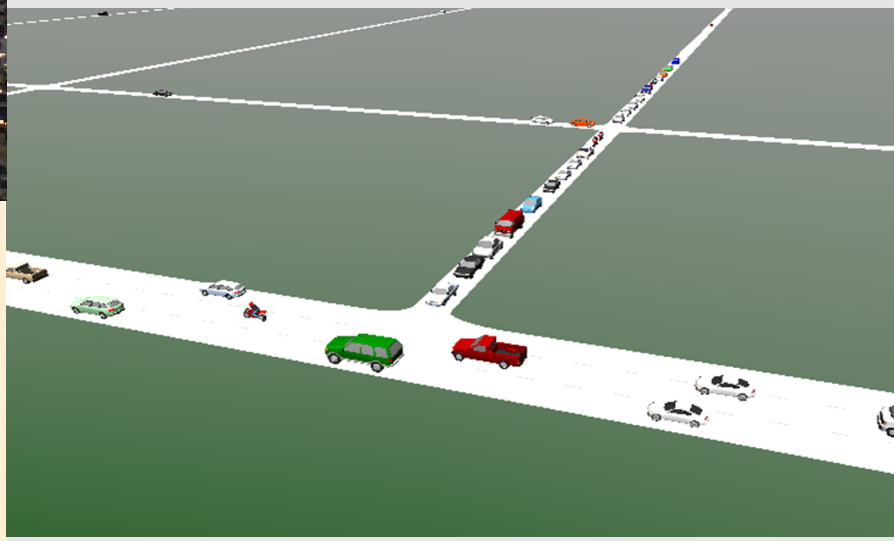
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης
Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση Συμπεριφοράς Οδηγών υπό Καταστάσεις Εκτάκτου Ανάγκης με τη Χρήση Προσομοίωσης



Πριονιστή Ελένη

Επιβλέπων: Κ. Αντωνίου, Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2011

BY NC SA

Copyright ® Ελένη Δ. Πριονιστή, 2011

Διαφύλαξη ορισμένων δικαιωμάτων.

Το έργο αυτό διέπεται από την Άδεια “Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike Greece 3.0” (Αναφορά προέλευσης - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 3.0 – Ελλάδα). Προκειμένου να δείτε ένα αντίγραφο αυτής της άδειας, επισκεφτείτε τη διεύθυνση http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/gr, ή στείλτε γράμμα στην Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική Εργασία μου, για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αντικείμενο μελέτης είναι η “Διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών υπό συνθήκες εκτάκτου ανάγκης με τη χρήση προσομοίωσης”. Το θέμα προέκυψε ύστερα από προσωπικό ενδιαφέρον για το θέμα της εκκένωσης μιας περιοχής σε συνθήκες εκτάκτου ανάγκης και τελικά διαμορφώθηκε ως έχει έπειτα από αρκετή σκέψη και συζήτηση με τον επιβλέποντα καθηγητή.

Το λογισμικό επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του προβλήματος ήταν το TransModeler, ένα λογισμικό μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης που μόλις πρόσφατα αποκτήθηκε από το Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Ως εκ τούτου, είναι η πρώτη Διπλωματική Εργασία που πραγματοποιείται με τη χρήση του λογισμικού αυτού και για το λόγο αυτό υπήρξαν αρκετές δυσκολίες, οι οποίες όμως εξαλείφθηκαν μέσα από τη βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας του λογισμικού.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτού του εγχειρήματος.

Πρώτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Αντωνίου, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση της Διπλωματικής Εργασίας, αλλά πάνω από όλα για την εξαιρετική συνεργασία και το χρόνο που αφιέρωσε επιλύοντας τις απορίες και τους προβληματισμούς μου.

Ευχαριστώ τον Dr. Ramachandran Balakrishna για την τεχνική υποστήριξη σε όσες δυσκολίες αντιμετωπίστηκαν με το λογισμικό TransModeler.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη βοήθεια, στήριξη και υπομονή που μου διέθεσαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Περίληψη

Συνθήκες έκτακτης ανάγκης, συχνά αναγκάζουν τους κατοίκους ή εργαζόμενους μιας περιοχής να καταφύγουν στην εκκένωσή της προκειμένου να διαφυλάξουν την ασφάλειά τους. Στην ενέργεια αυτή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η συμπεριφορά των οδηγών κατά την κίνηση στο δίκτυο της επικίνδυνης περιοχής. Η παρατήρηση και ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς είναι δύσκολη σε πραγματικές συνθήκες και για το λόγο αυτό επιλέγεται η χρήση κυκλοφοριακής προσομοίωσης για την περιγραφή της. Μέσω της μικροσκοπικής προσομοίωσης και της χρήσης επιλεγμένων μοντέλων οδηγικής συμπεριφοράς, επιχειρείται η διερεύνηση της επίδρασης της επιθετικότητας των οδηγών σε κυκλοφοριακά μεγέθη που σχετίζονται άμεσα με την εκκένωση μιας περιοχής όπως ο χρόνος διαδρομής μέχρι την έξοδο από την επικίνδυνη ζώνη. Η διερεύνηση επιτυγχάνεται με ανάλυση ευαισθησίας των μοντέλων συμπεριφοράς των οδηγών, η οποία εξετάζει την επίδραση κάθε μοντέλου στο δίκτυο μελέτης ξεχωριστά αλλά και ένα συνδυασμό των μοντέλων με τη μεγαλύτερη επίδραση, ώστε να ερμηνευτεί με μεγαλύτερη επιτυχία η επίδραση της επιθετικότητας των οδηγών στην έκβαση της εκκένωσης μιας περιοχής.

Abstract

Under emergency situations, citizens are often forced to evacuate an inhabited area for their own safety. During this process, drivers' behavior becomes a very important factor determining vehicle movements in the emergency zone network. Real time observation and analysis of drivers' behavior is a difficult task, therefore, traffic simulation is the most appropriate method for analysis. The attempt to examine the impact of driver aggressiveness on traffic flow properties related to evacuation, such as travel time to the network exit, is accomplished through microscopic simulation and the use of particular driver behavior models. This research is achieved primarily through a sensitivity analysis examining the impact of each model on the network individually and then through a combination of the most influential models, so as to interpret more successfully the effect of driver's aggressiveness on the outcome of area-wide evacuation.

Κατάλογος περιεχομένων

Πρόλογος i

Περίληψη iii

Abstract V

Εισαγωγή 1

1. Εκκένωση περιοχής και προσομοίωση 5

1.1. Μεθοδολογίες εκκένωσης 5

1.1.1. Εκκένωση με διαχείριση κυκλοφορίας 6

1.1.2. Εκκένωση με προγραμματισμό διαδρομής 7

1.1.3. Εκκένωση με βάση το χρόνο έναρξης 8

1.1.4. Εκκένωση με έμφαση στη συμπεριφορά του οδηγού 9

1.1.5. Άλλες μέθοδοι σχεδιασμού εκκένωσης 10

1.2. Παράμετροι σχεδιασμού 11

1.2.1. Οδικό δίκτυο και πληθυσμιακά στοιχεία 12

1.2.4. Ζώνη σχεδιασμού εκκένωσης και ασφαλείς ζώνες 14

1.2.5. Χρόνος αντίδρασης και εκτιμώμενος χρόνος εκκένωσης 16

1.2.7. Ειδικές συνθήκες 17

1.3. Μελέτες διαχείρισης της εκκένωσης περιοχής 17

1.4. Επιλογή της προσομοίωσης ως εργαλείο σχεδιασμού 23

1.4.1. Γενικά για την προσομοίωση 24

1.4.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης 25

1.4.3. Περιπτώσεις εφαρμογής της προσομοίωσης 25

1.4.4. Μοντέλα προσομοίωσης 26

2. Συμπεριφορά του οδηγού 32

2.1. Εισαγωγή 32

2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού 32

2.3. Μελέτες οδηγικής συμπεριφοράς 33

2.4. Συμπεριφορά οδηγού και προσομοίωση 36

2.4.1. Μοντέλα ακολουθίας οχημάτων (car-following models) 38

2.4.2. Μοντέλα αλλαγής λωρίδας (lane changing models) 39

2.4.3. Μοντέλα αποδοχής διακένων (gap acceptance models) 41

2.4.4. Συμπεριφορά σε ειδικές εγκαταστάσεις 42

2.4.5. Αντίδραση σε σήμανση, σηματοδότηση και συμβάντα 42

3. Στόχος και μεθοδολογία της μελέτης....45
3.1. Στόχος της μελέτης 45
3.2. Μεθοδολογία και σχεδιασμός εκκένωσης....45
3.2.1. Σενάριο....45
3.2.2. Σχεδιασμός εκκένωσης....46
3.3. Ανάλυση συμπεριφοράς οδηγών....50
3.4. Εργαλεία ανάλυσης και σχεδιασμού....53
3.5. Περιορισμοί....55
4. Εφαρμογή στο λογισμικό TransModeler....57
4.1. Εισαγωγή....57
4.2. Το λογισμικό TransModeler....57
4.3. Μελέτη συμπεριφοράς του οδηγού στο TransModeler....59
4.3.1. Μοντέλο επιτάχυνσης – επιβράδυνσης (acceleration – deceleration model)....60
4.3.2. Μοντέλο αλλαγής λωρίδας (lane changing model)....63
4.3.3. Μοντέλο προσέγγισης, διάσχισης διασταυρώσεων (crossing, merging and yielding model)....70
4.3.4. Μοντέλο συμπεριφοράς σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας (response to traffic control model)....73
4.4. Προετοιμασία της εφαρμογής στο TransModeler....75
4.4.1. Οδικό δίκτυο....76
4.4.2. Στόλος οχημάτων....86
4.4.3. Κατανομή ζήτησης μετακινήσεων....88
4.4.4. Μητρώο Προέλευσης και Προορισμού....89
4.4.5. Μέθοδος προσομοίωσης....92
5. Ανάλυση ευαισθησίας....98
5.1. Επιλογή μοντέλων συμπεριφοράς....98
5.1.1. Μοντέλο ακολουθίας οχημάτων....98
5.1.2. Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης....101
5.1.3. Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων....103
5.1.4. Μοντέλο διαχωρισμών για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις....105
5.2. Πειραματικός σχεδιασμός....107
5.3. Αποτελέσματα για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση....109
5.4. Αποτελέσματα για τους φόρτους και τους διαχωρισμούς....167
5.5. Σύνοψη και ερμηνεία αποτελεσμάτων....174

5.3.1. Κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία....175
5.3.2. Κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό....176
5.3.3. Κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό....177
5.3.4. Κίνηση προς τη δεύτερη κάθετη οδό....178
5.3.5. Κίνηση στην παράλληλη οδό....179
6. Αλληλεπίδραση μοντέλων συμπεριφοράς....181
6.1. Επιλογή των μοντέλων συμπεριφοράς....181
6.1.1. Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης....181
6.1.2. Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων....182
6.1.3. Μοντέλο διαχωρισμών για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις....183
6.2. Πειραματικός σχεδιασμός....184
6.3. Αποτελέσματα για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση....186
6.4. Αποτελέσματα για τους φόρτους και τους διαχωρισμούς....190
6.5. Σύνοψη και ερμηνεία αποτελεσμάτων....196
6.5.1. Κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία....197
6.5.2. Κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό....198
6.5.3. Κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό....199
7. Συμπεράσματα....201
7.1. Ανάλυση ευαισθησίας....201
7.2. Συνδυασμός προσομοιώσεων....202
Βιβλιογραφία - Αναφορές....205
Παράρτημα....213

Εισαγωγή

Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών σε συνθήκες εκτάκτου ανάγκης, με τη χρήση προσομοίωσης. Προκειμένου να μελετηθεί η οδηγική συμπεριφορά υπό αυτές τις ιδιαίτερες συνθήκες, πρέπει να δημιουργηθεί μια συνολική μεθοδολογία, που να υποθέτει ένα σενάριο εκκένωσης με αναφορά στο σχεδιασμό της εκκένωσης, και ένα σενάριο διερεύνησης των παραμέτρων της οδηγικής συμπεριφοράς, οι οποίες θα εξεταστούν ως προς την επίπτωσή τους στη διεξαγωγή της εκκένωσης.

Η μελέτη θα κινηθεί σε δύο στάδια. Αρχικά, θα εξεταστεί η επίδραση των μοντέλων οδηγικής συμπεριφοράς μεμονωμένα για κάθε μεταβολή των παραμέτρων τους. Στη συνέχεια, θα εξεταστεί η αλληλεπίδραση των μεταβολών των μοντέλων και η τελική επίδρασή τους στον τρόπο διεξαγωγής της εκκένωσης περιοχής.

Το πρόβλημα της μελέτης της οδηγικής συμπεριφοράς υπό αυτές τις συνθήκες είναι ιδιαίτερα σύνθετο, καθώς αποτελείται από πολλές διαφορετικές παραμέτρους οι οποίες πρέπει να αναλυθούν ξεχωριστά. Αρχικά, πρέπει να κατανοηθεί η έννοια της έκτακτης ανάγκης και τα φαινόμενα που αυτή περιλαμβάνει. Στη συνέχεια, πρέπει να αναλυθεί η χρήση της προσομοίωσης ως εργαλείο σχεδιασμού και εφαρμογής, αλλά και η περιγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς με τη χρήση αυτού του εργαλείου. Τέλος, με βάση τη μεθοδολογία της εφαρμογής, θα διεξαχθούν οι απαραίτητες πειραματικές διαδικασίες, οι οποίες θα αποφέρουν τα τελικά συμπεράσματα.

Ακραία φυσικά ή ανθρωπογενή φαινόμενα παρουσιάζονται συχνά, θέτοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και περιουσίες. Τέτοια φαινόμενα υπήρξαν σε όλες τις εποχές, με αποτέλεσμα την απώλεια μεγάλου αριθμού ανθρώπινων ζωών. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια αύξηση σε τέτοιου είδους φαινόμενα, ειδικά όσα προέρχονται από ανθρώπινο παράγοντα. Απειλές όπως τρομοκρατικές επιθέσεις, φωτιές και εκλύσεις επικίνδυνων χημικών ουσιών ή ακτινοβολίας, παρουσιάζονται ολοένα και πιο συχνά και οι αιτίες ποικίλλουν από απλά ατυχήματα μέχρι οργανωμένες δράσεις. Αύξηση παρατηρείται και στη δεινότητα των φυσικών καταστροφών, αφού φαινόμενα όπως τυφώνες και πλημμύρες παρουσιάζονται όλο και συχνότερα, θέτοντας άμεσα τον προβληματισμό για την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος.

Το πρόβλημα με τα έντονα αυτά φαινόμενα είναι το ρίσκο ανθρώπινων ζωών. Το 2010, 315000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους στο σεισμό της Αϊτής. Στην Ινδονησία χάθηκαν 230000 ζωές από το τσουνάμι του 2004. Στη Μιανμάρ, χάθηκαν 140000 ζωές από τον τυφώνα Ναργκίς το 2008, ενώ το 2009, 173 άνθρωποι χάθηκαν στις φωτιές της Αυστραλίας. Αντίστοιχα, ανθρωπογενή φαινόμενα έχουν επίσης οδηγήσει στην απώλεια ζωών, όπως βιομηχανικά ατυχήματα, πυρηνικά ατυχήματα και έκλυση ραδιενέργειας, όπως στο Τσερνομπίλ, ή τρομοκρατικές επιθέσεις όπως αυτή της 11/9 το

2001, που οδήγησαν σε μεγάλες ανθρώπινες απώλειες.

Όλα αυτά τα φαινόμενα, οδήγησαν στην απόφαση για εκκένωση των πληττόμενων περιοχών και μεταφορά του πληθυσμού σε ασφαλέστερες περιοχές, μέχρι την πάροδο των φαινομένων. Το 2005, ο τυφώνας Κατρίνα, οδήγησε στη μαζική εκκένωση της πόλης της Νέας Ορλεάνης, με αποτέλεσμα να εκκενωθεί το 80% της πόλης πριν την έξαρση του φαινομένου. Το 2007 οι φωτιές στην Καλιφόρνια οδήγησαν περισσότερα από 900000 άτομα σε εκκένωση της περιοχής, ενώ το 2008, τουλάχιστον 1.9 εκατομμύρια άνθρωποι εγκατέλειψαν της ακτές της Λουιζιάνα λόγω του τυφώνα Γκούσταβ.

Η διαχείριση τέτοιων μαζικών εκκενώσεων απαιτεί σωστή οργάνωση και λήψη αποφάσεων. Η εφαρμογή τους είναι μια δύσκολη διαδικασία, αφού οι αρχές θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τον πανικό των κατοίκων και να προβλέψουν μια σειρά συμπεριφορών διαφορετική από αυτή των φυσιολογικών συνθηκών. Λόγω του άγχους, οι οδηγοί που εκκενώνουν την επικίνδυνη περιοχή, τείνουν να οδηγούν πιο επιθετικά, με αποτέλεσμα, το δίκτυο εκκένωσης να παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις συνθήκες φυσιολογικής ροής των οχημάτων. Υπάρχει έντονη φόρτιση του δικτύου με οχήματα, τα οποία μπορεί να πλησιάζουν πολύ μεταξύ τους, να δημιουργούν ουρές, να εκτελούν επικίνδυνους ελιγμούς, προκαλώντας ατυχήματα. Τέτοια στοιχεία είναι αδύνατο να συλλεχθούν σε πραγματικές συνθήκες για πολλούς λόγους. Επομένως, επιλέγεται η χρήση προσομοίωσης που αποτελεί βασικό εργαλείο κυκλοφοριακής ανάλυσης. Οι μεθοδολογίες εκκένωσης και οι παράμετροι και τα εργαλεία του σχεδιασμού της εκκένωσης περιγράφονται στο *Κεφάλαιο 1*.

Η συμπεριφορά των οδηγών σε τέτοιες συνθήκες είναι τουλάχιστον απρόβλεπτη. Για το λόγο αυτό δεν είναι εύκολη η αναπαράσταση τέτοιων συμπεριφορών. Η έλλειψη πραγματικών στοιχείων τέτοιων συμπεριφορών είναι φυσική, αφού σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης κύριο μέλημα αποτελεί η διαφυγή των κατοίκων και η ασφάλειά τους, επομένως η συλλογή στοιχείων έρχεται σε δεύτερη μοίρα. Επίσης, οι συμπεριφορές είναι τόσο διαφορετικές μεταξύ τους, που είναι αδύνατη η διαφοροποίηση και κατηγοριοποίησή τους κάτω από τις συνθήκες αυτές.

Επομένως, ένας εύκολος τρόπος διερεύνησης τέτοιων συμπεριφορών είναι πάλι η χρήση προσομοίωσης. Υπάρχει πληθώρα λογισμικών προσομοίωσης που επιτρέπουν διαφορετικά επίπεδα προσομοίωσης, κατάλληλα για κάθε εφαρμογή. Για την ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς, είναι απαραίτητη η χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης. Οι οδηγικές συμπεριφορές στα πλαίσια της προσομοίωσης περιγράφονται με διάφορα μοντέλα, τα οποία αναλύονται στο *Κεφάλαιο 2.* Με βάση τα μοντέλα αυτά, θα προχωρήσει και η εφαρμογή της διερεύνησης σύμφωνα με την απαιτούμενη μεθοδολογία.

Η μεθοδολογία της εφαρμογής καθορίζεται στο *Κεφάλαιο 3* και περιγράφει το στόχο της μελέτης,

αλλά και τον τρόπο με τον αυτή θα δομηθεί και θα εξελιχθεί. Παρουσιάζονται το σενάριο της μελέτης, οι επιλεγμένες μεθοδολογίες που θα χρησιμοποιηθούν, αλλά και οι απόψεις της οδηγικής συμπεριφοράς που επιλέγεται να μελετηθούν ως προς την επίδρασή τους σε κυκλοφοριακά μεγέθη του δικτύου.

Για τη διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς στις συνθήκες που περιγράφηκαν, επιλέχθηκε η χρήση του μικροσκοπικού προσομοιωτή TransModeler, στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η δημιουργία ενός δικτύου μελέτης, το οποίο θα περιλαμβάνει όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οδών. Το λογισμικό TransModeler χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στο πλαίσιο Διπλωματικής Εργασίας στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και για το λόγο αυτό γίνεται μια προσπάθεια να περιγραφεί η χρήση του κατά το δυνατό πιο αναλυτικά. Στο *Κεφάλαιο 4,* θα περιγραφεί η δημιουργία του δικτύου μέσω του λογισμικού TransModeler αλλά και άλλα χαρακτηριστικά εργαλεία του λογισμικού όπως τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της οδηγικής συμπεριφοράς. Η προετοιμασία του δικτύου της εφαρμογής, είναι ακόμα ένα βασικό στοιχείο του κεφαλαίου.

Το πρακτικό τμήμα της εργασίας φαίνεται αρχικά στο *Κεφάλαιο 5,* που αποτελεί το πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας και περιλαμβάνει την ανάλυση ευαισθησίας. Αυτό πρακτικά σημαίνει την επιλογή των σεναρίων της προσομοίωσης ώστε να μελετηθεί η επίδραση των μεταβολών των παραμέτρων σε κάθε μοντέλο οδηγικής συμπεριφοράς ξεχωριστά, σε μεγέθη που αφορούν τη διαδικασία της εκκένωσης όπως ο χρόνος διαδρομής των οχημάτων στο δίκτυο και οι καθυστερήσεις που αντιμετωπίζουν τα οχήματα.

Στη συνέχεια, και μετά την εξαγωγή των συμπερασμάτων από την προηγούμενη ενότητα, στο *Κεφάλαιο 6,* ακολουθεί το δεύτερο στάδιο της πειραματικής εφαρμογής. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την επιλογή των πιο δραστικών μοντέλων και το συνδυασμό των παραμέτρων τους σε επιπλέον προσομοιώσεις. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πιο ολοκληρωμένη ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς.

Τα τελικά συμπεράσματα σε σχέση με τη διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, παρουσιάζονται αναλυτικά στο *Κεφάλαιο 7.* Τα συμπεράσματα αφορούν τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών που διεξάχθηκαν, αλλά και την αξιολόγηση των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω ανάλυση και εφαρμογή της μελέτης.

Εν κατακλείδι, στο *Παράρτημα,* παρουσιάζονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, ώστε να μπορεί κανείς να ανατρέξει σε αυτά για επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα.

Η εικόνα παρουσιάζει σχηματικά τη συσχέτιση μεταξύ των τριών βασικών ενοτήτων της εργασίας, ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση της πορείας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της μελέτης.

1. Εκκένωση περιοχής και προσομοίωση

Είναι συχνό φαινόμενο, καταστροφές όπως πυρκαγιές, πλημμύρες, χημικά ή βιομηχανικά ατυχήματα, να απειλούν ανθρώπινες ζωές αλλά και την καταστροφή δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας. Στις περιπτώσεις αυτές, είναι απαραίτητη η εκκένωση της περιοχής που πλήττεται, ώστε ο πληθυσμός να διαφύγει τον κίνδυνο και να οδηγηθεί σε ασφαλείς περιοχές. Η εκκένωση πρέπει να διεξαχθεί άμεσα και όσο το δυνατό ταχύτερα, καθώς ο κίνδυνος είναι ορατός και μπορεί να διακριθεί σε δυο διαφορετικά προβλήματα, αυτό της εκκένωσης κτιρίων και αυτό της εκκένωσης μιας ευρύτερης περιοχής. Κάθε μια από αυτές τις προσεγγίσεις απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση, καθώς περιλαμβάνει πολλές και διαφορετικές παραμέτρους που πρέπει να συμπεριληφθούν στο σχεδιασμό της εκκένωσης. Για παράδειγμα, στην εκκένωση κτιρίων, οι εναλλακτικές διαδρομές διαφυγής είναι σαφώς πιο περιορισμένες από την εκκένωση μεγαλύτερων περιοχών, όπου οι άνθρωποι καλούνται να επιλέξουν τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν.

Ο σχεδιασμός της εκκένωσης πραγματοποιείται με τη χρήση σύγχρονων εργαλείων όπως τα μοντέλα εκκένωσης, που επιτρέπουν την εκτίμηση παραμέτρων όπως ο χρόνος εκκένωσης και οι ασφαλέστερες διαδρομές που θα οδηγήσουν σε ασφαλείς περιοχές. Πρόκειται για μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί τη συλλογή πολλών διαφορετικών δεδομένων και τον κατάλληλο συνδυασμό τους σε εναλλακτικές μεθοδολογίες. Οι μεθοδολογίες αυτές προκύπτουν από την πληθώρα διαστάσεων και προσεγγίσεων από τις οποίες μελετάται το πρόβλημα της εκκένωσης. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να αναλυθούν οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν προκειμένου να σχεδιαστεί η εκκένωση σε μια περιοχή. Επίσης, θα πρέπει να επιλεχθεί η κατάλληλη μεθοδολογία ανάπτυξης της εκκένωσης, αλλά και να μελετηθεί ο τρόπος εφαρμογής της, ώστε αυτή να εξελιχθεί επιτυχώς στην περίπτωση που εφαρμοστεί για κάποια έκτακτη ανάγκη.

1.1. Μεθοδολογίες εκκένωσης

Κύριος στόχος του σχεδιασμού εκκένωσης, είναι ο υπολογισμός του χρόνου στον οποίο ο πληθυσμός θα εγκαταλείψει την περιοχή που βρίσκεται σε κίνδυνο αλλά και άλλων συμπληρωματικών μεγεθών όπως οι πιθανές ουρές που δημιουργούνται και η αντιμετώπισή τους. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί αυτοί, είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί μια μεθοδολογία σχεδιασμού που θα επιτρέπει την εξαγωγή αυτών των στοιχείων. Μια τέτοια μεθοδολογία θα πρέπει να είναι σύγχρονη, εφαρμόσιμη με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα και προσανατολισμένη προς την επιθυμητή κατεύθυνση, δηλαδή να επικεντρώνεται στις παραμέτρους που εξυπηρετούν τις ανάγκες του σχεδιασμού.

Οι σύγχρονες μέθοδοι σχεδιασμού της εκκένωσης μιας περιοχής μπορούν να διακριθούν σε δυο

βασικές κατηγορίες, την προσέγγιση της διαχείρισης κυκλοφορίας με προσομοίωση (traffic assignment-simulation) και την προσέγγιση του σχεδιασμού με βάση τον προγραμματισμό της διαδρομής (route-schedule planning). Εκτός από αυτές τις δύο κύριες κατηγορίες, μπορούν να προστεθούν και συμπληρωματικές μέθοδοι σχεδιασμού που βασίζονται σε διαφορετικές προσεγγίσεις, οι οποίες αφορούν συγκεκριμένα στοιχεία και στάδια της εκκένωσης, όπως οι ασφαλείς ζώνες, ο τρόπος διεξαγωγής της εκκένωσης αλλά και η συμπεριφορά των ανθρώπων που εγκαταλείπουν την περιοχή. Στη συνέχεια θα μελετηθούν αυτά τα στοιχεία ξεχωριστά ώστε να αποσαφηνιστούν οι διαφορετικές επιπτώσεις τους στο σχεδιασμό.

1.1.1. Εκκένωση με διαχείριση κυκλοφορίας

Η προσέγγιση της διαχείρισης κυκλοφορίας με προσομοίωση χρησιμοποιεί εργαλεία προσομοίωσης όπως τα TransModeler [*Caliper,* 2010], DynaMIT [*Ben-Akiva et al.* 2010], MITSIMLab [*Yang et al.* 1997], για να διεξάγει προσομοίωση των μετακινήσεων με στοχαστικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στη διαμόρφωση της ζήτησης, όπως αυτή προκύπτει από τους πίνακες προέλευσης και προορισμού, έχουν όμως και άλλους στόχους. Σε περιοχές που έχουν πληγεί ή πλήττονται συχνά από φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές και επιβάλλεται η εκκένωσή τους, αρχές όπως η αμερικανική Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Εκτάκτων Αναγκών (FEMA), έχουν αναπτύξει μοντέλα όπως το DYNEV [*KLD Associates*], τα οποία έχουν ως αντικείμενο τη δημιουργία σχεδίων εκκένωσης. Άξια αναφοράς είναι επίσης τα μοντέλα CLEAR, DYMOD, MASSVAC και NETSIM. Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται από ένα σύνολο υπολογιστικών προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του χρόνου εκκένωσης και τη δημιουργία σχεδίων εκκένωσης μιας συγκεκριμένης περιοχής για διαφορετικά συμβάντα ή σενάρια, όπως καλές ή κακές καιρικές συνθήκες ή αν το σενάριο διαδραματίζεται την ημέρα ή τη νύχτα. Τα μοντέλα επιτρέπουν τον πειραματισμό με παραμέτρους όπως εναλλακτικές διαδρομές και προορισμούς, διαχείριση κυκλοφορίας αλλά και δείκτες ανταπόκρισης και συμμόρφωσης του πληθυσμού που εκκενώνει την περιοχή [*Chiu et al.* 2005]. Έχει αναπτυχθεί επίσης, ένα μοντέλο εκτίμησης και πρόβλεψης των κυκλοφοριακών συνθηκών για χρήση σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης το οποίο εφαρμόστηκε στην εκκένωση της κεντρικής περιοχής της πόλης της Βοστώνης [*Balakrishna et al.* 2008].

Με βάση τους πειραματισμούς που αναφέρθηκαν μπορούν να υπολογιστούν μεγέθη όπως οι χρόνοι εκκένωσης και κυκλοφοριακά μεγέθη όπως η μέση χρονική ή χωρική ταχύτητα ή τα μήκη ουρών. Για παράδειγμα, έχουν προταθεί πολλά διαφορετικά μοντέλα για να περιγραφεί η κατάσταση στην οποία ο όγκος της ζήτησης είναι στο μέγιστο βαθμό στην περιοχή εκκένωσης, ώστε από αυτά να προκύψει ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για τη διάσωση όλων αυτών των

οχημάτων από την περιοχή εκκένωσης [*Feng and Wen*, 2003]. Μια ακόμα προσέγγιση ως προς τη διαχείριση της κυκλοφορίας είναι η χρήση μοντέλων που επιτρέπουν την ανακατανομή της διαθέσιμης ικανότητας, αντιστρέφοντας την κατεύθυνση κυκλοφορίας σε ορισμένα τμήματα του οδικού δικτύου [*Tuydes and Ziliaskopoulos*, 2004]. Ένα τέτοιο μοντέλο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς σε μια περίπτωση εκκένωσης, είναι δυνατή η καλύτερη διαχείρισης της ικανότητας του οδικού δικτύου, όταν η ζήτηση παρουσιάζεται με πρότυπο πολύ διαφορετικό από αυτό των φυσιολογικών συνθηκών κυκλοφορίας. Σε ό,τι αφορά τη διαχείριση της κυκλοφορίας ανά λωρίδα, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα, τα οποία υπολογίζοντας τους φόρτους του οδικού δικτύου, υποδεικνύουν τις βέλτιστες διαδρομές για εκκένωση ανά λωρίδα [*Cova and Justin*, 2001].

Πολλά από τα μοντέλα που αναφέρθηκαν, διαχειρίζονται την κυκλοφορία στατικά, όπως τα CLEAR [*Moeller et al.* 1981] και DYNEV [*Goldblatt,* 2004]. Αυτό σημαίνει ότι έχουν περιορισμό στην επίλυση με χρονικά μεταβαλλόμενους φόρτους, πράγμα που οφείλεται στο γεγονός ότι η αρχική υπόθεση που χρησιμοποιούν είναι ότι οι κυκλοφοριακές συνθήκες σε όλο το δίκτυο παραμένουν σε σταθερό επίπεδο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτή η υπόθεση όμως δεν ευσταθεί στην περίπτωση της εκκένωσης, αφού ένα όχημα μπορεί να χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να εκκενώσει το δίκτυο από τον υπολογισμένο με τα στατικά αυτά μοντέλα χρόνο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μοντέλα δυναμικής διαχείρισης της κυκλοφορίας ειδικά για τις εφαρμογές που επιβάλλεται η εκτίμηση των κυκλοφοριακών επιπτώσεων σε σχέση με μεγέθη όπως η οδηγική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της εκκένωσης.

Τα διάφορα μοντέλα διαχείρισης της κυκλοφορίας χρησιμοποιούν επίσης, μεθόδους υπολογισμού των ουρών που δημιουργούνται ώστε στη συνέχεια να υπολογιστούν οι επιπτώσεις σε μεγέθη όπως η κυκλοφοριακή ικανότητα. Παρόλα αυτά, μπορεί να χρειαστεί πολύς χρόνος για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της προσομοίωσης για ένα μεγάλο δίκτυο.

1.1.2. Εκκένωση με προγραμματισμό διαδρομής

Η προσέγγιση με βάση τον προγραμματισμό της διαδρομής, αξιοποιεί τους φόρτους του δικτύου και αλγορίθμους επιλογής διαδρομής, για την παραγωγή διαδρομών προέλευσης και προορισμού και προγραμματισμένων διαδρομών για τον πληθυσμό που εκκενώνει την περιοχή.

Το πρόβλημα της εκκένωσης μεταφέρεται σε πρόβλημα που αφορά τους φόρτους του δικτύου και με τον τρόπο αυτό, η επίλυση βρίσκεται στην εύρεση της βέλτιστης μαθηματικής λύσης με τη χρήση μεθόδων γραμμικού προγραμματισμού [*Hamacher and Tjandra*, 2002]. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα επιτυχής, στην περίπτωση που η εκκένωση σχεδιάζεται για δίκτυα μέσης έκτασης, ή για μεγάλα δίκτυα στα οποία δεν απαιτείται η βέλτιστη λύση, αλλά η δημιουργία ενός σχεδίου εκκένωσης σε ελάχιστο χρόνο. Οι περιορισμοί που παρουσιάζει αφορούν τη χρονική παράμετρο,

καθώς ο χρήστης καλείται να ορίσει ένα ανώτατο όριο του χρόνου εκκένωσης, το οποίο είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί σε αστικά δίκτυα όπου ο αριθμός των ανθρώπων που εκκενώνουν την περιοχή είναι μεγάλος και το οδικό δίκτυο είναι σύνθετο [*Lu et al.* 2005].

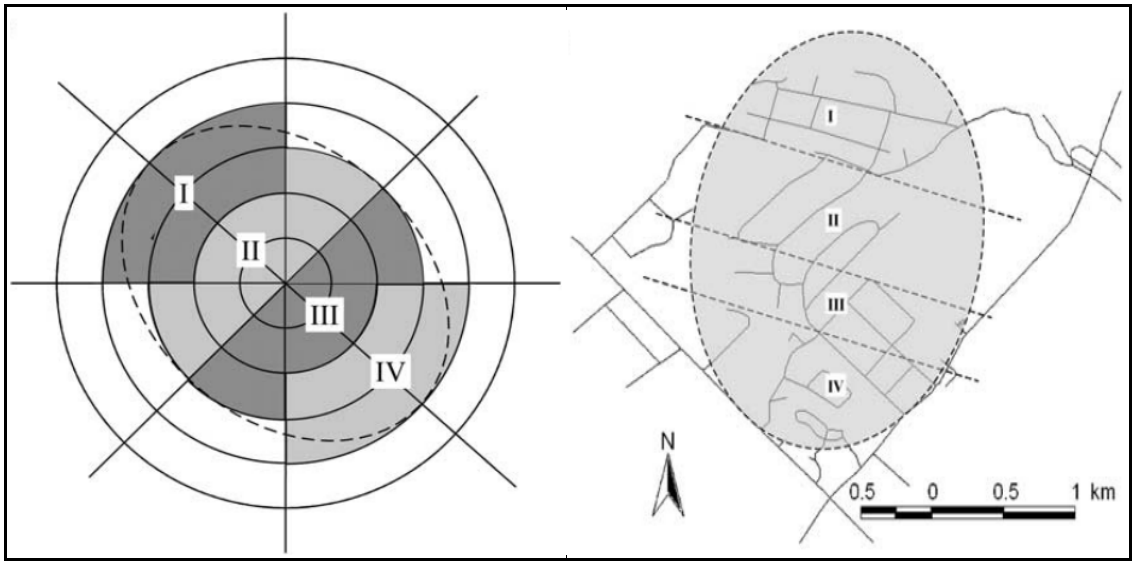
Μια προσέγγιση με βάση τον προγραμματισμό διαδρομής είναι η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για τη διερεύνηση σεναρίων εκκένωσης. Με τη χρήση αυτών των τεχνικών πραγματοποιείται ευκολότερα ο καθορισμός των διαδρομών εκκένωσης και του πληθυσμού που πλήττεται, αλλά και η χωρική σύνδεσή τους για την παραγωγή χρήσιμων εκτιμήσεων [*Pal et al.* 2002].

1.1.3. Εκκένωση με βάση το χρόνο έναρξης

Μια μεθοδολογία εκκένωσης που βασίζεται στο χρόνο έναρξης της εκκένωσης, έχει αντικείμενο το σχεδιασμό και συχνά τη μελέτη των επιπτώσεων της ταυτόχρονης ή σε στάδια εκκένωσης μιας περιοχής.

Στην περίπτωση που η εκκένωση πραγματοποιείται με ταυτόχρονη εκκένωση, ο πληθυσμός σε πρώτο στάδιο ειδοποιείται ταυτόχρονα για τη λήψη της απόφασης εκκένωσης από τις αρχές και αφού παρέλθει ο χρόνος αντίδρασης, οι κάτοικοι ξεκινούν τη διαδικασία της εκκένωσης ταυτόχρονα. Η προσέγγιση αυτή, είναι πιθανό να δημιουργήσει συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης σε έντονα αστικές περιοχές, όπου η πληθυσμιακή πυκνότητα είναι υψηλή. Στην περίπτωση όμως που ο αριθμός των οχημάτων ανά κατοικία είναι μικρός, μπορεί κατά περίπτωση να υπερτερεί της μεθοδολογίας εκκένωσης κατά στάδια.

Στην περίπτωση που η εκκένωση πραγματοποιείται κατά στάδια, ο πληθυσμός δεν εκκενώνει την περιοχή ταυτόχρονα. Αρχικά, η περιοχή εκκένωσης χωρίζεται σε διαφορετικές ζώνες, και οι κάτοικοι σε κάθε ζώνη, ξεκινούν τη διαδικασία της εκκένωσης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Κατά κανόνα, πρώτη θα ξεκινήσει τη διαφυγή, η χωρική ζώνη που πλήττεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις επιπτώσεις της καταστροφής που υπαγορεύει την εκκένωση και στη συνέχεια ακολουθούν οι υπόλοιπες ζώνες με κριτήριο πάλι την εγγύτητα ως προς την πηγή της καταστροφής. Η μέθοδος αυτή προτιμάται στις περιπτώσεις που η περιοχή εκκένωσης είναι έντονα αστική, με υψηλές πυκνότητες πληθυσμού, αφού με τον τρόπο αυτό, υπάρχει καλύτερη διαχείριση του οδικού δικτύου, χωρίς να προκαλούνται συνθήκες έντονης κυκλοφοριακής συμφόρησης [*Zhan and Chen,* 2008].



Εικόνα 1.1.: Σχεδιασμός σταδίων εκκένωσης.

Πηγή: Agent-based modeling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies [Chen and Zhan, 2008].

1.1.4. Εκκένωση με έμφαση στη συμπεριφορά του οδηγού

Οι περισσότερες μελέτες εκκένωσης, πραγματοποιούνται με βάση μοντέλα κυκλοφοριακής ροής και για το λόγο αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο να μελετηθεί η συμπεριφορά μεμονωμένων οχημάτων και η επίδρασή τους στην εκκένωση. Η χρήση μοντέλων (agent based modeling), είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο μικροσκοπικής προσομοίωσης μεμονωμένων συμπεριφορών και μελέτης συμπεριφορών ομάδων οχημάτων που προέρχονται από μεμονωμένες αντιδράσεις σε δυναμικά συστήματα. Ειδικότερα, για τις εφαρμογές στις οποίες επιβάλλεται η εκτίμηση των κυκλοφοριακών επιπτώσεων σε σχέση με την οδηγική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της εκκένωσης, χρησιμοποιούνται κατά κανόνα μοντέλα δυναμικής διαχείρισης της κυκλοφορίας [*Chiu et al.* 2005]. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να σχεδιαστεί η εκκένωση χρησιμοποιώντας την παράμετρο της οδηγικής συμπεριφοράς.

Κατά τη μελέτη εκκένωσης με κριτήριο την οδηγική συμπεριφορά, κάθε όχημα αλληλεπιδρά με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται αλλά και με τα υπόλοιπα οχήματα που βρίσκονται γύρω του και με αυτό τον τρόπο γίνεται και η λήψη αποφάσεων. Με τα μοντέλα agent based, οι αλληλεπιδράσεις αυτές μπορούν να ληφθούν συλλογικά για όλα τα οχήματα. Από το αποτέλεσμα αυτής της συλλογικής συμπεριφοράς μπορεί να μετρηθεί ο συνολικός χρόνος που απαιτείται ώστε όλα τα οχήματα να εκκενώσουν την περιοχή [*Zhan et al.* 2008].

Η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οχημάτων και του περιβάλλοντος στο οποίο κινούνται διευκολύνεται σημαντικά από τις νέες τεχνολογίες προσομοίωσης. Είναι πλέον αρκετά εύκολο να αναπαρασταθεί το κυκλοφοριακό περιβάλλον των οχημάτων σε ό,τι αφορά τις κατηγορίες των δρόμων, την οδική σήμανση και τις προτεραιότητες με τη χρήση των διαθέσιμων λογισμικών όπως το TransModeler [*Caliper,* 2010]. Τα ίδια λογισμικά, επιτρέπουν και την παραμετροποίηση κανόνων οδήγησης, όπως η επιτάχυνση και επιβράδυνση κατά την ακολουθία οχημάτων και οι ελιγμοί αλλαγής λωρίδας. Έτσι, ολοένα και περισσότερες μελέτες εκκένωσης τείνουν να προσανατολίζονται προς την οδηγική συμπεριφορά, η οποία σχετίζεται άμεσα με περιβαλλοντικούς παράγοντες, είτε σε ατομικό, είτε σε συλλογικό επίπεδο [*Batty et al.* 2002]. Αυτό όμως που δε διασαφηνίζεται στις μελέτες αυτές, είναι το πόσο η επιθετικότητα των οδηγών επηρεάζει τη διαδικασία της εκκένωσης ως προς τους χρόνους εκκένωσης και τις κυκλοφοριακές συνθήκες που δημιουργούνται.

1.1.5. Άλλες μέθοδοι σχεδιασμού εκκένωσης

Εκτός από τις δυο κύριες προσεγγίσεις σχεδιασμού, αναφέρονται και άλλες μεθοδολογίες εκκένωσης, που βασίζονται σε διαφορετικές προσεγγίσεις και σε πολλές περιπτώσεις έχουν περισσότερο συμπληρωματικό χαρακτήρα. Ο σχεδιασμός εξετάζεται από διαφορετικές πλευρές, όπως οι θέσεις των ασφαλών περιοχών στις οποίες θα καταφύγουν οι άνθρωποι, η επιλογή της ασφαλούς ζώνης με χωρικά και χρονικά κριτήρια αλλά και η συμπεριφορά των ανθρώπων που εκκενώνουν την περιοχή.

Η επίδραση των θέσεων των καταφυγίων και η επιλογή τους μπορούν να αποτελέσουν βασικά στοιχεία του σχεδιασμού της εκκένωσης. Για παράδειγμα, έχουν προταθεί μοντέλα, τα οποία επιλέγουν έναν αριθμό υποψηφίων ασφαλών ζωνών από τις διαθέσιμες ζώνες και με βάση αυτές, καθορίζεται ένα σχέδιο διαφυγής που ελαχιστοποιεί το χρόνο εκκένωσης [*Sherali,* 1991]. Οι μελέτες εκκένωσης με βάση αυτές τις επιλογές, παρουσιάζουν όμως ένα βασικό μειονέκτημα, που εντοπίζεται στην υπόθεση ότι οι αρχές, ελέγχουν για κάθε όχημα που εκκενώνει την περιοχή, την ασφαλή ζώνη προορισμού και την επιλογή της διαδρομής προς αυτή. Μια ακόμα προσέγγιση αποτελεί η σύνδεση του σχεδίου εκκένωσης με το πρόβλημα της συνδυασμένης κατανομής των μετακινήσεων και της διαχείρισής τους (Combined trip distribution and assignment, CDA). Ο στόχος στην περίπτωση αυτή είναι η διαφυγή του πληθυσμού σε καταφύγια (κατανομή μετακινήσεων) μέσω ενός δικτύου (διαχείριση κυκλοφορίας), ώστε ο χρόνος εκκένωσης να ελαχιστοποιείται [*ElDessouki,* 1998]. Το πρόβλημα με το μοντέλο αυτό, είναι ότι ο χρόνος μετακίνησης στα τμήματα του δικτύου, δεν εξαρτάται από το φόρτο. Μια πιο ολοκληρωμένη μέθοδος σχεδιασμού με βάση τις ασφαλείς ζώνες, είναι ένας συνδυασμός των παραπάνω, όπου η

επιλογή καταφυγίου και διαδρομής είναι λιγότερο αυστηρές και οι αποφάσεις του πληθυσμού λαμβάνονται με συνδυασμένη κατανομή των μετακινήσεων και διαχείρισης (CDA). Οι αποφάσεις των αρχών περιορίζονται σε χωρικές και το πρόβλημα διαμορφώνεται σε προγραμματιστικό πρόβλημα δυο επιπέδων [*Kongsomsaksakul et al.* 2005].

1.2. Παράμετροι σχεδιασμού

Προκειμένου να σχεδιαστεί με αποδοτικό τρόπο η εκκένωση μιας περιοχής, θα πρέπει να εξεταστούν ορισμένες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν το σχεδιασμό σε μεγάλο βαθμό. Οι παράμετροι αυτές αφορούν τον πληθυσμό, το οδικό δίκτυο και το είδος της έκτακτης ανάγκης που επιβάλλει την εκκένωση. Πιο αναλυτικά, οι πληροφορίες που πρέπει να διατίθενται για τη μελέτη της εκκένωσης παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Οδικό δίκτυο και πληθυσμιακά στοιχεία.
    - Λεπτομερής περιγραφή του οδικού δικτύου και των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας.
    - Πραγματική κυκλοφοριακή ικανότητα.
    - Λεπτομερής περιγραφή του πληθυσμού που θα εκκενώσει την περιοχή, σε διάφορες ώρες της ημέρας.
    - Περιγραφή του τρόπου με τον οποίο αυξάνεται η ζήτηση για μετακίνηση.
    - Επάρκεια ή μη των μέσων μεταφοράς του πληθυσμού.
    - Αριθμός επιβατών στα οχήματα.
- Ζώνη σχεδιασμού εκκένωσης και ασφαλείς ζώνες.
    - Καθορισμός ζώνης εκκένωσης.
    - Καθορισμός ασφαλών ζωνών.
    - Επιλογή των διαδρομών που θα ακολουθήσουν για την εκκένωση.
- Χρόνος αντίδρασης και εκτιμώμενος χρόνος εκκένωσης.
    - Χρόνος λήψης της απόφασης για εκκένωση από τις αρχές.
    - Χρόνος προετοιμασίας, εκκένωσης και μετακίνησης σε ασφαλείς ζώνες.
- Ειδικές συνθήκες.

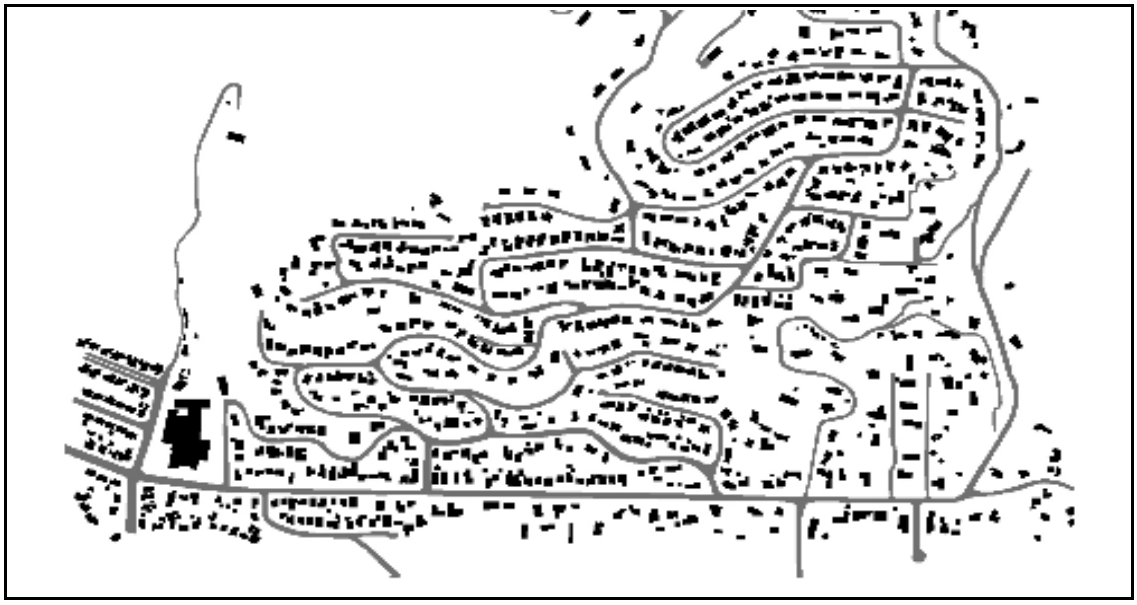
- Ειδικές συνθήκες λόγω της φύσης του συμβάντος που επιβάλλει την εκκένωση.
- Ανθρώπινη συμπεριφορά.
- Έκτακτα συμβάντα.

1.2.1. Οδικό δίκτυο και πληθυσμιακά στοιχεία

Η λεπτομερής περιγραφή του οδικού δικτύου, είναι απαραίτητο στοιχείο του σχεδιασμού, καθώς χρησιμοποιείται ως βασικό στοιχείο σε κάθε μέθοδο που προαναφέρθηκε. Είναι απαραίτητο να υπάρχει λεπτομερής πληροφορία που αφορά την κατηγορία κάθε οδού, τον αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας, την κατεύθυνση κάθε οδού αλλά και τη χρήση συγκεκριμένων λωρίδων στην περίπτωση που αποτελούν λωρίδες αποκλειστικής διέλευσης λεωφορείων ή φορτηγών.

Πρέπει επίσης να επισημαίνονται οποιαδήποτε στοιχεία οδικής σήμανσης που επηρεάζουν τις κινήσεις των οχημάτων, όπως φωτεινοί σηματοδότες, σήματα παραχώρησης προτεραιότητας και σήματα “stop”. Γνωρίζοντας όλα αυτά τα στοιχεία, είναι δυνατό να ληφθούν αποφάσεις που θα διευκολύνουν τη διαφυγή των οχημάτων, μειώνοντας το χρόνο εκκένωσης, όπως η αντιστροφή κατευθύνσεων σε λωρίδες κυκλοφορίας, η ελεύθερη διέλευση από τους φωτεινούς σηματοδότες ή και η χρήση δυναμικών φωτεινών επιγραφών για έγκαιρη πληροφόρηση των οδηγών. Μια τόσο λεπτομερής απεικόνιση του δικτύου της περιοχής εκκένωσης, ενισχύει το σχεδιασμό και διευκολύνει τη χρήση μικροσκοπικών προσομοιωτών που επιτρέπουν τη διαχείριση τέτοιων στοιχείων [*Cova and Johnson,* 2001].

Στα περισσότερα μοντέλα εκκένωσης, η κυκλοφοριακή ροή προσομοιώνεται με βάση την υπόθεση ότι τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου δεν παραμένουν αμετάβλητα. Χαρακτηριστικά όπως η ικανότητα του δρόμου και η μέγιστη ταχύτητα μεταβάλλονται ώστε να ενσωματώνονται οι επιπτώσεις της καταστροφής στις οδικές υποδομές. Για παράδειγμα, τμήματα του οδικού δικτύου μπορεί να μην είναι προσβάσιμα από κάποια στιγμή και μετά, λόγω καταστροφής ή αποκλεισμού από φυσικές αιτίες ή ατυχήματα [*Pel et al.* 2010]. Αυτός είναι και ακόμα ένας λόγος για τον οποίο είναι απαραίτητο να συμπεριλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου με λεπτομερή περιγραφή για μια μελέτη εκκένωσης.



Εικόνα 1.2.: Παράδειγμα απεικόνισης του οδικού δικτύου για μελέτη εκκένωσης περιοχής.

Πηγή: Modeling small area evacuation: can existing transportation infrastructure impede public safety?

[Church and Sexton, 2002]

Είναι απαραίτητο επίσης, να υπάρχει πληροφόρηση για αρκετά στοιχεία σχετικά με τον πληθυσμό. Είναι δεδομένο ότι ο σχεδιασμός της εκκένωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των ατόμων που θα εκκενώσουν την περιοχή. Ο αριθμός των ατόμων που θα εκκενώσουν την περιοχή, εξαρτάται από την έκταση τη περιοχής αλλά και από το βαθμό ανάπτυξής της [*Barett et al.* 2000]. Σε άλλες περιπτώσεις, είναι απαραίτητη η ανάκτηση πληροφορίας σχετικά με διαφορετικά δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού που πλήττεται από μια απειλή [*Cutter et al.* 2000].

Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού που είναι συνήθως απαραίτητο να είναι γνωστά είναι η πυκνότητα του πληθυσμού ή ο συνολικός πληθυσμός της περιοχής, οι ηλικιακές ομάδες από τις οποίες αποτελείται, ο αριθμός των νοικοκυριών και η οικονομική τους κατάσταση, καθώς και το ποσοστό του πληθυσμού που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της φτώχειας, ώστε όλα αυτά να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό της εκκένωσης [*Chakraborty et al.* 2004]. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι σημαντική η ανάκτηση τέτοιων στοιχείων για διαφορετικές χρονικές στιγμές σε μια ημέρα, αφού ο πληθυσμός διαφέρει ανάλογα με το αν η περιοχή εκκένωσης αποτελεί περιοχή αμιγούς κατοικίας, περιοχή γενικής κατοικίας ή κάτι άλλο. Στις περιπτώσεις αυτές, ο πληθυσμός σε μια περιοχή αμιγούς κατοικίας θα είναι μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ σε μια περιοχή γενικής κατοικίας, ενδεχομένως ο πληθυσμός να είναι μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια της ημέρας [*Stern and Stern,* 1993]. Τα στοιχεία αυτά, έχουν άμεση επίπτωση στον τρόπο μετακίνησης

του πληθυσμού, αλλά και στον αριθμό των οχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν κατά την εκκένωση.

Όλα αυτά τα πληθυσμιακά στοιχεία, οδηγούν σε ένα πολύ βασικό στοιχείο του σχεδιασμού της εκκένωσης, που είναι η ζήτηση, η οποία εκφράζεται με το μητρώο Προέλευσης και Προορισμού, το οποίο συνήθως εισάγεται σαν δεδομένο, μπορεί όμως να υπολογιστεί με τη χρήση μοντέλων κατανομής των διαδρομών. Γνωρίζοντας τα στοιχεία αυτά, μπορεί να εκτιμηθεί η κατανομή του πληθυσμού σε ασφαλείς περιοχές.

1.2.4. Ζώνη σχεδιασμού εκκένωσης και ασφαλείς ζώνες.

Ο σχεδιασμός εκκένωσης για μια μεγάλη έκταση, ξεκινά με τον ορισμό των ορίων της περιοχής που είναι πιθανό να εκκενωθεί. Αυτή η ζώνη ονομάζεται ζώνη σχεδιασμού εκκένωσης και ορίζεται ως η περιοχή που υπόκειται σε πιθανό σενάριο εκκένωσης [*Sorensen et al.* 1987]. Η ζώνη αυτή καθορίζεται ανάλογα με το σενάριο που επιβάλλει την εκκένωση. Η ζώνη σχεδιασμού δεν είναι εύκολο να οριστεί στις εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Ο λόγος είναι ότι το φαινόμενο που επιβάλλει την εκκένωση της περιοχής δεν είναι πάντα προβλέψιμο και είναι δυνατό να επηρεάσει μεγαλύτερη περιοχή, ή κάποια άλλη περιοχή που αρχικά δεν είχε χαρακτηριστεί ως ζώνη εκκένωσης, πριν την εξάπλωση του φαινομένου. Δηλαδή, η έκταση μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το καταστροφικό συμβάν που πλήττει την περιοχή. Για παράδειγμα, για ένα σενάριο με κέντρο έναν πυρηνικό σταθμό παραγωγής ενέργειας, η ζώνη σχεδιασμού της εκκένωσης μπορεί να εκτείνεται σε 16km περιμετρικά του σταθμού, ενώ για την περίπτωση τυφώνα, η ζώνη σχεδιασμού της εκκένωσης μπορεί να ορίζεται με βάση την πιθανότητα κατολίσθησης και να είναι σαφώς μικρότερη.

Σε πολλές περιπτώσεις, είναι πιθανό ένας συνδυασμός του οδικού δικτύου και του πληθυσμού που εκκενώνει την περιοχή, μπορεί να αποβεί μοιραίος. Ο λόγος είναι ότι η ζήτηση για μετακίνηση – εκκένωση, ξεπερνά την ικανότητα του δρόμου. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου είναι ο εντοπισμός μικρών ζωνών μέσα στην περιοχή σχεδιασμού με την τοπική εφαρμογή ενός μοντέλου που υπολογίζει τη ζήτηση ανά λωρίδα [*Church and Cova*, 2000]. Με τον τρόπο αυτό, η ζώνη σχεδιασμού καθορίζεται με βάση την πιθανότητα δυσκολίας στην εκκένωση.

Εικόνα 1.3.: Παράδειγμα ζωνών σχεδιασμού εκκένωσης της περιοχής Almere.

Πηγή: The impacts of driving behaviors on traffic safety in case of evacuation [Tu et al. 2010].

Μετά τον καθορισμό της ζώνης σχεδιασμού της εκκένωσης, πρέπει να οριστούν οι ζώνες στις οποίες θα μεταφερθεί ο πληθυσμός μετά την απομάκρυνσή του από την επικίνδυνη ζώνη. Οι ζώνες αυτές πρέπει να πληρούν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να απέχουν τόση απόσταση από την περιοχή σχεδιασμού της εκκένωσης ώστε να παρέχουν στον πληθυσμό που εκκενώνει αίσθημα ασφάλειας.
- Η διαδρομή που απαιτείται να διανυθεί για τη μετάβαση σε αυτές να είναι ασφαλής και σύντομη.
- Να μπορούν να φιλοξενήσουν ικανό αριθμό ατόμων για το χρονικό διάστημα που απαιτείται.
- Να παρέχουν βασικές συνθήκες διαβίωσης όπως νερό και ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι ασφαλείς ζώνες, μπορεί να βρίσκονται σε στρατηγικές θέσεις περιμετρικά της ζώνης εκκένωσης. Μπορούν να καθοριστούν με διάφορες μεθόδους, όπως με αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, επιτόπια έρευνα και με χρήση διατιθέμενων χαρτών [*Saadatseresht et al.* 2007]. Σε πολλές περιπτώσεις για λόγους υπολογιστικούς μπορεί να συνοψίζονται σε μια ενιαία ζώνη που καθορίζεται από ένα κεντροειδές σημείο [*Chiu,* 2004].

Η επιλογή μιας ασφαλούς ζώνης από τους κατοίκους που εκκενώνουν την περιοχή μπορεί να εξαρτάται από το πόσο ελκυστική είναι αυτή. Για παράδειγμα, ο τύπος του καταφυγίου μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μετάβαση σε μια ασφαλή ζώνη ανάλογα με τον αριθμό των

ανθρώπων που μπορεί να φιλοξενήσει [*Cuellar et al.* 2009]. Με βάση αυτά τα καταφύγια, οργανώνεται η κατανομή των διαδρομών που θα ακολουθήσει ο πληθυσμός που θα εκκενώσει την περιοχή. Έχει εκτιμηθεί, ότι ο πληθυσμός τείνει να επιλέγει ασφαλείς ζώνες που βρίσκονται πιο κοντά και παρουσιάζουν μικρότερο κίνδυνο κατά τη μετάβαση σε αυτές [*Cheng et al.* 2008]. Η ιδανικότερη προσέγγιση θα ήταν ο ορισμός μιας ασφαλούς ζώνης για κάθε μικρότερη περιοχή της περιοχής εκκένωσης και ο ορισμός μιας βέλτιστης διαδρομής προς αυτή [*Saadatseresht et al.* 2007].

1.2.5. Χρόνος αντίδρασης και εκτιμώμενος χρόνος εκκένωσης

Η απόφαση για εκκένωση μιας περιοχής, πρέπει να ληφθεί από τις αρχές μέσα σε ένα ανεκτό χρονικό διάστημα. Το χρονικό αυτό διάστημα καθορίζεται από το βαθμό ετοιμότητας και την εκτίμηση του φαινομένου που επιβάλλει την εκκένωση. Σε κάθε περίπτωση πρέπει η αντίδραση να είναι άμεση, το ίδιο και η πληροφόρηση του πληθυσμού, ώστε η εκκένωση να ξεκινήσει το συντομότερο δυνατό [*Regnier,* 2006].

Η πληροφόρηση και προετοιμασία του πληθυσμού διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα και προκειμένου να μην υπάρχει χαμένος χρόνος, είναι χρήσιμη η εκ των προτέρων ενημέρωση του πληθυσμού για τη συμπεριφορά που πρέπει να ακολουθείται κατά την εκκένωση. Η ενημέρωση αυτή μπορεί να οργανωθεί με εκστρατείες που αναλαμβάνουν οι τοπικές αρχές κάθε κοινότητας που συχνά βρίσκεται σε θέση εκκένωσης. Η έγκαιρη ενημέρωση είναι πολύ σημαντική, αφού έχει αποδειχθεί ότι οι άνθρωποι που έχουν λιγότερο χρόνο πληροφόρησης και προετοιμασίας, τείνουν να αγνοούν το πρόβλημα και να μην αποφασίζουν να εκκενώσουν την περιοχή [*Ragatt et al.* 1993].

Οι μελέτες εκκένωσης, συνήθως υπολογίζουν τους εκτιμώμενους χρόνους εκκένωσης είτε με βάση εμπειρικά στοιχεία, είτε με βάση τους χρόνους διαδρομής στις προσομοιώσεις. Τα εμπειρικά στοιχεία δείχνουν ότι οι εκτιμώμενοι χρόνοι εκκένωσης μπορεί να είναι μεγαλύτεροι όταν οι προειδοποιήσεις προς τον πληθυσμό αργούν ή όταν οι άνθρωποι που εκκενώνουν την περιοχή πρέπει να επιστρέψουν στο σπίτι και χρειάζονται χρόνο για να προετοιμαστούν [*Lindell et al.* 2002]. Ο εκτιμώμενος χρόνος εκκένωσης είναι και το μέγεθος που χρησιμοποιείται από τις αρχές προκειμένου να λάβουν την απόφαση για εκκένωση.

Συχνά, υπολογίζονται οι χρόνοι διαδρομής για κάθε νοικοκυριό, ή ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να εκκενωθεί εντελώς το οδικό δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των καθυστερήσεων για κάθε όχημα. Η μέθοδος αυτή, αναδεικνύει τη σχέση μεταξύ της χωρικής διάστασης και των χρόνων διαδρομής κατά την εκκένωση [*Cova and Johnson,* 2001].

1.2.7. Ειδικές συνθήκες.

Σε πολλές περιπτώσεις, ειδικές συνθήκες είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν στο σχεδιασμό της εκκένωσης. Οι ειδικές αυτές συνθήκες αφορούν απρόβλεπτους παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες που συχνά δυσχεραίνουν τη διαδικασία της εκκένωσης, η ανθρώπινη συμπεριφορά, και απρόοπτα συμβάντα που αποτελούν εμπόδιο.

Σε ότι αφορά τους απρόβλεπτους περιβαλλοντικούς παράγοντες, είναι απαραίτητο κατά το σχεδιασμό της εκκένωσης, ο ορισμός των ασφαλών ζωνών να είναι όσο το δυνατό δυναμικός, ώστε στην περίπτωση που απαιτείται αλλαγή στην εφαρμογή του σχεδίου, να υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις.

Η ανθρώπινη συμπεριφορά δεν είναι στοιχείο προβλέψιμο και σταθερό, αν και είναι δυνατό να πραγματοποιούνται κάποιες εκτιμήσεις. Οι άνθρωποι, αναγνωρίζοντας τον κίνδυνο, αντιδρούν και με τον τρόπο αυτό, περιορίζεται η ικανότητά τους να λαμβάνουν αποφάσεις λόγω του επιβαλλόμενου άγχους και της πίεσης του χρόνου [*Kongsomsaksakul et al.* 2005]. Στις περιπτώσεις αυτές, οι άνθρωποι αντιδρούν περισσότερο με το ένστικτο και την εμπειρία και έτσι δεν αφιερώνουν χρόνο στη διαμόρφωση λογικών αποφάσεων μετά από αρκετή σκέψη [*Wills,* 1998]. Ως αποτέλεσμα, οι άνθρωποι μπορεί να παραμείνουν ψύχραιμοι και λογικοί, να φοβηθούν αλλά να αντιδράσουν με σχεδόν αυτοματοποιημένο τρόπο, ή να πανικοβληθούν και να αντιδράσουν ανεξέλεγκτα. Έχει εκτιμηθεί ότι η συχνότερη αντίδραση είναι η δεύτερη, ενώ η συμπεριφορά που προκύπτει από πανικό είναι σπάνια αντίδραση [*Aguirre,* 2005].

Τα απρόοπτα συμβάντα που μπορούν να δυσκολέψουν τη μετάβαση του πληθυσμού σε ασφαλείς ζώνες, μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση συστημάτων δυναμικής διαχείρισης της κυκλοφορίας. Μέσω των συστημάτων αυτών, οι οδηγοί μπορούν να ειδοποιηθούν για ένα ατύχημα που έχει συμβεί και αποκλείει τη χρήση κάποιας λωρίδας κυκλοφορίας, ή για οποιαδήποτε αναγκαστική αλλαγή που πρέπει να εφαρμόσει στην πορεία του.

1.3. Μελέτες διαχείρισης της εκκένωσης περιοχής

Οι μελέτες εκκένωσης, βασίζονται στα στοιχεία σχεδιασμού που αναλύθηκαν προηγουμένως. Οι πληροφορίες για το οδικό δίκτυο, τον πληθυσμό, την έκταση της περιοχής, τη ζήτηση και τα υπόλοιπα στοιχεία, συνδυάζονται για τη δημιουργία σχεδίων εκκένωσης περιοχών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η διαχείριση της κυκλοφορίας κατά την εκκένωση μιας περιοχής, πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η πρόληψη αλλά και η εύκολη αντιμετώπιση προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν κάτω από τέτοιες συνθήκες. Πολλές διαφορετικές μελέτες έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια. Κάθε μια αντιμετωπίζει τη διαχείριση της εκκένωσης

από διαφορετική σκοπιά και λαμβάνει διαφορετικά μέτρα διαχείρισης της εκκένωσης ανάλογα με το είδος του προβλήματος που παρουσιάζεται.

Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως η εκκένωση περιοχής, η διαχείριση της κυκλοφορίας μπορεί να εφαρμοστεί με τη μέθοδο της πληροφόρησης των οδηγών, ώστε αυτοί να επιλέξουν μια διαδρομή ή να απορρίψουν κάποια άλλη. Σε πολλές περιπτώσεις, προτείνεται και αξιολογείται η χρήση εξελιγμένων συστημάτων πληροφόρησης των οδηγών (Advanced Traveller Information Systems, ATIS) και ο τρόπος με τον οποίο ανταποκρίνονται σε αυτά οι οδηγοί σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης [*Lively et al.* 2006]. Η πληροφόρηση των οδηγών μέσω της χρήσης πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων για έκτακτα συμβάντα έχει επίσης αναλυθεί ως προς την αποτελεσματικότητά της [*Ullman et al.* 2006].

Κατά την εξέλιξη της εκκένωσης, η διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής πρέπει να επιτευχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι οδηγοί να απομακρυνθούν όσο το δυνατό συντομότερα από την επικίνδυνη περιοχή και φυσικά να μην κινδυνεύσουν ανθρώπινες ζωές. Χρήσιμα εργαλεία σε αυτή την οργάνωση αποτελούν η χρήση μοντέλων και η προσομοίωση. Ανάλογα με το είδος του οδικού δικτύου κατά περιοχή, μελετήθηκε η επίδραση ταυτόχρονης ή κατά στάδια οργάνωσης της εκκένωσης, με τη χρήση προσομοίωσης [*Zhan and Chen,* 2008]. Επίσης, έχει διερευνηθεί και προταθεί η χρήση ενός μοντέλου, στο οποίο το οδικό δίκτυο χωρίζεται σε κελιά και οι μετακινήσεις των οχημάτων πραγματοποιούνται από κελί σε κελί με βάση ορισμένους κανόνες [*Daganzo,* 1994]. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται στην οργάνωση της εκκένωσης και λαμβάνει κρίσιμα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την εκκένωση κατά στάδια [*Liu et al.* 2006]. Βέβαια και τα αναλυτικά αυτά εργαλεία παρουσιάζουν περιορισμούς και για το λόγο αυτό έχει προταθεί ένα εννοιολογικό μοντέλο το οποίο συνδυάζει υπολογιστικά στοιχεία των μετακινήσεων με στοιχεία ασφαλείας των υποδομών [*Bronzini and Kicinger,* 2006]. Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης αποτελεί η δημιουργία σχεδίων διαχείρισης εκτάκτων αναγκών στα οποία περιλαμβάνεται ένας βρόχος ανταπόκρισης που χρησιμοποιεί συστήματα παρακολούθησης ώστε να ενισχύει τη διαχείριση της κυκλοφορίας στην εκκένωση [*Chiu et al.* 2005]. Άλλοι ερευνητές, πρότειναν τη χρήση ενός πλαισίου ελέγχου για κυκλοφοριακή διαχείριση πραγματικού χρόνου κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης [*Liu et al.* 2006]. Η χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης, αποτελεί ένα πολύ σύγχρονο εργαλείο για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση σχεδίων εκκένωσης περιοχών [*Jha et al.* 2004]. Ολοένα και περισσότερες μελέτες εκκένωσης κρίσιμων περιοχών, χρησιμοποιούν τη μικροσκοπική προσομοίωση, για πολλές διαφορετικές εφαρμογές, όπως απειλή τσουνάμι [*Lämmel et al.* 2008, *Taubenböck et al.* 2009], τυφώνες [*Chen et al.* 2006] και πλημμύρες [*Hori and Shiiba,* 2004].

Ένα ακόμα εργαλείο για το σχεδιασμό και διαχείριση καταστάσεων εκκένωσης, αποτελούν τα

γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S.) και συστήματα δυναμικής κυκλοφοριακής διαχείρισης (Dynamic Traffic Assignment, D.T.A.). Σε πολλές περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί συστήματα G.I.S. για τη δημιουργία μοντέλων εκκένωσης [*Pal et al.* 2003], πλαισίων λογικών δεδομένων [*Laefer and Pradhan,* 2006] και την οργάνωση σχεδίων εκκένωσης για συγκεκριμένες φυσικές καταστροφές [*Wilmot and Meduri,* 2005, *Chiu et al.* 2005]. Αντίστοιχα, συστήματα δυναμικής κυκλοφοριακής διαχείρισης, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μοντέλων έκτακτης εκκένωσης [*Han,* 2005] και την αξιολόγηση στρατηγικών εκκένωσης περιοχών [*Kwon and Pitt,* 2005].

Η εκκένωση μιας περιοχής είναι μια διαδικασία που απαιτεί την υλοποίηση κάποιων σταδίων για το σχεδιασμό, αλλά αντίστοιχα επιφέρει συνέπειες στο οδικό δίκτυο και κατ' επέκταση στην έκβαση των γεγονότων. Αυτές οι συνέπειες έχουν διερευνηθεί σε σχέση με τα μοντέλα εκκένωσης που αναπτύσσονται και τις διαδικασίες που απαιτούνται για το σχεδιασμό [*Alsnih and Stopher,* 2004]. Λόγω των συνεπειών αυτών που επιφέρονται στο οδικό δίκτυο, έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές για τη βελτίωση της εκκένωσης, όπως η χρήση ενός αντιπροσωπευτικού οδικού δικτύου [*Radwan and Mitchell,* 2006] και η χρήση λωρίδων κυκλοφορίας αντίθετης κατεύθυνσης για τη βελτίωση των χρόνων εκκένωσης σε μια περιοχή [*Wolshon,* 2001, *Wolshon and Theodoulou,* 2004, *Tuydes and Ziliaskopoulos,* 2006, *Shekhar and Kim,* 2006]. Άλλοι ερευνητές, αντιμετωπίζουν το σχεδιασμό της εκκένωσης ως πρόβλημα που ανάγεται σε πρόβλημα βελτιστοποίησης [*Lu et al.* 2003, *Liu et al.* 2005, *Yuan et al.* 2006].

Όταν διεξάγεται εκκένωση μιας περιοχής, πρέπει να υπάρχει μέριμνα για την προσέγγιση οχημάτων έκτακτης ανάγκης στην επικίνδυνη περιοχή, δημιουργώντας μια σημαντική αντίθεση. Από τη μια πλευρά κυριαρχεί η ανάγκη για μεγιστοποίηση της κυκλοφοριακής ικανότητας κατά την εκκένωση, ώστε οι οδηγοί να απομακρυνθούν όσο το δυνατό πιο γρήγορα, ενώ από την άλλη υπάρχει η ανάγκη να συνεχίσει να υπάρχει πρόσβαση στην επικίνδυνη περιοχή για οχήματα έκτακτης ανάγκης [*Balakrishna et al.* 2008] ή οχήματα μαζικής μεταφοράς που θα βοηθήσουν στη διεξαγωγή της εκκένωσης [*Elmitiny et al.* 2007]. Το βασικό πρόβλημα είναι η διαχείριση της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης κατά την εκκένωση, αλλά και η αβεβαιότητα για την κυκλοφοριακή ικανότητα του δικτύου και τον τρόπο με τον οποίο τα μεγέθη αυτά συνδυάζονται ώστε να προκύψει ένα αξιόπιστο μοντέλο σχεδιασμού εκκένωσης [*Ng and Waller,* 2010].

Σε συνδυασμό με το στοιχείο αυτό, είναι δύσκολη και η εκτίμηση της χρονικής στιγμής που οι κάτοικοι της περιοχής εκκένωσης αποφασίζουν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Έχουν αναπτυχθεί μοντέλα που εκτιμούν την αναλογία του πληθυσμού που αποφασίζει να εγκαταλείψει την περιοχή σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές [*Fu and Wilmot,* 2007]. Άλλα μοντέλα εκτίμησης του χρόνου στον οποίο ο πληθυσμός αποφασίζει την έναρξη της εκκένωσης της περιοχής,

βασίζονται σε μοντέλα διακριτών επιλογών logit [*Fu and Wilmot,* 2004], καμπύλες ανταπόκρισης του πληθυσμού σε συνθήκες εκκένωσης [*Fu et al.* 2008], προσομοίωση [*Henson and Goulias,* 2006] και νευρωνικά δίκτυα [*Wilmot and Mei,* 2003]. Μερικές ακόμα προσεγγίσεις στο ίδιο θέμα είναι η δημιουργία μοντέλων εκτίμησης της ζήτησης και της φόρτωσης των οχημάτων στο δίκτυο [*Ozbay et al.* 2006] και η δημιουργία μοντέλων που εκτιμούν την πιθανότητα να εγκαταλείψουν οι κάτοικοι τα σπίτια τους [*Fu and Wilmot,* 2006].

Μελετητές	Έτος	Τίτλος	Στόχος	Μέθοδος	Εργαλεία
Sherali et al.	1989	A Location-Allocation Model and Algorithm for Evacuation Planning under Hurricane/Flood Conditions	Ανάπτυξη μοντέλου επιλογής καταφυγίου και υπολογισμού της μικρότερης χρονικά διαδρομής προς αυτό.	Μη γραμμικός προγραμματισμός μικτών ακεραίων	Transportation Evacuation Decision Support System (TEDSS)
Wolshon B.	2001	“One-Way-Out”: Contraflow Freeway Operation for Hurricane Evacuation	Εκτίμηση επίδρασης της χρήσης λωρίδων αντίθετης κατεύθυνσης για εκκένωση λόγω τυφώνα.	Χρήση λωρίδων αντίθετης κατεύθυνσης για απομάκρυνση οχημάτων από την κρίσιμη περιοχή.	
Wilmot and Mei	2003	Comparison of Alternative Trip Generation Models for Hurricane Evacuation	Σύγκριση της σχετικής ακρίβειας εναλλακτικών μεθόδων γένεσης μετακινήσεων κατά την εκκένωση περιοχής.	Χρήση λογιστικής παλινδρόμησης και νευρωνικών δικτύων για πρόβλεψη της πιθανότητας εκκένωσης.	Έρευνα με ερωτηματολόγια για συλλογή στοιχείων του πληθυσμού.
Pal et al.	2003	Emergency evacuation modeling based on Geographical Information System data	Ανάπτυξη μοντέλων κυκλοφοριακής προσομοίωσης βασισμένα σε δεδομένα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).	Συνδυασμός προσομοίωσης και GIS	OREMS
Cova and Justin	2003	Microsimulation of neighborhood evacuations in the urban wildland interface	Ανάπτυξη μεθόδου δημιουργίας και ελέγχου σχεδίων εκκένωσης περιοχών με μικροσκοπική κυκλοφοριακή προσομοίωση.	Μικροσκοπική προσομοίωση, επιλογή διαδρομής και συνδυασμός GIS δεδομένων.	Paramics
Feng and Wen	2003	Traffic Control Management for Earthquake-Raided Area	Ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου κυκλοφορίας σε σεισμόπληκτες περιοχές.	Χρήση διεπίπεδου ασαφούς μοντέλου βελτιστοποίησης, ισορροπία χρήστη.	Ασαφής λογική

Jha et al.	2004	Emergency Evacuation Planning with Microscopic Traffic Simulation	Σχεδιασμός εκκένωσης περιοχής με μικροσκοπική προσομοίωση.	Μικροσκοπική προσομοίωση	MITSIMLab
Hori and Shiiba	2004	Micro Model Simulation Tools for Performance-based Design of a Flood Risk Management System	Σχεδιασμός μικροσκοπικών μοντέλων προσομοίωσης για εκκένωση λόγω κινδύνου πλημμύρας.	Παραμετροποίηση διαδικασιών ανθρώπινων λήψεων αποφάσεων για εκκένωση	
Fu and Wilmot	2004	Sequential Logit Dynamic Travel Demand Model for Hurricane Evacuation	Ανάπτυξη δυαδικού μοντέλου logit για την εκτίμηση της πιθανότητας εκκένωσης σε ορισμένα χρονικά πλαίσια.	Συνδυασμός κοινωνικών και οικονομικών χαρακτηριστικών του πληθυσμού, χαρακτηριστικών του τυφώνα και αποφάσεων από τις αρχές.	
Chiu et al.	2005	Dynamic Traffic Management for Evacuation	Ενίσχυση της διαχείριση της κυκλοφορίας στην εκκένωση.	Δυναμική Κυκλοφοριακή Διαχείριση (DTA)	Χρήση βρόχου ανταπόκρισης με σύστημα παρακολούθησης.
Kwon and Pitt	2005	Evaluation of Emergency Evacuation Strategies for Downtown Event Traffic Using a Dynamic Network Model	Αξιολόγηση στρατηγικών εκκένωσης.	Δυναμική διαχείριση δικτύου με διάφορους τύπους οδηγικής συμπεριφοράς και διαφορετικά επίπεδα πληροφόρησης	Dynasmart-P
Wilmot and Meduri	2005	Methodology to Establish Hurricane Evacuation Zones	Ανάπτυξη μεθοδολογίας καθορισμού ζωνών εκκένωσης λόγω τυφώνα.	Συνδυασμός GIS και μοντέλων εκτίμησης πλημμυρών και αυτοματοποίηση της διαδικασίας	TransCAD
Liu et al.	2006	A Cell-Based Network Optimization Model for Staged Evacuation Planning Under Emergencies	Συλλογή κρίσιμων στοιχείων για εκκένωση κατά στάδια.	Μοντέλο μετάδοσης κελιών	Μοντέλο βελτιστοποίησης δικτύου
Lively et al.	2006	Advanced Traveler Information Systems: Overview of California's System Application and Its Performance as Part of Emergency Response Planning	Μελέτη επίδρασης εξελιγμένων συστημάτων πληροφοριών ATIS στην ανταπόκριση των οδηγών σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης.		ATIS/511

Chen et al.	2006	Agent-Based Modeling and Analysis of Hurricane Evacuation Procedures for the Florida Keys	Εκτίμηση ελάχιστου χρόνου εκκένωσης λόγω τυφώνα και εκτίμηση πληθυσμού που πλήπτεται σε περίπτωση κατολισθήσεων.	Agent-based προσομοίωση	VISSIM
Ullman et al.	2006	Amber Alert and Major Catastrophe Messages on Dynamic Message Signs: Focus Group Studies in Texas	Ανάλυση αποτελεσματικότητας της πληροφόρησης των οδηγών μέσω της χρήσης πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων.		Dynamic Message Signs (DMS)
Bronzini and Kicinger	2006	Conceptual Model of a Self-Organizing Traffic Management Hazard Response System	Ανάπτυξη εννοιολογικού μοντέλου το οποίο συνδυάζει υπολογιστικά στοιχεία των μετακινήσεων με στοιχεία ασφαλείας των υποδομών.	Χρήση εξελικτικών αλγορίθμων για αξιολόγηση στρατηγικών εκκένωσης.	Cellular Automata (CA)
Shekhar and Kim	2006	Contraflow Transportation Network Reconfiguration for Evacuation Route Planning	Ανάπτυξη μεθοδολογίας σχεδιασμού εκκένωσης με χρήση λωρίδων αντίθετης κατεύθυνσης για ελαχιστοποίηση του χρόνου εκκένωσης.	Χρήση λωρίδων αντίθετης κατεύθυνσης για απομάκρυνση οχημάτων από την κρίσιμη περιοχή.	RELAX, αλγόριθμος CCRP
Liu et al.	2006	Model Reference Adaptive Control Framework for Real-Time Traffic Management Under Emergency Evacuation (MRAC)	Ανάπτυξη πλαισίου ελέγχου για κυκλοφοριακή διαχείριση πραγματικού χρόνου κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης.	Dynamic System Optimal Model	Πρότυπο πρόγραμμα που περιλαμβάνει περιγραφικά μοντέλα του MRAC
Chen and Zhan	2008	Agent-based modeling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies	Αξιολόγηση ταυτόχρονης ή κατά στάδια εκκένωσης.	Μικροσκοπική προσομοίωση	Paramics
Lämmel et al.	2008	Emergency Preparedness in the Case of a Tsunami – Evacuation Analysis and Traffic Optimization for the Indonesian City of Padang	Δημιουργία βέλτιστων σχεδίων εκκένωσης	Μικροσκοπική προσομοίωση	MATSim

Balakrishna et al.	2008	Simulation-Based Framework for Transportation Network Management in Emergencies	Ανάπτυξη μεθοδολογίας προσομοίωσης με σκοπό την εκτίμηση της απόδοσης δικτύων κατά τη διάρκεια εκκένωσης περιοχών.	Δυναμική Κυκλοφοριακή Διαχείριση (DTA), ανάπτυξη στρατηγικών σε διαφορετικές συνθήκες και δημιουργία σχεδίων ανταπόκρισης σε έκτακτες ανάγκες με προσομοίωση.	DynaMIT-E
Taubenböck et al.	2009	"Last-Mile" Preparation for a Potential Disaster – Interdisciplinary Approach towards Tsunami Early Warning and an Evacuation Information System for the Coastal City of Padang, Indonesia	Δημιουργία συστήματος έγκαιρης ειδοποίησης για εκκένωση σε περίπτωση τσουνάμι.	Συνδυασμός τηλεπισκοπικών, υδρολογικών, κοινωνικών και οικονομικών δεδομένων	MATSim
Ng and Waller	2010	Reliable Evacuation Planning via Demand Inflation and Supply Deflation	Δημιουργία μοντέλου σχεδιασμού διαδρομής για εκκένωση περιοχής που λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα της ζήτησης και την αβεβαιότητα της κυκλοφοριακής ικανότητας.	Πλαίσιο μοντέλου μετάδοσης κελιών (Cell Transmission Model, CTA)	GAMS/MINOS
Tu et al.	2010	The impacts of driving behaviors on traffic safety in case of evacuation	Μελέτη επίδρασης της οδηγικής συμπεριφοράς στην οδική ασφάλεια.	Μικροσκοπική προσομοίωση	S-Paramics

Πίνακας 1.1.: Ενδεικτικός πίνακας μελετών εκκένωσης.

1.4. Επιλογή της προσομοίωσης ως εργαλείο σχεδιασμού

Στην προηγούμενη ενότητα, αναφέρθηκαν οι κυριότερες μελέτες διαχείρισης της εκκένωσης μιας περιοχής σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Το κοινό στοιχείο σε όλες αυτές τις μελέτες αποτελεί η χρήση μοντέλων που περιγράφουν στοιχεία σημαντικά για την οργάνωση της εκκένωσης. Τέτοια στοιχεία αποτελούν τα εξής:

- Ανταπόκριση και αντίδραση των οδηγών.

- Διαχείριση της αυξανόμενης ζήτησης και κυκλοφοριακής ροής.
- Σχεδιασμός μεταφοράς του πληθυσμού σε ασφαλείς περιοχές και μετακίνηση προς αυτές.
- Δυναμικότητα στρατηγικών εκκένωσης μιας περιοχής.
- Διατήρηση προσβάσεων από και προς την περιοχή εκκένωσης.
- Διαχείριση έκτακτων συμβάντων.
- Εκτίμηση χρόνων έναρξης της εκκένωσης και χρόνων εγκατάλειψης της περιοχής εκκένωσης.

Τα στοιχεία αυτά, είναι εξαιρετικά δύσκολο να συλλεχθούν από πραγματικές συνθήκες έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης περιοχών. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι υπό τέτοιες συνθήκες, οι αρχές εστιάζουν στην ασφάλεια του πληθυσμού και άρα στον τρόπο μετακίνησής του σε ασφαλείς περιοχές και η συλλογή στοιχείων έρχεται σε δεύτερη μοίρα. Έτσι, ο μοναδικός τρόπος συλλογής τέτοιων στοιχείων και ο συνδυασμός τους σε σχέδια εκκένωσης, είναι η χρήση μοντέλων μέσα από τη διαδικασία της προσομοίωσης. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός, αφού είναι εύκολη η δημιουργία και αξιολόγηση πολλών διαφορετικών σεναρίων για τη μελέτη καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

1.4.1. Γενικά για την προσομοίωση

Η κυκλοφοριακή προσομοίωση είναι ένα εξαιρετικά δημοφιλές και αποτελεσματικό εργαλείο για την ανάλυση μεγάλης ποικιλίας δυναμικών κυκλοφοριακών προβλημάτων, τα οποία δεν είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν με άλλους τρόπους. Η προσομοίωση πραγματοποιείται με τη δημιουργία μοντέλων τα οποία αναπαριστούν τις πραγματικές συνθήκες με ανάλυση και λεπτομέρεια ανάλογη με το είδος του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί. Η κυκλοφοριακή προσομοίωση χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, όπως μακροπρόθεσμες προβλέψεις που αποσκοπούν στο σχεδιασμό υποδομών και τη δημιουργία εναλλακτικών τρόπων αντιμετώπισης διαφόρων συμβάντων που επηρεάζουν τις κυκλοφοριακές υποδομές. Η ανάλυση ενός τμήματος του οδικού δικτύου μελέτης, μπορεί να πραγματοποιηθεί με αναλυτικές σχέσεις, στην περίπτωση όμως που πρόκειται να μελετηθούν παροδικά κυκλοφοριακά φαινόμενα μεγάλης έκτασης, τότε προτιμάται η κυκλοφοριακή προσομοίωση. Αρκεί να δημιουργηθεί από το χρήστη ένα “σενάριο” σχετικό με το πρόβλημα που απαιτείται να μελετηθεί ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης διακρίνονται σε:

- στατιστικά
- γραφικά

Τα στατιστικά ή αριθμητικά αποτελέσματα προσφέρουν στο χρήστη λεπτομερή περιγραφή της εικόνας των πιθανών γεγονότων, δηλαδή του τι είναι πιθανό να συμβεί. Οι γραφικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων προσφέρουν καλύτερη επίγνωση ως προς το λόγο για τον οποίο το σύστημα συμπεριφέρεται με αυτόν τον τρόπο. Τα αποτελέσματα αυτά πρέπει βέβαια να αξιολογούνται από το μελετητή ώστε να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για την έρευνα.

1.4.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης

Η κυκλοφοριακή προσομοίωση, παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα σε ό,τι αφορά τη μελέτη κυκλοφοριακών φαινομένων. Αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο, όπως αναφέρθηκε, όμως, πρέπει να χρησιμοποιείται προσεκτικά και αφού τα αποτελέσματά της αξιολογηθούν κατάλληλα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα θετικά και αρνητικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη διαδικασία της προσομοίωσης, αλλά και που πρέπει να ληφθούν υπόψη, πριν κανείς επιλέξει την προσομοίωση ως εργαλείο.

Ένα πολύ σημαντικό θετικό στοιχείο της κυκλοφοριακής προσομοίωσης, είναι το γεγονός ότι η πληροφορία που συλλέγεται μπορεί να περιέχει στοιχεία που περιγράφουν την πραγματική συμπεριφορά των οχημάτων στο δίκτυο, τα οποία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη πολλών διαφορετικών φαινομένων.

Το σημαντικότερο ίσως πλεονέκτημα που παρουσιάζει η μέθοδος της κυκλοφοριακής προσομοίωσης, είναι η δυνατότητα ελέγχου των αποτελεσμάτων αλλά και η δυνατότητα πολλαπλών επαναλήψεων της πειραματικής διαδικασίας. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να δημιουργηθούν πολλές διαφορετικές περιπτώσεις κυκλοφοριακών φαινομένων σε εργαστηριακές συνθήκες. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που διεξάγονται επαναλαμβανόμενες διαδρομές από το ίδιο υποκείμενο, παρουσιάζεται η δυνατότητα μείωσης του μεγέθους του δείγματος, αλλά και να μελετηθούν οι επιλογές διαδρομής των οδηγών ως προς τις εναλλακτικές διαδρομής [*Koutsopoulos et al.* 1995].

Επίσης, η δυνατότητα που προσφέρεται για το συστηματικό έλεγχο των συνθηκών του περιβάλλοντος, στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι πειραματικές διαδικασίες με προσομοίωση, επιτρέπει τη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων, από τα οποία προκύπτουν ποικίλα αποτελέσματα που αφορούν τη συμπεριφορά των οδηγών ή την εκκένωση μιας περιοχής. Τα αποτελέσματα αυτά, είναι εξαιρετικά δύσκολο να προκύψουν από τη μελέτη πραγματικών συνθηκών.

Από την άλλη πλευρά, το κυριότερο μειονέκτημα που παρουσιάζει η μέθοδος της κυκλοφοριακής προσομοίωσης είναι το γεγονός ότι η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μπορεί να είναι αμφισβητήσιμη, λόγω των σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν. Τα σφάλματα αυτά, μπορεί να

οφείλονται για παράδειγμα, στις εκτιμήσεις των επιλογών της διαδρομής που ακολουθούν οι οδηγοί ή σε διαφορετικές εκτελέσεις της ίδιας προσομοίωσης.

1.4.3. Περιπτώσεις εφαρμογής της προσομοίωσης

Τα μοντέλα κυκλοφοριακής προσομοίωσης περιγράφουν μια δυναμική διαδικασία ανάλυσης και για το λόγο αυτό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών. Με βάση τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αναλύθηκαν στην *Παράγραφο 2.5.2.*, εξετάζονται στη συνέχεια οι περιπτώσεις εφαρμογής της κυκλοφοριακής προσομοίωσης.

Η κυκλοφοριακή προσομοίωση μπορεί, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και αξιολόγηση συστημάτων όπως συστήματα κυκλοφοριακής πληροφόρησης ATIS [*Polak and Axhausen*, 1990]. Η μέθοδος της προσομοίωσης, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε σχέση με την ανταπόκριση σε τέτοια συστήματα κυκλοφοριακής πληροφόρησης ATIS [*Bogers et al.* 2004].

Στην περίπτωση που η μαθηματική προσέγγιση ενός κυκλοφοριακού προβλήματος είναι αδύνατη ή ανεπαρκής, είναι απαραίτητο το πρόβλημα να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης. Τη συνθετότητα ενός τέτοιου κυκλοφοριακού προβλήματος μπορεί να αντιληφθεί κανείς λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα της ανθρώπινης συμπεριφοράς, η οποία δεν είναι δυνατό να προστεθεί στις παραμέτρους της κλασσικής μαθηματικής προσέγγισης. Η προσομοίωση, επιτρέπει την ανάλυση παραμέτρων ή τροποποιήσεων που δεν έχουν υλοποιηθεί ακόμα [*Antoniou et al.* 2008].

Επίσης, επιβάλλεται η χρήση μοντέλων στην περίπτωση που υπάρχει η ανάγκη για οπτικοποίηση των προβλέψεων πράγμα το οποίο οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση των φαινομένων, αφού μπορεί να αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα. Ως αποτέλεσμα, είναι πλέον δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της πειραματικής ανάλυσης.

Η προσομοίωση, μπορεί να αποβεί χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου οι υποθέσεις που προκύπτουν από μαθηματικούς υπολογισμούς, εμπεριέχουν σφάλματα στην ακρίβεια ή τον τρόπο που αυτές μπορούν να εφαρμοστούν, αρκεί η ίδια διαδικασία να επαναλαμβάνεται ώστε να πραγματοποιείται καλύτερη εκτίμηση των αναμενόμενων συνθηκών. Επιτρέπει, επίσης, τη μελέτη φαινομένων κυκλοφοριακής συμφόρησης που εξελίσσονται για σημαντικό χρονικό διάστημα, ή την εκτίμηση μακροπρόθεσμων αλλαγών στην κυκλοφορία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η προσομοίωση όσον αφορά στην κυκλοφοριακή ανάλυση, πρέπει να χρησιμοποιείται προσεκτικά, καθώς εγκυμονεί κινδύνους λόγω λανθασμένης εφαρμογής της αλλά και λόγω της ενδεχομένως, κακής ποιότητας των δεδομένων εισόδου.

1.4.4. Μοντέλα προσομοίωσης

Ανάλογα με το βαθμό ανάλυσης και λεπτομέρειας που απαιτείται για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι μοντέλων προσομοίωσης. Οι τρεις βασικότεροι τύποι είναι οι εξής:

- Μακροσκοπικά
- Μεσοσκοπικά
- Μικροσκοπικά

Αναφέρονται ακόμα και τα μοντέλα τύπου Data-hub τα οποία αποτελούν μια εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης σε μεγάλο αριθμό δεδομένων που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από το πεδίο. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας στα οποία τα αντικείμενα μελέτης είναι μεγάλα δίκτυα [*Antoniou et al.* 2008].

Μακροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης

Τα μακροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης μοντελοποιούν την κυκλοφορία ως συνεχή ροή, χρησιμοποιώντας συχνά φυσικές σχέσεις παρόμοιες με αυτές που περιγράφουν κινήσεις ρευστών ή αερίων. Τα μοντέλα αυτά, περιγράφουν τις οντότητες και τις δραστηριότητές τους με χαμηλό επίπεδο λεπτομέρειας. Για παράδειγμα, το ρεύμα κυκλοφορίας μπορεί να αναπαρίσταται με ενιαίο τρόπο, ως στατιστικό ιστόγραμμα ή με μονόμετρα μεγέθη όπως ο φόρτος κυκλοφορίας, η κυκλοφοριακή πυκνότητα και η ταχύτητα. Επίσης, οι ελιγμοί αλλαγής λωρίδας είναι πιθανό να μη λαμβάνονται υπόψη [*Lieberman et al.* 1997].

Τα μακροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης, παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι των μεσοσκοπικών και μακροσκοπικών μοντέλων, έχουν όμως και μειονεκτήματα. Έχουν χαμηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, αποτελούν ώριμη τεχνολογία με μεγάλο αριθμό υλοποιήσεων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γρήγορη αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εναλλακτικών σεναρίων επιλέγοντας μικρό αριθμό λύσεων που μπορεί να αξιολογηθούν σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια [*Antoniou et al.* 2008]. Παρά τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν, τα μοντέλα αυτά, αποτελούν πλέον παλαιότερη τεχνολογία μελέτης, έχουν μικρές δυνατότητες επέκτασης, χωρίς μετάβαση σε λύσεις μικροσκοπικού ή μεσοσκοπικού επιπέδου. Επίσης, η ανάλυση με τέτοιου τύπου μοντέλα, περιορίζεται πρακτικά σε εφαρμογές μακροπρόθεσμης πρόβλεψης.

Μεσοσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης

Τα μεσοσκοπικά μοντέλα κυκλοφοριακής προσομοίωσης τείνουν να μοντελοποιούν κινήσεις μεμονωμένων οχημάτων, αλλά περιγράφουν τη συμπεριφορά τους με απλοποιημένο τρόπο και σε

συγκεντρωτικό επίπεδο [*Burghout,* 2004]. Ένα μεσοσκοπικό μοντέλο κυκλοφοριακής προσομοίωσης, περιγράφει τις περισσότερες οντότητες με μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας, όμως, οι κινήσεις και οι αλληλεπιδράσεις τους περιγράφονται με πολύ χαμηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας σε σχέση με τον τρόπο που αυτές περιγράφονται από ένα μικροσκοπικό μοντέλο. Για παράδειγμα, οι ελιγμοί αλλαγής λωρίδας κυκλοφορίας αναπαρίστανται για μεμονωμένα οχήματα ως στιγμιαίο γεγονός, ενώ η απόφαση για τον ελιγμό βασίζεται σε σχετικές πυκνότητες μεταξύ των λωρίδων κυκλοφορίας [*Lieberman et al.* 1997].

Τα μεσοσκοπικά μοντέλα επιτρέπουν μια πρακτική προσομοίωση σε επίπεδο ενδιάμεσο των μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μοντέλων. Συνδυάζουν κατά την ανάλυση, συνολικά (aggregate) και λεπτομερή (disaggregate) μοντέλα και αποτελούν αντικείμενο ενεργούς έρευνας κυρίως σε σχέση με εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η προσομοίωση με ένα τέτοιου είδους μοντέλο, επιτρέπει μεγαλύτερους χρονικούς ορίζοντες πρόβλεψης της τάξης μιας ή δυο ωρών [*Antoniou et al.* 2008]. Δυστυχώς, όσον αφορά εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, η εφαρμογή των μοντέλων αυτά γίνεται μόνο σε ερευνητικό επίπεδο [*Pravinvongvuth,* 2010].

Ένας μεσοσκοπικός προσομοιωτής, χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις που είναι επιθυμητό να υπολογιστούν κυκλοφοριακά στοιχεία, όπως δυναμικοί χρόνοι διαδρομής ανά σύνδεσμο και κατεύθυνση, πυκνότητες, φόρτοι, οι ταχύτητες των οχημάτων και οι ουρές.

Έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, τα οποία υποστηρίζουν μεσοσκοπική ανάλυση. Παραδείγματα αποτελούν τα AIMSUN-online [*Barceló,* 2002], CONTRAM [*Taylor,* 2003], DynaMIT [*Ben-Akiva et al.* 2010], DYNASMART [*Mahmassani et al.* 1995], MEZZO [*Burghout,* 2004].

Μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης

Τα μικροσκοπικά μοντέλα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, αναλύουν τη συμπεριφορά των οχημάτων και των οδηγών με πολύ μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας, πράγμα το οποίο τα καθιστά κατάλληλα για την αξιολόγηση ευφυών συστημάτων μετακίνησης (Intelligent Transportation Systems). Για παράδειγμα, η μοντελοποίηση συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας και η αντίδραση των οδηγών σε διάφορα γεγονότα, εξαρτώνται από αυτού του είδους τη λεπτομερή ανάλυση της κυκλοφορίας που προσφέρουν τα μικροσκοπικά μοντέλα [*Burghout,* 2004]. Ένα μικροσκοπικό μοντέλο κυκλοφοριακής προσομοίωσης, περιγράφει τις οντότητες του συστήματος και τις αλληλεπιδράσεις τους με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας. Στην περίπτωση αυτή, η προσομοίωση ενός ελιγμού αλλαγής λωρίδας θα πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη το προπορευόμενο όχημα στη λωρίδα που βρίσκεται, αλλά και το υποτιθέμενο προπορευόμενο και ακολουθούμενο όχημα της λωρίδας στην οποία θα μεταβεί [*Lieberman et al.* 1997].

Η μικροσκοπική προσομοίωση, αποτελεί μέθοδο πιο λεπτομερή από τη μακροσκοπική και μεσοσκοπική προσομοίωση, ενώ προσφέρει τη δυνατότητα της ακριβούς προτυποποίησης λεπτομερειών όπως στρατηγικές σηματοδότησης και γεωμετρίας της οδού. Επίσης, η προσέγγιση της κίνησης πραγματοποιείται με βάση τις διαδρομές που ορίζουν τα μητρώα προέλευσης και προορισμού της προσομοίωσης. Η προσομοίωση με μικροσκοπικά μοντέλα απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ, το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα είναι οι απαιτήσεις για περισσότερα και πιο λεπτομερή δεδομένα, που συχνά είναι αδύνατο να συγκεντρωθούν. Απαιτείται επίσης, περισσότερος χρόνος για τη δημιουργία, βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα, ενώ η ίδια η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι ιδιαίτερα απαιτητική. Είναι επίσης πιθανό, η λεπτομέρεια που εξάγεται με τη χρήση των μικροσκοπικών μοντέλων, να είναι υπερβολική και περιττή για κάποιες εφαρμογές.

Έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, τα οποία υποστηρίζουν μικροσκοπική ανάλυση. Παραδείγματα αποτελούν τα TransModeler [*Yang and Morgan,* 2006], Paramics [*Cameron and Duncan,* 1996], VISSIM [*Fellendorf,* 1994], MITSIMLab [*Yang and Koutsopoulos,* 1996].

Μοντέλα τύπου Data-hub

Τα μοντέλα προσομοίωσης τύπου Data-hub, προσφέρουν μια εναλλακτική προσέγγιση στην εκτίμηση και βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη κυκλοφοριακών συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα, συνδυάζουν πληροφορίες που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, όπως κυκλοφοριακούς αισθητήρες ή εκτιμήσεις με βάση παλαιότερα δεδομένα, χωρίς να είναι απαραίτητη η λειτουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης μιας περιοχής. Το κατάλληλο πλαίσιο στο οποίο συνδυάζονται όλες οι πληροφορίες είναι ένα κυκλοφοριακό μοντέλο, το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή του τρόπου με τον οποίο διεξάγεται η κυκλοφορία [*Ploss et al.* 2006].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα συστημάτων κυκλοφοριακής προσομοίωσης, τα οποία χρησιμοποιούν μοντέλα Data-hub, είναι το INRIX [*INRIX inc.*].

	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**
Μακροσκοπική	• Χαμηλές υπολογιστικές απαιτήσεις. • Ώριμη τεχνολογία με μεγάλο αριθμό υλοποιήσεων. • Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εναλλακτικών σεναρίων, επιλέγοντας μικρό αριθμό λύσεων που μπορεί να αξιολογηθούν σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια (από άλλο σύστημα).	• Παλαιότερη τεχνολογία. • Μικρές δυνατότητες επέκτασης, χωρίς μετάβαση σε λύσεις μικρο-μεσοσκοπικού επιπέδου. • Κυρίως περιορίζεται πρακτικά σε εφαρμογές μακροπρόθεσμης πρόβλεψης.

Μεσοσκοπική	• Πρακτική προσομοίωση μεταξύ μικρο-μακροσκοπικών μοντέλων. • Συνδυάζει συνολικά (aggregate) και λεπτομερή (disaggregate) μοντέλα. • Αντικείμενο ενεργούς έρευνας σήμερα, κυρίως σε σχέση με εφαρμογές πραγματικού χρόνου. • Επιτρέπει μεγαλύτερους χρονικούς ορίζοντες πρόβλεψης (έως 1-2 ώρες) σε σχέση με μικροσκοπικά μοντέλα.	• Δεν υπάρχουν πολλές πρακτικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας που να έχουν ολοκληρωθεί. (Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές, κυρίως σε ακαδημαϊκά/ ερευνητικά περιβάλλοντα.)
Μικροσκοπική	• Πιο λεπτομερής/ακριβής από μεσο-/μακροσκοπικά μοντέλα. • Δυνατότητα ακριβούς προτυποποίησης λεπτομερειών όπως στρατηγικές σηματοδότησης και γεωμετρίας οδού. • Οι σύγχρονοι μικροσκοπικοί προσομοιωτές έχουν περάσει από την προσέγγιση κίνησης οχημάτων μέσω λόγων στρεφουσών κινήσεων προς την προτυποποίηση με βάση διαδρομές ΠΠ.	• Υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις. • Απαιτούνται περισσότερα και πιο λεπτομερή δεδομένα. • Απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη δημιουργία, βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου. • Η διαδικασία βαθμονόμησης είναι πολύ απαιτητική. • Λεπτομέρειες μικροσκοπικής ανάλυσης μπορεί να μην είναι απαραίτητες για κάποιες εφαρμογές. • Αν και οι μικροσκοπικοί προσομοιωτές γίνονται ταχύτεροι, τα αντίστοιχα μεσοσκοπικά μοντέλα θα επιτρέπουν πάντα την προσομοίωση μεγαλύτερων δικτύων, περισσότερων εναλλακτικών ή/και μεγαλύτερων χρονικών οριζόντων.
Μακροσκοπική / Data-hub	• Ευέλικτα όσον αφορά τους τύπους δεδομένων που μπορούν να δεχτούν. • Υπολογιστικά, πολύ ελκυστικά.	• Δεν υπάρχουν επιτυχείς εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. • Συνδυάζει στατιστική κατανομή (για εκτίμηση διαδρομών) με τοπικούς αλγορίθμους (πχ. Εξέλιξη ροής, flow propagation).

Πίνακας 1.2.: Συγκριτικός πίνακας πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των μεθόδων προσομοίωσης.

2. Συμπεριφορά του οδηγού

2.1. Εισαγωγή

Σε μια προσπάθεια να μελετηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό οι επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε ένα δίκτυο, έχει αναπτυχθεί πλέον σε μεγάλο βαθμό, η μελέτη της συμπεριφοράς του οδηγού. Βασικό λόγο αποτελεί το γεγονός ότι γνωρίζοντας σε κάποιο βαθμό την οδηγική συμπεριφορά, είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν καλύτερες εκτιμήσεις κυκλοφοριακών μεγεθών αλλά και να σχεδιαστούν ακριβέστερα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Η διαδικασία αυτή είναι κάθε άλλο παρά απλή, καθώς απαιτείται η συλλογή δεδομένων που αφορούν την πραγματική οδηγική συμπεριφορά, τα οποία τις περισσότερες φορές είναι δυσεύρετα ή αναληθή. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται συνήθως η περιγραφή της συμπεριφοράς των οδηγών με μοντέλα προσομοίωσης τα οποία διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό τους αναλυτές. Τα μοντέλα αυτά, χρησιμοποιούν παραμέτρους που αφορούν τους παράγοντες που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά.

2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού

Η οδηγική συμπεριφορά, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της κυκλοφοριακής μελέτης. Ειδικότερα, η κατανόηση της συμπεριφοράς του οδηγού μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη μελέτη της κυκλοφορίας αλλά και στον ορθότερο σχεδιασμό δυναμικών κυκλοφοριακών μοντέλων και συστημάτων. Η μελέτη της συμπεριφοράς του οδηγού, είναι ένα αντικείμενο ιδιαίτερα σύνθετο, καθώς ένας οδηγός κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε ένα τεράστιο αριθμό εναλλακτικών διαδρομών, εφόσον φυσικά αυτό είναι επιτρεπτό από το οδικό δίκτυο στο οποίο κινείται.

Ένας ακόμη λόγος είναι το γεγονός ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά μπορεί να είναι απρόβλεπτη λόγω πολλών διαφορετικών παραγόντων όπως η ψυχολογική κατάσταση του οδηγού, η ηλικία, το φύλο, ο χρόνος της διαδρομής, η απόσταση που ο οδηγός καλείται να καλύψει, ο καιρός, η συμπεριφορά των άλλων οδηγών αλλά και οι απρόβλεπτες συνθήκες που είναι δυνατό να παρουσιαστούν [*Jan et al.* 2000]. Πιο αναλυτικά, οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά ενός οδηγού μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Χαρακτηριστικά του οδηγού
    - Ηλικία
    - Φύλο
    - Εισόδημα
    - Χρήση κινητού τηλεφώνου, χρήση διαδικτύου

    - Συνήθης συμπεριφορά, συμπεριφορά έναντι ρίσκου

- Αντίληψη οδηγού
    - Αντιληπτά οφέλη
    - Χρησιμότητα πληροφορίας
    - Αξιοπιστία πληροφορίας
    - Μείωση του άγχους και του στρες
    - Άνεση

- Χαρακτηριστικά της διαδρομής
    - Σκοπός μετακίνησης
    - Βαθμός εξοικείωσης με το οδικό δίκτυο
    - Μήκος διαδρομής, μεταβλητότητα χρόνου διαδρομής, αξιοπιστία διαδρομής
    - Επιθυμητή ώρα άφιξης, επιπτώσεις από άφιξη νωρίτερα ή αργότερα, άλλοι περιορισμοί

- Χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος
    - Καιρικές συνθήκες
    - Έκτακτα συμβάντα, όπως ατυχήματα
    - Συμπεριφορά των άλλων οδηγών στο δίκτυο

Παρά τη σύνθετη διάσταση του προβλήματος της περιγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς, είναι πλέον δυνατό αυτή να αναπαρασταθεί με τη χρήση διαφόρων μαθηματικών μοντέλων, με αποτέλεσμα, η ανάλυση αυτή να συμβάλλει στην καλύτερη εκτίμηση και αντιμετώπιση κυκλοφοριακών φαινομένων όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, αλλά και στην πρόβλεψη και αποτροπή ατυχημάτων μέσω του σχεδιασμού.

Ένα ακόμα βασικό ζητούμενο, είναι η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών σε σχέση με την παρεχόμενη πληροφορία, η οποία μπορεί να αποτελείται από στοιχεία όπως ο προορισμός, το μέσο μετακίνησης, το δρομολόγιο και ο χρόνος αναχώρησης και άφιξης. Η αντίδραση των οδηγών πριν την έναρξη της διαδρομής αλλά και κατά τη διάρκεια αυτής, αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο σε ό,τι αφορά τις μεταβολές στην προγραμματισμένη διαδρομή, τη στάθμευση ή τη μετεπιβίβαση σε κάποιο μέσο μαζικής μεταφοράς, αφού μια τέτοια μεταβολή έχει άμεση επίπτωση στην επιλογή της διαδρομής ή στην απόφαση για μετακίνηση.

2.3. Μελέτες οδηγικής συμπεριφοράς

Η μελέτη, κατανόηση και αναπαράσταση της οδηγικής συμπεριφοράς αποτελεί βασικό άξονα των συγκοινωνιακών μελετών και χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που εκτείνεται από

μελέτες συγκοινωνιακού σχεδιασμού, εφαρμογές δυναμικής διαχείρισης της κυκλοφορίας, εφαρμογές εξελιγμένων συστημάτων σηματοδότησης μέχρι εξελιγμένα συστήματα πληροφόρησης των οδηγών. Η συλλογή στοιχείων για τη συμπεριφορά των οδηγών δεν είναι εύκολη. Οι πηγές δεδομένων που διατίθενται είναι τα εξής:

- Δεδομένα αποκαλυπτόμενης προτίμησης (Revealed Preference Data – RP Data)
- Δεδομένα δεδηλωμένης προτίμησης (Stated Preference Data – SP Data)

Τα δεδομένα αποκαλυπτόμενης προτίμησης αφορούν παρατηρήσεις ή αναφορές πραγματικής συμπεριφοράς και περιλαμβάνουν ημερολόγια ταξιδιών και μελέτες πεδίου. Συλλέγονται συχνά από εφαρμογές προγενέστερες της πλήρους εφαρμογής ενός συστήματος και παρέχουν πληροφορίες για την αντίδραση και τις επιλογές των οδηγών. Τα δεδομένα δεδηλωμένης προτίμησης εκφράζονται ως απάντηση σε υποθετικά σενάρια ή πειράματα και συλλέγονται από ερωτηματολόγια ή από αναλύσεις σε προσομοιωτές. Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που απαιτείται σχεδιασμός με παραμέτρους ισχυρά συσχετισμένες και εκτίμηση των επιπτώσεών τους.

Στις περισσότερες μελέτες, η οδηγική συμπεριφορά, μελετάται από την οπτική της επιλογής διαδρομής με μαθηματικά και προγραμματιστικά μοντέλα, αφού θεωρείται ότι αυτό το μοντέλο διαθέτει τη μεγαλύτερη επιρροή στις συγκοινωνιακές εφαρμογές [*Rakha,* 2009]. Η δημιουργία μοντέλων που περιγράφουν την ανθρώπινη επιλογή διαδρομής είναι ιδιαίτερα σύνθετη. Ο αριθμός των διαθέσιμων εναλλακτικών διαδρομών από την προέλευση ως τον προορισμό μπορεί να είναι τεράστιος και η επιλογή απαιτεί τη λήψη αποφάσεων για τον τρόπο μετάβασης στον προορισμό, ενώ η απόφαση της διαδρομής θα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους περιορισμούς και υποχρεώσεις. Στην απόφαση αυτή, θα συντελέσει ενδεχομένως και η εμπειρία του οδηγού από παλαιότερες αποφάσεις για τον ίδιο προορισμό, πράγμα το οποίο μπορεί να υποκινήσει την επιλογή της ίδιας διαδρομής. Επίσης, τα χαρακτηριστικά κάθε εναλλακτικής διαδρομής δεν είναι το ίδιο σημαντικά για την τελική απόφαση του οδηγού [*Li et al.* 2005]. Η απόφαση της εναλλακτικής διαδρομής εξαρτάται όπως είναι φυσικό και από ορισμένους από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν στην *Παράγραφο 3.2.,* δηλαδή την ηλικία, το φύλο, το χρόνο διαδρομής, την απόσταση, πιθανά έκτακτα γεγονότα, κακοκαιρία και τη συμπεριφορά των υπολοίπων οδηγών στο δίκτυο [*Jan et al.* 2000].

Σε όλα τα μαθηματικά μοντέλα επιλογής διαδρομής, έχει πραγματοποιηθεί η υπόθεση ότι οι οδηγοί συμπεριφέρονται λογικά, έχει όμως διερευνηθεί περαιτέρω η σύνδεση της πραγματικής συμπεριφοράς των οδηγών ως σύνολο και την επίπτωσή της στην επιλογή διαδρομής. Οι μελέτες που εξετάζουν αυτό το φαινόμενο μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες όπως μαθηματικά μοντέλα [*Peeta and Ziliaskopoulos,* 2001], εξελισσόμενα ψυχολογικά μοντέλα οδηγικής

συμπεριφοράς [*Talaat and Abdulhai,* 2006], μελέτες προσομοίωσης, κλειστής διαδρομής ή πεδίου [*Rosenbloom,* 2006], και μελέτες με προσομοίωση και χρήση συστημάτων GPS [*Jan et al.* 2000].

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με βάση τέτοιες αντίστοιχες μελέτες είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα αφού αναφέρονται σε παρατηρήσεις της ανθρώπινης συμπεριφοράς παρά στην υπόθεση ότι οι οδηγοί κινούνται με τάση εξισορρόπησης χρηστών (user equilibrium), ή του συστήματος (system equilibrium). Μερικά χρήσιμα συμπεράσματα που έχουν προκύψει είναι ότι οι αντιλήψεις των οδηγών διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τις πραγματικές τους εμπειρίες και για το λόγο αυτό οι επιλογές τους εξηγούνται καλύτερα με βάση τις αντιλήψεις και και όχι τις εμπειρίες. Οι οδηγοί συνειδητοποιούν ευκολότερα την ταχύτητα κατά τη διάρκεια της διαδρομής παρά το χρόνο διαδρομής και για το λόγο αυτό οι ταχύτητες επηρεάζουν την επιλογή διαδρομής σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι ο χρόνος διαδρομής. Τέλος, η συμπεριφορά ως προς την επιλογή διαδρομής διαφέρει ανάμεσα σε διαφορετικές ομάδες οδηγών [*Tawfik et al.* 2010]. Διαφορετικοί τύποι οδηγών έχουν διαφορετική επιθυμητή ταχύτητα για το ίδιο οδικό τμήμα, καθώς και διαφορετικές τιμές επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Οι ομάδες αυτές μπορεί να έχουν οριστεί ανάλογα με τα ομογενή χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν ως προς τη συμπεριφορά τους, όπως η ταχύτητα διαδρομής και η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ που ενδεχομένως οδηγεί σε πιο επιθετική συμπεριφορά στην οδήγηση [*Golias and Karlaftis,* 2000].

Η οδηγική συμπεριφορά έχει μελετηθεί και με ολιστικό τρόπο, συνδέοντας δεδομένα που έχουν ληφθεί από αισθητήρες σε οδηγούς, με το όχημα και την κίνησή του σε σχέση με το περιβάλλον του και τα άλλα οχήματα που κινούνται σε αυτό. Ως αποτέλεσμα, έχουν δημιουργηθεί ενεργά συστήματα που προβλέπουν τη συμπεριφορά των οδηγών ως σύνολο και ως προς τους ελιγμούς που πραγματοποιούν [*Doshi and Trivedi,* 2009]. Κάθε οδηγός όμως διαθέτει διαφορετικό τρόπο οδήγησης και επομένως αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Είναι επομένως απαραίτητο να υπάρχει μια διάκριση στο σύνολο των οδηγών ως προς την επιθετικότητά τους. Η σύνθεση του πληθυσμού των οδηγών ως προς την επιθετικότητά τους επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά τους όσον αφορά την επιλογή διακένων, την ακολουθία οχημάτων, την αλλαγή λωρίδων και άλλα χαρακτηριστικά. Έχουν πραγματοποιηθεί πειραματικές διαδικασίες που συγκρίνουν τη συμπεριφορά επιθετικών και μη επιθετικών οδηγών, οι οποίες έχουν καταλήξει σε χρήσιμα συμπεράσματα όπως ότι οι επιθετικοί οδηγοί είναι περισσότερο συνεπείς στις συμπεριφορές τους και σε σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό προβλέψιμοι σε σχέση με τους μη επιθετικούς οδηγούς. Από την άλλη πλευρά, οι μη επιθετικοί οδηγοί είναι πολύ περισσότερο δεκτικοί σε ειδοποιήσεις από συστήματα πληροφόρησης όταν υπάρχει έντονα η ανάγκη πληροφόρησης λόγω εκτάκτων συμβάντων [*Doshi and Trivedi,* 2010].

Σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, όπως έγινε φανερό, είναι εξαιρετικά κρίσιμο να πραγματοποιούνται

μελέτες σε σχέση με την οδηγική συμπεριφορά, αφού αυτή έχει άμεση επίδραση σε ζητήματα οδικής ασφάλειας [*Tu et al.* 2010]. Ειδικότερα, σε συνθήκες εκκένωσης μιας περιοχής, η οδηγική συμπεριφορά είναι πολύ πιθανό να επηρεάσει το χρόνο εκκένωσης της περιοχής και κατ' επέκταση την έκβαση της εκκένωσης [*Tu et al.* 2010].

2.4. Συμπεριφορά οδηγού και προσομοίωση

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο, η προσομοίωση αποτελεί ένα πολύ βασικό εργαλείο της μελέτης της συμπεριφοράς των οδηγών. Η λογική με την οποία επιλέγεται η χρήση της προσομοίωσης, έγκειται στο γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να υπάρχει μια πρόβλεψη σε σχέση με τις κινήσεις των οδηγών και τον τρόπο που αντιδρούν σε διαφορετικά συμβάντα. Η πρόβλεψη αυτή, μεταφράζεται στη δημιουργία μοντέλων συμπεριφορών, τα οποία περιγράφουν αυτού του είδους τις κινήσεις και επιλογές των οδηγών. Με βάση τα μοντέλα αυτά, διευκολύνεται σημαντικά η μελέτη και υλοποίηση συστημάτων κυκλοφοριακής διαχείρισης και οδικής ασφάλειας. Μέσω της πρόβλεψης της οδηγικής συμπεριφοράς, είναι επίσης δυνατό να υπάρξει καλύτερη διαχείριση των μετακινήσεων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως στην περίπτωση της εκκένωσης μιας περιοχής, καθώς οι μελέτες μπορούν πλέον να συμπεριλάβουν συμβάντα προερχόμενα από τη συμπεριφορά των οδηγών, ώστε όταν αυτά συμβούν στην πραγματικότητα, να υπάρχει ήδη ένα σχέδιο αντιμετώπισής τους.

Η περιγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς με τη χρήση μοντέλων δεν είναι εύκολη διαδικασία, ακόμα και σε συνθήκες φυσιολογικής ροής της κυκλοφορίας. Τις μεγαλύτερες δυσκολίες αποτελούν η έλλειψη δεδομένων και η ετερογένεια του πληθυσμού των οδηγών, με αποτέλεσμα η βαθμονόμηση τέτοιων μοντέλων να είναι δύσκολη. Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, οι δυσκολίες πολλαπλασιάζονται, αφού οι κυκλοφοριακοί φόρτοι αυξάνονται κατακόρυφα και ο ανθρώπινος φόβος και η αγωνία, καθιστούν τις συμπεριφορές στην οδήγηση τουλάχιστον απρόβλεπτες. Επίσης, σε μια περίπτωση έκτακτης ανάγκης, κύριο μέλημα της πολιτείας είναι η αντιμετώπιση του φαινομένου και η ασφάλεια του πληθυσμού και όχι η διεξαγωγή κυκλοφοριακών μετρήσεων και η παρατήρηση ανθρώπινων συμπεριφορών. Για το λόγο αυτό, είναι αδύνατη η συλλογή αξιόπιστων δεδομένων της οδηγικής συμπεριφοράς υπό αυτές τις συνθήκες, ενώ αν χρησιμοποιηθούν μοντέλα βαθμονομημένα σε φυσιολογικές συνθήκες, τα αποτελέσματα μπορεί τελικά να είναι αναληθή και μη αντιπροσωπευτικά. Υπάρχουν δύο τρόποι αντιμετώπισης αυτών των περιορισμών [*Balakrishna et al.* 2008]:

- Απόκτηση δεδομένων οδηγικής συμπεριφοράς σε συνθήκες έντονου άγχους ή έκτακτων αναγκών.
- Ανάπτυξη και εφαρμογή επί τόπου βαθμονόμησης για συστήματα δυναμικής διαχείρισης της

κυκλοφορίας (Dynamic Traffic Assignment, DTA).

Όπως αναφέρθηκε, είναι εξαιρετικά δύσκολο να συλλέξει κανείς δεδομένα και πληροφορίες κατά τη διάρκεια εκτάκτων αναγκών για πολλούς λόγους. Σε τέτοιες συνθήκες, οι προτεραιότητες της πολιτείας αλλά και των ίδιων των πολιτών είναι η ασφάλεια, ενώ είναι πιθανό να καταρρεύσουν και τα συστήματα τηλεπικοινωνιών και παρακολούθησης. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να αποκτηθούν δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς σε τέτοιες συνθήκες έντονου στρες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσομοιωτές οδήγησης ή έρευνες μέσω διαδικτύου τα οποία θα εξετάζουν τις αντιδράσεις των ανθρώπων σε υποτιθέμενα σενάρια. Το πρόβλημα είναι ότι αυτές οι μέθοδοι παρουσιάζουν υψηλό κόστος και είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Επίσης, είναι πιθανό να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και να μην εφαρμόζονται εύκολα σε περίπτωση πραγματικής ανάγκης. Αντίθετα, η ανάπτυξη και εφαρμογή επί τόπου βαθμονόμησης συστημάτων δυναμικής κυκλοφοριακής διαχείρισης, παρουσιάζει ένα βασικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων μεθόδων. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ότι οι παράμετροι που προκύπτουν χρησιμοποιούνται και σχετίζονται άμεσα με την περίπτωση της έκτακτης ανάγκης και όχι με μια γενική υπόθεση που την προσεγγίζει μερικώς [*Balakrishna et al.* 2008].

Μια αντίστοιχη προσέγγιση, αποτελεί η μελέτη της οδηγικής συμπεριφοράς σε έκτακτες ανάγκες με τη χρήση της προσομοίωσης. Οι προσομοιωτές προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων παρατήρησης, ειδικά σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Η μικροσκοπική προσομοίωση επιτρέπει τέτοιου είδους μελέτες αφού μόνο αυτή επιτρέπει την ανάλυση κινήσεων μεμονωμένων οχημάτων και περιγραφή της συμπεριφοράς των οδηγών σε επίπεδο πριν τη διαδρομή και κατά τη διάρκεια της διαδρομής, αλλά και τη μελέτη της επιθετικότητας των οδηγών και συμμόρφωσή τους ως προς τη σηματοδότηση και της υποδείξεις κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

Η οδηγική συμπεριφορά των οδηγών καθορίζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Ακολουθία οχημάτων
- Αλλαγές λωρίδας
- Προσέγγιση, διάσχιση διασταυρώσεων
- Συμπεριφορά σε ειδικές εγκαταστάσεις
    - Σταθμοί διοδίων
    - Χώροι στάθμευσης
- Αντίδραση σε σήμανση, σηματοδότηση και συμβάντα

- Ατυχήματα

Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω, περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια ως προς τη λειτουργία και την επίπτωσή τους στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

2.4.1. Μοντέλα ακολουθίας οχημάτων (car-following models)

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς σε σχέση με την ακολουθία οχημάτων είναι το μοντέλο που αφορά την επιτάχυνση. Αυτό το μοντέλο επιτάχυνσης περιγράφει μόνο την αντίδραση του οδηγού σε ό,τι αφορά ένα όχημα που ενδεχομένως βρίσκεται μπροστά του. Η συμπεριφορά του οδηγού ως προς την παράμετρο της επιτάχυνσης μπορεί να αναλυθεί σε τρία διαφορετικά καθεστώτα λειτουργίας, ανάλογα με το χρονικό διαχωρισμό:

- Καθεστώς έκτακτης ανάγκης
- Καθεστώς ακολουθίας οχημάτων
- Καθεστώς ελεύθερης ροής

Η επιτάχυνση ενός οχήματος υπολογίζεται από τρία διαφορετικά μοντέλα. Η επιλογή του μοντέλου για ένα συγκεκριμένο όχημα εξαρτάται από την εγγύτητά του προς το προπορευόμενο όχημα. Αν η χρονική απόσταση ανάμεσα στα δυο οχήματα είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, χρησιμοποιείται το μοντέλο επιτάχυνσης που αντιστοιχεί στο καθεστώς έκτακτης ανάγκης. Στην περίπτωση που η χρονική απόσταση είναι μεγαλύτερη από το προκαθορισμένο κατώφλι, ή αν δεν υπάρχει προπορευόμενο όχημα, χρησιμοποιείται το μοντέλο του καθεστώτος ελεύθερης ροής.

Στο καθεστώς έκτακτης ανάγκης, ο χρονικός διαχωρισμός μεταξύ του οχήματος και του προπορευόμενου οχήματος, είναι ιδιαίτερα μικρός και απαιτείται άμεση επέμβαση για την αποφυγή ατυχήματος. Είναι οι πιο ακραίες περιπτώσεις όπου ένα όχημα που ακολουθεί ένα άλλο σε μικρή απόσταση, αναγκάζεται να επιβραδύνει απότομα ώστε να αποφύγει τη σύγκρουση. Μια ακόμα περίπτωση είναι όταν το προπορευόμενο όχημα αλλάζει λωρίδες, αναγκάζοντας το ακολουθούμενο να επιβραδύνει απότομα.

Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων είναι το βασικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης του οδηγού σε σχέση με ένα προπορευόμενο όχημα σε συνθήκες φυσιολογικής ροής της κυκλοφορίας. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προπορευόμενο όχημα, οδική σήμανση ή κάποιο συμβάν που επιβάλλει τη μείωση της ταχύτητας, το όχημα κινείται σε καθεστώς ελεύθερης ροής, όπου η επιτάχυνσή του δεν επηρεάζεται από προπορευόμενα οχήματα.

2.4.2. Μοντέλα αλλαγής λωρίδας (lane changing models)

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας αποτελεί πολύ βασικό στοιχείο της συμπεριφοράς των οδηγών στην εφαρμογή της προσομοίωσης. Οι τύποι ελιγμού αλλαγής λωρίδας διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Κατ' επιλογήν αλλαγή λωρίδας (Discretionary Lane Change – DLC)
- Υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας (Mandatory Lane Change – MLC)
- Συνδυασμός των δύο
- Πιεστική συμβολή (Forced Lane Change – FLC)

Η κατ' επιλογήν αλλαγή λωρίδας χρησιμοποιείται κυρίως στην περίπτωση που ο στόχος του οδηγού είναι η αισθητή βελτιστοποίηση των συνθηκών στις οποίες κινείται. Η βελτιστοποίηση αυτή συνήθως μεταφράζεται από τους οδηγούς ως αύξηση της ταχύτητας κίνησής τους.

Οι υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδας είναι αυτές που απαιτούνται στην περίπτωση που ένας οδηγός επιθυμεί να προσεγγίσει μια ράμπα εξόδου ή να εισέλθει σε μια λωρίδα για αριστερή στροφή. Ένα όχημα, μπορεί επίσης να πραγματοποιήσει υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας όταν ένα συμβάν ή ένα μήνυμα αλλαγής λωρίδας του απαγορεύει να συνεχίσει την κίνησή του στη λωρίδα κυκλοφορίας που ήδη βρίσκεται.

Η πιεστική συμβολή αποτελεί μια ειδική κατηγορία αλλαγής λωρίδας, η οποία εμφανίζεται στην περίπτωση που υπάρχει έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση στο δίκτυο και ένα όχημα προσπαθεί να συμβάλλει πιεστικά ανάμεσα σε δυο οχήματα που βρίσκονται σε άλλη λωρίδα. Τότε, ένα όχημα υποχωρεί και επιτρέπει στο όχημα που συμβάλλει να λάβει τη θέση που επέλεξε στη νέα λωρίδα.

Προκειμένου να πραγματοποιήσει ο οδηγός έναν ελιγμό αλλαγής λωρίδας, πρέπει να προηγηθεί η απόφαση για αλλαγή λωρίδας η οποία εμπεριέχει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Απόφαση για αλλαγή λωρίδας
- Επιλογή λωρίδας προορισμού, μεταξύ των πιθανών επιλογών
- Επιλογή διάκενου, μεταξύ των διαθέσιμων διακένων
- Αποδοχή ή όχι του διακένου που έχει επιλεχθεί

Η απόφαση για αλλαγή λωρίδας συνδέεται άμεσα με την κυκλοφοριακή κατάσταση του περιβάλλοντος όπως την αντιλαμβάνεται ο οδηγός. Αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι ο οδηγός αντιλαμβάνεται σε μεγαλύτερο βαθμό την ταχύτητα κίνησής του σε σχέση με άλλα μεγέθη όπως ο συνολικός χρόνος διαδρομής. Επομένως, η απόφαση για αλλαγή λωρίδας κρίνεται κατά βάση από

το βαθμό ικανοποίησης του οδηγού όσον αφορά την ταχύτητα κίνησής του.

Η επιλογή της λωρίδας προορισμού εξαρτάται από τη μορφή του δικτύου στο οποίο κινείται ο οδηγός και τη διαδρομή που έχει επιλέξει να πραγματοποιήσει. Για παράδειγμα, αν στο δίκτυο, στην κατεύθυνση κίνησης του οδηγού υπάρχει διαθέσιμη λωρίδα υψηλών ταχυτήτων, ένας οδηγός μπορεί να επιλέξει αυτή τη λωρίδα για τη συνέχεια της κίνησής του, αφού θα είναι πιο ελκυστική. Στην περίπτωση που ένας οδηγός επιχειρήσει να εφαρμόσει αριστερή στροφή και υπάρχει διαθέσιμη λωρίδα αριστερής στροφής, τότε η επιλογή της λωρίδας προορισμού θα είναι η λωρίδα αυτή. Ακόμη, στην περίπτωση που ο οδηγός επιθυμεί την έξοδο από έναν αυτοκινητόδρομο μέσω μιας ράμπας εξόδου, είναι σαφές ότι η επιθυμία του αυτή θα ορίσει τη λωρίδα εξόδου ως λωρίδα προορισμού.

Όταν ένας οδηγός έχει αποφασίσει την αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας, προκειμένου να την εφαρμόσει, θα αναζητήσει ένα διάκενο στη λωρίδα προορισμού και θα αποφασίσει αν είναι ασφαλές να εκτελέσει τον ελιγμό αλλαγής λωρίδας. Η αποδοχή του διακένου εξαρτάται από το διαθέσιμο και κρίσιμο διάκενο καθώς και τη μεταξύ τους σχέση. Το μοντέλο που περιγράφει αυτή την εφαρμογή συνοψίζεται σε δυο βασικές επιλογές:

- Αν το διαθέσιμο διάκενο είναι μικρότερο από το κρίσιμο διάκενο, ο οδηγός το απορρίπτει και δεν εκτελεί τον ελιγμό αλλαγής λωρίδας.
- Αν το διαθέσιμο διάκενο είναι μεγαλύτερο από το κρίσιμο διάκενο ή ίσο με αυτό, ο οδηγός το αποδέχεται και επιχειρεί τον ελιγμό αλλαγής λωρίδας.

Ο οδηγός, προκειμένου να αποδεχθεί το διάκενο, πρέπει να αξιολογήσει την κατανομή του διακένου σε εμπρός και πίσω διάκενο. Το εμπρός διάκενο αναφέρεται στη χωρική και χρονική απόσταση του προπορευόμενου οχήματος, ενώ το πίσω διάκενο αναφέρεται στην ίδια απόσταση από το ακολουθούμενο όχημα. Τα δυο αυτά επί μέρους διάκενα βοηθούν τον οδηγό να αποκτήσει μια καλύτερη αίσθηση της ασφάλειας στην επιλογή του διακένου, προκειμένου να εκτελέσει τον ελιγμό αλλαγής λωρίδας.

Το κρίσιμο διάκενο εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Τη σχετική ταχύτητα μεταξύ του οχήματος που επιχειρεί να αλλάξει λωρίδα και των οχημάτων στη λωρίδα στόχο.
- Το πρώτο διάκενο που αντιμετώπισε και απέρριψε ο οδηγός.
- Τον αριθμό απορριφθέντων διακένων στη διαδικασία αλλαγής λωρίδας.
- Το μήκος που απομένει για την εκτέλεση του ελιγμού στην περίπτωση της υποχρεωτικής αλλαγής λωρίδας.

- Τον αριθμό λωρίδων που πρέπει να διασχίσει ο οδηγός για να εκτελέσει τον ελιγμό αλλαγής λωρίδας.
- Τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν, ειδικότερα την πυκνότητα και την ταχύτητα.

Μια παράμετρος που συμπληρώνει το μοντέλο αλλαγής λωρίδας είναι η διορατικότητα των οδηγών. Ως διορατικότητα αναφέρεται η ικανότητα των οδηγών να αντιλαμβάνονται πολλαπλούς συνδέσμους κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους, ώστε εκ των προτέρων γνωρίζουν ποια λωρίδα πρέπει να επιλέξουν. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η δημιουργία τοπικής συμφόρησης και ουρών στα σημεία που είναι πιθανό να απαιτείται αλλαγή λωρίδας από ορισμένους οδηγούς.

2.4.3. Μοντέλα αποδοχής διακένων (gap acceptance models)

Οι περιοχές συμβολής και πλέξης του οδικού δικτύου χαρακτηρίζονται από σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οχημάτων. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές τείνουν να δημιουργούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, οι οποίες είναι δύσκολο να περιγραφούν από μαθηματικές σχέσεις με μεγάλη ακρίβεια.

Η συμβολή πραγματοποιείται στην περίπτωση που οχήματα από δυο ή περισσότερες λωρίδες ανάντι, μετακινούνται προς την κατάντι λωρίδα. Όταν ένας οδηγός καλείται να διασχίσει μια διασταύρωση ή να προχωρήσει στη συμβολή δύο οδών, επιβραδύνει μέχρι το σημείο από το οποίο μπορεί να αξιολογήσει με ασφάλεια τα διαθέσιμα διάκενα και στη συνέχεια να αποδεχθεί ένα και να εκτελέσει την κίνησή του. Η κίνησή του αυτή περιγράφεται από το μοντέλο συμβολής και διάσχισης, του οι παράμετροι είναι συνήθως οι εξής:

- Η απόσταση στην οποία ένα όχημα σταματά να επιβραδύνει και από την οποία αξιολογεί τα διάκενα.
- Ο ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός ανάλογα με τον οποίο, το όχημα που συμβάλλει θα προχωρήσει μπροστά από το ανταγωνιστικό όχημα και περιλαμβάνει και ένα περιθώριο ασφαλείας.
- Παράμετροι που αφορούν την υπομονή των οδηγών κατά τη διάρκεια αξιολόγησης των διαθέσιμων διακένων.

Ο ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός για τη διάσχιση και τη συμβολή, συνήθως καθορίζεται από μια κατανομή και εξαρτάται από τις ομάδες του πληθυσμού των οδηγών. Σε πολλές περιπτώσεις και πριν τη διάσχιση ή συμβολή, ο οδηγός καλείται να παραχωρήσει προτεραιότητα σε άλλα οχήματα. Ειδικότερα, το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν ένας οδηγός επιλέγει να εκτελέσει υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας και υποχρεούται να παραχωρήσει προτεραιότητα στα οχήματα της

λωρίδας προορισμού. Μια άλλη περίπτωση είναι κατά τη συμβολή, όταν ένα όχημα κινείται σε δρόμο προτεραιότητας αλλά παραχωρεί την προτεραιότητα σε ένα όχημα που προσπαθεί να συμβάλλει στη λωρίδα του από ένα άλλο τμήμα του δικτύου. Μια ακόμα περίπτωση είναι αυτή της στροφής, όπου ένα όχημα κινείται σε δρόμο με προτεραιότητα, αλλά παραχωρεί την προτεραιότητα σε ένα άλλο όχημα που επιχειρεί να στρίψει στη λωρίδα του από ένα κάθετο δρόμο σε μια διασταύρωση.

2.4.4. Συμπεριφορά σε ειδικές εγκαταστάσεις

Η συμπεριφορά των οδηγών σε ειδικές εγκαταστάσεις, περιλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο διέρχονται ή σταματούν σε χώρους όπως εγκαταστάσεις διοδίων, χώρους στάσης ή στάθμευσης κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους, κυκλικοί κόμβοι και άλλα.

Κατά τη διέλευση των οχημάτων από εγκαταστάσεις διοδίων, οι οδηγοί υποχρεούνται να μειώσουν την ταχύτητά τους, να σταματήσουν προκειμένου να πληρώσουν το προκαθορισμένο αντίτιμο και αμέσως μετά να συνεχίσουν τη διαδρομή τους. Ο χρόνος στάσης διαφέρει ανάλογα την κατηγορία του οχήματος και τον τύπο του οδηγού. Ένας υπομονετικός οδηγός είναι πολύ πιθανό να κινηθεί υπό τον περιορισμό του εκτιμώμενου χρόνου διέλευσης. Ένας λιγότερο υπομονετικός οδηγός, όμως, είναι πιθανό να επιχειρήσει μείωση του χρόνου παραμονής του στο χώρο των διοδίων και να επιταχύνει σε μεγαλύτερο βαθμό, προκειμένου να απομακρυνθεί πιο γρήγορα και να συνεχίσει τη διαδρομή του.

Αντίστοιχα, σε μια περιοχή στάσης ή σε ένα κυκλικό κόμβο, η συμπεριφορά των οδηγών επηρεάζει τον τρόπο προσέγγισης και απομάκρυνσης από αυτά. Το ποσοστό μείωσης της ταχύτητας κατά την προσέγγιση και η σταδιακή ή απότομη επιτάχυνση κατά την απομάκρυνση, μπορούν να αποτελέσουν ενδεικτικά στοιχεία αυτής της επιρροής. Είναι επίσης πιθανό, ο χρόνος παραμονής στις εγκαταστάσεις αυτές να ποικίλλει ανάλογα με το βαθμό επιθετικότητας των οδηγών.

2.4.5. Αντίδραση σε σήμανση, σηματοδότηση και συμβάντα

Η αντίδραση των οδηγών σε συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας, όπως φωτεινοί σηματοδότες, πινακίδες σήμανσης και άλλες πηγές πληροφόρησης των οδηγών, είναι ένα πολύ βασικό στοιχείο της μελέτης συμπεριφοράς των οδηγών κατά την προσομοίωση. Η εφαρμογή αυτής της μελέτης μπορεί να μεταφραστεί στις ακόλουθες παραμέτρους:

- Ποσοστό μείωσης της ταχύτητας σε σήματα παραχώρησης προτεραιότητας.
- Συμμόρφωση με τις ενδείξεις της φωτεινής σηματοδότησης σε διασταυρώσεις ή ράμπες

εισόδου.

- Εμπόδιση οχημάτων στη διασταύρωση λόγω αναγκαστικής στάσης στο μέσο αυτής.
- Αντίδραση στην πληροφορία από τις πινακίδες χρήσης των λωρίδων κυκλοφορίας.
- Στάση σε σημεία ύπαρξης της πινακίδας στάσης (stop).

Οι οδηγοί, προσεγγίζοντας συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, καλούνται να αντιδράσουν ανάλογα με το μήνυμα που θα λάβουν από αυτά και ανάλογα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο. Είναι αναμενόμενο, ένας οδηγός να συμμορφώνεται, για παράδειγμα, με τις ενδείξεις ενός φωτεινού σηματοδότη, αυτό όμως είναι πιθανό να μην ισχύει στην περίπτωση που ο οδηγός βρίσκεται σε πανικό. Αντίστοιχα, το ποσοστό μείωσης της ταχύτητας ενός οχήματος όταν προσεγγίζει ένα σήμα παραχώρησης προτεραιότητας, μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το βαθμό επιθετικότητας του οδηγού και το ίδιο μπορεί να συμβεί με τη στάση σε σήμα στάσης σε μια διασταύρωση. Επίσης, στην περίπτωση που λόγω έντονης κυκλοφοριακής συμφόρησης, ένα συμβάν αναγκάσει ένα όχημα να σταματήσει στο μέσο μιας διασταύρωσης, η συμπεριφορά του οδηγού μπορεί να είναι απρόβλεπτη. Η αντίδραση στην πληροφορία από τις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων είναι εξίσου σημαντική καθώς μπορούν να πληροφορήσουν τον οδηγό για συμβάντα που μπορεί να έχουν πραγματοποιηθεί και να έχουν άμεση επίπτωση στην κυκλοφοριακή ροή, όπως ένα ατύχημα που προκαλεί τον αποκλεισμό μιας λωρίδας από την κυκλοφορία.

3. Στόχος και μεθοδολογία της μελέτης

3.1. Στόχος της μελέτης

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς με τη μέθοδο της προσομοίωσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως στις ακραίες συνθήκες που επιβάλλει η εκκένωση μιας περιοχής λόγω κάποιας απειλής που μεταφράζεται σε φυσική ή ανθρωπογενής καταστροφή. Προκειμένου να μελετηθεί η οδηγική συμπεριφορά υπό αυτές τις ιδιαίτερες συνθήκες, πρέπει να δημιουργηθεί μια συνολική μεθοδολογία, που να υποθέτει ένα σενάριο εκκένωσης με αναφορά στο σχεδιασμό της εκκένωσης, και ένα σενάριο διερεύνησης των παραμέτρων της οδηγικής συμπεριφοράς, οι οποίες θα εξεταστούν ως προς την επίπτωσή τους στη διεξαγωγή της εκκένωσης.

Η μελέτη θα κινηθεί σε δύο στάδια. Αρχικά, θα εξεταστεί το βασικό σενάριο της μελέτης πάνω στο οποίο θα βασιστεί η εκκένωση και στη συνέχεια θα ακολουθήσει η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών. Έτσι, το πρώτο κομμάτι της μεθοδολογίας αφορά την οργάνωση και τη μέθοδο σχεδιασμού για την εκκένωση μιας συγκεκριμένης περιοχής, ενώ το δεύτερο κομμάτι αφορά τις παραμέτρους συμπεριφοράς των οδηγών που θα μελετηθούν. Σημαντικό είναι επίσης να γίνει αναφορά και στα εργαλεία που επιτρέπουν την ανάλυση και το σχεδιασμό της εφαρμογής, αλλά και οι περιορισμοί που επιτρέπουν τελικά, την εφαρμογή ενός τμήματος της αρχικής μεθοδολογίας.

3.2. Μεθοδολογία και σχεδιασμός εκκένωσης

Το πρώτο βήμα για την επίτευξη της μελέτης, αποτελεί η υπόθεση και περιγραφή ενός σεναρίου εκκένωσης μιας περιοχής που θα θέσει το πλαίσιο υλοποίησης της διερεύνησης της οδηγικής συμπεριφοράς. Οι ειδικές συνθήκες της μελέτης μεταφράζονται, όπως αναφέρθηκε, στις συνθήκες που επικρατούν κατά την εκκένωση μιας περιοχής, στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η εκκένωση, επιβάλλεται μέσα από την εξέλιξη ενός σεναρίου που υποθέτει ότι ένα γεγονός θέτει σε άμεσο κίνδυνο τον πληθυσμό μιας περιοχής. Με βάση το σενάριο αυτό, θα αναπτυχθεί και η μεθοδολογία της εκκένωσης της περιοχής που εκτίθεται σε κίνδυνο.

3.2.1. Σενάριο

Το σενάριο που επιβάλλει την εκκένωση μιας περιοχής, ξεκινά να εξελίσσεται με την εμφάνιση ενός συμβάντος, το οποίο αποτελεί κίνδυνο για τον πληθυσμό της περιβάλλουσας περιοχής. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, επιλέχθηκε το συμβάν να σχετίζεται με το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών “Δημόκριτος” που περιλαμβάνει ερευνητικά πυρηνικά ινστιτούτα, γεγονός το

οποίο μπορεί να πυροδοτήσει την υπόθεση ενός σεναρίου εκκένωσης. Επιλέγοντας το κέντρο αυτό ως πηγή δημιουργίας της ανάγκης για εκκένωση, η περιοχή που πλήττεται άμεσα και στην οποία θα εφαρμοστεί η εκκένωση, είναι ένα τμήμα του Δήμου Αγίας Παρασκευής, Αττικής.

3.2.2. Σχεδιασμός εκκένωσης

Ο σχεδιασμός της εκκένωσης μιας περιοχής, διευκολύνεται σημαντικά, με τη χρήση της κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Αυτό συμβαίνει, καθώς η προσομοίωση, επιτρέπει την ανάλυση με συνδυασμό όλων των απαιτούμενων παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό της εκκένωσης. Επίσης, με την πολλαπλή εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης για διαφορετικές συνθήκες κατά περίπτωση, είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων και ο εντοπισμός των κρίσιμων σημείων στο δίκτυο.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κυκλοφοριακή προσομοίωση στο σχεδιασμό εκκένωσης μιας περιοχής, προϋποθέτει τη δημιουργία ενός δικτύου μελέτης της περιοχής αλλά και τη χρήση κυκλοφοριακών δεδομένων όπως δεδομένα προέλευσης και προορισμού καθώς και μοντέλα συμπεριφοράς των οδηγών σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το κομμάτι της προσομοίωσης, θα πρέπει να υλοποιηθούν τα ακόλουθα στάδια:

- Καθορισμός της έκτασης της περιοχής εκκένωσης.
- Επιλογή μοντέλου προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθεί.
- Δημιουργία του δικτύου που προκύπτει από το οδικό δίκτυο της περιοχής εκκένωσης και στο οποίο θα εφαρμοστεί η προσομοίωση.
- Καθορισμός των παραμέτρων που προκύπτουν από το μοντέλο προσομοίωσης και σχετίζονται με τους οδηγούς και τις μετακινήσεις.
- Φόρτιση του δικτύου με τις μετακινήσεις που ορίζονται από το μητρώο προέλευσης και προορισμού.
- Εφαρμογή της προσομοίωσης και συλλογή των αποτελεσμάτων.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και μοντέλων.

Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αποτελεί ένα από τα βασικότερα στάδια, καθώς από εκεί θα προκύψουν τα αποτελέσματα της μελέτης εκκένωσης που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, όπως για παράδειγμα οι χρόνοι εκκένωσης και η επίδραση της συμπεριφοράς των οδηγών σε αυτούς.

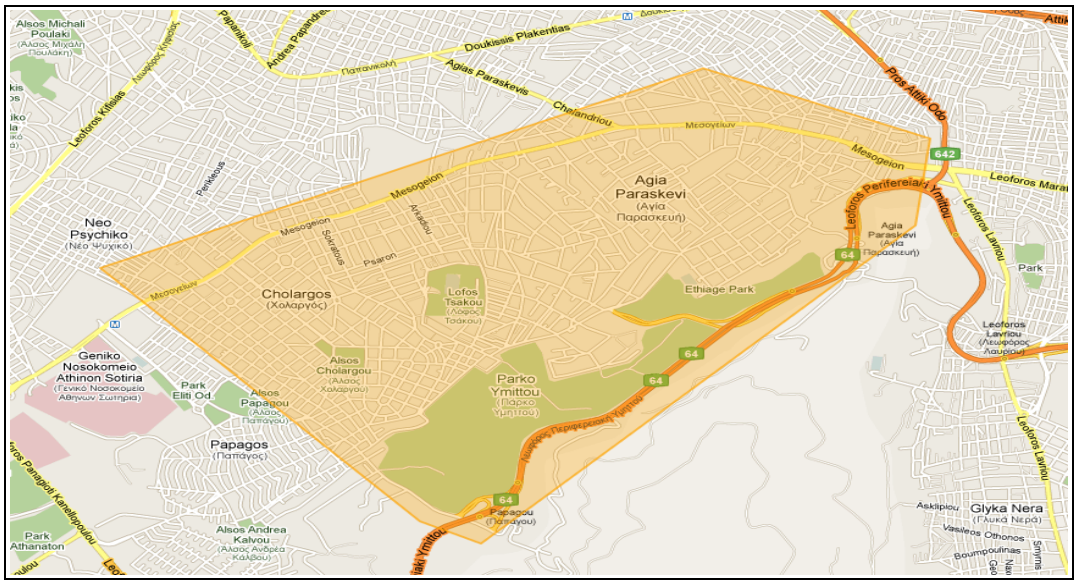
Όσα από τα στάδια που αναφέρθηκαν αφορούν το υπολογιστικό κομμάτι της προσομοίωσης, θα

μελετηθούν πιο αναλυτικά στη συνέχεια. Η ανάλυση του καθορισμού της περιοχής εκκένωσης και της φόρτισης του δικτύου με τις προβλεπόμενες μετακινήσεις, περιλαμβάνονται στο κεφάλαιο που αφορά την εφαρμογή της εκκένωσης.

Θεωρήθηκε ότι το σενάριο βασίζεται σε ενδεχόμενο πυρηνικό ατύχημα που προέρχεται από το κέντρο ερευνών "Δημόκριτος". Με βάση την υπόθεση αυτή, θα διαμορφωθεί ο σχεδιασμός της εκκένωσης σε ό,τι αφορά την περιοχή εκκένωσης, τις ασφαλείς ζώνες και άλλα σχετικά μεγέθη. Ο ίδιος ο σχεδιασμός βασίζεται στα στοιχεία που περιγράφηκαν αναλυτικά στο *Κεφάλαιο 2*, δηλαδή, τη ζώνη σχεδιασμού της εκκένωσης και τις ασφαλείς ζώνες, τα πληθυσμιακά στοιχεία και τη μεθοδολογία εξέλιξης της εκκένωσης.

Ζώνη σχεδιασμού εκκένωσης

Θεωρώντας ότι το σενάριο περιλαμβάνει εκκένωση λόγω μικρής πυρηνικής δραστηριότητας, υπολογίζεται ότι η περιοχή εκκένωσης εκτείνεται 2 km περιμετρικά των εγκαταστάσεων του κέντρου ερευνών. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτή η έκταση συνδέεται με την ισχύ του πυρηνικού αντιδραστήρα που διαθέτει το κέντρο ερευνών. Με βάση άλλες μελέτες, ένα σχέδιο εκκένωσης για τέτοιου είδους συμβάντα και αντιδραστήρα ισχύος διπλάσιας από την ισχύ του αντιδραστήρα στο κέντρο ερευνών, απαιτείται εκκένωση περιοχής 4-5 km περιμετρικά των εγκαταστάσεων [*Rontiris and Crous,* 2000]. Η υπόθεση αυτή, οδηγεί στον ορισμό της περιοχής εκκένωσης με τον τρόπο που απεικονίζεται στην *Εικόνα 5.1.*



Εικόνα 3.1.: Χάρτης όπου η περιοχή εκκένωσης απεικονίζεται με διαγράμμιση πορτοκαλί χρώματος.

Πηγή: Google maps.

Η ζώνη αυτή δεν ορίστηκε με τον τρόπο αυτό μόνο για το λόγο ότι θα επηρεαστεί άμεσα από ένα πιθανό ατύχημα, αλλά ορίστηκε να είναι λίγο μεγαλύτερη. Ο λόγος για τον οποίο η περιοχή εκκένωσης είναι μεγαλύτερη, είναι ότι σε συνθήκες εκκένωσης, το αίσθημα της ανασφάλειας που επέρχεται στους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής, είναι πιθανό να οδηγήσει σε εκκένωση και από την πλευρά των κατοίκων αυτών. Η μετακίνηση αυτού του πληθυσμού θα έχει άμεση επίπτωση στις κυκλοφοριακές συνθήκες και για το λόγο αυτό συνυπολογίζεται στη μετακίνηση του άμεσα πληττόμενου πληθυσμού.

Πληθυσμιακά στοιχεία

Σε ένα δεύτερο στάδιο, πρέπει να συγκεντρωθεί η πληροφορία που αφορά τον πληθυσμό της περιοχής σε διάφορες φάσεις της ημέρας, καθώς η εντολή για εκκένωση μπορεί να δοθεί από τις αρχές κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας. Εφόσον η περιοχή αποτελεί περιοχή γενικής κατοικίας, η σύσταση του πληθυσμού ποικίλλει με την παρέλευση της ημέρας. Κατά τη διάρκεια των εργάσιμων ωρών, ο πληθυσμός μπορεί να αποτελείται περισσότερο από εργαζόμενους που κατοικούν σε άλλη περιοχή, ενώ οι ίδιοι μπορεί να διαθέτουν ή όχι κάποιο όχημα μεταφοράς. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί στην περίπτωση που υπάρχουν άνθρωποι οι οποίοι δε διαθέτουν κάποιο μέσο μεταφοράς, η εκκένωση πρέπει να σχεδιαστεί με διαφορετικό τρόπο ώστε να συμπεριλάβει την εμπλοκή μέσων μαζικής μεταφοράς.

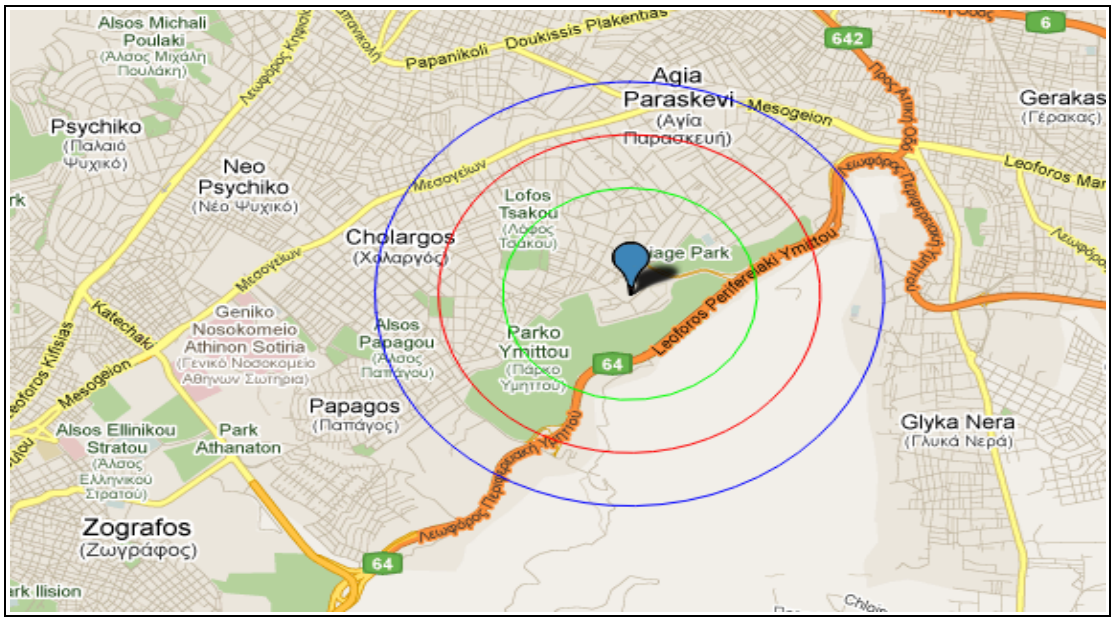
Αντίστοιχα, για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της νύχτας, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού αποτελείται από κατοίκους της περιοχής, οι περισσότεροι από τους οποίους διαθέτουν κάποιο μέσο μεταφοράς. Λόγω όμως του χαρακτηρισμού της περιοχής ως γενικής κατοικίας, πάλι θα υπάρχει πληθυσμός σε χώρους νυχτερινής εργασίας ή διασκέδασης που δε θα έχει τη δυνατότητα μετακίνησης, θα είναι όμως μικρότερος. Σε κάθε περίπτωση, ο σχεδιασμός θα βασιστεί στα στοιχεία αυτά που προκύπτουν από στατιστικές έρευνες.

Μέθοδος σχεδιασμού και εξέλιξης της εκκένωσης

Η μέθοδος σχεδιασμού της εκκένωσης, θα βασιστεί στις μεθόδους που περιγράφηκαν στο *Κεφάλαιο 1*. Η βασική μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι η μέθοδος που βασίζεται στη διαχείριση της κυκλοφορίας, θα περιλαμβάνει όμως και στοιχεία επιλογής της διαδρομής και συμπεριφοράς των οδηγών.

Η εφαρμογή της εκκένωσης θα πραγματοποιηθεί κατά στάδια, δηλαδή, ένα τμήμα του πληθυσμού θα ξεκινήσει την εκκένωση σε μια χρονική στιγμή, μετά από ένα διάστημα θα ακολουθήσει ένα άλλο τμήμα του πληθυσμού και ούτω καθεξής. Η πρώτη ζώνη θα είναι η έκταση που απέχει 1 km από το κέντρο ερευνών και εκτείνεται περιμετρικά από αυτό. Η δεύτερη ζώνη απέχει 1,5 km από το κέντρο ερευνών και η τρίτη ζώνη απέχει 2 km από το κέντρο ερευνών. Η απεικόνιση των ζωνών

αυτών παρουσιάζεται στην *Εικόνα 3.2.* Η χρονική απόσταση μεταξύ των τριών ζωνών, επιλέγεται να είναι 30 λεπτά, ώστε να διατίθεται κάποιος χρόνος για λήψη αποφάσεων και προετοιμασία από τους κατοίκους. Πιο αναλυτικά, το χρονικό περιθώριο των 30 λεπτών, πρακτικά σημαίνει ότι από τη στιγμή που ξεκινά την εκκένωση ο πληθυσμός της πρώτης ζώνης, παρέρχονται 30 λεπτά και στη συνέχεια ξεκινά να εκκενώνει ο πληθυσμός της δεύτερης ζώνης και στη συνέχεια ακολουθεί ο πληθυσμός της τρίτης ζώνης.



Εικόνα 3.2.: Στάδια εκκένωσης. Με πράσινο κύκλο απεικονίζεται το πρώτο στάδιο, με κόκκινο το δεύτερο στάδιο και με μπλε το τρίτο στάδιο εκκένωσης.

Πηγή: Google maps.

Ο σχεδιασμός, θα συνεχιστεί με τον ορισμό των ασφαλών ζωνών προς τις οποίες θα κατευθυνθούν οι άνθρωποι που θα εκκενώσουν την περιοχή. Οι περιοχές στις οποίες θα μεταφερθεί ο πληθυσμός μπορεί να εξαρτώνται από τους ίδιους τους κατοίκους ή να έχουν καθοριστεί από την πολιτεία με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, έχει καθοριστεί ότι ο πληθυσμός θα μετακινηθεί προς το Ζωγράφο, το Νέο Ψυχικό, το Χαλάνδρι και το Γέρακα.

Προκειμένου να μετακινηθεί ο πληθυσμός προς τις περιοχές αυτές, είναι απαραίτητο οι κινήσεις να διοχετευτούν από τους μικρούς συνοικιακούς δρόμους στις κεντρικές αρτηρίες της ευρύτερης περιοχής, όπως η Λεωφόρος Μεσογείων, η Λεωφόρος Λαυρίου, η Λεωφόρος Περιφερειακή Υμηττού και η Αττική Οδός. Για να προσεγγίσουν οι οδηγοί τις οδούς που προαναφέρθηκαν, θα κινηθούν πρωτίστως και για λόγους ασφαλείας, στη Λεωφόρο Μεσογείων. Η επιλογή αυτή,

επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο των μετακινήσεων, αφού προσφέρει πρόσβαση στις άλλες οδικές αρτηρίες, ενώ αποτρέπει τον αποκλεισμό του πληθυσμού στους στενούς αστικούς δρόμους. Επίσης, στην περίπτωση κάποιου έκτακτου συμβάντος, όπως ένα ενδεχόμενο ατυχήματος, είναι ευκολότερη η διαχείριση της κυκλοφορίας σε μια οδό έξι λωρίδων, παρά σε ένα στενό δρόμο μιας λωρίδας. Σε μια τέτοια περίπτωση, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές που θα διευκολύνουν την εκκένωση, όπως η επιτρεπόμενη κίνηση προς μια κατεύθυνση και στις έξι λωρίδες της οδού.

3.3. Ανάλυση συμπεριφοράς οδηγών

Η συμπεριφορά των οδηγών είναι ένα από τα στοιχεία που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη της εκκένωσης. Η ψυχραιμία με την οποία αυτή θα εκτελεστεί, η διαδρομή που θα ακολουθήσουν τελικά οι οδηγοί και το ποσοστό συμμόρφωσής τους σε οδικούς κανόνες και οδηγίες, εξαρτώνται από την ανθρώπινη συμπεριφορά. Η ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς έχει ως στόχο τη μελέτη της επιθετικότητας των οδηγών σε σχέση με την έκβαση μιας επιχείρησης εκκένωσης.

Η ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς θα ακολουθήσει την ανάλυση που παρουσιάστηκε στο *Κεφάλαιο 4.* Πιο συγκεκριμένα, για τις συνθήκες της εκκένωσης, θα πρέπει να εξεταστούν ξεχωριστά όλες οι παράμετροι της συμπεριφοράς των οδηγών, αλλά κυρίως η επίδραση που έχει κάθε μία από αυτές στη διεξαγωγή της κυκλοφορίας. Τα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς που θα εξεταστούν, είναι τα ακόλουθα:

- Επιτάχυνση
- Αλλαγή λωρίδας
- Προσέγγιση, διάσχιση διασταυρώσεων
- Συμπεριφορά σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας

Για κάθε μοντέλο, όπως αυτό περιγράφεται και εφαρμόζεται από το εργαλείο προσομοίωσης, θα πραγματοποιηθεί μεταβολή στις παραμέτρους που το χαρακτηρίζουν. Με βάση αυτές τις αλλαγές, θα διαπιστωθεί η επίπτωση κάθε μιας στην κυκλοφοριακή ροή και κατ' επέκταση στην εξέλιξη της εκκένωσης. Οι επιπτώσεις, θα γίνουν φανερές με την εκτίμηση μέσω προσομοίωσης κυκλοφοριακών μεγεθών όπως οι φόρτοι, οι καθυστερήσεις, οι χρόνοι διαδρομής και οι διαχωρισμοί.

Μοντέλο επιτάχυνσης

Οι παράμετροι που θα μεταβληθούν στο μοντέλο επιτάχυνσης θα αφορούν το καθεστώς της

ακολουθίας οχημάτων και περιλαμβάνονται στη βασική μαθηματική σχέση (2.5) που περιγράφει το μοντέλο επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

$$A_i^{\pm}[t+\Delta t]=\alpha^{\pm}\frac{V_i^{\beta\pm}[t]}{D_{i,i-1}^{\gamma\pm}[t]}(V_{i-1}[t]-V_i[t])+\varepsilon_i^{CF} \qquad (2.5)$$

$A_i^{\pm}[t+\Delta t]=$ *Ρυθμός επιτάχυνσης του οχήματος i.*

$V_i[t]=$ *Ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος i.*

$V_{i-1}[t]=$ *Ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος i − 1.*

$D_{i,i-1}^{\gamma\pm}[t]=$ *Απόσταση μεταξύ του υποκείμενου και του προπορευόμενου οχήματος.*

$\alpha^{\pm}, \beta^{\pm}, \gamma^{\pm}=$ *Παράμετροι του μοντέλου.*

$\varepsilon_i^{CF}=$ *Παράγοντας σφάλματος για το συγκεκριμένο όχημα.*

Οι παράμετροι α, β και γ του μοντέλου, θα μεταβληθούν κατά 10%, 20%, 30% και 40%, ώστε να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις κάθε μεταβολής στη ροή της εκκένωσης.

Μία ακόμα παράμετρος που θα μεταβληθεί θα είναι ο χρονικός διαχωρισμός. Η μεταβολή θα πραγματοποιηθεί ως αλλαγή της κατανομής των οδηγών που τηρούν διαφορετικά άνω και κάτω όρια διαχωρισμού.

Με τις αλλαγές αυτές εκφράζεται μια πτυχή της οδηγικής επιθετικότητας, αφού η μεταβολή των παραμέτρων γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι οδηγοί να επιταχύνουν περισσότερο και να πλησιάζουν περισσότερο τα προπορευόμενα οχήματα σε καθεστώς ακολουθίας οχημάτων.

Μοντέλο αλλαγής λωρίδας

Για το μοντέλο αλλαγής λωρίδας, θα εξεταστεί η περίπτωση της κατ' επιλογήν αλλαγής λωρίδας. Θα επιλεγεί ένα από τα μοντέλα επιλογής λωρίδας, είτε το μοντέλο γειτονικής λωρίδας (neighboring lane model), είτε το μοντέλο επιλεγμένης λωρίδας (target lane model). Από τα μοντέλα αυτά, οι παράμετροι που έχει νόημα να μεταβληθούν είναι οι ακόλουθες:

Μοντέλο γειτονικής λωρίδας:

- Παράγοντας που καθορίζει την ανάγκη για αλλαγή της διαδρομής.
- Ελάχιστη βελτίωση ταχύτητας.
- Μήκος του ανοιχτού χώρου ανάμεσα στο υποκείμενο όχημα και το επόμενο όχημα κατάντι στη λωρίδα.

Μοντέλο επιλεγμένης λωρίδας:

- Συντελεστής για την απόσταση μεταξύ του υποκείμενου και του προπορευόμενου οχήματος.
- Παράγοντας θ (theta), για την υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας.
- Εγγύτητα του υποκείμενου οχήματος προς το προπορευόμενο όχημα.

Σε ό,τι αφορά το μοντέλο αποδοχής διακένων, θα επιλεχθεί ένα από τα τρία μοντέλα αποδοχής διακένων και ανάλογα με την επιλογή θα εξεταστεί η μεταβολή συγκεκριμένων παραμέτρων. Και για τα τρία μοντέλα αποδοχής διακένων, οι παράμετροι μελέτης είναι το εμπρός και το πίσω διάκενο, που εκφράζονται με τον όρο g στις σχέσεις που περιγράφουν τα μοντέλα αποδοχής διακένων.

Μοντέλο αποδοχής διακένων

Για το μοντέλο προσέγγισης και διάσχισης των διασταυρώσεων, οι παράμετροι της οδηγικής επιθετικότητας που θα εξεταστούν ως προς την επιρροή τους στη διεξαγωγή της εκκένωσης είναι οι ακόλουθες:

- Κατανομή των οδηγών ως προς την επιλογή των χρονικών διαχωρισμών για τη συμβολή και διάσχιση.
- Πιθανότητα ένα όχημα να παραχωρήσει προτεραιότητα σε άλλα οχήματα όταν αλλάζει λωρίδα, συμβάλλει ή πραγματοποιεί στροφή.

Η κατανομή των οδηγών εξετάζεται, καθώς η επιθετικότητα εκφράζεται ως αύξηση του ποσοστού των οδηγών που επιλέγουν μικρότερους διαχωρισμούς κατά τη ροή της κίνησής τους. Έτσι, για τις δοκιμές, θα πραγματοποιηθεί σταδιακή αύξηση αυτού του ποσοστού και μέσα από τις προσομοιώσεις θα διαπιστωθεί η επίδραση σε κυκλοφοριακά μεγέθη και κατ' επέκταση στις συνθήκες που επηρεάζουν τη διεξαγωγή της εκκένωσης.

Η πιθανότητα ένα όχημα να παραχωρήσει την προτεραιότητα σε άλλα οχήματα, αν μειωθεί, το γεγονός αυτό θα αποδεικνύει την αύξηση της επιθετικότητας των οδηγών και μπορεί σε συνθήκες εκκένωσης να μειώσει το χρόνο διαδρομής ή τη δημιουργία ουρών. Είναι όμως πιθανό να δημιουργήσουν συνθήκες που ευνοούν τη εμφάνιση ατυχημάτων.

Μοντέλο συμπεριφοράς σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας

Η επιθετικότητα των οδηγών σε σχέση με τη συμπεριφορά τους σε συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας πρέπει επίσης να μελετηθεί ως προς την επίδραση στην έκβαση της εκκένωσης. Και στην περίπτωση αυτή, οι παράμετροι που θα μεταβληθούν για να διαπιστωθεί η επίδρασή τους σε κυκλοφοριακά μεγέθη είναι οι ακόλουθες:

- Ποσοστό μείωσης της επιθυμητής ταχύτητας σε σήματα παραχώρησης προτεραιότητας.
- Μέγιστη απόσταση για παραβίαση του κανόνα χρήσης της λωρίδας κυκλοφορίας.
- Ελάχιστη και μέγιστη απόσταση αντίδρασης σε σήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας.
- Κατανομή των οδηγών ως προς την επιλογή του χρόνου αναμονής στα σήματα στάσης (stop).

Το ποσοστό μείωσης της ταχύτητας στα σήματα παραχώρησης προτεραιότητας θα μειωθεί κατά 10%, 20%, 30% και θα διαπιστωθεί η επίδραση που επιφέρει σε κυκλοφοριακά μεγέθη μέσα από πειράματα προσομοίωσης. Με τον ίδιο τρόπο θα μελετηθούν η απόσταση για παραβίαση του κανόνα χρήσης λωρίδας και οι αποστάσεις αντίδρασης στα σήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Η κατανομή των οδηγών για το χρόνο στάσης, θα μεταβληθεί σταδιακά διατηρώντας την τάση συγκέντρωσης του μεγαλύτερου ποσοστού των οδηγών σε χαμηλούς χρόνους αναμονής.

3.4. Εργαλεία ανάλυσης και σχεδιασμού

Αναφέρθηκε ότι για την εφαρμογή που αφορά την εκκένωση μιας περιοχής, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή της μελέτης, θα είναι η προσομοίωση. Θα πρέπει όμως να επιλεχθεί ένα από τα μοντέλα κυκλοφοριακής προσομοίωσης: μακροσκοπικό, μεσοσκοπικό ή μικροσκοπικό.

Λαμβάνοντας υπόψη τα θετικά και αρνητικά στοιχεία που παρουσιάζει καθένα από τα μοντέλα προσομοίωσης, θα πρέπει να επιλεχθεί εκείνο ή εκείνα που περιγράφουν καλύτερα τον επιθυμητό τρόπο παρουσίασης της εκκένωσης.

Στην περίπτωση που επιλέγεται η περιγραφή της εκκένωσης από ένα μακροσκοπικό μοντέλο, οι κινήσεις των οχημάτων θα περιγράφονται ως ενιαίο ρεύμα, πράγμα το οποίο δεν εξυπηρετεί το σκοπό της μελέτης, αφού κυριότερος στόχος είναι ο καλός σχεδιασμός της εκκένωσης με τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε όχημα να απομακρύνεται από την επικίνδυνη περιοχή μελέτης (Emergency Planning Zone, EPZ), ακολουθώντας ορισμένα κριτήρια, όπως η συντομότερη χρονικά διαδρομή. Είναι προφανές, ότι η επιλογή ενός μακροσκοπικού μοντέλου δεν είναι κατάλληλη, καθώς απαιτείται μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην περιγραφή των κινήσεων στο δίκτυο.

Ένα μεσοσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης, προσφέρει μεγαλύτερη λεπτομέρεια, που είναι

απαραίτητη για την εφαρμογή της εκκένωσης, και συνεπώς μπορεί να περιγράψει τις κινήσεις των οχημάτων με τρόπο πλησιέστερο στον επιθυμητό. Παρέχει τη δυνατότητα για προσομοίωση μεγάλων δικτύων με πολλές εναλλακτικές και επιτρέπει μελέτες μεγάλου χρονικού ορίζοντα. Είναι πιθανό όμως, και πάλι να μην παρέχει την απαιτούμενη λεπτομέρεια για το σχεδιασμό.

Στην περίπτωση που επιλέγεται ένα μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης, οι κινήσεις περιγράφονται με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια, επιτρέποντας πολύ λεπτομερείς αναλύσεις των οχημάτων, των κινήσεων και των επιλογών διαδρομής, πράγμα το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το σχεδιασμό της εκκένωσης. Βάσει των δυναμικών και χρονο-εξαρτώμενων μητρώων προέλευσης και προορισμού, αναπαρίσταται η διακύμανση της ζήτησης λόγω ειδικών συμβάντων όπως η εκκένωση. Όμως, ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, η υπολογιστική ισχύς αλλά και ο όγκος των δεδομένων που απαιτούνται, είναι πολύ πιθανό να μην είναι διαθέσιμα. Επίσης, είναι πιθανό, τα αποτελέσματα να είναι πολύ πιο λεπτομερή από τα επιθυμητά, σε βαθμό που αυτά να μη μπορούν να αξιοποιηθούν.

Η καλύτερη λύση για τον τρόπο αναπαράστασης και το σχεδιασμό της εκκένωσης είναι η χρήση ενός υβριδικού μοντέλου που θα περιλαμβάνει στοιχεία τόσο του μεσοσκοπικού μοντέλου, όσο και του μικροσκοπικού. Η επιτυχία αυτού του συνδυασμού βρίσκεται στο γεγονός ότι τα τμήματα στα οποία απαιτείται εξέταση με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, όπως ένα έκτακτο συμβάν, ή η συμπεριφορά των οδηγών σε κάποιο ιδιαίτερο σημείο του δικτύου, μελετώνται μικροσκοπικά, ενώ το υπόλοιπο δίκτυο, μελετάται μεσοσκοπικά.

Η χρήση αυτού του εργαλείου επιτρέπει επίσης την εμπλοκή μέσων μαζικής μεταφοράς για την εκκένωση, αλλά πάνω από όλα περιγράφει τις κινήσεις των οχημάτων με μεγάλη ακρίβεια, η οποία απαιτείται για τη λεπτομερή εξέταση της επιθετικότητας των οδηγών στη διεξαγωγή της εκκένωσης της περιοχής μελέτης.

Το θέμα της μελέτης της συμπεριφοράς των οδηγών, προϋποθέτει, χωρίς αμφιβολία, τη χρήση ενός μοντέλου που περιγράφει σε μεγάλο βαθμό και με μεγάλη λεπτομέρεια μεμονωμένες κινήσεις οχημάτων και τις επιλογές τους κατά τη διάρκεια των διαδρομών. Από τα μοντέλα που αναλύθηκαν, είναι προφανές ότι τα μόνα μοντέλα που θα μπορούσαν να περιγράψουν τα φαινόμενα αυτά, παρέχοντας τα επιθυμητά αποτελέσματα, είναι τα μεσοσκοπικά και μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης.

Οι απαιτήσεις της μελέτης επικεντρώνονται σε ένα πολύ σημαντικό στοιχείο. Το στοιχείο αυτό, είναι ο τρόπος με τον οποίο περιγράφονται οι κινήσεις και οι επιλογές των οδηγών στην περίπτωση κάποιου έκτακτου συμβάντος, το οποίο αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τη ζήτηση για μετακίνηση. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις κινήσεις αυτές και τις επιλογές των οδηγών κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων, θα πρέπει να εξεταστούν τα παρακάτω μοντέλα, τα οποία και περιγράφονται

αναλυτικά στο *Κεφάλαιο 2*:

- Επιλογή της διαδρομής.
- Ακολουθία οχημάτων.
- Αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας.
- Προσέγγιση, διάσχιση διασταυρώσεων.
- Συμπεριφορά σε ειδικές εγκαταστάσεις.
- Ανταπόκριση σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας.

Τα παραπάνω σημεία, μπορούν να μελετηθούν παρά μόνο με τη χρήση μικροσκοπικών μοντέλων προσομοίωσης [*Hidas,* 2002]. Αυτός είναι και ένας επιπλέον λόγος, μαζί τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στην *Παράγραφο 1.4.3,* για τον οποίο, στη μελέτη που αφορά τη συμπεριφορά οδηγών και κατά τη διάρκεια της εκκένωσης, επιλέγεται η χρήση ενός μικροσκοπικού μοντέλου κυκλοφοριακής προσομοίωσης.

Επιπλέον, η μικροσκοπική προσομοίωση στη μελέτη συμπεριφοράς του οδηγού, προσφέρει το πλεονέκτημα της περιγραφής της συμπεριφοράς των οδηγών πριν την έναρξη της διαδρομής. Προσφέρει επίσης, τη δυνατότητα επιλογής και αλλαγής της διαδρομής κατά τη διάρκεια της μετακίνησης, αλλά και τη δυνατότητα ελέγχου της επιθετικότητας των οδηγών ως προς την οδήγηση και προσαρμογή σε σήματα και υποδείξεις [*Αντωνίου Κ.* 2009].

Για το σχεδιασμό της εκκένωσης και την ανάλυση της συμπεριφοράς των οδηγών, το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο μικροσκοπικός κυκλοφοριακός προσομοιωτής TransModeler. Ο προσομοιωτής αυτός, επιτρέπει τη μικροσκοπική προσομοίωση και επομένως την ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς με τη χρήση μοντέλων.

Με τη χρήση του προσομοιωτή αυτού, η οργάνωση της εκκένωσης μπορεί να υλοποιηθεί, εφαρμόζοντας μοντέλα κυκλοφοριακής ροής. Η αναπαράσταση της εκκένωσης θα πραγματοποιηθεί με ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ακριβείας και συστήματα διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας.

3.5. Περιορισμοί

Προκειμένου να εφαρμοστεί πειραματικά η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την εκκένωση αλλά και η μελέτη της επίδρασης της επιθετικότητας των οδηγών, απαιτείται η συλλογή πολλών διαφορετικών δεδομένων, αλλά και η εκτέλεση ενός πολύ μεγάλου αριθμού προσομοιώσεων, προκειμένου να ληφθούν τα απαραίτητα αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν το συσχετισμό αυτό.

Η συλλογή των στοιχείων αυτών δεν είναι εύκολη, καθώς δεν διατίθενται πάντα στοιχεία όπως λεπτομερές οδικό υπόβαθρο. Επίσης, είναι εξαιρετικά δύσκολο να συλλεχθούν λεπτομερή στοιχεία για τον ακριβή πληθυσμό της περιοχής και την κατανομή του σε μόνιμο και εργαζόμενο ώστε να διαφοροποιείται η μελέτη εκκένωσης κατά τη διάρκεια της μέρας ή της νύχτας. Επίσης είναι δύσκολη η συλλογή στοιχείων σε σχέση με την ακριβή οικονομική κατάσταση κάθε νοικοκυριού, ώστε να υπάρχουν στοιχεία για την ικανότητα μετακίνησης του πληθυσμού σε ένα σενάριο εκκένωσης.

Μια ακόμα δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι ο υπολογιστικός όγκος για την πραγματοποίηση όλων των πειραμάτων που αναφέρθηκαν για τη μελέτη της επίδρασης της επιθετικότητας των οδηγών στην έκβαση μιας εκκένωσης, είναι εξαιρετικά μεγάλος και χρονοβόρος. Για τους λόγους αυτούς, η μεθοδολογία που αναλύθηκε θα χρησιμοποιηθεί ως βάση και πηγή έμπνευσης της πειραματικής διαδικασίας που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

4. Εφαρμογή στο λογισμικό TransModeler

4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλυθούν τα στοιχεία που αφορούν την πειραματική εφαρμογή και τον τρόπο με τον οποίο αυτή θα υλοποιηθεί ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα που απαιτούνται για τη μελέτη της επίδρασης της συμπεριφοράς των οδηγών στην εκκένωση μιας περιοχής. Η πειραματική εφαρμογή, θα πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο της προσομοίωσης και με τη χρήση του λογισμικού κυκλοφοριακής προσομοίωσης TransModeler, επομένως, πρέπει να δημιουργηθούν τα κατάλληλα σενάρια που θα αποτελέσουν τις βάσεις για τις προσομοιώσεις. Κάθε σενάριο θα πρέπει να περιλαμβάνει τη μεταβολή διαφορετικών παραμέτρων σε ορισμένα επίπεδα, ώστε οι συνδυασμοί που προκύπτουν να παρέχουν διαφορετικά αποτελέσματα. Οι παράμετροι αυτές αφορούν μεγέθη όπως ο φόρτος του οδικού δικτύου μελέτης και ορισμένα από τα μεγέθη που περιγράφουν τη συμπεριφορά των οδηγών και στοχεύουν στην περιγραφή οδηγών περισσότερο επιθετικών λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν. Πραγματοποιήθηκε η επιλογή τεσσάρων παραμέτρων οδηγικής συμπεριφοράς, ώστε να διαπιστωθεί πόσο αυτές επιδρούν σε κρίσιμα κυκλοφοριακά μεγέθη που λαμβάνονται υπόψη σε μια μελέτη εκκένωσης, όπως οι καθυστερήσεις και οι ουρές που δημιουργούνται στο οδικό δίκτυο. Με βάση αυτές τις παραμέτρους, θα περιγραφεί στη συνέχεια ο πειραματικός σχεδιασμός, ο οποίος και θα εφαρμοστεί. Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την πειραματική διαδικασία καθώς και η αξιολόγησή τους.

4.2. Το λογισμικό TransModeler

Το λογισμικό TransModeler είναι ένας προσομοιωτής κυκλοφοριακής ροής, ο οποίος επιτρέπει την εφαρμογή μικροσκοπικής, μεσοσκοπικής και μακροσκοπικής ανάλυσης και μπορεί να αναπαριστά όλες τις τεχνικές λεπτομέρειες ενός οδικού δικτύου, που είναι απαραίτητες για τη λεπτομερή μελέτη του δικτύου. Η κυκλοφοριακή ροή αναπαρίσταται με μεμονωμένους οδηγούς και οχήματα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια της διαδρομής από την προέλευση μέχρι τον προορισμό τους. Η ζήτηση αναπαρίσταται συνολικά με ένα μητρώο Προέλευσης και Προορισμού των διαδρομών ή με αναλυτική λίστα μεμονωμένων διαδρομών, κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από προέλευση, προορισμό και ώρα αναχώρησης.

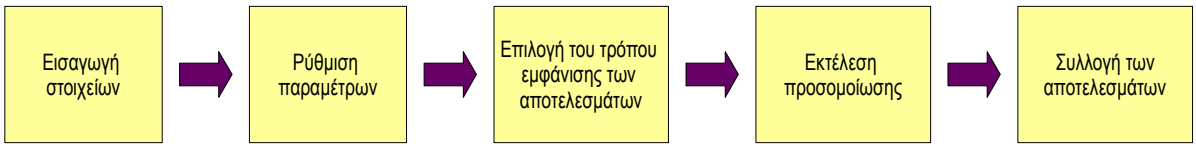
Ανάλογα με τα δεδομένα του δικτύου, το λογισμικό TransModeler, χρησιμοποιεί μια ευρεία συλλογή μοντέλων για την προσομοίωση της οδηγικής συμπεριφοράς στο δίκτυο. Τα μοντέλα αυτά,

βασίζονται σε βαθμονομημένες και αξιόπιστες παραμέτρους που περιγράφουν διαφορετικά στοιχεία της οδηγικής συμπεριφοράς, όπως η επιλογή της διαδρομής, η αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας, η επιτάχυνση και επιβράδυνση, αλλά και οι αντιδράσεις σε σήματα διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας.

Μέσω της προσομοίωσης, συλλέγονται χρήσιμες πληροφορίες από τα οχήματα του δικτύου, όπως στατιστικά στοιχεία που αφορούν κυκλοφοριακά μεγέθη, και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία παραγώγων όπως χάρτες της κυκλοφοριακής ροής.

Η προετοιμασία για την προσομοίωση περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Εισαγωγή στοιχείων.
- Ρύθμιση παραμέτρων.
- Επιλογή του τρόπου εμφάνισης των αποτελεσμάτων.



Τα στοιχεία μπορεί να περιλαμβάνουν από δεδομένα προέλευσης και προορισμού των διαδρομών, μέχρι σύνθετες διαδρομές οχημάτων μαζικής μεταφοράς με τα σημεία στάσης και τα δρομολόγιά τους. Οι παράμετροι που ρυθμίζονται είναι οι μακροσκοπικές, μεσοσκοπικές ή μικροσκοπικές παράμετροι, ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο ανάλυσης. Η επιλογή του τρόπου εμφάνισης των αποτελεσμάτων προσφέρει τη δημιουργία πολλών διαφορετικών συνδυασμών στατιστικών στοιχείων για το δίκτυο, αλλά και διαφορετικών τύπων αρχείων που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα αυτά.

Η μικροσκοπική προσομοίωση είναι το βασικότερο εργαλείο ανάλυσης του λογισμικού. Το μοντέλο μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης στο TransModeler, αποτελείται από αρκετά υπο-μοντέλα που προσομοιώνουν τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται οι οδηγοί και τα οχήματα. Οι οδηγοί παίρνουν αποφάσεις σε ό,τι αφορά τις αλλαγές λωρίδας κυκλοφορίας, την αποδοχή διακένων και την απόφαση να επιταχύνουν ή να επιβραδύνουν μέσα στα όρια που θέτουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οχημάτων τους. Για το λόγο αυτό, κάποια μοντέλα περιλαμβάνουν βασικούς κανόνες της φυσικής και δυναμικής κίνησης, ενώ άλλοι περιγράφουν σύνθετες διαδικασίες συμπεριφοράς. Τα βασικά μικροσκοπικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται αφορούν τις ακόλουθες ενότητες:

- Γενικές παράμετροι του μοντέλου.
- Κατηγοριοποίηση των οχημάτων.
- Απόδοση των οχημάτων.
- Επιλογή διαδρομής.
- Συμπεριφορά οδηγών.
- Στάθμευση.
- Διαβάσεις πεζών.
- Κατηγοριοποίηση οδών.

Η μεταβολή αυτών των παραμέτρων θα καθορίσει σε πολύ μεγάλο βαθμό την εξέλιξη της προσομοίωσης που θα ακολουθήσει. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να μεταβληθούν τοπικά, ή για ολόκληρο το δίκτυο.

4.3. Μελέτη συμπεριφοράς του οδηγού στο TransModeler

Το λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης TransModeler, παρέχει πληθώρα εργαλείων που επιτρέπουν τη μελέτη της συμπεριφοράς των οδηγών. Δεδομένης μιας συγκεκριμένης διαδρομής, οι κινήσεις ενός οχήματος ανάμεσα στην προέλευση και τον προορισμό, περιγράφονται από μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς. Σε ένα μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης, τα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς περιγράφουν με μεγάλη λεπτομέρεια τις αντιδράσεις των οδηγών ως προς τις συνθήκες που επικρατούν στον περιβάλλοντα χώρο του, δηλαδή την περιβάλλουσα κυκλοφορία, τα σήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας αλλά και τα πιθανά συμβάντα που θα επιβάλλουν σε έναν οδηγό να μεταβάλλει την ταχύτητά του, ή να αλλάξει την πορεία του. Τα μοντέλα που περιγράφουν τις συμπεριφορές αυτές διακρίνονται στα εξής:

- Επιτάχυνση
- Αλλαγή λωρίδας
- Προσέγγιση, διάσχιση διασταυρώσεων
- Συμπεριφορά σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας

Στη συνέχεια, θα περιγραφούν αναλυτικά τα μοντέλα και οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις παραπάνω συμπεριφορές.

4.3.1. Μοντέλο επιτάχυνσης – επιβράδυνσης (acceleration – deceleration model)

Είναι γεγονός ότι ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν, οι οδηγοί επιταχύνουν και επιβραδύνουν. Ένας οδηγός ενεργοποιεί το σύστημα πέδησης για να διατηρήσει ασφαλή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, επιβραδύνει για να σταματήσει όταν υπάρχει το σήμα “stop”, ή επιταχύνει για να αποκτήσει υψηλότερη ταχύτητα όταν δεν υπάρχουν άλλα οχήματα ή εμπόδια στην πορεία του. Στις περιπτώσεις που ένα όχημα επιβραδύνει για να σταματήσει σε ένα σήμα “stop”, σε ένα φωτεινό σηματοδότη με κόκκινη φωτεινή ένδειξη, ή όταν υποχρεούται να μειώσει την ταχύτητά του στο επίπεδο που ορίζεται από τοπικό όριο ταχύτητας, η επιβράδυνση εκφράζεται με τις γνωστές φυσικές σχέσεις, συναρτήσει της μάζας του οχήματος και της στιγμιαίας ταχύτητάς του.

$$A_i^{\text{Norm-}}[M_i, V_i] = \alpha_i + \beta_i \cdot A^{\text{Norm-}}[M_i, V_i] \qquad (4.1)$$

$A_i^{\text{Norm-}}[M_i, V_i] =$ *Επιβράδυνση οχήματος μάζας* M_i*, που κινείται με ταχύτητα* V_i.

α_i *και* $\beta_i =$ *παράμετροι που συνδέονται με το πλήθος των οδηγών.*

Η μέγιστη επιβράδυνση χρησιμοποιείται ως κατώτατο όριο για την επιταχυντική ικανότητα ενός οχήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί σπάνια απαιτείται από ένα όχημα να επιβραδύνει στο μέγιστο βαθμό, παρά μόνο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το μοντέλο μέγιστης επιβράδυνσης επεκτείνεται ώστε να συμπεριλάβει και άλλες παραμέτρους όπως η ηλικία του οχήματος και η γενική φυσική κατάσταση όπως η ποιότητα των ελαστικών του οχήματος. Η σχέση που περιγράφει τη μέγιστη επιβράδυνση είναι η εξής:

$$A_i^{\text{Max-}}[M_i, V_i] = \alpha_i + \beta_i \cdot A^{\text{Max-}}[M_i, V_i] \qquad (4.2)$$

$A_i^{\text{Max-}}[M_i, V_i] =$ *Μέγιστη επιβράδυνση οχήματος μάζας* M_i*, που κινείται με ταχύτητα* V_i.

α_i *και* $\beta_i =$ *παράμετροι που συνδέονται με το πλήθος των οδηγών.*

Η ικανότητα ενός οχήματος να επιταχύνει είναι συνάρτηση πολλών μεταβλητών όπως την κλίση του δρόμου, τον τύπο του οδοστρώματος, τον καιρό τη στιγμιαία ταχύτητα του οχήματος, την ιπποδύναμη και τη μάζα ή το βάρος του οχήματος. Η μέγιστη επιτάχυνση περιορίζεται από μια μέγιστη τιμή η οποία καθορίζεται από την αναλογία μάζας – δύναμης, την ταχύτητα του οχήματος και την κλίση της επιφάνειας του δρόμου. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη επιτάχυνση περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_{ij}^{+}[R_i, V_i] = \alpha_i + \beta_i \cdot A_{ij}^{\text{Max+}}[R_i, V_i] \qquad (4.3)$$

$A_{ij}^{+}[R_i, V_i] =$ *Μέγιστη επιτάχυνση οχήματος i , που κινείται στο τμήμα j.*

α_i *και* $\beta_i =$ *παράμετροι που συνδέονται με το πλήθος των οδηγών.*

Αντίστοιχα, η σχέση της μέγιστης επιβράδυνσης, περιγράφεται από τη σχέση:

$$A_{ij}^{-}[R_i, V_i] = \alpha_i + \beta_i \cdot A_{ij}^{\text{Max-}}[R_i, V_i] \qquad (4.4)$$

$A_{ij}^{-}[R_i, V_i] =$ *Μέγιστη επιβράδυνση οχήματος i , που κινείται στο τμήμα j.*

α_i *και* $\beta_i =$ *παράμετροι που συνδέονται με το πλήθος των οδηγών.*

Η επιτάχυνση και επιβράδυνση των οδηγών στην περίπτωση που υπάρχει κάποιο προπορευόμενο όχημα μπροστά τους, δεν καθορίζεται από τις σχέσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως. Για αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που συμπληρώνουν το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και στην *Παράγραφο 2.4.1.*, ανάλογα με το καθεστώς ακολουθίας στο οποίο βρίσκεται το όχημα, εφαρμόζεται διαφορετική σχέση για την επιτάχυνση και επιβράδυνση του οχήματος.

Οι φυσικές σχέσεις *(1)* και *(2)*, εφαρμόζονται στην περίπτωση που δύο οχήματα κινούνται σε καθεστώς ελεύθερης ροής. Αυτό σημαίνει ότι τα οχήματα βρίσκονται σε μια απόσταση μεταξύ τους που δεν επηρεάζει το ένα την ταχύτητα του άλλου.

Οι σχέσεις *(3)* και *(4)*, εφαρμόζονται στην περίπτωση που δυο οχήματα κινούνται το ένα πίσω από το άλλο και η μεταξύ τους απόσταση είναι μικρή σε σημείο που υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης. Στην περίπτωση αυτή, τα οχήματα βρίσκονται σε καθεστώς έκτακτης ανάγκης, οπότε και οι σχέσεις που εφαρμόζονται είναι αυτές που δίνουν τα μέγιστα αποτελέσματα.

Στην περίπτωση που δυο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας και η απόστασή τους δεν είναι πολύ μικρή ώστε να εφαρμόζονται οι σχέσεις για το καθεστώς έκτακτης ανάγκης, αλλά ούτε και πολύ μεγάλες, ώστε να ισχύει καθεστώς ελεύθερης ροής, εφαρμόζεται το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων.

Το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων, καθορίζει το ρυθμό επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης ως συνάρτηση της ταχύτητας και της σχετικής θέσης του προπορευόμενου οχήματος. Σε γενικές γραμμές, το μοντέλο εφαρμόζεται στην περίπτωση που ένα όχημα ακολουθεί ένα άλλο στην ίδια λωρίδα. Εφαρμόζεται όμως και σε άλλες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν ένα όχημα προετοιμάζεται να ακολουθήσει ένα άλλο όχημα στη συμβολή δύο λωρίδων. Μια ακόμα περίπτωση

εφαρμογής του μοντέλου είναι όταν ένα όχημα παραχωρεί την προτεραιότητα σε ένα άλλο όχημα που αλλάζει λωρίδα μπροστά του. Το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_i^{\vee}[t+\Delta t]=\alpha^{\vee}\frac{V_i^{\beta\vee}[t]}{D_{i,i-1}^{\gamma\vee}[t]}(V_{i-1}[t]-V_i[t])+\varepsilon_i^{CF} \qquad (4.5)$$

$A_i^{\pm}[t+\Delta t]=$ *Ρυθμός επιτάχυνσης του οχήματος i.*

$V_i[t]=$ *Ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος i.*

$V_{i-1}[t]=$ *Ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος* $i-1$.

$D_{i,i-1}^{\gamma\pm}[t]=$ *Απόσταση μεταξύ του υποκείμενου και του προπορευόμενου οχήματος.*

$\alpha^{\pm}, \beta^{\pm}, \gamma^{\pm}=$ *Παράμετροι του μοντέλου.*

$\varepsilon_i^{CF}=$ *Παράγοντας σφάλματος για το συγκεκριμένο όχημα.*

Σε ιδανικές συνθήκες, διαφορετικοί οδηγοί, επιταχύνουν και επιβραδύνουν με διαφορετικό τρόπο. Για να περιγραφεί αυτή η διακύμανση στον πληθυσμό των οδηγών και των οχημάτων, υπολογίζεται μια τυχαία διακύμανση με βάση τους παράγοντες σφάλματος, για τα τρία καθεστώτα κίνησης. Ο πίνακας των αποτελεσμάτων καθορίζει την κατανομή που ακολουθεί η διακύμανση σε κάθε καθεστώς. Υψηλότερες τιμές της διακύμανσης, μεταφράζονται σε πιο επιθετική οδηγική συμπεριφορά, ενώ μικρότερες τιμές αντιπροσωπεύουν τους πιο προσεκτικούς οδηγούς.

Ο χρονικός διαχωρισμός αποτελεί ακόμα ένα βασικό στοιχείο του μοντέλου επιτάχυνσης και επιβράδυνσης και ο λόγος είναι ότι δεν έχουν όλοι οι οδηγοί την ίδια ανοχή ως προς το πόσο κοντά τους μπορεί να κινείται το προπορευόμενο όχημα. Κάποιοι οδηγοί είναι πιθανό να αντιδράσουν υπερβολικά και να επιβραδύνουν απότομα, όπως θα έκαναν και σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Αντίθετα, άλλοι οδηγοί είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν το ίδιο φαινόμενο με άνεση και χωρίς ιδιαίτερο προβληματισμό. Για την περιγραφή αυτών των συμπεριφορών, έχει δημιουργηθεί ένας πίνακας παραμέτρων που καθορίζει την ευαισθησία των οδηγών στους χρονικούς διαχωρισμούς από το προπορευόμενο όχημα. Οι παράμετροι αντιστοιχούν σε χρονικά κατώφλια, των οποίων οι τιμές καθορίζουν αν ο οδηγός βρίσκεται σε καθεστώς έκτακτης ανάγκης, καθεστώς ακολουθίας οχημάτων ή καθεστώς ελεύθερης ροής.

4.3.2. Μοντέλο αλλαγής λωρίδας (lane changing model)

Η συμπεριφορά αλλαγής λωρίδας είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία της μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Στον προσομοιωτή TransModeler, οι ελιγμοί αλλαγής λωρίδας, βασίζονται σε τρία βασικά βήματα:

- Επιλογή των ελκυστικότερων λωρίδων.
- Λήψη της απόφασης για αλλαγή λωρίδας και επιλογή της λωρίδας.
- Αξιολόγηση διακένων και εκτέλεση ελιγμού αλλαγής λωρίδας.

Τα βήματα αυτά, εξετάζουν τη δυνατότητα επίτευξης, την ελκυστικότητα και την ασφάλεια αντίστοιχα, στην απόφαση για αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας. Η επιλογή ανάμεσα στις ελκυστικότερες λωρίδες, καταλήγει σε μια λογική απόφαση, η οποία κυμαίνεται ανάμεσα σε τρεις πιθανές επιλογές: την τρέχουσα λωρίδα και τις λωρίδες δεξιά και αριστερά από αυτή, αν υπάρχουν. Στην περίπτωση που απαγορεύεται η είσοδος σε μια λωρίδα λόγω αποκλειστικής χρήσης από συγκεκριμένα οχήματα, ή απαγορεύονται οι ελιγμοί αλλαγής λωρίδας, η λωρίδα αυτή αποκλείεται από τις πιθανές επιλογές. Πιο συγκεκριμένα, μια λωρίδα μπορεί να αποκλειστεί για τους παρακάτω λόγους:

- Υπάρχει προστατευτικό φράγμα μεταξύ της τρέχουσας λωρίδας και της λωρίδας που εξετάζεται για μετάβαση.
- Απαγορεύεται η αλλαγή λωρίδας στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα.
- Η μετάβαση στη λωρίδα εμποδίζεται λόγω κάποιου συμβάντος ή κάποιου οχήματος που καθυστερεί την κυκλοφορία.
- Υπάρχει ενημέρωση για κλειστή λωρίδα από την πινακίδα χρήσης των λωρίδων.
- Υπάρχει σταθμός διοδίων στη λωρίδα, ο οποίος είναι κλειστός.
- Δεν επιτρέπεται η χρήση της λωρίδας από το συγκεκριμένο τύπο οχήματος.
- Η λωρίδα που επιλέχθηκε είναι εκτός της διαδρομής του οχήματος.

Εφόσον παρέχονται περισσότερες από μια εναλλακτικές επιλογές για την αλλαγή λωρίδας, η επιλογή εξαρτάται από το καθεστώς αλλαγής λωρίδας. Όπως αναφέρθηκε στην *Παράγραφο 3.4.2.*, τα καθεστώτα που καθορίζουν τους ελιγμούς αλλαγής λωρίδας είναι κατά κύριο λόγο: το καθεστώς κατ' επιλογήν αλλαγής λωρίδας, το καθεστώς υποχρεωτικής αλλαγής λωρίδας και το καθεστώς υποχρεωτικής συμβολής. Όλες οι αλλαγές λωρίδας κατατάσσονται σε υποχρεωτικές ή κατ' επιλογήν αλλαγές και για κάθε περίπτωση ισχύει ένα διαφορετικό μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει

ένα σύνολο παραμέτρων. Αφού επιλεχθεί το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί, εφαρμόζεται ένα μοντέλο επιλογής διακένων, ώστε να επιλεχθεί το κατάλληλο διάκενο και να πραγματοποιηθεί ο ελιγμός αλλαγής λωρίδας.

Κατ' επιλογήν αλλαγή λωρίδας

Οι κατ' επιλογήν αλλαγές λωρίδας πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο όταν ένας οδηγός είναι δυσαρεστημένος με την ταχύτητα κίνησής του και δεν υποχρεούται από άλλες αιτίες σε αλλαγή λωρίδας. Στο TransModeler, χρησιμοποιούνται δύο μοντέλα για να περιγράψουν την κατ' επιλογήν αλλαγή λωρίδας:

- Μοντέλο γειτονικής λωρίδας (Neighboring Lane Model).
- Μοντέλο επιλεγμένης λωρίδας (Target Lane Model).

Το μοντέλο γειτονικής λωρίδας, είναι το πιο παραδοσιακό μοντέλο, στο οποίο, οι οδηγοί εξετάζουν το ενδεχόμενο μετάβασης μόνο σε γειτονικές λωρίδες. Τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι ένα προεπιλεγμένο σύνολο από ελκυστικές εναλλακτικές λωρίδες. Η κυρίαρχη μεταβλητή που καθορίζει την απόφαση για αλλαγή είναι η αντιληπτή βελτίωση της ταχύτητας κίνησης του οχήματος. Χρησιμοποιούνται όμως και άλλου είδους μεταβλητές, οι οποίες είναι:

- Παράγοντας που καθορίζει την ανάγκη για αλλαγή της διαδρομής.
- Ελάχιστη βελτίωση ταχύτητας.
- Μέση βελτίωση της ταχύτητας.
- Ύπαρξη ή όχι οχήματος που καθυστερεί την κυκλοφορία μπροστά από το υποκείμενο όχημα.
- Ύπαρξη ή όχι βαρέως οχήματος μπροστά από το υποκείμενο όχημα.
- Ενδεχόμενο σύνδεσης της λωρίδας με ράμπα εισόδου.
- Ενδεχόμενο σύνδεσης της λωρίδας με ράμπα εξόδου.
- Ενδεχόμενο το όχημα να κινείται αργά και να βρίσκεται στην πιο αριστερή λωρίδα κυκλοφορίας.
- Ενδεχόμενο η λωρίδα κίνησης να μη συνδέεται με τη διαδρομή του οχήματος.
- Ενδεχόμενο το όχημα να είναι βαρύ όχημα.
- Ενδεχόμενο το όχημα να είναι όχημα αστικής συγκοινωνίας.
- Ενδεχόμενο το όχημα να ακολουθείται από άλλο όχημα σε μικρή απόσταση.
- Ενδεχόμενο η αλλαγή λωρίδας να είναι προς την ίδια κατεύθυνση με την προηγούμενη αλλαγή

λωρίδας.

- Ενδεχόμενο το όχημα να είναι όχημα υψηλής όχλησης, δηλαδή να μεταφέρει μεγάλο αριθμό ατόμων και η αλλαγή να το φέρνει πιο κοντά σε μια λωρίδα για τέτοιου είδους οχήματα.
- Ενδεχόμενο το όχημα να είναι όχημα υψηλής όχλησης, δηλαδή να μεταφέρει μεγάλο αριθμό ατόμων και η αλλαγή να το απομακρύνει από μια λωρίδα για τέτοιου είδους οχήματα.
- Μήκος του ανοιχτού χώρου ανάμεσα στο υποκείμενο όχημα και το επόμενο όχημα κατάντι στη λωρίδα.

Κάθε μια από τις παραπάνω μεταβλητές, χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τη χρηστικότητα και την ελκυστικότητα κάθε λωρίδας για τη διαδικασία της επιλογής. Η πιθανότητα ένας οδηγός να επιλέξει μια λωρίδα υπολογίζεται από μια συνάρτηση βασισμένη στο πολυωνυμικό μοντέλο logit. Η συνάρτηση αποτελεί ένα γραμμικό συνδυασμό των μεταβλητών που απαριθμήθηκαν, καθεμιά από τις οποίες πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή b. Η σταθερά αυτή μπορεί να μεταβληθεί με αποτέλεσμα να μεταβληθεί και η συμπεριφορά των οδηγών στις αλλαγές λωρίδας σε αυτοκινητόδρομους ή αστικούς δρόμους. Είναι εφικτός και ο ορισμός μιας μεταβλητής μεροληψίας (bias) που καθορίζει την τάση επιλογής (αν η τιμή είναι αρνητική) ή απόρριψης (αν η τιμή είναι θετική) της λωρίδας κίνησης. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατός ο εξαναγκασμός των οδηγών σε αλλαγές λωρίδας.

Το μοντέλο επιλεγμένης λωρίδας αναπτύχθηκε για το πρόγραμμα Next Generation SIMulation (NGSIM) και υποθέτει ότι οι οδηγοί επιλέγουν ανάμεσα σε όλες τις λωρίδες [*Choudhury,* 2002]. Ο οδηγός δεν περιορίζει την επιλογή του στις γειτονικές λωρίδες, αλλά έχει την ελευθερία να επιλέξει τη λωρίδα που εκτιμά ότι έχει τη μέγιστη χρηστικότητα. Για το λόγο αυτό, η επιλογή του μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά από ενδιάμεσες αλλαγές λωρίδας. Η βασική αρχή που ακολουθείται είναι ίδια με το μοντέλο γειτονικής λωρίδας, δηλαδή ότι ο οδηγός επιλέγει την εναλλακτική λωρίδα που βελτιώνει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη θέση του στο ρεύμα κυκλοφορίας σε σχέση με τη λωρίδα στην οποία ήδη κινείται. Το μοντέλο επιλεγμένης λωρίδας, κοστίζει περισσότερο σε προγραμματιστικό χρόνο, έχει όμως τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί μεγαλύτερη ποικιλία μεταβλητών για να εξηγήσει τις αποφάσεις των οδηγών κατά την αλλαγή λωρίδων:

- Μαθηματικές σταθερές για κάθε εναλλακτική λωρίδα κυκλοφορίας.
- Συντελεστής για την πυκνότητα λωρίδας σε οχ/km.
- Συντελεστής για τη μέση ταχύτητα στη λωρίδα.
- Συντελεστής για την απόσταση μεταξύ του υποκείμενου και του προπορευόμενου οχήματος.
- Συντελεστής για την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος.

- Ενδεχόμενο το όχημα να ακολουθείται από άλλο όχημα σε μικρή απόσταση.
- Δοκιμαστικός συντελεστής για το ενδεχόμενο να επιλεγεί η λωρίδα κίνησης.
- Ενδεχόμενο η επιλεγμένη λωρίδα να προσεγγίζεται με μια μόνο αλλαγή λωρίδας.
- Συντελεστής του αριθμού των επιπλέον αλλαγών λωρίδας μετά την πρώτη για την προσέγγιση στην επιλεγμένη λωρίδα.
- Παράγοντας που καθορίζει την επιρροή στο σχεδιασμό της διαδρομής σε κάθε λωρίδα.
- Δοκιμαστικός συντελεστής για το ενδεχόμενο ο οδηγός να έχει πρόθεση εξόδου από το δρόμο και απαιτείται αλλαγή λωρίδας για αυτό το λόγο.
- Παράγοντας θ (theta), για την υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας.
- Παράμετρος για τη λανθάνουσα μεταβλητή για κάθε λωρίδα.
- Εγγύτητα του υποκείμενου οχήματος προς το προπορευόμενο όχημα.

Όπως και στο μοντέλο γειτονικής λωρίδας, η πιθανότητα ένας οδηγός να επιλέξει μια λωρίδα υπολογίζεται από μια συνάρτηση βασισμένη στο πολυωνυμικό μοντέλο logit. Η συνάρτηση είναι γραμμικός συνδυασμός των παραμετρικών συντελεστών που αναφέρθηκαν και των αντίστοιχων μεταβλητών. Είναι και εδώ εφικτός και ο ορισμός μιας μεταβλητής μεροληψίας (bias) που καθορίζει την τάση επιλογής (αν η τιμή είναι αρνητική) ή απόρριψης (αν η τιμή είναι θετική) της λωρίδας κίνησης. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατός ο εξαναγκασμός των οδηγών σε αλλαγές λωρίδας.

Υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας

Οι υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδων πραγματοποιούνται, όπως προαναφέρθηκε, όταν ένα όχημα επιθυμεί να προσεγγίσει μια ράμπα εξόδου, να εισέλθει σε μια λωρίδα για αριστερή στροφή ή να αποφύγει ένα συμβάν που του απαγορεύει να συνεχίσει την κίνησή του στη λωρίδα κυκλοφορίας που ήδη βρίσκεται. Για παράδειγμα:

- Το όχημα βρίσκεται σε μια κρίσιμη απόσταση από μια περιοχή όπου η διαδρομή του παρεκκλίνει και δε βρίσκεται σε συνδεόμενη λωρίδα.
- Ένα συμβάν ή ένα όχημα που καθυστερεί την κυκλοφορία, εμποδίζει την κίνηση στη λωρίδα κυκλοφορίας.
- Η τρέχουσα λωρίδα ή η λωρίδα κατάντι χρησιμοποιείται από συγκεκριμένους τύπους οχημάτων.
- Ένα όχημα χωρίς μηχανισμό ηλεκτρονικής διέλευσης διοδίων βρίσκεται στη λωρίδα ηλεκτρονικής διέλευσης στο σταθμό διοδίων και εμποδίζει την κίνηση.

Το βασικότερο στοιχείο στην υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας είναι η δυνατότητα διατήρησης της διαδρομής του οχήματος, όσο αυτό είναι δυνατό. Πριν την απόφαση για αλλαγή λωρίδας είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί το γεγονός ότι το όχημα δε θα δυσκολευτεί να διατηρήσει την προσχεδιασμένη πορεία του. Η δυσκολία αυτή διαμορφώνεται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, την προσωπικότητα του οδηγού και την οικειότητά του με το οδικό δίκτυο.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το TransModeler, διατηρεί μια γενική εικόνα της διαδρομής του κάθε οχήματος. Αυτή την εικόνα λαμβάνουν υπόψη όλα τα οχήματα όταν αποφασίζουν την αλλαγή λωρίδας. Για κάθε όχημα, η εικόνα αυτή είναι ανάλογη της αντίληψης του οδηγού για τη συνέχεια της διαδρομής. Η αντίληψη αυτή εξαρτάται από τη διορατικότητα (look ahead) του οδηγού. Η διορατικότητα μετράται με χρονικές μονάδες και επομένως, η απόσταση που εκτιμάται από τη διορατικότητα, υπολογίζεται από την απόσταση που θα διένυε ένα όχημα αν κινούνταν με την ταχύτητα ελεύθερης ροής για ένα χρονικό διάστημα. Ο οδηγός, θα πρέπει να μελετήσει τι επίπτωση θα έχει η απόφαση για αλλαγή λωρίδας, μέσα στο χρονικό διάστημα που καθορίζει η διορατικότητα, ώστε να διατηρήσει την πορεία του.

Η διορατικότητα περιορίζεται από δυο παραμέτρους, ώστε να βελτιωθεί η υπολογιστική ικανότητα του μοντέλου. Πρώτη παράμετρος είναι ο μέγιστος αριθμός των οδικών τμημάτων που θα ληφθεί υπόψη και ο οποίος καθορίζεται από το κριτήριο της εγγύτητας. Ο λόγος είναι ότι η συμπεριφορά του οδηγού θα επηρεαστεί από τα κοντινά οχήματα και τις κοντινές διαδρομές για να πραγματοποιήσει στρατηγικές αλλαγές λωρίδας. Μια δεύτερη παράμετρος είναι το ανώτατο όριο της απόστασης που μπορεί να εκτιμηθεί από τη διορατικότητα.

Η διορατικότητα του οδηγού θα οδηγήσει στη διάκριση ορισμένων σημείων στο δίκτυο, όπου είναι απαραίτητο να παρεκκλίνει της διαδρομής του, λόγω στροφής ή προσέγγισης σε ράμπα εξόδου. Τα σημεία αυτά ονομάζονται κρίσιμα σημεία και καθορίζουν ότι όλες οι αλλαγές λωρίδας που γίνονται με βάση αυτά και μια κρίσιμη απόσταση από αυτά είναι υποχρεωτικές. Η κρίσιμη αυτή απόσταση μεταβάλλεται από οδηγό σε οδηγό. Πιο επιθετικοί οδηγοί χρησιμοποιούν μικρότερες κρίσιμες αποστάσεις σε σχέση με τους πιο συντηρητικούς οδηγούς. Η κρίσιμη απόσταση μπορεί επίσης να είναι συνάρτηση του τύπου της οδού. Για παράδειγμα, σε αυτοκινητόδρομους, η κρίσιμη απόσταση μπορεί να είναι μεγαλύτερη, αφού οι αποφάσεις για αλλαγές λωρίδων και οι εκτέλεσή τους πραγματοποιούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων. Αντίστροφα, σε δρόμους χαμηλότερων ταχυτήτων, όπως αστικές οδούς, η κρίσιμη απόσταση θα είναι μικρότερη, αφού οι ταχύτητες και επομένως οι αποστάσεις είναι μικρότερες. Ο πίνακας παραμέτρων περιλαμβάνει την κατανομή που ακολουθεί η κρίσιμη απόσταση στον πληθυσμό των οδηγών και αφορά το γενικό στόλο οχημάτων, δηλαδή δεν περιλαμβάνει μεταφορικά οχήματα.

Μοντέλο αποδοχής διακένων

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν, αφορούσαν την απόφαση για αλλαγή λωρίδας και την επιλογή της λωρίδας μετάβασης. Προκειμένου όμως να εκτελεστεί ο ελιγμός αλλαγής λωρίδας, είναι απαραίτητη η χρήση ενός μοντέλου αποδοχής διακένων. Το μοντέλο μετρά τα αντιληπτά διάκενα και τα συγκρίνει με το ελάχιστο αποδεκτό διάκενο, ώστε να τα αξιολογήσει ως αποδεκτά ή μη.

Κάθε διάκενο χωρίζεται σε εμπρός και πίσω διάκενο. Τα ελάχιστα αποδεκτά εμπρός και πίσω διάκενα μεταβάλλονται ανάλογα με τον οδηγό αλλά και για δεδομένο οδηγό, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Τα κρίσιμα διάκενα εξαρτώνται από το αν η αλλαγή λωρίδας είναι υποχρεωτική ή κατ' επιλογήν. Για παράδειγμα, οι οδηγοί που αλλάζουν λωρίδα για να προσεγγίσουν μια ράμπα εξόδου (υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας) είναι πιθανότερο να αποδεχθούν μικρότερα διάκενα σε σχέση με τους οδηγούς που αλλάζουν λωρίδα για να βελτιώσουν την ταχύτητα κίνησής του (κατ' επιλογήν αλλαγή λωρίδας).

Το TransModeler χρησιμοποιεί τρία μοντέλα αποδοχής διακένων. Το πρώτο είναι ένα γραμμικό μοντέλο, το δεύτερο είναι ένα μη γραμμικό μοντέλο και το τρίτο αναπτύχθηκε και βαθμονομήθηκε από το πρόγραμμα Next Generation SIMulation (NGSIM). Και τα τρία μοντέλα αποτελούν συνάρτηση των εμπρός και πίσω διακένων που περιγράφηκαν προηγουμένως, καθένα όμως χρησιμοποιεί διαφορετική σχέση για τον υπολογισμό των κρίσιμων διακένων.

Το μη γραμμικό μοντέλο αποδοχής διακένων, υπολογίζει τα κρίσιμα διάκενα με τη σχέση που ακολουθεί:

$$G_i^g = \exp(\beta^g X_i + \varepsilon_i^g) \qquad (4.6)$$

$G_i^g =$ *Ελάχιστο αποδεκτό διάκενο για τον οδηγό i.*

$g =$ *εμπρός διάκενο, πίσω διάκενο.*

$\beta^g =$ *Διάνυσμα στήλης των συντελεστών των μεταβλητών για το διάνυσμα* X_i.

$X_i =$ *Διάνυσμα γραμμής των μεταβλητών που περιγράφει το μέγεθος του διακένου που ο οδηγός προτίθεται να αποδεχθεί.*

$\varepsilon_i^g =$ *Τυχαίος όρος που συνδέεται με τον οδηγό i.*

Οι τιμές του διανύσματος β^g μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με το αν η αλλαγή λωρίδας είναι υποχρεωτική ή κατ' επιλογήν και με το αν το διάκενο είναι εμπρός ή πίσω διάκενο. Το ίδιο συμβαίνει και με τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο διάνυσμα X_i. Ο τυχαίος όρος που συνδέεται με τον οδηγό, αναπαριστά τη διακύμανση της τιμής του κρίσιμου διακένου ανάλογα με

τους οδηγούς και ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και διακύμανση σ^g.

Το γραμμικό μοντέλο αποδοχής διακένων είναι μια απλουστευμένη παραλλαγή του μη γραμμικού μοντέλου και επομένως ισχύουν τα ίδια με το μη γραμμικό μοντέλο. Δηλαδή, υπάρχει η ίδια εξάρτηση από το αν η αλλαγή λωρίδας είναι υποχρεωτική ή κατ' επιλογήν. Σύμφωνα με το γραμμικό μοντέλο, τα κρίσιμα διάκενα υπολογίζονται από τη σχέση:

$$G_i^g = \beta^g X_i + \varepsilon_i^g \qquad (4.7)$$

$G_i^g =$ *Ελάχιστο αποδεκτό διάκενο για τον οδηγό i.*

$g =$ *εμπρός διάκενο, πίσω διάκενο.*

$\beta^g =$ *Διάνυσμα στήλης των συντελεστών των μεταβλητών για το διάνυσμα* X_i.

$X_i =$ *Διάνυσμα γραμμής των μεταβλητών που περιγράφει το μέγεθος του διακένου που ο οδηγός προτίθεται να αποδεχθεί.*

$\varepsilon_i^g =$ *Τυχαίος όρος που συνδέεται με τον οδηγό i.*

Όπως το γραμμικό και μη γραμμικό μοντέλο, το μοντέλο NGSIM βασίζεται στα διάκενα μεταξύ του υποκείμενου και του εμπρός και πίσω οχήματος στη λωρίδα μετάβασης. Η σχέση που υπολογίζει τα διάκενα γα το μοντέλο αυτό είναι η ακόλουθη:

$$G_i^g = \exp(\beta^g X_i + \alpha^g v_i + \varepsilon_i^g) \qquad (4.8)$$

$G_i^g =$ *Ελάχιστο αποδεκτό διάκενο για τον οδηγό i.*

$g =$ *εμπρός διάκενο, πίσω διάκενο.*

$\beta^g =$ *Διάνυσμα στήλης των συντελεστών των μεταβλητών για το διάνυσμα* X_i.

$X_i =$ *Διάνυσμα γραμμής των μεταβλητών που περιγράφει το μέγεθος του διακένου που ο οδηγός προτίθεται να αποδεχθεί.*

$\alpha^g =$ *Συντελεστής της ατομικής μεταβλητής* v_i *για κάθε οδηγό.*

$v_i =$ *Ατομική μεταβλητή για κάθε οδηγό που έχει ληφθεί από μια κατανομή για τον οδηγό i.*

$\varepsilon_i^g =$ *Τυχαίος όρος που συνδέεται με τον οδηγό i.*

Σε γενικές γραμμές ισχύουν κι εδώ τα ίδια με το γραμμικό και μη γραμμικό μοντέλο. Δηλαδή, εξακολουθεί να υπάρχει η ίδια εξάρτηση από το αν η αλλαγή λωρίδας είναι υποχρεωτική ή κατ' επιλογήν. Η διαφορά είναι ότι υπάρχει η μεταβλητή για κάθε οδηγό. Η μεταβλητή αυτή αντιπροσωπεύει τα αφανή χαρακτηριστικά του οδηγού και σχεδιάζεται με τρόπο ώστε να αντιλαμβάνεται τις συσχετίσεις μεταξύ των αποφάσεων αποδοχής λωρίδας που πραγματοποιεί το ίδιο άτομο.

4.3.3. Μοντέλο προσέγγισης, διάσχισης διασταυρώσεων (crossing, merging and yielding model)

Οι περιοχές συμβολής και πλέξης συχνά χαρακτηρίζονται από σύνθετες αλληλεπιδράσεις οχημάτων και τείνουν να δημιουργούν καταστάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης. Προκειμένου να περιγραφούν αυτές οι συνθήκες, απαιτείται η λεπτομερής απεικόνιση της συμπεριφοράς κατά τη συμβολή και την πλέξη. Η περιγραφή επιτυγχάνεται με τα μοντέλα συμβολής, διάσχισης και παραχώρησης προτεραιότητας.

Μοντέλο συμβολής και διάσχισης

Όταν δύο οχήματα συμβάλλουν, ο προσομοιωτής TransModeler, διακρίνει δύο τύπους συμπεριφοράς, ανάλογα με το αν τα οχήματα προέρχονται από λωρίδες ή οδικά τμήματα ίσου ή διαφορετικού δικαιώματος προτεραιότητας. Αν τα οχήματα προέρχονται από τμήματα ίσης προτεραιότητας, αληθινής ή αντιληπτής, τα οχήματα θα εισέλθουν στη νέα λωρίδα με τη σειρά που έφτασαν στο σημείο συμβολής. Αντίθετα, αν τα οχήματα συμβάλλουν από τμήματα με διαφορετική προτεραιότητα, τα οχήματα στο τμήμα χαμηλότερου επιπέδου προτεραιότητας θα περιμένουν για ένα αποδεκτό διάκενο στο ρεύμα κυκλοφορίας που εισέρχεται στη νέα λωρίδα από το τμήμα με υψηλότερο επίπεδο προτεραιότητας. Όταν ένας οδηγός καλείται να διασχίσει μια διασταύρωση ή να προχωρήσει στη συμβολή δύο οδών, επιβραδύνει μέχρι το σημείο από το οποίο μπορεί να αξιολογήσει με ασφάλεια τα διαθέσιμα διάκενα και στη συνέχεια να αποδεχθεί ένα και να εκτελέσει την κίνησή του. Το σημείο αυτό απέχει κάποια απόσταση από το κέντρο της διασταύρωσης και η απόσταση αυτή αποτελεί μια από τις παραμέτρους του μοντέλου συμβολής και διάσχισης.

Είτε το όχημα προσεγγίζει ή σταματά και περιμένει σε μια διασταύρωση, ο χρόνος διαδρομής του οχήματος από το σημείο αυτό μέχρι το εκτιμώμενο σημείο σύγκρουσης της διασταύρωσης, συγκρίνεται με τον αντιληπτό χρόνο που ο οδηγός εκτιμά ότι χρειάζεται το ανταγωνιστικό όχημα να φτάσει στο σημείο σύγκρουσης. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από έναν ελάχιστο αποδεκτό διαχωρισμό, το υποκείμενο όχημα θα προχωρήσει στη λωρίδα προορισμού.

Αντίστοιχα, κατά τη διάσχιση μιας διασταύρωσης ή όταν το όχημα έρχεται αντιμέτωπο με κάποιο

ρεύμα κυκλοφορίας, όπως στην περίπτωση επιτρεπόμενης αριστερής στροφής, οι οδηγοί συγκρίνουν τον εκτιμώμενο χρόνο που θα χρειαστούν για να περάσουν το σημείο σύγκρουσης, με τον αντιληπτό χρόνο που εκτιμούν ότι θα χρειαστεί το όχημα του άλλου ρεύματος για να φτάσει στο σημείο σύγκρουσης. Αν η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών χρόνων είναι μεγαλύτερη από έναν ελάχιστο αποδεκτό διαχωρισμό διάσχισης, το όχημα θα προχωρήσει προς τη διασταύρωση. Οι ελάχιστοι διαχωρισμοί για τη συμβολή και διάσχιση καθορίζονται από μια κατανομή που συνδέεται με τον πληθυσμό των οδηγών.

Στην περίπτωση που ένα όχημα έχει σταματήσει σε μια διασταύρωση και πρέπει να περιμένει το κατάλληλο διάκενο για να διασχίσει ή να συμβάλλει στη νέα λωρίδα, όσο περνά ο χρόνος, ο οδηγός τείνει να αποδέχεται διάκενο μικρότερου μήκους. Ο ρυθμός αυτής της μεταβολής καθορίζεται από ένα μέγεθος που αναφέρεται ως συντελεστής ανυπομονησίας. Στο TransModeler, χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι οι οποίες καθορίζουν το χρόνο από τη στιγμή που το όχημα σταμάτησε, μέχρι τη στιγμή που το αποδεκτό διάκενο ξεκινά να μικραίνει και το χρόνο από τη στιγμή που το όχημα σταμάτησε, μέχρι τη στιγμή που το αποδεκτό διάκενο παίρνει την ελάχιστη τιμή. Η διαφορά μεταξύ αυτών των μεγεθών, αποτελεί τη χρονική περίοδο στην οποία συμβαίνει η μείωση στο μέγεθος του διακένου. Η ελάχιστη τιμή του μείωσης του αποδεκτού διακένου, υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη επιτάχυνση. Ο λόγος είναι ότι όσο μειώνεται η υπομονή του οδηγού, τόσο αυξάνεται η τάση να επιταχύνει μπροστά από το ανταγωνιστικό όχημα με τέτοιο τρόπο ώστε εκείνο να αναγκαστεί να επιβραδύνει με τη μέγιστη επιβράδυνση προκειμένου να αποφύγει τη σύγκρουση.

Μοντέλο παραχώρησης προτεραιότητας

Σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, όπου τα οχήματα σταματούν και ξεκινούν συνεχώς, οι συμβαλλόμενες κινήσεις είναι πιθανό να μην ακολουθούν την τήρηση της προτεραιότητας. Για παράδειγμα, οχήματα οχήματα που εισέρχονται σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας από μια ράμπα εισόδου, είναι πολύ πιθανό να εισέλθουν πιεστικά στο ρεύμα. Στην περίπτωση αυτή, τα οχήματα του κύριου ρεύματος θα αποφασίσουν αν θα παραχωρήσουν προτεραιότητα ή όχι στα οχήματα που εισέρχονται. Τέτοιου είδους συμπεριφορές καθορίζονται από το πιθανολογικό μοντέλο παραχώρησης προτεραιότητας.

Όταν ένα όχημα πλησιάζει σε ένα μη σηματοδοτούμενο κόμβο με ταχύτητα χαμηλότερη από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, θα καθοριστεί με τυχαίο τρόπο ο μέγιστος αριθμός των οχημάτων στα οποία προτίθεται να παραχωρήσει προτεραιότητα. Αν ο αριθμός αυτός είναι μη μηδενικός, το υποκείμενο όχημα θα επιβραδύνει για να επιτρέψει στα συμβαλλόμενα οχήματα να προχωρήσουν. Η κατώτερη τιμή της ταχύτητας καθορίζεται ως ποσοστό της επιθυμητής ταχύτητας του οχήματος που θα παραχωρήσει προτεραιότητα και δεν είναι μηδενική. Ο λόγος είναι ότι στις περιπτώσεις

συμβολής, η παραχώρηση προτεραιότητας επιβάλλει μείωση της ταχύτητας αλλά όχι απαραίτητα και στάση.

Τα τρία σενάρια στα οποία ένα όχημα θα παραχωρήσει προτεραιότητα σε άλλα με βάση αυτό το μοντέλο είναι τα εξής:

- Αλλαγή λωρίδας.
- Συμβολή.
- Στροφή.

Κατά την αλλαγή λωρίδας, ένα όχημα μπορεί να παραχωρήσει προτεραιότητα σε ένα άλλο που εκτελεί υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας, στη λωρίδα που βρίσκεται το υποκείμενο όχημα. Κατά τη συμβολή, ένα όχημα που κινείται σε δρόμο υψηλής προτεραιότητας, μπορεί να παραχωρήσει προτεραιότητα σε ένα όχημα που προσπαθεί να συμβάλει στη λωρίδα του υποκείμενου οχήματος. Τέλος, κατά τη στροφή, ένα όχημα που κινείται σε δρόμο υψηλής προτεραιότητας, μπορεί να παραχωρήσει προτεραιότητα σε ένα όχημα που προσπαθεί να εκτελέσει στροφή στη λωρίδα του υποκείμενου οχήματος.

Οι παραχωρήσεις προτεραιότητας στα σενάρια αυτά επηρεάζονται όχι μόνο από τις διαφορετικές πιθανότητες αλλά και από τα κατώφλια για τις ταχύτητες κίνησης. Για παράδειγμα, ένα όχημα που κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη από το κατώφλι σε οδό προτεραιότητας, δε θα παραχωρήσει προτεραιότητα σε οχήματα που προσπαθούν να συμβάλλουν ή να στρίψουν στη λωρίδα του.

Μοντέλο συμπεριφοράς σε κυκλικό κόμβο

Η συμπεριφορά των οδηγών στους κυκλικούς κόμβους είναι μοναδική. Γενικά, εφαρμόζονται οι κανόνες της συμβολής και της παραχώρησης προτεραιότητας, υπάρχουν όμως άλλες πλευρές της συμπεριφοράς των οδηγών των οποίων η περιγραφή απαιτεί την εφαρμογή ενός μοντέλου. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στο TransModeler και περιγράφει τη διάσχιση, συμβολή και παραχώρηση προτεραιότητας, διαθέτει τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Προτεραιότητα.
- Κατώφλι διαχωρισμού.
- Μεροληπτική είσοδος στη λωρίδα.

Η παράμετρος της προτεραιότητας καθορίζει αν η εσωτερική ή η εξωτερική λωρίδα του κυκλικού κόμβου έχει προτεραιότητα. Το κατώφλι διαχωρισμού, αποτελεί την ελάχιστη τιμή του χρονικού διαχωρισμού μεταξύ των αφίξεων σε ένα σημείο σύγκρουσης κάτω από την οποία το όχημα που δεν έχει προτεραιότητα θα επιβραδύνει και θα παραχωρήσει την προτεραιότητα. Η μεροληπτική

είσοδος στη λωρίδα περιλαμβάνει τιμές για την προτίμηση εισόδου σε μια συγκεκριμένη λωρίδα του κυκλικού κόμβου, συναρτήσει του αριθμού των εξόδων στις οποίες θα επιλέξει να προχωρήσει το όχημα.

4.3.4. Μοντέλο συμπεριφοράς σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας (response to traffic control model)

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, οι οδηγοί, κινούμενοι στο δίκτυο, πλησιάζουν σε συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και αντιδρούν σε αυτά. Η συμπεριφορά τους αυτή περιγράφεται από μοντέλα, τα οποία περιλαμβάνουν τις εξής παραμέτρους:

- Γενικές παράμετροι διαχείρισης κυκλοφορίας.
- Ποσοστά συμμόρφωσης.
- Ακτίνα αντίδρασης.
- Σήματα στάσης.

Γενικές παράμετροι διαχείρισης κυκλοφορίας

Υπάρχουν αρκετές γενικές παράμετροι που ελέγχουν συγκεκριμένες συμπεριφορές σε σχέση με τα σήματα κυκλοφορίας και τους σταθμούς διοδίων και είναι οι εξής:

- Μείωση ταχύτητας σε σήμα παραχώρησης προτεραιότητας.
- Δεξιά στροφή που επιτρέπεται με κόκκινη ένδειξη.
- Κατώφλι διέλευσης με κίτρινη ένδειξη.

Κατά την προσέγγιση σε ένα σήμα παραχώρησης προτεραιότητας, οι οδηγοί επιβραδύνουν και προετοιμάζονται να σταματήσουν αν δεν αποδεχτούν σύντομα ένα διάκενο. Αν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή το όχημα αποδεχθεί ένα διάκενο, θα προχωρήσει με την κίνησή του στη διασταύρωση προσεκτικά. Η μείωση αυτή της ταχύτητας εκφράζεται σαν μια ποσοστιαία μείωση της επιθυμητής ταχύτητας του οδηγού. Όταν επιτρέπεται η δεξιά στροφή με κόκκινη ένδειξη, τα οχήματα που στρίβουν δεξιά, θα σταματήσουν στη διασταύρωση για να αποδεχθούν ένα διάκενο και να συνεχίσουν την κίνησή τους. Η παράμετρος επιτρέπει τη στροφή από την πιο δεξιά λωρίδα ή και από άλλες λωρίδες. Το κατώφλι διέλευσης με κίτρινη ένδειξη, καθορίζει τον εκτιμώμενο χρόνο διαδρομής του οχήματος μέχρι τη διασταύρωση, κάτω από τον οποίο το όχημα θα εισέλθει στη διασταύρωση, αλλιώς θα επιβραδύνει για να σταματήσει.

Ποσοστά συμμόρφωσης

Τα ποσοστά συμμόρφωσης χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της συχνότητας με την οποία τα οχήματα συμμορφώνονται με συγκεκριμένα μηνύματα, σήματα ή κανόνες οδήγησης. Η βασική υπόθεση είναι ότι οι οδηγοί πάντα συμμορφώνονται με συστήματα όπως φωτεινοί σηματοδότες, σταθμούς διοδίων και διαβάσεις πεζών. Για λιγότερο αυστηρά συστήματα όμως, χρησιμοποιείται ένα ποσοστό συμμόρφωσης για τον υπολογισμό της πιθανότητας ένας οδηγός να συμμορφωθεί με το συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Τα λιγότερο αυστηρά συστήματα περιλαμβάνουν:

- Υποχρέωση τα οχήματα να μην αποκλείουν τις διασταυρώσεις ελεγχόμενες και μη.
- Έλεγχος προσβάσεων.
- Σήματα χρήσης λωρίδων.
- Κανόνες χρήσης λωρίδων και πινακίδες μηνυμάτων.
- Γενικοί κανόνες αλλαγής λωρίδας.

Για όλες αυτές τις περιπτώσεις είναι εφικτός ο καθορισμός ενός ποσοστού συμμόρφωσης με τους κανόνες που περιλαμβάνουν.

Ακτίνα αντίδρασης

Ένας οδηγός ξεκινά να αντιδρά στο μήνυμα που λαμβάνει από τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, όταν βρίσκεται σε μια απόσταση που του επιτρέπει χρονικά να αντιδράσει. Αυτή η απόσταση αποτελεί και τη βάση του μοντέλου που καθορίζει την αντίδραση του οδηγού. Οι δύο παράμετροι που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο είναι:

- Ελάχιστη και μέγιστη απόσταση αντίδρασης.
- Ορατότητα.

Η ακτίνα αντίδρασης, καθορίζεται από την απόσταση στην οποία το όχημα μπορεί να σταματήσει και η οποία είναι συνάρτηση της ταχύτητας του οχήματος και της επιβράδυνσής του. Αυτή η απόσταση χρησιμοποιείται σαν κατώφλι για να διαπιστωθεί αν ένα όχημα πρέπει να αντιδράσει στο μήνυμα που λαμβάνει. Η ακτίνα αντίδρασης περιορίζεται επίσης από την ορατότητα του σήματος ή της πινακίδας.

Σήματα στάσης

Όταν ένα όχημα προσεγγίζει ένα σήμα στάσης (stop sign), θα επιβραδύνει μέχρι να σταματήσει και θα περιμένει μέχρι να αποδεχθεί ένα διάκενο ή τη σειρά του για να προχωρήσει. Ο ελάχιστος

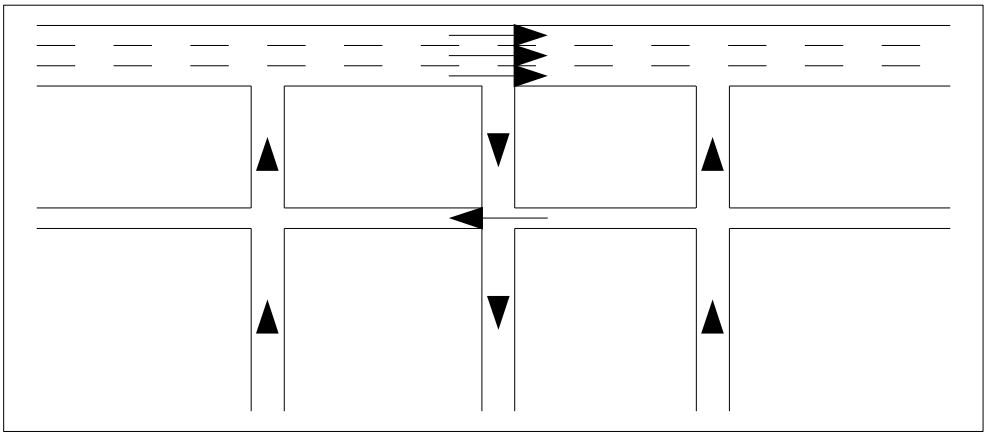
χρόνος αναμονής στη διασταύρωση, είναι μια βασική παράμετρος που χρησιμοποιείται και η τιμή της μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το αν υπάρχει εμπλεκόμενη κυκλοφορία ή όχι. Κατά κανόνα, ο χρόνος αναμονής στη διασταύρωση είναι μεγαλύτερος όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση στη διασταύρωση. Ο ελάχιστος χρόνος αναμονής καθορίζεται από μια κατανομή, στην οποία οι τιμές των χρόνων αναμονής διαφέρουν ανάλογα με τον πληθυσμό των οδηγών. Η κατανομή, μεταβάλλεται ανάλογα με το αν υπάρχει κάποια εμπλεκόμενη κίνηση ή όχι.

4.4. Προετοιμασία της εφαρμογής στο TransModeler

Πριν την υλοποίηση της εφαρμογής, είναι απαραίτητο να περιγραφούν και να αναλυθούν τα στάδια που ακολουθήθηκαν προκειμένου να στηθεί πλήρως η εφαρμογή. Τα στοιχεία που έπρεπε να ληφθούν υπόψη αφορούν τον τοπικό και χρονικό σχεδιασμό της εφαρμογής, τη μέθοδο διεξαγωγής της, τα διαθέσιμα δεδομένα και τον πειραματικό σχεδιασμό. Ο πειραματικός σχεδιασμός δεν μπορεί να νοηθεί, χωρίς να υπάρχει μια ξεκάθαρη περιγραφή του περιβάλλοντος στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η πειραματική εφαρμογή, καθώς αυτό καθορίζει και τις συνθήκες της εφαρμογής. Θα πρέπει να περιγραφεί επομένως, το οδικό δίκτυο, η μέθοδος της προσομοίωσης που εφαρμόστηκε, η επιλογή των παραμέτρων που περιγράφουν τη συμπεριφορά των οδηγών και ο σχεδιασμός των σεναρίων, από τα οποία προκύπτουν και τα συμπεράσματα.

4.4.1. Οδικό δίκτυο

Η πειραματική εφαρμογή, επιλέχθηκε να υλοποιηθεί σε ένα τμήμα που θεωρητικά αντιστοιχεί στη λεωφόρο Μεσογείων, τη συμβολή της με τρεις κάθετες τοπικές οδούς και υπάρχει και μια οδός παράλληλη προς τη λεωφόρο και κάθετη στις τρεις άλλες οδούς. Το τμήμα που αντιστοιχεί στη λεωφόρο Μεσογείων και αφορά το σχεδιασμό της εκκένωσης είναι μόνο το δεξί τμήμα με κατεύθυνση ανατολικά, προς την Αττική Οδό. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτό το τμήμα προέκυψε από τη μεθοδολογία και το σχεδιασμό του σεναρίου εκκένωσης.



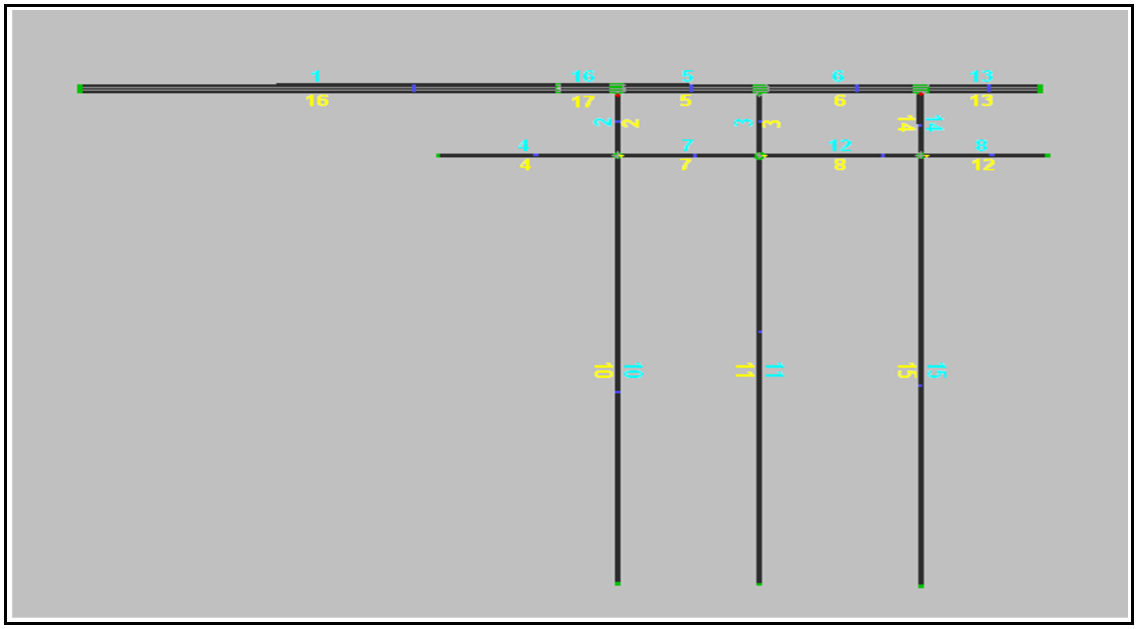
Εικόνα 4.1.: Σκαρίφημα του οδικού δικτύου και οι κατευθύνσεις των οδών.

Η δημιουργία του οδικού δικτύου στο TransModeler, περιλαμβάνει στοιχεία όπως οδικά τμήματα, λωρίδες κυκλοφορίας, αισθητήρες συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων, σηματοδότηση και άλλα στοιχεία, καθένα από τα οποία θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια.

Οδικά τμήματα και σύνδεσμοι

Η υλοποίηση του οδικού δικτύου στο λογισμικό TransModeler, έχει ως πρώτο βήμα το σχεδιασμό των οδικών συνδέσμων (links) και τμημάτων (segments). Τα τμήματα αποτελούν μέρος των συνδέσμων και με βάση αυτά, καθορίζεται η πιστότητα του δικτύου σε σχέση με το επίπεδο ανάλυσης που επιλέγεται: μακροσκοπικό, μεσοσκοπικό ή μικροσκοπικό. Οι σύνδεσμοι περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως η προσβασιμότητα, η κατηγορία της οδού και πιο τεχνικά στοιχεία, ενώ τα τμήματα περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως η κλίση του δρόμου και κυκλοφοριακά στοιχεία όπως η πυκνότητα.

Ο σχεδιασμός των οδών πραγματοποιείται με τη δημιουργία συνδέσμων μέσω του εργαλείου Road Editor, καθένας από τους οποίους αντιστοιχίζεται αυτόματα με ένα τμήμα. Σε κάθε σύνδεσμο που δημιουργείται, αποδίδεται μια κωδική ονομασία, ώστε να διευκολύνεται η αναγνώρισή τους και η μετέπειτα συλλογή των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων. Οι κωδικές ονομασίες αυτές φαίνονται στην *Εικόνα 4.2.*



Εικόνα 4.2.: Απεικόνιση των οδικών τμημάτων και συνδέσμων με τις ονομασίες τους. Με κίτρινο χρώμα εμφανίζονται οι κωδικές ονομασίες των οδικών τμημάτων, ενώ με γαλάζιο, οι κωδικές ονομασίες των οδικών συνδέσμων.

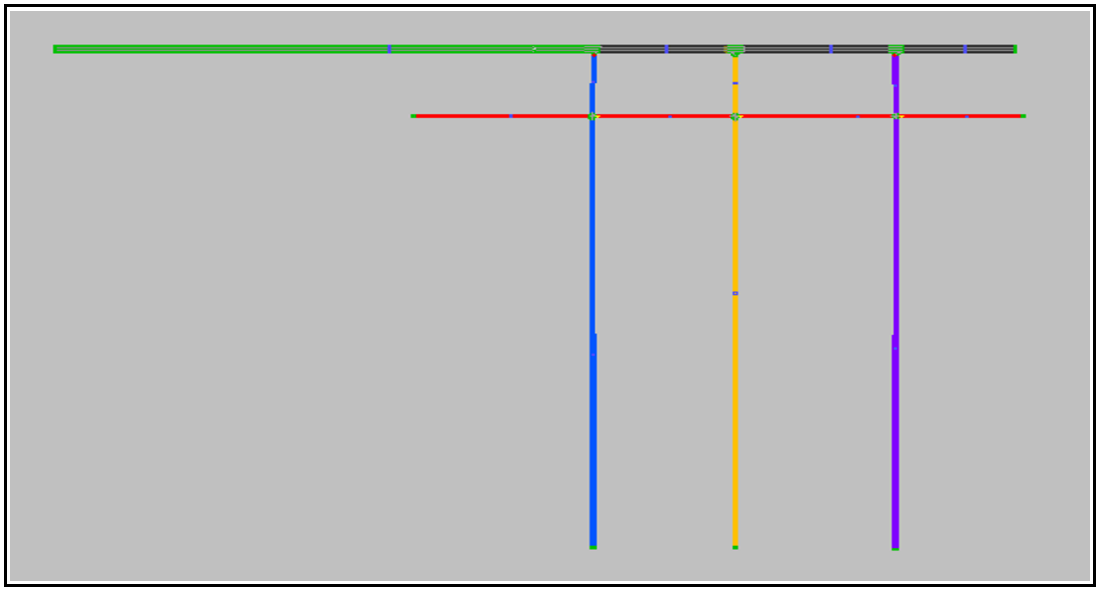
Κατά κανόνα, δημιουργήθηκε ένας οδικός σύνδεσμος για κάθε κίνηση από ένα κόμβο προς έναν άλλο. Κάθε σύνδεσμος και κάθε τμήμα περιγράφονται με μοναδικό τρόπο από μια τοπολογική σχέση που υποδεικνύει την κατεύθυνση κίνησης. Τα μήκη των συνδέσμων ανταποκρίνονται στα πραγματικά μήκη των οδών που διατρέχουν την περιοχή μελέτης. Στον *Πίνακα 4.1.* φαίνονται τα μήκη των οδικών συνδέσμων που δημιουργήθηκαν.

Οδικός σύνδεσμος	Μήκος (m)	Οδικός σύνδεσμος	Μήκος (m)	Οδικός σύνδεσμος	Μήκος (m)	Οδικός σύνδεσμος	Μήκος (m)	Οδικός σύνδεσμος	Μήκος (m)
1	454,09	4	172,11	2	96,00	3	94,00	14	93,89
16	52,10	7	135,26	10	590,03	11	591,92	15	592,15
5	137,34	12	153,73						
6	153,64	8	118,74						
13	108,63								
Σύνολο	905,80	**Σύνολο**	579,83	**Σύνολο**	686,03	**Σύνολο**	685,92	**Σύνολο**	686,03

Πίνακας 4.1.: Μήκη των οδικών συνδέσμων του δικτύου.

Υπολογίζοντας το μέσο χρόνο καθυστέρησης ανά όχημα, για τα τμήματα του δικτύου, διαπιστώθηκε ότι για τη μέτρηση της καθυστέρησης, το λογισμικό, υπολογίζει την καθυστέρηση

από τμήμα σε τμήμα, πράγμα το οποίο δεν εξυπηρετεί για μια διαδρομή που εκτείνεται σε 2 ή περισσότερα τμήματα. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η δημιουργία υπερσύνδεσης (superlink) μεταξύ των τμημάτων του δικτύου που αποτελούν μια ενιαία διαδρομή. Τα αποτελέσματα που αφορούν τη μέση καθυστέρηση ανά όχημα λήφθηκαν με βάση αυτούς τους υπερσυνδέσμους. Οι ειδικοί αυτοί σύνδεσμοι φαίνονται στην *Εικόνα 4.3.*



Εικόνα 4.3.: Απεικόνιση των υπερσυνδέσμων που δημιουργήθηκαν. Κάθε υπερσύνδεσμος περιγράφεται με διαφορετικό χρώμα.

Λωρίδες κυκλοφορίας

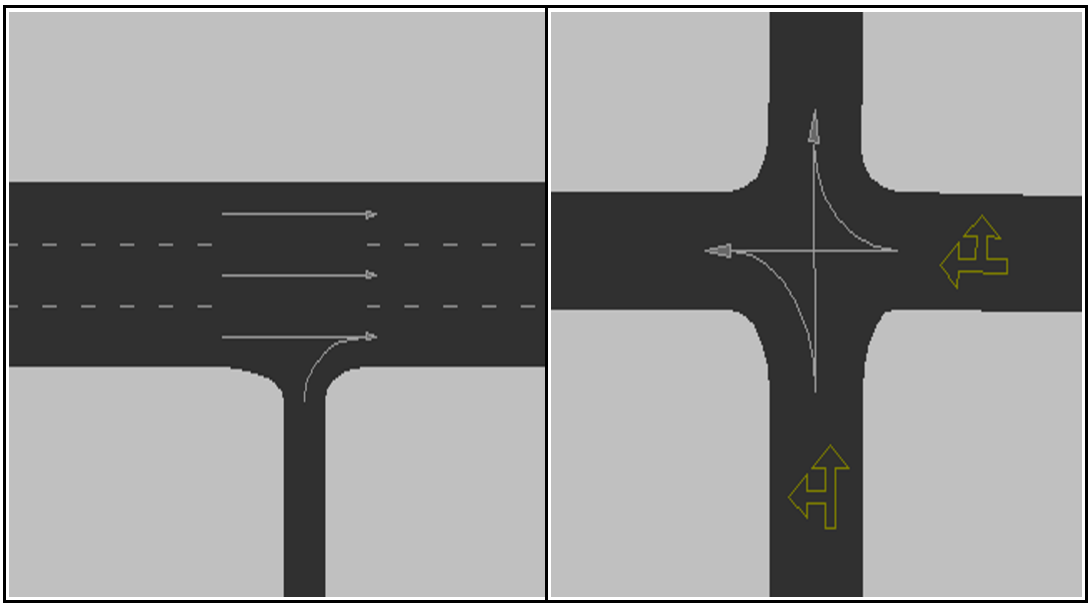
Για τη δημιουργία κάθε συνδέσμου είναι απαραίτητος ο ορισμός των λωρίδων κυκλοφορίας που αυτός θα περιλαμβάνει. Ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας που θα σχεδιαστούν απορρέει από τη φύση του δικτύου που θα σχεδιαστεί. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο αποτελείται από μια οδό τριών λωρίδων κυκλοφορίας προς μία κατεύθυνση, τρεις κάθετες σε αυτή οδούς μίας λωρίδας κυκλοφορίας, και μιας παράλληλης οδού σε αυτή, επίσης μίας λωρίδας κυκλοφορίας.

Τα κατασκευαστικά στοιχεία των λωρίδων ορίστηκαν σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία των οδών. Πιο συγκεκριμένα, τα τεχνικά και περιγραφικά χαρακτηριστικά κάθε λωρίδας ορίζονται:

- Κωδική ονομασία λωρίδας.
- Κατεύθυνση κυκλοφορίας.
- Πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας: 3.66 m.

- Επιλογή για επιτρεπόμενη ή όχι μετάβαση στη λωρίδα κατά τους ελιγμούς αλλαγής λωρίδων των οχημάτων.
- Επιλογή για χρήση λωρίδας αποκλειστικά από βαρέα οχήματα, οχήματα αστικής συγκοινωνίας ή άλλου είδους οχήματα.

Οι κινήσεις ανάμεσα σε λωρίδες και οδικούς συνδέσμους ορίζονται με τις συνδέσεις λωρίδων (lane connectors). Κάθε τέτοια σύνδεση καθορίζει τις επιτρεπόμενες κινήσεις στους κόμβους, οι οποίες ορίζονται σύμφωνα με τις κατευθύνσεις κυκλοφορίας των οχημάτων στις οδούς. Τέτοιες ενδεικτικές συνδέσεις φαίνονται στην *Εικόνα 4.4.*



Εικόνα 4.4.: Απεικόνιση συνδέσεων λωρίδων σε δύο διαφορετικούς κόμβους. Οι συνδέσεις εμφανίζονται με λευκά βέλη.

Κάθε λωρίδα έχει επίσης ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό, τη συνδεσιμότητα (connectivity). Η συνδεσιμότητα ορίζει την ελκυστικότητα της λωρίδας σε σχέση με τους οδηγούς. Αυτό πρακτικά υποδεικνύει το ποσοστό των οδηγών που θα προτιμήσουν να κινηθούν στη λωρίδα αυτή. Η συνδεσιμότητα περιγράφεται από ένα δείκτη μεταξύ 0 και 1, με το 1 να αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή και την κατάσταση στην οποία η λωρίδα χρησιμοποιείται κανονικά από τους οδηγούς. Όσο ο αριθμός αυτός ελαττώνεται, τόσο μειώνεται και ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται στη λωρίδα αυτή.

Η οδός τριών λωρίδων κυκλοφορίας που αντιστοιχεί στη λεωφόρο Μεσογείων, χρησιμοποιεί τη

δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας ως λωρίδα διέλευσης οχημάτων της αστικής συγκοινωνίας. Προκειμένου να τηρηθεί αυτό το κριτήριο και στο δίκτυο σχεδιασμού, και η χρήση της λωρίδας να μην παραβιάζεται από τους οδηγούς, επιλέχθηκε ο δείκτης συνδεσιμότητας να έχει την τιμή 0.3. Οι υπόλοιπες λωρίδες του δικτύου έχουν δείκτη συνδεσιμότητας 1. Με τη ρύθμιση αυτή, η λωρίδα δε χρησιμοποιείται από τη διαμπερή κίνηση της κεντρικής οδικής αρτηρίας, ενώ η στρεφόμενη κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό, χρησιμοποιεί τη λωρίδα για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, έως ότου πραγματοποιήσει ελιγμό αλλαγής λωρίδας.

Κατηγορίες οδών

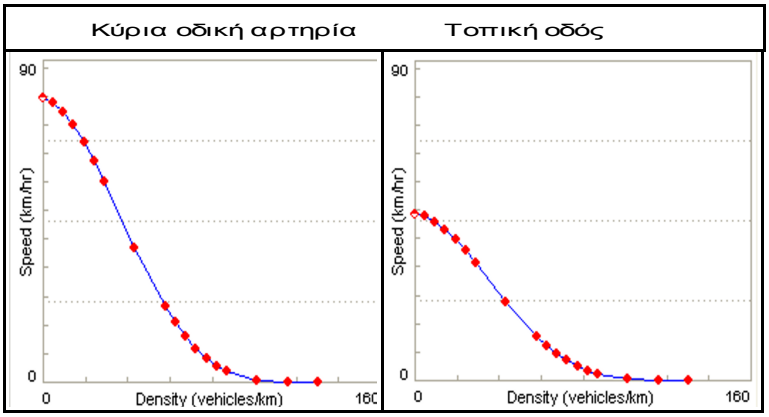
Σύμφωνα με τη γενικότερη μεθοδολογία της μελέτης, η εκκένωση λαμβάνει χώρα σε ένα έντονα αστικό περιβάλλον. Αυτό αυτομάτως υποδεικνύει και τις κατηγορίες των οδών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Ο κεντρικός δρόμος στον οποίο διοχετεύεται το μεγαλύτερο μέρος των κινήσεων, αποτελεί μια κύρια οδική αρτηρία, ενώ οι υπόλοιπες οδοί αποτελούν τοπικές αστικές οδούς. Καθεμιά από τις κατηγορίες αυτές, διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τις επιτρεπόμενες ταχύτητες, την κυκλοφοριακή ικανότητα και άλλα στοιχεία που φαίνονται στον *Πίνακα 4.2.*

Κύρια οδική αρτηρία	
Κυκλοφοριακή ικανότητα ανά λωρίδα	1200 οχ/h/λ
Ταχύτητα ελεύθερης ροής	79 km/h
Όριο ταχύτητας	70 km/h

Τοπική οδός	
Κυκλοφοριακή ικανότητα ανά λωρίδα	600 οχ/h/λ
Ταχύτητα ελεύθερης ροής	46 km/h
Όριο ταχύτητας	40 km/h

Πίνακας 4.2.: Χαρακτηριστικά των κατηγοριών των οδών ως προς την ταχύτητα και την κυκλοφοριακή ικανότητα των λωρίδων.

Πηγή: TransModeler User's Guide.

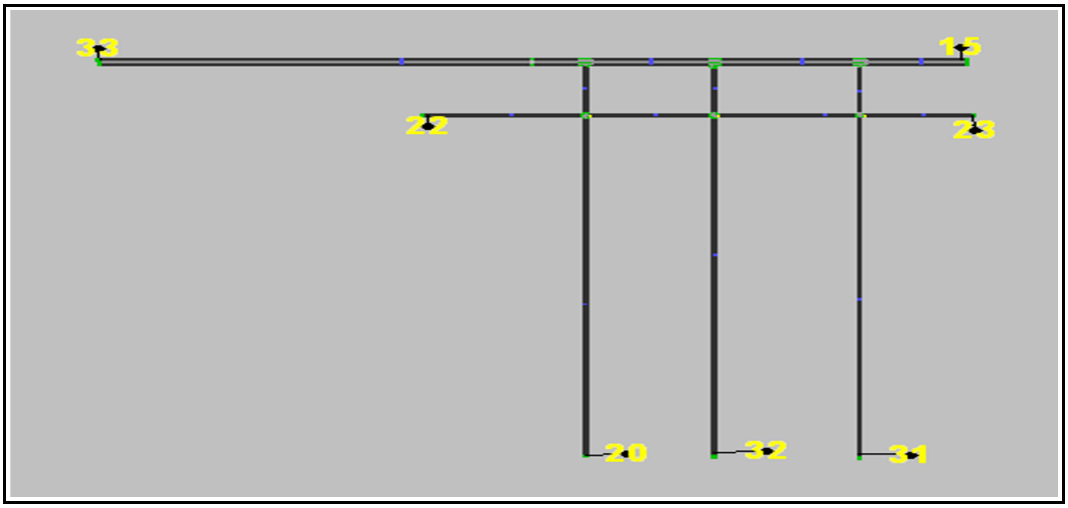


Εικόνα 4.5.: Διαγράμματα ταχύτητας – πυκνότητας για τις κατηγορίες των οδών.

Πηγή: TransModeler User's Guide.

Κεντροειδή σημεία

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, η είσοδος και η έξοδος των οχημάτων στο δίκτυο, αναπαρίσταται με ένα κεντροειδές σημείο, που διαθέτει και μια κωδική ονομασία. Τα κεντροειδή σημεία καθορίζουν την προέλευση και τον προορισμό των διαδρομών και επομένως, με βάση αυτά, ορίζεται και ο πίνακας Προέλευσης και Προορισμού του δικτύου. Κάθε κεντροειδές συνδέεται με έναν οδικό σύνδεσμο του δικτύου μέσω μιας σύνδεσης (centroid connector). Με τη σύνδεση αυτή, υποδεικνύεται το σημείο φόρτωσης των οχημάτων στο δίκτυο, καθώς και το σημείο εξόδου αυτών από το δίκτυο. Τα κεντροειδή σημεία που τοποθετήθηκαν στο δίκτυο, φαίνονται στην *Εικόνα 4.6.*



Εικόνα 4.6.: Απεικόνιση των κεντροειδών σημείων του δικτύου. Οι κωδικές ονομασίες των κεντροειδών σημείων απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα.

Αισθητήρες συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων

Για την εύκολη εξαγωγή κυκλοφοριακών μεγεθών όπως ο φόρτος και η χρονική κατάληψη, προστέθηκαν στο δίκτυο αισθητήρες σε κάθε τμήμα. Οι αισθητήρες, έχουν οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν τη μέτρηση των παρακάτω μεγεθών:

• Σημειακά δεδομένα:

- Αριθμός οχημάτων.
- Ταχύτητα οχημάτων.
- Διαχωρισμός.
- Κατάληψη.

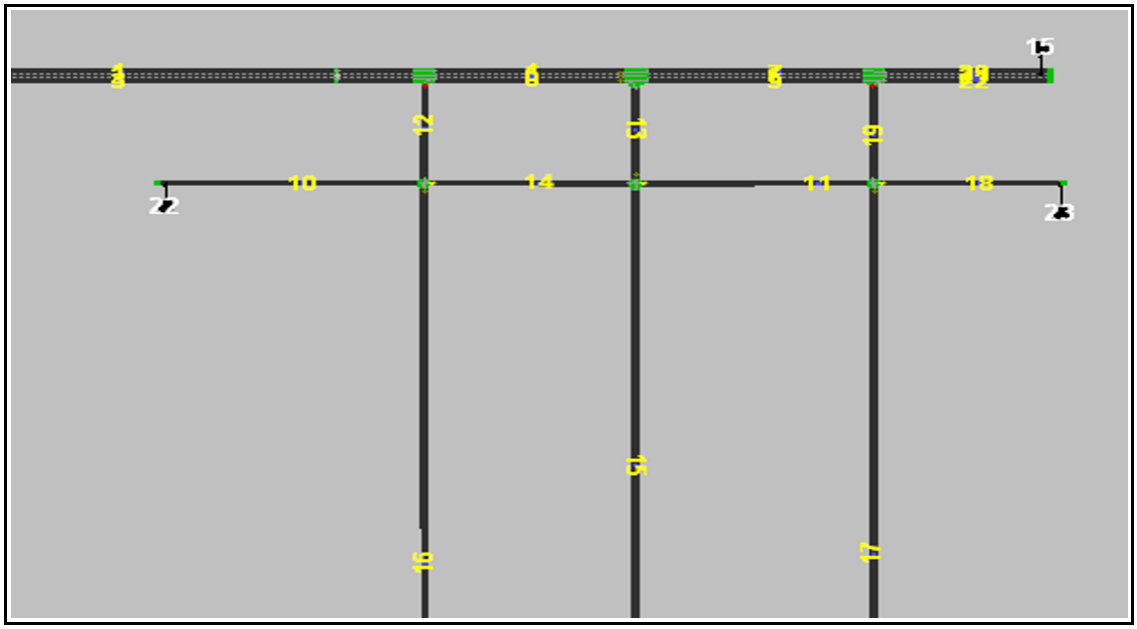
• Δεδομένα επικοινωνίας οχήματος και οδικού δικτύου (Vehicle-to-Roadside Communication, VRC):

- Κωδική ονομασία οχήματος.
- Είδος οχήματος.
- Ταχύτητα.
- Προέλευση.
- Προορισμός.

• Χωρικά δεδομένα.

• Δεδομένα ουρών.

Σε κάθε αισθητήρα, έχει αποδοθεί επίσης μια κωδική ονομασία ώστε να υπάρξει κωδικοποίηση των αποτελεσμάτων. Οι χωρικές θέσεις των αισθητήρων και οι κωδικές ονομασίες τους φαίνονται στην *Εικόνα 4.7.*



Εικόνα 4.7.: Απεικόνιση των αισθητήρων του δικτύου. Με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι κωδικές ονομασίες των αισθητήρων.

Κόμβοι

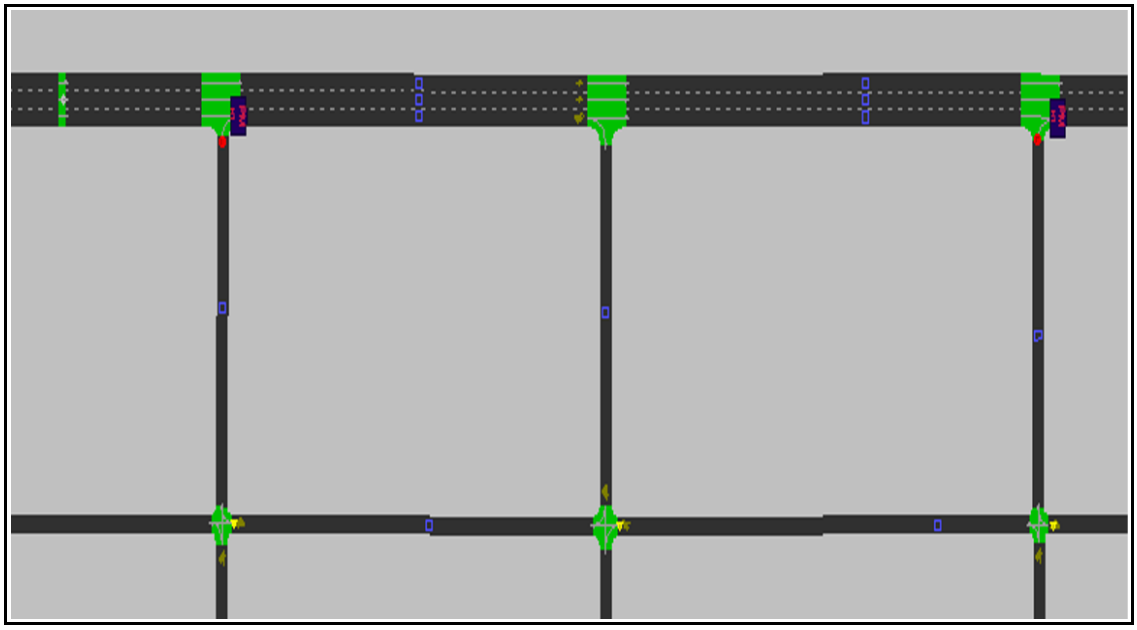
Το δίκτυο περιλαμβάνει δεκατέσσερις κόμβους, αφού ως κόμβοι δε χαρακτηρίζονται μόνο τα σημεία συμβολής δύο οδικών συνδέσμων, αλλά και κάθε άκρο ενός συνδέσμου αποτελεί ένα κόμβο. Προκειμένου το δίκτυο να είναι λειτουργικό και να ισχύουν παρόμοιες συνθήκες σε όλο το οδικό δίκτυο, είναι απαραίτητο όλοι οι κόμβοι παρόμοιας γεωμετρίας να έχουν την ίδια έκταση. Κάθε κόμβος περιλαμβάνει τις συνδέσεις των λωρίδων, που καθορίζουν τις κινήσεις και τις κατευθύνσεις των οχημάτων, αλλά και στοιχεία σηματοδότησης κατά περίπτωση. Πιο αναλυτικά, οι κόμβοι – άκρα των οδικών συνδέσμων δεν περιλαμβάνουν τίποτα από αυτά, ενώ οι κόμβοι με την κλασσική έννοια της λέξης περιλαμβάνουν και τα δύο. Σε ένα σημείο της αρτηρίας έχει τοποθετηθεί ένας κόμβος που χωρικά δε συνδέεται με άλλους συμβαλλόμενους οδικούς συνδέσμους. Ο λόγος για τον οποίο έχει τοποθετηθεί κόμβος στο σημείο αυτό είναι γιατί ήταν απαραίτητο να τοποθετηθεί εκεί φωτεινός σηματοδότης.

Σηματοδότηση

Στο δίκτυο, προστέθηκαν σήματα διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας, τα οποία ήταν σήματα υποχρεωτικής στάσης (stop) και σήματα παραχώρησης προτεραιότητας (yield), καθώς και ένας φωτεινός σηματοδότης. Η τοποθέτηση των σημάτων αυτών έγινε για λόγους καλύτερου ελέγχου των κινήσεων και πιο ρεαλιστικής απόδοσης του δικτύου, ώστε να διαπιστωθεί μέσω των

προσομοιώσεων η επίδραση και τήρησή τους από τους οδηγούς.

Τα σήματα υποχρεωτικής στάσης, τοποθετήθηκαν στις κάθετες οδούς που έχουν κατεύθυνση προς την κεντρική οδό και πιο συγκεκριμένα στο σημείο συμβολής της κάθετης οδού με την κεντρική αρτηρία. Ο λόγος είναι προφανής, καθώς ένας οδηγός εισέρχεται από ένα μικρό δρόμο μιας λωρίδας κυκλοφορίας σε δρόμο με υψηλότερο επίπεδο προτεραιότητας. Τα σήματα παραχώρησης προτεραιότητας, τοποθετήθηκαν στις διασταυρώσεις του παράλληλου προς την κεντρική αρτηρία δρόμου, με τις κάθετες οδούς. Ο λόγος είναι ότι εφόσον η εκκένωση λαμβάνει χώρα μέσω των κάθετων οδών, είναι επιθυμητή η απόδοση προτεραιότητας στα οχήματα αυτά, εφόσον επιλέγουν να ακολουθήσουν την κατεύθυνση αυτή για την εκκένωση, που είναι και η υποτιθέμενη κατεύθυνση. Οι σημάνσεις που περιγράφηκαν, παρουσιάζονται στην *Εικόνα 4.8.*

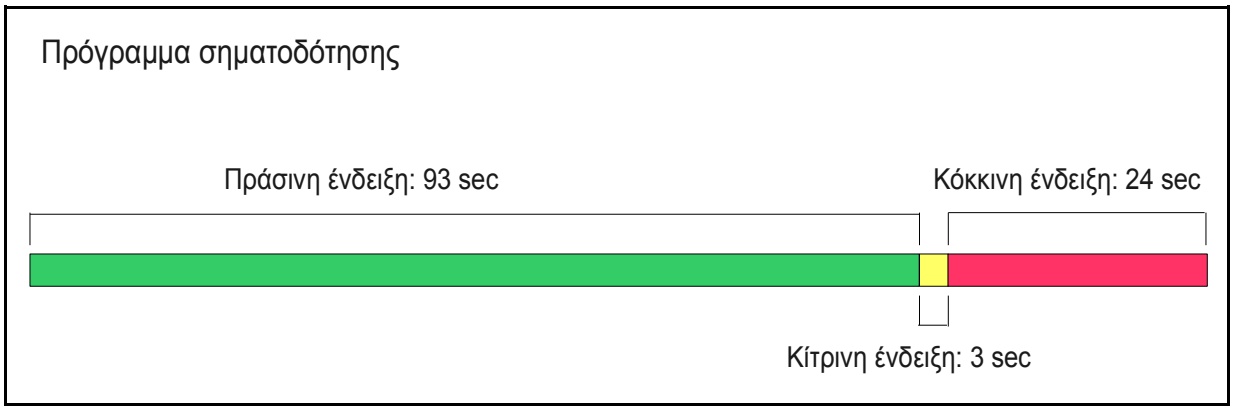


Εικόνα 4.8.: Απεικόνιση της σηματοδότησης του δικτύου. Με κόκκινο κύκλο φαίνονται τα σήματα υποχρεωτικής στάσης, με κίτρινο τρίγωνο τα σήματα παραχώρησης προτεραιότητας. Ο φωτεινός σηματοδότης βρίσκεται στη λεπτή πράσινη γραμμή στα αριστερά της εικόνας.

Η σηματοδότηση συνδέεται άμεσα με τους κόμβους στο δίκτυο. Για να προστεθεί ένας φωτεινός σηματοδότης στο δίκτυο, είναι απαραίτητο στο σημείο αυτό να υπάρχει ένας κόμβος. Επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ένας φωτεινός σηματοδότησης που επιτρέπει τη διάβαση των πεζών σε ένα σημείο της μεγάλης οδικής αρτηρίας, το οποίο απέχει 50 m από την πρώτη διασταύρωση του δικτύου. Ο λόγος για τον οποίο τοποθετήθηκε το φανάρι στο σημείο αυτό, είναι για να ενισχυθεί η επίδραση

του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την οδηγική συμπεριφορά, αφού με το φανάρι, οι οδηγοί αναγκάζονται να σταματήσουν και να εκκινήσουν ξανά, ανακόπτοντας την πορεία τους.

Ο κύκλος σηματοδότησης ορίστηκε με βάση στοιχεία που λήφθηκαν με επιτόπια έρευνα. Μετρήθηκαν οι χρόνοι πράσινης, κίτρινης και κόκκινης ένδειξης σε ένα σηματοδότη της λεωφόρου Μεσογείων, στο ύψος του σταθμού Νομισματοκοπείου. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, ο κύκλος σηματοδότησης διαμορφώνεται ως εξής:



Εικόνα 4.9.: Πρόγραμμα σηματοδότησης του φωτεινού σηματοδότη του δικτύου.

4.4.2. Στόλος οχημάτων

Μια βασική παράμετρος της εφαρμογής της προσομοίωσης είναι και η διαμόρφωση του στόλου των οχημάτων που θα φορτωθούν στο δίκτυο μελέτης. Με την έννοια του στόλου οχημάτων, περιγράφεται η σύνθεση του πλήθους των οχημάτων που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης, ή πιο αναλυτικά το ποσοστό των επιβατικών οχημάτων, μοτοσυκλετών και βαρέων οχημάτων.

Ο λόγος για τον οποίο είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη σύνθεση του στόλου οχημάτων είναι το γεγονός ότι κάθε όχημα κινείται και συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο, αφού μπορεί να έχει διαφορετικό μέγεθος και όγκο και επομένως να είναι πιο ευέλικτο ή η μέγιστη ταχύτητά του να είναι μικρότερη. Είναι φανερό, ότι εφόσον τα οχήματα διαφέρουν σε χαρακτηριστικά, θα έχουν και διαφορετικές επιπτώσεις στην κυκλοφορία.

Δεν ήταν δυνατό να συλλεχθούν τέτοιου είδους στοιχεία, συγκεκριμένα για την περιοχή της εφαρμογής, μπορεί όμως να θεωρηθεί ότι ο στόλος των οχημάτων στην περιοχή αποτελεί μια μικρογραφία του συνολικού ελληνικού στόλου οχημάτων. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία του 2009 της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, ο στόλος των οχημάτων στην ελληνική επικράτεια φαίνεται στον *Πίνακα 4.3.*

Από τον πίνακα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, επιλέχθηκαν κάποιες κατηγορίες οχημάτων από αυτές του συνολικού ελληνικού στόλου οχημάτων και οι τιμές τους εισήχθησαν ως παράμετροι στις προσομοιώσεις της εφαρμογής. Οι επιλεγμένες κατηγορίες οχημάτων και οι τιμές των ποσοστών που αντιπροσωπεύουν από το σύνολο των οχημάτων που διέρχονται από το δίκτυο της εφαρμογής, φαίνονται στον *Πίνακα 4.4.* Κάθε κατηγορία οχημάτων διαθέτει και μια κωδική ονομασία, η οποία διευκολύνει την εισαγωγή των στοιχείων αυτών στο λογισμικό TransModeler.

Κατηγορία Οχημάτων	2009	Ποσοστό %
Σύνολο	7.910.565	100
Αυτοκίνητα	6.461.714	81,68
Επιβατικά	**5.131.960**	**64,87**
Δ.Χ	33.560	0,42
Ι.Χ	5.098.400	64,45
Λεωφορεία	**27.324**	**0,35**
Δ.Χ	15.069	0,19
Ι.Χ	12.255	0,15
Φορτηγά	**1.302.430**	**16,46**
Δ.Χ	36.495	0,46
Ι.Χ	1.265.935	16
Μοτοσυκλέτες	**1.448.851**	**18,32**
Επιβατηγές	1.438.713	18,19
Φορτηγές	10.138	0,13
Δ.Χ	5.660	0,07

Πίνακας 4.3.: Πίνακας σύνθεσης του ελληνικού στόλου οχημάτων.

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2009

Στόλος οχημάτων	Κωδική ονομασία	Ποσοστό %
Επιβατικά οχήματα υψηλής απόδοσης	PC1	22,7
Επιβατικά οχήματα μεσαίας απόδοσης	PC2	29,19
Επιβατικά οχήματα χαμηλής απόδοσης	PC3	12,97
Φορτηγά	PU	16,46
Λεωφορεία	B	0,35
Μοτοσυκλέτες	M	18,32
Σύνολο		**100**

Πίνακας 4.4.: Τελικός πίνακας σύνθεσης του στόλου οχημάτων στις προσομοιώσεις.

Ο στόλος οχημάτων χαρακτηρίζεται και από τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των επιταχύνσεων για κάθε κατηγορία οχημάτων. Στο TransModeler, οι μέγιστες τιμές των επιταχύνσεων εξαρτώνται από το λόγο βάρους προς την ισχύ του κινητήρα του οχήματος, την ταχύτητα των οχημάτων, αλλά και την κλίση του εδάφους. Οι τιμές των επιταχύνσεων ορίστηκαν στα ακόλουθα επίπεδα [*Snare,* 2002]:

Λόγος kg/kw	Ταχύτητα <16 km/h Κλίση <10%	Ταχύτητα 16-32 km/h Κλίση 10%-20%	Ταχύτητα 32-48 km/h Κλίση 20%-30%	Ταχύτητα 48-64 km/h Κλίση 30%-40%	Ταχύτητα 64-80 km/h Κλίση 40%-50%	Ταχύτητα >80 km/h Κλίση >50%
15	2.8	2.8	2.4	2.2	1.9	1.7
18	2.4	2.4	2	1.8	1.6	1.4
21	2.1	2.1	1.7	1.5	1.3	1.2
61	0.9	0.9	0.6	0.5	0.3	0.2
122	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1
182	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1

Πίνακας 4.5.: Πίνακας μέγιστων επιταχύνσεων του στόλου οχημάτων. Οι τιμές των επιταχύνσεων είναι σε m/sec^2.

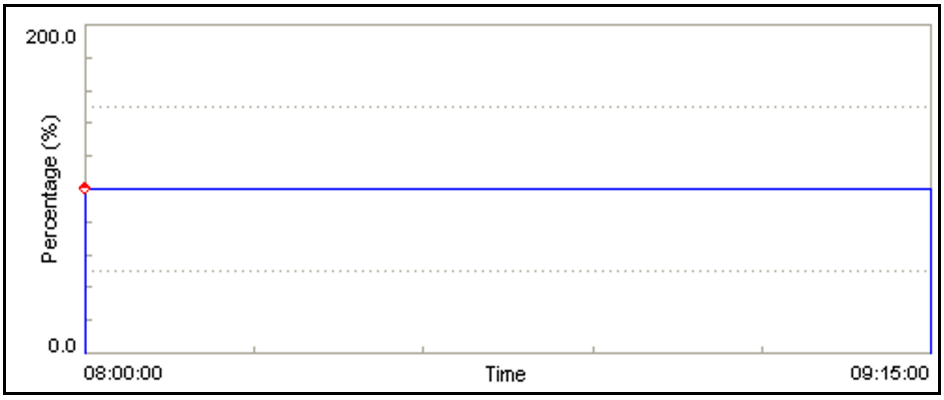
4.4.3. Κατανομή ζήτησης μετακινήσεων

Η φόρτωση των μετακινήσεων στο οδικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν πραγματοποιείται με ενιαίο τρόπο αλλά με τη χρήση μιας καμπύλης διαμόρφωσης της ζήτησης. Η καμπύλη αυτή, μπορεί να διαθέτει ένα ή περισσότερα χρονικά διαστήματα ανάλογα με τον επιθυμητό τρόπο διεξαγωγής της εφαρμογής.

Η πρώτη καμπύλη δεν διαθέτει χρονικά τμήματα. Η φόρτωση των οχημάτων στο δίκτυο πραγματοποιείται με ομοιόμορφο τρόπο στο χρονικό διάστημα που πραγματοποιείται η προσομοίωση, με βάση πάντα τον ορισμένο πίνακα Προέλευσης και Προορισμού. Η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη περίπτωση όπου το οδικό δίκτυο βρίσκεται σε ήδη κορεσμένες συνθήκες και παραμένει στις ίδιες συνθήκες καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η καμπύλη που περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά αυτά απεικονίζεται στο *Διάγραμμα 4.1.*

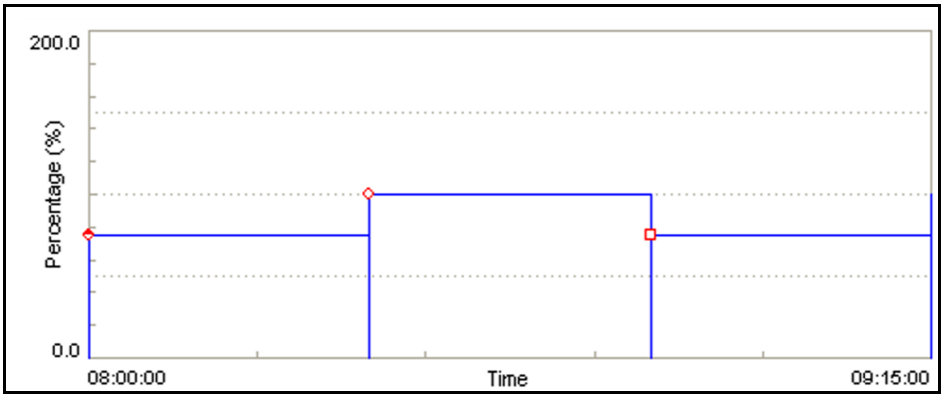
Η δεύτερη καμπύλη χωρίζεται σε δύο ή περισσότερα χρονικά τμήματα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μια υπόθεση είναι ότι υπάρχουν τρία χρονικά τμήματα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα 20 λεπτών της ώρας. Στην περίπτωση αυτή, σε κάθε χρονικό τμήμα φορτώνεται στο δίκτυο ένα ποσοστό του αριθμού των οχημάτων που καθορίζεται από τον πίνακα Προέλευσης – Προορισμού. Στα πρώτα 20 λεπτά της ωριαίας προσομοίωσης, το ποσοστό του αριθμού των οχημάτων που φορτώνεται στο δίκτυο είναι το 75,6%. Στα επόμενα 20 λεπτά, φορτώνεται στο δίκτυο το 100% των οχημάτων, ενώ στο

τελευταίο διάστημα των 20 λεπτών το ποσοστό επανέρχεται στο 75,6%. Με τον τρόπο αυτό, θεωρείται ότι στα πρώτα 20 λεπτά και στα τελευταία 20 λεπτά της ώρας, το δίκτυο βρίσκεται σε κορεσμένες συνθήκες, αλλά μόνο τα 20 λεπτά του ενδιάμεσου τμήματος αντιστοιχούν στη δυσμενέστερη περίπτωση. Η καμπύλη που περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά αυτά απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.1.: Καμπύλη ομοιόμορφης κατανομής της φόρτωσης των οχημάτων στο δίκτυο.

Πηγή: TransModeler User's Guide.



Διάγραμμα 4.2.: Καμπύλη κατανομής της φόρτωσης των οχημάτων στο δίκτυο με τρία χρονικά τμήματα.

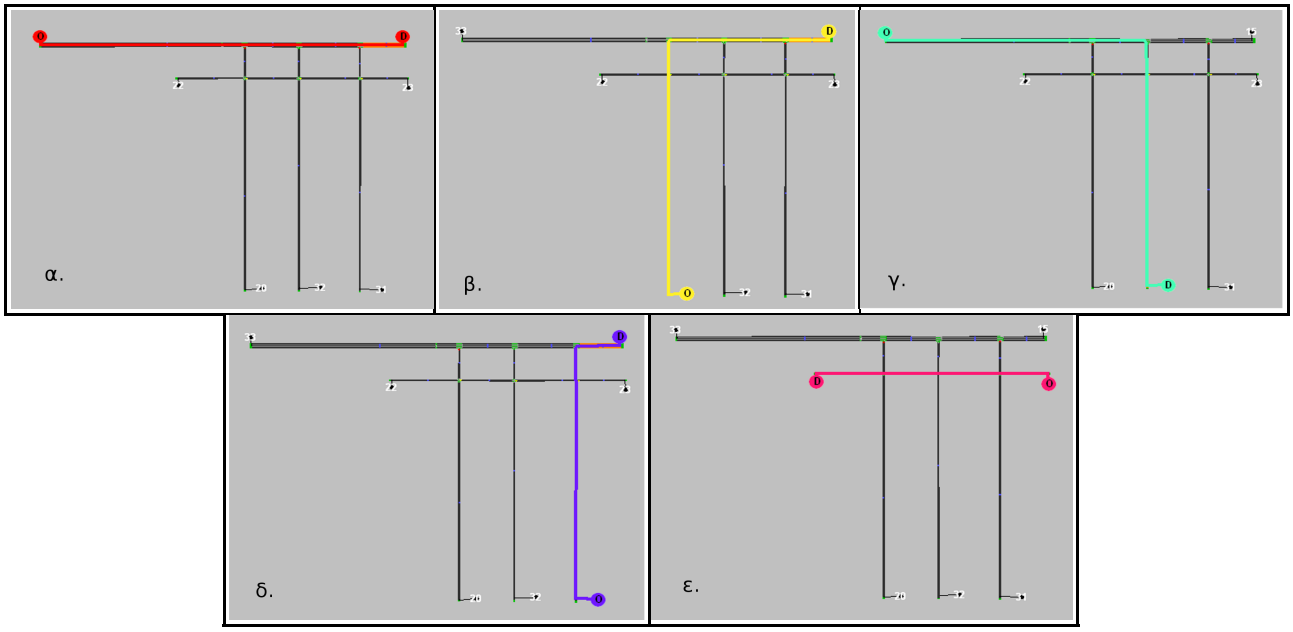
Πηγή: TransModeler User's Guide.

4.4.4. Μητρώο Προέλευσης και Προορισμού

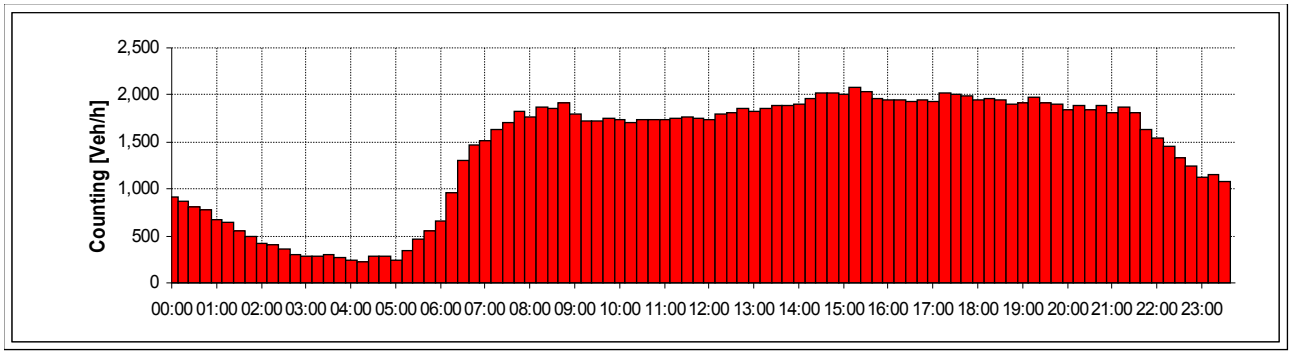
Εφόσον το δίκτυο έχει δημιουργηθεί, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα μητρώο Προέλευσης και Προορισμού, με βάση το οποίο, θα διεξαχθούν οι μετακινήσεις. Οι διαδρομές στο δίκτυο είναι συγκεκριμένες και βασίζονται στα κεντροειδή σημεία που έχουν τοποθετηθεί στο δίκτυο. Οι διαδρομές, όπως φαίνονται στην *Εικόνα 4.10.*, είναι οι ακόλουθες:

- Διαμπερής κίνηση στη μεγάλη οδική αρτηρία, δηλαδή κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15 (*Εικόνα 4.10.α*).
- Στρεφόμενη κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό προς τη μεγάλη οδική αρτηρία, δηλαδή κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15 (*Εικόνα 4.10.β*).
- Στρεφόμενη κίνηση από τη μεγάλη οδική αρτηρία προς τη δεύτερη κάθετη οδό, δηλαδή κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32 (*Εικόνα 4.10.γ*).
- Στρεφόμενη κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό προς τη μεγάλη οδική αρτηρία, δηλαδή κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15 (*Εικόνα 4.10.δ*).
- Διαμπερής κίνηση στη μικρή παράλληλη οδό, δηλαδή κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22 (*Εικόνα 4.10.ε*).

Με βάση τις κινήσεις που περιγράφηκαν, θα δημιουργηθεί ο πίνακας Προέλευσης και Προορισμού, για τον οποίο όμως πρέπει να γίνει μια εκτίμηση των μεγεθών που θα εμπεριέχει. Η μεγάλη οδική αρτηρία, αντιστοιχεί στην οδό Μεσογείων. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας Αθηνών (*Διάγραμμα 4.3.*), κατά τις ώρες αιχμής, η λεωφόρος Μεσογείων παρουσιάζει μέγιστο φόρτο περίπου 2000 οχ/h. Έπειτα από δοκιμές, αποφασίστηκε η τιμή για την κίνηση στη μεγάλη οδική αρτηρία να είναι 1800 οχ/h, ώστε να μη δημιουργείται πρόβλημα λειτουργίας του δικτύου. Σε αντίθετη περίπτωση δημιουργούνταν ουρές μέχρι το σημείο φόρτωσης των οχημάτων (loader), οι οποίες παρεμπόδιζαν την είσοδο οχημάτων στο δίκτυο και το οδηγούσαν σε μια στάσιμη κατάσταση.



Εικόνα 4.10.: Απεικόνιση των κινήσεων των οχημάτων στο δίκτυο. Στις εικόνες με ονομασίες α, β, γ, δ και ε, απεικονίζονται μεμονωμένα οι κινήσεις στο δίκτυο.



Διάγραμμα 4.3.: Διάγραμμα φόρτου της Λεωφόρου Μεσογείων συναρτήσει του χρόνου.

Πηγή: Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας Αθηνών

Για τις δύο στρεφόμενες κινήσεις προς την κεντρική αρτηρία, για ακόμα μια φορά έπειτα από πειραματισμούς, προέκυψε μια τιμή κοντά στα 420 οχ/h, που είναι λογική εφόσον η υπόθεση είναι ότι οι κάτοικοι εκκενώνουν την περιοχή και χρησιμοποιούν αυτούς τους δρόμους προκειμένου να καταλήξουν στην κεντρική αρτηρία μέσω της οποίας θα διαφύγουν από την περιοχή. Πρέπει να τονιστεί ότι η τιμή αυτή είναι πολύ διαφορετική από την κυκλοφοριακή ικανότητα των δρόμων

αυτών. Ο λόγος για τον οποίο η τιμή δεν προσεγγίζει την κυκλοφοριακή ικανότητα, είναι ότι αντικείμενο μελέτης είναι η πρόσβαση των οχημάτων στον κεντρικό δρόμο και όχι ο αριθμός των διελεύσεων από τον τοπικό δρόμο. Έπειτα από αρκετές δοκιμές, προέκυψε αυτή η τιμή, ώστε η πρόσβαση στην κεντρική οδική αρτηρία να πραγματοποιείται χωρίς προβλήματα.

Για τη στρεφόμενη κίνηση από την κεντρική αρτηρία, ο αριθμός των οχημάτων που θα επιλέξουν τη διαδρομή αυτή θα είναι μικρότερος και τα οχήματα αυτά θα είναι κυρίως οχήματα έκτακτης ανάγκης που επιθυμούν πρόσβαση στην πληγείσα περιοχή. Ο φόρτος για την κίνηση αυτή εκτιμάται στα 100 οχ/h περίπου. Η τελευταία κίνηση, στην παράλληλη οδό, θα έχει επίσης ένα μικρότερο αριθμό οχημάτων σε σχέση με τις στρεφόμενες κινήσεις προς τη μεγάλη αρτηρία. Θεωρήθηκε ότι η πλειοψηφία των κινήσεων του πληθυσμού θα διοχετευτεί στην κεντρική οδική αρτηρία, επομένως μόνο ένα μικρό ποσοστό θα επιλέξει άλλου είδους διαδρομή για την απομάκρυνσή του. Τελικά, ο φόρτος για την κίνηση αυτή ορίστηκε στα 200 οχ/h και ο πίνακας διαμορφώνεται ως εξής:

Π \ Π	**15**	**22**	**32**
20	420		
23		200	
31	420		
33	1800		100

Πίνακας 4.6.: Μητρώο Προέλευσης και Προορισμού του δικτύου σε οχήματα ανά ώρα.

4.4.5. Μέθοδος προσομοίωσης

Η μέθοδος προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή, είναι η μικροσκοπική προσομοίωση. Η χρήση του εργαλείου αυτού, επιτρέπει τη ρύθμιση παραμέτρων σε επίπεδο οδηγού, που δε θα μπορούσε να είναι εφικτή με άλλου είδους μοντέλα προσομοίωσης. Η επιλογή του μοντέλου προσομοίωσης στο TransModeler, πραγματοποιείται στο επίπεδο κατασκευής του δικτύου, όπου κάθε τμήμα που δημιουργείται επιλέγεται ως τμήμα μακροσκοπικής, μεσοσκοπικής, ή μικροσκοπικής πιστότητας.

Οι προσομοιώσεις διεξάγονται σε χρονικό διάστημα μιας ώρας και δεκαπέντε λεπτών. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτό το χρονικό διάστημα, είναι το γεγονός ότι με το πέρας της

προσομοίωσης, όλα τα οχήματα που κινούνταν στο οδικό δίκτυο πρέπει να το έχουν εγκαταλείψει. Μετά από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για προσομοιώσεις με χρονική διάρκεια μιας ώρας, διαπιστώθηκε ότι ήταν απαραίτητο να προστεθεί ένα επιπλέον διάστημα δεκαπέντε λεπτών ώστε να απομακρυνθούν από το δίκτυο όλα τα οχήματα που παρέμεναν σε αυτό λόγω του σχηματισμού ουρών στους κάθετους δρόμους.

Με την έναρξη κάθε προσομοίωσης, το οδικό δίκτυο βρίσκεται ήδη σε φορτωμένη κατάσταση όσον αφορά τα οχήματα (preloaded state). Οι επιλογή αυτή έγινε για το λόγο ότι κάθε εφαρμογή της προσομοίωσης αφορά ένα οδικό δίκτυο το οποίο σε συνθήκες εκκένωσης βρίσκεται ήδη σε λειτουργία, δηλαδή χρησιμοποιείται ήδη από ένα πλήθος οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό, τα αποτελέσματα είναι περισσότερο ρεαλιστικά, αφού δεν παρέρχεται χρόνος μέχρι το δίκτυο να βρεθεί σε μια κατάσταση φυσιολογικής λειτουργίας και το δίκτυο είναι σε μια περισσότερο σταθερή κατάσταση. Η διάρκεια της προ-φόρτωσης του δικτύου επιλέχθηκε να είναι τρία πρώτα λεπτά της ώρας, δεδομένης της ζήτησης στο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο.

Όπως είναι φυσικό, κάθε προσομοίωση, καταλήγει σε διαφορετικά αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε εφαρμογή της προσομοίωσης είναι στοχαστική. Για το λόγο αυτό, έπρεπε να διεξαχθούν κάποια πειράματα ώστε να διαπιστωθεί σε ποιο βαθμό συγκλίνουν τα αποτελέσματα για τα επιθυμητά μεγέθη, όσο αυξάνεται ο αριθμός των προσομοιώσεων. Τα μεγέθη που ήταν απαραίτητο να μελετηθούν είναι ο φόρτος, η μέση καθυστέρηση ανά όχημα και ο μέσος χρόνος διαδρομής ανά όχημα. Το αποτέλεσμα των πειραμάτων αυτών καθόρισε τον αριθμό των επαναλήψεων που πρέπει να πραγματοποιούνται για κάθε σενάριο της εφαρμογής, ώστε ο μέσος όρος που προκύπτει να είναι ένα μέγεθος ρεαλιστικό.

Πείραμα επαναλήψεων

Όπως προαναφέρθηκε, ήταν απαραίτητο να διεξαχθεί ένα πείραμα ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός των επαναληπτικών προσομοιώσεων που θα πραγματοποιείται στο λογισμικό TransModeler, για κάθε σενάριο που εξετάζεται. Το πείραμα αυτό, υπακούει στον ακόλουθο σχεδιασμό: καθορίζοντας μερικές από τις παραμέτρους που αναλύθηκαν σε προηγούμενες ενότητες και για συγκεκριμένο πίνακα Προέλευσης και Προορισμού στο υπάρχον δίκτυο, πραγματοποιούνται 20 επαναλήψεις. Με βάση τις τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων συγκεκριμένων μεγεθών, εκτιμάται ο ικανός αριθμός επαναλήψεων στις οποίες υπάρχει σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Ο σχεδιασμός περιγράφεται στη συνέχεια με μερικά απλά βήματα.

- Το πείραμα διεξάχθηκε στο οδικό δίκτυο που περιγράφηκε στην *ενότητα 4.2.1.*
- Ο στόλος οχημάτων είναι ο ίδιος που περιγράφηκε στην *ενότητα 4.2.3* και απεικονίζεται στον *Πίνακα 4.3.*

- Η κατανομή που ακολουθήθηκε για τη φόρτωση των οχημάτων στο δίκτυο είναι ομοιόμορφη και χωρίς χρονικά διαστήματα.
- Ο πίνακας Προέλευσης και Προορισμού ορίστηκε λίγο μικρότερος σε μετακινήσεις από τον πίνακα της εφαρμογής.
- Οι παράμετροι της οδηγικής συμπεριφοράς είχαν τις βασικές τιμές που περιγράφουν μια ομαλή συμπεριφορά και διεξαγωγή των κινήσεων στο δίκτυο.
- Επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν 20 επαναλήψεις για το συγκεκριμένο σχεδιασμό.
- Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε ο κόμβος που περιγράφεται από τα οδικά τμήματα με κωδικές ονομασίες 1, 2 και 5.
- Τα κυκλοφοριακά μεγέθη που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση ήταν τα ακόλουθα:
    - Φόρτος από τον αισθητήρα με κωδική ονομασία 12.
    - Μέση καθυστέρηση ανά όχημα από το τμήμα με κωδική ονομασία 2 στο τμήμα με κωδική ονομασία 5.
    - Μέσος χρόνος διαδρομής ανά όχημα από το τμήμα με κωδική ονομασία 2.

Ο λόγος για τον επιλέχθηκε το δίκτυο αυτό είναι φυσικά, για να διαπιστωθεί ο αριθμός των επαναλήψεων στις συνθήκες της εφαρμογής. Το ίδιο ισχύει και για το στόλο οχημάτων, ο οποίος και παραμένει αμετάβλητος κατά την εκτέλεση διαφορετικών σεναρίων.

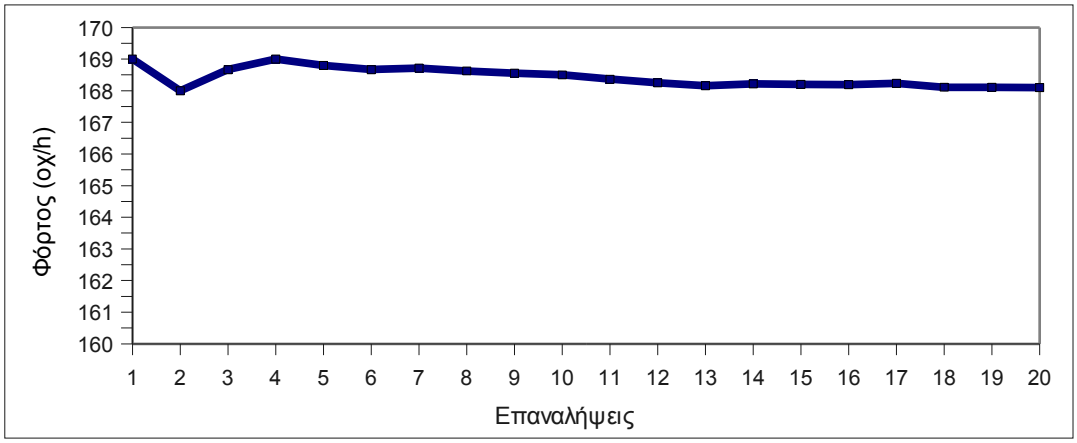
Η κατανομή που περιγράφει τη φόρτωση των οχημάτων στο δίκτυο επιλέχθηκε να είναι ομοιόμορφη και χωρίς χρονικά τμήματα, γιατί θεωρήθηκε ότι το δίκτυο βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση καθ' όλη τη διάρκεια των προσομοιώσεων και δεν υπάρχει διακύμανση. Αυτή η περίπτωση είναι και η δυσμενέστερη.

Ο πίνακας Προέλευσης και Προορισμού αποφασίστηκε να είναι λίγο μικρότερος από τον πίνακα της εφαρμογής, ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα ουρών ή άλλες δυσκολίες λόγω υψηλών φόρτων. Επίσης οι παράμετροι της οδηγικής συμπεριφοράς ορίστηκαν στις βασικές τους τιμές που αντιστοιχούν σε συνθήκες φυσιολογικής συμπεριφοράς των οδηγών.

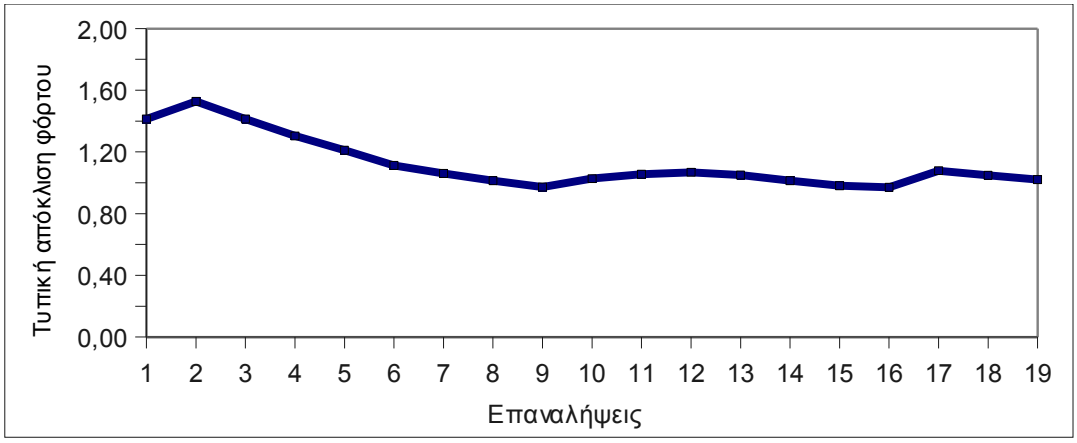
Τα αποτελέσματα των πειραματικών προσομοιώσεων φαίνονται στον *Πίνακα 4.11*., αλλά και στα διαγράμματα από τα οποία προκύπτει ότι τα αποτελέσματα του δικτύου σταθεροποιούνται περίπου στις δέκα επαναλήψεις ή νωρίτερα. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε ότι τα πειράματα της εφαρμογής θα πραγματοποιούνται σε δέκα επαναλήψεις το καθένα.

Επαναλήψεις	Φόρτος (οχ/h)	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή ως τώρα	Καθυστέρηση (sec)	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή ως τώρα	Χρόνος διαδρομής (sec)	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή ως τώρα
1	169	N/A	169	77.1	N/A	77.10	64.6	N/A	64.6
2	167	1.41	168.00	83.7	4.67	80.40	71.6	4.90	68.1
3	170	1.53	168.67	103.5	13.74	88.10	91.6	13.99	75.9
4	170	1.41	169.00	81.5	11.69	86.45	68.3	12.03	74.0
5	168	1.30	168.80	102.2	12.34	89.60	87.4	12.03	76.7
6	168	1.21	168.67	126.7	18.74	95.78	111.7	17.87	82.5
7	169	1.11	168.71	174.7	34.38	107.06	161.2	33.91	93.8
8	168	1.06	168.63	84.6	32.81	104.25	70.9	32.42	90.9
9	168	1.01	168.56	86.4	31.26	102.27	75.8	30.74	89.2
10	168	0.97	168.50	108.6	29.54	102.90	96.2	29.07	89.9
11	167	1.03	168.36	90.1	28.29	101.74	78.4	27.79	88.9
12	167	1.06	168.25	115.7	27.27	102.90	99.0	26.66	89.7
13	167	1.07	168.15	149.4	29.12	106.48	135.9	28.55	93.3
14	169	1.05	168.21	90.7	28.30	105.35	77.8	27.74	92.2
15	168	1.01	168.20	116	27.41	106.06	99.9	26.81	92.7
16	168	0.98	168.19	56.2	29.26	102.94	47.7	28.23	89.9
17	169	0.97	168.24	105.9	28.34	103.12	92.6	27.34	90.0
18	166	1.08	168.11	79.5	28.06	101.81	66.9	27.08	88.8
19	168	1.05	168.11	91.1	27.38	101.24	77.0	26.46	88.1
20	168	1.02	168.10	91.1	26.74	100.74	78.8	25.84	87.7

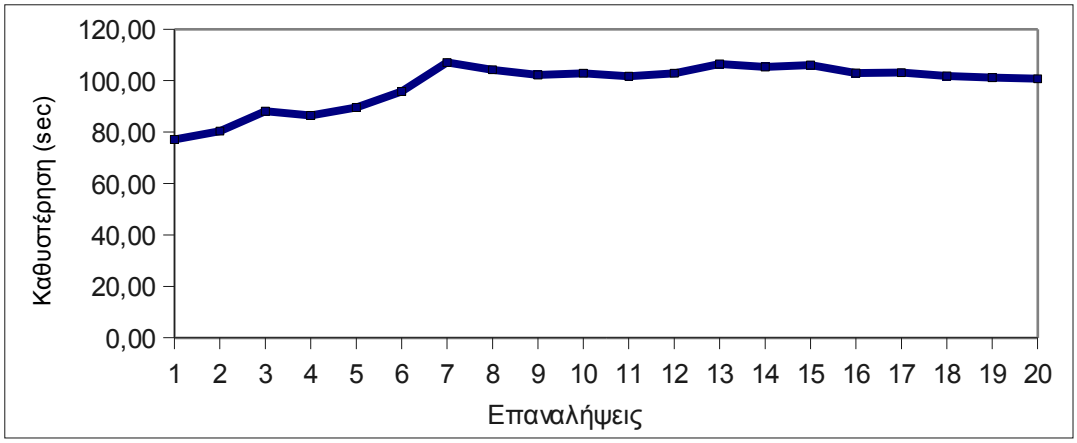
Πίνακας 4.11.: Αποτελέσματα πειραματικών προσομοιώσεων για 20 επαναλήψεις.



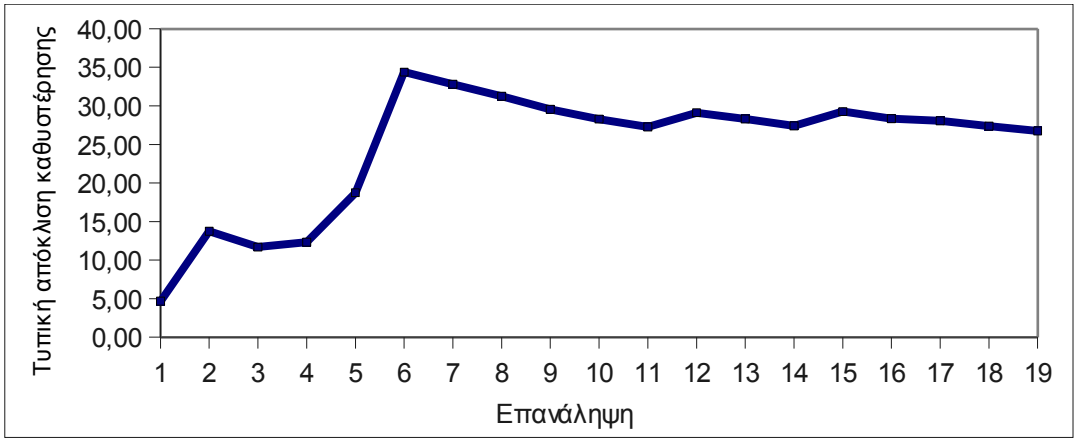
Διάγραμμα 4.16.: Διάγραμμα μέσων τιμών φόρτου στις είκοσι επαναλήψεις.



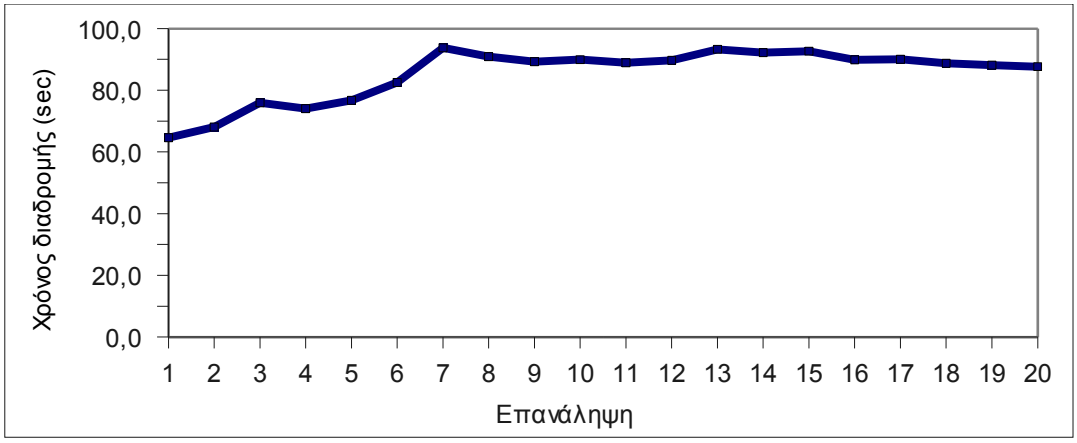
Διάγραμμα 4.17.: Διάγραμμα τυπικής απόκλισης φόρτου στις είκοσι επαναλήψεις.



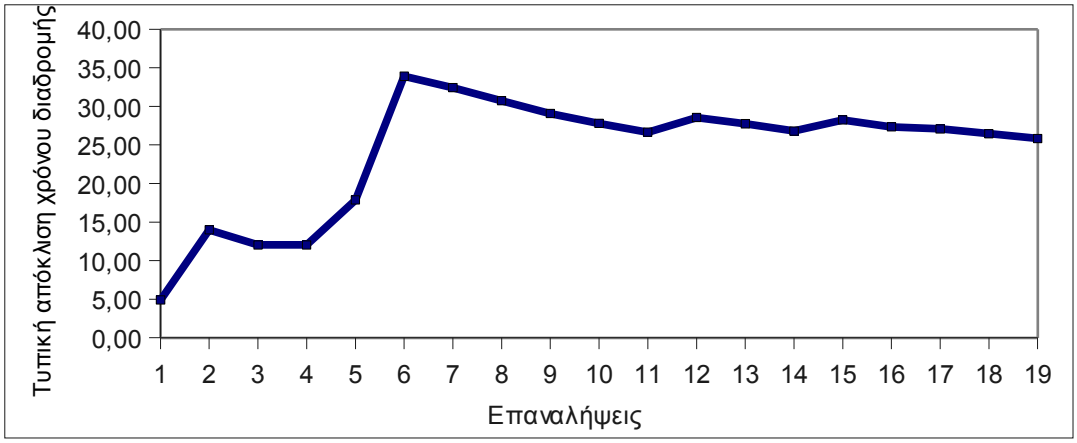
Διάγραμμα 4.18.: Διάγραμμα μέσων τιμών καθυστέρησης στις είκοσι επαναλήψεις.



Διάγραμμα 4.19.: Διάγραμμα τυπικής απόκλισης καθυστέρησης στις είκοσι επαναλήψεις.



Διάγραμμα 4.20.: Διάγραμμα μέσων τιμών χρόνου διαδρομής στις είκοσι επαναλήψεις.



Διάγραμμα 4.21.: Διάγραμμα τυπικής απόκλισης χρόνου διαδρομής στις είκοσι επαναλήψεις.

Με τη βοήθεια του λογισμικού TransModeler, το δίκτυο της εφαρμογής προετοιμάστηκε ώστε να πραγματοποιηθεί η πειραματική εφαρμογή που τελικά θα οδηγήσει στα συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση των παραμέτρων της οδηγικής συμπεριφοράς σε κυκλοφοριακά μεγέθη που σχετίζονται με το πρόβλημα της εκκένωσης περιοχής, όπως ο χρόνος διαδρομής και οι καθυστερήσεις. Η πειραματική εφαρμογή θα εκτελεστεί σε δύο στάδια. Σε ένα πρώτο στάδιο θα διεξαχθεί ανάλυση ευαισθησίας κατά την οποία θα υπολογιστεί αναλυτικά η επίδραση που επιφέρουν οι παράμετροι των μοντέλων της οδηγικής συμπεριφοράς κάθε μια ξεχωριστά. Σε δεύτερη φάση, θα πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις οι οποίες θα συνδυάζουν ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους, με σκοπό να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις που επιφέρουν οι μεταξύ τους συνδυασμοί.

5. Ανάλυση ευαισθησίας

Το πρώτο στάδιο της εφαρμογής, αποτελεί την εκτέλεση προσομοιώσεων με διαφορετικές τιμές των παραμέτρων σε ορισμένα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς. Οι συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο αποτελούν συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Για το λόγο αυτό, η οδηγική συμπεριφορά τείνει να γίνεται περισσότερο επιθετική, με τους οδηγούς να επιταχύνουν και να επιβραδύνουν πιο απότομα, να πλησιάζουν περισσότερο μεταξύ τους και να μην τηρούν τις σημάνσεις του δικτύου. Επομένως, οι παράμετροι της οδηγικής συμπεριφοράς που θα εξεταστούν θα είναι προς την κατεύθυνση που περιγράφει πιο επιθετικούς οδηγούς και άρα περισσότερο ακραία φαινόμενα.

5.1. Επιλογή μοντέλων συμπεριφοράς

Σε προηγούμενο κεφάλαιο, αναλύθηκαν τα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς που χρησιμοποιεί το TransModeler. Στο πλαίσιο της εφαρμογής, θα μελετηθούν μόνο ορισμένα από αυτά και σε κάθε περίπτωση για τα τμήματα του δικτύου που έχουν νόημα και όχι για όλο το δίκτυο συνολικά. Πιο συγκεκριμένα, τα μοντέλα που θα εξεταστούν είναι τα ακόλουθα:

- Μοντέλο ακολουθίας οχημάτων, το οποίο εφαρμόζεται στη διαμπερή κίνηση της κύριας οδικής αρτηρίας.
- Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης, το οποίο εφαρμόζεται για τις κινήσεις που διοχετεύονται στην κύρια οδική αρτηρία και οι οποίες συναντούν σήμα υποχρεωτικής στάσης.
- Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, το οποίο εφαρμόζεται σε όλο το δίκτυο, αλλά πιο συγκεκριμένα για όλες τις κινήσεις που διασχίζουν μια διασταύρωση ή εκτελούν ελιγμούς στροφής σε μια διασταύρωση.
- Μοντέλο που καθορίζει τα όρια των διαχωρισμών για τις επιταχύνσεις των οχημάτων, το οποίο εφαρμόζεται για τις κινήσεις που διοχετεύονται στην κύρια οδική αρτηρία.

5.1.1. Μοντέλο ακολουθίας οχημάτων

Η επίδραση του μοντέλου ακολουθίας θα εξεταστεί με τη μεταβολή των παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν. Το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_i^{\pm}[t+\Delta t]=\alpha^{\pm}\frac{V_i^{\beta\pm}[t]}{D_{i,i-1}^{\gamma\pm}[t]}(V_{i-1}[t]-V_i[t])+\varepsilon_i^{CF} \qquad (2.5)$$

$A_i^{\pm}[t+\Delta t] = Ρυθμός\ επιτάχυνσης\ του\ οχήματος\ i.$

$V_i[t] = Ταχύτητα\ του\ υποκείμενου\ οχήματος\ i.$

$V_{i-1}[t] = Ταχύτητα\ του\ προπορευόμενου\ οχήματος\ i-1.$

$D_{i,i-1}^{\gamma\pm}[t] = Απόσταση\ μεταξύ\ του\ υποκείμενου\ και\ του\ προπορευόμενου\ οχήματος.$

$\alpha^{\pm}, \beta^{\pm}, \gamma^{\pm} = Παράμετροι\ του\ μοντέλου.$

$\varepsilon_i^{CF} = Παράγοντας\ σφάλματος\ για\ το\ συγκεκριμένο\ όχημα.$

Το μοντέλο περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους α, β και γ. Για τις συνθήκες κυκλοφοριακής ροής στις οποίες οι οδηγοί συμπεριφέρονται φυσιολογικά, οι τιμές αυτές είναι οι εξής:

	α	**β**	**γ**
Επιτάχυνση	2.81	-1.67	-0.89
Επιβράδυνση	4.65	1.08	1.65

Πίνακας 5.1.: Παράμετροι μοντέλου ακολουθίας οχημάτων σε συνθήκες φυσιολογικής ροής.

Θα πρέπει στη συνέχεια να επιλεγεί μία από τις τρεις παραμέτρους, η οποία θα μεταβληθεί για τις ανάγκες της εφαρμογής και θα εξεταστεί ως προς την επίδρασή της στο δίκτυο. Προκειμένου να γίνει αυτή η επιλογή, διεξήχθησαν μερικές δοκιμές, οι οποίες ακολούθησαν το εξής σκεπτικό. Με βάση τη σχέση (2.5) και τις τιμές του *Πίνακα 5.1.*, ορίστηκαν διάφορες τιμές για τις ταχύτητες των οχημάτων και την απόσταση μεταξύ τους και υπολογίστηκε η επιτάχυνση αυξάνοντας αλγεβρικά τις τιμές των παραμέτρων α, β και γ χωριστά. Οι τιμές των παραμέτρων επιλέχθηκε να αυξηθούν αλγεβρικά, καθώς η αύξηση περιγράφει καταστάσεις πιο επιθετικών οδηγών. Στην πρώτη περίπτωση οι τιμές για την επιτάχυνση αυξάνονται κατά 10% και 20%. Στη δεύτερη περίπτωση, οι τιμές για την επιβράδυνση αυξήθηκαν 10% και 20%. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους *Πίνακες 5.2. και 5.3.*

Επιτάχυνση							
α	β	γ	D (m)	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V2-V1 (m/s)	A (m/s2)
2.81	-1.67	-0.89	10	12	15	3	1.03
3.09	-1.67	-0.89	10	12	15	3	1.13
3.37	-1.67	-0.89	10	12	15	3	1.24
2.81	-1.50	-0.89	10	12	15	3	1.56
2.81	-1.34	-0.89	10	12	15	3	2.37
2.81	-1.67	-0.80	10	12	15	3	0.84
2.81	-1.67	-0.71	10	12	15	3	0.68

Πίνακας 5.2.: Δοκιμές επίδρασης της αύξησης των παραμέτρων στην επιτάχυνση.

Επιβράδυνση							
α	β	γ	D (m)	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V2-V1 (m/s)	A (m/s2)
4.65	1.08	1.65	10	12	15	3	4.57
5.12	1.08	1.65	10	12	15	3	5.03
5.58	1.08	1.65	10	12	15	3	5.49
4.65	1.19	1.65	10	12	15	3	5.98
4.65	1.30	1.65	10	12	15	3	7.82
4.65	1.08	1.82	10	12	15	3	3.13
4.65	1.08	1.98	10	12	15	3	2.14

Πίνακας 5.3.: Δοκιμές επίδρασης της αύξησης των παραμέτρων στην επιβράδυνση.

Παρά το γεγονός ότι τη μεγαλύτερη επίδραση στην επιτάχυνση επιφέρει η παράμετρος γ, επιλέχθηκε η χρήση της παραμέτρου α προκειμένου να μελετηθεί ως προς την επίδρασή της στην κυκλοφορία. Ο λόγος είναι ότι η παράμετρος α συνδέεται πιο άμεσα και πιο ξεκάθαρα με τη μεταβολή της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης σε σχέση με τις άλλες δυο παραμέτρους. Για τις ανάγκες της εφαρμογής, η παράμετρος α θα μεταβληθεί κατά 10%, 20% και 30% ως προς την επιτάχυνση και την επιβράδυνση σε σχέση με την αρχική τιμή της, η οποία περιγράφει τις συνθήκες φυσιολογικής συμπεριφοράς.

Μεταβολή παραμέτρου α				
	Βασική τιμή	Αύξηση 10%	Αύξηση 20%	Αύξηση 30%
Επιτάχυνση	2.81	3.09	3.37	3.65
Επιβράδυνση	4.65	5.12	5.58	6.05

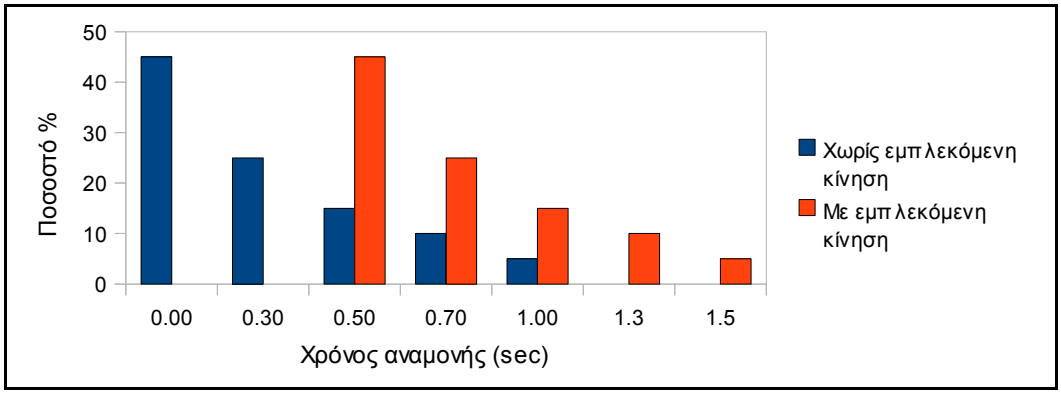
Πίνακας 5.4.: Μεταβολή των τιμών της παραμέτρου α.

5.1.2. Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης

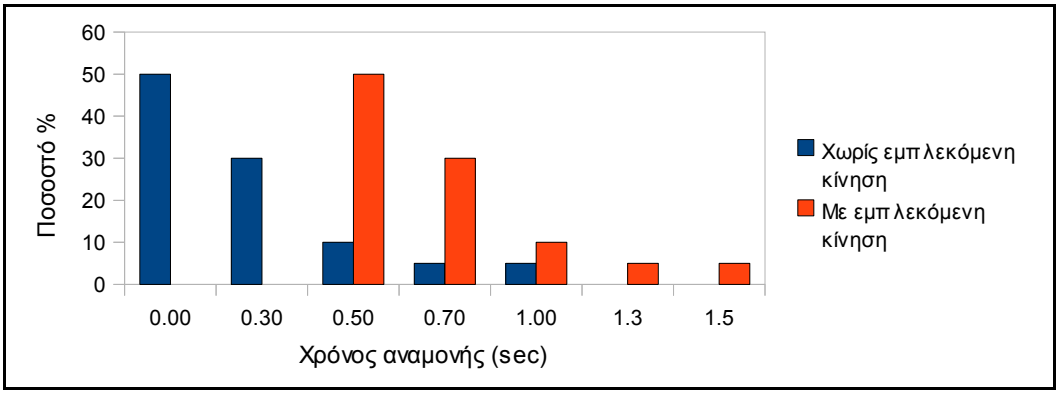
Η συμπεριφορά των οδηγών σε σήματα υποχρεωτικής στάσης, περιγράφεται στο TransModeler από μια κατανομή, η οποία ορίζει το ποσοστό των οχημάτων σε σχέση με το χρόνο αναμονής τους σε μια διασταύρωση με σήμα υποχρεωτικής στάσης στην περίπτωση που υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση και στην περίπτωση που δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση.

Σε συνθήκες φυσιολογικής συμπεριφοράς των οδηγών, η κατανομή διαμορφώνεται όπως στο *Διάγραμμα 5.1.* Τα δεδομένα του διαγράμματος πρακτικά σημαίνουν ότι ποσοστό 45% των οδηγών δεν περιμένουν στα σήματα υποχρεωτικής στάσης όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ανώ όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, το ίδιο ποσοστό περιμένει 0.50 sec, πριν προχωρήσει στην κίνησή του στη διασταύρωση.

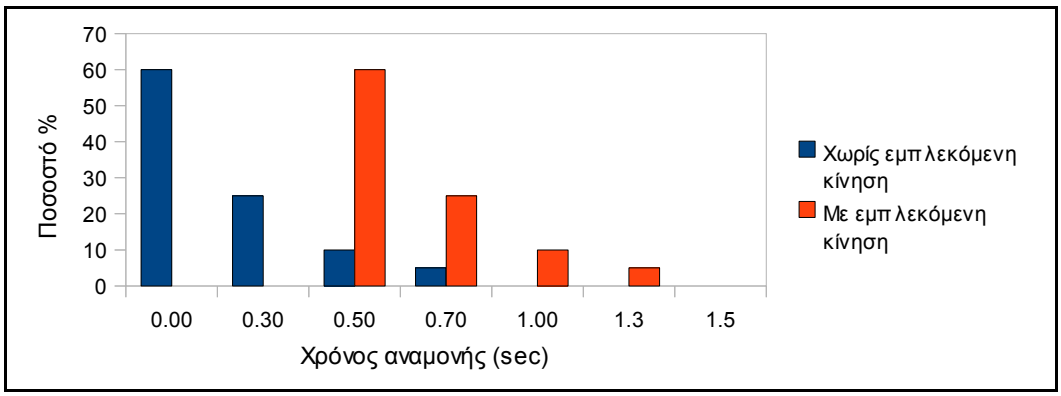
Οι μεταβολές στην κατανομή των οδηγών κατά την εφαρμογή, ακολουθούν τη λογική ότι το ποσοστό των οδηγών που περιμένει την περισσότερη ώρα στο σήμα στάσης, ολοένα και μειώνεται, και προστίθεται σε ποσοστά των οποίων ο χρόνος αναμονής είναι μικρότερος. Πραγματοποιήθηκαν τρεις μεταβολές στην κατανομή των οδηγών, οι οποίες ακολουθούν την τάση που περιγράφηκε και φαίνονται στα *Διαγράμματα 5.2., 5.3.* και *5.4.* Στην πρώτη μεταβολή, αυξήθηκαν τα ποσοστά των οδηγών που περιμένουν λιγότερο και στην περίπτωση που υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση αλλά και στην περίπτωση που δεν υπάρχει. Στη δεύτερη μεταβολή, το ποσοστό των οδηγών που περίμενε 1 sec στην περίπτωση που δεν υπάρχουν εμπλεκόμενες κινήσεις και 1.5 sec στην περίπτωση που υπάρχουν, μηδενίστηκε. Αντίστοιχα, αυξήθηκαν τα υπόλοιπα ποσοστά. Στην τρίτη μεταβολή, μηδενίστηκε επιπλέον και το ποσοστό των οδηγών που περιμένουν 0.70 sec χωρίς εμπλεκόμενες κινήσεις και 1.3 sec όταν υπάρχουν εμπλεκόμενες κινήσεις, ενώ αυξήθηκαν τα υπόλοιπα ποσοστά.



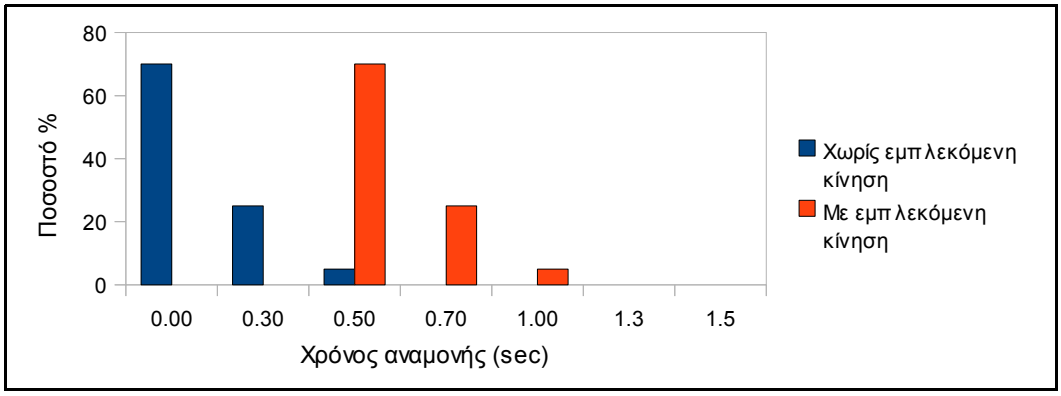
Διάγραμμα 5.1: Κατανομή των οδηγών ανάλογα με το χρόνο στάσης σε φυσιολογικές συνθήκες.



Διάγραμμα 5.2. Πρώτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς το χρόνο αναμονής σε σήματα στάσης.



Διάγραμμα 5.3. Δεύτερη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς το χρόνο αναμονής σε σήματα στάσης.

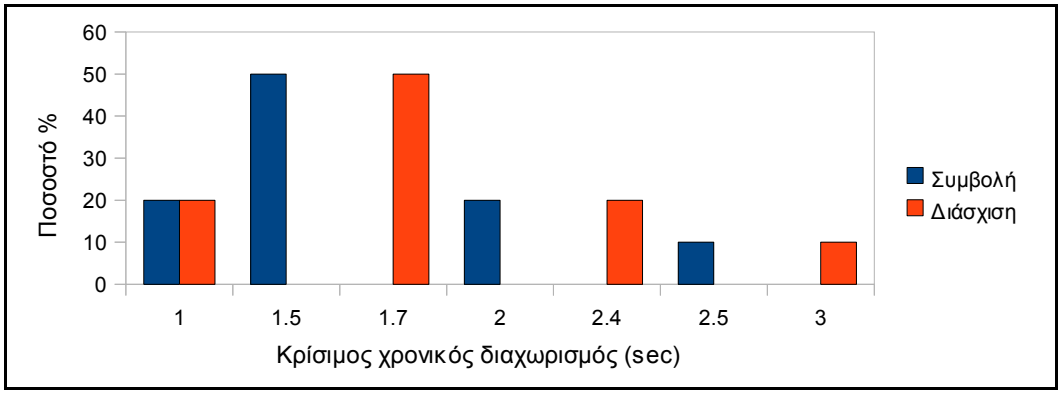


Διάγραμμα 5.4. Τρίτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς το χρόνο αναμονής σε σήματα στάσης.

5.1.3. Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων

Κατά τη συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, χρησιμοποιείται ένα μοντέλο που καθορίζει τους κρίσιμους διαχωρισμούς με βάση τους οποίους οι οδηγοί πραγματοποιούν τις κινήσεις τους. Στη διασταύρωση, ο οδηγός εκτιμά το χρόνο που το ανταγωνιστικό όχημα χρειάζεται για να φτάσει στο σημείο σύγκρουσης των δυο οχημάτων. Αν ο χρόνος αυτός είναι μικρότερος από ένα όριο, ο οδηγός δεν προχωρά στην κίνησή του. Ο χρόνος αυτός διαφέρει ανάλογα με την περίπτωση που ο οδηγός επιχειρεί να διασχίσει ένα δρόμο ή να εισέλθει σε έναν άλλο δρόμο ή αυτοκινητόδρομο και συνδέεται με μια κατανομή των οδηγών, οι οποίοι πραγματοποιούν τις κινήσεις τους εκτιμώντας ότι δεν κινδυνεύουν όταν τα εμπλεκόμενα οχήματα βρίσκονται χρονικά πιο κοντά ή πιο μακριά τους.

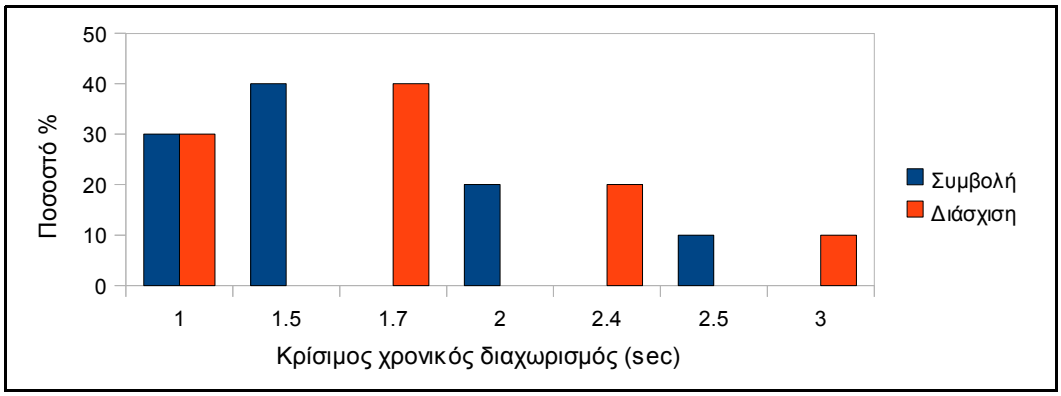
Σε συνθήκες φυσιολογικής συμπεριφοράς των οδηγών, η κατανομή διαμορφώνεται όπως στο *Διάγραμμα 5.5.* Τα δεδομένα του διαγράμματος πρακτικά σημαίνουν ότι ποσοστό 50% των οδηγών διασχίζει ένα δρόμο όταν εκτιμά ότι ένα εμπλεκόμενο βρίσκεται 1.7 sec ή περισσότερο μακριά του. Σε αντίθετη περίπτωση, δε θα διασχίσει τη διασταύρωση.



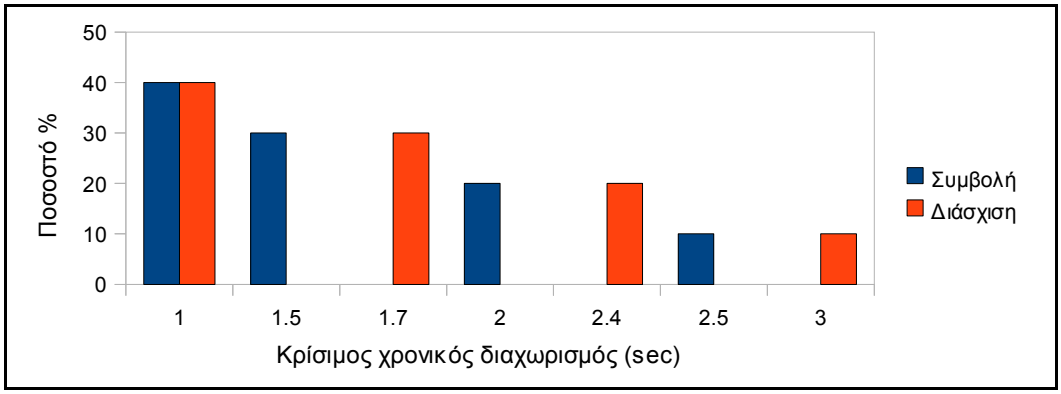
Διάγραμμα 5.5.: Κατανομή των οδηγών ανάλογα με τους κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς σε φυσιολογικές συνθήκες.

Οι μεταβολές στην κατανομή των οδηγών κατά την εφαρμογή, ακολουθούν τη λογική ότι το ποσοστό των οδηγών που αποδέχεται μεγαλύτερους χρονικούς διαχωρισμούς, ολοένα και μειώνεται, και προστίθεται σε ποσοστά οδηγών που αποδέχονται μικρότερους διαχωρισμούς. Πραγματοποιήθηκαν τρεις μεταβολές στην κατανομή των οδηγών, οι οποίες ακολουθούν την τάση που περιγράφηκε και φαίνονται στα *Διαγράμματα 5.6., 5.7.* και *5.8.* Στην πρώτη μεταβολή, αυξήθηκαν τα ποσοστά των οδηγών που αποδέχονται μικρότερους διαχωρισμούς σε βάρος των ποσοστών που αποδέχονται μεγαλύτερους διαχωρισμούς. Στη δεύτερη μεταβολή, η πλειοψηφία

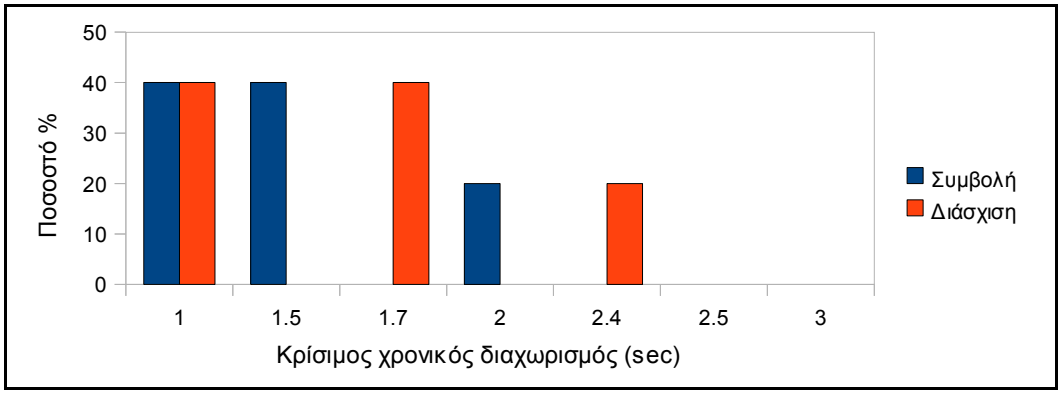
των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμούς μικρότερης διάρκειας είτε συμβάλλει, είτε διασχίζει μια διασταύρωση. Στην τρίτη μεταβολή, το μικρότερο ποσοστό που αντιστοιχεί σε αποδοχή του μεγαλύτερου διαχωρισμού, εξαλείφεται και αυξάνονται τα υπόλοιπα ποσοστά.



Διάγραμμα 5.6. Πρώτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.



Διάγραμμα 5.7. Δεύτερη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.



Διάγραμμα 5.8. Τρίτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

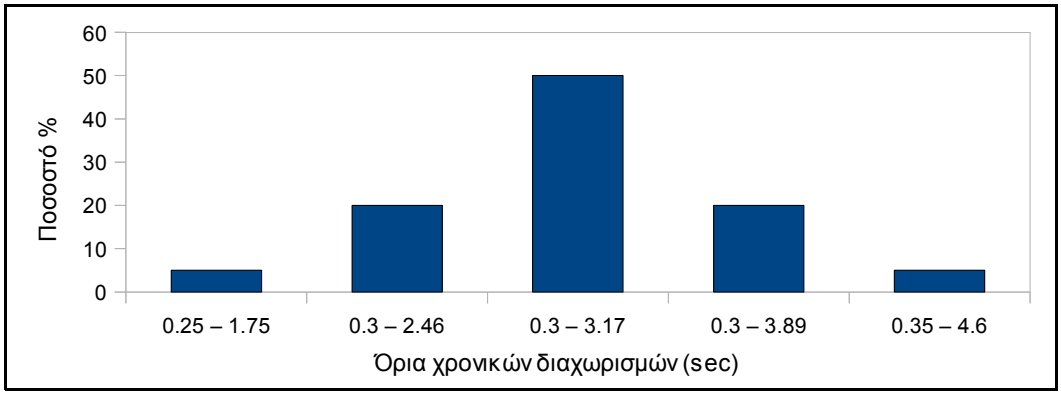
5.1.4. Μοντέλο διαχωρισμών για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις

Όταν οι οδηγοί κινούνται, ανάλογα με την απόσταση του προπορευόμενου ή του ακολουθούμενου οχήματος, αναγκάζονται να επιβραδύνουν ή να επιταχύνουν αντίστοιχα. Κάθε οδηγός παρουσιάζει διαφορετική ανοχή ως προς τις χρονικές αποστάσεις του από το προπορευόμενο ή ακολουθούμενο όχημα. Το μοντέλο διαχωρισμών περιλαμβάνει μια κατανομή των οδηγών στην οποία τα όρια των διαχωρισμών υπαγορεύουν τις αντιδράσεις των οδηγών και κατ' επέκταση αν οι οδηγοί βρίσκονται σε καθεστώς ελεύθερης ροής, ακολουθίας οχημάτων ή έκτακτης ανάγκης.

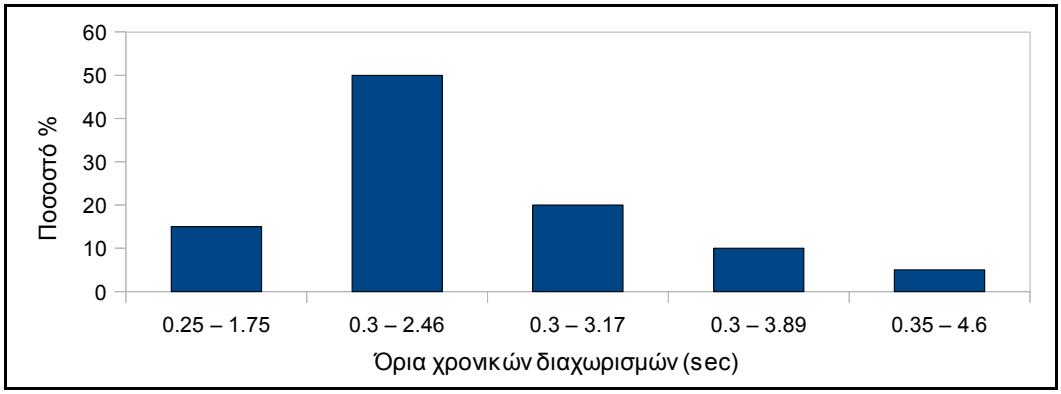
Σε συνθήκες φυσιολογικής συμπεριφοράς των οδηγών, η κατανομή διαμορφώνεται όπως στο *Διάγραμμα 5.9.* Τα δεδομένα του διαγράμματος πρακτικά σημαίνουν ότι ποσοστό 50% των οδηγών βρίσκεται σε καθεστώς ακολουθίας οχημάτων, όταν οι αποστάσεις του προπορευόμενου και του ακολουθούμενου οχήματος βρίσκονται ανάμεσα στα όρια 0.3 sec και 3.17 sec. Αποστάσεις κάτω από τα 0.3 sec και πάνω από 3.17 sec επιβάλλουν στο όχημα καθεστώς έκτακτης ανάγκης και ελεύθερης ροής αντίστοιχα.

Οι μεταβολές στην κατανομή των οδηγών κατά την εφαρμογή, ακολουθούν τη λογική ότι πιο επιθετικοί οδηγοί αντιλαμβάνονται μικρότερα όρια για το καθεστώς ροής, αφού αντιλαμβάνονται μικρότερο διαχωρισμό για καθεστώς έκτακτης ανάγκης και ελεύθερης ροής. Πραγματοποιήθηκαν τρεις μεταβολές στην κατανομή των οδηγών, οι οποίες ακολουθούν την τάση που περιγράφηκε και φαίνονται στα *Διαγράμματα 5.10., 5.11.* και *5.12.* Στην πρώτη μεταβολή, αυξήθηκαν τα ποσοστά των οδηγών που αποδέχονται μικρότερα όρια διαχωρισμών σε βάρος των ποσοστών που αποδέχονται διαχωρισμούς των ορίων 0.3 – 3.17 sec. Στη δεύτερη μεταβολή μηδενίζεται το ποσοστό των οχημάτων που αποδέχεται όρια 0.35 – 4.6 sec, ενώ αυξάνονται τα υπόλοιπα

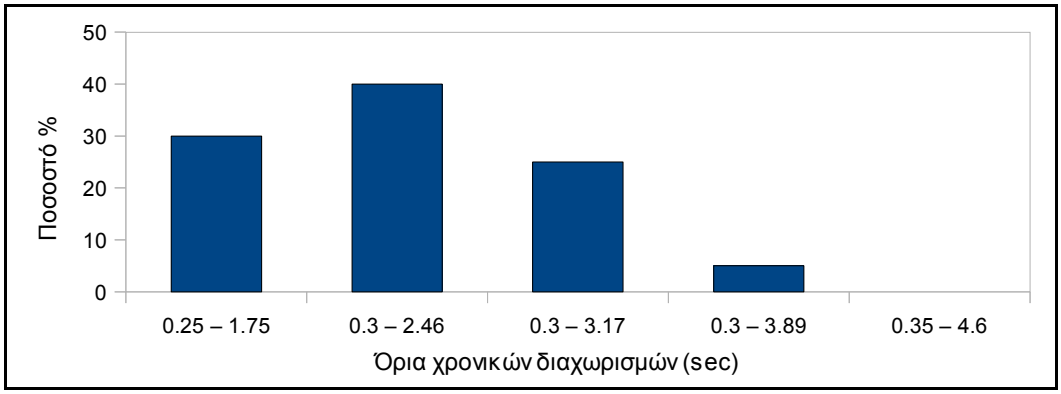
ποσοστά. Στην τρίτη περίπτωση, υπάρχει μια δραματική αύξηση στις τρεις πρώτες κατηγορίες, ενώ οι υπόλοιπες μηδενίζονται. Στην περίπτωση αυτή έχουμε τις πιο ακραίες τιμές, στις οποίες οι αποστάσεις μεταξύ των περισσότερων οχημάτων είναι πολύ πιο μικρές.



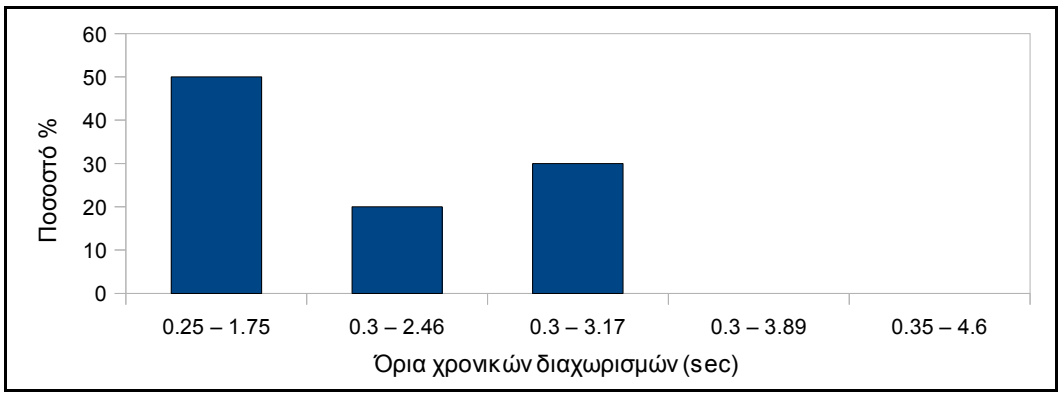
Διάγραμμα 5.9.: Κατανομή των οδηγών ανάλογα με τα όρια των χρονικών διαχωρισμών σε φυσιολογικές συνθήκες.



Διάγραμμα 5.10. Πρώτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τα αποδεκτά όρια χρονικών διαχωρισμών.



Διάγραμμα 5.11. Δεύτερη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τα αποδεκτά όρια χρονικών διαχωρισμών.



Διάγραμμα 5.12. Τρίτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τα αποδεκτά όρια χρονικών διαχωρισμών.

5.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Ο πειραματικός σχεδιασμός του πρώτου σταδίου της εφαρμογής ορίζεται ως εξής. Αρχικά, χρησιμοποιώντας τις τιμές που αντιστοιχούν στη φυσιολογική συμπεριφορά των οδηγών θα εκτελεστούν δέκα προσομοιώσεις. Στη συνέχεια, για κάθε μια από τις μεταβολές που περιγράφηκαν ξεχωριστά, θα πραγματοποιηθεί ένα σύνολο δέκα προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιώσεων θα συγκριθούν μεταξύ τους αλλά και με τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν με τις βασικές τιμές. Υπενθυμίζεται ότι ο Πίνακας Προέλευσης και Προορισμού είναι ο ακόλουθος:

Π \ Π	15	22	32
20	420		
23		200	
31	420		
33	1800		100

Πίνακας 5.5.: Μητρώο Προέλευσης και Προορισμού του δικτύου σε οχήματα ανά ώρα.

Για κάθε μεταβολή μιας παραμέτρου θα διεξαχθούν δέκα προσομοιώσεις και για κάθε παράμετρο πραγματοποιούνται τρεις μεταβολές. Επομένως, για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, θα εκτελεστούν 30 προσομοιώσεις. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι 4, και συμπεριλαμβανομένων των προσομοιώσεων με τις βασικές τιμές, ο συνολικός αριθμός των προσομοιώσεων που θα εκτελεστούν είναι 130. Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται όλοι οι συνδυασμοί προσομοιώσεων που θα πραγματοποιηθούν για όλες τις μεταβολές των παραμέτρων της οδηγικής συμπεριφοράς.

	Μεταβολές	**Κρίσιμοι διαχωρισμοί**	**Χρόνοι στάσης**	**Παράμετρος α ακολουθίας οχημάτων**		**Όρια διαχωρισμών**
				Επιτάχυνση	**Επιβράδυνση**	
Βασικές Παράμετροι		20-50-20-10	45-25-15-10-5	2.81	4.65	5-20-50-20-5
Ακολουθία οχημάτων	1			3.09	5.12	
	2			3.37	5.58	
	3			3.65	6.05	
Χρόνοι στάσης	1		50-30-10-5-5	2.81	4.65	
	2		60-25-10-5-0			
	3		70-25-5-0-0			
Κρίσιμοι διαχωρισμοί	1	30-40-20-10	45-25-15-10-5			
	2	40-30-20-10				
	3	40-40-20-0				
Όρια διαχωρισμών	1	20-50-20-10				15-50-20-10-5
	2					30-40-25-5-0
	3					50-20-30-0-0

Πίνακας 5.6.: Απεικόνιση προσομοιώσεων για τις μεταβολές των παραμέτρων στα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς.

Από τις δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή, θα υπολογιστεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση

των παρακάτω μεγεθών:

- Φόρτος σε οχ/h.
- Μέσος χρονικός διαχωρισμός σε sec.
- Χρόνος διαδρομής σε sec ανά όχημα.
- Καθυστέρηση σε sec ανά όχημα.

Όλα τα αποτελέσματα θα ληφθούν από τους αισθητήρες που τοποθετήθηκαν στο δίκτυο. Ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση θα εκτιμηθούν ανά κίνηση από κεντροειδές σε κεντροειδές, ενώ ο φόρτος και ο διαχωρισμός θα εκτιμηθούν ανά αισθητήρα και κατ' επέκταση ανά λωρίδα για συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου.

5.3. Αποτελέσματα για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση

Η εφαρμογή εκτελέστηκε σύμφωνα με τον πειραματικό σχεδιασμό, και επομένως εκτελέστηκαν συνολικά 130 προσομοιώσεις, οι οποίες έδωσαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα που αφορούν το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση παρουσιάζονται ανά κίνηση στο δίκτυο.

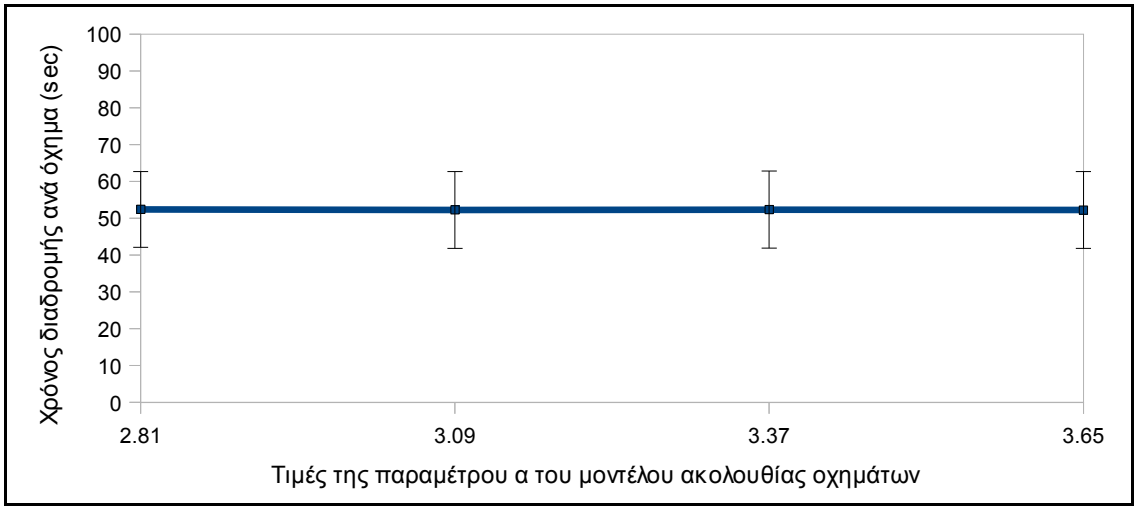
Κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15

Πρόκειται για τη διαμπερή κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 33 και φτάνει στο κεντροειδές 15. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

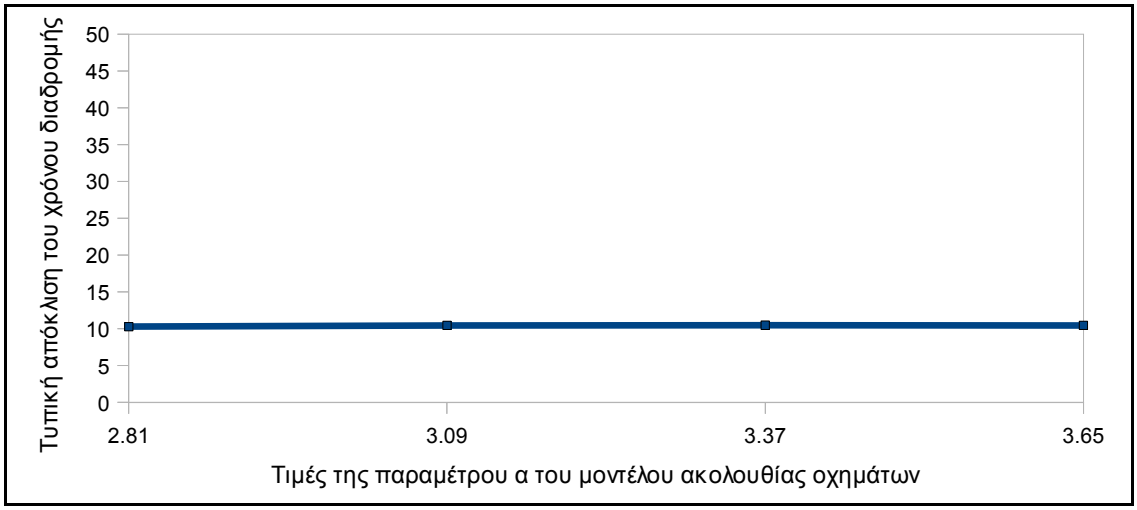
Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη βασική τιμή της παραμέτρου που εξετάζεται αλλά και τις νέες τιμές της ίδιας παραμέτρου, ώστε να διαπιστωθεί η τάση των δύο μεγεθών να αυξηθούν, να μειωθούν ή να παραμείνουν σταθερά.

Μοντέλο	Τιμές		Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	52,40	0,00%	10,29	0,00%	13,62	0,00%	9,69	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	52,26	-0,27%	10,45	1,61%	13,44	-1,32%	9,41	-2,91%
	3,37	5,58	52,33	-0,13%	10,47	1,76%	13,44	-1,32%	9,41	-2,91%
	3,65	6,05	52,23	-0,33%	10,45	1,55%	13,5	-0,88%	9,45	-2,48%
Βασική τιμή	20-50-20-10		52,40	0,00%	10,29	0,00%	13,62	0,00%	9,69	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		52,35	-0,09%	10,47	1,79%	13,68	0,44%	9,58	-1,18%
	40-30-20-10		52,28	-0,23%	10,46	1,65%	13,5	-0,88%	9,45	-2,48%
	40-40-20-0		52,36	-0,08%	10,47	1,81%	13,56	-0,44%	9,49	-2,04%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		52,40	0,00%	10,29	0,00%	13,62	0,00%	9,69	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		52,26	-0,27%	10,45	1,62%	13,5	-0,88%	9,45	-2,48%
	30-40-25-5-0		52,17	-0,45%	10,43	1,43%	13,26	-2,64%	9,28	-4,21%
	50-20-30-0-0		52,26	-0,27%	10,45	1,61%	13,62	0,00%	9,53	-1,61%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		52,40	0,00%	10,29	0,00%	13,62	0,00%	9,69	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		52,37	-0,05%	10,47	1,83%	13,62	0,00%	9,53	-1,61%
	60-25-10-5-0		52,47	0,13%	10,49	2,02%	13,74	0,88%	9,62	-0,74%
	70-25-5-0-0		52,36	-0,07%	10,47	1,81%	13,62	0,00%	9,53	-1,61%

Πίνακας 5.7.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 33 προς 15.



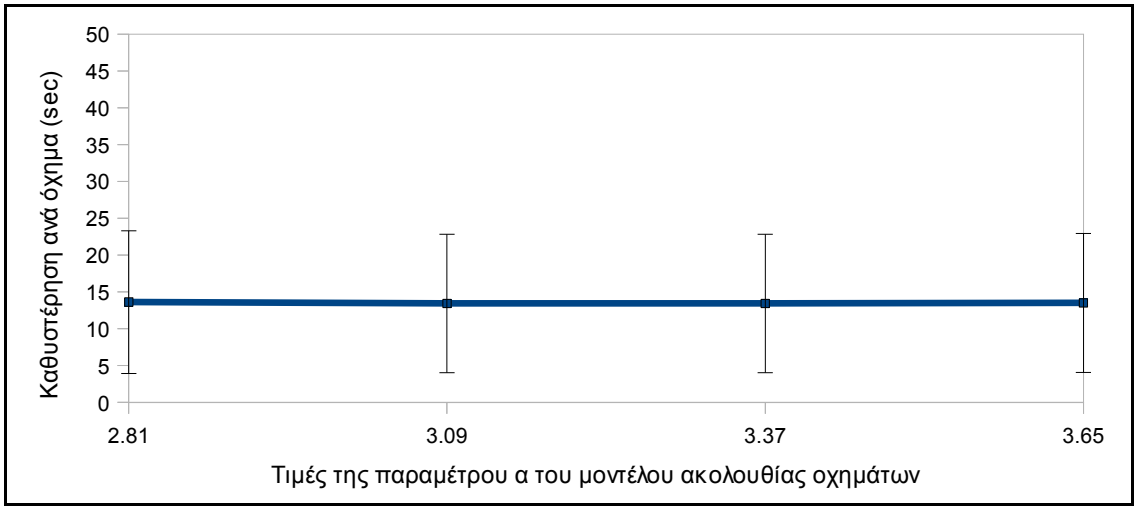
Διάγραμμα 5.13.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 15.



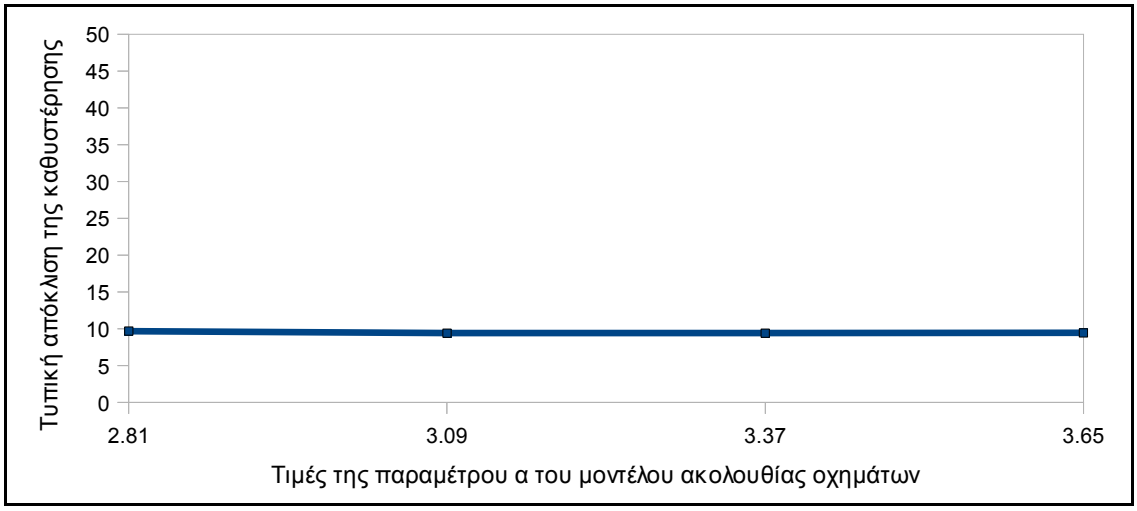
Διάγραμμα 5.14.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 15.

Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου διαδρομής δε μεταβάλλεται σημαντικά με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι μείωση 0.27% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, 0.13% για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% και 0.33% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές. Αρχικά παρατηρείται αύξηση κατά 1,6%, η οποία στη συνέχεια προσεγγίζει την αρχική τιμή, αλλά εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη από αυτή κατά 1,7%, ενώ παρατηρείται αύξηση κατά 1,5% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



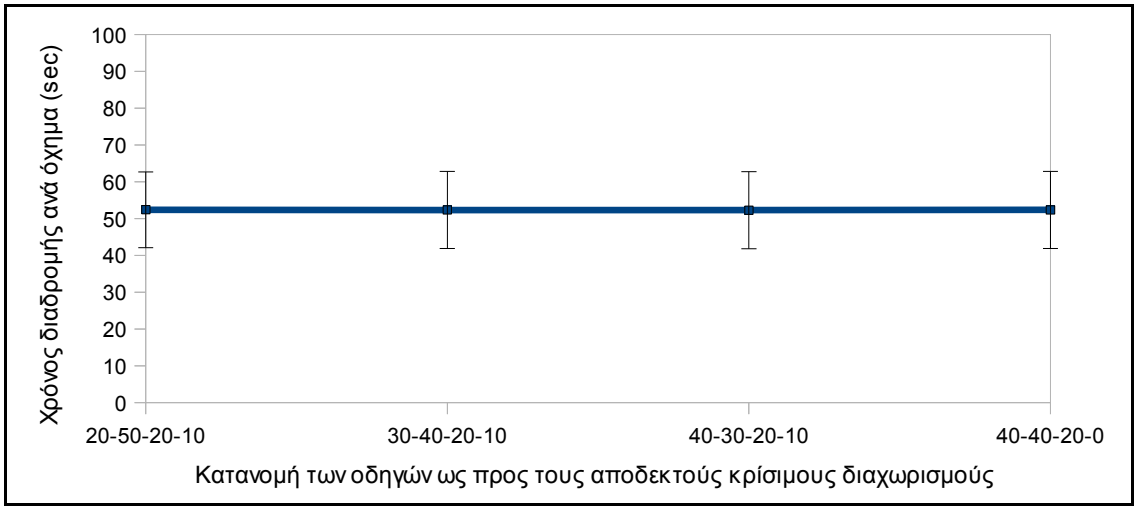
Διάγραμμα 5.15.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 15.



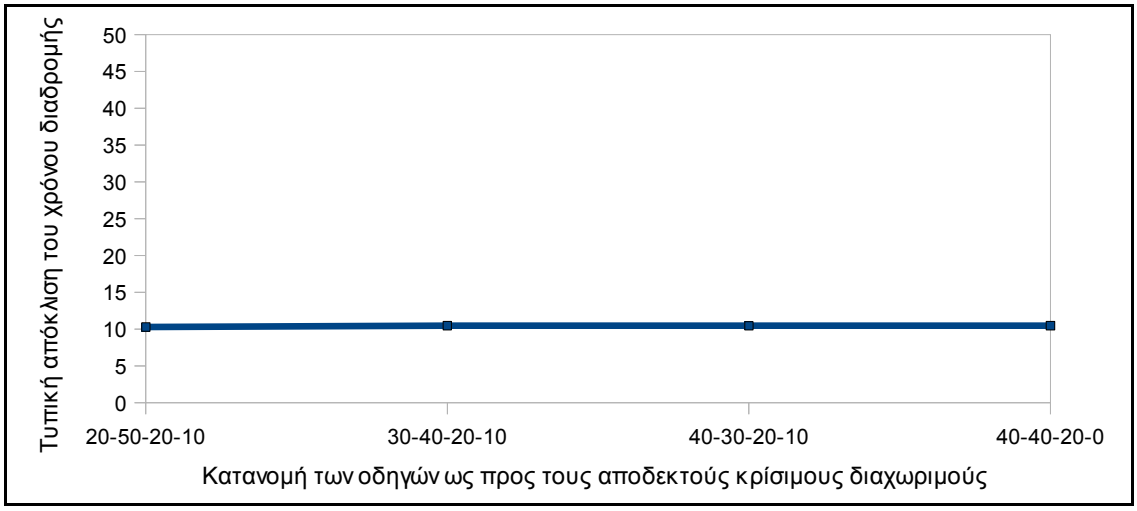
Διάγραμμα 5.16.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 15.

Η τιμή της καθυστέρησης δε μεταβάλλεται σημαντικά με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι 1.3% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, 1.3% για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% και 0.33% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης παρατηρείται αρχικά μια πτώση κατά 2,9%, η οποία στη συνέχεια προσεγγίζει την αρχική τιμή, αλλά εξακολουθεί να είναι μικρότερη από αυτή κατά 2,9%, ενώ παρατηρείται μείωση κατά 2,4% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



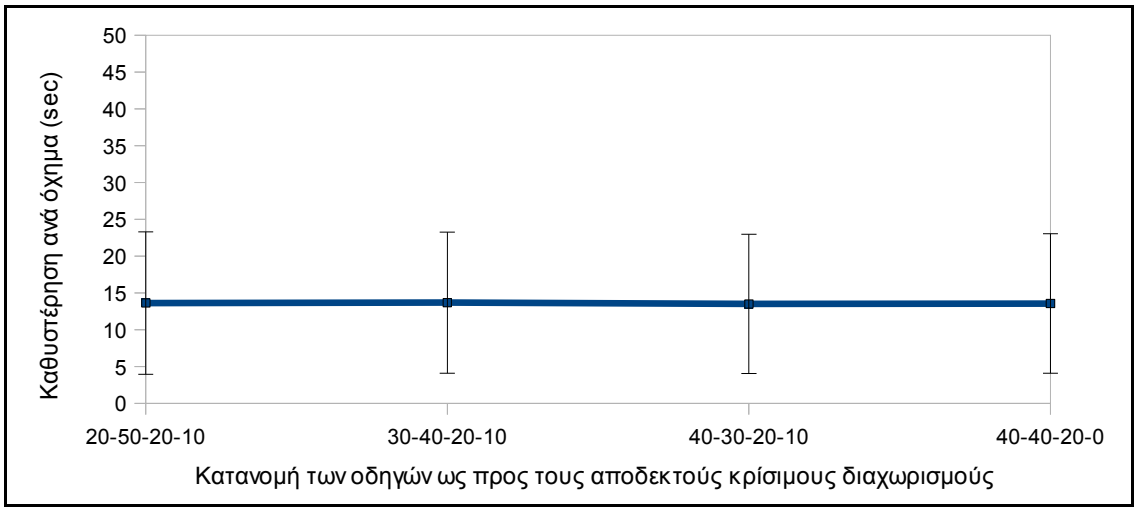
Διάγραμμα 5.17.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.



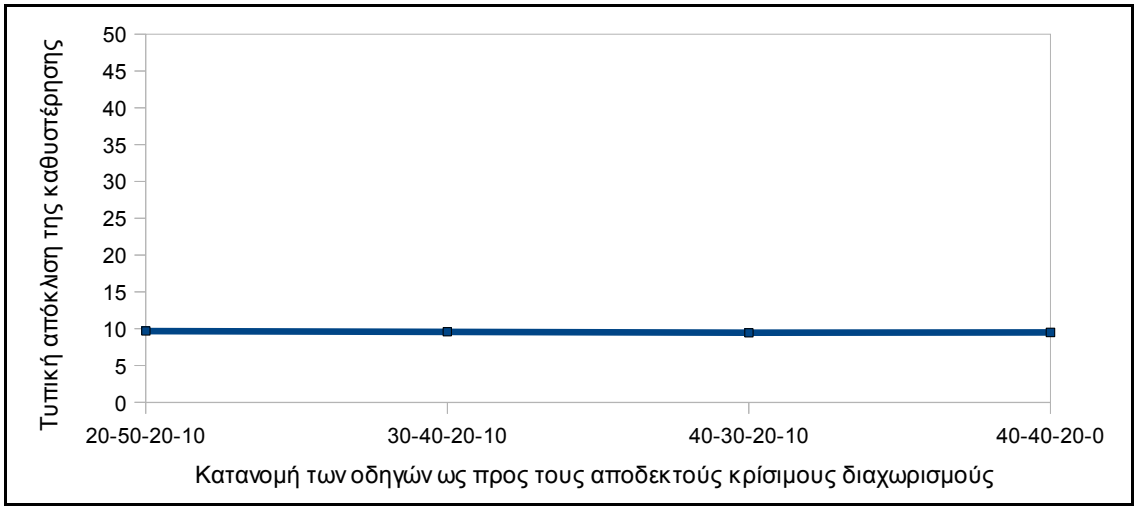
Διάγραμμα 5.18.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.

Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου διαδρομής δε μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πρακτικά αμεβάλητη, αφού η μεταβολή είναι μόλις 0.09% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 0.23% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 0.08% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής ακολουθεί γενικά ανοδική τάση. Αρχικά, παρατηρείται μια αύξηση κατά 1,8%, η οποία στη συνέχεια αυξάνεται και διαφέρει ως προς την αρχική τιμή κατά 1,6%, ενώ τελικά η αύξηση φτάνει στο 1,8% σε σχέση με την αρχική τιμή.



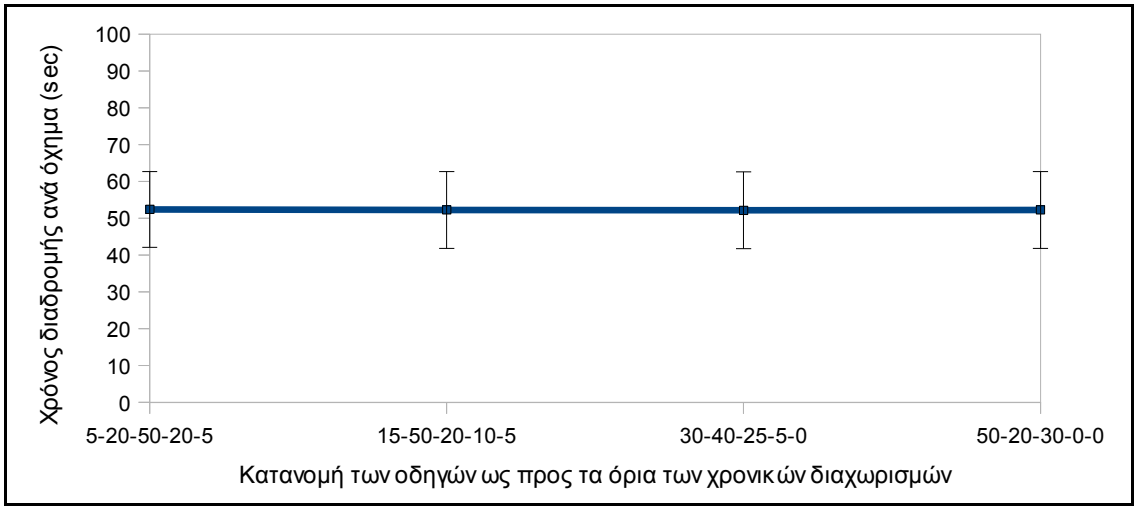
Διάγραμμα 5.19.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.



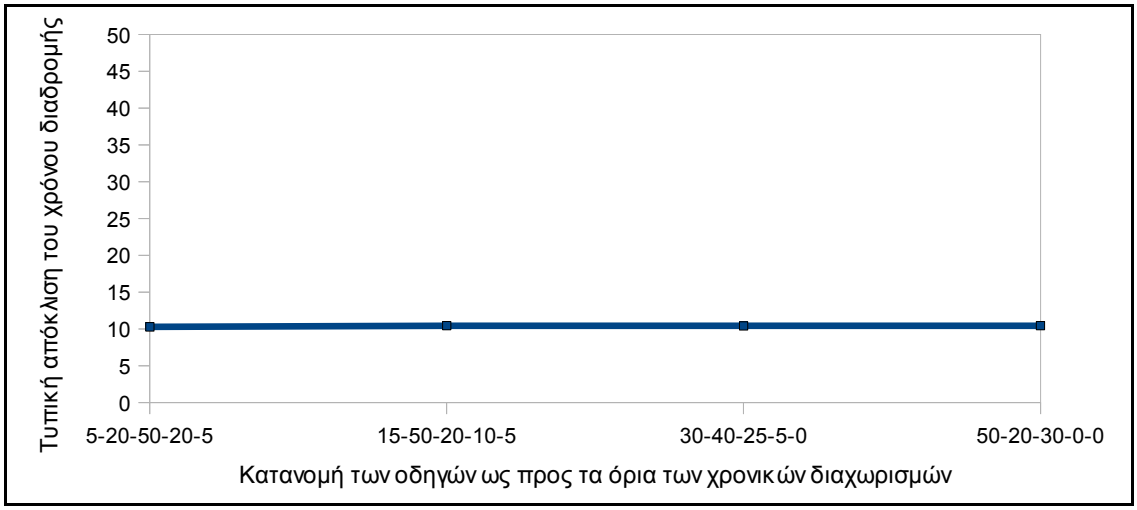
Διάγραμμα 5.20.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.

Παρατηρείται ότι η τιμή της καθυστέρησης δε μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι θετική κατά 0.44% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 0.88% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 0.44% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, αρχικά ελαττώνεται κατά 1%, στη συνέχεια μειώνεται και διαφέρει ως προς την αρχική τιμή κατά 2,5%, ενώ τελικά η μείωση φτάνει στο 2% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.21.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.

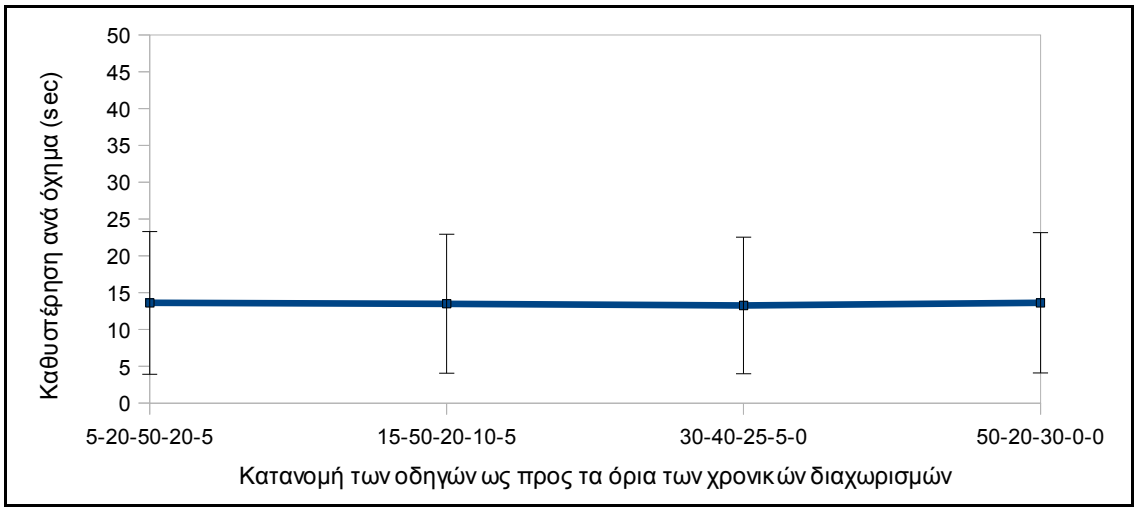


Διάγραμμα 5.22.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.

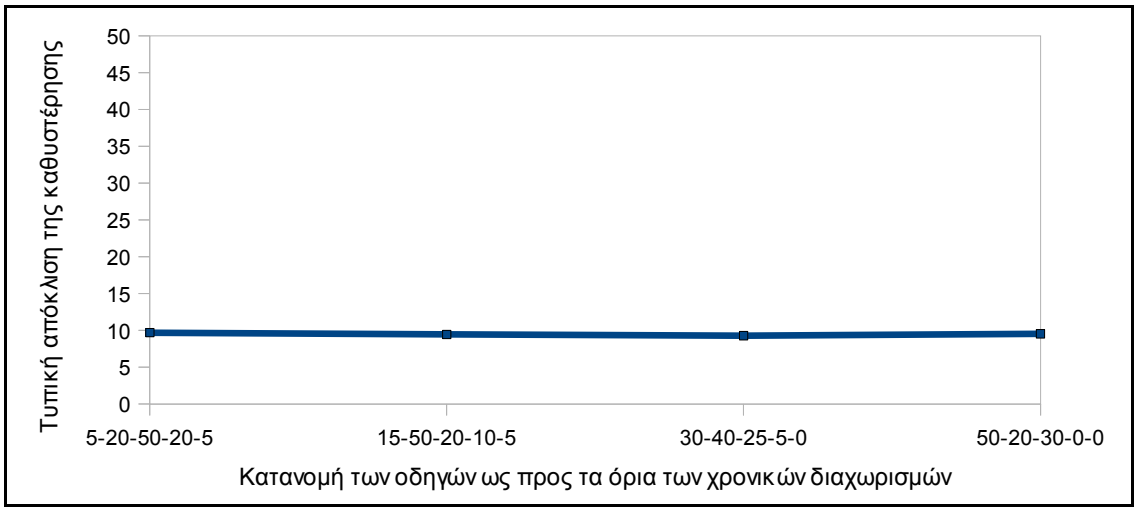
Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου διαδρομής δε μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 0.27% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 0.45% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 0.27% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη

βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 1,4%, η οποία στη συνέχεια προσεγγίζει την αρχική τιμή, αλλά εξακολουθεί να είναι μικρότερη από αυτή κατά 1,6%, και εξακολουθεί να παρατηρείται μείωση κατά 1,4% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



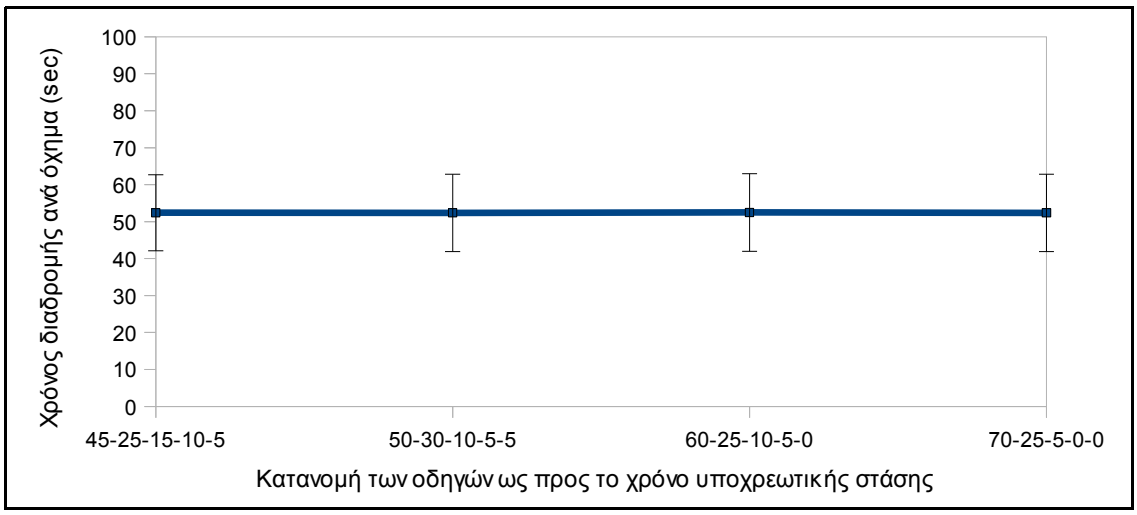
Διάγραμμα 5.23.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.



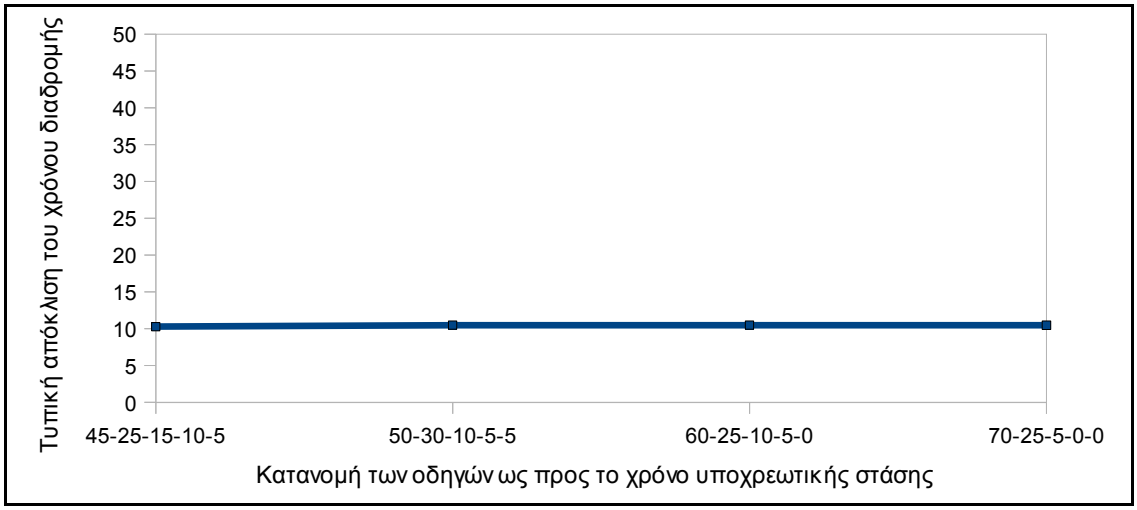
Διάγραμμα 5.24.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 15.

Παρατηρείται ότι η τιμή της καθυστέρησης δε μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι πτωτική κατά 0.88% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 2.6% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και 0%, δηλαδή η τιμή είναι ίση με την αρχική, για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μείωση κατά 2,5%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε μείωση 4% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τέλος παρατηρείται μείωση ίση με 1,5%.



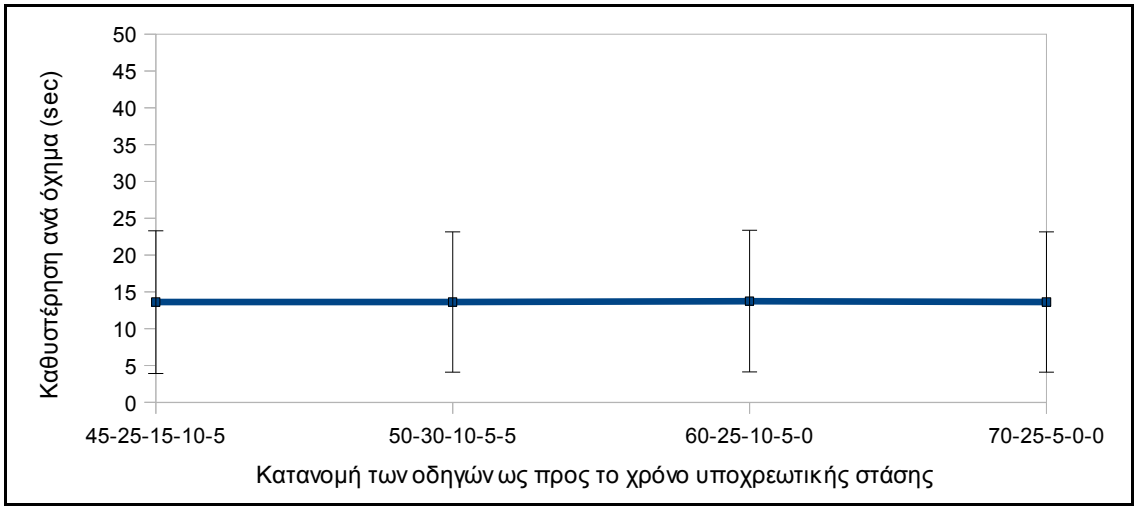
Διάγραμμα 5.25.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 15.



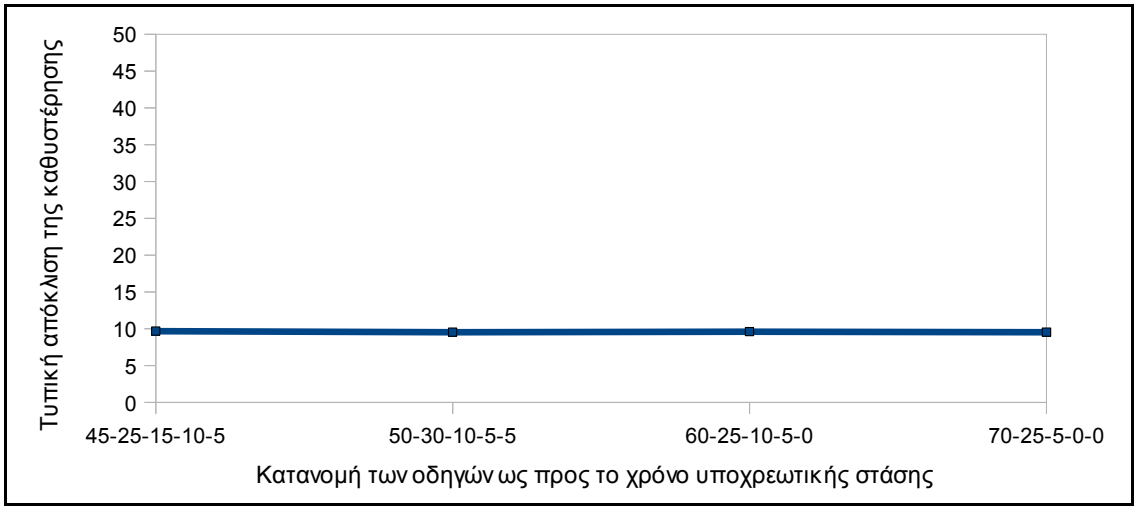
Διάγραμμα 5.26.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 15.

Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου διαδρομής δε μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 0.05% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.13% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 0.07% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 1.8%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση κατά 2.5% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τέλος, παρατηρείται αύξηση κατά 1.8% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.27.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 15.



Διάγραμμα 5.28.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 15.

Η τιμή της καθυστέρησης δε μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι μηδενική για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.88% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής και μηδενική για την τρίτη μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης παρατηρείται αρχικά μείωση 1.5%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αρνητική μεταβολή κατά 0.7%, ενώ τελικά παρατηρείται αρνητική μεταβολή 1.5% σε σχέση με την αρχική τιμή, για την τρίτη μεταβολή της κατανομής των οδηγών.

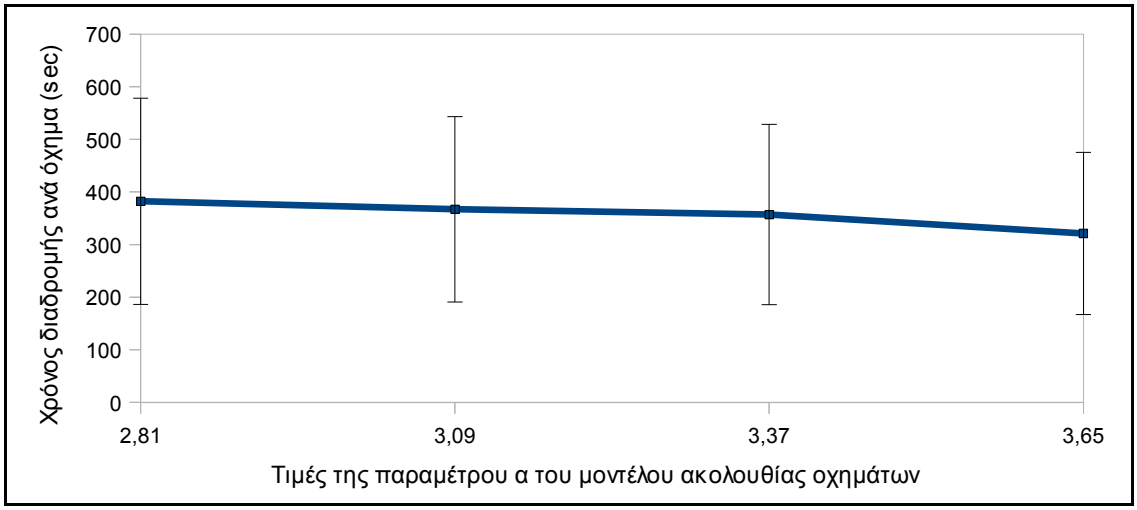
Κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15

Πρόκειται για τη στρεφόμενη κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό του δικτύου προς στην κύρια οδική αρτηρία, για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 20 και φτάνει στο κεντροειδές 15. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

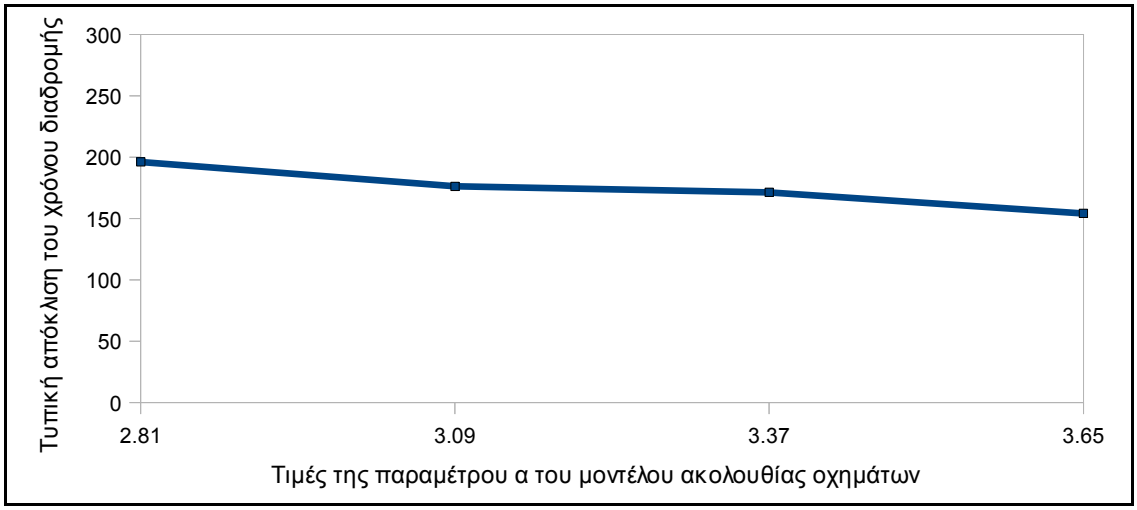
Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη βασική τιμή της παραμέτρου που εξετάζεται αλλά και τις νέες τιμές της ίδιας παραμέτρου, ώστε να διαπιστωθεί η τάση των δύο μεγεθών να αυξηθούν, να μειωθούν ή να παραμείνουν σταθερά.

Μοντέλο	Τιμές		Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	382,23	0,00%	196,06	0,00%	314,82	0,00%	195,39	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	367,1	-3,96%	176,21	-10,13%	299,88	-4,75%	143,94	-26,33%
	3,37	5,58	356,93	-6,62%	171,32	-12,62%	289,68	-7,99%	139,05	-28,83%
	3,65	6,05	321,11	-15,99%	154,13	-21,38%	253,86	-19,36%	121,85	-37,63%
Βασική τιμή	20-50-20-10		382,23	0,00%	196,06	0,00%	314,82	0,00%	195,39	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		379,48	-0,72%	182,15	-7,09%	312,06	-0,88%	149,79	-23,34%
	40-30-20-10		357,4	-6,50%	171,55	-12,50%	290,04	-7,87%	139,22	-28,75%
	40-40-20-0		346,18	-9,43%	166,17	-15,25%	279,00	-11,38%	133,92	-31,46%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		382,23	0,00%	196,06	0,00%	314,82	0,00%	195,39	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		377,26	-1,30%	181,08	-7,64%	309,72	-1,62%	148,67	-23,91%
	30-40-25-5-0		345,38	-9,64%	165,78	-15,44%	278,34	-11,59%	133,6	-31,62%
	50-20-30-0-0		374,13	-2,12%	179,58	-8,41%	306,90	-2,52%	147,31	-24,60%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		382,23	0,00%	196,06	0,00%	314,82	0,00%	195,39	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		346,18	-9,43%	166,16	-15,25%	278,82	-11,44%	133,83	-31,50%
	60-25-10-5-0		307,92	-19,44%	147,8	-24,61%	240,72	-23,54%	115,55	-40,86%
	70-25-5-0-0		269,27	-29,55%	129,25	-34,08%	202,14	-35,79%	97,03	-50,34%

Πίνακας 5.8.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 20 προς 15.



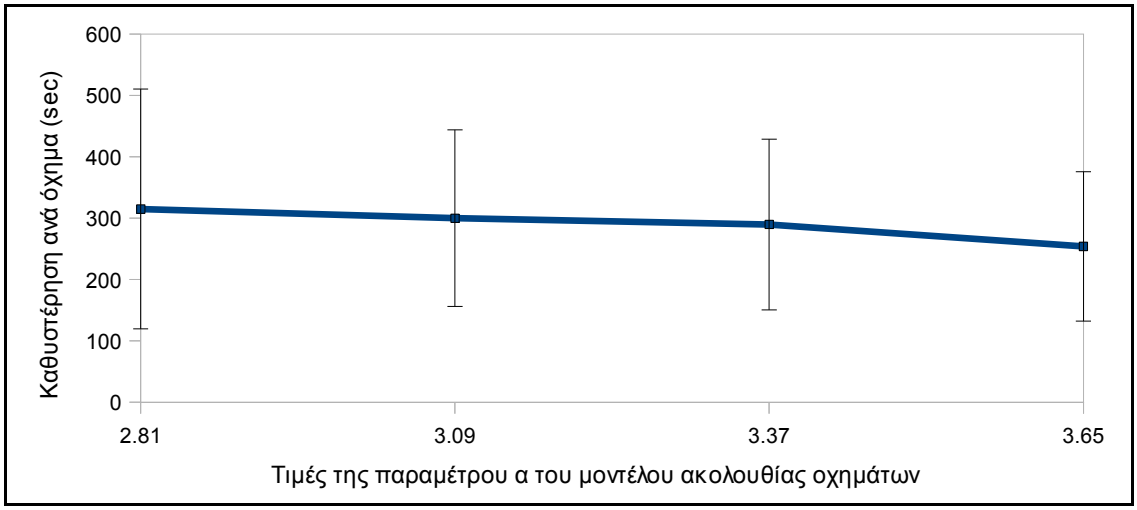
Διάγραμμα 5.29.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 20 προς 15.



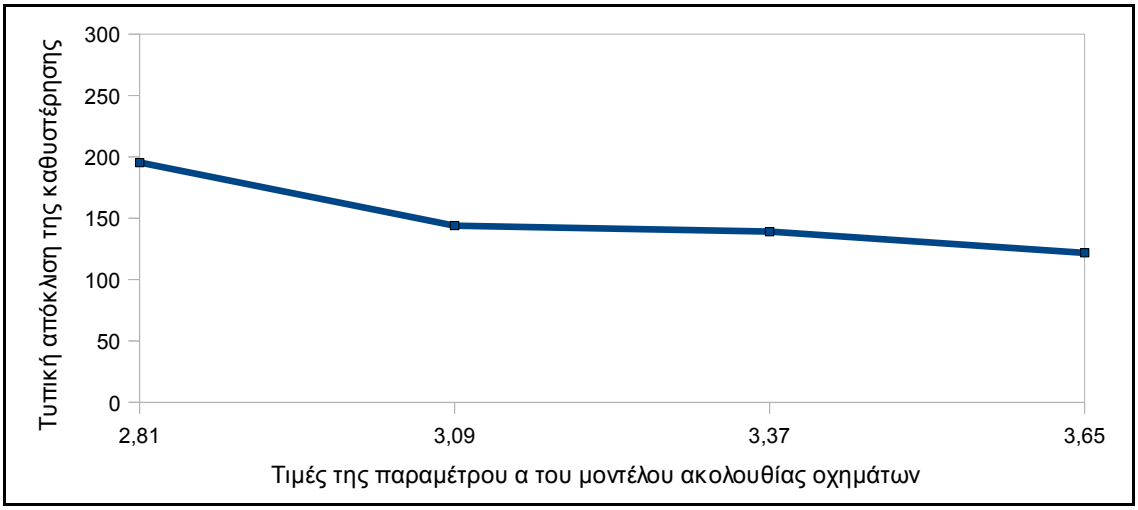
Διάγραμμα 5.30.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 20 προς 15.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια μεταβολή του χρόνου διαδρομής με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι μείωση 4% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, μείωση 6% για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% και μείωση 16% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια πτώση κατά 10%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε μείωση κατά 12% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ παρατηρείται μείωση της τυπικής απόκλισης κατά 21% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



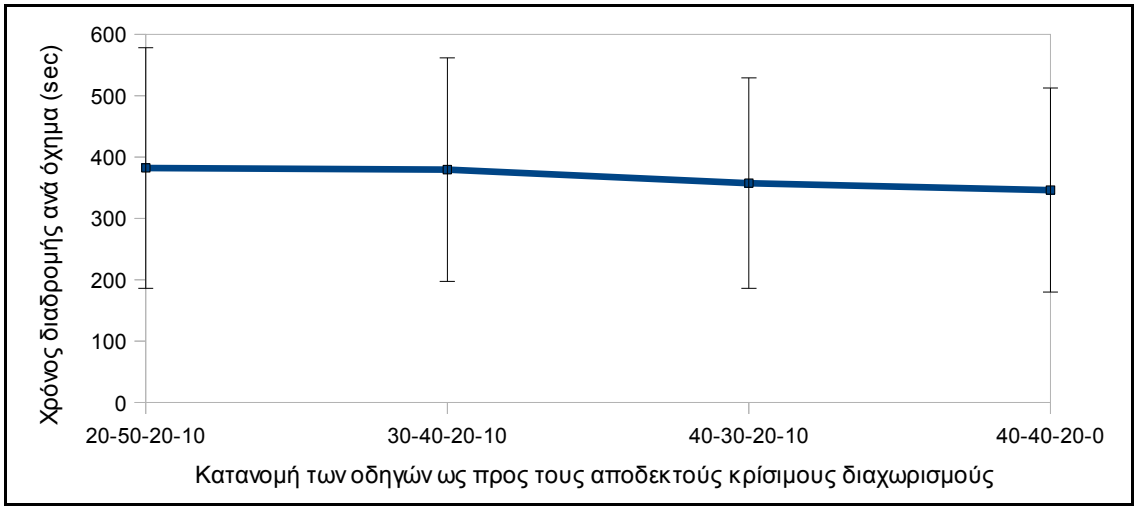
Διάγραμμα 5.31.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 20 προς 15.



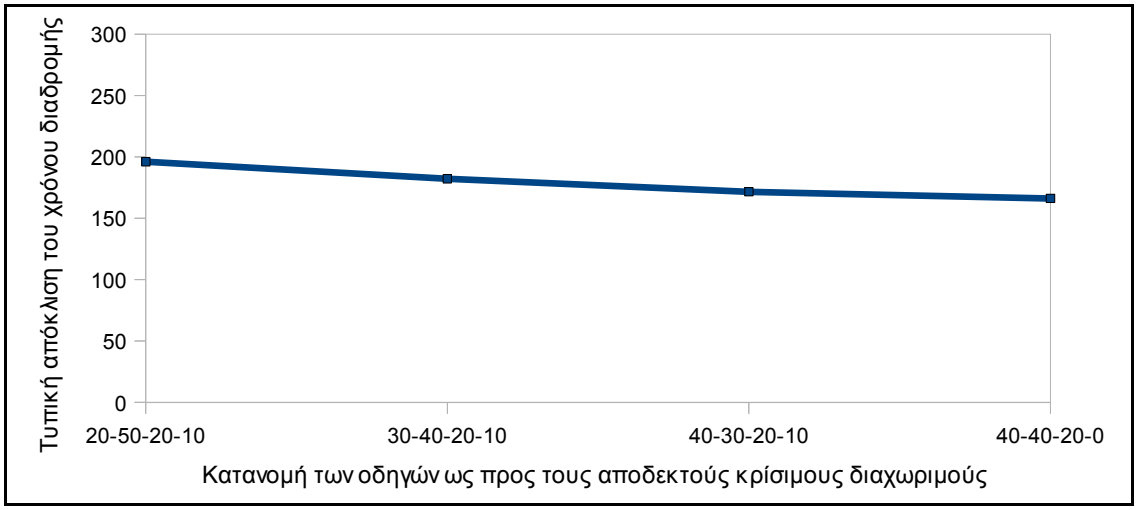
Διάγραμμα 5.32.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 20 προς 15.

Η τιμή της καθυστέρησης φαίνεται να μεταβάλλεται σε ένα βαθμό με τη μεταβολή της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων, για την κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι πτωτική κατά 4.7% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 10%, πτωτική κατά 8% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 20% και έντονα πτωτική κατά 19% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης παρατηρείται αρχικά πτωτική μεταβολή κατά 26%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αρνητική μεταβολή κατά 28%, ενώ τελικά παρατηρείται έντονα πτωτική μεταβολή κατά 37.5% σε σχέση με την αρχική τιμή, για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30%.



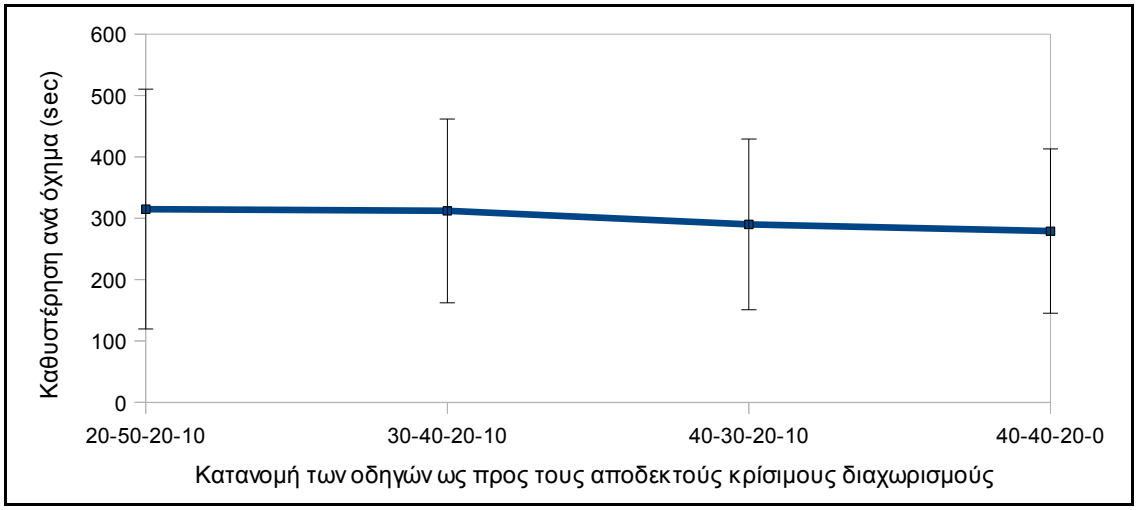
Διάγραμμα 5.33.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 20 προς 15.



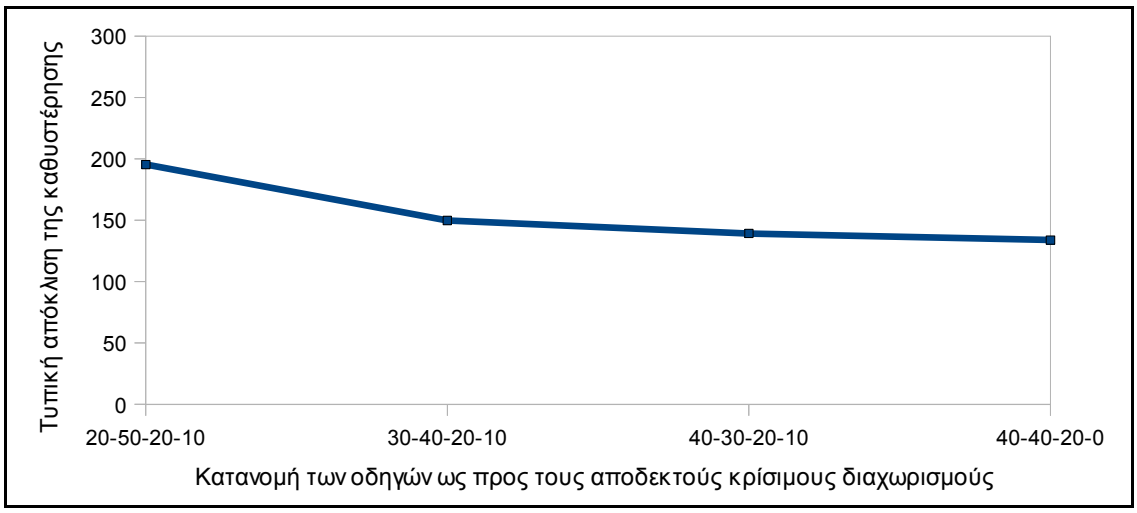
Διάγραμμα 5.33.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 20 προς 15.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια πτωτική μεταβολή του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 0.72% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 6.5% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 9% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής αρχικά παρουσιάζει πτώση κατά 7%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε πτώση κατά 12% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει μείωση κατά 15% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.34.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 20 προς 15.

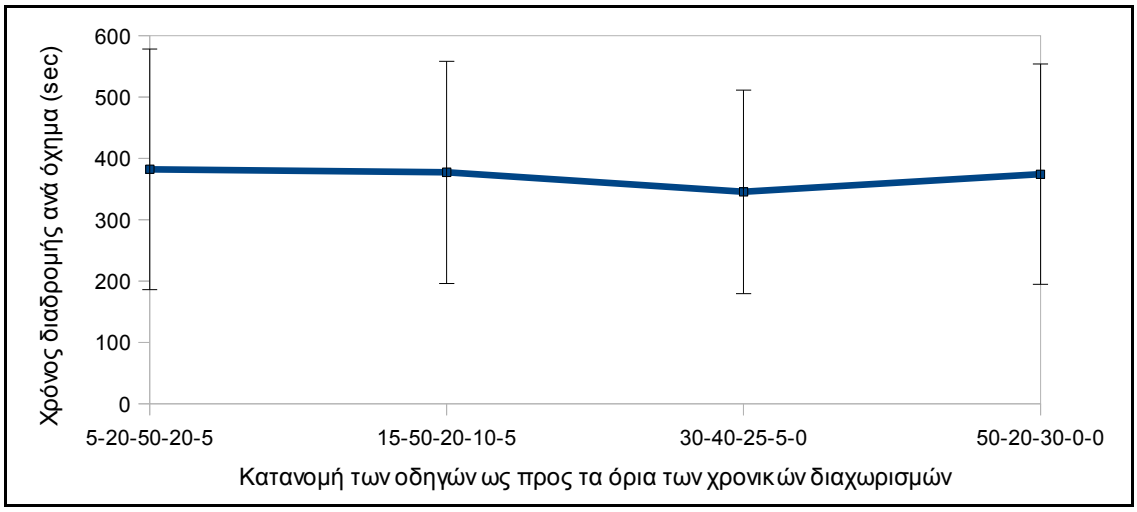


Διάγραμμα 5.35.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 20 προς 15.

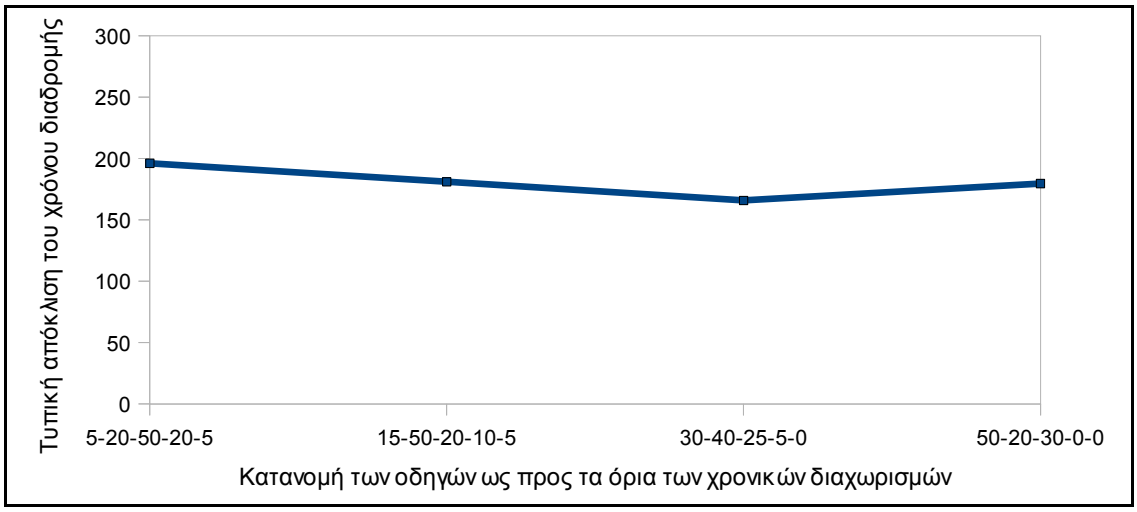
Η καθυστέρηση για την κίνηση από κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15, παρουσιάζει μείωση με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι πτωτική κατά 0.88% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 8% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 11% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα

αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση της καθυστέρησης αρχικά παρουσιάζει πτώση κατά 23%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε πτώση κατά 28% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει μείωση κατά 31% σε σχέση με την αρχική τιμή.



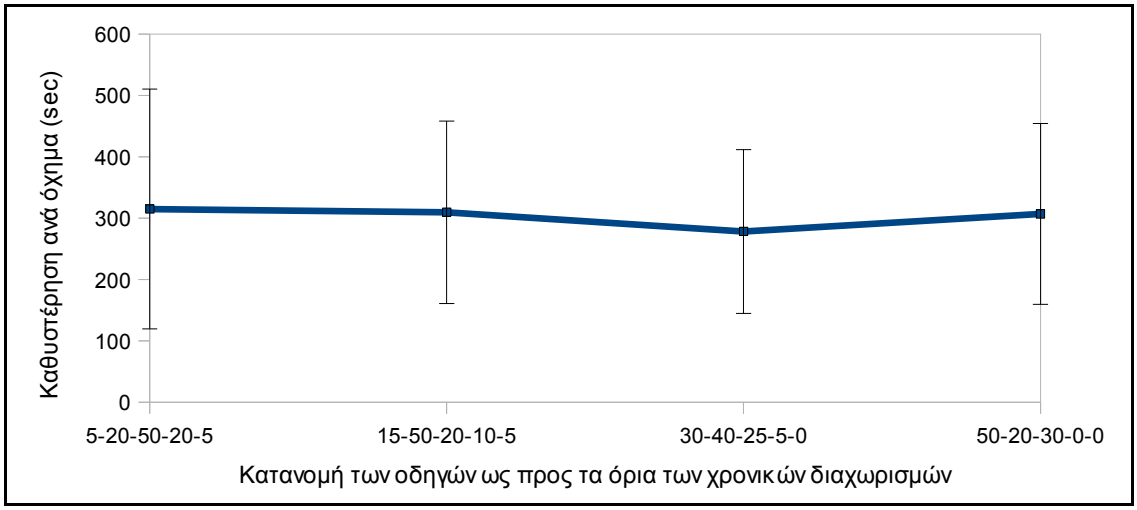
Διάγραμμα 5.36.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 20 προς 15.



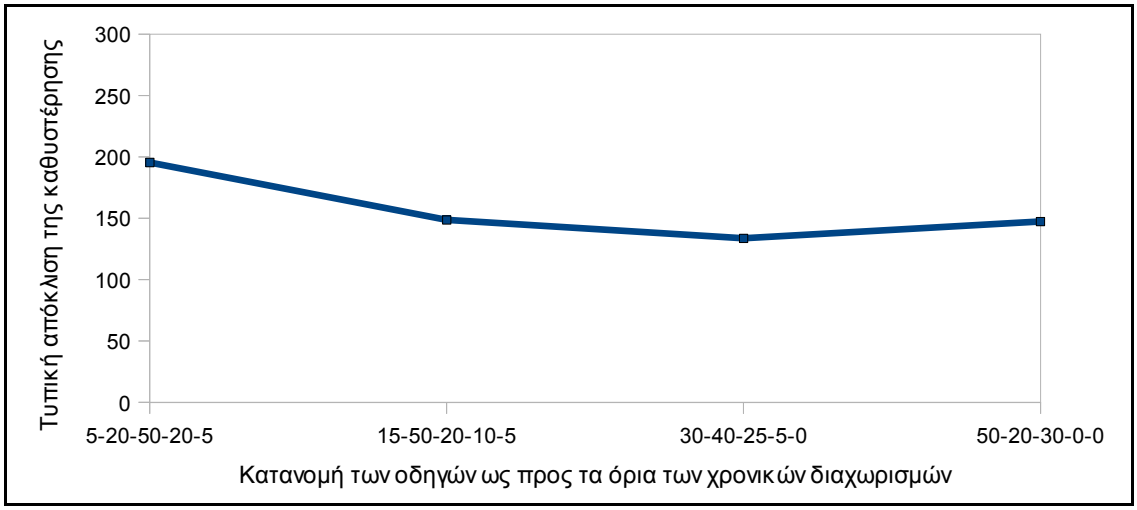
Διάγραμμα 5.37.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 20 προς 15.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια πτωτική μεταβολή της τιμής του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 1% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 9% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 2% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια πτώση κατά 7%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε μείωση κατά 15%, και στη συνέχεια παρατηρείται μείωση κατά 8% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



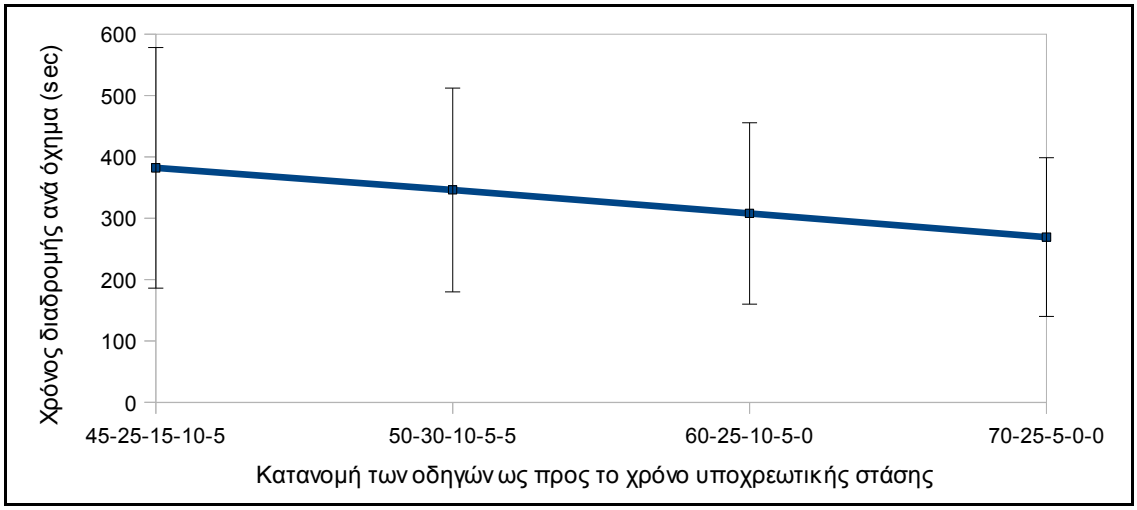
Διάγραμμα 5.38.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 20 προς 15.



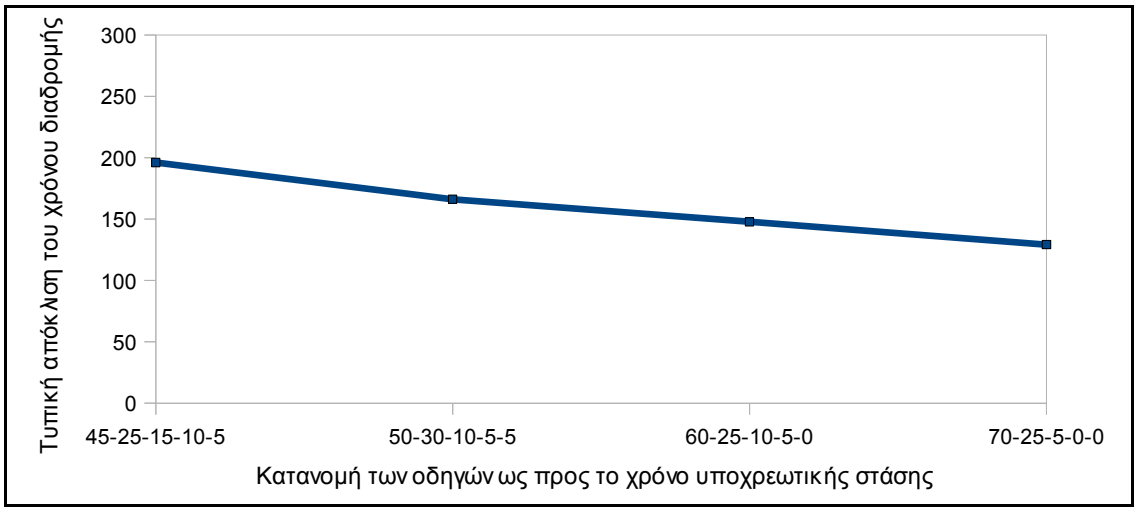
Διάγραμμα 5.38.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 20 προς 15.

Η τιμή της καθυστέρησης, παρουσιάζει πτωτική μεταβολή με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι πτωτική κατά 1.5% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 11% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 2.5% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μια πτώση κατά 24%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε μείωση κατά 31%, και στη συνέχεια παρατηρείται μείωση κατά 24.5% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.39.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 20 προς 15.

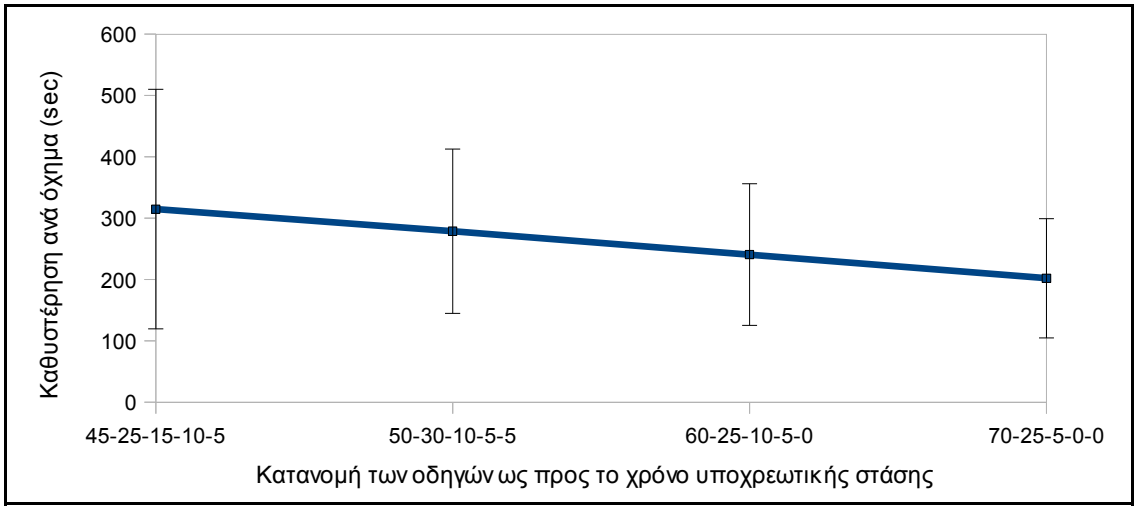


Διάγραμμα 5.40.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 20 προς 15.

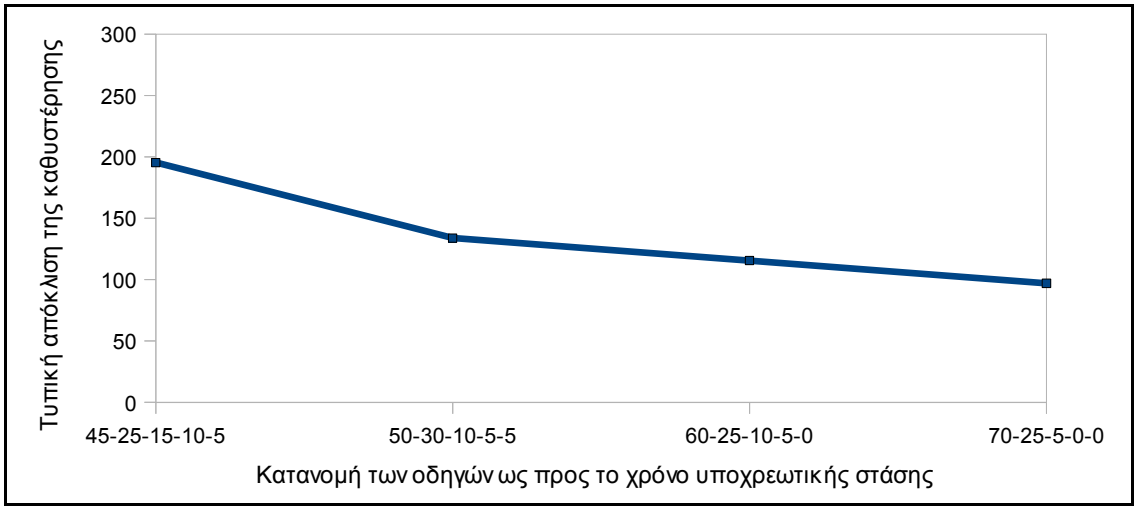
Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου διαδρομής μεταβάλλεται σημαντικά και με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 9.5% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 19.5% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 29.5% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις

προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια πτώση κατά 15%, η τιμή στη συνέχεια προσεγγίζει την αρχική τιμή αλλά είναι μικρότερη κατά 24%, ενώ τέλος, παρατηρείται μείωση κατά 34% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.41.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 20 προς 15.



Διάγραμμα 5.41.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 20 προς 15.

Η τιμή της καθυστέρησης μεταβάλλεται σημαντικά και με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι πτωτική κατά 11.5% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 23.5% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 36% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μια πτώση κατά 31%, η τιμή στη συνέχεια η τιμή είναι μικρότερη από την αρχική κατά 40%, ενώ τέλος, παρατηρείται μείωση κατά 32% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.

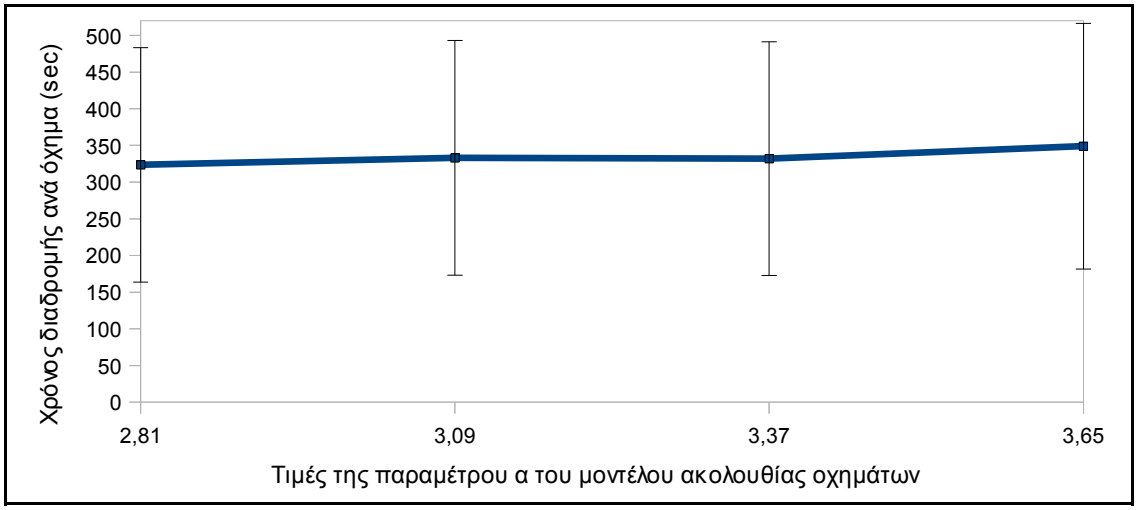
Κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15

Πρόκειται για τη στρεφόμενη κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό του δικτύου προς στην κύρια οδική αρτηρία, για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 31 και φτάνει στο κεντροειδές 15. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

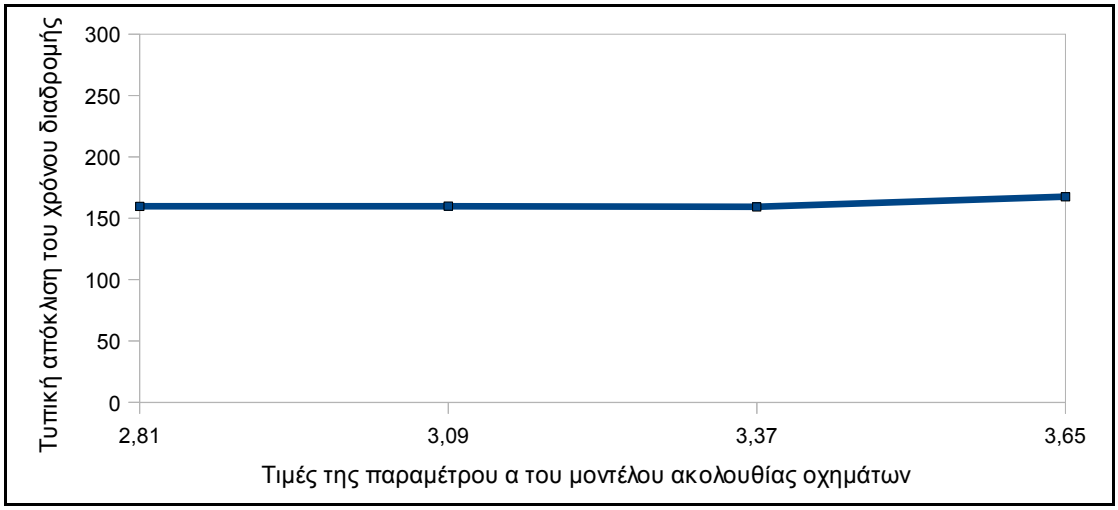
Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη βασική τιμή της παραμέτρου που εξετάζεται αλλά και τις νέες τιμές της ίδιας παραμέτρου, ώστε να διαπιστωθεί η τάση των δύο μεγεθών να αυξηθούν, να μειωθούν ή να παραμείνουν σταθερά.

Μοντέλο	Τιμές		Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	323,50	0,00%	159,76	0,00%	267,78	0,00%	159,10	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	333,08	2,96%	159,88	0,07%	277,62	3,67%	172,12	8,19%
	3,37	5,58	331,86	2,58%	159,29	-0,29%	276,12	3,11%	171,19	7,60%
	3,65	6,05	349,04	7,89%	167,54	4,87%	293,46	9,59%	181,95	14,36%
Βασική τιμή	20-50-20-10		323,50	0,00%	159,76	0,00%	267,78	0,00%	159,10	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		346,83	7,21%	166,48	4,21%	291,36	8,81%	180,64	13,54%
	40-30-20-10		337,37	4,29%	161,94	1,36%	281,82	5,24%	174,73	9,82%
	40-40-20-0		337,01	4,18%	161,76	1,26%	281,34	5,06%	174,43	9,64%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		323,50	0,00%	159,76	0,00%	267,78	0,00%	159,10	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		328,57	1,57%	157,72	-1,28%	272,82	1,88%	169,15	6,32%
	30-40-25-5-0		329,09	1,73%	157,96	-1,12%	271,80	1,50%	168,52	5,92%
	50-20-30-0-0		348,17	7,62%	167,12	4,61%	292,44	9,21%	181,31	13,96%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		323,50	0,00%	159,76	0,00%	267,78	0,00%	159,10	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		343,66	6,23%	164,95	3,25%	286,02	6,81%	177,33	11,46%
	60-25-10-5-0		324,57	0,33%	155,79	-2,48%	268,92	0,43%	166,73	4,80%
	70-25-5-0-0		304,30	-5,94%	146,06	-8,57%	248,82	-7,08%	154,27	-3,04%

Πίνακας 5.9.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 31 προς 15.



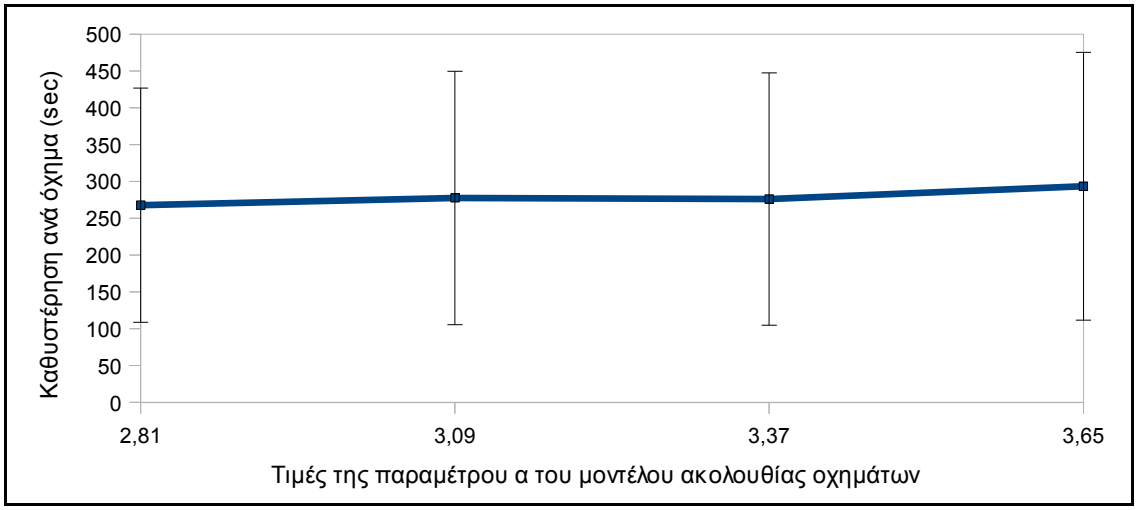
Διάγραμμα 5.42.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 31 προς 15.



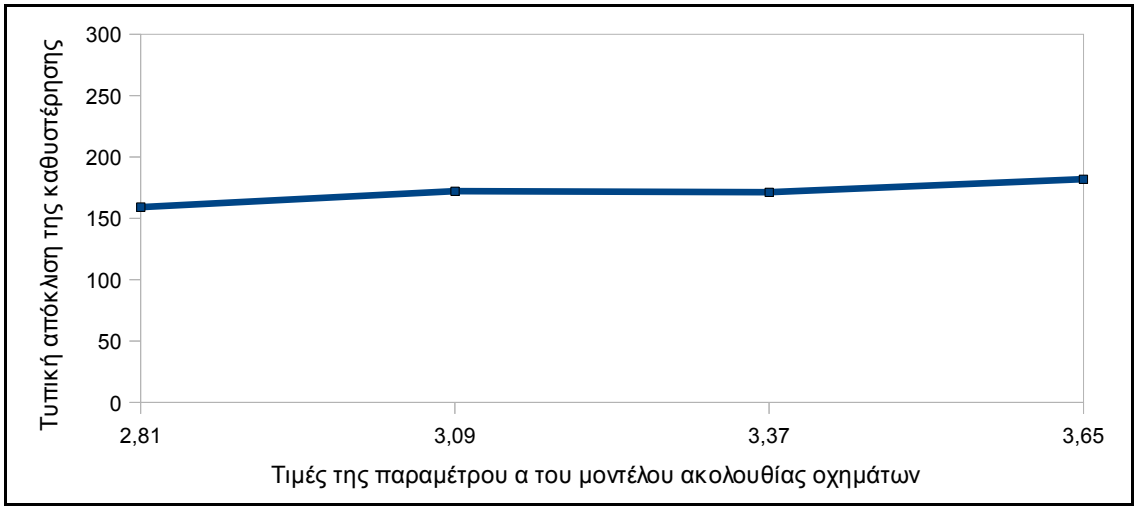
Διάγραμμα 5.43.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 31 προς 15.

Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή του χρόνου διαδρομής με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι αύξηση 3% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή προσεγγίζει την αρχική αλλά είναι κατά 2.5% μεγαλύτερη ενώ υπάρχει σαφής αύξηση 8% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια αύξηση κατά 3%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση κατά 2.5% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ παρατηρείται αύξηση της τυπικής απόκλισης κατά 8% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.44.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 31 προς 15.

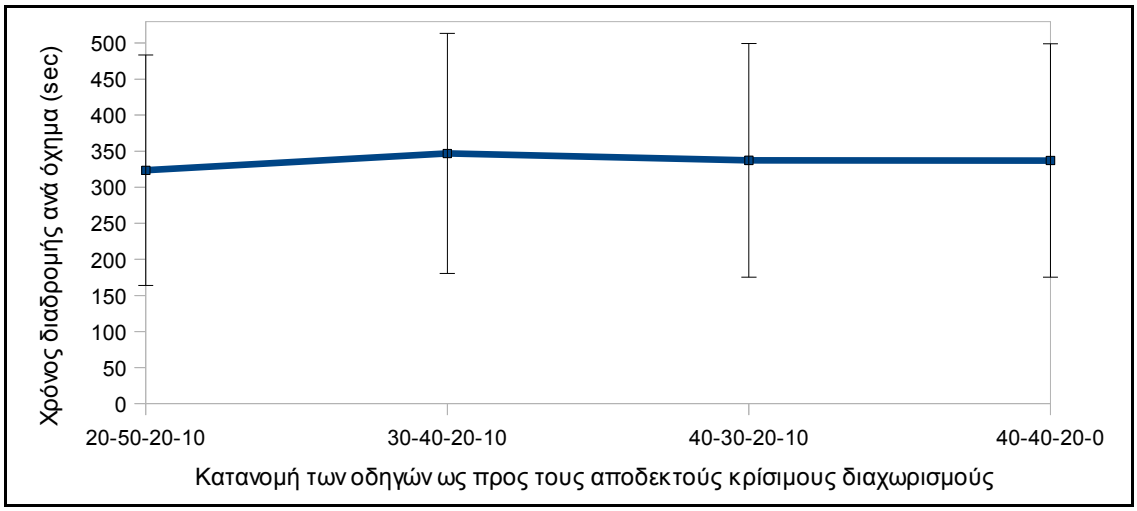


Διάγραμμα 5.45.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 31 προς 15.

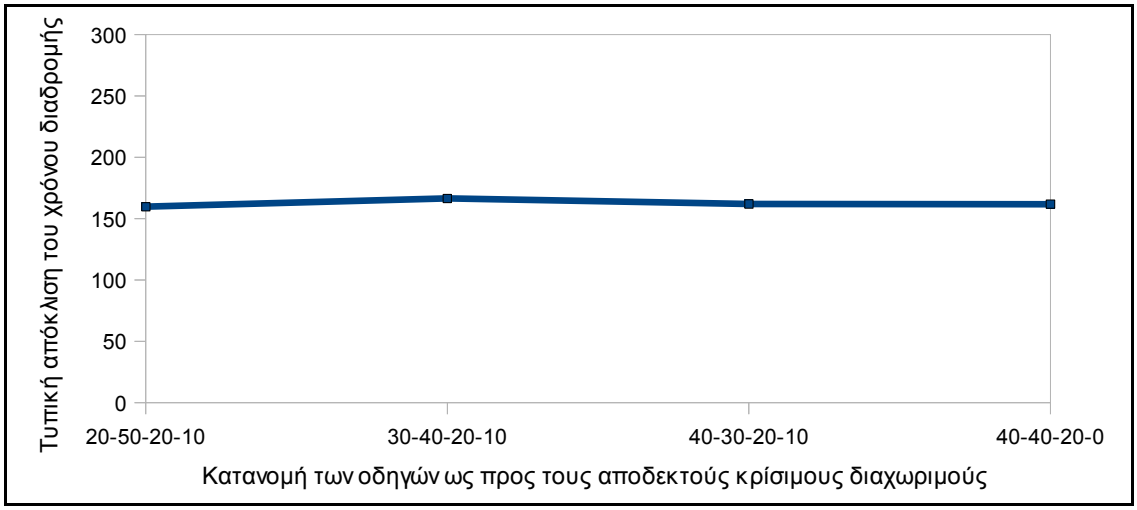
Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή της καθυστέρησης με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι αύξηση 3.5% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή προσεγγίζει την αρχική αλλά είναι κατά 3% μεγαλύτερη ενώ υπάρχει σαφής αύξηση 9.5% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της

παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μια αύξηση κατά 8%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση κατά 7% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ παρατηρείται αύξηση της τυπικής απόκλισης κατά 14% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



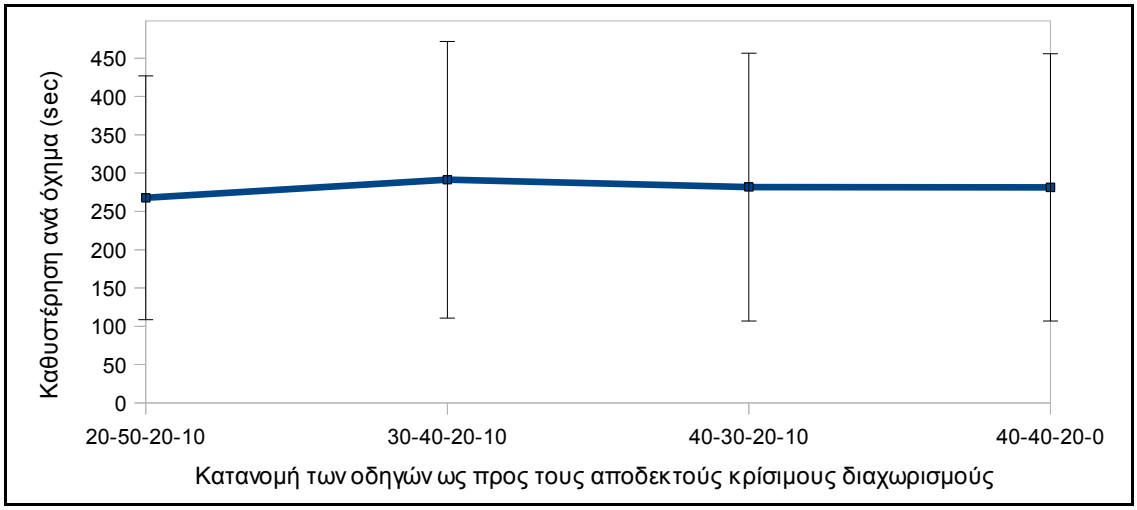
Διάγραμμα 5.46.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 31 προς 15.



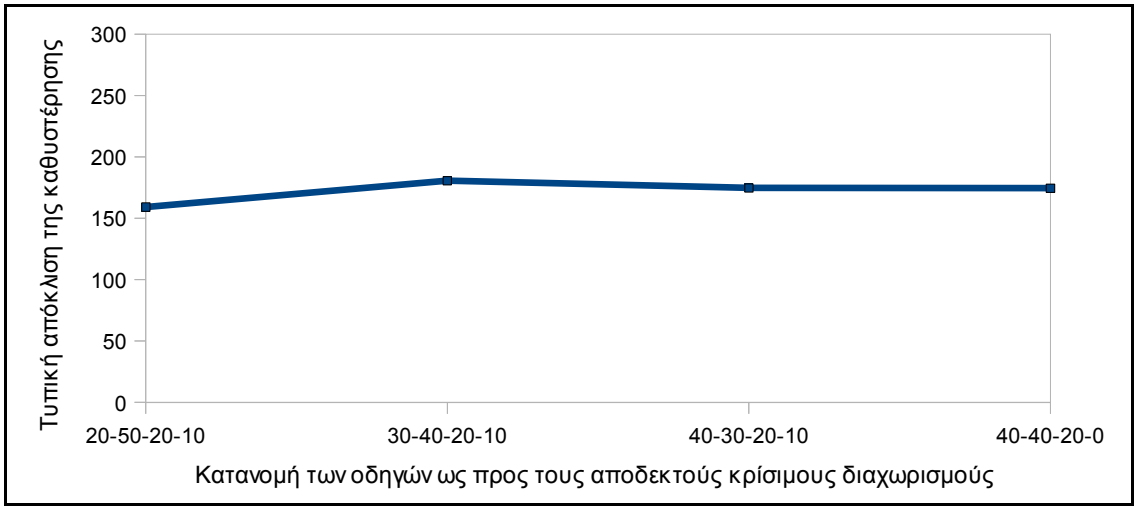
Διάγραμμα 5.47.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 31 προς 15.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια αυξητική μεταβολή του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 7% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 4.3% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 4% και κοντά στην αρχική τιμή για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής αρχικά παρουσιάζει άνοδο κατά 4%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση κατά 1% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει αύξηση κατά 1% σε σχέση με την αρχική τιμή.



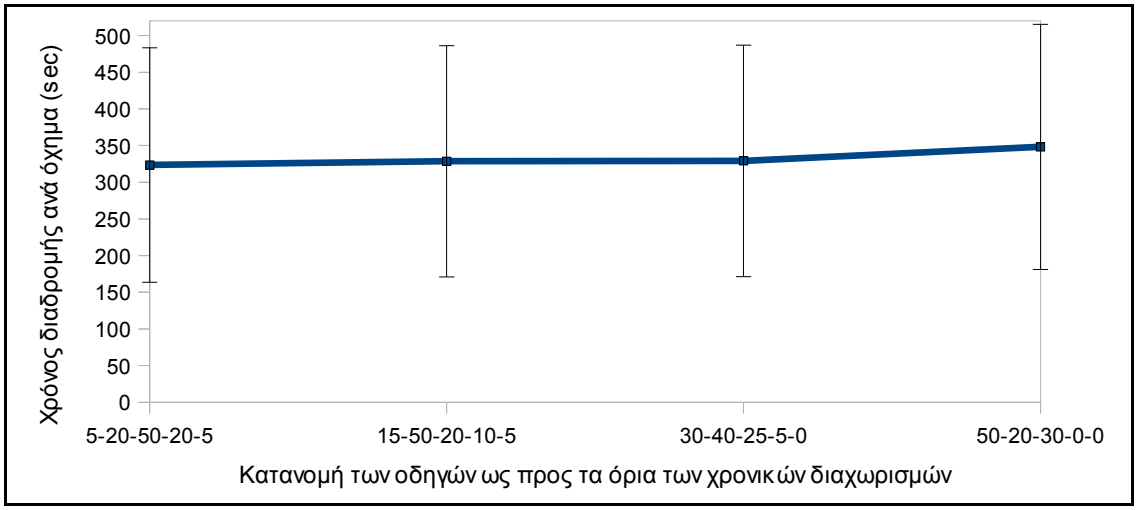
Διάγραμμα 5.48.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 31 προς 15.



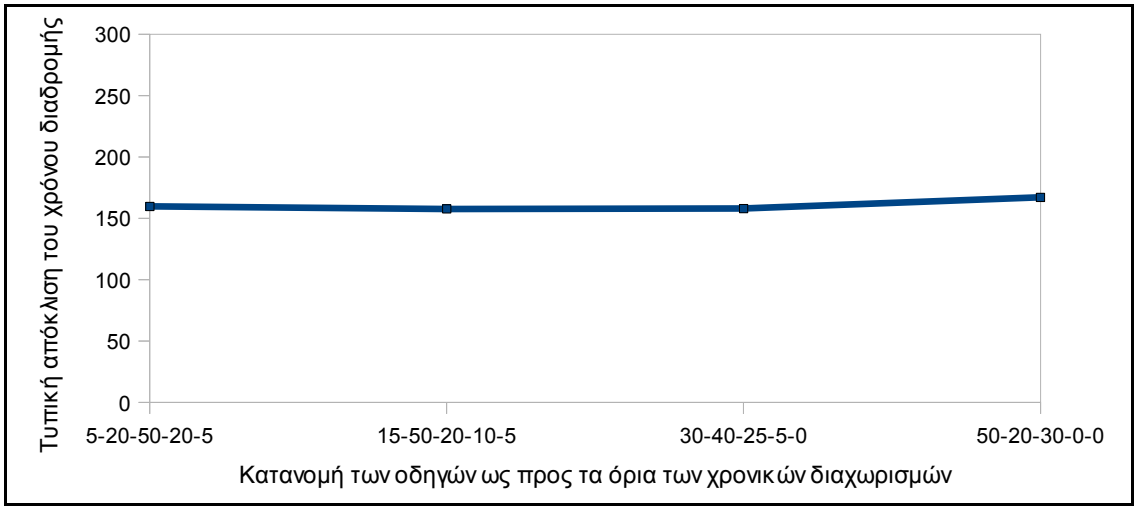
Διάγραμμα 5.49.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 31 προς 15.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια αυξητική μεταβολή της καθυστέρησης με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 9% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 5.2% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 5% και κοντά στην αρχική τιμή για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση της καθυστέρησης αρχικά παρουσιάζει άνοδο κατά 13%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση κατά 10% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει αύξηση κατά 9% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.50.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 31 προς 15.

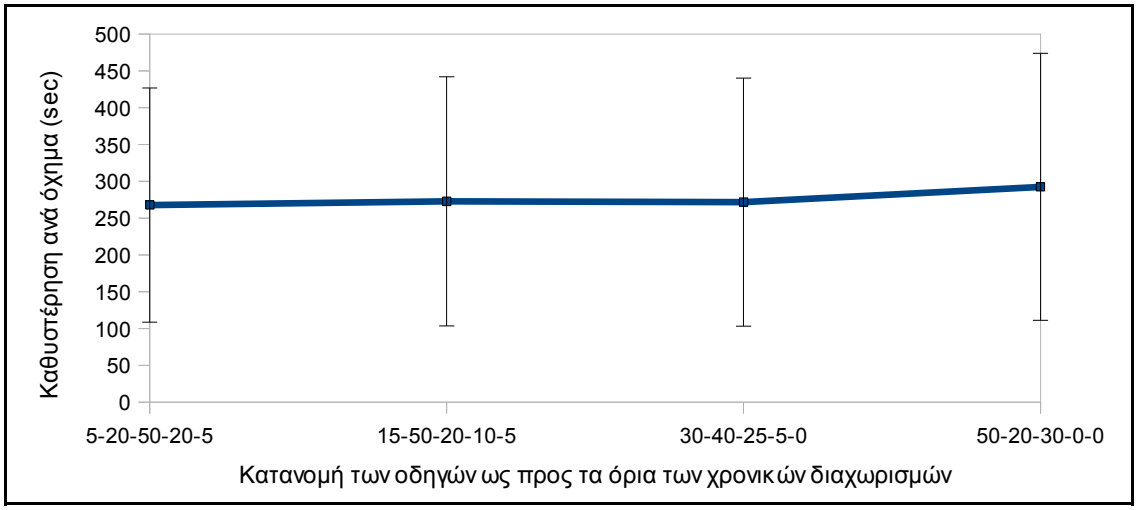


Διάγραμμα 5.51.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 31 προς 15.

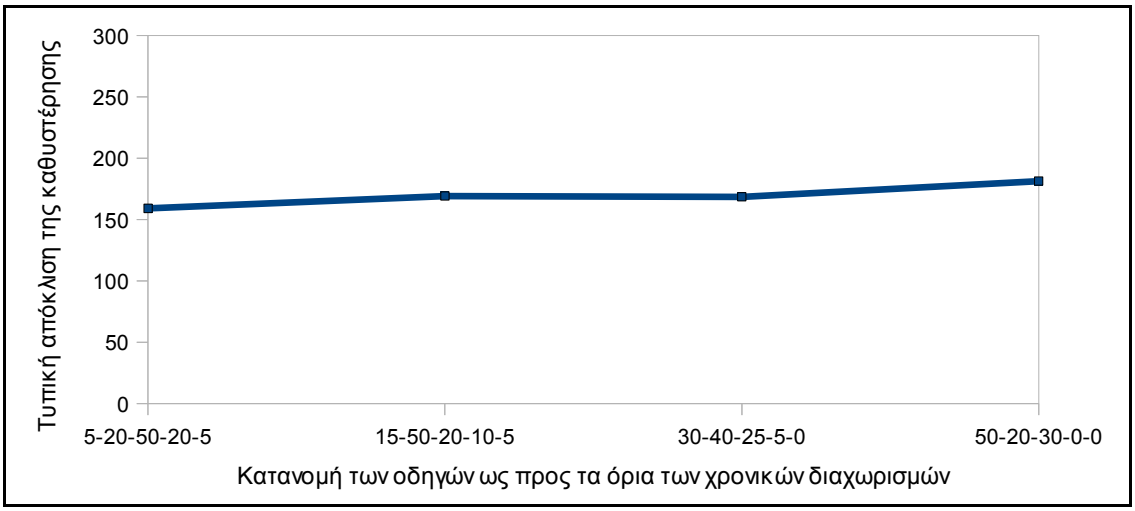
Υπάρχει μια ανοδική μεταβολή της τιμής του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 1.5% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 1.7% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και σαφώς ανοδική κατά 7.6% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των

οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια μείωση κατά 1%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε μείωση κατά 1%, και στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση κατά 4% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



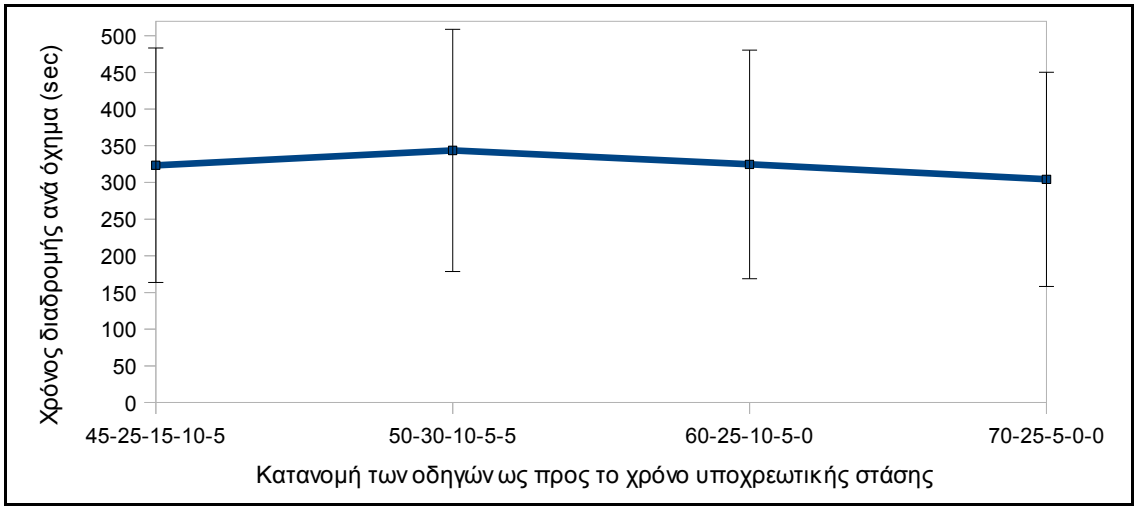
Διάγραμμα 5.52.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 31 προς 15.



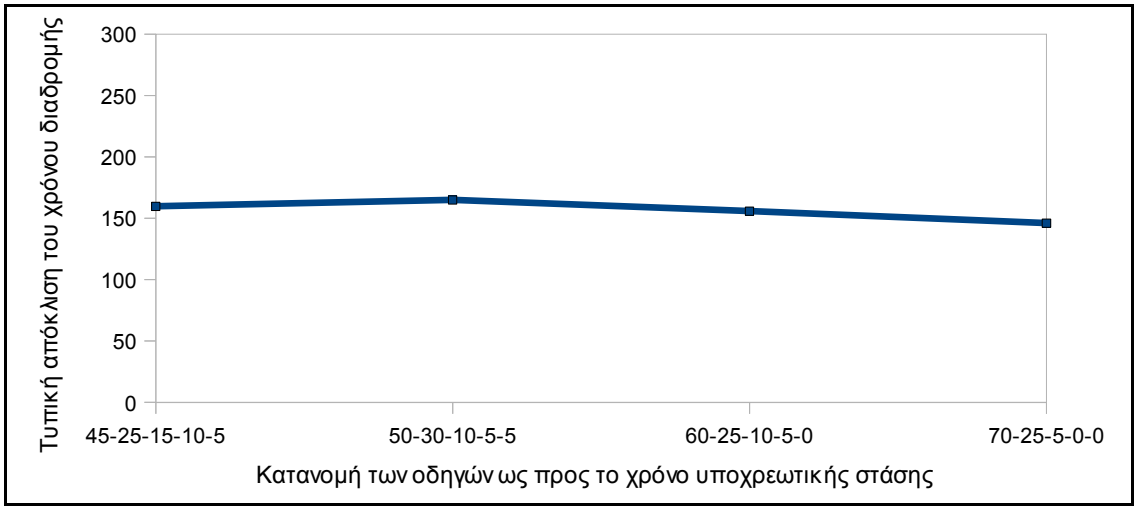
Διάγραμμα 5.53.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 31 προς 15.

Υπάρχει μια ανοδική μεταβολή της καθυστέρησης με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 1.5% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 1.5% και πολύ κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και ανοδική κατά 9% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 6%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση από την αρχική τιμή κατά 5%, και στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση κατά 13% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



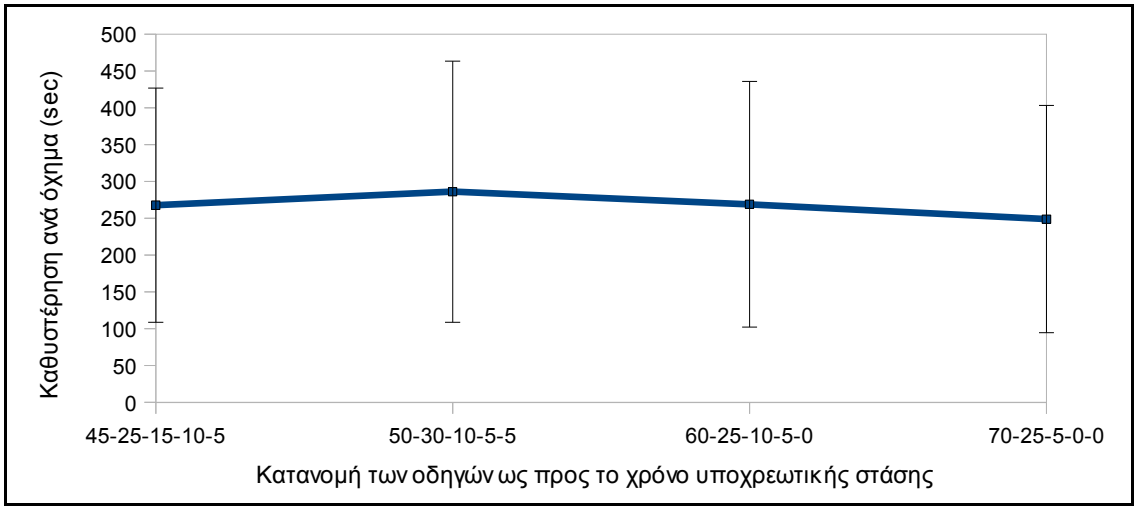
Διάγραμμα 5.54.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 31 προς 15.



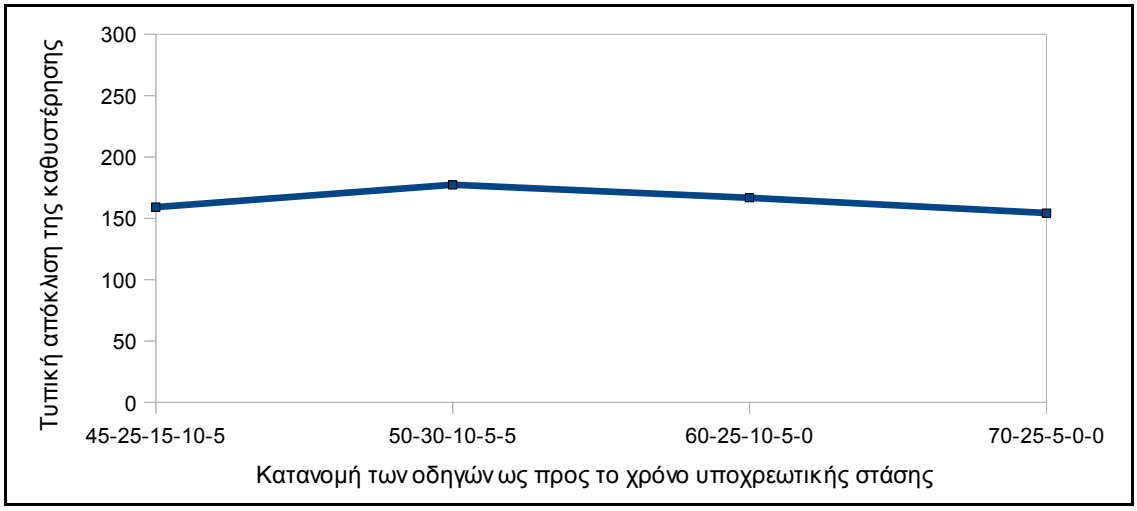
Διάγραμμα 5.55.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 31 προς 15.

Παρατηρείται ότι η τιμή του χρόνου διαδρομής μεταβάλλεται με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 6.2% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.33% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 6% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια αύξηση κατά 3%, η τιμή στη συνέχεια προσεγγίζει την αρχική τιμή αλλά είναι μικρότερη κατά 2%, ενώ τέλος, παρατηρείται μείωση κατά 8% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.56.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 31 προς 15.



Διάγραμμα 5.57.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 31 προς 15.

Η τιμή της καθυστέρησης μεταβάλλεται με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 6.8% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.43% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και πτωτική κατά 7.3% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των

οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μια αύξηση κατά 11%, η τιμή στη συνέχεια προσεγγίζει την αρχική τιμή αλλά είναι μεγαλύτερη κατά 4%, ενώ τέλος, παρατηρείται μείωση κατά 3% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.

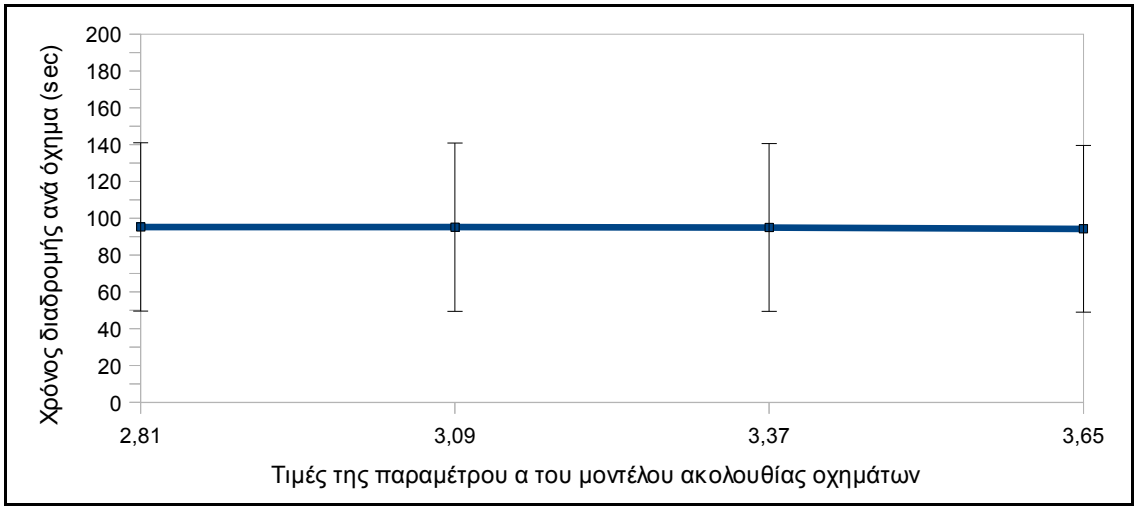
Κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32

Πρόκειται για τη στρεφόμενη κίνηση από την κύρια οδική αρτηρία προς τη δεύτερη κάθετη οδό του δικτύου, για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 33 και φτάνει στο κεντροειδές 32. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

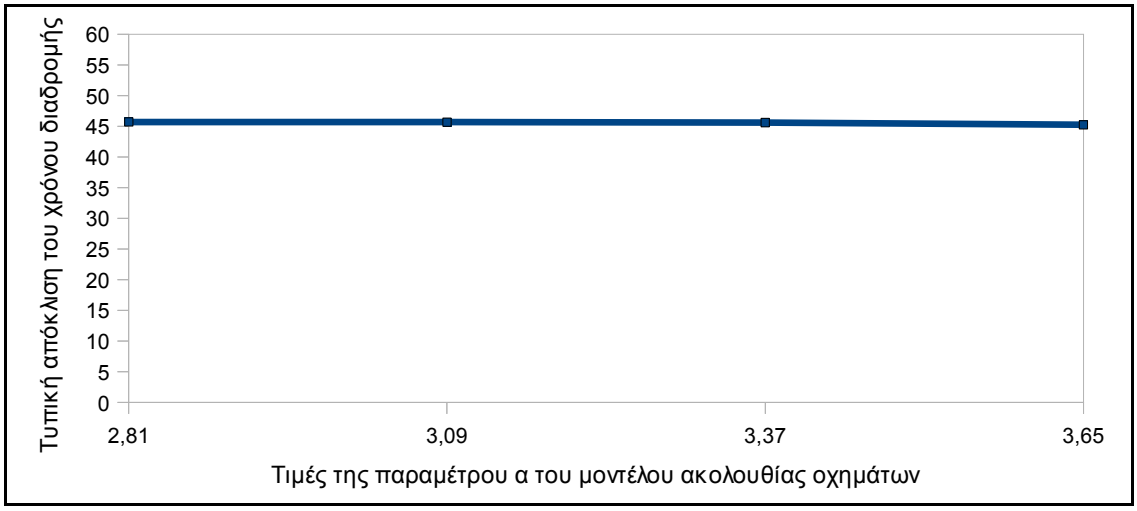
Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη βασική τιμή της παραμέτρου που εξετάζεται αλλά και τις νέες τιμές της ίδιας παραμέτρου, ώστε να διαπιστωθεί η τάση των δύο μεγεθών να αυξηθούν, να μειωθούν ή να παραμείνουν σταθερά.

Μοντέλο	Τιμές		Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	95,23	0,00%	45,71	0,00%	20,58	0,00%	9,88	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	95,16	-0,07%	45,68	-0,07%	20,82	1,17%	9,99	1,17%
	3,37	5,58	94,99	-0,25%	45,6	-0,25%	20,52	-0,29%	9,85	-0,29%
	3,65	6,05	94,26	-1,02%	45,24	-1,02%	20,58	0,00%	9,88	0,00%
Βασική τιμή	20-50-20-10		95,23	0,00%	45,71	0,00%	20,58	0,00%	9,88	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		95,05	-0,18%	45,62	-0,18%	20,46	-0,58%	9,82	-0,58%
	40-30-20-10		94,65	-0,60%	45,43	-0,60%	20,64	0,29%	9,91	0,29%
	40-40-20-0		95,14	-0,09%	45,67	-0,09%	21,06	2,33%	10,11	2,33%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		95,23	0,00%	45,71	0,00%	20,58	0,00%	9,88	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		95,39	0,17%	45,78	0,17%	21,42	4,08%	10,28	4,08%
	30-40-25-5-0		94,51	-0,75%	45,37	-0,75%	20,70	0,58%	9,94	0,58%
	50-20-30-0-0		95,93	0,74%	46,04	0,74%	21,30	3,50%	10,22	3,50%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		95,23	0,00%	45,71	0,00%	20,58	0,00%	9,88	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		95,25	0,02%	45,63	-0,17%	20,79	1,02%	9,98	1,02%
	60-25-10-5-0		95,21	-0,02%	45,7	-0,02%	21,06	2,33%	10,11	2,33%
	70-25-5-0-0		95,55	0,33%	45,86	0,33%	21,18	2,92%	10,17	2,92%

Πίνακας 5.10.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 33 προς 32.



Διάγραμμα 5.58.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 32.

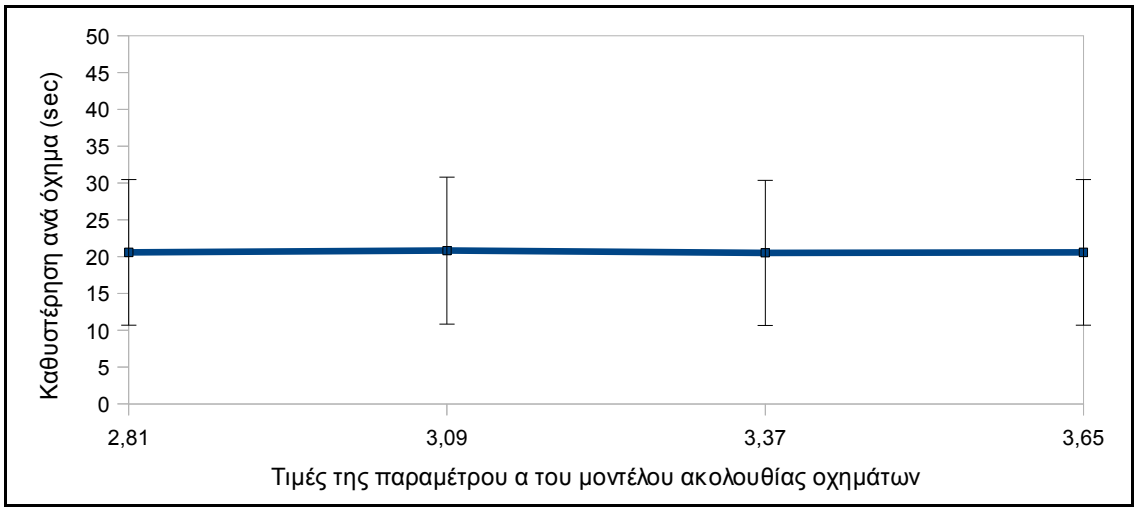


Διάγραμμα 5.59.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 32.

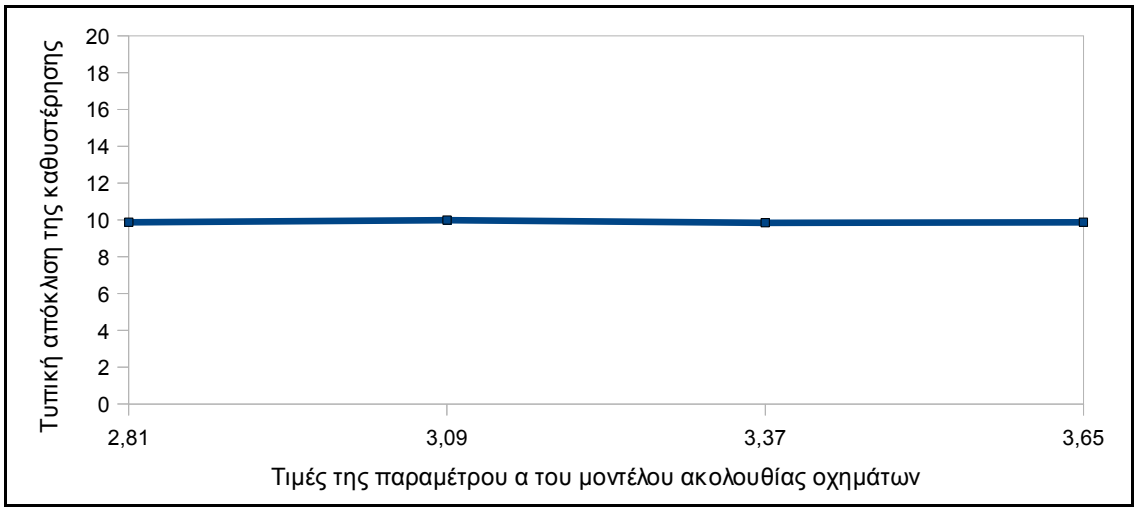
Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή του χρόνου διαδρομής με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι μείωση 0.07% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή προσεγγίζει την αρχική αλλά είναι κατά 0.25% μικρότερη ενώ υπάρχει μείωση 1% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της

παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια μείωση κατά 0.07%, στη συνέχεια η τιμή προσεγγίζει την αρχική αλλά είναι κατά περίπου 0.25% μικρότερη, ενώ παρατηρείται μείωση της τυπικής απόκλισης κατά 1% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



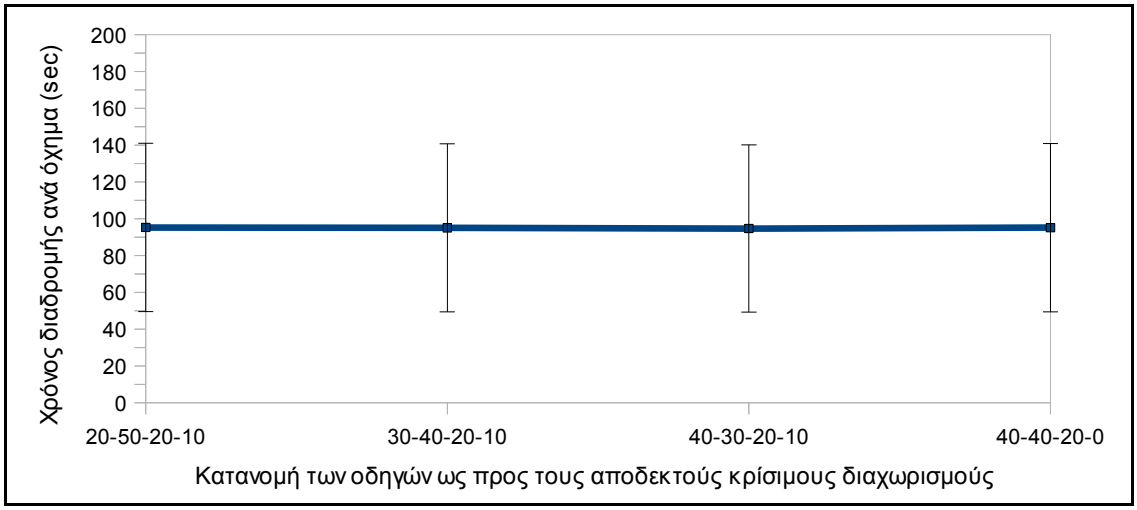
Διάγραμμα 5.60.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 32.



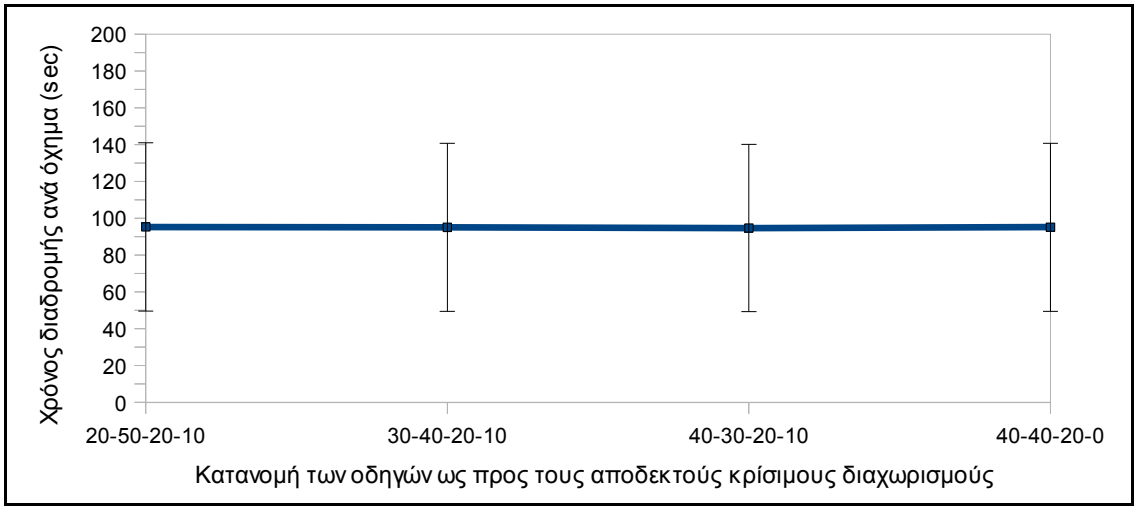
Διάγραμμα 5.61.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 33 προς 32.

Δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή της καθυστέρησης με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι αύξηση 1.17% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% υπάρχει αύξηση 1.46% ενώ υπάρχει μείωση 1.46% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μια αύξηση κατά 1%, στη συνέχεια υπάρχει μείωση 0.29%, ενώ παρατηρείται μηδενική μεταβολή για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



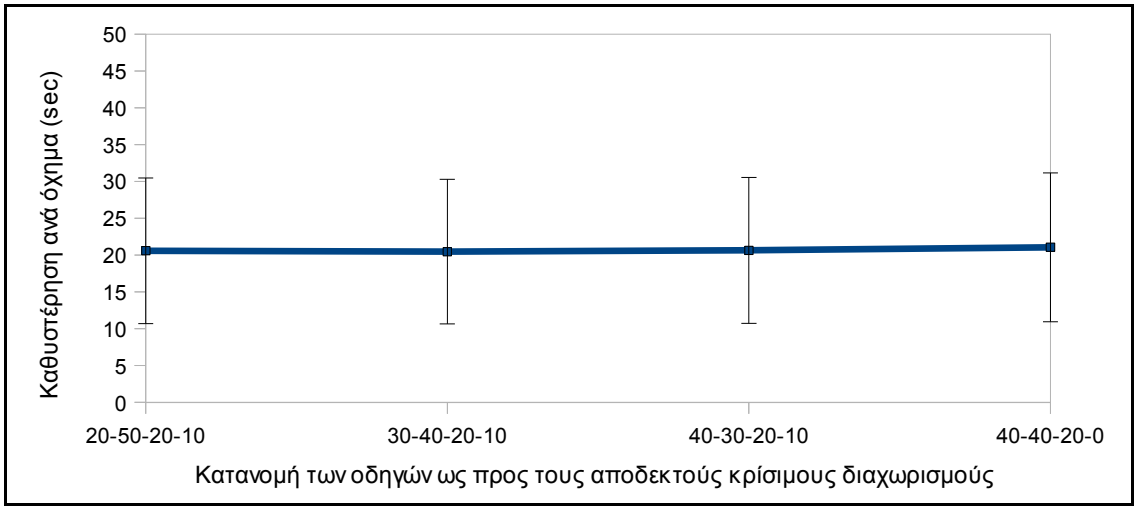
Διάγραμμα 5.62.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 32.



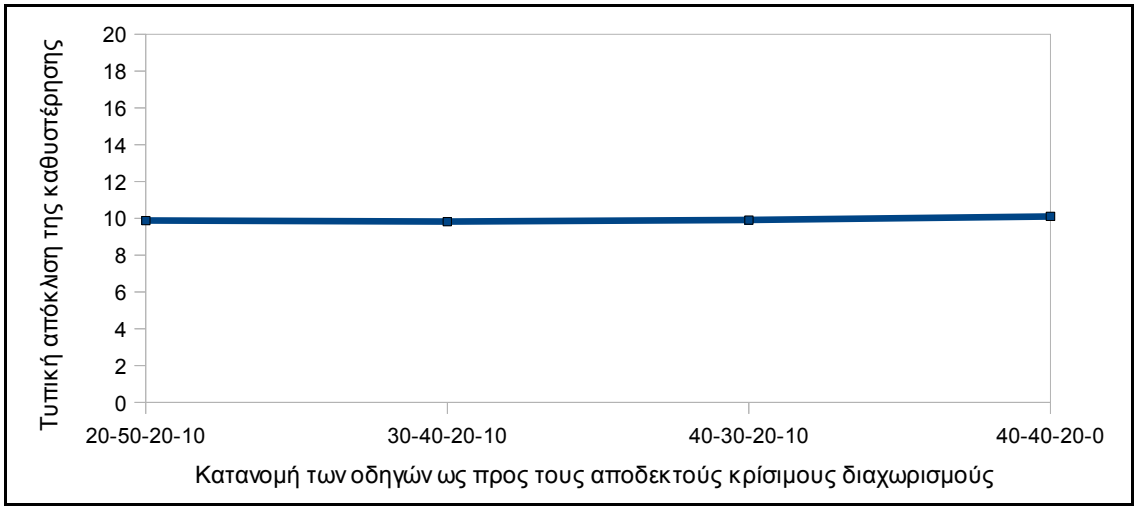
Διάγραμμα 5.63.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 32.

Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 0.18% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, αρνητική κατά 0.6% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 0.09% και κοντά στην αρχική τιμή για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής αρχικά παρουσιάζει πτώση κατά 0.18%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε πτώση κατά 0.6% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει μείωση κατά 0.09% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.64.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 32.

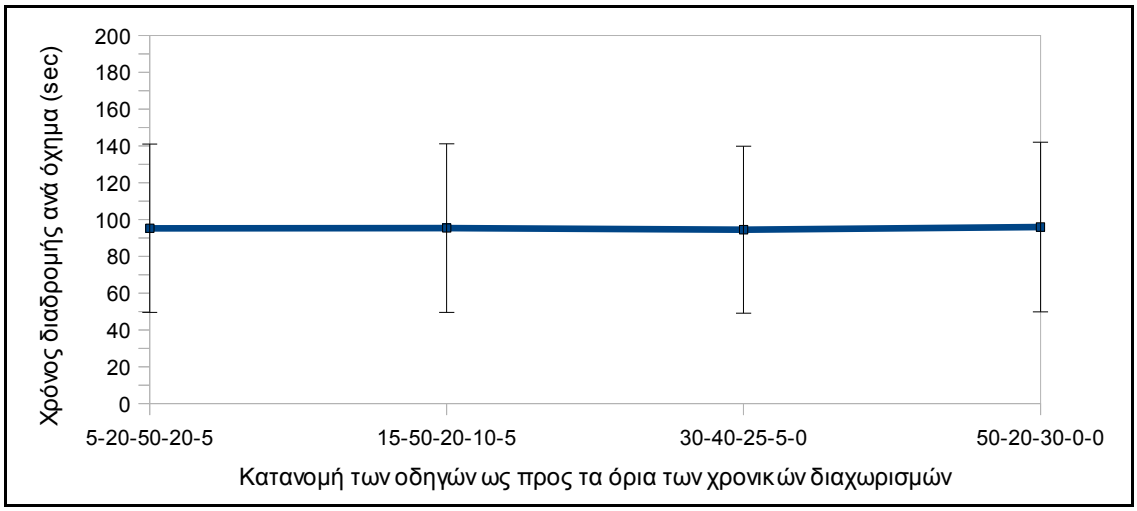


Διάγραμμα 5.65.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 33 προς 32.

Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή της καθυστέρησης με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 0.58% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, αρνητική κατά 0.87% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 0.87% και κοντά στην αρχική τιμή για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις

προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση της καθυστέρησης αρχικά παρουσιάζει μείωση κατά 0.5%, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αύξηση κατά 0.3% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει αύξηση κατά 2% σε σχέση με την αρχική τιμή.

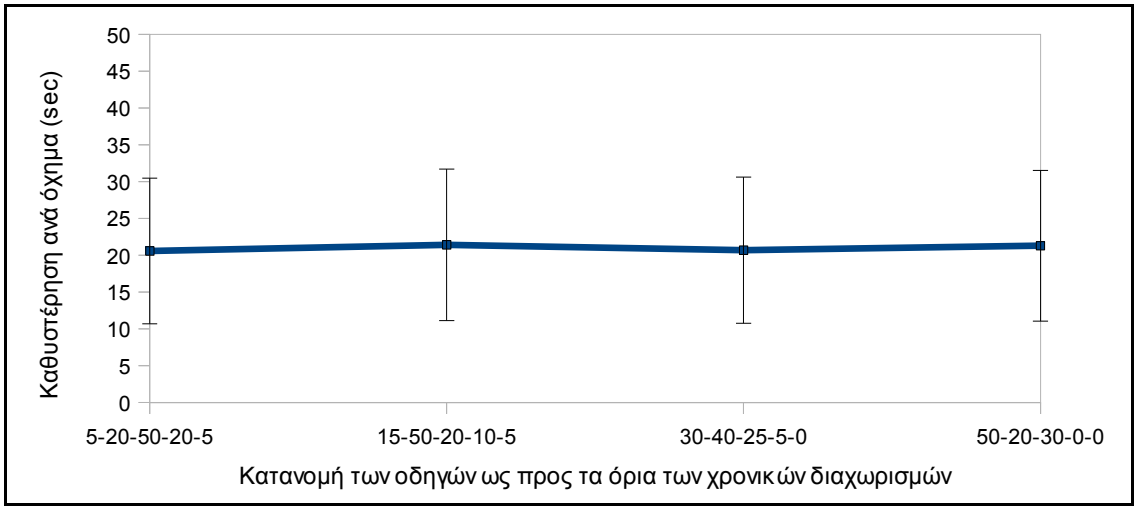


Διάγραμμα 5.66.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 33 προς 32.

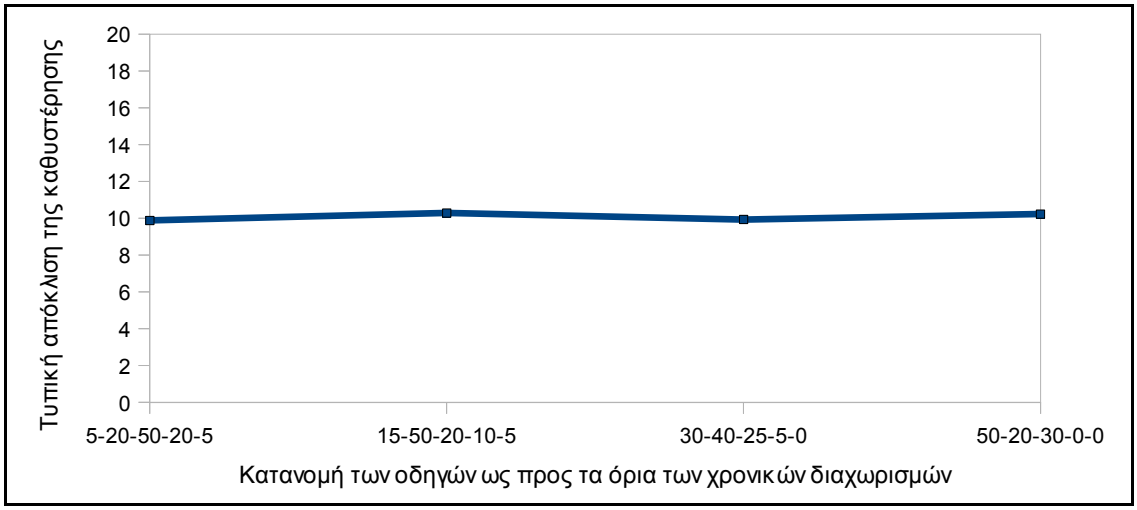
Διάγραμμα 5.67.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 33 προς 32.

Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή της τιμής του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 0.17% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, αρνητική κατά 0.75% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και ανοδική κατά 0.74% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 0.1%, στη συνέχεια υπάρχει μείωση κατά 0.7%, και στη συνέχεια παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση κατά 0.7% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



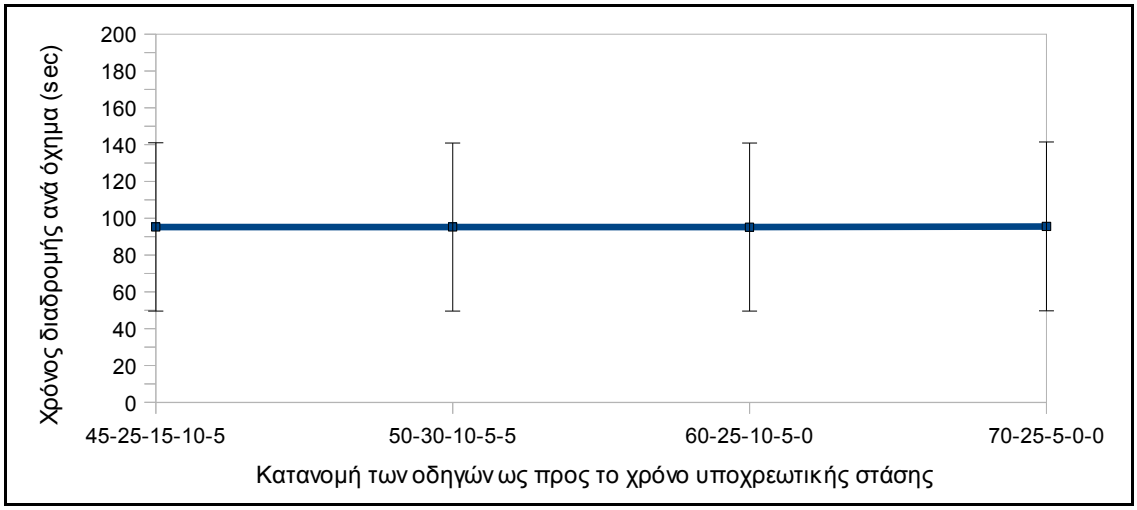
Διάγραμμα 5.68.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 33 προς 32.



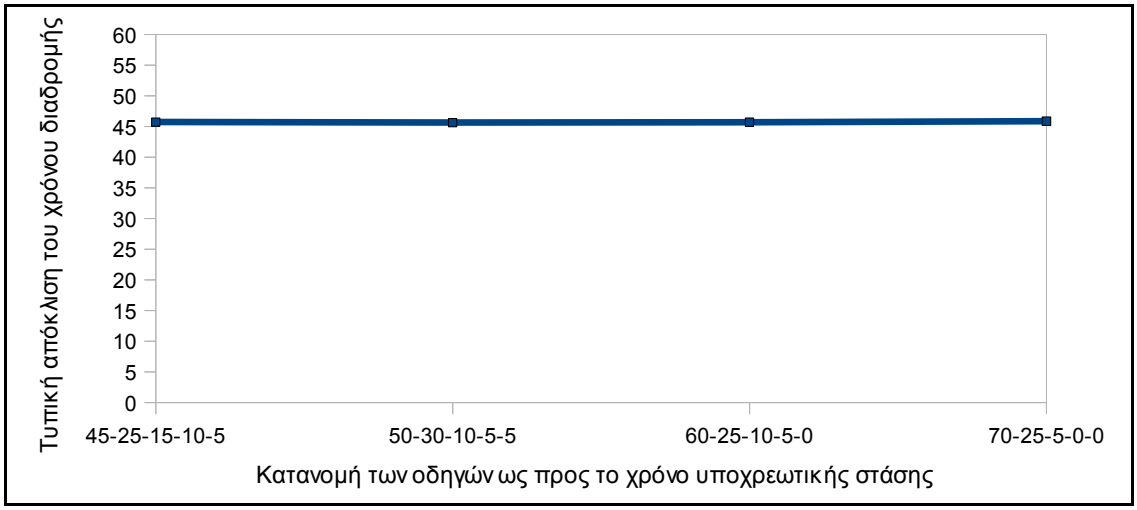
Διάγραμμα 5.69.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 33 προς 32.

Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή της τιμής της καθυστέρησης με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 2% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, αρνητική κατά 0.58% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και ανοδική κατά 4% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 4%, στη συνέχεια υπάρχει αύξηση κατά 0.5%, και στη συνέχεια παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση κατά 3.5% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.70.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 32.

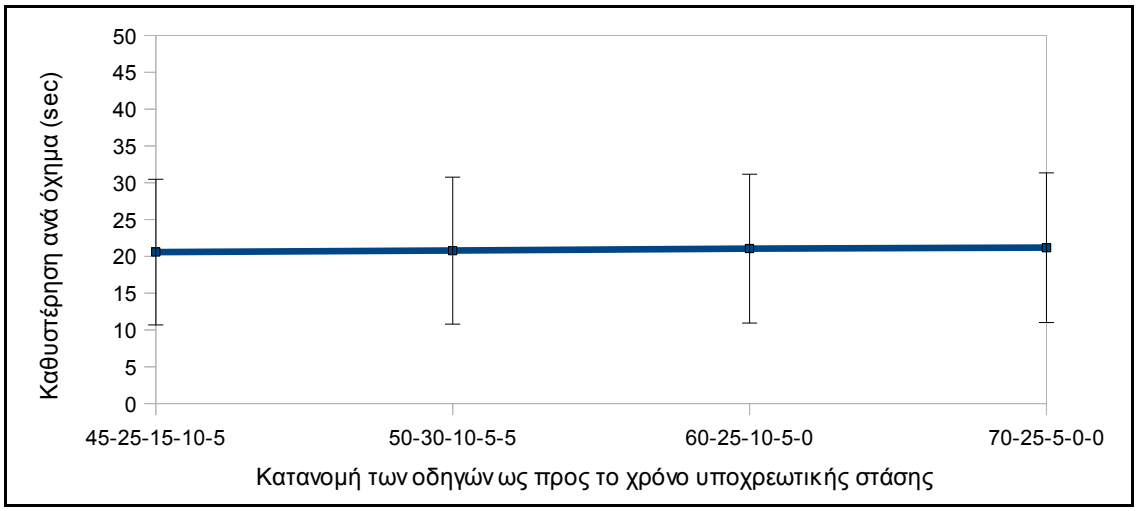


Διάγραμμα 5.71.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 32.

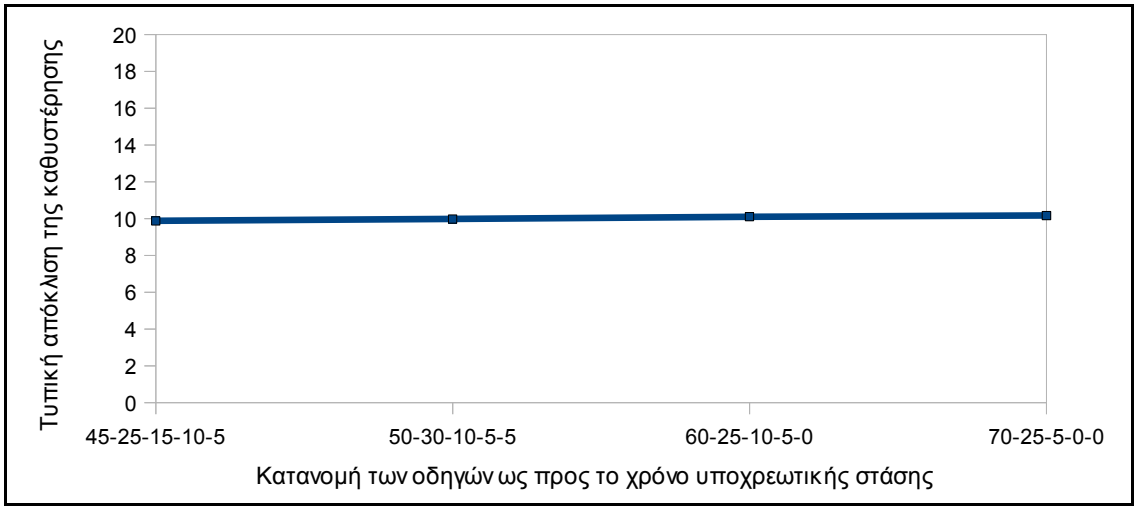
Η τιμή του χρόνου διαδρομής δε μεταβάλλεται με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 0.02% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 0.02% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 0.33% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι

μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μείωση κατά 0.1%, η τιμή στη συνέχεια μειώνεται κατά 0.02% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τέλος, παρατηρείται αύξηση κατά 0.3% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.72.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 32.



Διάγραμμα 5.73.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 33 προς 32.

Η τιμή της καθυστέρησης δε μεταβάλλεται με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 1.17% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 2.33% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 3% περίπου για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 1%, η τιμή στη συνέχεια αυξάνεται κατά 2% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τέλος, παρατηρείται αύξηση κατά 3% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.

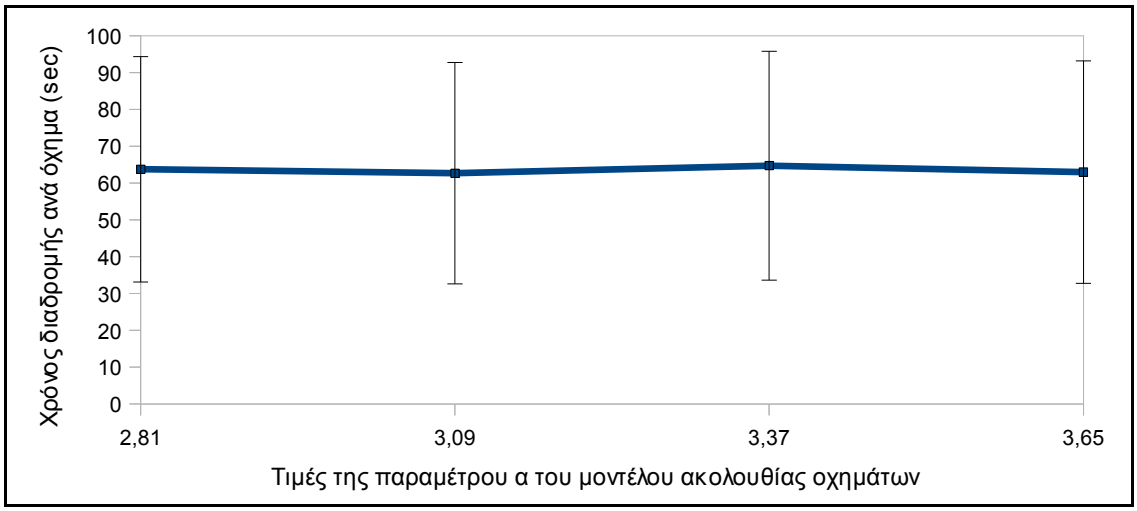
Κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22

Πρόκειται για τη διαμπερή κίνηση στην οδό που βρίσκεται παράλληλα στην κύρια οδική αρτηρία του δικτύου, για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 23 και φτάνει στο κεντροειδές 22. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

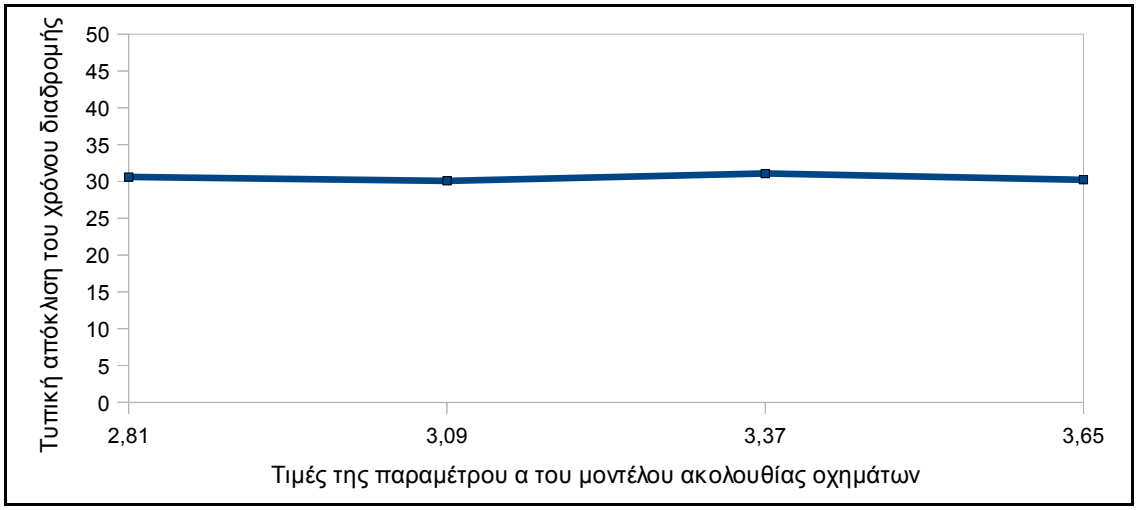
Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη βασική τιμή της παραμέτρου που εξετάζεται αλλά και τις νέες τιμές της ίδιας παραμέτρου, ώστε να διαπιστωθεί η τάση των δύο μεγεθών να αυξηθούν, να μειωθούν ή να παραμείνουν σταθερά.

Μοντέλο	Τιμές		Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	63,76	0,00%	30,61	0,00%	21,96	0,00%	10,54	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	62,68	-1,70%	30,09	-1,70%	20,82	-5,19%	9,99	-5,19%
	3,37	5,58	64,73	1,52%	31,07	1,52%	22,98	4,64%	11,03	4,64%
	3,65	6,05	62,98	-1,23%	30,23	-1,23%	21,36	-2,73%	10,25	-2,73%
Βασική τιμή	20-50-20-10		63,76	0,00%	30,61	0,00%	21,96	0,00%	10,54	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		62,89	-1,36%	30,19	-1,36%	21,12	-3,83%	10,14	-3,83%
	40-30-20-10		63,78	0,03%	30,62	0,03%	22,02	0,27%	10,57	0,27%
	40-40-20-0		62,93	-1,31%	30,20	-1,31%	21,18	-3,55%	10,17	-3,55%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		63,76	0,00%	30,61	0,00%	21,96	0,00%	10,54	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		63,97	0,32%	30,70	0,32%	22,26	1,37%	10,68	1,37%
	30-40-25-5-0		63,18	-0,91%	30,33	-0,91%	21,36	-2,73%	10,25	-2,73%
	50-20-30-0-0		63,15	-0,96%	30,31	-0,96%	21,42	-2,46%	10,28	-2,46%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		63,76	0,00%	30,61	0,00%	21,96	0,00%	10,54	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		63,95	0,29%	34,61	13,08%	22,02	0,27%	10,57	0,27%
	60-25-10-5-0		63,20	-0,88%	30,34	-0,88%	21,48	-2,19%	10,31	-2,19%
	70-25-5-0-0		63,28	-0,76%	30,37	-0,76%	21,48	-2,19%	10,31	-2,19%

Πίνακας 5.11.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 23 προς 22.



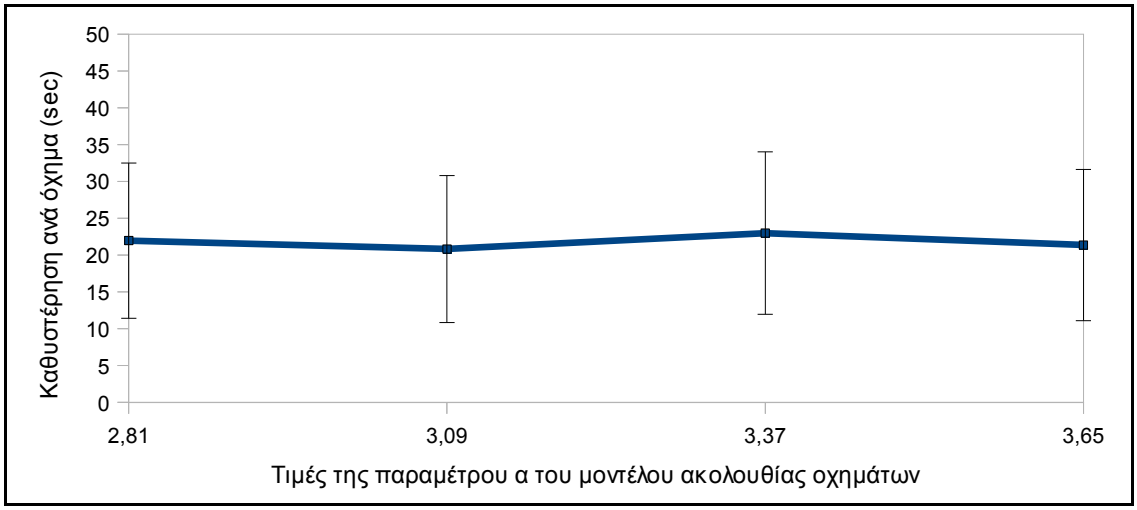
Διάγραμμα 5.74.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 23 προς 22.



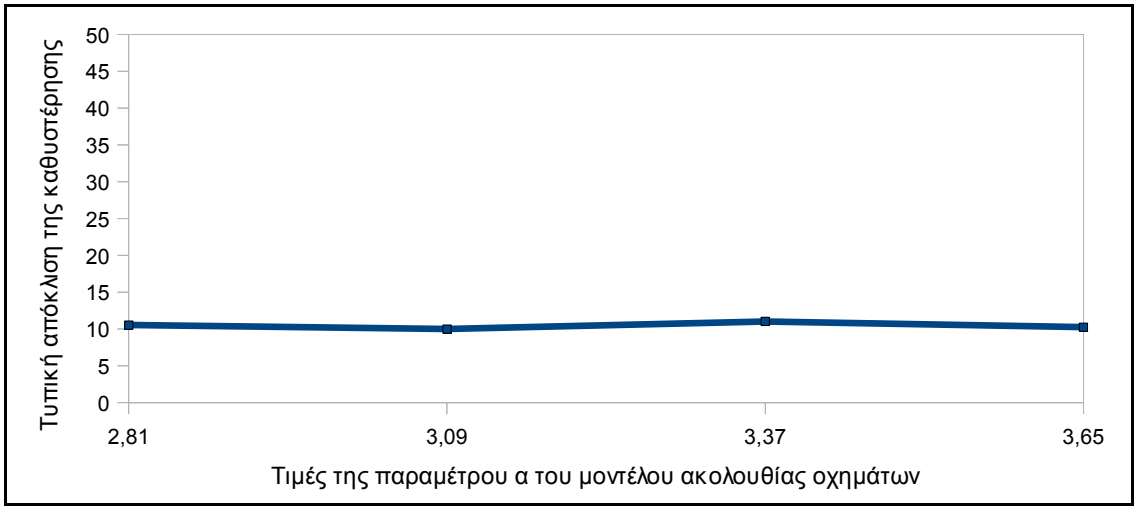
Διάγραμμα 5.75.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 23 προς 22.

Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή του χρόνου διαδρομής με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι μείωση 1.7% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή αυξάνεται κατά 1.5% ενώ υπάρχει μείωση 1.2% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά μια μείωση κατά 1%, στη συνέχεια η τιμή αυξάνεται κατά περίπου 1.5%, ενώ παρατηρείται μείωση της τυπικής απόκλισης κατά 1% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



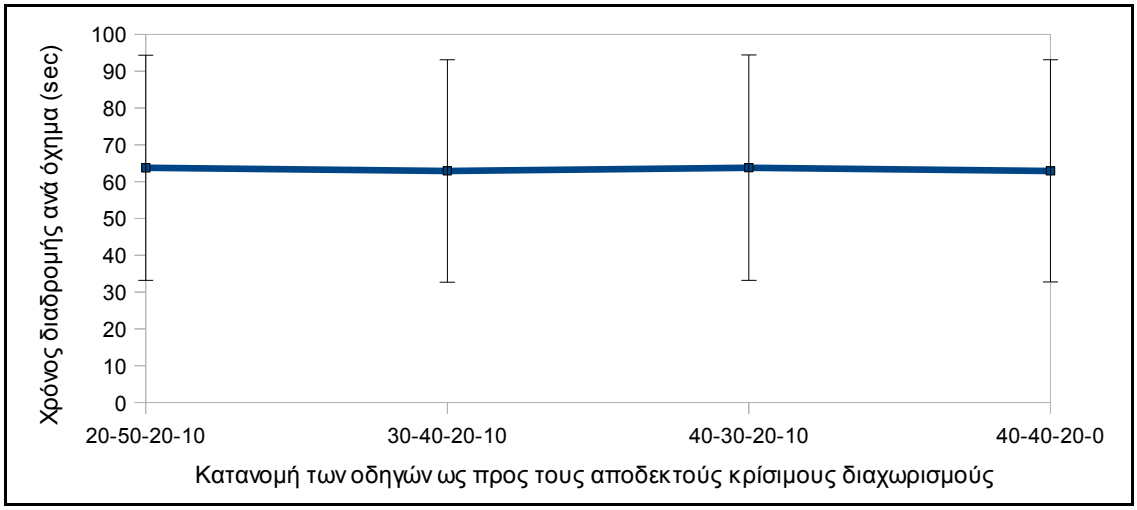
Διάγραμμα 5.76.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 23 προς 22.



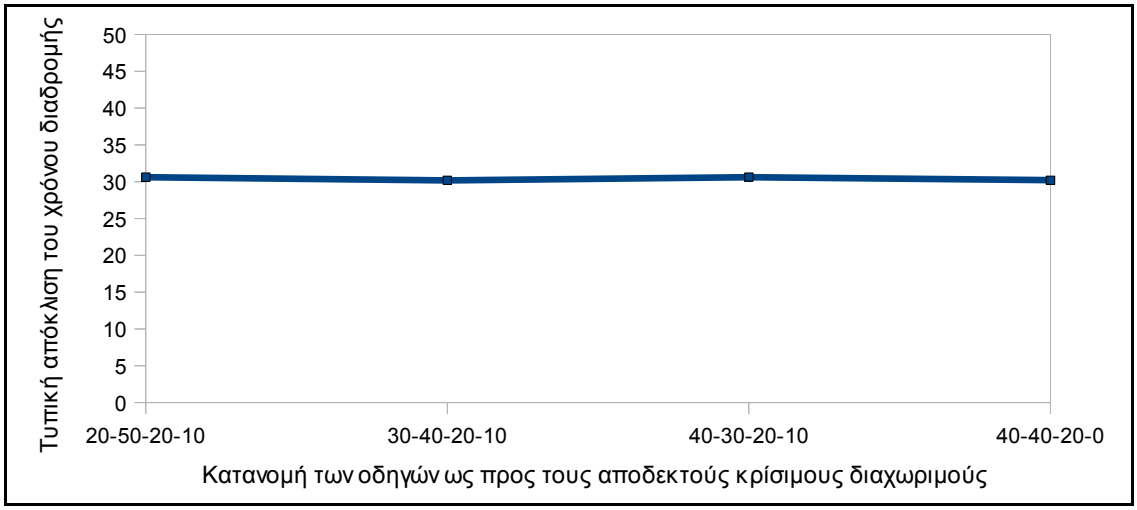
Διάγραμμα 5.77.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για την κίνηση 23 προς 22.

Δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή της τιμής της καθυστέρησης με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου α για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι μείωση 5.2% για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή αυξάνεται κατά 4.6% ενώ υπάρχει μείωση 2.7% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά μείωση κατά 5%, στη συνέχεια η τιμή αυξάνεται κατά περίπου 4%, ενώ παρατηρείται μείωση της τυπικής απόκλισης κατά 2% για αύξηση της παραμέτρου α κατά 30% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.78.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 23 προς 22.

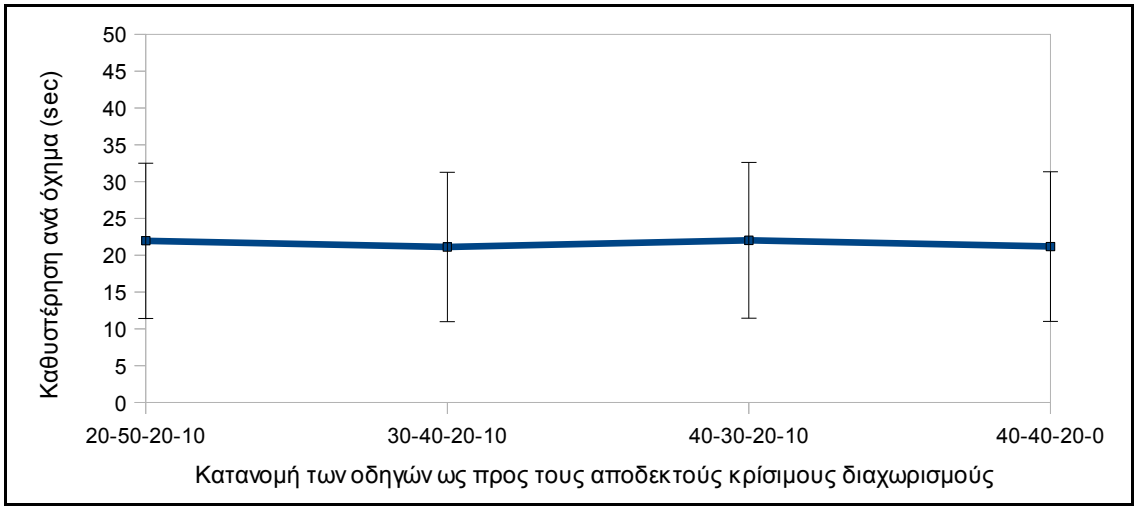


Διάγραμμα 5.79.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 23 προς 22.

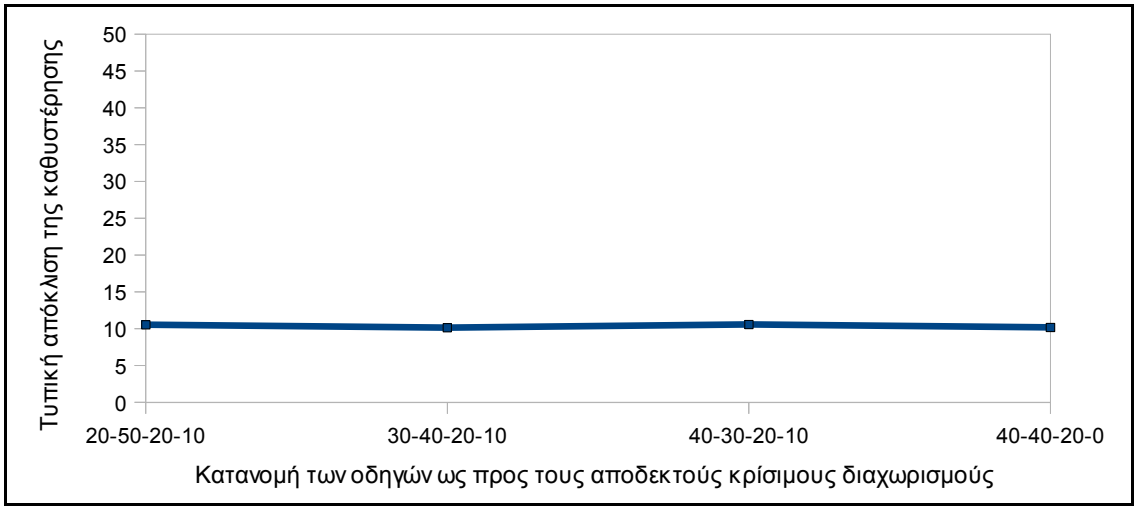
Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών

ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι πτωτική κατά 1.3% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.03% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 1.3% και κοντά στην αρχική τιμή για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής αρχικά παρουσιάζει πτώση κατά 1.3%, η οποία μετατρέπεται σε αύξηση κατά 0.03% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει μείωση κατά 1.3% σε σχέση με την αρχική τιμή.



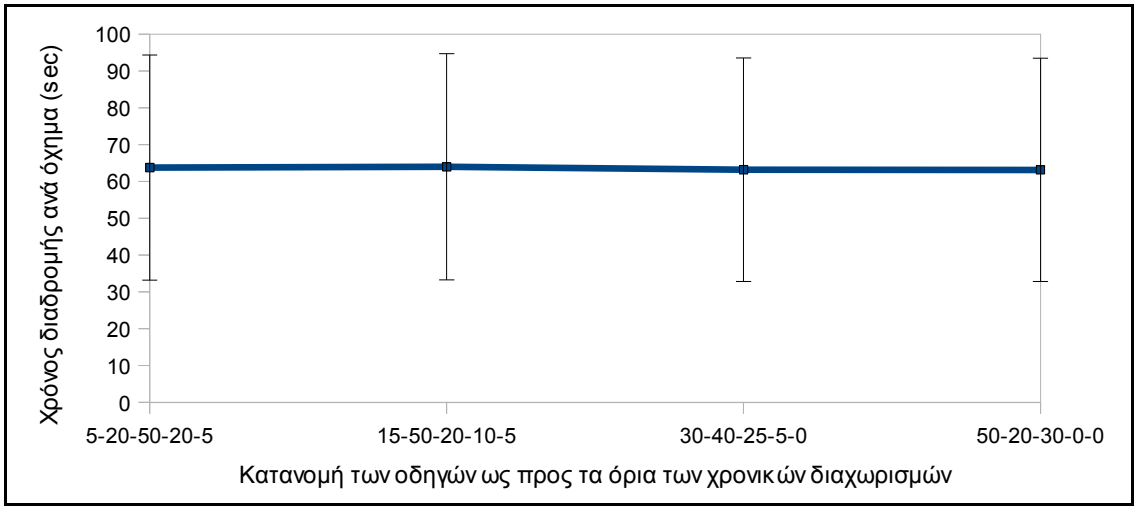
Διάγραμμα 5.80.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 23 προς 22.



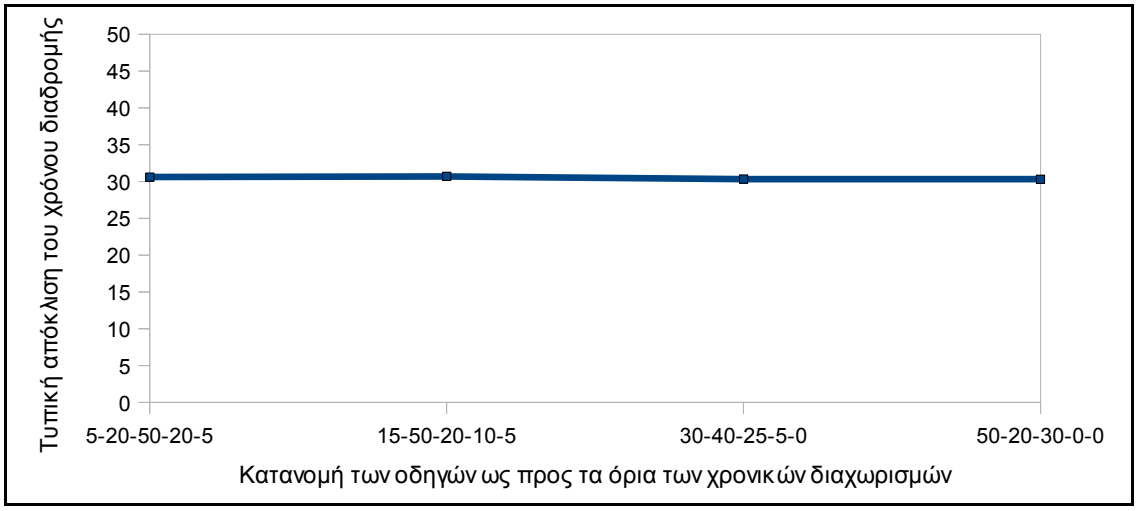
Διάγραμμα 5.81.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση 23 προς 22.

Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή ούτε στην περίπτωση της καθυστέρησης με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους διαχωρισμούς για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι πτωτική κατά 3.8% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.27% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 3.55% και κοντά στην αρχική τιμή για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η τυπική απόκλιση της καθυστέρησης αρχικά παρουσιάζει πτώση κατά 3.8%, η οποία μετατρέπεται σε αύξηση κατά 0.27% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τελικά υπάρχει μείωση κατά 3% σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.82.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 23 προς 22.

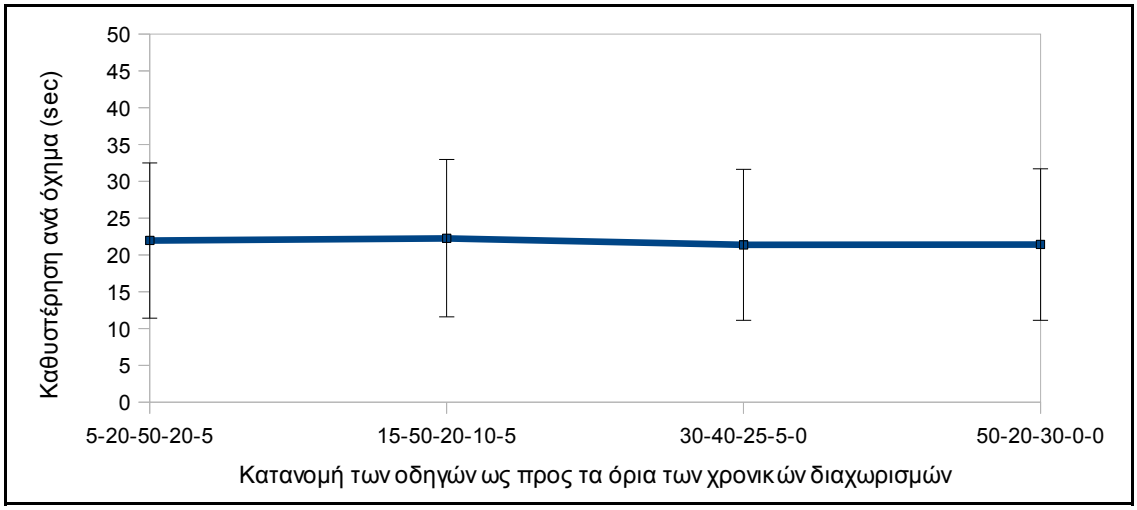


Διάγραμμα 5.83.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 23 προς 22.

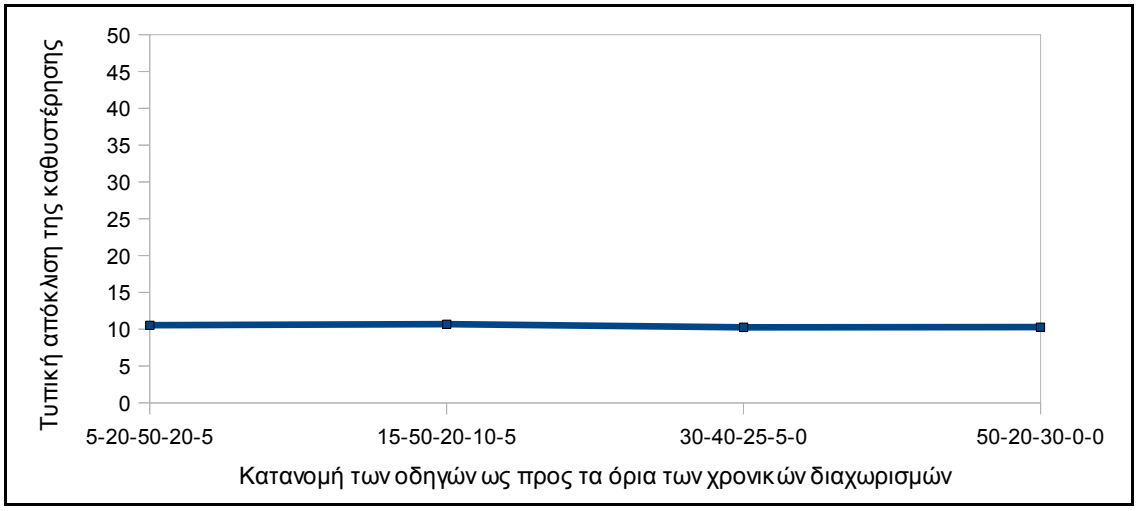
Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή της τιμής του χρόνου διαδρομής με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 0.32% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, αρνητική κατά 0.91% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 0.96% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική

κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 0.32%, στη συνέχεια υπάρχει μείωση κατά 0.9%, και στη συνέχεια παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση κατά 0.9% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



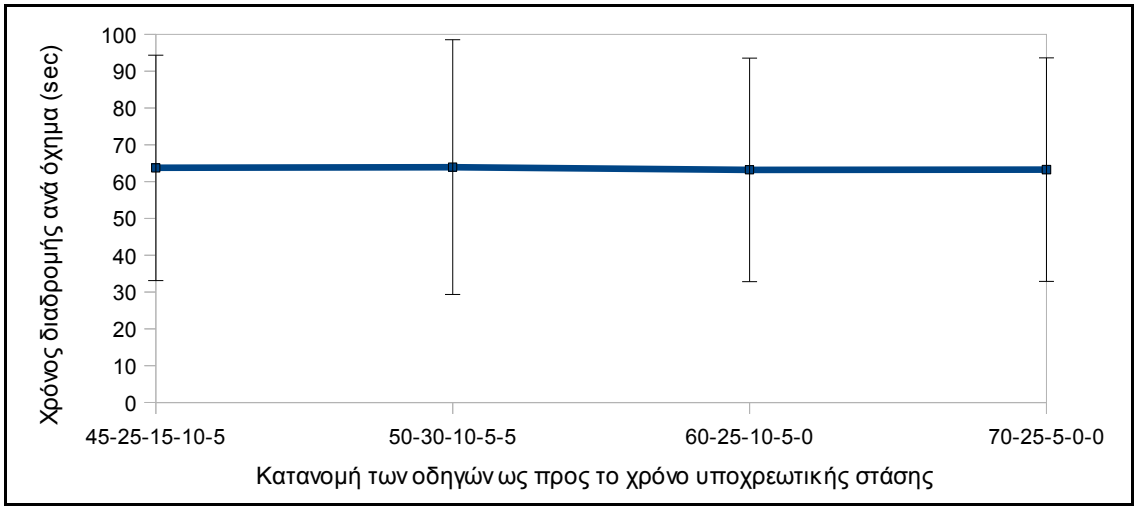
Διάγραμμα 5.84.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 23 προς 22.



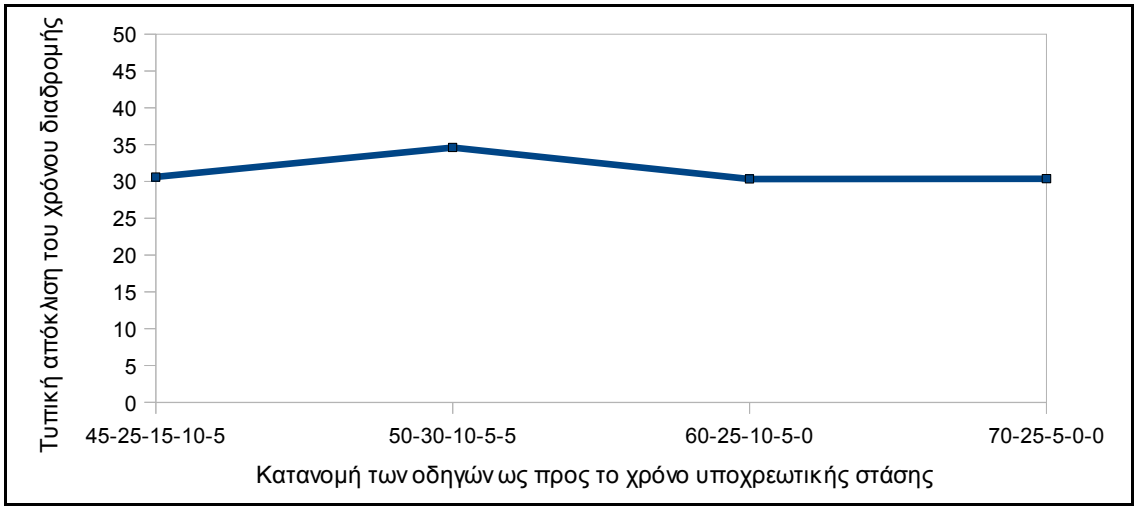
Διάγραμμα 5.85.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση 23 προς 22.

Δεν υπάρχει σαφής μεταβολή της τιμής της καθυστέρησης με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 1.37% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, αρνητική κατά 2.7% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 2.4% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

Για την τυπική απόκλιση της καθυστέρησης, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 1%, στη συνέχεια υπάρχει μείωση κατά 2%, και στη συνέχεια παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση κατά 2% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



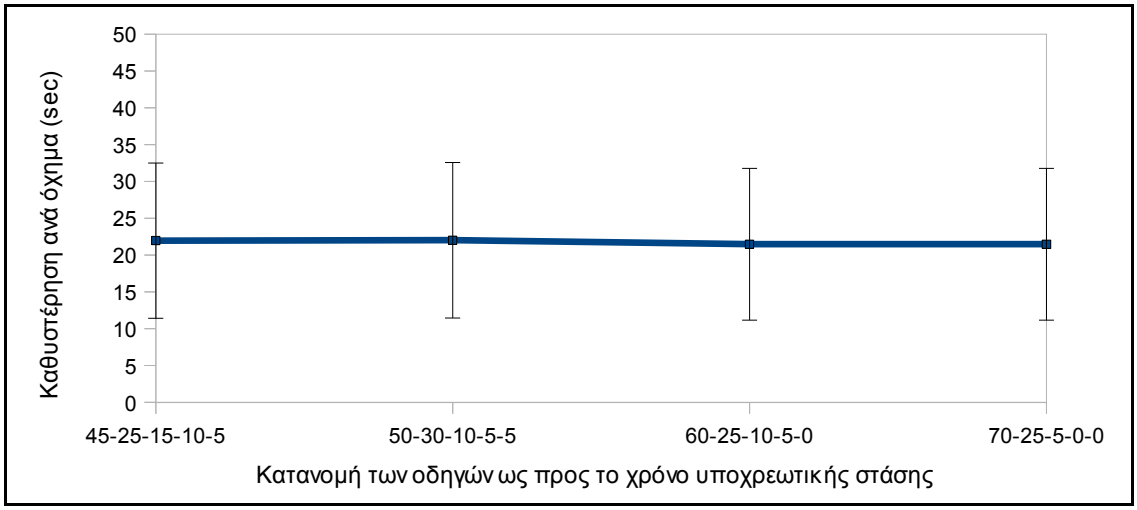
Διάγραμμα 5.86.: Διάγραμμα του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 23 προς 22.



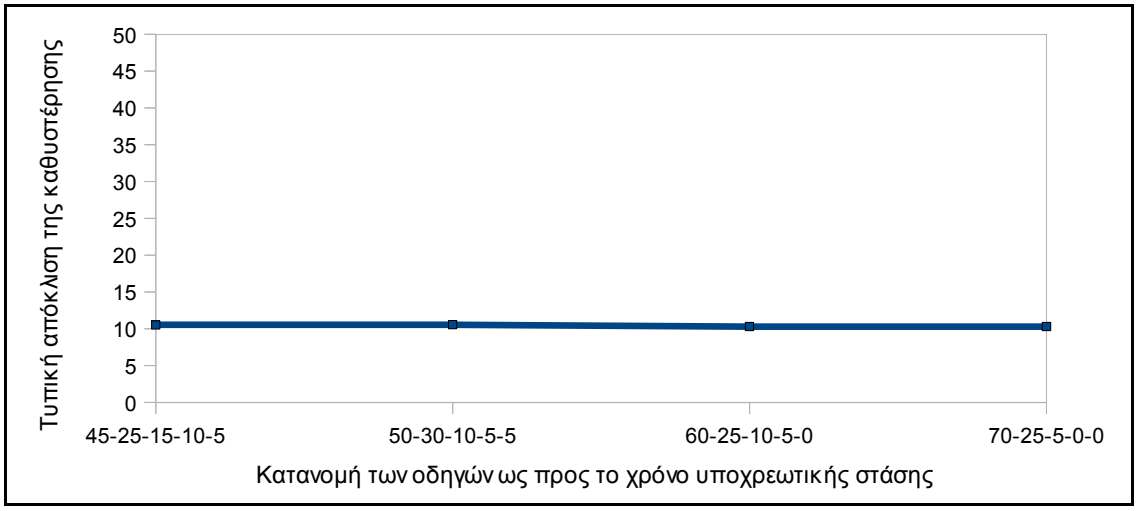
Διάγραμμα 5.86.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 23 προς 22.

Η τιμή του χρόνου διαδρομής δε μεταβάλλεται με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στο χρόνο διαδρομής είναι ανοδική κατά 0.29% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 0.88% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 0.7% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 13%, η τιμή στη συνέχεια μειώνεται κατά 0.8% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τέλος, παρατηρείται μείωση κατά 0.8% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.



Διάγραμμα 5.87.: Διάγραμμα της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 23 προς 22.



Διάγραμμα 5.88.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση 23 προς 22.

Η τιμή της καθυστέρησης δε μεταβάλλεται με σαφή τρόπο με τη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης για την κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22. Η μεταβολή στην καθυστέρηση είναι ανοδική κατά 0.27% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, πτωτική κατά 2.2% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 2.2% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις

προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.

Για την τυπική απόκλιση του χρόνου διαδρομής, παρατηρείται αρχικά αύξηση κατά 0.27%, η τιμή στη συνέχεια μειώνεταιι κατά 2% σε σχέση με την αρχική τιμή, ενώ τέλος, παρατηρείται μείωση κατά 2% για την τρίτη μεταβολή της κατανομής, σε σχέση με την αρχική τιμή.

5.4. Αποτελέσματα για τους φόρτους και τους διαχωρισμούς

Με βάση τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν. Τα στοιχεία αυτά είναι σημειακά και λαμβάνονται από τους αισθητήρες του δικτύου. Εφόσον το πρόβλημα αφορά την εκκένωση της περιοχής του δικτύου, αυτό που έχει μεγαλύτερη αξία είναι ο υπολογισμός των φόρτων στα σημεία εισόδου των κινήσεων από τους κάθετους δρόμους στην κύρια οδική αρτηρία και στο σημείο εξόδου των οχημάτων από το δίκτυο. Τα σημεία στους κάθετους δρόμους ορίζονται από τους αισθητήρες με κωδικές ονομασίες 12 και 19. Οι αισθητήρες στην έξοδο των οχημάτων από το δίκτυο, βρίσκονται στις τρεις λωρίδες της κύριας οδικής αρτηρίας και έχουν κωδικές ονομασίες 20, 21 και 22.

Αισθητήρας με κωδική ονομασία 12

Ο αισθητήρας με κωδική ονομασία 12 βρίσκεται στην πρώτη κάθετη οδό, στο σημείο ακριβώς πριν τη διασταύρωση της οδού με την κύρια οδική αρτηρία. Το σημείο αυτό, επιλέχθηκε να εξεταστεί ώστε να διαπιστωθεί η μεταβολή του φόρτου των οχημάτων που εισέρχονται στην κύρια οδική αρτηρία κατά την εκκένωση και του χρονικού διαχωρισμού τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους μέσους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά μεταβολή παραμέτρου σε κάθε μοντέλο. Με βάση τις τιμές αυτές, θα διαπιστωθεί μέσω των διαγραμμάτων αν οι μεταβολές των παραμέτρων επιφέρουν αλλαγές στο φόρτο του σημείου και στο χρονικό διαχωρισμό των οχημάτων.

Μοντέλο	Τιμές		Φόρτος (οχ/h)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Μέσος χρονικός διαχωρισμός (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	367	-0,27%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,1	-50,00%
	3,37	5,58	367	-0,27%	1,1	-31,25%	8,60	1,18%	0,2	0,00%
	3,65	6,05	367	-0,27%	1,9	18,75%	8,50	0,00%	0,1	-50,00%
Βασική τιμή	20-50-20-10		368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		367	-0,41%	1,7	6,25%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
	40-30-20-10		366	-0,54%	1,3	-18,75%	8,60	1,18%	0,1	-50,00%
	40-40-20-0		366	-0,54%	1,5	-6,25%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		367	-0,27%	1,3	-18,75%	8,60	1,18%	0,1	-50,00%
	30-40-25-5-0		367	-0,27%	1,6	0,00%	8,60	1,18%	0,1	-50,00%
	50-20-30-0-0		367	-0,27%	1,3	-18,75%	8,60	1,18%	0,1	-50,00%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		367	-0,27%	1,6	0,00%	8,40	-1,18%	0,1	-50,00%
	60-25-10-5-0		366	-0,54%	1,4	-12,50%	8,20	-3,53%	0,1	-50,00%
	70-25-5-0-0		367	-0,27%	1,7	6,25%	8,10	-4,71%	0,1	-50,00%

Πίνακας 5.12.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για τον αισθητήρα 12.

Παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στους φόρτους και στους χρονικούς διαχωρισμούς είναι πολύ μικρές, σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές στους φόρτους για κάθε μεταβολή μοντέλου είναι της τάξης του 0.3%, ενώ οι μεταβολές των χρονικών διαχωρισμών είναι λίγο μεγαλύτερες.

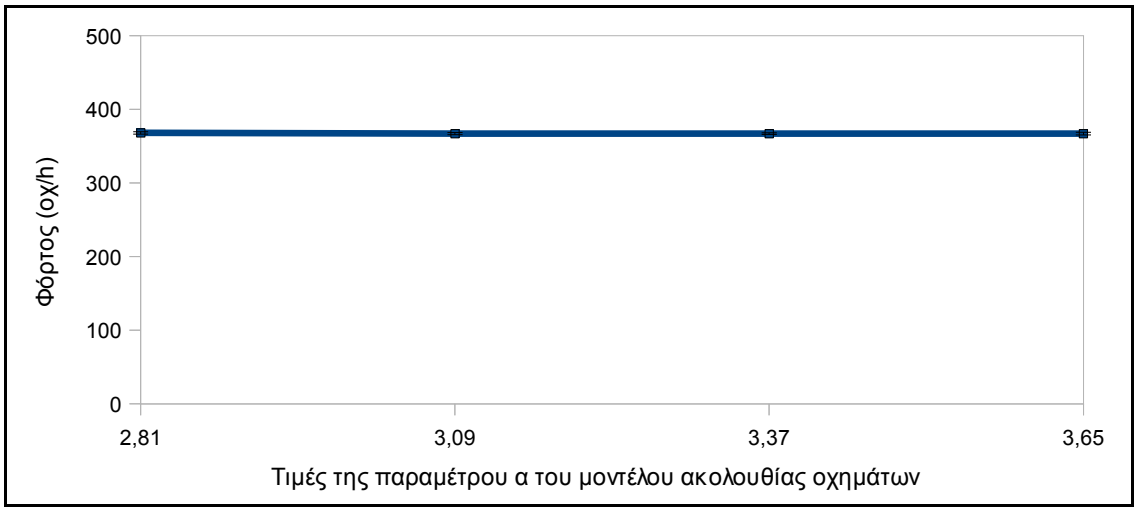
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι μηδέν για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή αυξάνεται κατά 1% ενώ υπάρχει μείωση 2% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι μηδενική για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 1% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών σε σχέση με τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς και μηδενική για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

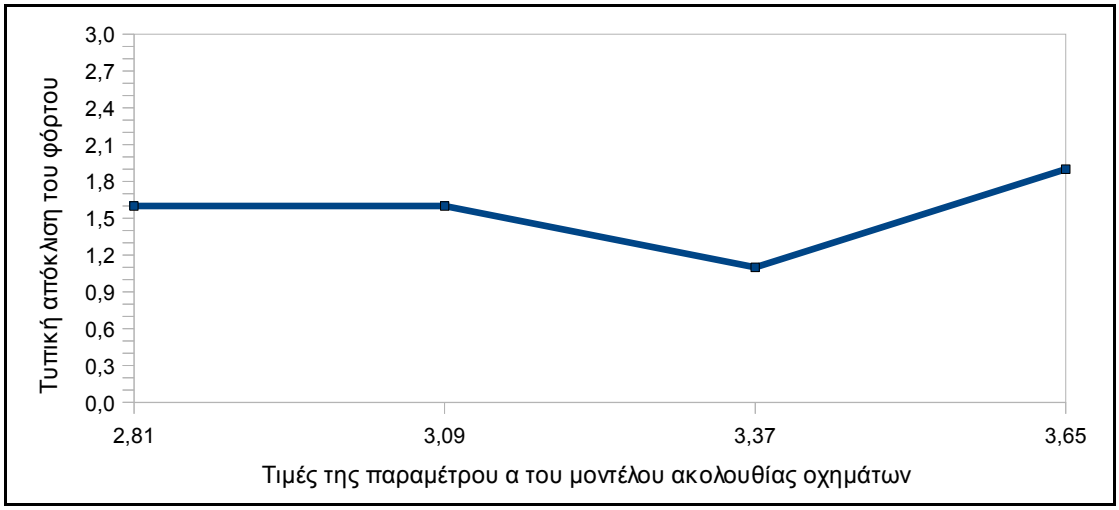
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι θετική κατά 1% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής σε σχέση με τα όρια των χρονικών διαχωρισμών, θετική κατά 1% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 1% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι

μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

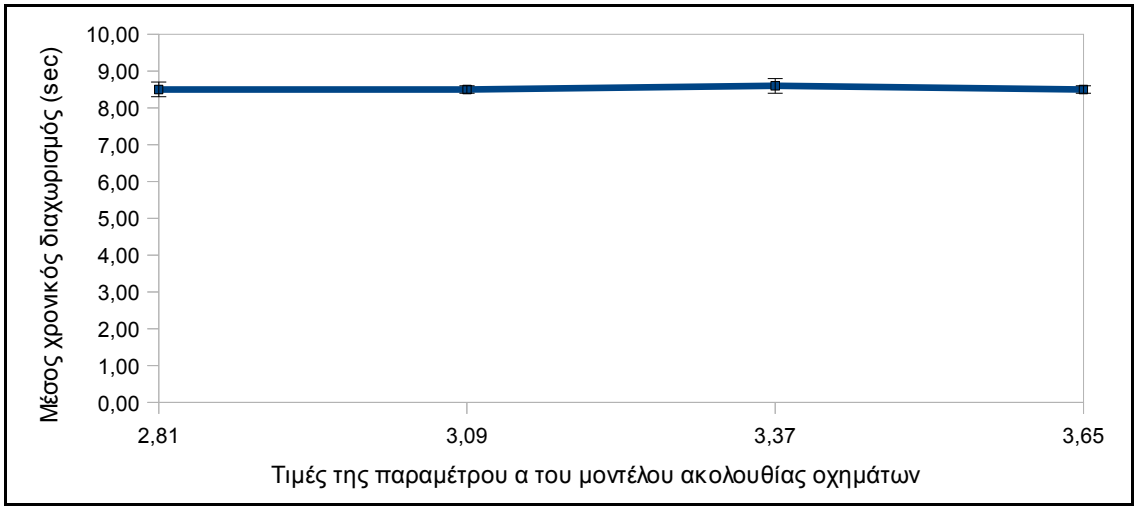
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι αρνητική κατά 1% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης, πτωτική κατά 3% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 4% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.



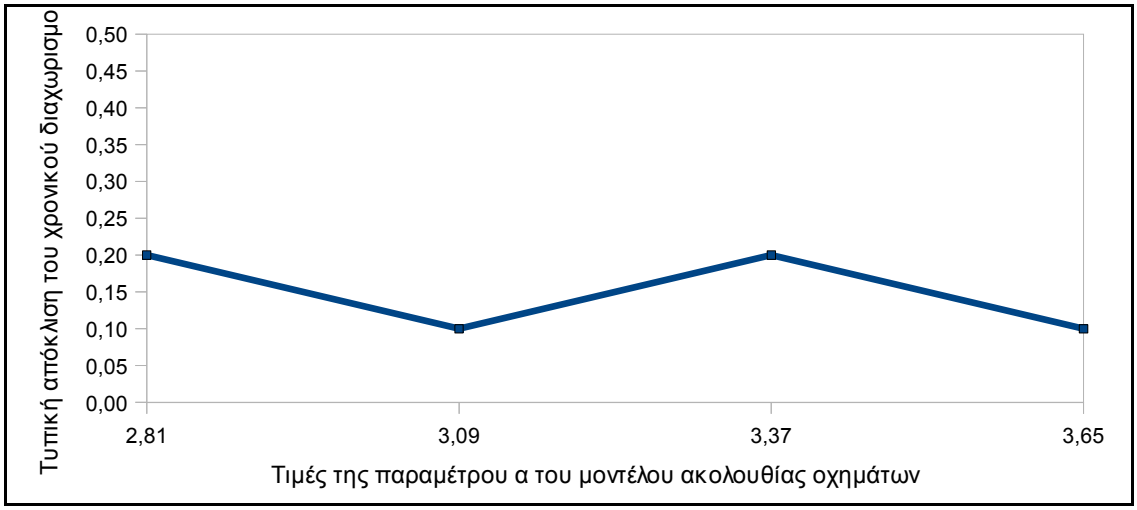
Διάγραμμα 5.89.: Διάγραμμα του φόρτου συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 12.



Διάγραμμα 5.90.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του φόρτου συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 12.



Διάγραμμα 5.91.: Διάγραμμα του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 12.



Διάγραμμα 5.92.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 12.

Αισθητήρας με κωδική ονομασία 19

Ο αισθητήρας με κωδική ονομασία 19 βρίσκεται στην τρίτη κάθετη οδό, στο σημείο ακριβώς πριν τη διασταύρωση της οδού με την κύρια οδική αρτηρία. Το σημείο αυτό, επιλέχθηκε να εξεταστεί ώστε να διαπιστωθεί η μεταβολή του φόρτου των οχημάτων που εισέρχονται στην κύρια οδική αρτηρία κατά την εκκένωση και του χρονικού διαχωρισμού τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους μέσους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά μεταβολή παραμέτρου σε κάθε μοντέλο. Με βάση τις τιμές αυτές, θα διαπιστωθεί μέσω των διαγραμμάτων αν οι μεταβολές των παραμέτρων επιφέρουν αλλαγές στο φόρτο του σημείου και στο χρονικό διαχωρισμό των οχημάτων.

Μοντέλο	Τιμές		Φόρτος (οχ/h)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Μέσος χρονικός διαχωρισμός (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	366	0,00%	1,6	77,78%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
	3,37	5,58	366	0,00%	0,9	0,00%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
	3,65	6,05	366	0,00%	0,9	0,00%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
Βασική τιμή	20-50-20-10		366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		366	0,00%	1,1	22,22%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
	40-30-20-10		366	0,00%	0,8	-11,11%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
	40-40-20-0		366	0,00%	1,0	11,11%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,1	-50,00%
	30-40-25-5-0		365	-0,27%	1,0	11,11%	8,60	0,00%	0,1	-50,00%
	50-20-30-0-0		365	-0,27%	0,9	0,00%	8,70	1,16%	0,2	0,00%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		365	-0,27%	0,7	-22,22%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
	60-25-10-5-0		365	-0,27%	1,3	44,44%	8,60	0,00%	0,1	-50,00%
	70-25-5-0-0		366	0,00%	1,4	55,56%	8,50	-1,16%	0,1	-50,00%

Πίνακας 5.13.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για τον αισθητήρα 19.

Παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στους φόρτους και στους χρονικούς διαχωρισμούς είναι πολύ μικρές, σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές στους φόρτους για κάθε μεταβολή μοντέλου είναι της τάξης του 0.2%, ενώ οι μεταβολές των χρονικών διαχωρισμών είναι λίγο μεγαλύτερες.

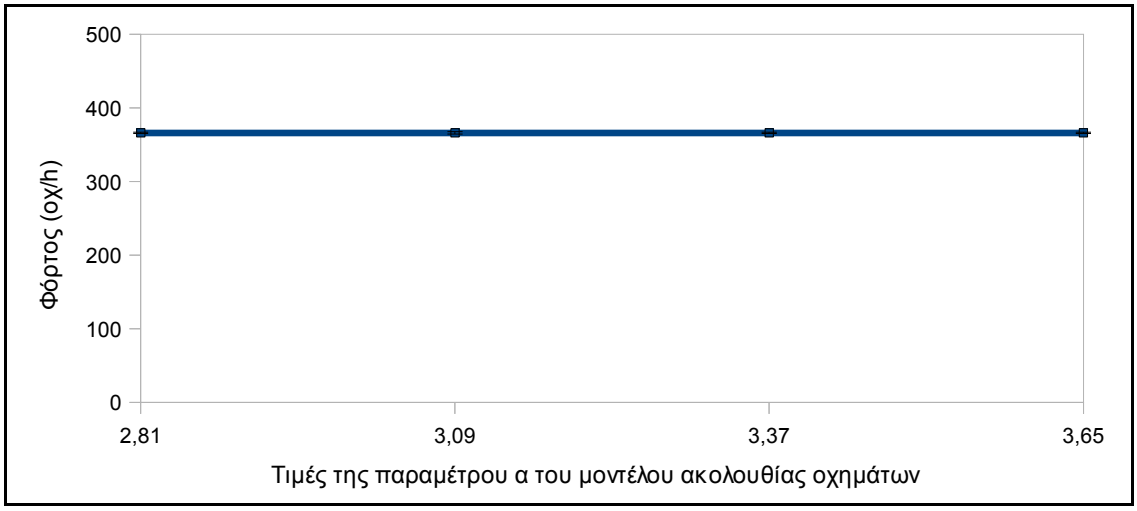
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι μηδέν για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή αυξάνεται κατά 1% ενώ υπάρχει μείωση 2% για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι μηδενική για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 1% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών σε σχέση με τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς και μηδενική για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

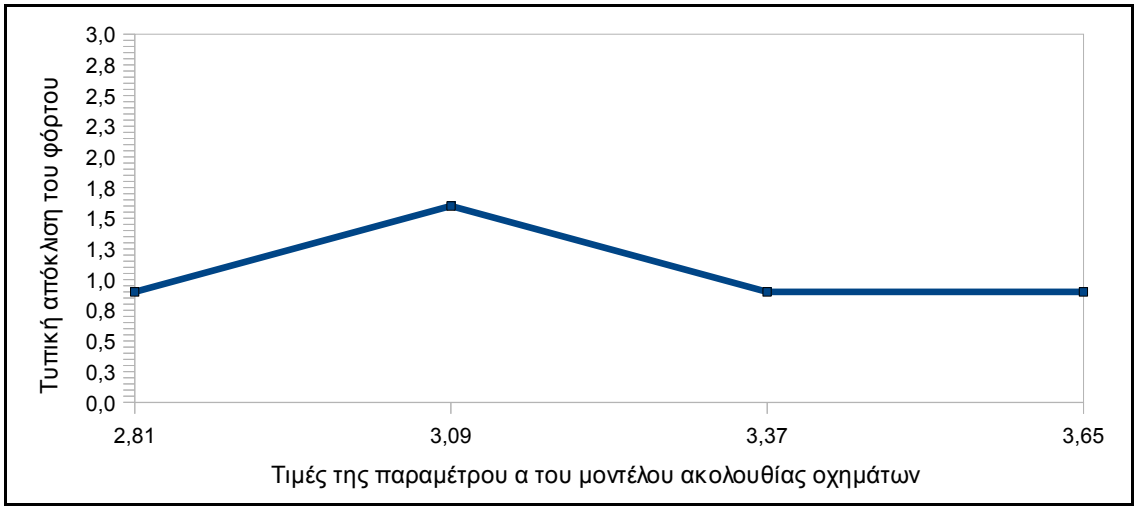
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι θετική κατά 1% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής σε σχέση με τα όρια των χρονικών διαχωρισμών, θετική κατά 1% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και θετική κατά 1% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι

μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

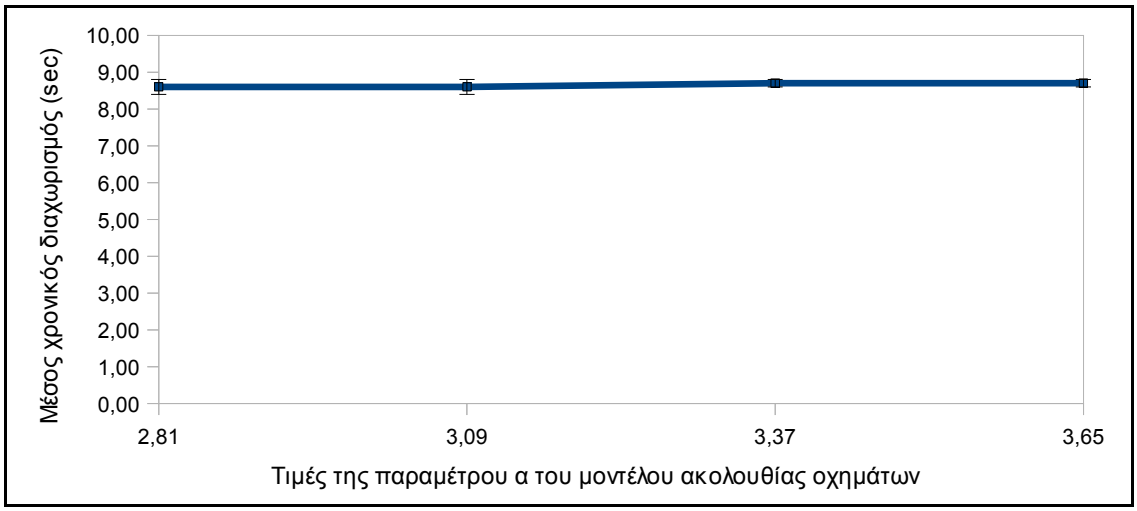
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι αρνητική κατά 1% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης, πτωτική κατά 3% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 4% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.



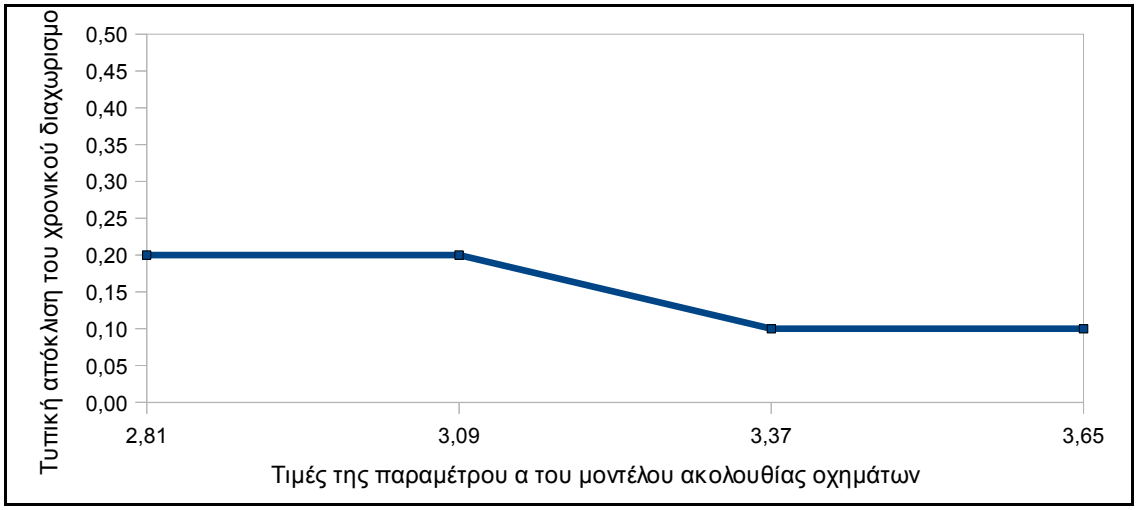
Διάγραμμα 5.93.: Διάγραμμα του φόρτου συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 19.



Διάγραμμα 5.94.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του φόρτου συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 19.



Διάγραμμα 5.95.: Διάγραμμα του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 19.



Διάγραμμα 5.96.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τον αισθητήρα 19.

Αισθητήρες με κωδικές ονομασίες 20, 21 και 22

Οι αισθητήρες με κωδικές ονομασίες 20, 21 και 22, βρίσκονται στην κύρια οδική αρτηρία και συγκεκριμένα στο σημείο πριν την έξοδο των οχημάτων

από το δίκτυο. Το σημείο αυτό, επιλέχθηκε ώστε να μελετηθεί η μεταβολή του φόρτου των οχημάτων που εξέρχονται από το δίκτυο και του χρονικού διαχωρισμού τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους μέσους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά μεταβολή παραμέτρου σε κάθε μοντέλο. Με βάση τις τιμές αυτές, θα διαπιστωθεί μέσω των διαγραμμάτων αν οι μεταβολές των παραμέτρων επιφέρουν αλλαγές στο φόρτο του σημείου και στο χρονικό διαχωρισμό των οχημάτων. Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι οι φόρτοι και οι διαχωρισμοί παρουσιάζονται στο σύνολο των λωρίδων κυκλοφορίας της κύρια οδικής αρτηρίας και ότι ο αισθητήρας με κωδική ονομασία 22 βρίσκεται στη λωρίδα αποκλειστικής διέλευσης λεωφορείων της οδού.

Μοντέλο	Τιμές		Φόρτος (οχ/h)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Μέσος χρονικός διαχωρισμός (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
Βασική τιμή	2,81	4,65	2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
Ακολουθία οχημάτων	3,09	5,12	2290	0,10%	13,36	9,33%	4,20	0,00%	0,08	14,29%
	3,37	5,58	2295	0,30%	9,61	-21,36%	4,19	-0,24%	0,08	14,29%
	3,65	6,05	2289	0,06%	6,87	-43,78%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
Βασική τιμή	20-50-20-10		2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί	30-40-20-10		2293	0,24%	9,86	-19,31%	4,19	-0,24%	0,08	14,29%
	40-30-20-10		2290	0,10%	8,98	-26,51%	4,21	0,24%	0,07	0,00%
	40-40-20-0		2296	0,37%	9,29	-23,98%	4,17	-0,71%	0,08	14,29%
Βασική τιμή	5-20-50-20-5		2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
Όρια χρονικών διαχωρισμών	15-50-20-10-5		2289	0,06%	9,95	-18,58%	4,20	0,00%	0,06	-14,29%
	30-40-25-5-0		2290	0,10%	8,37	-31,51%	4,18	-0,48%	0,05	-28,57%
	50-20-30-0-0		2296	0,37%	9,06	-25,86%	4,18	-0,48%	0,05	-28,57%
Βασική τιμή	45-25-15-10-5		2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
Χρόνος στάσης	50-30-10-5-5		2289	0,06%	10,08	-17,51%	4,18	-0,48%	0,07	0,00%
	60-25-10-5-0		2295	0,32%	7,9	-35,35%	4,96	18,10%	0,04	-42,86%
	70-25-5-0-0		2291	0,15%	10,29	-15,79%	4,12	-1,90%	0,06	-14,29%

Πίνακας 5.14.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.

Παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στους φόρτους και στους χρονικούς διαχωρισμούς είναι πολύ μικρές, σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές στους φόρτους για κάθε μεταβολή μοντέλου είναι της τάξης του 0.3%, ενώ οι μεταβολές των χρονικών διαχωρισμών είναι λίγο μεγαλύτερες.

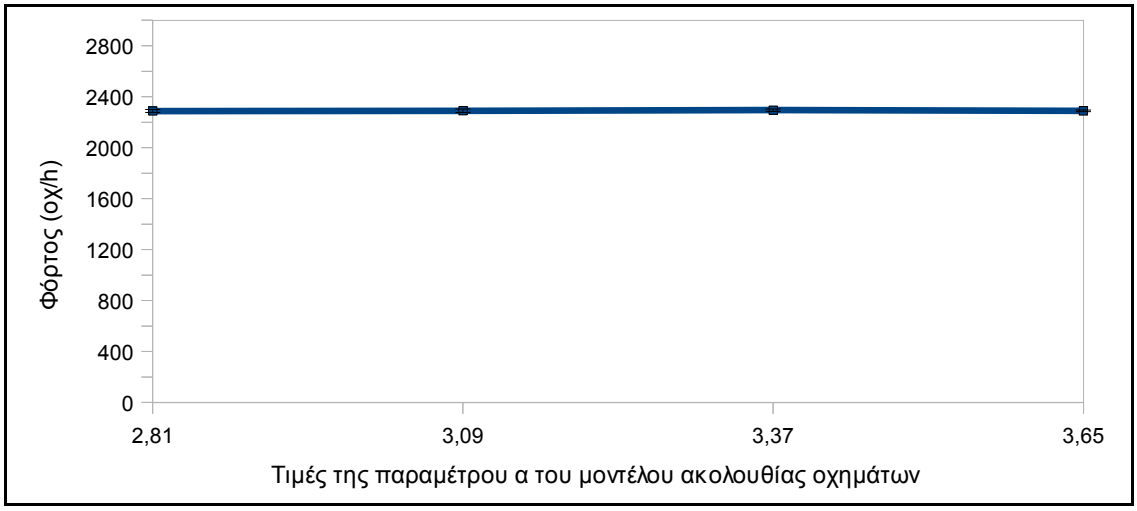
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι μείωση μηδέν για αύξηση της τιμής της παραμέτρου α κατά 10%, για αύξηση της παραμέτρου κατά 20% η τιμή μειώνεται κατά 0.2% ενώ η μεταβολή είναι μηδενική για αύξηση της παραμέτρου κατά 30%. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική τιμή της παραμέτρου α.

Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι αρνητική κατά 0.2% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής, θετική κατά 0.2% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών σε σχέση με τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς και αρνητική κατά 0.7% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

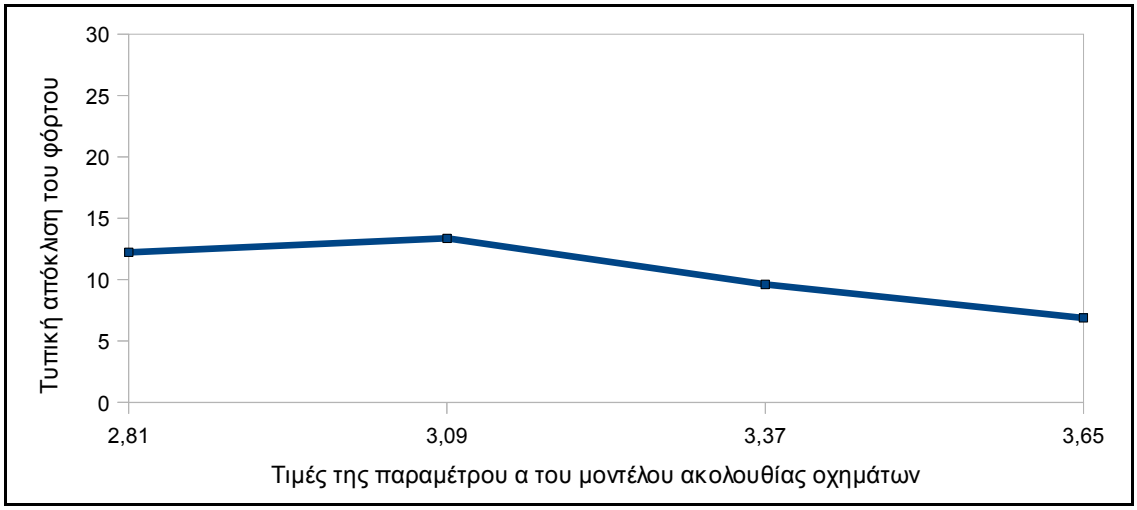
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι μηδενική για την πρώτη μεταβολή της κατανομής σε σχέση με τα όρια των χρονικών διαχωρισμών, αρνητική κατά 0.4% για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 0.4% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι

μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών.

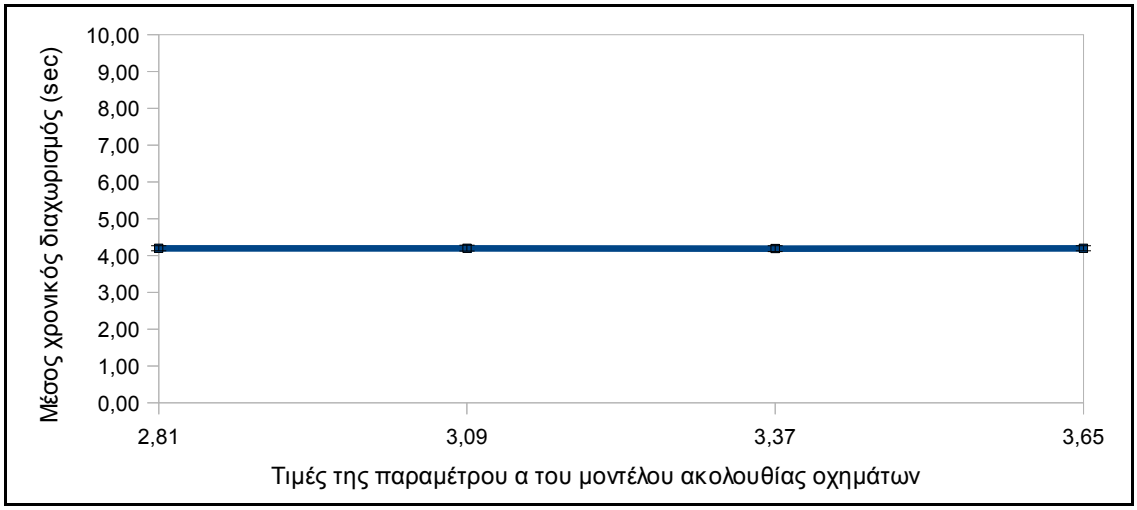
Η μεταβολή στο χρονικό διαχωρισμό είναι αρνητική κατά 0.4% για την πρώτη μεταβολή της κατανομής των οδηγών ως προς το χρόνο υποχρεωτικής στάσης, θετική κατά 18% και κοντά στην αρχική τιμή για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών και αρνητική κατά 0.1% για την τελευταία μεταβολή της κατανομής. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με τη βασική κατανομή των οδηγών για το χρόνο υποχρεωτικής στάσης.



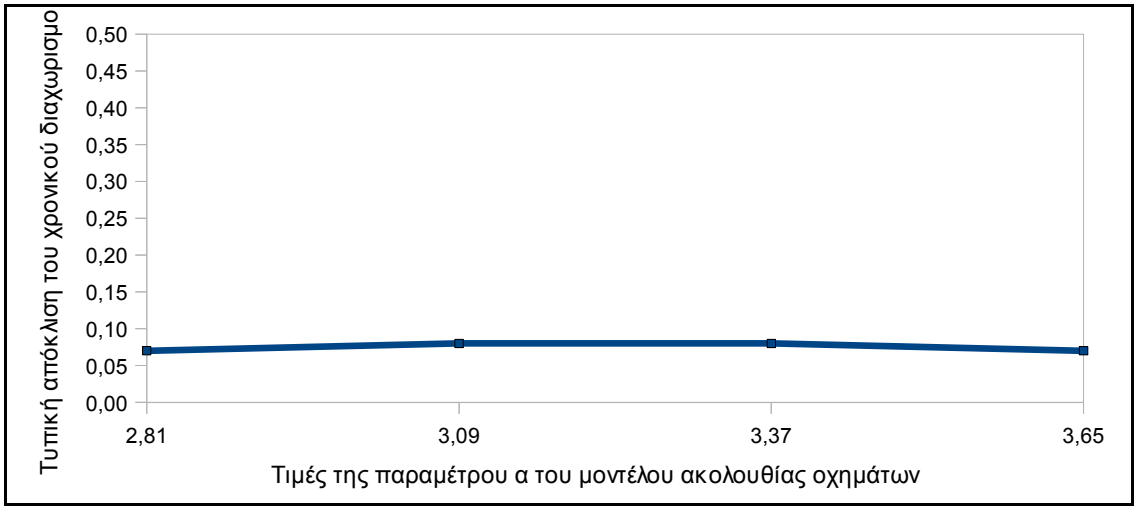
Διάγραμμα 5.97.: Διάγραμμα του φόρτου συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.



Διάγραμμα 5.98.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του φόρτου συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.



Διάγραμμα 5.99.: Διάγραμμα του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.



Διάγραμμα 5.100.: Διάγραμμα της τυπικής απόκλισης του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει της μεταβολής των μεταβολών της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.

5.5. Σύνοψη και ερμηνεία αποτελεσμάτων

Στο στάδιο αυτό θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Αρχικά, παρατηρείται ότι τα κυκλοφοριακά μεγέθη που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές είναι ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση ανά όχημα. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι και τα σημαντικότερα για τη μελέτη της εργασίας, αφού κατά την εκκένωση, είναι σημαντικό να υπολογίζεται ο χρόνος διαδρομής των οχημάτων από το σημείο προέλευσής τους μέχρι και το σημείο προορισμού τους, που αντιστοιχεί στο χρόνο εκκένωσης. Η καθυστέρηση αποτελεί τμήμα του συνολικού χρόνου διαδρομής για κάθε όχημα και είναι σημαντική η παρατήρηση της μεταβολής της αφού για τη βελτιστοποίηση της διεξαγωγής της εκκένωσης, οι καθυστερήσεις θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό ελάχιστες.

Ο φόρτος και ο χρονικός διαχωρισμός δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη διακύμανση. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δεδομένα αυτά είναι σημειακά. Αυτό σημαίνει ότι συλλέγονται από αισθητήρες για συγκεκριμένα σημεία του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, οι αισθητήρες μετρούν τα οχήματα που διέρχονται και υπολογίζουν τους φόρτους και τους διαχωρισμούς οι οποίοι σχετίζονται με τον αριθμό των οχημάτων που διέρχονται από το συγκεκριμένο σημείο. Είναι προφανές ότι η μεταβολή σε αυτά τα μεγέθη δε θα είναι σημαντική. Παρόλα αυτά, συμπεριλαμβάνονται στα αποτελέσματα για να υπάρχει πληρέστερη εικόνα του δικτύου στις συνθήκες που εξετάζονται.

Με βάση τις κινήσεις που αναλύθηκαν κάθε μια ξεχωριστά, παρατηρούνται συνοπτικά τα ακόλουθα

φαινόμενα:

- Για την κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία, δεν υπάρχει ιδιαίτερη μεταβολή για κανένα μέγεθος και κανένα μοντέλο συμπεριφοράς οδηγών που εξετάζεται.
- Για την κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό του δικτύου προς την κύρια οδική αρτηρία, παρουσιάζεται μικρή μεταβολή στο χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων, μεγαλύτερη μεταβολή για τους κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς και τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την επιτάχυνση και ακόμα πιο έντονη μεταβολή για τους χρόνους στάσης και στα δύο μεγέθη.
- Για την κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό του δικτύου προς την κύρια οδική αρτηρία, παρουσιάζεται μικρή μεταβολή στο χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων, μεγαλύτερη μεταβολή για τους κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς, τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για την επιτάχυνση και τους χρόνους στάσης και στα δύο μεγέθη.
- Για την κίνηση από την κύρια οδική αρτηρία προς τη δεύτερη κάθετη οδό του δικτύου, δεν υπάρχει ιδιαίτερη μεταβολή για κανένα μέγεθος και κανένα μοντέλο συμπεριφοράς οδηγών που εξετάζεται.
- Για την κίνηση στην παράλληλη προς την κύρια οδική αρτηρία οδό, δεν υπάρχει ιδιαίτερη μεταβολή για κανένα μέγεθος και κανένα μοντέλο συμπεριφοράς οδηγών που εξετάζεται.

5.3.1. Κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία

Η κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία είναι μια κίνηση ανεμπόδιστη, που διεξάγεται στις δύο από τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας και το μόνο στοιχείο που ανακόπτει την πορεία των οχημάτων είναι ο φωτεινός σηματοδότης, αφού οι στρεφόμενες κινήσεις προς αυτή την οδό πραγματοποιούνται στην τρίτη λωρίδα. Ο σηματοδότης αναγκάζει τα οχήματα να ανακόψουν την πορεία τους για μερικά δευτερόλεπτα, στο μεγαλύτερο όμως τμήμα η κυκλοφορία ρέει με αμείωτο ρυθμό.

Εφόσον τα οχήματα δεν επηρεάζονται από τις στρεφόμενες κινήσεις σε μεγάλο βαθμό, είναι λογικό να μη μεταβληθεί σημαντικά ούτε ο χρόνος διαδρομής ούτε και η καθυστέρηση. Σε ό,τι αφορά τα μοντέλα συμπεριφοράς των οδηγών, η κίνηση αυτή επηρεάζεται περισσότερο από το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων το οποίο και εφαρμόζεται μόνο στην κίνηση αυτή, επηρεάζει όμως και το υπόλοιπο δίκτυο μέσα από τις μεταβολές τις συμπεριφοράς αυτών των οδηγών και τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.

Στις μεταβολές αυτών των μοντέλων παρατηρείται και η μεγαλύτερη μεταβολή στο χρόνο

διαδρομής και την καθυστέρηση, σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα. Αύξηση της παραμέτρου α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων κατά 30%, επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.33%, ενώ η δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.45%. Για τις ίδιες μεταβολές των παραμέτρων παρατηρούνται και μεγαλύτερες επιπτώσεις στην καθυστέρηση, όπου για αύξηση 30% της παραμέτρου α, υπάρχει μείωση της καθυστέρησης κατά 1.3%, ενώ για τη δεύτερη μεταβολή της κατανομής των οδηγών υπάρχει μείωση κατά 2.5%.

5.3.2. Κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό

Η κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό στην κύρια οδική αρτηρία, είναι μία από τις δύο κινήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, αφού μέσω της κίνησης αυτής εκφράζεται η εκκένωση της περιοχής μελέτης. Η κίνηση δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις μεταβολές του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων. Για το μοντέλο αυτό, η βασικότερη διαπίστωση είναι ότι αύξηση της παραμέτρου α κατά 30%, επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 15% και μείωση της καθυστέρησης κατά 20% περίπου. Επομένως, όσο η επιθετικότητα των οδηγών αυξάνεται ως προς την επιτάχυνση και επιβράδυνσή του, τείνει να μειώνεται ο χρόνος διαδρομής και οι καθυστερήσεις και επομένως, ο πληθυσμός διαφεύγει πιο σύντομα από την επικίνδυνη περιοχή.

Η κίνηση αυτή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το μοντέλο κρίσιμων χρονικών διαχωρισμών, αφού τα οχήματα στρίβουν και συμβάλλουν με τα οχήματα της κύριας οδικής αρτηρίας. Με κάθε μεταβολή της κατανομής των οδηγών, ο χρόνος διαδρομής μειώνεται και όσο πιο δραστική είναι η μεταβολή στην κατανομή προς την κατεύθυνση που αποφασίστηκε, τόσο ποιο δραστική είναι και η μείωση. Θεωρώντας ότι συνολικά το 80% των οδηγών περιμένει από 1 – 1.5 sec στη διασταύρωση όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή περιμένει από 1 – 1.7 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση, μειώνονται κατά 10% περίπου. Το συμπέρασμα είναι λογικό, αφού οι οδηγοί γίνονται πιο επιθετικοί και εισέρχονται πιο γρήγορα στη ροή της κύριας οδικής αρτηρίας.

Η μεταβολή στα όρια των χρονικών διαχωρισμών για τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις επιφέρει σημαντικές μεταβολές κατά τη δεύτερη μεταβολή. Θεωρώντας ότι το 40% των οδηγών αποδέχεται ως κατώτερο όριο τα 0.30 sec για το καθεστώς έκτακτης ανάγκης και 2.46 sec ως ανώτατο όριο για το καθεστώς ελεύθερης ροής, ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση μειώνονται κατά 10%. Όταν αυτό το ποσοστό μειωθεί και αυξηθεί το ποσοστό των οδηγών που αποδέχονται τα όρια 0.25 sec και 1.75 sec, η μείωση του χρόνου διαδρομής είναι μικρότερη και αυτό συμβαίνει ίσως γιατί οι περισσότεροι οδηγοί θεωρούν ότι βρίσκονται σε καθεστώς έκτακτης ανάγκης, αφού τα οχήματα πλησιάζουν πολύ μεταξύ τους λόγω των ουρών που δημιουργούνται για την είσοδο στην κύρια

οδική αρτηρία. Ως εκ τούτου, αναγκάζονται να επιβραδύνουν περισσότερο και για το λόγο αυτό ο χρόνος διαδρομής μειώνεται λιγότερο σε σχέση με την προηγούμενη μεταβολή.

Σε ό,τι αφορά το χρόνο υποχρεωτικής στάσης, τα πράγματα είναι πολύ ξεκάθαρα. Όσο αυξάνεται το ποσοστό των οδηγών που περιμένει λιγότερο χρόνο στα σήματα υποχρεωτικής στάσης, τόσο μειώνεται και ο χρόνος διαδρομής και κατ' επέκταση και οι καθυστερήσεις. Θεωρώντας ότι το 50% των οδηγών δεν περιμένει στο σημείο υποχρεωτικής στάσης όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση και περιμένει 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, η μείωση του χρόνου διαδρομής είναι 10%. Για αύξηση του ποσοστού αυτού των οδηγών στο 60% η αύξηση του χρόνου διαδρομής είναι 20%, ενώ για αύξηση του ποσοστού των οδηγών στο 70%, η αύξηση του χρόνου διαδρομής είναι 30%. Για την καθυστέρηση, τα ποσοστά αύξησης είναι αντίστοιχα με αυτά του χρόνου διαδρομής.

5.3.3. Κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό

Η κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό στην κύρια οδική αρτηρία, είναι η δεύτερη από τις δύο κινήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, αφού μέσω και αυτής της κίνησης εκφράζεται η εκκένωση της περιοχής μελέτης. Ούτε η κίνηση αυτή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις μεταβολές του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων, την επηρεάζει όμως αντίστροφα. Για το μοντέλο αυτό, η βασικότερη διαπίστωση είναι ότι αύξηση της παραμέτρου α κατά 30%, επιφέρει αύξηση του χρόνου διαδρομής κατά 10% και αύξηση της καθυστέρησης κατά 10% περίπου. Επομένως, όσο η επιθετικότητα των οδηγών της κύριας οδικής αρτηρίας αυξάνεται ως προς την επιτάχυνση και επιβράδυνσή του, τείνει να αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής και οι καθυστερήσεις για την κίνηση που μελετάται. Η αιτία για τη συμπεριφορά αυτή είναι ίσως το γεγονός ότι οι οδηγοί που προσπαθούν να εισέλθουν στην κύρια οδική αρτηρία, συναντούν μεγαλύτερη εμπλεκόμενη κίνηση και αναγκάζονται να καθυστερήσουν.

Η κίνηση αυτή επηρεάζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό από το μοντέλο κρίσιμων χρονικών διαχωρισμών, αφού τα οχήματα στρίβουν και συμβάλλουν με τα οχήματα της κύριας οδικής αρτηρίας. Με κάθε μεταβολή της κατανομής των οδηγών, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται αλλά όχι πάντα με τον ίδιο ρυθμό. Θεωρώντας ότι το 40% των οδηγών περιμένει 1.5 sec στη διασταύρωση όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή περιμένει 1.7 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση, αυξάνονται κατά 8% περίπου. Στις υπόλοιπες μεταβολές εξακολουθεί να υπάρχει αύξηση αλλά είναι μικρότερη. Ο λόγος για την αύξηση του χρόνου διαδρομής είναι το γεγονός ότι η εμπλεκόμενη κίνηση που αντιμετωπίζουν περιλαμβάνει και τη στρεφόμενη κίνηση από την πρώτη κάθετη και επομένως υπάρχει καθυστέρηση στην είσοδο στην κύρια οδική αρτηρία.

Η μεταβολή στα όρια των χρονικών διαχωρισμών για τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις επιφέρει σημαντικές μεταβολές κατά την τρίτη μεταβολή. Θεωρώντας ότι το 50% των οδηγών αποδέχεται ως κατώτερο όριο τα 0.25 sec για το καθεστώς έκτακτης ανάγκης και 1.75 sec ως ανώτατο όριο για το καθεστώς ελεύθερης ροής, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται κατά 7% και η καθυστέρηση αυξάνεται κατά 9%. Ο λόγος και εδώ είναι ότι οι περισσότεροι οδηγοί θεωρούν ότι βρίσκονται σε καθεστώς έκτακτης ανάγκης, αφού τα οχήματα πλησιάζουν πολύ μεταξύ τους λόγω των ουρών που δημιουργούνται για την είσοδο στην κύρια οδική αρτηρία. Ως εκ τούτου, αναγκάζονται να επιβραδύνουν περισσότερο και για το λόγο αυτό ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται.

Σε ό,τι αφορά το χρόνο υποχρεωτικής στάσης, τα πράγματα είναι λίγο περίπλοκα. Όταν το 50% των οχημάτων δεν περιμένει στο σήμα υποχρεωτικής στάσης όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή περιμένει 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση αυξάνονται κατά 6%. Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι η εμπλεκόμενη κίνηση είναι μεγάλη και η κίνηση που μελετάται δεν μπορεί να διεκδικήσει την είσοδό της στην κύρια αρτηρία και δημιουργούνται ουρές. Όταν το ποσοστό των οδηγών αυξάνεται στο 70%, ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση μειώνονται κατά 6%, αφού οι περισσότεροι οδηγοί πιέζουν και διεκδικούν την είσοδό τους στην κύρια οδική αρτηρία.

5.3.4. Κίνηση προς τη δεύτερη κάθετη οδό

Η κίνηση προς τη δεύτερη κάθετη είναι μια από τις κινήσεις που παρέχει πρόσβαση στην περιοχή εκκένωσης και ο αριθμός των οχημάτων της κίνησης αυτής είναι μικρός και δεν επηρεάζεται από άλλες κινήσεις. Το μοντέλο συμπεριφοράς που αναμένεται ότι θα επηρεάσει την κίνηση αυτή είναι μόνο το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων και ίσως και το μοντέλο που καθορίζει τα όρια των χρονικών διαχωρισμών για τα καθεστώτα ροής και τις επιταχύνσεις, αλλά και τα δύο σε μικρό βαθμό. Ο λόγος για τον οποίο επηρεάζεται από τα μοντέλα αυτά είναι επειδή το μοντέλο της ακολουθίας οχημάτων εφαρμόζεται στην κύρια οδική αρτηρία, την οποία διασχίζει μέχρι ένα σημείο η κίνηση αυτή. Για τον ίδιο λόγο επηρεάζεται και από το μοντέλο των ορίων για τους χρονικούς διαχωρισμούς.

Η κίνηση λογικά δεν επηρεάζεται από μεταβολές στο μοντέλο κρίσιμων χρονικών διαχωρισμών, αφού η στρεφόμενη κίνηση σε συναντά εμπλεκόμενη κίνηση και πραγματοποιείται ανεμπόδιστα. Επίσης, εφόσον για την κίνηση αυτή δεν υπάρχει σήμα υποχρεωτικής στάσης, δε θα επηρεαστεί και από το μοντέλο που καθορίζει το χρόνο στάσης.

Πράγματι, μια αύξηση κατά 30% στην παράμετρο α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων, επιφέρει μείωση στο χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση της κίνησης κατά 1%. Οι μεταβολές κατά 10% και 20% της παραμέτρου α είναι πολύ μικρές της τάξης του 0,07% και 0,25% για το χρόνο

διαδρομής, ενώ για την καθυστέρηση, η μείωση είναι 1,2% και 1,5%.

Το μοντέλο για τα όρια των χρονικών διαχωρισμών, επιφέρει μεταβολές 0,75% όταν το ποσοστό των οδηγών που αποδέχονται ως κατώτερο όριο τα 0.25 sec για το καθεστώς έκτακτης ανάγκης και 1.75 sec ως ανώτατο όριο για το καθεστώς ελεύθερης ροής, είναι συνολικά 70%.

Οι μεταβολές για τα υπόλοιπα μοντέλα είναι πολύ μικρές, αφού πρακτικά δεν επηρεάζουν την κίνηση και είναι της τάξης του 0,10%.

5.3.5. Κίνηση στην παράλληλη οδό

Η κίνηση στην παράλληλη οδό είναι η δεύτερη κίνηση που παρέχει πρόσβαση στην περιοχή εκκένωσης και ο αριθμός των οχημάτων της κίνησης αυτής είναι επίσης μικρός και επηρεάζεται από μερικές από τις κινήσεις του δικτύου. Οι εμπλεκόμενες κινήσεις είναι οι κινήσεις στις δύο κάθετες οδούς που διοχετεύονται στην κύρια οδική αρτηρία. Ο λόγος είναι ότι οι δύο αυτές κινήσεις δημιουργούν ουρά και επομένως παρεμποδίζουν τη διαμπερή κίνηση της οδού που εξετάζεται. Αναμένεται ότι η κίνηση στην παράλληλη οδό δεν επηρεάζεται μεμονωμένα από τις μεταβολές των μοντέλων συμπεριφοράς, αλλά θα επηρεαστεί από τις υπόλοιπες κινήσεις, οι οποίες επηρεάζονται από τα μοντέλα.

Αύξηση κατά 10% στην παράμετρο α επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 1,7% και της καθυστέρησης κατά 5%. Η μεταβολή της παραμέτρου α επηρεάζει τις στρεφόμενες προς την κύρια οδική αρτηρία κινήσεις και κατ' επέκταση και την κίνηση στην παράλληλη οδό. Παρατηρείται όμως, ότι αύξηση κατά 20% στην παράμετρο α του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων, επιφέρει αύξηση στο χρόνο διαδρομής κατά 1,5% και την καθυστέρηση της κίνησης κατά 4,5%. Αντίστοιχες αυξήσεις παρουσιάζονται για την κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό και μάλλον αυτός είναι και ο λόγος για τις αυξήσεις σε αυτή την περίπτωση. Στις μικρές διασταυρώσεις, τα οχήματα γίνονται ανταγωνιστικά και δεν επιτρέπουν την ελεύθερη διέλευση των οχημάτων της κίνησης.

Το μοντέλο που αναμένεται να επηρεάσει σε κάποιο βαθμό την κίνηση αυτή, είναι το μοντέλο των κρίσιμων χρονικών διαχωρισμών. Η κίνηση αυτή, πραγματοποιεί διάσχιση διασταυρώσεων και επομένως οι χρόνοι αναμονής για εμπλεκόμενες ή μη κινήσεις αναμένεται να έχουν επίδραση στην κίνηση. Πράγματι, για τις μεταβολές των παραμέτρων αυτού του μοντέλου υπάρχει μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1% περίπου και της καθυστέρησης κατά 3,5% περίπου. Αυτές οι μειώσεις τείνουν να εμφανίζονται με την αύξηση του ποσοστού των οδηγών που περιμένει λιγότερη ώρα στις διασταυρώσεις.

Σε ό,τι αφορά τα υπόλοιπα μοντέλα, οι επιδράσεις είναι μικρές και κυμαίνονται από 0,3% ως 0,8%.

6. Αλληλεπίδραση μοντέλων συμπεριφοράς

Ο συνδυασμός των προσομοιώσεων αποτελεί το δεύτερο κομμάτι της πειραματικής εφαρμογής. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα προηγούμενα πειράματα, θα υλοποιηθεί μια σειρά προσομοιώσεων στις οποίες θα μελετηθεί η επίδραση των πιο δραστικών μοντέλων οδηγικής συμπεριφοράς από αυτά που εξετάστηκαν συνδυαστικά και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τις κινήσεις που παρουσιάζουν άμεσο ενδιαφέρον για την εκκένωση.

6.1. Επιλογή των μοντέλων συμπεριφοράς

Από τα πειράματα της ανάλυσης ευαισθησίας, προέκυψε ότι τελικά, τα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις κινήσεις του δικτύου είναι τα ακόλουθα:

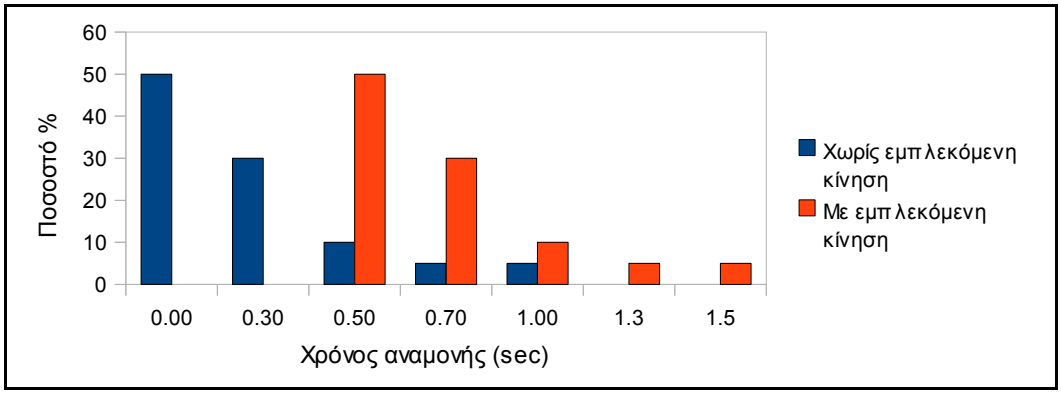
- Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης, το οποίο εφαρμόζεται για τις κινήσεις που διοχετεύονται στην κύρια οδική αρτηρία και οι οποίες συναντούν σήμα υποχρεωτικής στάσης.
- Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, το οποίο εφαρμόζεται σε όλο το δίκτυο, αλλά πιο συγκεκριμένα για όλες τις κινήσεις που διασχίζουν μια διασταύρωση ή εκτελούν ελιγμούς στροφής σε μια διασταύρωση.
- Μοντέλο που καθορίζει τα όρια των διαχωρισμών για τις επιταχύνσεις των οχημάτων, το οποίο εφαρμόζεται για τις κινήσεις που διοχετεύονται στην κύρια οδική αρτηρία.

Οι μεταβολές στα μοντέλα, βασίζονται στις μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν για την ανάλυση ευαισθησίας. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε να μελετηθούν η πρώτη και η δεύτερη μεταβολή κάθε μοντέλου, ενώ απορρίφθηκε η μελέτη των ακραίων τιμών. Οι μεταβολές αυτές περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

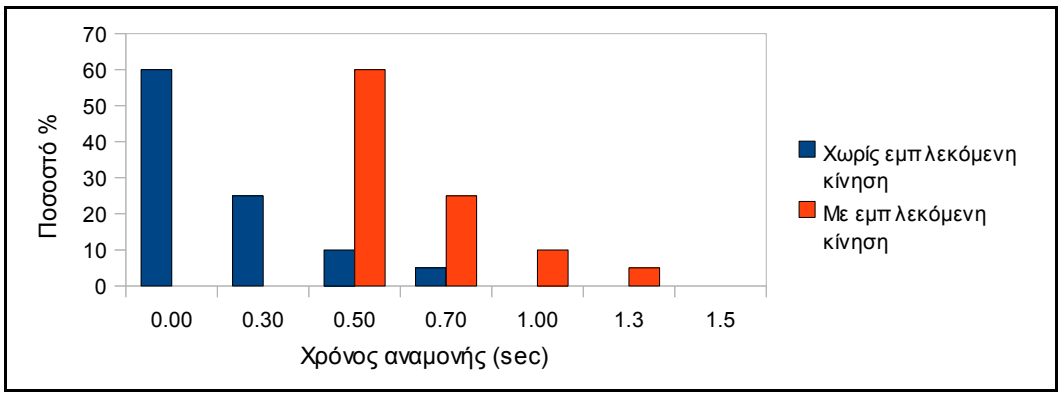
6.1.1. Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης

Η δύο μεταβολές στο μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης περιγράφηκαν στο *Κεφάλαιο 5* και συγκεκριμένα απεικονίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Η πρώτη μεταβολή υποστηρίζει ότι για το 50% των οδηγών στο δίκτυο, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση.

Η δεύτερη μεταβολή υποδεικνύει ότι ο χρόνος αναμονής στα σήματα στάσης είναι μηδενικός για το 60% των οδηγών όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή είναι 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση.



Διάγραμμα 6.1.: Πρώτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς το χρόνο αναμονής σε σήματα στάσης.



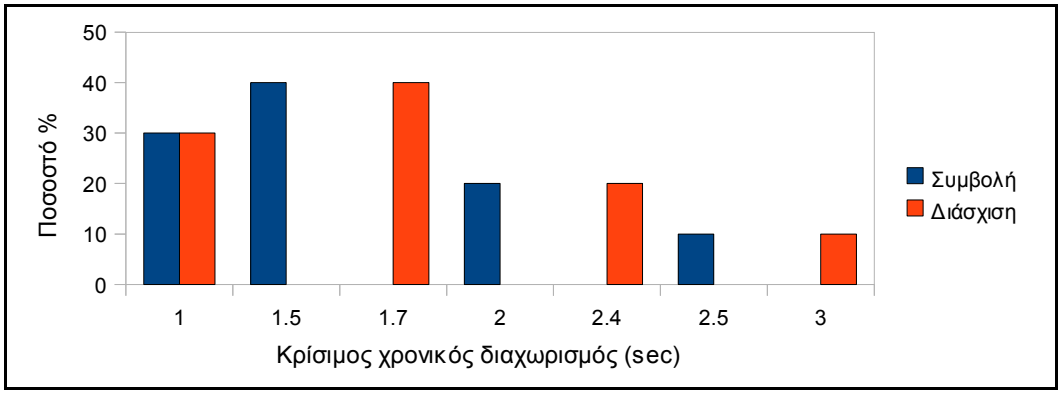
Διάγραμμα 6.2.: Δεύτερη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς το χρόνο αναμονής σε σήματα στάσης.

6.1.2. Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων

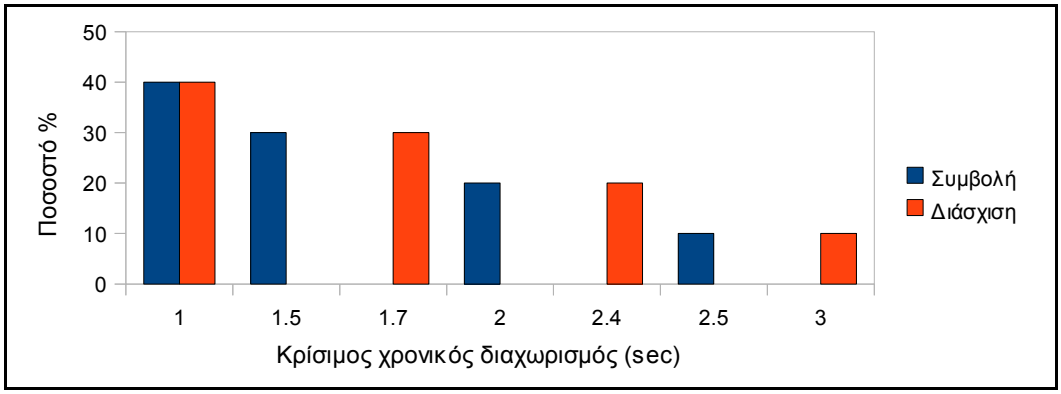
Οι μεταβολές και σε αυτό το μοντέλο περιλαμβάνονται στις μεταβολές που περιγράφηκαν στο *Κεφάλαιο 5*, ενώ φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Στην πρώτη μεταβολή, αυξήθηκαν τα ποσοστά των οδηγών που αποδέχονται μικρότερους διαχωρισμούς σε βάρος των ποσοστών που αποδέχονται μεγαλύτερους διαχωρισμούς. Το 40% των οδηγών αποδέχεται κρίσιμο χρονικό διαχωρισμό 1.5 sec για τη συμβολή και 1.7 sec για τη διάσχιση διασταυρώσεων.

Στη δεύτερη μεταβολή, η πλειοψηφία των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμούς μικρότερης διάρκειας είτε συμβάλλει, είτε διασχίζει μια διασταύρωση. Σε αυτή την περίπτωση, το 40% των οδηγών,

αποδέχεται διαχωρισμό 1 sec για τη συμβολή και διάσχιση.



Διάγραμμα 6.3.: Πρώτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

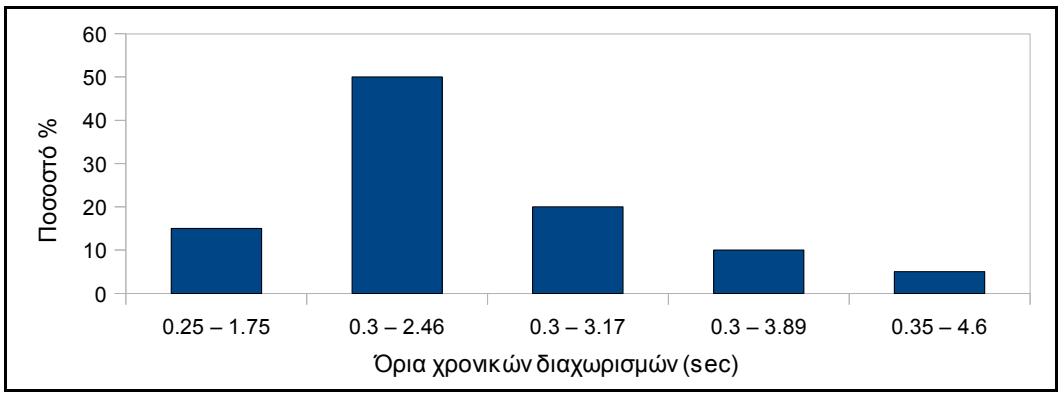


Διάγραμμα 6.4.: Δεύτερη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τους αποδεκτούς κρίσιμους χρονικούς διαχωρισμούς.

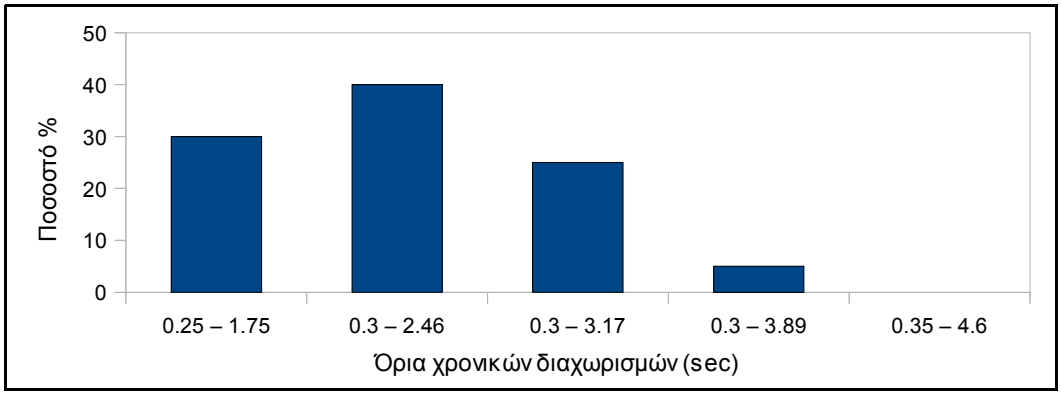
6.1.3. Μοντέλο διαχωρισμών για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις

Και στην περίπτωση του μοντέλου αυτού οι μεταβολές έχουν περιγραφεί στο *Κεφάλαιο 5*, παρουσιάζονται όμως συνοπτικά στα διαγράμματα που ακολουθούν. Στην πρώτη μεταβολή, αυξήθηκαν τα ποσοστά των οδηγών που αποδέχονται μικρότερα όρια διαχωρισμών σε βάρος των ποσοστών που αποδέχονται διαχωρισμούς των ορίων 0.3 – 3.17 sec. Το 50% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec.

Στη δεύτερη μεταβολή μηδενίζεται το ποσοστό των οχημάτων που αποδέχεται όρια 0.35 – 4.6 sec, ενώ αυξάνονται τα υπόλοιπα ποσοστά. Το 40% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec, ενώ ένα ποσοστό 30% αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.25 – 1.75 sec.



Διάγραμμα 6.5. Πρώτη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τα αποδεκτά όρια χρονικών διαχωρισμών.



Διάγραμμα 6.6. Δεύτερη μεταβολή στην κατανομή των οδηγών ως προς τα αποδεκτά όρια χρονικών διαχωρισμών.

6.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Ο πειραματικός σχεδιασμός για το δεύτερο στάδιο της εφαρμογής ορίζεται ως εξής. Αρχικά, χρησιμοποιώντας τις τιμές που αντιστοιχούν στη φυσιολογική συμπεριφορά των οδηγών θα

εκτελεστούν δέκα προσομοιώσεις. Στη συνέχεια, θα εκτελεστούν προσομοιώσεις οι οποίες θα αποτελούν συνδυασμό των μεταβολών που περιγράφηκαν προηγουμένως. Τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιώσεων θα συγκριθούν μεταξύ τους αλλά και με τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν με τις βασικές τιμές. Υπενθυμίζεται ότι ο Πίνακας Προέλευσης και Προορισμού είναι ο ακόλουθος:

Τα μοντέλα που εξετάζονται είναι τρία με δύο μεταβολές για το καθένα και επομένως θα υπάρξουν 9 συνδυασμοί, οι οποίοι απεικονίζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Ο μηδενικός συνδυασμός είναι ο συνδυασμός των βασικών τιμών που περιγράφουν τη συμπεριφορά υπό φυσιολογικές συνθήκες.

Συνδυαστικές προσομοιώσεις			
Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0

Πίνακας 6.1.: Πίνακας συνδυασμού των προσομοιώσεων της πειραματικής διαδικασίας.

Από τις δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή, θα υπολογιστεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των παρακάτω μεγεθών:

- Φόρτος σε οχ/h.
- Μέσος χρονικός διαχωρισμός σε sec.
- Χρόνος διαδρομής σε sec ανά όχημα.
- Καθυστέρηση σε sec ανά όχημα.

Όλα τα αποτελέσματα θα ληφθούν από τους αισθητήρες που τοποθετήθηκαν στο δίκτυο. Ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση θα εκτιμηθούν ανά κίνηση από κεντροειδές σε κεντροειδές, ενώ ο φόρτος και ο διαχωρισμός θα εκτιμηθούν ανά αισθητήρα και κατ' επέκταση ανά λωρίδα για συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου.

Οι κινήσεις που θα εξεταστούν για την πειραματική αυτή εφαρμογή, είναι οι δύο κάθετες κινήσεις που διοχετεύονται στην κύρια οδική αρτηρία και αντιπροσωπεύουν τις κινήσεις κατά την εκκένωση της περιοχής μελέτης, αλλά και η κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία.

6.3. Αποτελέσματα για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση

Η εφαρμογή εκτελέστηκε σύμφωνα με τον πειραματικό σχεδιασμό, και επομένως εκτελέστηκαν συνολικά 80 προσομοιώσεις, οι οποίες έδωσαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα που αφορούν το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση παρουσιάζονται ανά κίνηση στο δίκτυο.

Κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15

Πρόκειται για τη διαμπερή κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 33 και φτάνει στο κεντροειδές 15. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε συνδυασμό και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη μεταβολή του μεγέθους που εξετάζεται σε όλους τους συνδυασμούς των προσομοιώσεων. Η τυπική απόκλιση προέκυψε από την τυπική απόκλιση των χρόνων διαδρομής και των καθυστερήσεων για το σύνολο των οχημάτων και για κάθε προσομοίωση. Δηλαδή, για κάθε συνδυασμό, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων που προέκυψαν από τις 10 προσομοιώσεις.

Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης	Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (min)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5	52,4	0,00%	10,29	0,00%	13,62	0,00%	9,69	0,00%
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	**52,35**	-0,09%	**10,21**	-0,81%	**13,59**	-0,24%	9,62	-0,74%
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	**52,09**	-0,60%	**10,85**	5,47%	**13,54**	-0,60%	9,66	-0,36%
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	**51,99**	-0,78%	**11,02**	7,06%	**13,48**	-1,01%	9,66	-0,36%
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	**51,82**	-1,11%	**11,33**	10,12%	**13,43**	-1,39%	9,63	-0,59%
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	**51,91**	-0,93%	**11,38**	10,60%	**13,52**	-0,73%	9,70	0,07%
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	**51,94**	-0,88%	**10,98**	6,66%	**13,43**	-1,37%	9,60	-0,92%
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	**51,69**	-1,36%	**11,31**	9,93%	**13,35**	-1,98%	9,51	-1,85%
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	**51,89**	-0,98%	**11,17**	8,55%	**13,45**	-1,28%	9,62	-0,68%

Πίνακας 6.2.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 33 προς 15.

Ο συνδυασμός 1 επιφέρει πολύ μικρή μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.09% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 0.24%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 0.8% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός 2 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.6% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 0.3%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 5.5% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 0.3% για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 3, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 0.8% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 1%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 7% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 0.3% για την καθυστέρηση.

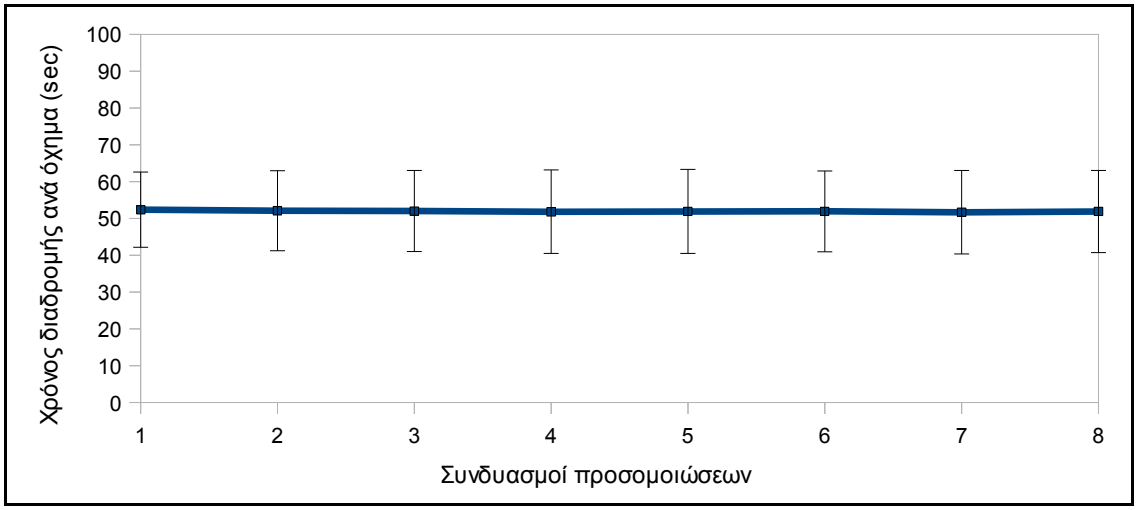
Για το συνδυασμό 4, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 1.3%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 10% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 0.6% για την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός 5 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.9% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 0.7%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 10% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 0.07% για την καθυστέρηση.

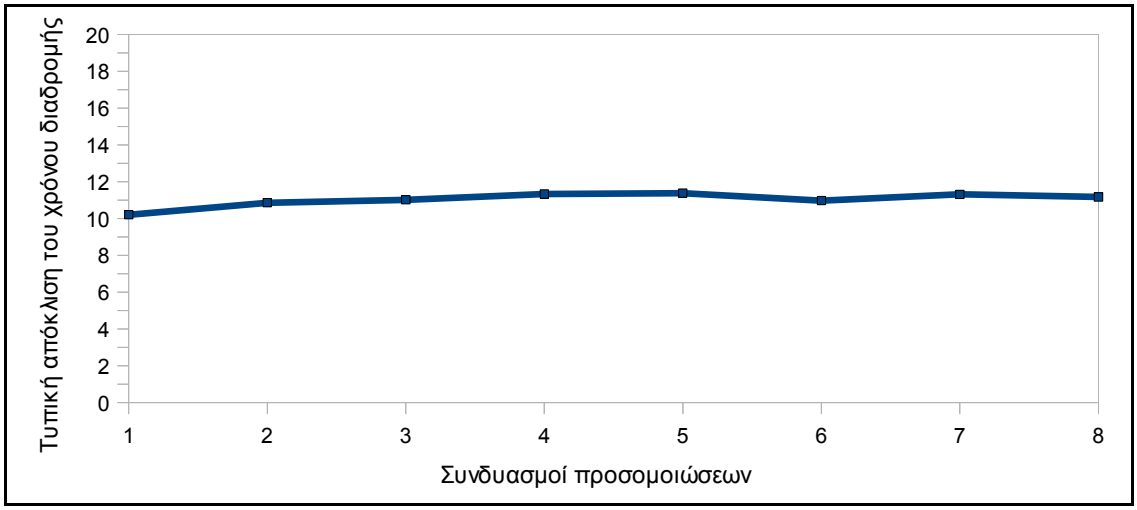
Ο συνδυασμός 6 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.8% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 1.4%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 6.5% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 0.9% για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 7, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1.3% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 2%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 10% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 2% για την καθυστέρηση.

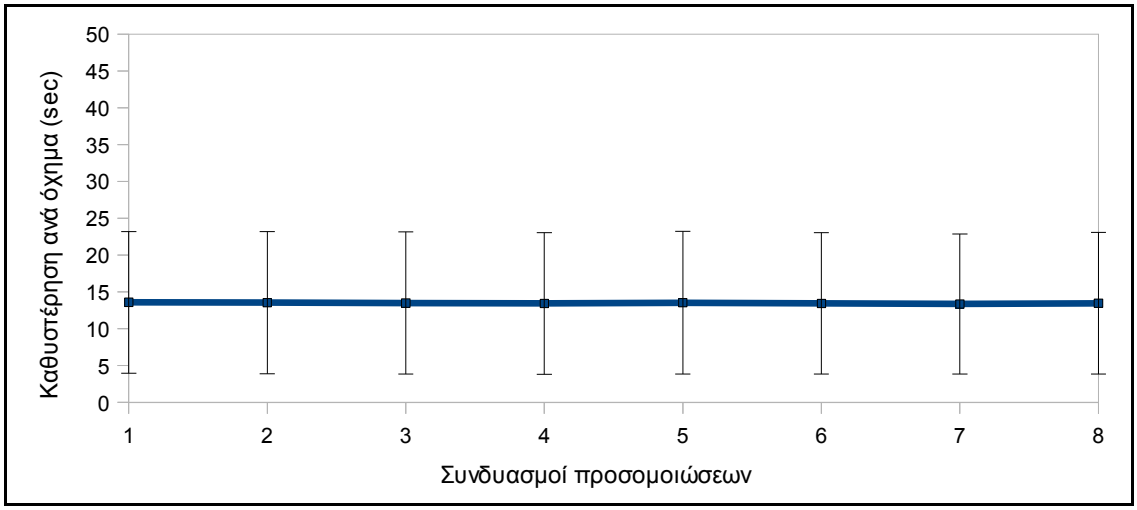
Τέλος, για το συνδυασμό 8, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 1.3%. Η τυπική απόκλιση αυξάνεται κατά 8.5% για το χρόνο διαδρομής και μειώνεται κατά 0.7% για την καθυστέρηση.



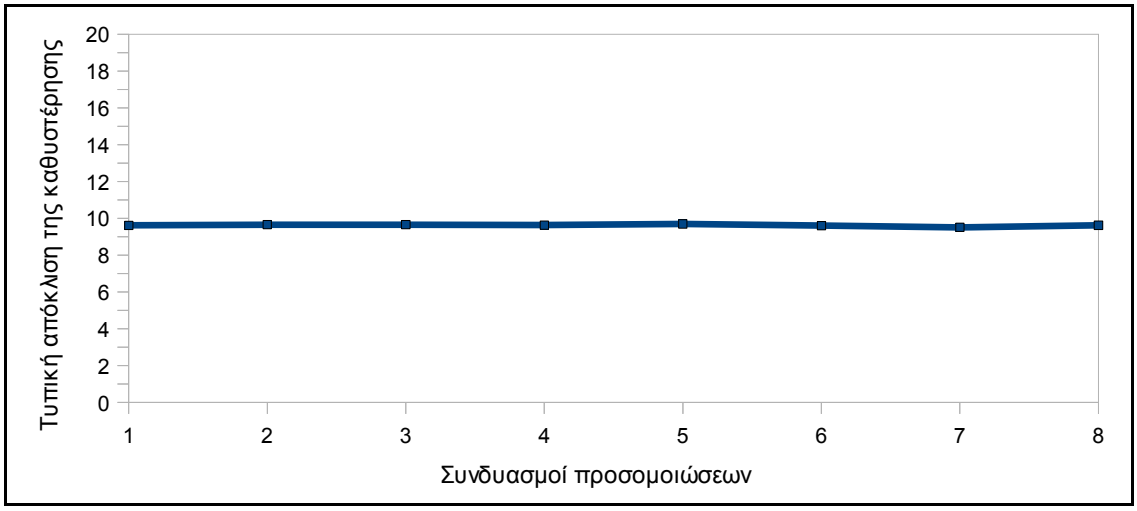
Διάγραμμα 6.7.: Απεικόνιση της μεταβολής του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 33 προς 15.



Διάγραμμα 6.8.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν.



Διάγραμμα 6.9.: Απεικόνιση της μεταβολής της καθυστέρησης συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν.



Διάγραμμα 6.10.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν.

Κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15

Πρόκειται για τη στρεφόμενη κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό του δικτύου προς στην κύρια οδική αρτηρία, για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση

καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 20 και φτάνει στο κεντροειδές 15. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη μεταβολή του μεγέθους που εξετάζεται σε όλους τους συνδυασμούς των προσομοιώσεων. Η τυπική απόκλιση προέκυψε από την τυπική απόκλιση των χρόνων διαδρομής και των καθυστερήσεων για το σύνολο των οχημάτων και για κάθε προσομοίωση. Δηλαδή, για κάθε συνδυασμό, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων που προέκυψαν από τις 10 προσομοιώσεις.

Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης	Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (min)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5	382,23	0,00%	196,06	0,00%	314,82	0,00%	195,39	0,00%
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	330,31	-13,58%	174,26	-11,12%	263,22	-16,39%	173,32	-11,30%
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	286,92	-24,93%	148,97	-24,02%	219,9	-30,15%	147,89	-24,31%
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	291,8	-23,66%	146,76	-25,15%	224,75	-28,61%	145,55	-25,51%
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	312,55	-18,23%	166,84	-14,90%	245,66	-21,97%	165,51	-15,29%
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	288,51	-24,52%	150,08	-23,45%	221,51	-29,64%	148,94	-23,77%
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	330,25	-13,60%	173,63	-11,44%	263,24	-16,38%	172,58	-11,67%
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	290,59	-23,97%	149,17	-23,91%	212,54	-32,49%	139,02	-28,85%
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	316,14	-17,29%	161,77	-17,49%	249,01	-20,91%	160,75	-17,73%

Πίνακας 6.3.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 20 προς 15.

Ο συνδυασμός 1 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 13.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 16%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 11% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός 2 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 25% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 30%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 24% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 3, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 23.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 28.5%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 25% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 4, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 18% σε σχέση με τις

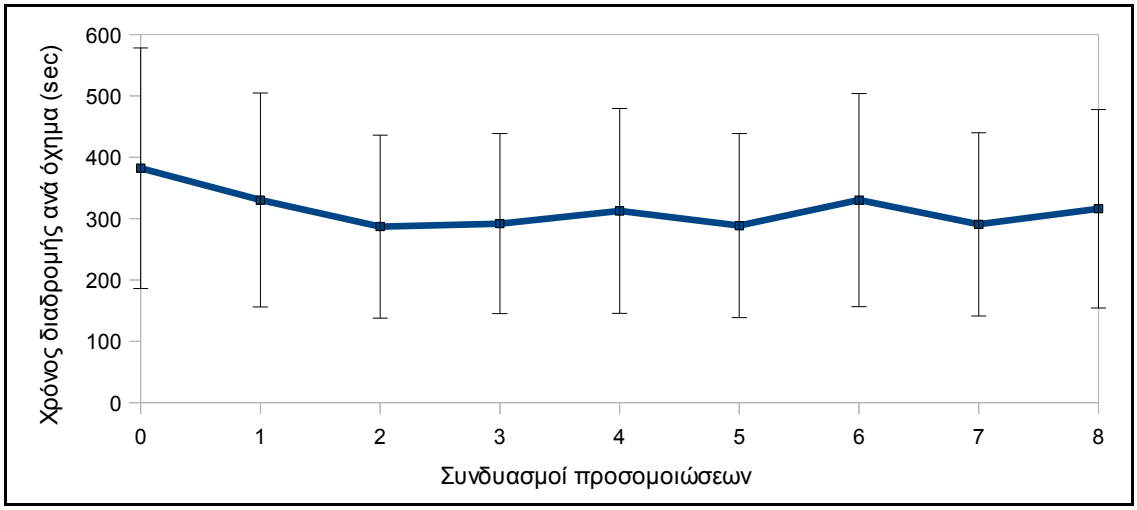
βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 22%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 15% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός 5 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 24.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 29.5%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 23% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

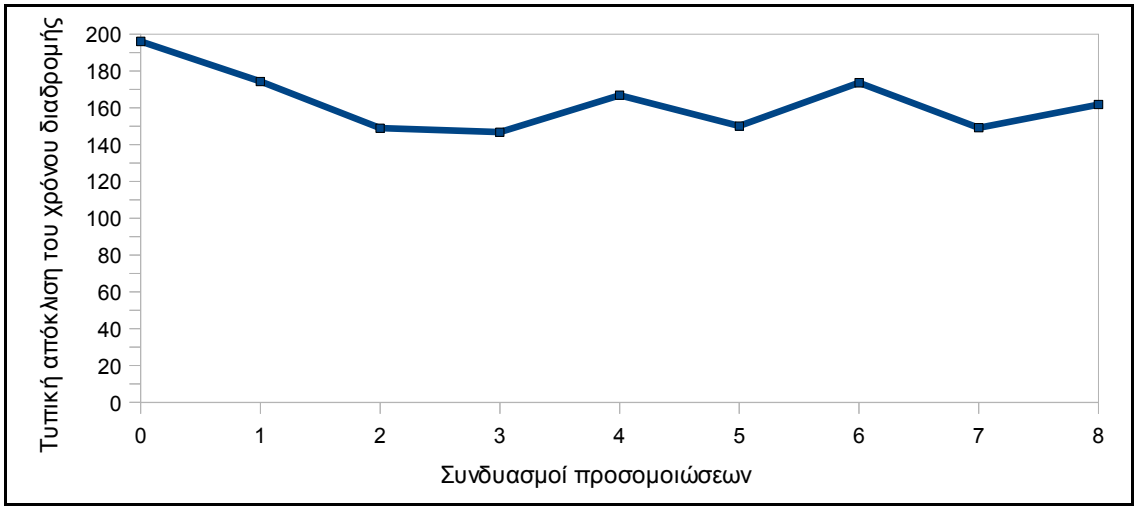
Ο συνδυασμός 6 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 13% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 16%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 11.5% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 7, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 24% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 32.5%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 24% για το χρόνο διαδρομής και κατά 28% για την καθυστέρηση.

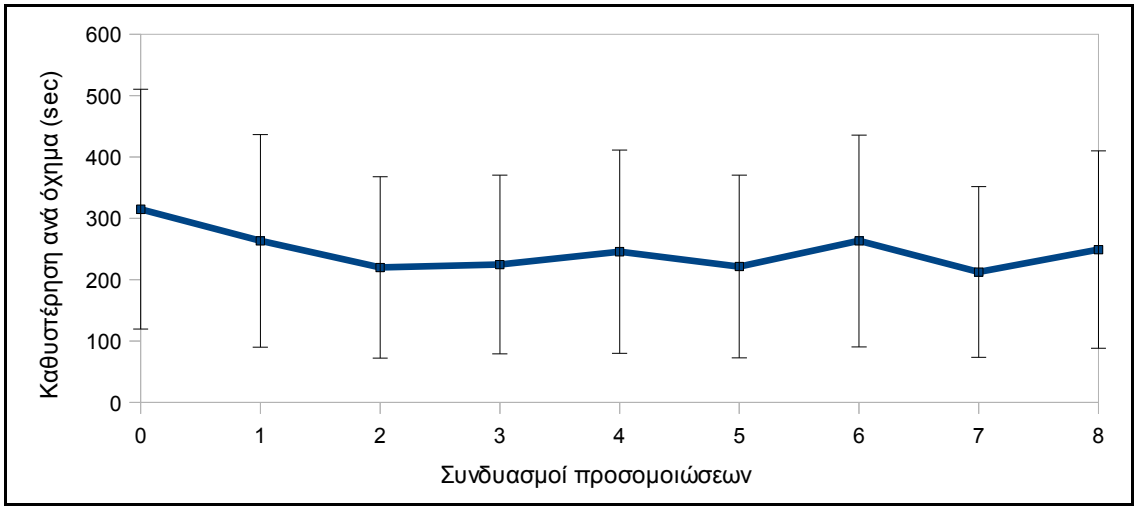
Τέλος, για το συνδυασμό 8, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 17% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 21%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 17% και για το χρόνο διαδρομής και για την καθυστέρηση.



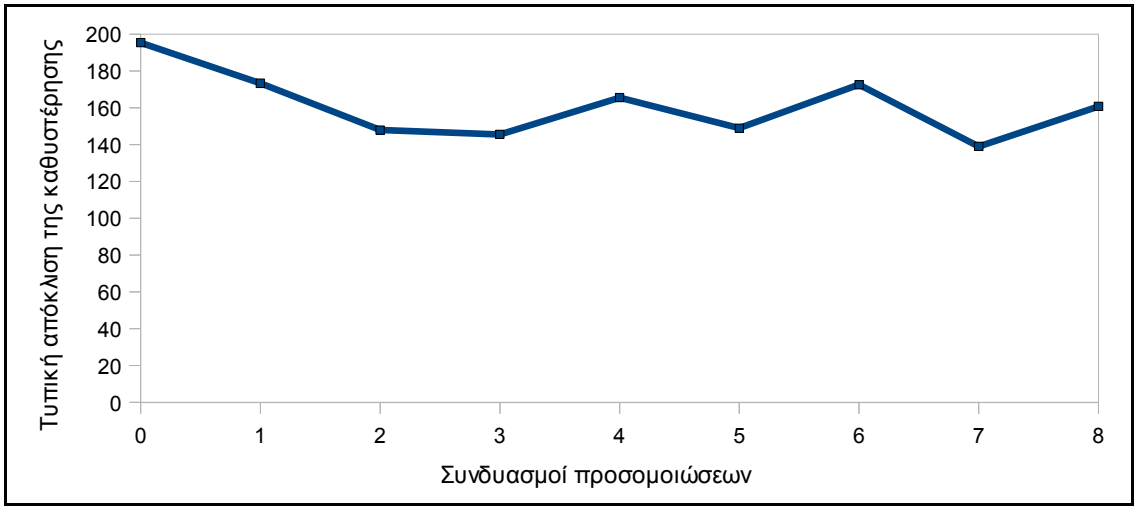
Διάγραμμα 6.11.: Απεικόνιση της μεταβολής του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 20 προς 15.



Διάγραμμα 6.12.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 20 προς 15.



Διάγραμμα 6.13.: Απεικόνιση της μεταβολής της καθυστέρησης συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 20 προς 15.



Διάγραμμα 6.14.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 20 προς 15.

Κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15

Πρόκειται για τη στρεφόμενη κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό του δικτύου προς στην κύρια οδική αρτηρία, για την οποία στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα για το χρόνο διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec) και την καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα (sec). Για κάθε μεταβολή κάθε μιας από τις παραμέτρους υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διαδρομής και η μέση καθυστέρηση για κάθε όχημα που ξεκινά από το κεντροειδές 31 και φτάνει στο κεντροειδές 15. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δέκα προσομοιώσεις για κάθε μεταβολή και οι πίνακες αυτών των αποτελεσμάτων βρίσκονται στο Παράρτημα του τεύχους.

Τα τελικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις μέσες τιμές των μέσων χρόνων διαδρομής και μέσης καθυστέρησης που υπολογίστηκαν σε δέκα προσομοιώσεις και εμφανίζονται μαζί με τις τυπικές τους αποκλίσεις στον πίνακα που ακολουθεί. Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τη μεταβολή του μεγέθους που εξετάζεται σε όλους τους συνδυασμούς των προσομοιώσεων. Η τυπική απόκλιση προέκυψε από την τυπική απόκλιση των χρόνων διαδρομής και των καθυστερήσεων για το σύνολο των οχημάτων και για κάθε προσομοίωση. Δηλαδή, για κάθε συνδυασμό, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων που προέκυψαν από τις 10 προσομοιώσεις.

Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης	Χρόνος διαδρομής (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Καθυστέρηση (min)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5	323,5	0,00%	179,76	0,00%	267,78	0,00%	159,1	0,00%
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	**328,65**	1,59%	**165,93**	-7,70%	**270,15**	0,89%	171,17	7,59%
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	**299,88**	-7,30%	**150,23**	-16,43%	**244,38**	-8,74%	149,24	-6,19%
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	**309,27**	-4,40%	**167,33**	-6,92%	**253,96**	-5,16%	166,07	4,38%
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	**321,43**	-0,64%	**164,11**	-8,70%	**265,97**	-0,68%	163,00	2,45%
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	**311,00**	-3,86%	**172,12**	-4,25%	**255,83**	-4,46%	170,70	7,29%
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	**344,82**	6,59%	**176,64**	-1,74%	**289,32**	8,04%	175,52	10,32%
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	**319,22**	-1,32%	**173,35**	-3,56%	**234,60**	-12,39%	155,86	-2,03%
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	**304,07**	-6,01%	**154,22**	-14,21%	**248,31**	-7,27%	152,79	-3,96%

Πίνακας 6.4.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση για την κίνηση 31 προς 15.

Ο συνδυασμός 1 επιφέρει αύξηση του χρόνου διαδρομής κατά 13.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 0.9%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 7.5% για το χρόνο διαδρομής και αυξάνεται κατά 7.5% για την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός 2 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 7.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 8.5%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 16.5% για το χρόνο διαδρομής και 6% για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 3, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 4% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 5%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 7% για το χρόνο διαδρομής και αυξάνεται κατά 4% για την καθυστέρηση.

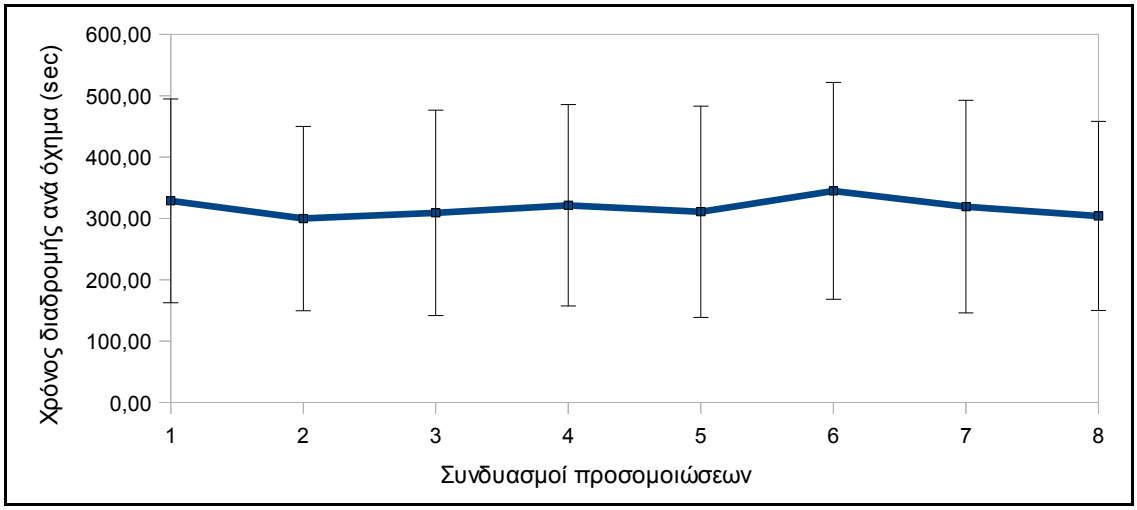
Για το συνδυασμό 4, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 0.6% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 0.6%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 8.7% για το χρόνο διαδρομής και αυξάνεται κατά 2.5% για την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός 5 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 4% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 4.5%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 4% για το χρόνο διαδρομής και αυξάνεται κατά 7% για την καθυστέρηση.

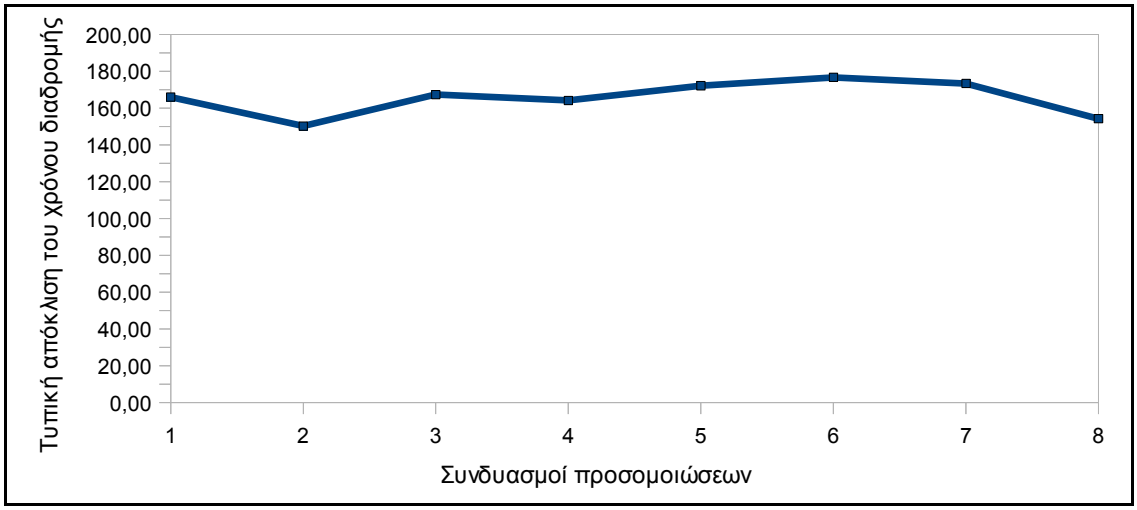
Ο συνδυασμός 6 επιφέρει αύξηση του χρόνου διαδρομής κατά 6.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 8%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 1.7% για το χρόνο διαδρομής και αυξάνεται κατά 10% για την καθυστέρηση.

Για το συνδυασμό 7, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1.3% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 12%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 3.5% για το χρόνο διαδρομής και κατά 2% για την καθυστέρηση.

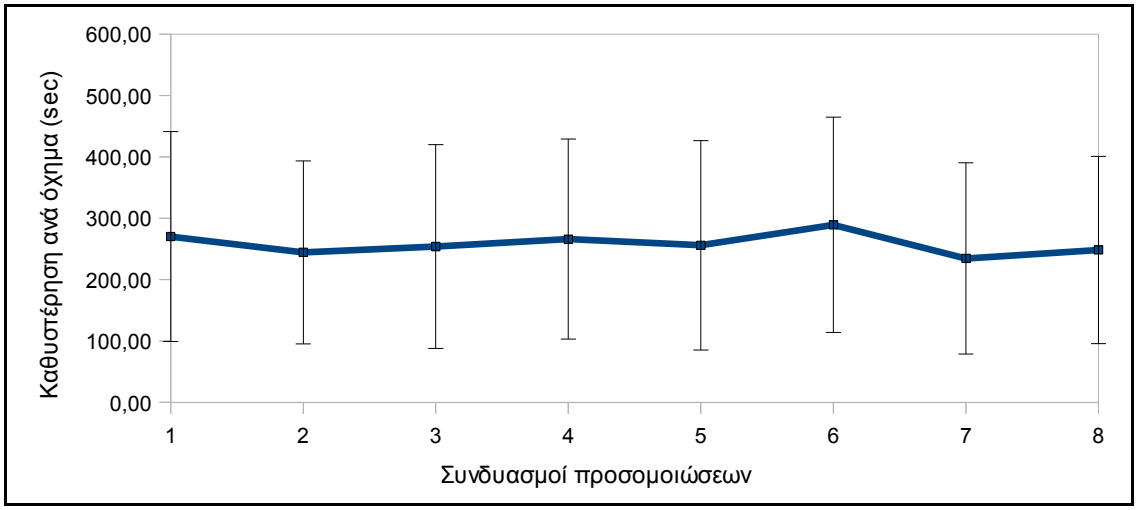
Τέλος, για το συνδυασμό 8, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 6% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 7%. Η τυπική απόκλιση μειώνεται κατά 14% για το χρόνο διαδρομής και κατά 4% για την καθυστέρηση.



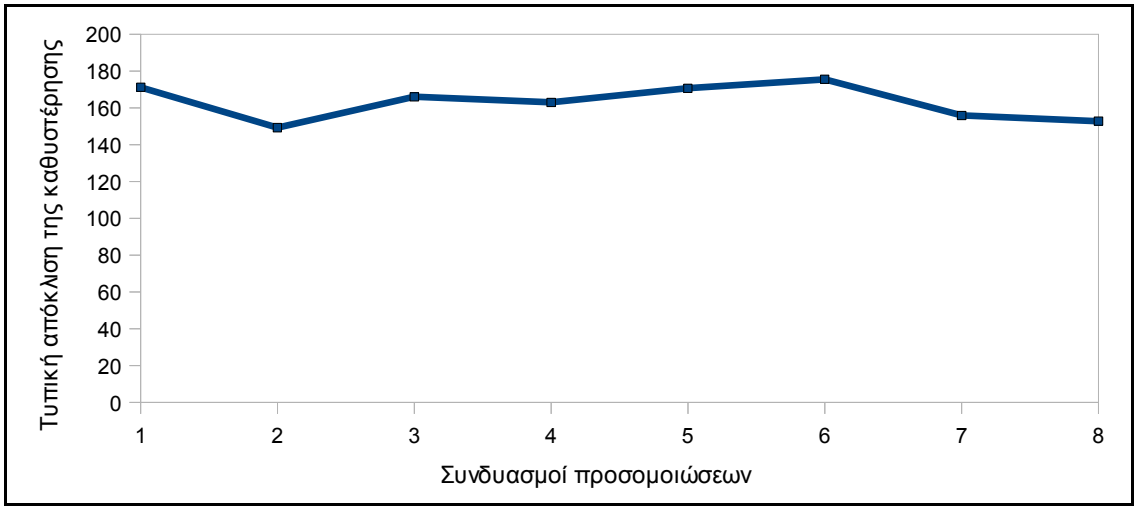
Διάγραμμα 6.15.: Απεικόνιση της μεταβολής του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 31 προς 15.



Διάγραμμα 6.16.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης του χρόνου διαδρομής συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 31 προς 15.



Διάγραμμα 6.17.: Απεικόνιση της μεταβολής της καθυστέρησης συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 31 προς 15.



Διάγραμμα 6.18.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης της καθυστέρησης συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για την κίνηση 31 προς 15.

6.4. Αποτελέσματα για τους φόρτους και τους διαχωρισμούς

Με βάση τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν. Τα στοιχεία αυτά είναι σημειακά και λαμβάνονται από τους αισθητήρες του δικτύου. Εφόσον το πρόβλημα

αφορά την εκκένωση της περιοχής του δικτύου, αυτό που έχει μεγαλύτερη αξία είναι ο υπολογισμός των φόρτων στα σημεία εισόδου των κινήσεων από τους κάθετους δρόμους στην κύρια οδική αρτηρία και στο σημείο εξόδου των οχημάτων από το δίκτυο. Τα σημεία στους κάθετους δρόμους ορίζονται από τους αισθητήρες με κωδικές ονομασίες 12 και 19. Οι αισθητήρες στην έξοδο των οχημάτων από το δίκτυο, βρίσκονται στις τρεις λωρίδες της κύριας οδικής αρτηρίας και έχουν κωδικές ονομασίες 20, 21 και 22.

Αισθητήρας με κωδική ονομασία 12

Ο αισθητήρας με κωδική ονομασία 12 βρίσκεται στην πρώτη κάθετη οδό, στο σημείο ακριβώς πριν τη διασταύρωση της οδού με την κύρια οδική αρτηρία. Το σημείο αυτό, επιλέχθηκε να εξεταστεί ώστε να διαπιστωθεί η μεταβολή του φόρτου των οχημάτων που εισέρχονται στην κύρια οδική αρτηρία κατά την εκκένωση και του χρονικού διαχωρισμού τους.

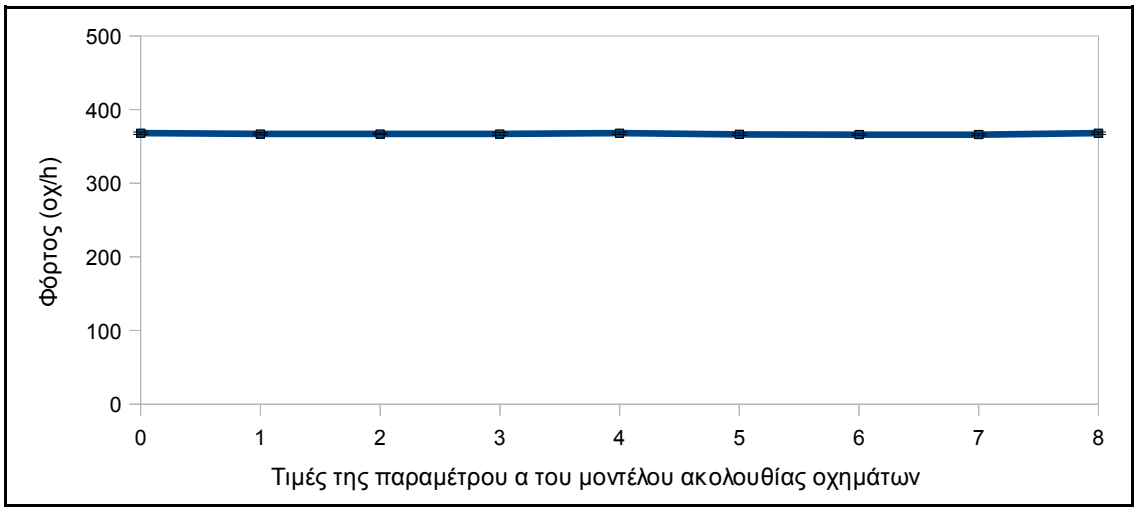
Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους μέσους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά μεταβολή παραμέτρου σε κάθε μοντέλο. Με βάση τις τιμές αυτές, θα διαπιστωθεί μέσω των διαγραμμάτων αν οι μεταβολές των παραμέτρων επιφέρουν αλλαγές στο φόρτο του σημείου και στο χρονικό διαχωρισμό των οχημάτων.

Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης	Φόρτος (οχ/h)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Μέσος χρονικός διαχωρισμός (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5	368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	367	-0,27%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,1	-50,00%
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	367	-0,27%	1,1	-31,25%	8,60	1,18%	0,2	0,00%
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	367	-0,27%	1,9	18,75%	8,50	0,00%	0,1	-50,00%
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	367	-0,41%	1,7	6,25%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	366	-0,54%	1,3	-18,75%	8,60	1,18%	0,1	-50,00%
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	366	-0,54%	1,5	-6,25%	8,50	0,00%	0,2	0,00%
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	368	0,00%	1,6	0,00%	8,50	0,00%	0,2	0,00%

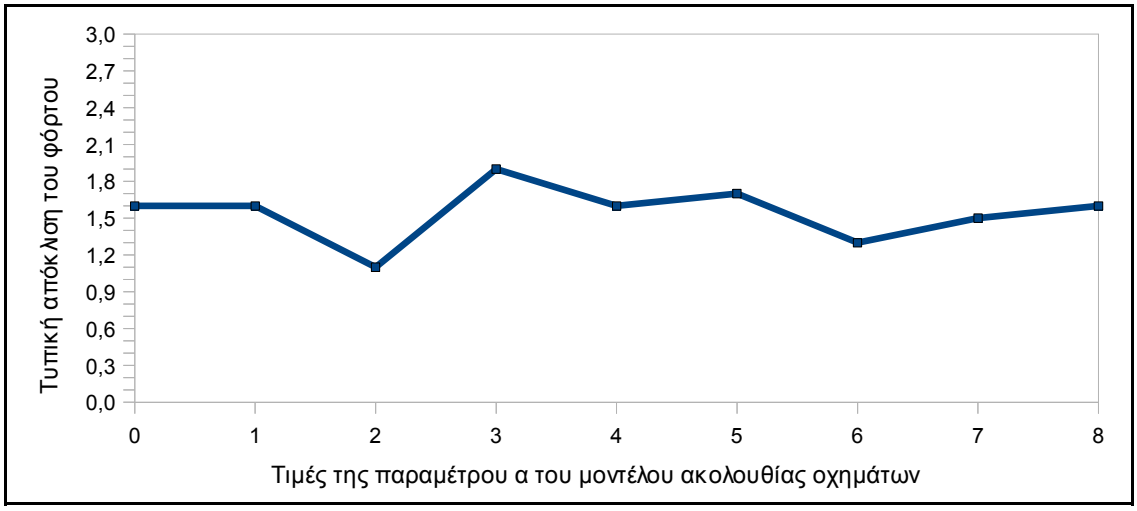
Πίνακας 6.5.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για τον αισθητήρα 12.

Παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στους φόρτους και στους χρονικούς διαχωρισμούς είναι πολύ μικρές, σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές στους φόρτους για κάθε μεταβολή μοντέλου είναι της τάξης του 0.2% - 0,5%, για τους συνδυασμούς 1, 2, 3, 5, 6 και 7 ενώ οι μεταβολές των χρονικών διαχωρισμών είναι λίγο

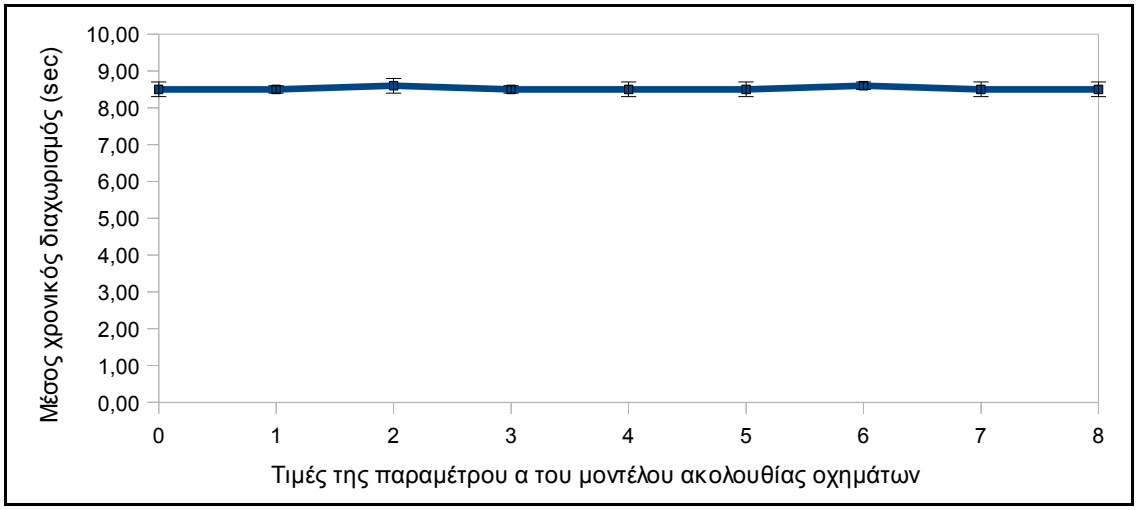
μεγαλύτερες. Οι μοναδικές μεταβολές για τους χρονικούς διαχωρισμούς παρουσιάζονται για το συνδυασμό 2 και το συνδυασμό 6.



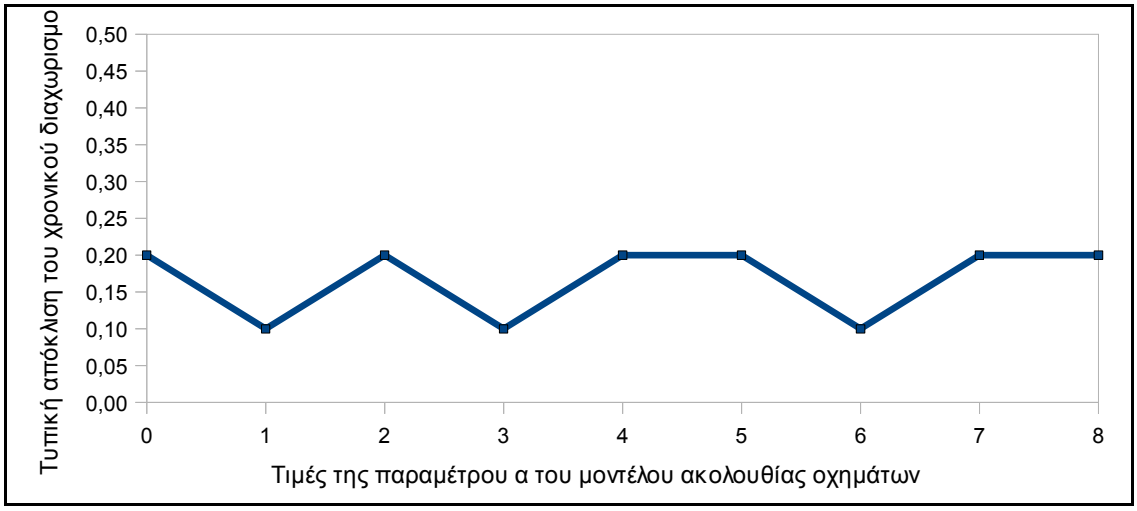
Διάγραμμα 6.19.: Απεικόνιση της μεταβολής του φόρτου συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 12.



Διάγραμμα 6.20.: Απεικόνιση της μεταβολής της τυπικής απόκλισης του φόρτου συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 12.



Διάγραμμα 6.21.: Απεικόνιση του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 12.



Διάγραμμα 6.22.: Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 12.

Αισθητήρας με κωδική ονομασία 19

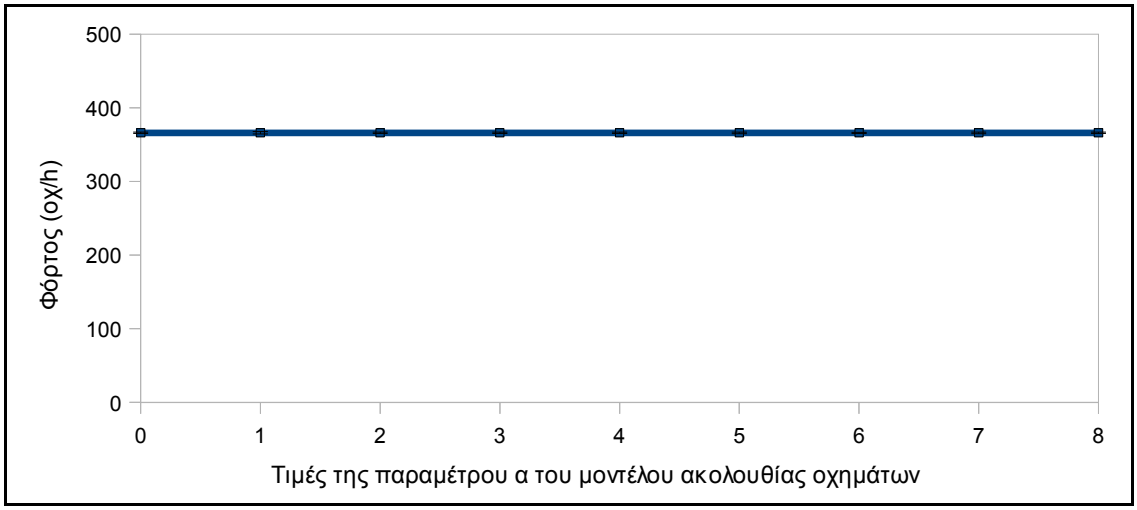
Ο αισθητήρας με κωδική ονομασία 19 βρίσκεται στην τρίτη κάθετη οδό, στο σημείο ακριβώς πριν τη διασταύρωση της οδού με την κύρια οδική αρτηρία. Το σημείο αυτό, επιλέχθηκε να εξεταστεί ώστε να διαπιστωθεί η μεταβολή του φόρτου των οχημάτων που εισέρχονται στην κύρια οδική αρτηρία κατά την εκκένωση και του χρονικού διαχωρισμού τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους μέσους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά μεταβολή παραμέτρου σε κάθε μοντέλο. Με βάση τις τιμές αυτές, θα διαπιστωθεί μέσω των διαγραμμάτων αν οι μεταβολές των παραμέτρων επιφέρουν αλλαγές στο φόρτο του σημείου και στο χρονικό διαχωρισμό των οχημάτων.

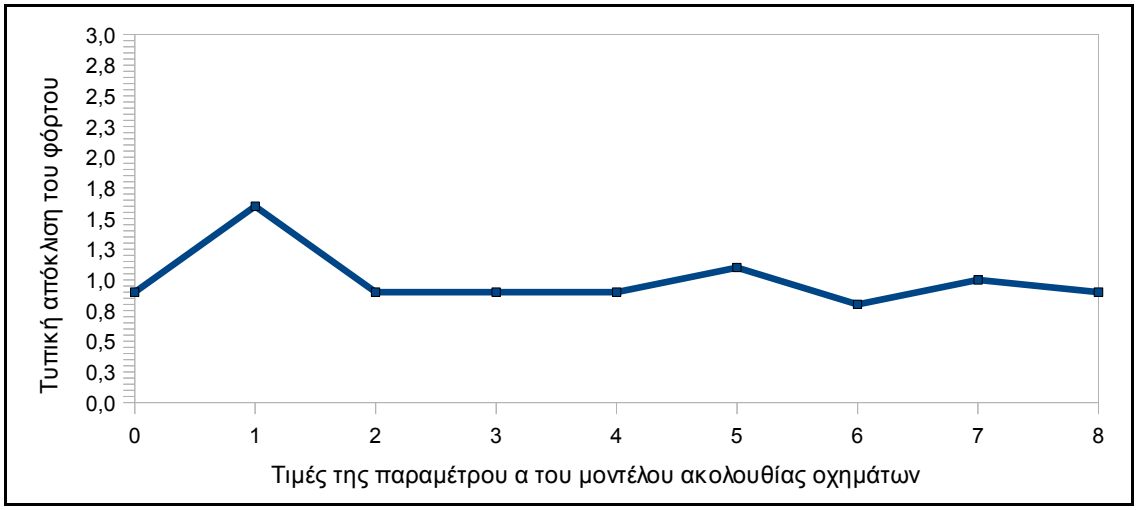
Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης	Φόρτος (οχ/h)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Μέσος χρονικός διαχωρισμός (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5	366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	366	0,00%	1,6	77,78%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	366	0,00%	0,9	0,00%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	366	0,00%	0,9	0,00%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	366	0,00%	1,1	22,22%	8,60	0,00%	0,2	0,00%
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	366	0,00%	0,8	-11,11%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	366	0,00%	1,0	11,11%	8,70	1,16%	0,1	-50,00%
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	366	0,00%	0,9	0,00%	8,60	0,00%	0,2	0,00%

Πίνακας 6.6.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για τον αισθητήρα 19.

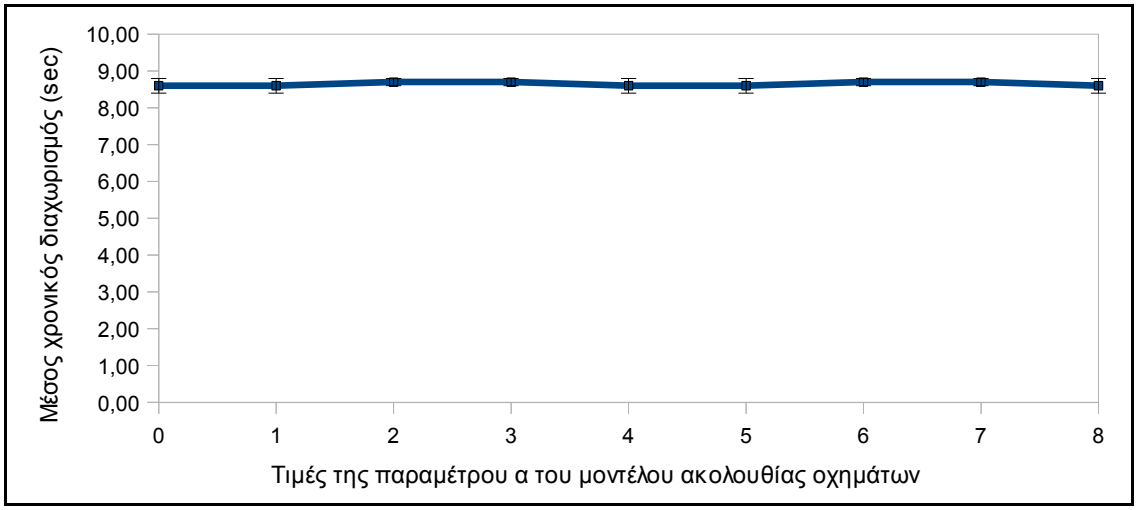
Παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στους φόρτους και στους χρονικούς διαχωρισμούς είναι πολύ μικρές, σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές στους φόρτους για κάθε μεταβολή μοντέλου είναι μηδενικές. Οι μοναδικές μεταβολές για τους χρονικούς διαχωρισμούς παρουσιάζονται για τους συνδυασμούς 2, 6 και 7.



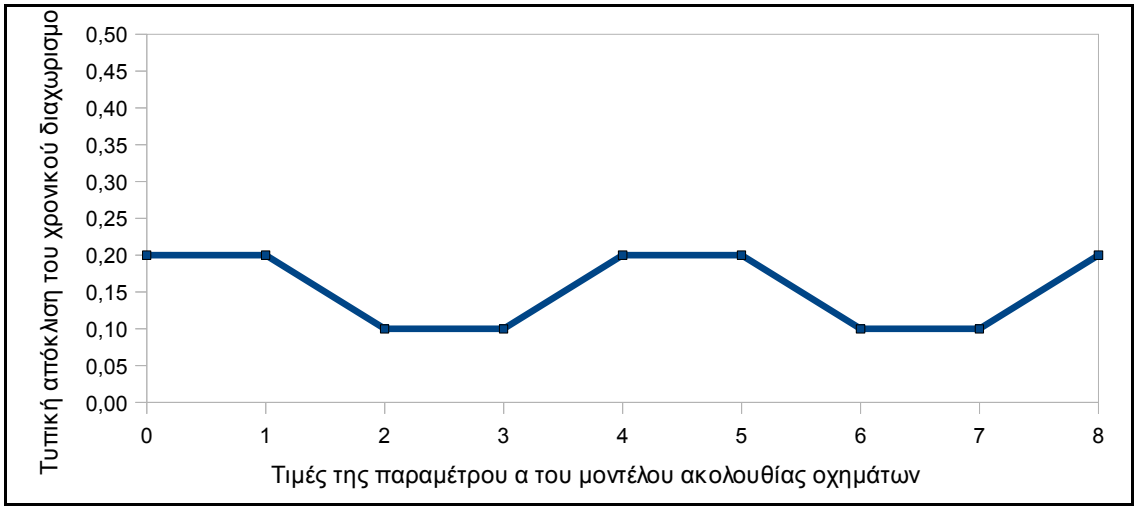
Διάγραμμα 6.23.: Απεικόνιση του φόρτου συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 19.



Διάγραμμα 6.24.: Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης του φόρτου συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 19.



Διάγραμμα 6.25.: Απεικόνιση του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 19.



Διάγραμμα 6.24.: Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τον αισθητήρα 19.

Αισθητήρες με κωδικές ονομασίες 20, 21 και 22

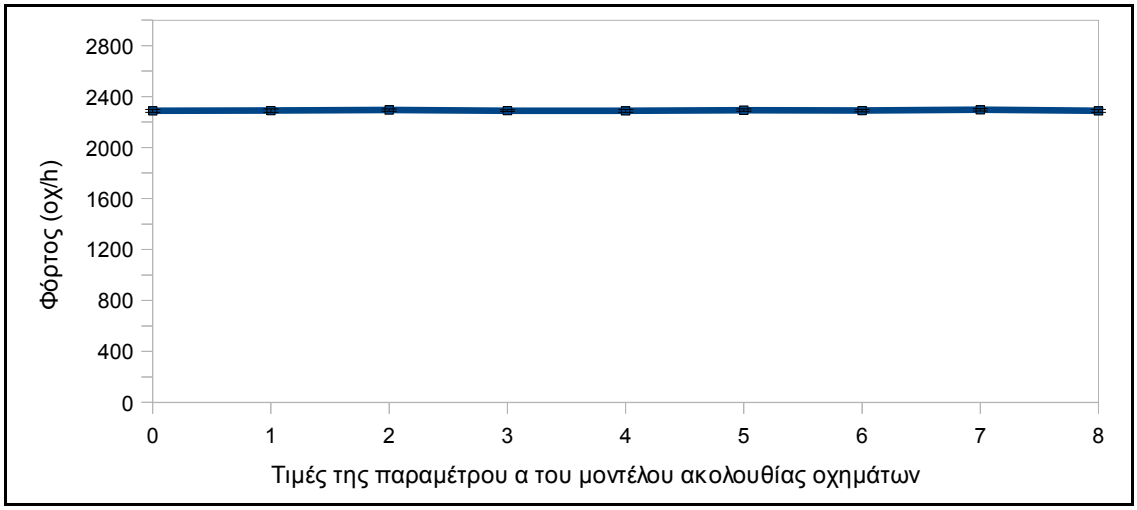
Οι αισθητήρες με κωδικές ονομασίες 20, 21 και 22, βρίσκονται στην κύρια οδική αρτηρία και συγκεκριμένα στο σημείο πριν την έξοδο των οχημάτων από το δίκτυο. Το σημείο αυτό, επιλέχθηκε ώστε να μελετηθεί η μεταβολή του φόρτου των οχημάτων που εξέρχονται από το δίκτυο και του χρονικού διαχωρισμού τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τους φόρτους και τους μέσους χρονικούς διαχωρισμούς που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά μεταβολή παραμέτρου σε κάθε μοντέλο. Με βάση τις τιμές αυτές, θα διαπιστωθεί μέσω των διαγραμμάτων αν οι μεταβολές των παραμέτρων επιφέρουν αλλαγές στο φόρτο του σημείου και στο χρονικό διαχωρισμό των οχημάτων. Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι οι φόρτοι και οι διαχωρισμοί παρουσιάζονται ανά λωρίδα κυκλοφορίας της κύρια οδικής αρτηρίας και ότι ο αισθητήρας με κωδική ονομασία 22 βρίσκεται στη λωρίδα αποκλειστικής διέλευσης λεωφορείων της οδού.

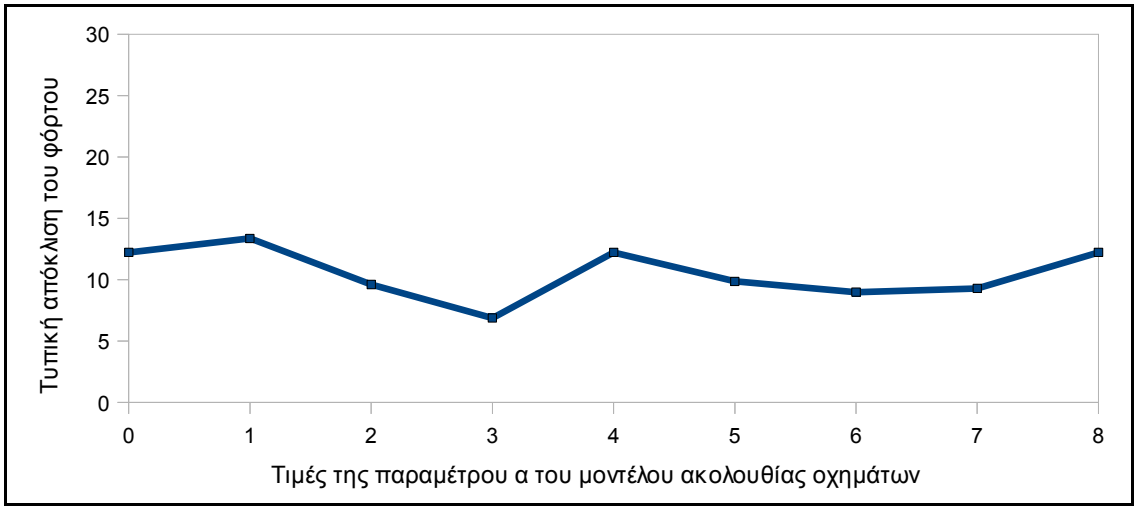
Συνδυασμός	Κρίσιμοι διαχωρισμοί	Όρια διαχωρισμών	Χρόνος υποχρεωτικής στάσης	Φόρτος (οχ/h)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %	Μέσος χρονικός διαχωρισμός (sec)	Μεταβολή %	Τυπική απόκλιση	Μεταβολή %
0	20-50-20-10	5-20-50-20-5	45-25-15-10-5	2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
1	30-40-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	2290	0,10%	13,36	9,33%	4,20	0,00%	0,08	14,29%
2	40-30-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	2295	0,30%	9,61	-21,36%	4,19	-0,24%	0,08	14,29%
3	30-40-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	2289	0,06%	6,87	-43,78%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
4	30-40-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%
5	30-40-20-10	30-40-25-5-0	60-25-10-5-0	2293	0,24%	9,86	-19,31%	4,19	-0,24%	0,08	14,29%
6	40-30-20-10	15-50-20-10-5	50-30-10-5-5	2290	0,10%	8,98	-26,51%	4,21	0,24%	0,07	0,00%
7	40-30-20-10	30-40-25-5-0	50-30-10-5-5	2296	0,37%	9,29	-23,98%	4,17	-0,71%	0,08	14,29%
8	40-30-20-10	15-50-20-10-5	60-25-10-5-0	2288	0,00%	12,22	0,00%	4,20	0,00%	0,07	0,00%

Πίνακας 6.7.: Συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.

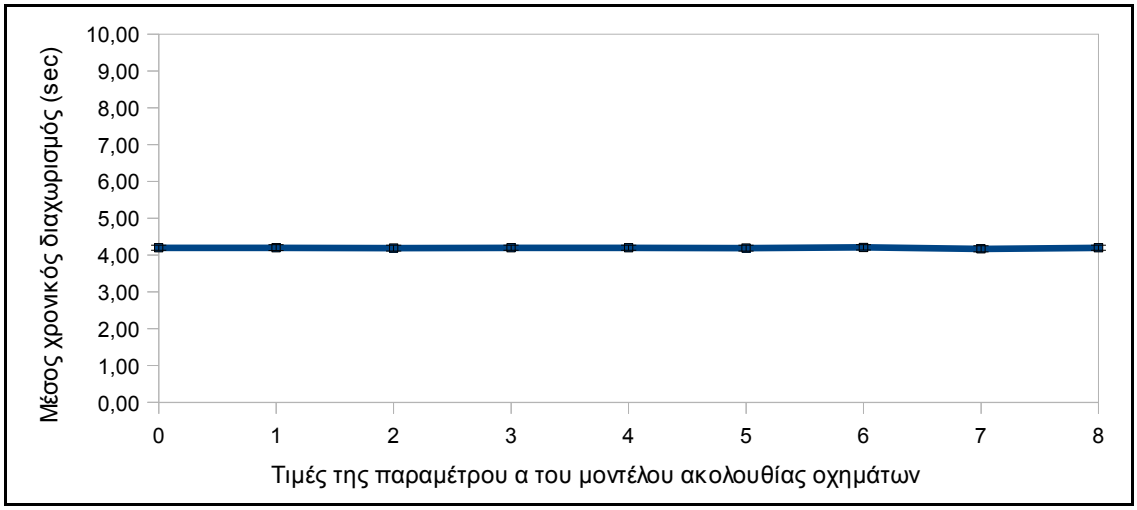
Παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στους φόρτους και στους χρονικούς διαχωρισμούς είναι πολύ μικρές, σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές στους φόρτους για κάθε μεταβολή μοντέλου είναι της τάξης του 0.3%, για τους συνδυασμούς 1, 2, 3, 5, 6 και 7 ενώ οι μεταβολές των χρονικών διαχωρισμών είναι λίγο μεγαλύτερες. Οι μοναδικές μεταβολές για τους χρονικούς διαχωρισμούς παρουσιάζονται για τους συνδυασμούς 2, 5, 6 και 7.



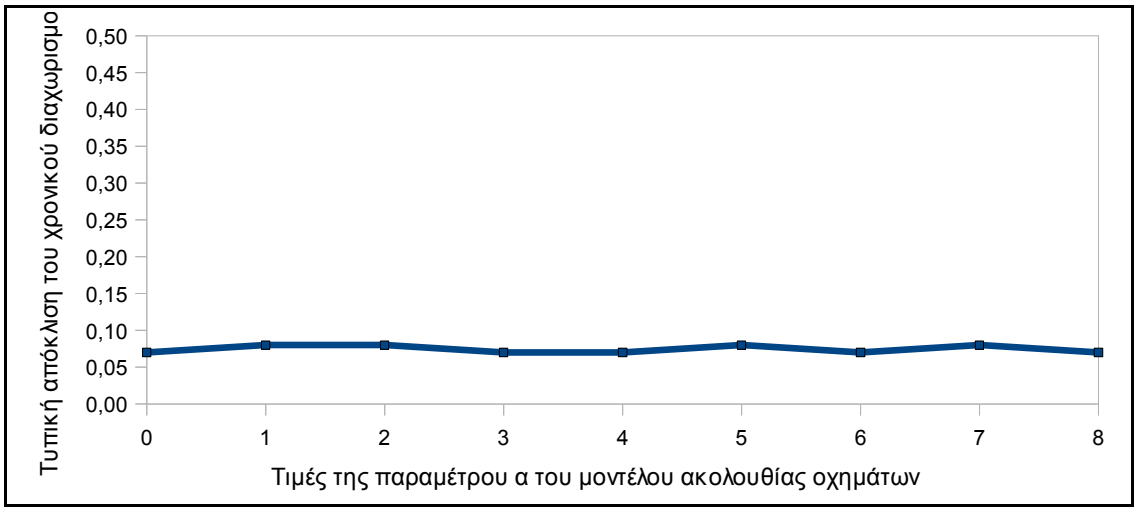
Διάγραμμα 6.25.: Απεικόνιση του φόρτου συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.



Διάγραμμα 6.26.: Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης του φόρτου συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.



Διάγραμμα 6.27.: Απεικόνιση του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.



Διάγραμμα 6.28.: Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης του μέσου χρονικού διαχωρισμού συναρτήσει των συνδυασμών που πραγματοποιήθηκαν για τους αισθητήρες 20, 21 και 22.

6.5. Σύνοψη και ερμηνεία αποτελεσμάτων

Στο στάδιο αυτό θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Αρχικά, παρατηρείται ότι τα κυκλοφοριακά μεγέθη που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές είναι ο χρόνος διαδρομής και η καθυστέρηση ανά όχημα. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι και τα σημαντικότερα για τη μελέτη της εργασίας, αφού κατά την εκκένωση, είναι σημαντικό να

υπολογίζεται ο χρόνος διαδρομής των οχημάτων από το σημείο προέλευσής τους μέχρι και το σημείο προορισμού τους, που αντιστοιχεί στο χρόνο εκκένωσης. Η καθυστέρηση αποτελεί τμήμα του συνολικού χρόνου διαδρομής για κάθε όχημα και είναι σημαντική η παρατήρηση της μεταβολής της αφού για τη βελτιστοποίηση της διεξαγωγής της εκκένωσης, οι καθυστερήσεις θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό ελάχιστες.

Ο φόρτος και ο χρονικός διαχωρισμός δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη διακύμανση. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δεδομένα αυτά είναι σημειακά. Αυτό σημαίνει ότι συλλέγονται από αισθητήρες για συγκεκριμένα σημεία του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, οι αισθητήρες μετρούν τα οχήματα που διέρχονται και υπολογίζουν τους φόρτους και τους διαχωρισμούς οι οποίοι σχετίζονται με τον αριθμό των οχημάτων που διέρχονται από το συγκεκριμένο σημείο. Είναι προφανές ότι η μεταβολή σε αυτά τα μεγέθη δε θα είναι σημαντική. Παρόλα αυτά, συμπεριλαμβάνονται στα αποτελέσματα για να υπάρχει πληρέστερη εικόνα του δικτύου στις συνθήκες που εξετάζονται.

Με βάση τις κινήσεις που αναλύθηκαν κάθε μια ξεχωριστά, παρατηρούνται συνοπτικά τα ακόλουθα φαινόμενα για τους συνδυασμούς των παραμέτρων οδηγικής συμπεριφοράς:

- Για την κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία, οι μέγιστες μεταβολές στο χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση επιφέρονται από το συνδυασμό των παραμέτρων συμπεριφοράς με τον αριθμό 7, ενώ οι μικρότερες μεταβολές παρατηρήθηκαν στο συνδυασμό 1.
- Για την κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό του δικτύου προς την κύρια οδική αρτηρία, οι μέγιστες μεταβολές παρουσιάζονται για τους συνδυασμούς 2 και 7 και οι ελάχιστες μεταβολές παρουσιάζονται στους συνδυασμούς 1 και 6.
- Για την κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό του δικτύου προς την κύρια οδική αρτηρία, οι μέγιστες μεταβολές στο χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση επιφέρονται από το συνδυασμό των παραμέτρων συμπεριφοράς με τον αριθμό 7, ενώ οι μικρότερες μεταβολές εμφανίζονται στο συνδυασμό 4.

6.5.1. Κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία

Η κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία είναι μια κίνηση ανεμπόδιστη, που διεξάγεται στις δύο από τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας και το μόνο στοιχείο που ανακόπτει την πορεία των οχημάτων είναι ο φωτεινός σηματοδότης, αφού οι στρεφόμενες κινήσεις προς αυτή την οδό πραγματοποιούνται στην τρίτη λωρίδα. Ο σηματοδότης αναγκάζει τα οχήματα να ανακόψουν την πορεία τους για μερικά δευτερόλεπτα, στο μεγαλύτερο όμως η κυκλοφορία ρέει με αμείωτο ρυθμό. Εφόσον τα οχήματα δεν επηρεάζονται από τις στρεφόμενες κινήσεις σε μεγάλο βαθμό, είναι λογικό να μη μεταβληθεί σημαντικά ούτε ο χρόνος διαδρομής ούτε και η καθυστέρηση.

Για την κίνηση αυτή, ο συνδυασμός με τις μεγαλύτερες μεταβολές είναι ο συνδυασμός 7, στον οποίο, το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1.5 sec για τη συμβολή και 1.5 sec για τη διάσχιση διασταυρώσεων, το 40% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Ο συνδυασμός επιφέρει μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1.3% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 2%. Οι μεταβολές είναι μικρές, για το λόγο ότι τα μοντέλα αυτά δεν επηρεάζουν άμεσα την κίνηση αυτή, αλλά και οι κινήσεις τις οποίες επηρεάζουν, δε δυσχεραίνουν την επίτευξη της κίνησης στην κύρια οδική αρτηρία. Το μόνο από τα μοντέλα που έχει επίπτωση είναι τα όρια των διαχωρισμών και στην περίπτωση αυτή, η επιθετικότητα των οδηγών μειώνει το χρόνο διαδρομής και την καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός με τις μικρότερες μεταβολές είναι ο συνδυασμός 1 όπου το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1.5 sec για τη συμβολή και 1.5 sec για τη διάσχιση διασταυρώσεων, το 50% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Ο συνδυασμός 1 επιφέρει πολύ μικρή μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0.09% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 0.24%. Ο συνδυασμός αυτός έχει τις ίδιες μεταβολές με το συνδυασμό 7, με μόνη διαφορά στα όρια χρονικών διαχωρισμών για τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Περισσότεροι οδηγοί αποδέχονται μικρότερα όρια που καθορίζουν το καθεστώς κίνησής τους, άρα πλησιάζουν περισσότερο μεταξύ τους και το δίκτυο τείνει να βρεθεί σε κορεσμένη και στάσιμη κατάσταση, αφού είναι πιθανό να δημιουργηθούν ουρές. Για το λόγο αυτό οι μεταβολές είναι μικρότερες.

6.5.2. Κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό

Η κίνηση από την πρώτη κάθετη οδό στην κύρια οδική αρτηρία, είναι μία από τις δύο κινήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, αφού μέσω της κίνησης αυτής εκφράζεται η εκκένωση της περιοχής μελέτης.

Για την κίνηση αυτή, οι συνδυασμοί με τις μεγαλύτερες μεταβολές είναι οι συνδυασμοί 7 και 2. Στο συνδυασμό 7, το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1 sec για τη συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, το 40% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση.

Στο συνδυασμό 2, το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1 sec για τη συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, το 40% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 60% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Στο συνδυασμό 7, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 24% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 32.5%. Στο συνδυασμό 2, παρουσιάζεται μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 25% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 30%.

Οι οδηγοί στην περίπτωση αυτή είναι περισσότερο επιθετικοί στο σύνολο της διαδρομής τους, αφού κινούνται μέχρι τη διασταύρωση με μικρότερα όρια χρονικών διαχωρισμών, άρα κινούνται πιο κοντά το ένα όχημα στο άλλο, περιμένουν λιγότερο χρόνο στο σήμα stop και συμβάλλουν αποδεχόμενοι μικρότερους διαχωρισμούς.

Οι συνδυασμοί με τις μικρότερες μεταβολές είναι οι συνδυασμοί 1 και 6. Στο συνδυασμό 1, το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1.5 sec για τη συμβολή και 1.5 sec για τη διάσχιση διασταυρώσεων, το 50% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Ο συνδυασμός 1 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 13.5% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 16%.

Στο συνδυασμό 6 το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1 sec για τη συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, το 50% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Ο συνδυασμός 6 επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 13% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και της καθυστέρησης κατά 16%.

6.5.3. Κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό

Η κίνηση από την τρίτη κάθετη οδό στην κύρια οδική αρτηρία, είναι η δεύτερη από τις δύο κινήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, αφού μέσω και αυτής της κίνησης εκφράζεται η εκκένωση της περιοχής μελέτης. Για την κίνηση αυτή, ο συνδυασμός με τις μεγαλύτερες μεταβολές είναι ο συνδυασμός 7, στον οποίο, το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1.5 sec για τη συμβολή και 1.5 sec για τη διάσχιση διασταυρώσεων, το 40% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη

κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Για το συνδυασμό 7, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 1.3% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 12%.

Οι οδηγοί και στην περίπτωση αυτή είναι περισσότερο επιθετικοί στο σύνολο της διαδρομής τους, αφού κινούνται μέχρι τη διασταύρωση με μικρότερα όρια χρονικών διαχωρισμών, άρα κινούνται πιο κοντά το ένα όχημα στο άλλο, περιμένουν λιγότερο χρόνο στο σήμα stop και συμβάλλουν αποδεχόμενοι μικρότερους διαχωρισμούς.

Ο συνδυασμός με τις μικρότερες μεταβολές είναι ο συνδυασμός 4 όπου το 40% των οδηγών αποδέχεται διαχωρισμό 1.5 sec για τη συμβολή και 1.5 sec για τη διάσχιση διασταυρώσεων, το 40% των οδηγών αποδέχεται όρια διαχωρισμών για την ακολουθία οχημάτων από 0.3 – 2.46 sec και για το 50% των οδηγών, ο χρόνος αναμονής στα σημεία υποχρεωτικής στάσης είναι μηδενικός όταν δεν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση, ή 0.5 sec όταν υπάρχει εμπλεκόμενη κίνηση. Για το συνδυασμό 4, παρουσιάζεται μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 0.6% σε σχέση με τις βασικές συνθήκες και μείωση στην καθυστέρηση κατά 0.6%.

7. Συμπεράσματα

Συνθήκες έκτακτης ανάγκης, συχνά αναγκάζουν τους κατοίκους μιας περιοχής να καταφύγουν σε εκκένωση της περιοχής και εγκατάλειψη των σπιτιών και των περιουσιών τους. Το σημαντικότερο όμως είναι η διαφυγή των κατοίκων και προστασία της ίδιας τους της ζωής. Στην ενέργεια αυτή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ανθρώπινη συμπεριφορά σε σχέση με τον τρόπο οδήγησης κάτω από αυτές τις ιδιαίτερες συνθήκες. Η οδηγική συμπεριφορά σε καταστάσεις εκκένωσης περιοχής διαφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό σε σχέση με τη συμπεριφορά υπό φυσιολογικές συνθήκες. Υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης, στους οδηγούς κυριαρχεί το άγχος και η ανησυχία για την ασφάλειά τους. Η κατάσταση αυτή τείνει να τους οδηγεί σε πιο επιθετική συμπεριφορά, προκειμένου να εγκαταλείψουν όσο το δυνατό συντομότερα τη ζώνη κινδύνου.

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να συλλεχθεί πληροφορία σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά σε τέτοιες καταστάσεις. Οι προτεραιότητες είναι διαφορετικές με κυριότερη τη διασφάλιση των μετακινήσεων σε ασφαλείς περιοχές χωρίς προβλήματα. Όμως και η ίδια η συμπεριφορά ποικίλλει από οδηγό σε οδηγό, καθιστώντας δύσκολη τη συλλογή δεδομένων για ομαδοποίηση και μοντελοποίησή της. Για το λόγο αυτό, η μελέτη της οδηγικής συμπεριφοράς διευκολύνεται με τη χρήση προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από τη μικροσκοπική προσομοίωση, η οδηγική συμπεριφορά περιγράφεται με μοντέλα που καθορίζουν διαφορετικές πτυχές της όπως η συμπεριφορά σε προσέγγιση και διάσχιση διασταυρώσεων, αλλαγή λωρίδας και επιτάχυνση.

Η επίδραση της οδηγικής συμπεριφοράς στην έκβαση της εκκένωσης μιας περιοχής, είναι ένα σύνθετο ζήτημα που αποτελείται από πολλά στοιχεία και το οποίο αναλύθηκε στα πλαίσια της μελέτης αυτής. Η ανάλυση περιλάμβανε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο μελετήθηκε με τη χρήση του λογισμικού TransModeler η επίδραση διαφορετικών οδηγικών παραμέτρων σε ένα δίκτυο εκκένωσης, για κάθε παράμετροι ξεχωριστά. Στο δεύτερο στάδιο, επιλέχθηκαν οι παράμετροι που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επίπτωση και συνδυάστηκαν ώστε να μελετηθεί η πιο σύνθετη μεταβολή στην επιθετικότητα των οδηγών. Από αυτές τις μελέτες προέκυψαν και κάποια ουσιαστικά συμπεράσματα.

7.1. Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας επιτεύχθηκε με την εκτέλεση μιας σειράς προσομοιώσεων, στις οποίες καθορίστηκε να μεταβληθούν ορισμένες παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς όπως παρουσιάζονται στον προσομοιωτή TransModeler. Τα μοντέλα συμπεριφοράς των οδηγών που εξετάστηκαν ήταν τα εξής:

- Μοντέλο ακολουθίας οχημάτων.

- Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης.
- Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων.
- Μοντέλο διαχωρισμών για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.

Κάθε μεταβολή κάθε παραμέτρου εξετάστηκε ξεχωριστά ως προς την επίδρασή της στο χρόνο διαδρομής, την καθυστέρηση, το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για όλες τις κινήσεις ενός δικτύου που δημιουργήθηκε με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης. Για το πείραμα αυτό εξετάστηκαν οι μεταβολές που επιφέρονται στα μεγέθη που αναφέρθηκαν σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες ροής των οχημάτων. Από τα πειράματα αυτά προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς που επιφέρουν τις μεγαλύτερες μεταβολές είναι το μοντέλο των κρίσιμων χρονικών διαχωρισμών για τη συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων, το μοντέλο των ορίων χρονικών διαχωρισμών για το καθεστώς κίνησης των οχημάτων σχετικά με τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις και το μοντέλο του χρόνου στάσης σε σήματα υποχρεωτικής στάσης (stop).
- Οι κινήσεις που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές και έχουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι οι κινήσεις από τις κάθετες οδούς προς την κύρια οδική αρτηρία, δηλαδή οι οδοί που εξυπηρετούν την εκκένωση και δευτερευόντως η διαμπερής κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία, δηλαδή η οδός με βάση την οποία διεξάγεται η έξοδος των οχημάτων από το δίκτυο. Οι κινήσεις αυτές εκφράζουν και τη ροή της εκκένωσης για το δίκτυο που μελετάται.
- Οι κινήσεις με μικρό αριθμό διελεύσεων οχημάτων, όπως οι κινήσεις πρόσβασης προς την περιοχή εκκένωσης, δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις μεταβολές των μοντέλων οδηγικής συμπεριφοράς.

7.2. Αλληλεπίδραση μοντέλων συμπεριφοράς

Η μελέτη της αλληλεπίδρασης των μοντέλων συμπεριφοράς, περιλάμβανε μια σειρά προσομοιώσεων οι οποίες αποτελούν συνδυασμούς των μεταβολών των τριών μοντέλων που θεωρήθηκε ότι είχαν τη μεγαλύτερη επίδραση με βάση την ανάλυση ευαισθησίας. Τα τρία μοντέλα με τη μεγαλύτερη επίδραση ήταν τα εξής:

- Μοντέλο συμπεριφοράς σε σήματα υποχρεωτικής στάσης.
- Μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών για συμβολή και διάσχιση διασταυρώσεων.
- Μοντέλο διαχωρισμών για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.

Με βάση δύο μεταβολές για κάθε μοντέλο, δημιουργήθηκαν συνδυασμοί και προέκυψαν αποτελέσματα για το χρόνο διαδρομής, την καθυστέρηση, το φόρτο και το χρονικό διαχωρισμό για όλες τις κινήσεις του δικτύου που εξετάζεται. Και σε αυτό το πείραμα εξετάστηκαν οι μεταβολές που επιφέρονται στα μεγέθη που αναφέρθηκαν σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες ροής των οχημάτων. Από τα πειράματα αυτά προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι μικρότερες μεταβολές για την κίνηση στην κύρια οδική αρτηρία που εξυπηρετεί την έξοδο των οχημάτων από το δίκτυο, προκύπτουν για το συνδυασμό ήπιων μεταβολών και για τις τρεις παραμέτρους, ενώ η μέγιστη μεταβολή παρουσιάζεται για μεγαλύτερη μεταβολή στα μοντέλα κρίσιμων διαχωρισμών και ορίων διαχωρισμών και ηπιότερη μεταβολή στο μοντέλο του χρόνου στάσης.
- Για την πρώτη κίνηση που εξυπηρετεί τις ανάγκες της εκκένωσης και διοχετεύει τις κινήσεις στην κύρια οδική αρτηρία του δικτύου, οι μέγιστες μεταβολές παρουσιάζονται για το συνδυασμό των πιο έντονων μεταβολών και στις τρεις παραμέτρους, αλλά αντίστοιχες είναι και οι μεταβολές για το συνδυασμό μεγαλύτερης μεταβολής στα μοντέλα κρίσιμων διαχωρισμών και ορίων διαχωρισμών και ηπιότερης μεταβολής στο μοντέλο του χρόνου στάσης. Οι μικρότερες μεταβολές παρουσιάζονται για το συνδυασμό των ηπιότερων μεταβολών και για τις τρεις παραμέτρους, αλλά και για το συνδυασμό όπου υπάρχει έντονη μεταβολή στο μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών και ηπιότερη μεταβολή στα άλλα δύο μοντέλα.
- Οι μικρότερες μεταβολές για τη δεύτερη κίνηση που εξυπηρετεί την εκκένωση και διοχετεύει τις κινήσεις στην κύρια οδική αρτηρία του δικτύου, προκύπτουν για το συνδυασμό όπου υπάρχουν ήπιες μεταβολές για το μοντέλο κρίσιμων διαχωρισμών και το μοντέλο του χρόνου στάσης και έντονη μεταβολή του μοντέλου ορίων χρονικών διαχωρισμών. Η μέγιστη μεταβολή παρουσιάζεται για μεγαλύτερη μεταβολή στα μοντέλα κρίσιμων διαχωρισμών και ορίων διαχωρισμών και ηπιότερη μεταβολή στο μοντέλο του χρόνου στάσης.

Βιβλιογραφία - Αναφορές

Aguirre B. E. (2005), **Commentary on understanding mass panic and other collective responses to threat and disaster: emergency evacuations, panic, and social psychology**, *Psychiatry, Vol. 68*, pp. 121-129

Alsnih R., P. R. Stopher (2004), **Review of the Procedures Associated with Devising Emergency Evacuation Plans**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1865,* pp. 89-97

Antoniou C., R. Balakrishna, H. N. Koutsopoulos (2008), **Emerging Data Collection Technologies and their Impact on Traffic Management Applications**, *Proceedings of the 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens, Greece*

Balakrishna R., Y. Wen, M. Ben-Akiva, C. Antoniou (2008), **Simulation-Based Framework for Transportation Network Management in Emergencies**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2041,* pp. 80-88

Barceló J. (2002), **Dynamic Network Simulation with AIMSUN**, *Proceedings of the International Symposium of Transport Simulation, Yokohama, Japan*, pp. 1-25

Barrett B., B. Ran, R. Pillai (2000), **Developing a dynamic traffic management modeling framework for hurricane evacuation**. *Transportation Research Record, Vol. 1733*, pp. 115-121

Batty M., J. DeSyllas, E. Duxbury (2002), **The discrete dynamics of small-scale spatial events: Agent-based models of mobility in carnivals and street parades**, *Int J Geogr Inf Sci, Nr. 17,* pp. 673-697

Ben-Akiva M., M. Bierlaire, H. Koutsopoulos, R. Mishalani (1998), **DynaMIT: a simulation-based system for traffic prediction**, *DACCORD Short Term Forecasting Workshop, Delft The Netherlands*

Ben-Akiva M., H. N. Koutsopoulos, C. Antoniou, R. Balakrishna (2010), **Traffic Simulation with DynaMIT**, *In J. Barcelo (ed.) "Fundamentals of traffic simulation", (ISBN: 978-1-4419-6141-9), Springer*

Bogers E. A. I., F. Viti, S. P. Hoogendoorn (2004), **Joint modeling of ATIS, habit and learning impacts on route choice by laboratory simulator experiments**, *Transportation Research Record 1926*, pp. 189-197

Bronzini M. S., R. Kicinger (2006), **Conceptual Model of a Self-Organizing Traffic Management Hazard Response System**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1942,* pp. 1-8

Burghout W. (2004), **Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation**, *Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden,* pp.14-23

Cameron G, G. Duncan (1996), **Paramics: parallel microscopic simulation of road traffic**, *Journal of Supercomputing, Vol. 10,* pp. 25-53

Chakraborty J., G. A. Tobin, B. E. Montz (2004), **Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in**

Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards , *National Hazards Review, Vol. 6, No. 1*

Chen X., J. W. Meaker, F. B. Zhan (2006), **Agent-Based Modeling and Analysis of Hurricane Evacuation Procedures for the Florida Keys**, *Natural Hazards, Vol. 38,* pp. 321-338

Cheng G., C. G. Wilmot, E. J. Baker (2008), **A destination choice model for hurricane evacuation**, *Proceedings of the 87th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington, DC, USA*

Chiu Y. C. (2004), **Traffic Scheduling Simulation and Assignment for Area-Wide Evacuation** , *Intelligent Transportation Systems, The 7th International IEEE Conference*, pp. 537-542

Chiu Y. C., P. Korada, P. B. Mirchandani (2005), **Dynamic Traffic Management for Evacuation**, *Transportation Research Board*, *84th annual meeting, Washington D.C., U.S.A.*

Church R. L., T. J. Cova (2000), **Mapping evacuation risk on transportation networks using a spatial optimization model**, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 8, Issue 1-6,* pp. 321-336

Cova T. J., J. P. Johnson (2001), **Microsimulation of neighborhood evacuations in the urban - wildland interface** , *Environment and Planning A, volume 34,* pp. 2211-2229

Cova T. J., P. J. Justin (2001), **A network flow model for lane-based evacuation routing**, *Transportation Research, Part A, Vol. 37*, pp. 579-604

Cuellar L., D. Kubicek, N. Hengartner, A. Hansson (2009), **Emergency relocation: population response model to disasters**, *Proceedings of the IEEE Conference on Technologies for Homeland Security, Boston, MA, USA,* pp. 628-635

Cutter S. L., J. T. Mitchell, M. S. Scott (2000), **Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina**, *Ann. Assoc. Am. Geogr., 90(4)*, pp. 713-737.

Daganzo F. C. (1994), **The Cell Transmission Model: A Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent With the Hydrodynamic Theory**, *Transportation Research Part B, Vol. 28B, No. 4,* pp. 269-287

Doshi A., M. M. Trivedi (2009), **On the roles of eye gaze and head dynamics in predicting driver's intent to change lanes**, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol 10, no. 3*

Doshi A., M. M. Trivedi (2010), **Examining the Impact of Driving Style on the Predictability and Responsiveness of the Driver: Real - world and Simulator Analysis**, *Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, University of California, San Diego, U.S.A.*

ElDessouki W. M. (1998), **Some Developments in Transportation Network Analysis and Design with Application to Emergency Management Problems**, *Ph.D. Dissertation, North Carolina State University*

Elmitiny N., S. Ramasamy, E. Radwan (2007), **Transit Facilities' Emergency Evacuation Planning and Preparedness Using Traffic Simulation**, *The 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Fellendorf M. (1994), **A microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control including Bus Priority**, *Proceedings of the 64th I.T.E. Annual Meeting, Dallas, U.S.A.*

Feng C. M., C. C. Wen (2003), **Traffic Control Management for Earthquake-Raided Area**, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5,* pp. 3261-3275

Fu H., C. G. Wilmot (2004), **Sequential Logit Dynamic Travel Demand Model for Hurricane Evacuation**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1882,* pp. 19-26

Fu H., C. G. Wilmot (2006), **Survival Analysis-based Dynamic Travel Demand Models for Hurricane Evacuation**, *The 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Fu H., C. G. Wilmot (2007), **Static Versus Dynamic and Aggregate Versus Disaggregate: Comparison Between Practice and Research in Hurricane Evacuation Travel Demand Modeling**, *The 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Fu H., C. G. Wilmot, H. Zhang, E. J. Baker (2008), **Modeling the Hurricane Evacuation Response Curve**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2022,* pp. 94-102

Goldblatt R. (2004), **Evacuation Planning: A Key Part of Emergency Planning**, *The 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Golias I., M. G. Karlaftis (2000), **An international comparative study of self - reported driver behavior**, *Transportation Research Part F, Volume 4,* pp. 243-256

Hamacher H. W., S. A. Tjandra (2002), **Mathematical Modeling of Evacuation Problems: A state of the art Pedestrian and Evacuation Dynamics**, *Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 24*, pp. 227-266

Han L. D. (2005), **Evacuation Modeling and Operations Using Dynamic Traffic Assignment and Most Desirable Destination Approaches**, *The 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Henson K. M., K. G. Goulias (2006), **Preliminary Assessment of Activity and Modeling for Homeland Security Applications**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1942,* pp. 23-30

Hidas P. (2002), **Modeling lane changing and merging in microscopic traffic simulation**, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 10, Issues 5-6, October-December 2002,* pp. 351-371

Hori T., M. Shiiba (2004), **Micro Model Simulation Tools for Performance-based Design of a Flood Risk Management System**, *Journal of Natural Disaster Science, Vol. 26, No. 2,* pp. 73-80

Jan O., A. J. Horowitz, Z. R. Peng (2000), **Using global positioning system data to understand variations in path choice**, *Transportation Research Record, vol. 1725,* pp. 37-44

Jha M., K. Moore, B. Pashaie (2004), **Emergency Evacuation Planning with Microscopic Traffic Simulation**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1886,* pp.

40-48

Kongsomsaksakul S., A. Chen, C. Yang (2005), **Shelter location-allocation model for flood evacuation planning**, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6,* pp. 4237-4252

Koutsopoulos H. N., A. Polydoropoulou, M. Ben – Akiva (1995), **Travel simulators for data collection on driver behavior in the presence of information**, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 3, Issue 3*, pp.143-159

Kwon E., S. Pitt (2005), **Evaluation of Emergency Evacuation Strategies for Downtown Event Traffic Using a Dynamic Network Model**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1922,* pp. 149-155

Laefer D. F., A. R. Pradhan (2006), **GIS-based Disaster Management Systems: Cogent Data Framework**, *The 85th Annual Meeting Compendium of Papers, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., U.S.A.*

Lämmel G., M. Rieser, K. Nagel, H. Taudenböck, G. Strunz, N. Goseberg, T. Schlurmann, H. Klüpfel, N. Setiadi, J. Birkmann (2008), **Emergency Preparedness in the Case of a Tsunami – Evacuation Analysis and Traffic Optimization for the Indonesian City of Padang**, *Proceedings of the 4th Interantional Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Wuppertal, Germany*

Li H., R. Guensler, J. Ogle (2005), **An Analysis of Morning Commute Route Choice Patterns Using GPS Based Vehicle Activity Data**, *Journal of the Transportation Research Board, vol. 1926,* pp. 162-170

Lieberman E., A. J. Rathi (1997), **Traffic Flow Theory**, *Washington, D.C.: US Federal Highway Administration,* pp.10-1 – 10-7

Liu H. X., J. X. Ban, W. Ma, P. B. Mirchandani (2006), **Model Reference Adaptive Control Framework for Real-Time Traffic Management Under Emergency Evacuation**, *The 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Liu Y., X. Lai, G.-L. Chang (2005), **Two-Level Integrated Optimization Model for Planning of Emergency Evacuation: Case Study of Ocean City, Maryland, Under Hurricane Evacuation**, *The 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Liu Y., X. Lai, G.-L. Chang (2006), **A Cell-Based Network Optimization Model for Staged Evacuation Planning Under Emergencies**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1964,* pp. 127-135

Lively D., O. Elhamshary, B. Tournay (2006), **Advanced Traveler Information Systems: Overview of California's System Application and Its Performance as Part of Emergency Response Planning**, *The 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Lu Q., B. George, S. Shekhar (2003), **Capacity Constrained Routing Algorithms for Evacuation Planning: A Summary of Results**, *Department of Computer Science and Engineering, University of Minnesota , Lecture Notes in Computer Science, Volume 3633/2005,* pp. 291-307

Mahmassani H.S., T. Hu, R. Jaykrishnan (1995), **Urban Traffic Networks: Dynamic Flow Modeling and Control**, *Springer, New York*

Moeller M, T. Urbanik, A. Desrosiers (1981), **CLEAR (calculated logical evacuation and response): a generic transportation network evacuation model for the calculation of evacuation time estimates**, *Nuclear Regulatory Commission by Pacific Northwest Laboratory, NUREG/CR-2504,Washington, DC*

Ng M., T. Waller (2010), **Reliable Evacuation Planning via Demand Inflation and Supply Deflation**, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 46, Issue 6,* pp. 1086-1094

Ozbay K., M. A. Yazici, S. I.-J. Chien (2006), **Study of the Networkwide Impact of Various Demand Generation Methods Under Hurricane Evacuation Conditions**, *The 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Pal A., A. J. Graettinger, M. H. Triche (2002), **Emergency evacuation modeling based on Geographical Information System data**, *Transportation Research Board*, *82nd annual meeting, Washington D.C., U.S.A.*

Peeta S., A. K. Ziliaskopoulos (2001), **Foundations of Dynamic Traffic Assignment: The Past, the Present and the Future**, *Networks and Spatial Economics, vol. 1*

Pel A. J., M. C. J. Bliemer, S. P. Hoogendoorn (2010), **A review on travel behaviour modeling in dynamic traffic simulation models for evacuations**, *Transportation, Vol. 38, Springer Netherlands*, DOI: 10.1007/s11116-011-9320-6

Ploss G., P. Vortisch (2006), **Estimating Real-Time Urban Traffic States in VISUM Online**, *PIARC International Seminar on Intelligent Transport Systems (ITS) In Road Network Operations, Kuala Lumpur, Malaysia*

Plowman T. (2001), **Danger! Hurricane coming**. *Planning 67(12)***,** pp. 16-21

Polak J., K. Axhausen (1990), **Driving simulators and behavioral travel research**, *Oxford University Transport Studies Unit, Oxford, U.K.* Ref. 559.

Pravinvongvuth S. (2010), **Development and Application of the First Large-Scale Hybrid Meso-Microsimulation Model in Practice**, *Transportation Research Board*, *90th annual meeting*

Radwan E., S. Mitchell (2006), **Heuristic Priority Ranking of Emergency Evacuation Staging to Reduce Clearance Time**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1964,* pp. 219-228

Ragatt P., E. Butterworth, S. Morrissey (1993), **Issues in natural disaster management: community response to the threat of tropical cyclones in Australia**, *Disaster Prevention Management, Vol. 2*, pp. 12-21

Rakha H. A., A. M. Tawfik (2009), **Traffic Networks: Dynamic Traffic Routing, Assignment and Assessment**, *Encyclopedia of Complexity and Systems Science,* pp. 9429-9470

Regnier E. (2006), **Public Evacuation Decisions and Hurricane Track Uncertainty**, *Management Science, Vol. 54, No. 1,* pp. 16-28

Rontiris K., W. Crous (2000), **Emergency Evacuation Modeling for the Koeberg Nuclear Power Station**, *The 2nd Asian EMME/2 Users' Meeting.*

Rosenbloom T. (2006), **Driving performance while using cell phones: an observational study**, *Journal of Sfety Research, vol. 37,* pp. 207-212

Saadatseresht M., A. Mansourian, M. Taleai (2007), **Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach**, *European Journal of Operational Research, Vol. 198,* pp. 305-314

Shekhar S., S. Kim (2006), **Contraflow Transportation Network Reconfiguration for Evacuation Route Planning**, *Minnesota Department of Transportation*

Sherali H. D., T. B. Carter and A. G. Hobeika (1991), **A Location-Allocation Model and Algorithm for Evacuation Planning under Hurricane/Flood Conditions**, *Transportation Research Part B*, *Vol. 25, No. 6*, pp. 439-452

Snare M. (2002), **Dynamics Model for Predicting Maximum and Typical Acceleration Rates of Passenger Vehicles**, *Doctoral Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, U.S.A.*

Sorensen J. H., B. M. Vogt, D. Mileti (1987), **Evacuation: An Assessment of Planning and Research**, *Oak Ridge National Laboratory ORNL-6376, Tennessee*

Talaat H., B. Abdulhai (2006), **Modeling Driver Psychological Deliberation During Dynamic Rote Selection Processes**, *Intelligent Transportation Systems Conference, IEEE,* pp. 695-700

Taubenböck H., N. Goseberg, N. Setiadi, G Lämmel, F. Moder, M. Oczipka, H. Klüpfel, R. Wahl, T. Schlurmann, G. Strunz, J. Birkmann, K. Nagel, F. Siegert, F. Lehmann, S. Dech, A. Gress, R. Klein (2009), **"Last-Mile" Preparation for a Potential Disaster – Interdisciplinary Approach towards Tsunami Early Warning and an Evacuation Information System for the Coastal City of Padang, Indonesia**, *Natural Hazards Earth System Sciences, Vol. 9,* pp. 1509-1528

Tawfik A. M., H. A. Rakha, S. D. Miller (2010), **Driver Route Choice Behavior: Experiences, Perceptions and Choices**, *Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, University of California, San Diego, U.S.A.*

Taylor N. B. (2003), **The CONTRAM dynamic traffic assignment model**, *Networks and Spatial Economics, 3,* pp. 297-322

TransModeler User's Guide and User's Guide Supplement, Caliper Corporation (2010)

Tu H., G. Tamminga, H. Drolenga (2010), **The impacts of driving behaviors on traffic safety in case of evacuation**, *12th World Conference on Transport Research Society, Lisbon, Portugal*

Tu H., G. Tamminga, H. Drolenga, J. de Wit, W. van der Berg (2010), **Evacuation Plan of the City of Almere: Simulating the Impact of Driving Behavior on Evacuation Clearance Time**, *Procedia Engineering 3,* pp. 67-75

Tuydes H. and A. K. Ziliaskopoulos (2004), **Network Re-design to Optimize Evacuation Contraflow**, *Transportation Research Board, 83rd annual meeting, Washington, D.C., U.S.A.*

Ullman B. R., C. L. Dudek, N. D. Trout (2006), **Amber Alert and Major Catastrophe Messages on Dynamic Message Signs: Focus Group Studies in Texas**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1959,* pp. 114-121

Wills R. H. (1998), **Human Instincts, Everyday Life, and the Brain**, *Book Emporium, Canada*

Wilmot C. G., B. Mei (2003), **Comparison of Alternative Trip Generation Models for Hurricane Evacuation**, *The 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.*

Wilmot C. G., N. Meduri (2005), **Methodology to Establish Hurricane Evacuation Zones**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1922,* pp. 129-137

Wolshon B. (2001), **"One-Way-Out": Contraflow Freeway Operation for Hurricane Evacuation**, *Natural Hazards Review, American Society of Civil Engineers, Vol. 2, No. 3, Reston, Virginia, U.S.A.*

Wolshon B., G. Theodoulou (2004), **Modeling and Analysis of Freeway Contraflow to Improve Future Evacuations**, *Transportation Research Board, 83rd annual meeting, Washington, D.C., U.S.A.*

Yang Q., H. N. Koutsopoulos (1996), **A Microscopic Traffic Simulator for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems**, *Transportation Research C, Vol. 4, No. 3*, pp. 113-129

Yuan F., L. D. Han, S.-M. Chin, H. Hwang (2006), **Proposed Framework for Simultaneous Optimization of Evacuation Traffic Destination and Route Assignment**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1964,* pp. 50-58

Zhan F. B., X. Chen (2008), **Agent-based modeling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies**, *Journal of the Operational Research Society, Nr. 59*, pp. 25-33

Παράρτημα

Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας

Κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Βασικές τιμές	1	52,48	10,16	13,8	9,6
	2	52,46	10,42	13,8	9,83
	3	51,94	10,02	13,2	9,37
	4	51,93	10,02	13,2	9,45
	5	52,71	10,32	13,8	9,75
	6	52,49	10,35	13,8	9,76
	7	52,12	10,38	13,2	9,71
	8	52,56	10,26	13,8	9,66
	9	52,86	10,29	13,8	9,76
	10	52,45	10,64	13,8	10,01
Μέση τιμή		**52,4**	**10,29**	**13,62**	**9,69**
Τυπική απόκλιση		**0,31**	**0,19**	**0,290**	**0,184**
	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 1	1	51,94	10,39	13,2	9,24
	2	52,18	10,44	13,2	9,24
	3	52,16	10,43	13,2	9,24
	4	52,52	10,5	13,8	9,66
	5	52,22	10,44	13,2	9,24
	6	52,27	10,45	13,8	9,66
	7	52,4	10,48	13,8	9,66
	8	52,44	10,49	13,8	9,66
	9	52,18	10,44	13,2	9,24
	10	52,29	10,46	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,26**	**10,45**	**13,44**	**9,41**
Τυπική απόκλιση		**0,17**	**0,03**	**0,31**	**0,22**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 2	1	52,18	10,44	13,2	9,24
	2	52,55	10,51	13,8	9,66
	3	52,24	10,45	13,2	9,24
	4	52,6	10,52	13,8	9,66
	5	51,98	10,4	13,2	9,24
	6	52,14	10,43	13,2	9,24
	7	52,82	10,56	13,8	9,66
	8	52,14	10,43	13,2	9,24
	9	52,49	10,5	13,8	9,66
	10	52,19	10,44	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,33**	**10,47**	**13,44**	**9,41**
Τυπική απόκλιση		**0,26**	**0,05**	**0,31**	**0,22**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 3	1	52,73	10,55	13,8	9,66
	2	51,96	10,39	13,2	9,24
	3	52,44	10,49	13,8	9,66
	4	51,57	10,31	12,6	8,82
	5	52,62	10,52	13,8	9,66
	6	52,33	10,47	13,8	9,66
	7	52,3	10,46	13,8	9,66
	8	52,38	10,48	13,8	9,66
	9	51,79	10,36	13,2	9,24
	10	52,13	10,43	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,23**	**10,45**	**13,5**	**9,45**
Τυπική απόκλιση		**0,36**	**0,07**	**0,42**	**0,3**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 1	1	52,68	10,54	13,8	9,66
	2	52,4	10,48	13,8	9,66
	3	52,19	10,44	13,2	9,24
	4	51,64	10,33	13,2	9,24
	5	52,57	10,51	13,8	9,66
	6	52,47	10,49	13,8	9,66
	7	52,28	10,46	13,8	9,66
	8	52,42	10,48	13,8	9,66
	9	52,52	10,5	13,8	9,66
	10	52,34	10,47	13,8	9,66
Μέση τιμή		**52,35**	**10,47**	**13,68**	**9,58**
Τυπική απόκλιση		**0,29**	**0,06**	**0,25**	**0,18**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 2	1	51,91	10,38	13,2	9,24
	2	52,06	10,41	13,2	9,24
	3	52,58	10,52	13,8	9,66
	4	52,28	10,46	13,8	9,66
	5	52,23	10,45	13,8	9,66
	6	52,23	10,45	13,2	9,24
	7	52,34	10,47	13,8	9,66
	8	52,21	10,44	13,2	9,24
	9	52,69	10,54	13,8	9,66
	10	52,24	10,45	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,28**	**10,46**	**13,5**	**9,45**
Τυπική απόκλιση		**0,23**	**0,05**	**0,32**	**0,22**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 3	1	52,35	10,47	13,8	9,66
	2	52,67	10,53	13,8	9,66
	3	52,05	10,41	13,2	9,24
	4	52,8	10,56	13,8	9,66
	5	52,39	10,48	13,8	9,66
	6	52,22	10,44	13,2	9,24
	7	52,57	10,51	13,8	9,66
	8	52,28	10,46	13,8	9,66
	9	52,2	10,44	13,2	9,24
	10	52,06	10,41	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,36**	**10,47**	**13,56**	**9,49**
Τυπική απόκλιση		**0,25**	**0,05**	**0,31**	**0,22**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 1	1	52,5	10,5	13,8	9,66
	2	52,17	10,43	13,2	9,24
	3	52,07	10,41	13,2	9,24
	4	52,12	10,42	13,2	9,24
	5	52,31	10,46	13,8	9,66
	6	52,11	10,42	13,2	9,24
	7	52,27	10,45	13,8	9,66
	8	52,54	10,51	13,8	9,66
	9	52,32	10,46	13,8	9,66
	10	52,2	10,44	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,26**	**10,45**	**13,5**	**9,45**
Τυπική απόκλιση		**0,16**	**0,03**	**0,32**	**0,22**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 2	1	52	10,4	13,2	9,24
	2	52,11	10,42	13,2	9,24
	3	52,19	10,44	13,2	9,24
	4	52,02	10,4	13,2	9,24
	5	52,15	10,43	13,2	9,24
	6	52,79	10,56	13,8	9,66
	7	51,95	10,39	13,2	9,24
	8	52,02	10,4	13,2	9,24
	9	52,21	10,44	13,2	9,24
	10	52,22	10,44	13,2	9,24
Μέση τιμή		**52,17**	**10,43**	**13,26**	**9,28**
Τυπική απόκλιση		**0,24**	**0,05**	**0,19**	**0,13**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 3	1	52,62	10,52	13,8	9,66
	2	52,29	10,46	13,8	9,66
	3	52,19	10,44	13,2	9,24
	4	51,73	10,35	13,2	9,24
	5	52,31	10,46	13,8	9,66
	6	52,46	10,49	13,8	9,66
	7	52,21	10,44	13,8	9,66
	8	52,28	10,46	13,8	9,66
	9	52,21	10,44	13,2	9,24
	10	52,27	10,45	13,8	9,66
Μέση τιμή		**52,26**	**10,45**	**13,62**	**9,53**
Τυπική απόκλιση		**0,23**	**0,05**	**0,29**	**0,2**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 1	1	52,41	10,48	13,8	9,66
	2	52,29	10,46	13,8	9,66
	3	52,28	10,46	13,2	9,24
	4	52,31	10,46	13,8	9,66
	5	52,3	10,46	13,8	9,66
	6	52,67	10,53	13,8	9,66
	7	51,98	10,4	13,2	9,24
	8	52,08	10,42	13,2	9,24
	9	52,79	10,56	13,8	9,66
	10	52,62	10,52	13,8	9,66
Μέση τιμή		**52,37**	**10,47**	**13,62**	**9,53**
Τυπική απόκλιση		**0,26**	**0,05**	**0,29**	**0,2**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 2	1	52,31	10,46	13,8	9,66
	2	52,68	10,54	13,8	9,66
	3	52,96	10,59	14,4	10,08
	4	52,91	10,58	14,4	10,08
	5	51,99	10,4	13,2	9,24
	6	51,95	10,39	13,2	9,24
	7	52,25	10,45	13,2	9,24
	8	52,2	10,44	13,2	9,24
	9	52,5	10,5	13,8	9,66
	10	52,93	10,59	14,4	10,08
Μέση τιμή		**52,47**	**10,49**	**13,74**	**9,62**
Τυπική απόκλιση		**0,39**	**0,08**	**0,53**	**0,37**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (min)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 3	1	51,87	10,37	13,2	9,24
	2	52,74	10,55	13,8	9,66
	3	52,27	10,45	13,8	9,66
	4	52,35	10,47	13,8	9,66
	5	52,05	10,41	13,2	9,24
	6	52,44	10,49	13,8	9,66
	7	52,66	10,53	13,8	9,66
	8	52,22	10,44	13,2	9,24
	9	52,57	10,51	13,8	9,66
	10	52,45	10,49	13,8	9,66
Μέση τιμή		**52,36**	**10,47**	**13,62**	**9,53**
Τυπική απόκλιση		**0,27**	**0,05**	**0,29**	**0,2**

Κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Βασικές τιμές	1	349,2	167,34	282,00	166,74
	2	414,96	200,41	347,40	199,83
	3	400,83	222,61	333,60	221,75
	4	384,1	208,71	316,80	207,74
	5	318,97	166,52	251,40	165,89
	6	362,33	191,01	295,20	189,95
	7	388,12	198,85	320,40	198,22
	8	406,97	207,7	339,60	206,99
	9	372,71	188,08	305,40	187,54
	10	424,1	209,37	356,40	209,2
Μέση τιμή		**382,23**	**196,06**	**314,82**	**195,39**
Τυπική απόκλιση		**32,32**	**18,23**	**32,26**	**18,2**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 1	1	403,27	193,57	336,00	161,28
	2	342,56	164,43	275,40	132,19
	3	371,51	178,32	304,20	146,02
	4	348,65	167,35	281,40	135,07
	5	396,65	190,39	330,00	158,4
	6	388,22	186,35	321,00	154,08
	7	325,3	156,14	258,00	123,84
	8	408,94	196,29	341,40	163,87
	9	346,69	166,41	279,00	133,92
	10	339,19	162,81	272,40	130,75
Μέση τιμή		**367,1**	**176,21**	**299,88**	**143,94**
Τυπική απόκλιση		**30,34**	**14,56**	**30,34**	**14,56**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 2	1	314,11	150,77	247,20	118,66
	2	348,86	167,45	281,40	135,07
	3	368,64	176,95	301,20	144,58
	4	364,68	175,05	297,00	142,56
	5	348,93	167,49	282,00	135,36
	6	299,9	143,95	232,80	111,74
	7	415,47	199,43	348,00	167,04
	8	308,69	148,17	241,80	116,06
	9	412,76	198,12	345,60	165,89
	10	387,23	185,87	319,80	153,5
Μέση τιμή		**356,93**	**171,32**	**289,68**	**139,05**
Τυπική απόκλιση		**41,1**	**19,73**	**40,94**	**19,65**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 3	1	323,47	155,27	256,20	122,98
	2	330,79	158,78	263,40	126,43
	3	325,86	156,41	258,60	124,13
	4	315,65	151,51	248,40	119,23
	5	309,25	148,44	242,40	116,35
	6	277,79	133,34	210,60	101,09
	7	335,11	160,85	268,20	128,74
	8	335,55	161,06	268,20	128,74
	9	331,97	159,35	264,60	127,01
	10	325,66	156,32	258,00	123,84
Μέση τιμή		**321,11**	**154,13**	**253,86**	**121,85**
Τυπική απόκλιση		**17,36**	**8,33**	**17,31**	**8,31**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 1	1	369,78	177,49	302,40	145,15
	2	345,94	166,05	278,40	133,63
	3	381,84	183,28	314,40	150,91
	4	336,71	161,62	269,40	129,31
	5	407,02	195,37	339,60	163,01
	6	379,06	181,95	312,00	149,76
	7	376,85	180,89	309,60	148,61
	8	375,43	180,21	308,40	148,03
	9	478,57	229,71	409,80	196,7
	10	343,64	164,95	276,60	132,77
Μέση τιμή		**379,48**	**182,15**	**312,06**	**149,79**
Τυπική απόκλιση		**40,74**	**19,56**	**40,33**	**19,36**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 2	1	336,45	161,5	269,40	129,31
	2	334,16	160,4	267,00	128,16
	3	377,46	181,18	310,20	148,9
	4	376,01	180,48	308,40	148,03
	5	388,43	186,45	321,00	154,08
	6	344,27	165,25	277,20	133,06
	7	343,25	164,76	275,40	132,19
	8	384,21	184,42	316,80	152,06
	9	332,5	159,6	265,20	127,3
	10	357,26	171,48	289,80	139,1
Μέση τιμή		**357,4**	**171,55**	**290,04**	**139,22**
Τυπική απόκλιση		**22,12**	**10,62**	**22,04**	**10,58**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 3	1	347,48	166,79	280,20	134,5
	2	376,16	180,56	309,00	148,32
	3	336,69	161,61	269,40	129,31
	4	337,56	162,03	270,60	129,89
	5	392,37	188,34	324,60	155,81
	6	285,68	137,13	218,40	104,83
	7	344,33	165,28	277,20	133,06
	8	396,22	190,19	328,80	157,82
	9	307,95	147,82	241,20	115,78
	10	337,36	161,93	270,60	129,89
Μέση τιμή		**346,18**	**166,17**	**279**	**133,92**
Τυπική απόκλιση		**34,81**	**16,71**	**34,64**	**16,63**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 1	1	367,14	176,23	299,40	143,71
	2	372,78	178,93	305,40	146,59
	3	374,79	179,9	307,20	147,46
	4	383,9	184,27	316,80	152,06
	5	361,53	173,53	294,00	141,12
	6	323,34	155,2	256,20	122,98
	7	444,45	213,34	376,20	180,58
	8	368,15	176,71	300,60	144,29
	9	387,35	185,93	319,80	153,5
	10	389,14	186,79	321,60	154,37
Μέση τιμή		**377,26**	**181,08**	**309,72**	**148,67**
Τυπική απόκλιση		**30,13**	**14,46**	**29,89**	**14,35**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 2	1	375,7	180,34	308,40	148,03
	2	388,07	186,27	321,00	154,08
	3	368,29	176,78	301,20	144,58
	4	347,41	166,76	280,20	134,5
	5	333,21	159,94	266,40	127,87
	6	309,75	148,68	243,00	116,64
	7	386,71	185,62	319,20	153,22
	8	328,49	157,68	261,60	125,57
	9	324,46	155,74	257,40	123,55
	10	291,67	140	225,00	108
Μέση τιμή		**345,38**	**165,78**	**278,34**	**133,6**
Τυπική απόκλιση		**33,34**	**16**	**33,12**	**15,9**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 3	1	344,64	165,43	277,20	133,06
	2	375,15	180,07	308,40	148,03
	3	368,29	176,78	301,20	144,58
	4	399,59	191,8	332,40	159,55
	5	361,53	173,53	294,00	141,12
	6	409,69	196,65	342,60	164,45
	7	414,47	198,95	346,80	166,46
	8	389,05	186,74	321,60	154,37
	9	324,46	155,74	257,40	123,55
	10	354,39	170,11	287,40	137,95
Μέση τιμή		**374,13**	**179,58**	**306,9**	**147,31**
Τυπική απόκλιση		**29,22**	**14,02**	**29,15**	**13,99**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 1	1	345,26	165,72	277,80	133,34
	2	356,47	171,11	289,20	138,82
	3	381,46	183,1	313,80	150,62
	4	364,87	175,14	297,60	142,85
	5	319,2	153,22	252,00	120,96
	6	313,69	150,57	246,60	118,37
	7	347,75	166,92	280,80	134,78
	8	350,15	168,07	282,60	135,65
	9	364,7	175,06	297,00	142,56
	10	318,2	152,74	250,80	120,38
Μέση τιμή		**346,18**	**166,16**	**278,82**	**133,83**
Τυπική απόκλιση		**22,68**	**10,89**	**22,55**	**10,82**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 2	1	320,24	153,72	253,20	121,54
	2	265,09	127,24	198,00	95,04
	3	255,73	122,75	188,40	90,43
	4	354,55	170,18	287,40	137,95
	5	285,25	136,92	217,80	104,54
	6	302,3	145,1	235,20	112,9
	7	315,23	151,31	248,40	119,23
	8	303,93	145,89	237,00	113,76
	9	336,59	161,56	269,40	129,31
	10	340,27	163,33	272,40	130,75
Μέση τιμή		**307,92**	**147,8**	**240,72**	**115,55**
Τυπική απόκλιση		**32,26**	**15,49**	**32,24**	**15,47**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 3	1	256,7	123,22	189,60	91,01
	2	269,8	129,5	202,80	97,34
	3	287,72	138,11	220,80	105,98
	4	259,4	124,51	192,00	92,16
	5	259,86	124,73	193,20	92,74
	6	275,72	132,35	208,20	99,94
	7	281,59	135,16	214,20	102,82
	8	260,1	124,85	193,20	92,74
	9	311,91	149,72	244,80	117,5
	10	229,87	110,34	162,60	78,05
Μέση τιμή		**269,27**	**129,25**	**202,14**	**97,03**
Τυπική απόκλιση		**21,94**	**10,53**	**21,94**	**10,53**

Κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Βασικές τιμές	1	369,90	196,33	314,40	194,93
	2	311,87	124,85	255,60	124,57
	3	378,78	189,22	322,80	188,87
	4	331,37	140,00	275,40	139,82
	5	255,75	128,25	200,40	127,15
	6	378,67	195,90	322,80	195,74
	7	321,29	152,49	265,20	152,31
	8	318,89	179,56	263,40	178,80
	9	338,90	187,91	283,80	186,78
	10	229,60	103,08	174,00	102,01
Μέση τιμή		**323,50**	**159,76**	**267,78**	**159,10**
Τυπική απόκλιση		**49,58**	**34,26**	**49,50**	**34,25**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 1	1	393,62	188,94	337,80	209,44
	2	362,12	173,82	306,60	190,09
	3	259,81	124,71	204,60	126,85
	4	352,26	169,08	297,00	184,14
	5	392,20	188,26	336,60	208,69
	6	375,37	180,18	319,80	198,28
	7	285,05	136,82	229,20	142,10
	8	265,07	127,23	210,00	130,20
	9	313,87	150,66	258,60	160,33
	10	331,42	159,08	276,00	171,12
Μέση τιμή		**333,08**	**159,88**	**277,62**	**172,12**
Τυπική απόκλιση		**50,37**	**24,18**	**50,23**	**31,14**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 2	1	341,41	163,88	285,60	177,07
	2	289,91	139,16	234,60	145,45
	3	353,21	169,54	297,00	184,14
	4	266,64	127,99	211,20	130,94
	5	363,44	174,45	307,80	190,84
	6	306,53	147,13	250,80	155,50
	7	301,63	144,78	246,00	152,52
	8	382,33	183,52	326,40	202,37
	9	304,40	146,11	248,40	154,01
	10	409,12	196,38	353,40	219,11
Μέση τιμή		**331,86**	**159,29**	**276,12**	**171,19**
Τυπική απόκλιση		**45,20**	**21,69**	**45,07**	**27,95**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 3	1	247,70	118,90	192,60	119,41
	2	343,36	164,81	287,40	178,19
	3	274,20	131,62	219,00	135,78
	4	323,49	155,28	268,20	166,28
	5	404,44	194,13	349,20	216,50
	6	324,54	155,78	268,80	166,66
	7	370,42	177,80	315,00	195,30
	8	386,36	185,45	330,60	204,97
	9	440,24	211,32	384,00	238,08
	10	375,64	180,31	319,80	198,28
Μέση τιμή		**349,04**	**167,54**	**293,46**	**181,95**
Τυπική απόκλιση		**58,78**	**28,22**	**58,54**	**36,29**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 1	1	292,34	140,32	236,40	146,57
	2	396,58	190,36	340,80	211,30
	3	333,67	160,16	278,40	172,61
	4	418,70	200,98	363,00	225,06
	5	297,47	142,79	242,40	150,29
	6	284,30	136,46	229,20	142,10
	7	398,38	191,22	342,60	212,41
	8	421,13	202,14	365,40	226,55
	9	314,01	150,72	259,20	160,70
	10	311,72	149,63	256,20	158,84
Μέση τιμή		**346,83**	**166,48**	**291,36**	**180,64**
Τυπική απόκλιση		**55,39**	**26,59**	**55,18**	**34,21**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 2	1	356,93	171,33	301,20	186,74
	2	357,62	171,66	301,80	187,12
	3	361,95	173,74	306,60	190,09
	4	319,72	153,47	264,00	163,68
	5	260,81	125,19	205,80	127,60
	6	326,84	156,88	271,20	168,14
	7	303,11	145,49	247,80	153,64
	8	307,34	147,52	252,00	156,24
	9	336,01	161,28	280,20	173,72
	10	443,32	212,79	387,60	240,31
Μέση τιμή		**337,37**	**161,94**	**281,82**	**174,73**
Τυπική απόκλιση		**48,29**	**23,18**	**48,12**	**29,83**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 3	1	289,50	138,96	234,60	145,45
	2	289,49	138,96	233,40	144,71
	3	473,91	227,48	417,60	258,91
	4	297,54	142,82	242,40	150,29
	5	287,82	138,15	232,20	143,96
	6	401,12	192,54	345,00	213,90
	7	259,97	124,79	205,20	127,22
	8	378,24	181,56	322,20	199,76
	9	325,78	156,37	270,00	167,40
	10	366,72	176,03	310,80	192,70
Μέση τιμή		**337,01**	**161,76**	**281,34**	**174,43**
Τυπική απόκλιση		**66,66**	**32,00**	**66,25**	**41,07**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 1	1	401,04	192,50	345,00	213,90
	2	302,89	145,39	247,80	153,64
	3	344,00	165,12	288,00	178,56
	4	303,95	145,90	248,40	154,01
	5	369,21	177,22	313,20	194,18
	6	367,81	176,55	312,00	193,44
	7	252,94	121,41	197,40	122,39
	8	240,91	115,64	185,40	114,95
	9	377,86	181,37	321,60	199,39
	10	325,12	156,06	269,40	167,03
Μέση τιμή		**328,57**	**157,72**	**272,82**	**169,15**
Τυπική απόκλιση		**53,53**	**25,70**	**53,28**	**33,03**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 2	1	334,59	160,60	279,00	172,98
	2	284,71	136,66	229,20	142,10
	3	392,47	188,39	336,60	208,69
	4	288,66	138,56	232,80	144,34
	5	358,52	172,09	302,40	187,49
	6	273,42	131,24	201,60	124,99
	7	310,62	149,10	255,00	158,10
	8	342,16	164,24	286,80	177,82
	9	350,21	168,10	294,60	182,65
	10	355,57	170,67	300,00	186,00
Μέση τιμή		**329,09**	**157,96**	**271,80**	**168,52**
Τυπική απόκλιση		**38,41**	**18,44**	**41,20**	**25,54**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 3	1	360,14	172,87	304,20	188,60
	2	282,69	135,69	227,40	140,99
	3	392,47	188,39	336,60	208,69
	4	306,33	147,04	250,80	155,50
	5	369,21	177,22	313,20	194,18
	6	334,11	160,37	279,00	172,98
	7	359,60	172,61	303,60	188,23
	8	394,85	189,53	339,00	210,18
	9	350,21	168,10	294,60	182,65
	10	332,07	159,39	276,00	171,12
Μέση τιμή		**348,17**	**167,12**	**292,44**	**181,31**
Τυπική απόκλιση		**35,52**	**17,05**	**35,33**	**21,90**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 1	1	273,88	131,46	218,40	135,41
	2	377,10	181,01	321,60	199,39
	3	261,12	125,34	205,80	127,60
	4	308,35	148,01	252,60	156,61
	5	357,35	171,53	301,80	187,12
	6	386,17	185,36	330,00	204,60
	7	354,60	170,21	298,80	185,26
	8	260,06	124,83	204,60	126,85
	9	498,29	239,18	423,00	262,26
	10	359,64	172,63	303,60	188,23
Μέση τιμή		**343,66**	**164,95**	**286,02**	**177,33**
Τυπική απόκλιση		**72,51**	**34,80**	**67,86**	**42,07**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 2	1	332,66	159,68	277,20	171,86
	2	336,27	161,41	280,20	173,72
	3	362,78	174,13	307,20	190,46
	4	246,28	118,21	190,80	118,30
	5	258,72	124,19	203,40	126,11
	6	354,81	170,31	298,80	185,26
	7	335,55	161,06	279,60	173,35
	8	373,31	179,19	317,40	196,79
	9	326,54	156,74	271,20	168,14
	10	318,74	153,00	263,40	163,31
Μέση τιμή		**324,57**	**155,79**	**268,92**	**166,73**
Τυπική απόκλιση		**41,60**	**19,97**	**41,43**	**25,69**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 3	1	288,79	138,62	233,40	144,71
	2	241,47	115,91	186,60	115,69
	3	302,62	145,26	246,60	152,89
	4	314,50	150,96	259,20	160,70
	5	252,63	121,26	196,80	122,02
	6	358,40	172,03	302,40	187,49
	7	286,07	137,31	231,00	143,22
	8	303,74	145,80	248,40	154,01
	9	344,23	165,23	288,60	178,93
	10	350,53	168,25	295,20	183,02
Μέση τιμή		**304,30**	**146,06**	**248,82**	**154,27**
Τυπική απόκλιση		**39,38**	**18,90**	**39,23**	**24,32**

Κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 32

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Βασικές τιμές	1	93,59	44,92	19,80	9,5
	2	97,60	46,85	22,20	10,66
	3	92,96	44,62	18,60	8,93
	4	93,67	44,96	19,80	9,5
	5	94,56	45,39	20,40	9,79
	6	97,91	47	23,40	11,23
	7	95,64	45,91	21,60	10,37
	8	92,08	44,2	18,00	8,64
	9	98,31	47,19	23,40	11,23
	10	95,94	46,05	18,60	8,93
Μέση τιμή		**95,23**	**45,71**	**20,58**	**9,88**
Τυπική απόκλιση		**2,20**	**1,06**	**1,98**	**0,95**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 1	1	93,50	44,88	18,00	8,64
	2	98,65	47,35	24,00	11,52
	3	93,42	44,84	19,20	9,22
	4	95,24	45,72	21,00	10,08
	5	95,93	46,05	21,60	10,37
	6	94,39	45,31	20,40	9,79
	7	96,44	46,29	22,20	10,66
	8	96,99	46,56	22,80	10,94
	9	93,65	44,95	20,40	9,79
	10	93,43	44,85	18,60	8,93
Μέση τιμή		**95,16**	**45,68**	**20,82**	**9,99**
Τυπική απόκλιση		**1,81**	**0,87**	**1,90**	**0,91**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 2	1	94,05	45,14	20,40	9,79
	2	95,49	45,84	18,60	8,93
	3	97,56	46,83	24,60	11,81
	4	94,63	45,42	20,40	9,79
	5	91,39	43,87	20,40	9,79
	6	99,08	47,56	21,60	10,37
	7	94,56	45,39	19,20	9,22
	8	94,26	45,24	21,00	10,08
	9	95,85	46,01	19,20	9,22
	10	93,05	44,66	19,80	9,5
Μέση τιμή		**94,99**	**45,6**	**20,52**	**9,85**
Τυπική απόκλιση		**2,18**	**1,05**	**1,69**	**0,81**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 3	1	95,02	45,61	19,80	9,5
	2	92,83	44,56	22,80	10,94
	3	93,10	44,69	19,80	9,5
	4	94,06	45,15	22,80	10,94
	5	91,91	44,12	24,60	11,81
	6	92,90	44,59	20,40	9,79
	7	94,14	45,19	18,60	8,93
	8	96,99	46,56	17,40	8,35
	9	94,52	45,37	22,20	10,66
	10	97,10	46,61	17,40	8,35
Μέση τιμή		**94,26**	**45,24**	**20,58**	**9,88**
Τυπική απόκλιση		**1,73**	**0,83**	**2,45**	**1,18**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 1	1	99,33	47,68	22,20	10,66
	2	95,55	45,86	20,40	9,79
	3	92,18	44,25	18,60	8,93
	4	91,23	43,79	21,00	10,08
	5	96,95	46,54	20,40	9,79
	6	90,93	43,65	19,20	9,22
	7	94,92	45,56	21,00	10,08
	8	97,79	46,94	18,00	8,64
	9	94,49	45,36	21,60	10,37
	10	97,15	46,63	22,20	10,66
Μέση τιμή		**95,05**	**45,62**	**20,46**	**9,82**
Τυπική απόκλιση		**2,87**	**1,38**	**1,45**	**0,7**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 2	1	94,98	45,59	20,40	9,79
	2	91,63	43,98	19,20	9,22
	3	95,56	45,87	21,00	10,08
	4	94,64	45,43	21,00	10,08
	5	93,36	44,81	22,20	10,66
	6	94,72	45,47	21,00	10,08
	7	92,41	44,36	19,20	9,22
	8	95,96	46,06	22,80	10,94
	9	97,18	46,65	19,20	9,22
	10	96,06	46,11	20,40	9,79
Μέση τιμή		**94,65**	**45,43**	**20,64**	**9,91**
Τυπική απόκλιση		**1,73**	**0,83**	**1,24**	**0,59**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 3	1	94,85	45,53	21,00	10,08
	2	95,13	45,66	21,60	10,37
	3	94,86	45,53	23,40	11,23
	4	92,41	44,36	19,20	9,22
	5	95,36	45,77	22,80	10,94
	6	95,50	45,84	21,00	10,08
	7	96,64	46,39	21,00	10,08
	8	95,11	45,65	21,00	10,08
	9	93,41	44,84	19,80	9,5
	10	98,10	47,09	19,80	9,5
Μέση τιμή		**95,14**	**45,67**	**21,06**	**10,11**
Τυπική απόκλιση		**1,56**	**0,75**	**1,31**	**0,63**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 1	1	92,78	44,53	20,40	9,79
	2	93,81	45,03	21,60	10,37
	3	94,28	45,25	22,80	10,94
	4	95,01	45,6	21,00	10,08
	5	96,46	46,3	21,00	10,08
	6	95,97	46,07	22,20	10,66
	7	96,20	46,18	21,60	10,37
	8	98,38	47,22	21,60	10,37
	9	93,37	44,82	21,60	10,37
	10	97,59	46,84	20,40	9,79
Μέση τιμή		**95,39**	**45,78**	**21,42**	**10,28**
Τυπική απόκλιση		**1,85**	**0,89**	**0,75**	**0,36**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 2	1	94,64	45,43	22,20	10,66
	2	95,58	45,88	20,40	9,79
	3	95,92	46,04	22,20	10,66
	4	92,71	44,5	21,00	10,08
	5	93,59	44,92	18,00	8,64
	6	91,48	43,91	19,80	9,5
	7	94,76	45,48	21,60	10,37
	8	95,12	45,66	21,60	10,37
	9	94,32	45,27	20,40	9,79
	10	97,01	46,56	19,80	9,5
Μέση τιμή		**94,51**	**45,37**	**20,70**	**9,94**
Τυπική απόκλιση		**1,60**	**0,77**	**1,30**	**0,63**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 3	1	97,15	46,63	22,20	10,66
	2	96,24	46,2	20,40	9,79
	3	95,92	46,04	21,60	10,37
	4	96,67	46,4	19,20	9,22
	5	96,43	46,29	22,80	10,94
	6	96,05	46,1	22,20	10,66
	7	96,36	46,25	21,00	10,08
	8	94,09	45,16	20,40	9,79
	9	94,32	45,27	22,20	10,66
	10	96,03	46,09	21,00	10,08
Μέση τιμή		**95,93**	**46,04**	**21,30**	**10,22**
Τυπική απόκλιση		**0,98**	**0,47**	**1,10**	**0,53**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 1	1	95,91	46,04	21,60	10,37
	2	96,49	46,32	24,00	11,52
	3	95,68	45,93	19,80	9,5
	4	97,11	46,61	22,20	10,66
	5	94,48	45,35	21,00	10,08
	6	91,68	44,01	18,00	8,64
	7	93,76	45	19,80	9,5
	8	96,01	46,08	21,60	10,37
	9	96,19	46,17	21,60	10,37
	10	95,15	45,67	20,40	9,79
Μέση τιμή		**95,25**	**45,72**	**21,00**	**10,08**
Τυπική απόκλιση		**1,59**	**0,76**	**1,62**	**0,78**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 2	1	93,49	44,88	19,80	9,5
	2	97,24	46,68	22,20	10,66
	3	94,32	45,27	20,40	9,79
	4	94,54	45,38	19,80	9,5
	5	96,09	46,12	22,20	10,66
	6	93,67	44,96	20,40	9,79
	7	96,11	46,13	21,60	10,37
	8	92,39	44,35	19,20	9,22
	9	97,45	46,78	22,80	10,94
	10	96,79	46,46	22,20	10,66
Μέση τιμή		**95,21**	**45,7**	**21,06**	**10,11**
Τυπική απόκλιση		**1,76**	**0,84**	**1,28**	**0,61**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 3	1	94,52	45,37	21,00	10,08
	2	93,99	45,12	20,40	9,79
	3	97,21	46,66	22,20	10,66
	4	95,30	45,74	21,00	10,08
	5	95,17	45,68	20,40	9,79
	6	94,21	45,22	19,20	9,22
	7	97,10	46,61	22,20	10,66
	8	96,08	46,12	21,60	10,37
	9	98,41	47,24	24,00	11,52
	10	93,46	44,86	19,80	9,5
Μέση τιμή		**95,55**	**45,86**	**21,18**	**10,17**
Τυπική απόκλιση		**1,62**	**0,78**	**1,39**	**0,67**

Κίνηση από το κεντροειδές 23 στο κεντροειδές 22

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Βασικές τιμές	1	62,72	30,11	21,00	10,08
	2	65,49	31,44	23,40	11,23
	3	63,11	30,29	21,60	10,37
	4	63,70	30,58	22,20	10,66
	5	61,65	29,59	19,80	9,5
	6	62,78	30,13	21,00	10,08
	7	65,23	31,31	23,40	11,23
	8	62,55	30,02	21,00	10,08
	9	63,74	30,6	21,60	10,37
	10	66,67	32	24,60	11,81
Μέση τιμή		**63,76**	**30,61**	**21,96**	**10,54**
Τυπική απόκλιση		**1,56**	**0,75**	**1,45**	**0,69**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 1	1	62,32	29,91	20,40	9,79
	2	62,38	29,94	20,40	9,79
	3	62,89	30,19	21,00	10,08
	4	62,24	29,88	20,40	9,79
	5	62,17	29,84	20,40	9,79
	6	63,49	30,48	21,60	10,37
	7	62,29	29,9	20,40	9,79
	8	62,18	29,85	20,40	9,79
	9	64,10	30,77	22,20	10,66
	10	62,76	30,12	21,00	10,08
Μέση τιμή		**62,68**	**30,09**	**20,82**	**9,99**
Τυπική απόκλιση		**0,65**	**0,31**	**0,64**	**0,31**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 2	1	63,39	30,43	21,60	10,37
	2	62,76	30,12	21,00	10,08
	3	66,59	31,96	24,60	11,81
	4	65,16	31,28	23,40	11,23
	5	66,88	32,1	25,20	12,1
	6	63,28	30,37	21,60	10,37
	7	64,44	30,93	22,80	10,94
	8	65,74	31,56	24,00	11,52
	9	64,25	30,84	22,80	10,94
	10	64,84	31,12	22,80	10,94
Μέση τιμή		**64,73**	**31,07**	**22,98**	**11,03**
Τυπική απόκλιση		**1,39**	**0,67**	**1,36**	**0,65**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Ακολουθία οχημάτων, μεταβολή 3	1	64,43	30,93	22,80	10,94
	2	61,78	29,65	20,40	9,79
	3	62,19	29,85	20,40	9,79
	4	63,86	30,65	22,20	10,66
	5	62,96	30,22	21,00	10,08
	6	64,30	30,86	22,80	10,94
	7	60,49	29,04	19,20	9,22
	8	62,18	29,85	20,40	9,79
	9	63,68	30,57	22,20	10,66
	10	63,92	30,68	22,20	10,66
Μέση τιμή		**62,98**	**30,23**	**21,36**	**10,25**
Τυπική απόκλιση		**1,29**	**0,62**	**1,24**	**0,59**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 1	1	62,41	29,96	21,00	10,08
	2	62,04	29,78	20,40	9,79
	3	60,91	29,24	19,20	9,22
	4	65,28	31,33	23,40	11,23
	5	62,85	30,17	21,00	10,08
	6	61,90	29,71	19,80	9,5
	7	62,39	29,95	21,00	10,08
	8	63,20	30,34	21,60	10,37
	9	64,87	31,14	22,80	10,94
	10	63,09	30,28	21,00	10,08
Μέση τιμή		**62,89**	**30,19**	**21,12**	**10,14**
Τυπική απόκλιση		**1,33**	**0,64**	**1,26**	**0,6**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 2	1	63,21	30,34	21,60	10,37
	2	64,46	30,94	22,80	10,94
	3	63,22	30,35	21,60	10,37
	4	64,59	31	22,80	10,94
	5	62,35	29,93	20,40	9,79
	6	63,76	30,6	22,20	10,66
	7	66,27	31,81	24,60	11,81
	8	62,36	29,93	20,40	9,79
	9	62,90	30,19	21,00	10,08
	10	64,71	31,06	22,80	10,94
Μέση τιμή		**63,78**	**30,62**	**22,02**	**10,57**
Τυπική απόκλιση		**1,23**	**0,59**	**1,3**	**0,62**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Κρίσιμοι χρονικοί διαχωρισμοί, μεταβολή 3	1	60,76	29,16	19,20	9,22
	2	67,32	32,31	25,80	12,38
	3	62,16	29,84	20,40	9,79
	4	61,89	29,71	20,40	9,79
	5	63,82	30,63	21,60	10,37
	6	62,95	30,22	21,00	10,08
	7	61,33	29,44	19,80	9,5
	8	64,58	31	22,80	10,94
	9	62,88	30,18	21,00	10,08
	10	61,57	29,55	19,80	9,5
Μέση τιμή		**62,93**	**30,2**	**21,18**	**10,17**
Τυπική απόκλιση		**1,93**	**0,93**	**1,92**	**0,92**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 1	1	64,43	30,93	22,80	10,94
	2	62,55	30,02	21,00	10,08
	3	65,60	31,49	24,00	11,52
	4	62,95	30,22	21,00	10,08
	5	62,56	30,03	21,00	10,08
	6	61,97	29,75	20,40	9,79
	7	65,84	31,6	24,00	11,52
	8	63,38	30,42	21,60	10,37
	9	65,22	31,31	23,40	11,23
	10	65,15	31,27	23,40	11,23
Μέση τιμή		**63,97**	**30,7**	**22,26**	**10,68**
Τυπική απόκλιση		**1,44**	**0,69**	**1,4**	**0,67**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 2	1	64,71	31,06	22,80	10,94
	2	62,96	30,22	21,00	10,08
	3	63,64	30,55	21,60	10,37
	4	61,60	29,57	19,80	9,5
	5	60,98	29,27	19,20	9,22
	6	66,77	32,05	25,20	12,1
	7	62,77	30,13	21,00	10,08
	8	63,93	30,69	22,20	10,66
	9	61,92	29,72	20,40	9,79
	10	62,55	30,02	20,40	9,79
Μέση τιμή		**63,18**	**30,33**	**21,36**	**10,25**
Τυπική απόκλιση		**1,68**	**0,81**	**1,73**	**0,83**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Όρια χρονικών διαχωρισμών, μεταβολή 3	1	63,25	30,36	21,60	10,37
	2	63,42	30,44	21,60	10,37
	3	63,64	30,55	21,60	10,37
	4	62,20	29,86	20,40	9,79
	5	62,56	30,03	21,00	10,08
	6	62,68	30,09	21,00	10,08
	7	63,28	30,37	21,60	10,37
	8	65,33	31,36	23,40	11,23
	9	61,92	29,72	20,40	9,79
	10	63,25	30,36	21,60	10,37
Μέση τιμή		**63,15**	**30,31**	**21,42**	**10,28**
Τυπική απόκλιση		**0,95**	**0,45**	**0,85**	**0,41**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 1	1	62,17	30,11	20,40	9,79
	2	64,23	31,11	22,20	10,66
	3	63,78	32,11	21,60	10,37
	4	64,49	33,11	22,80	10,94
	5	64,11	34,11	22,20	10,66
	6	63,56	35,11	21,60	10,37
	7	64,88	36,11	22,80	10,94
	8	62,12	37,11	20,40	9,79
	9	66,11	38,11	24,00	11,52
	10	64,04	39,11	22,20	10,66
Μέση τιμή		**63,95**	**34,61**	**22,02**	**10,57**
Τυπική απόκλιση		**1,18**	**3,03**	**1,1**	**0,53**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 2	1	62,99	30,24	21,00	10,08
	2	64,39	30,91	22,80	10,94
	3	62,48	29,99	21,00	10,08
	4	59,79	28,7	18,00	8,64
	5	63,92	30,68	22,20	10,66
	6	64,47	30,95	22,80	10,94
	7	65,14	31,27	23,40	11,23
	8	63,48	30,47	21,60	10,37
	9	62,14	29,83	20,40	9,79
	10	63,20	30,34	21,60	10,37
Μέση τιμή		**63,20**	**30,34**	**21,48**	**10,31**
Τυπική απόκλιση		**1,52**	**0,73**	**1,54**	**0,74**

	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
Χρόνος στάσης σε σήματα stop, μεταβολή 3	1	63,71	30,58	21,60	10,37
	2	63,28	30,37	21,60	10,37
	3	65,53	31,45	24,00	11,52
	4	64,21	30,82	22,20	10,66
	5	59,76	28,68	18,00	8,64
	6	65,54	31,46	23,40	11,23
	7	61,33	29,44	19,80	9,5
	8	61,25	29,4	19,80	9,5
	9	65,38	31,38	23,40	11,23
	10	62,78	30,13	21,00	10,08
Μέση τιμή		**63,28**	**30,37**	**21,48**	**10,31**
Τυπική απόκλιση		**2,01**	**0,96**	**1,89**	**0,91**

Αλληλεπίδραση μοντέλων συμπεριφοράς

Κίνηση από το κεντροειδές 33 στο κεντροειδές 15

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
1	1	52,68	10,31	13,88	9,75
	2	52,42	10,13	13,63	9,56
	3	51,69	9,9	12,97	9,28
	4	52,74	10,48	13,94	9,93
	5	52,14	10,04	13,4	9,41
	6	52,49	10,18	13,72	9,59
	7	52,31	10,23	13,55	9,64
	8	51,94	10,27	13,24	9,63
	9	52,75	10,35	13,96	9,78
	10	52,37	10,18	13,58	9,61
Μέση τιμή		**52,35**	**10,21**	**13,59**	**9,62**
Τυπική απόκλιση		**0,35**	**0,16**	**0,32**	**0,18**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
2	1	52,22	10,35	13,51	9,71
	2	52,34	9,84	13,56	9,26
	3	52,4	10,19	13,67	9,57
	4	52,46	10,3	13,7	9,71
	5	51,19	11,94	13,08	9,57
	6	52,24	11,28	13,71	9,98
	7	52,45	10,29	13,7	9,65
	8	51,55	11,72	13,29	9,78
	9	52,01	11,28	13,55	9,71
	10	52,01	11,34	13,61	9,61
Μέση τιμή		**52,09**	**10,85**	**13,54**	**9,66**
Τυπική απόκλιση		**0,42**	**0,74**	**0,2**	**0,18**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
112	1	51,58	11,54	13,28	9,68
	2	51,62	11,53	13,31	9,71
	3	51,81	12,12	13,6	9,97
	4	52,5	11,4	13,87	9,93
	5	52,46	10,48	13,71	9,86
	6	52,29	11,04	13,72	9,78
	7	51,99	10,03	13,32	9,16
	8	51,98	10,97	13,44	9,7
	9	51,79	11,04	13,34	9,56
	10	51,9	10,01	13,23	9,2
Μέση τιμή		**51,99**	**11,02**	**13,48**	**9,66**
Τυπική απόκλιση		**0,33**	**0,68**	**0,22**	**0,28**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
121	1	51,88	10,78	13,35	9,49
	2	52,11	12,32	13,92	10,01
	3	51,52	11,56	13,2	9,72
	4	51,56	11,79	13,34	9,7
	5	51,37	11,63	13,18	9,45
	6	52,38	10,59	13,71	9,68
	7	52,21	10,99	13,65	9,77
	8	51,73	11,17	13,3	9,52
	9	51,66	11,28	13,29	9,53
	10	51,75	11,2	13,37	9,46
Μέση τιμή		**51,82**	**11,33**	**13,43**	**9,63**
Τυπική απόκλιση		**0,33**	**0,51**	**0,24**	**0,18**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
122	1	52,8	11,06	14,15	9,95
	2	52,7	10,48	13,98	9,75
	3	51,19	11,67	13	9,41
	4	52,39	11,01	13,81	9,8
	5	51,84	11,58	13,52	9,68
	6	51,51	12,56	13,5	9,92
	7	51,64	11,8	13,36	9,87
	8	51,38	12,18	13,29	9,64
	9	52,16	10,79	13,6	9,56
	10	51,5	10,68	13	9,39
Μέση τιμή		**51,91**	**11,38**	**13,52**	**9,7**
Τυπική απόκλιση		**0,57**	**0,68**	**0,38**	**0,2**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
211	1	51,97	10,09	13,2	9,47
	2	52,19	11,01	13,66	9,69
	3	51,73	11,03	13,27	9,55
	4	52,23	11,05	13,67	9,73
	5	51,81	11,32	13,4	9,74
	6	51,46	11,74	13,24	9,66
	7	52,28	10,62	13,61	9,63
	8	51,8	11,08	13,38	9,43
	9	51,96	11,17	13,47	9,78
	10	51,96	10,64	13,43	9,33
Μέση τιμή		**51,94**	**10,98**	**13,43**	**9,6**
Τυπική απόκλιση		**0,25**	**0,45**	**0,17**	**0,15**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
221	1	52,16	10,25	13,45	9,52
	2	51,3	12,65	13,38	9,6
	3	51,48	11,66	13,24	9,62
	4	50,85	12,54	12,99	9,36
	5	51,86	11,17	13,45	9,52
	6	51,85	11,35	13,59	9,21
	7	51,28	12,12	13,17	9,85
	8	52,07	10,77	13,48	9,71
	9	52,24	10,67	13,64	9,57
	10	51,8	9,94	13,12	9,15
Μέση τιμή		**51,69**	**11,31**	**13,35**	**9,51**
Τυπική απόκλιση		**0,45**	**0,93**	**0,21**	**0,22**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
212	1	51,94	10,7	13,38	9,62
	2	51,78	12,63	13,73	9,98
	3	52,15	11,17	13,65	9,83
	4	51,92	10,58	13,33	9,47
	5	52,06	11,09	13,56	9,62
	6	51,82	10,9	13,33	9,64
	7	51,59	11,54	13,3	9,6
	8	52,04	11,11	13,57	9,45
	9	52,07	10,63	13,44	9,55
	10	51,49	11,35	13,16	9,48
Μέση τιμή		**51,89**	**11,17**	**13,45**	**9,62**
Τυπική απόκλιση		**0,22**	**0,6**	**0,18**	**0,17**

Κίνηση από το κεντροειδές 20 στο κεντροειδές 15

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
1	1	332,01	183,17	264,89	182,27
	2	349,61	167,15	282,07	166,63
	3	305,4	168,21	238,48	167
	4	294,25	143,34	227,12	142,41
	5	326,67	166,57	259,58	165,51
	6	349,17	198,83	282,3	197,56
	7	349,03	189,93	281,81	189,06
	8	306,96	164,22	239,79	163,33
	9	387,3	206,07	320,52	205,25
	10	302,7	155,14	235,63	154,14
Μέση τιμή		**330,31**	**174,26**	**263,22**	**173,32**
Τυπική απόκλιση		**29**	**19,75**	**29,04**	**19,73**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
2	1	282,45	147,36	215,25	146,46
	2	260,32	126,47	193,43	125,32
	3	293,93	152,5	226,97	151,31
	4	322,08	175,81	255,03	174,72
	5	296,71	162,5	229,47	161,68
	6	283,97	143,77	216,9	142,7
	7	313,69	171,59	246,54	170,63
	8	262,15	137,99	195,57	136,42
	9	274,22	123,84	207,18	122,8
	10	279,71	147,85	212,61	146,86
Μέση τιμή		**286,92**	**148,97**	**219,9**	**147,89**
Τυπική απόκλιση		**20,17**	**17,37**	**20,07**	**17,45**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
112	1	310,17	182,72	243,27	181,42
	2	288,05	131,74	221,32	129,99
	3	279,09	139,41	211,9	138,41
	4	339,06	161,99	271,58	161,31
	5	248,39	127,76	181,78	126,07
	6	276,08	120,81	208,86	119,7
	7	288,28	150,38	221,32	149,07
	8	279,25	135,98	212,01	135,05
	9	320,45	167,07	253,08	166,33
	10	289,21	149,69	222,38	148,15
Μέση τιμή		**291,8**	**146,76**	**224,75**	**145,55**
Τυπική απόκλιση		**25,55**	**19,41**	**25,37**	**19,54**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
121	1	301,75	158,53	234,86	157,12
	2	321,95	184,26	255,33	182,62
	3	330,04	168,98	263,16	167,59
	4	299,13	155,22	232,12	154,15
	5	326,37	171,51	259,47	170,13
	6	314,24	158,19	247,15	157,08
	7	265,86	127,97	198,92	126,8
	8	335,69	195,01	268,83	193,59
	9	324,73	181,31	258,17	179,54
	10	305,76	167,4	238,63	166,45
Μέση τιμή		**312,55**	**166,84**	**245,66**	**165,51**
Τυπική απόκλιση		**20,53**	**18,63**	**20,6**	**18,48**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
122	1	301,58	153,14	234,31	152,29
	2	281,78	141,8	215,01	140,56
	3	305,37	165,49	238,49	164,13
	4	279,85	153,63	212,9	152,4
	5	283,86	145,46	216,89	144,31
	6	312,63	179,13	245,6	178,05
	7	302,19	155,83	235,11	154,79
	8	286,87	135,41	219,69	134,44
	9	258,17	123,33	191,24	122,04
	10	272,84	147,53	205,87	146,37
Μέση τιμή		**288,51**	**150,08**	**221,51**	**148,94**
Τυπική απόκλιση		**16,78**	**15,5**	**16,73**	**15,52**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
211	1	348,2	185,4	281,15	184,27
	2	320,05	161,17	252,64	160,52
	3	321,78	162,71	254,84	161,46
	4	317,7	174,42	250,73	173,26
	5	336,41	170,67	269,24	169,74
	6	373,8	197,49	306,75	196,34
	7	311,25	165,88	244,32	165,88
	8	321,58	180,78	254,81	179,39
	9	354,5	199,2	287,56	197,9
	10	297,27	138,54	230,38	137,02
Μέση τιμή		**330,25**	**173,63**	**263,24**	**172,58**
Τυπική απόκλιση		**22,86**	**18,22**	**22,83**	**18,18**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
221	1	340,71	160,03	273,39	159,1
	2	315,22	172,82	248,07	171,92
	3	260,94	110,11	194,02	108,53
	4	309,99	166,62	242,7	165,83
	5	289,39	154,02	222,43	152,79
	6	271,08	129,87	36,56	39,2
	7	306,37	161,96	239,18	161,01
	8	275,8	143,85	208,93	142,64
	9	283,61	153	216,85	151,47
	10	252,83	139,45	243,23	137,74
Μέση τιμή		**290,59**	**149,17**	**212,54**	**139,02**
Τυπική απόκλιση		**27,28**	**18,87**	**65,8**	**39,36**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
212	1	307,24	149,61	239,95	148,79
	2	332,86	186,43	265,76	185,39
	3	349,04	165,23	281,52	164,68
	4	282,08	141,48	214,71	140,75
	5	367,49	199,8	300,32	198,83
	6	321,78	157,07	254,85	155,79
	7	307,21	153,11	240,23	151,86
	8	281,6	154,18	214,99	152,56
	9	282,66	129,26	215,41	128,3
	10	329,44	181,51	262,32	180,5
Μέση τιμή		**316,14**	**161,77**	**249,01**	**160,75**
Τυπική απόκλιση		**29,52**	**21,67**	**29,45**	**21,68**

Κίνηση από το κεντροειδές 31 στο κεντροειδές 15

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
1	1	245,12	115,9	189,8	114,78
	2	331,42	163,73	274,99	163,3
	3	367,97	181,3	311,84	181,12
	4	357,93	204,2	302,31	203,4
	5	353,96	181,5	297,92	181,21
	6	319,62	138,89	263,6	138,53
	7	341,3	138,89	258,56	196,98
	8	357,59	195,35	301,82	194,74
	9	268,67	124,05	212,77	123,62
	10	342,95	215,45	287,93	214,01
Μέση τιμή		**328,65**	**165,93**	**270,15**	**171,17**
Τυπική απόκλιση		**40,7**	**34,94**	**40,57**	**34,74**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
2	1	267,36	120,23	211,4	119,85
	2	316,24	189,99	260,98	188,81
	3	217,75	116,6	162,32	115,7
	4	272,2	123,65	216,32	123,19
	5	280,47	151,71	225,35	150,3
	6	296,93	157,87	242,08	156,16
	7	377,87	170,01	321,96	169,4
	8	309,96	168,75	254,76	167,28
	9	258	128,45	202,53	127,47
	10	402,02	174,99	346,13	174,28
Μέση τιμή		**299,88**	**150,23**	**244,38**	**149,24**
Τυπική απόκλιση		**55,37**	**26,25**	**55,26**	**26,07**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
112	1	303,25	142,98	247,8	141,78
	2	313,82	172,99	258,28	172,05
	3	319,86	171,08	264,3	170,15
	4	355	195,13	299,45	194,15
	5	341,7	195,52	286,23	194,51
	6	359,47	187,93	303,88	186,89
	7	287,96	146,7	232,87	145,07
	8	240,59	130,84	185,88	128,88
	9	295,25	169,5	240,05	168,18
	10	275,84	160,58	220,86	159,02
Μέση τιμή		**309,27**	**167,33**	**253,96**	**166,07**
Τυπική απόκλιση		**36,99**	**22,21**	**36,72**	**22,49**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
121	1	281,51	163,2	226,49	161,62
	2	285,45	145,85	230,32	144,31
	3	376,16	175,78	320,21	175,19
	4	288,07	158,35	232,68	157,22
	5	276,54	137,86	221,4	136,23
	6	378,92	185,78	323,05	185,11
	7	365,72	185,09	310,02	184,22
	8	295,46	171,09	240,59	169,4
	9	351,62	150,52	295,54	150,18
	10	314,82	167,62	259,39	166,53
Μέση τιμή		**321,43**	**164,11**	**265,97**	**163**
Τυπική απόκλιση		**42,04**	**16,15**	**41,67**	**16,35**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
122	1	303,89	198,35	249,02	196,75
	2	294,14	170,31	239,27	168,54
	3	330,77	175,63	275,27	174,57
	4	296,37	166,65	241,14	165,34
	5	341,83	172,23	286,67	170,72
	6	377,01	179,83	321,05	179,27
	7	295,64	162,94	240,6	161,37
	8	281,93	154,86	226,95	153,17
	9	269,31	160,86	214,36	159,31
	10	319,08	179,58	263,99	178
Μέση τιμή		**311**	**172,12**	**255,83**	**170,7**
Τυπική απόκλιση		**31,85**	**12,28**	**31,57**	**12,37**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
211	1	322,11	185,38	267,01	183,86
	2	335,59	166,51	279,97	165,48
	3	307,98	164,69	252,17	164,04
	4	324,17	172,58	269,2	170,67
	5	394,78	198,81	339,28	197,59
	6	353,28	187,43	297,78	186,36
	7	347,46	195,03	291,98	193,98
	8	454,74	168,42	398,85	167,45
	9	297,73	167,92	242,28	166,9
	10	310,39	159,63	254,64	158,9
Μέση τιμή		**344,82**	**176,64**	**289,32**	**175,52**
Τυπική απόκλιση		**47,66**	**13,81**	**47,56**	**13,69**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
221	1	377,27	216,35	321,71	215,43
	2	244,11	133,93	189,36	131,95
	3	294,79	166,74	239,38	165,69
	4	338,92	175,16	283,78	173,6
	5	227,57	139,61	172,99	137,81
	6	383,6	199,11	34,07	36,87
	7	383,8	209,73	328,25	208,69
	8	279,94	147,72	224,83	146,21
	9	298,34	139,45	243,23	137,74
	10	363,89	205,74	308,42	204,64
Μέση τιμή		**319,22**	**173,35**	**234,6**	**155,86**
Τυπική απόκλιση		**58,39**	**32,37**	**88,49**	**52,29**

Συνδυασμός	Επανάληψη	Χρόνος διαδρομής/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση	Καθυστέρηση/όχημα (sec)	Τυπική απόκλιση
212	1	257,22	149,02	202,37	147,28
	2	316,37	163,89	260,99	162,64
	3	338,82	177,65	278,3	176,6
	4	296,68	139,48	241,37	137,99
	5	351,31	196,71	296,06	195,28
	6	344,38	171,69	288,88	170,51
	7	304,26	121,93	248,63	120,72
	8	261,5	137,46	206,34	136,05
	9	331,24	172,23	276,25	170,37
	10	238,89	112,17	183,87	110,49
Μέση τιμή		**304,07**	**154,22**	**248,31**	**152,79**
Τυπική απόκλιση		**39,81**	**26,69**	**39,21**	**26,75**