



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στον  
Προσδιορισμό της Επικινδυνότητας κατά το  
Φαινόμενο της Προσπέρασης σε Αστικές Αρτηρίες

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Παναγιώτας Καπουλέα

Για τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών,  
Ακαδημαϊκό Έτος 2014-2015

Επιβλέπουσα: Βλαχογιάννη Ελένη  
Επ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2015



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στον  
Προσδιορισμό της Επικινδυνότητας κατά το  
Φαινόμενο της Προσπέρασης σε Αστικές Αρτηρίες

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**Παναγιώτας Καπουλέα**

**Για τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών,  
Ακαδημαϊκό Έτος 2014-2015**

**Επιβλέπουσα:** Βλαχογιάννη Ελένη  
Επ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Νοέμβριο 2015.

Γκόλιας Ιωάννης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γιαννής Γεώργιος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Βλαχογιάννη Ελένη  
Επικ.Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....

Παναγιώτα Καπουλέα

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

**Copyright** © Παναγιώτα Καπουλέα, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. **All rights reserved.**

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

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

*Η παρούσα εργασία για την απόκτηση του Διπλώματος του Πολιτικού Μηχανικού είναι αφιερωμένη στον αείμνηστο και πολυαγαπημένο μου ξάδερφο, Στέργιο Καρδαρά του Βασιλείου, ο οποίος έφυγε νωρίς από τη ζωή και στον παππού μου, Χρήστο Σερδάρη, που πάντα μου έλεγε να τον κάνω περήφανο.*

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα κ. Βλαχογιάννη Ελένη, Επικ. Καθηγήτρια του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την αμέριστη συμπαράστασή της, την άψογη συνεργασία μας και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εκπόνηση του συγκεκριμένου θέματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον κ. Μπαρμπουνάκη Εμμανουήλ, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ για τις πολύτιμες συμβουλές του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας καθώς και για τη βοήθεια που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και κυρίως στους γονείς μου, Νικόλαο και Ελένη, για την διαχρονική συμπαράστασή τους, την ηθική και υλική στήριξη των επιλογών μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και στον Θεμιστοκλή Αστέρη που πίστεψε σε εμένα, με ενθάρρυνε σε κάθε στάδιο των σπουδών μου και συνέβαλε με τα σχόλια, την κριτική και τις γνώσεις του στην αντιμετώπιση των δυσκολιών.

Καπουλέα Παναγιώτα

Αθήνα, 2015

Εφαρμογή της Θεωρίας των Παιγνίων στον Προσδιορισμό της Επικινδυνότητας  
κατά το φαινόμενο της προσπέρασης

Καπουλέα Παναγιώτα

Επιβλέπων: Βλαχογιάννη Ελένη, Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

## Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας οδήγησης των δικυκλιστών κατά το φαινόμενο της προσπέρασης. Με τη χρήση δομικών μοντέλων εξισώσεων εξήχθησαν οι τιμές της επικινδυνότητας των δύο οδηγών κατά την προσπέραση, τόσο του δικυκλιστή όσο και του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος και στη συνέχεια, με βάση τη θεωρία Παιγνίων, προτυποποιήθηκε η διαδικασία λήψης αποφάσεων κατά την προσπέραση. Έγινε η υπόθεση ότι οι δύο οδηγοί είναι ορθολογικοί όταν παίρνουν τις αποφάσεις, οι οποίες καθορίζουν τη στρατηγική που θα ακολουθήσουν, και προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν τις απολαβές τους. Αυτές οι στρατηγικές μπορεί να είναι συνεργάσιμες ή όχι βάσει των αποστάσεων και των κενών ασφαλείας που διαμορφώνονται από το προπορευόμενο όχημα. Για κάθε παίγνιο που δημιουργήθηκε εξήχθησαν αποτελέσματα τα οποία βασίστηκαν σε Κυρίαρχες Στρατηγικές και στην Ισορροπία κατά Nash.

Application of Game Theory to identify driving risk during overtaking

by

Kapoulea Panagiota

**Supervisor:** Vlahogianni Eleni, Assistant Professor

## Abstract

In this research, the goal is to identify the risk in overtaking. The driving risk of PTW driver and the driver of the vehicle being overtaken, is estimated using Structural Equation models. Using the principles of Game Theory the decision making during overtaking is modeled. It is assumed that both drivers are rational decision-makers that develop strategies, while commuting in urban environment, trying to maximize their payoff depending on their decisions. These strategies may be cooperative or not based on both drivers' choices with respect to the distances and safety gaps they leave from the lead vehicle. For each game results based on Dominated Strategies and Nash Equilibrium are presented and discussed.

## Περίληψη

Στην παρούσα έρευνα, γίνεται προσδιορισμός της επικινδυνότητας κατά την προσπέραση ενός οχήματος από έναν δικυκλιστή, τόσο του δικυκλιστή όσο και του οδηγού του αυτοκινήτου που προσπερνάται. Παρότι, η επικινδυνότητα δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, μπορεί να προσδιοριστεί με χρήση κατάλληλων στατιστικών προτύπων.

Συγκεκριμένα, η παρακάτω έρευνα στηρίχθηκε σε πραγματικές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε μια αστική αρτηρία 4 λωρίδων κυκλοφορίας (2 ανά κατεύθυνση) στο κέντρο της Αθήνας.

Η τελική βάση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στατιστικών μοντέλων, περιελάμβανε 526 επιτυχής περιπτώσεις προσπεράσεων του μοτοσικλετιστή και 324 μη επιτυχημένες. Επιπλέον, περιείχε μεταβλητές που παρατηρήθηκαν-μετρήθηκαν κατά την επεξεργασία των βίντεο.

Στην προσπάθεια προσδιορισμού της επικινδυνότητας των δύο οδηγών κατά την προσπέραση, αναπτύχθηκαν τέσσερα μοντέλα δομικών εξισώσεων, τρία (3) για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή και ένα (1) για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος. Στα μοντέλα αυτά γίνεται η θεώρηση ότι η επικινδυνότητα δεν είναι μετρήσιμη μεταβλητή, αλλά λανθάνουσα, αλλά μπορεί να προσδιοριστεί από δείκτες συμπεριφοράς.

Το πρώτο δομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, περιγράφει την επικινδυνότητα του δικυκλιστή η οποία αντιπροσωπεύεται από τρεις δείκτες: την ταχύτητα του δικύκλου ( $V_m$ ), τη γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικείμενου δικύκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλεπιδρά ( $Distance_{XY}$ ) και τη διαγώνιο απόσταση του δικύκλου με το πίσω όχημα ( $bd$ ). Οι δείκτες αυτοί επηρεάζονται έμμεσα από κάποιους προγνωστικούς παράγοντες, τις παρατηρήσιμες μεταβλητές που προέκυψαν από τη βάση δεδομένων, οι οποίοι επιδρούν άμεσα στη μη μετρήσιμη λανθάνουσα μεταβλητή "RISK", η οποία εκφράζει την επικινδυνότητα του οδηγού του δικύκλου, και αυτή με τη σειρά της επιδρά στους δείκτες. Για το συγκεκριμένο μοντέλο, βρέθηκε ότι η μεταβλητή που δείχνει αν ο δικυκλιστής φοράει ή όχι κράνος (helmet) έχει θετική επιρροή στους δείκτες ενώ η μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη λωρίδα που βρίσκεται το δίκυκλο επηρεάζει αρνητικά.



Το δεύτερο δομικό μοντέλο περιγράφει την επικινδυνότητα του δικυκλιστή κατά την προσπέραση. Η επικινδυνότητα, η οποία αποτελεί μία μη παρατηρήσιμη λανθάνουσα μεταβλητή, τη "RISK", εκφράζεται μέσα από τους δείκτες  $Vm$  (η ταχύτητα του δικύκλου),  $DistanceXY$  (η γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δικύκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλεπιδρά) και  $bd$  (η διαγώνιος απόσταση του δικύκλου με το πίσω όχημα). Από τα αποτελέσματα του παρόντος μοντέλου προκύπτει ότι η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη θετική επιρροή είναι αυτή που αντιπροσωπεύει την πλευρά που έγινε η προσπέραση ( $Over\_RL$ ). Αντίθετα, τη μεγαλύτερη αρνητική επιρροή την έχει η μεταβλητή που δείχνει αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι ( $Lane\_Same$ ).

Το τρίτο δομικό μοντέλο περιγράφει την επικινδυνότητα του δικυκλιστή η οποία αντιπροσωπεύεται από τρεις δείκτες: τη διαφορά ταχυτήτων του μοτοσικλετιστή με το προπορευόμενο όχημα ( $Diff$ ), τη γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δικύκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλεπιδρά ( $DistanceXY$ ) και τη διαγώνιο απόσταση του δικύκλου με το πίσω όχημα ( $bd$ ). Παρατηρούμε από τα αποτελέσματα οι μεταβλητές που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την επικινδυνότητα είναι η λωρίδα που βρίσκεται το όχημα ( $lane$ ) και το αν ο οδηγός φοράει ή όχι κράνος ( $helmet$ ).

Το τέταρτο δομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε περιγράφει την επικινδυνότητα του οδηγού του οχήματος που προσπερνάται η οποία αντιπροσωπεύεται από τρεις δείκτες: την απόσταση μεταξύ των οχημάτων 2 και 3 ( $d1new$ ), το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα ( $Opening$ ) και τη διαφορά ταχυτήτων του μοτοσικλετιστή με το προπορευόμενο όχημα ( $Diff$ ). Οι μεταβλητές που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την επικινδυνότητα είναι η μεταβλητή  $Lane\_Same$  (αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι) η οποία επηρεάζει αρνητικά το μοντέλο και η μεταβλητή  $Over\_RL$  (αν η προσπέραση έγινε από δεξιά ή από αριστερά) η οποία επηρεάζει θετικά.

Μέσα από τις δομικές εξισώσεις υπολογίστηκε η αριθμητική τιμή της λανθάνουσας μεταβλητής και μετά από κανονικοποίηση των τιμών προέκυψε η τελική διαμόρφωση της συνάρτησης απολαβής ( $payoff\ function$ ).

Στην παρούσα έρευνα, τιθενται ως κατώτατα όρια για τη μετατόπιση από μη συνεργάσιμη σε συνεργάσιμη συμπεριφορά (στρατηγική) η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα να είναι μικρότερη από 5m και το διαμορφούμενο άνοιγμα από το όχημα μπροστά από το προπορευόμενο να είναι 12m.

Θεωρήθηκε ότι όταν γίνει υπέρβαση αυτού του κενού ασφαλείας, ο οδηγός του δικύκλου ακολουθεί επιθετική συμπεριφορά. Τα προτεινόμενα παίγνια που δημιουργήθηκαν, αποτελούνται από δύο παίκτες: Παίκτης 1 είναι ο οδηγός του δικύκλου και Παίκτης 2 ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος. Και οι δύο παίκτες έχουν την επιλογή να είναι ή συνεργάσιμοι ή μη συνεργάσιμοι.

Η επίλυση των παιγνίων με την τεχνική της Επαναλαμβανόμενης Εξάλειψης των Κυριαρχούμενων Στρατηγικών (Iterated Elimination of Dominated Strategies –IED) έδειξε ότι στο πρώτο και στο τρίτο παίγνιο, η περίπτωση όπου και οι δύο παίκτες είναι συνεργάσιμοι ακολουθεί την ισορροπία κατά Nash. Ωστόσο, στο δεύτερο παίγνιο, η περίπτωση όπου ο οδηγός του δικύκλου είναι μη συνεργάσιμος και ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος είναι, ακολουθεί την ισορροπία κατά Nash. Οι περιπτώσεις αυτές είναι που βελτιστοποιούν τις απολαβές κάθε παίκτη.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Σύνοψη .....	ii
Abstract.....	iii
Περίληψη.....	iv
Ευρετήριο Εικόνων.....	ix
Ευρετήριο Σχημάτων.....	ix
Ευρετήριο Πινάκων .....	x
Ευρετήριο Διαγραμμάτων .....	xi
1. Εισαγωγή .....	1
1.1 Αστικά Οδικά Δίκτυα και Δίκυκλα .....	1
1.2 Τοποθέτηση μοτοσικλετών στο δρόμο .....	5
1.3 Τρόποι προσπέρασης δικύκλων .....	6
1.4 Αιτίες προσπέρασης των μοτοσικλετιστών .....	8
1.5 Θεωρία Παιγνίων.....	9
1.5.1 Βασικές Έννοιες.....	10
1.5.2 Χαρακτηρισμός ενός παιγνίου .....	10
1.6 Σκοπός Διπλωματικής.....	13
1.7 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας.....	13
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	15
2.1 Ο ελιγμός της προσπέρασης και η επιρροή στην κυκλοφορία.....	15
2.2 Η Θεωρία των Παιγνίων στις Μεταφορές.....	16
2.3 Συμπεράσματα .....	18
3. Μεθοδολογική Προσέγγιση .....	19
3.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης .....	19
3.2 Εξαγωγή Δεδομένων από Βίντεο .....	21
3.3 Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων .....	24
3.4 Αξιολόγηση των μοντέλων δομικών εξισώσεων (SEM) .....	27
3.5 Απλοποιημένη εισαγωγή στη Θεωρία Παιγνίων .....	31
3.6 Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην Προσπέραση .....	32
4. Στατιστική Ανάλυση .....	36
4.1 Εκτίμηση και ανάλυση αποτελεσμάτων δομικών μοντέλων SEM.....	36

4.2 Μοντέλα επιρροής της επικινδυνότητας του δικυκλιστή κατά την προσπέραση.....	38
4.2.1 Πρώτο Δομικό Μοντέλο για τον Δικυκλιστή .....	38
4.2.2 Δεύτερο Δομικό Μοντέλο για τον Δικυκλιστή .....	43
4.2.3 Τρίτο Δομικό Μοντέλο για τον Δικυκλιστή .....	46
4.3 Μοντέλο επιρροής της επικινδυνότητας του προπορευόμενου οχήματος στην προσπέραση.....	49
4.3.1 Δομικό Μοντέλο για το Όχημα 1 .....	49
4.4 Ανάλυση Επικινδυνότητας .....	52
4.4.1 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο 1 του Δικυκλιστή ..	52
4.4.2 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο 2 του Δικυκλιστή ..	54
4.4.3 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο 3 του Δικυκλιστή ..	55
4.4.4 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο του Προπορευόμενου Οχήματος.....	57
4.5 Εξαγωγή του πίνακα απολαβής των δύο Παικτών .....	58
4.5.1 Πρώτο Παίγνιο .....	59
4.5.2 Δεύτερο Παίγνιο .....	60
4.5.3 Τρίτο Παίγνιο .....	61
5. Συμπεράσματα και Προτάσεις .....	63
5.1 Εισαγωγή.....	63
5.2 Μεθοδολογία και Συμπεράσματα Στατιστικής Ανάλυσης .....	63
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	65
Βιβλιογραφία.....	67

## Ευρετήριο Εικόνων

<b>Εικόνα 1:</b> Σωστή/Λάθος θέση οχήματος στο δρόμο [7] .....	5
<b>Εικόνα 2:</b> Σωστή θέση δικυκλιστών στο δρόμο [9] .....	6
<b>Εικόνα 3:</b> Σωστός/Λάθος τρόπος προσπέρασης [8] .....	7
<b>Εικόνα 4:</b> Σωστός/Λάθος τρόπος προσπέρασης δικυκλιστών [9] .....	8
<b>Εικόνα 5:</b> Το δίλημμα του φυλακισμένου [15] .....	12
<b>Εικόνα 6:</b> Πεζογέφυρα Calatrava [45] .....	20
<b>Εικόνα 7:</b> Πεζογέφυρα Calatrava [46] .....	20
<b>Εικόνα 8:</b> Χάρτης από την ευρύτερη περιοχή του σταθμού Μετρό Κατεχάκη [43] .....	21

## Ευρετήριο Σχημάτων

<b>Σχήμα 1:</b> Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα [2].....	24
<b>Σχήμα 2:</b> Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών [2] .....	36

## Ευρετήριο Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Δείκτες στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of fit Statistics) .....	30
<b>Πίνακας 2:</b> Ποσοστά επιλογής Στρατηγικής.....	34
<b>Πίνακας 3:</b> Προσπάθειες προσπέρασης με βάση τη Στρατηγική .....	35
<b>Πίνακας 4:</b> Κριτήρια αποδοχής μοντέλου .....	37
<b>Πίνακας 5:</b> Δείκτες καλής προσαρμογής πρώτου δομικού μοντέλου.....	39
<b>Πίνακας 6:</b> Αποτελέσματα ανάλυσης πρώτου δομικού μοντέλου .....	41
<b>Πίνακας 7:</b> Δείκτες καλής προσαρμογής δεύτερου δομικού μοντέλου .....	44
<b>Πίνακας 8:</b> Αποτελέσματα ανάλυσης δεύτερου δομικού μοντέλου .....	45
<b>Πίνακας 9:</b> Δείκτες καλής προσαρμογής τρίτου δομικού μοντέλου .....	47
<b>Πίνακας 10:</b> Αποτελέσματα ανάλυσης τρίτου δομικού μοντέλου .....	48
<b>Πίνακας 11:</b> Δείκτες καλής προσαρμογής δομικού μοντέλου οχήματος 1 ....	50
<b>Πίνακας 12:</b> Αποτελέσματα ανάλυσης δομικού μοντέλου οχήματος 1 .....	51
<b>Πίνακας 13:</b> Περιγραφική στατιστική πρώτου δομικού μοντέλου .....	52
<b>Πίνακας 14:</b> Περιγραφική στατιστική δεύτερου δομικού μοντέλου .....	54
<b>Πίνακας 15:</b> Περιγραφική στατιστική τρίτου δομικού μοντέλου .....	55
<b>Πίνακας 16:</b> Περιγραφική στατιστική δομικού μοντέλου για το όχημα .....	57
<b>Πίνακας 13:</b> Απολαβές πρώτου παιγνίου .....	59
<b>Πίνακας 14:</b> Τελικές απολαβές παιγνίου .....	59
<b>Πίνακας 15:</b> Απολαβές δεύτερου παιγνίου .....	60
<b>Πίνακας 16:</b> Τελικές απολαβές παιγνίου .....	60
<b>Πίνακας 17:</b> Απολαβές τρίτου παιγνίου.....	61
<b>Πίνακας 18:</b> Τελικές απολαβές παιγνίου .....	62

## Ευρετήριο Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 1:</b> Αριθμός Μοτοσυκλετών έναντι Αριθμό Αυτοκινήτων ανά χώρα. Το μέγεθος της πύλας δείχνει τον πληθυσμό [4] .....	2
<b>Διάγραμμα 2:</b> Εκατομμύρια αυτοκινήτων (γαλάζιο) και μοτοσυκλετών (σκούρο μπλε) στις πρώτες 20 χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Πληθυσμός με κόκκινο. [4] .....	3
<b>Διάγραμμα 3:</b> Αριθμός κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα [1] .....	4
<b>Διάγραμμα 4:</b> Σχηματική απεικόνιση μοντέλου SEM MIMIC Model .....	26
<b>Διάγραμμα 5:</b> Διάγραμμα Ροής Πρώτου Δομικού Μοντέλο Δικυκλιστή .....	38
<b>Διάγραμμα 6:</b> Διάγραμμα Ροής Δεύτερου Δομικού Μοντέλο Δικυκλιστή .....	43
<b>Διάγραμμα 7:</b> Διάγραμμα Ροής Τρίτου Δομικού Μοντέλου Δικυκλιστή .....	46
<b>Διάγραμμα 8:</b> Διάγραμμα Ροής Δομικού Μοντέλου για το Όχημα 1 .....	49
<b>Διάγραμμα 9:</b> Διάγραμμα Q-Q.....	53
<b>Διάγραμμα 10:</b> Επιρροή επικινδυνότητας δυκυκλιστή και οδηγού προπορευόμενου οχήματος .....	53
<b>Διάγραμμα 11:</b> Κατανομή επικινδυνότητας δεύτερου .....	54
<b>Διάγραμμα 12:</b> Επιρροή επικινδυνότητας δυκυκλιστή και οδηγού προπορευόμενου οχήματος .....	55
<b>Διάγραμμα 13:</b> Κατανομή επικινδυνότητας τρίτου .....	56
<b>Διάγραμμα 14:</b> Επιρροή επικινδυνότητας δυκυκλιστή και οδηγού προπορευόμενου οχήματος .....	56
<b>Διάγραμμα 15:</b> Κατανομή επικινδυνότητας δόμικου μοντέλου .....	57
<b>Διάγραμμα 16:</b> Σύγκριση κατανομών όλων των επικινδυνοτήτων.....	58





## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Αστικά Οδικά Δίκτυα και Δίκυκλα

Τα δίκυκλα οχήματα, μοτοσυκλέτες και μοτοποδήλατα, αναμφισβήτητα ως μέσα μετακίνησης παρέχουν αρκετά πλεονεκτήματα στους κατόχους. Μερικά από αυτά είναι η άνετη μετακίνηση του μοτοσικλετιστή, 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. Ο οδηγός μπορεί εύκολα να ελιχθεί ανάμεσα στα οχήματα μειώνοντας το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει στον προορισμό του.

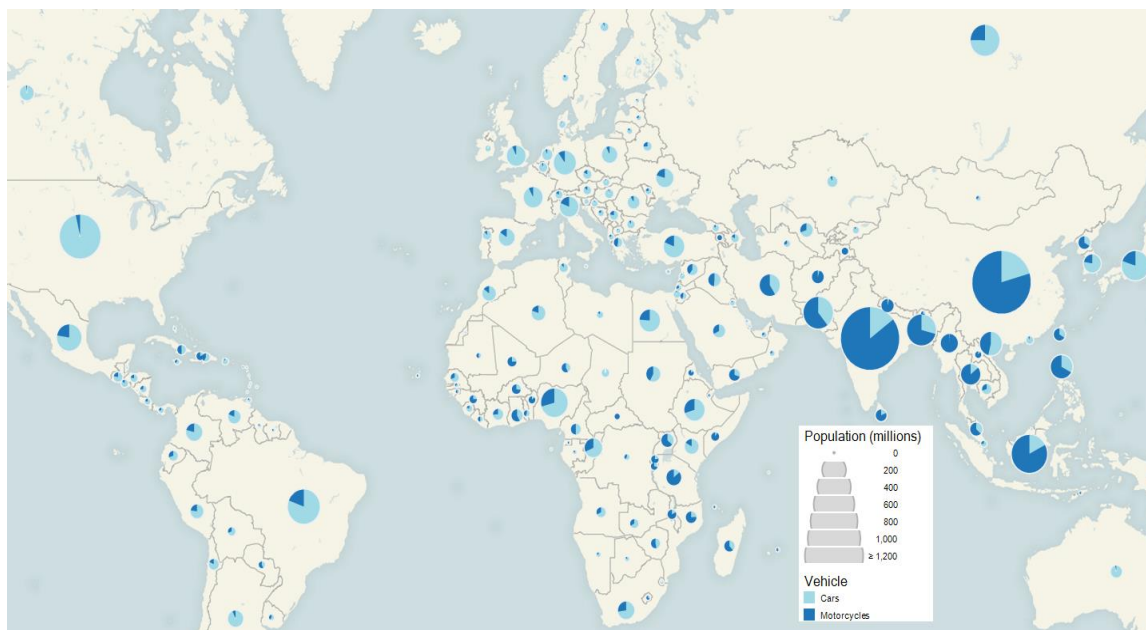
Οι σύγχρονοι κινητήρες προσδίδουν μεγάλη ισχύ και καλή αναλογία κιλών ανά ίππο με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κίνησης με μεγαλύτερη ταχύτητα και δικαιολογημένα να χαρακτηρίζεται ως ένα γρήγορο και ευέλικτο μέσο μεταφοράς.

Τα δίκυκλα, ως γνωστόν, αποτελούν ένα οικονομικό μέσο μεταφοράς λόγω του μειωμένου κόστους αγοράς, χρήσης και συντήρησης αφού τα τέλη κυκλοφορίας, τα ασφάλιστρα και η κατανάλωση ανά χιλιόμετρο είναι χαμηλότερα σε σχέση με το αυτοκίνητο, καθιστώντας τις μοτοσυκλέτες πιο προσιτές.

Επίσης, η στάθμευση των μοτοσικλετών είναι πιο εύκολη ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές καθιστώντας τις πιο ελκυστικές για τους κατοίκους πυκνοκατοικημένων περιοχών. Οι οδηγοί των δίκύκλων έχουν την ευκαιρία να απολαύσουν ευχάριστες διαδρομές, κυρίως τους θερινούς μήνες.

Όσο εύκολη και ευχάριστη όμως γίνεται η διαδρομή μας με το δίκυκλο τόσο δύσκολη και δυσάρεστη γίνεται η θέση του αναβάτη όταν για κάποιο λόγο, χάσει την ισορροπία του και βρεθεί πεσμένος στο οδόστρωμα. Οι οδηγοί, καθώς και οι συνεπιβάτες, των δίκύκλων βρίσκονται συνεχώς εκτεθειμένοι σε κίνδυνο αφού υπάρχει περίπτωση ανατροπής ή σύγκρουσης. Επίσης, το μικρό μέγεθος της μοτοσυκλέτας την κάνει να μην είναι τόσο διακριτή καθώς κινείται, με αποτέλεσμα την αυξημένη πιθανότητα ατυχήματος. Η προστασία του αναβάτη δεν μπορεί να διαφυλαχθεί από αυτό καθ' εαυτό το όχημα, όσο τέλεια οδική συμπεριφορά και αν διαθέτει. Απομένει η εμπειρία του οδηγού, η ολοκληρωμένη και μεγάλης διάρκειας εκπαίδευσή του και η σωστή οδική συμπεριφορά και υπευθυνότητά του.

Τέλος, δεν υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς περισσότερων των δύο ατόμων το οποίο είναι εφικτό με τα άλλα οχήματα.

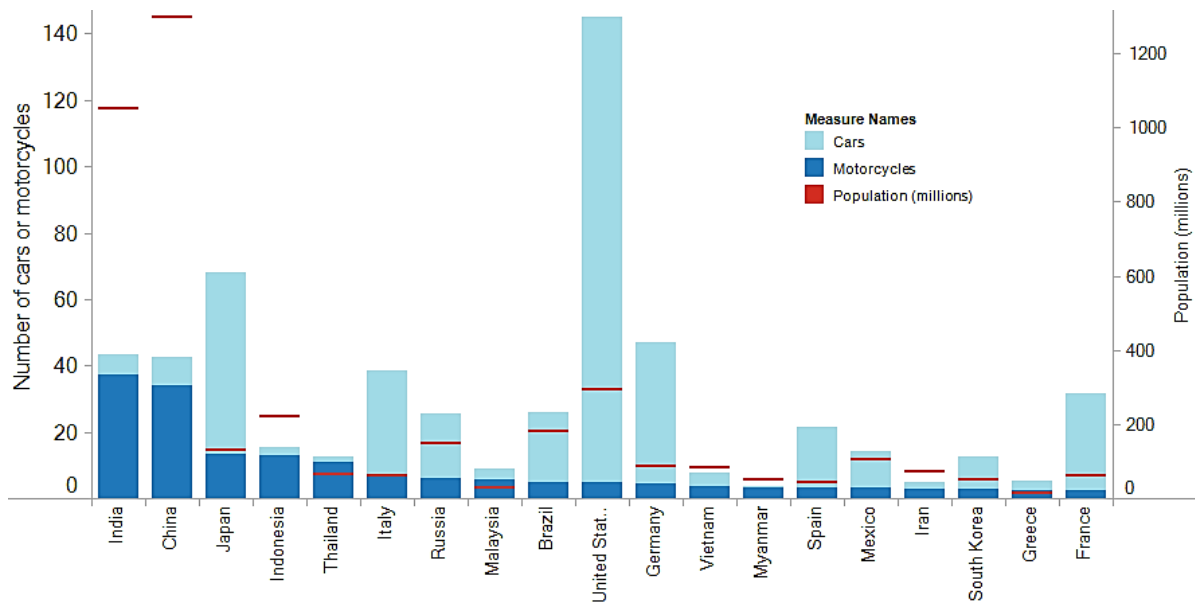


Διάγραμμα 1: Αριθμός Μοτοσυκλετών έναντι Αριθμό Αυτοκινήτων ανά χώρα. Το μέγεθος της πίτας δείχνει τον πληθυσμό [4]

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 αυτοκίνητα μακριά 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%.

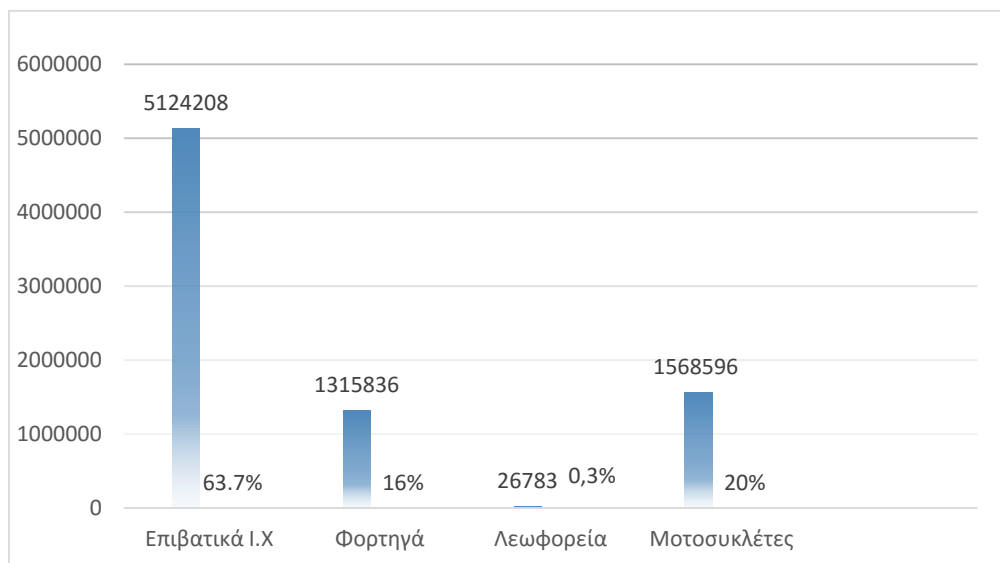
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση στη δημοτικότητα των μοτοσυκλετών και σε άλλες χώρες. Στις ΗΠΑ, οι εγγραφές αυξήθηκαν κατά 51% μεταξύ 2000 και 2005. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση των τιμών των καυσίμων και κυκλοφοριακής συμφόρησης στις πόλεις. Μια έρευνα καταναλωτών των ιδιοκτητών μοτοσυκλέτας 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 [5].



Διάγραμμα 2: Εκατομμύρια αυτοκινήτων (γαλάζιο) και μοτοσυκλετών (σκούρο μπλε) στις πρώτες 20 χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Πληθυσμός με κόκκινο. [4]

Από το Διάγραμμα 2, φαίνεται ότι η Ελλάδα συγκαταλέγεται ανάμεσα στις 20 πρώτες χώρες παγκοσμίως με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Αυτό είναι δικαιολογημένο αφού 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.

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 [1]

Η σχεδίαση και η οργάνωση οδών και πόλεων είχε πραγματοποιηθεί τον καιρό που τα οχήματα ήταν περιορισμένα σε αριθμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να παρατηρείται κυκλοφοριακή συμφόρηση στις περισσότερες αστικές οδικές αρτηρίες κυρίως σε ώρες αιχμής. Το παραπάνω φαινόμενο αναγκάζει πολλούς από τους μετακινούμενους να χρησιμοποιούν τις μοτοσυκλέτες για την καθημερινή τους μεταφορά, αφού λόγω της προαναφερθείσας ευελιξίας, τους δίνεται η δυνατότητα να ελίσσονται, να προσπερνάνε και να μην περιμένουν σε ουρές.

Πολλές φορές, για παράδειγμα, παρατηρείται το φαινόμενο σε έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση με μικρές ταχύτητες, μεγάλους φόρτους και μεγάλη πυκνότητα, τα οχήματα της οδού να ακολουθούν κατά κανόνα την κίνηση που σταματούν και ξεκινούν. Το μικρό όμως μέγεθος της μοτοσυκλέτας, επιτρέπει στους αναβάτες να προσπερνούν ανάμεσα από τα οχήματα και να βρίσκονται τελικά στην αρχή της ουράς. Βεβαίως, οι ταχύτητες που έχουν οι μοτοσυκλέτες κατά το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι μικρότερες απ' ότι στην ελεύθερη ροή, όμως αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες των υπόλοιπων οχημάτων. Οι αναβάτες μπορούν τελικά σε ικανοποιητικό βαθμό να διανύσουν την απόσταση που επιθυμούν σε εύλογο χρονικό διάστημα και πιο εύκολα υπολογίσιμο σε εν αντιθέσει με τους οδηγούς ΙΧ ή άλλων οχημάτων που είναι δυσκολότερο να προβλεφθεί. Η παραπάνω ευκολία που προσφέρει η χρήση της μοτοσυκλέτας σε συνδυασμό με τα οικονομικά κριτήρια που έχουν αναφερθεί πολλές φορές καθιστούν μονόδρομο στην επιλογή για το μέσο μεταφοράς πολλών Ελλήνων πολιτών.

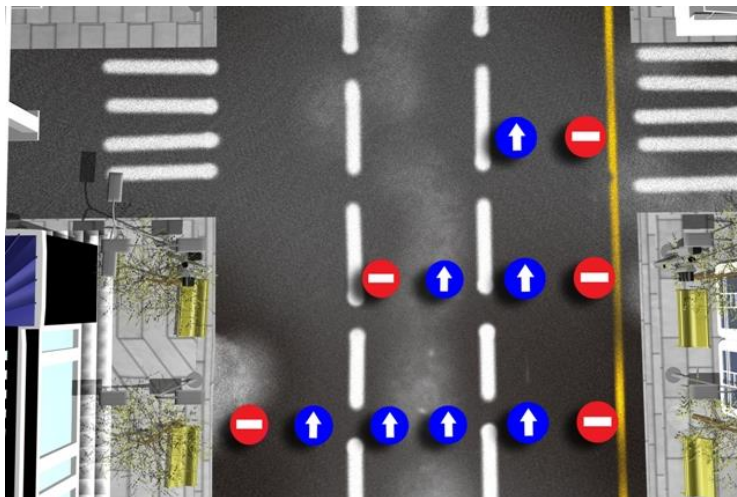
## 1.2 Τοποθέτηση μοτοσικλετών στο δρόμο

Η οδήγηση της μοτοσικλέτας συνδέεται με την ελευθερία, την ευελιξία και την άνεση, είτε κυκλοφορεί κανείς μέσα στην πόλη, είτε διανύει μεγαλύτερες αποστάσεις. Επιπλέον, σε αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές όπως η Αθήνα σήμερα, η μοτοσικλέτα συνιστά ανάγκη.

Τα σοκάκια και οι δρόμοι με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση είναι η πιο συνηθισμένη συνθήκη στον αστικό ιστό. Εγκυμονούν τους δικούς τους κινδύνους για τους μοτοσικλετιστές, όμως εκεί τουλάχιστον οι ταχύτητες είναι χαμηλές. Μεγαλύτερος κίνδυνος υπάρχει στους μεγάλους κεντρικούς άξονες και στους αυτοκινητόδρομους.

Στον αυτοκινητόδρομο, τα πράγματα είναι λίγο διαφορετικά απ' ό,τι στην πόλη. Οι ταχύτητες των οχημάτων είναι υψηλότερες και το ρίσκο φαινομενικά μεγαλύτερο. Ωστόσο, η κίνηση σε κλειστούς αυτοκινητόδρομους προσφέρει τις προϋποθέσεις για ασφαλέστερη μετακίνηση. Δεν υπάρχουν περιθώρια να γίνουν λάθη από τους οδηγούς και διασταυρώσεις δεν υφίστανται.

Τη θέση των οχημάτων την ορίζει η ταχύτητά τους. Σε κενό δρόμο, τα οχήματα κινούνται στην δεξιά λωρίδα, αποφεύγοντας όμως τα άκρα του δρόμου, εκεί που συσσωρεύονται χώματα, απορρίμματα και όπου (συνήθως) βρίσκονται τα φρεάτια απορροής των όμβριων. Αν οι οδηγοί κινούνται σε άλλη λωρίδα από την δεξιά, φροντίζουν να παραμένουν στο δεξί της μέρος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Σωστή/Λάθος θέση οχήματος στο δρόμο [7]

Η θέση που έχουν οι δικυκλιστές στο δρόμο εξαρτάται από το πόσο ασφαλές είναι το περιβάλλον εμπρός τους ή αν υπάρχει ενδεχόμενος κίνδυνος.

Στην περίπτωση τώρα που υπάρχουν κι άλλα οχήματα, αν ο οδηγός ακολουθεί το ρεύμα χωρίς να προσπερνάει, διαλέγει ένα αυτοκίνητο που κινείται στη μεσαία λωρίδα και ακολουθεί το ίχνος των αριστερών του τροχών, σε

απόσταση που κρίνει ασφαλή [8]. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2, οι οδηγοί δίκυκλων πρέπει να κινούνται πάνω στα ίχνη των αυτοκινήτων που κινούνται εμπρός τους κι όχι ανάμεσά τους. Αν βρίσκονται μόνοι τους στη λωρίδα, οφείλουν να κινούνται στο κέντρο της.



Εικόνα 2: Σωστή θέση δικυκλιστών στο δρόμο [9]

Οι βασικές αρχές για τη θέση των δικυκλιστών στο δρόμο είναι πάντα να είναι τέτοια ώστε να τους εξασφαλίζει:

- Ότι έχουν χώρο να φρενάρουν αν σταματήσει απότομα το όχημα εμπρός τους.
- Ότι θα έχουν διάδρομο διαφυγής σε κάθε έκτακτη περίπτωση.
- Τη δυνατότητα να παίρνουν πληροφορίες για το δρόμο.

Σε κάθε περίπτωση, δεν πρέπει να περιμένουν να τους έχει αντιληφθεί κανένας άλλος οδηγός και δεν επιδιώκουν να τους ανοίξουν δρόμο να περάσουν (π.χ. κορνάροντας) γιατί αν το όχημα παραμερίσει, είναι πιθανό να κλείσει το διάδρομο σε κάποια άλλη μοτοσικλέτα που κινείται παράλληλα .

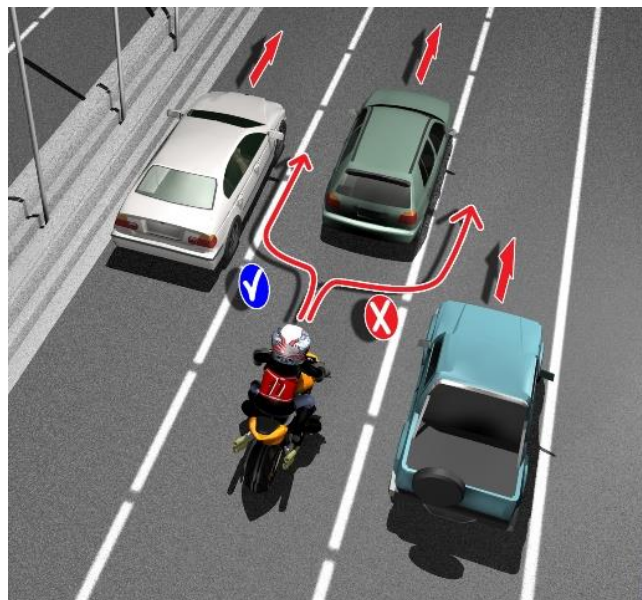
### 1.3 Τρόποι προσπέρασης δίκυκλων

Προσπέραση είναι η πράξη ενός οχήματος να περνά κινούμενα οχήματα, που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση συνήθως με μικρότερη ταχύτητα, σε ένα δρόμο με κατάλληλο ελιγμό. Η λωρίδα που χρησιμοποιείται για την προσπέραση

άλλου οχήματος βρίσκεται σχεδόν πάντα στην αριστερή πλευρά στις χώρες που οδηγούν δεξιά και δεξιά στις χώρες που οδηγούν αριστερά. [10]

Αν ο οδηγός ενός δίκυκλου έχει πρόθεση να προσπεράσει, πρέπει να γνωρίζει τα παρακάτω:

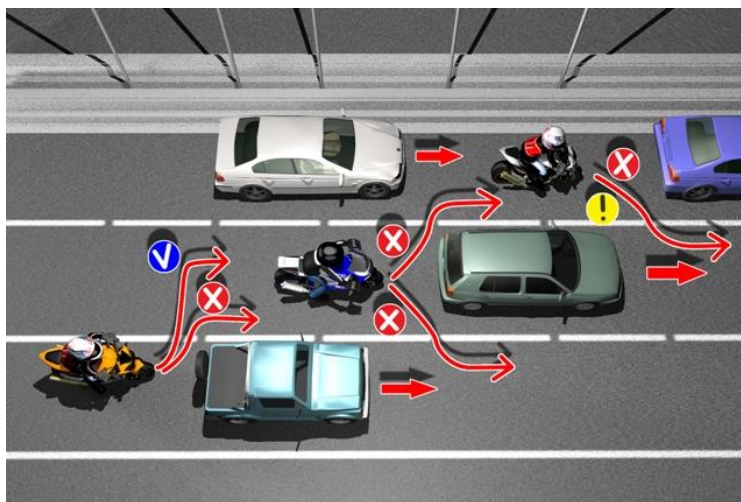
- Πρέπει να διατηρεί πλάγια απόσταση από το όχημα που προσπερνάει, ίση με το πλάτος μιας λωρίδας. Δεν περνάει δηλαδή σε μικρή απόσταση από το όχημα, ειδικά αν η λωρίδα μας είναι ελεύθερη γιατί υπάρχει κίνδυνος να αλλάξει πορεία το αυτοκίνητο και να του κλείσει τον δρόμο.
- Ο δικυκλιστής για να πραγματοποιήσει προσπέραση ανάμεσα από δύο οχήματα πρέπει να εξασφαλίσει ότι αυτά τα δύο οχήματα κινούνται απολύτως παράλληλα μεταξύ τους και έχουν την ίδια ταχύτητα.
- Λόγω όγκου οι οδηγοί τους έχουν αντιληφθεί την ύπαρξη ο ένας του άλλου και λόγω ταχύτητας φροντίζουν να διατηρούν απόσταση ασφαλείας μεταξύ τους. Ωστόσο, δεν εξασφαλίζεται στον δικυκλιστή ότι ο διάδρομος αυτός δεν θα κλείσει σε καμία από τις προσπάθειές του για προσπέραση. Ποτέ δεν πρέπει να περνάει ανάμεσα από δύο κινούμενα οχήματα από τα οποία το ένα προπορεύεται, γιατί υπάρχει η πιθανότητα το προπορευόμενο όχημα να αλλάξει λωρίδα χωρίς να τον έχει δει.
- Αν δεν εξασφαλίσει πλευρική απόσταση ασφαλείας από το αυτοκίνητο που προσπερνάει (π.χ. μεταξύ αυτοκινήτου στην αριστερή λωρίδα και στηθαίου), δεν πρέπει να περάσει.



Εικόνα 3: Σωστός/Λάθος τρόπος προσπέρασης [8]

Αυτό που πρέπει να αποφεύγεται και το απαγορεύει ο Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ) είναι η παράλληλη κίνηση μοτοσυκλετών, η μία δίπλα στην

άλλη στην ίδια λωρίδα. Η κίνηση σε στίχους είναι πάντα προτιμότερη, ενώ σε κάθε περίπτωση πρέπει να κοιτάει τον δρόμο εμπρός του και όχι τη μοτοσυκλέτα που προηγείται [9].



Εικόνα 4: Σωστός/Λάθος τρόπος προσπέρασης δικυκλιστών [9]

#### 1.4 Αιτίες προσπέρασης των μοτοσικλετιστών

Στην έρευνά τους οι Minh et al. [11], κάνουν μια καταγραφή των αιτιών για τις οποίες οι μοτοσυκλέτες κάνουν μανούβρες/ελιγμούς. Αυτές οι αιτίες είναι:

- Επιθυμία να βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση όταν έχει κίνηση. Όταν για παράδειγμα υπάρχει σηματοδοτούμενος κόμβος, οι μοτοσικλετιστές 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 πλατιού 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. [11], είναι η επιθυμία των μοτοσικλετιστών να κινηθούν γρηγορότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα που κινούνται στην οδό. Αυτό συμβαίνει σε χώρες όπου κατ' εξοχήν υπάρχει συμφόρηση, χαρακτηριστικό παράδειγμα των οποίων είναι η Ελλάδα, όπου είναι συνήθης η ύπαρξη οδών με λίγες λωρίδες κυκλοφορίας και η κυκλοφοριακή συμφόρηση. 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 οδική συμπεριφορά των αναβατών αλλά και τα χαρακτηριστικά κίνησης των οχημάτων.

## 1.5 Θεωρία Παιγνίων

Η θεωρία παιγνίων (game theory) ξεκίνησε ως κλάδος των οικονομικών με το βιβλίο των John von Neumann και Oskar Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behaviour* πάνω σε παίγνια μηδενικού αθροίσματος (zero-sum games). Το κύριο αντικείμενό της είναι η ανάλυση των αποφάσεων σε καταστάσεις στρατηγικής αλληλεξάρτησης.

Η θεωρία παιγνίων είναι ουσιαστικά η μαθηματική μελέτη διαμόρφωσης μιας πετυχημένης στρατηγικής σε ένα παίγνιο όπου κάθε παίκτης δεν γνωρίζει τις επιλογές των υπόλοιπων ανταγωνιστών του, αλλά επηρεάζεται από αυτές – στη θέση του παίκτη, μπορεί να είναι ένα άτομο, ένα κράτος, ή μια ομάδα ανθρώπων κοινών συμφερόντων [12].

Η βάση της θεωρίας ξεκίνησε το 1928 από τον μαθηματικό Τζον Βον Νιούμαν, ο οποίος διατύπωσε το θεώρημα του «μηδενικού αθροίσματος». Σύμφωνα με αυτό, η ζημιά ενός παίκτη ισορροπείται και είναι ίση με το κέρδος ενός άλλου. Ο ουγκρικής καταγωγής μαθηματικός συνέχισε να μελετά τη θεωρία του σε συνεργασία με τον Όσκαρ Μόργκεστερν και το 1944 τη δημοσίευσε με τον επίσημο τίτλο «Θεωρία παιγνίων και οικονομικής συμπεριφοράς».

Τη δεκαετία του '50 ο μαθηματικός Τζον Νας ανέπτυξε τη μεθοδολογία του για τη θεωρία των παιγνίων. Σύμφωνα με τον Έλληνα ερευνητή Νίκο Λυγερό: «Ο Τζον Νας έδειξε ότι σε κάθε στατιστικό παίγνιο με ένα πεπερασμένο σύνολο στρατηγικών, υπάρχει τουλάχιστον μια κατάσταση ισορροπίας, που αντιστοιχεί σε επιλογές στρατηγικής, οι οποίες παρέχουν τη βέλτιστη ανταπόδοση και για τους δύο παίκτες. Κανένας παίκτης δεν μπορεί να πετύχει κάτι καλύτερο αλλάζοντας τη στρατηγική του, τη στιγμή που η στρατηγική του άλλου παραμένει αμετάβλητη.

Η «ισορροπία Νας» ορίζεται ως η σταθερή κατάσταση όπου, με απλά λόγια, κανένας παίκτης δεν κερδίζει το παραμικρό πλεονέκτημα αν αλλάξει τη δική του στρατηγική, υπό την προϋπόθεση πως οι υπόλοιποι παίκτες θα μείνουν σταθεροί στις επιλογές τους. Σύμφωνα με τον μαθηματικό, αυτή η κατάσταση ισορροπίας μπορεί να προβλεφθεί και να ποσοτικοποιηθεί.

Η εργασία του Νας δεν δείχνει ωστόσο το πως μπορεί κανείς να υπολογίσει μια τέτοια ισορροπία ούτε πόσες από αυτές υπάρχουν. Στη πραγματικότητα, ακόμη και απλά παίγνια έχουν μια πλειάδα ισορροπιών Νας και δεν υπάρχει τρόπος να ξεχωρίσει κάποια ιδιαίτερη. Μάλιστα, αν και οι δύο παίκτες αποφασίσουν να μεγιστοποιήσουν την ανταπόδοσή τους, υπάρχει περίπτωση να καταλήξουν στο χειρότερο δυνατό αποτέλεσμα και για τους δύο. Το πρόσθετο πρόβλημα είναι πως ακόμη και αν διαλέξουν μια στρατηγική που αντιστοιχεί σε μια

ισορροπία Νας, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι να απεμπολήσουν μια ευνοϊκότερη ανταπόδοση.

### 1.5.1 Βασικές Έννοιες

Παίγνιο (game): Η κατάσταση εκείνη κατά την οποία δύο ή περισσότεροι ορθολογικοί παίκτες με αντικρουόμενους στόχους επιλέγουν τρόπους ενέργειας, δημιουργώντας συνθήκες ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης

#### Στοιχεία παιγνίου:

- Παίκτης: αυτόνομη μονάδα λήψης απόφασης. Άτομο, ομάδα, επιχείρηση, κράτος κλπ. Προσπαθεί να βελτιστοποιήσει τη δική του ευημερία έναντι των αντιπάλων του βασιζόμενος στους κανόνες, στους πόρους και στις πληροφορίες που έχει στη διάθεσή του και είναι ορθολογιστής. Υπάρχουν τουλάχιστον  $n \geq 2$  παίκτες και ισχύει για  $n = 2$  Παίγνιο Δύο Παικτών.
- Στρατηγική: το σύνολο των κανόνων που ορίζουν τις εφικτές επιλογές τις οποίες δύναται να ακολουθεί σε κάθε κίνησή του ο παίκτης μέχρι το τέλος του παιγνίου. Αναζητούμε τις στρατηγικές που βελτιστοποιεί το στόχο του κάθε παίκτη.
  - ❖ Αμιγής Στρατηγική: Κάθε παίκτης επιλέγει μία μόνο από τις δυνατές στρατηγικές του με πιθανότητα ίση με τη μονάδα.
  - ❖ Μικτή Στρατηγική: Περιλαμβάνει συνδυασμό στρατηγικών οι οποίες επιλέγονται με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας.
- Πίνακας αποτελεσμάτων (απολαβών, ανταμοιβών): Δείχνει τα αποτελέσματα του παιγνίου για κάθε συνδυασμό στρατηγικών.
- Λύση του παιγνίου: Η βέλτιστη στρατηγική όλων των παικτών. [13]

### 1.5.2 Χαρακτηρισμός ενός παιγνίου

Γίνεται η υπόθεση αρχικά ότι υπάρχει μία κατάσταση, όπου ορισμένοι παίκτες παίρνουν αποφάσεις (ενέργειες), οι οποίες οδηγούν σε ορισμένα αποτελέσματα. Οι παίκτες αυτοί μπορεί να είναι δύο ή και περισσότεροι. Στην πρώτη περίπτωση εμφανίζονται τα "παίγνια δύο παικτών" (two-player-games), και στη δεύτερη περίπτωση τα "παίγνια n-παικτών" (n-player-games). Φυσικά ένα παίγνιο διαφέρει από μία πραγματική κατάσταση απλού ανταγωνισμού ή σύγκρουσης στο ότι η πραγμάτωσή του γίνεται ακριβώς κάτω από ορισμένες συνθήκες και σύμφωνα με ορισμένους κανόνες. Όλα τα παίγνια περιέχουν το χαρακτηριστικό του ανταγωνισμού μεταξύ των παικτών τους και το αποτέλεσμα του οδηγεί σε "κέρδη" ή "απώλειες".

Για να οριστεί τυπικά ένα παίγνιο, απαιτείται:

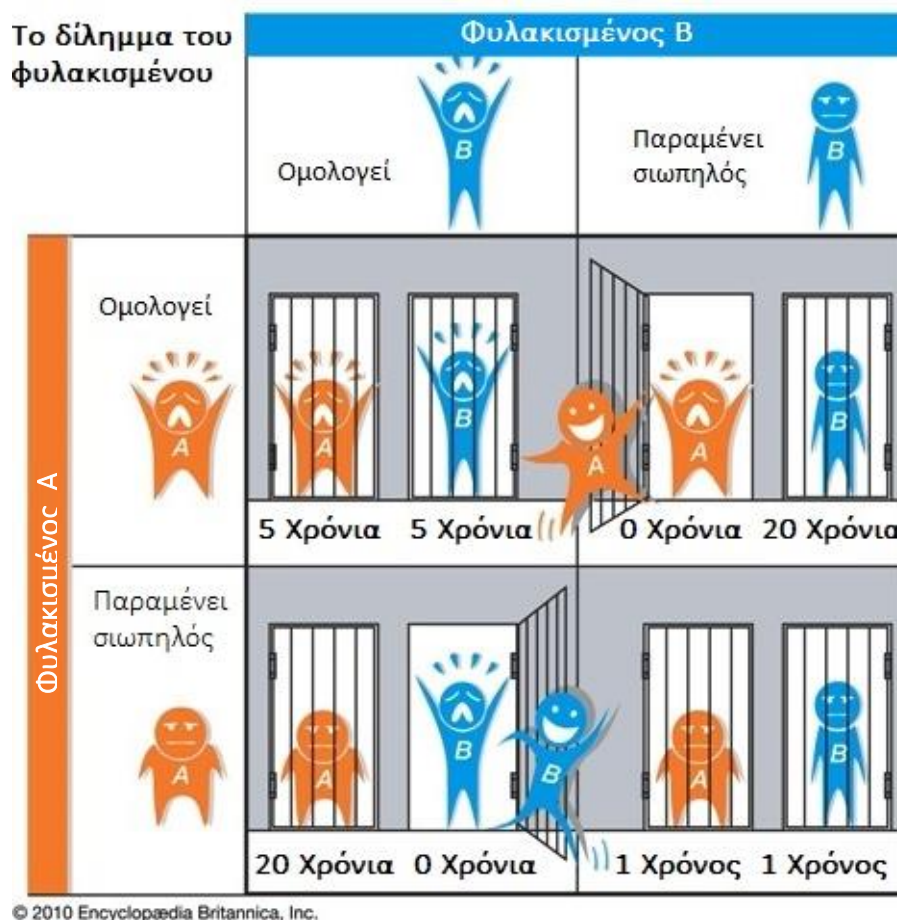
- Ένα μη-κενό και πεπερασμένο σύνολο παικτών.
- Για τον κάθε παίκτη, ένα μη κενό σύνολο ενεργειών.
- Για τον κάθε παίκτη, μια συνάρτηση ωφέλειας που απεικονίζει όλες τις δυνατές πλειάδες ενεργειών των παικτών σε πραγματικούς αριθμούς.
- Ένα παίγνιο στο οποίο όλα τα σύνολα ενεργειών των παικτών είναι πεπερασμένα, καλείται πεπερασμένο.

Οι δύο βασικότερες μορφές αναπαράστασης ενός παιγνίου είναι η στρατηγική (strategic) και η επεκτάμενη (extensive) μορφή του. Στα παίγνια στρατηγικής μορφής, οι συμμετέχοντες κάνουν την επιλογή τους μία μόνο φορά και ο κάθε παίκτης επιλέγει την ενέργειά του "ταυτόχρονα" με τους υπόλοιπους. Στα παίγνια επεκταμένης μορφής, οι συμμετέχοντες παίζουν ακολουθιακά. Ένα παίγνιο επεκταμένης μορφής αναπαρίσταται από ένα δέντρο παιγνίου (game tree). [15]

Ο πιο γνωστός τύπος παιγνίου είναι το «δίλημμα του φυλακισμένου». Η μαθηματικός Βικτώρια Πολύζου το εξηγεί σε άρθρο της: «Η ονομασία «δίλημμα του φυλακισμένου» έχει δοθεί σε ένα τύπο παιγνίου, μη μηδενικού αθροίσματος που επινόησαν, το 1950, ο M.Flood και M. Dresdher, εργαζόμενοι στην RAND Cor. και το οποίο ο A.Tucker απευθυνόμενος σε ψυχολόγους, το παρουσιάζει χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα με φυλακισμένους και ποινές για λόγους κατανόησης. Αυτό είναι ένα από τα πιο διάσημα προβλήματα της θεωρίας παιγνίων».

Πρόκειται για ένα απλό παράδειγμα που εφαρμόζεται σε πολλές καταστάσεις όπου οι δύο δυνάμεις έρχονται σε αντιπαράθεση και μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα στη σύγκρουση ή την συνεργασία πχ: σ' ένα πόλεμο τιμών, μια διαφημιστική εκστρατεία ή ακόμη τον ανταγωνισμό πολεμικών εξοπλισμών. Το δίλημμα έχει ως εξής: δύο άνθρωποι ο Α και ο Β είναι ύποπτοι για την τέλεση ενός εγκλήματος. Όμως η αστυνομία δεν έχει επαρκή στοιχεία για την ενοχή τους. Ο ανακριτής καλεί τον Α στο γραφείο του και του λέει τα εξής: Αν επιρρίψει την ευθύνη στον Β και ο Β δεν μιλήσει θα αφεθεί ελεύθερος, ενώ ο Β θα κάνει 10 χρόνια φυλακή. Αν όμως και ο Β επιρρίψει την ευθύνη στον Α και οι δύο θα φυλακιστούν για 5 χρόνια. Αν δεν μιλήσει και τον κατηγορήσει ο Β, οι όροι αντιστρέφονται. Ο Β θα αφεθεί ελεύθερος και ο Α θα μείνει στη φυλακή για 10 χρόνια. Αν όμως και οι δυο δεν ομολογήσουν θα φυλακιστούν μόνο για ένα χρόνο, λόγω έλλειψης στοιχείων. Την ίδια συζήτηση κάνει και με τον Β. Ο Α και ο Β δεν συναντιούνται και δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Ας έρθουμε λοιπόν στη θέση του Παίκτη Β. Η σκέψη του είναι: «Αν ο Α ομολογήσει ότι το έγκλημα έγινε από μένα με συμφέρι να ομολογήσω ότι το έκανε αυτός γιατί αν το κάνω θα φάω 5 χρόνια, ενώ αν δεν το κάνω θα φυλακιστώ για 20 χρόνια. Αν δεν έχει ομολογήσει αυτό πάλι με συμφέρι να ομολογήσω, γιατί θα αφεθώ ελεύθερος, ενώ αν δεν το κάνω θα φυλακιστώ για ένα χρόνο. Άρα ό,τι και να κάνει ο Α εμένα με συμφέρι να ομολογήσω ότι αυτός

έκανε το έγκλημα. Φωνάζει τον δεσμοφύλακα και του λέει ότι θα ομολογήσει και θα ρίξει την ευθύνη στον Α. Όμως και ο Α σκέφτεται με τον ίδιο τρόπο και ομολογεί ότι το έκανε ο Β. Συνεπώς και οι δύο ύποπτοι θα φυλακιστούν 5 χρόνια. Ήταν όμως λογική η επιλογή τους; Αν σκεφτούμε ότι και οι δύο σκέφτηκαν το συμφέρον τους, ναι. Και οι δύο έλπιζαν ότι ο άλλος δεν θα μιλούσε και θα αφήνονταν ελεύθεροι. Η επιλογή τους όμως δεν έφερε το καλύτερο αποτέλεσμα και για τους δύο, δηλαδή να μην ομολογήσει κανένας και να φυλακιστούν για ένα χρόνο μόνο.



Εικόνα 5: Το δίλημμα του φυλακισμένου [15]

Το Δίλημμα του Φυλακισμένου έγινε ευρέως γνωστό στους επιστημονικούς κύκλους και απασχόλησε επιστήμονες από πολλούς και διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους. Οι οικονομολόγοι είδαν στα πρόσωπα των δύο φυλακισμένων τον homo economicus, τον άνθρωπο που συμπεριφέρεται έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το κέρδος και να ελαχιστοποιήσει το κόστος. Οι φιλόσοφοι ασχολήθηκαν με τα ηθικά διλήμματα των παικτών. Το δίλημμα του φυλακισμένου έχει εφαρμογές στο δίκαιο, την ψυχολογία, ακόμα και τη βιολογία [15].

## 1.6 Σκοπός Διπλωματικής

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας (risk) κατά την προσπέραση των δικύκλων και η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων (Game Theory) στην προτυποποίηση του φαινομένου.

Η διερεύνηση του φαινομένου βασίζεται σε πραγματικές μετρήσεις προσπεράσεων μοτοσικλετιστών σε αστική αρτηρία στο κέντρο της Αθήνας. Για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των μοτοσικλετιστών κατά την προσπέραση, αναπτύσσονται πολυμεταβλητά στατιστικά πρότυπα με στόχο την ποσοτικοποίηση της επικινδυνότητας κατά την προσπέραση και την διερεύνηση των παραγόντων που την επηρεάζουν, όπως τα μικροσκοπικά μεγέθη (χωρικοί διαχωρισμοί, ταχύτητες) και παράγοντες που αναφέρονται στη λωρίδα στην οποία βρίσκεται το δίκυκλο, στη θέση του σε σχέση με τα άλλα οχήματα, στο είδος προσπέρασης που κάνει, στους τύπους των άλλων οχημάτων που τον περιβάλλουν, στην ύπαρξη φάλαγγας ή όχι και στο αν φοράει κράνος, στο αν μεταφέρει επιβάτη, στο αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα και τέλος στο αν η προσπέραση έγινε από αριστερά ή δεξιά.

Η επικινδυνότητα που υπολογίζεται, θεωρείται ως η απολαβή των οδηγών στο παίγνιο που διαμορφώνεται κατά την προσπέραση την οποία και σκοπεύουν να ελαχιστοποιήσουν. Κάθε παίγνιο δημιουργείται με βάση τα δομικά μοντέλα που παρουσιάζονται, ορίζοντας ως Παίκτη 1 τον δικυκλιστή και ως Παίκτη 2 τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος.

## 1.7 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται στα παρακάτω κεφάλαια:

Στο πρώτο 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 φαινόμενο της προσπέρασης. Ακολουθεί μία σύντομη εισαγωγή στη Θεωρία Παιγνίων (Game Theory) και σημαντικά στοιχεία που σχετίζονται με την έρευνα που ακολουθεί.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προηγούμενες έρευνες που αφορούν την κίνηση των δικυκλιστών. Η ανασκόπηση αυτή περιλαμβάνει τόσο έρευνες που έγιναν με πραγματικές μετρήσεις όσο και έρευνες που έγιναν με βάση την προσομοίωση. Η ανασκόπηση αυτή περιλαμβάνει έρευνες που αναφέρονται στη Θεωρία Παιγνίων (Game Theory) και πώς αυτή χρησιμοποιείται στην ανάλυση του φαινομένου της προσπέρασης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της έρευνας. Αρχικά, περιγράφονται η περιοχή μελέτης και οι μεταβλητές που μετρήθηκαν σε προηγούμενες διπλωματικές εργασίες καθώς και αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα. Ακολουθώντας, αναφέρονται τα μοντέλα δομικών εξισώσεων και ο τρόπος αξιολόγησης τους. Επίσης, γίνεται μια αναφορά

στη Θεωρία Παιγνίων (Game Theory) και απεικόνιση του φαινομένου της προσπέρασης μέσα από αυτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική περιγραφή της ερευνάς. Αρχικά γίνεται 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. Στη συνέχεια γίνεται μορφοποίηση των παιγνίων και επιλογή λύσης με βέλτιστη απολαβή για τους παίκτες.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βασικότερα συμπεράσματα της έρευνας, όπως αυτά προκύπτουν από τα αποτελέσματά της και παρατίθενται διάφορες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Ο ελιγμός της προσπέρασης και η επιρροή στην κυκλοφορία

Η προσπέραση είναι ένα κεντρικό αντικείμενο μελέτης στις έρευνες κυκλοφοριακής ροής, ωστόσο έχει εξεταστεί κυρίως η προσπέραση αυτοκινήτων [16-20]. Οι ελιγμοί των δικυκλιστών κατά την προσπέραση σπάνια έχουν παρατηρηθεί και μοντελοποιηθεί. Το κύριο αντικείμενο των περισσότερων μελετών που σχετίζονται με οδηγούς δικύκλων αποσκοπεί είτε στην μοντελοποίηση, μακροσκοπικά και μικροσκοπικά, χαρακτηριστικών κυκλοφορίας κατά την ομαλή οδήγηση, είτε στο να κατονομάσει ζητήματα ασφαλείας και τους αντίστοιχους παράγοντες που τους επηρεάζουν [21]. Όσον αφορά την μοντελοποίηση της κυκλοφορίας δικυκλιστών ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι η προσομοίωση [22-27]. Πρόσφατα, έχουν καταγραφεί κάποιες προσπάθειες μοντελοποίησης που στηρίχτηκαν στη συλλογή δεδομένων υψηλής ανάλυσης πραγματικού χρόνου [28-34].

Οι Farah et al. [17], χρησιμοποίησαν δεδομένα τα οποία εξήγαγαν από προσομοιωτή και τα ανέλυσαν με στατιστικό μοντέλο. Θεώρησαν ότι τα οχήματα βρίσκονταν σε αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων. Οι μεταβλητές που χρησιμοποίησαν ήταν τα κενά που υπήρχαν στην απέναντι λωρίδα για τη δυνατότητα προσπέρασης, η ταχύτητα του οχήματος που θα έκανε την προσπέραση καθώς και η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος και ο γεωμετρικός σχεδιασμός του δρόμου.

Ωστόσο, σύμφωνα με την έρευνα των Lee et al. [35], η ταχύτητα των οχημάτων, ο αριθμός των οχημάτων που συμμετέχουν στην προσπέραση και ο τρόπος αλλαγής λωρίδας, καθώς και η αποδοχή των κενών είναι παράγοντες που σχετίζονται με την επιθετικότητα. Για παράδειγμα, ένας επιθετικός οδηγός δικύκλου συνηθίζει να χρησιμοποιεί απαγορευμένη λωρίδα. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε αστικές αρτηρίες μικτής κυκλοφορίας 4 λωρίδων στην Ταϊβάν. Τα δεδομένα ελήφθησαν από βιντεοσκόπηση και έγινε στατιστική ανάλυση με λογιστική παλινδρόμηση (Logistic regression).

Προηγούμενες έρευνες πάνω στην προσπέραση δικυκλιστών έχουν εστιάσει σε παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψιν μόνο από τους οδηγούς δικύκλων κατά την λήψη απόφασης εάν θα προσπεράσει ή όχι το προπορευόμενο όχημα. [36-37]. Σε αυτές τις έρευνες, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η διαφορά ταχύτητας μεταξύ του υπό μελέτη δικύκλου και του προς προσπέραση οχήματος και σχετιζόμενους με το χώρο παράγοντες που αφορούν την ασφάλεια της προσπέρασης. Επίσης, έχει συχνά παρατηρηθεί πως το προπορευόμενο όχημα υιοθετεί μια συνεργατική συμπεριφορά όταν αλληλεπιδρά με έναν οδηγό δικύκλου που ετοιμάζεται να προσπεράσει, οπότε υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση που το ένα όχημα επηρεάζει το άλλο. Μία τέτοια προσέγγιση λήφθηκε υπ' όψιν για τη συγχώνευση οχημάτων που βρισκόντουσαν σε τομείς συγχώνευσης [38]. Ωστόσο, είναι φυσικά κατανοητό πως υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες το

προπορευόμενο όχημα υιοθετεί ανταγωνιστική συμπεριφορά, αυξάνοντας το ρίσκο σύγκρουσης. Η ίδια διαφοροποιημένη συμπεριφορά κατά την οδήγηση μπορεί να προταθεί και για τους οδηγούς δικύκλων ως αντίκρισμα της επιθετικότητας ή της αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Μία σημαντική έρευνα που ασχολήθηκε με τη συμπεριφορά των δικυκλιστών κατά την προσπέραση και προσπάθησε να αποκαλύψει σημαντικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την προσπέραση σε αστικές αρτηρίες είναι αυτή των Barmounakis et al. [39]. Και στη συγκεκριμένη έρευνα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο καθοριστικότερος παράγοντας για την απόφαση προσπέρασης είναι η διαφορά στην ταχύτητα από το προπορευόμενο όχημα. Στην περιοχή μελέτης, η μέση ταχύτητα των δικυκλών κατά τη διάρκεια της προσπέρασης είναι 82km/h ενώ η μέση ταχύτητα των οχημάτων που προσπερνιούνται είναι 66km/h. Ωστόσο η μέγιστη ταχύτητα δικυκλου που καταγράφηκε είναι 160km/h. Μία σημαντική παρατήρηση είναι ότι το 92% των δικυκλιστών χρησιμοποιούν κράνος και μόλις το 3% έχουν συνεπιβάτη.

## 2.2 Η Θεωρία των Παιγνίων στις Μεταφορές

Η Θεωρία Παιγνίων στις μεταφορές και την κυκλοφορία είναι χρήσιμη για να αντιληφθούμε τις συμπεριφορές των οδηγών. Στην έρευνα του, ο C.S.Fisk [40] συγκρίνει δύο μοντέλα Θεωρίας Παιγνίων, το ένα είναι το μη συνεργασίας Nash και το άλλο τα παιχνίδια Stackelberg. Ο σκοπός του είναι να παρουσιάσει τα χαρακτηριστικά αυτών των δύο μοντέλων Θεωρίας Παιγνίων, τα οποία έχουν εφαρμογή σε μοντέλα λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων μεταφοράς. Η Θεωρία Παιγνίων παρέχει ένα πλαίσιο για την μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ομάδων ατόμων που παίρνουν αποφάσεις όταν επιμέρους δράσεις καθορίζουν από κοινού το αποτέλεσμα. Ο στόχος κάθε παίκτη είναι να ελαχιστοποιήσει μια συνάρτηση απολαβής  $P_i(x_1, x_2)$  όπου  $x_i$  ( $i=1,2$ ) είναι το διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης για τον παίκτη  $i$ . Σε ένα παιχνίδι Nash μη συνεργατικό, η κατάσταση ισορροπίας χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι κανένας παίκτης δεν μπορεί να βελτιώσει τον στόχο του με το να αλλάξει την απόφασή του. Στο παιχνίδι Stackelberg, ο κάθε παίκτης ξέρει πως θα ανταποκριθεί ο άλλος παίκτης σε οποιαδήποτε απόφαση πάρει.

Στο άρθρο των Liu et al. [41], οι αλληλεπιδράσεις των οχημάτων κατά τη διαδικασία της συγχώνευσης δύο αρτηριών, κύριων και δευτερευουσών, μοντελοποιούνται σύμφωνα με τη θεωρία των παιγνίων. Το όχημα που βρίσκεται στην κύρια αρτηρία του αυτοκινητόδρομου και το όχημα που εισέρχεται σ' αυτήν από δευτερεύουσα αρτηρία δρουν ανταγωνιστικά καθώς επιδιώκουν να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη τους κατά τη διάρκεια της συγχώνευσης των λωρίδων. Όταν το όχημα που βρίσκεται στην κύρια αρτηρία στοχεύει στη διατήρηση της αρχικής του κατάστασης με το όχημα που ακολουθεί και να ελαχιστοποιήσει τις διακυμάνσεις της ταχύτητας, τότε το όχημα που βρίσκεται στη δευτερεύουσα αρτηρία προσπαθεί να ενταχθεί στην κύρια κυκλοφορία στον ελάχιστο δυνατό



χρόνο που απαιτούν οι περιορισμοί ασφαλείας. Λαμβάνοντας υπόψη τη μη συνεργατική φύση του παιχνιδιού, οι οδηγοί στο τμήμα της συγχώνευσης υιοθετούν στρατηγικές που σχηματίζουν την ισορροπία Nash. Για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου οι Liu et al. [41] προτείνουν μια μεθοδολογία εκτίμησης σε δύο επίπεδα, με το ανώτερο επίπεδο να είναι πρόβλημα ελάχιστων τετραγώνων και το κατώτερο γραμμικό πρόβλημα συμπληρωματικότητας, τα οποία ψάχνουν για τις ισορροπίες. Η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου εξετάστηκε και επικυρώθηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα μέσω δορυφόρου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πλαίσιο αυτό μπορεί να συλλάβει αποτελεσματικά τις αλληλεπιδράσεις των οχημάτων σε τμήματα συγχώνευσης του αυτοκινητόδρομου, επιτυγχάνοντας παράλληλα μίας μεγάλης ακρίβειας πρόβλεψη των ενεργειών των οχημάτων.

Σε μία άλλη έρευνα οι Barmounakis et al. [42], προσπάθησαν να διαμορφώσουν τη συμπεριφορά κατά την προσπέραση με βάση τις αρχές της Θεωρίας των Παιγνίων. Σκοπός της έρευνας ήταν η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς οδηγών δικύκλων κατά τη διάρκεια της προσπέρασης χρησιμοποιώντας τις αρχές της Θεωρίας Παιγνίων. Η υπόθεση που έγινε, ήταν ότι ο οδηγός του δικύκλου και ο οδηγός του οχήματος που προσπερνάται αναπτύσσουν στρατηγικές, καθώς κινούνται σε αστικό περιβάλλον, προσπαθώντας να αποκομίσουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με τις αποφάσεις τους. Από αυτή την έρευνα προέκυψε ότι οι οδηγοί των δίκυκλων διαλέγουν να συνεργάζονται στο 59,1% των περιπτώσεων. Το προπορευόμενο όχημα επιλέγει να συνεργαστεί σε 64,6% των συνολικών περιπτώσεων [42].

Μια προσέγγιση του ελέγχου των συστημάτων αυτοματοποιημένης οδήγησης προβάλλεται στην έρευνα των Wang et al. [43] με τη χρήση ενός μαθηματικού πλαισίου. Η έμπνευσή τους προήλθε από το γεγονός ότι ελέγχοντας τα οχήματα θα μπορούσαν να καθοριστούν οι επιθυμητές σειρές στις λωρίδες καθώς και οι συνεχείς επιταχύνσεις ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνάρτηση του κόστους που αντικατοπτρίζει τις ανεπιθύμητες μελλοντικές καταστάσεις. Μέσα στη συνάρτηση του κόστους συμπεριλαμβάνονται και οι αλληλεπιδράσεις των ελεγχόμενων οχημάτων με τα γύρω αυτοκίνητα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα μη συνεργαζόμενα συστήματα ελέγχου, στα οποία τα ελεγχόμενα οχήματα βελτιστοποιούν μόνο το δικό τους κόστος, όσο και στα συνεργαζόμενα, στα οποία τα ελεγχόμενα οχήματα συντονίζουν τις αποφάσεις τους ώστε να βελτιστοποιήσουν το συνολικό κόστος. Για να προσδιοριστεί η συμπεριφορά του συστήματος ελέγχου, το πρόβλημα διατυπώθηκε ως παίγνιο απόκλισης όπου τα οχήματα παίρνουν τις δικές τους αποφάσεις με βάση την αναμενόμενη συμπεριφορά των υπολοίπων οχημάτων. Οι αποφάσεις αυτές ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με βάση τις τελευταίες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των ελεγχόμενων οχημάτων και των οχημάτων που τα περιβάλλουν. Οι Wang et al. [43] εισήγαγαν ένα πεπερασμένο αριθμό υποπροβλημάτων για να μειώσουν τις διαστάσεις του αρχικού προβλήματος. Για την αποτελεσματική επίλυση τους κατέληξαν σε ένα επαναληπτικό αλγόριθμο που βασίζεται στη αρχή του Pontryagin. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους δείχνουν

ότι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να παράγει αποδοτικούς ελιγμούς στην αλλαγή λωρίδας όταν το όχημα υπακούει στις προδιαγραφές ασφάλειας και άνεσης. Συγκεκριμένα, η προσέγγιση αυτή δημιουργεί βέλτιστες αποφάσεις αλλαγής λωρίδας στο προβλεπόμενο μέλλον, συμπεριλαμβανομένων της στρατηγικής προσπέρασης, της συνεργαζόμενης συγχώνευσης και της επιλογής μιας ασφαλούς θέσης.

Οι επικοινωνίες μεταξύ των οχημάτων παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας ενός δικτύου αυτοκινήτων μέσα από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες επικοινωνίας, στην επεξεργασία της ισχύς και στις τεχνολογίες ανίχνευσης. Ένα συνδεδεμένο όχημα λαμβάνει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από τα περιβάλλοντα οχήματα όπως πληροφορίες που μπορούν να βελτιώσουν την ευαισθητοποίηση των οδηγών για την κατάσταση της κυκλοφορίας που επικρατεί και έτσι να πάρουν αποφάσεις για ασφαλέστερους ελιγμούς. Σύμφωνα με τους Talebrou et al. [44], η συμπεριφορά κατά την αλλαγή λωρίδας θεωρείται ένας από τους πιο απρόβλεπτους ελιγμούς αλλά και ένας σημαντικός λόγος συμφόρησης και σύγκρουσης οχημάτων. Οι Talebrou et al. παρουσιάζουν ένα μοντέλο, που αφορά στην αλλαγή λωρίδας, βασισμένο στη θεωρία παιγνίων το οποίο ενδογενώς δίνει εξηγήσεις για τη ροή των πληροφοριών σε ένα περιβάλλον συνδεδεμένων οχημάτων. Το προτεινόμενο πλαίσιο είναι ικανό να προβλέψει την συμπεριφορά κατά την αλλαγή λωρίδας με κάποιους περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι το προτεινόμενο μοντέλο αλλαγής λωρίδας παρέχει ένα καλύτερο επίπεδο ρεαλισμού από το βασικό μοντέλο αποδοχής θέσεων.

### 2.3 Συμπεράσματα

Απ' όλα τα παραπάνω, γίνεται φανερό, ότι η μελέτη των κινήσεων των μοτοσικλετιστών κατά την προσπέραση είναι περίπλοκη. Στις έρευνες που χρησιμοποιήθηκε προσομοίωση για αναπαράσταση του τρόπου κίνησης των δικύκλων είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί η επικινδυνότητα των οδηγών.

Ωστόσο, αρκετοί ερευνητές χρησιμοποίησαν πραγματικές μετρήσεις για να έχουν πιο ακριβή δεδομένα που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Και στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιείται βάση δεδομένων που περιέχει πραγματικές μετρήσεις. Με βάση αυτές τις μεταβλητές δημιουργούνται τα δομικά μοντέλα που θα εξάγουν την επικινδυνότητα των δύο οδηγών.

Όπως αναφέρθηκε και στην έρευνα των Barmrounakis et al. [42], ο οδηγός του δικύκλου και ο οδηγός του οχήματος που προσπερνάται αναπτύσσουν στρατηγικές, καθώς κινούνται. Η παρούσα διπλωματική εργασία θα εστιάσει στην επικινδυνότητα των δύο οδηγών κατά την προσπέραση και στο τι στρατηγικές ακολουθούνται με βάση τους παράγοντες που επηρεάζουν τους δύο οδηγούς.

### 3. Μεθοδολογική Προσέγγιση

Η επιλογή της περιοχής μελέτης και η διαδικασία λήψης δεδομένων, έγιναν από τον κ. Μπαρμπουνάκη [2], κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής του εργασίας, η οποία σκοπό είχε να διερευνήσει τους παράγοντες που επηρεάζουν το δικυκλιστή στην απόφαση του να προσπεράσει ή όχι ένα προπορευόμενο όχημα. Επιπλέον, κάποιες συμπληρωματικές μεταβλητές αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας της κ. Καταχανάκη [3].

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε στις παραπάνω έρευνες με την προσθήκη κάποιων επιπλέον μεταβλητών ώστε να διερευνηθεί η επικινδυνότητα των οδηγών κατά το φαινόμενο της προσπέρασης. Θεωρήθηκε σκόπιμο, για καλύτερη κατανόηση του αντικείμενου μελέτης αυτής της έρευνας, να παρουσιασθεί όλη η διαδικασία επιλογής περιοχής μελέτης καθώς και οι μεταβλητές που μετρήθηκαν σε προηγούμενη έρευνα.

#### 3.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

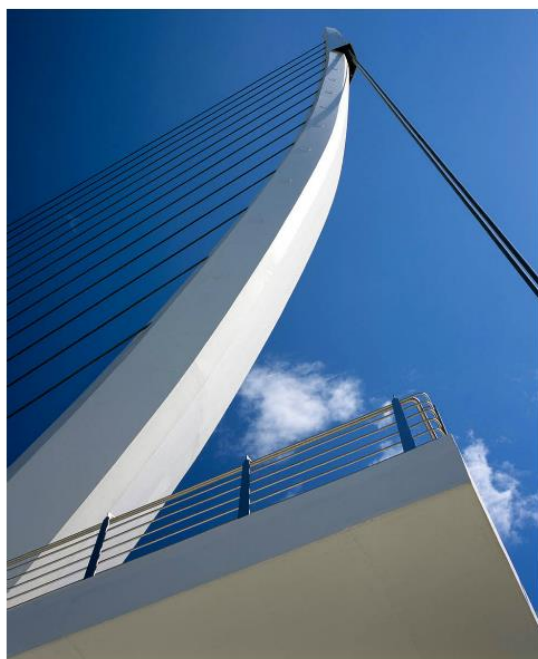
Η διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης έγινε από τον κ. Μπαρμπουνάκη [2] και έπρεπε να τηρεί κάποιους περιορισμούς, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

- 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 τη μία 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 βιντεοκάμερά μας με οπτική αντίθετη προς τη ροή της κυκλοφορίας. Όσο ψηλότερα μπορούσε να στηθεί η κάμερα, τόσο το καλύτερο για την εγκυρότητα των μετρήσεών μας.

Έχοντας τους παραπάνω περιορισμούς, ξεκίνησε η αναζήτηση για το κατάλληλο σημείο που θα μπορούσε να στηθεί η βιντεοκάμερα, για να ληφθούν τα βίντεο στα πλαίσια αυτής της έρευνας. Ένα από τα μέρη που φάνηκε να πληροί τους παραπάνω περιορισμούς ήταν η πεζογέφυρα του Santiago Calatrava. 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 6: Πεζογέφυρα Calatrava [45]



Εικόνα 7: Πεζογέφυρα Calatrava [46]

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 8: Χάρτης από την ευρύτερη περιοχή του σταθμού Μετρό Κατεχάκη [43]

### 3.2 Εξαγωγή Δεδομένων από Βίντεο

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.

Τα στοιχεία που μετρήθηκαν κατά την επεξεργασία των βίντεο μέσω του Trajectory Extractor από τον κ. Μπαρμπουνάκη [2] και την κ. Καταχανάκη [3] και αποτελούσαν τη βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα έρευνα είναι τα ακόλουθα:

1. **lane:** Λωρίδα που βρίσκεται το δίκυκλο που μελετάται (0 για Αριστερά, 1 για Δεξιά)
2. **on\_the\_fly:** Είδος προσπέρασης (0 για Lane Changing, 1 για On the Fly)
3. **over:** Αν έγινε ή όχι η προσπέραση (0 αν δεν έγινε, 1 αν έγινε)
4. **Veh\_TypeM:** Τύπος Δίκυκλου (0 για μικρού κυβισμού, 1 για μεγάλου κυβισμού)

5. **Vm:** Ταχύτητα Δίκυκλου (σε km/h)
6. **Veh\_Type1:** Τύπος Οχήματος που προσπερνάται (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
7. **Veh\_RL:** Λωρίδα που βρίσκεται το όχημα που προσπερνάται (0 για Αριστερά, 1 για Δεξιά)
8. **V1:** Ταχύτητα του οχήματος που προσπερνάται (σε km/h)
9. **Veh\_Type0:** Τύπος Οχήματος 0 (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
10. **Veh\_Type2:** Τύπος Οχήματος 2 (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
11. **Veh\_Type3:** Τύπος Οχήματος 3 (1 για αυτοκίνητο, 2 για δίκυκλο μικρού κυβισμού, 3 για δίκυκλο μεγάλου κυβισμού, 4 για φορτηγό)
12. **platoon:** Ύπαρξη φάλαγγας (0 για όχι, 1 για Ναι)
13. **sum\_platoon:** Αριθμός Οχημάτων στη φάλαγγα
14. **d0:** Απόσταση μεταξύ οχήματος 0 και 1 (σε m)
15. **d1:** Απόσταση μεταξύ οχήματος 2 και 3 (σε m)
16. **d2:** Εγκάρσια απόσταση μεταξύ οχήματος 1 και 3 (σε m)
17. **d3:** Οριζόντια απόσταση μεταξύ οχήματος 1 και 3 (σε m)
18. **s\_x:** Οριζόντια απόσταση Δίκυκλου σε σχέση με το κεντρικό άξονα του οχήματος που προσπερνάται (σε m)
19. **s\_y:** Εγκάρσια απόσταση Δίκυκλου σε σχέση με το κεντρικό άξονα του οχήματος που προσπερνάται (σε m)
20. **V2:** Ταχύτητα οχήματος 2 (σε km/h)
21. **V3:** Ταχύτητα οχήματος 3 (σε km/h)
22. **helmet:** Αν φοράει κράνος ο δικυκλιστής (0 για όχι, 1 για Ναι)
23. **passenger:** Αν υπάρχει δεύτερος αναβάτης στο δίκυκλο-αντικείμενο (0 για όχι, 1 για Ναι)
24. **bd2:** Εγκάρσια απόσταση μεταξύ μοτοσικλετιστή και οχήματος 2 (σε m)
25. **bd3:** Οριζόντια απόσταση μεταξύ μοτοσικλετιστή και οχήματος 2 (σε m)
26. **Sm:** Η απόσταση από τον κεντρικό άξονα του μοτοσικλετιστή 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.
27. **S1:** 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 μοτοσικλετιστής ανάλογα με το είδος προσπέρασης που κάνει.

28. **DistanceXY:** Ορίζεται η γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δίκυκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλεπιδρά. Η μαθηματική σχέση που την ορίζει είναι:  $DistanceXY = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$ . Δημιουργήθηκε αφού θεωρήθηκε ότι θα ήταν σημαντικό η απόσταση του δίκυκλου αντικειμένου να εξεταστεί ως συνάρτηση των δύο αποστάσεων που μετρήθηκαν και όχι μεμονωμένα.
29. **Opening:** Ορίζεται το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα. Η μαθηματική σχέση που την ορίζει είναι:  $Opening = \sqrt{d_2^2 + d_3^2}$ . 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  $d_2=0$  ή  $d_3=0$ , αντικαταστάθηκαν όλες οι μηδενικές τιμές της με την τιμή 90m, δηλαδή μεγάλη απόσταση που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπήρχε όχημα που να επηρεάζει το δίκυκλο όχημα.
30. **bd:** Ορίζεται η διαγώνιος που δημιουργείται από τις  $bd_2$  και  $bd_3$  και έχει μαθηματική εξίσωση  $bd = \sqrt{bd_2^2 + bd_3^2}$  (σε m). Όταν υπήρχαν μηδενικές τιμές της μεταβλητής τότε έπαιρναν την τιμή 80m, δηλαδή όπως αναφέρθηκε και στη μεταβλητή Opening, μεγάλη απόσταση που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπήρχε όχημα που να επηρεάζει το δίκυκλο όχημα.
31. **dy:** Η εγκάρσια απόσταση του μοτοσικλετιστή και του οχήματος 0 (m)
32. **Diff:** Η διαφορά ταχυτήτων του μοτοσικλετιστή με το όχημα 1. Ορίζεται ως  $Diff = V_m - V_1$  (km)

Επιπλέον για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκαν οι εξής μεταβλητές:

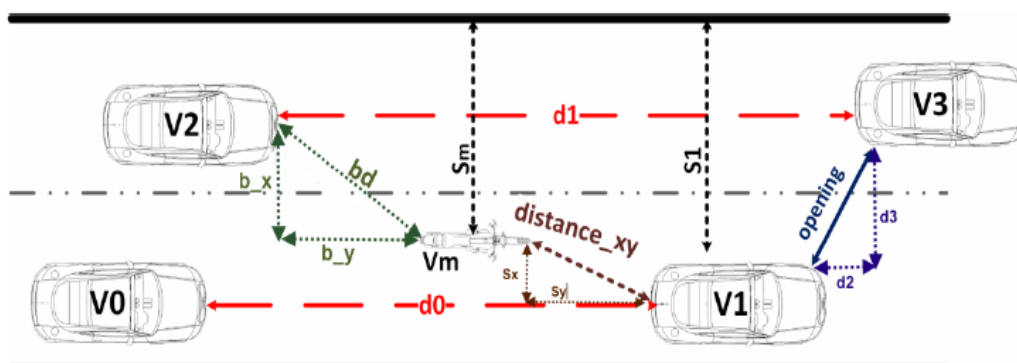
1. **Lane\_Same:** Αν το δίκυκλο και το προπορευόμενο όχημα 1 βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι (0 για διαφορετική, 1 για ίδια)
2. **Over\_RL:** Αν η προσπέραση έγινε από δεξιά ή από αριστερά (0 για Δεξιά, 1 για Αριστερά)
3. **d1new:** Απόσταση μεταξύ οχήματος 2 και 3 με αντικατάσταση των μηδενικών τιμών με 100m, απόσταση που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπήρχε όχημα που να επηρεάζει το δίκυκλο.

4. **d0new**: Απόσταση μεταξύ οχήματος 0 και 1 με αντικατάσταση των μηδενικών τιμών με 100m, απόσταση που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπήρχε όχημα που να επηρεάζει το δίκυκλο.

Αναγκαίο για τη δημιουργία των μοντέλων που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο ήταν και ο χωρισμός της μεταβλητής Veh\_Type1 σε επιμέρους μεταβλητές:

1. **Truck**: Αν το όχημα 1 είναι φορτηγό ή όχι (0 για όχι, 1 για Ναι)
2. **Car**: Αν το όχημα 1 είναι αυτοκίνητο ή όχι (0 για όχι, 1 για Ναι)
3. **Motorcycle**: Αν το όχημα 1 είναι δίκυκλο μεγάλου κυβισμού ή όχι (0 για όχι, 1 για Ναι)
4. **Scooter**: Αν το όχημα 1 είναι δίκυκλο μικρού κυβισμού ή όχι (0 για όχι, 1 για Ναι)

Ο τρόπος που ονομάζονται τα οχήματα 0,1,2 και 3 καθώς και οι μεταβλητές που μετρήθηκαν κατά την επεξεργασία των βίντεο, με το λογισμικό Trajectory Extractor, από τον κ. Μπαρμπουνάκη [2] και την κ. Καταχανάκη [3] και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία φαίνονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα [2]

### 3.3 Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων

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

Στα μοντέλα δομικών εξισώσεων ένα διάγραμμα αποτελείται από ορθογώνια παραλληλόγραμμα και από κύκλους ή ελλείψεις που συνδέονται μεταξύ τους με απλής ή διπλής κατεύθυνσης βέλη. Τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα, αντιπροσωπεύουν τις παρατηρηθείσες ή μετρήσιμες μεταβλητές και οι ελλείψεις τις κρυφές ή λανθάνουσες. 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. Συνδεδεμένος 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, συνδεδεμένος 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, μια 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.

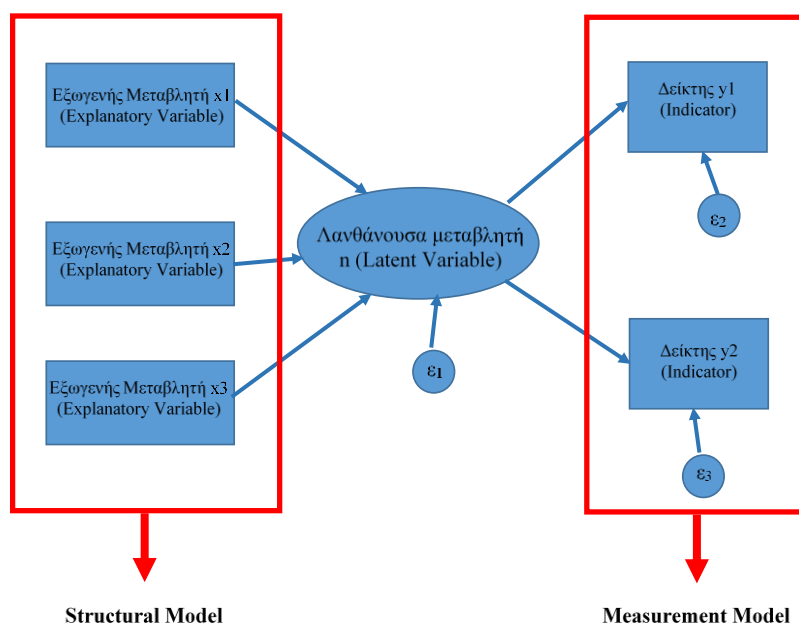
Ένα πρότυπο MIMIC θεωρεί τη λανθάνουσα μεταβλητή  $\eta$  ως μονοδιάστατο μέγεθος και συσχετίζει τον φορέα των δεικτών  $\gamma$  και τις παρατηρούμενες εξωγενείς μεταβλητές  $x$  που την προκαλούν με το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων:

$$\eta = \Gamma x + \varepsilon$$

$$y = \Lambda \eta + \zeta$$

Όπου  $\Gamma$  και  $\Lambda$  πίνακες αγνώστων παραμέτρων που υπολογίζονται και  $\varepsilon$  και  $\zeta$  είναι όροι σφάλματος [47].

Το διάγραμμα των SEM MIMIC Models, έχει την παρακάτω σχηματική απεικόνιση (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου SEM MIMIC Model

### 3.4 Αξιολόγηση των μοντέλων δομικών εξισώσεων (SEM)

Τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (Structural Equation Models - SEM) συνήθως χρησιμοποιούνται ως 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 (Πίνακας 2). Οι δείκτες αυτοί παρέχουν την πιο θεμελιώδη ένδειξη του πόσο καλά η προτεινόμενη θεωρία ταιριάζει με τα δεδομένα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι δείκτες  $\chi^2$ -Chi-Square, RMSEA, SRMR, AIC, BIC, CI,  $\rho$ close, CFI, TLI και CD.

Πιθανότητα  $\chi^2$ -Chi-Square: Το κύριο μέτρο καθορισμού της συνολικής (καθολικής) προσαρμογής ενός μοντέλου είναι το ποσοστό πιθανοφάνειας (likelihood-ratio). Ενώ ο δείκτης  $\chi^2$ -Chi-Square διατηρεί τη δημοτικότητά του ως ένα κατάλληλο στατιστικό δείκτη, υπάρχουν μια σειρά από σοβαρούς περιορισμούς στη 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  $\chi^2$ -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  $\chi^2$ -Chi-Square είναι ο λόγος  $\frac{\chi^2}{df}$ , 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 [48].

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA): Η ρίζα των μέσων τετραγώνων των σφαλμάτων εκτίμησης (RMSEA) είναι το απόλυτο μέτρο καταλληλότητας 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  $\chi^2$  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. Ο δείκτης είναι θετικά πολωμένος (δηλαδή, τείνει να είναι πάρα πολύ μεγάλος) και το ποσό της μεροληψίας εξαρτάται από το πόσο μικρό είναι το μέγεθος 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 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 [49].

Confidence Interval (CI): 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 [49].

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 σφάλμα. 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 η προσαρμογή του μοντέλου είναι χειρότερα κοντά στην τοποθέτηση (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 [49].

Akaike's Information Criterion (AIC): 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 [49].

Bayesian Information Criterion (BIC): 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:

$$BIC = \chi^2 + \ln(N) \left[ \frac{k(k+1)}{2} - df \right]$$

όπου  $\ln(N)$  είναι ο φυσικός λογάριθμος του αριθμού των περιπτώσεων του δείγματος [49].

Standardized Root Mean Square Residual (SRMR): Το υπόλοιπο ρίζας μέσω των 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 [49].

Comparative Fit Index (CFI): Ο δείκτης συγκριτικής καταλληλότητας είναι μια αναθεωρημένη μορφή του NFI ο οποίος λαμβάνει υπόψη το μέγεθος του δείγματος και εκτελείται καλά ακόμα και όταν αυτό είναι μικρό. Ο δείκτης αυτός εισήχθη για πρώτη φορά από τον Bentler και στη συνέχεια συμπεριληφθεί ως μέρος των δεικτών καταλληλότητας στο πρόγραμμα EQS. 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  $\geq 0.95$  σήμερα αναγνωρίζεται ως ενδεικτικό της καλής εφαρμογής. 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 [49].

Πίνακας 1: Δείκτες στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of fit Statistics)

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ ΓΙΑ ΚΑΛΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ
Chi-Square / $(\chi^2)/x^2$	Χαμηλό $\chi^2$ σε σχέση με τους βαθμούς ελευθερίας με μία ασήμαντη τιμή του $p$ ( $p > 0.05$ )
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)	<0.05 (μέγιστη τιμή 0.08 για μέτρια προσαρμογή του μοντέλου)
90% CI	<0.05 και όχι μεγαλύτερο του 0.1
Standardized Root Mean Square Residual (SRMR)	0.0-0.08 (όσο πιο κοντά στο 0.0 τόσο καλύτερη προσαρμογή έχει)
CFI	>0.95 (όσο πιο κοντά στο 1.0 τόσο πιο καλή εφαρμογή έχει)
TLI	>0.95 (όσο πιο κοντά 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

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:

$$TLI = \frac{\left[ \frac{\chi^2}{df} (\text{μηδενικού μοντέλου}) - \frac{\chi^2}{df} (\text{προτεινόμενου μοντέλου}) \right]}{\frac{\chi^2}{df} (\text{μηδενικού μοντέλου}) - 1}$$

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  $\frac{\chi^2}{df}$ , σημαίνει καλύτερη εφαρμογή του μοντέλου. Μειονέκτημά του είναι ότι επηρεάζεται από το λόγο  $\frac{\chi^2}{df}$ . Δηλαδή, αν

ο λόγος  $\frac{\chi^2}{df}$  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 [48].

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 [49].

### 3.5 Απλοποιημένη εισαγωγή στη Θεωρία Παιγνίων

Η θεωρία παιγνίων περιλαμβάνει μαθηματικά εργαλεία και μοντέλα για την περιγραφή συγκρούσεων και συνεργατικών συμπεριφορών για τη λήψη έξυπνων ορθολογικών αποφάσεων. Παρέχει μαθηματικές τεχνικές για περιπτώσεις στις οποίες δύο ή περισσότερα άτομα παίρνουν αποφάσεις που θα επηρεάσουν τον άλλο [51]. Τη λήψη αποφάσεων με βάση τη θεωρία παιγνίων τη συναντάμε συνήθως στα οικονομικά, πολιτικές επιστήμες, ψυχολογία, λογική και βιολογία. Στις μεταφορές και στην κυκλοφορία, εφαρμογές που στηρίζονται στη θεωρία παιγνίων παραπέμπουν κυρίως στη λογιστική, στα αστικά δίκτυα και στις δημόσιες μεταφορές και είναι κυρίως συνδεδεμένες με τα οικονομικά [52-53], παρόλο που υπάρχουν παραδείγματα μοντέλων για τη οδική συμπεριφορά [54].

Ένα παίγνιο μπορεί να καθορίζεται ως ένα σύνολο ενεργειών που οι παίκτες αναλαμβάνουν. Αυτές οι ενέργειες έχουν συγκεκριμένους περιορισμούς, όπως το ότι η τελική ενέργεια που θα πραγματοποιήσουν οι παίκτες δεν είναι προσδιορισμένη. Γίνεται η υπόθεση ότι κάθε παίκτης είναι ορθολογικός, έχει επίγνωση των εναλλακτικών λύσεων του και επιλέγει την ενέργειά του με κάποιο σκοπό. Ένα παίγνιο στρατηγικής αποτελείται από ένα πεπερασμένο αριθμό  $N$  παικτών. Για κάθε παίκτη  $i \in N$  υπάρχει ένα μη κενό σύνολο των δράσεων  $A_i$  διαθέσιμο για τον παίκτη. Επιπλέον, για κάθε παίκτη  $i \in N$  υπάρχει μια σχέση προτίμησης  $\succeq_i$  στο  $A = \{x_j \in N A_j\}$ . Η σχέση προτίμησης  $\succeq_i$  του παίκτη  $i$  μπορεί να αναπαρασταθεί από μια συνάρτηση απολαβής  $u_i: A \rightarrow \mathbb{R}$ , υπό την έννοια ότι  $u_i(a) \geq u_i(b)$  όποτε  $a \succeq_i b$  [55].

Κάθε παίγνιο έχει ένα αριθμό λύσεων, ανάλογα με την εφαρμογή και την επιθυμητή έκβαση. Μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες λύσεις είναι αυτή με την Ισορροπία Nash, στην οποία κανένας παίκτης δεν έχει κάτι να κερδίσει με απόκλιση από τη στρατηγική του, λαμβάνοντας υπόψη την επιλογή του αντιπάλου, υποθέτοντας ότι ο αντίπαλός του δε θα αποκλίνει. Μια ισορροπία Nash ενός παιγνίου στρατηγικής  $(N, (A_i), (\succeq_i))$  είναι ένα προφίλ  $a^* \in A$  των δράσεων με την ιδιότητα ότι για κάθε παίκτη έχουμε  $(a_{-i}^*, a^*) \succeq_i (a_{-i}^*, a)$  για όλα τα  $a_i \in A_i$  [55].

Η ανίχνευση της κυρίαρχης στρατηγικής για έναν παίκτη είναι πολύ σημαντική σε ένα παίγνιο. Αυτό συμβαίνει όταν μία στρατηγική είναι πάντα

καλύτερη από μια άλλη στρατηγική (αυστηρά κυρίαρχη) ή όταν υπάρχουν κάποιες (ή όλες) στρατηγικές που δίνουν την ίδια απολαβή (ασθενώς κυρίαρχη). Η δράση  $a_i \in A_i$  του παίκτη  $i$  στο στρατηγικό παίγνιο  $(N, (A_i), (u_i))$  είναι αυστηρά κυρίαρχη, αν υπάρχει μια μικτή στρατηγική  $a_i$  του παίκτη  $i$  έτσι ώστε  $U_i(a_i, a_i) > u_i(a_i, a_i)$  για όλους τους  $a_i \in A_i$ , όπου  $U_i(a_i, a_i)$  είναι η απολαβή του παίκτη  $i$ , αν χρησιμοποιεί την μικτή στρατηγική  $a_i$  και το διάνυσμα των δράσεων του άλλου παίκτη είναι  $a_i$ . Η δράση  $a_i \in A_i$  του παίκτη  $i$  στο στρατηγικό παίγνιο  $(N, (A_i), (u_i))$  είναι ασθενώς κυρίαρχη, αν υπάρχει μια μικτή στρατηγική  $a_i$  του παίκτη  $i$  έτσι ώστε  $U_i(a_i, a_i) \geq u_i(a_i, a_i)$  για μερικά  $a_i \in A_i$ , όπου  $U_i(a_i, a_i)$  είναι η απολαβή του παίκτη  $i$  εάν χρησιμοποιεί την μικτή στρατηγική  $a_i$  και το διάνυσμα των δράσεων του άλλου παίκτη είναι  $a_i$ . Όταν και οι δύο παίκτες έχουν κυρίαρχη στρατηγική, το παίγνιο έχει μια μοναδική ισορροπία Nash [55].

Η Επαναλαμβανόμενη Εξάλειψη των Κυριαρχούμενων Στρατηγικών (Iterated Elimination of Dominated Strategies -IED) είναι μια τεχνική που καθορίζει τη λύση ενός παιγνίου με την εξάλειψη των ενεργειών που ένας παίκτης θα πρέπει σίγουρα να μην πάρει. Αφού ο ορθολογισμός επιβάλλεται στο παίγνιο, ένας παίκτης θεωρείται ότι αποκλείει τις ενέργειες που θα του δώσουν χειρότερη απολαβή από την κυρίαρχη στρατηγική. Στην Επαναλαμβανόμενη Εξάλειψη των Κυριαρχούμενων Στρατηγικών η σειρά της αποβολής είναι σημαντική μόνο όταν υπάρχουν ασθενώς κυρίαρχες στρατηγικές στο παίγνιο, αφού με την κατάργηση μίας ασθενώς κυρίαρχης στρατηγικής, μια λύση ισορροπίας Nash μπορεί επίσης να εξαλειφθεί. Όταν η Επαναλαμβανόμενη Εξάλειψη των Κυριαρχούμενων Στρατηγικών σε ένα παίγνιο συγκλίνει, εάν μόνο μία στρατηγική είναι διαθέσιμη και για τους δύο παίκτες, τότε η στρατηγική είναι η μοναδική ισορροπία Nash [55].

### 3.6 Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην Προσπέραση

Ο οδηγός ενός δίκυκλου αποφασίζει να προσπεράσει για να κινηθεί γρηγορότερα από τα υπόλοιπα οχήματα σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του δρόμου, για να προπορευτεί όταν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, για να προετοιμαστεί για στροφή, για να αποφύγει την απόφραξη ή για να αποφύγει την οδήγηση πίσω από βαρέα οχήματα [56]. Όταν ο δίκυκλιστής αποφασίζει να προσπεράσει ή όχι το προπορευόμενο όχημα, λαμβάνει υπόψη του πολλές σχετικές παραμέτρους (διαφορά ταχυτήτων, χωρικούς παράγοντες, πυκνότητα κτλ) για να εκτιμήσει αν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες για τη διεξαγωγή της προσπέρασης. Αυτό μπορεί να γίνει με ένα συνεργάσιμο ή μη τρόπο σε σχέση με τους υπόλοιπους οδηγούς που εμπλέκονται.

Για παράδειγμα, ένας οδηγός δίκυκλου που περιμένει για το κατάλληλο (ασφαλές) κενό για να προσπεράσει, μπορεί να οδηγήσει μακριά από το προπορευόμενο όχημα ή μπορεί να ακολουθεί σε μικρή απόσταση το προπορευόμενο όχημα και να ασκήσει πίεση στον οδηγό του. Κατά τη διάρκεια μιας προσπέρασης, το προπορευόμενο όχημα μπορεί συχνά να είναι συνεργατικό



προς το αντικείμενο δίκυκλο που επηρεάζει τη στρατηγική του. Αυτό μπορεί να σταματήσει την επιτάχυνση και / ή να κρατήσει μια σταθερή ταχύτητα, αφήνοντας τα κατάλληλα κενά για τον δικυκλιστή για να περάσει με άνεση και ασφάλεια. Αντίθετα, μπορεί να μην αφήσει επαρκή κενά για ένα ασφαλές πέρασμα ή για επιτάχυνση, το οποίο, στη συνέχεια, μπορεί να περιγραφεί ως στρατηγική μη συνεργασίας [42].

Η παραπάνω κατάσταση μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα παίγνιο στρατηγικής, αφού τόσο ο οδηγός του δίκυκλου (Παίκτης 1) όσο και ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος (Παίκτης 2) εκτελούν τις καλύτερες ενέργειες για τον εαυτό τους, ενώ ταυτόχρονα επηρεάζουν ο ένας τον άλλο. Προφανώς, η προσπέραση μπορεί να επηρεάζεται επίσης και από τα υπόλοιπα οχήματα στο δρόμο. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία, το προτεινόμενο παίγνιο της προσπέρασης θα περιλαμβάνει μόνο δύο παίκτες (το αντικείμενο δίκυκλο και το προπορευόμενο όχημα), δεδομένου ότι η αλληλεπίδρασή τους θεωρείται η πιο ισχυρή, ενώ οι αλληλεπιδράσεις με τα άλλα οχήματα θεωρούνται δευτερογενείς. Παρ' όλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι τα υπόλοιπα οχήματα συμπεριλαμβάνονται στο φαινόμενο μέσω των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, η μεταβλητή *Opening* εκτός του Παίκτη 2 συμπεριλαμβάνει και το προπορευόμενο όχημα ή η μεταβλητή *bd* το όχημα πίσω από το δίκυκλο. Τα θέματα ορατότητας θεωρούνται σημαντικά σε μια τέτοια αμφίδρομη αλληλεπίδραση, δεδομένου ότι υποτίθεται ότι, όταν ο προηγούμενος οδηγός γνωρίζει την ύπαρξη του δίκυκλου στην αρτηρία, αυτός επιλέγει μια συγκεκριμένη στρατηγική [57]. Γίνεται η υπόθεση ότι ένα παίγνιο στρατηγικής που περιγράφει μια κατάσταση κατά την οποία κάθε παίκτης επιλέγει το σχέδιο δράσης του, μια για πάντα, και η λήψη αποφάσεων όλων των παικτών γίνεται ταυτόχρονα.

Επιπλέον, ένα κρίσιμο ζήτημα στο προτεινόμενο παίγνιο της προσπέρασης είναι ο αριθμός των επαναλήψεων που το προτεινόμενο παίγνιο παίζεται (γύροι). Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις σε αυτό: Πρώτον, το προτεινόμενο παίγνιο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα επαναλαμβανόμενο παίγνιο, όπου διαφορετικοί οδηγοί μπορούν να συμμετέχουν σε κάθε επανάληψη. Παίκτης 1 είναι πάντα ο οδηγός του δίκυκλου, ο Παίκτης 2 είναι πάντα ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος και κάθε προσπάθεια προσπέρασης υποτίθεται ότι είναι ένας άλλος γύρος του παιγνίου. Δεύτερον, το προτεινόμενο παίγνιο μπορεί να θεωρηθεί ως επαναλαμβανόμενο παίγνιο, όπου κάθε παίκτης παίζει το ίδιο παίγνιο με διαφορετικούς παίκτες ενώ μετακινείται. Ο Παίκτης 1 θα παίξει με τον Παίκτη 2 και, στη συνέχεια θα παίξουν με τον Παίκτη 3 και ούτω καθ' εξής. Παρόλο που και τα δύο σενάρια μπορούν να διαμορφώσουν το φαινόμενο της προσπέρασης, απαιτούν διαφορετικό τύπο δεδομένων που πρέπει να βαθμονομηθούν. Το πρώτο απαιτεί μικρότερες τροχιές, δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία ανάγκη ο δικυκλιστής να κάνει περισσότερες από μία προσπάθειες για προσπέραση. Από την άλλη πλευρά, το δεύτερο σενάριο θα απαιτεί την παρακολούθηση του δίκυκλου για συνεχόμενο τμήμα της αρτηρίας και πιο προηγμένα τεχνικά μέσα παρακολούθησης της κυκλοφορίας και συλλογής δεδομένων. Στην παρούσα εργασία, θεωρούμε ότι το ίδιο παίγνιο παίζεται επανειλημμένα όπου ο Παίκτης 1

είναι ο οδηγός του δικύκλου και προσπαθεί να προσπεράσει και ο Παίκτης 2 είναι το προπορευόμενο όχημα, ανεξάρτητα αν ο Παίκτης 1 και ο Παίκτης 2 είναι διαφορετικοί οδηγοί σε κάθε γύρο.

Επιπλέον, θα θεωρήσουμε ότι κάθε παίκτης παίρνει ανεξάρτητες αποφάσεις, ως εκ τούτου, κάθε παίγνιο δεν επηρεάζεται από τις αποφάσεις που έγιναν σε προηγούμενες ενέργειες και δεν επηρεάζει ακόλουθες αποφάσεις. Για παράδειγμα, το γεγονός ότι ο οδηγός του δικύκλου θα αποφασίσει να διεξάγει μια επικίνδυνη προσπέραση δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν θα διακινδυνεύσει την επόμενη φορά ή το αντίθετο. Τέλος, υποτίθεται ότι οι δύο οδηγοί δεν ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με την απόφασή τους, πράγμα που σημαίνει ότι ο οδηγός του δικύκλου δεν θα ενημερώσει τον προηγούμενο οδηγό για την πρόθεσή του να συνεργαστεί ή όχι. Ωστόσο, αφού το φαινόμενο της προσπέρασης είναι πολύ συχνό στην καθημερινή μετακίνηση, είναι δεδομένο ότι και οι δύο παίκτες γνωρίζουν πως κινείται κάθε οδηγός, όταν αυτός έχει αποφασίσει είτε να συνεργαστεί ή όχι. Ως εκ τούτου, το προτεινόμενο παίγνιο μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη συνεργάσιμο παίγνιο με τέλεια πληροφόρηση.

Η ποσοτικοποίηση του επαρκούς ανοίγματος για ένα δίκυκλο ώστε να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα είναι ένα θέμα που είναι υπό διερεύνηση. Τα κενά ασφαλείας για τις κινήσεις που χρειάζονται στην προσπέραση που μελετήθηκαν στην έρευνα των Nguyen et al. [58], είναι παρόμοια με τη μεταβλητή DistanceXY της παρούσας εργασίας. Σε αυτή την εργασία, η οριακή τιμή που αφορά τη μεταβλητή DistanceXY επιλέγεται να είναι 5m, η οποία είναι παρόμοια (4,95m) σε αυτήν που προτείνεται [58] ως το ελάχιστο κενό ασφαλείας για την αριστερή μισή περιοχή πίσω από το προπορευόμενο όχημα χωρίς να λαμβάνει υπόψη ψυχολογικούς παράγοντες. Ως εκ τούτου, θεωρούμε ότι, όταν γίνει υπέρβαση αυτού του κενού ασφαλείας, ο οδηγός του δικύκλου ακολουθεί επιθετική συμπεριφορά. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, το 40% των τιμών των DistanceXY είναι κάτω από την παραπάνω τιμή ορίου (5m) και το 40% των τιμών ανοίγματος είναι κάτω από 12m. Ως εκ τούτου, οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν ως κατώτατα όρια για τη μετατόπιση μεταξύ της μη συνεργάσιμης σε συνεργάσιμη συμπεριφορά (στρατηγική).

Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν (Πίνακας 2), φαίνεται ότι ο οδηγός του δικύκλου (Παίκτης 1) διαλέγει να είναι συνεργάσιμος στο 59,1% των περιπτώσεων και ο οδηγός του προπορευόμενου (Παίκτης 2) διαλέγει να είναι συνεργάσιμος στο 64,6% των περιπτώσεων.

Πίνακας 2: Ποσοστά επιλογής Στρατηγικής

	NC		C	
PTW	348	40.9%	502	59.1%
V1	301	35.4%	549	64.6%

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, ο οποίος απεικονίζει το σύνολο των καταγεγραμμένων περιπτώσεων, ομαδοποιημένες ανάλογα με τη στρατηγική που επιλέγεται, καθώς και τον αριθμό και το ποσοστό των επιτυχών προσπεράσεων που καταγράφηκαν, ένας οδηγός μπορεί να ολοκληρώσει με επιτυχία την προσπάθειά του για προσπέραση παρόλο που επέλεξε να είναι μη συνεργάσιμος. Το ποσοστό αυτό είναι σημαντικά υψηλότερο σε σύγκριση με το ποσοστό των επιτυχημένων προσπαθειών όταν ο οδηγός του δικύκλου επιλέγει να είναι συνεργάσιμος.

Πίνακας 3: Προσπάθειες προσπέρασης με βάση τη Στρατηγική

Strategy	OVER%	OVER	COUNT
NC, NC	72%	97	135
NC, C	80%	171	213
C, NC	35%	58	166
C, C	60%	200	336
		526	850

Όταν ο δικυκλιστής ακολουθεί μη συνεργάσιμη στρατηγική, είναι πιο πιθανό να ολοκληρώσει την προσπέραση (77% των περιπτώσεων) από το να ακολουθήσει συνεργάσιμη στρατηγική (51% των περιπτώσεων). Αυτό υποδηλώνει ότι οι οδηγοί των δικύκλων μπορεί να προβούν σε επιθετική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της προσπέρασης πιθανώς επειδή, παρόλο που καταλήγουν να έχουν χαμηλές ταχύτητες, στοχεύουν στη συνέχιση του κέρδους κατά την οδήγηση. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα χαμηλότερα ποσοστά εμφανίζονται όταν ο οδηγός του δικύκλου είναι συνεργάσιμος και ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος δεν είναι. Προφανώς, η προσπέραση είναι ελιγμός μεγάλης επικινδυνότητας και άτολμοι οδηγοί πιθανότατα να επιδιώξουν συνεργασία προκειμένου να ολοκληρωθεί η προσπέραση.

Αυτό που είναι ενδιαφέρον είναι ότι τις περισσότερες φορές, ένας παίκτης έχει την τάση να συνεργάζεται με τον άλλο. Είναι φανερό ότι στο 84% των συνολικών προσπαθειών προσπέρασης, τουλάχιστον ένας παίκτης συνεργαζόταν και στο 40% του συνόλου των προσπαθειών προσπέρασης και οι δύο ακολούθησαν μια συνεργατική συμπεριφορά. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι, παρόλο που και οι δύο παίκτες ψάχνουν για μακροπρόθεσμο κέρδος, μπορεί να παρουσιάζουν εναλλάξ μη συνεργάσιμη (επιθετική) συμπεριφορά κατά την οδήγηση.

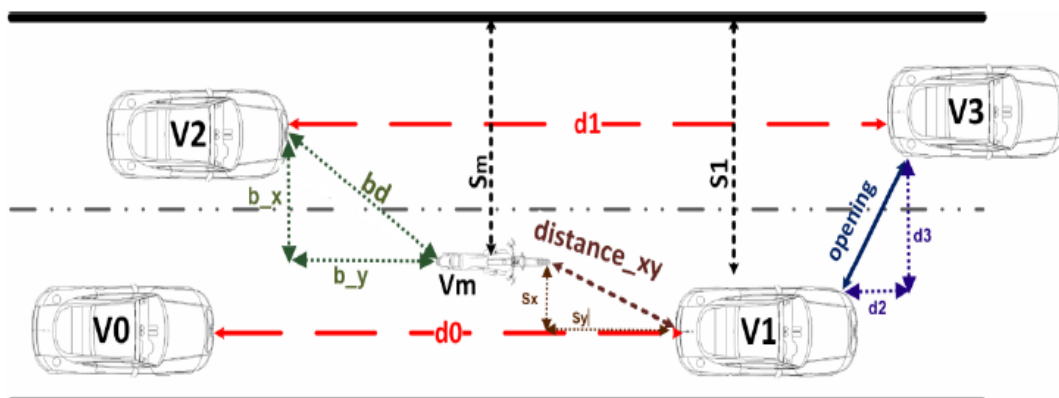
## 4. Στατιστική Ανάλυση

### 4.1 Εκτίμηση και ανάλυση αποτελεσμάτων δομικών μοντέλων SEM

Στην παρούσα έρευνα έγινε χρήση του λογισμικού προγράμματος STATA. Με τη βοήθεια του εργαλείου Structural Equation Modeling (SEM) και της επιλογής Model Building and Estimation προέκυψαν διαγράμματα δομικών μοντέλων 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 απλή ώστε ο αλγόριθμος του προτύπου να συγκλίνει, αλλά και να μην εξαιρούνται από το πρότυπο άλλες σημαντικές μεταβλητές. Για καλύτερη απεικόνιση της κατάστασης δημιουργήθηκαν διαφορετικά μοντέλα για το ρίσκο του δικυκλιστή και διαφορετικά για το ρίσκο του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος. Τελικώς, αναπτύχθηκαν τρία διαφορετικά δομικά μοντέλα για το δίκυκλο και ένα για το όχημα 1 που δίνουν ικανοποιητική ερμηνεία των μεταβλητών και πως συσχετίζονται μεταξύ τους.

Στο Σχήμα 2, απεικονίζονται οι μεταβλητές που ήταν διαθέσιμες ως δείκτες για να δημιουργηθούν τα πιθανά δομικά μοντέλα της παρούσας έρευνας.



Σχήμα 2: Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών [2]

Δημιουργήθηκαν δομικά μοντέλα για δύο περιπτώσεις: (α) τρία (3) διαφορετικά μοντέλα για το ρίσκο του δικυκλιστή όταν αποφασίζει αν θα πραγματοποιήσει την προσπέραση και (β) ένα (1) μοντέλο για το ρίσκο του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος την ίδια στιγμή. Η διαδικασία επιλογής δομικών μοντέλων έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια. Τα δομικά μοντέλα με τα καλύτερα αποτελέσματα σε αυτά τα κριτήρια επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση.

Πίνακας 4: Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Στατιστικά	Αποδεκτές τιμές
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) – Saturated	-
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) – Baseline	-
<b>RMSEA</b>	<0.05 close <0.08 good <0.10 reasonable
<b>90% CI Lower Bound</b>	<0.05 close
<b>90% CI Upper Bound</b>	>0.10 poor
<b>SRMR</b>	<0.10 favorable <0.05 good
<b>CFI</b>	>0.90 good fit

Τέλος, για την καλύτερη σύγκριση των απολαβών (payoffs) των δύο Παικτών, έγινε κανονικοποίηση των τιμών των μέσων όρων της επικινδυνότητάς τους. Με την κανονικοποίηση όλες οι τιμές βρίσκονταν εντός του διαστήματος [0,1].

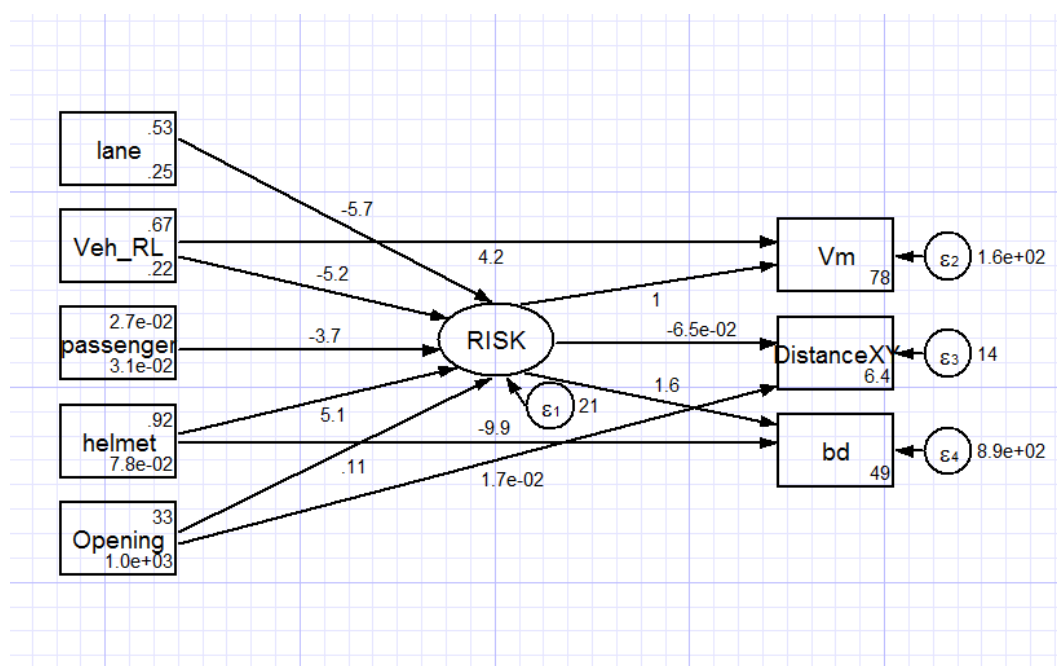
$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

όπου  $X$  είναι η πραγματική τιμή και  $X'$  η κανονικοποιημένη.

## 4.2 Μοντέλα επιρροής της επικινδυνότητας του δικυκλιστή κατά την προσπέραση

### 4.2.1 Πρώτο Δομικό Μοντέλο για τον Δικυκλιστή

Στο Διάγραμμα 5, παρουσιάζεται το Πρώτο Δομικό Μοντέλο το οποίο περιγράφει την επίδραση που έχουν ορισμένες μεταβλητές που ονομάζονται προγνωστικοί παράγοντες στο ρίσκο που παίρνει ο δικυκλιστής τη στιγμή που αποφασίζει να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα. Οι παράγοντες αυτοί, όπως φαίνονται χαρακτηριστικά και στο σχήμα, δεν επιδρούν άμεσα στους τρεις δείκτες Vm, DistanceXY και bd, αλλά έμμεσα μέσω μίας μη μετρήσιμης λανθάνουσας μεταβλητής “risk”. Η λανθάνουσα μεταβλητή αυτή, η οποία δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, στην ουσία εκφράζει την επικινδυνότητα του δικυκλιστή όταν πάρει την απόφαση να προσπεράσει.



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Ροής Πρώτου Δομικού Μοντέλο Δικυκλιστή

Για κάθε 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. Οι δείκτες αυτοί συγκρίνονται με τα κριτήρια αποδοχής του μοντέλου που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι έλεγχοι που γίνονται για το Πρώτο Δομικό Μοντέλο.

Πίνακας 5: Δείκτες καλής προσαρμογής πρώτου δομικού μοντέλου

Fit statistic	Estimated Values	Acceptance Criteria	Accepted?
<b>Likelihood ratio</b>			
chi2_ms(7)	5.701		
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) - Saturated	0.575	-	
chi2_bs(18)	197.963		
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) - Baseline	0.000	-	
<b>Population error</b>			
RMSEA	0.000	<0.05 close <0.08 good <0.10 reasonable	✓
90% CI, lower bound	0.000	<0.05 close	✓
upper bound	0.037	>0.10 poor	✓
pclose	0.993	>0.05	✓
<b>Information criteria</b>			
AIC	30106.381		
BIC	30187.050		
<b>Baseline comparison</b>			
CFI	1.000	>0.90 good fit	✓
TLI	1.019	>0.95	✓
<b>Size of residuals</b>			
SRMR	0.011	<0.10 favorable <0.05 good	✓
CD	0.614	0.0-1.0	✓

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5, γίνεται ο έλεγχος  $\chi^2$  (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  $\chi^2$  του μοντέλου που μόλις έτρεξε είναι 5.701, ενώ του κορεσμένου είναι  $p=0.575$ . Επομένως, το μοντέλο μας ταιριάζει να μεν φτωχότερα από το κορεσμένο, αλλά λόγω 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.

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  $0.037 < 0.10$ , 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 0.00) 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 (0.993) 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 1.000 και 1.019 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 0.011 που δείχνει καλή προσαρμογή του μοντέλου.

Τέλος, ο δείκτης CD ο οποίος έχει τιμή 0.614, είναι κάτι ανάλογο του  $R^2$  για το σύνολο του μοντέλου και μία τιμή κοντά στο 1.0 υποδηλώνει καλή προσαρμογή.

Στον Πίνακα 6, 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 6: Αποτελέσματα ανάλυσης πρώτου δομικού μοντέλου

<u>Πρώτο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων</u>		Αριθμός παρατηρήσεων=850		
Log likelihood= -15036.19 (Vm) RISK=1				
-	<u>Συντελεστής</u>	<u>Std. Err.</u>	<u>z</u>	<u>p &gt;  z </u>
<b>Structural</b>				
<b>RISK&lt;-</b>				
lane	-5.74756	0.89046	-6.450	0.000
Veh_RL	-5.23472	1.57036	-3.330	0.001
passenger	-3.67808	2.23441	-1.650	0.100
helmet	5.11538	1.65496	3.090	0.002
Opening	0.11394	0.01354	8.410	0.000
<b>Vm&lt;-</b>				
RISK	1	(constrained)		
Veh_RL	4.20860	1.77279	2.370	0.018
_cons	77.66768	1.86331	41.680	0.000
<b>DistanceXY&lt;-</b>				
RISK	-0.06518	0.03173	-2.050	0.040
Opening	0.01676	0.00569	2.940	0.003
_cons	6.40407	0.23018	27.820	0.000
<b>bd&lt;-</b>				
RISK	1.59063	0.25616	6.210	0.000
helmet	-9.90969	4.74621	-2.090	0.037
_cons	48.75891	4.09514	11.910	0.000
<b>Διακύμανση</b>				
e.Vm	163.61200	12.12033	141.501	189.179
e.DistanceXY	14.32069	0.70234	13.008	15.766
e.bd	888.21130	49.41105	796.460	990.532
e.RISK	21.44651	9.19457	9.256	49.692
LR test of model vs. saturated: $\chi^2(10) = 5.70$ , Prob > $\chi^2 = 0.5751$				

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι παράγοντες, όπως είναι η λωρίδα που βρίσκεται ο δικυκλιστής (lane), η λωρίδα που βρίσκεται το όχημα 1 (Veh\_RL), το κράνος που φοράει ή όχι ο οδηγός του δίκυκλου (helmet) και το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening) επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δίκυκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλοεπιδρά (DistanceXY), την ταχύτητα του δίκυκλου (Vm) και τη διαγώνια απόσταση που διατηρεί από το όχημα 2 (bd). Αντιθέτως, η ύπαρξη ή όχι συνεπιβάτη στο δίκυκλο (passenger) φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικός παράγοντας.

Η λανθάνουσα μεταβλητή (risk) μπορεί να παρατηρηθεί από τους δείκτες που εκφράζουν την ταχύτητα του δίκυκλου και τις αποστάσεις μπρος και πίσω από το δίκυκλο (Vm, DistanceXY και bd), όπως αυτές ορίστηκαν πιο πάνω. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν οι δείκτες με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι ο Vm

και ο  $bd$  με συντελεστή 1 και 1,59 αντίστοιχα έναντι -0,065 που είναι ο συντελεστής για το δείκτη  $DistanceXY$ . Αυτό σημαίνει ότι η διαγώνια απόσταση από το όχημα 2 ( $bd$ ) και η ταχύτητα του δίκυκλου ( $Vm$ ) είναι πιο επιρρεπείς 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  $passenger$  η οποία δηλώνει την ύπαρξη ή όχι συνεπιβάτη στο δίκυκλο, επηρεάζει αρνητικά την λανθάνουσα μεταβλητή “risk”, αλλά η επίδραση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική ( $0.100 \geq 0.1$ ), οπότε δεν λαμβάνεται υπόψιν στα αποτελέσματα αυτής της έρευνας.

Από τα αποτελέσματα καταλαβαίνουμε ότι η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη θετική επιρροή σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο δομικό μοντέλο είναι το  $helmet$ . Συγκεκριμένα, για αύξηση της μεταβλητής  $helmet$  κατά μία μονάδα αναμένεται αύξηση της λανθάνουσας μεταβλητής “risk” κατά 5,12 και αυτή με τη σειρά της επιδρά στους ανάλογους συντελεστές  $Vm$ ,  $DistanceXY$  και  $bd$ .

Παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη αρνητική επιρροή την έχει η μεταβλητή  $lane$  η οποία αντιπροσωπεύει τη λωρίδα στην οποία βρίσκεται ο δικυκλιστής. Η γραμμική σχέση που συνδέει τη μεταβλητή  $lane$  με τη λανθάνουσα μεταβλητή “risk” μειώνεται αναλογικά κατά 5,75 μονάδες.

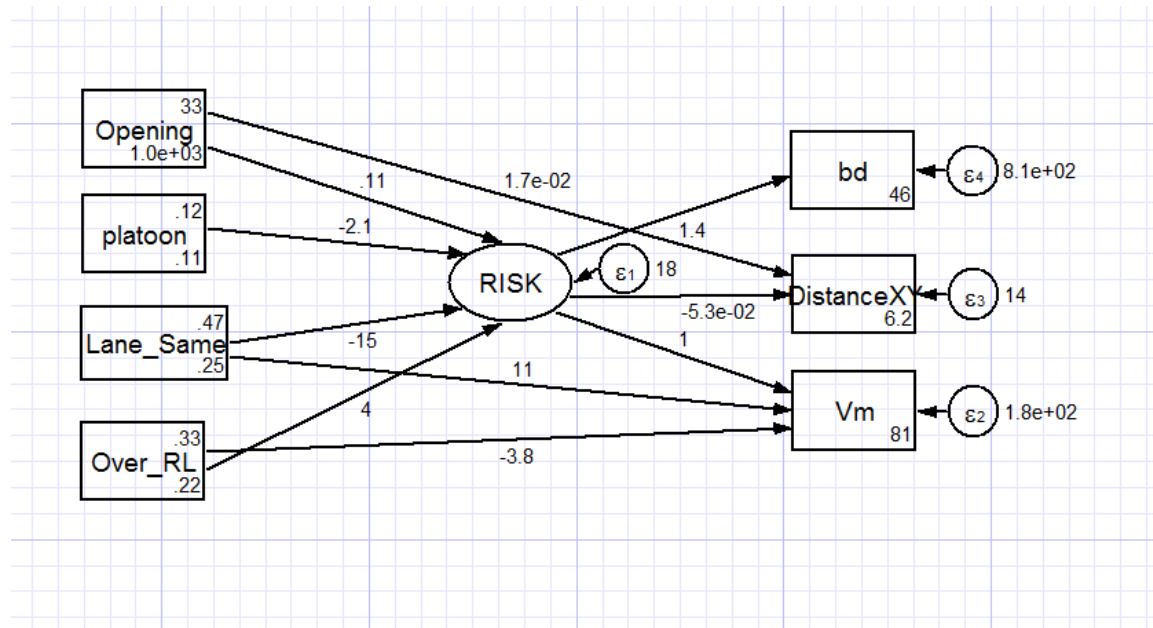
Αξίζει να σημειωθεί ότι και η μεταβλητή  $Veh\_RL$ , που ορίζει τη λωρίδα του οχήματος 1, είναι στατιστικά σημαντική και έχει αρνητική επιρροή. Αύξηση της προσφέρει μείωση στη λανθάνουσα μεταβλητή “risk” και κατ’ επέκταση τις τιμές των  $Vm$ ,  $distancexy$  και  $bd$ .

Το μοντέλο δομικών εξισώσεων – SEM επιτρέπει στον χρήστη να υπολογίσει την αριθμητική τιμή της λανθάνουσας μεταβλητής μέσα από τις δομικές εξισώσεις και τη χρήση της εντολής *Latent endogenous variables (Estimation->Predictions->Latent endogenous variables)*. Οι τιμές που προέκυψαν, αφού κανονικοποιήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν για την τελική διαμόρφωση του *payoff function*.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονισθεί ότι όσο πιο υψηλές οι τιμές της λανθάνουσας μεταβλητής  $Risk$  που υπολογίζονται, τόσο χαμηλότερη είναι η επικινδυνότητα κατά την προσπέραση για τον αντίστοιχο οδηγό. Ως εκ τούτου, στη διαμόρφωση των παιγνίων που θα ακολουθήσουν, η καλύτερη απολαβή για τον οδηγό θα είναι η υψηλότερη.

## 4.2.2 Δεύτερο Δομικό Μοντέλο για τον Δικυκλιστή

Στο Διάγραμμα 6, παρουσιάζεται το Δεύτερο Δομικό Μοντέλο το οποίο περιγράφει την επίδραση που έχουν οι παρακάτω μεταβλητές στο ρίσκο που παίρνει ο δικυκλιστής τη στιγμή που αποφασίζει να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Ροής Δεύτερου Δομικού Μοντέλου Δικυκλιστή

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7, γίνεται ο έλεγχος  $\chi^2$  (chi2) μεταξύ του μοντέλου που μόλις έτρεξε και του κορεσμένου (saturated). Το  $\chi^2$  του μοντέλου που μόλις έτρεξε είναι 1,697, ενώ του κορεσμένου είναι  $p=0.889$ .

Όσον αφορά στην τιμή RMSEA είναι ίση με  $0.00 < 0.08$ , 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  $0.022 < 0.10$ , συνεπώς η προσαρμογή είναι καλή. Η  $pclose$  στο παρόν μοντέλο είναι  $0.998 > 0.05$ .

Οι δείκτες CFI και TLI παίρνουν τις τιμές 1.000 και 1.042 αντίστοιχα οι οποίες είναι πολύ κοντά στη μονάδα.

Ο δείκτης SRMR, η τιμή του οποίου βρέθηκε 0.007, δείχνει καλή προσαρμογή του μοντέλου αφού μια τιμή μηδέν σημαίνει τέλεια εφαρμογή.

Τέλος, ο δείκτης CD με τιμή 0.833 υποδηλώνει και αυτός καλή προσαρμογή.

Πίνακας 7: Δείκτες καλής προσαρμογής δεύτερου δομικού μοντέλου

Fit statistic	Estimated Values	Acceptance Criteria	Accepted?
<b>Likelihood ratio</b>			
chi2_ms(7)	1.697		
χ2 (p> χ2) - Saturated	0.889	-	
chi2_bs(18)	248.358		
χ2 (p> χ2) - Baseline	0.000	-	
<b>Population error</b>			
RMSEA	0.000	<0.05 close <0.08 good <0.10 reasonable	✓
90% CI, lower bound	0.000	<0.05 close	✓
upper bound	0.022	>0.10 poor	✓
pclose	0.998	>0.05	✓
<b>Information criteria</b>			
AIC	30848.404		
BIC	30924.327		
<b>Baseline comparison</b>			
CFI	1.000	>0.90 good fit	✓
TLI	1.042	>0.95	✓
<b>Size of residuals</b>			
SRMR	0.007	<0.10 favorable <0.05 good	✓
CD	0.833	0.0-1.0	✓

Στον Πίνακα 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 εμφανίζεται με την εντολή Estimate όταν έχουμε δημιουργήσει το δομικό μοντέλο.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα ανάλυσης δεύτερου δομικού μοντέλου

<u>Δεύτερο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων</u>		Αριθμός παρατηρήσεων=850			
Log likelihood=-15408.202 (Vm) RISK=1					
<u>Structural</u>		<u>Συντελεστής</u>	<u>Std. Err.</u>	<u>Z</u>	<u>p &gt;  z </u>
<b>RISK&lt;-</b>					
	Lane_Same	-14.92196	4.00505	-3.730	0.000
	Opening	0.10901	0.01516	7.190	0.000
	Over_RL	3.98428	1.72268	2.310	0.021
	platoon	-2.10886	1.26396	-1.670	0.095
<b>Vm&lt;-</b>					
	RISK	1	(constrained)		
	Lane_Same	10.98938	4.17005	2.640	0.008
	Over_RL	-3.80018	1.94527	-1.950	0.051
	_cons	80.72965	0.96147	83.960	0.000
<b>DistanceXY&lt;-</b>					
	RISK	-0.05344	0.02167	-2.470	0.014
	Opening	0.01661	0.00496	3.350	0.001
	_cons	6.16642	0.22577	27.310	0.000
<u>Measurement</u>					
<b>bd&lt;-</b>					
	RISK	1.41443	0.33655	4.200	0.000
	_cons	45.87034	1.96818	23.310	0.000
<u>Διακύμανση</u>					
	e.Vm	175.43720	13.38363	151.073	203.731
	e.DistanceXY	14.25808	0.69469	12.960	15.687
	e.bd	812.97680	44.68213	729.953	905.443
	e.RISK	18.00140	10.36061	5.826	55.617
LR test of model vs. saturated: $\chi^2(10) = 1.70$ , Prob > $\chi^2 = 0.8892$					

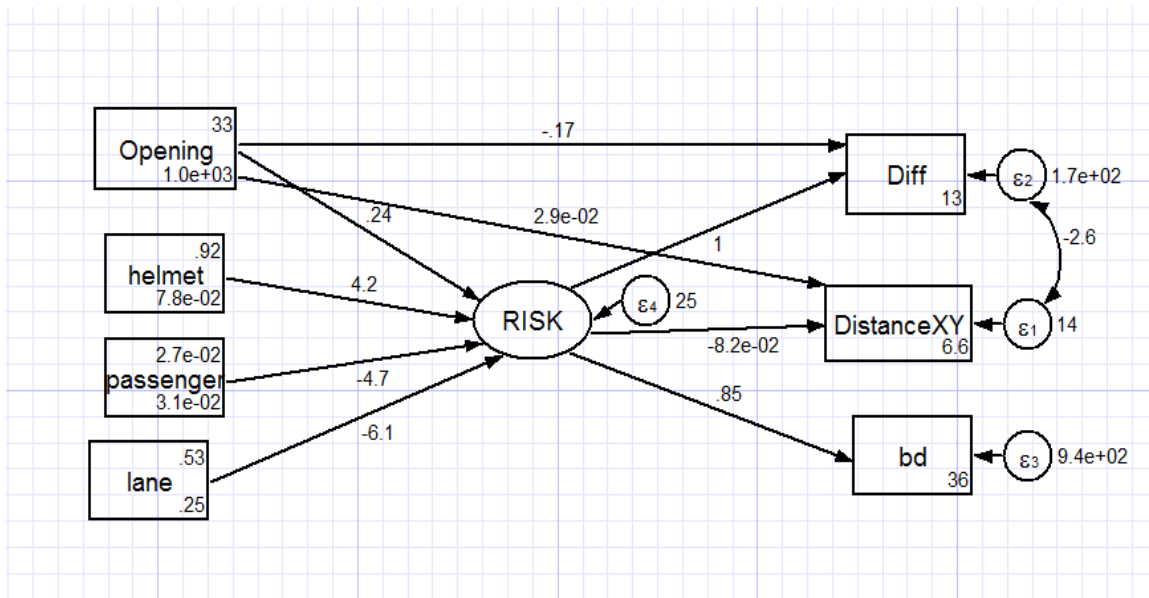
Από τα αποτελέσματα του παρόντος μοντέλου προκύπτει ότι το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening), το αν βρίσκονται τα δύο οχήματα στην ίδια λωρίδα ή όχι (Lane\_Same) και το αν η προσπέραση γίνεται από αριστερά ή από δεξιά (Over\_RL) επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δίκυκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλοεπιδρά (DistanceXY), την ταχύτητα του δίκυκλου (Vm) και τη διαγώνια απόσταση που διατηρεί από το όχημα 2 (bd). Αντιθέτως, η ύπαρξη ή όχι φάλαγγας (platoon) φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικός παράγοντας.

Οι δείκτες με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι η ταχύτητα του δίκυκλου (Vm) και η απόσταση του δίκυκλου με το πίσω όχημα με συντελεστές 1 και 1,41 αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη θετική επιρροή είναι αυτή που αντιπροσωπεύει την πλευρά που έγινε η προσπέραση (Over\_RL). Αντίθετα, τη μεγαλύτερη αρνητική επιρροή την έχει η μεταβλητή που δείχνει αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι (Lane\_Same).

#### 4.2.3 Τρίτο Δομικό Μοντέλο για τον Δικυκλιστή

Στο Διάγραμμα 7, φαίνεται το Τρίτο Δομικό Μοντέλο που σχηματίστηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή κατά την προσπέραση.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Ροής Τρίτου Δομικού Μοντέλου Δικυκλιστή

Πίνακας 9: Δείκτες καλής προσαρμογής τρίτου δομικού μοντέλου

Fit statistic	Estimated Values	Acceptance Criteria	Accepted?
<b>Likelihood ratio</b>			
chi2_ms(7)	4.708		
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) - Saturated	0.452	-	
chi2_bs(18)	144.028		
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) - Baseline	0.000	-	
<b>Population error</b>			
RMSEA	0.000	<0.05 close <0.08 good <0.10 reasonable	✓
90% CI, lower bound	0.000	<0.05 close	✓
upper bound	0.046	>0.10 poor	✓
pclose	0.968	>0.05	✓
<b>Information criteria</b>			
AIC	29023.116		
BIC	29099.040		
<b>Baseline comparison</b>			
CFI	1.000	>0.90 good fit	✓
TLI	1.007	>0.95	✓
<b>Size of residuals</b>			
SRMR	0.012	<0.10 favorable <0.05 good	✓
CD	0.769	0.0-1.0	✓

Ακολούθως, γίνονται οι έλεγχοι για τους δείκτες καλής προσαρμογής και όπως βλέπουμε στον Πίνακα 9, όλοι οι δείκτες είναι εντός ορίων και το μοντέλο μας έχει καλή προσαρμογή.

Παρατηρείται από τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 10, ότι όλες οι μεταβλητές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι στατιστικά σημαντικές για τη γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δίκυκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλοεπιδρά (DistanceXY), την ταχύτητα του δίκυκλου ( $V_m$ ) και τη διαγώνια απόσταση που διατηρεί από το όχημα 2 (bd).

Πίνακας 10: Αποτελέσματα ανάλυσης τρίτου δομικού μοντέλου

<u>Τρίτο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων</u>		Αριθμός παρατηρήσεων=850		
Log likelihood= -14495.558				
(Diff) RISK=1				
	<u>Συντελεστής</u>	<u>Std. Err.</u>	<u>z</u>	<u>p &gt;  z </u>
<b>Structural</b>				
<b>RISK&lt;-</b>				
Opening	0.23887	0.10491	2.280	0.023
helmet	4.16982	1.67199	2.490	0.013
lane	-6.08448	0.94801	-6.420	0.000
passenger	-4.65490	2.53928	-1.830	0.067
<b>DistanceXY&lt;-</b>				
RISK	-0.08229	0.03865	-2.130	0.033
Opening	0.02928	0.01328	2.210	0.027
_cons	6.55995	0.22965	28.560	0.000
<b>Diff&lt;-</b>				
RISK	1	(constrained)		
Opening	-0.17261	0.10622	-1.630	0.104
_cons	13.34503	1.74739	7.640	0.000
<b>Measurement</b>				
<b>bd&lt;-</b>				
RISK	0.84721	0.33041	2.560	0.010
_cons	35.5100	2.04435	17.370	0.000
<b>Διακύμανση</b>				
e.DistanceXY	14.23283	0.73205	12.868	15.742
e.Diff	167.60150	21.26730	130.698	214.926
e.bd	942.14880	47.86446	852.856	1040.791
e.RISK	24.88418	19.74542	5.254	117.854
<b>Συνδιακύμανση</b>				
e.DistanceXY				
e.Diff	-2.60867	2.66979	-0.980	0.329
LR test of model vs. saturated: $\chi^2(10) = 4.71$ , Prob > $\chi^2 = 0.4525$				

Ο δείκτης με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι η διαφορά ταχυτήτων των δύο οχημάτων (Diff).

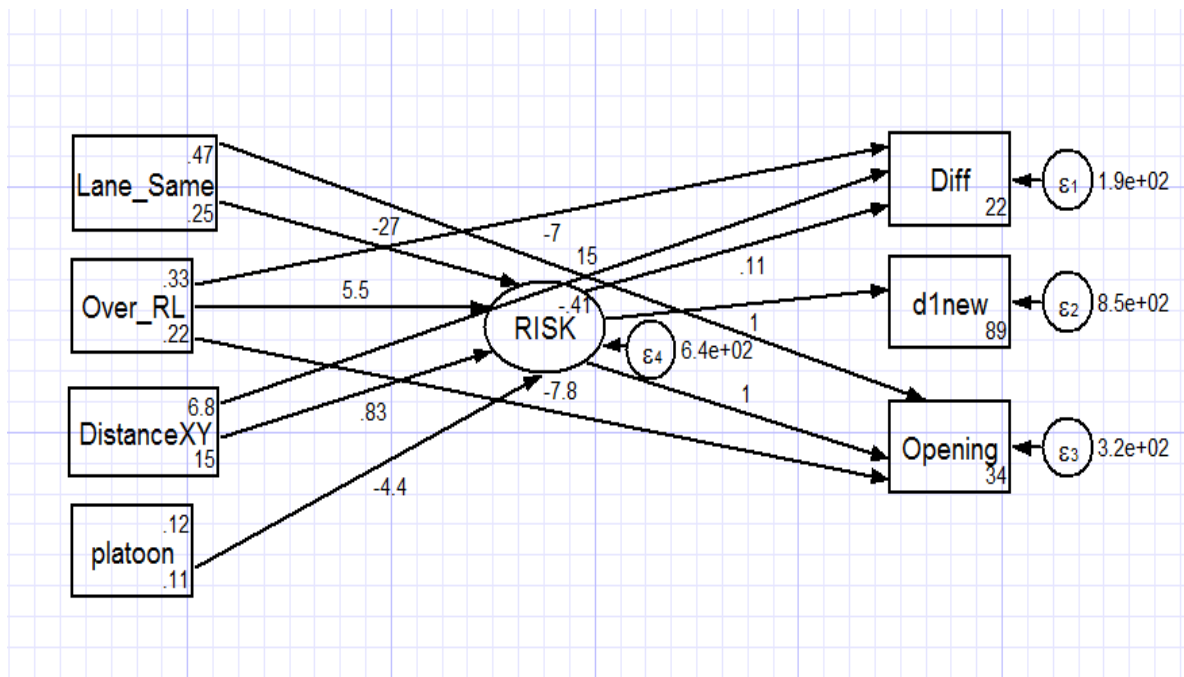
Οι μεταβλητές που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την επικινδυνότητα είναι η λωρίδα που βρίσκεται το όχημα (lane) και το αν ο οδηγός φοράει ή όχι κράνος (helmet). Η πρώτη επηρεάζει αρνητικά ενώ η δεύτερη θετικά.



### 4.3 Μοντέλο επιρροής της επικινδυνότητας του προπορευόμενου οχήματος στην προσπέραση

#### 4.3.1 Δομικό Μοντέλο για το Όχημα 1

Στο Διάγραμμα 8, παρουσιάζεται το Δομικό Μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του οχήματος που προσπερνάται.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα Ροής Δομικού Μοντέλου για το Όχημα 1

Ακολούθως, γίνονται οι έλεγχοι για τους δείκτες καλής προσαρμογής και όπως βλέπουμε στον Πίνακα 11, όλοι οι δείκτες είναι εντός ορίων και το μοντέλο μας έχει καλή προσαρμογή.

Πίνακας 11: Δείκτες καλής προσαρμογής δομικού μοντέλου οχήματος 1

Fit statistic	Estimated Values	Acceptance Criteria	Accepted?
<b>Likelihood ratio</b>			
chi2_ms(7)	5.196		
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) - Saturated	0.268	-	
chi2_bs(18)	526.410		
$\chi^2$ ( $p > \chi^2$ ) - Baseline	0.000	-	
<b>Population error</b>			
RMSEA	0.019	<0.05 close <0.08 good <0.10 reasonable	✓
90% CI, lower bound	0.000	<0.05 close	✓
upper bound	0.058	>0.10 poor	✓
pclose	0.891	>0.05	✓
<b>Information criteria</b>			
AIC	31053.808		
BIC	31134.477		
<b>Baseline comparison</b>			
CFI	0.998	>0.90 good fit	✓
TLI	0.991	>0.95	✓
<b>Size of residuals</b>			
SRMR	0.009	<0.10 favorable <0.05 good	✓
CD	0.396	0.0-1.0	✓

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 12. Όπως βλέπουμε, η γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του αντικειμένου δίκυκλου από το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλεπιδρά (DistanceXY) και το αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι (Lane\_Same) είναι οι μεταβλητές που είναι στατιστικά πιο σημαντικές από όλες.

Οι δείκτες με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι η απόσταση μεταξύ οχήματος 2 και 3 (d1new) και το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening).

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την επικινδυνότητα είναι η μεταβλητή Lane\_Same η οποία επηρεάζει αρνητικά το μοντέλο και η μεταβλητή Over\_RL η οποία επηρεάζει θετικά.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα ανάλυσης δομικού μοντέλου οχήματος 1

<u>Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων Οχήματος 1</u>		Αριθμός παρατηρήσεων=850			
Log likelihood= -15509.904					
(Vm) RISK=1					
		<u>Συντελεστής</u>	<u>Std. Err.</u>	<u>z</u>	<u>p &gt;  z </u>
<u>Structural</u>					
RISK<-					
	Lane_Same	-26.78280	5.78190	-4.630	0.000
	Over_RL	5.54144	2.97884	1.860	0.063
	DistanceXY	0.82980	0.26588	3.120	0.002
	platoon	-4.44533	3.16298	-1.410	0.160
Opening<-					
	RISK	1	(constrained)		
	Lane_Same	15.27592	5.64972	2.700	0.007
	Over_RL	-7.82455	2.66714	-2.930	0.003
	_cons	33.69178	2.44310	13.790	0.000
Diff<-					
	RISK	0.10804	0.02332	4.630	0.000
	Over_RL	-6.99010	1.04108	-6.710	0.000
	DistanceXY	-0.41246	0.12618	-3.270	0.001
	_cons	21.74381	1.08515	20.040	0.000
<u>Measurement</u>					
d1new<-					
	RISK	1.04002	0.20709	5.020	0.000
	_cons	89.22012	2.96258	30.120	0.000
<u>Διακύμανση</u>					
	e.Opening	316.36580	128.56300	142.654	701.611
	e.Diff	190.75950	9.37399	173.244	210.046
	e.d1new	853.98320	143.96470	613.696	1188.352
	e.RISK	638.69450	135.52300	421.385	968.072
LR test of model vs. saturated: $\chi^2(10) = 5.20$ , Prob > $\chi^2 = 0.2677$					

#### 4.4 Ανάλυση Επικινδυνότητας

Για μία συνοπτική παρουσίαση των επικινδυνοτήτων των οδηγών, όπως αυτές προέκυψαν από τα παραπάνω δομικά μοντέλα εξισώσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι πινακοποίησης και γραφικής παρουσίασής τους.

##### 4.4.1 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο 1 του Δικυκλιστή

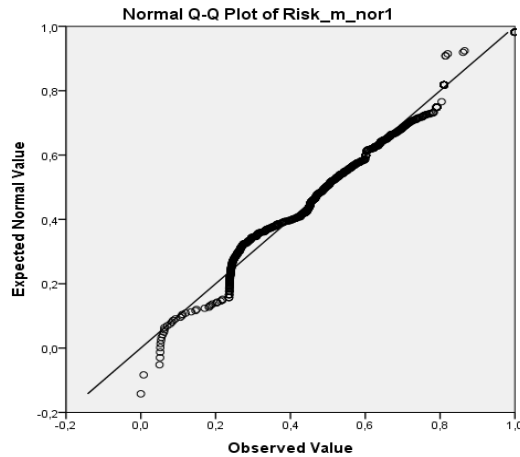
Βασικός σκοπός της περιγραφικής στατιστικής είναι η παρουσίαση των τιμών του δείγματος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να γίνει μια πρώτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Στον Πίνακα 13, παρουσιάζονται στοιχεία όπως η μέση τιμή (mean), η μέγιστη (maximum) και ελάχιστη (minimum) τιμή, η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) και η διακύμανση (Variance) της επικινδυνότητας του δικυκλιστή.

*Πίνακας 13: Περιγραφική στατιστική πρώτου δομικού μοντέλου*

	N	Εύρος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση
Risk_m_nor1	850	1,00	0,00	1,00	0,5075 (0,007)	0,2043	0,042
Valid N (listwise)	850						

Από το Διάγραμμα 9, συμπεραίνεται ότι η επικινδυνότητα του δικυκλιστή, η οποία προέκυψε από το Πρώτο Δομικό Μοντέλο, ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η γραμμικότητα των σημείων υποδεικνύει ότι τα δεδομένα είναι κανονικά κατανομημένα. Ο γραφικός έλεγχος γίνεται με το γράφημα Normal Q-Q Plot καθώς και με και το Detrended Normal Q-Q Plot.

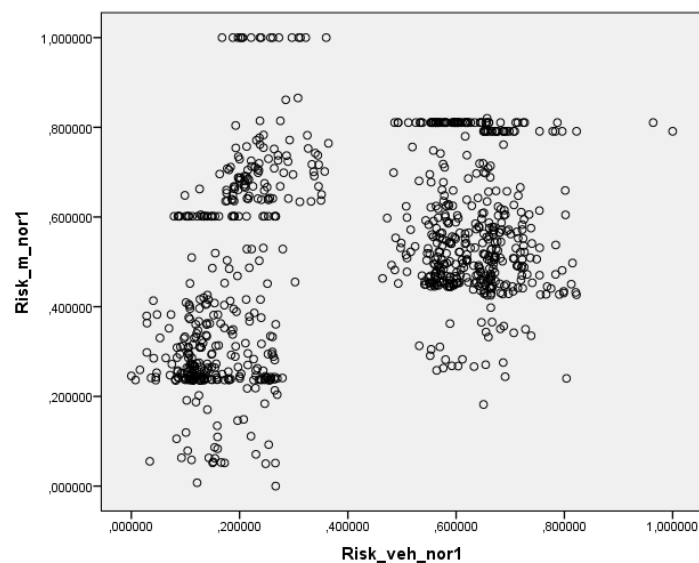
Στον άξονα των x στο παρακάτω διάγραμμα βρίσκονται οι παρατηρούμενες τιμές της επικινδυνότητας του δικυκλιστή και στον άξονα των y βρίσκονται οι αναμενόμενες τιμές της. Σε μια ιδανική κατάσταση για την κανονικότητα, όλα τα σημεία θα βρίσκονται πάνω στην διχοτόμο των αξόνων. Αυτό όμως είναι σχεδόν απίθανο, οπότε μας ενδιαφέρει τα σημεία να βρίσκονται πολύ κοντά στην διχοτόμο των αξόνων. Σε μια τέτοια περίπτωση θεωρείται ότι το δείγμα ακολουθεί προσεγγιστικά την κανονική κατανομή. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι το δείγμα προέρχεται από πληθυσμό που ακολουθεί την κανονική κατανομή.



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα Q-Q

Η παράσταση των σημείων όπως φαίνονται στο Διάγραμμα 9, καλείται διάγραμμα διασποράς (scatter diagram, scatter plot) και δίνει σημαντικές πληροφορίες για τη σχέση εξάρτησης που ενδεχομένως υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών οι οποίες εξετάζονται. Τα διαγράμματα διασποράς αποτελούν το γραφικό τρόπο αναζήτησης σχέσεων μεταξύ μεταβλητών. Περιγράφουν τη δυσδιάστατη κατανομή δύο ποσοτικών μεταβλητών. Κάθε σημείο απεικονίζει ένα ζευγάρι τιμών των υπό εξέταση μεταβλητών (συσχέτιση μεταβλητών). Εντοπίζονται εύκολα συσχετίσεις και ακραίες τιμές. Αν οι μεταβλητές είναι συσχετισμένες τότε τα σημεία ακολουθούν την πορεία μιας γραμμής ή καμπύλης. Όσο πιο έντονη είναι η συσχέτιση τόσο πιο πολύ τα σημεία “αγκαλιάζουν” τη γραμμή.

Στο Διάγραμμα 10, παρατηρείται ότι η επικινδυνότητα του οδηγού του δικύκλου και η επικινδυνότητα του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος δεν είναι γραμμικά συσχετισμένες.



Διάγραμμα 10: Επιρροή επικινδυνότητας δυκυκλιστή και οδηγού προπορευόμενου οχήματος

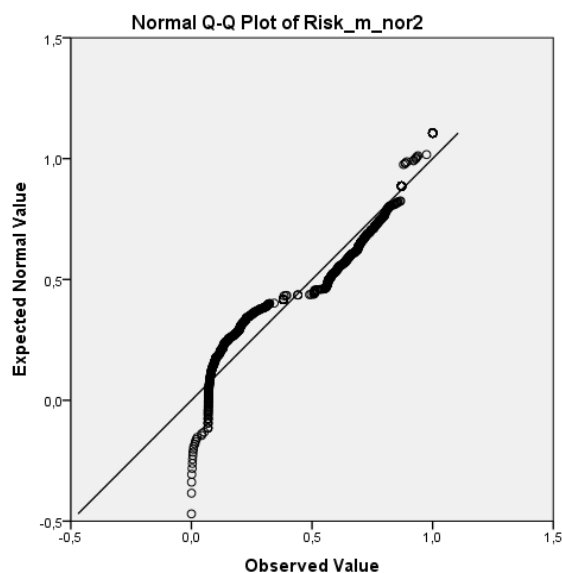
#### 4.4.2 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο 2 του Δικυκλιστή

Στον Πίνακα 14, παρουσιάζονται στοιχεία όπως η μέση τιμή (mean), η μέγιστη (maximum) και ελάχιστη (minimum) τιμή, η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) και η διακύμανση (Variance) της επικινδυνότητας του δικυκλιστή.

Πίνακας 14: Περιγραφική στατιστική δεύτερου δομικού μοντέλου

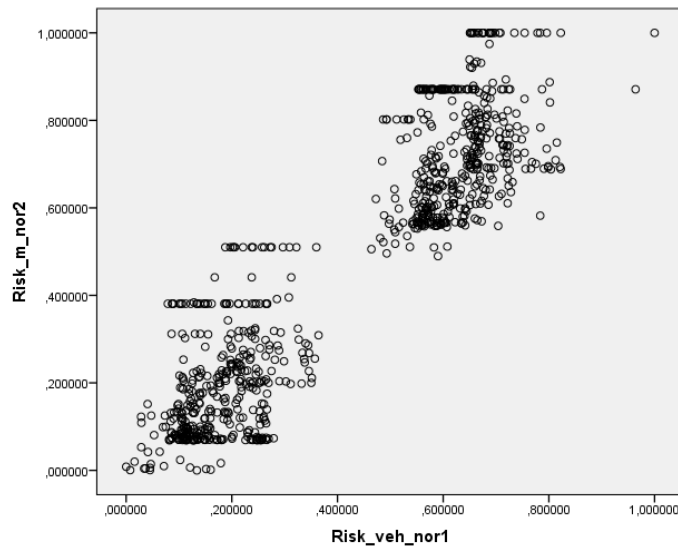
	N	Εύρος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση
Risk_m_nor2	850	1,00	0,00	1,00	0,4738 (0,0101)	0,2966	0,088
Valid N (listwise)	850						

Από το Διάγραμμα 11, συμπεραίνεται ότι η επικινδυνότητα του δικυκλιστή, η οποία προέκυψε από το Δεύτερο Δομικό Μοντέλο, δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η γραμμικότητα των σημείων υποδεικνύει ότι τα δεδομένα δεν είναι κανονικά κατανομημένα. Παρατηρείται επίσης, ότι τα σημεία είναι τυχαία κατανομημένα γύρω από το άξονα που διέρχεται από το μηδέν στο διάγραμμα Detrended Normal Q-Q Plot και επομένως δεν έχουμε πρόβλημα κανονικότητας.



Διάγραμμα 11: Κατανομή επικινδυνότητας δεύτερου δομικού μοντέλου

Στο Διάγραμμα 12, παρατηρείται ότι η επικινδυνότητα του οδηγού του δικύκλου και η επικινδυνότητα του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος δεν είναι συσχετισμένες.



Διάγραμμα 12: Επιρροή επικινδυνότητας δικυκλιστή και οδηγού προπορευόμενου οχήματος

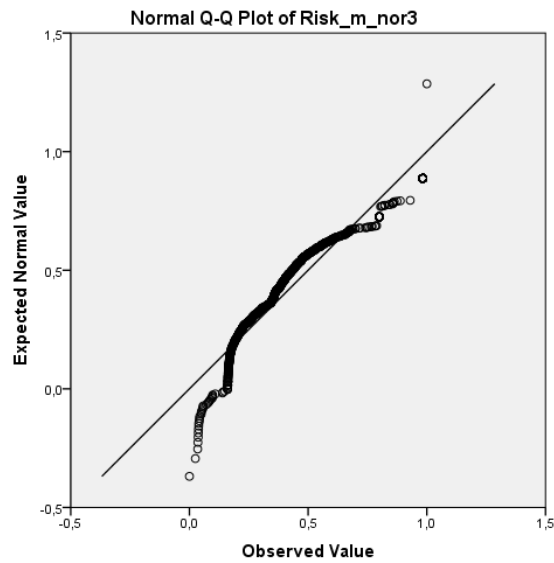
#### 4.4.3 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο 3 του Δικυκλιστή

Στον Πίνακα 15, παρουσιάζονται στοιχεία όπως η μέση τιμή (mean), η μέγιστη (maximum) και ελάχιστη (minimum) τιμή, η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) και η διακύμανση (Variance) της επικινδυνότητας του δικυκλιστή.

Πίνακας 15: Περιγραφική στατιστική τρίτου δομικού μοντέλου

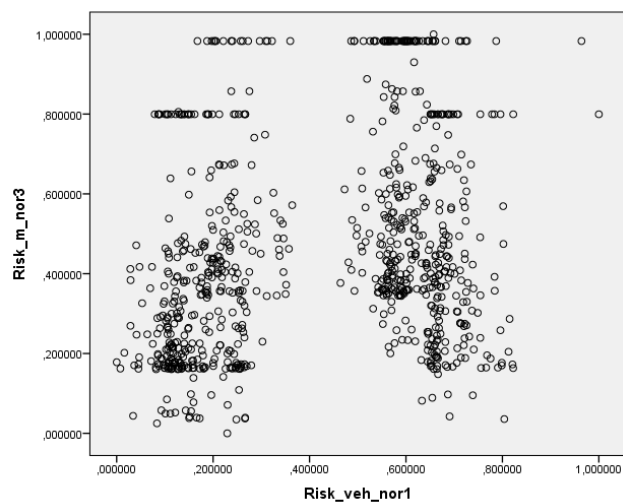
	N	Εύρος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση
Risk_m_nor3	850	1,00	0,00	1,00	0,4585 (0,0089)	0,2601	0,068
Valid N (listwise)	850						

Από το Διάγραμμα 13, συμπεραίνεται ότι η επικινδυνότητα του δικυκλιστή, η οποία προέκυψε από το Δεύτερο Δομικό Μοντέλο, δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η γραμμικότητα των σημείων υποδεικνύει ότι τα δεδομένα δεν είναι κανονικά κατανομημένα. Παρατηρείται επίσης, ότι τα σημεία είναι τυχαία κατανομημένα γύρω από το άξονα που διέρχεται από το μηδέν στο διάγραμμα Detrended Normal Q-Q Plot και επομένως δεν έχουμε πρόβλημα κανονικότητας.



Διάγραμμα 13: Κατανομή επικινδυνότητας τρίτου δόμικου μοντέλου

Στο Διάγραμμα 14, παρατηρείται ότι η επικινδυνότητα του οδηγού του δικύκλου και η επικινδυνότητα του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος δεν είναι συσχετισμένες.



Διάγραμμα 14: Επιρροή επικινδυνότητας δυκυκλιστή και οδηγού προπορευόμενου οχήματος



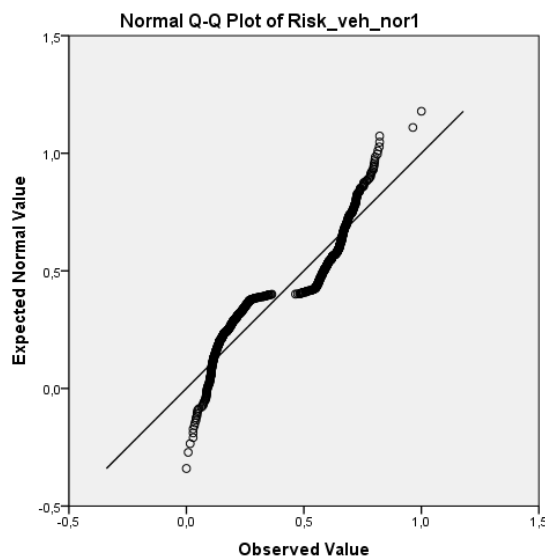
#### 4.4.4 Περιγραφική Στατιστική για το Δομικό Μοντέλο του Προπορευόμενου Οχήματος

Στον Πίνακα 16, παρουσιάζονται στοιχεία όπως η μέση τιμή (mean), η μέγιστη (maximum) και ελάχιστη (minimum) τιμή, η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) και η διακύμανση (Variance) της επικινδυνότητας του δικυκλιστή.

Πίνακας 16: Περιγραφική στατιστική δομικού μοντέλου για το όχημα

	N	Εύρος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση
Risk_veh_nor1	850	1,00	0,00	1,00	0,4190 (0,0082)	0,2388	0,057
Valid N (listwise)	850						

Από το Διάγραμμα 15, συμπεραίνεται ότι η επικινδυνότητα του δικυκλιστή, η οποία προέκυψε από το Δεύτερο Δομικό Μοντέλο, δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η γραμμικότητα των σημείων υποδεικνύει ότι τα δεδομένα δεν είναι κανονικά κατανομημένα. Παρατηρείται επίσης, ότι τα σημεία είναι τυχαία κατανομημένα γύρω από το άξονα που διέρχεται από το μηδέν στο διάγραμμα Detrended Normal Q-Q Plot και επομένως δεν έχουμε πρόβλημα κανονικότητας.

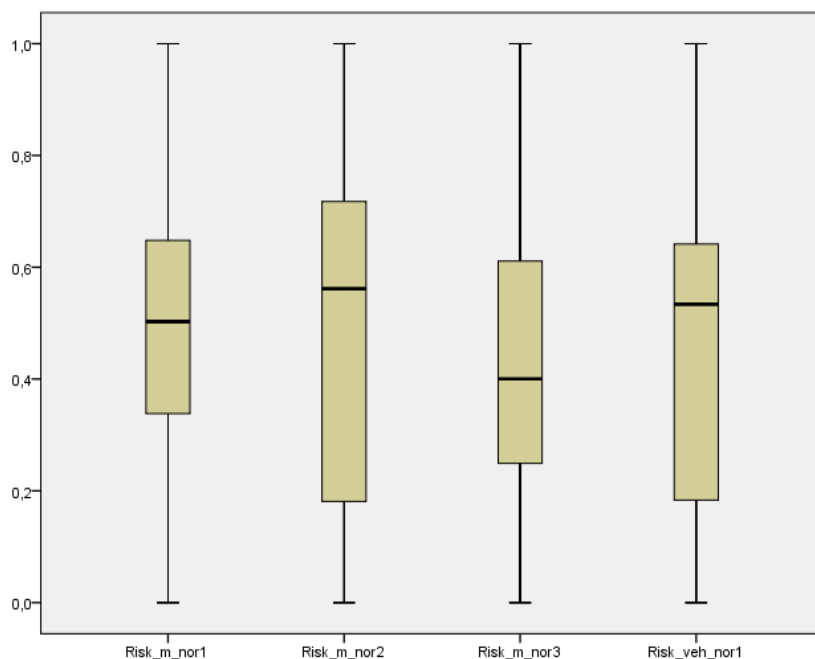


Διάγραμμα 15: Κατανομή επικινδυνότητας δόμικου μοντέλου προπορευόμενου οχήματος

Στην περιγραφική στατιστική, το διάγραμμα πλαισίου-απολήξεων (box plot) είναι ένας βολικός τρόπος για γραφική απεικόνιση ομάδων αριθμητικών δεδομένων. Περιλαμβάνει περιληπτικά την κατανομή των ποσοτικών μεταβλητών.

Κάθε πλαίσιο-κουτί απεικονίζει το 1ο τεταρτημόριο, την διάμεσο και το 3ο τεταρτημόριο. Οι απολήξεις υποδεικνύουν τα όρια των ακραίων τιμών. Οι τιμές εκτός των φραγμάτων των απολήξεων θεωρούνται ακραίες.

Στο Διάγραμμα 16 φαίνονται τα διαγράμματα πλαισίου των τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων επικινδυνότητας που προαναφέρθηκαν.



Διάγραμμα 16: Σύγκριση κατανομών όλων των επικινδυνότητων.

#### 4.5 Εξαγωγή του πίνακα απολαβής των δύο Παικτών

Τα προτεινόμενα παίγνια που αναφέρονται παρακάτω αποτελούνται από δύο παίκτες: Παίκτης 1 είναι ο οδηγός του δικύκλου και Παίκτης 2 ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος.

Και οι δύο παίκτες έχουν την επιλογή να είναι είτε συνεργάσιμοι είτε μη συνεργάσιμοι. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας ο Παίκτης 1 είναι μη συνεργάσιμος (NC) όταν η απόσταση μεταξύ του οχήματός του και του οχήματος του Παίκτη 2 είναι μικρότερη από 5 μέτρα ενώ ο Παίκτης 2 είναι μη συνεργάσιμος (NC) όταν αφήνει άνοιγμα μικρότερο των 12 μέτρων από το μπροστινό όχημα για να ολοκληρώσει ο δικυκλιστής την προσπέραση. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρούνται συνεργάσιμοι (C).

Οι απολαβές του παιγνίου για κάθε παίκτη υπολογίζονται ως ο μέσος της επικινδυνότητας των δύο οδηγών ανάλογα με τη στρατηγική που επέλεξαν.

## 4.5.1 Πρώτο Παίγνιο

Ο πρώτος συνδυασμός αποτελείται από το πρώτο δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή και από το δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του οδηγού του οχήματος 1.

Στον Πίνακα 17, παρουσιάζονται οι απολαβές (payoffs) των δύο παικτών. Παρατηρείται ότι για τις προσπεράσεις όπου και οι δύο οδηγοί είναι μη συνεργάσιμοι (NC, NC), ο μέσος όρος της επικινδυνότητας του Παίκτη 1 και του Παίκτη 2 είναι 0,38 και 0,32 αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι όταν οι δύο οδηγοί επιλέγουν να μη συνεργαστούν τότε ο μέσος όρος της επικινδυνότητας για τον οδηγό του δικύκλου είναι 0,38 ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος είναι 0,32. Όσο υψηλότερες είναι οι τιμές των μέσων όρων τόσο καλύτερες απολαβές έχει ο κάθε παίκτης. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι η επικινδυνότητα είναι μεγαλύτερη σ' αυτή την περίπτωση.

Πίνακας 17: Απολαβές πρώτου παιχνιδιού

		Παίκτης 2	
		NC	C
Παίκτης 1	NC	0,38 0,32	0,58 0,43
	C	0,36 0,39	0,59 0,46

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον Παίκτη 2, υπάρχει αποκλειστικά κυρίαρχη στρατηγική αφού η απολαβή όταν είναι συνεργάσιμος είναι πάντα μεγαλύτερη ( $0,43 > 0,32$  και  $0,46 > 0,39$ ). Αφού ο ορθολογισμός επιβάλλεται στο παιχνίδι, ο Παίκτης 2 θα πρέπει να είναι πάντα συνεργάσιμος ενώ ο Παίκτης 1 πρέπει να επιλέξει αν θα είναι συνεργάσιμος ή μη, έχοντας απολαβές 0,59 ή 0,58 αντίστοιχα. Αφού και ο Παίκτης 1 είναι ορθολογικός, η κυρίαρχη στρατηγική γι' αυτόν είναι να επιλέξει τη συνεργασία. Στον Πίνακα 18, φαίνεται η τελική μορφή του παιχνιδιού, με την περίπτωση όπου και οι δύο παίκτες είναι συνεργάσιμοι να ακολουθεί την ισορροπία Nash. Συγκεκριμένα, όταν οι δύο οδηγοί επιλέγουν να συνεργαστούν τότε ο μέσος όρος της επικινδυνότητας για τον οδηγό του δικύκλου είναι 0,59 ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος είναι 0,46.

Πίνακας 18: Τελικές απολαβές παιχνιδιού

		Παίκτης 2	
		NC	C
Παίκτης 1	NC	0,38 0,32	0,58 0,43
	C	0,36 0,39	0,59 0,46

Σε μία κατάσταση όπου ο δικυκλιστής θα πρέπει να λάβει υπόψιν του παράγοντες όπως η λωρίδα που βρίσκεται ο δικυκλιστής (lane), η λωρίδα που βρίσκεται το όχημα 1 (Veh\_RL), το κράνος που φοράει ή όχι ο οδηγός του δίκυκλου (helmet), το αν υπάρχει συνεπιβάτης ή όχι (passenger) και το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening) είναι καλύτερα για τον ίδιο να είναι συνεργάσιμος.

#### 4.5.2 Δεύτερο Παίγνιο

Ο δεύτερος συνδυασμός αποτελείται από το δεύτερο δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή και από το δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του οδηγού του οχήματος 1.

Στον Πίνακα 19, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των απολαβών για τους δύο παίκτες του δεύτερου παιχνιδιού. Και σ' αυτό το παιχνίδι υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική για τον Παίκτη 2 αφού η απολαβή όταν είναι συνεργάσιμος είναι πάντα μεγαλύτερη ( $0,43 > 0,32$  και  $0,46 > 0,39$ ). Αφού ο ορθολογισμός εξακολουθεί να επιβάλλεται στο παιχνίδι, ο Παίκτης 2 θα πρέπει να είναι πάντα συνεργάσιμος ενώ ο Παίκτης 1 πρέπει να επιλέξει αν θα είναι συνεργάσιμος ή μη, έχοντας απολαβές 0,55 ή 0,58 αντίστοιχα.

Πίνακας 19: Απολαβές δεύτερου παιχνιδιού

		Παίκτης 2	
		NC	C
Παίκτης 1	NC	0,33 0,32	0,58 0,43
	C	0,31 0,39	0,55 0,46

Σε αυτή την περίπτωση, για τον Παίκτη 1 η κυρίαρχη στρατηγική είναι να επιλέξει τη μη συνεργασία. Στον Πίνακα 20, φαίνεται η τελική μορφή του παιχνιδιού, με την περίπτωση όπου ο οδηγός του δίκυκλου είναι μη συνεργάσιμος και ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος είναι, να ακολουθεί την ισορροπία Nash. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος της επικινδυνότητας για τον οδηγό του δίκυκλου είναι 0,58 ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος είναι 0,43.

Πίνακας 20: Τελικές απολαβές παιχνιδιού

		Παίκτης 2	
		NC	C
Παίκτης 1	NC	0,33 0,32	0,58 0,43
	C	0,31 0,39	0,55 0,46

Σ' αυτό το σημείο σκόπιμο είναι να αναλυθεί το γεγονός ότι η καλύτερη στρατηγική για τον δικυκλιστή είναι να μην είναι συνεργάσιμος σε αντίθεση με τα υπόλοιπα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή ύπαρξης φάλαγγας ή όχι (platoon) η οποία εξηγεί σε μεγάλο βαθμό αυτό το αποτέλεσμα. Αρχικά, με την ύπαρξη φάλαγγας μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος που έχει να κινηθεί με άνεση ο δικυκλιστής, όπως αποδεικνύεται από την εργασία της κ. Καταχανάκη. Ως εκ τούτου, και η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα (DistanceXY) θα είναι μικρότερη οπότε σύμφωνα με τον ορισμό του παιγνίου, ο δικυκλιστής αναγκάζεται να ακολουθήσει μία μη συνεργάσιμη συμπεριφορά.

Επιπλέον, η ίδια στρατηγική παρουσιάζεται ως βέλτιστη στην περίπτωση ύπαρξης φάλαγγας αφού δημιουργεί «πίεση» στο εξεταζόμενο δίκυκλο για να εκτελέσει προσπέραση. Αυτό σημαίνει ότι ο εξεταζόμενος δικυκλιστής επιλέγει την απόφασή του ως αρχηγός της φάλαγγας, και όχι μόνο σαν αυτόνομος παίκτης, δηλαδή την προσπέραση των υπόλοιπων οχημάτων για να συνεχιστεί η ροή της φάλαγγας.

#### 4.5.3 Τρίτο Παιγνίο

Ο τρίτος συνδυασμός αποτελείται από το τρίτο δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή και από το δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του οδηγού του οχήματος 1.

Στον Πίνακα 21, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των απολαβών για τους δύο παίκτες. Εξακολουθεί να υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική για τον Παίκτη 2 αφού η απολαβή όταν είναι συνεργάσιμος είναι πάντα μεγαλύτερη ( $0,43 > 0,32$  και  $0,46 > 0,39$ ). Αφού ο ορθολογισμός εξακολουθεί να επιβάλλεται στο παίγνιο, ο Παίκτης 2 θα πρέπει να είναι πάντα συνεργάσιμος ενώ ο Παίκτης 1 πρέπει να επιλέξει αν θα είναι συνεργάσιμος ή μη, έχοντας απολαβές 0,59 ή 0,56 αντίστοιχα.

Πίνακας 21: Απολαβές τρίτου παιγνίου

		Παίκτης 2	
		NC	C
Παίκτης 1	NC	0,26 0,32	0,56 0,43
	C	0,23 0,39	0,59 0,46

Στη συγκεκριμένη περίπτωση για τον Παίκτη 1 η κυρίαρχη στρατηγική είναι να επιλέξει τη συνεργασία. Στον Πίνακα 22, φαίνεται η τελική μορφή του παιγνίου, με την περίπτωση όπου και οι δύο παίκτες είναι συνεργάσιμοι να ακολουθεί την

ισορροπία Nash. Συγκεκριμένα, τότε ο μέσος όρος της επικινδυνότητας για τον οδηγό του δικύκλου είναι 0,59 ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος είναι 0,46.

Πίνακας 22: Τελικές απολαβές παιγνίου

		Παίκτης 2	
		NC	C
Παίκτης 1	NC	0,26 0,32	0,56 0,43
	C	0,23 0,39	0,59 0,46

Τα αποτελέσματα αυτού του παιγνίου συγκλίνουν με τα αποτελέσματα του πρώτου παιγνίου. Παρατηρείται ότι ο δικυκλιστής δεν αντιλαμβάνεται το ρίσκο του με βάση τη λωρίδα που βρίσκεται αλλά με το αν βρίσκεται στην ίδια λωρίδα ή όχι με το όχημα 1. Επίσης, σε μία κατάσταση όπου ο δικυκλιστής θα πρέπει να λάβει υπόψιν του παράγοντες όπως η λωρίδα που βρίσκεται (lane), το κράνος που φοράει ή όχι ο οδηγός του δικύκλου (helmet), το αν υπάρχει συνεπιβάτης ή όχι (passenger) και το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening) είναι καλύτερα για τον ίδιο να είναι συνεργάσιμος.

## 5. Συμπεράσματα και Προτάσεις

### 5.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να προσδιοριστεί η επικινδυνότητα (risk) κατά το φαινόμενο της προσπέρασης όταν σ' αυτήν εμπλέκονται δίκυκλα καθώς και η εφαρμογή της στη Θεωρία των Παιγνίων (Game Theory).

Το φαινόμενο της προσπέρασης με δίκυκλο διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από το συνήθη που εκτελούν τα υπόλοιπα οχήματα (ΙΧ, φορτηγά, κτλ) αφού διαφέρουν ως προς τον όγκο και πιο σημαντικά στο πλάτος τους. Συγκεκριμένα, οι λωρίδες κυκλοφορίας των οχημάτων έχουν διαμορφωθεί ως προς το πλάτος των μεγαλύτερων οχημάτων από τις μοτοσυκλέτες. Βάσει του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ), οι μοτοσυκλέτες οφείλουν να συμμορφώνονται στους ίδιους κανόνες με τα υπόλοιπα οχήματα, παρ' όλα αυτά λόγω του μικρού τους πλάτους μπορεί να ακολουθήσουν διαφορετικές τροχιές από τις «προκαθορισμένες» που θα εκτελούσε ένα ΙΧ.

Οι μοτοσυκλετιστές κάνουν ελιγμούς γιατί είτε επιθυμούν να βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση όταν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, είτε για να μη οδηγούν πίσω από φορτηγό με μειωμένη ορατότητα, είτε γιατί προετοιμάζονται για κάποια στροφή. Επίσης, πραγματοποιούν μανούβρες στην προσπάθειά τους να αποφύγουν ένα εμπόδιο, όπως για παράδειγμα πεζούς. Ωστόσο, βασική αιτία είναι και η επιθυμία των μοτοσυκλετιστών να κινηθούν γρηγορότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα που κινούνται στην οδό.

Η συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για αρκετούς λόγους. Καταρχήν, από κυκλοφοριακής άποψης η προσπέραση των μοτοσυκλετών αποτελεί καθημερινό φαινόμενο που παρατηρείται συχνά. Ειδικά σε πόλεις όπως η Αθήνα που η συμφόρηση είναι καθημερινή η χρήση μοτοσυκλετών είναι ευρέως διαδεδομένη, η αλληλεπίδραση με άλλα οχήματα κάνει τους μοτοσυκλετιστές να επιλέγουν με διάφορους τρόπους την προσπέραση των προπορευόμενων οχημάτων. Είναι αρκετά σημαντικό λοιπόν, να προσδιοριστεί η επικινδυνότητα των οδηγών κατά την προσπέραση ώστε να διαπιστωθούν οι παράγοντες που τους επηρεάζουν στις αποφάσεις τους.

### 5.2 Μεθοδολογία και Συμπεράσματα Στατιστικής Ανάλυσης

Η διερεύνηση του φαινομένου βασίστηκε σε πραγματικές μετρήσεις που είχαν συλλεχθεί για προηγούμενες διπλωματικές εργασίες με τη χρήση βίντεο. Η βάση δεδομένων που προέκυψε από τη συλλογή των μετρήσεων, επεξεργάστηκε

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 μοτοσικλετιστή και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα δίνοντας μία συνολική εικόνα μεταξύ των σχέσεων των μεταβλητών του μοντέλου. Στην έρευνα αυτή δημιουργήθηκαν τρία (3) δομικά μοντέλα για την επικινδυνότητα του δικυκλιστή και ένα (1) δομικό μοντέλο για τον οδηγό του οχήματος 1.

Από το πρώτο δομικό μοντέλο προέκυψε ότι παράγοντες, όπως είναι η λωρίδα που βρίσκεται ο δικυκλιστής (lane), η λωρίδα που βρίσκεται το όχημα 1 (Veh\_RL), το κράνος που φοράει ή όχι ο οδηγός του δίκυκλου (helmet) και το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening) επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό την απόσταση του δίκυκλου από το όχημα 1 (DistanceXY), την ταχύτητα του δίκυκλου (Vm) και τη διαγώνια απόσταση που διατηρεί από το όχημα 2 (bd).

Από το δεύτερο δομικό μοντέλο προέκυψε ότι η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη θετική επιρροή είναι αυτή που αντιπροσωπεύει την πλευρά που έγινε η προσπέραση (Over\_RL) ενώ τη μεγαλύτερη αρνητική επιρροή την έχει η μεταβλητή που δείχνει αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι (Lane\_Same).

Για το τρίτο μοντέλο, ο δείκτης με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι η διαφορά ταχυτήτων των δύο οχημάτων (Diff) ενώ οι μεταβλητές που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την επικινδυνότητα είναι η λωρίδα που βρίσκεται το όχημα (lane) και το αν ο οδηγός φοράει ή όχι κράνος (helmet).

Τέλος, για το δομικό μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον οδηγό του οχήματος 1, παρατηρήθηκε ότι η απόσταση του δίκυκλου από το όχημα 1 (DistanceXY) και το αν τα δύο οχήματα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι (Lane\_Same) είναι οι μεταβλητές που είναι στατιστικά σημαντικές. Οι δείκτες με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι η απόσταση μεταξύ οχήματος 2 και 3 (d1new) και το «άνοιγμα» που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα (opening).

Η επικινδυνότητα που υπολογίστηκε από τα δομικά μοντέλα, θεωρείται ως η απολαβή των οδηγών στο παίγνιο που διαμορφώνεται κατά την προσπέραση την οποία και σκοπεύουν να ελαχιστοποιήσουν.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τρία (3) παίγνια που είχαν ως Παίκτη 1 τον δικυκλιστή και ως Παίκτη 2 τον οδηγό του οχήματος 1.

Στο πρώτο και στο τρίτο παίγνιο παρατηρήθηκε ότι σε μία κατάσταση όπου ο δικυκλιστής θα πρέπει να λάβει υπόψιν του παράγοντες των αντίστοιχων δομικών



μοντέλων είναι καλύτερα για τον ίδιο να είναι συνεργάσιμος ώστε να έχει καλύτερη απολαβή και μικρότερο ρίσκο. Το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι ο δικυκλιστής δεν αντιλαμβάνεται το ρίσκο του με βάση τη λωρίδα που βρίσκεται αλλά με το αν βρίσκεται στην ίδια λωρίδα ή όχι με το όχημα 1.

Αντίθετα, στο δεύτερο παίγνιο ο δικυκλιστής για να έχει καλύτερη απολαβή πρέπει να είναι μη συνεργάσιμος. Αυτό συμβαίνει γιατί στο συγκεκριμένο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας του δικυκλιστή χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή ύπαρξης φάλαγγας ή όχι (platoon). Με την ύπαρξη φάλαγγας μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος που έχει να κινηθεί με άνεση ο δικυκλιστής, όπως αποδεικνύεται από την εργασία της κ. Καταχανάκη [3]. Ως εκ τούτου, και η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα (DistanceXY) θα είναι μικρότερη οπότε σύμφωνα με τον ορισμό του παιγνίου, ο δικυκλιστής αναγκάζεται να ακολουθήσει μία μη συνεργάσιμη συμπεριφορά. Επιπλέον, η ίδια στρατηγική παρουσιάζεται ως βέλτιστη στην περίπτωση ύπαρξης φάλαγγας αφού δημιουργεί «πίεση» στο εξεταζόμενο δίκυκλο για να εκτελέσει προσπέραση.

### 5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

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. Με αυτό τον τρόπο, ο σχολιασμός και η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα μπορούσε να εξάγει ακόμη περισσότερα συμπεράσματα.

Επιπλέον, θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί πως επηρεάζονται οι αποφάσεις για προσπέραση 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.

Ωστόσο, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν νέες μετρήσεις και να δημιουργηθεί νέα βάση δεδομένων η οποία θα συμπεριελάμβανε μεταβλητές όπως οι καιρικές συνθήκες, η ηλικία, το φύλο, το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η προσπέραση, την εμπειρία του οδηγού, την ποιότητα του οδοστρώματος, την ώρα της ημέρας και τη γεωμετρία της οδού.

Επίσης, 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.

Τέλος, αξίζει να διερευνηθεί περαιτέρω ο τρόπος με τον οποίο ορίζεται αν ένας παίκτης είναι συνεργάσιμος ή όχι. Αν και στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν γραμμικές αποστάσεις για τον παραπάνω ορισμό, προτείνεται σε μελλοντική έρευνα να προστεθούν κι άλλες παράμετροι για τον καθορισμό της συνεργατικότητας των παικτών.

## Βιβλιογραφία

- [1] Πηγή: [www.statistics.gr](http://www.statistics.gr), 2013
- [2] Μπαρμπουνάκης Εμμανουήλ, 2012, Διερεύνηση της συμπεριφοράς των Δικυκλιστών κατά τη διάρκεια της Προσπέρασης σε αστικές αρτηρίες
- [3] Καταχανάκη Παρασκευή, 2014, Ανάπτυξη Προτύπων για την Περιγραφή της Κίνησης Μοτοσικλετιστών σε Αστικές Αρτηρίες
- [4] Πηγή: Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle>, 2015
- [5] Πηγή: Wikipedia, <https://el.wikipedia.org/wiki/Μοτοσικλέτα>, 2015
- [6] Πηγή: Easypedia, <http://www.easypedia.gr/el/articles/μ/ο/τ/Μοτοσικλέτα.html>, 2014
- [7] Πηγή: Newbeast, <http://www.newsbeast.gr/moto/odiki-asfaleia/arthro/313112/odigisi-me-motosukleta-se-kedrikous-axones-kai-autokinitodromous>, 2012
- [8] Πηγή: Αττική Οδός, <http://www.aodos.gr/>
- [9] Πηγή: Αττικές Διαδρομές, [http://media.feed.gr/pegasus/Multimedia/pdf/0300\\_id1068889\\_id4072889.pdf](http://media.feed.gr/pegasus/Multimedia/pdf/0300_id1068889_id4072889.pdf)
- [10] Πηγή: Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Overtaking>, 2015
- [11] Chu Cong Minh, Kazushi Sano, Shoji Matsumoto, 2010, Maneuvers of motorcycles in queues at signalized intersections, Journal of Advanced Transportation
- [12] Πηγή: Ναυτεμπορική, <http://www.naftemporiki.gr/story/957881/otzon-nas-kai-i-theoria-paignion>, 2015
- [13] Τσαντάς Νικόλας, [http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/OR\\_GameTheory.pdf](http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/OR_GameTheory.pdf)
- [14] Πηγή: Wikipedia, [https://el.wikipedia.org/wiki/Θεωρία\\_Παιγνίων](https://el.wikipedia.org/wiki/Θεωρία_Παιγνίων)
- [15] Πηγή: Μηχανή του Χρόνου, <http://www.mixanitouxronou.gr/ti-ine-i-theoria-ton-pegnion-stin-opia-idikevete-o-k-gianis-varoufakis-o-tzon-nas-pou-aneptixe-ti-methodologia-tou%CE%84ine-to-thema-tis-tenias-enas-iperochos-anthropos-to-diasimo-dilimma/>, 2015
- [16] Geertje Hegeman, Andreas Tapani, Serge Hoogendoorn, 2009, Overtaking assistant assessment using traffic simulation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies
- [17] Haneen Farah, Tomer Toledo, 2010, Passing behavior on two-lane highways, Transportation Research Part F

- [18] Samantha Jamson, Kathryn Chorlton, Oliver Carsten, 2012, Could Intelligent Speed Adaptation make overtaking unsafe?, Accident Analysis and Prevention
- [19] Eleni I. Vlahogianni, John C. Golias, 2012, Bayesian modeling of the microscopic traffic characteristics of overtaking in two-lane highways, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour
- [20] Eleni I. Vlahogianni, 2013, Survival Modeling of the Overtaking Duration in Two Lane Highways, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior
- [21] Eleni I. Vlahogianni, George Yannis, John C. Golias, 2012, Overview of Critical Risk Factors in Power-Two-Wheeler Safety, Accident Analysis and Prevention
- [22] Lee Tzu-Chang, 2008, An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behavior in Mixed Traffic Flow
- [23] Partha Pratim Dey, Satish Chandra, Soumya Gangopadhyay, 2008, Simulation of Mixed Traffic Flow on Two-Lane Roads, Journal of Transportation Engineering
- [24] Partha Pratim Dey, Satish Chandra, 2009, Desired Time Gap and Time Headway in Steady-State Car-Following on Two-Lane Roads, Journal of Transportation Engineering
- [25] Jian-ping Meng, Shi-qiang Dai, Li-yun Dong, Jie-fang Zhang, 2007, Cellular Automaton model for mixed traffic flow with motorcycles, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, pp. 470-480
- [26] Lawrence W. Lan, Yu-Chiun Chiou, Zih-Shin Lin, Chih-Cheng Hsu, 2009, A refined cellular automaton model to rectify impractical vehicular movement behavior, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 388(18), 3917–3930.
- [27] Lawrence W. Lan, Yu-Chiun Chiou, Zih-Shin Lin, Chih-Cheng Hsu, 2010, Cellular automaton simulations for mixed traffic with erratic motorcycles' behaviours, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 389(10), 2077–2089
- [28] Adel Yahia Abul-Magd, 2007, Modeling highway-traffic headway distributions using superstatistics
- [29] Cécile Appert-Rolland, 2009, Experimental study of short-range interactions in vehicular traffic

- [30] Chu Cong Minh, Kazushi Sano, Shoji Matsumoto, 2010, Maneuvers of motorcycles in queues at signalized intersections, *Journal of Advanced Transportation*
- [31] Chu Cong Minh, Kazushi Sano, Shoji Matsumoto, 2005, The Speed, Flow and Headway Analyses of Motorcycle Traffic, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*
- [32] L. Neubert, L. Santen, A. Schadschneider, M. Schreckenberg, 1999, Single vehicle data of highway traffic: A statistical analysis
- [33] Timothy Oketch, 2003, Modeled Performance Characteristics of Heterogeneous Traffic Streams Containing Non-Motorized Vehicles, *Transportation Research Board 82nd Annual Meeting, Washington D.C*
- [34] Vassilis Nikias, Eleni Vlahogianni, Tzu-Chang Lee, John C. Golias, 2012, Determinants of Powered Two-Wheelers Virtual Lane Width in Urban Arterials, *15th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2012)*
- [35] K.I. Wong, Tzu-Chang Lee, 2014, Investigating the heterogeneity in driving behavior of powered two-wheelers under mixed traffic flow
- [36] Tzu-Chang Lee, John W. Polak, Michael G.H. Bell, Marcus R. Wigan, 2012, The kinematic features of motorcycles in congested urban networks. *Accidental Analysis and Prevention*
- [37] Long Xuan Nguyen, Shinya Hanaoka, 2013, Safety spaces for overtaking movements in motorcycle traffic flow, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*
- [38] Hideyuki Kita, 1999, A merging–giveaway interaction model of cars in a merging section: a game theoretic analysis
- [39] Emmanouil N. Barmponakis, Eleni I. Vlahogianni and John C. Golias, 2014, Investigating powered two-wheelers overtaking behavior in urban arterials
- [40] C.S.Fisk, 1984, *Game Theory And Transportation*, Pages 301–313
- [41] Henry X. Liu, Wuping Xin, Zain M. Adam, Jeff X. Ban, 2007, A game theoretical approach for modeling merging and yielding behavior at freeway on-ramp section
- [42] Barmponakis E., Vlahogianni E. and Golias J., 2015, A Game Theoretic Approach To Powered Two Wheelers Overtaking Phenomena
- [43] Meng Wang, Serge P. Hoogendoorn, Winnie Daamen, Bart van Arem, Riender Happee, 2015, Game theoretic approach for predictive lane-changing

- [44] Alireza Talebpour, Hani S. Mahmassani, Samer H. Hamdar, 2015, Modeling Lane-Changing Behavior in a Connected Environment
- [45] Πηγή: Google Maps, maps.google.com, 2014
- [46] Πηγή: Alan Karchmer, Architectural Photographer, <http://www.alankarchmer.com/>
- [47] Eleni Vlahogianni, Matthew Karlaftis, Nickolas Papageorgiou, Dimitris Tsentelis, 2013, Factors Influencing Freeway Traffic Upstream of an Incident
- [48] Daire Hooper, Joseph Coughlan, Michael R. Mullen, 2008, Structural Equation Modelling: Guidelines for Determining Model Fit
- [49] Πηγή: <http://davidakenny.net/cm/fit.htm>, 2014
- [50] Πηγή: <http://www.stata.com/manuals13/semexample4.pdf>
- [51] Roger Myerson, 2013, Game Theory
- [52] Yaron Hollander, Joseph N. Prashker, 2006, The applicability of non-cooperative game theory in transport analysis
- [53] He Zhang, Yuelong Su, Lihui Peng, Danya Yao, D., 2010, A review of game theory applications in transportation analysis
- [54] Rune Elvik, 2014, A review of game-theoretic models of road user behavior
- [55] Martin Osborne, Ariel Rubinstein, 1994, A course in game theory. Computers & Mathematics with Applications
- [56] Chu Cong Minh, Kazushi Sano, Shoji Matsumoto, 2012, Maneuvers of motorcycles in queues at signalized intersections
- [57] Eleni Vlahogianni, George Yannis, John Golias, 2013, Critical power two wheeler driving patterns at the emergence of an incident
- [58] Long Xuan Nguyen, Shinya Hanaoka, 2013, Safety spaces for overtaking movements in motorcycle traffic flow, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies
- [59] Sarris, Satorra, & Sörbom, 1987, The detection and correction of specification errors in structural equation models, Sociological methodology
- [60] Barbara Byrne, 1998, Structural Equation Modeling with Lisrel, Prelis and Simplis: Basic Concepts, Applications and Programming