



Ανάπτυξη Προτύπων για την Περιγραφή της Κίνησης των Μοτοσυκλετιστών σε Αστικές Αρτηρίες

Παρασκευή Καταχανάκη¹, Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκης¹, Υποψ. Διδάκτωρ, Ελένη Βλαχογιάννη¹, Ph.D., Ιωάννης Γκόλιας¹, Ph.D.

¹Τομέας Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

E-mail: kat_voula@yahoo.gr; manosbar@central.ntua.gr; elenivl@central.ntua.gr; igolias@central.ntua.gr

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την κίνηση των μοτοσυκλετιστών κατά το φαινόμενο της προσπέρασης. Τα δεδομένα που βασίζονται σε πραγματικές μετρήσεις συλλέχθηκαν από τις τροχιές των οχημάτων μέσω βιντεοσκόπησης της κυκλοφορίας των οχημάτων, στη Λεωφόρο Μεσογείων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά πρότυπα δομικών εξισώσεων για να διερευνηθεί και να αξιολογηθεί η επιρροή των μεταβλητών σε συνθήκες προσπέρασης του δικυκλιστή. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι ο μοτοσυκλετιστής επηρεάζεται σημαντικά από το διαθέσιμο χώρο που έχει γύρω του για να κινηθεί, καθώς και από τις αποστάσεις που διατηρεί με το όχημα που προσπερνάται και με το όχημα που βρίσκεται πίσω από αυτόν.

Λέξεις κλειδιά: δίκυκλα, επιρροή, προσπέραση, τροχιά κίνησης, μοτοσυκλετιστής, μοντέλα δομικών εξισώσεων.

Abstract

The aim of this paper is to reveal the significant factors that describe motorcyclists' movement during overtaking. Powered Two Wheelers (PTW) trajectory data was obtained using video recordings from Mesogion Avenue, a major urban arterial in Athens, Greece. Moreover, Structural Equation Models were used to assess the effect of various variables on PTW overtaking. Results show that the PTW driver is significantly influenced by the available area he/she has for maneuvering, the distance from the lead vehicle and the distance from the vehicle behind the subject PTW.

Keywords: Powered Two Wheelers (PTW), influence, overtaking, trajectory, motorcyclist, Structural Equation Models (SEM).

1. Εισαγωγή

Τα δίκυκλα αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα και είναι εξίσου διαδεδομένα και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Η ευελιξία κίνησης σε οδούς όπου επικρατεί κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι γρήγορες και άνετες μετακινήσεις σε μεγάλα αστικά κέντρα, το χαμηλό κόστος απόκτησης, χρήσης και συντήρησής της, καθώς και η εύκολη στάθμευση, είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα που κάνουν τον αριθμό των δικύκλων να αυξάνεται τα τελευταία χρόνια (ACEM, 2015).

Η ευελιξία των μοτοσυκλετών στις κινήσεις τους και το μικρό τους πλάτος κάνουν τις τροχιές που διαγράφουν πολύπλοκες και εξαιρετικά δύσκολο να διερευνηθούν. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση με άλλους τύπους οχημάτων στις οδούς, που κινούνται με τελείως διαφορετικό τρόπο, αυξάνουν την πολυπλοκότητα του φαινομένου. Ένα τρόπος να διερευνηθούν οι τροχιές των μοτοσυκλετών είναι με διεξαγωγή ερευνών βασισμένες στην προσομοίωση (Bonte et al., 2007; Meng et al., 2007; Dey et al., 2008; Lan et al., 2009; Dey and Chandra 2009). Στη βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν κάποιες έρευνες που αφορούν σε ανάλυση των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών της κίνησης των μοτοσυκλετιστών και βασίζονται σε πραγματικές μετρήσεις (Neubert et al., 1999; Oketch et al., 2003; Minh et al., 2005; Henakom et al., 2008). Πρόσφατα δημοσιευμένες έρευνες εστιάζονται και στα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας των μοτοσυκλετιστών που προκύπτουν από πραγματικές μετρήσεις με βιντεοσκόπηση της κυκλοφορίας (Lee 2007; Lee et al., 2012; Barmounakis et al., 2014; Vlahogianni 2014; Vlahogianni et al., 2014; Barmounakis et al., 2015; Wong and Lee, 2015).

2. Μεθοδολογία

2.1 Περιοχή μελέτης και συλλογής δεδομένων

Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι μία αστική αρτηρία με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση και νησίδα στη μέση, ώστε να αποφεύγονται σύνθετα φαινόμενα όπως η είσοδος οχημάτων από την μία κατεύθυνση στην άλλη σε περίπτωση προσπέρασης. Επιπλέον, το υπό μελέτη τμήμα της οδού θα έπρεπε να μην είναι κοντά σε σηματοδοτούμενο κόμβο ώστε να μην επηρεάζεται η οδηγική συμπεριφορά των δικυκλιστών από τη σηματοδότηση. Επίσης, έπρεπε να αποφευχθούν σημεία εισόδου/εξόδου οχημάτων από καταστήματα στην οδό ή στάσεις λεωφορείων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη φυσιολογική ροή των οχημάτων. Τέλος, άλλη μία προϋπόθεση για την καλύτερη αξιοπιστία των μετρήσεων και μείωσης του σφάλματός τους, ήταν η ύπαρξη ενός υπερυψωμένου σημείου πάνω από την οδό για την τοποθέτηση της βιντεοκάμερας (Lee et al. 2008).

Η πεζογέφυρα της Λεωφόρου Μεσογείων στο ύψος της οδού Κατεχάκη ύψους περίπου 15 μέτρων πάνω από το οδόστρωμα καλύπτει όλες τις απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν (Σχήμα 1). Παρακάτω περιγράφεται και η διαδικασία συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και σε προγενέστερη έρευνα (Barmounakis et al. 2014).



Σχήμα 1: Πεζογέφυρα Calatrava και τοποθέτηση της βιντεοκάμερας



Τα δεδομένα συλλέγονται μέσω εγγραφής βίντεο από την πραγματική κυκλοφορία. Σημειώνεται ότι για καλύτερη αποτύπωση του φαινομένου, οι εγγραφές των βίντεο έγιναν σε καλές καιρικές συνθήκες και ορατότητα, ώστε να μην επηρεάζεται αφετέρου η ποιότητα των βίντεο όπως και η οδηγική συμπεριφορά των δικυκλιστών.

Η τελική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε, αφορούσε αποκλειστικά περιπτώσεις προσπεράσεων του δίκυκλου, επιτυχημένες ή μη (Πίνακας 1). Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει 850 απόπειρες προσπέρασης, από τις οποίες στις 526 το δίκυκλο κατάφερε να περάσει μπροστά από το προπορευόμενο όχημα (Επιτυχημένες Προσπεράσεις) ενώ στις 324 όχι (Αποτυχημένες Προσπεράσεις). Οι απόπειρες προσπάθειας κατηγοριοποιούνται περαιτέρω ανάλογα με τον τύπο του δίκυκλου και το είδος προσπέρασης (Barmpounakis et al., 2014).

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση επιτυχημένων και μη προσπεράσεων ανά μέγεθος κυβισμού και ανά είδος προσπέρασης

		Επιτυχημένες Προσπεράσεις	Αποτυχημένες Προσπεράσεις	Σύνολο
Τύπος Αντικείμενου Δίκυκλου	Σκούτερ	297	226	523
	Μοτοσυκλέτα	229	98	327
Είδος Προσπέρασης	On the fly	283	172	455
	Oblique Maneuver	243	152	395
Σύνολο		526	324	850

Επιπλέον, κατά τη συλλογή των δεδομένων, μετρήθηκαν 26 μεταβλητές κατά την επεξεργασία των βίντεο και 4 συμπληρωματικές μεταβλητές (Diff, distance_xy, opening, bd) προέκυψαν από τις ήδη παρατηρηθείσες, αφού θεωρήθηκαν σημαντικές για την καλύτερη αποτύπωση του φαινομένου (Πίνακας 2).

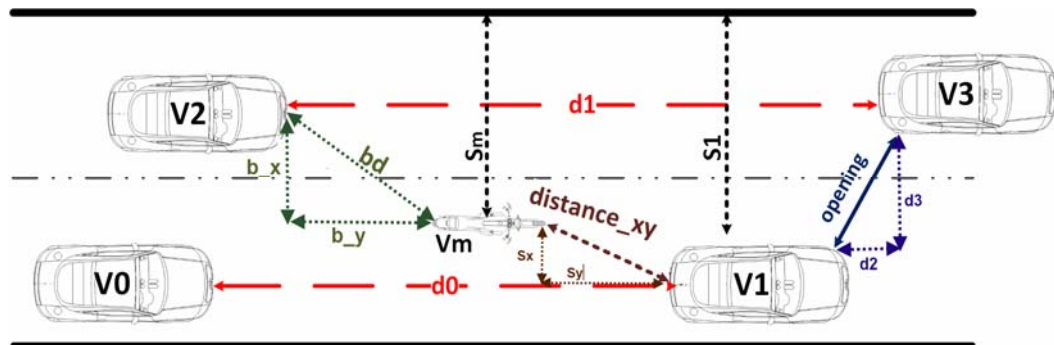


Πίνακας 2: Περιγραφή των μεταβλητών

Μεταβλητές	Περιγραφή
lane	Δεξιά ή Αριστερή λωρίδα στην οποία κινείται το δίκυκλο
Veh_TypeM	Τύπος του Δικύκλου (σκούτερ ή μοτοσυκλέτα)
Vm	Ταχύτητα του Αντικείμενου Δικύκλου PTW's Speed (km/hr)
Veh_Type1	Τύπος του Οχήματος που προσπερνάται (σκούτερ, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
Veh_RL	Δεξιά ή Αριστερή λωρίδα που κινείται το όχημα που προσπερνάται (0/1)
V1	Ταχύτητα του Οχήματος 1 (km/hr)
Veh_Type0	Τύπος του Οχήματος 0 (σκούτερ, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
Veh_Type2	Τύπος του Οχήματος 2 (σκούτερ, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
Veh_Type3	Τύπος του Οχήματος 3 (σκούτερ, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
d0	Απόσταση μεταξύ Οχήματος 0 και 1 (m)
d1	Απόσταση μεταξύ Οχήματος 2 και 3 (m)
d2	Διαμήκης Απόσταση μεταξύ Οχήματος 1 και 3 (m)
d3	Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ Οχήματος 1 και 3 (m)
Sx	Εγκάρσια απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του Οχήματος που προσπερνάται (m)
Sy	Διαμήκης απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του Οχήματος που προσπερνάται (m)
Sm	Τοποθέτηση του Δικύκλου ως προς την άκρη του οδοστρώματος (m)
S1	Τοποθέτηση του Οχήματος 1 ως προς την άκρη του οδοστρώματος (m)
b_x	Εγκάρσια απόσταση μεταξύ Δικύκλου και Οχήματος 2 (σε m)
b_y	Οριζόντια απόσταση μεταξύ Δικύκλου και οχήματος 2 (σε m)
V2	Ταχύτητα του Οχήματος 2 (km/hr)
V3	Ταχύτητα του Οχήματος 3 (km/hr)
Diff	Διαφορά ταχύτητας μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του Οχήματος 1, (Diff= $V_m - V_1$) (km/hr)
distance_xy	Απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του οχήματος 1, ($S_x^2 + S_y^2$) ^{0.5} (m)
bd	Απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του οχήματος 2, $bd = (b_x^2 + b_y^2)^{0.5}$ (σε m)
opening	Ανοιγμα μπροστά από το όχημα 1, $Opening = (d_2^2 + d_3^2)^{0.5}$ (m)
platoon	Ύπαρξη φάλαγγας, το αντικείμενο δίκυκλο είναι ο αρχηγός (0/1)
sum_platoon	Σύνολο Δικύκλων που κινούνται στη φάλαγγα (αν υφίσταται)
helmet	Ο μοτοσυκλετιστής φοράει κράνος (0/1)
passenger	Υπάρχει δεύτερος αναβάτης στο δίκυκλο (0/1)
on_the_fly	Αν η προσπέραση είναι On The Fly παίρνει την τιμή 1, αλλιώς 0



Οι κύριες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα δομικών εξισώσεων παρουσιάζονται στο παρακάτω σκαρίφημα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Σκαρίφημα για τον ορισμό των μεταβλητών

Πίνακας 3: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής και κατανομών

	Μέση Τιμή	Διακύμανση	Τυπ. Απόκλιση	Τυπ. Σφάλμα	Min	Max	Κατανομή
Vm	82.25	212.26	14.57	0.5	46	158	Log Logistic (3P)
V1	66.27	123.92	11.13	0.38	36	112	Log Logistic (3P)
d0	34.01	372.54	19.3	0.83	3.99	98.66	Log. Pearson 3
d1	49.79	647.34	25.44	1.17	1	120.2	Johnson SB
V2	68.68	118.26	10.88	0.47	37.0 1	115	Log Pearson 3
V3	74.36	143.41	11.98	0.46	36	115	Burr
Sm	2.55	0.92	0.96	0.03	0.64	5.7	Normal
S1	3.49	0.83	0.91	0.03	0.25	5.89	Cauchy
bd	20.06	278.33	16.68	0.72	0.5	76.65	Johnson SB
opening	19.78	315.97	17.78	0.67	1.1	92.36	Beta
distance_xy	6.84	14.57	3.82	0.13	1.19	31.66	Gen. Pareto

Για τις ταχύτητες των εξεταζόμενων οχημάτων, παρατηρείται ότι η ταχύτητα που αναπτύσσει το δίκυκλο (Vm) έχει την μεγαλύτερη μέση τιμή (82 km/hr) σε σχέση με τα υπόλοιπα. Αυτό

υποδεικνύει για ακόμη μια φορά την ευελιξία των δίκυκλων και τις υψηλές ταχύτητες που αναπτύσσουν, προκειμένου να φθάσουν συντομότερα στον προορισμό τους. Ενώ η μέση ταχύτητα (V1) του οχήματος που προσπερνάται, είναι στα 66 km/hr.

Τις μικρότερες τιμές διακύμανσης τις έχουμε για τις μεταβλητές S_m και S₁ καθώς και το μικρότερο τυπικό σφάλμα. Όσο μικρότερο είναι το τυπικό σφάλμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Η κατανομή Johnson SB περιγράφει κατάλληλα την μεταβλητή bd. Η μέση τιμή της είναι 20.06m. Η μέγιστη τιμή της είναι στα 76.65m ενώ η ελάχιστη στα 0.50m. Τη μέγιστη πυκνότητα την έχουμε για το εύρος τιμών 0.0 – 8.0 m, γεγονός που δείχνει ότι το Όχημα 2, που βρίσκεται πίσω από το δίκυκλο, επιλέγει να κινείται σε κοντινή απόσταση σε αυτόν.

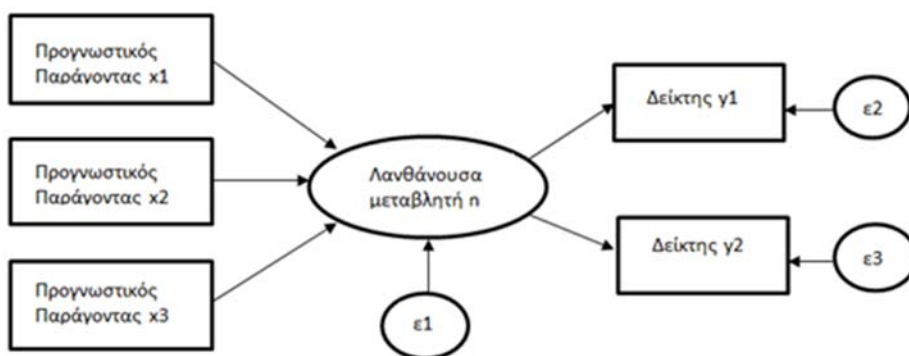
3. Στατιστική Ανάλυση

Τα στατιστικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, είναι τα πρότυπα MIMIC (Multiple Indicators – Multiple Causes), μια περίπτωση μοντελοποίησης με δομικά πρότυπα εξισώσεων (SEM), γνωστά επίσης και ως μοντελοποίηση με λανθάνουσες μεταβλητές και αποτελούν μια διεξοδική τεχνική για τον έλεγχο των υποθέσεων όσον αφορά τις σχέσεις μεταξύ των παρατηρούμενων και των μη παρατηρούμενων (λανθανουσών) μεταβλητών (Washington et al., 2010). Το πρότυπο MIMIC αποτελείται από δύο συστατικά μέρη: ένα πρότυπο μέτρησης που καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ μιας λανθάνουσας μεταβλητής και τους δείκτες της και ένα δομικό πρότυπο το οποίο διευκρινίζει τις περιστασιακές σχέσεις μεταξύ λανθανουσών μεταβλητών και επεξηγεί τις περιστασιακές επιδράσεις (Σχήμα 3). Ένα πρότυπο MIMIC θεωρεί τη λανθάνουσα μεταβλητή η ως μονοδιάστατο μέγεθος και συσχετίζει τον φορέα των δεικτών y και τις παρατηρούμενες εξωγενείς μεταβλητές x που την προκαλούν με το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων:

$$n = \Gamma x + \varepsilon \quad (1)$$

$$y = \Lambda n + \zeta \quad (2)$$

Όπου Γ και Λ πίνακες αγνώστων παραμέτρων που υπολογίζονται και ε και ζ είναι όροι σφάλματος (Vlahogianni et al., 2013).



Σχήμα 3: Σχηματική Απεικόνιση δομής του SEM MIMIC MODEL

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση που έγινε προέκυψαν τα μοντέλα δομικών εξισώσεων που παρουσιάζονται στη συνέχεια και τα οποία απεικονίζουν τις αιτιώδεις σχέσεις που σύμφωνα με τις υποθέσεις που έγιναν συνδέουν τις μεταβλητές, καθώς και τα αριθμητικά αποτελέσματα των αναλύσεων.

Τα μοντέλα δομικών εξισώσεων (Structural Equation Models - SEM) συνήθως χρησιμοποιούνται σαν μια επικυρωτική διαδικασία διάφορων 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 (Hooper et al., 2008).

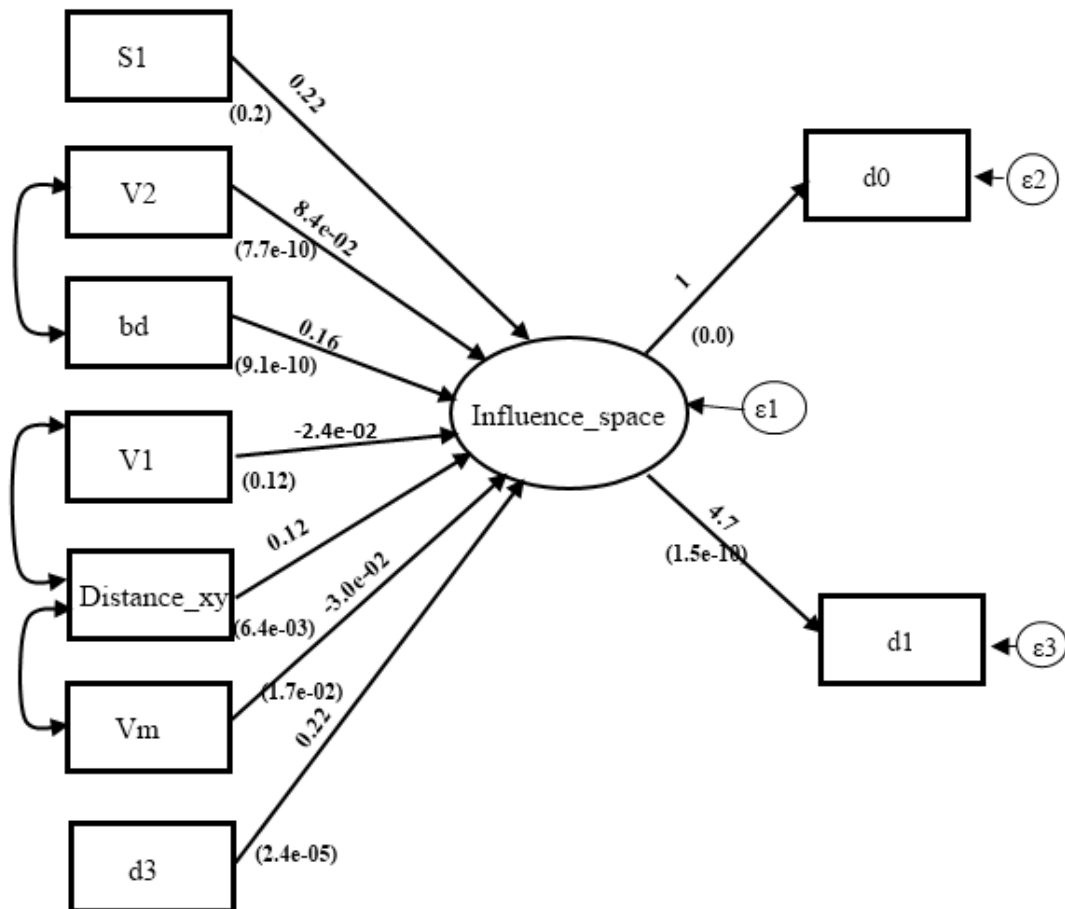
Οι διαφορετικές δομές των μοντέλων καθορίζονται από τις διάφορες πιθανές διασυνδέσεις μεταξύ των διάφορων μεταβλητών και αποτιμώνται με βάση το κριτήριο AIC (Akaike's Information Criterion) και το κριτήριο BIC (Bayesian information criterion). Η επιλογή της βέλτιστης δομής μεταξύ ενός συνόλου υποψήφιων δομών μοντέλων γίνεται με την επιλογή του μοντέλου που παράγει τη μικρότερη τιμή του AIC και BIC.

Για την αξιολόγηση της καλής προσαρμογής του μοντέλου γίνονται δοκιμές του λόγου πιθανοφάνειας (likelihood-ratio) για τη σύγκριση του προτεινόμενου μοντέλου (proposed model) με το κορεσμένο μοντέλο (saturated model) και το βασικό μοντέλο (baseline model). Μία μεγάλη τιμή του δείκτη χ^2 σε σχέση με τους βαθμούς ελευθερίας, σημαίνει πως οι παρατηρούμενοι και εκτιμώμενοι πίνακες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Όσο μικρότερη η τιμή του δείκτη τόσο καλύτερος είναι ο βαθμός προσαρμογής του μοντέλου. Συγκρίνει, επίσης τη ρίζα των μέσων τετραγώνων των σφαλμάτων εκτίμησης RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) μαζί με την πιθανότητα του RMSEA (Probability RMSEA) να είναι κάτω από 0.05, το υπόλοιπο ρίζας μέσων τετραγώνων (SRMR) και τον συντελεστή προσδιορισμού CD (coefficient of determination), ο οποίος είναι κάτι ανάλογο του R^2 .

Επιπλέον, ένα διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval) 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. Μία καλή προσαρμογή για το μοντέλο παρέχει η τιμή του δείκτη SRMR όταν είναι μικρότερη του 0.08, ενώ οι δείκτες CFI (Comparative Fit Index), TLI (Tucker Lewis), CD (coefficient of determination), επιδεικνύουν καλή προσαρμογή για τιμές κοντά στο 1.0.

3.1 Μοντέλο Επιρροής του Χώρου σε συνθήκες προσπέρασης

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το πρώτο πρότυπο, το οποίο περιγράφει την επίδραση που έχουν οι προγνωστικοί παράγοντες στους δείκτες του μοντέλου, δηλαδή στους χωρικούς διαχωρισμούς που υπάρχουν μεταξύ των οχημάτων 1 και 0 (d_0) καθώς και των οχημάτων 2 και 3 (d_1).



Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής μοντέλου επιρροής του χώρου στην προσπέραση

Οι παράγοντες αυτοί, όπως φαίνονται χαρακτηριστικά και στο σχήμα, δεν επιδρούν άμεσα στους δυο δείκτες d0 και d1, αλλά έμμεσα μέσω μίας μη μετρήσιμης λανθάνουσας μεταβλητής που ονομάζουμε "Influence_space". Η λανθάνουσα μεταβλητή δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα και εκφράζει την επιρροή του χώρου που καταλαμβάνει ο μοτοσυκλετιστής, κατά το φαινόμενο της προσπέρασης.

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

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of Fit Statistics) του δομικού μοντέλου, ενώ στον Πίνακα 5 φαίνονται οι συσχετίσεις, οι διακυμάνσεις, οι συνδιακυμάνσεις καθώς και η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών.



Πίνακας 4: Στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of Fit statistics)

Fit statistic	Value
<i>Likelihood Ratio</i>	
χ^2 ($p > \chi^2$)	9.75 (0.136)
<i>Population error</i>	
RMSEA	0.027
90% CI, lower bound	0
90% CI, upper bound	0.057
Probability RMSEA \leq 0.05	0.886
<i>Baseline comparison</i>	
CFI	0.995
TLI	0.987
<i>Size of residuals</i>	
SRMR	0.014
CD	0.902

Από τον Πίνακα 5, προκύπτει ότι παράγοντες όπως είναι η διαγώνιος απόσταση του δίκυκλου με το πίσω από αυτό Όχημα 2 (bd) και η αντίστοιχη απόσταση του με το Όχημα 1 (distance_xy), η ταχύτητα του δίκυκλου (Vm) και τέλος η εγκάρσια απόσταση των οχημάτων 1 και 3 (d3), επηρεάζουν στατιστικά σε σημαντικό βαθμό τους δείκτες του μοντέλου d0 και d1.

Κάθε προγνωστικός παράγοντας (predictor), έχει διαφορετικής βαρύτητας επιρροή στην τελική διαμόρφωση του μοντέλου. Συγκεκριμένα, αύξηση της απόστασης bd καθώς και της απόστασης distance_xy, έχουν θετική επιρροή στη λανθάνουσα μεταβλητή Influence_space με συντελεστή 0.159 και 0.124 αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι αύξηση των μεταβλητών bd και distance_xy κατά 1m, θα έχει θετική επιρροή κατά 0.159 και 0.124 μονάδες αντίστοιχα στη λανθάνουσα μεταβλητή και αυτή με τη σειρά της επιδρά με τους ανάλογους συντελεστές στους δείκτες του μοντέλου d0 και d1.

Επιπλέον η ταχύτητα του Οχήματος 2 (V2) έχει συντελεστή επίδρασης 0.084 και η γραμμική σχέση που την συνδέει με τη λανθάνουσα μεταβλητή αυξάνεται αναλογικά κατά 0.084 μονάδες. Ενώ η ταχύτητα του δίκυκλου (Vm), έχει αρνητικό συντελεστή επιρροής (- 0.030), δηλαδή αύξηση της ταχύτητας του δίκυκλου, μειώνει τους χωρικούς διαχωρισμούς d0 και d1.



Πίνακας 5: Αποτελέσματα ανάλυσης του μοντέλου επιρροής χώρου στην προσπέραση

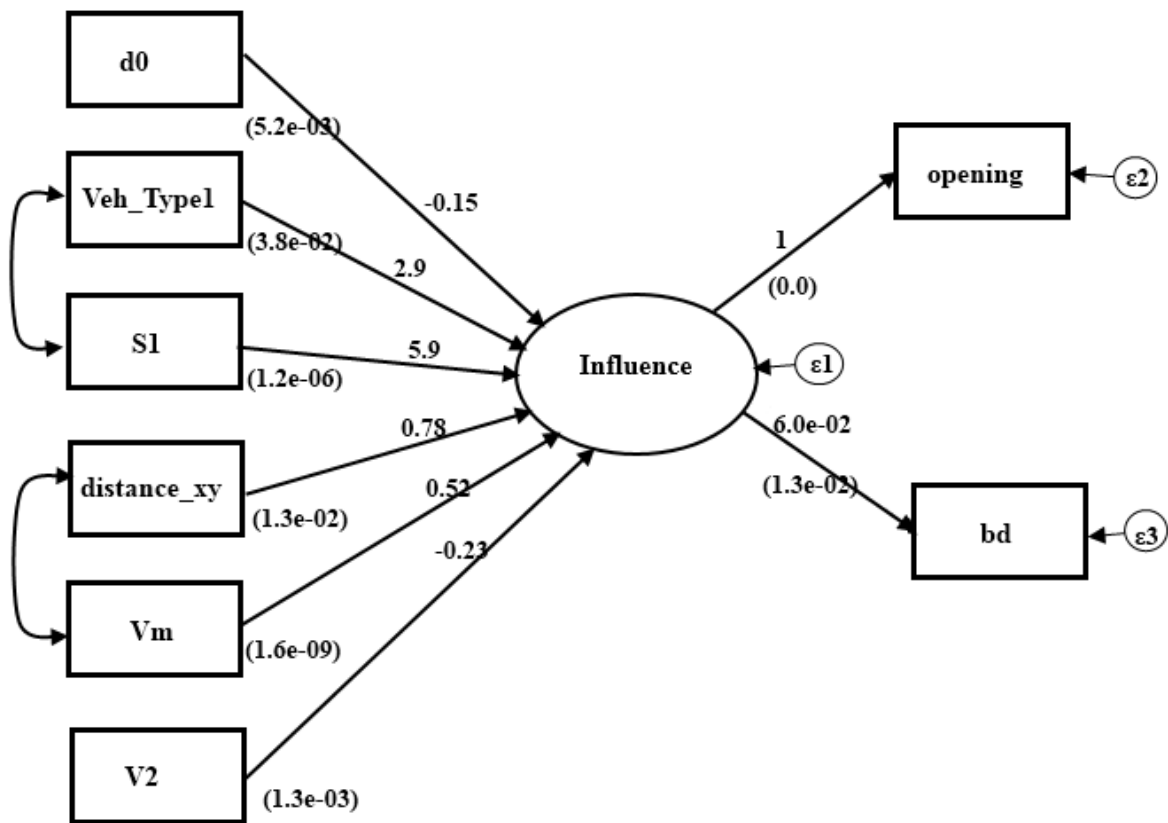
Πρώτο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων		Αριθμός παρατηρήσεων = 850		
Log Likelihood = -27791.204				
(1) d0 Influence space = 1				
	Συντελεστής	Std. Err.	z	p > z
Structural				
Influence_space <-				
S ₁	0.216	0.171	1.27	0.205
V ₂	0.084	0.014	6.15	0.000
bd	0.159	0.026	6.12	0.000
d ₃	0.216	0.051	4.23	0.000
V ₁	-0.023	0.015	-1.54	0.124
distance_xy	0.124	0.045	2.73	0.006
V _m	-0.030	0.013	-2.39	0.017
Measurement				
d0 <-				
Influence_space	1	(constrained)		
_cons	18.044	1.535	11.75	0.000
d1 <-				
Influence_space	4.679	0.731	6.40	0.000
_cons	11.049	5.842	1.89	0.059
Διακόμανση				
e.d ₀	477.438	23.411		
e.d ₁	384.523	77.276		
e.Influence_space	2.633	3.416		
Συνδιακόμανση				
V ₂				
bd	270.655	13.016	20.79	0.000
V ₁				
distance_xy	5.123	1.411	3.63	0.000
distance_xy	0.165	1.865	0.09	0.929
V _m				
LR test of model vs. Saturated: chi2(6) = 9.75			Prob > chi2 = 0.136	

Τέλος, τον μεγαλύτερο συντελεστή θετικής επιρροής τον έχει η μεταβλητή d₃, η εγκάρσια απόσταση του Οχήματος 1 με το Όχημα 3 και η γραμμική σχέση της μεταβλητής με τη λανθάνουσα μεταβλητή Influence_space αυξάνεται αναλογικά κατά 0.216 μονάδες.

3.2 Μοντέλο Επιρροής των μεταβλητών bd και opening σε συνθήκες προσπέρασης

Το δεύτερο πρότυπο που δημιουργήθηκε παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 και περιγράφει την επίδραση που έχει ένα διαφορετικό σετ μεταβλητών στο «άνοιγμα» που δημιουργείται από τα οχήματα 1 και 3 (opening) και την διαγώνια απόσταση που έχει ο μοτοσυκλετιστής με το Όχημα 2 (bd). Οι παράγοντες αυτοί, δεν επιδρούν άμεσα στους δύο δείκτες που περιγράφουν

τις αποστάσεις (bd) και (opening), αλλά έμμεσα μέσω της μη μετρήσιμης λανθάνουσας μεταβλητής «Influence». Η λανθάνουσα μεταβλητή δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα και εκφράζει το άνοιγμα που έχει διαθέσιμο ο μοτοσυκλετιστής για να προσπαθήσει να προσπεράσει και από την απόσταση που τον πλησιάζει το όχημα που βρίσκεται πίσω του (Όχημα 2).



Σχήμα 5: Διάγραμμα ροής μοντέλου επιρροής των μεταβλητών bd και opening

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

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τα στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of Fit statistics) του δομικού μοντέλου, ενώ στον Πίνακα 7 φαίνονται οι συσχετίσεις, οι διακυμάνσεις, οι συνδιακυμάνσεις καθώς και η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών.



Πίνακας 6: Στατιστικά καλής προσαρμογής (Goodness of Fit statistics)

Fit statistic	Value
<i>Likelihood Ratio</i>	
χ^2 ($p > \chi^2$)	4.13 (0.041)
<i>Population error</i>	
RMSEA	0.047
90% CI, lower bound	0.009
90% CI, upper bound	0.082
Probability RMSEA \leq 0.05	0.494
<i>Baseline comparison</i>	
CFI	0.924
TLI	0.835
<i>Size of residuals</i>	
SRMR	0.022
CD	0.152

Από τον Πίνακα 6, προκύπτει ότι όλοι οι προγνωστικοί παράγοντες είναι στατιστικά σημαντικοί. Αναλυτικά, θετική επιρροή στη λανθάνουσα μεταβλητή Influence, έχουν οι μεταβλητές Veh_Type1, distance_xy, S1, και Vm με τον μεγαλύτερο συντελεστή επίδρασης να τον έχει η μεταβλητή S1 (5.946) όπου είναι η τοποθέτηση του οχήματος 1 ως προς την άκρη του οδοστρώματος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αύξηση της S1 κατά 1m, θα έχει θετική επιρροή κατά 5.946 μονάδες αντίστοιχα στη λανθάνουσα μεταβλητή και αυτή με τη σειρά της επιδρά με τους ανάλογους συντελεστές στους δείκτες του μοντέλου bd και opening.

Τέλος, η ταχύτητα του οχήματος 2 (V2) και ο χωρικός διαχωρισμός των οχημάτων 1 και 0 (d0), επιδρούν αρνητικά στη λανθάνουσα μεταβλητή Influence, γεγονός που σημαίνει ότι αύξηση της τιμής των μεταβλητών αυτών συνεπάγεται μείωση της τιμής της λανθάνουσας μεταβλητής και αυτή με τη σειρά της προκαλεί ανάλογη μείωση των τιμών των δεικτών του μοντέλου bd και opening.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα ανάλυσης του μοντέλου επιρροής χώρου στην προσπέραση

Δεύτερο Δομικό Μοντέλο Εξισώσεων	Αριθμός παρατηρήσεων = 532			
Log Likelihood = -14493.378				
(1) [opening]Influence= 1				
(2) [var(e.opening)]_cons = 1				
	Συντελεστής	Std. Err.	z	p > z
Structural				
Influence <-				
Veh_type1	2.887	1.392	2.07	0.038
distance_xy	0.781	0.312	2.50	0.013
S1	5.946	1.223	4.86	0.000
Vm	0.525	0.087	6.03	0.000
d0	-0.150	0.054	-2.79	0.005
V2	-0.229	0.071	-3.23	0.001
Measurement				
opening <-				
Influence	1	(constrained)		
_cons	-25.536	9.709	-2.63	0.009
bd <-				
Influence	0.059	0.023	2.49	0.013
_cons	16.860	1.583	10.67	0.000
Διακύμανση				
e.opening	274.592	(constrained)		
e.S1	0.837	16.836		
e.Influence	767.761	47.135		
Συνδιακύμανση				
veh_type1				
S1	0.014	0.037	0.39	0.700
distance_xy				
vm	-1.232	2.303	-0.53	0.593
LR test of model vs. Saturated: chi2(6) = 4.13			Prob > chi2 = 0.041	

4. Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν μικροσκοπικά χαρακτηριστικά της κίνησης των δικύκλων σε συνθήκες προσπέρασης. Δημιουργήθηκαν δύο πρότυπα δομικών εξισώσεων με τη χρήση των πρότυπων MIMIC (Multiple Indicators – Multiple Causes). Το πρώτο δομικό πρότυπο, εξετάζει την επιρροή του χώρου στον οποίο κινείται το δίκυκλο σε συνθήκες προσπέρασης. Θεωρήθηκε η επίδραση του χώρου σαν μία λανθάνουσα μεταβλητή (Influence_space). Προκύπτει ότι ο χώρος που έχει ο αναβάτης για να κινηθεί επηρεάζει τη διαδικασία της προσπέρασης, αφού του δίνεται η ευκαιρία να κινηθεί με μεγαλύτερη ευελιξία και μεγαλύτερη ασφάλεια για να εκτελέσει την προσπέραση. Φαίνεται ότι όταν ο αναβάτης έχει στη διάθεσή του αρκετό χώρο για

προσπέραση μπορεί να εκμεταλλευτεί καλύτερα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του οχήματός του, όπως η επιτάχυνσή του, το μικρό πλάτος του και η μεγαλύτερη ευελιξία.

Το δεύτερο δομικό πρότυπο, εξετάζει την επιρροή του “ανοίγματος” που βλέπει ο δικυκλιστής για να προσπεράσει και την απόσταση από το όχημα πίσω του. Η επίδραση αυτή εκφράζεται με μία λανθάνουσα μεταβλητή (Influence). Προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια της προσπέρασης είναι σημαντική για ένα δικυκλιστή όχι μόνο η απόσταση από το μπροστινό όχημα, όπως είχε βρεθεί σε προηγούμενη έρευνα (Barmounakis et al., 2014) αλλά και η απόσταση από το όχημα που κινείται πίσω από το δίκυκλο. Ουσιαστικά, περιγράφεται η συμπεριφορά κατά την οποία ο αναβάτης οφείλει πριν προσπεράσει όχι μόνο να βρει το κατάλληλο άνοιγμα, αλλά να σιγουρευτεί ότι κάποιο όχημα δεν κινείται επικίνδυνα πίσω από αυτό, πχ κοιτάζοντας τον αριστερό καθρέφτη του.

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας εξηγούν μερικώς τον τρόπο αλληλεπίδρασης των δικύκλων με τα υπόλοιπα οχήματα και βοηθούν στην κατανόηση της επιρροής τους στην κυκλοφορία σε μακροσκοπικό επίπεδο. Η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλους τύπους αστικών αρτηριών, όπου θα μπορούσαν να παρατηρηθούν πιο σύνθετα φαινόμενα. Για παράδειγμα, σε οδό με τρεις λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση ή αρτηρίες χωρίς κεντρική νησίδα. Τέλος, ενδιαφέρον θα είχαν σημεία με διακοπτόμενη ροή και η εξέταση της αλληλεπίδρασης με ειδικού τύπου οχήματα όπως λεωφορεία ή ταξί.

Τα συμπεράσματα είναι χρήσιμα και στον τομέα της οδικής ασφάλειας, μιας και οι μοτοσυκλετιστές αποτελούν μία ευάλωτη ομάδα μετακινουμένων που απασχολεί ιδιαίτερα το συγκεκριμένο τομέα. Όσον αφορά στη διαχείριση της κυκλοφορίας, τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών των οχημάτων σε μικτή ροή με στόχο τη βελτίωση της ροής σε μακροσκοπικό επίπεδο (ελαχιστοποίηση διακυμάνσεων ταχυτήτων ή αύξηση της κινητικότητας σε αστικά οδικά δίκτυα).

5. Αναφορές-Βιβλιογραφία

ACEM, 2015. ACEM market update: November 2014, 1-2

Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I., Golias, J.C., 2014. Investigating Powered Two-Wheelers Overtaking Behavior in Urban Arterials. *Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I., Golias, J.C., 2015. A Game Theoretic Approach to Powered Two Wheelers Overtaking Phenomena. *Proceedings of the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

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

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

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

Hooper D., Joseph Coughlan and Michael R. Mullen. (2008) "Structural Equation Modelling: Guidelines for Determining Model Fit", *Electronic Journal of Business Research Methods*, Vol. 6 Issue 1, 53-60

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

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

Lee T.-C. (2007) "An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow", *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University of London and Diploma of Membership of Imperial College London*, 1-227

Lee T.-C., Polak J.W. and Bell M.G.H. (2008) *Trajectory Extractor User Manual*, Version 1.0, 1-15

Lee, T.-C., Polak, J.W., Bell, M.G.H., Wigan, M.R., 2012. The kinematic features of motorcycles in congested urban networks. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 49, 203–11.

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

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

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

Vlahogianni, E. I., Karlaftis, M. G., Papageorgiou, N. and Tsentelis D. (2013) "Factors Influencing Freeway Traffic Upstream of an Incident", *Advances in Transportation Studies*, 2014 Special Issue, Vol. 1, 11-26.

Vlahogianni, E.I., Yannis, G., Golias, J.C. (2014) Detecting Powered-Two-Wheeler incidents from high resolution naturalistic data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 22, 86–95.

Vlahogianni, E.I. (2014) Powered-Two-Wheelers kinematic characteristics and interactions during filtering and overtaking in urban arterials. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 24, 133–145.

Washington, S.P., Karlaftis, M.G., and Mannering, F.L. (2010). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis. 2nd Edition*, Boca Raton, FL: CRC Press.

Ιστογραφία, Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr>