ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάπτυξη Προτύπων για την Περιγραφή της Κίνησης Μοτοσυκλετιστών σε Αστικές Αρτηρίες»

Παρασκευή Ε. Καταχανάκη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Στην οικογένεια μου

και στους φίλους μου

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, την επιβλέπουσα κα Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την υποστήριξη και την πολύτιμη καθοδήγησή της σε όλο το διάστημα της εκπόνησής της. Η διάθεση για συζήτηση, οποιουδήποτε προβληματισμού και απορίας και οι κατευθύνσεις που πήρα, συνέβαλλαν ουσιαστικά για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα, Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη, για τον χρόνο, τη διάθεση, την κατανόηση και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας, καθώς και για την άριστη συνεργασία του.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στους φίλους μου για την στήριξή τους και στους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ’ όλη τη διάρκεια σπουδών μου.

Σύνοψη

Η τροχιά κίνησης που διαγράφει ο μοτοσυκλετιστής είναι ένα φαινόμενο το οποίο είναι δύσκολο να μελετηθεί λόγω της ευελιξίας των κινήσεών του και το μικρό πλάτος της μοτοσυκλέτας. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνηθούν οι παράγοντες εκείνοι που περιγράφουν την κίνηση των μοτοσυκλετιστών και πως επιδρούν στο φαινόμενο προσπέρασης τους. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με καταγραφή - βιντεοσκόπηση της κυκλοφοριακής ροής των οχημάτων, στο ρεύμα προς Αθήνα της Λεωφόρου Μεσογείων, από την πεζογέφυρα Calatrava, η οποία βρίσκεται στο σταθμό Κατεχάκη του Μετρό. Με χρήση ειδικού λογισμικού, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο μετατροπής των συντεταγμένων του βίντεο σε πραγματικές συντεταγμένες, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων από συνεχείς και κατηγορικές μεταβλητές. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά πρότυπα προκειμένου να διερευνηθεί και να αξιολογηθεί η επιρροή των μεταβλητών στο φαινόμενο προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή και της τροχιάς κίνησής του. Τα μοντέλα δομικών εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, περιγράφουν ικανοποιητικά το παραπάνω φαινόμενο, κατά το οποίο ο μοτοσυκλετιστής επηρεάζεται σημαντικά από τις χωρικές αποστάσεις που διατηρεί με τα γύρω σε αυτόν οχήματα όπως ήταν αναμενόμενο, αλλά και από το τύπο των οχημάτων και τις ταχύτητες που αναπτύσσουν.

Λέξεις Κλειδιά: προσπέραση, τροχιά κίνησης, μοτοσυκλετιστής, μοντέλα δομικών εξισώσεων, επιρροή

Abstract

Measuring motorcyclists' trajectories is a phenomenon that is particularly difficult to study, because of their flexibility and motorcycles' small width. The aim of this thesis, is to investigate the factors that describe the movement of motorcyclists and how their effect on overtaking other vehicles. The data of this study, was obtained using video recordings from Mesogion Avenue, a major urban arterial leading to the center of Athens. Moreover, a database with continuous and categorical variables was implemented using specialized software, which converts video coordinates into real coordinates. Furthermore, various statistical models were studied in order to assess the influence of these variables on the phenomenon of a motorcyclist overtaking another vehicle and on the trajectory patterns of his movement. The structural equation models that were used, describe adequately the above phenomenon, in which the rider is significantly influenced by the spatial distance between him/her and the vehicles that surrounds him, but also by the type of these vehicles and the speed they develop.

Key Words: overtaking, trajectory, motorcyclist, structural equation models, influence

Περίληψη

Οι μοτοσυκλέτες αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό (περίπου 20%) των κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα, καθώς και σε πολλές άλλες χώρες, εφόσον πολλοί είναι εκείνοι που τις επιλέγουν ως μέσο μετακίνησης [1]. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει μία μοτοσυκλέτα, όπως η ευελιξία των κινήσεών της σε οδούς όπου επικρατεί κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι γρήγορες και άνετες μετακινήσεις οι οποίες εξυπηρετούν τα μεγάλα αστικά κέντρα, το χαμηλό κόστος κτήσης, χρήσης και συντήρησής της, καθώς και η εύκολη στάθμευσής της, την κάνει να ανεβαίνει όλο και περισσότερο στις προτιμήσεις των μετακινούμενων.

Η ευελιξία των κινήσεών τους, όπως προαναφέρθηκε και το μικρό τους πλάτος, κάνει τις τροχιές των κινήσεών τους περίπλοκες και εξαιρετικά δύσκολο να μελετηθούν. Η δυσκολία αυτή, έγινε το έναυσμα για την διεξαγωγή ερευνών, κάποιες εκ των οποίων βασίζονται στην προσομοίωση και κάποιες άλλες σε πραγματικές μετρήσεις. Αναμφίβολα, οι έρευνες με τη μέθοδο της προσομοίωσης πλεονεκτούν έναντι εκείνων με πραγματικές μετρήσεις, καθώς απαιτούν λιγότερο χρόνο και κόπο για την ολοκλήρωσή τους. Ωστόσο, εκείνο στο οποίο υστερούν είναι ο ανθρώπινος παράγοντας, τον οποίον ρυθμίζουν μέσα από ένα σύνολο εξισώσεων. Μόνο μέσα από πραγματικές μετρήσεις, μπορεί να γίνει προσπάθεια για μία καλύτερη ερμηνεία του φαινομένου της τροχιάς κίνησης που διαγράφουν οι μοτοσυκλέτες.

Στην παρούσα έρευνα, γίνεται διερεύνηση και αξιολόγηση της επίδρασης που έχουν κάποιοι παράγοντες στην τροχιά κίνησης των μοτοσυκλετιστών όταν εκείνοι προβαίνουν σε κάποιο είδος προσπέρασης (αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας ή με ελιγμό). Παρότι η επιρροή αυτή δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, μπορεί όμως να προσδιοριστεί, με χρήση κατάλληλων στατιστικών μοντέλων.

Συγκεκριμένα, η παρακάτω έρευνα στηρίχθηκε σε πραγματικές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην πεζογέφυρα Καλατράβα, όπου βρίσκεται στο Μετρό της Κατεχάκη και συμβάλλει στην άμεση και ασφαλή σύνδεση της δυτικής πλευράς της Λεωφόρου Μεσογείων με τον υπόγειο σταθμό του Μετρό. Οι μετρήσεις, έγιναν με λήψη βίντεο διάρκειας περίπου τεσσάρων (4) ωρών, από τις οποίες προέκυψαν 850 περιπτώσεις προσπεράσεων (πετυχημένες και μη πετυχημένες) μοτοσυκλετιστών. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των τροχιών των οχημάτων, χειροκίνητα μέσα από

βίντεο και την εξαγωγή των κατάλληλων μεταβλητών, ονομάζεται Trajectory Extractor, το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του καθηγητή Tzu-Chang Lee. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί χρησιμοποιεί ως είσοδο, βίντεο από πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και έχει τη δυνατότητα μετατροπής των συντεταγμένων του βίντεο, σε πραγματικές συντεταγμένες.

Η τελική βάση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στατιστικών μοντέλων, περιλάμβανε 526 επιτυχής περιπτώσεις προσπεράσεων του μοτοσυκλετιστή και 324 μη επιτυχημένες. Επιπλέον, 27 μεταβλητές που παρατηρήθηκαν-μετρήθηκαν κατά την επεξεργασία των βίντεο και 8 μεταβλητές που προέκυψαν από τις ήδη παρατηρηθείσες.

Στην προσπάθεια ανάλυσης, της επιρροής που ασκούν κάποιοι παράγοντες, στο φαινόμενο προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή και στην τροχιά των κινήσεών του, αναπτύχθηκαν τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (Structural Equation Models-SEM). Τα SEM είναι μια στατιστική τεχνική, για τον έλεγχο και την εκτίμηση των σχέσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ μεταβλητών, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό των στατιστικών στοιχείων και ποιοτικών αιτιακών σεναρίων. Βασικό πλεονέκτημά τους είναι, ότι έχουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν τις σχέσεις με μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν ή να υπολογιστούν, με συμβατικούς τρόπους μέτρησης ή παρατήρησης. Αυτές οι μεταβλητές αποκαλούνται μη παρατηρήσιμες ή λανθάνουσες (latent). Τα SEM εκτιμούν και αξιοποιούν τις σχέσεις μεταξύ λανθανουσών και παρατηρηθέντων μεταβλητών.

Αναλυτικά, αναπτύχθηκαν τρία μοντέλα δομικών εξισώσεων, το καθένα από τα οποία, αποτελείται από δύο συστατικά μέρη: ένα μοντέλο μέτρησης (measurement model) που καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ μιας λανθάνουσας μεταβλητής και τους δείκτες της και ένα δομικό μοντέλο (structural model) το οποίο διευκρινίζει τις περιστασιακές σχέσεις μεταξύ λανθανουσών μεταβλητών και επεξηγεί τις περιστασιακές επιδράσεις.

Το πρώτο δομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, περιγράφει την επιρροή του χώρου στο φαινόμενο προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή και της τροχιάς κίνησής του. Η επιρροή αυτή, αντιπροσωπεύεται από δύο δείκτες. Τους χωρικούς διαχωρισμούς που υπάρχουν μεταξύ των οχημάτων 1 (το όχημα που προσπερνάται) και το όχημα 0 που βρίσκεται πίσω από το όχημα 1 (d0). Αντίστοιχα και για τα οχήματα 2 και 3 (d1), που κινούνται στην άλλη λωρίδα (Σχήμα 3). Οι δείκτες αυτοί (d0 & d1), επηρεάζονται έμμεσα από κάποιους προγνωστικούς παράγοντες, τις παρατηρήσιμες μεταβλητές που προέκυψαν από τη βάση δεδομένων, οι οποίοι επιδρούν άμεσα στη μη μετρήσιμη λανθάνουσα μεταβλητή «space», όπου εκφράζει

την επιρροή του χώρου και αυτή με τη σειρά της επιδρά αναλογικά στους δείκτες. Για το συγκεκριμένο μοντέλο, βρέθηκε ότι οι μεταβλητές όπως, η θέση του μοτοσυκλετιστή από το προπορευόμενο όχημα 1 (distance_xy) και το πίσω σε αυτόν όχημα 2 (bd), επηρεάζει θετικά τους δείκτες του μοντέλου μας d0 και d1.

Το δεύτερο δομικό μοντέλο, περιγράφει την επιρροή του οχήματος (2) που κινείται πίσω από το μοτοσυκλετιστή, στο φαινόμενο της προσπέρασής του. Η επιρροή, η οποία αποτελεί μία μη παρατηρήσιμη λανθάνουσα μεταβλητή, τη «influence», εκφράζεται μέσα από τους δείκτες bd (η διαγώνιος απόσταση του μοτοσυκλετιστή με το όχημα 2) και τη diff_2, όπου είναι η διαφορά της ταχύτητας του μοτοσυκλετιστή (Vm) με τη ταχύτητα του οχήματος 2 (V2), (Σχήμα 3). Οι μεταβλητές αυτές δείχνουν να επηρεάζονται με το όχημα 0 και το είδος προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή (on_the_fly). Για την ακρίβεια, η απόσταση του οχήματος 2 με το όχημα 0 (d_02) και ο τύπος του οχήματος 0 (veh_type0), αυξάνουν την επιρροή του οχήματος 2 στον μοτοσυκλετιστή, καθώς και η απόσταση του οχήματος 0 με το προπορευόμενο όχημα 1 (d0).

Τέλος, το τρίτο δομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, περιγράφει την επιρροή των μεταβλητών opening (διαγώνιος απόσταση των οχημάτων 1 και 3) και bd (η διαγώνιος απόσταση του μοτοσυκλετιστή με το όχημα 2). Στην ουσία, έχει σκοπό να αναλύσει, πως ο μοτοσυκλετιστής επηρεάζεται κατά τη διαδικασία της προσπέρασης, από το «άνοιγμα» που βλέπει να έχει διαθέσιμο και την απόσταση που διατηρεί με το πίσω όχημα (2), (Σχήμα 3). Η ανάλυση του μοντέλου έδειξε ότι επηρεάζεται θετικά από την ταχύτητα του οχήματος 2 (V2), την απόσταση των οχημάτων 1 και 0 (d0), τη διαγώνιο απόσταση του μοτοσυκλετιστή με το προπορευόμενο όχημα 1 (distance_xy) και τον τύπο του οχήματος 1 (veh_type1). Ενώ, η απόσταση των οχημάτων 2 και 3 (d1) και η ταχύτητα του μοτοσυκλετιστή (Vm), επηρεάζουν αρνητικά την επιρροή των μεταβλητών opening και bd στον δικυκλιστή, μειώνοντάς την.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα από την ανάλυση των παραπάνω προτύπων, δείχνουν ότι παράγοντες, όπως τα μικροσκοπικά μεγέθη (χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί, ταχύτητες των οχημάτων), ο τύπος των οχημάτων που περιβάλλουν το μοτοσυκλετιστή, καθώς και το είδος προσπέρασης του, επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό την τροχιά κίνησης που θα επιλέξει να ακολουθήσει κατά το φαινόμενο της προσπέρασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σύνοψη 4
Abstract 5
Περίληψη 6

ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ

Ευρετήριο Πινάκων 11
Ευρετήριο Διαγραμμάτων 11
Ευρετήριο Εικόνων 12
Ευρετήριο Σχημάτων 12

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ 14
1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ 14
1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ 14
1.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 15
1.5 ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 16
1.5.1 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΕΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ 18
1.5.2 ΑΙΤΙΕΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ 20
1.6 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 20
1.7 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 21

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ
2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 22
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΠΡΑΓΡΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 26
2.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 32

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ 33
3.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 34
3.1.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ 37
3.1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΒΙΝΤΕΟ 37
3.1.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΒΙΝΤΕΟ 38

3.1.4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ 39
3.1.4.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΙΝΤΕΟΣΚΟΠΗΣΗ 42
3.1.4.3 ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ TRAJECTORY EXTRACTOR 43
3.1.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΒΙΝΤΕΟ 46
3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ 49
3.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ 49
3.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ (SEM) 52
4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
4.1 ΣΦΑΛΜΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 57
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ 58
4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ SEM 67
4.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ 68
4.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (2) ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΙΣΤΗ 74
4.3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ OPENING, BD ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ 80
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 87
5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 87
5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ 89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 91

ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of fit Statistics) 56
Πίνακας 2: Πίνακας περιπτώσεων προσπεράσεων ανά είδος προσπέρασης 58
Πίνακας 3: Πίνακας περιπτώσεων προσπεράσεων ανά μέγεθος κυβισμού.....58
Πίνακας 4: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής και κατανομών 59
Πίνακας 5: Πίνακας συσχετίσεων των μεταβλητών 65
Πίνακας 6: Δείκτες Τροποποίησης Πρώτου Δομικού Μοντέλου.....69
Πίνακας 7: Στατιστικά καλής προσαρμογής πρώτου δομικού μοντέλου.....70
Πίνακας 8: Αποτελέσματα ανάλυσης πρώτου δομικού μοντέλου.....72
Πίνακας 9: Δείκτες Τροποποίησης Δεύτερου Δομικού Μοντέλου.....75
Πίνακας 10: Στατιστικά καλής προσαρμογής δεύτερου δομικού μοντέλου.....76
Πίνακας 11: Αποτελέσματα ανάλυσης δεύτερου δομικού μοντέλου.....78
Πίνακας 12: Δείκτες Τροποποίησης Τρίτου Δομικού Μοντέλου.....81
Πίνακας 13: Στατιστικά καλής προσαρμογής τρίτου δομικού μοντέλου 82
Πίνακας 14: Αποτελέσματα ανάλυσης τρίτου δομικού μοντέλου 84

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Αριθμός Μοτοσυκλετών έναντι Αριθμό Αυτοκινήτων ανά χώρα. Το μέγεθος της πίτας δείχνει τον πληθυσμό. (Πηγή [2]).....15
Διάγραμμα 2: Εκατομμύρια αυτοκινήτων (γαλάζιο) και μοτοσυκλετών (σκούρο μπλε) στις πρώτες 20 χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Πληθυσμός με κόκκινο. (Πηγή [2]) ..17
Διάγραμμα 3: Αριθμός κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα (Πηγή [1]) 17
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Ροής της Μεθοδολογίας Καταγραφής Βίντεο και Λήψης Δεδομένων.....34
Διάγραμμα 5: Ιστόγραμμα μεταβλητής bd.....61
Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα μεταβλητής diff_2 62
Διάγραμμα 7: Ιστόγραμμα μεταβλητής opening.....63
Διάγραμμα 8: Ιστόγραμμα μεταβλητής plaini_2.....63
Διάγραμμα 9: Ιστόγραμμα μεταβλητής d1.....64
Διάγραμμα 10: Ιστόγραμμα μεταβλητής d0.....64
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα διασποράς μεταβλητών V2 – d1 66
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα διασποράς μεταβλητών Vm – distance_xy 66

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Ο μοτοσυκλετιστής κινείται στα ίχνη του μπροστινού οχήματος 19
Εικόνα 2: Σκαρίφημα για το μοντέλο της έρευνας των Meng et al (Πηγή: [6])..... 23
Εικόνα 3: Τρόπος κίνησης των μοτοσυκλετών σύμφωνα με τους Bonte et al (Πηγή: [7]) 24
Εικόνα 4: Σχηματική Απεικόνιση του Μοντέλου Διαμήκους Πορείας (Πηγή: [16]) 29
Εικόνα 5: Σχηματική Απεικόνιση του Μοντέλου Λοξής και Πλευρικής Πορείας (Πηγή: [16])30
Εικόνα 6: Σχηματική Απεικόνιση του Μοντέλου Επιλογής Διαδρομής (Πηγή: [16]).....31
Εικόνα 7: Φωτογραφία της Πεζογέφυρας Calatrava (Πηγή [18]) 35
Εικόνα 8: Φωτογραφία της Πεζογέφυρας Calatrava (Πηγή [18]) 36
Εικόνα 9: Χάρτης από την ευρύτερη περιοχή του σταθμού Μετρό Κατεχάκη (Πηγή [18]) ...36
Εικόνα 10: Διαθέσιμος Εξοπλισμός (κάμερα και τρίποδας) 37
Εικόνα 11: Μετατροπή Εικονικών Συντεταγμένων Βίντεο σε Πραγματικές Συντεταγμένες 40
Εικόνα 12: Παράθυρο Εισαγωγής Βίντεο.....41
Εικόνα 13: Παράθυρο για τη βαθμονόμηση του Trajectory Extractor.....41
Εικόνα 14: Πίνακας Status.....42
Εικόνα 15: Ενδεικτικό περιβάλλον του λογισμικού Trajectory Extractor.....43
Εικόνα 16: Πίνακας Basic Information 44
Εικόνα 17: Πίνακας Controller 45
Εικόνα 18: Πίνακας Status.....45
Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου SEM MIMIC Model 52
Εικόνα 20: Αποστάσεις που μετρήθηκαν για τη βαθμονόμηση του Trajectory Extractor.....57

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Σκαρίφημα για ορισμό των μεταβλητών που μετρήθηκαν από τον κ. Μπαρμπουνάκη [17].....47
Σχήμα 2: Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών που μετρήθηκαν στην παρούσα έρευνα 48
Σχήμα 3: Απεικόνιση των δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν στα δομικά μοντέλα 67
Σχήμα 4: Διάγραμμα Ροής Πρώτου Δομικού Μοντέλου.....68
Σχήμα 5: Διάγραμμα Ροής Δεύτερου Δομικού Μοντέλου 75
Σχήμα 6: Διάγραμμα Ροής Τρίτου Δομικού Μοντέλου.....81

1. Εισαγωγή

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ

Μοτοποδήλατο ή μοτοσυκλέτα ή μηχανή καλείται το δίτροχο μηχανοκίνητο όχημα του οποίου η χρησιμότητα είναι να διανύει μεγάλες αποστάσεις, όπως ταξίδια, η αστική μετακίνηση, η συμμετοχή του σε αγώνες καθώς και για εκτός δρόμου εξορμήσεις [2].

1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση [3], οι κατηγορίες των μηχανοκίνητων οχημάτων είναι οι εξής:

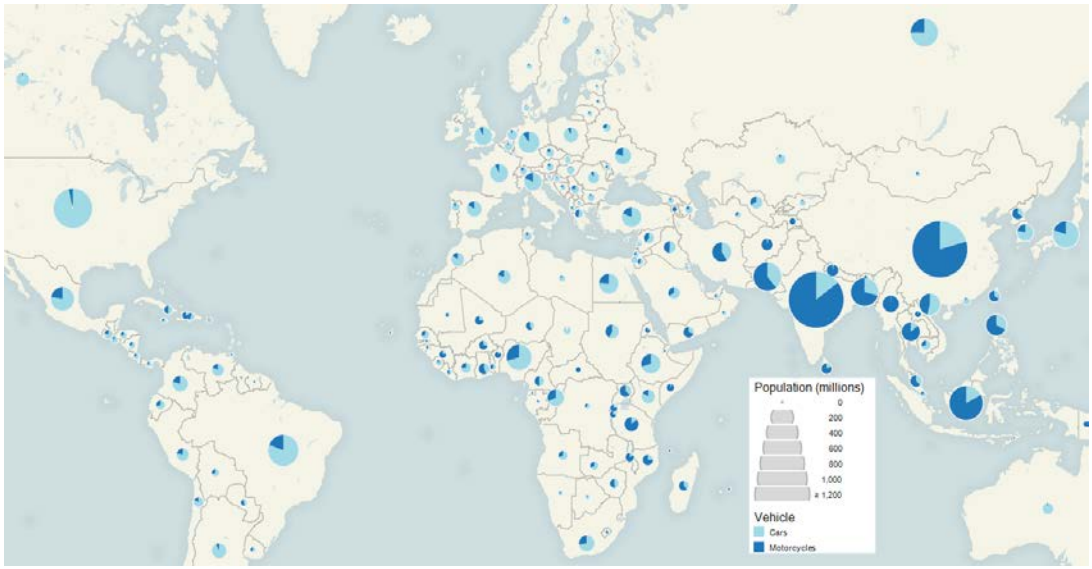
- **Μοτοποδήλατα**, είναι τα δίκυκλα ή τρίκυκλα οχήματα, με μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού, που δεν ξεπερνούν τα 45 km/h. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Εκείνα που διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης με μέγιστο κυβισμό 50 cm^3 και αυτά που διαθέτουν ηλεκτρικό κινητήρα με μέγιστη καθαρή ισχύς εξόδου τα 4 KW.
- **Ελαφριές μοτοσυκλέτες**, με μέγιστό κυβισμό που δεν ξεπερνά τα 125 cm^3, μέγιστη ισχύ τα 11 KW και λόγο ισχύος προς βάρος που δεν ξεπερνά το 0,1 Kw/Kg.
- Τέλος, οι **μοτοσυκλέτες**, με ή χωρίς πλευρικό κάνιστρο, των οποίων η ισχύς δεν ξεπερνά τα 35 KW, μέγιστο λόγο ισχύος προς βάρος το 0,2 Kw/Kg, η ταχύτητά τους ξεπερνά τα 45 km/h και δεν προκύπτουν από όχημα με ισχύ διπλάσια από τη δική τους.

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ

Τα δίκυκλα οχήματα, μοτοσυκλέτες και μοτοποδήλατα, αναμφισβήτητα ως μέσα μετακίνησης παρέχουν αρκετά πλεονεκτήματα στους κατόχους. Μερικά από αυτά είναι η άνετη μετακίνησή του μοτοσυκλετιστή, ιδιαίτερα μέσα στις κατοικημένες περιοχές και σε

ώρες πυκνής κυκλοφορίας, καθώς το μικρό τους πλάτος, δίνει τη δυνατότητα προσπέρασης των υπολοίπων οχημάτων όταν επικρατεί κορεσμός της κυκλοφορίας. Τότε το δίκυκλο εύκολα μπορεί ελιχθεί μέσα από ένα μεγάλο μπλοκάρισμα οχημάτων, κερδίζοντας χρόνο φτάνοντας γρηγορότερα στον προορισμό τους, καύσιμα και φυσικά να βρεθεί πρώτο στην κυκλοφοριακή σειρά. Οι σύγχρονοι κινητήρες προσδίδουν μεγάλη ισχύ και καλή αναλογία κιλών ανά ίππο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη ταχύτητα των μοτοσυκλετών και το καθιερώνουν στη σύγχρονη κοινωνία σαν ένα γρήγορο και ευέλικτο μέσο μεταφοράς. Τα παραπάνω, τις καθιστούν ασφαλέστερες όσον αφορά την ενεργητική ασφάλεια, καθώς αποκτούν τη δυνατότητα ευέλικτων ελιγμών. Επιπλέον, αποτελούν ένα οικονομικό μέσο μεταφοράς λόγω του μειωμένου κόστους κτήσης, χρήσης και συντήρησης (λιγότερα καύσιμα, χαμηλότερα τεκμήρια, χαμηλότερα τέλη κυκλοφορίας). Στα πλεονεκτήματα των δίκυκλων επίσης προστίθεται η ευχάριστη διαδρομή που απολαμβάνουν οι αναβάτες, κυρίως τους θερινούς μήνες και η χρήση τους σε ταξίδια αναψυχής όταν πρόκειται για μοτοσυκλέτες μεγάλου κυβισμού. Τέλος, ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η εύκολη στάθμευση τους, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα όταν γίνεται σωστά, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές.

1.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



Διάγραμμα 1: Αριθμός Μοτοσυκλετών έναντι Αριθμό Αυτοκινήτων ανά χώρα. Το μέγεθος της πίτας δείχνει τον πληθυσμό. (Πηγή [2])

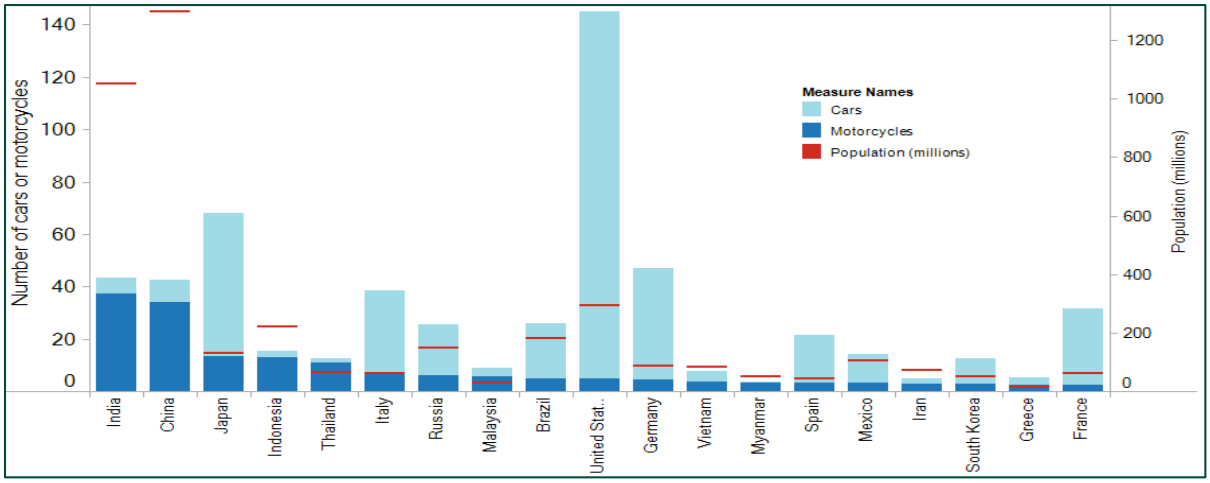
Σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, οι μοτοσυκλέτες είναι το κύριο μέσο από μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς. Σύμφωνα με την κυβέρνηση της Ταϊβάν, για παράδειγμα, ο αριθμός των αυτοκινήτων ανά δέκα χιλιάδες πληθυσμό είναι περίπου 2.500, και ο αριθμός των μοτοσυκλετών είναι περίπου 5.000. Σε ορισμένα σημεία, όπως το Βιετνάμ, τα μέσα μηχανοκίνητης μεταφοράς αποτελούνται κυρίως από μοτοσυκλέτες λόγω της έλλειψης των μέσων μαζικής μεταφοράς και τα χαμηλά επίπεδα εισοδήματος που θέτουν τα αυτοκίνητα αναπόκτητα για πολλούς.

Οι τέσσερις μεγαλύτερες αγορές μοτοσυκλετών στον κόσμο, είναι όλες στην Ασία: Κίνα, Ινδία, Ινδονησία και το Βιετνάμ. Η μοτοσυκλέτα είναι επίσης δημοφιλής σε συνοριακές πόλεις της Βραζιλίας. Εν μέσω της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης του 2008, το μερίδιο αγοράς μοτοσυκλετών αυξήθηκε κατά 6,5%.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση στη δημοτικότητα των μοτοσυκλετών και σε άλλες χώρες. Στις ΗΠΑ, οι εγγραφές αυξήθηκαν κατά 51% μεταξύ 2000 και 2005. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση των τιμών των καυσίμων και κυκλοφοριακής συμφόρησης στις πόλεις. Μια έρευνα καταναλωτών των ιδιοκτητών μοτοσυκλέτας και σκούτερ, κυρίως των Ηνωμένων Πολιτειών, αναφέρει ότι οδήγησαν κατά μέσο όρο μόλις 1.000 μίλια (1.600 χλμ.) ανά έτος, 82% για αναψυχή και 38% για τις μετακινήσεις. Οι Αμερικανοί αναφέρουν 10.000-12.000 μίλια (16,000-19,000 χλμ.) ανά έτος για τα αυτοκίνητά τους και τα ελαφρά φορτηγά [2].

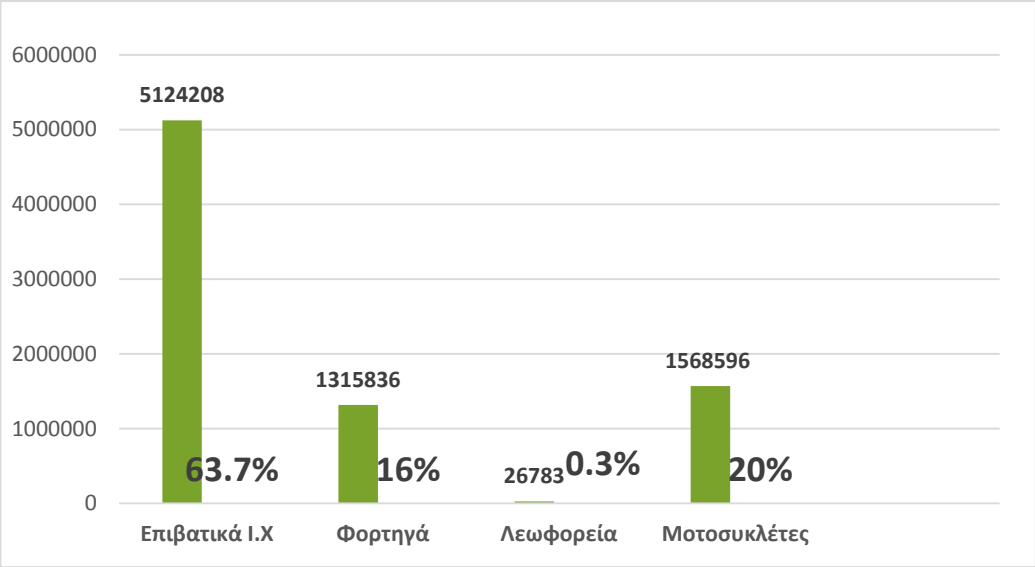
1.5 ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Από το Διάγραμμα 2 φαίνεται ότι η Ελλάδα συγκαταλέγεται ανάμεσα στις 20 πρώτες χώρες παγκοσμίως με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Αυτό είναι λογικό από τη στιγμή που αποτελεί ένα οικονομικό και ευέλικτο μέσο μετακίνησης, καθώς στην Ελλάδα, η αγορά ενός νέου Ι.Χ., πλέον πέρα από την τιμή πώλησης και τα έξοδα κίνησης και συντήρησής του, συνεπάγεται και υψηλά τέλη κυκλοφορίας και τεκμήρια (απόκτησης και διαβίωσης).



Διάγραμμα 2: Εκατομμύρια αυτοκινήτων (γαλάζιο) και μοτοσυκλετών (σκούρο μπλε) στις πρώτες 20 χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Πληθυσμός με κόκκινο. (Πηγή [2])

Όσον αφορά τον στόλο των κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα, συνολικά κυκλοφορούν 5.124.208 επιβατικά αυτοκίνητα, εκ των οποίων 5.090.648 οχήματα ιδιωτικής χρήσης και 33.560 οχήματα δημόσιας χρήσης, 1.315.836 φορτηγά, 26783 λεωφορεία και 1.568.596 μοτοσυκλέτες. Οι προαναφερθείσες τιμές αποτελούν στατιστικά στοιχεία που έχουν καταγραφεί από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛ. ΣΤΑΤ.) και αναφέρονται στο έτος 2013 [1]. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, τα επιβατικά αυτοκίνητα αποτελούν το 63.7% του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα, τα φορτηγά το 16%, τα λεωφορεία το 0,3% και τέλος, οι μοτοσυκλέτες το 20% του συνόλου των οχημάτων.



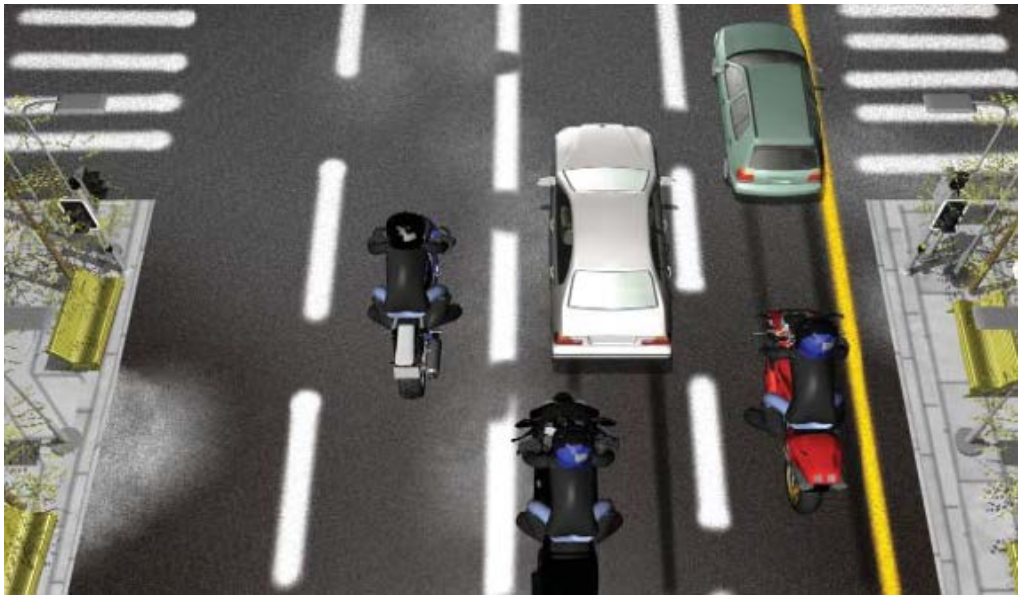
Διάγραμμα 3: Αριθμός κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα (Πηγή [1])

1.5.1 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΕΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Παρακάτω, αναλύονται τρεις περιπτώσεις οδών με βάση των αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας. Αυτές, είναι οδοί με μία (1) λωρίδα, με δύο (2) και με τρεις (3) λωρίδες κυκλοφορίας.

Στην περίπτωση με τις **τρεις (3) λωρίδες κυκλοφορίας** ανά κατεύθυνση, οι κινήσεις των μοτοσυκλετιστών είναι πιο ελεύθερες, γεγονός που τις καθιστά και πιο πολύπλοκες και σύνθετες. Ο μοτοσυκλετιστής έχει την ευχέρεια να ακολουθήσει διάφορες διαδρομές (μονοπάτια), προκειμένου να κάνει προσπέραση. Η ευελιξία των κινήσεων που διαθέτει, συχνά τον οδηγεί να μεταπηδάει από την μία λωρίδα στην άλλη, κάνοντας διάφορους ελιγμούς. Για να το κάνει αυτό, θα πρέπει να λάβει υπόψιν του, χρονικούς και χωρικούς διαχωρισμούς, τις ταχύτητες των άλλων οχημάτων, το διαθέσιμο μήκος που έχει από το προπορευόμενο όχημα καθώς και από τα πίσω οχήματα και κατά πόσο οι λωρίδες κυκλοφορίας είναι κατειλημμένες, για να μπορέσει να ολοκληρώσει τη διαδικασία προσπέρασης του. Όλα τα παραπάνω, συμβάλλουν η μελέτη των κινήσεών τους και η κατηγοριοποίηση τους, να γίνεται αρκετά πολύπλοκη.

Στην περίπτωση της **μίας (1) λωρίδας κυκλοφορίας** ανά κατεύθυνση θα πρέπει αρχικά να γίνει ο διαχωρισμός κατά πόσο ο μοτοσυκλετιστής έχει την πρόθεση να κάνει προσπέραση. Αν δεν κάνει προσπέραση τότε απλά βρίσκεται πίσω από κάποιο όχημα και ακολουθεί την πορεία του προπορευόμενου οχήματος. Οι κανόνες ασφαλείας προτείνουν την κίνηση σε κάποιο από τα δύο ίχνη των τροχών του προπορευόμενου αυτοκινήτου και όχι ανάμεσα του [4], όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Κατά προτίμηση ο μοτοσυκλετιστής να κινείται στο αριστερό, αφού κατ' αυτόν τον τρόπο είναι πιο εύκολη η αποφυγή σύγκρουσης μέσω ελιγμού ενώ σε περίπτωση εμποδίου, ο κραδασμός του αυτοκινήτου θα προειδοποιήσει τον αναβάτη. Σε περίπτωση προσπέρασης υπάρχουν δύο παραδοχές. Η πρώτη προσπέραση από δεξιά του οχήματος η οποία είναι παράνομη και η δεύτερη προσπέραση από τα αριστερά, κατά την οποία ο μοτοσυκλετιστής είτε εισβάλει στο αντίθετο ρεύμα κυκλοφορίας όταν δεν υπάρχει προστατευτικό κιγκλίδωμα, είτε ανάλογα με το διαθέσιμο πλάτος, προβαίνει σε προσπέραση από αριστερά του οχήματος.



Εικόνα 1: Ο μοτοσυκλετιστής κινείται στα ίχνη του μπροστινού οχήματος

Τελευταία κατηγορία είναι η οδός με **δύο (2) λωρίδες κυκλοφορίας** ανά κατεύθυνση. Οι κινήσεις σε αυτή την περίπτωση είναι πιο περιορισμένες από αυτή των τριών (3) λωρίδων, συνεπώς και πιο εύκολη η κατηγοριοποίηση και η μελέτη τους. Γενικά για την περίπτωση αυτή υπάρχουν τα εξής είδη προσπεράσεων:

- Ο μοτοσυκλετιστής σε ώρες αιχμής επιλέγει να περάσει ανάμεσα από τα οχήματα είτε αλλάζοντας λωρίδα (*Lane changing*) είτε κάνοντας *filtering* (κινείται πάνω στη διαχωριστική της λωρίδας).
- Όταν η κυκλοφορία δεν είναι τόσο πυκνή και τα επίπεδα εξυπηρέτησης είναι καλύτερα, η μηχανή μπορεί απλά να κινείται στην ελεύθερη λωρίδα κάνοντας προσπέραση στο όχημα που βρίσκεται στην άλλη λωρίδα (*On the fly*).
- Μία ακόμη περίπτωση είναι το λεγόμενο «ζικ – ζακ». Αυτό συμβαίνει πάλι όταν υπάρχει πυκνή κυκλοφορία. Ο μοτοσυκλετιστής εκμεταλλεύεται τα τυχόν κενά που υπάρχουν και κινείται καλύπτοντάς τα.
- Τέλος, προσπέραση από δεξιά σε ένα όχημα που κινείται στη δεξιά λωρίδα ή από αριστερά σε ένα όχημα που κινείται στην αριστερή λωρίδα, η οποία όμως είναι παράνομη.

1.5.2 ΑΙΤΙΕΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ

Στην έρευνά τους οι Minh et al [5] κάνουν μια καταγραφή των αιτιών για τις οποίες οι μοτοσυκλέτες κάνουν μανούβρες. Αυτές οι αιτίες είναι:

- Επιθυμία να βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση όταν έχει κίνηση. Όταν για παράδειγμα υπάρχει σηματοδοτούμενος κόμβος, οι μοτοσυκλετιστές τείνουν να κινηθούν μπροστά και να σταματήσουν όσο το δυνατό πιο κοντά στον κόμβο.
- Επιθυμία να μη βρίσκονται πίσω από φορτηγό λόγω της προτίμησης ενός πλατέως και καθαρού οπτικού πεδίου.
- Προετοιμασία για στροφή.
- Προσπάθεια να αποφύγουν ένα εμπόδιο όπως για παράδειγμα πεζούς.

Ίσως η πιο βασική αιτία που δεν έχει επισημανθεί στην έρευνα των Minh et al [5] είναι, η επιθυμία των μοτοσυκλετιστών να κινηθούν γρηγορότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα που κινούνται στην οδό. Αυτό συμβαίνει σε χώρες όπου κατ' εξοχήν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, χαρακτηριστικό παράδειγμα των οποίων είναι η Ελλάδα, όπου είναι συνήθης η ύπαρξη οδών με λίγες λωρίδες κυκλοφορίας και αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος. Ο βαθύτερος λόγος που δεν έχει αναφερθεί η παραπάνω αιτία, είναι επειδή η μελέτη έχει γίνει στο Βιετνάμ, μια αναπτυσσόμενη χώρα, που το βιοτικό επίπεδο δεν επιτρέπει εύκολα την αγορά αυτοκινήτου και η μοτοσυκλέτα είναι συχνά η μόνη διέξοδος. Εκεί λοιπόν παρατηρείται συμφόρηση από μοτοσυκλέτες και όχι από άλλα οχήματα με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η οδηγική συμπεριφορά των αναβατών αλλά και τα χαρακτηριστικά κίνησης των οχημάτων.

1.6 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνηθεί η επίδραση των οχημάτων που βρίσκονται σε πεδίο επιρροής με τον μοτοσυκλετιστή, καθώς και ο ρόλος που έχουν τα μικροσκοπικά μεγέθη (χρονικός και χωρικός διαχωρισμός, ταχύτητες οχημάτων) στην τροχιά κίνησής, καθώς και στην απόφασή του να κάνει προσπέραση ή όχι.

Η διερεύνηση του φαινομένου θα βασιστεί σε πραγματικές μετρήσεις που συλλέγονται με βίντεο. Η βάση δεδομένων που προκύπτει από τη συλλογή των μετρήσεων, επεξεργάζεται με κατάλληλα στατιστικά μοντέλα, των οποίων καινοτομία είναι ότι μπορούν

να ελέγξουν και να εκτιμήσουν τις σχέσεις μεταξύ συνεχών και κατηγορικών μεταβλητών στην περιοχή επιρροής του μοτοσυκλετιστή και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα δίνοντας μία συνολική εικόνα μεταξύ των σχέσεων των μεταβλητών του μοντέλου.

1.7 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται στα παρακάτω κεφάλαια:

Στο ***πρώτο (1ο) κεφάλαιο,*** αρχικά παρουσιάζεται η μοτοσυκλέτα ως μέσο μετακίνησης, γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην πορεία της, αναλύεται η χρήση της τόσο σε παγκόσμιο όσο και εθνικό επίπεδο και γίνεται εισαγωγή στο σκοπό και στη διάρθρωσή της.

Στο ***δεύτερο (2ο) κεφάλαιο,*** γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προηγούμενες έρευνες. Η ανασκόπηση περιλαμβάνει τόσο έρευνες που έγιναν με πραγματικές μετρήσεις, όπως στην τρέχουσα έρευνα, όσο έρευνες που έγιναν με βάση την προσομοίωση.

Στο ***τρίτο (3ο) κεφάλαιο,*** παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της ερευνάς. Περιγράφεται η διαδικασία της συλλογής στοιχείων, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και το λογισμικό για την εξαγωγή των μετρήσεων.

Στο ***τέταρτο (4ο) κεφάλαιο,*** γίνεται αναλυτική περιγραφή της ερευνάς παρουσιάζοντας τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων. Ακολουθεί, παρουσίαση των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες δομές των στατιστικών μοντέλων και αναλυτική στατιστική περιγραφή τους. Επιπλέον, παρουσιάζεται η μόρφωση των μοντέλων, τα αποτελέσματά τους και η αξιολόγησή τους.

Τέλος, στο ***πέμπτο (5ο) κεφάλαιο,*** θα παρουσιαστούν τα βασικότερα συμπεράσματα της έρευνας, όπως αυτά προκύπτουν από τα αποτελέσματά της και παρατίθενται διάφορες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η μοτοσυκλέτα, ως ευέλικτο μέσο μεταφοράς, έχει την ικανότητα να διαγράφει τροχιές οι οποίες δύσκολα μπορούν να διερευνηθούν. Αυτό οφείλεται, στο γεγονός ό,τι συνήθως οι μοτοσυκλέτες δεν ακολουθούν τις συμβατικές λωρίδες κυκλοφορίας, συνεπώς ούτε την κίνηση των υπόλοιπων οχημάτων.

Η δυσκολία στην απεικόνιση των κινήσεων τους και στη μελέτη διαφόρων χαρακτηριστικών τους, έγιναν το έναυσμα για την διεξαγωγή ερευνών, κάποιες εκ των οποίων βασίζονται στην προσομοίωση και κάποιες άλλες σε πραγματικές μετρήσεις.

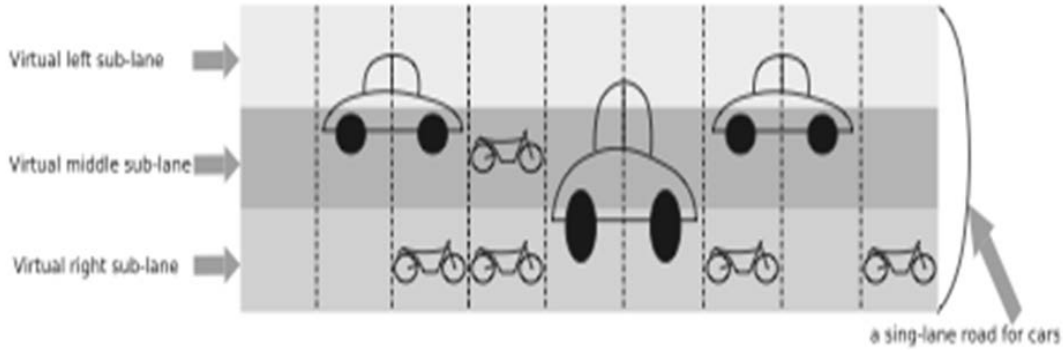
2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η προσομοίωση, αποτελεί μία απλούστερη διαδικασία σε περίπτωση ερευνών, καθώς δεν απαιτεί πραγματικές μετρήσεις. Πλεονέκτημα της είναι, η εξοικονόμηση χρόνου και ότι η έρευνα μπορεί να γίνει αποκλειστικά από το χώρο εργασίας.

Μία έρευνα που βασίστηκε στη μέθοδο της προσομοίωσης είναι των Meng et al [6]. Η συγκεκριμένη έρευνα, βασίστηκε στη θεωρία των υπολωρίδων. Θεωρήθηκε ότι μία λωρίδα κυκλοφορίας ισοδυναμεί με τρεις(3) υπολωρίδες. Σε κάθε υπολωρίδα μπορεί να κινηθεί μία μοτοσυκλέτα. Προκύπτει λοιπόν, ότι η μέγιστη χωρητικότητα μιας λωρίδας είναι μέχρι τρεις(3) μοτοσυκλέτες σε μια λωρίδα ταυτόχρονα. Αυτό όμως, δε λήφθηκε υπόψη στην προσομοίωση, αφού σε κάθε θέση θα υπάρχει ένα όχημα ή κενή θέση.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2, στην ίδια λωρίδα μπορεί να συνυπάρξει όχημα με μοτοσυκλέτα, μόνο αν η μοτοσυκλέτα βρίσκεται σε μία από τις τέσσερις άκρες του οχήματος (μπροστά αριστερά/δεξιά ή πίσω αριστερά/δεξιά). Η συγκεκριμένη έρευνα επιπλέον έγινε για οδό με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση, ενώ δε λήφθηκε υπόψη η περίπτωση μια μοτοσυκλέτας που εισέρχεται στο αντίθετο ρεύμα για να προσπεράσει το όχημα στο ρεύμα κίνησής της, όταν το διαθέσιμο πλάτος από το άκρο της οδού δεν επαρκεί για κάποιον μοτοσυκλετιστή. Η έρευνα αυτή έγινε με σκοπό να προκύψουν αποτελέσματα για το φόρτο και την πυκνότητα καθώς επίσης

και τα διαγράμματα του συντελεστή αλλαγής λωρίδας σε συνάρτηση με την πυκνότητα τόσο των μηχανών όσο και των υπόλοιπων οχημάτων.



Εικόνα 2: Σκαρίφημα για το μοντέλο της έρευνας των Meng et al (Πηγή: [6])

Οι Bonte et al [7] παρουσιάζουν ακόμη μια έρευνα, που βασίζεται στην προσομοίωση, αν και σε αντίθεση με την προαναφερθείσα, δεν λαμβάνει υπόψη την κίνηση των μοτοσυκλετών σε τρεις(3) υπολωρίδες, όπου μπορούσαν να συνυπάρξουν στην ίδια λωρίδα κίνησης μοτοσυκλέτα και όχημα. Στη συγκεκριμένη έρευνα, ένα όχημα μπορεί να πάρει οποιαδήποτε θέση μέσα στη λωρίδα και είναι εφικτό να κινηθούν παράλληλα όχημα και μοτοσυκλέτα, ενώ έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τις ιδεατές λωρίδες και να αναλυθεί ο τρόπος κίνησης των μοτοσυκλετών για διάφορες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3, ενώ τα αυτοκίνητα σε έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση προσπαθούν να κινηθούν στη λωρίδα με τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα, οι μοτοσυκλέτες κινούνται ενδιάμεσα από τα οχήματα, εκεί που το πλάτος μεταξύ των οχημάτων είναι αρκετά μεγάλο για την ασφαλή διέλευση της μηχανής. Το πλάτος αυτό, όπως αναφέρεται στην έρευνα, καθώς και το είδος του δρόμου, δεν είναι καθορισμένο αλλά εξαρτάται από την κυκλοφορία και το είδος των οχημάτων. Όσον αφορά λοιπόν στην κίνηση των μηχανών, λαμβάνεται κατά την προσομοίωση ότι η μηχανή μπορεί να περάσει ενδιάμεσα από δύο οχήματα ή να προσπεράσει με αλλαγή λωρίδας δύο οχήματα στην ίδια λωρίδα. Πριν από τη διαδικασία της προσπέρασης μπορούν να αναφερθούν οι τέσσερις πιθανές περιπτώσεις ιδεατών λωρίδων που ακολουθούν οι μοτοσυκλέτες για να προσπεράσουν:

- Η επιλεγμένη λωρίδα να είναι πραγματική και ελεύθερη.
- Το προπορευόμενο όχημα να αλλάξει λωρίδα ανοίγοντας χώρο διέλευσης.
- Η επιλογή να βασίζεται στη σχέση του συντελεστή ταχύτητας-πλάτους.
- Η επιλογή να γίνεται με βάση την μεγαλύτερη σε πλάτος λωρίδα.

Εικόνα 3: Τρόπος κίνησης των μοτοσυκλετών σύμφωνα με τους Bonte et al (Πηγή: [7])

Για τις συγκεκριμένες λωρίδες δεν μπορεί να αναφερθεί ότι έχουν καθορισμένο πλάτος αλλά αυτό διαφοροποιείται ανάλογα με το πλάτος του δρόμου, τη θέση των προπορευόμενων οχημάτων και το είδος των οχημάτων.

Οι Dey et al [8] δημοσίευσαν μια ανάλογη έρευνα η οποία βασίζεται στην προσομοίωση. Οι παράμετροι που έπρεπε να μετρηθούν σε αυτή ήταν οι ακόλουθες:

- Τρόπος άφιξης οχήματος
- Είδος οχήματος
- Πλευρική Θέση οχήματος ως προς την οδό
- Ταχύτητα
- Όρια Ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων
- Μανούβρες προσπέρασης
- Χαρακτηριστικά επιτάχυνσης κατά την προσπέραση
- Πλευρική απόσταση κατά τη διάρκεια της προσπέρασης

Στόχος της έρευνας αυτής, ήταν αρχικά να συγκεντρωθούν στοιχεία από διάφορα μέρη της Ινδίας και να αναλυθούν οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αφού συγκεντρώθηκαν τα κατάλληλα στοιχεία, αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης όπου θα ενσωματώνονταν αυτά τα χαρακτηριστικά για να αναλυθούν τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά της οδού. Η παραδοχή, η οποία αναγκάστηκαν να λάβουν υπόψη τους για την προσομοίωση, είναι η θέση τους οχήματος στη λωρίδα. Τα οχήματα τοποθετούνται σε απόσταση 0.5 μέτρα από την άκρη του δρόμου και 0.5 μέτρα από κάθε πλευρά όταν βρίσκεται στο κέντρο του δρόμου. Για τα ποδήλατα και τις μηχανές ισχύει ότι τοποθετούνται εντός 1.0 μέτρου από τον δρόμο. Όσον αφορά στην πλευρική απόσταση, εκεί γίνεται η παραδοχή ότι το όχημα που προσπερνά βρίσκεται πάνω από 1.5 μέτρο από τον κεντρικό άξονα του οχήματος που προσπερνά. Αντίστοιχες παραδοχές γίνονται για τον τρόπο κίνησης των μοτοσυκλετών. Πιο αναλυτικά, η μοτοσυκλέτα:

- Κινείται σε ελεύθερη ροή
- Επιβραδύνει για να ακολουθήσει το προπορευόμενο όχημα
- Ακολουθεί για να επιταχύνει
- Μετακινείται πλευρικά για να προσπεράσει
- Κινείται παράλληλα με το όχημα που προσπερνά
- Κινείται πάλι πλευρικά για να αποκτήσει την πλευρική του θέση

Οι Lan et al [9] ανέπτυξαν και αυτοί ένα μοντέλο προσομοίωσης Cellular Automata, με σκοπό, να εξηγήσουν τις ξαφνικές επιβραδύνσεις ενός οχήματος που συναντά κάποιο εμπόδιο ή συναντά έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αν και δεν ασχολούνται ξεχωριστά με τις μοτοσυκλέτες και την κίνησή τους, παρουσιάζει ενδιαφέρον το γεγονός ότι ασχολούνται και αυτοί με οδό με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση. Επιπλέον, ο διαχωρισμός των λωρίδων έγινε είτε με τρεις υπολωρίδες με πλάτος 1.25 μέτρα είτε με πέντε υπολωρίδες των 0.75 μέτρων. Αυτός ο διαχωρισμός, γίνεται κατά την αλλαγή λωρίδας οπότε και το όχημα περνά σε διάφορες χρονικές στιγμές από τις υπολωρίδες αυτές, ενώ και άλλες έρευνες πραγματοποιούν αυτή την κατηγοριοποίηση των υπολωρίδων αυτών.

Τέλος, οι Dey και Chandra [10] στήριξαν και αυτοί την έρευνά τους στην προσομοίωση. Οι παράμετροι που έπρεπε να ληφθούν υπόψη για τη συγκεκριμένη έρευνα ήταν:

- Τύπος Οχημάτων
- Πλευρικές Αποστάσεις Οχημάτων
- Ταχύτητα
- Μανούβρες Προσπεράσεων
- Επιταχύνσεις κατά την Προσπέραση
- Χρονικά Κενά
- Χρονικοί Διαχωρισμοί συναρτήσει των Ταχυτήτων

Σκοπός αυτής της έρευνας, ήταν να προκύψει η σχέση μεταξύ του χρονικού διαχωρισμού των οχημάτων και της ταχύτητας. Από το διάγραμμα που προέκυψε, παρατηρείται ότι ο χρονικός διαχωρισμός μειώνεται ίσως εκθετικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης των οχημάτων. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε, ήταν ότι οι χρονικοί διαχωρισμοί είναι οι μεγαλύτεροι για βαρέα οχήματα και μικρότεροι για τις μοτοσυκλέτες, γεγονός που συνδέεται άμεσα με τις αποστάσεις ασφαλείας που κρατούνται για κάθε κατηγορία οχήματος. Η προσομοίωση

πραγματοποιήθηκε για δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση, στοιχείο που αποτελεί κοινό σημείο με την τρέχουσα έρευνα.

Απ' όλα τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό, ότι τα υπάρχοντα πρότυπα προσομοίωσης ναι μεν λαμβάνουν υπόψη την κίνηση των μοτοσυκλετών, παρ' όλ' αυτά είναι πολύ περιορισμένες οι κινήσεις τους, όπως και οι θέσεις των οχημάτων στην οδό. Αυτό δεν καθιστά την έρευνα ολοκληρωμένη αφού υπάρχουν περιπτώσεις που δεν λαμβάνονται υπόψη.

2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΠΡΑΓΡΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Παρακάτω, παρουσιάζεται μία σειρά ερευνών, που βασίζονται σε πραγματικές μετρήσεις, κατά χρονολογική σειρά.

Οι Beymer et al [11] πραγματοποίησαν μια έρευνα με σκοπό τη συλλογή κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών μέσω ενός συστήματος παρακολούθησης της κυκλοφορίας από βίντεο και βελτίωσης του έως τότε τρόπου συλλογής των απαραίτητων στοιχείων. Μέχρι τον καιρό που οι Beymer et al πραγματοποίησαν την έρευνά τους, συνηθέστερος τρόπος μέτρησης κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών ήταν οι φορατές. Η καταγραφή βίντεο παρ' όλ' αυτά, είχε κάποια πλεονεκτήματα που θα βοηθούσαν περαιτέρω στην έρευνα, όπως μικρότερο οικονομικό κόστος τοποθέτησης καμερών, καθώς οι υπόγειοι ανιχνευτές απαιτούσαν σκάψιμο του οδοστρώματος και η μέτρηση περισσότερων παραμέτρων, όπως ξαφνικές επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις, μήκος ουρών, συχνότητα αλλαγής λωρίδας, κτλ. Βέβαια, αν και η καταγραφή βίντεο επέτρεπε τη συλλογή περισσότερων κυκλοφοριακών μεγεθών, υπήρχαν παράγοντες που αλλοίωναν την εγκυρότητά τους. Για παράδειγμα, ένα συχνό φαινόμενο που παρατηρείται κατά την κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι οι μικροί χωρικοί διαχωρισμοί μεταξύ των οχημάτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα δύο οχήματα να προσμετρούνται ως ένα, αφού η κάμερα δεν μπορούσε να διαχωρίσει τα δύο οχήματα. Επιπλέον, ένα άλλο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η ποικιλία των οχημάτων (από βαρέα οχήματα μέχρι μοτοσυκλέτες) και η ποικιλία των κυκλοφορικών συνθηκών (από ελεύθερη ροή έως και πυκνή συμφόρηση). Επίσης, έπρεπε να αντιμετωπιστεί και η διαφορά των καιρικών συνθηκών. Για παράδειγμα, μια πιθανή κακοκαιρία με βροχή ή ομίχλη δυσκόλευε περαιτέρω την έγκυρη συλλογή στοιχείων μέσω βίντεο. Τέλος, επειδή δεν ήταν δυνατόν να μετρώνται όλα τα οχήματα, όσα από αυτά περνούσαν πολύ κοντά τοποθετούνταν στην ίδια κατηγορία αφού συνήθως είχαν τα ίδια χαρακτηριστικά. Μετά την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων, ελήφθησαν τα απαραίτητα στοιχεία ώστε να

προκύψουν τα απαραίτητα αποτελέσματα για παραμέτρους όπως φόρτο, ταχύτητα, πυκνότητα και το χωρικό διαχωρισμό των οχημάτων.

Δύο χρόνια αργότερα, οι Neubert et al [12], ασχολήθηκαν με στατιστικά στοιχεία που λάμβαναν από ανιχνευτές σε αυτοκινητοδρόμους στη Γερμανία. Αν και δεν σχετίζεται άμεσα με το θέμα της παρούσας έρευνάς, βασίστηκε και αυτή σε πραγματικές μετρήσεις. Συγκεκριμένα, προέκυψαν, για την περιοχή μελέτης που επέλεξαν, οι κατανομές χρονικού διαχωρισμού και η σχέση μεταξύ της ταχύτητας και της απόστασης, ανάλυση δηλαδή μικροσκοπικών μεγεθών. Παρουσιάστηκε το διάγραμμα φόρτου-πυκνότητας, ταχύτητας σε σχέση με το χωρικό διαχωρισμό και το διάγραμμα του χωρικού διαχωρισμού με τη διαφορά ταχυτήτων των οχημάτων στη σειρά. Βέβαια, εκτός από την αποτύπωση των διαγραμμάτων που προαναφέρθηκαν, σκοπός της έρευνας ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων για διάφορα επίπεδα εξυπηρέτησης.

Η έρευνα του Oketch [13], στηρίχθηκε επίσης σε πραγματικές μετρήσεις, που όμως δεν συνέλεξε ο ίδιος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησε ένα μοντέλο που χώριζε τις κινήσεις των μοτοσυκλετών σε διαμήκεις και πλευρικές κινήσεις ενώ στη συνέχεια βαθμονόμησε και επικύρωσε το μοντέλο παίρνοντας δεδομένα από την Καρλσρούη της Γερμανίας και Ναϊρόμπι της Κένυας. Η έρευνα είχε ως σκοπό να κάνει μία πρώτη προσέγγιση στην επίπτωση των μοτοσυκλετών ή ποδηλάτων στην κυκλοφορία όσον αφορά μακροσκοπικά μεγέθη της οδού όπως ταχύτητες, φόρτους και ροές κορεσμού.

Άλλο ένα άρθρο, που δεν έχει άμεση σχέση με το θέμα της συγκεκριμένης έρευνας, είναι η μελέτη των Minh et al [14], που είχαν ως στόχο τη συλλογή στοιχείων για την παρουσίαση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών στην πόλη Ανόι του Βιετνάμ. Και εδώ προέκυψαν διαγράμματα ταχύτητας-διαχωρισμού και ταχύτητας-φόρτου αλλά ασχολήθηκαν και με χρονικούς διαχωρισμούς. Οι μετρήσεις έγιναν με καλό καιρό σε ξηρό οδόστρωμα, μακριά από σηματοδοτούμενους κόμβους, ώστε να εξασφαλίζεται ελεύθερη ροή όπως στην παρούσα έρευνα. Άλλο ένα κοινό σημείο είναι ότι ένα μεγάλο μέρος των μετρήσεων έγινε σε δρόμο με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση διαχωρισμένες από την αντίθετη κυκλοφορία.

Η έρευνα των Hemakom et al [15] έχει ίσως, πιο άμεση σχέση με την τρέχουσα έρευνα, αφού παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες. Συγκεκριμένα, στην έρευνά τους ελήφθησαν βίντεο από την Μπανγκόκ, πρωτεύουσα μιας αναπτυσσόμενης χώρας με χαμηλό βιοτικό επίπεδο, όπου παρατηρείται μεγάλο ποσοστό μοτοσυκλετών. Για αυτή την έρευνα συλλέχθηκαν βίντεο από την πραγματική κυκλοφορία και έπειτα αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης μέσω του

οποίου θα γινόταν ο απαραίτητος έλεγχος των στοιχείων που συλλέχθηκαν. Στη συγκεκριμένη έρευνα αναπτύχθηκαν δύο αλγόριθμοι, ένας για την αλλαγή λωρίδας και ένας για τους ελιγμούς των μηχανών σε περίπτωση συμφόρησης. Και σε αυτή την έρευνα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος διαχωρισμού των λωρίδων σε τρεις υπολωρίδες, όμως αυτό που την ξεχωρίζει είναι ότι σε μία λωρίδα μπορεί να συνυπάρξει μια μοτοσυκλέτα με ένα αυτοκίνητο. Συγκεκριμένα, επειδή ένα αυτοκίνητο καταλαμβάνει τις δύο από τις τρεις υπολωρίδες, θεωρείται ότι μια μηχανή μπορεί να κινείται στην υπολωρίδα που μένει ελεύθερη. Στη συνέχεια παρατίθενται τα στοιχεία που μετρήθηκαν για κάθε ένα από τα δύο μοντέλα.

1. Για το **μοντέλο της αλλαγής λωρίδας,** μετρήθηκαν τα εξής:

- Αριθμός Αυτοκινήτων και Μοτοσυκλετών
- Ποσοστό λωρίδων με μηχανές και οχήματα
- Η λωρίδα των μηχανών και αυτοκινήτων πριν από την αλλαγή λωρίδας για προσπέραση και ο τύπος των οχημάτων
- Οι νέες λωρίδες των μηχανών μετά την προσπέραση
- Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των αποστάσεων από τα προπορευόμενα οχήματα

2. Για το **μοντέλο ελιγμών,** μετρήθηκαν τα εξής:

- Αριθμός Αυτοκινήτων και Μοτοσυκλετών
- Το ποσοστό των λωρίδων που χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και από μηχανές και από οχήματα
- Οι αρχικές λωρίδες των μηχανών πριν από τον ελιγμό και οι παράμετροι της ουράς
- Οι νέες λωρίδες των μηχανών μετά τον πρώτο ελιγμό, οι τελικές λωρίδες των μηχανών και οι πιθανότητες των προαναφερθέντων λωρίδων

Βάσει των μετρήσεων που ελήφθησαν διαπιστώθηκε ένα σφάλμα μικρότερο του 8% για το χρόνο ταξιδιού, την ταχύτητα και το χρόνο αναμονής στην ουρά. Στο τέλος του συγκεκριμένου άρθρου αναφέρεται ότι θα πρέπει να αυξηθεί η ποικιλία ώστε να μειωθεί το σφάλμα.

Η έρευνα του καθηγητή Lee [16] επικεντρώθηκε στη μελέτη των τροχιών που ακολουθούν οι μοτοσυκλέτες κατά την κίνησή τους. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας ανέπτυξε ένα πρόγραμμα για την καταγραφή των τροχιών χειροκίνητα μέσω των βίντεο, με το όνομα Trajectory Extractor. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε και στην τρέχουσα έρευνα και θα γίνει εκτενής ανάλυση στο Κεφάλαιο 3 (ενότητα 3.1.4) που περιγράφεται η μεθοδολογία.

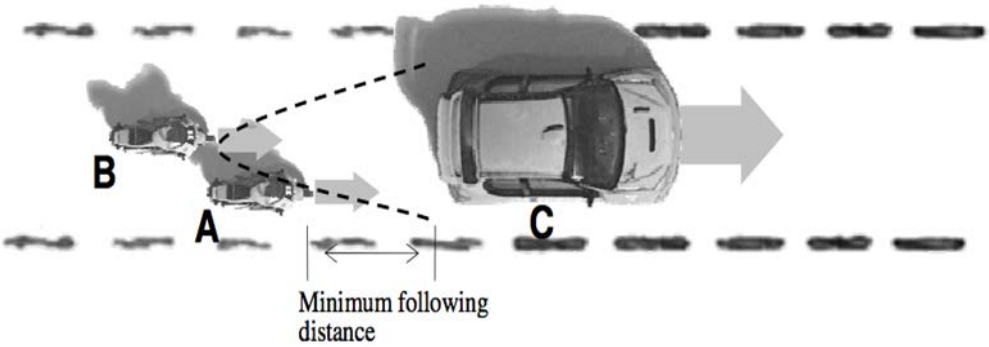
Σύμφωνα λοιπόν με τον καθηγητή Lee, οι κινήσεις των μοτοσυκλετών μπορούν να μοντελοποιηθούν και συνεπώς αναπτύχθηκαν τρία μοντέλα, για κάθε ένα από τα οποία έγινε διαφορετική βαθμονόμηση, ενώ τα δεδομένα προέκυψαν από λήψη βίντεο και έπειτα αναλύθηκαν στο Trajectory Extractor. Τέλος, αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για την αναπαράσταση της κίνησης των μηχανών και πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις από τις οποίες προέκυψε ότι το πρόγραμμα προσομοίωσης είναι ικανό να επεξηγήσει την κίνηση των μηχανών. Τα *τρία μοντέλα* που αναπτύχθηκαν από τον Lee είναι τα εξής:

1. Μοντέλο Διαμήκους Πορείας (Longitudinal Headway Model)

Παρατηρείται από την Εικόνα 4, ότι η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα ενός δίκυκλου εξαρτάται από τη σχετική θέση του με το προπορευόμενο όχημα. Με βάση μια τέτοια παρατήρηση και υπόθεση, το μοντέλο εξετάστηκε σε δύο σενάρια, αφού ο μοτοσυκλετιστής τείνει να ακολουθήσει δύο διαφορετικές στρατηγικές για να αποφύγει μια πιθανή σύγκρουση με το προπορευόμενο όχημα, είτε επιβραδύνει εγκαίρως, είτε κάνει πλάγια μανούβρα.

Στην πρώτη περίπτωση, οι μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται η οριζόντια απόσταση είναι οι ταχύτητες των δύο οχημάτων, επιβραδύνσεις των δύο οχημάτων και ο χρόνος αντίδρασης. Στην δεύτερη περίπτωση, οι μεταβλητές παραμένουν οι ίδιες, μόνο που προστίθεται η εγκάρσια απόσταση από την άκρη του προπορευόμενου οχήματος που θα έχει ο οδηγός μετά τη μανούβρα.

Παρ' όλα αυτά, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν είναι ικανό να περιγράψει πλήρως την αλληλεπίδραση μεταξύ της ακολουθίας και της πλευρικής θέσης των μοτοσυκλετών γι' αυτό και αναπτύχθηκε το ακόλουθο μοντέλο.

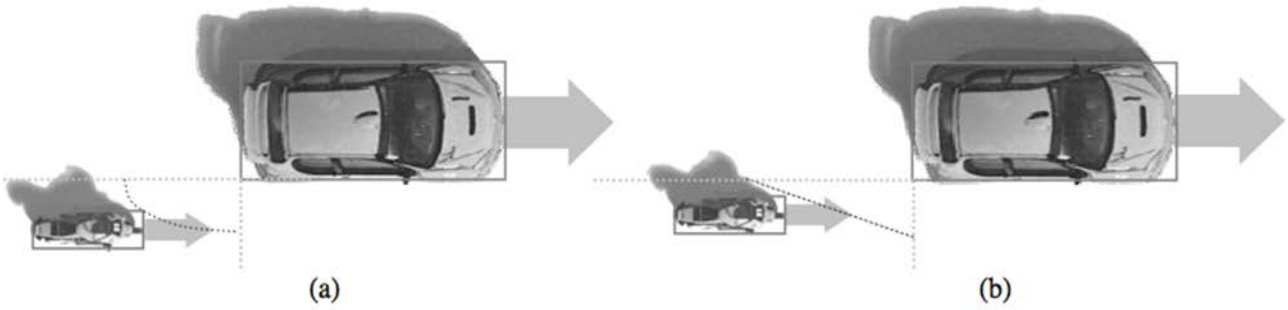


Εικόνα 4: Σχηματική Απεικόνιση του Μοντέλου Διαμήκους Πορείας (Πηγή: [16])

2. Μοντέλο Λοξής & Πλευρικής Πορείας (The Oblique & Lateral Headway Model)

Όταν ένας μοτοσυκλετιστής ακολουθεί ένα άλλο όχημα λοξά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, η απόσταση που κρατάει από το προπορευόμενο όχημα δεν έχει ως σκοπό απλώς για να αποφευχθεί μια οπίσθια σύγκρουση. Μερικές πλάγιες κινήσεις και μη παρατηρήσιμοι ψυχολογικοί παράγοντες εμπλέκονται επίσης. Πολλές υποθέσεις έγιναν για τη διευκόλυνση της μοντελοποίησης όπως:

- οι παράγοντες που επηρεάζουν την λοξή απόσταση πορείας χωρίζονται στους διαμήκεις και στους εγκάρσιους.
- παρατηρείται μια ελλειπτική καμπύλη ή ευθεία όπου ο μοτοσυκλετιστής δεν προτιμάει να βρίσκεται σε κάποιο σημείο έναντι άλλου.
- η διαμήκης απόσταση είναι συνάρτηση της γωνίας ακολουθίας, της ταχύτητας του προπορευόμενου οχήματος και της διαφοράς ταχύτητας των δύο οχημάτων, ενώ η εγκάρσια απόσταση της γωνίας ακολουθίας και της διαφοράς ταχύτητας των δύο οχημάτων.



Εικόνα 5: Σχηματική Απεικόνιση του Μοντέλου Λοξής και Πλευρικής Πορείας (Πηγή: [16])

Μια υποπερίπτωση της λοξής πορείας, μπορεί να θεωρηθεί όταν θ=90°, δηλαδή όταν η μοτοσυκλέτα ακολουθεί ένα όχημα πλευρικά ή όταν το προσπερνάει. Η απόσταση αυτή είναι συνάρτηση μονάχα της διαφοράς ταχύτητας των δύο οχημάτων.

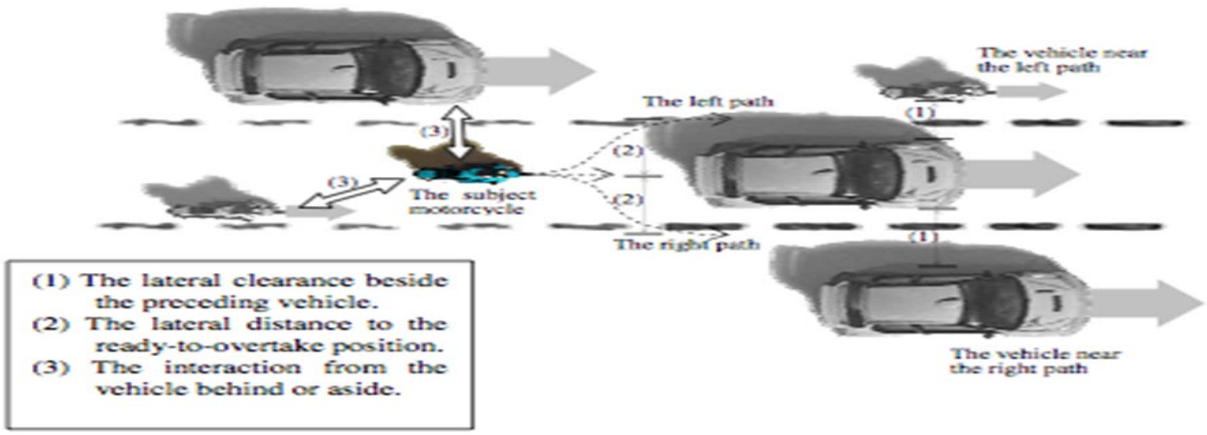
Στόχος του μοντέλου είναι να συμπληρώσει το προηγούμενο όπως αναφέρθηκε και παραπάνω καθώς το πρώτο μοντέλο δεν καλύπτει την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαμήκων κινήσεων των μηχανών και των πλευρικών κινήσεων.

3. Μοντέλο Επιλογής Διαδρομής (Path Choice Model)

Το μοντέλο διαμήκους πορείας και το μοντέλο λοξής και πλευρικής πορείας αναπτύχθηκαν για να περιγράψουν τις βασικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ μιας μοτοσυκλέτας και ενός οχήματος ώστε να αποφευχθεί κάποια οπίσθια σύγκρουση. Πέραν όμως της αποφυγής σύγκρουσης, ο μοτοσυκλετιστής διατηρεί κατάλληλη απόσταση ασφαλείας που ταυτόχρονα τον βοηθάει να επιλέξει μια πορεία όταν εμπλέκεται σε κάποιο σύμπλεγμα οχημάτων.

Το μοντέλο επιλογής διαδρομής (Εικόνα 6) περιγράφει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων των μοτοσυκλετιστών. Η επιλογή αυτή λειτουργεί ως το βραχυπρόθεσμο σχέδιο για το αν πρέπει ή όχι να κάνει μια πλάγια κίνηση. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που συμμετέχουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι παράγοντες οι οποίοι λήφθηκαν υπόψη από τον Lee είναι:

- οι ταχύτητες του προπορευόμενου οχήματος και των οχημάτων που το περιβάλλουν
- η πλευρική απόσταση από το όχημα που έχει σκοπό να προσπεράσει
- η κυκλοφοριακή κατάσταση μπροστά από το προπορευόμενο όχημα
- τα κενά δίπλα από το προπορευόμενο όχημα
- το μέγεθος του προπορευόμενου οχήματος
- οι επόμενες αποφάσεις που θα κληθεί να λάβει ο μοτοσυκλετιστής



Εικόνα 6: Σχηματική Απεικόνιση του Μοντέλου Επιλογής Διαδρομής (Πηγή: [16])

Μετά την ανάλυση όλων των παραπάνω μοντέλων ο Lee στην εργασία του ανέπτυξε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για να αναπαραστήσει τη συμπεριφορά των μηχανών στη μεικτή κυκλοφορία. Μετά από τρεις διαφορετικές εφαρμογές με το πρόγραμμα προσομοίωσης, οι οποίες αναλύονται διεξοδικά, γίνεται αντιληπτό ότι μπορεί να αναπαραστήσει τη συμπεριφορά των μοτοσυκλετιστών σε μεικτή κυκλοφορία ικανοποιητικά.

2.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Απ’ όλα τα παραπάνω, γίνεται φανερό, ότι η μελέτη των κινήσεων των μοτοσυκλετιστών είναι περίπλοκη. Στις περισσότερες έρευνες που αναλύθηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση ώστε να αναπαρασταθεί ο τρόπος κίνησης των μηχανών. Παρ’ όλα αυτά, οι περιπτώσεις των τροχιών που ακολουθούν οι μηχανές είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστούν στα πλαίσια της προσομοίωσης, ίσως γιατί δεν λαμβάνουν υπόψιν και τον ανθρώπινο παράγοντα.

Ωστόσο, αρκετοί ερευνητές χρησιμοποίησαν πραγματικές μετρήσεις για να έχουν πιο ακριβή δεδομένα που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Κύριος στόχος αυτών των ερευνών ήταν η ενασχόληση με το φόρτο, ταχύτητες και χωρικούς-χρονικούς διαχωρισμούς.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, έχει ως στόχο να διερευνήσει την τροχιά κίνησης του μοτοσυκλετιστή κατά το φαινόμενο της προσπέρασης. Η έρευνα αυτή στηρίχθηκε στη συλλογή μεταβλητών, οι οποίες δεν επικεντρώνεται σε μικροσκοπικά μόνο μεγέθη (χωρικούς διαχωρισμούς, ταχύτητες) αλλά και σε παράγοντες που έχουν να κάνουν με την λωρίδα στην οποία βρίσκεται το δίκυκλο (αριστερή/δεξιά), τη θέση του σε σχέση με τα άλλα οχήματα, το είδος προσπέρασης που κάνει (ελεύθερη λωρίδα / αλλαγή λωρίδας) , στους τύπους των άλλων οχημάτων που τον περιβάλλουν, την ύπαρξη φάλαγγας ή όχι και τέλος αν φοράει κράνος και εάν μεταφέρει επιβάτη.

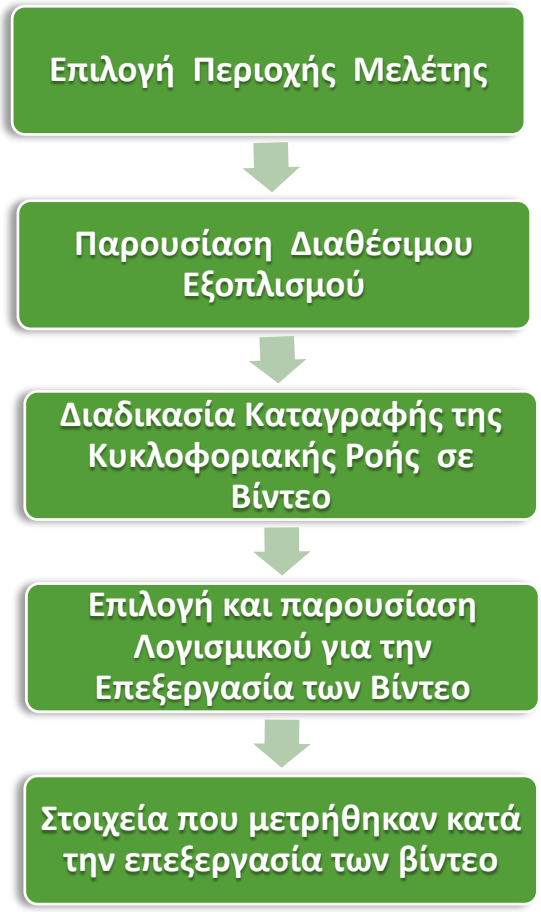
3. Μεθοδολογία

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο στάδια. Το *πρώτο στάδιο*, αφορά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας της ανάλυσης τροχιών των μοτοσυκλετιστών μέσω της διαδικασίας καταγραφής των βίντεο, την παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση τους και η λήψη των δεδομένων που προκύπτει από αυτά. Το *δεύτερο στάδιο*, αφορά την ανάπτυξη στατιστικών προτύπων για την ανάλυση του φαινομένου της προσπέρασης με χρήση κατάλληλου στατιστικού μοντέλου για την επεξεργασία της βάσης δεδομένων που έχει δημιουργηθεί για την εκπλήρωση του σκοπού της έρευνας αυτής. Καθώς και τα στατιστικά μοντέλα που δημιουργήθηκαν και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτά. Η παρούσα έρευνα βασίζεται σε προηγούμενη έρευνα (Ε. Μπαρμπουνάκης, 2012) [17] κατά την οποία σκοπός της ήταν να ερευνηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν το δικυκλιστή στην απόφαση του να προσπεράσει ή όχι ένα προπορευόμενο όχημα, η σημαντικότητα του καθενός και να δημιουργηθούν κατάλληλα μοντέλα πρόβλεψης του φαινομένου της προσπέρασης. Από την παραπάνω έρευνα, προέκυψε ένα πλήθος δεδομένων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα διπλωματική εργασία με συμπλήρωμα και άλλων μεταβλητών. Παρακάτω θα παρουσιαστεί αναλυτικά, ο τρόπος λήψης των βίντεο που έγινε από τον κ. Μπαρμπουνάκη [17], το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση τους και οι μεταβλητές που μετρήθηκαν από την επεξεργασία της βιντεοσκόπησης.

3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε η επιλογή της περιοχής μελέτης και η διαδικασία λήψης δεδομένων, έγιναν από τον κ. Μπαρμπουνάκη [17], κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής του εργασία, η οποία σκοπό είχε να διερευνήσει τους παράγοντες που επηρεάζουν το δικυκλιστή στην απόφαση του να προσπεράσει ή όχι, σε ένα προπορευόμενο όχημα. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε το ίδιο υλικό, για τις ίδιες περιπτώσεις μοτοσυκλετιστών , μετρώντας κάποιες επιπλέον μεταβλητές, με σκοπό να διερευνηθεί ο ρόλος που μπορεί να έχει και το πίσω όχημα από τον μοτοσυκλετιστή, καθώς και ο χώρος που δημιουργείται από τα περιβάλλοντα οχήματα, στην απόφασή του να κάνει προσπέραση ή όχι. Θεωρήθηκε σκόπιμο, για καλύτερη κατανόηση του αντικείμενου μελέτης αυτής της έρευνας,

να παρουσιασθεί όλη η διαδικασία επιλογής περιοχής μελέτης και τρόπος λήψης δεδομένων που έγιναν στην προηγούμενη έρευνα.



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Ροής της Μεθοδολογίας Καταγραφής Βίντεο και Λήψης Δεδομένων

3.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης έπρεπε να τηρεί κάποιους περιορισμούς, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω :

- Να υπάρχουν δύο (2) λωρίδες ανά κατεύθυνση.
- Να είναι διαχωρισμένοι οι δύο διαφορετικές κατευθύνσεις κυκλοφορίας με νησίδα στη μέση, ώστε να μην εισέρχονται τα οχήματα από την μία κατεύθυνση στην άλλη σε περίπτωση προσπέρασης.
- Να μην υπάρχουν στροφές και κοίλες ή κυρτές καμπύλες στο δρόμο.
- Το σημείο μελέτης να μην είναι κοντά σε σηματοδοτούμενο κόμβο ώστε να μην έχουμε ανάλογες επιβραδύνσεις ή επιταχύνσεις που οφείλονται στην κόκκινη ένδειξη.

- Να μην υπάρχουν είσοδοι/έξοδοι από καταστήματα ή βενζινάδικα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη φυσιολογική ροή των οχημάτων. Επιπλέον, για τον ίδιο λόγο δεν θα πρέπει να υπάρχουν στάσεις λεωφορείων ή ταξί, ενώ δεν θα έπρεπε να υπάρχουν και παρκαρισμένα οχήματα.
- Να υπάρχει υπερυψωμένο σημείο πάνω από την οδό που θα στηθεί η βιντεοκάμερα, με οπτική αντίθετη προς τη ροή της κυκλοφορίας. Όσο ψηλότερα μπορεί να στηθεί η κάμερα, τόσο το καλύτερο για την εγκυρότητα των μετρήσεών .

Έχοντας τους παραπάνω περιορισμούς, ξεκίνησε η αναζήτηση για το κατάλληλο σημείο που θα μπορούσαμε να στηθεί η βιντεοκάμερά, για να ληφθούν τα βίντεο. Ένα από τα μέρη που φάνηκε να πληρεί τους παραπάνω περιορισμούς ήταν η πεζογέφυρα του Σαντιάγκο Καλατράβα, η οποία και φαίνεται στην Εικόνα 7 και Εικόνα 8 . Η συγκεκριμένη πεζογέφυρα, που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αρχιτεκτόνημα, που κατασκευάστηκε στο σταθμό του Μετρό Κατεχάκη την περίοδο των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας.

Εικόνα 7: Φωτογραφία της Πεζογέφυρας Calatrava (Πηγή [18])

Εικόνα 8: Φωτογραφία της Πεζογέφυρας Calatrava (Πηγή [18])

Τα βασικά αρχιτεκτονικά της στοιχεία είναι ο μεταλλικός πυλώνας (ύψους 50 μέτρων ακριβώς στην είσοδο του σταθμού) και ο εναέριος πεζοδιάδρομος (μήκους 94 μέτρων και πλάτους 5 έως 6 μέτρων), ο οποίος υψώνεται 6 μέτρα πάνω από το οδόστρωμα της Λεωφόρου Μεσογείων, με προσβάσεις από σταθερές ή κυλιόμενες σκάλες και μεγάλους ανελκυστήρες. Οι εντυπωσιακές μεταλλικές χορδές ξεκινούν από τον ψηλό πυλώνα και συγκρατούν τον πεζοδιάδρομο κυριολεκτικά στον αέρα. Η πεζογέφυρα σε σχέδια του Καταλανού αρχιτέκτονα Σαντιάγκο Καλατράβα, εκτός από την αισθητική αξία που προσδίδει στην περιοχή, συμβάλλει και στην άμεση, ασφαλή σύνδεση της δυτικής πλευράς της λεωφόρου με τον υπόγειο σταθμό του Μετρό (Εικόνα 9) .

Εικόνα 9: Χάρτης από την ευρύτερη περιοχή του σταθμού Μετρό Κατεχάκη (Πηγή [18])

3.1.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Στο χώρο που φυλάσσονται τα μηχανήματα του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, υπήρχε όλος ο διαθέσιμος εξοπλισμός για την καταγραφή της κυκλοφοριακής ροής.

Συγκεκριμένα, για την καταγραφή των βίντεο, χρησιμοποιήθηκε κάμερα χειρός υψηλής ανάλυσης ,η Sony Handyman HDR-SR7E που έχει αγοραστεί από το ΕΜΠ και η οποία φαίνεται στην Εικόνα 10.

Εικόνα 10: Διαθέσιμος Εξοπλισμός (κάμερα και τρίποδας)

Επιπρόσθετα, επειδή οι βιντεοσκοπήσεις πρέπει να απεικονίζουν ένα σταθερό περιβάλλον, απαραίτητη είναι η χρήση ενός τρίποδα για σταθερότητα του πλάνου λήψης και για να επιτευχθεί με ακρίβεια η βαθμονόμηση. Να προστεθεί ότι η παραπάνω κάμερα έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει κατευθείαν τα δεδομένα σε ψηφιακή μορφή ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν κατάλληλα από οποιονδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

3.1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΒΙΝΤΕΟ

Η καταγραφή των βίντεο έγινε στο ρεύμα προς Αθήνα, της Λεωφόρου Μεσογείων, στο ύψος της λεωφόρου Κατεχάκη. Μετά από διαδοχικές επισκέψεις του κ. Μπαρμπουνάκη[17] στην περιοχή, σε διαφορετικές μέρες και ώρες, αποφασίστηκε από τον ίδιο, ότι η βιντεοσκόπηση θα πρέπει να γίνει μεσημεριανές ώρες, αφού και η ροή θα ήταν ικανοποιητική και δεν θα υπήρχε κορεσμός όπως συνηθίζεται τις πρωινές ώρες. Άλλωστε, από παρατηρήσεις προκύπτει, ότι μία οδός με σημαντική κυκλοφορία σε εργάσιμες ώρες παρουσιάζει

υψηλότερο φόρτο το μήνα Δεκέμβριο, με βάση την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία, αλλά όχι ακραίες τιμές [19]. Επίσης, σε μια ελεύθερη λεωφόρο όπως την περιοχή μελέτης έπρεπε να αποφευχθούν μετρήσεις μέσα στο Σαββατοκύριακο αφού θα υπήρχαν χαμηλότεροι φόρτοι κυκλοφορίας, μη αντιπροσωπευτικοί της πραγματικής κατάστασης για το αντικείμενο της έρευνας και με λιγότερες περιπτώσεις [19]. Τέλος, για καθημερινές ημέρες, επιλέχθηκαν οι μεσημεριανές ώρες. Δεδομένου του ότι οι μετρήσεις έγιναν το μήνα Δεκέμβριο, σημαντικό παράγοντα έπαιξαν και οι καιρικές συνθήκες, καθώς το οδόστρωμα θα έπρεπε να είναι στεγνό και τη στιγμή της βιντεοσκόπησης να υπάρχει ηλιοφάνεια ώστε να υπάρχει ευκρίνεια κατά την επεξεργασία των βίντεο.

Η πρώτη βιντεοσκόπηση έγινε στις 6 Δεκεμβρίου 2012 μεταξύ 13:00-15:00 και η δεύτερη στις 20 Δεκεμβρίου 2012 μεταξύ 13:30-15:30. Ο λόγος για τον οποίο η βιντεοσκόπηση έγινε δύο διαφορετικές ημέρες είναι ότι η μπαταρία της κάμερας δεν διαρκεί παραπάνω από 2,5 ώρες και είχε γίνει η εκτίμηση ότι για να έναν επαρκή αριθμό περιπτώσεων θα χρειαστεί δείγμα περίπου 4-5 ώρες καταγραφής βίντεο.

3.1.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΒΙΝΤΕΟ

Μετά τη συλλογή των βίντεο θα έπρεπε να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα συλλεχθούν τα δεδομένα που απαιτούνται. Ένας διαδεδομένος τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων παγκοσμίως είναι το Autoscope, όμως για τη συγκεκριμένη έρευνα προτιμήθηκε το λογισμικό που ανέπτυξε ο καθηγητής Lee [16]. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται Trajectory Extractor [20] και συγκεντρώνει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το Autoscope, ένα ευρέως διαδεδομένο εργαλείο ανάλυσης βίντεο.

Το συγκεκριμένο λογισμικό αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του καθηγητή Lee [16] με σκοπό την καταγραφή των τροχιών των οχημάτων χειροκίνητα μέσα από βίντεο. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί χρησιμοποιεί ως είσοδο βίντεο από πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι για την καλύτερη χρήση και βελτιστοποίηση των δεδομένων, απαιτούνται τα βίντεο να έχουν τραβηχτεί από κάποιο υπερυψωμένο σημείο.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το Trajectory Extractor αναλύονται παρακάτω:

1. Μπορούν να μετρηθούν όλες οι τροχιές και τα κυκλοφοριακά μεγέθη των εξεταζόμενων οχημάτων.

2. Μπορεί οποιοδήποτε βίντεο να επανεξεταστεί και να αναλυθεί ξανά για να διασφαλιστεί η ποιότητα των δεδομένων που εξάγονται.
3. Απλό σε χρήση χωρίς να χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη εκμάθηση.
4. Δε χρειάζεται η παρουσία του ερευνητή κατά τη διάρκεια της βιντεοσκόπησης.
5. Συλλέγει δεδομένα με την αλληλεπίδραση πολλαπλών οχημάτων.

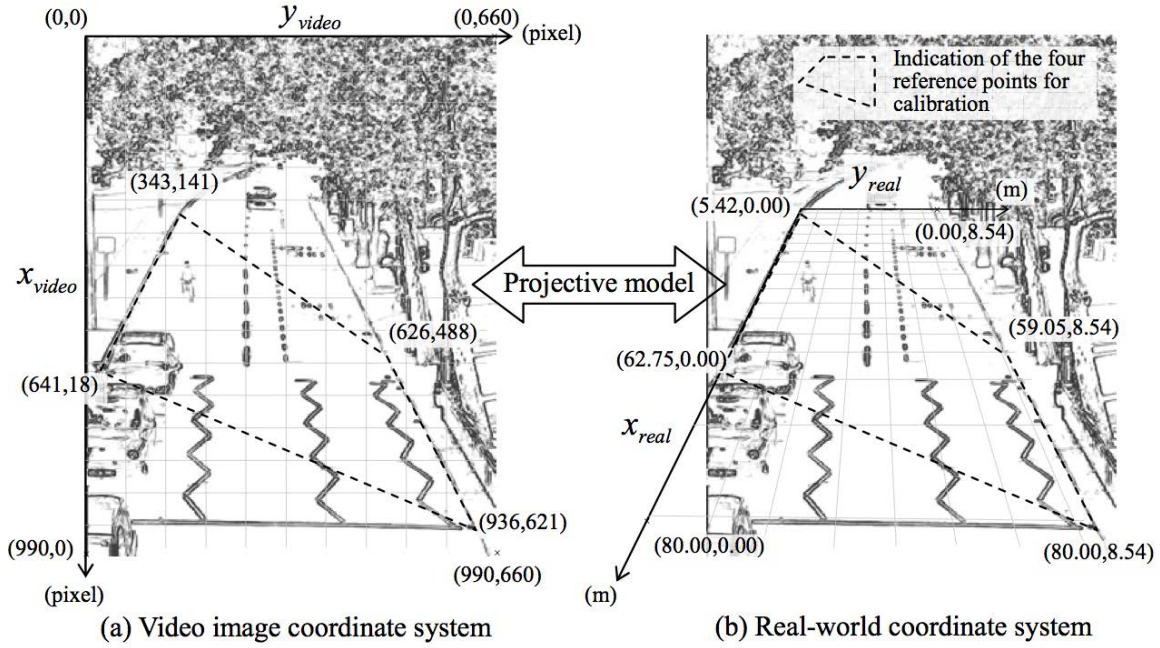
Τα μειονεκτήματά του είναι τα εξής:

1. Χρονοβόρα, μονότονη και επίπονη διαδικασία της ανάλυσης.
2. Επηρεάζεται χρονικά από τα στοιχεία που απαιτούνται και από τις κυκλοφοριακές συνθήκες.
3. Περιορισμένη περιοχή μελέτης (μέχρι 200 μέτρα).
4. Η λήψη του βίντεο πρέπει να γίνεται από υπερυψωμένο σημείο πάνω από το μέσο της οδού.
5. Πρώιμο στάδιο ανάπτυξης του λογισμικού με αρκετά λάθη στον κώδικα (bugs).

Προκύπτει λοιπόν πως το Trajectory Extractor [20] είναι το κατάλληλο λογισμικό για κάποιον ερευνητή που είναι αποφασισμένος να αφιερώσει αρκετό χρόνο στη συλλογή στοιχείων ενώ είναι επίσης πολύ σημαντικό το πλεονέκτημα της αλληλεπίδρασης πολλαπλών οχημάτων όπως και η δυνατότητα επανάληψης κάποιας μέτρησης αν κριθεί αναγκαίο.

3.1.4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Το Trajectory Extractor [20] χρησιμοποιεί ένα μοντέλο μετατροπής (Projective Model) των συντεταγμένων του βίντεο σε πραγματικές συντεταγμένες για καλύτερα και πιο ακριβή αποτελέσματα. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να δοθούν οι πραγματικές συντεταγμένες για τέσσερα σημεία, τα οποία είτε μετρώνται από τον ερευνητή είτε είναι γνωστές με κάποιον τρόπο εκ των προτέρων. Βασική απαίτηση του Projective Model είναι τα τέσσερα(4) αυτά σημεία, θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με το δρόμο και να μην βρίσκονται στην ίδια ευθεία ανά τρία(3) μεταξύ τους. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι σταθερά σημεία καθ΄ όλη τη διάρκεια της βιντεοσκόπησης, ευδιάκριτα μέσα στο βίντεο και να μην επηρεάζεται η οπτική τους από χρονικές ή καιρικές συνθήκες (σκιές για παράδειγμα) τουλάχιστον κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Τα σημεία επίσης θα πρέπει να βρίσκονται εκατέρωθεν του δρόμου και ένα από αυτά θα πρέπει να οριστεί ως αρχή των αξόνων και να υπολογιστούν τα υπόλοιπα βάσει αυτού.



Εικόνα 11: Μετατροπή Εικονικών Συντεταγμένων Βίντεο σε Πραγματικές Συντεταγμένες

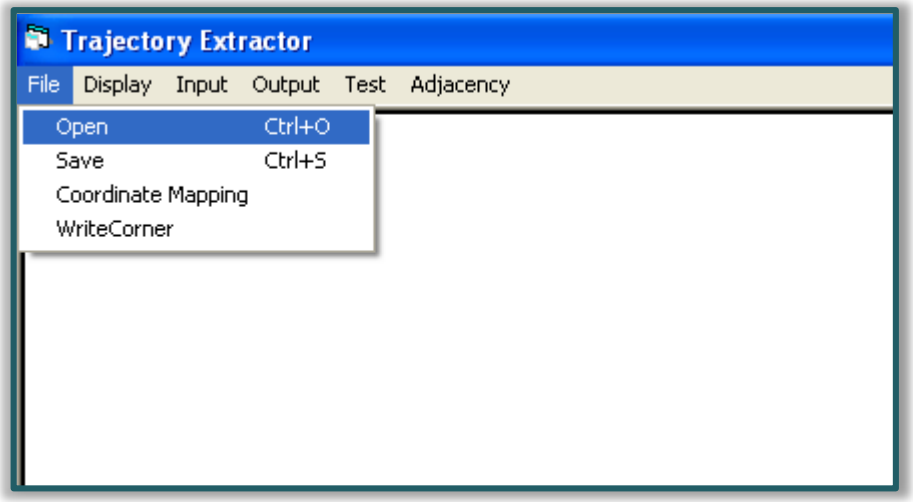
Το λογισμικό, για τον υπολογισμό των πραγματικών συντεταγμένων, χρησιμοποιεί τους παρακάτω τύπους από την φωτομετρία:

$$x_{real} = \frac{\alpha_1 x_{video} + \alpha_2 y_{video} + \alpha_3}{\alpha_4 x_{video} + \alpha_5 y_{video} + 1}$$

$$y_{real} = \frac{\alpha_6 x_{video} + \alpha_7 y_{video} + \alpha_8}{\alpha_4 x_{video} + \alpha_5 y_{video} + 1}$$

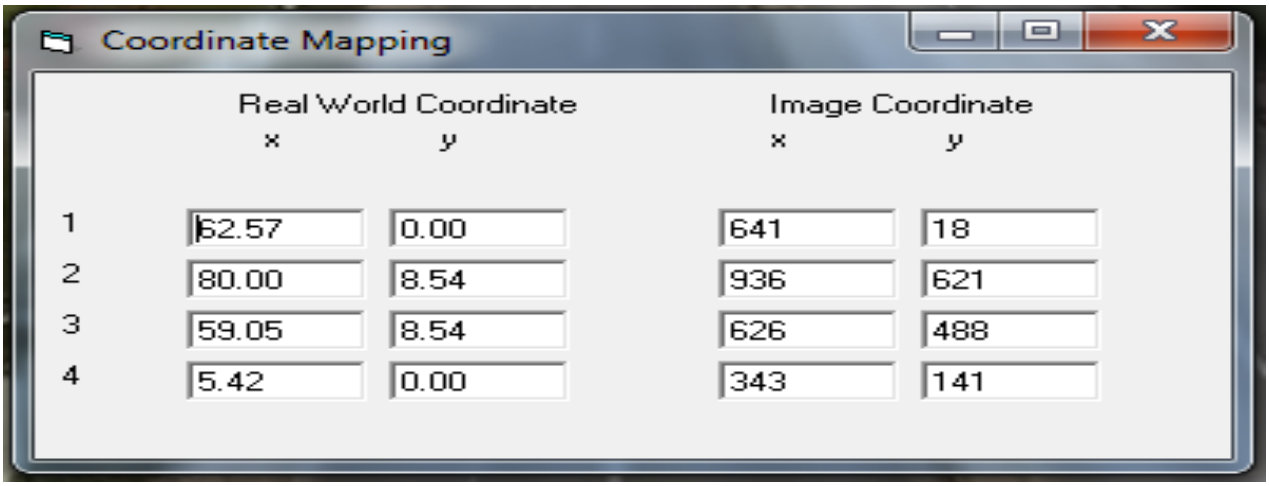
Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω σχέσεις, το πρόγραμμα μέσω των τεσσάρων(4) σημείων που του δίνουμε υπολογίζει τις σταθερές α_1 έως α_8 και έπειτα μπορεί να καθορίσει τις συντεταγμένες οποιουδήποτε σημείου μέσα στο βίντεο.

Έχοντας πάρει τα τέσσερα(4) αυτά σημεία, στο πρόγραμμα Trajectory Extractor εισάγεται και ανοίγει το βίντεο το οποίο πρέπει να έχει μορφή .AVI και να έχει ανάλυση το πολύ 960x540. Αυτό γίνεται μέσω του μενού File ➡ Open και επιλογή του βίντεο που υπάρχει για τη βαθμονόμηση (Εικόνα 12).



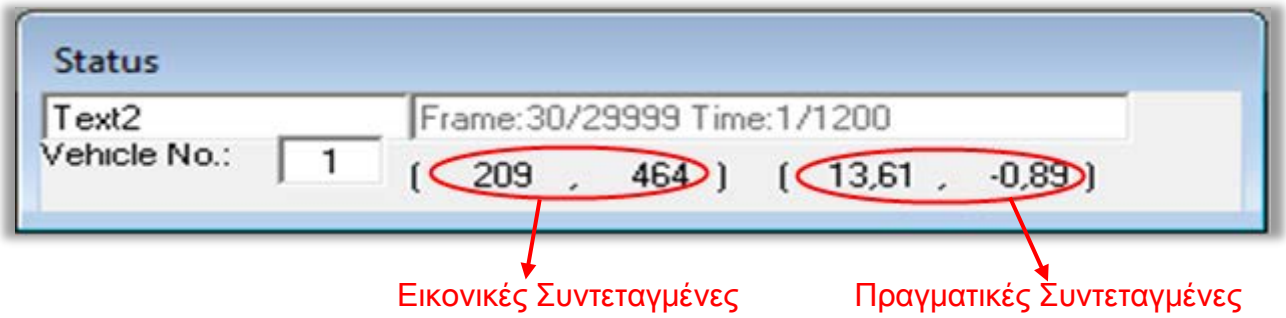
Εικόνα 12: Παράθυρο Εισαγωγής Βίντεο

Έπειτα, εμφανίζεται στην οθόνη μια εικόνα από το βίντεο που έχει εγγραφεί. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει η βαθμονόμηση μέσα από το μενού File→Coordinate Mapping και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 13) που γίνεται η διαδικασία της βαθμονόμησης.



Εικόνα 13: Παράθυρο για τη βαθμονόμηση του Trajectory Extractor

Έχοντας τις πραγματικές συντεταγμένες μέσω των αποστάσεων που έχουμε μετρήσει, αναζητούμε στο βίντεο τα τέσσερα(4) σημεία που έχουμε επιλέξει. Μετακινώντας τον κέρσορα και τοποθετώντας τον πάνω στα σημεία αυτά λαμβάνονται οι εικονικές συντεταγμένες μέσα στο βίντεο. Εμφανίζονται όπως στο παρακάτω παράθυρο Status του Trajectory Extractor (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Πίνακας Status

Αφού η διαδικασία επαναληφθεί μέχρι να γίνει αντιστοίχηση και των τεσσάρων(4) σημείων και έχει συμπληρωθεί ο πίνακας του Coordinate Mapping (Εικόνα 13), κλείνοντας το παράθυρο ολοκληρώνεται η διαδικασία της βαθμονόμησης.

3.1.4.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΙΝΤΕΟΣΚΟΠΗΣΗ

Στο εγχειρίδιο χρήσης του Trajectory Extractor [20] παρατίθενται οδηγίες που θα πρέπει να ακολουθήσει ο ερευνητής πριν και κατά την εγγραφή του βίντεο για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις του και μείωση των σφαλμάτων κατά την εξαγωγή των δεδομένων.

- *Βιντεοκάμερα*: Μία βιντεοκάμερα με υψηλότερη ευκρίνεια δίνει τη δυνατότητα στην εικόνα να έχει καλύτερη ανάλυση. Έτσι επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα που εξάγουμε.

- *Τοποθεσία της βιντεοκάμερας*: Για να ελεγχθούν τα σφάλματα λόγω προοπτικής στις εικόνες, η βιντεοκάμερα θα πρέπει να τοποθετηθεί το ψηλότερο δυνατό και η γωνία εγγραφής θα πρέπει να είναι όσο πιο απότομη γίνεται.

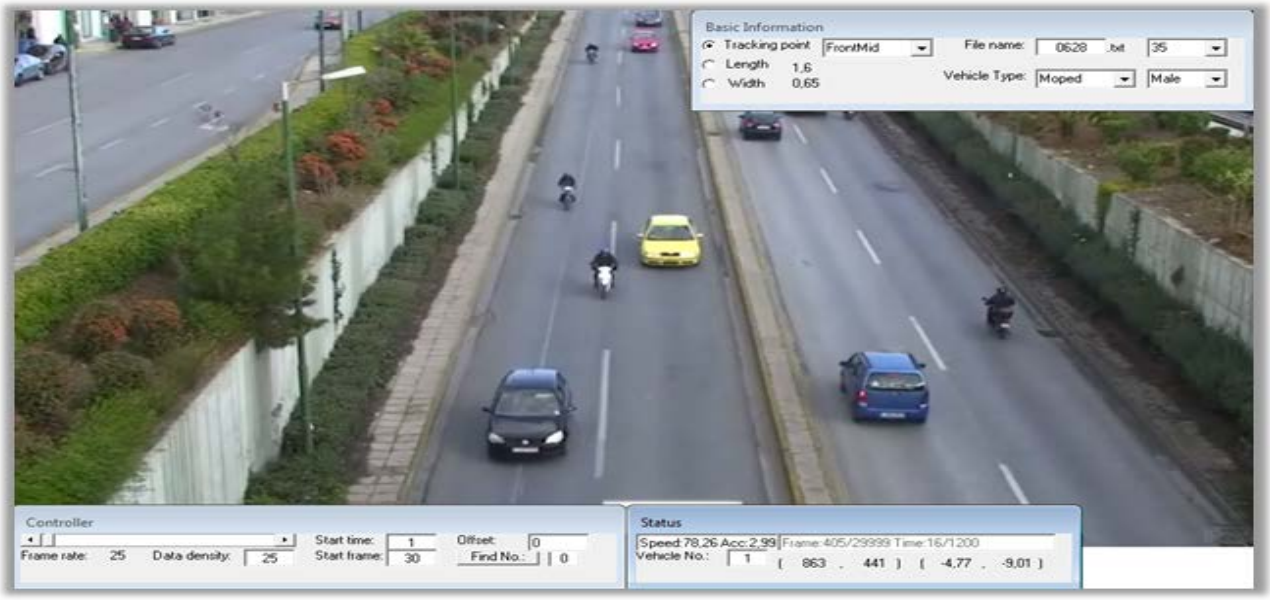
- *Το εστιακό μήκος της βιντεοκάμερας*: Θα πρέπει η βιντεοκάμερα να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εστιακό μήκος. Αυτό έχει να κάνει με τους φακούς της βιντεοκάμερας και θα πρέπει να αποφευχθούν φακοί με μεγάλη παραμόρφωση στα μεγάλα μήκη.

- *Ροή της κυκλοφορίας*: Θα πρέπει να γίνεται σε ένα ενιαίο επίπεδο, δηλαδή να μην υπάρχουν κοίλες ή κυρτές κλίσεις στην οδό ή στροφές.

- *Πραγματικές συντεταγμένες*: Για να μετατρέψουμε τις εικονικές συντεταγμένες σε πραγματικές συντεταγμένες, θα πρέπει τα τέσσερα σημεία που έχουμε προαναφέρει να μετρηθούν κατά την εγγραφή του βίντεο έτσι ώστε να μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές του μοντέλου μετατροπής συντεταγμένων. Ανά τρία σημεία δεν θα πρέπει να βρίσκονται στην ίδια ευθεία και όλα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

3.1.4.3 ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ TRAJECTORY EXTRACTOR

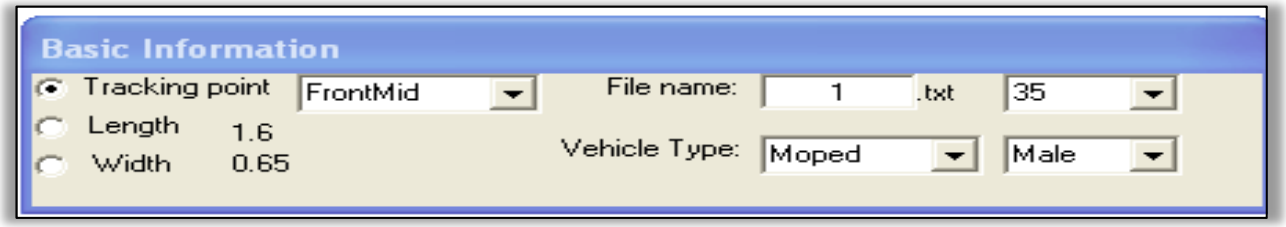
Η Εικόνα 15, αποτελεί ενδεικτικό του περιβάλλοντος του λογισμικού Trajectory Extractor. Η συγκεκριμένη εικόνα αποτελεί επίσης στιγμιότυπο από τη διαδικασία λήψης των δεδομένων στα βίντεο που εγγράφηκαν για την τρέχουσα εργασία. Το Trajectory Extractor προσφέρει στο χρήστη ένα πλήθος μεγεθών τα οποία μπορούν να μετρηθούν, όπου καταγράφονται σε ένα αρχείο .txt μετά την ολοκλήρωση της καταγραφής της τροχιάς κάθε οχήματος.



Εικόνα 15: Ενδεικτικό περιβάλλον του λογισμικού Trajectory Extractor

Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων γίνεται με τη χρήση τριών βασικών πινάκων, που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα και οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

Με τον πίνακα ***Basic Information*** (Εικόνα 16), υπάρχουν οι εξής επιλογές:

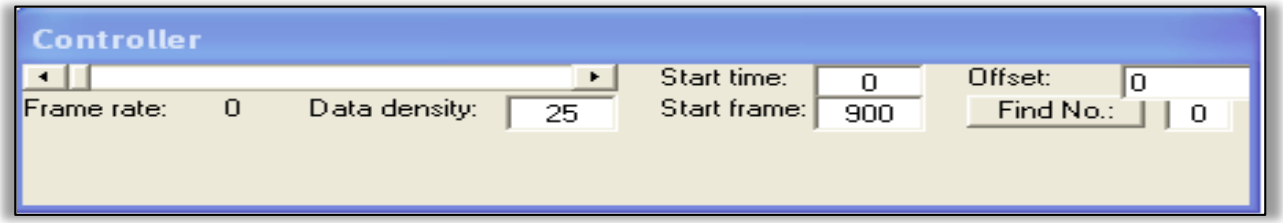


Εικόνα 16: Πίνακας Basic Information

- ***Tracking Point:*** βάσει αυτού επιλέγεται ποιο σημείο πάνω στο όχημα θα συμβάλλει για την καταγραφή της τροχιάς του. Οι επιλογές που διατίθενται είναι οι:
  - FrontMid: Μπροστά και Κέντρο
  - FrontRight: Μπροστά και Δεξιά
  - FrontLeft: Μπροστά και Αριστερά
  - BackMid: Πίσω και Κέντρο
  - BackRight: Πίσω και Δεξιά
  - BackLeft: Πίσω και Αριστερά
- *Length*: ορίζεται το μήκος του εξεταζόμενου οχήματος, καθώς και όλα τα μήκη στο εξεταζόμενο καρέ. Με δύο κλικ πάνω σε δύο σημεία για την αποστάσεις που θέλουμε να μετρήσουμε, μπορούμε να πάρουμε το μήκος της απόστασης αυτής.
- *Width:* ορίζει το πλάτος και έχει την ίδια λειτουργία με το Length
- *File name:* αναφέρεται στο αρχείο .txt των αποτελεσμάτων
- Στα δεξιά του File name υπάρχει η επιλογή ηλικίας του οδηγού με τις εξής επιλογές:
  - 20 ετών
  - 35 ετών
  - 55 ετών
  - 80 ετών
- *Vehicle Type:* επιλογή του τύπου του οχήματος μεταξύ:
  - Moped: Μικρή μοτοσυκλέτα ή μοτοποδήλατο
  - Motorbike: Μοτοσυκλέτα Μεγάλου Κυβισμού
  - Car: Αυτοκίνητο ΙΧ
  - Bus: Λεωφορείο
  - Bicycle: Ποδήλατο
  - Cab: Ταξί
  - Van: Μικρό Φορτηγό

- Στα δεξιά του Vehicle Type υπάρχει η επιλογή του φύλου του οδηγού του εξεταζόμενου οχήματος.

Με τον πίνακα **Controller** (Εικόνα 17), έχουμε τις εξής επιλογές:



Εικόνα 17: Πίνακας Controller

- Μπορούμε να επιλέξουμε τη χρονική διαφορά ανάμεσα στα στιγμιότυπα. Συγκεκριμένα, επειδή το βίντεο έχει Frame Rate 25 frames/sec, ανάλογα την τιμή που παίρνει το Data Density μπορούμε να ρυθμίσουμε τη χρονική διαφορά που επιθυμούμε. Συγκεκριμένα για Data Density ίσο με 12,5 η διαφορά είναι 0,5 sec ενώ για 50 η διαφορά είναι 2 sec.
- Μπορούμε μέσω του Start Time ή Start Frame να επιλέγεται ο χρόνος ή το καρέ έναρξης του βίντεο.
- Επιπλέον, υπάρχει η επιλογή αντισταθμίσματος offset καθώς και η εύρεση συγκεκριμένου καρέ με την εντολή Find No.

Στον πίνακα **Status** (Εικόνα 18), ο οποίος παρουσιάστηκε και παραπάνω, υπάρχουν οι εξής επιλογές:

Εικόνα 18: Πίνακας Status

- Εμφανίζεται η ταχύτητα με την ένδειξη *Speed* του οχήματος που έχουμε επιλέξει τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ουσιαστικά, μέσω των συντεταγμένων του βίντεο που έχουν μετατραπεί σε πραγματικές συντεταγμένες, έχουμε την απόσταση που διανύει

το όχημα και διαιρώντας με το χρονικό διάστημα ανάμεσα στα δύο στιγμιότυπα προκύπτει η παραπάνω τιμή.

- Ομοίως η διπλανή ένδειξη *Acc* δίνει την ένδειξη της επιτάχυνσης του οχήματος. Με αρνητικό πρόσημο εμφανίζεται τυχόν επιβράδυνση.
- Εμφανίζονται οι εικονικές συντεταγμένες στην πρώτη παρένθεση, δηλαδή στο στιγμιότυπο (910 , 8) ενώ στη δεύτερη οι πραγματικές συντεταγμένες (55.3 , -206.17) με αρχή των αξόνων το σημείο που θέσαμε κατά τη βαθμονόμηση.
- Εμφανίζεται ο αριθμός του συγκεκριμένου στιγμιότυπου με την ένδειξη *Frame* (δηλαδή 80/29999) ενώ η διπλανή ένδειξη *Time*, σε δευτερόλεπτα (3/1200). Η αναλογία μεταξύ των δύο είναι ότι Frame= 25*second όπως προαναφέρθηκε στα χαρακτηριστικά του βίντεο που εγγράψαμε.
- Εμφανίζεται ο αριθμός του οχήματος που έχουμε επιλέξει να επισημάνουμε την τροχιά του.

3.1.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΒΙΝΤΕΟ

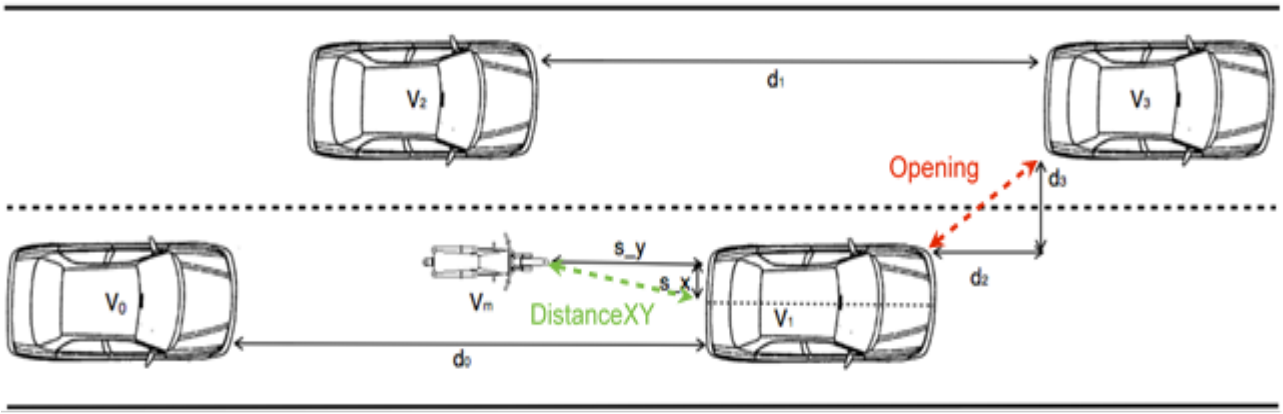
Πριν την παρουσίαση του δεύτερου σταδίου της διπλωματικής αυτής εργασίας, θα ήταν σκόπιμο, να παρουσιαστούν οι συμβολισμοί των μεταβλητών που μετρήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στα στατιστικά μοντέλα. Θα γίνει ένας διαχωρισμός των μεταβλητών που εξήχθησαν από τον κ. Μπαρμπουνάκη [17] και εκείνων που μετρήθηκαν και προστέθηκαν στην βάση δεδομένων.

Οι συμβολισμοί που μετρήθηκαν στην προηγούμενη έρευνα, είναι οι εξής:

- **lane:** Λωρίδα που βρίσκεται το δίκυκλο που μελετάται (0 για Αριστερά, 1 για Δεξιά)
- **on_the_fly:** Είδος προσπέρασης (0 για Lane Changing, 1 για On the Fly)
- **over:** Αν έγινε ή όχι η προσπέραση (0 αν δεν έγινε, 1 αν έγινε)
- **Veh_TypeM:** Τύπος Δίκυκλου (0 για μικρού κυβισμού, 1 για μεγάλου κυβισμού)
- **Vm:** Ταχύτητα Δίκυκλου (σε km/h)
- **Veh_Type1:** Τύπος Οχήματος που προσπερνάται (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
- **Veh_RL:** Λωρίδα που βρίσκεται το όχημα που προσπερνάται (0 για Αριστερά, 1 για Δεξιά)
- **V1:** Ταχύτητα του οχήματος που προσπερνάται (σε km/h)
- **Veh_Type0:** Τύπος Οχήματος 0 (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)

- **Veh_Type2:** Τύπος Οχήματος 2 (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
- **Veh_Type3:** Τύπος Οχήματος 3 (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
- **platoon:** Ύπαρξη φάλαγγας (0 για όχι, 1 για Ναι)
- **sum_platoon:** Αριθμός Οχημάτων στη φάλαγγα
- **d0:** Απόσταση μεταξύ οχήματος 0 και 1 (σε m)
- **d1:** Απόσταση μεταξύ οχήματος 2 και 3 (σε m)
- **d2:** Εγκάρσια απόσταση μεταξύ οχήματος 1 και 3 (σε m)
- **d3:** Οριζόντια απόσταση μεταξύ οχήματος 1 και 3 (σε m)
- **s_x:** Οριζόντια απόσταση Δίκυκλου σε σχέση με το κεντρικό άξονα του οχήματος που προσπερνάται (σε m)
- **s_y:** Εγκάρσια απόσταση Δίκυκλου σε σχέση με το κεντρικό άξονα του οχήματος που προσπερνάται (σε m)
- **V2:** Ταχύτητα οχήματος 2 (σε km/h)
- **V3:** Ταχύτητα οχήματος 3 (σε km/h)
- **helmet:** Αν φοράει κράνος ο δικυκλιστής (0 για όχι, 1 για Ναι)
- **passenger:** Αν υπάρχει δεύτερος αναβάτης στο δίκυκλο-αντικείμενο (0 για όχι, 1 για Ναι)

Ο τρόπος που ονομάζονται τα οχήματα 0,1,2 και 3 φαίνονται στο Σχήμα 1:

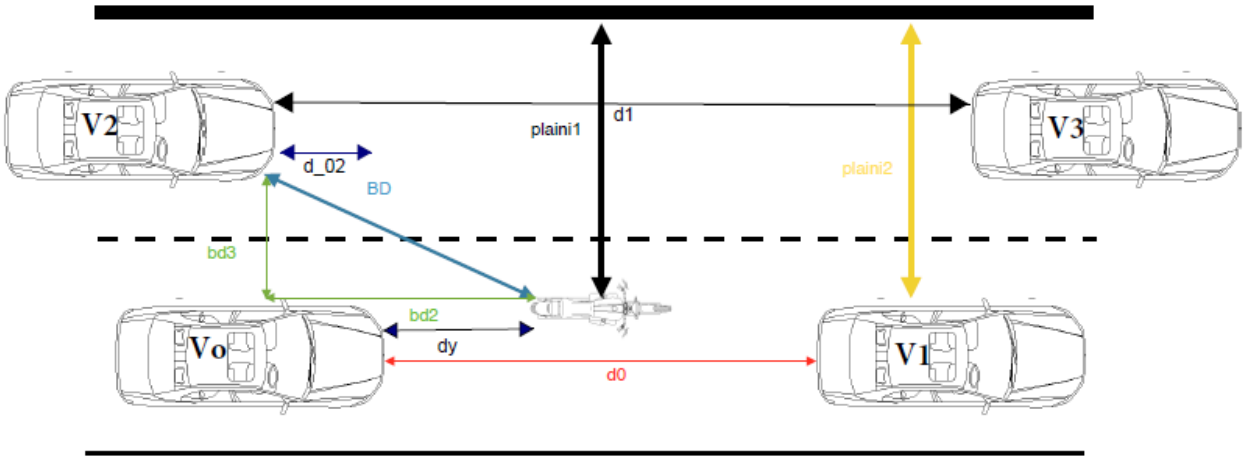


Σχήμα 1: Σκαρίφημα για ορισμό των μεταβλητών που μετρήθηκαν από τον κ. Μπαρμπουνάκη [17]

Οι μεταβλητές που μετρήθηκαν κατά την επεξεργασία των βίντεο, με το λογισμικό Trajectory Extractor, για την παρούσα διπλωματική εργασία, είναι οι εξής:

- **bd2**:Εγκάρσια απόσταση μεταξύ δικυκλιστή και οχήματος 2 (σε m)
- **bd3**:Οριζόντια απόσταση μεταξύ δικυκλιστή και οχήματος 2 (σε m)
- **plaini_1**: Η απόσταση από τον κεντρικό άξονα του δικυκλιστή μέχρι την οριογραμμή της δεξιάς/αριστερής λωρίδας. Στην ουσία ορίζεται ως η διαθέσιμη απόσταση που έχει από δεξιά/αριστερά του ανάλογα με το είδος προσπέρασης που κάνει.
- **plaini_2**: Η απόσταση του οχήματος 1 από την οριογραμμή της δεξιάς/αριστερής λωρίδας .Επιλέγεται πάλι σαν τη διαθέσιμη απόσταση που ''βλέπει'' να έχει μπροστά του ο δικυκλιστής ανάλογα με το είδος προσπέρασης που κάνει.

Οι παραπάνω μεταβλητές, παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 2:



Σχήμα 2: Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών που μετρήθηκαν στην παρούσα έρευνα

Οι μεταβλητές που προέκυψαν από συνδυασμό όλων των παραπάνω, είναι οι εξής:

- **DistanceXY:** Ορίζεται η γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δίκυκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλοεπιδρά. Η μαθηματική σχέση που την ορίζει είναι DistanceXY=$(s_x^2+s_y^2)^{0,5}$. Δημιουργήθηκε αφού θεωρήθηκε ότι θα ήταν σημαντικό η απόσταση του δίκυκλου αντικειμένου να εξεταστεί ως συνάρτηση των δύο αποστάσεων που μετρήθηκαν και όχι μεμονωμένα.
- **Opening:** Ορίζεται το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα. Η μαθηματική σχέση που την ορίζει είναι Opening=$(d_2^2+d_3^2)^{0,5}$. Δημιουργήθηκε αφού θεωρήθηκε ότι θα ήταν σημαντικό εξεταστούν οι δύο αποστάσεις ως μία μεταβλητή.

Επίσης, πολλές φορές μία από τις δύο αποστάσεις μετρούνταν ως μηδενική, είτε γιατί το όχημα 3 ήταν στην ίδια λωρίδα με το 1, είτε επειδή σε κάποιες από τις περιπτώσεις δεν υπήρχε το όχημα 3 στην οδό. Για να μην υπάρχουν μηδενικές τιμές της μεταβλητής Opening, όταν και $d_2=d_3=0$, αντικαταστάθηκαν όλες οι μηδενικές τιμές της με την τιμή 100m, δηλαδή μεγάλη απόσταση που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπήρχε όχημα που να επηρεάζει το δίκυκλο αντικείμενο.

- **bd**: Ορίζεται η διαγώνιος που δημιουργείται από τις bd2 και bd3 και έχει μαθηματική εξίσωση $bd= (bd_2{}^2+ bd_3{}^2)^{0.5}$ (σε m)
- ***dy :*** Η εγκάρσια απόσταση του δικυκλιστή και του οχήματος 0 (m)
- **diff_1**: Η διαφορά ταχυτήτων του δικυκλιστή με το όχημα 1.Ορίζεται ως $diff_1 = V_m - V_1$ (km)
- **diff_2**: Η διαφορά ταχυτήτων του δικυκλιστή με το όχημα 2.Ορίζεται ως $diff_2 = V_m - V_2$ (km)
- **diff_3**: Η διαφορά ταχυτήτων του οχήματος 3 με το όχημα 2.Ορίζεται ως $diff_3 = V_3 - V_2$ (km)
- **d_02**: Η εγκάρσια απόσταση του οχήματος 2 από το όχημα 0. Ορίζεται ως d_02 = bd2 – dy (m)

3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε στην Ενότητα 3.1, η συγκεκριμένη έρευνα, χωρίζεται σε δύο στάδια. Στο *δεύτερο στάδιο*, αναπτύσσονται στατιστικά δομικά μοντέλα, για την επεξεργασία της βάσης δεδομένων που έχει δημιουργηθεί, για την εκπλήρωση του σκοπού της έρευνας αυτής. Βασικό κριτήριο επιλογής, είναι η εύρεση ενός μοντέλου, το οποίο εκτός από τις παρατηρούμενες μεταβλητές που εξάγονται από το λογισμικό Trajectory Extractor, να μπορεί να επεξεργαστεί μεταβλητές, οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν ή να παρατηρηθούν (π.χ. νοημοσύνη, επιρροή, συμπεριφορά κλπ.). Τα SEM MIMIC Models, αποτελούν το καταλληλότερο εργαλείο, για την υλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας.

3.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (Structural Equation Models-SEM) είναι μια στατιστική τεχνική, για τον έλεγχο και την εκτίμηση των σχέσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ

μεταβλητών, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό των στατιστικών στοιχείων και ποιοτικών αιτιακών σεναρίων. Τα μοντέλα δομικών εξισώσεων είναι ένας γενικός όρος, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα πλήθος στατιστικών μοντέλων, που στοχεύουν στην αξιολόγηση της εγγύτητας θεωριών με εμπειρικά δεδομένα.

Βασικό πλεονέκτημά τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν τις σχέσεις με μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν ή να υπολογιστούν, με συμβατικούς τρόπους μέτρησης ή παρατήρησης. Αυτές οι μεταβλητές αποκαλούνται μη παρατηρήσιμες ή λανθάνουσες (latent). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί, ότι για την εφαρμογή τους χρειάζεται μεγάλο δείγμα μετρήσεων/παρατηρήσεων (N>200).

Τα SEM εκτιμούν και αξιοποιούν τις σχέσεις μεταξύ λανθανουσών και παρατηρηθέντων μεταβλητών. Τα δύο είδη μεταβλητών χωρίζονται σε ενδογενείς και εξωγενείς, αναλόγως των αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν σε αυτές. Οι μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν άλλες και δεν αλληλοεπηρεάζονται, είναι οι εξωγενείς, ενώ ενδογενείς είναι εκείνες που επηρεάζονται από τις άλλες. Οι σχέσεις μεταξύ εξωγενών και ενδογενών μεταβλητών, εξετάζονται μέσω γραμμικών εξισώσεων και επιπλέον υπάρχει και η δυνατότητα της γραφικής αναπαράστασης του εκτιμώμενου μοντέλου για καλύτερη κατανόηση και επεξεργασία.

Ένα διάγραμμα στα μοντέλα δομικών εξισώσεων, αποτελείται από ορθογώνια παραλληλόγραμμα και από κύκλους ή ελλείψεις που συνδέονται μεταξύ τους με απλής ή διπλής κατεύθυνσης βέλη. Τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα, αντιπροσωπεύουν τις παρατηρηθείς ή μετρήσιμες μεταβλητές και οι ελλείψεις τις κρυφές ή λανθάνουσες. Πιο συγκεκριμένα, τα απλής κατεύθυνσης βέλη χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις αιτιώδεις σχέσεις στο μοντέλο, όπου η μεταβλητή στην ουρά του βέλους προκαλεί τη μεταβλητή στο σημείο. Τα διπλής κατεύθυνσης βέλη, χρησιμοποιούνται για να δείξουν τις συνδιακυμάνσεις ή τους συσχετισμούς μεταξύ των παραγόντων χωρίς καμία αιτιώδη ερμηνεία. Στατιστικά τα απλά βέλη αντιπροσωπεύουν τους συντελεστές παλινδρόμησης ή τις φορτώσεις των παραγόντων, ενώ τα διπλής κατεύθυνσης βέλη δείχνουν τις συνδιακυμάνσεις μεταξύ των παραγόντων. Συνδεμένος με κάθε μια παρατηρήσιμη μεταβλητή, είναι ένας όρος λάθους, ο οποίος αντιπροσωπεύει το λάθος μέτρησης και απεικονίζει την επάρκεια του μοντέλου στη μέτρηση του σχετικού παράγοντα. Επιπλέον, συνδεμένος με κάθε κρυφή μεταβλητή είναι ένας όρος υπολοίπου (residual), ο οποίος αντιπροσωπεύει το λάθος στην πρόβλεψη των ενδογενών παραγόντων από τους εξωγενείς παράγοντες. Δεδομένου ότι και οι όροι λάθους και υπολοίπων, αντιπροσωπεύουν μεταβλητές που δεν ορίζονται στο μοντέλο, έχουν τη μορφή του κύκλου ή της έλλειψης.

Το δομικό μοντέλο εξισώσεων, καθορίζει τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των κρυφών παραγόντων καθώς και την προσαρμοστικότητα των προτύπων με τα δεδομένα. Με τον όρο αιτιώδη σχέση ορίζεται η υπόθεση ότι, θεωρώντας σταθερά όλα τα υπόλοιπα στοιχεία που καθορίζουν το μοντέλο, μία αλλαγή στη μεταβλητή που βρίσκεται στην ουρά του βέλους, τι είδους μεταβολή θα προκαλέσει στη μεταβλητή που βρίσκεται στο κεφάλι του βέλους και αν αυτή η μεταβολή είναι στατιστικά σημαντική. Επομένως, σε ένα δομικό μοντέλο, κάθε εξίσωση αντιπροσωπεύει μια αιτιώδη συνάφεια παρά μια εμπειρική ένωση.

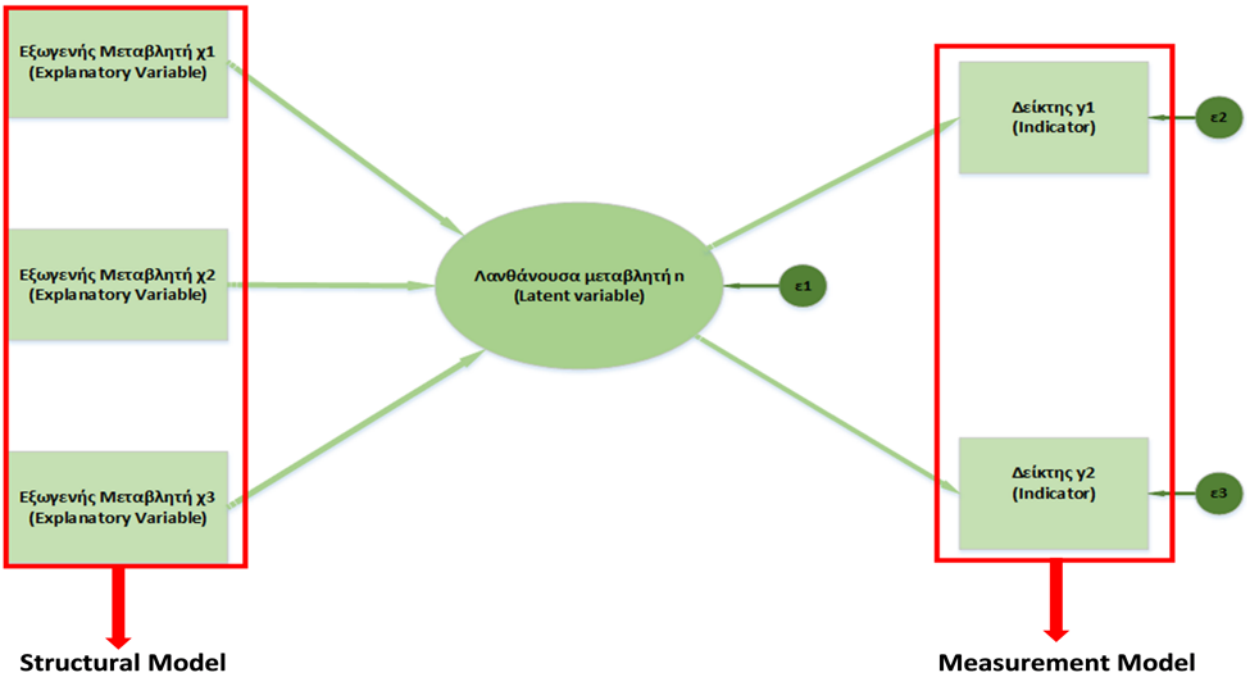
Το πρότυπο MIMIC- Πολλαπλοί Δείκτες-Πολλαπλές Αιτίες (Multiple Indicators – Multiple Causes) είναι μια περίπτωση μοντελοποίησης με δομικά μοντέλα εξισώσεων (SEM), γνωστό επίσης και ως μοντελοποίηση με λανθάνουσες μεταβλητές και αποτελεί μια διεξοδική τεχνική για τον έλεγχο των υποθέσεων, όσον αφορά τις σχέσεις μεταξύ των παρατηρούμενων και των μη παρατηρούμενων (λανθανουσών) μεταβλητών. Το μοντέλο αποτελείται από δύο συστατικά μέρη: ένα μοντέλο μέτρησης (measurement model) που καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ μιας λανθάνουσας μεταβλητής και τους δείκτες της και ένα δομικό μοντέλο (structural model) το οποίο διευκρινίζει τις περιστασιακές σχέσεις μεταξύ λανθανουσών μεταβλητών και επεξηγεί τις περιστασιακές επιδράσεις. Ένα πρότυπο MIMIC θεωρεί τη λανθάνουσα μεταβλητή **n** ως μονοδιάστατο μέγεθος και συσχετίζει τον φορέα των δεικτών **y** και τις παρατηρούμενες εξωγενείς μεταβλητές **x** που την προκαλούν με το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων:

$$\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{\Gamma}\mathbf{x} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{y} = \boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\zeta}$$

Όπου **Γ** και **Λ** πίνακες αγνώστων παραμέτρων που υπολογίζονται και **ε** και **ζ** είναι όροι σφάλματος (Vlachogianni et al, 2013) [21].

Το διάγραμμα των SEM MIMIC Models, έχει την παρακάτω σχηματική απεικόνιση (Εικόνα 19):



Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου SEM MIMIC Model

3.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ (SEM)

Τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (Structural Equation Models - SEM) συνήθως χρησιμοποιούνται σαν μια επικυρωτική διαδικασία διαφόρων θεωρητικών υποθέσεων, επειδή δεν υπολογίζουν μόνο τις εκτιμήσεις για τους παράγοντες του μοντέλου (όπως διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις των παραγόντων, τον υπολογισμό της διακύμανσης των καταλοίπων και των λαθών), αλλά εξετάζουν επίσης και το βαθμό προσαρμογής τους με τα δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορα κριτήρια καταλληλότητας και στατιστικούς δείκτες καλής προσαρμογής. Οι δείκτες αυτοί παρέχουν την πιο θεμελιώδη ένδειξη του πόσο καλά η προτεινόμενη θεωρία ταιριάζει με τα δεδομένα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι δείκτες χ^2-Chi-Square, RMSEA, SRMR, AIC, BIC, CI, pclose, CFI, TLI και CD.

- **Πιθανότητα χ^2-Chi-Square:** Το κύριο μέτρο καθορισμού της συνολικής (καθολικής) προσαρμογής ενός μοντέλου, είναι το ποσοστό πιθανοφάνειας (likelihood-ratio). Ενώ ο δείκτης χ^2-Chi-Square διατηρεί τη δημοτικότητά του ως ένα κατάλληλο στατιστικό δείκτη, υπάρχει μια σειρά από σοβαρούς περιορισμούς στην χρήση του. Πρώτον, ο δείκτης αυτός προϋποθέτει πολυμεταβλητή κανονικότητα και σοβαρές αποκλίσεις από το φυσιολογικό και μπορεί να οδηγήσει σε απορρίψεις μοντέλων, ακόμη και όταν το μοντέλο ορίζεται

σωστά. Δεύτερον, επειδή είναι στην ουσία μια δοκιμή στατιστικής σημαντικότητας είναι ευαίσθητος προς το μέγεθος του δείγματος που σημαίνει ότι ο δείκτης χ^2-Chi-Square απορρίπτει σχεδόν πάντα το μοντέλο, όταν τα δείγματα που χρησιμοποιούνται είναι μεγάλα. Από την άλλη, όταν χρησιμοποιείται σε μικρά δείγματα, διαθέτει δύναμη και δεν μπορεί να κάνει συγκρίσεις των μοντέλων καλής προσαρμογής και εκείνων κακής προσαρμογής. Λόγω του περιοριστικού χαρακτήρα του, οι ερευνητές αναζήτησαν εναλλακτικούς δείκτες για την αξιολόγηση του κατάλληλου μοντέλου. Ένα παράδειγμα από ένα στατιστικό δείκτη που να ελαχιστοποιεί την επίδραση του μεγέθους του δείγματος για το δείκτη χ^2 -Chi-Square είναι ο λόγος (χ2/df), όπου df οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κοινή συναίνεση για έναν αποδεκτό λόγο για αυτό το στατιστικό δείκτη, διάφορες προτάσεις τον κυμαίνουν από 2.0 έως 5.0. Επομένως, προτείνεται η χρήση αυτού του δείκτη να συνοδεύεται πάντα και από άλλους δείκτες προσαρμογής [22].

- **RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation):** Η ρίζα των μέσων τετραγώνων των σφάλματων εκτίμησης-RMSEA-είναι το απόλυτο μέτρο καταλληλόλητας που βασίζεται στην παράμετρο μη κεντρικότητας. Ο τύπος υπολογισμού του είναι:

$$\frac{\sqrt{\chi 2 - df}}{\sqrt{[df(N-1)]}}$$

όπου N το μέγεθος του δείγματος και df οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου. Αν χ2 είναι μικρότερο του df, τότε η RMSEA μηδενίζεται. Η τιμή του εκφράζει την απόκλιση ανά βαθμό ελευθερίας. Η απόκλιση αυτή μετριέται ανάλογα με το συνολικό πληθυσμό και όχι μόνο με το δείγμα που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση (Steiger 1990). Ο δείκτης είναι θετικά πολωμένος (δηλαδή, τείνει να είναι πάρα πολύ μεγάλος) και το ποσό της μεροληψίας εξαρτάται από το πόσο μικρό είναι το μεγέθος του δείγματος και τους βαθμούς ελευθερίας (df), κυρίως τους df. Η RMSEA, είναι σήμερα το πιο δημοφιλές μέτρο καταλληλότητας μοντέλου και αναφέρεται σε όλα σχεδόν τα έγγραφα που χρησιμοποιούν CFA ή SEM. Ορισμένοι αναφέρουν τον δείκτη ως «Ramsey». Οι MacCallum, Browne και Sugawara (1996) χρησιμοποίησαν τις τιμές 0.01, 0.05, και 0.08 για να δείξουν άριστη, καλή και μέτρια εφαρμογή του μοντέλου, αντίστοιχα. Ωστόσο, άλλοι πρότειναν 0.10 ως οριακή τιμή για φτωχά μοντέλα. Γενικά μία τιμή κάτω από 0.08 δείχνει καλή εφαρμογή, ενώ τιμές γύρω στο μηδέν δείχνουν τέλεια εφαρμογή του μοντέλου μας [23].

- **CI (Confidence Interval):** Ένα διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval-CI) μπορεί να υπολογιστεί για την RMSEA. Ιδανικά, η χαμηλότερη τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης (90% CI) είναι πολύ κοντά στο μηδέν (ή μικρότερη από 0.05) και η ανώτερη τιμή πρέπει να είναι λιγότερη από 0.1. Το πλάτος του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι πολύ κατατοπιστικό για την ακρίβεια στην εκτίμηση της RMSEA [23].

- ***p* of Close Fit (PCLOSE):** Το μέτρο αυτό είναι μία μονόπλευρη δοκιμή της μηδενικής υπόθεσης είναι ότι η RMSEA ισούται με 0.05. Ένα τέτοιο μοντέλο έχει σφάλμα, αλλά όχι πολύ μεγάλο. Η εναλλακτική λύση, είναι η μονόπλευρη υπόθεση είναι ότι η RMSEA είναι μεγαλύτερη από 0.05. Έτσι, αν το p είναι μεγαλύτερο από 0.05 (δηλαδή, όχι στατιστικά σημαντικό), τότε εξάγεται το συμπέρασμα ότι η προσαρμογή του μοντέλου είναι καλή. Αν το p είναι μικρότερο από 0.05, συνάγεται ότι το μοντέλο δεν προσαρμόζεται στα δεδομένα (δηλαδή, η RMSEA είναι μεγαλύτερη από 0.05). Όπως και με κάθε δείκτη, το μέγεθος του δείγματος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, αλλά και οι βαθμοί ελευθερίας(df) του μοντέλου. Με λιγότερους df υπάρχει λιγότερη ισχύ σε αυτό το δείκτη [23].

- **AIC (Akaike's Information Criterion):** Το κριτήριο AIC αποτελεί ένα συγκριτικό μέτρο ανάμεσα σε διαφορετικές δομές μοντέλων, οι οποίες καθορίζονται από τις διάφορες πιθανές διασυνδέσεις μεταξύ των διαθέσιμων μεταβλητών. Οι χαμηλότερες τιμές υποδεικνύουν μια καλύτερη εφαρμογή και έτσι το μοντέλο με το χαμηλότερο AIC είναι εκείνο με την καλύτερη προσαρμογή των δεδομένων. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι που δίνονται για το AIC στη βιβλιογραφία, αλλά οι διαφορές αυτές δεν έχουν πραγματικά νόημα, δεδομένου ότι η διαφορά στο AIC, είναι που έχει πραγματική σημασία:

$$AIC = \chi 2 + N\,(N + 1) - 2dF$$

  όπου N είναι το μέγεθος του δείγματος και df είναι οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου [23].

- **BIC (Bayesian Information Criterion):** Ομοίως με το κριτήριο AIC, το κριτήριο BIC αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης ανάμεσα σε διάφορες δομές μοντέλων και χαμηλότερες τιμές του, δείχνουν το μοντέλο με την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα. Δίνεται από τη σχέση:

$$BIC = \chi 2 + ln\,(N)\,[k\,(k + 1)\,/\,2 - df]$$

  όπου ln(N) είναι ο φυσικός λογάριθμος του αριθμού των περιπτώσεων του δείγματος [23].

- **SRMR (Standardized Root Mean Square Residual):** Το υπόλοιπο ρίζας μέσων τετραγώνων (SRMR) ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της παρατηρούμενης συσχέτισης και την προβλεπόμενη συσχέτισης. Είναι ένας θετικά πολωμένος δείκτης και είναι μεγαλύτερος για τα μικρά δείγματα(N) και τους λιγότερους βαθμούς ελευθερίας(df). Επειδή το SRMR είναι ένα απόλυτο μέτρο, μια τιμή μηδέν σημαίνει τέλεια εφαρμογή. Το SRMR επηρεάζεται από την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Μια τιμή του μικρότερη από 0.08 θεωρείται γενικά μια καλή προσαρμογή του μοντέλου (Hu & Blender, 1999) [23].

- **CFI (Comparative Fit Index):** Ο δείκτης συγκριτικής καταλληλότητας (CFI: Bentler, 1990) είναι μια αναθεωρημένη μορφή του NFI ο οποίος λαμβάνει υπόψη το μέγεθος του δείγματος (Byrne, 1998) και εκτελείται καλά ακόμα και όταν αυτό είναι μικρό (Tabachnick & Fidell, 2007). Ο δείκτης αυτός εισήχθη για πρώτη φορά από τον Bentler (1990) και στη συνέχεια συμπεριληφθεί ως μέρος των δεικτών καταλληλότητας στο πρόγραμμά EQS (Kline, 2005). Όπως και το NFI, αυτή η στατιστική υποθέτει ότι όλες οι λανθάνουσες μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες (μηδενικό/ανεξάρτητο μοντέλο) και συγκρίνει τη μήτρα συνδιακύμανσης του δείγματος με αυτό το μηδενικό μοντέλο. Οι τιμές για αυτό το στατιστικό δείκτη έχουν εύρος μεταξύ 0.0 έως 1.0, με τιμές κοντά στο 1.0 να δείχνουν καλή τακτοποίηση. Η τιμή του CFI ≥ 0.95 σήμερα αναγνωρίζεται ως ενδεικτικό της καλής εφαρμογής (Hu & Bentler, 1999). Στις μέρες μας, αυτός ο δείκτης περιλαμβάνεται σε όλα τα προγράμματα SEM και είναι από τους πιο ευρέως αναφερόμενους δείκτες, λόγω του ότι είναι ένα από τα ελάχιστα μέτρα που επηρεάζονται από το μέγεθος του δείγματος (Fan et al, 1999) [22].

- **Tucker Lewis (TLI):** Ο δείκτης TLI ονομάζεται και δείκτης των Bentler-Bonett (non-normed fit index (NNFI), είναι ένας άλλος δείκτης καλής προσαρμογής που επηρεάζεται με την προσθήκη παραμέτρων στο μοντέλο. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TLI = \frac{\left[\frac{x^2}{df}(\mu\eta\delta\varepsilon\nu\iota\kappa o\acute{\upsilon}\ \mu o\nu\tau\acute{\varepsilon}\lambda o\upsilon) - \frac{x^2}{df}(\pi\rho o\tau\varepsilon\iota\nu\acute{o}\mu\varepsilon\nu o\upsilon\ \mu o\nu\tau\acute{\varepsilon}\lambda o\upsilon)\right]}{\frac{x^2}{df}(\mu\eta\delta\varepsilon\nu\iota\kappa o\acute{\upsilon}\ \mu o\nu\tau\acute{\varepsilon}\lambda o\upsilon) - 1}$$

Ο δείκτης αυτός μπορεί να πάρει τιμές από 0.0 μέχρι 1.0. Στις περιπτώσεις όπου παίρνει τιμή μεγαλύτερη της μονάδας τότε ορίζεται ως μονάδα. Όσο η τιμή του TLI πλησιάζει την μονάδα, συνεπάγεται καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου. Για ένα δεδομένο μοντέλο, μία κατώτερη τιμή του λόγου χ^2/df, σημαίνει καλύτερη εφαρμογή του μοντέλου.

Μειονέκτημά του είναι ότι επηρεάζεται από το λόγο χ^2/df. Δηλαδή, αν ο λόγος χ^2/df δεν αλλάζει, τότε ούτε ο TLI αλλάζει. Το TLI, όπως και το CFI, εξαρτάται από το μέσο μέγεθος των συσχετίσεων στα δεδομένα. Εάν η μέση συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών δεν είναι υψηλή, τότε το TLI δεν θα είναι πολύ υψηλό [23].

- **Coefficient of Determination (CD):** Σύμφωνα με το μέγεθος των υπολειμμάτων αναφέρεται η τυποποιημένη ρίζα του μέσου τετραγωνικού κατάλοιπα (SRMR) και ο συντελεστής προσδιορισμού (CD). Ο CD είναι σαν το R^2 για το σύνολο του μοντέλου. Μια τιμή κοντά στο 1.0 δείχνει μια καλή προσαρμογή του μοντέλου [24].

Πίνακας 1: Στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of fit Statistics)

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ ΓΙΑ ΚΑΛΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ
Chi-Square / / (chi_2) / χ^2	Χαμηλό χ^2 σε σχέση με τους βαθμούς ελευθερίας με μια ασήμαντη τιμή του p ($p > 0.05$)
RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)	< 0.05 (μέγιστη τιμή 0.08, για μέτρια προσαρμογή του μοντέλου)
90 % CI	< 0.05 και όχι μεγαλύτερο του 0.1
SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)	0.0 ÷ 0.08 (όσο πιο κοντά στο 0.0 τόσο καλύτερη προσαρμογή έχει)
CFI	> 0.95 (όσο πιο κοντά είναι στο 1.0 τόσο πιο καλή εφαρμογή έχει)
TLI	> 0.95 (όσο πιο κοντά είναι στο 1.0 τόσο πιο καλή εφαρμογή έχει)
CD	0.0 ÷ 1.0
pclose	> 0.05
AIC και BIC	Οι μικρότεροι δείκτες δείχνουν την υπεροχή της δομής ενός μοντέλου έναντι άλλων.

4.Στατιστική Ανάλυση και Αποτελέσματα

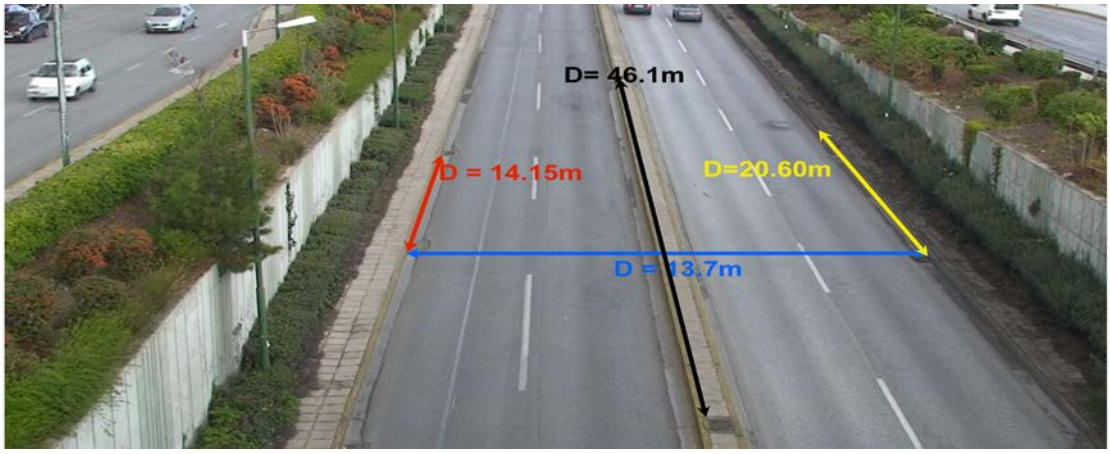
Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία στατιστική περιγραφή των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στα δομικά πρότυπα, καθώς θα γίνει και ανάλυση των δεδομένων της έρευνας αυτής, με τη χρήση των μοντέλων δομικών εξισώσεων (SEM MIMIC Model) και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της.

4.1 ΣΦΑΛΜΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πριν την ανάλυση και την στατιστική περιγραφή των μεταβλητών, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθούν τυχόν σφάλματα που μπορεί να υπάρχουν στις μετρήσεις που έγιναν για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Το εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού Trajectory Extractor [20], δεν αναφέρει κάποιο σφάλμα κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συνεπώς η ακρίβεια των μετρήσεων οφείλεται αποκλειστικά κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης.

Για τη διαδικασία της βαθμονόμηση των βίντεο στάλθηκε η Εικόνα 20 από τον κ. Μπαρμπουνάκη [17] απευθείας στον καθηγητή Lee, στην οποία φαίνονται οι αποστάσεις που μετρήθηκαν με χρήση μετροταινίας μαζί με την περιγραφή του κάθε σημείου ξεχωριστά ώστε να γίνει σαφής η απόσταση που μετρήθηκε κάθε φορά.



Εικόνα 20: Αποστάσεις που μετρήθηκαν για τη βαθμονόμηση του Trajectory Extractor

Στη συνέχεια, μετά τη βαθμονόμηση που έγινε από τον καθηγητή Lee, διαπιστώθηκε ότι είχε γίνει σωστά εκ μέρους του και οι αποστάσεις ήταν ακριβείς. Αυτό επιτεύχθηκε με κατάλληλο zoom in στο στιγμιότυπο του βίντεο, όπου ήταν δυνατή η μέτρηση των αποστάσεων σε ακρίβεια εκατοστού και αφού εντοπίστηκαν με τον κέρσορα τα δύο σημεία (pixel) που όριζαν τον εκάστοτε χωρικό διαχωρισμό, έγινε έλεγχος με τις μετρημένες αποστάσεις της παραπάνω εικόνας, ο οποίος έδειξε ικανοποιητική ακρίβεια (σε εκατοστά).

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

Για μία συνοπτική παρουσίαση των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στα δομικά μοντέλα εξισώσεων, που θα έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή κάποιων αρχικών συμπερασμάτων, χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι της πινακοποίησης και της γραφικής παρουσίασης τους.

Στους δύο παρακάτω πίνακες (Πίνακας 2 & Πίνακας 3) φαίνεται το σύνολο των επιτυχημένων και μη προσπεράσεων, ανάλογα με το είδος προσπέρασης (με ελιγμός / χωρίς ελιγμό) και το μέγεθος κυβισμού του δίκυκλου (μικρού / μεγάλου κυβισμού) αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Πίνακας περιπτώσεων προσπεράσεων ανά είδος προσπέρασης

Τύπος Προσπέρασης	Επιτυχημένες	Μη Επιτυχημένες	ΣΥΝΟΛΟ
Χωρίς Ελιγμό (On the fly-1)	283	172	455
Με Ελιγμό (Lane Changing-0)	243	152	395
ΣΥΝΟΛΟ	**526**	**324**	**850**

Πίνακας 3: Πίνακας περιπτώσεων προσπεράσεων ανά μέγεθος κυβισμού

Όχημα	Επιτυχημένες	Μη Επιτυχημένες	ΣΥΝΟΛΟ
Μικρού Κυβισμού (moped-0)	297	226	523
Μεγάλου Κυβισμού (motorcycle-1)	229	98	327
ΣΥΝΟΛΟ	**526**	**324**	**850**

Στη συνέχεια, αναγράφονται μέτρα διασποράς (μεταβλητότητας) και κεντρικής τάσης, των συνεχών μεταβλητών που παρατηρήθηκαν στο πείραμα με τη μέθοδο της πινακοποίησης.

Πίνακας 4: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής και κατανομών

	Mean	Variance	Std. Deviation	Coef. Of Variation	Std. Error	Min	Max	Range	ΚΑΤΑΝΟΜΗ
Vm	82.25	212.26	14.57	0.18	0.50	46.00	158.00	112.00	*Log Logistic (3P)*
V1	66.27	123.92	11.13	0.17	0.38	36.00	112.00	76.00	*Log Logistic (3P)*
d0	34.01	372.54	19.30	0.57	0.83	3.99	98.66	94.67	*Log. Pearson 3*
d1	49.79	647.34	25.44	0.51	1.17	1.00	120.20	119.20	*Johnson SB*
d2	19.07	316.08	17.78	0.93	0.67	0.00	92.35	92.35	*Histogram*
d3	1.55	0.40	0.64	0.41	0.03	0.10	4.00	3.90	*Log Logistic (3P)*
s_x	1.88	0.90	0.48	0.48	0.03	0.00	5.67	5.67	*Gen. Gamma*
s_y	6.23	16.24	4.03	0.65	0.14	0.00	31.15	31.15	*Pearson 6*
V2	68.68	118.26	10.88	0.16	0.47	37.01	115.00	77.99	*Log Pearson 3*
V3	74.36	143.41	11.98	0.16	0.46	36.00	115.00	79.00	*Burr*
bd2	19.88	284.51	16.87	0.85	0.73	0.00	76.65	76.65	*Johnson SB*
bd3	0.78	0.52	0.72	0.92	0.03	0.00	3.85	3.85	*Gen. Pareto*
plaini_1	2.55	0.92	0.96	0.38	0.03	0.64	5.70	5.06	*Normal*
plaini_2	3.49	0.83	0.91	0.26	0.03	0.25	5.89	5.64	*Cauchy*
bd	20.06	278.33	16.68	0.83	0.72	0.50	76.65	76.15	*Johnson SB*
opening	19.78	315.97	17.78	0.90	0.67	1.10	92.36	91.26	*Beta*
distace_xy	6.84	14.57	3.82	0.56	0.13	1.19	31.66	30.47	*Gen. Pareto*
diff_1	15.99	210.60	14.51	0.91	0.50	-25.00	82.00	107.00	*Johnson SU*
diff_2	11.84	245.07	15.67	1.32	0.67	-35.00	69.00	104.00	*Log Logistic (3P)*
diff_3	4.92	145.53	12.06	2.43	0.56	-42	37	79	*Error*
dy	25.64	346.79	18.62	0.73	0.81	-13.06	92.66	105.72	*Johnson SB*
d_02	6.26	578.6	24.05	3.83	1.24	-60.32	86.98	147.3	*Log Logistic (3P)*

Για τις ταχύτητες των εξεταζόμενων οχημάτων, παρατηρείται ότι η ταχύτητα που αναπτύσσει ο μοτοσυκλετιστής (Vm) έχει την μεγαλύτερη μέση τιμή (mean) σε σχέση με τα υπόλοιπα. Αυτό υποδεικνύει για ακόμη μια φορά την ευελιξία των μοτοσυκλετιστών και τις υψηλές ταχύτητες που αναπτύσσουν, προκειμένου να φθάσουν συντομότερα στον προορισμό τους.

Μολονότι ο δειγματικός μέσος είναι εύκολος στον υπολογισμό του, ωστόσο, έχει το μειονέκτημα να επηρεάζεται από ακραίες τιμές και να μην αντιστοιχεί πάντοτε σε «λογική» τιμή της μεταβλητής που εξετάζουμε. Γι΄ αυτόν το λόγο εκτός από το μέτρο θέσης (μέση τιμή-mean), κρίνεται απαραίτητη η εξέταση κάποιων μέτρων μεταβλητότητας ή διασποράς (measures of variability, measures of variance, dispersion measures), που εκφράζουν τις αποκλίσεις των τιμών μιας μεταβλητής γύρω από τα μέτρα κεντρικής τάσης.

Συγκεκριμένα, η διασπορά ή διακύμανση (variance), είναι ένα μέτρο μεταβλητότητας, η τιμή της οποίας είναι μικρή όταν οι τιμές ενός συνόλου παρατηρήσεων δεν διαφέρουν πολύ από τη μέση τιμή τους. Αντιθέτως, η διασπορά μεγαλώνει, όταν οι τιμές είναι σκορπισμένες σε μεγάλη απόσταση γύρω από τη μέση τιμή. Στον Πίνακας 4, παρατηρείται ότι τις μικρότερες διασπορές τις έχουμε για τις μεταβλητές d3, s_x, bd3, plaini_1, plaini_2. Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό, καθώς όλες οι παραπάνω μεταβλητές παίρνουν τιμές από 0.0m έως 6.0m, καθώς ορίζονται ως οι χωρικοί διαχωρισμοί κατά πλάτος του οδικού άξονα (δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση). Επομένως, το εύρος τιμών τους είναι περιορισμένο και οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται κοντά στα όρια της μέση τιμής του, με τη μικρότερη διασπορά να παρατηρείται για την μεταβλητή d3 (0.40). Για τις υπόλοιπες μεταβλητές οι οποίες ορίζουν, τις αποστάσεις κατά μήκος του οδικού άξονα (καλυπτόμενη περιοχή μελέτης έως και 150m), τις ταχύτητες των οχημάτων καθώς και τις διαφορές ταχυτήτων τους, η διασπορά παίρνει πολύ μεγάλες τιμές (η μέγιστη διασπορά παρουσιάζεται για την μεταβλητή d1 / 647.34). Οι τιμές αυτές είναι αναμενόμενες για ένα μεγάλο δείγμα και συνδυασμό περιπτώσεων, με διαφορετικούς τύπους οχημάτων (από βαρέα οχήματα έως δίκυκλα μικρού κυβισμού), τα οποία έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν χωρικές αποστάσεις με ένα εύρος τιμών 0.0-150.0 m και να έχουν ένα ικανοποιητικό βαθμό ελευθερίας των κινήσεών τους αφού δεν υπήρχε κορεσμός της κυκλοφορίας κατά τις ώρες που έγινε το πείραμα.

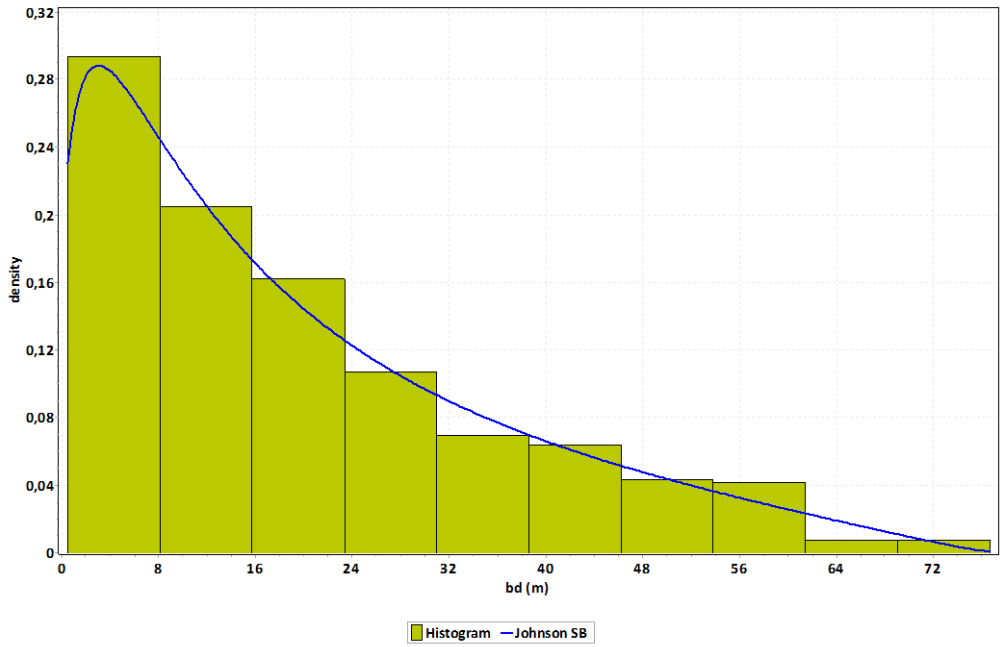
Η διακύμανση είναι ένα αξιόπιστο μέτρο μεταβλητότητας με ένα μόνο μειονέκτημα. Δεν εκφράζεται με τις μονάδες τις οποίες εκφράζονται οι παρατηρήσεις του δείγματός. Η τυπική απόκλιση (Standard Deviation), αποτελεί άλλο ένα μέτρο διασποράς το οποίο ισούται με τη θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης και εκφράζεται με την ίδια μονάδα μέτρησης της μεταβλητής. Το τυπικό σφάλμα (Standard Error) της τυπικής απόκλισης εκφράζει την απόκλιση της εκτιμώμενης τιμής από την πραγματική. Όσο μεγαλύτερο είναι το τυπικό σφάλμα, τόσο λιγότερη είναι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Στον Πίνακας 4, το μικρότερο τυπικό σφάλμα το έχουμε για τις μεταβλητές d3, s_x, plaini_1 και plaini_2, ενώ το μέγιστο για τη μεταβλητή d_02.

Ένα άλλο μέτρο μεταβλητότητας είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation -CV), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος:

$$CV = (\tau\upsilon\pi\iota\kappa\acute{\eta}\ \alpha\pi\acute{o}\kappa\lambda\iota\sigma\eta\ /\ \mu\acute{\varepsilon}\sigma\eta\ \tau\iota\mu\acute{\eta})$$

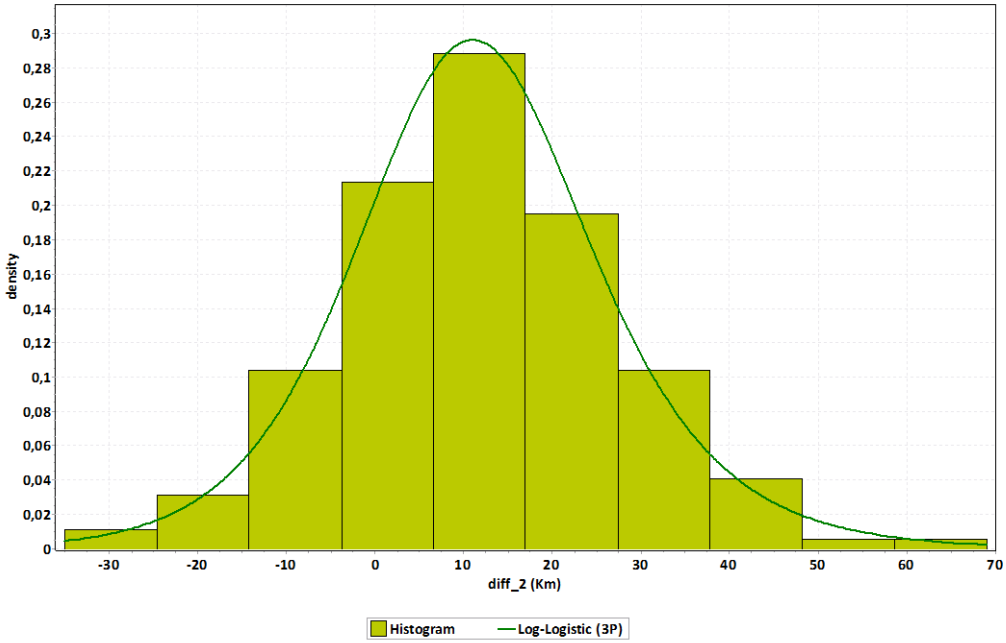
Ο συντελεστής μεταβολής είναι ανεξάρτητος από τις μονάδες μέτρησης και μπορεί να εκφραστεί και επί τοις εκατό. Παριστάνει ένα μέτρο σχετικής διασποράς των τιμών και όχι της απόλυτης διασποράς. Εκφράζει δηλαδή τη μεταβλητότητα των δεδομένων, απαλλαγμένη από την επίδραση της μέσης τιμής. Δεχόμαστε ότι ένα δείγμα τιμών είναι ομοιογενές, όταν ο CV δεν ξεπερνά το 10%. Στον Πίνακας 4, παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη ανομοιογένεια στις τιμές της, την έχουμε για την μεταβλητή d_02 (1.24), ενώ τη μικρότερη για τις μεταβλητές V2 και V3 (0.16).

Η μεταβλητή bd εκφράζεται καταλληλότερα με την κατανομή Johnson SB (Διάγραμμα 5). Η μέση τιμή της είναι 20.06m. Η μέγιστη τιμή της είναι στα 76.65m ενώ η ελάχιστη στα 0.50m. Για τις πολύ μεγάλες τιμές (> 40 m), παρατηρείται μικρή πυκνότητα, ενώ για χαμηλότερες τιμές (< 24 m), παρουσιάζει μεγάλη πυκνότητα. Τη μέγιστη πυκνότητα την έχουμε για το εύρος τιμών 0.0 – 8.0 m. Γεγονός που δείχνει ότι το όχημα 2, που βρίσκεται πίσω από τον μοτοσυκλετιστή, επιλέγει να κινείται σε κοντινή απόσταση από αυτόν και θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί η επιρροή που του ασκεί.



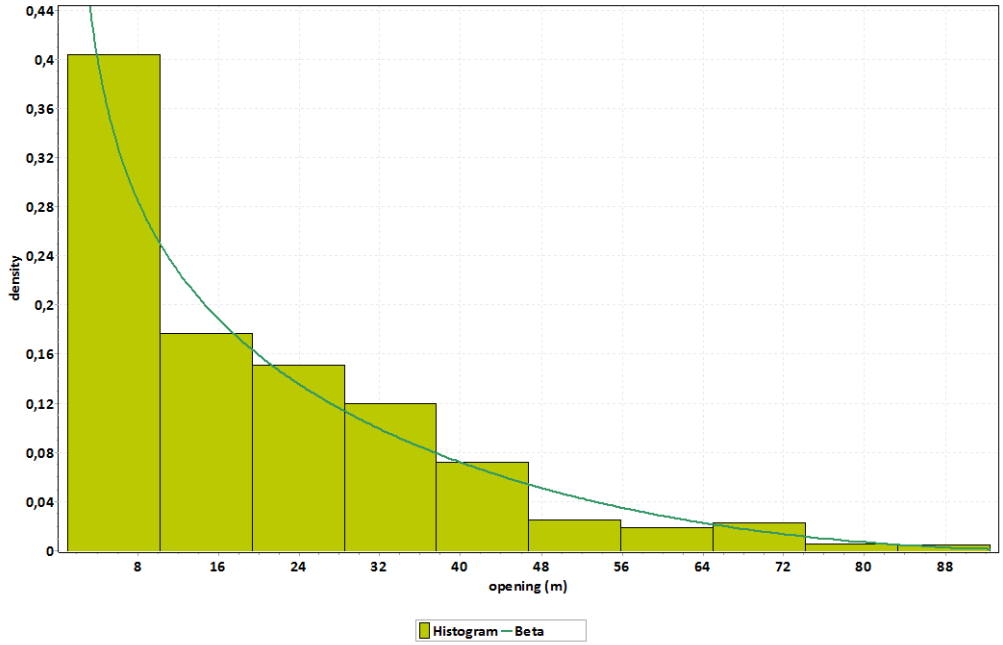
Διάγραμμα 5: Ιστόγραμμα μεταβλητής bd

Η μεταβλητή diff_2 ακολουθεί την κατανομή Log Logistic (3P) (Διάγραμμα 6). Το μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων για τη διαφορά των ταχυτήτων του μοτοσυκλετιστή με το όχημα 2 είναι συγκεντρωμένο περίπου στις τιμές -4km έως 28km, ενώ η μέση τιμή της είναι στα 11.84km.



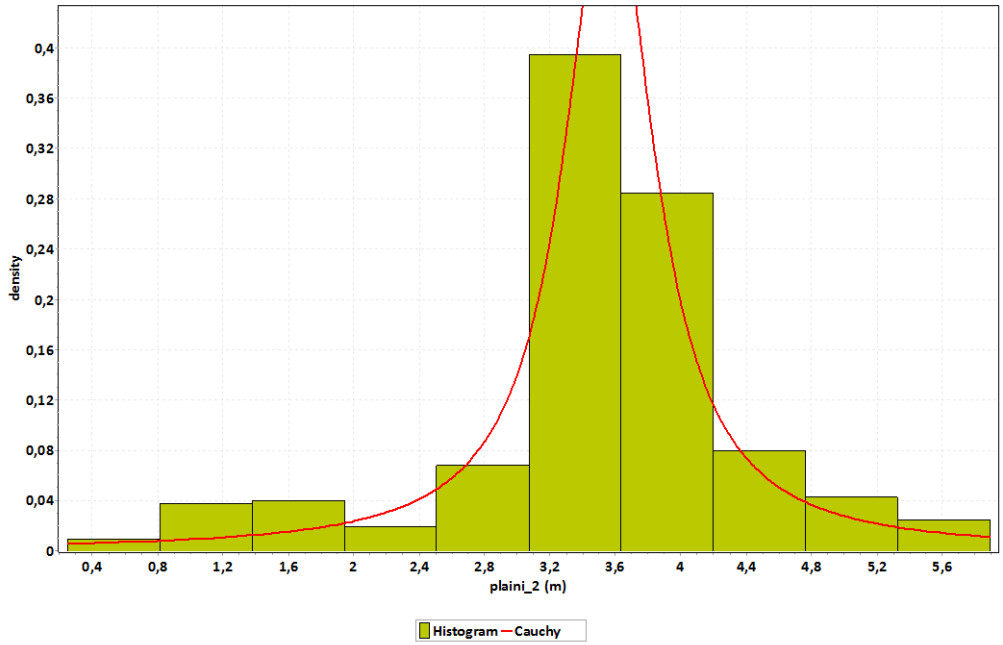
Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα μεταβλητής diff_2

Η μεταβλητή opening (Διάγραμμα 7) εκφράζεται από την κατανομή Beta. Παρατηρείται μεγάλη πυκνότητα στις τιμές 1.1 έως 8.3m, ενώ η μέση τιμή της είναι στα 19.78m, καθώς επηρεάζεται από κάποιες ακραίες τιμές που παίρνει, με μέγιστη στα 92.36m. Το «άνοιγμα» επομένως που βλέπει μπροστά του ο μοτοσυκλετιστής, να έχει διαθέσιμο για προσπέραση, για τις περισσότερες περιπτώσεις του δείγματός μας, είναι στα όρια 1.1 έως 11m.



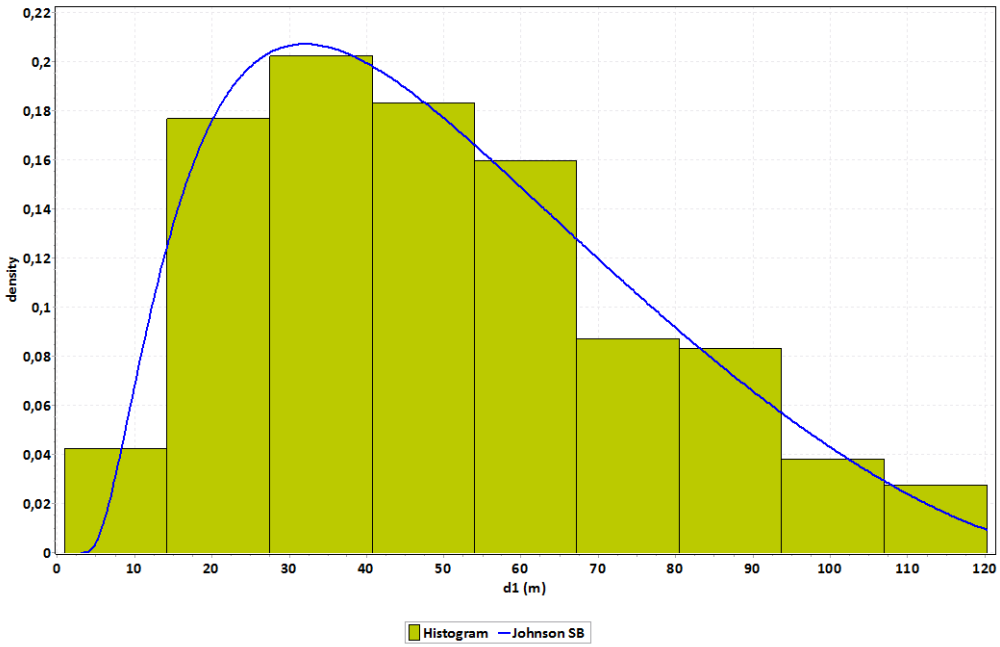
Διάγραμμα 7: Ιστόγραμμα μεταβλητής opening

Η κατανομή Cauchy περιγράφει καλύτερα τη μεταβλητή plaini_2 (Διάγραμμα 8). Η μέση τιμή της είναι στα 3.49m, ενώ η τυπική απόκλιση είναι 0.91. Η απόσταση που απέχει το όχημα 1 από την οριογραμμή της λωρίδας κυκλοφορίας, φαίνεται να συγκεντρώνεται στις τιμές 3.1 έως 4.2m, ανάμεσα στις οποίες βρίσκεται και η μέση τιμή της.

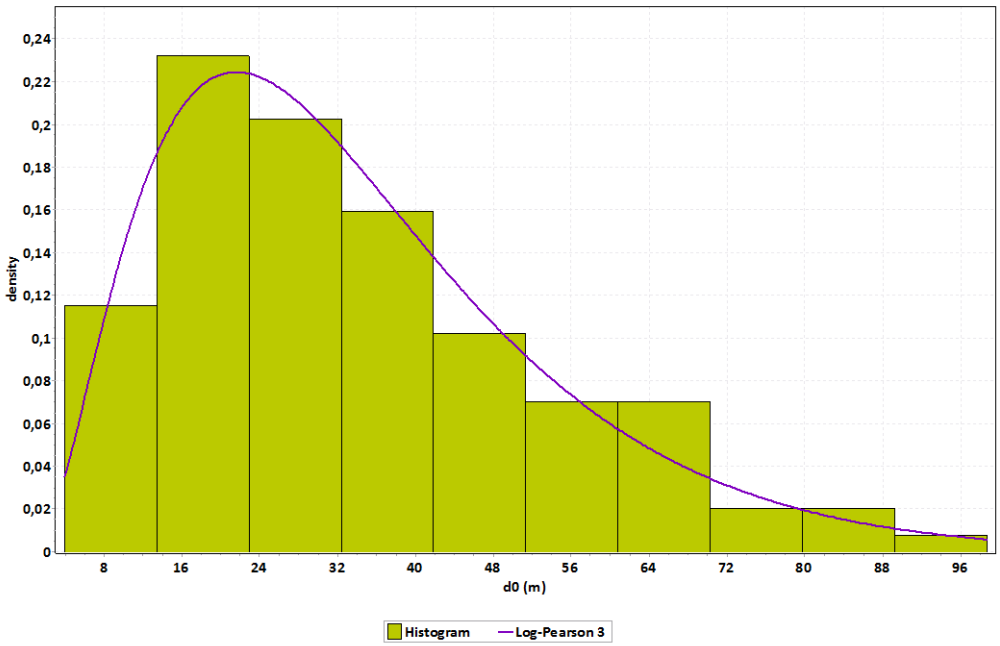


Διάγραμμα 8: Ιστόγραμμα μεταβλητής plaini_2

Παρακάτω (Διάγραμμα 9 και Διάγραμμα 10), παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των μεταβλητών d1 και d0 αντίστοιχα. Η κατανομή που ακολουθεί η d1 είναι η Johnson SB ενώ η d0 την Log Pearson 3. Οι διασπορές και οι τυπικές αποκλίσεις των δύο μεταβλητών είναι πάρα πολύ μεγάλες, γεγονός που δείχνει ότι οι τιμές τους είναι σκορπισμένες σε μεγάλη απόσταση από τη μέση τιμή τους.



Διάγραμμα 9: Ιστόγραμμα μεταβλητής d1



Διάγραμμα 10: Ιστόγραμμα μεταβλητής d0

Στον Πίνακας 5, φαίνονται οι συσχετίσεις μεταξύ των κυριότερων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα δομικών εξισώσεων, που θα παρουσιασθούν παρακάτω. Ο πίνακας αυτός, είναι συμμετρικός ως προς τη διαγώνιο του και τα χρωματισμένα με κόκκινο κελιά, είναι αυτά που παρουσιάζουν τις υψηλότερες θετικές και αρνητικές συσχετίσεις.

Πίνακας 5: Πίνακας συσχετίσεων των μεταβλητών

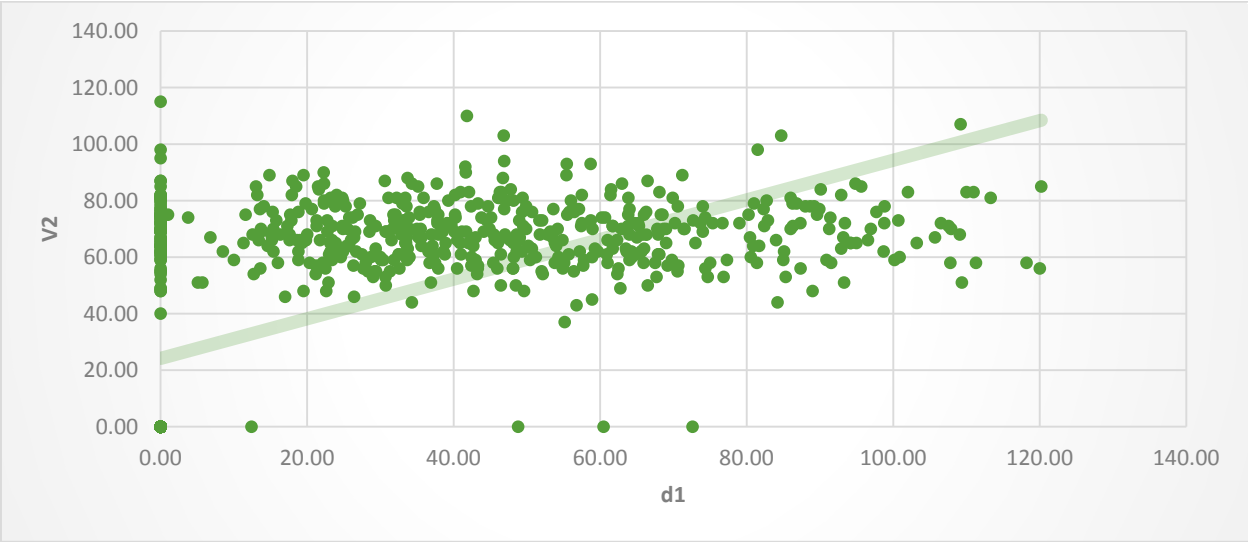
	on_the_fly	vm	v1	d0	d1	d2	d3	s_x	s_y	v2	v3	bd2	bd3	plaini_2	plaini_1	bd	opening	distance_xy	diff_1	diff_2	diff_3	dy	d_02
on_the_fly	1																						
vm	0.1456	1																					
v1	0.1017	0.3872	1																				
d0	-0.1348	-0.1018	-0.0082	1																			
d1	-0.1338	-0.132	-0.053	0.1789	1																		
d2	0.1314	0.0718	0.016	-0.036	0.3489	1																	
d3	-0.0465	-0.0572	-0.0292	0.0759	0.1547	0.0172	1																
s_x	0.4024	0.055	0.0874	-0.102	-0.096	0.0576	-0.031	1															
s_y	-0.1517	0.0212	0.0956	0.1079	0.0642	-0.014	-0.038	-0.224	1														
v2	-0.3101	-0.108	-0.0347	0.1867	0.638	-0.045	0.064	-0.23	0.053	1													
v3	-0.1318	-0.1123	-0.0346	0.0378	0.3191	0.3477	0.129	-0.036	-0.04	0.133	1												
bd2	0.045	-0.014	0.0577	0.1459	0.5957	0.0074	-0.003	-0.026	-0.02	0.476	0.053	1											
bd3	-0.4561	-0.2117	-0.0999	0.1471	0.2468	-0.084	0.028	-0.274	0.206	0.502	0.092	0.073	1										
plaini_2	0.157	0.0721	0.0317	-0.012	-0.028	0.1095	0.032	0.083	-6E-04	-0.087	-0.056	-0.049	-0.08	1									
plaini_1	-0.5457	-0.2224	-0.1241	0.1201	0.1082	-0.117	0.092	-0.324	0.19	0.246	0.078	-0.018	0.482	0.015	1								
bd	0.0395	-0.0165	0.0564	0.1482	0.599	0.0071	-0.003	-0.03	-0.017	0.483	0.054	1	0.086	-0.049	-0.012	1							
opening	0.1224	0.0614	0.0099	-0.02	0.3652	0.9808	0.205	0.051	-0.017	-0.036	0.355	0.004	-0.082	0.108	-0.101	0.004	1						
distance_xy	-0.0989	0.003	0.1207	0.0833	0.0476	-0.007	-0.043	0.087	0.942	0.015	-0.038	-0.031	0.18	0.014	0.156	-0.029	-0.0119	1					
diff_1	0.0682	0.707	-0.3784	-0.096	-0.092	0.0598	-0.035	-0.012	-0.052	-0.082	-0.086	-0.058	-0.136	0.048	-0.128	-0.06	0.054	-0.0896	1				
diff_2	0.3298	0.4729	0.1768	-0.204	-0.615	0.0669	-0.078	0.225	-0.039	-0.927	-0.16	-0.428	-0.524	0.105	-0.302	-0.434	0.0553	-0.0117	0.339	1			
diff_3	0.1204	-0.0106	-0.0022	-0.106	-0.21	0.308	0.056	0.139	-0.07	-0.62	0.696	-0.303	-0.291	0.019	-0.117	-0.307	0.3075	-0.0406	-0.009	0.545	1		
dy	-0.1079	-0.1059	-0.0255	0.9839	0.1679	-0.033	0.083	-0.063	-0.072	0.178	0.045	0.15	0.111	-0.012	0.086	0.152	-0.0166	-0.0859	-0.087	-0.197	-0.093	1	
d_02	-0.1227	-0.0832	-0.0591	0.7633	-0.235	-0.034	0.074	-0.038	-0.05	-0.15	0.005	-0.509	0.05	0.021	0.087	-0.507	-0.0169	-0.0548	-0.038	0.102	0.113	0.775	1

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ό,τι ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) εκφράζει τη γραμμική συσχέτιση δύο μεταβλητών. Δηλαδή, την αναλογική μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της μίας μεταβλητής που αντιστοιχεί σε μεταβολή της άλλης. Παίρνει τιμές από το -1.0 έως το 1.0. Τιμές κοντά στο 1.0 δείχνουν τη θετική συσχέτιση, κοντά στο -1.0 την αρνητική συσχέτιση και κοντά στο 0.0 εκφράζουν την ανεξαρτησία των δύο μεταβλητών.

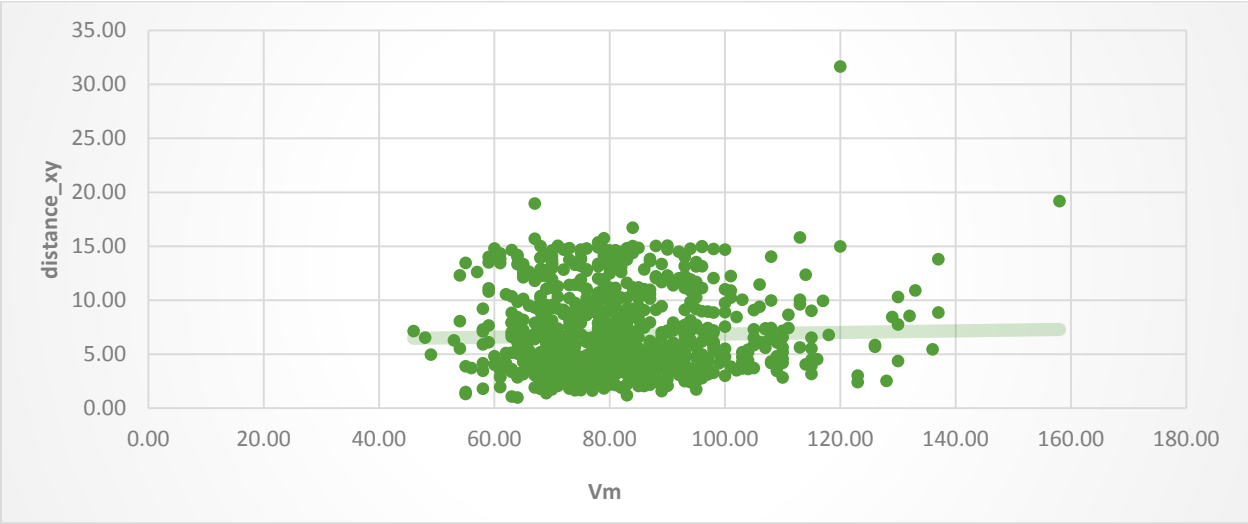
Τις υψηλότερες θετικές και αρνητικές συσχετίσεις τις έχουμε για μεταβλητές οι οποίες με κάποιο υπολογιστικό τρόπο προέκυψαν από τις μεταβλητές που μετρήθηκαν στην παρούσα έρευνα. Για παράδειγμα, για τα ζεύγη μεταβλητών bd – bd2, Vm – diff_1, d0 – dy, d0 – d_02, dy – d_02, distance_xy – Sy, V2 – diff_3, V3 – diff_3 και bd2 – d_02.

Παρατηρούμε ότι η απόσταση μεταξύ των οχημάτων 2 και 3 (d1) συσχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με την ταχύτητα του οχήματος 2 (V2) με συντελεστή συσχέτισης 0.638, παρά με την ταχύτητα του οχήματος 3 (V3) όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι 0.319. Στο Διάγραμμα 11, φαίνεται η γραμμική συσχέτιση των δύο μεταβλητών V2 – d1.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανεξαρτησία των μεταβλητών Vm και distance_xy (ο συντελεστής συσχέτισης ισούται με 0.003), όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 12. Η διαγώνιος απόσταση του μοτοσυκλετιστή (distance_xy) με το όχημα 1 φαίνεται να μην επηρεάζεται από την ταχύτητα που αναπτύσσει ο μοτοσυκλετιστής, αλλά είναι γραμμικά συσχετισμένη με τη μεταβλητή V1 και την plaini_1.



Διάγραμμα 11: Διάγραμμα διασποράς μεταβλητών V2 – d1



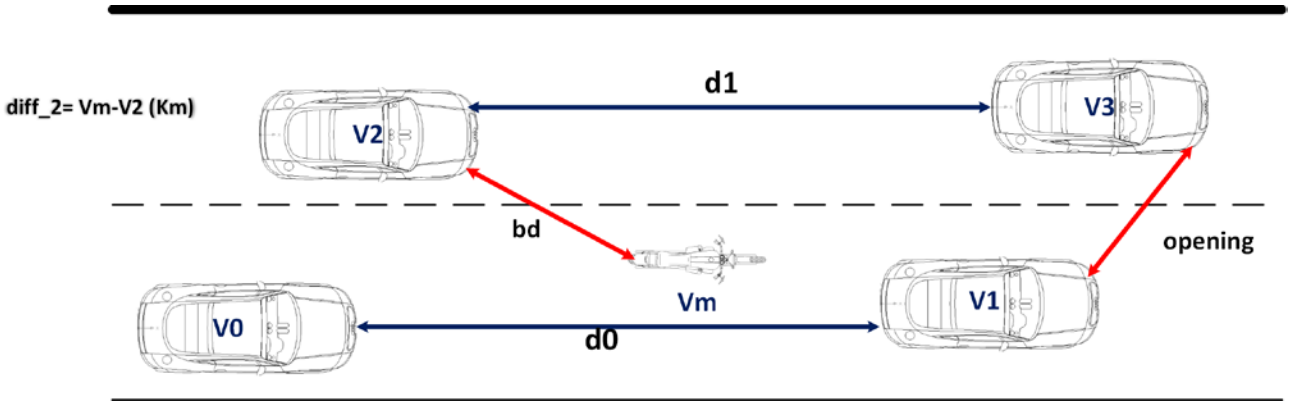
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα διασποράς μεταβλητών Vm – distance_xy

4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ SEM

Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε από το “SEM builder” του λογισμικού προγράμματος STATA προέκυψαν τα διαγράμματα δομικών μοντέλων που παρουσιάζονται στη συνέχεια και τα οποία απεικονίζουν τις αιτιώδεις σχέσεις που σύμφωνα με τις υποθέσεις μας συνδέουν τις μεταβλητές, καθώς και τα αριθμητικά αποτελέσματα των αναλύσεων.

Για την εξεύρεση ενός δομικού μοντέλου που να περιγράφει επαρκώς και ικανοποιητικά την σχέση μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών έγιναν διάφορες δοκιμές. Στόχος ήταν να υπολογιστεί μια δομή μοντέλου, που να είναι μεν απλή ώστε ο αλγόριθμος του προτύπου να συγκλίνει, αλλά από την άλλη να μην εξαιρούνται από το πρότυπο άλλες σημαντικές μεταβλητές. Τελικώς, αναπτύχθηκαν τρία (3) διαφορετικά δομικά μοντέλα που δίνουν ικανοποιητική ερμηνεία των μεταβλητών και πως συσχετίζονται μεταξύ τους.

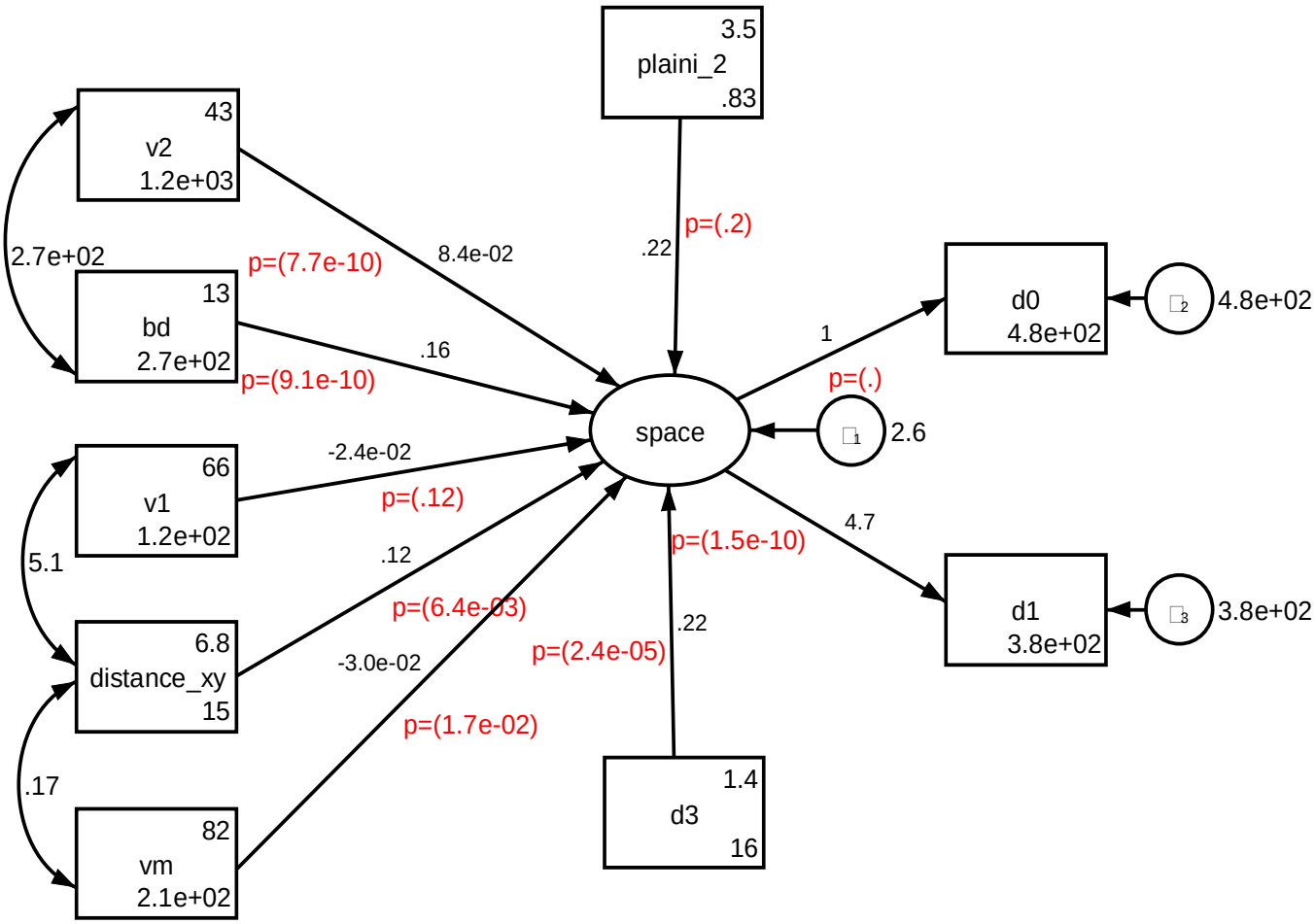
Στο Σχήμα 3, απεικονίζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες για τα τρία δομικά μοντέλα της παρούσας έρευνας.



Σχήμα 3: Απεικόνιση των δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν στα δομικά μοντέλα

4.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το Πρώτο Δομικό Μοντέλο το οποίο περιγράφει την επίδραση που έχουν ορισμένες μεταβλητές που ονομάζονται προγνωστικοί παράγοντες στους χωρικούς διαχωρισμούς που υπάρχουν μεταξύ των οχημάτων 1 και 0 (d0) καθώς και των οχημάτων 2 και 3 (d1). Οι παράγοντες αυτοί, όπως φαίνονται χαρακτηριστικά και στο σχήμα, δεν επιδρούν άμεσα στους δυο δείκτες d0 και d1, αλλά έμμεσα μέσω μίας μη μετρήσιμης λανθάνουσας μεταβλητής "space". Η λανθάνουσα μεταβλητή αυτή, η οποία δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, στην ουσία εκφράζει την επιρροή του χώρου που καταλαμβάνει ο μοτοσυκλετιστής, κατά το φαινόμενο της προσπέρασης.



Σχήμα 4: Διάγραμμα Ροής Πρώτου Δομικού Μοντέλου

Το μοντέλο δομικών εξισώσεων – SEM, επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίσει αλληλεπιδράσεις τις οποίες δεν είχε παρατηρήσει μέχρι τη χρήση της εντολής Modification indices (Statistics -> SEM -> testing and CIs -> Modification indices). Με την εντολή αυτή

εμφανίζεται ένας πίνακας με τους δείκτες τροποποίησης του μοντέλου, οι οποίοι είναι κάτι σαν το τεστ X^2 με έναν βαθμό ελευθερίας και επισημαίνουν τυχόν αλληλεπιδράσεις οι οποίες θα βελτιώσουν το μοντέλο και το βαθμό βελτίωσης του ήδη υπάρχον μοντέλου (Πίνακας 6). Συγκεκριμένα, για κάθε παράμετρο που καθορίζεται, παρέχεται ένας δείκτης τροποποίησης (MI), η τιμή του οποίου δηλώνει την αναμενόμενη πτώση της τιμής X^2 στην περίπτωση που η παράμετρος ήταν ελεύθερα εκτιμώμενη. Όλες οι ελεύθερα εκτιμώμενες παράμετροι έχουν μηδενικό MI. Η παράμετρος που έχει τον μεγαλύτερο MI, είναι εκείνη που αν ελευθερωθεί θα βελτιώσει περισσότερο την προσαρμογή του μοντέλου. Παράλληλα με το MI της κάθε παραμέτρου, το πρόγραμμα υπολογίζει και την εκτιμώμενη μεταβολή αυτής (expected parameter changed-EPC) [25]. Αυτή η τιμή υποδεικνύει την αναμενόμενη αλλαγή (είτε προς θετική είτε προς αρνητική κατεύθυνση) κάθε παραμέτρου του μοντέλου και συνάμα δίνει σημαντική πληροφορία σχετικά με το πόσο ευαίσθητη είναι η προσαρμογή του εκτιμώμενου μοντέλου σε περίπτωση που επαναπροσδιοριστούν οι παράμετροι του [26].

Πίνακας 6: Δείκτες Τροποποίησης Πρώτου Δομικού Μοντέλου

	MI	df	P > MI	EPC	Standard EPC
Measurement					
d0 <- distance_xy	**4.164**	**1**	**0.04**	**0.41**	**0.07**
d1 <- distance_xy	**4.162**	**1**	**0.04**	**-1.91**	**-0.23**

Όταν έχουν οριστεί πλέον όλες οι αλληλεπιδράσεις, η εντολή modification indices δίνει την πληροφορία ότι δεν έχουν να αναφερθούν άλλοι δείκτες τροποποίησης για το παρόν μοντέλο και το οποίο βρίσκεται στη βέλτιστη μορφή του. Ωστόσο για ένα δομικό μοντέλο, θα πρέπει να γίνει και αξιολόγηση της καλής προσαρμογής των μεταβλητών σε αυτό και αποτελεί ένα μέτρο του πόσο καλά οι παρατηρούμενες μεταβλητές ταιριάζουν σε αυτό. Αυτό γίνεται με την εντολή Statistics -> SEM -> goodness of fit -> overall goodness of fit, όπου παρουσιάζεται ένας πίνακας με τους δείκτες καλής προσαρμογής. Στον πίνακα 7 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι έλεγχοι που γίνονται για το Πρώτο Δομικό Μοντέλο. Οι στατιστικοί δείκτες και τα όρια τιμών τους, έχουν επεξηγηθεί αναλυτικά στην ενότητα 3.3.2 της παρούσας έρευνας.

Όπως φαίνεται στον Πίνακας 7, γίνεται ο έλεγχος X^2 (chi2) μεταξύ του μοντέλου που μόλις έτρεξε και του κορεσμένου (saturated). Ένα κορεσμένο μοντέλο ταιριάζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, καθώς αναπαράγει τέλεια όλες τις διακυμάνσεις, συνδιακυμάνσεις και τα μέσα των παρατηρούμενων μεταβλητών. Το chi2 του μοντέλου που μόλις έτρεξε είναι 9.75, ενώ του κορεσμένου είναι p=0.136. Επομένως το μοντέλο μας ταιριάζει ναι μεν φτωχότερα από το κορεσμένο, αλλά λόγο της ευαισθησίας που έχει ο δείκτης αυτός σε μεγάλα δείγματα, η συνολική αξιολόγηση του μοντέλου θα γίνει λαμβάνοντας υπόψιν και τους υπόλοιπους δείκτες καλής προσαρμογής.

Πίνακας 7: Στατιστικά καλής προσαρμογής πρώτου δομικού μοντέλου

Στατιστικά Προσαρμογής	Τιμή	Περιγραφή
Likelihood ratio		
Chi2_ms (6)	**9.75**	***Δομικό Μοντέλο vs. Κορεσμένο Μοντέλο***
P > chi2	**0.136**	
Σφάλμα Πληθυσμού		
RMSEA	**0.027**	***Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προσέγγισης***
90%CI, κατώτατο όριο	**0.000**	***Διάστημα Εμπιστοσύνης***
Ανώτερο όριο	**0.057**	
pclose	**0.886**	***Πιθανότητα RMSEA <= 0.05***
Information criteria		
AIC	**55614.408**	***Akaike's Information Criterion***
BIC	**55690.331**	***Bayesian Information Criterion***
Baseline comparison		
CFI	**0.995**	***Comparative Fit Index***
TLI	**0.987**	***Tucker – Lewis Index***
Μέγεθος των υπολοίπων		
SRMR	**0.014**	***Κανονικοποιημένη ρίζα του μέσου τετραγωνικού υπολοίπου***
CD	**0.902**	***Συντελεστής προσδιορισμού***

Όσον αφορά στην τιμή RMSEA (Root mean squared error of approximation) αυτή αναφέρεται μαζί με το κατώτερο και το ανώτερο της όριο στο 90% CI - διάστημα εμπιστοσύνης του. Γίνεται έλεγχος εάν το κατώτερο όριο είναι μικρότερο του 0.05 ή το ανώτερο όριο είναι μεγαλύτερο από 0.10. Αν το κατώτερο όριο είναι μικρότερο από 0.05,

τότε δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή ταιριάζει σε ικανοποιητικό βαθμό. Εάν το ανώτερο όριο είναι μεγαλύτερο του 0.10, τότε δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή είναι φτωχή. Στο παρόν μοντέλο βρέθηκε ότι το κατώτερο όριο είναι 0.00 < 0.05 άρα δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή ταιριάζει σε ικανοποιητικό βαθμό και επιπλέον το ανώτερο όριο βρέθηκε 0.057 < 0.10, συνεπώς η προσαρμογή είναι καλή.

Μαζί με την RMSEA η τιμή της οποίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.08 (στο παρόν μοντέλο βρέθηκε 0.027) εκθέτεται και η pclose, δηλαδή η πιθανότητα RMSEA να είναι ίση ή μικρότερη του 0.05. Η pclose πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.05. Η τιμή που βρέθηκε γι' αυτήν (0.886) είναι ικανοποιητική.

Ακολουθούν τα κριτήρια AIC και BIC, τα οποία αποτελούν συγκριτικά μεγέθη για τις διάφορες δομές των δομικών μοντέλων και δηλώνουν την καλύτερη από αυτές όταν έχουν πάρει την χαμηλότερη τιμή.

Οι δείκτες CFI και TLI δηλώνουν καλή προσαρμογή όταν παίρνουν τιμές κοντά στη μονάδα. Στην περίπτωσή μας έχουν τιμές 0.995 και 0.987 αντίστοιχα.

Ο δείκτης SRMR είναι ένα απόλυτο μέτρο και μια τιμή μηδέν σημαίνει τέλεια εφαρμογή, ενώ και μία τιμή λιγότερη του 0.08, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει καλή εφαρμογή. Η τιμή του βρέθηκε 0.014 που δείχνει καλή προσαρμογή του μοντέλου.

Τέλος ο δείκτης CD ο οποίος έχει τιμή 0.902, είναι κάτι ανάλογο του R^2 για το σύνολο του μοντέλου και μία τιμή κοντά στο 1.0 υποδηλώνει καλή προσαρμογή.

Στον Πίνακας 8, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι αναλύσεις του Πρώτου Δομικού Μοντέλου, όπου φαίνονται οι συσχετίσεις, οι διακυμάνσεις, οι συνδιακυμάνσεις καθώς και η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζεται με την εντολή Estimate όταν έχουμε δημιουργήσει το δομικό μοντέλο.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα ανάλυσης πρώτου δομικού μοντέλου

Πρώτο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων			Αριθμός παρατηρήσεων = 850	
Log Likelihood = -27791.204				
(1) [d0] space= 1				
	Συντελεστής	Std. Err.	z	p > |z|
Structural				
space <-				
plaini_2	0 .216	0.171	1.27	0.205
V2	0.084	0.014	6.15	0.000
bd	0.159	0.026	6.12	0.000
d3	0.216	0.051	4.23	0.000
V1	-0.023	0.015	-1.54	0.124
distance_xy	0.124	0.045	2.73	0.006
Vm	-0.030	0.013	-2.39	0.017
Measurement				
d0 <-				
space	1	(constrained)		
_cons	18.044	1.535	11.75	0.000
d1 <-				
space	4.679	0.731	6.40	0.000
_cons	11.049	5.842	1.89	0.059
Διακύμανση				
e.d0	477.438	23.411		
e.d1	384.523	77.276		
e.space	2.633	3.416		
Συνδιακύμανση				
V2 bd	270.655	13.016	20.79	0.000
V1 distance_xy	5.123	1.411	3.63	0.000
distance_xy Vm	0.165	1.865	0.09	0.929
LR test of model vs. Saturated: chi2(6) = 9.75 Prob > chi2 = 0.136				

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι παράγοντες, όπως είναι η ταχύτητα του οχήματος 2 (*V2*) και η διαγώνιος απόσταση που έχει με τον μοτοσυκλετιστή (*bd*), η εγκάρσια απόσταση του οχήματος 1 και 3 (*d3*), και η διαγώνιος απόσταση του οχήματος 1 με τον μοτοσυκλετιστή (*distance_xy*), καθώς και η ταχύτητα του δικυκλιστή *(Vm),* επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τους χωρικούς διαχωρισμούς d0 και d1. Αντιθέτως, η ταχύτητα του

οχήματος 1 (*V1)* και η απόσταση που απέχει το όχημα 1 από τη οριογραμμή της λωρίδας (δεξιά/αριστερή)-(*plaini_2*) φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικοί παράγοντες.

Η λανθάνουσα μεταβλητή (space) μπορεί να παρατηρηθεί από τους δείκτες (d0 και d1) που εκφράζουν τους χωρικούς διαχωρισμούς των τεσσάρων οχημάτων μέσα στα οποία περικλείεται ο μοτοσυκλετιστής. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν ο δείκτης με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι ο d1 με συντελεστή 4.679 έναντι 1.0 που είναι ο συντελεστής για το δείκτη d0. Αυτό σημαίνει ότι η απόσταση των οχημάτων 2 και 3 (d1) είναι πιο επιρρεπής στις αυξομειώσεις των τιμών που λαμβάνουν οι προγνωστικοί παράγοντες του μοντέλου.

Ο κάθε προγνωστικός παράγοντας (predictor) έχει διαφορετικής βαρύτητας επιρροή στην τελική διαμόρφωση του μοντέλου. Ειδικότερα, η μεταβλητή plaini_2 η οποία δηλώνει την απόσταση του οχήματος 1 από την οριογραμμή της λωρίδα (δεξιά/αριστερή), επηρεάζει θετικά τη λανθάνουσα μεταβλητή «space», αλλά η επίδραση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική (0.205>0.1), οπότε δεν λαμβάνεται υπόψιν στα αποτελέσματα αυτής της έρευνας. Ομοίως και για την ταχύτητα του οχήματος 1 (V1) η οποία επηρεάζει αρνητικά σε μικρό βαθμό τη λανθάνουσα μεταβλητή «space», με συντελεστή –0.023. Ωστόσο, φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντική (0.124 > 0.1), επομένως ούτε αυτή θα ληφθεί υπόψιν στα αποτελέσματα.

Μία μεταβλητή η οποία σχετίζεται με το όχημα 1 και δείχνει να έχει επιρροή στους δείκτες d0 και d1, είναι η εγκάρσια απόσταση του οχήματος 1 με το 3 (d3). Η απόσταση αυτή έχει την μεγαλύτερη θετική επιρροή σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο δομικό μοντέλο. Για την ακρίβεια, μία αύξηση της μεταβλητής d3 κατά μία μονάδα, αναμένεται αύξηση της λανθάνουσα μεταβλητής «space» κατά 0.216 μονάδες και αυτή με τη σειρά της επιδρά με τους ανάλογους συντελεστές στους χωρικούς διαχωρισμούς d0 και d1.

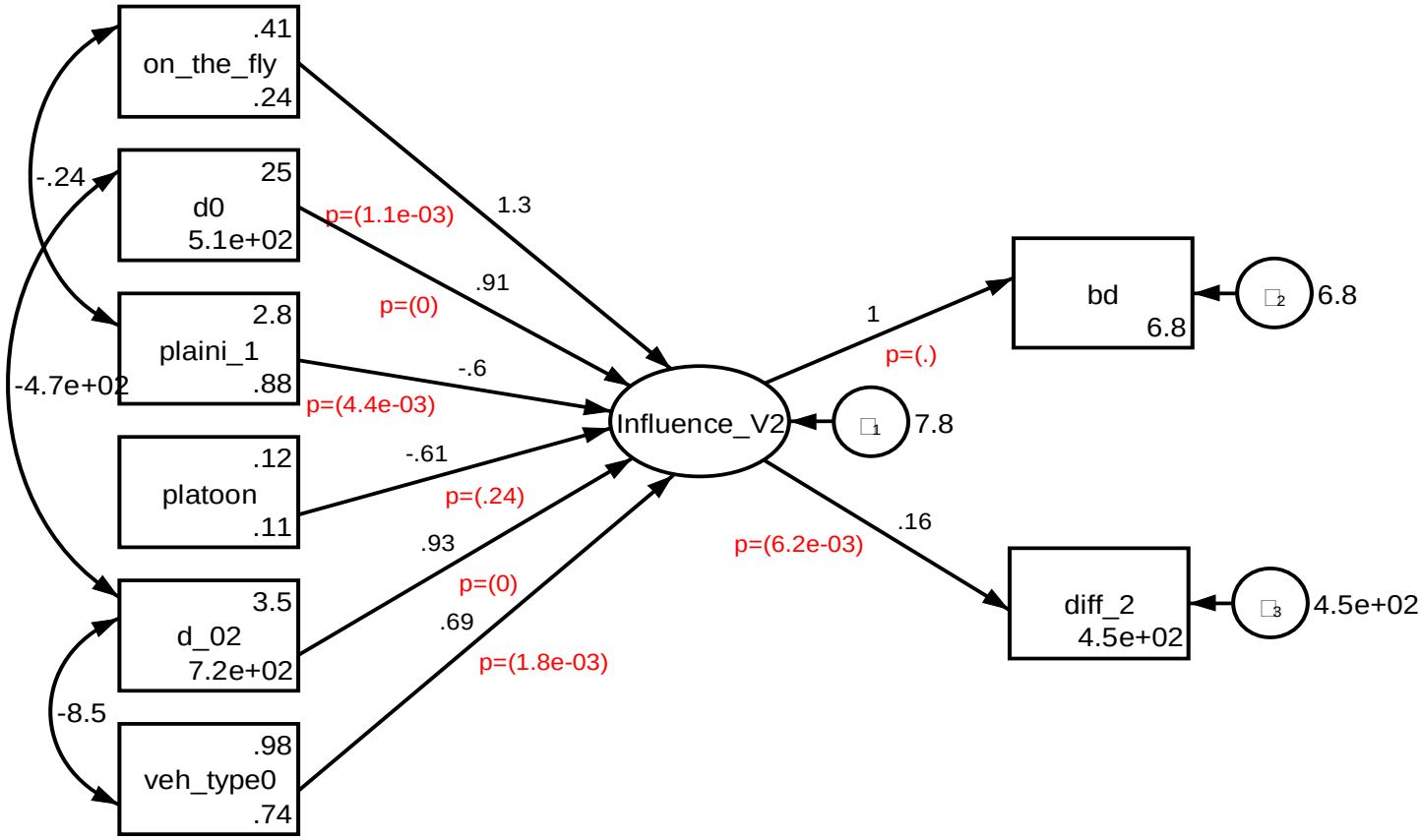
Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος έχει θετική επιρροή και συνεπώς συμβάλει στην αύξηση των χωρικών αποστάσεων d0 και d1, είναι η ταχύτητα του οχήματος 2 (V2). Συγκεκριμένα η γραμμική σχέση που συνδέει τη V2 με την λανθάνουσα μεταβλητή «space», αυξάνεται αναλογικά κατά 0.084 μονάδες.

Η θέση του μοτοσυκλετιστή και συγκεκριμένα οι διαγώνιες αποστάσεις που διατηρεί από τα οχήματα 1 και 0 (distance_xy & bd αντίστοιχα) φαίνεται να έχουν θετική επιρροή στην λανθάνουσα μεταβλητή «space» και αύξηση των τιμών τους, αυξάνει αναλογικά και τις τιμές των d0 και d1. Επίσης και η ταχύτητα του μοτοσυκλετιστή (Vm) είναι στατιστικά σημαντική για τους δείκτες του μοντέλου μας. Η επίδρασή της είναι αρνητική, που σημαίνει ότι για ταχύτητα

του μοτοσυκλετιστή 100 χλμ./ώρα, θα παρατηρηθεί μείωση κατά 3 μονάδες της επίδρασης που έχει η μεταβλητή αυτή πάνω στη λανθάνουσα μεταβλητή «space» η οποία με τη σειρά της έχει αντίκτυπο στους δείκτες d0 και d1.

4.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (2) ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΗ

Στο Σχήμα 5, παρουσιάζεται το Δεύτερο Δομικό Μοντέλο το οποίο περιγράφει την επίδραση που έχουν ορισμένες μεταβλητές που ονομάζονται προγνωστικοί παράγοντες στην απόσταση και τη διαφορά ταχυτήτων που υπάρχει μεταξύ του μοτοσυκλετιστή και του οχήματος 2 (βλ. Σχήμα 3). Οι παράγοντες αυτοί, όπως φαίνονται χαρακτηριστικά και στο σχήμα 5, δεν επιδρούν άμεσα στους δυο δείκτες που περιγράφουν την απόσταση (bd) και τη διαφορά της ταχύτητας του μοτοσυκλετιστή με την ταχύτητα του οχήματος 2 (diff_2), αλλά έμμεσα μέσω μιας μη μετρήσιμης λανθάνουσας μεταβλητής «Influence_V2». Η λανθάνουσα μεταβλητή αυτή, η οποία δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, στην ουσία εκφράζει την επιρροή του οχήματος 2 στον μοτοσυκλετιστή. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν ως βάση δεδομένων μόνο οι περιπτώσεις όπου υπήρχε το όχημα 2. Όλες οι μηδενικές περιπτώσεις απορρίφθηκαν, με τελικό αποτέλεσμα να υπάρχουν 532 περιπτώσεις στο σύνολο των 850 περιπτώσεων. Δείγμα αρκετά ικανοποιητικό, ώστε να έχει σωστή εφαρμογή το δομικό μοντέλο.



Σχήμα 5: Διάγραμμα Ροής Δεύτερου Δομικού Μοντέλου

Το μοντέλο δομικών εξισώσεων – SEM, όπως έχει προαναφερθεί, επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίσει αλληλεπιδράσεις τις οποίες δεν είχε παρατηρήσει μέχρι τη χρήση της εντολής Modification indices (Statistics -> SEM -> testing and CIs -> Modification indices) . Με την εντολή αυτή εμφανίζεται ο Πίνακας 9, ο οποίος επισημαίνει τυχόν αλληλεπιδράσεις οι οποίες θα βελτιώσουν το μοντέλο και το βαθμό βελτίωσης του ήδη υπάρχον μοντέλου.

Πίνακας 9: Δείκτες Τροποποίησης Δεύτερου Δομικού Μοντέλου

	MI	df	P > MI	EPC	Standard EPC
Measurement					
bd <- plaini_1	**6.245**	**1**	**0.01**	**16.479**	**0.928**
diff_2 <- plaini_1	**6.245**	**1**	**0.01**	**-2.558**	**0.112**

Όταν έχουν οριστεί πλέον όλες οι αλληλεπιδράσεις, η εντολή modification indices δίνει την πληροφορία ότι δεν έχουν να αναφερθούν άλλοι δείκτες τροποποίησης για το παρόν μοντέλο

και το οποίο βρίσκεται στη βέλτιστη μορφή του. Στον πίνακα 10 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι έλεγχοι καλής προσαρμογής που γίνονται για το Δεύτερο Δομικό Μοντέλο. Οι στατιστικοί δείκτες και τα όρια τιμών τους, επίσης αναλύονται στη συνέχεια.

Όπως φαίνεται στον Πίνακας 10, γίνεται ο έλεγχος X^2 (chi2) μεταξύ του μοντέλου που μόλις έτρεξε και του κορεσμένου (saturated). Ένα κορεσμένο μοντέλο ταιριάζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, καθώς αναπαράγει τέλεια όλες τις διακυμάνσεις, συνδιακυμάνσεις και τα μέσα των παρατηρούμενων μεταβλητών. Το chi2 του μοντέλου που μόλις έτρεξε είναι 8.926, ενώ του κορεσμένου είναι p = 0.112. Επομένως το μοντέλο μας ταιριάζει ναι μεν φτωχότερα από το κορεσμένο, αλλά λόγο της ευαισθησίας που έχει ο δείκτης αυτός σε μεγάλα δείγματα, η συνολική αξιολόγηση του μοντέλου θα γίνει λαμβάνοντας υπόψιν και τους υπόλοιπους δείκτες καλής προσαρμογής.

Πίνακας 10: Στατιστικά καλής προσαρμογής δεύτερου δομικού μοντέλου

Στατιστικά Προσαρμογής	Τιμή	Περιγραφή
Likelihood ratio		
Chi2_ms (5)	**8.926**	***Δομικό Μοντέλο vs. Κορεσμένο Μοντέλο***
P > chi2	**0.112**	
Σφάλμα Πληθυσμού		
RMSEA	**0.038**	***Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προσέγγισης***
90%CI, κατώτατο όριο	**0.000**	***Διάστημα Εμπιστοσύνης***
Ανώτερο όριο	**0.079**	
pclose	**0.627**	***Πιθανότητα RMSEA <= 0.05***
Information criteria		
AIC	**20536.982**	***Akaike's Information Criterion***
BIC	**20601.132**	***Bayesian Information Criterion***
Baseline comparison		
CFI	**0.998**	***Comparative Fit Index***
TLI	**0.994**	***Tucker – Lewis Index***
Μέγεθος των υπολοίπων		
SRMR	**0.019**	***Κανονικοποιημένη ρίζα του μέσου τετραγωνικού υπολοίπου***
CD	**0.971**	***Συντελεστής προσδιορισμού***

Η τιμή RMSEA (Root mean squared error of approximation) αναφέρεται μαζί με το κατώτερο και το ανώτερο της όριο στο 90% CI - διάστημα εμπιστοσύνης του. Γίνεται έλεγχος εάν το κατώτερο όριο είναι μικρότερο του 0.05 ή το ανώτερο όριο είναι μεγαλύτερο από 0.10. Αν το κατώτερο όριο είναι μικρότερο από 0.05, τότε δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή ταιριάζει σε ικανοποιητικό βαθμό. Εάν το ανώτερο όριο είναι μεγαλύτερο του 0.10, τότε δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή είναι φτωχή. Στο παρόν μοντέλο βρέθηκε ότι το κατώτερο όριο είναι 0.00 < 0.05, άρα δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή ταιριάζει σε ικανοποιητικό βαθμό και επιπλέον το ανώτερο όριο βρέθηκε 0.079 < 0.10, συνεπώς η προσαρμογή είναι καλή.

Μαζί με την RMSEA η τιμή της οποίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.08 (στο παρόν μοντέλο βρέθηκε 0.038 – καλή προσαρμογή) εκθέτεται και η pclose, δηλαδή η πιθανότητα RMSEA να είναι ίση ή μικρότερη του 0.05. Η pclose πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.05. Η τιμή που βρέθηκε γι' αυτήν (0.627) είναι ικανοποιητική.

Ακολουθούν τα κριτήρια AIC και BIC, τα οποία αποτελούν συγκριτικά μεγέθη για τις διάφορες δομές των δομικών μοντέλων και δηλώνουν την καλύτερη από αυτές όταν έχουν πάρει την χαμηλότερη τιμή.

Οι δείκτες CFI και TLI δηλώνουν καλή προσαρμογή όταν παίρνουν τιμές κοντά στη μονάδα. Στην περίπτωσή μας έχουν τιμές 0.998 και 0.994 αντίστοιχα.

Ο δείκτης SRMR είναι ένα απόλυτο μέτρο και μια τιμή μηδέν σημαίνει τέλεια εφαρμογή, ενώ και μία τιμή λιγότερη του 0.08, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει καλή εφαρμογή. Η τιμή του βρέθηκε 0.019 που δείχνει καλή προσαρμογή του μοντέλου.

Τέλος ο δείκτης CD ο οποίος έχει τιμή 0.971, είναι κάτι ανάλογο του R^2 για το σύνολο του μοντέλου και μία τιμή κοντά στο 1.0 υποδηλώνει καλή προσαρμογή.

Στον Πίνακας 11, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι αναλύσεις του Δεύτερου Δομικού Μοντέλου, όπου φαίνονται οι συσχετίσεις, οι διακυμάνσεις, οι συνδιακυμάνσεις καθώς και η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζεται με την εντολή Estimate όταν έχουμε δημιουργήσει το δομικό μοντέλο.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα ανάλυσης δεύτερου δομικού μοντέλου

Δεύτερο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων			Αριθμός παρατηρήσεων = 532	
Log Likelihood = -10253.491				
(1) [bd]Influence_V2 = 1				
	Συντελεστής	Std. Err.	z	p > |z|
Structural				
Influence_V2 <-				
on_the_fly	1.323	0.405	3.27	0.001
d0	0.907	0.013	72.47	0.000
plaini_1	-0.596	0.209	-2.85	0.004
platoon	-0.605	0.511	-1.18	0.236
d_02	0.933	0.010	89.45	0.000
veh_type0	0.695	0.222	3.13	0.002
Measurement				
bd <-				
Influence_V2	1	(constrained)		
_cons	-5.035	0.778	-6.47	0.000
diff_2 <-				
Influence_V2	0.155	0.057	2.74	0.006
_cons	10.918	1.695	6.44	0.000
Διακύμανση				
e.bd	6.804	22.985		
e.diff_2	449.871	27.588		
e.Influence_V2	7.755	22.986		
Συνδιακύμανση				
on_the_fly plaini_1	-0.237	0.013	-18.50	0.000
d0 d_02	-468.011	7.509	-62.32	0.000
d_02 veh_type0	-8.534	0.525	-16.24	0.000
LR test of model vs. Saturated: chi2(5) = 9.83 Prob > chi2 = 0.112				

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι παράγοντες, όπως είναι το είδος προσπέρασης που κάνει ο μοτοσυκλετιστής (*on_the_fly*) και η απόσταση του με την οριογραμμή της λωρίδας (δεξιά/αριστερή)-(*plaini_1*), ο χωρικός διαχωρισμός των οχημάτων 1 και 0 (*d0*), η κατά μήκος απόσταση των οχημάτων 0 και 2 (*d_02*), καθώς και το είδος του οχήματος 0 *(Veh_type0),* επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη διαγώνιο απόσταση του μοτοσυκλετιστή με το όχημα 2 (*bd*) και τη διαφορά των ταχυτήτων του μοτοσυκλετιστή με το όχημα 2 (*diff_2*).

Αντιθέτως, η ύπαρξη φάλαγγας ή όχι (*platoon*), φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικός παράγοντας.

Η λανθάνουσα μεταβλητή (Influence_V2) μπορεί να παρατηρηθεί από τους δείκτες (bd και diff_2) που εκφράζουν την απόσταση και τη διαφορά ταχυτήτων του μοτοσυκλετιστή με το όχημα 2. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν ο δείκτης με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι ο bd με συντελεστή 1.0 έναντι 0.155 που είναι ο συντελεστής για το δείκτη diff_2. Αυτό σημαίνει ότι η απόσταση του οχήματος 2 με το δικυκλιστή (bd) είναι πιο επιρρεπής στις αυξομειώσεις των τιμών που λαμβάνουν οι προγνωστικοί παράγοντες του μοντέλου.

Ο κάθε προγνωστικός παράγοντας (predictor) έχει διαφορετικής βαρύτητας επιρροή στην τελική διαμόρφωση του μοντέλου. Συγκεκριμένα, η μεταβλητή on_the_fly η οποία δηλώνει το είδος προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή (με ελιγμό ή χωρίς ελιγμό) επηρεάζει θετικά τη λανθάνουσα μεταβλητή «Influence_V2», σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (0.001< 0.1).

Η μεταβλητή d0, έχει και αυτή υψηλή θετική συσχέτιση με τη λανθάνουσα μεταβλητή. Για την ακρίβεια, η γραμμική τους σχέση αυξάνεται αναλογικά κατά 0.907 μονάδες και κατ' επέκταση και τους δείκτες bd και diff_2. Ομοίως και η μεταβλητή d_02, έχει αυξημένη θετική επιρροή, με στατιστικά σημαντικό βαθμό (0.000).

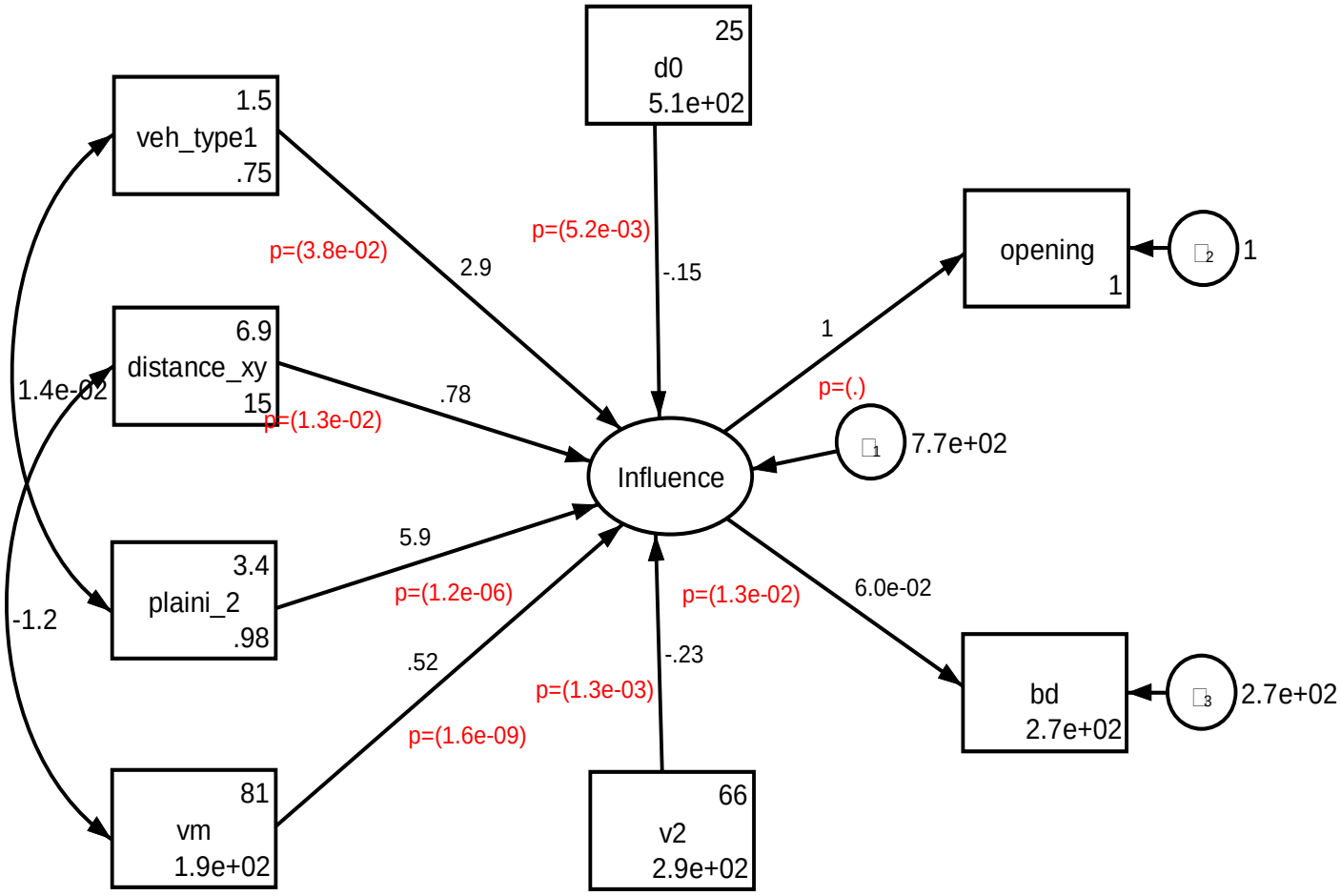
Ένας παράγοντας ο οποίος έχει αρνητική επιρροή και συνεπώς συμβάλει στην μείωση των δεικτών bd και diff_2 , είναι η plaini_1, η απόσταση που διατηρεί ο μοτοσυκλετιστής με την οριογραμμή της λωρίδας (δεξιά/αριστερή). Συγκεκριμένα, αύξηση της μεταβλητής plaini_1 κατά ένα μέτρο, σημαίνει μείωση της επίδρασης που έχει αυτή η μεταβλητή στη λανθάνουσα μεταβλητή κατά -0.596 μονάδες και αυτή με τη σειρά της επιδρά με ανάλογους συντελεστές στις bd και diff_2.

Η ύπαρξη φάλαγγας ή όχι (platoon), επηρεάζει ναι μεν αρνητικά τη λανθάνουσα μεταβλητή μας, ωστόσο δεν είναι στατιστικά σημαντική και επομένως δεν θα ληφθεί υπόψιν στα αποτελέσματα της έρευνας.

Τέλος, ο τύπος του οχήματος 0 (veh_type0), επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό το όχημα 2, την απόσταση που ''κρατάει'' από τον μοτοσικλετιστή (bd) και την διαφορά της ταχύτητας του μοτοσυκλετιστή με αυτό (diff_2) και η επίδραση αυτή είναι θετική.

4.3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ OPENING, BD ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΙΣΤΩΝ

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το Τρίτο Δομικό Μοντέλο το οποίο περιγράφει την επίδραση που έχουν ορισμένες μεταβλητές που ονομάζονται προγνωστικοί παράγοντες στο «άνοιγμα» που δημιουργείται από τα οχήματα 1 και 3 (opening) και την διαγώνια απόσταση που έχει ο μοτοσυκλετιστής με το όχημα 2 (bd) (βλ. Σχήμα 3). Οι παράγοντες αυτοί, όπως φαίνονται χαρακτηριστικά και στο σχήμα 6, δεν επιδρούν άμεσα στους δύο δείκτες που περιγράφουν τις αποστάσεις (bd) και (opening), αλλά έμμεσα μέσω μιας μη μετρήσιμης λανθάνουσας μεταβλητής «Influence». Η λανθάνουσα μεταβλητή αυτή, η οποία δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, στην ουσία εκφράζει το «άνοιγμα που βλέπει» να έχει διαθέσιμο ο μοτοσυκλετιστής για να κάνει προσπέραση ή όχι, την απόσταση που τον πλησιάζει το όχημα που βρίσκεται πίσω του (όχημα 2) και από ποιους παράγοντες επηρεάζονται αυτά. Για το συγκεκριμένο μοντέλο χρειάστηκε να γίνει μία επεξεργασία στην αρχική βάση δεδομένων των 850 περιπτώσεων. Έπειτα από αρκετές δοκιμές και προκειμένου το μοντέλο να μπορεί να επεξηγηθεί, ορίστηκαν όλες οι περιπτώσεις όπου το opening ήταν μηδέν (έλλειψη του οχήματος 3), ίσες με την μέγιστη παρατηρηθείσα τιμή της μεταβλητής αυτής (max_opening = 92.36m). Η παραπάνω αλλαγή έγινε με τη λογική ότι το όχημα 3 πάντα υπάρχει, αλλά είτε λόγο της περιορισμένης περιοχής μελέτης (έως και 150 μέτρα), είτε επειδή το όχημα βρισκόταν αρκετά μακριά σε σχέση με το όχημα 1, δεν υπήρχε η δυνατότητα να μετρηθεί η συγκεκριμένη απόσταση κατά την επεξεργασία των βίντεο. Έτσι ορίστηκε ίση με τη μέγιστη τιμή της, η οποία είναι αρκετά μεγάλη απόσταση ώστε να θεωρηθεί ότι δεν επηρεάζει το μοτοσυκλετιστή και τα υπόλοιπα οχήματα.



Σχήμα 6: Διάγραμμα Ροής Τρίτου Δομικού Μοντέλου

Το μοντέλο δομικών εξισώσεων – SEM, όπως έχει προαναφερθεί, επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίσει αλληλεπιδράσεις τις οποίες δεν είχε παρατηρήσει μέχρι τη χρήση της εντολής Modification indices (Statistics -> SEM -> testing and CIs -> Modification indices) . Με την εντολή αυτή εμφανίζεται ένας Πίνακας 12, ο οποίος επισημαίνει τυχόν αλληλεπιδράσεις οι οποίες θα βελτιώσουν το μοντέλο και το βαθμό βελτίωσης του ήδη υπάρχον μοντέλου

Πίνακας 12: Δείκτες Τροποποίησης Τρίτου Δομικού Μοντέλου

	MI	df	P > MI	EPC	Standard EPC
Measurement					
opening <-					
Vm	**3.659**	**1**	**0.06**	**-1.7151**	**-0.793**
d0	**3.529**	**1**	**0.06**	**-1.0149**	**-0.758**
bd <-					
Vm	**3.659**	**1**	**0.06**	**0.1022**	**0.085**
d0	**3.529**	**1**	**0.06**	**0.0604**	**0.081**

Όταν έχουν οριστεί πλέον όλες οι αλληλεπιδράσεις, η εντολή modification indices δίνει την πληροφορία ότι δεν έχουν να αναφερθούν άλλοι δείκτες τροποποίησης για το παρόν μοντέλο και το οποίο βρίσκεται στη βέλτιστη μορφή του. Στον Πίνακας 13 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι έλεγχοι καλής προσαρμογής που γίνονται για το Τρίτο Δομικό Μοντέλο. Οι στατιστικοί δείκτες και τα όρια τιμών τους, επίσης αναλύονται στη συνέχεια.

Γίνεται ο έλεγχος X^2 (chi2), μεταξύ του μοντέλου που μόλις έτρεξε και του κορεσμένου (saturated). Ένα κορεσμένο μοντέλο ταιριάζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, καθώς αναπαράγει τέλεια όλες τις διακυμάνσεις, συνδιακυμάνσεις και τα μέσα των παρατηρούμενων μεταβλητών. Το chi2 του μοντέλου που μόλις έτρεξε είναι 13.16, ενώ του κορεσμένου είναι p= 0.041. Επομένως το μοντέλο μας ταιριάζει ναι μεν φτωχότερα από το κορεσμένο, αλλά λόγο της ευαισθησίας που έχει ο δείκτης αυτός σε μεγάλα δείγματα, η συνολική αξιολόγηση του μοντέλου θα γίνει λαμβάνοντας υπόψιν και τους υπόλοιπους δείκτες καλής προσαρμογής.

Πίνακας 13: Στατιστικά καλής προσαρμογής τρίτου δομικού μοντέλου

Στατιστικά Προσαρμογής	Τιμή	Περιγραφή
Likelihood ratio		
Chi2_ms (6)	**13.16**	***Δομικό Μοντέλο vs. Κορεσμένο Μοντέλο***
P > chi2	**0.041**	
Σφάλμα Πληθυσμού		
RMSEA	**0.047**	***Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προσέγγισης***
90%CI, κατώτατο όριο	**0.009**	***Διάστημα Εμπιστοσύνης***
Ανώτερο όριο	**0.082**	
pclose	**0.494**	***Πιθανότητα RMSEA <= 0.05***
Information criteria		
AIC	**29012.757**	***Akaike's Information Criterion***
BIC	**29068.353**	***Bayesian Information Criterion***
Baseline comparison		
CFI	**0.924**	***Comparative Fit Index***
TLI	**0.835**	***Tucker – Lewis Index***
Μέγεθος των υπολοίπων		
SRMR	**0.022**	***Κανονικοποιημένη ρίζα του μέσου τετραγωνικού υπολοίπου***
CD	**0.152**	***Συντελεστής προσδιορισμού***

Η τιμή RMSEA (Root mean squared error of approximation) αναφέρεται μαζί με το κατώτερο και το ανώτερο της όριο στο 90% CI - διάστημα εμπιστοσύνης του. Γίνεται έλεγχος εάν το κατώτερο όριο είναι μικρότερο του 0.05 ή το ανώτερο όριο είναι μεγαλύτερο από 0.10. Αν το κατώτερο όριο είναι μικρότερο από 0.05, τότε δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή ταιριάζει σε ικανοποιητικό βαθμό. Εάν το ανώτερο όριο είναι μεγαλύτερο του 0.10, τότε δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή είναι φτωχή. Στο παρόν μοντέλο βρέθηκε ότι το κατώτερο όριο είναι 0.009 < 0.05 άρα δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η προσαρμογή ταιριάζει σε ικανοποιητικό βαθμό και επιπλέον το ανώτερο όριο βρέθηκε 0.082 < 0.10, συνεπώς η προσαρμογή είναι καλή.

Μαζί με την RMSEA η τιμή της οποίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.08 (στο παρόν μοντέλο βρέθηκε 0.047 – καλή προσαρμογή) εκθέτεται και η pclose, δηλαδή η πιθανότητα RMSEA να είναι ίση ή μικρότερη του 0.05. Η pclose πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.05. Η τιμή που βρέθηκε γι' αυτήν (0.494) είναι αρκετά ικανοποιητική.

Ακολουθούν τα κριτήρια AIC και BIC, τα οποία αποτελούν συγκριτικά μεγέθη για τις διάφορες δομές των δομικών μοντέλων και δηλώνουν την καλύτερη από αυτές όταν έχουν πάρει την χαμηλότερη τιμή.

Οι δείκτες CFI και TLI δηλώνουν καλή προσαρμογή όταν παίρνουν τιμές κοντά στη μονάδα. Στην περίπτωσή μας, έχουν τιμές 0.924 και 0.835 αντίστοιχα.

Ο δείκτης SRMR είναι ένα απόλυτο μέτρο και μια τιμή μηδέν σημαίνει τέλεια εφαρμογή, ενώ και μία τιμή λιγότερη του 0.08, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει καλή εφαρμογή. Η τιμή του βρέθηκε 0.022 που δείχνει καλή προσαρμογή του μοντέλου.

Τέλος ο δείκτης CD, είναι κάτι ανάλογο του R^2 για το σύνολο του μοντέλου και μία τιμή κοντά στο 1.0 υποδηλώνει καλή προσαρμογή. Η τιμή του βρέθηκε 0.152, η οποία απέχει σημαντικά από τη μονάδα, αλλά είναι αναμενόμενη σε μοντέλα που προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις, συνεπώς περιέχουν κάποια σφάλματα και μεγάλες διακυμάνσεις.

Στον Πίνακας 14, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι αναλύσεις του Τρίτου Δομικού Μοντέλου, όπου φαίνονται οι συσχετίσεις, οι διακυμάνσεις, οι συνδιακυμάνσεις καθώς και η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζεται με την εντολή Estimate όταν έχουμε δημιουργήσει το δομικό μοντέλο.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα ανάλυσης τρίτου δομικού μοντέλου

Τρίτο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων			Αριθμός παρατηρήσεων = 532	
Log Likelihood = -14493.378 (1) [opening]Influence= 1 (2) [var(e.opening)]_cons = 1				
	Συντελεστής	Std. Err.	z	p > |z|
Structural				
Influence <-				
Veh_type1	2.887	1.392	2.07	0.038
distance_xy	0.781	0.312	2.50	0.013
plaini_2	5.946	1.223	4.86	0.000
Vm	0.525	0.087	6.03	0.000
d0	-0.150	0.054	-2.79	0.005
V2	-0.229	0.071	-3.23	0.001
Measurement				
opening <-				
Influence	1	(constrained)		
_cons	-25.536	9.709	-2.63	0.009
bd <-				
Influence	0.059	0.023	2.49	0.013
_cons	16.860	1.583	10.67	0.000
Διακύμανση				
e.opening	274.592	(constrained)		
e.plaini_2	0.837	16.836		
e.Influence	767.761	47.135		
Συνδιακύμανση				
veh_type1 plaini_2	0.014	0.037	0.39	0.700
distance_xy vm	-1.232	2.303	-0.53	0.593
LR test of model vs. Saturated: chi2(6) = 13.16 Prob > chi2 = 0.660				

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όλοι οι παράγοντες που συμμετείχαν στο δομικό μοντέλο, όπως είναι ο τύπος του οχήματος (*Veh_type1*) και η διαγώνιος απόσταση του με τον μοτοσυκλετιστή (*distance_xy*), οι χωρικοί διαχωρισμοί των οχημάτων 1 και 0 (*d0*), η τοποθέτηση του προσπερνούμενο οχήματος στην οδό ως προς το άκρο του οδοστρώματος (*plaini_2*), η ταχύτητα του δικυκλιστή *(Vm)* και τέλος η ταχύτητα του οχήματος 2 (*V2*), επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμός τις αποστάσεις opening και bd.

Η λανθάνουσα μεταβλητή (Influence) μπορεί να παρατηρηθεί από τους δείκτες (opening και bd) που εκφράζουν το «άνοιγμα» που δημιουργείται από τα οχήματα 1 και 3 (opening) και τη διαγώνια απόσταση που έχει ο μοτοσυκλετιστής με το πίσω σε αυτόν όχημα 2 (bd). Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν ο δείκτης με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι το opening με συντελεστή 1.0 έναντι 0.059 που είναι ο συντελεστής για το δείκτη bd. Αυτό σημαίνει ότι το άνοιγμα που δημιουργείται από το προσπερνούμενο όχημα (1) με το όχημα (3) (opening), είναι πιο επιρρεπής στις αυξομειώσεις των τιμών που λαμβάνουν οι προγνωστικοί παράγοντες του μοντέλου.

Ο κάθε προγνωστικός παράγοντας (predictor) έχει διαφορετικής βαρύτητας επιρροή στην τελική διαμόρφωση του μοντέλου. Συγκεκριμένα, η μεταβλητή veh_type1, δηλαδή ο τύπος του οχήματος 1 (αυτοκίνητο, δίκυκλο μικρού ή μεγάλου κυβισμού, φορτηγό), επηρεάζει θετικά σε σημαντικό βαθμό την λανθάνουσα μεταβλητή «Influence» και ανάλογα και τους δείκτες opening και bd.

Ακολουθεί η μεταβλητή distance_xy, η οποία επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη λανθάνουσα μεταβλητή και στη συνέχεια τους δείκτες του μοντέλου. Η διαγώνια απόσταση του μοτοσυκλετιστή σε σχέση με το εξεταζόμενο όχημα που προτίθεται να κάνει ή κάνει προσπέραση (όχημα 1), φαίνεται να συσχετίζεται αρκετά με τις μεταβλητές opening και bd. Για την ακρίβεια, αύξηση της τιμής της απόστασης distance_xy κατά 1.0m, προκαλεί αύξηση της λανθάνουσας μεταβλητής κατά 0.781 μονάδες και αυτή με τη σειρά της επιδρά αναλογικά στις μεταβλητές opening και bd.

Η μεταβλητή plaini_2, έχει την υψηλότερη θετική συσχέτιση με τη λανθάνουσα μεταβλητή. Για την ακρίβεια, η γραμμική τους σχέση αυξάνεται αναλογικά κατά 5.946 μονάδες και κατ' επέκταση και οι δείκτες opening και bd.

Η ταχύτητα με την οποία κινείται ο μοτοσυκλετιστής (Vm), επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό και έχει θετική επίδραση στη λανθάνουσα μεταβλητή μας, ενώ η γραμμική τους σχέση αυξάνεται αναλογικά κατά 0.525 μονάδες.

Ένας παράγοντας ο οποίος έχει αρνητική επιρροή και συνεπώς συμβάλει στην μείωση των δεικτών opening και bd, είναι η (d0), ο χωρικός διαχωρισμός των οχημάτων (1) και (3). Συγκεκριμένα, αύξηση της μεταβλητής d0 κατά ένα μέτρο, σημαίνει μείωση της επίδρασης που έχει αυτή η μεταβλητή στη λανθάνουσα μεταβλητή κατά -0.150 μονάδες και αυτή με τη σειρά της επιδρά με ανάλογους συντελεστές στους δείκτες opening και bd.

Τέλος, η ταχύτητα του οχήματος (2), (V2) επηρεάζει αρνητικά τη λανθάνουσα μεταβλητή μας, που σημαίνει αύξηση της ταχύτητας στα 100 χλμ./ώρα, προκαλεί μείωση της επιρροής της μεταβλητής στην λανθάνουσα μεταβλητή κατά 22.9 μονάδες.

5. Συμπεράσματα

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνηθούν οι αλληλεπιδράσεις και οι σχέσεις διαφόρων μεταβλητών, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό στατιστικών στοιχείων και ποιοτικών αιτιακών σεναρίων. Οι σχέσεις αυτές εκτιμούν την επιρροή που έχει η κίνηση του μοτοσυκλετιστή στα υπόλοιπα οχήματα που τον περιβάλλουν, αλλά αντίστοιχα, πως η θέση τους στο χώρο, την στιγμή που ο μοτοσυκλετιστής αποφασίζει να κάνει προσπέραση ή όχι, επηρεάζουν την απόφαση του αυτή.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, στηρίχθηκε εξαρχής σε πείραμα που διεξάχθηκε στο πλαίσιο προγενέστερης έρευνας στον Τομέα Μεταφορών Συγκοινωνιακής Υποδομής (ΤΜΣΥ), της οποίας αντικείμενο μελέτης ήταν οι παράγοντες που καθορίζουν την απόφαση του μοτοσυκλετιστή να κάνει προσπέραση ή όχι, σε αστικές αρτηρίες με δύο οδούς κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Η παρούσα έρευνα επεκτείνει την προηγούμενη, μέσω της διερεύνησης επιπλέον παραγόντων, όπως οι χωρικοί διαχωρισμοί με τα πίσω οχήματα του δίκυκλου, η απόστασή του από την οριογραμμή δεξιάς/αριστερής λωρίδας κυκλοφορίας και την αντίστοιχη απόσταση για το προπορευόμενο όχημα.

5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα έρευνα, προέκυψε από την ανάλυση βίντεο με στόχο την εξαγωγή δεδομένων σχετικά με τις τροχιές των μοτοσυκλετιστών. Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων από τα βίντεο που συλλέχθηκαν και η επεξεργασία τους από το παραπάνω λογισμικό, ήταν μία διαδικασία ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα. Η τελική βάση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δομικών μοντέλων SEM, περιλάμβανε 850 περιπτώσεις προσπεράσεων του μοτοσικλετιστή, από τις οποίες οι 526 ήταν επιτυχής, 27 μεταβλητές που παρατηρήθηκαν-μετρήθηκαν κατά την επεξεργασία των βίντεο και 8 μεταβλητές που προέκυψαν από τις ήδη παρατηρηθείσες.

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν τρία μοντέλα - SEM, το καθένα από τα οποία έχει σκοπό να διερευνήσει τις σχέσεις διαφόρων μεταβλητών και το βαθμό επιρροής των οχημάτων που περιβάλλουν το μοτοσυκλετιστή, στο φαινόμενο της προσπέρασης.

Συγκεκριμένα, για το *μοντέλο επιρροής του χώρου στο φαινόμενο προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή*, παρατηρήθηκε ότι η θέση του μοτοσυκλετιστή από το προσπερνούμενο όχημα 1 (distance_xy) και το πίσω σε αυτόν όχημα 2 (bd), επηρεάζει θετικά τους δείκτες του μοντέλου μας d0 και d1.

Για το *μοντέλο επιρροής του οχήματος 2 στο φαινόμενο προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή*, χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες – μεταβλητές που εκφράζουν την επιρροή αυτή, οι παράμετροι bd και diff_2. Οι μεταβλητές αυτές δείχνουν συνυφασμένες με το όχημα 0 και το είδος προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή (on_the_fly). Για την ακρίβεια, η απόσταση του οχήματος 2 με το όχημα 0 (d_02) και ο τύπος του οχήματος 0 (veh_type0), αυξάνουν την επιρροή του οχήματος 2 στον δικυκλιστή, καθώς και η απόσταση του οχήματος 0 με το προσπερνούμενο όχημα 1 (d0).

Τέλος, *στο τρίτο μοντέλο επιρροής των μεταβλητών opening και bd στο φαινόμενο προσπέρασης του μοτοσυκλετιστή*, βρέθηκε ότι το «άνοιγμα» που βλέπει να έχει διαθέσιμο ο μοτοσυκλετιστής (opening : διαγώνιος απόσταση του προσπερνούμενο οχήματος 1 με το όχημα 3), προκειμένου να κάνει προσπέραση και η απόσταση που τον πλησιάζει το πίσω όχημα 2 (bd), φαίνεται να επηρεάζονται θετικά από την ταχύτητα του οχήματος 2 (V2), την απόσταση των οχημάτων 1 και 0 (d0), τη διαγώνιο απόσταση του μοτοσυκλετιστή με το προσπερνούμενο όχημα 1 (distance_xy) και τον τύπο του οχήματος 1 (veh_type1). Ενώ, με αύξηση των τιμών των μεταβλητών d1(η απόσταση των οχημάτων 2 και 3) και Vm(η ταχύτητα του μοτοσυκλετιστή), μειώνονται αναλογικά οι λανθάνουσες μεταβλητές opening και bd.

Ο μοτοσυκλετιστής, παρ' όλη την ευελιξία των κινήσεών του και τη δυνατότητα να «ξεγλιστράει» μέσα από τα υπόλοιπα οχήματα, προχωρώντας σε προσπεράσεις προκειμένου να φθάσει γρηγορότερα στον προορισμό του, δεν παύει να είναι μέρος της μάζας των οχημάτων της κυκλοφοριακής ροής και οι κινήσεις του να επηρεάζονται από αυτά. Μέσα από τη συγκεκριμένη έρευνα, διερευνήθηκαν οι αλληλεπιδράσεις αυτές με τελικό αποτέλεσμα ότι η κίνηση του μοτοσυκλετιστή επηρεάζεται από το όχημα το οποίο έχει σκοπό να προσπεράσει και τη θέση του ως προς αυτό, από το πίσω όχημα που ακολουθεί το μοτοσυκλετιστή και γενικότερα από τη θέση του στο χώρο τον οποίο κινείται. Στην παραπάνω έρευνα, δεν

μελετήθηκε ο ανθρώπινος παράγοντας, ο οποίος σίγουρα παίζει σημαντικό ρόλο στις αποφάσεις που θα πάρει ο δικυκλιστής για την τροχιά κίνησης που θα ακολουθήσει.

5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Για τη συγκεκριμένη έρευνα, εξ' αρχής επιβλήθηκαν κάποιοι περιορισμοί ώστε να είναι ευκολότερη η ερμηνεία του φαινομένου της κίνησης και των προσπεράσεων των μοτοσυκλετιστών, κυρίως λόγω των μη καθορισμένων τροχιών και της ευελιξίας τους. Λόγω αυτών των περιορισμών, η έρευνα επικεντρώθηκε σε συγκεκριμένα σημεία περισσότερο και άλλα όχι. Ως εκ τούτου, κρίνεται σημαντικό να επισημανθούν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα.

Αρχικά, θα ήταν σημαντικό η έρευνα να προχωρήσει σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις οδών και λεωφόρων. Θα μπορούσε η έρευνα να επεκταθεί σε οδούς με μεγαλύτερο αριθμό λωρίδων και σε οδούς με μη-ύπαρξη διαχωριστικού διαζώματος. Έπειτα, ο σχολιασμός και σύγκριση των αποτελεσμάτων θα μπορούσε να εξάγει ακόμη περισσότερα συμπεράσματα.

Οι δυνατότητες του λογισμικού Trajectory Extractor που χρησιμοποιήθηκε ήταν ικανοποιητικές για το σκοπό της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, κάποια από τα μειονεκτήματά του, όπως η περιορισμένη περιοχή μελέτης (μήκος έως και 200 μέτρα) και η ανάγκη για κάποιο υπερυψωμένο σημείο για τη λήψη των βίντεο, περιορίζει το εύρος των πληροφοριών που μπορούν να συλλεχθούν. Συνεπώς, η χρήση ενός πιο ανεπτυγμένου λογισμικού σε παρόμοιες έρευνες σίγουρα θα έδινε περισσότερες πληροφορίες για την τροχιά κίνησης του μοτοσυκλετιστή και πως επιλέγει να κινηθεί αφότου ολοκληρώσει την προσπέρασή του.

Επιπλέον, θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί πως επηρεάζονται οι κινήσεις και οι προσπεράσεις του δικυκλιστή, σε οδούς όπου η κυκλοφοριακή ροή είναι διακοπτόμενη. Δηλαδή, όπου υπάρχουν στάσεις για λεωφορεία και ταξί, διαβάσεις πεζών, φανάρια και πως μεταβάλλονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την τρέχουσα έρευνα.

Λόγω της δυσκολίας στην συλλογή των δεδομένων η σύνδεση της παρούσας έρευνας με αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω της μεθόδου της προσομοίωσης θα ήταν σημαντική για να διαπιστωθούν λάθη ή παραλείψεις στη μία ή άλλη μέθοδο για την βελτίωση της καθεμίας εξ αυτών.

Τέλος, το συγκεκριμένο θέμα θα μπορούσε να προχωρήσει και σε θέματα οδικής ασφάλειας, καθώς δίκυκλα συχνά εμπλέκονται σε ατυχήματα που συμβαίνουν στη χώρα μας, τα οποία συμβαίνουν μέσα στις αστικές οδούς και λεωφόρους.

Βιβλιογραφία

[1] ***www.statistics.gr***

[2] ***http://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle***

[3]mailto:http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0621:FIN:EL:PDF

[4] *Πηγή: "Μοτοσυκλέτα - Οδηγήστε έξυπνα και με ασφάλεια" Αττική Οδός*

http://media.feed.gr/pegasus/Multimedia/pdf/0300_id1068889_id4072889.pdf

[5] *Minh C. C., Sano K. And Matsumoto S. (2010) ''Maneuvers of motorcycles In queues at signalized intersections'', Journal of Advanced Transportation, 10.1002, 1-15*

[6] *Jian Ping Meng, Shi-qiang Dai, Li-yun Dong, Jie-fang Zhang (2007) ''Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles'', Physica A 380 (2007) 470-480*

[7] *Bonte L., Espie S. and Mathieu P. (2007) ''Virtual lanes interest for motorcycles simulation'', 5th European Workshop on Multi-Agent Systems, 1-17*

[8] *Dey P. P., Chandra S. and Gangopadhyay S. (2008) ''Simulation of Mixed Traffic Flow on Two-Lane Roads'', Journal of Transportation Engineering, Vol. 134, 361- 369*

[9] *Lan L. W., Chiou Y.-C., Lin Z.-S. And Hsu C.-C. (2009) ''A refined cellular automation model to rectify impractical vehicular movement behavior'', Physica A 388, 3917-3930*

[10] *Dey P. P. and Chandra S. (2009) ''Desired Time Gap and Time Headway in Steady-State Car-Following on Two-Lane Roads'', Journal of Transportation Engineering, Vol. 135, 687-693*

[11] *Beymer D., McLauchlan P., Coifman B. and Malik J. (1997) ''A real-time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters'', Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR΄97), 1-7*

[12] *Neubert L., Santen L., Schadschneider A. and Schreckenberg M. (1999), ''Single-vehicle data of highway traffic: A statistical analysis'', Physical Review E, Vol. 60, Num. 6, 6480-6490*

[13] *T. Oketch (2003) "Modeled Performance Characteristics of Heterogeneous Traffic Streams Containing Non-Motorized Vehicles", TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM*

[14] *Minh C. C., Sano K. and Matsumoto S. (2005) ''The Speed, Flow and Headway Analyses of Motorcycle Traffic'', Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 1496-1508*

[15] *Hemakom A., Pan-ngum S. and Narupiti S. (2008) ''Development of the inner city following-lane changing model and meandering model of motorcycles'', IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 488-493*

[16] *Lee T.-C. (2007) ''An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow'', A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University of London and Diploma of Membership of Imperial College London, 1-227*

[17] *Ε. Μπαρμπουνάκης (2012) "Διερεύνηση της συμπεριφοράς των Δικυκλιστών κατά τη διάρκεια της Προσπέρασης σε αστικές αρτηρίες"*

[18] *Πηγή: Google Maps 2014, maps.google.com*

[19] *Φρατζεσκάκης Ι., Γκόλιας Ι., Πιτσιάβα - Λατινοπούλου Μ. (2009), "Κυκλοφοριακή Τεχνική", Εκδόσεις Παπασωτηρίου*

[20] *Lee T.-C., Polak J.W. and Bell M.G.H. (2008) ''Trajectory Extractor User Manual'', Version 1.0, 1-15*

[21] Vlachogianni, E. I., Karlaftis, M. G., Papageorgiou, N. and Tsentelis D. (2013) "Factors Influencing Freeway Traffic Upstream of an Incident"

[22] *Daire Hooper, Joseph Coughlan and Michael R. Mullen. ''Structural Equation Modelling: Guidelines for Determining Model Fit", Dublin Institute of Technology, Florida Atlantic University.*

[23] ***mailto:http://davidakenny.net/cm/fit.htm?subject=http://davidakenny.net/cm/fit.htm***

[24]*mailto:http://www.stata.com/manuals13/semexample4.pdf?subject=http://www.stata.com/manuals13/semexample4.pdf*

[25] *Sarris, Satorra, & Sörbom (1987). "The detection and correction of specification errors in structural equation models". In C. Clogg (Ed.), Sociological methodology 1987. San Francisco: Jossey – Bass.*

[26] *Byrne M. Barbara (1998). "Structural Equation Modeling with Lisrel, Prelis and Simplis: Basic Concepts, Applications and Programming". Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers. New Jersey.*