνακας περιλαμβάνει το ποσοστό και τον αύξων αριθμό της κατηγορίας στην οποία ανήκει η κάθε διάρκεια ουράς.

Πίνακας 4: Συχνότητες, ποσοστά ατυχημάτων και αύξοντες αριθμοί για διάρκειες ουρών σε υποπεριόδους των 20 λεπτών

Χρονική Περίοδος σε λεπτά	Αύξων Αριθμός	Αριθμός Ατυχημάτων	Ποσοστά
t=0	0	1400	85,73
0< t ≤20	1	8	0,49
20< t ≤40	2	75	4,59
40< t ≤60	3	41	2,51
60< t ≤80	4	41	2,51
80< t ≤100	5	20	1,22
100< t ≤120	6	21	1,29
120< t	7	27	1,65

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ατυχημάτων (85,73%) δεν περιλαμβάνει ουρά και ο μέγιστος αριθμός ατυχημάτων που περιλαμβάνει ουρά εμφανίζεται σε διάρκειες μεταξύ 20 και 40 λεπτών.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα συχνοτήτων ατυχημάτων για διάρκειες ουρών σε υποπεριόδους των 20 λεπτών

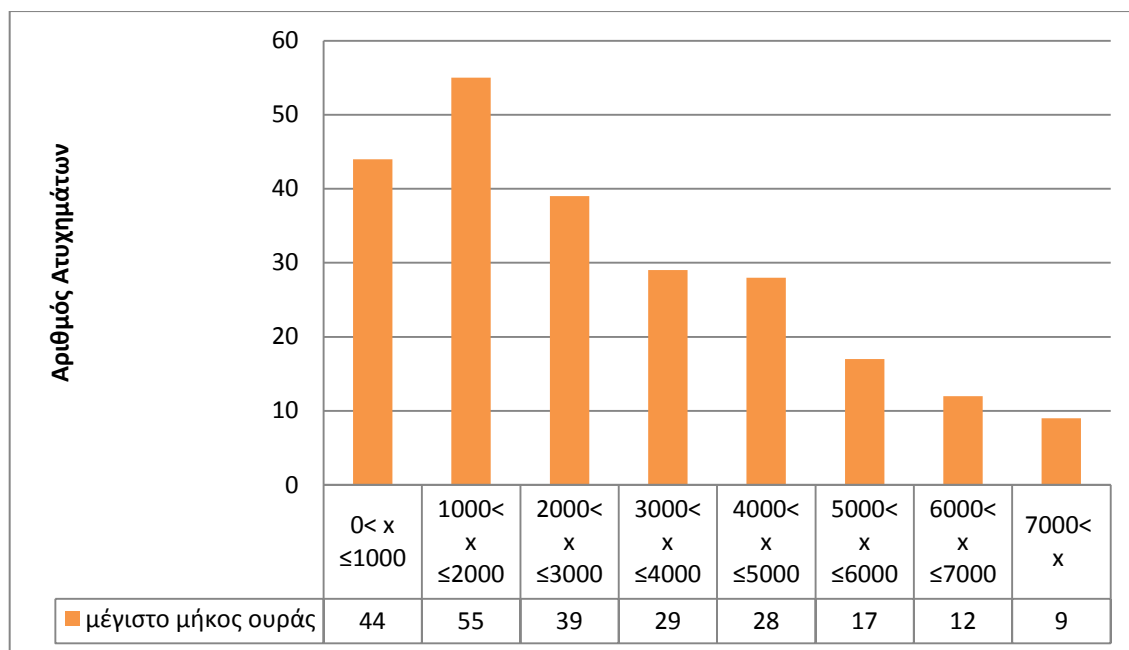
Παραπάνω, στο Διάγραμμα 6 όπου απεικονίζονται οι συχνότητες των ατυχημάτων για διάρκειες ουρών σε υποπεριόδους των 20 λεπτών, είναι εμφανές ότι οι διακυμάνσεις στις υποπεριόδους είναι ομαλές. Επίσης τα ατυχήματα με ουρές που διαρκούν πάνω από 2 ώρες είναι αρκετά αν συνυπολογίσουμε ότι τα ατυχήματα με ουρές είναι 233.

Παρακάτω, στον Πίνακα 5 έχουν καταγραφεί η συχνότητα, η πιθανότητα των ατυχημάτων και τον αύξων αριθμό για τις πιθανές τιμές της μεταβλητής στρωματοποίησης- μέγιστο μήκος ουράς. Ο Πίνακας 5 συνοδεύεται και από το αντίστοιχο διάγραμμα (Διάγραμμα 7).

Πίνακας 5: Συχνότητες, ποσοστά και αύξοντες αριθμοί για μέγιστο μήκος ουράς

Μέγιστο Μήκος Ουράς σε μέτρα	Αύξων Αριθμός	Αριθμός Ατυχημάτων	Πιθανότητα
$x = 0$	0	1400	85,73
$0 < x \leq 1000$	1	44	2,69
$1000 < x \leq 2000$	2	55	3,37
$2000 < x \leq 3000$	3	39	2,39
$3000 < x \leq 4000$	4	29	1,78
$4000 < x \leq 5000$	5	28	1,71
$5000 < x \leq 6000$	6	17	1,04
$6000 < x \leq 7000$	7	12	0,73
$7000 < x$	8	9	0,55

Παρατηρείται ότι τα περισσότερα ατυχήματα στα υπάρχουν ουρές, οι ουρές εκτείνονται από 1000 έως 2000 μέτρα. Πρέπει να σημειωθεί πάλι ότι στην κατηγορία 0 ανήκουν τα ατυχήματα από τα οποία δεν προκύπτουν ουρές, δηλαδή στο σύνολο των 1633 ατυχημάτων που εξετάζονται τα 233 έχουν προκαλέσει ουρές.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα συχνοτήτων μέγιστου μήκους ουράς

Παραπάνω, στο Διάγραμμα 7 όπου απεικονίζονται οι συχνότητες των ατυχημάτων για μέγιστα μήκη ουράς, μπορούμε να δούμε ότι οι διακυμάνσεις είναι ομαλές και μέχρι το μήκος των 5000 μέτρων όλες οι κατηγορίες εμφανίζονται με ποσοστό πάνω από 10% στα ατυχήματα που περιλαμβάνουν ουρές.

4.3. Ανάλυση δεδομένων και αποτελέσματα

Η ανάλυση δεδομένων έγινε, όπως προαναφέρθηκε, με την χρήση του μοντέλου αναλογικών κινδύνων του Cox. Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις ουρές (μέγιστο μήκος ουράς, διάρκεια ουράς) εφαρμόστηκαν ως μεταβλητές στρωματοποίησης. Σε κάθε μια από τις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν και οι υπόλοιπες μεταβλητές (νεκροί, τραυματίες, κλειστές λωρίδες, ΜΕΑ, ποσοστό βαρέων οχημάτων, περίοδος ημέρας) ως κατηγορικές μεταβλητές.

Αντλήθηκαν στοιχεία για το επίπεδο σημαντικότητας κάθε μεταβλητής και ταξινομήθηκαν με σκοπό την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η σειρά με βάση το επίπεδο σημαντικότητας (από την σημαντικότερη μεταβλητή προς την λιγότερο σημαντική μεταβλητή) είναι η εξής:

1. τραυματίες, νεκροί, κλειστές λωρίδες
2. ποσοστό βαρέων οχημάτων
3. ΜΕΑ
4. περίοδος ημέρας

Η ανάλυση των δεδομένων που ακολουθεί γίνεται με την βοήθεια των πινάκων και διαγραμμάτων που προέκυψαν.

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας με τα καθολικά τεστ των συντελεστών των μοντέλων για την σύγκριση των δύο μοντέλων.

Πίνακας 6: Καθολικά τεστ των συντελεστών των μοντέλων

	Μέγιστο Μήκος Ουράς	Διάρκεια ουράς	Μη ύπαρξη ουράς
- 2 Log likelihood	18767,736	18840,447	20717,274
Chi- Square	239,312	232,026	230,614

Καλύτερη εφαρμογή των δεδομένων έχουμε στο μοντέλο όπου το Log likelihood είναι πιο κοντά στο μηδέν (0). Παρατηρούμε ότι το Log likelihood στην περίπτωση της μεταβλητής μέγιστο μήκος ουράς είναι μικρότερο, με πολύ μικρή διαφοροποίηση από την περίπτωση της διάρκειας ουράς. Στην περίπτωση μη εισαγωγής των ουρών στο μοντέλο προκύπτει μεγαλύτερο Log likelihood άρα χειρότερη εφαρμογή στο μοντέλο.

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 7 στον οποίο παραθέτονται για κάθε τιμή μεταβλητής ο συντελεστής παλινδρόμησης, ο στιγμιαίος σχετικός κίνδυνος, το τυπικό σφάλμα και το επίπεδο σημαντικότητας.

Το B ονομάζεται συντελεστής παλινδρόμησης (regression coefficient) και ορίζεται ως ο λογάριθμος του λόγου του κίνδυνου για ένα συγκεκριμένο περιστατικό σε σύγκριση με ένα άλλο περιστατικό. Όταν ο B είναι θετικό (+) τότε ο κίνδυνος μεγαλώνει κατά $\text{Exp}(B)$ για αύξηση κατά μία μονάδα της μεταβλητής και κατά $(\text{Exp}(B))^2$ για αύξηση κατά δύο μονάδες της μεταβλητής κ.ο.κ. Αντίστοιχα όταν το B είναι αρνητικό (-) τότε ο κίνδυνος μειώνεται όμοια με την θετική περίπτωση.

Η ποσότητα $\text{Exp}(B)$ μπορεί να ερμηνευθεί ως ο στιγμιαίος σχετικός κίνδυνος ενός περιστατικού, οποιαδήποτε στιγμή.

Η στήλη SE είναι το τυπικό σφάλμα (standard error) του B.

Η στήλη Sig. μας δίνει το επίπεδο σημαντικότητας. Η τιμή του Sig. είναι επιθυμητό να είναι μέσα στο διάστημα [0, 0.05). Αν η τιμή του Significance είναι μεγαλύτερη του 0.10 τότε οι παρατηρηθείσες μεταβολές στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να οφείλεται στην τύχη. Ως εκ τούτου όταν η τιμή του Sig. ξεπερνάει το 0.10 η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν συμμετέχει.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα ανά μεταβλητή

Μεταβλητές	Μεταβλητή στρωματοποίησης							
	Μέγιστο μήκος ουράς				Διάρκεια ουράς			
	Sig.	B	SE	Exp(B)	Sig.	B	SE	Exp(B)
Νεκροί	0,002	-0,341	0,248	0,456	0,002	-0,320	0,241	0,479
Τραυματίες	0,000	-0,313	0,095	0,486	0,000	-0,305	0,095	0,495
Κλειστές Λωρίδες (2)	0,000	-0,420	0,107	0,380	0,000	-0,587	0,107	0,259
Κλειστές Λωρίδες (3)	0,047	-1,495	0,324	0,032	0,043	-0,866	0,309	0,136
Κλειστές Λωρίδες (4)	0,635	-0,553	0,091	0,280	0,957	-0,536	0,092	0,291
Κλειστές Λωρίδες (5)	0,035	0,391	0,179	2,461	0,026	0,404	0,181	2,537
Κλειστές Λωρίδες (11)	0,001	-0,227	0,073	0,593	0,000	-0,225	0,073	0,595
Κλειστές Λωρίδες (12)	0,000	-1,481	0,129	0,033	0,000	-1,495	0,129	0,032
Κλειστές Λωρίδες (13)	0,660	0,040	0,101	1,096	0,696	0,049	0,101	1,119
Κλειστές Λωρίδες (14)	0,361	-0,936	1,082	0,116	0,263	-0,451	1,085	0,354
MEA (1)	0,015	-1,201	1,081	0,063	0,173	-1,678	1,084	0,021
MEA (2)	0,615	0,127	1,076	1,339	0,198	0,263	1,078	1,833
MEA (3)	0,660	-0,529	1,091	0,296	0,169	-0,876	1,098	0,133
MEA (4)	0,589	0,454	1,105	2,846	0,252	0,383	1,105	2,415
MEA (5)	0,739	-0,040	1,091	0,911	0,089	-0,331	1,093	0,467
MEA (6)	0,406	0,394	1,281	2,475	0,602	0,796	1,284	6,255
MEA (7)	0,789	0,556	1,220	3,597	0,072	0,609	1,233	4,065
MEA (8)	0,159	-0,085	1,463	0,823	0,275	-0,452	1,465	0,353
MEA (9)	0,644	0,385	0,193	2,427	0,894	0,437	0,195	2,738
MEA (11)	0,477	-0,536	0,969	0,291	0,000	-0,593	0,919	0,255
% Βαρέων (0)	0,000	0,331	0,648	2,142	0,060	0,392	0,651	2,466
% Βαρέων (42,9)	0,000	-0,265	0,372	0,543	0,400	-0,043	0,372	0,905
% Βαρέων (50,0)	0,089	0,442	0,273	1,768	0,002	0,246	0,275	1,763
% Βαρέων (60,0)	0,378	-0,585	0,943	0,260	0,007	-0,456	0,891	0,350
% Βαρέων (75,0)	0,004	0,067	0,113	1,168	0,239	0,062	0,113	1,154
% Βαρέων (85,7)	0,008	0,050	0,084	1,123	0,130	0,046	0,084	1,112
% Βαρέων (100,0)	0,153	-0,070	0,083	0,851	0,563	-0,063	0,083	0,865
Περίοδος Ημέρας (1)	0,070	-0,020	0,073	0,954	0,322	-0,019	0,073	0,958
Περίοδος Ημέρας (2)	0,556				0,029			
Περίοδος Ημέρας (3)	0,256				0,559			
Περίοδος Ημέρας (4)	0,015							
Περίοδος Ημέρας (5)	0,520							

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα για τις μεταβλητές νεκροί, τραυματίες και ποσοστό βαρέων οχημάτων ο συντελεστής B είναι θετικός, άρα ο κίνδυνος αυξάνεται. Ενώ στις υπόλοιπες μεταβλητές αναλόγως με τους βαθμούς ελευθερίας διαφοροποιείται το πρόσημο του συντελεστή B.

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις σωματοποιημένης μεταβλητής τα τυπικά σφάλματα των μεταβλητών κυμαίνονται σε αντίστοιχα επίπεδα. Επίσης, τα τυπικά σφάλματα για τις μεταβλητές φτάνουν έως την τιμή 0,330 εκτός από το τυπικό σφάλμα για την μεταβλητή ΜΕΑ και ορισμένες περιπτώσεις της μεταβλητής ποσοστό βαρέων οχημάτων όπου το τυπικό σφάλμα πλησιάζει ή και ξεπερνάει την μονάδα (1).

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 8 που περιλαμβάνει τις τιμές των μεταβλητών και τα επίπεδα σημαντικότητας μόνο για τις περιπτώσεις όπου $Sig < 0,100$.

Πίνακας 8: Μεταβλητές που είναι σημαντικές

Μεταβλητές	Μεταβλητή Στρωματοποίησης			
	Μέγιστο Μήκος Ουράς		Διάρκεια ουράς	
	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)
Νεκροί	0,002	0,456	0,002	0,479
Τραυματίες	0,000	0,486	0,000	0,495
Κλειστές Λωρίδες (2)	0,000	0,380 0,312 2,461 0,593	0,000	0,259 0,459 2,537 0,595
Κλειστές Λωρίδες (3)	0,047		0,043	
Κλειστές Λωρίδες (5)	0,035		0,026	
Κλειστές Λωρίδες (11)	0,001		0,000	
Κλειστές Λωρίδες (12)	0,000	0,593	0,000	0,595
ΜΕΑ (1)	0,015	-	0,007	2,958
ΜΕΑ (6)	-	-	0,089	0,306
ΜΕΑ (8)	-		0,072	
% Βαρέων (0)	0,000	2,427 0,291 1,302 1,768	0,000	2,738 0,255 1,362 1,763
% Βαρέων (42,9)	0,000		0,000	
% Βαρέων (50,0)	0,089		0,060	
% Βαρέων (75,0)	0,004		0,002	
% Βαρέων (85,7)	0,008		0,007	
Περίοδος Ημέρας (1)	0,070	1,116	-	-
Περίοδος Ημέρας (4)	0,015		0,029	

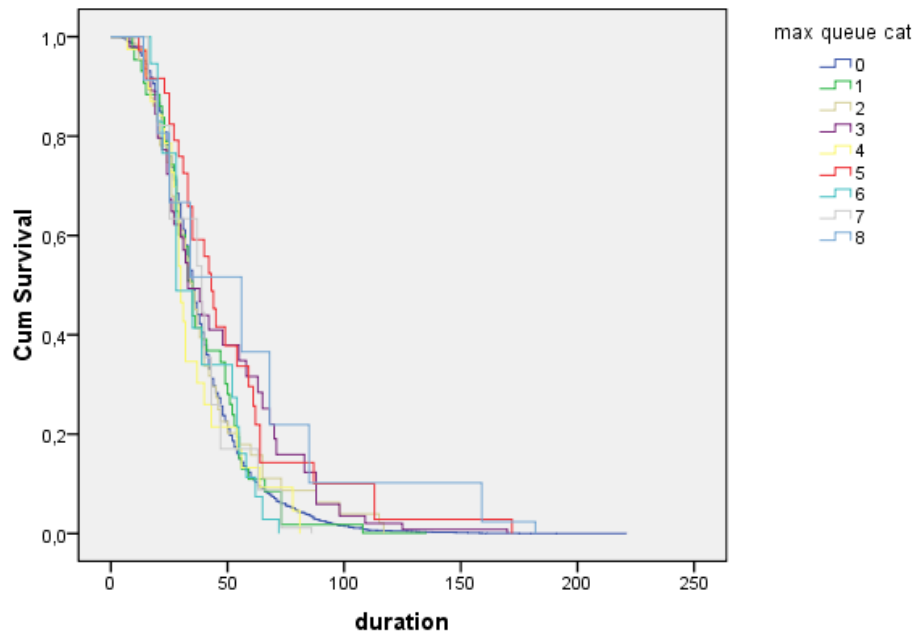
Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- Η ύπαρξη νεκρών ή τραυματιών επηρεάζει σημαντικά την διάρκεια του ατυχήματος και στις δύο περιπτώσεις των μεταβλητών στρωματοποίησης.
- Οι κλειστές λωρίδες επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος, όμως όχι για όλες τις τιμές. Φαίνεται ότι περιπτώσεις λωρίδων που επηρεάζουν είναι #2 (δύο κλειστές λωρίδες), #3 (τρεις ή περισσότερες κλειστές λωρίδες), #5 (δύο ή περισσότερες λωρίδες κλειστές και η ΛΕΑ κλειστή), #11 (κλειστή η αριστερή λωρίδα) και #12 (μεσαία λωρίδα κλειστή).
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι τα οχήματα που εμπλέκονται στο κάθε ατύχημα δεν αποτελούν σημαντική μεταβλητή, δηλαδή οι ΜΕΑ στην περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς επηρεάζουν μόνο στην περίπτωση όπου ΜΕΑ=1. Ενώ στην περίπτωση της μεταβλητής στρωματοποίησης διάρκεια ουράς η διάρκεια ατυχήματος επηρεάζεται από τις τιμές ΜΕΑ=1, ΜΕΑ=2 και ΜΕΑ=8.
- Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα επηρεάζει την διάρκεια του ατυχήματος. Στην περίπτωση όπου η τιμή της μεταβλητής είναι 60% και 100%, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δεν είναι σημαντική η μεταβλητή.
- Η διάρκεια του ατυχήματος στην περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς επηρεάζεται από τις περιόδους ημέρας 1 και 4, δηλαδή την Νυχτερινή (00:00-04:59), όπου αναμένεται ο χαμηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος, και την Απογευματινή (12:00-17:59), όπου αναμένεται κυκλοφοριακή αιχμή. Ενώ στην περίπτωση της διάρκειας ουράς η διάρκεια του ατυχήματος επηρεάζεται μόνο από την Απογευματινή περίοδο (4).

4.3.1. Επιρροή ύπαρξης ουράς κατά τη διάρκεια του συμβάντος

Στα διαγράμματα Συνάρτησης Επιβίωσης (Survival Function) και Συνάρτησης Κινδύνου (Hazard Function) ο οριζόντιος άξονας δίνει την διάρκεια και ο κατακόρυφος την Πιθανότητα Επιβίωσης (Cumulative Survival) και τον Κίνδυνο (Cumulative Hazard) αντίστοιχα. Ο κίνδυνος (Cumulative Hazard) είναι ο αρνητικός λογάριθμος της πιθανότητας επιβίωσης.

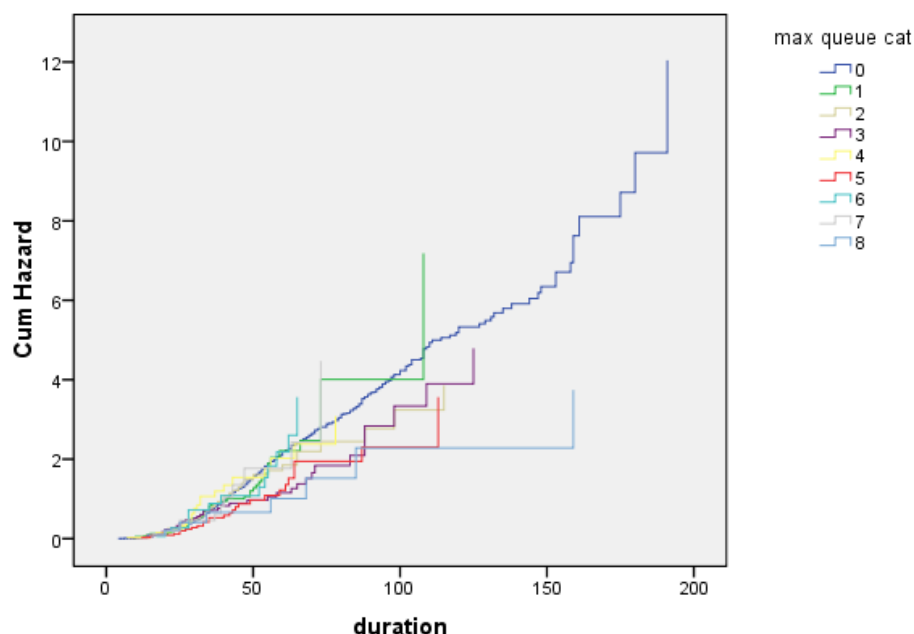
Σε κάθε σημείο της Καμπύλης Επιβίωσης (Survival Curve) μας δίνεται η πιθανότητα ένα περιστατικό να μην λήξει. Από το σημείο όπου η Καμπύλη Επιβίωσης (Survival Curve) χάνει την ομοιομορφία της, ο αριθμός των ατυχημάτων και γενικότερα των πληροφοριών που διαθέτουμε είναι περιορισμένοι.



Διάγραμμα 8: Καμπύλη επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστου μήκους ουράς

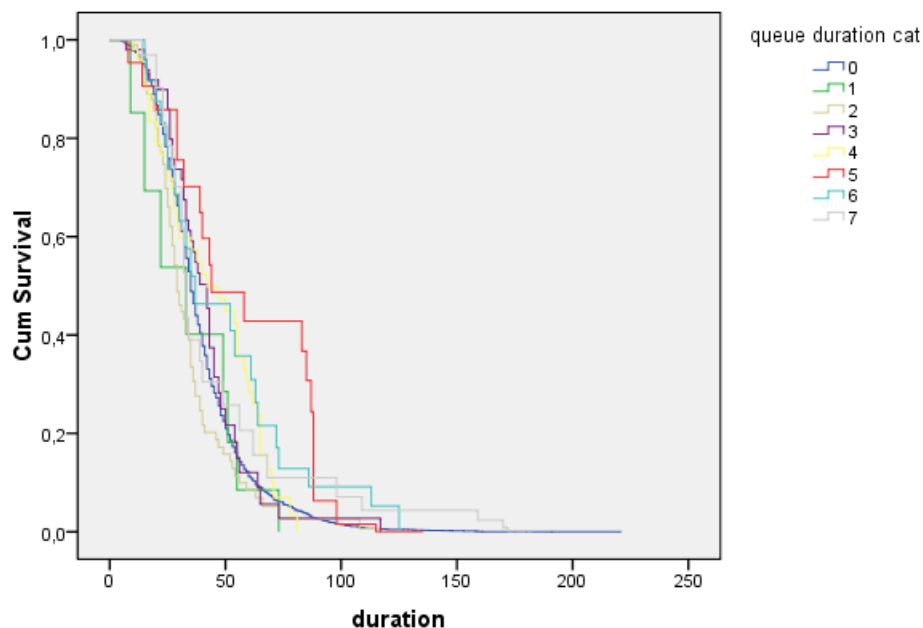
Παρατηρείται από την καμπύλη επιβίωσης για την περίπτωση της μη ύπαρξης ουρών (# 0) η καμπύλη είναι απόλυτα ομαλή. Είναι εμφανές στην καμπύλη επιβίωσης της περίπτωσης όπου δεν υπάρχουν ουρές ότι η πιθανότητα να λήξει το γεγονός μετά το πέρας των 100 λεπτών τείνει στο μηδέν. Στην κατηγορία # 1 (0-1000 μέτρα) ενώ βλέπουμε την καμπύλη να πλησιάζει την μηδενική πιθανότητα στα 80 λεπτά, φτάνει στο μηδέν περίπου στα 110 λεπτά. Στην περίπτωση της κατηγορίας # 2 (1000-2000 μέτρα) η πιθανότητα να λήξει το γεγονός μετά τα 115 λεπτά τείνει στο μηδέν. Στην περίπτωση # 3 (2000-3000 μέτρα) η πιθανότητα τείνει στο μηδέν στα 130 λεπτά. Στην κατηγορία # 4 (3000-4000 μέτρα) η καμπύλη σταματάει στα περίπου 80 λεπτά. Στην περίπτωση της κατηγορίας # 5 (4000-5000 μέτρα) η καμπύλη χάνει την ομαλότητα της στα περίπου 60 λεπτά, δηλαδή παύουν να υπάρχουν αρκετά δεδομένα, και μηδενίζει η πιθανότητα στα 160 λεπτά. Στην κατηγορία # 6 (5000-6000 μέτρα) όμοια με την περίπτωση # 4 η καμπύλη σταματάει περίπου στα 80 λεπτά. Στην καμπύλη της κατηγορίας # 7 (6000-7000 μέτρα) παρατηρούμε πάλι την ανωμαλία στην καμπύλη στα περίπου 40 λεπτά, δηλαδή την μη ύπαρξη επαρκών δεδομένων, και στη συνέχεια την καμπύλη να τείνει στο μηδέν στα 85 περίπου λεπτά. Τέλος η καμπύλη # 8 ($x \geq 7000$) τείνει στο μηδέν στα 180 λεπτά αφού όμως έχει παρουσιαστεί ανωμαλία, περιορισμένα δεδομένα, στα 70 λεπτά.

Παρατηρείται από τα παραπάνω ότι οι καμπύλες από την κατηγορία # 4 έως και την κατηγορία # 8 ($x \geq 3000$) παρουσιάζουν ανωμαλίες ως προς τη μορφή τους, είτε παύει η ύπαρξη της καμπύλης απότομα είτε η καμπύλη χάνει την ομαλότητα της στα περίπου 50 λεπτά, δηλαδή ο αριθμός των ατυχημάτων και γενικότερα των πληροφοριών που διαθέτουμε είναι περιορισμένοι.



Διάγραμμα 9: Καμπύλη κινδύνου για την περίπτωση μέγιστου μήκους ουράς

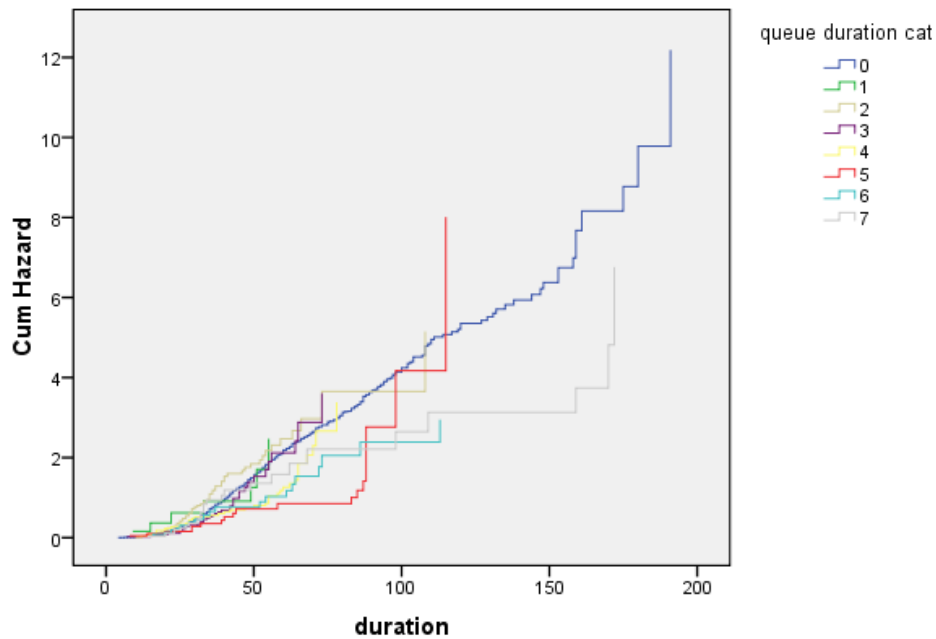
Η καμπύλη κινδύνου στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ουρές (# 0), όπως και η καμπύλη επιβίωσης, παρουσιάζει ομαλότητα. Μετά το πέρας των 100 λεπτών ο ρυθμός αύξησης του κινδύνου μειώνεται έως τα 150 λεπτά από όπου αρχίζει να παρουσιάζει ανωμαλία η καμπύλη. Στις κατηγορίες # 1 έως και # 3 παρατηρείται ότι η καμπύλες χάνουν την ομοιομορφία τους στο σημείο όπου η καμπύλη επιβίωσης πλησιάζει το μηδέν και σταματούν στο σημείο όπου η καμπύλη επιβίωσης μηδενίζει. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι καμπύλες κινδύνου παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με τις καμπύλες επιβίωσης, δηλαδή είτε τερματίζουν σε μικρή χρονική διάρκεια είτε χάνουν την ομοιομορφία τους στα περίπου 50 λεπτά και τερματίζουν σε διάρκειες μεγαλύτερες των 100 λεπτών.



Διάγραμμα 10: Καμπύλη επιβίωσης για την περίπτωση διάρκειας ουράς

Στην περίπτωση όπου η μεταβλητή στρωματοποίησης είναι η διάρκεια ουράς παρατηρούμε ομοιομορφία στις καμπύλες επιβίωσης. Εκτός από την περίπτωση της κατηγορίας # 5 (80-100 λεπτά) όπου η ομοιομορφία της καμπύλης χάνεται στα 50 περίπου λεπτά και η πιθανότητα επιβίωσης καταλήγει στο μηδέν στα περίπου 120 λεπτά, οι υπόλοιπες καμπύλες επιβίωσης διατηρούν την ομοιομορφία τους έως τον μηδενισμό της πιθανότητας επιβίωσης. Οι καμπύλες επιβίωσης # 1 (0-20 λεπτά), # 2 (20-40 λεπτά) και # 4 (60-80 λεπτά) καταλήγουν στην μηδενική πιθανότητα επιβίωσης στα περίπου 70 - 80 λεπτά. Οι καμπύλες # 3 (40-60 λεπτά) και # 6 (100-120 λεπτά) τείνουν στο μηδέν στα 110 λεπτά και η καμπύλη επιβίωσης # 7 ($t > 120$) πλησιάζει την μηδενική πιθανότητα στα 100 λεπτά και μηδενίζει στα 160 λεπτά.

Στην περίπτωση όπου η μεταβλητή στρωματοποίησης είναι η διάρκεια ουράς παρατηρείται εκτός από την ομαλότητα ότι η πιθανότητα λήξης του ατυχήματος ακολουθεί αντίστροφα την διάρκεια ουράς, δηλαδή όσο μεγαλώνει η διάρκεια ουράς τόσο μεγαλώνει και ο χρόνος επιβίωσης και η πιθανότητα να λήξει το γεγονός μηδενίζει σε μεγαλύτερες διάρκειες.



Διάγραμμα 11: Καμπύλη κινδύνου για την περίπτωση διάρκειας ουράς

Όμοια στοιχεία με αυτά που παρατηρήθηκαν στις καμπύλες επιβίωσης επικρατούν και στις καμπύλες κινδύνου. Εκτός από την περίπτωση της κατηγορίας # 5 (80-100 λεπτά) όπου η ομοιομορφία της καμπύλης χάνεται στα 50 περίπου λεπτά, οι υπόλοιπες καμπύλες κινδύνου διατηρούν την ομοιομορφία τους. Όπως είναι αναμενόμενο ο κίνδυνος λήξης του ατυχήματος σε μεγαλύτερο διάστημα αυξάνεται με την αύξηση της διάρκειας ουράς.

Τέλος μπορούμε να επισημάνουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις μεταβλητής στρωματοποίησης (μέγιστο μήκος ουράς και διάρκεια ουράς) οι καμπύλες επιβίωσης και οι καμπύλες κινδύνου είναι όμοιες για την κατηγορία # 0 καθώς τα ατυχήματα που αποτελούν αυτή την κατηγορία είναι κοινά.

Κάθε ατύχημα ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών του θέτει εκτός λειτουργίας τουλάχιστον μία λωρίδα με αποτέλεσμα την μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας της οδού καθ' όλη τη διάρκεια του ατυχήματος. Η μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας της οδού έχει ως συνέπεια την επιδείνωση των επικρατούντων κυκλοφοριακών συνθηκών. Παράλληλα, η αύξηση της διάρκειας του ατυχήματος, άρα και η χρονική περίοδος κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα, προκαλεί αύξηση στην διάρκεια επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αύξηση του μέγιστου μήκους ουράς και της διάρκειας ουράς προκαλούν αύξηση στην διάρκεια ατυχήματος με αποτέλεσμα την αύξηση στη διάρκεια κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα και την αύξηση στην περίοδο επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.

4.3.2. Επιρροή νεκρών και τραυματιών

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2 οι μεταβλητές νεκροί και τραυματίες είναι σημαντικές και στις δύο περιπτώσεις μεταβλητής στρωματοποίησης, με επίπεδο σημαντικότητας 0,002 για τους νεκρούς και 0,000 για τους τραυματίες και στις δύο περιπτώσεις.

Παρακάτω παρατίθενται οι καμπύλες επιβίωσης και κινδύνου και για τις δύο περιπτώσεις μεταβλητής στρωματοποίησης.

Στην περίπτωση της στρωματοποίησης με βάση το μέγιστο μήκος ουράς προκύπτει ότι, όταν δεν υπάρχουν νεκροί, η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς σύμφωνα με τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια ατυχήματος (Διάγραμμα 12). Ακόμα, στο Διάγραμμα 13 μπορεί να παρατηρηθεί ότι όταν δεν υπάρχουν νεκροί η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς συμφώνα με τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση. Με βάση τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα 8 στην περίπτωση ύπαρξης νεκρών για την μεταβλητή στρωματοποίησης μέγιστο μήκος ουράς ο κίνδυνος να λήξει το γεγονός μειώνεται κατά 54,4% καθώς $\text{Exp}(B)=0,456$ και αυτό σημαίνει ότι για αύξηση μίας μονάδας, δηλαδή από την μη ύπαρξη νεκρών (0) στην ύπαρξη νεκρών (1), ο κίνδυνος μειώνεται κατά (100%-45,6%).

Όταν δεν υπάρχουν τραυματίες η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια (Διάγραμμα 16).

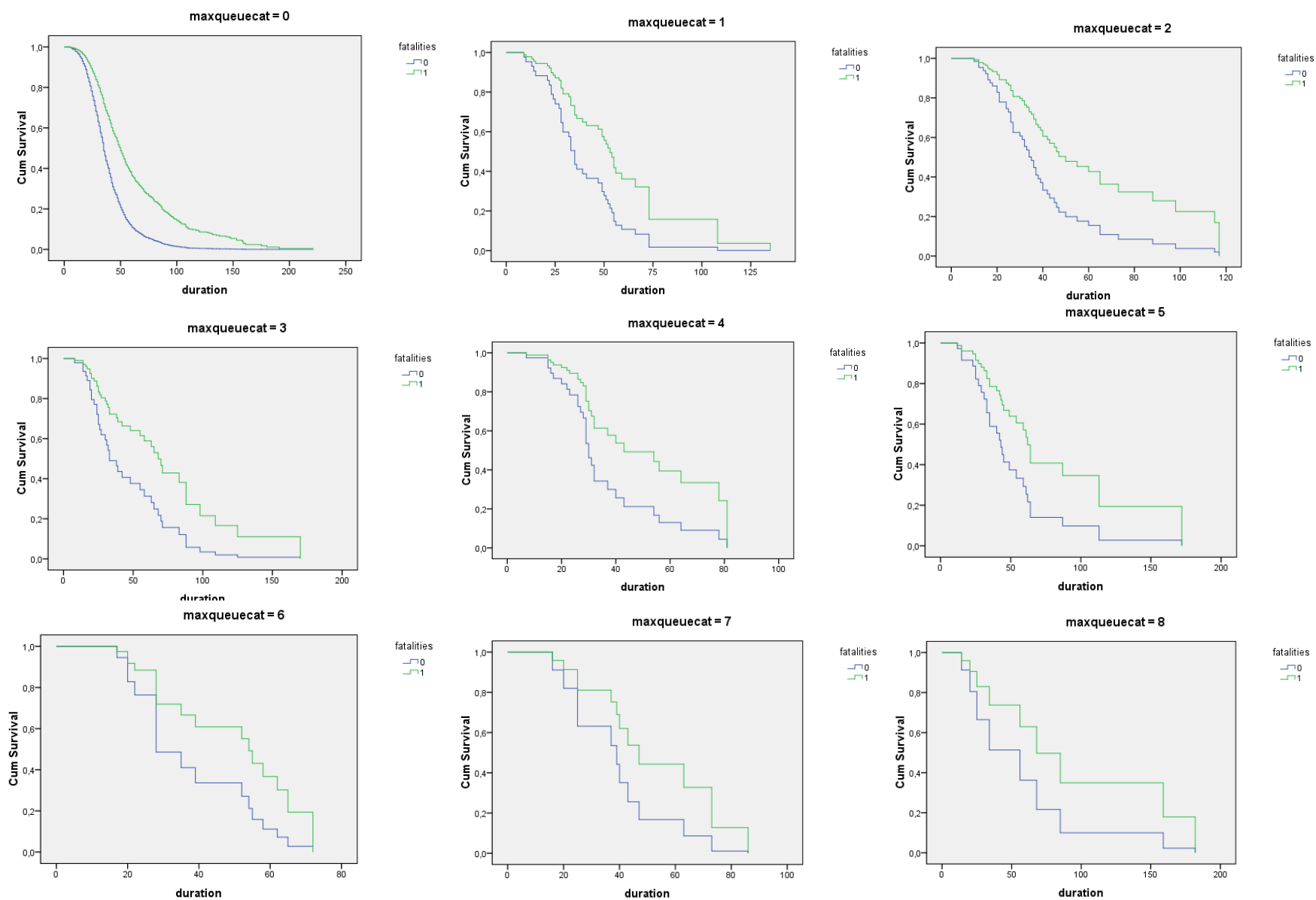
Όταν δεν υπάρχουν τραυματίες η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση (Διάγραμμα 17). Ο κίνδυνος να λήξει το γεγονός στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τραυματίες είναι μεγαλύτερος και μειώνεται κατά 51,4% όταν υπάρχουν τραυματίες. Η αναφορά αύξηση και μείωση κινδύνου συνεπάγεται, για δεδομένη χρονική στιγμή, μικρότερη και μεγαλύτερη πιθανότητα, αντίστοιχα, για λήξη του περιστατικού μετά τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Στην περίπτωση της στρωματοποίησης με βάση τη διάρκεια ουράς προκύπτει ότι, όταν δεν υπάρχουν νεκροί η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς σύμφωνα με τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια (Διάγραμμα 14). Όταν δεν υπάρχουν νεκροί η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς σύμφωνα με τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση (Διάγραμμα 15). Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και από την τιμή του $\text{Exp}(B)= 2,056$ από το οποίο συμπεραίνεται ότι ο κίνδυνος μειώνεται κατά 52,1%.

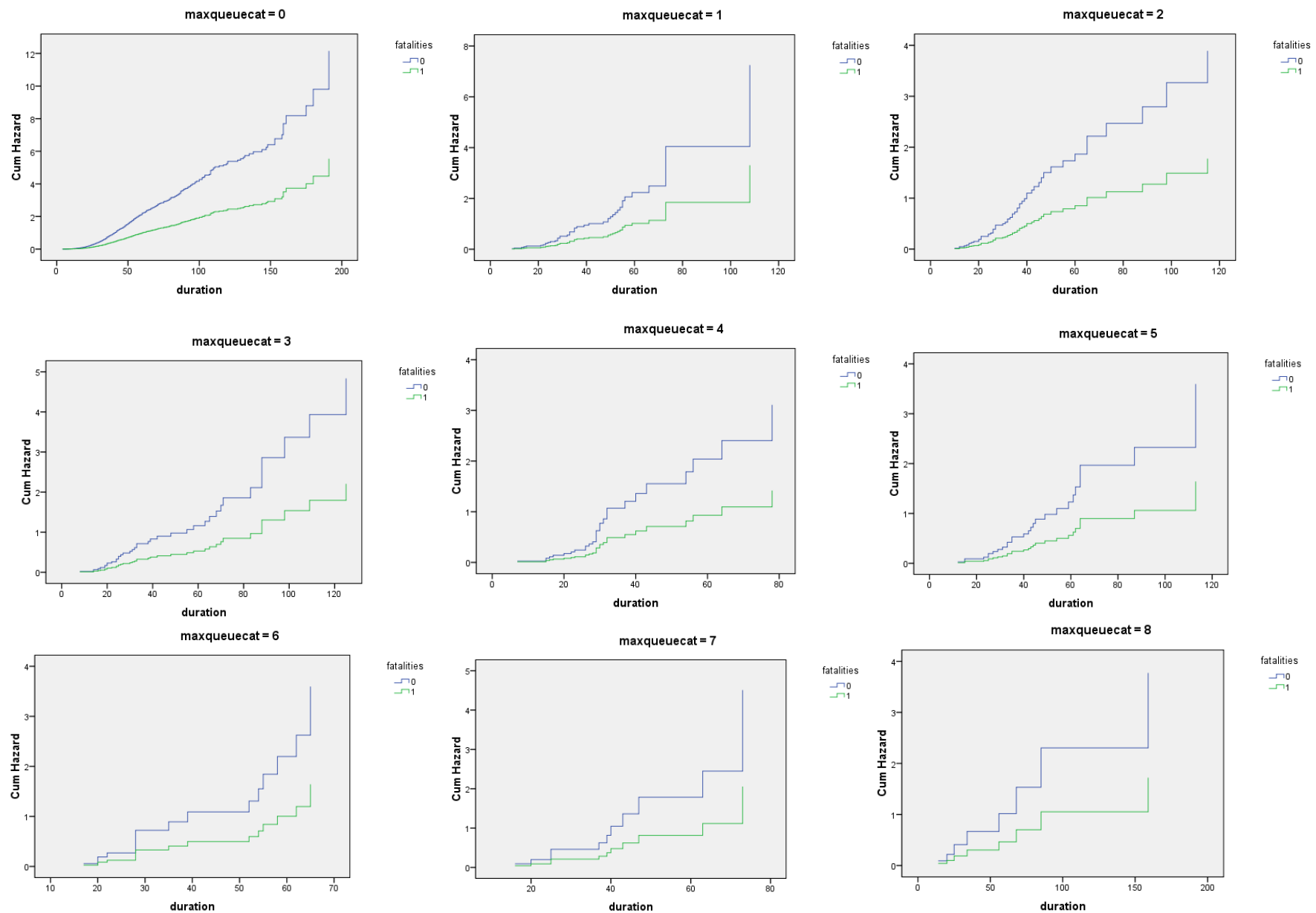
Όταν δεν υπάρχουν τραυματίες η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια (Διάγραμμα 18). Όταν δεν υπάρχουν τραυματίες η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς σύμφωνα με τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση (Διάγραμμα 19). Όταν δεν υπάρχουν τραυματίες ο κίνδυνος να λήξει το γεγονός είναι μεγαλύτερος και μειώνεται κατά 50,5% όταν υπάρχουν τραυματίες.

Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της διάρκειας του ατυχήματος, άρα και η χρονική περίοδος κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα, προκαλεί αύξηση στην διάρκεια επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.

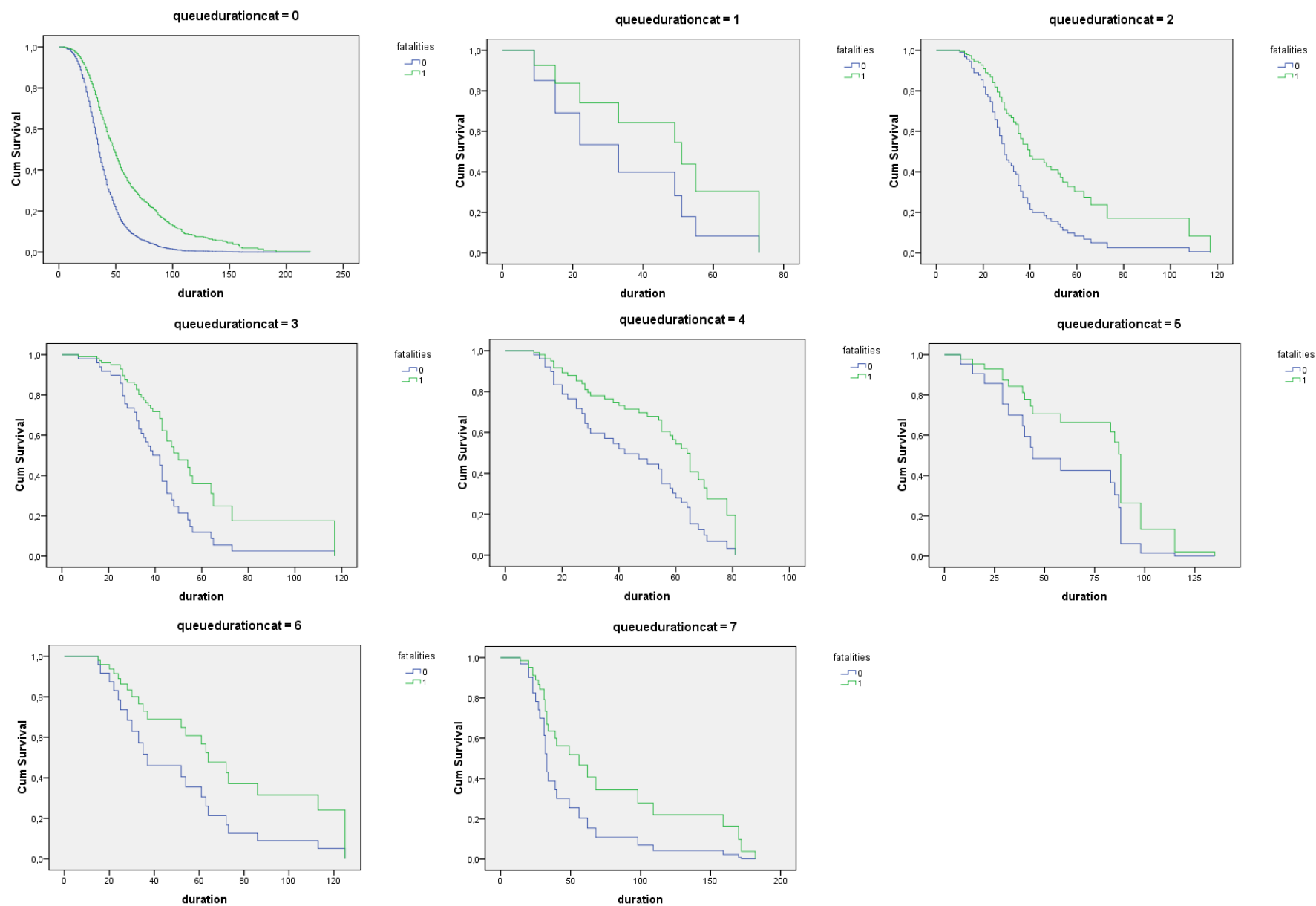
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ύπαρξη νεκρών ή και τραυματιών προκαλεί αύξηση στην διάρκεια ατυχήματος με αποτέλεσμα την αύξηση στη διάρκεια κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα και την αύξηση στην περίοδο επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.



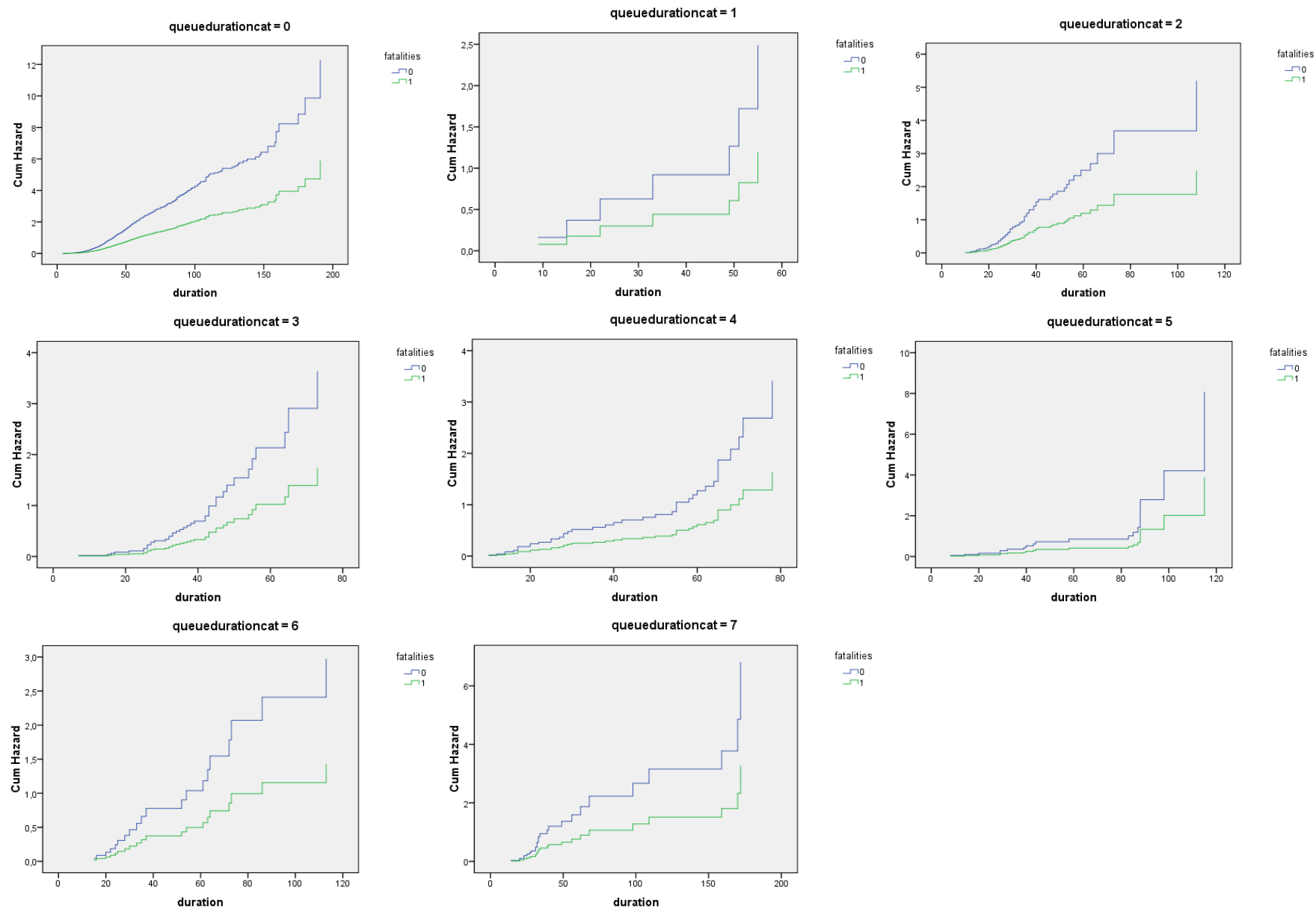
Διάγραμμα 12: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή νεκροί



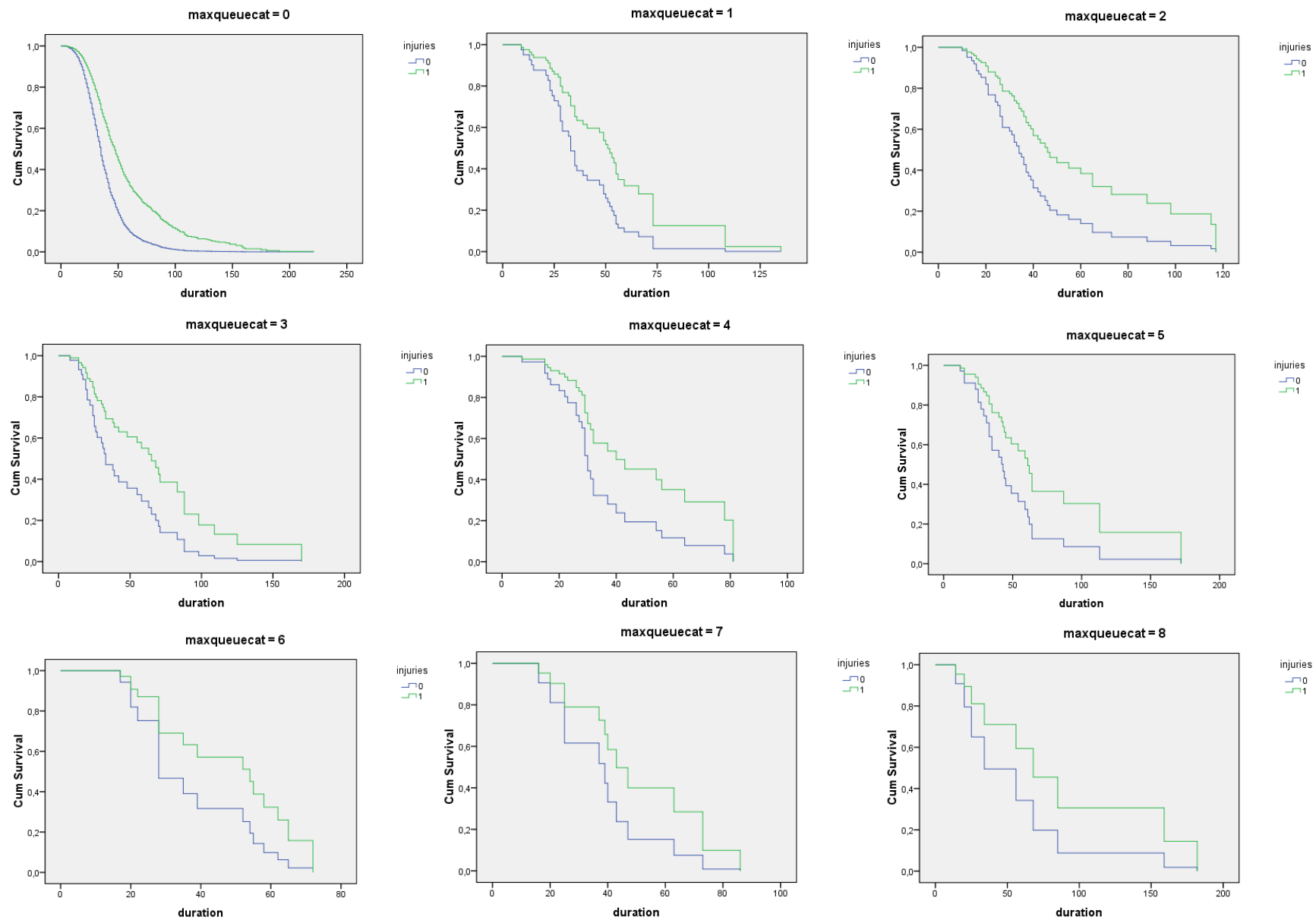
Διάγραμμα 13: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή νεκροί



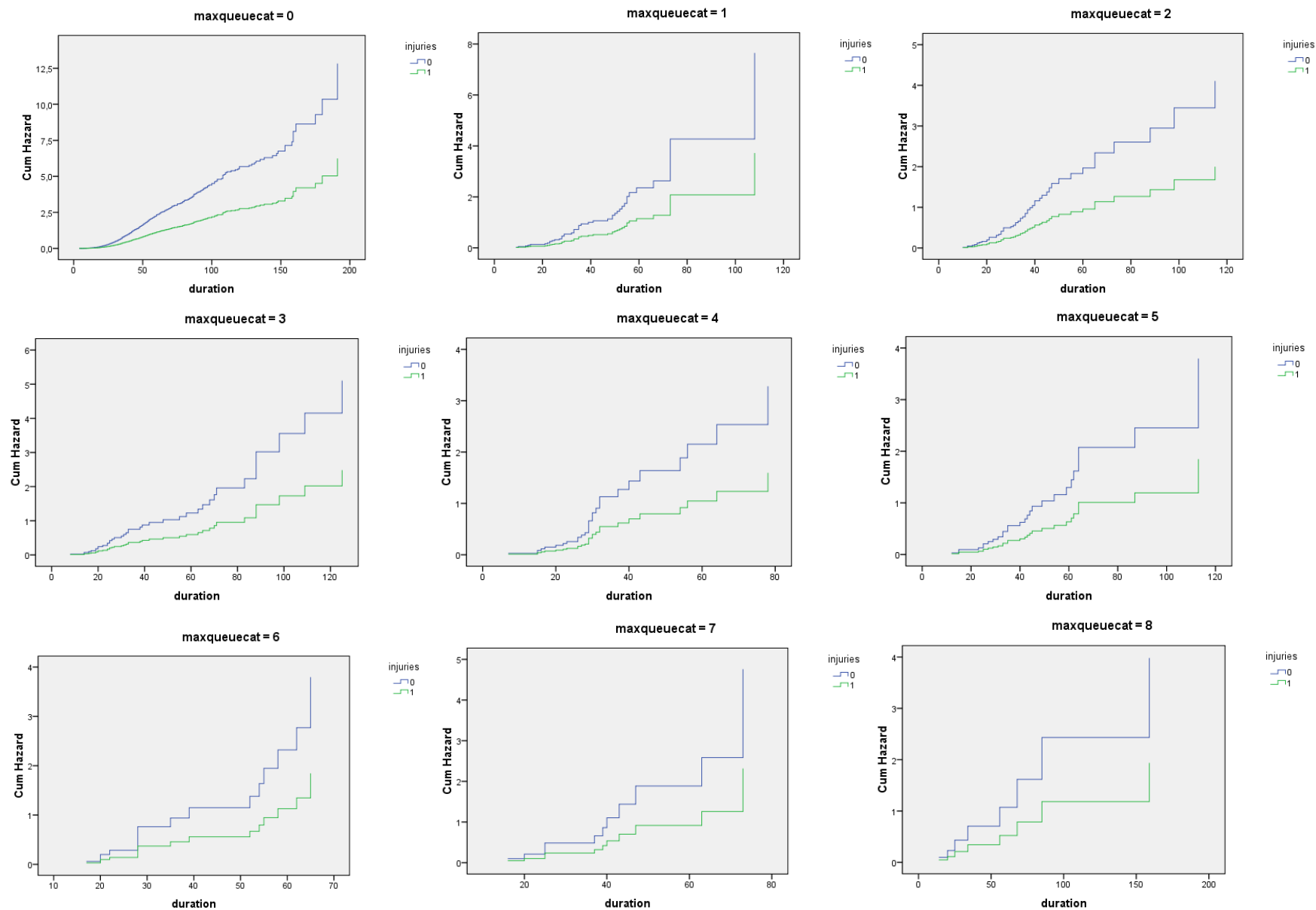
Διάγραμμα 14: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή νεκροί



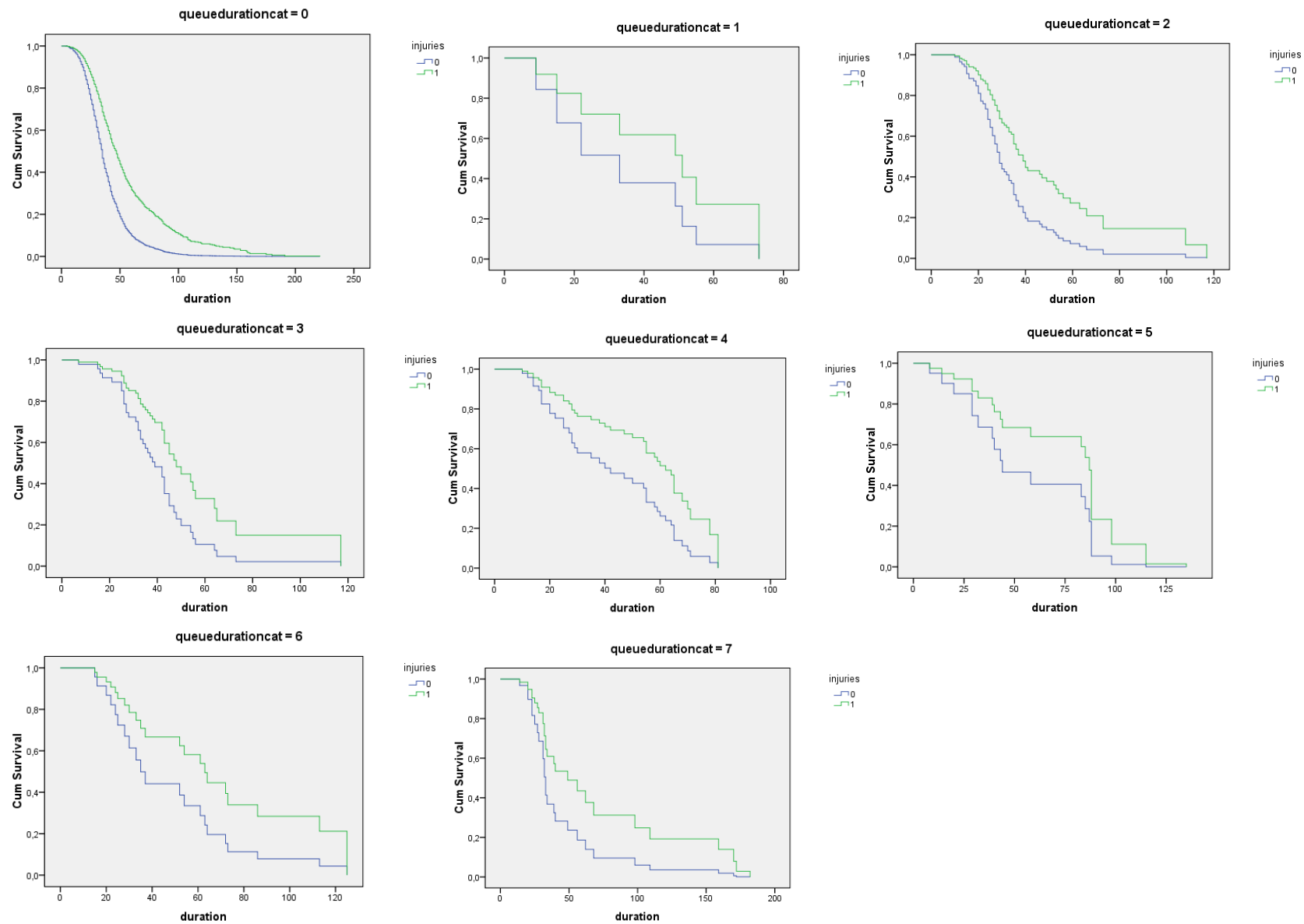
Διάγραμμα 15: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή νεκροί



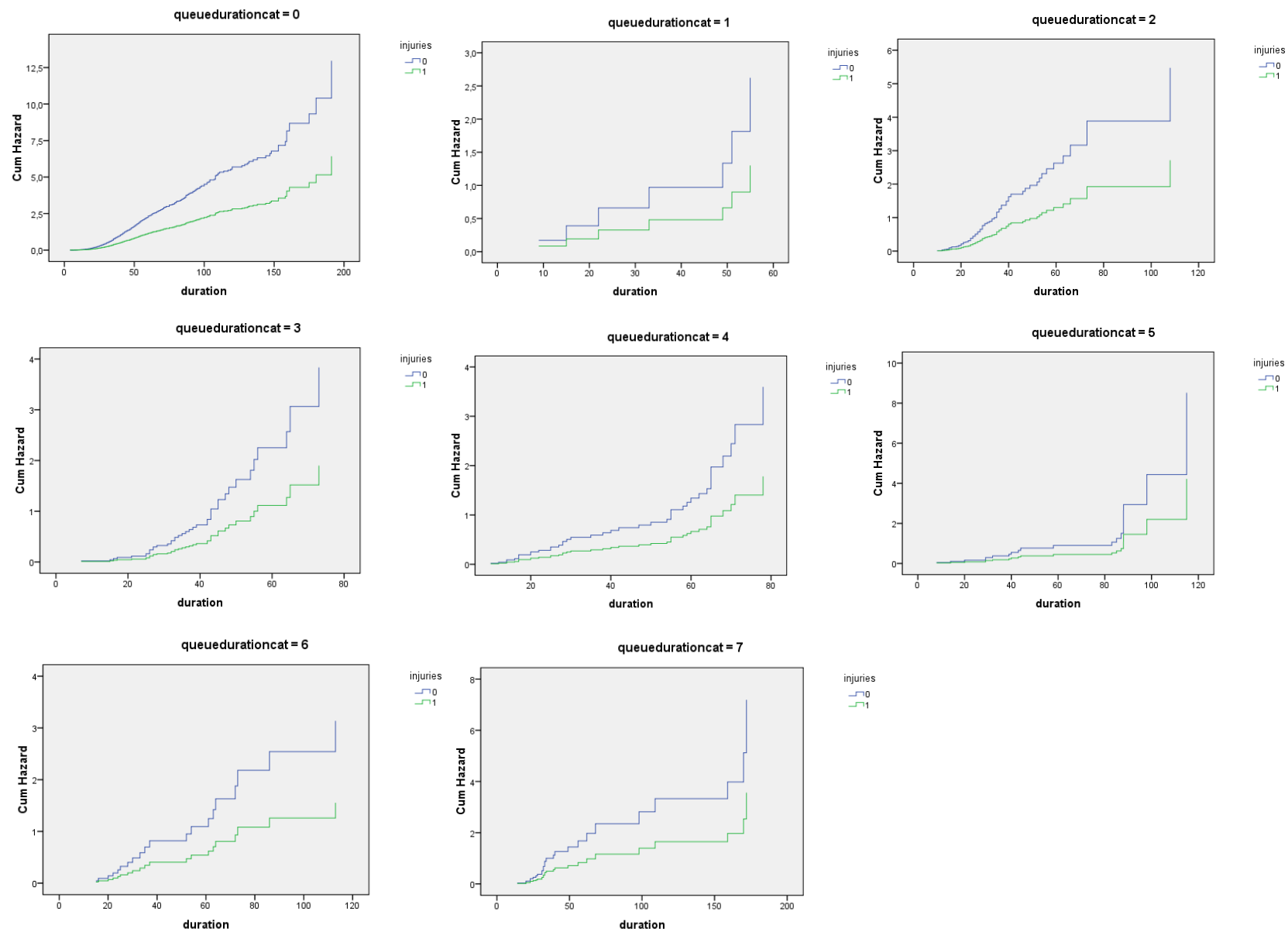
Διάγραμμα 16: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή τραυματίες



Διάγραμμα 17: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή τραυματίες



Διάγραμμα 18: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή τραυματίες



Διάγραμμα 19: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή τραυματίες

4.3.3. Επιρροή κλειστών λωρίδων

Όπως παρατηρήθηκε στην παράγραφο 4.2 οι κλειστές λωρίδες επηρεάζουν την διάρκεια του ατυχήματος, όμως όχι για όλες τις τιμές. Οι περιπτώσεις λωρίδων που επηρεάζουν είναι οι εξής: #2 (δύο κλειστές λωρίδες), #3 (τρεις ή περισσότερες κλειστές λωρίδες), #5 (δύο ή περισσότερες λωρίδες κλειστές και η ΛΕΑ κλειστή, #11 (κλειστή η αριστερή λωρίδα) και #12 (μεσαία λωρίδα κλειστή). Συμφώνα με τους συντελεστές παλινδρόμησης ($\text{Exp}(B)$) ο κίνδυνος για την λήξη ενός περιστατικού μεταβάλλεται ανάλογα με την κατηγορία κλειστών λωρίδων.

Στην περίπτωση που μεταβλητή στρωματοποίησης είναι το μέγιστο μήκος ουράς, ο κίνδυνος μειώνεται κατά 62% από την κατηγορία #2 στην #3, στη συνέχεια ο κίνδυνος από την #3 στην κατηγορία #5 μειώνεται κατά 68,8%. Από την #5 στην #11 ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 146,1% και από την κατηγορία #11 στην #12 μειώνεται κατά 40,7%. Στην περίπτωση που μεταβλητή στρωματοποίησης είναι η διάρκεια ουράς, ο κίνδυνος μειώνεται κατά 74,1% από την κατηγορία #2 στην #3, στη συνέχεια ο κίνδυνος από την #3 στην κατηγορία #5 μειώνεται κατά 54,1%. Από την #5 στην #11 ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 153,7% και από την κατηγορία #11 στην #12 μειώνεται κατά 40,5%.

Όπως προαναφέρθηκε, η αναφορά αύξηση και μείωση του κινδύνου συνεπάγεται, για δεδομένη χρονική στιγμή, μικρότερη και μεγαλύτερη πιθανότητα, αντίστοιχα, για λήξη του περιστατικού μετά τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 20 έως Διάγραμμα 23) μπορεί να παρατηρηθεί ότι για τις κατηγορίες των κλειστών λωρίδων που δεν είναι σημαντικές οι καμπύλες ακολουθούν ακριβώς την ίδια πορεία, δηλαδή εφάπτονται μεταξύ τους και αποτελούν ουσιαστικά μια καμπύλη και στις δύο περιπτώσεις στρωματοποίησης.

Όταν είναι κλειστή μόνο η αριστερή λωρίδα (11) η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια (Διάγραμμα 20).

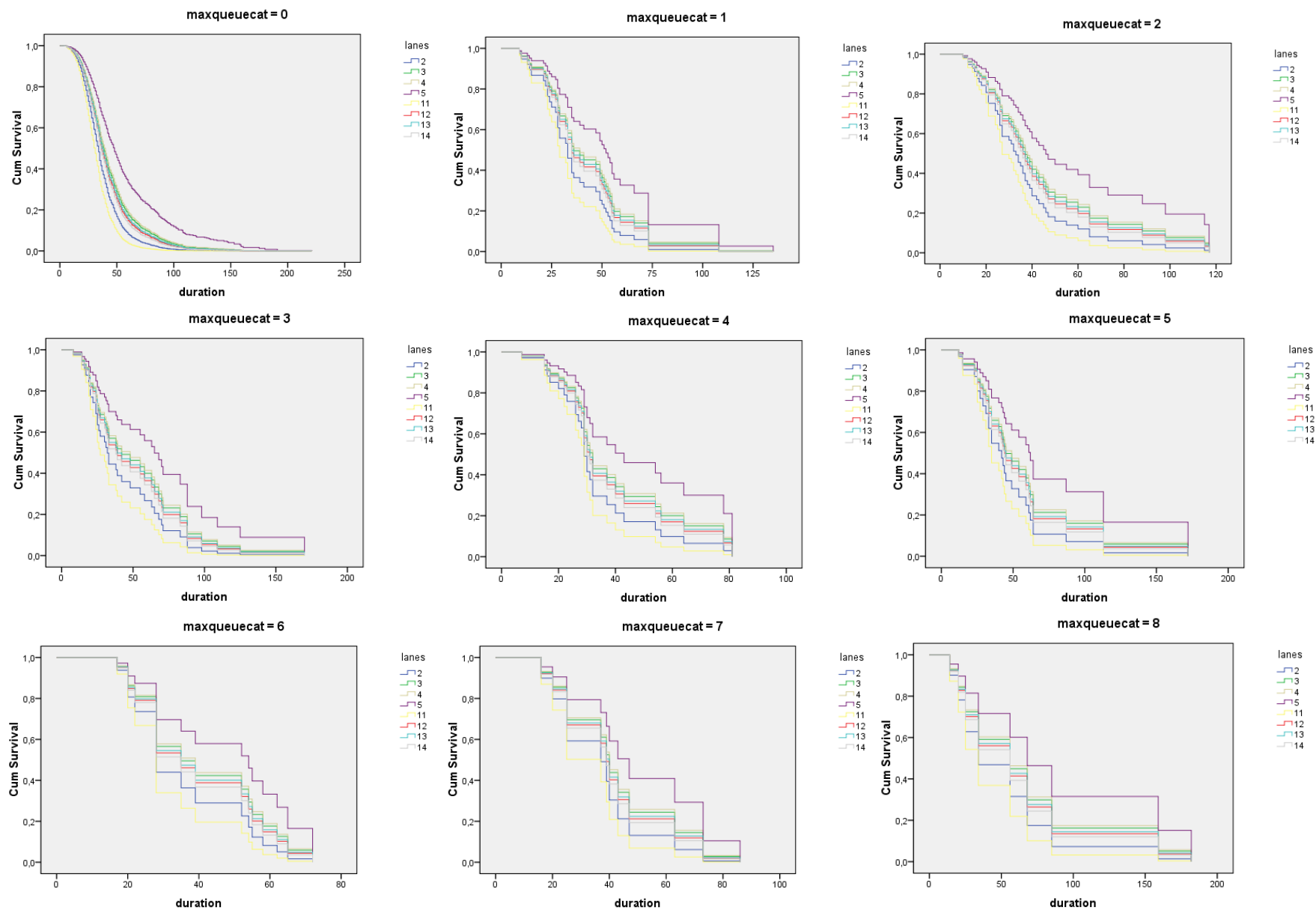
Όταν είναι κλειστή η αριστερή λωρίδα (11) η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση. (Διάγραμμα 21).

Όταν είναι κλειστή η αριστερή λωρίδα (11) ή είναι κλειστές 2 λωρίδες (2) η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια (Διάγραμμα 22).

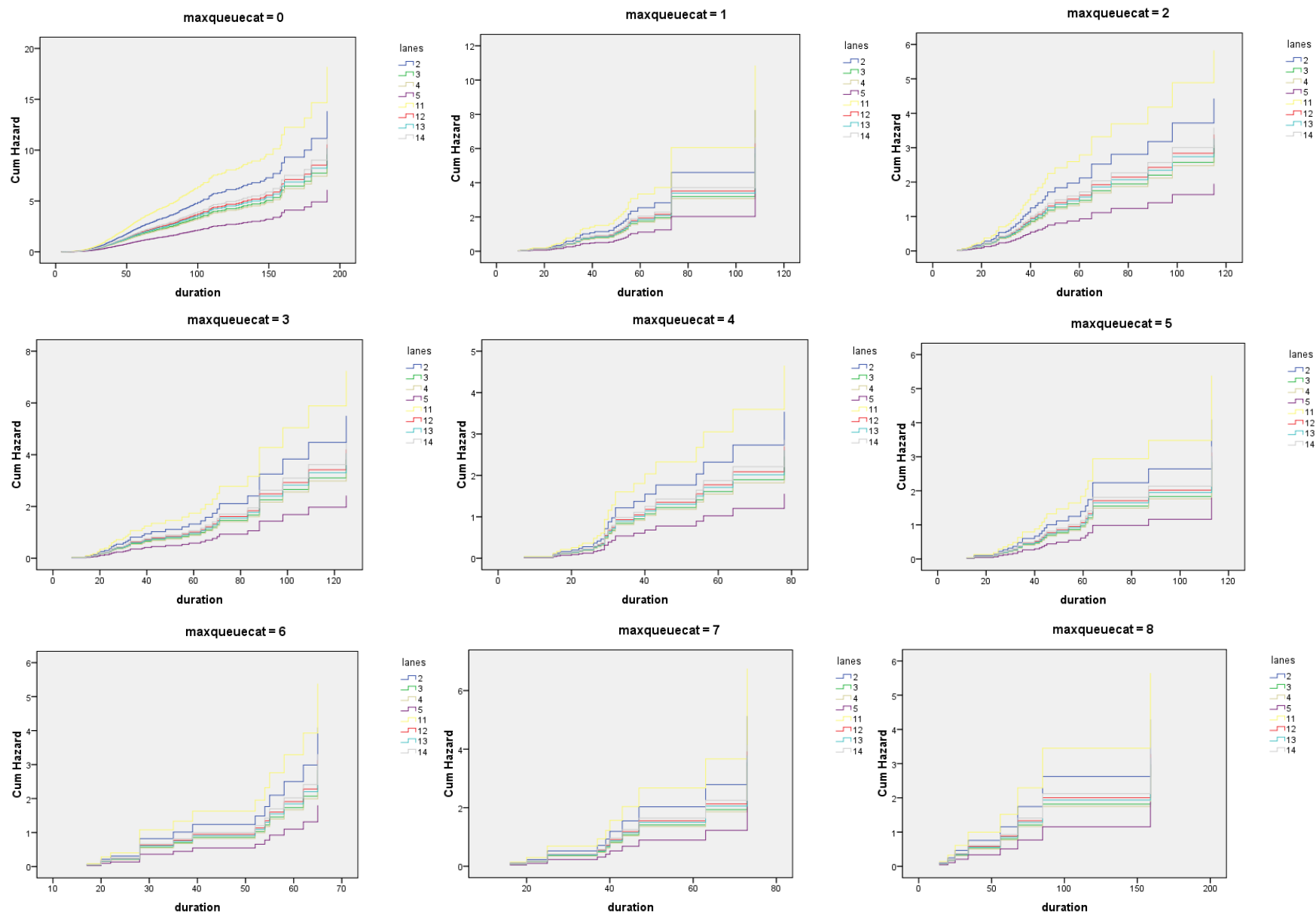
Όταν είναι κλειστή η αριστερή λωρίδα (11) ή είναι κλειστές 2 λωρίδες (2) η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση (Διάγραμμα 23).

Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της διάρκειας του ατυχήματος, άρα και η χρονική περίοδος κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα, προκαλεί αύξηση στην διάρκεια επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.

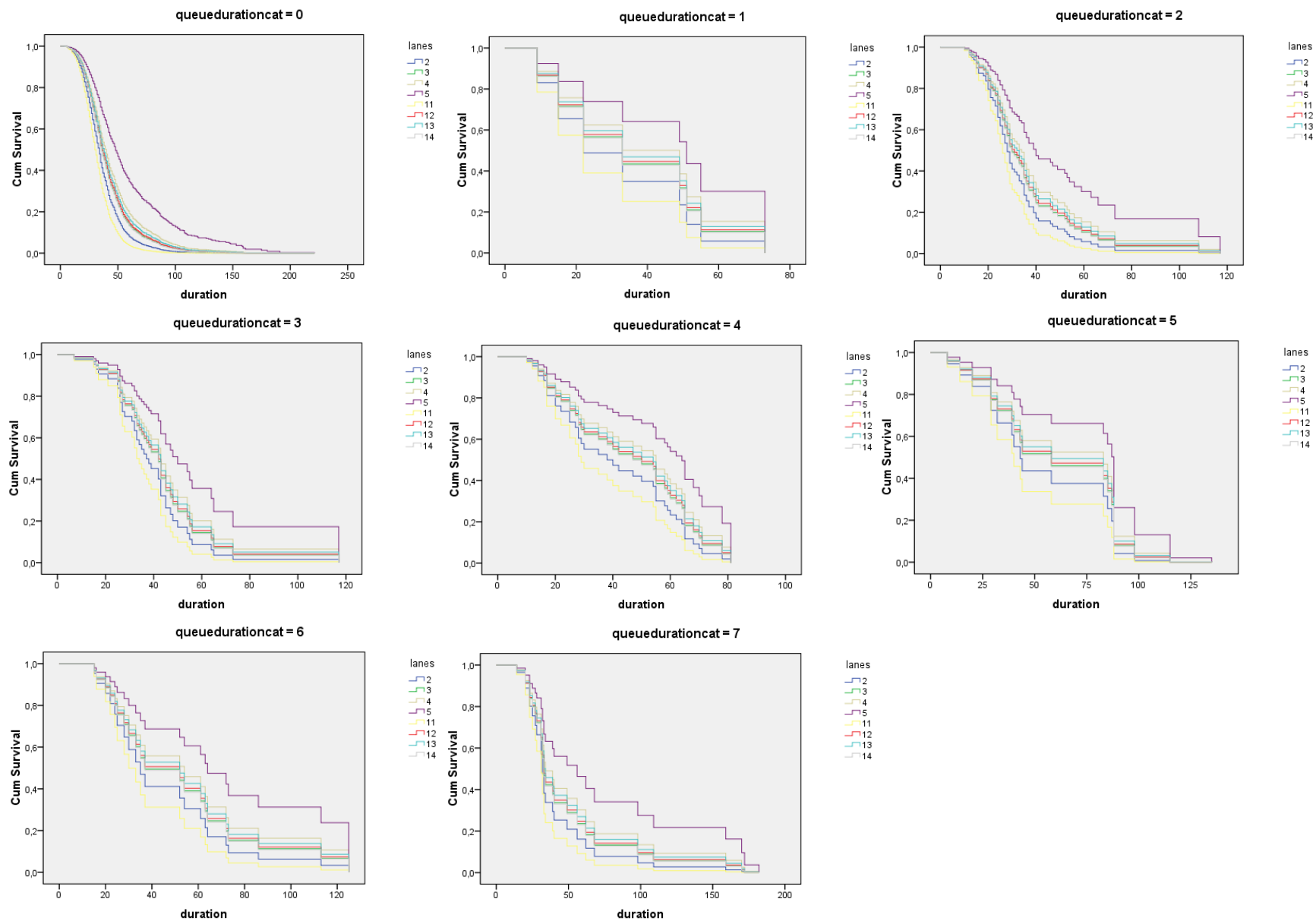
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αύξηση του πλήθους των κλειστών λωρίδων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κινδύνου άρα και την αύξηση της διάρκειας του ατυχήματος. Η αύξηση αυτή στην διάρκεια ατυχήματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση στη διάρκεια κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα και την αύξηση στην περίοδο επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.



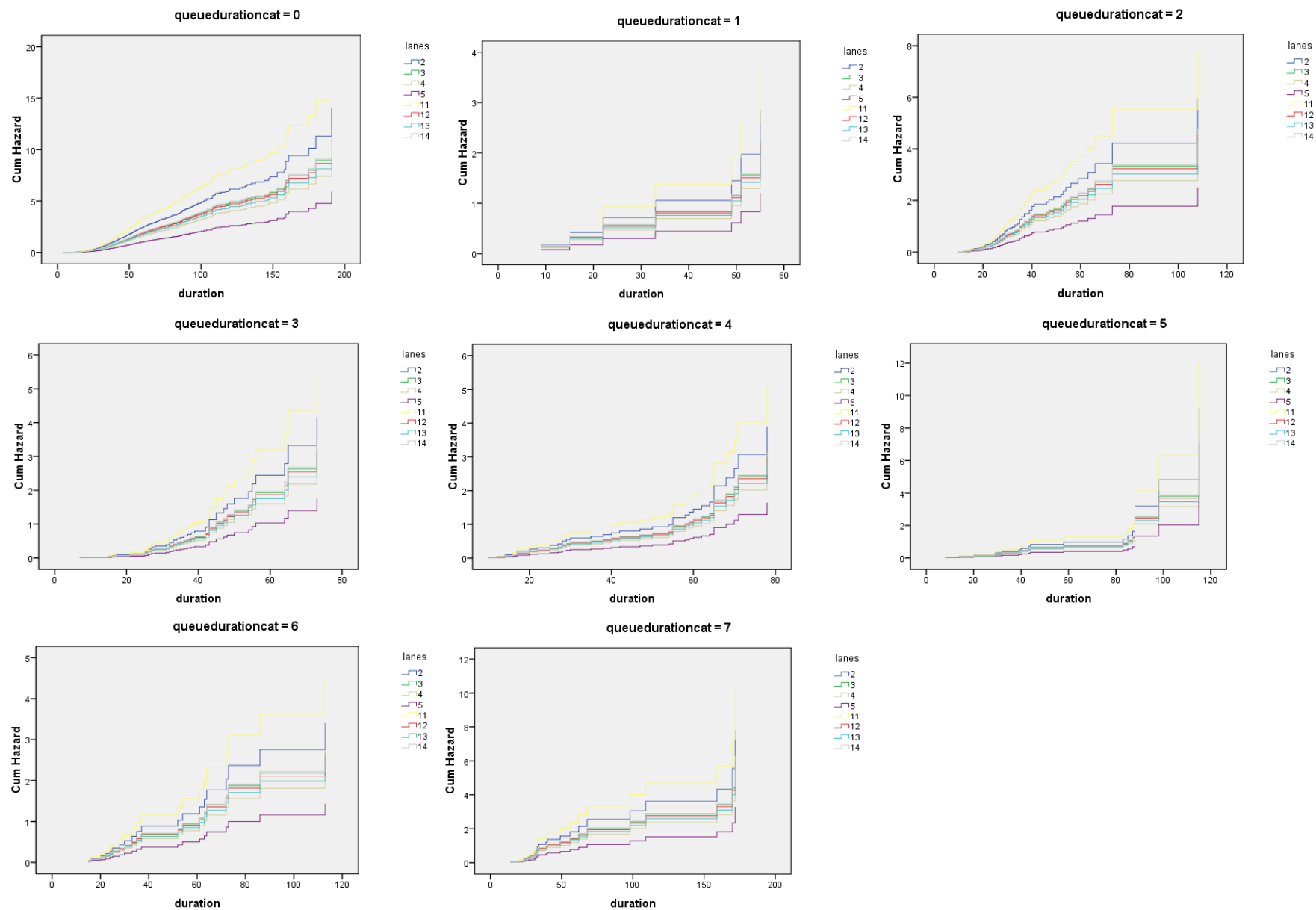
Διάγραμμα 20: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες



Διάγραμμα 21: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες



Διάγραμμα 22: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες



Διάγραμμα 23: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή κλειστές λωρίδες

4.3.4. Επιρροή σύνθεσης κυκλοφορίας

Όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι τα οχήματα που εμπλέκονται στο κάθε ατύχημα δεν αποτελούν σημαντική μεταβλητή στην περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς. Ενώ στην περίπτωση της μεταβλητής στρωματοποίησης διάρκειας ουράς η διάρκεια ατυχήματος επηρεάζεται από τις τιμές $MEA=1$, $MEA=2$ και $MEA=8$. Σύμφωνα με την προγενέστερη έρευνα, η μεταβλητή η οποία αποτυπώνει το πλήθος των οχημάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την πρόβλεψη της διάρκειας του ατυχήματος (Boyles et al. 2006).

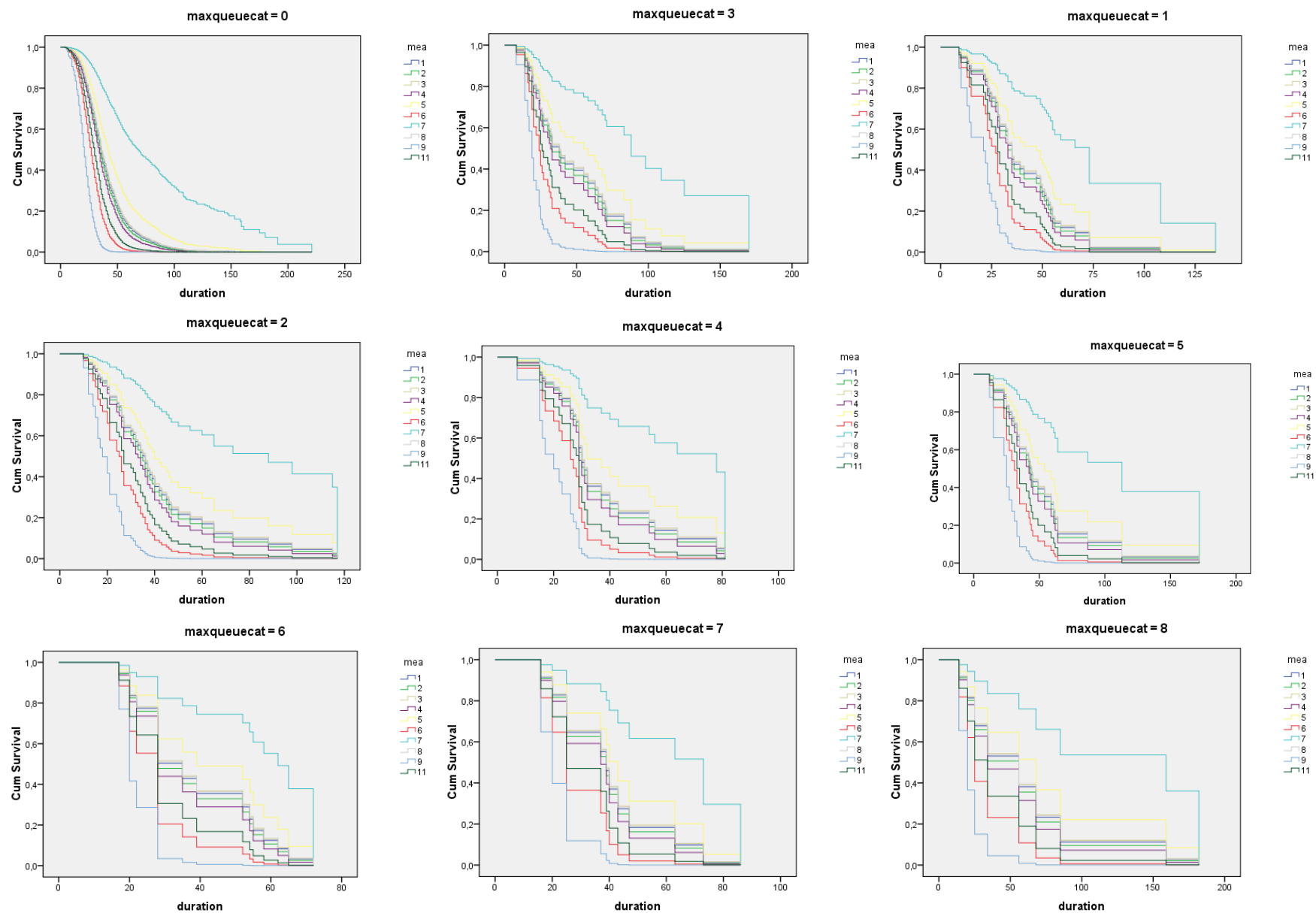
Η σύνθεση των οχημάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα προκύπτει σύμφωνα με την μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, το ποσοστό των βαρέων οχημάτων είναι σημαντική μεταβλητή για τις περιπτώσεις που η τιμή του ισούται με 0.0%, 42.9%, 50.0%, 75.0% και 85.7%.

Στο Διάγραμμα 28, που δείχνει τις καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για τη μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων μπορεί να παρατηρηθεί ότι όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων είναι 42.9% η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια. Όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων είναι 42.9% η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση (Διάγραμμα 29). Ακολουθούν οι λοιπές καμπύλες με φθίνουσα σειρά: 85.7%, 0.0%, 75.0% και 50.0%. Η ίδια σειρά προκύπτει και στα αποτελέσματα που εμπεριέχονται στον Πίνακα 8. Πιο συγκεκριμένα, όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων μεταβάλλεται από 0% σε 42% ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 142,7%. Όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων αυξάνεται από 42,9% σε 50% τότε ο κίνδυνος μειώνεται κατά 70,9%, στη συνέχεια όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων αυξάνεται από 50% σε 75% ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 30,2% και όταν το ποσοστό αυξάνεται από 75% σε 85,7% τότε ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 76,8%.

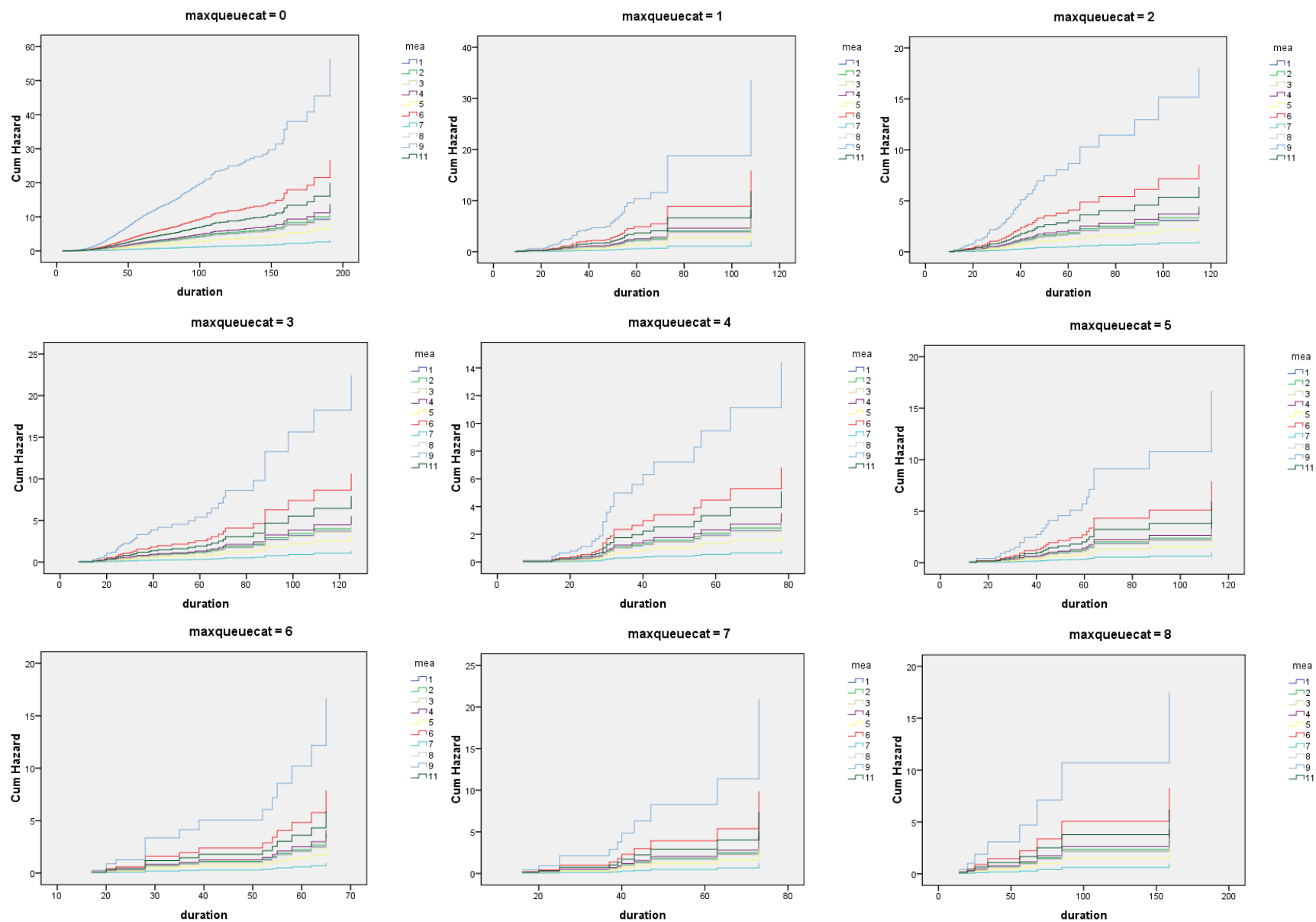
Στην περίπτωση της στρωματοποίησης με βάση τη διάρκεια ουράς, όταν το ποσοστό το βαρέων οχημάτων είναι 42.9% η καμπύλη επιβίωσης είναι χαμηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να υπάρχει μικρότερη διάρκεια (Διάγραμμα 30). Όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων είναι 42% η καμπύλη κινδύνου είναι ψηλότερα καθώς από τους συντελεστές παλινδρόμησης είναι πιο πιθανό να έχει πετυχημένη αντιμετώπιση (Διάγραμμα 31). Ακολουθούν οι λοιπές καμπύλες με φθίνουσα σειρά: 0.0%, 85.7%, 75.0% και 50.0%. Πιο συγκεκριμένα, όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων μεταβάλλεται από 0% σε 42% ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 173,8%. Όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων αυξάνεται από 42,9% σε 50% τότε ο κίνδυνος μειώνεται κατά 74,5%, στη συνέχεια όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων αυξάνεται από 50% σε 75% ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 36,2% και όταν το ποσοστό αυξάνεται από 75% σε 85,7% τότε ο κίνδυνος αυξάνεται κατά 76,3%.

Όπως προαναφέρθηκε, η αναφορά αύξηση και μείωση κινδύνου συνεπάγεται, για δεδομένη χρονική στιγμή, μικρότερη και μεγαλύτερη πιθανότητα, αντίστοιχα, για λήξη του περιστατικού μετά τη δεδομένη χρονική στιγμή.

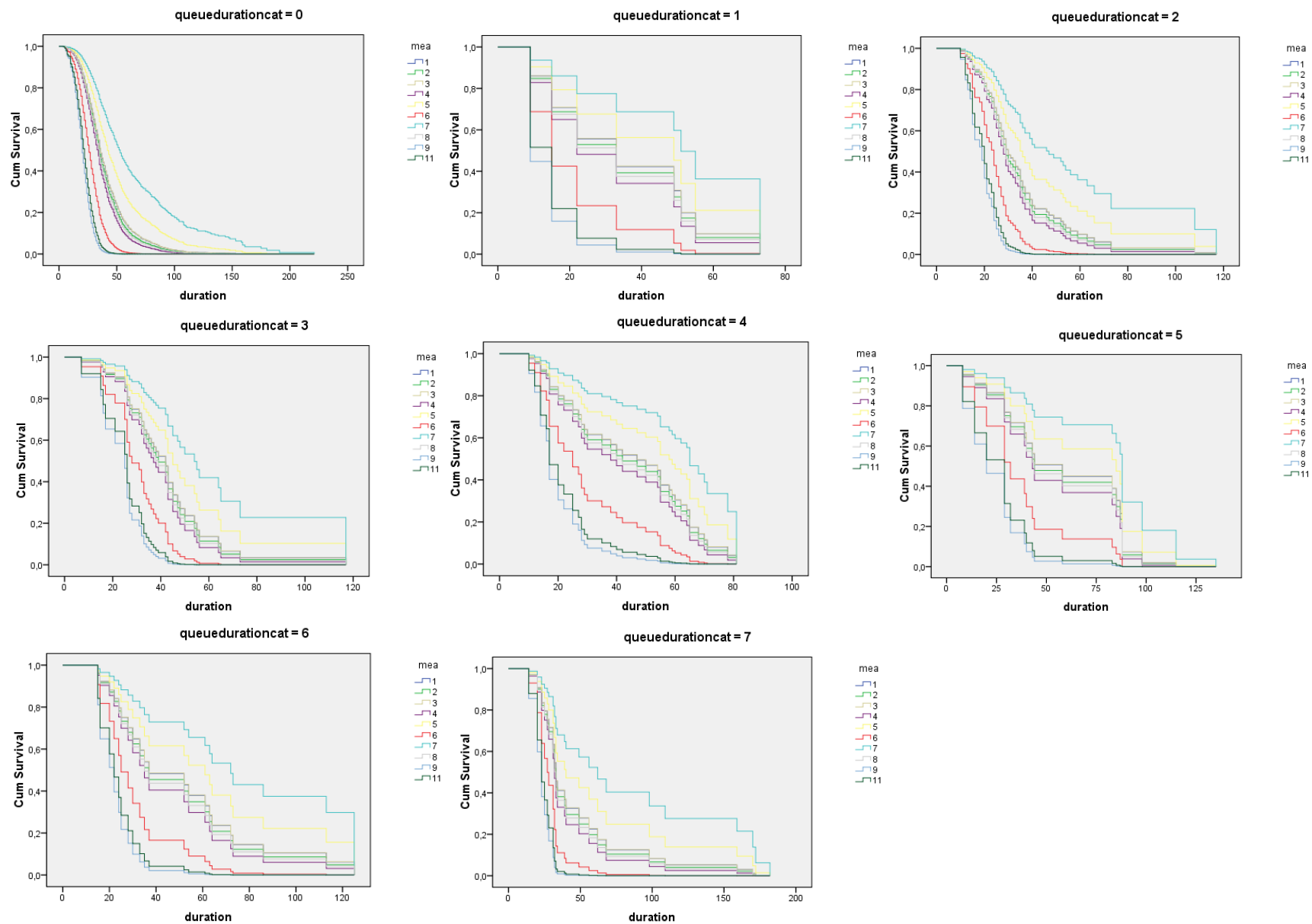
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων δεν είναι δυνατή η άντληση σαφών συμπερασμάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μεταβλητές νεκροί, τραυματίες και κλειστές λωρίδες είναι στατιστικά σημαντικότερες από την μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων. Παράλληλα, τα δεδομένα για ορισμένες κατηγορίες ποσοστού βαρέων οχημάτων είναι περιορισμένα και δεν προσφέρουν επαρκή στοιχεία για κατάληξη σε αξιόπιστα αποτελέσματα.



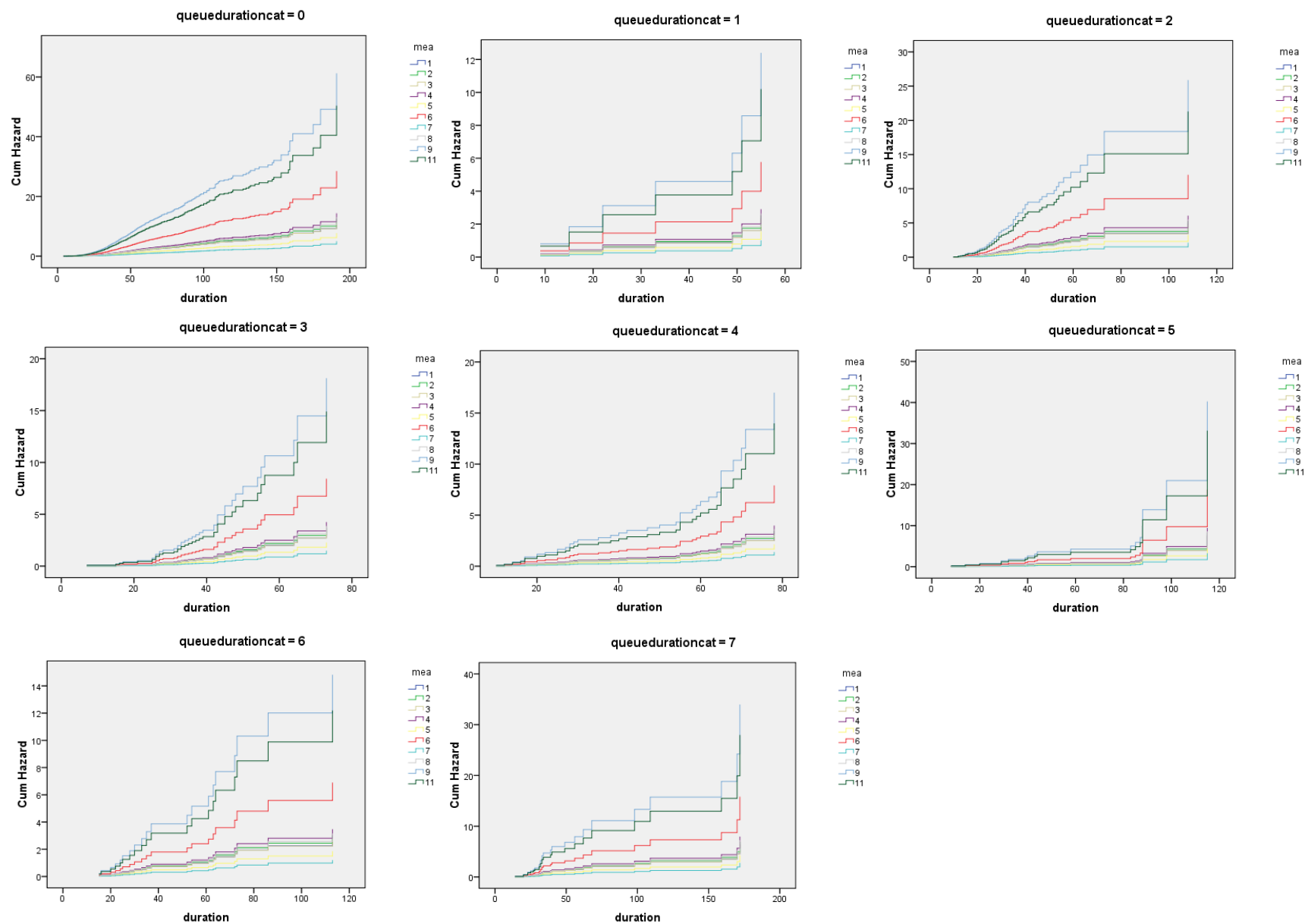
Διάγραμμα 24: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ



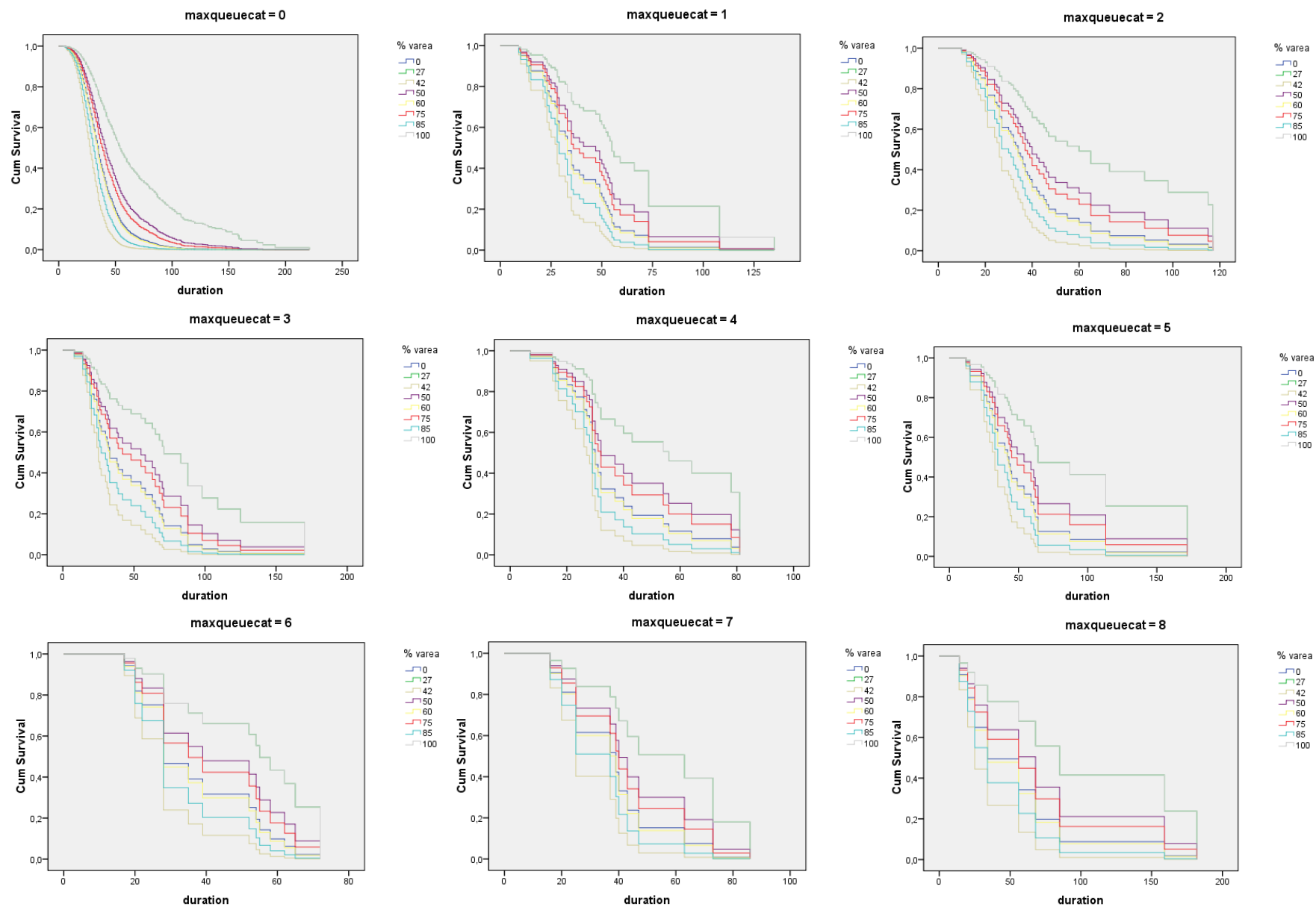
Διάγραμμα 25: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ



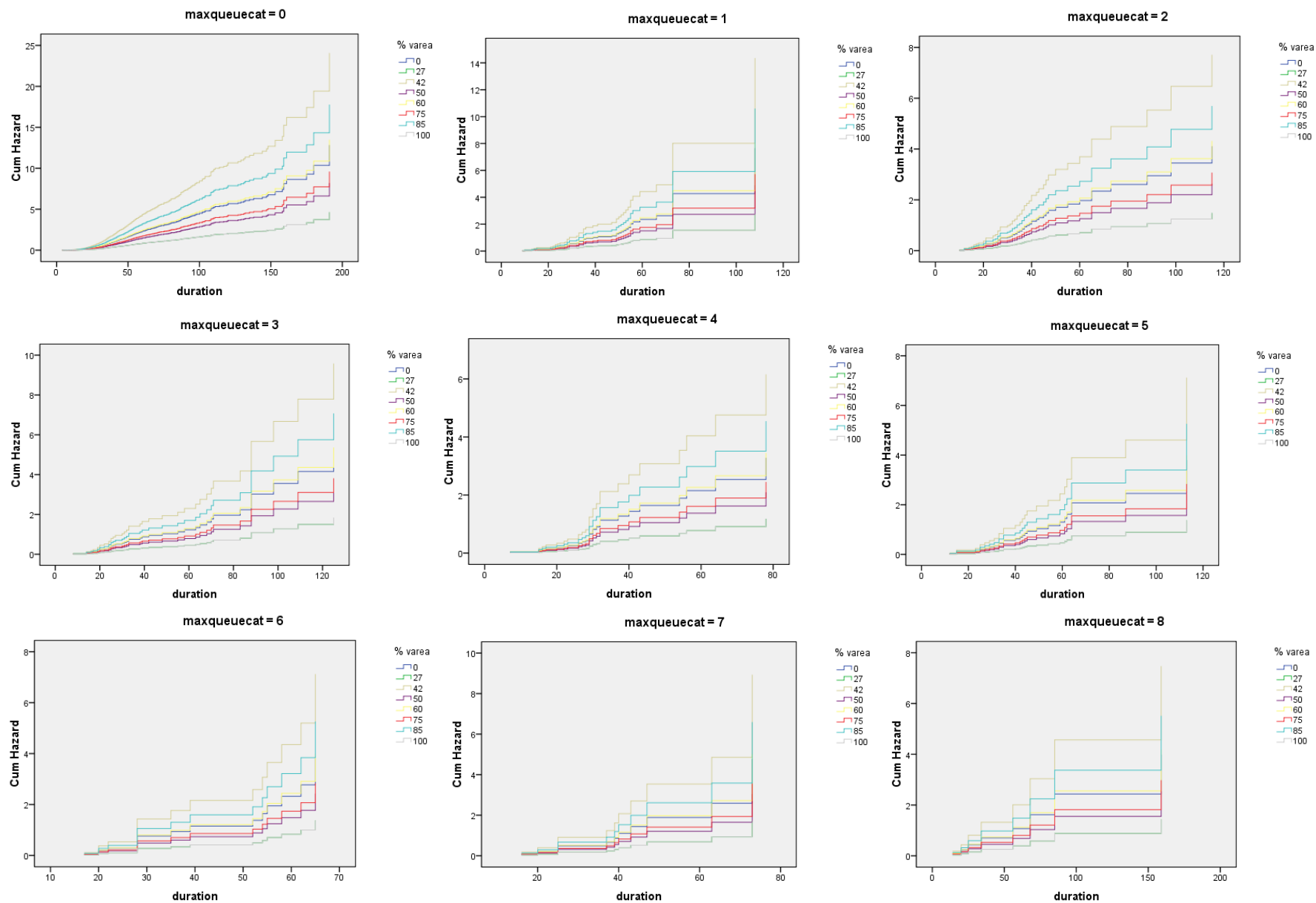
Διάγραμμα 26: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ



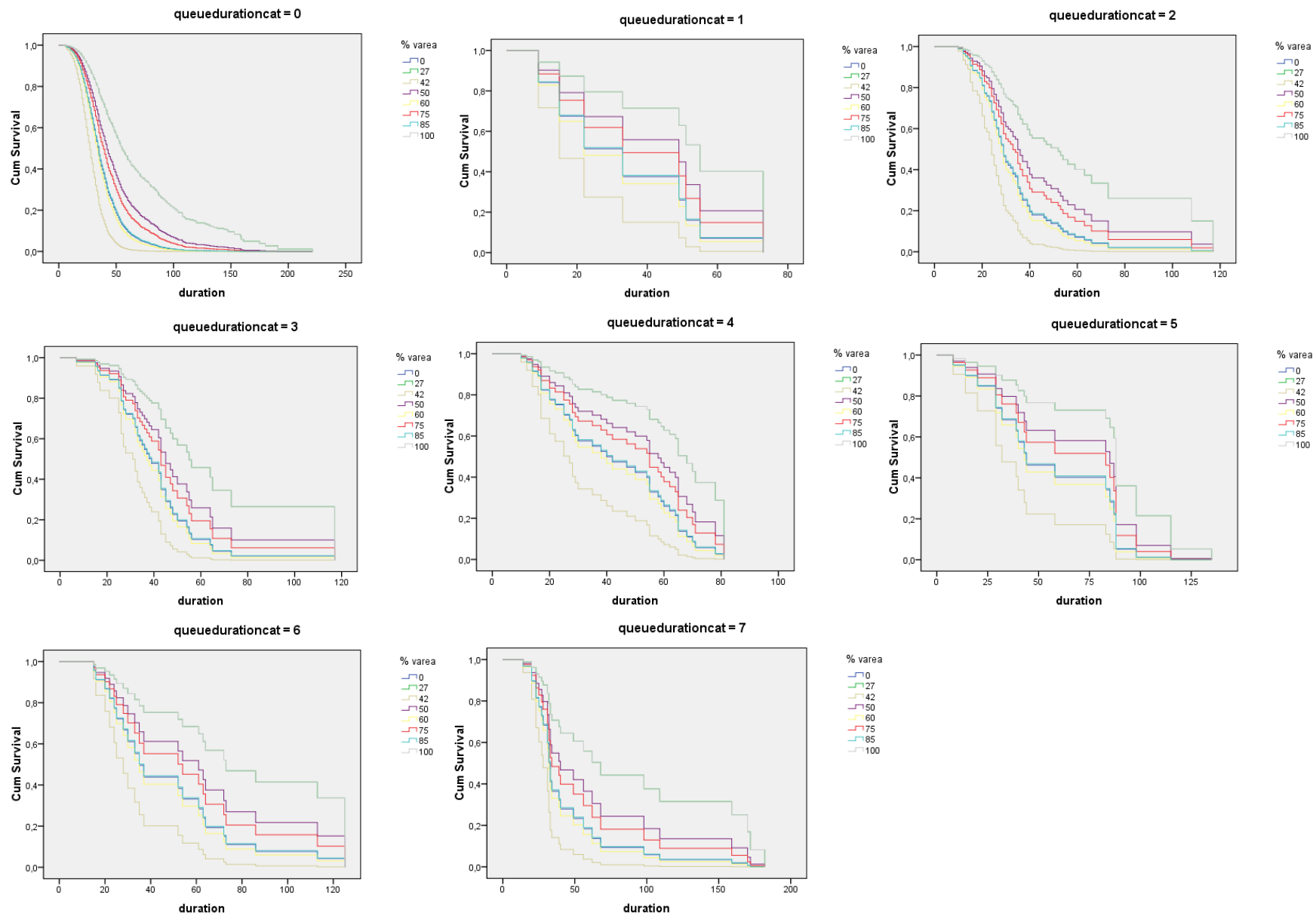
Διάγραμμα 27: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ΜΕΑ



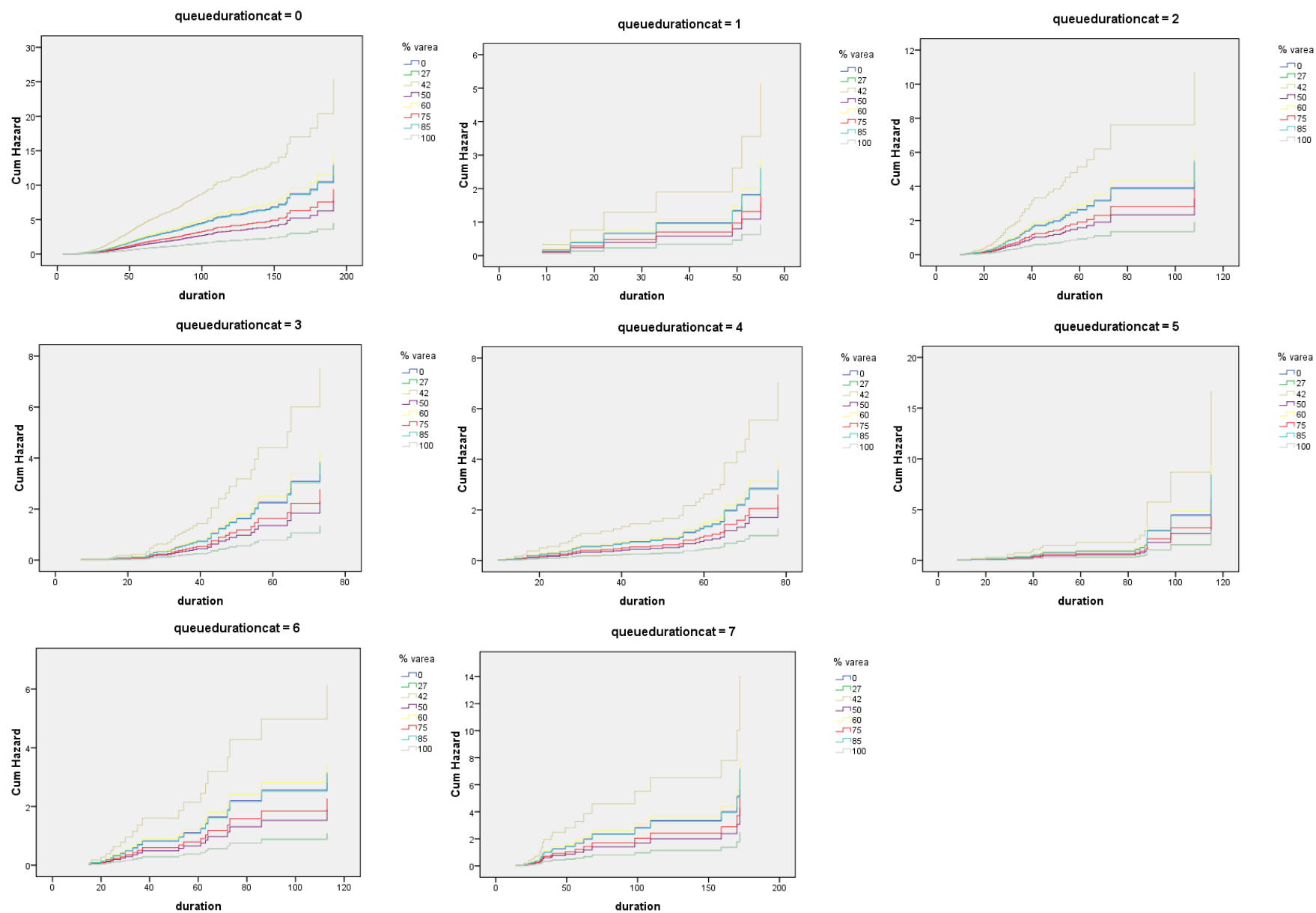
Διάγραμμα 28: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων



Διάγραμμα 29: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων



Διάγραμμα 30: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκειας ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων



Διάγραμμα 31: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων

4.3.5. Επιρροή περιόδων ημέρας

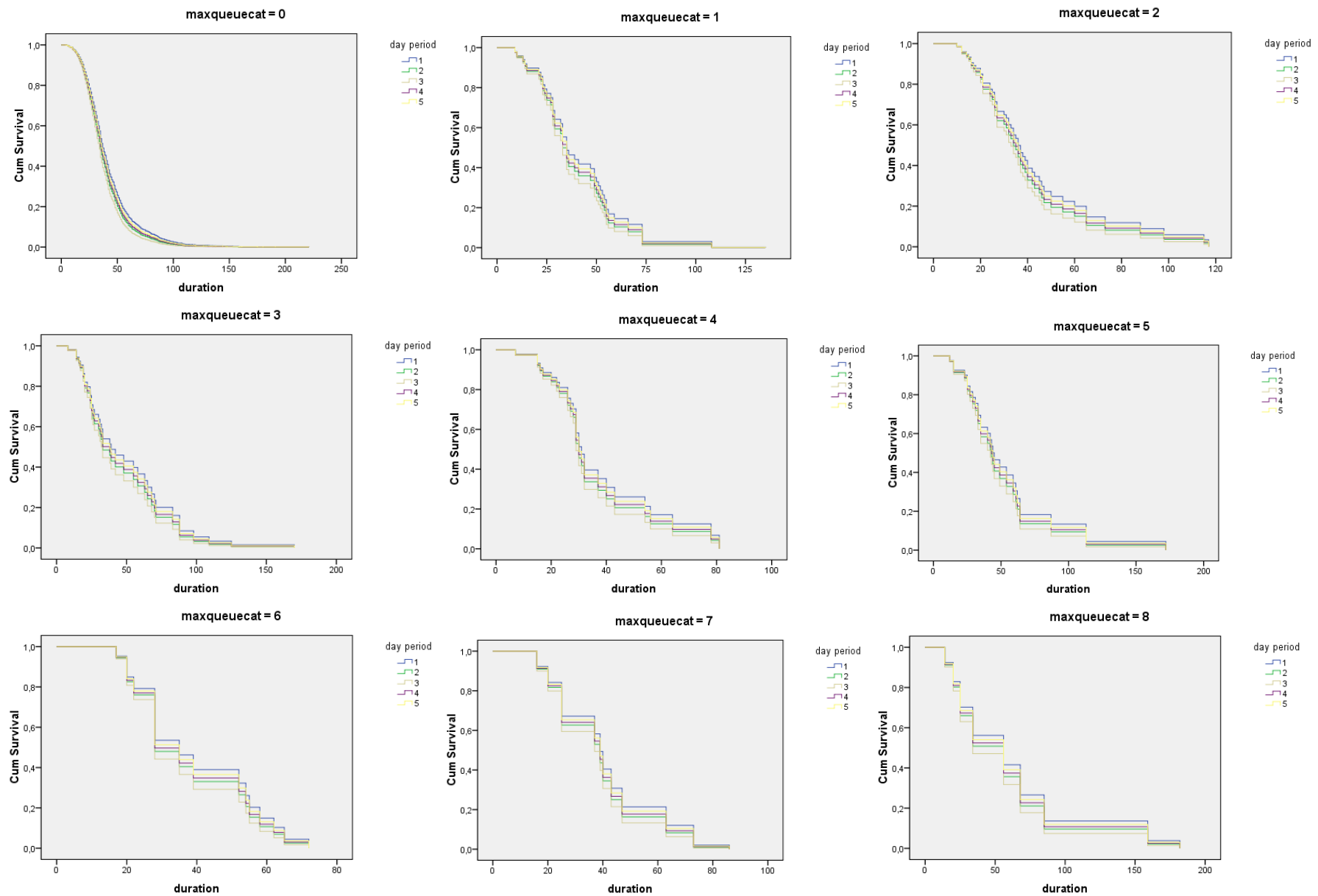
Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι παρουσιάζουν διακρινόμενους κύκλους διακύμανσης. Η εντονότερη διακύμανση παρουσιάζεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Με σκοπό την ενσωμάτωση των κυκλοφοριακών συνθηκών στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι πέντε περίοδοι της ημέρας και προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Η διάρκεια του ατυχήματος στην περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς επηρεάζεται από τις περιόδους ημέρας 1 και 4, δηλαδή την Νυχτερινή (00:00-04:59), όπου αναμένεται ο χαμηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος, και την Απογευματινή (12:00-17:59), όπου αναμένεται κυκλοφοριακή αιχμή. Ενώ στην περίπτωση της διάρκειας ουράς η διάρκεια του ατυχήματος επηρεάζεται μόνο από την Απογευματινή περίοδο (4).

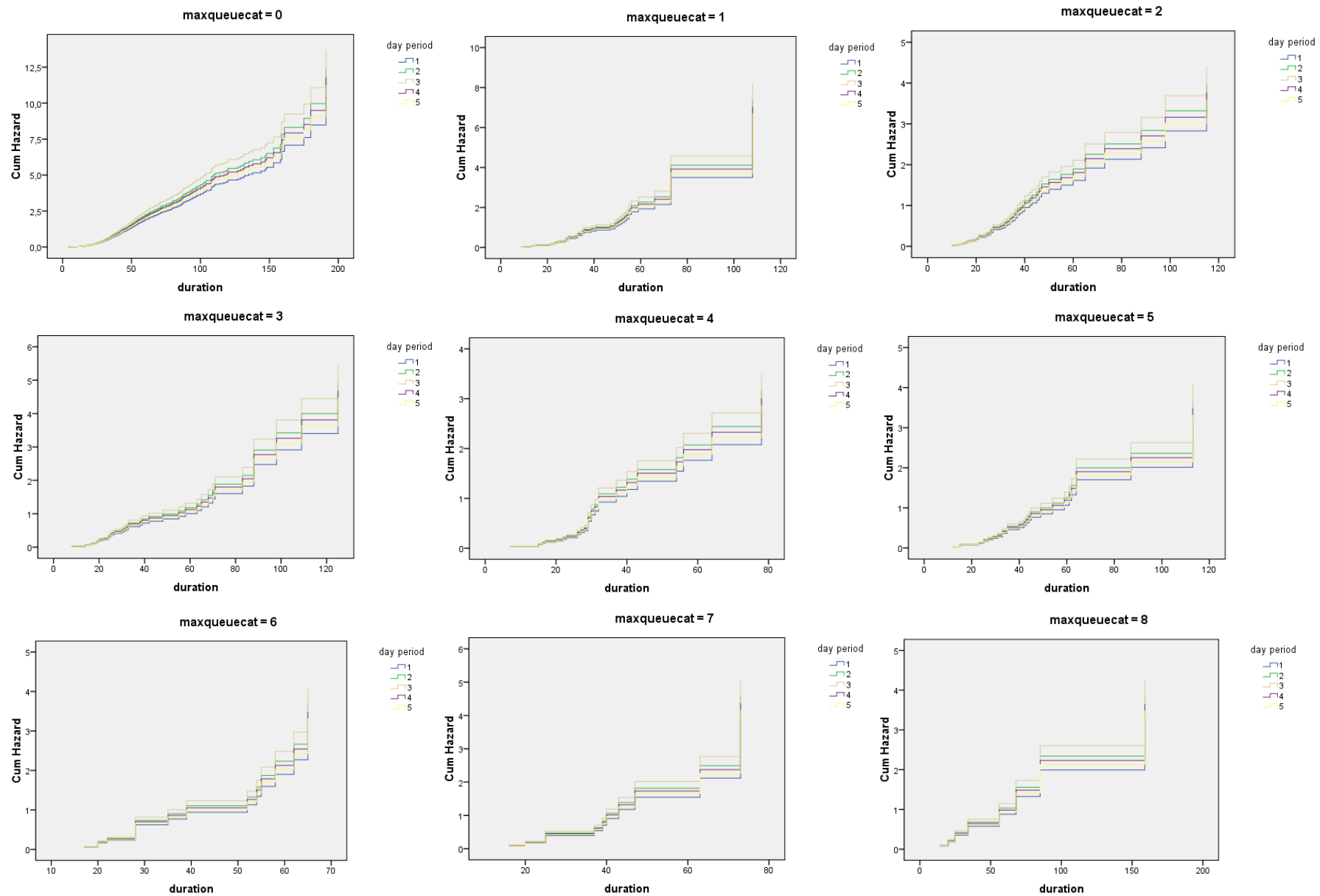
Σε κάθε υποπερίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς και της διάρκειας ουράς οι επί μέρους καμπύλες επιβίωσης και καμπύλες κινδύνου δεν διαφοροποιούνται, δηλαδή εφάπτονται μεταξύ τους δημιουργώντας την εικόνα μίας καμπύλης. (Διάγραμμα 32 έως Διάγραμμα 35). Μόνο στην περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς εμφανίζεται διαφοροποίηση και όταν η περίοδος της ημέρας μεταβάλλεται από Νυχτερινή (1) σε Απογευματινή (4) ο κίνδυνος για λήξη του ατυχήματος αυξάνεται κατά 11,6%.

Η αύξηση της διάρκειας του ατυχήματος, άρα και η χρονική περίοδος κατά την οποία η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα, προκαλεί αύξηση στην διάρκεια επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.

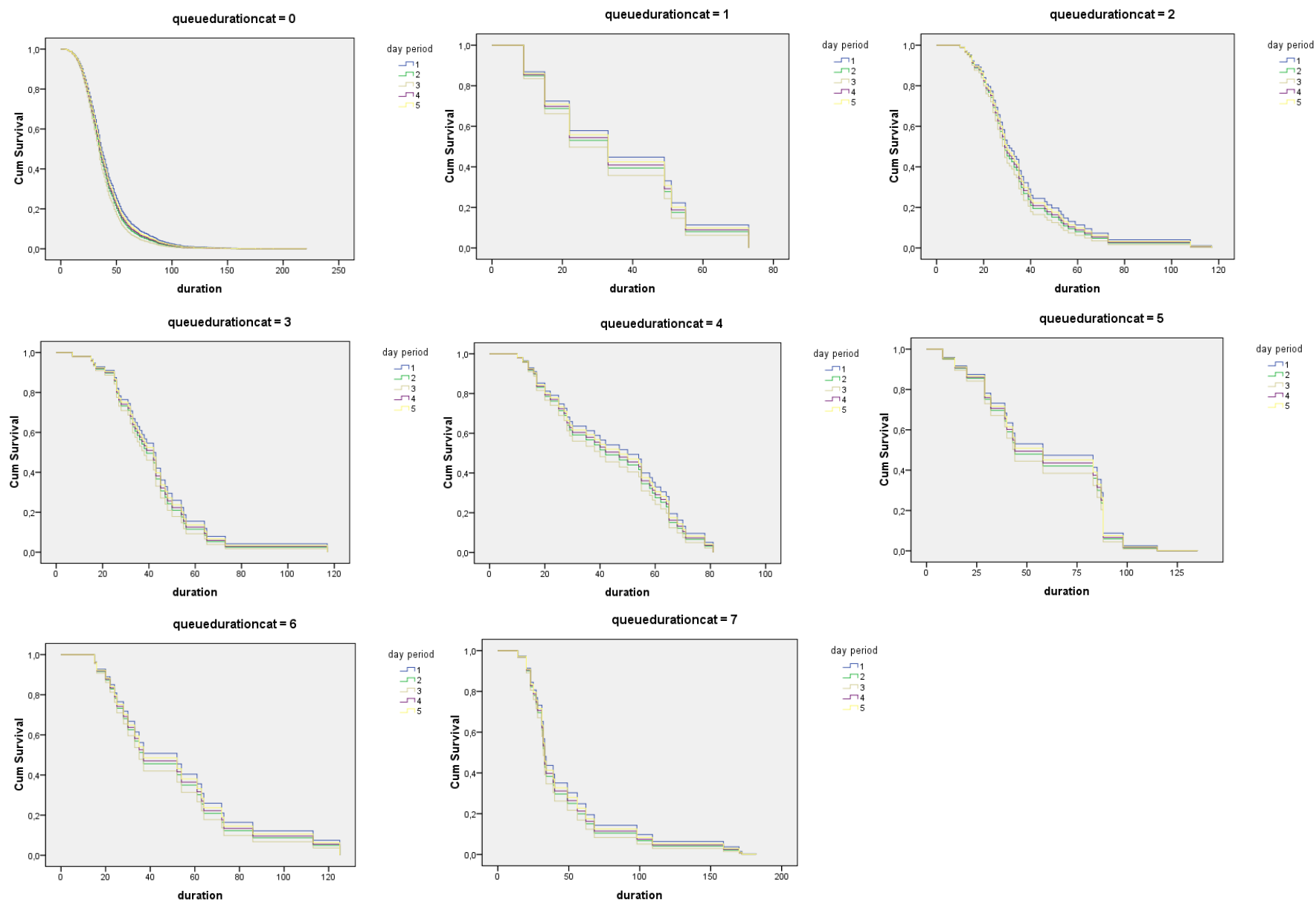
Σύμφωνα με τα παραπάνω, όταν εξετάζεται η περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς, η Βραδινή περίοδος παρουσιάζει μειωμένο κίνδυνο για λήξη του περιστατικού σε σχέση με την Απογευματινή περίοδο, άρα και αυξημένη διάρκεια ατυχήματος. Στην Βραδινή περίοδο η οδός λειτουργεί με μειωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα και αυξημένη την περίοδο επαναφοράς των κυκλοφοριακών συνθηκών της οδού.



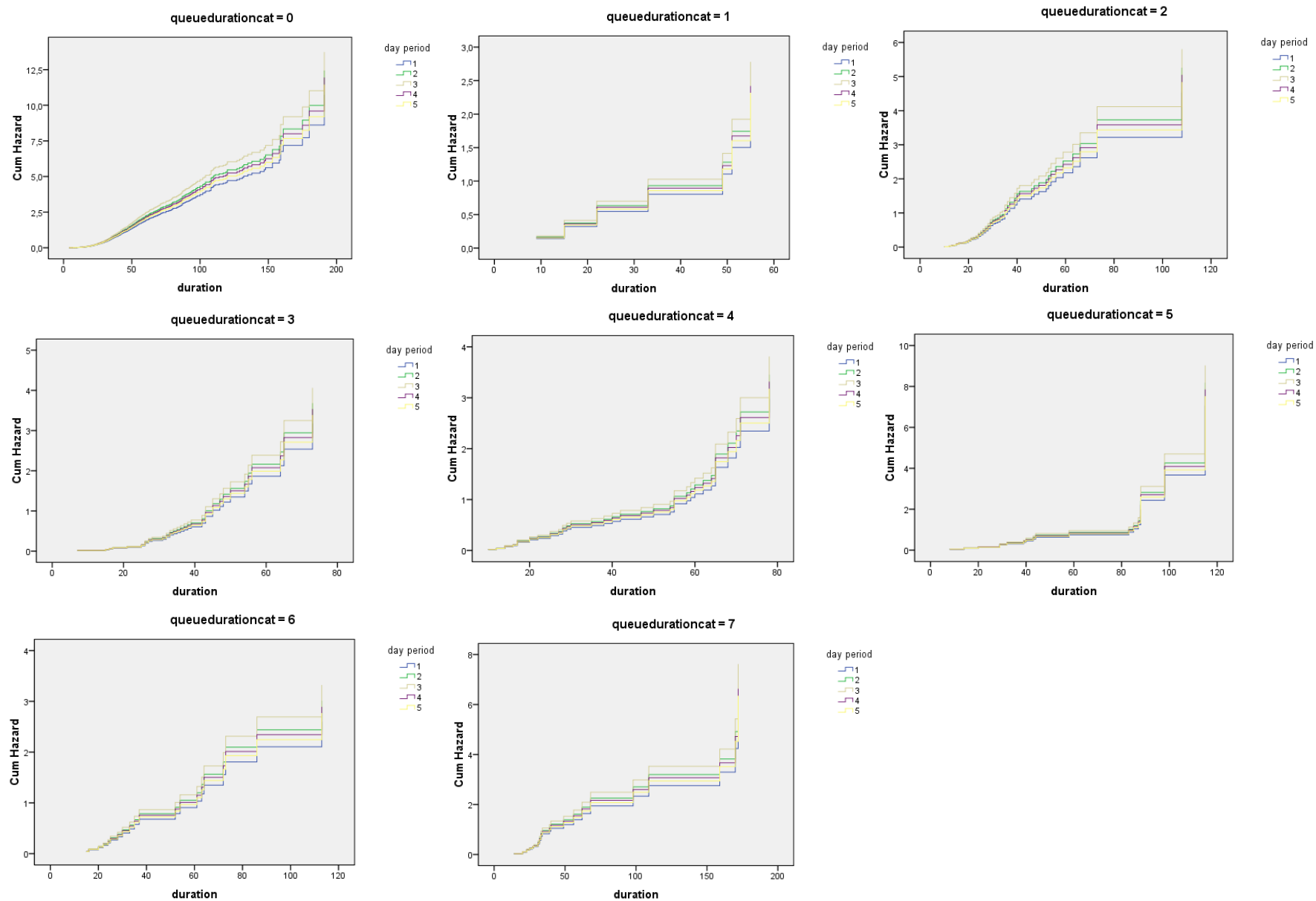
Διάγραμμα 32: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας



Διάγραμμα 33: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση μέγιστο μήκος ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας



Διάγραμμα 34: Καμπύλες επιβίωσης για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας



Διάγραμμα 35: Καμπύλες κινδύνου για την περίπτωση διάρκεια ουράς για μεταβλητή περίοδος ημέρας

5.1. Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο προσδιορισμός των τιμών των κυκλοφοριακών παραμέτρων που επηρεάζουν την χρονική διάρκεια οδικών συμβάντων σε ελεύθερες λεωφόρους. Τα συμβάντα αποτελούν βασικό στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τα Συστήματα Διαχείρισης της Κυκλοφορίας, ειδικά σε αστικές αρτηρίες, που εκ των πραγμάτων επηρεάζονται από μεγάλο αριθμό παραμέτρων και εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις στη λειτουργία τους. Το ενδιαφέρον της παρούσας διπλωματικής λοιπόν, επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της επιρροής αυτής.

Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε η περίπτωση της Αττικής οδού, του αστικού αυτοκινητοδρόμου όπου καταγράφονται καθημερινά πάνω από 295.000 διελεύσεις (δεδομένα του 2007) και ετησίως περίπου 850-900 ατυχήματα. Το διαθέσιμο αρχείο ατυχημάτων της Αττικής οδού περιλαμβάνει 1740 ατυχήματα για την χρονική περίοδο 2007-2008.

Η διαφοροποίηση της εργασίας αυτής από την προϋπάρχουσα έρευνα συνίσταται στην χρήση μεταβλητών που σχετίζονται με τις ουρές. Οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις ουρές είναι το μέγιστο μήκος ουράς και η διάρκεια ουράς, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές στρωματοποίησης.

5.2. Συμπεράσματα επεξεργασίας

Η ανάλυση έγινε με δύο εφαρμογές στο μοντέλο αναλογικών κινδύνων του Cox, όπου κάθε μία αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή στρωματοποίησης (μέγιστο μήκος ουράς και διάρκεια ουράς). Οι υπόλοιπες μεταβλητές, νεκροί, τραυματίες, κλειστές λωρίδες, ΜΕΑ, ποσοστό βαρέων οχημάτων και περίοδος ημέρας, συμμετείχαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές και στις δύο εφαρμογές.

Τα κεντρικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την επεξεργασία που έγινε και τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα:

- Για τους παράγοντες νεκροί και τραυματίες η μη ύπαρξη σε ένα ατύχημα έχει ως αποτέλεσμα την πιο γρήγορη αποκατάσταση της κυκλοφορίας, δηλαδή σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε μικρότερες διάρκειες ατυχημάτων.
- Σε ένα ατύχημα η διάρκεια ατυχήματος επηρεάζεται από την μη λειτουργία ορισμένων λωρίδων. Οι περιπτώσεις λωρίδων που επηρεάζουν είναι (α) οι δύο κλειστές λωρίδες, (β) οι τρεις ή περισσότερες κλειστές λωρίδες, (γ) οι δύο ή περισσότερες λωρίδες κλειστές και η ΛΕΑ κλειστή, (δ) κλειστή η αριστερή λωρίδα και (ε) κλειστή η μεσαία λωρίδα. Ο κίνδυνος για την λήξη ενός περιστατικού αυξάνεται άρα η διάρκεια του ατυχήματος μειώνεται με την ακόλουθη σειρά των κατηγοριών της μεταβλητής κλειστές λωρίδες: #5 (δύο ή περισσότερες κλειστές λωρίδες και η ΛΕΑ κλειστή) , #3 (τρεις ή περισσότερες κλειστές λωρίδες), #12 (μεσαία λωρίδα κλειστή), #2 (δύο λωρίδες κλειστές) και #11 (αριστερή λωρίδα κλειστή).
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την μεταβλητή ποσοστό βαρέων οχημάτων είναι φανερό η εξάρτηση της διάρκειας ατυχήματος από τη συγκεκριμένη μεταβλητή αλλά δεν είναι δυνατή η κατάληξη σε σαφή συμπεράσματα, εξαιτίας των περιορισμών που αναφέρθηκε παραπάνω.
- Η διάρκεια του ατυχήματος στην περίπτωση του μέγιστου μήκους ουράς επηρεάζεται από τις περιόδους ημέρας 1 και 4, δηλαδή την Νυχτερινή (00:00-04:59), όπου αναμένεται ο χαμηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος, και την Απογευματινή (12:00-17:59), όπου αναμένεται κυκλοφοριακή αιχμή. Στην περίπτωση της Απογευματινής περιόδου η διάρκεια του ατυχήματος είναι μικρότερη καθώς ο κίνδυνος για την λήξη του περιστατικού είναι μεγαλύτερος. Ενώ στην περίπτωση της διάρκειας ουράς η διάρκεια του ατυχήματος επηρεάζεται μόνο από την Απογευματινή περίοδο (4).
- Στην περίπτωση όπου η μεταβλητή στρωματοποίησης είναι μέγιστο μήκος ουράς για μεγαλύτερα μήκη ουράς έχουμε και μεγαλύτερες διάρκειες ατυχήματος.
- Στην περίπτωση όπου η μεταβλητή στρωματοποίησης είναι η διάρκεια ουράς η πιθανότητα λήξης του ατυχήματος ακολουθεί αντίστροφα την διάρκεια ουράς, δηλαδή όσο μεγαλώνει η διάρκεια ουράς τόσο μεγαλώνει και η διάρκεια του ατυχήματος.
- Η εισαγωγή των δεδομένων των ουρών στο μοντέλο που εξετάζεται βελτιώνει την ακρίβεια του προτύπου.

5.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση τα παραπάνω, η περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να προσανατολιστεί προς τις εξής κατευθύνσεις:

- Διερεύνηση της επίδρασης της κατηγορίας ατυχήματος στη διάρκεια ατυχήματος. Ως κατηγορία ατυχήματος μπορεί να ληφθεί μια από τις επόμενες: σύγκρουση με τοίχιο, σύγκρουση στην μέση λωρίδας, σύγκρουση με ζώο, πρόκληση πυρκαγιάς, ανατροπή οχήματος.
- Διερεύνηση της επίδρασης των καιρικών συνθηκών στη διάρκεια ατυχήματος.
- Διερεύνηση της επίδρασης του πλήθους των βοηθητικών οχημάτων που συμμετέχουν στον καθαρισμό της οδού και της θέσης τους στο οδικό δίκτυο στην διάρκεια του ατυχήματος.
- Διερεύνηση της επίδρασης των επικρατουσών κυκλοφοριακών συνθηκών στην διάρκεια ατυχήματος.
- Διερεύνηση λύσεων για την μείωση της διάρκειας ατυχήματος.
- Διερεύνηση της επίδρασης της διάρκειας του ατυχήματος στην λειτουργία του υπόλοιπου δικτύου.

Βιβλιογραφία

1. Boyles Stephen, Fajardo David and Travis Waller (2006). A naïve bayesian classifier for incident duration prediction.
2. Cox, D. R. (1972). Regression Models and Life Tables. Journal of the Royal Statistical Society Series B 34 (2), pp 187–220.
3. Fox John (2002). Cox proportional-hazards regression for survival data.
4. Garib A., Radwan A. E. and Al-Deek H. (1997). Estimating magnitude and duration of incident delays. Journal of transportation engineering, November/December1997, pp 459-466.
5. Giuliano G. (1989). Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. Transportation, Research 23 A (5), pp 387-396.
6. Hensher David and Button Kenneth (2000).Handbook of transport modelling. Pergamon, pp 91-110.
7. Hensher David and Mannering Fred (1994). Hazard-based duration models and their application to transport analysis, Transport Reviews, 14:1, pp 63-82.
8. IBM SPSS Statistics 19: <http://127.0.0.1:49864/help/index.jsp>
9. 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, pp 39-52.
10. Khattak J. Asad, Schofer L. Joseph and Mu-Han Wang (1995). A simple time sequential procedure for predicting freeway incident duration. IVHS Journal,1995, Vol.2 (2),pp 113-138
11. Manuel Arellano (2008). Duration models, Class Notes.
12. Nam Doohee and Mannering Fred (1998). An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration.Transportation Research part A 34, pp 85-102.
13. Ozbay Kaan and Noyan Nebahat (2005). Estimation of incident clearance times using bayesian networks approach.
14. 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.
15. Reliability Engineering Resource Web Site: <http://www.weibull.com>
16. Shin Chi-Hyun (2003). Development of freeway incident duration prediction

- models. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp1734-1744.
17. Stathopoulos Antony and Karlaftis G. Matthew (2002). Modeling duration of urban traffic congestion. Journal of transportation engineering, November/December2002, pp 587-590.
 18. Vlahogianni I. Eleni, Karlaftis G. Matthew, Golias C. John and Halkias M. Bill (2010). Freeway operations, spatiotemporal incident characteristics and secondary crash occurrence.
 19. Walters Stephen (2009). What is a Cox Model?. Hayward Group Ltd.
 20. Washington, S, Karlaftis, M. and Mannering, F. (2003) Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Chapman & Hall, Washington D.C.
 21. Wei Chien-Hung and Lee Ying (2006). Sequential forecast of incident duration using artificial neural network models.
 22. 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.
 23. Younshik Chung, Lubinda F. Walubita, Keechoo Choi (2010). Modeling accident duration and its mitigation strategies on the Korean freeway systems.
 24. Αττική οδός: <http://www.aodos.gr/>
 25. Γαλάνης Π. (2008). Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων.
 26. Τσαγρής Μιχαήλ. Στατιστική με τη χρήση του SPSS 15, pp 88-97.
 27. Τσιριγώτης Λυκούργος (2010). Ανάπτυξη εναλλακτικών μοντέλων χρονοσειρών για την βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ταχύτητας σε ελεύθερες λεωφόρους στον αστικό χώρο.
 28. Φραντζεσκάκης Ι. και Γιαννόπουλος Γ.(1986). Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική. Εκδόσεις Επίκεντρο, τόμος 1, Γ' Έκδοση.
 29. Φραντζεσκάκης Ι., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ., Τσαμπούλας Δ. (1997). Διαχείριση της Κυκλοφορίας. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Β' Έκδοση.
 30. Φωκιανός Κ. και Χαραλάμπους Χ. (2010). Εισαγωγή στην R, Πρόχειρες Σημειώσεις, pp 207-218.