

Εφαρμογή μοντέλων λανθανουσών μεταβλητών για την διερεύνηση οδηγικής συμπεριφοράς με δεδομένα πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης

Παναγιώτης Παπαντωνίου

Διδάκτωρ, Ερευνητής

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Abstract: Τα μοντέλα λανθανουσών μεταβλητών (latent model analysis) αποτελούν μία ευρεία οικογένεια στατιστικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν αφηρημένες έννοιες (μη παρατηρούμενες / λανθάνουσες μεταβλητές ή παράγοντες). Πιο συγκεκριμένα, αποτελούν μια πολυμεταβλητή ανάλυση που στόχο έχει να μειώσει τις διαστάσεις, με όσο το δυνατόν λιγότερη απώλεια πληροφορίας. Σε αυτή την οικογένεια ανήκουν τα Δομικά Μοντέλα Εξισώσεων (Structural Equation Models) τα οποία εκτιμούν και αξιοποιούν τις σχέσεις μεταξύ λανθανουσών και παρατηρηθέντων μεταβλητών. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της εφαρμογής μοντέλων λανθανουσών μεταβλητών σε μια βάση δεδομένων που έχει προκύψει από πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης και έχει ως στόχο την ανάλυση παραμέτρων οδηγικής συμπεριφοράς. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης κατά τα οποία 95 συμμετέχοντες οδήγησαν υπό διαφορετικές συνθήκες απόσπασης της προσοχής (κινητό τηλέφωνο, συνομιλία με συνεπιβάτη), εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής σε χαμηλό/υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Τα αποτελέσματα καθώς και οι τιμές ελέγχου (goodness-of-fit measures) των μοντέλων επαληθεύουν την ορθότητα της ανάλυσης η οποία μπορεί να γενικευθεί σε μεγάλες βάσεις δεδομένων αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τα διερεύνηση μη παρατηρούμενων συμπεριφορών.

Keywords: Προσομοιωτής οδήγησης, Μοντέλα Λανθανουσών Μεταβλητών, Δομικά Μοντέλα Εξισώσεων

1. Εισαγωγή

Το 2016, ο ετήσιος αριθμός των νεκρών στα οδικά ατυχήματα ανερχόταν σε περίπου 1,2 εκατομμύρια παγκοσμίως (WHO, 2015), σε 25.000 στην Ευρωπαϊκή Ένωση και σε 800 στην Ελλάδα (European Commission, 2017), καθιστώντας τα οδικά ατυχήματα ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρά το γεγονός πως οι νεκροί από τροχαία ατυχήματα παρουσιάζουν μια σταθερή πτώση τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των νεκρών παραμένει πολύ υψηλός και υποδεικνύει την ανάγκη μεγαλύτερης προσπάθειας για βελτίωση της οδηγικής συμπεριφοράς και της οδικής ασφάλειας (OECD, 2013)

Η συμπεριφορά του οδηγού αποτελεί την κύρια αιτία για ποσοστό 65-95% των οδικών ατυχημάτων (Salmon et al., 2011) και περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό παραγόντων που μπορούν να αποτελούν αιτίες ατυχημάτων (Regan et al., 2008):

- Επικίνδυνες ενέργειες (υψηλή ταχύτητα, παραβάσεις κυκλοφορίας κ.α.),
- Οδηγικό λάθος ή αντίδραση (απώλεια ελέγχου οχήματος, αδυναμία τήρησης αποστάσεων ασφαλείας, απότομο φρενάρισμα κ.α.)
- Συμπεριφορά ή απειρία (επιθετική οδήγηση, νευρικότητα, αβεβαιότητα κ.α.)
- Απόσπαση της προσοχής του οδηγού
- Κούραση
- Κατανάλωση αλκοόλ

Για τη διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς υπάρχουν διάφοροι τύποι πειραμάτων όπως: πειράματα πεδίου επί της οδού εκτός κυκλοφορίας (field tests), πειράματα οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες (naturalistic driving experiments), πειράματα σε προσομοιωτή οδήγησης (driving simulator experiments), σε βάθος ανάλυση ατυχημάτων (in-depth accident investigation) και έρευνες δεδηλωμένης προτίμησης (stated preference surveys) (Papantoniou et.al. 2016). Πιο συγκεκριμένα οι προσομοιωτές οδήγησης χρησιμοποιούνται ερευνητικά για πολλαπλούς σκοπούς. Είτε για έρευνα γύρω από την οδηγική συμπεριφορά και την οδική ασφάλεια και τις επιπτώσεις του αλκοόλ, φαρμακευτικών αγωγών, της υπνηλίας, της κούρασης, της ηλικίας ή κάποιου τύπου αναπηρίας του χρήστη σε αυτές, είτε για τη διερεύνηση επιπτώσεων νέων συστημάτων ή μέτρων/ρυθμίσεων οδηγική συμπεριφορά και συνολικά στην οδική ασφάλεια και στο οδικό δίκτυο (Jamson, 2007; Wang et al., 2007; Wu et al., 2008; Zhao et al., 2009; Amantini et al., 2009).

Δίνοντας έμφαση στη διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές παράμετροι για την αξιολόγηση τους όπως παράμετροι θέσης οχημάτων, παράμετροι ταχύτητας, χρόνος αντίδρασης, απόσταση από προπορευόμενο όχημα, κίνηση ματιών κ.α. (Manser and Hancock, 2007; Yannis et al., 2010; Dudek et al., 2006; Caird, 2008). Ωστόσο, η οδηγική συμπεριφορά είναι ένα πολυδιάστατο φαινόμενο που σημαίνει ότι μεμονωμένες παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς δεν μπορούν να εντοπίσουν όλες τις πτυχές της (Papantoniou, 2015).

Επιπρόσθετα, όσον αφορά τις στατιστικές μεθοδολογίες που εφαρμόζονται, εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι Μοντέλα λανθανουσών μεταβλητών (Latent models) και πιο συγκεκριμένα Δομικά Μοντέλα Εξισώσεων (Structural Equation Models) δεν έχουν εφαρμοσθεί ποτέ στο επιστημονικό πεδίο της απόσπασης της προσοχής του οδηγού σε δεδομένα πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης. Αντίθετα, οι πλειοψηφία των ερευνών εφαρμόζει ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (Repeated Measures Anova) ενώ αρκετές μελέτες αρκούνται σε περιγραφικές αναλύσεις (descriptive analysis) με στόχο να οδηγήσουν σε γενικές πληροφορίες για τις εξεταζόμενες παραμέτρους οδηγικής συμπεριφοράς (Papantoniou, 2015).

Βάση των παραπάνω, στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής μοντέλων λανθανουσών μεταβλητών σε βάση δεδομένων που έχει προκύψει από πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης και στοχεύει στην ποσοτικοποίηση της οδηγικής συμπεριφοράς. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε

προσομοιωτή οδήγησης κατά τα οποία 95 συμμετέχοντες οδήγησαν υπό διαφορετικές συνθήκες απόσπασης της προσοχής (κινητό τηλέφωνο, συνομιλία με συνεπιβάτη), εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής σε χαμηλό/υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Η δομή της παρούσας έρευνας είναι ως εξής. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία της μελέτης τόσο ως προς την υλοποίηση του πειράματος στον προσομοιωτή οδήγησης όσο και ως προς το θεωρητικό υπόβαθρο της στατιστικής ανάλυσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για τη διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης που διαθέτει το Εργαστήριο Κυκλοφοριακής Τεχνικής του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ο εν λόγω προσομοιωτής οδήγησης (Εικόνα 1) είναι πιστοποιημένος από την εταιρία Foerst Driving Simulator FPF και έχει τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- 3 οθόνες LCD 40’’
- Οπτικό πεδίο 170ο
- Θέση οδήγησης και κινούμενη βάση



Εικόνα. 1: Προσομοιωτής οδήγησης

Στο πλαίσιο του πειράματος 95 συμμετέχοντες οδήγησαν υπό διαφορετικές συνθήκες απόσπασης της προσοχής (κινητό τηλέφωνο, συνομιλία με συνεπιβάτη), εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής σε χαμηλό/υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Ο σχεδιασμός των σεναρίων οδήγησης αποτέλεσε κύριο τμήμα της πειραματικής διαδικασίας, και περιλαμβάνει οδήγηση υπό διαφορετικές οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες (εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής, χαμηλός/υψηλός φόρτος, με/χωρίς απόσπαση της προσοχής του οδηγού).

Το πρώτο σενάριο, μήκους 2,1km, ήταν σχεδιασμένο σε περιβάλλον εκτός κατοικημένης περιοχής, με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση και πλάτος δρόμου 3m.



Εικόνα 2: Σενάριο εκτός πόλης

Το δεύτερο σενάριο ήταν σχεδιασμένο σε αστικό περιβάλλον μήκους 1,7km, στο μεγαλύτερο μήκος του οποίου υπάρχουν δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση με νησίδα και πλάτος λωρίδας 3,5m. Επιπλέον, η οδήγηση περιλαμβάνει σταθμευμένα οχήματα, κανονική σήμανση, δύο σηματοδοτημένους κόμβους και έναν κυκλικό κόμβο (roundabout).



Εικόνα 3: Σενάριο εντός πόλης

Κατά τη διάρκεια κάθε επιμέρους οδήγησης, εξετάστηκαν δύο κυκλοφοριακά σενάρια και τρεις συνθήκες απόσπασης της προσοχής του οδηγού. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες περιλάμβαναν:

- Συνθήκες χαμηλού φόρτου – Οι αφίξεις των οχημάτων προέρχονται από κατανομή Γάμμα με μέση τιμή $m=12\text{sec}$, και διακύμανση $\sigma^2=6\text{ sec}$, αντιπροσωπεύοντας έναν μέσο κυκλοφοριακό φόρτο $Q=300$ οχήματα/ώρα.
- Συνθήκες υψηλού φόρτου – Οι αφίξεις των οχημάτων προέρχονται από κατανομή Γάμμα με μέση τιμή $m=6\text{sec}$, και διακύμανση $\sigma^2=3\text{ sec}$, αντιπροσωπεύοντας έναν μέσο κυκλοφοριακό φόρτο $Q=600$ οχήματα/ώρα.

Οι συνθήκες απόσπασης της προσοχής του οδηγού που εξετάστηκαν περιλάμβαναν οδήγηση χωρίς απόσπαση της προσοχής, συνομιλία με συνεπιβάτη και χρήση κινητού τηλεφώνου. Κατά συνέπεια, κάθε σενάριο (εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής) περιλάμβανε 6 επιμέρους διαδρομές. Κατά τη διάρκεια κάθε διαδρομής, 2 μη αναμενόμενα συμβάντα είχαν σχεδιαστεί να συμβούν σε συγκεκριμένα σημεία της διαδρομής (αλλά όχι στο ίδιο σημείο σε κάθε διαδρομή για να εξαλειφθεί το φαινόμενο της απομνημόνευσης από τον οδηγό). Πιο συγκεκριμένα, τα μη αναμενόμενα συμβάντα στις διαδρομές εκτός κατοικημένης περιοχής περιλάμβαναν την ξαφνική εμφάνιση ζώου στο δρόμο ενώ στις διαδρομές εντός κατοικημένης περιοχής περιλάμβαναν την ξαφνική εμφάνιση ενός πεζού ή ενός παιδιού που κυνηγάει μια μπάλα στο δρόμο.

Η πειραματική διαδικασία ξεκινούσε με δοκιμαστική οδήγηση έως ότου ο συμμετέχων συνηθίσει το περιβάλλον προσομοίωσης. Αντίθετα με αντίστοιχα πειράματα της διεθνούς βιβλιογραφίας δεν υπήρχε χρονικός περιορισμός αλλά αναπτύχθηκαν συγκεκριμένα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία ελεγχόταν η εξοικείωση του οδηγού με τον προσομοιωτή. Πιο συγκεκριμένα κάθε συμμετέχων ελεγχόταν:

- στο χειρισμό του προσομοιωτή (εκκίνηση, μηχανής, ταχύτητες, χειρισμός τιμονιού, κλπ.)
- στη διατήρηση της πλευρικής θέσης (χωρίς να βρίσκονται σε επαφή ή να διασχίσουν οι τροχοί τα όρια της λωρίδας)
- στη διατήρηση σταθερής ταχύτητας και κατάλληλης για το είδος της οδού
- στην ακινητοποίηση του οχήματος
- μέχρι να κρίνει ο υπεύθυνος της δοκιμασίας ότι ο οδηγός αισθάνεται ότι οδηγεί άνετα

Στη συνέχεια κάθε οδηγός πραγματοποιούσε τα δύο σενάρια οδήγησης διάρκειας 25 λεπτών το κάθε ένα σε διαφορετικά οδικά περιβάλλοντα. Τέλος, αφού ολοκλήρωναν την οδήγηση στον προσομοιωτή, οι συμμετέχοντες καλούνταν να συμπληρώσουν δύο ερωτηματολόγια. Το πρώτο ήταν ερωτηματολόγιο συμπεριφοράς του οδηγού ενώ το δεύτερο ερωτηματολόγιο είχε στόχο την αυτοαξιολόγηση του.

Τονίζεται ότι για τη συμμετοχή στο πείραμα επιλέχθηκαν συγκεκριμένα συγκοινωνιακά κριτήρια αποκλεισμού.

- Δίπλωμα οδήγησης σε ισχύ (όχι)
- Έτη οδήγησης (<3 χρόνια)
- Ετήσια χιλιόμετρα οδήγησης (<2.500 km)
- Αριθμός εβδομαδιαίων μετακινήσεων (<1 μετακίνηση/εβδομάδα)
- Αριθμός εβδομαδιαίων χιλιομέτρων οδήγησης (<10 km/εβδομάδα)

Κάθε υποψήφιος που δεν πληρούσε όλα τα παρακάτω κριτήρια αποκλειόταν από την πειραματική διαδικασία. Το χαρακτηριστικά του δείγματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά δείγματος

Ηλικιακή κατηγορία	Γυναίκα	Ανδρας	Σύνολο	Εκπαίδευση (Ετη)	Εμπειρία (Ετη)
18-34	19%	40%	29%	16	6
35-55	40%	26%	33%	15	25
55+	42%	34%	38%	14	37

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 1, το πείραμα πραγματοποιήσαν συνολικά 95 συμμετέχοντες. Σχεδόν οι μισοί συμμετέχοντες ήταν άνδρες (47) και οι υπόλοιποι γυναίκες (48) επιτυγχάνοντας τον αρχικό στόχο της ισότητας όσον αφορά το φύλο. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν 3 ηλικιακές κατηγορίες. Όπως προκύπτει, 28 οδηγοί ήταν ηλικίας 18-34 ετών, 31 ηλικίας 35-54 ετών και 36 ηλικίας 55-75 ετών.

2.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτελεί η ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων λανθανουσών μεταβλητών, τα οποία αποτελούν μία ευρεία οικογένεια μοντέλων που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν αφηρημένες έννοιες (μη παρατηρούμενες/λανθάνουσες μεταβλητές ή παράγοντες). Πιο συγκεκριμένα, αποτελούν μια πολυμεταβλητή ανάλυση που στόχο έχει να μειώσει τις διαστάσεις, με όσο το δυνατόν λιγότερη απώλεια πληροφορίας (Washington et al., 2011).

Τα Δομικά Μοντέλα Εξισώσεων (SEM) εκτιμούν και αξιοποιούν τις σχέσεις μεταξύ λανθανουσών και παρατηρηθέντων μεταβλητών και περιλαμβάνουν τα παρακάτω επιμέρους μοντέλα:

- Μοντέλο μέτρησης (measurement model) το οποίο καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ της λανθάνουσας μεταβλητής και των δεικτών της
- Δομικό μοντέλο (structural model) το οποίο διευκρινίζει τις σχέσεις μεταξύ λανθανουσών και παρατηρούμενων μεταβλητών

Επιπλέον, ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των Δομικών Μοντέλων εξισώσεων είναι η σχηματική απεικόνιση (path analysis), η οποία εισήχθη από τον Wright (1934) ως μέθοδος για τη μελέτη των άμεσων και έμμεσων επιδράσεων των μεταβλητών. Το βασικό χαρακτηριστικό της σχηματικής απεικόνισης είναι ένα διάγραμμα που δείχνει πώς ένα σύνολο επεξηγηματικών μεταβλητών μπορεί να επηρεάσει την εξεταζόμενη λανθάνουσα μεταβλητή.

Τέλος, όπως σε κάθε στατιστική ανάλυση, πολύ σημαντικό εργαλείο για την τεκμηρίωση της αποτελούν οι δείκτες καλής προσαρμογής (goodness-of-fit measures), ενδείξεις της απόκλισης των εμπειρικών δεδομένων από το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο. Τονίζεται ότι στα Δομικά Μοντέλα Εξισώσεων δεν υπάρχει ένας απόλυτος δείκτης καλής προσαρμογής γι’ αυτό, συνεκτιμώνται περισσότεροι του ενός προκειμένου να ελεγχθεί η καταλληλότητα του μοντέλου όπως οι παρακάτω (Washington et al., 2011).

- Τυποποιημένη τετραγωνική ρίζα του μέσου των υπολοίπων (Standardized Root Average Square Residual - SRMR) < 0,08
- Τετραγωνική ρίζα του μέσου του σφάλματος εκτίμησης (Root Average Square Error of Approximation - RMSEA) < 0,08
- Δείκτης συγκριτικής προσαρμογής (Comparative Fit Index - CFI) > 0,90
- Δείκτης Tucker-Lewis (Tucker Lewis Index - TLI) > 0,90,

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

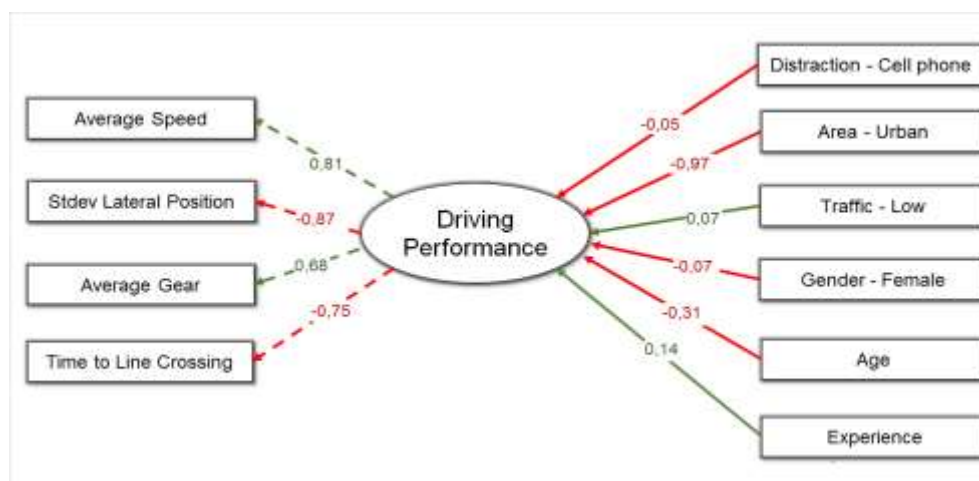
Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ανάπτυξη ενός δομικού μοντέλου εξίσωσης στο οποίο η λανθάνουσα (μη παρατηρούμενη) μεταβλητή θα αντικατοπτρίζει την οδηγική επίδοση. Στόχος της ανάλυσης είναι αφενός οι δείκτες καλής προσαρμογής να επιβεβαιώσουν τη στατιστική ικανότητα του μοντέλου, αφετέρου η μαθηματική προσέγγιση της επιρροής της απόσπασης της προσοχής, των χαρακτηριστικών του οδηγού και του οδικού περιβάλλοντος στην οδηγική επίδοση.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα δομικού μοντέλου εξίσωσης οδηγικής συμπεριφοράς

	Est.	Std.err	t value.	P(> z)
Latent Variable				
Driving Performance				
Average Speed	1.000	-	-	-
Stdev Lateral Position	-0.085	0.004	-23.909	0.000
Average Gear	0.048	0.002	21.887	0.000
Time to Line Crossing	-0.109	0.005	-19.972	0.000
Regressions				
Driving Performance				
Distraction – Cell phone	-1.099	0.342	-3.213	0.001
Area - Urban	-15.596	0.467	-33.410	0.000
Traffic - Low	1.123	0.285	3.943	0.000
Gender - Female	-1.154	0.303	-3.802	0.000
Age	-0.155	0.027	-5.755	0.000
Experience	0.083	0.032	2.630	0.009
Summary statistics				
Minimum Function Test	305.74			
Degrees of freedom	20			
Goodness-of-fit measure				
SRMR	0.061			

Η τιμή του δείκτη αξιολόγησης SRMR αποδεικνύει ότι το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό ενώ στο σχήμα 1 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση του μοντέλου (**path diagram**)



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση δομικού μοντέλου εξίσωσης

Τα αποτελέσματα του πρώτου σκέλους του μοντέλου υποδεικνύουν ότι η οδηγική συμπεριφορά, ως μια νέα μη παρατηρούμενη μεταβλητή, σχετίζεται με 4 παρατηρούμενες μεταβλητές που καταγράφει ο προσομοιωτής οδήγησης και πιο συγκεκριμένα από τη μέση ταχύτητα, τη διακύμανση της θέσης του οχήματος στο δρόμο, το χρονικό διάστημα μέχρις ότου το όχημα θα εκτραπεί στη δεξιά οριογραμμή και την επιλογή ταχύτητας από το κιβώτιο ταχυτήτων

Στη συνέχεια, το δεύτερο σκέλος του μοντέλου υποδεικνύει την επιρροή διαφορετικών μεταβλητών στη νέα λανθάνουσα μεταβλητή που περιγράφει τη συνολική συμπεριφορά. Καταρχήν όσον αφορά την απόσπαση της προσοχής του οδηγού, η χρήση κινητού τηλεφώνου επηρεάζει αρνητικά την οδηγική επίδοση ενώ αντίθετα η συνομιλία με συνεπιβάτη δεν έχει στατιστικά σημαντική επιρροή.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του οδηγού, πολλές παράμετροι όπως το φύλο, η ηλικία και η εμπειρία έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή στην οδηγική συμπεριφορά επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά του οδηγού παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην οδηγική επίδοση. Πιο συγκεκριμένα, γυναίκες οδηγοί φαίνεται να έχουν χειρότερη οδηγική επίδοση από άνδρες ειδικά όταν οδηγούν με χρήση κινητού τηλεφώνου. Σχετικά με την ηλικία, οι νέοι οδηγοί, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι ήταν πιο εξοικειωμένοι με τον προσομοιωτή οδήγησης οδηγούσαν καλύτερα από ηλικιωμένους οδηγούς. Τέλος όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του οδικού περιβάλλοντος, η τύπος της οδού έχει την μεγαλύτερη επιρροή δείχνοντας ότι στις διαδρομές εντός πόλης οι οδηγοί παρουσίασαν χειρότερη επίδοση συγκριτικά με την οδήγηση εκτός πόλης, πιθανότατα εξαιτίας του πολύπλοκου οδικού περιβάλλοντος που υπάρχει σε μια πόλη και αντικατοπτρίστηκε από το σενάριο οδήγησης του προσομοιωτή.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα μοντέλα λανθανουσών μεταβλητών και πιο συγκεκριμένα τα δομικά μοντέλα εξισώσεων έχουν εφαρμοσθεί σπάνια στο επιστημονικό πεδίο της οδηγικής συμπεριφοράς, ο κύριος στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση της εφαρμογής μοντέλων λανθανουσών μεταβλητών σε μια βάση δεδομένων που έχει προκύψει από πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης και έχει ως στόχο την ανάλυση παραμέτρων οδηγικής συμπεριφοράς με έμφαση στη χρήση κινητού τηλεφώνου. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης κατά τα οποία 95 συμμετέχοντες οδήγησαν υπό διαφορετικές συνθήκες απόσπασης της προσοχής (κινητό τηλέφωνο, συνομιλία με συνεπιβάτη), εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής σε χαμηλό/υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο.

Τα αποτελέσματα και οι τιμές ελέγχου των μοντέλων επιβεβαιώνουν την αρχική υπόθεση ότι τα δομικά μοντέλα εξισώσεων μπορούν να εφαρμοσθούν σε βάση δεδομένων πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης. Δεδομένου ότι η οδηγική συμπεριφορά είναι ένα πολυδιάστατο φαινόμενο το οποίο καμία μεμονωμένη οδηγική παράμετρος δεν μπορεί να αντιπροσωπεύσει, τα αποτελέσματα της ανάλυσης επιτρέπουν ένα σημαντικό επιστημονικό βήμα προόδου από τις αποσπασματικές αναλύσεις σε μια συνδυασμένη ανάλυση της αλληλεξάρτησης μεταξύ διαφόρων παραγόντων κινδύνου (συμπεριλαμβανομένης της απόσπασης της προσοχής του οδηγού) και της οδηγικής συμπεριφοράς. Σε αυτό το πλαίσιο η οδηγική συμπεριφορά δεν υπολογίζεται σαν μεμονωμένη οδηγική παράμετρος αλλά σαν μια ευρύτερη μη παρατηρούμενη μεταβλητή.

Μια δεύτερη σημαντική συνεισφορά της παρούσας μελέτης αφορά τις μεμονωμένες παραμέτρους που προσδιορίζουν τη συνολική οδηγική συμπεριφορά. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι μεταβλητές που δημιουργούν την οδηγική επίδοση θα πρέπει να είναι από διαφορετικές οικογένειες μεταβλητών και όχι από την ίδια δίνοντας έτσι τη δυνατότητα η νέα μεταβλητή να έχει όσο δυνατόν μεγαλύτερο εύρος. Η παρούσα μελέτη μπορεί να αποτελέσει έναν οδηγό όσον αφορά τις κρίσιμες παραμέτρους για την οδηγική συμπεριφορά σε αντίστοιχες μελέτες λανθανουσών μεταβλητών.

Τέλος, όσον αφορά την επιρροή των εξεταζόμενων παραγόντων, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χρήση κινητού τηλεφώνου επηρεάζει αρνητικά την οδηγική επίδοση ενώ αντίθετα η συνομιλία με συνεπιβάτη δεν έχει στατιστικά σημαντική επιρροή. Επιπρόσθετα, οι παράγοντες κινδύνου που επηρεάζουν άμεσα την οδηγική επίδοση είναι το φύλο, η ηλικία, η οδηγική εμπειρία, ο τύπος της οδού και ο κυκλοφοριακός φόρτος

Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής μπορούν να αξιοποιηθούν στην περαιτέρω έρευνα με στόχο την ανάπτυξη και εφαρμογή αντίστοιχων προσεγγίσεων ανάλυσης της συμπεριφοράς του οδηγού και της απόσπασης της προσοχής τους. Επιπλέον, η στατιστική ανάλυση που αναπτύχθηκε μπορεί να εφαρμοσθεί σε νέες έρευνες οδικής συμπεριφοράς και να οδηγήσει στη λήψη μέτρων για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας των οδηγών.

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

Η παρούσα έρευνα υλοποιείται στο πλαίσιο του Προγράμματος χορήγησης υποτροφιών Αριστείας για εκπόνηση μεταδιδακτορικής έρευνας στην Ελλάδα (Ακαδημαϊκού έτους έναρξης 2016-2017) από το ΙΚΥ στο πλαίσιο της συμφωνίας συμβιβασμού μεταξύ της Ελληνικής Δημοκρατίας και της Siemens.

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Amantini, A. and Cacciabue, P. (2009). A simple simulation predicting driver behavior, attitudes and errors. *Digital Human Modeling*, pp. 345–354.

Caird J.K., Willness C.A., Steel P., Scialfa C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (4), pp. 1282-1293.

Dudek, C., Schrock, S., Ullman, G., Chrysler, S. (2006). Flashing message features on changeable message signs. *Transportation Research Record*, 1959, 122– 129.

European Commission (2016). Road Safety: new statistics call for fresh efforts to save lives on EU roads – press release, Commission's road safety work and EU road safety statistics

Jamson, H. (2007). Driving me round the bend – behavioural studies using the new university of Leeds driving simulator. In *MSC 2007*, Braunschweig, Germany.

Manser, M. P., Hancock, P. A. (2007). The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: Tunnel wall characteristics and influences. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 69–78.

OECD. (2013). Organisation for Economic Co-operation and Development, European Conference of Ministers of Transport. Paris, OECD.

Papantoniou P. (2015). Risk factors, driver behaviour and accident probability. The case of distracted driving, Doctoral dissertation, National Technical University of Athens

Papantoniou, P., Papadimitriou, E., Yannis, E. (2016). Review of driving performance parameters critical for distracted driving research, *Proceedings of the 14th World Conference on Transport Research*, Shanghai

Regan, M.A., Lee, J.D., Young, K.L. (2008). *Driver Distraction: Theory, Effects, and Mitigation*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, pp. 31–40.

Wang, Y., Zhang, W., Wu, S. and Guo, Y. (2007). *Simulators for Driving Safety Study – A Literature Review*. *Virtual Reality*, pp. 584–593.

Washington, S., Karlaftis, M.G., Mannering C. (2010). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*, 2nd edition. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton

WHO. (2015). Global status report on Road Safety 2014, supporting a decade of action, World Health Organisation.

Wu, Y., Yu, D. and Yin, X. (2008). A simulation of car following driving based on coordinated model. In ICICTA'08: Proceedings of the 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 219–224, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

Zhao, S.F., Xu, G.H. and Tao, T.F. (2009). Modeling human vehicle driving which integrate models of fatigue. In 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (CIEA 2009), pp. 3493–3497