Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Διπλωματική εργασία

Ελένη - Κωνσταντίνα Φραντζόλα
Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2020

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, την υποστήριξη και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησής της, καθώς και την εξαιρετική συνεργασία μας.

Επιπλέον οφείλω να ευχαριστήσω εξίσου θερμά την Αρμίρα Κονταξή, υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για τις συμβουλές και τις παραγωγικές υποδείξεις της πάνω σε σημαντικά θέματα της Διπλωματικής Εργασίας, καθώς και το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας που διαμόρφωσε.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν και στην εταιρεία τηλεματικής OSeven, η οποία παραχώρησε τα στοιχεία μέτρησης της συμπεριφοράς οδηγού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Κεφαλληνό, προϊστάμενο του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας Περιφέρειας Αττικής, που κατέστησε ικανή τη συνεργασία με το Κ.Δ.Κ. όπως και τον κ. Αντώνη Χαζίρη, συγκοινωνιολόγο μηχανικό, για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά το στάδιο συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων.

Οφείλω να ευχαριστήσω επίσης θερμά την Βιργινία Πετράκη, Πολιτικό Μηχανικό - Ερευνήτρια ΕΜΠ, τον Ηλία Παρμακσίζογλου, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ και τον Απόστολο Ζιακόπουλο, Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη βοήθειά τους, για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές τους πάνω σε σημαντικά θέματα της Διπλωματικής Εργασίας και τον χρόνο που μου διέθεσαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2020

Ελένη- Κωνσταντίνα Φραντζόλα

Χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Ελένη - Κωνσταντίνα Φραντζόλα
Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων.** Συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η ασφάλεια κυκλοφορίας, εκφρασμένη σε συχνότητα εμφάνισης απότομων συμβάντων σε επίπεδο διασταυρώσεων και οδικών τμημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που συλλέχθηκαν από μια καινοτόμο εφαρμογή για έξυπνα κινητά τηλέφωνα, τα οποία συνδυάστηκαν με κυκλοφοριακά μεγέθη καθώς και χαρακτηριστικά της οδού. Στη συνέχεια τα δεδομένα αποτυπώθηκαν χωρικά με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών και αναπτύχθηκαν μοντέλα λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν αύξηση του αριθμού των απότομων συμβάντων όταν η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας μειώνεται στις αντίστοιχες περιοχές. Επιπλέον, σε οδικά τμήματα, καθώς αυξάνεται η μέση κατάληψη, παρατηρείται αύξηση στις απότομες επιταχύνσεις και, καθώς αυξάνεται η μέση ταχύτητα, εμφανίζονται λιγότερες απότομες επιβραδύνσεις. Εν γένει, προκύπτει ότι τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά (ταχύτητα και κατάληψη) έχουν τις στατιστικά σημαντικότερες επιπτώσεις στη συχνότητα των απότομων συμβάντων σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά της οδού και την οδηγική συμπεριφορά. Τέλος, διαπιστώθηκε έντονη συσχέτιση μεταξύ απότομων συμβάντων και χρονικών διακυμάνσεων, και συγκεκριμένα συνολική αύξηση των απότομων συμβάντων τη νύχτα.

Λέξεις κλειδιά: οδική ασφάλεια, ασφάλεια κυκλοφορίας, οδηγική συμπεριφορά, χωρο-χρονική ανάλυση, εφαρμογή έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Spatio-temporal analysis of traffic safety using data from smartphone sensors

Eleni - Konstantina Frantzola
Supervisor: George Yannis, Professor, NTUA

Abstract

The objective of this Diploma Thesis is the **spatio-temporal analysis of traffic safety using data from smartphone sensors**. Traffic safety, expressed as the frequency of harsh events, was investigated at junction and road section level, during daytime and nighttime. To this purpose, data collected from an innovative application for smartphones, combined with traffic and road characteristics, were used. Subsequently, data were imprinted spatially using Geographical Information Systems and log-linear regression models were developed. Results reveal an increase in the number of harsh events if average traffic speed decreases in the respective areas. Furthermore, in road sections as the average occupancy increases, there is an increase in harsh accelerations, and as the average speed increases, less harsh brakes occur. It appears that traffic characteristics (traffic speed and occupancy) have the most statistically significant impact on the frequency of harsh events compared to road geometry characteristics and driver behaviour data. Finally, a strong correlation between harsh events and time variation was found, indicating an overall increase in harsh events in the nighttime.

Keywords: road safety, traffic safety, driver behaviour, driver monitoring, spatio-temporal analysis, smartphone application

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων**. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται να βρεθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια κυκλοφορίας, εκφρασμένη σε συχνότητα εμφάνισης απότομων συμβάντων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Επιπλέον, εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά οδήγησης που καταγράφηκαν από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων, τα κυκλοφοριακά μεγέθη των οδικών αξόνων (ταχύτητα, κυκλοφοριακός φόρτος, κατάληψη) και τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και καθορίζουν την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του εκάστοτε οδηγού ανάλογα τη θέση του στον οδικό άξονα και πιο συγκεκριμένα ανάλογα με το αν κινείται σε διασταύρωση ή σε οδικό τμήμα.

Αποφασίστηκε η έρευνα να πραγματοποιηθεί σε μακροσκοπικό επίπεδο. Με σκοπό τη δημιουργία μιας επαρκούς περιοχής μελέτης ορίστηκαν **δύο αστικές λεωφόροι**, η Λ. Μεσογείων και η Λ. Βουλιαγμένης στην Αθήνα, κυρίως λόγω του συγκρίσιμου αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων που προσέφεραν και του διαχωρισμού των δύο κατευθύνσεων.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από **τρεις πηγές**. Η πρώτη ομάδα δεδομένων αφορούσε στον τρόπο οδήγησης περίπου τριακοσίων (300) οδηγών στην Αθήνα που είχαν καταγραφεί από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones) μέσω εφαρμογής της OSeven (322.675 συμβάντα). Η δεύτερη διαμορφώθηκε από τα κυκλοφοριακά μεγέθη που συλλέχθηκαν μέσω είκοσι έξι (26) βρόγχων, εγκατεστημένων από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας Περιφέρειας Αττικής, σε συγκεκριμένες θέσεις μέτρησης στις δύο αστικές λεωφόρους υπό μελέτη. Τέλος, η τρίτη αποτελούνταν από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο οδικών αξόνων που αντλήθηκαν με τη βοήθεια της διαδικτυακής υπηρεσίας χαρτογράφησης Google Maps.

Έπειτα από τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η χωρική ανάλυση εκείνων που αφορούσαν στον τρόπο οδήγησης των οδηγών, αποτυπώνοντας τις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις που καταγράφηκαν στους οδικούς άξονες των δύο λεωφόρων και αντιστοιχίζοντας τις σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα μέσω του **Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών** (GIS) ArcMap.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μια σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν, με τη μέθοδο της **λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**, οκτώ μαθηματικά μοντέλα, εκ των οποίων τα τέσσερα αφορούν στην οδηγική συμπεριφορά στις διασταυρώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (07:00-22:00) και τα άλλα τέσσερα στην οδηγική συμπεριφορά στα οδικά τμήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας (22:00-07:00). Επιπλέον αναπτύχθηκαν άλλα τέσσερα μοντέλα για συμβάντα απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε διασταυρώσεις και σε οδικά τμήματα, λαμβάνοντας υπόψη στην οδηγική συμπεριφορά την επιρροή της ώρας της ημέρας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1 Συγκεντρωτικός πίνακας απότομων συμβάντων κατά τη διάρκεια ημέρας και νύχτας

	Διασταύρωση																**Οδικό τμήμα**															
	Απότομες επιταχύνσεις								**Απότομες επιβραδύνσεις**								**Απότομες επιταχύνσεις**								**Απότομες επιβραδύνσεις**							
	Μέρα				**Νύχτα**				**Μέρα**				**Νύχτα**				**Μέρα**				**Νύχτα**				**Μέρα**				**Νύχτα**			
	β	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***
Constant	-1,234	-2,195	-	-	-0,113	-0,116	-	-	-0,347	-0,782	-	-	1,570	1,799	-	-	-2,320	-7,810	-	-	-1,772	-4,887	-	-	-1,530	-2,555	-	-	1,074	1,317	-	-
V	-0,034	-4,064	1,063	-4,07	-0,056	-3,497	2,431	-5,081	-0,051	-6,263	1,149	-4,672	-0,069	-4,670	2,000	-11,69																
O																	0,068	3,605	-0,427	2,202	0,377	4,876	-1,517	3,748								
MAX_Event_Speed	0,007	2,379	-0,261	1,000	0,011	3,349	-0,478	1,000	0,008	2,999	-0,246	1,000	0,005	2,352	-0,171	1,000	0,006	2,575	-0,194	1,000	0,004	1,876	-0,405	1,000								
MAX_Speed_Diff	0,037	2,414	-0,487	1,867	0,064	4,053	-0,897	1,875																								
MIN_Speed_Diff																									-0,038	-1,998	-0,455	3,601	-0,038	-2,272	-1,151	5,175
MIN_distance																	-0,302	-4,212	0,357	-1,839	-0,276	-4,447	0,773	-1,910	-0,239	-3,217	0,265	-2,099	-0,213	-3,873	0,501	-2,254
No.Right Exit/Entrance																	0,075	2,487	-0,073	-	0,103	3,691	-0,307	-								
Length																									0,001	2,385	-0,455	1,000	0,001	1,815	-0,222	1,000
No Left_Entrances	0,137	2,209	-0,080	-	0,173	2,981	-0,118	-																								
Sideway									0,173	2,024	-0,045	-	0,170	2,036	-0,049	-																
R^2	**0,661**				**0,67**				**0,621**				**0,486**				**0,565**				**0,676**				**0,571**				**0,502**			

Πίνακας 2 Συγκεντρωτικός πίνακας απότομων συμβάντων σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα

	Διασταύρωση								**Οδικό τμήμα**							
	Απότομες επιταχύνσεις				**Απότομες επιβραδύνσεις**				**Απότομες επιταχύνσεις**				**Απότομες επιβραδύνσεις**			
	β	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***	**β**	**t**	**ei**	**ei***
Constant	-3,199	-12,794	-	-	0,917	0,869	-	-	1,627	2,764	-	-	-2,007	-9,566	-	-
time of day	0,299	4,043	-0,109	-	0,234	3,284	-0,057	-	0,923	14,917	0,178	-	0,915	16,963	-0,687	-
RANGE_Event_Speed	0,010	3,891	-0,308	1,000	0,004	2,029	-0,079	1,000								
MIN_Event_Speed									-0,013	-4,806	0,254	-4,176	-0,024	-8,741	0,848	-5,589
MAX_Speed_Diff	0,047	3,677	-0,637	2,066	0,232	3,053	1,434	-18,045								
MIN_Speed_Diff									-0,364	-5,717	-0,061	1,000	-0,051	-5,735	-1,063	-1,063
MIN_distance					-0,141	-3,180	0,110	-1,380								
No Left_Entrances	0,151	3,109	-0,095	-												
No.Outgoing_Lanes					-0,058	-2,524	0,039	-								
Length									0,001	3,474	-0,215	3,536	0,001	2,880	-0,152	1,000
R^2	**0,537**				**0,426**				**0,767**				**0,815**			

Συνολικά Συμπεράσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία **σειρά συμπερασμάτων** που συνδέεται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματά της. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

Συνολική αποτίμηση

- Ως ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη συχνότητα των απότομων συμβάντων αποδείχθηκε ότι είναι η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**. Εν γένει, προκύπτει ότι τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά (ταχύτητα, κατάληψη) έχουν τη στατιστικά σημαντικότερη επιρροή στη συχνότητα των απότομων συμβάντων σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά της οδού και την οδηγική συμπεριφορά.

- Τη **νύχτα ο αριθμός των απότομων συμβάντων αυξάνεται** τόσο σε διασταυρώσεις όσο και σε οδικά τμήματα. Στη νυχτερινή οδήγηση οι συνθήκες είναι δυσμενέστερες σε σχέση με την ημέρα. Αυτό το συμπέρασμα εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι η ορατότητα τη νύχτα είναι μειωμένη σε σχέση με την ημέρα και σε συνδυασμό με απόσπαση της συγκέντρωσης ή έλλειψης προσοχής του οδηγού, καθώς και υπνηλίας ή κούρασης ή και οδήγησης υπό την επήρεια μέθης, να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απότομων συμβάντων.

- Ο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά του οδηγού σε μια **διασταύρωση** είναι η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας. Ειδικότερα, καθώς η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε μια διασταύρωση αυξάνεται, παρατηρείται μείωση των απότομων συμβάντων. Ενδεχομένως κάτι τέτοιο να συμβαίνει διότι με τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας οι πιο επιθετικοί χρήστες βρίσκουν επαρκείς χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς τους οποίους εκμεταλλεύονται επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας απότομα.

- Τη μεγαλύτερη επιρροή στη συμπεριφορά του οδηγού σε **οδικό τμήμα** εμφανίζει η μέση κατάληψη και η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται η μέση κατάληψη σε ένα τμήμα οδού, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις στη συγκεκριμένη περιοχή, διότι πιθανώς οι πιο επιθετικοί οδηγοί αντιλαμβάνονται την αύξηση του κορεσμού της κυκλοφοριακής ροής και προσπαθούν να αξιοποιήσουν οποιοδήποτε ικανό χωρικό διαχωρισμό. Ωστόσο, η αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας οδηγεί σε μείωση των απότομων συμβάντων.

Διασταυρώσεις - Απότομες επιταχύνσεις

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τη συχνότητα απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση αποτελεί η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** όπως προκύπτει από τις υπολογισθείσες ελαστικότητες. Συγκεκριμένα βρέθηκε να επιδρά αρνητικά στον λογάριθμο της συχνότητας απότομων επιταχύνσεων στη διασταύρωση. Πιθανόν κάτι τέτοιο να συμβαίνει διότι με τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας οι πιο επιθετικοί χρήστες βρίσκουν επαρκείς χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς τους οποίους εκμεταλλεύονται επιταχύνοντας απότομα.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιταχύνσεις στη διασταύρωση. Αυτό ερμηνεύεται ενδεχομένως από το γεγονός ότι η οδήγηση τη νύχτα η ταχύτητα κυκλοφορίας είναι υψηλότερη και ο κυκλοφοριακός φόρτος μικρότερος με αποτέλεσμα οι οδηγοί να βρίσκουν χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς ώστε να επιταχύνουν απότομα.

<u>Διασταυρώσεις - Απότομες επιβραδύνσεις</u>

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τη συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση αποτελεί η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας μπορεί να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές των οδηγών.

- Καθώς αυξάνεται η μέγιστη τιμή και το εύρος της **ταχύτητας συμβάντος**, η αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις. Αυτό δηλώνει πιο απρόβλεπτη και επιθετική συμπεριφορά των χρηστών επομένως μεγαλύτερο αριθμό απότομων επιβραδύνσεων.

- Η ύπαρξη **παραδρόμου** στη διασταύρωση προκαλεί επίσης αύξηση στον αριθμό των απότομων επιβραδύνσεων. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί ενδεχομένως από την προσπάθεια του οδηγού που εξέρχεται από τη διασταύρωση, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, επιβραδύνοντας απότομα.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα ενδεχομένως να εξηγείται από το ότι, η ορατότητα τη νύχτα είναι μειωμένη σε σχέση με την ημέρα με αποτέλεσμα οι οδηγοί να μη μπορούν να αντιδρούν έγκαιρα σε ένα απότομο συμβάν και να επιβραδύνουν απότομα.

<u>Οδικά Τμήματα - Απότομες επιταχύνσεις</u>

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τη συχνότητα απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα αποτελεί η **μέση κατάληψη της οδού** όπως προκύπτει από τις υπολογισθείσες ελαστικότητες. Ενδεχομένως οι πιο επιθετικοί οδηγοί αντιλαμβάνονται την αύξηση του κορεσμού της ροής και προσπαθούν να αξιοποιήσουν οποιοδήποτε ικανό χωρικό διαχωρισμό, με αποτέλεσμα ο συγκεκριμένος περιορισμός της κίνησης στους λιγότερο υπομονετικούς οδηγούς να δημιουργεί μια πιο επιθετική συμπεριφορά.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιταχύνσεις στο οδικό τμήμα. Η οδήγηση στο σκοτάδι συνδέεται με υψηλότερο βαθμό σφαλμάτων αντίληψης, όπως απόσπαση της συγκέντρωσης και έλλειψη προσοχής, καθώς και υψηλότερα περιστατικά υπνηλίας και κούρασης και οδήγησης υπό την επήρεια μέθης με αποτέλεσμα τον υψηλότερο αριθμό απότομων επιταχύνσεων.

<u>Οδικά Τμήματα - Απότομες επιβραδύνσεις</u>

- Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** επιδρά αρνητικά στη συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας υπάρχει περίπτωση να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές των οδηγών.

- Όσο αυξάνεται το **μήκος του οδικού τμήματος**, τόσα περισσότερα απότομα συμβάντα εμφανίζονται. Ενδεχομένως, η συγκεκριμένη παρατήρηση να οφείλεται στον μεγαλύτερο αριθμό εξόδων/εισόδων της λεωφόρου και στις περισσότερες αλλαγές λωρίδων κυκλοφορίας.

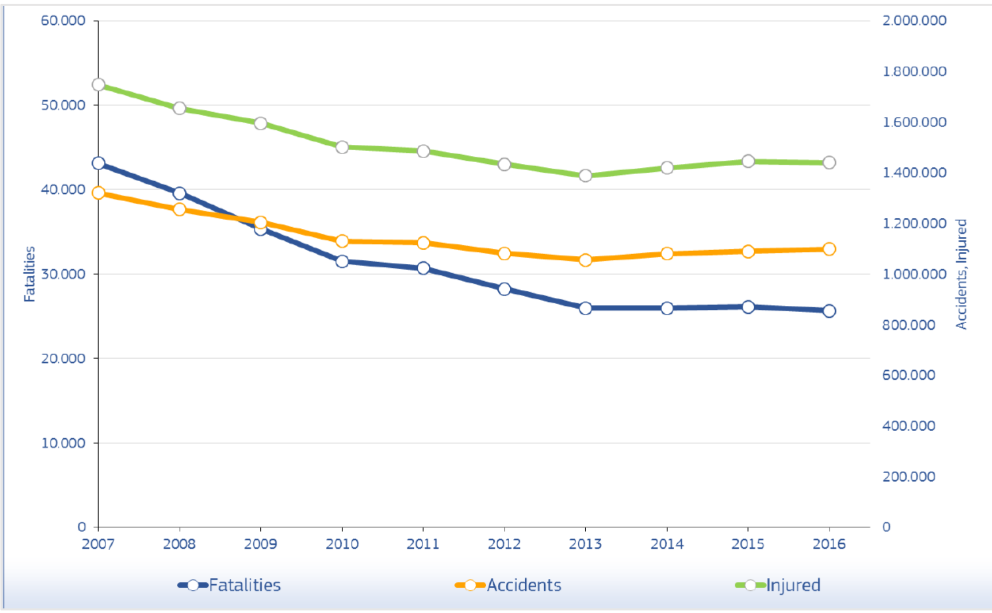
- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις στο οδικό τμήμα. Είναι γεγονός ότι η οπτική αντίληψη των οδηγών είναι μειωμένη σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και συνεπώς μπορεί να μειώσει τον χρόνο αντίδρασης σε κινδύνους στο δρόμο, με αποτέλεσμα την αύξηση των απότομων επιβραδύνσεων.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Τα οδικά ατυχήματα αποτελούν μια από τις κυριότερες αιτίες θανάτου παγκοσμίως, ενώ αποτελούν την πρώτη αιτία θανάτου σε ηλικίες 5-29 ετών. Κάθε χρόνο περίπου **1,35 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους λόγω οδικών ατυχημάτων** και μεταξύ 20 και 50 εκατομμύρια άνθρωποι υφίστανται μη θανατηφόρα τραύματα, με πολλούς να υφίστανται αναπηρία ως αποτέλεσμα του τραυματισμού τους (WHO, 2018). Το ποσοστό θανάτων σε σχέση με το μέγεθος του παγκόσμιου πληθυσμού έχει σταθεροποιηθεί τα τελευταία χρόνια λόγω της προόδου σε σημαντικούς τομείς όπως η νομοθεσία ή τα πρότυπα των οχημάτων. Η πρόοδος αυτή, ωστόσο, δεν πραγματοποιήθηκε με αρκετά ταχύ ρυθμό ώστε να αντισταθμίσει τον αυξανόμενο πληθυσμό και την ταχεία αύξηση των μεταφορών που πραγματοποιούνται σε πολλά μέρη του κόσμου. Πιο συγκεκριμένα, στην Ευρώπη το 2016 σημειώθηκαν 25.600 θανατηφόρα ατυχήματα και τραυματίστηκαν περισσότεροι από 1,4 εκατομμύρια άνθρωποι (European Commission, 2018).



Διάγραμμα 1.1 Ετήσιος αριθμός θανάτων, ατυχημάτων και τραυματιών στην Ευρώπη κατά το διάστημα 2007-2016
Πηγή: European Commission, 2018

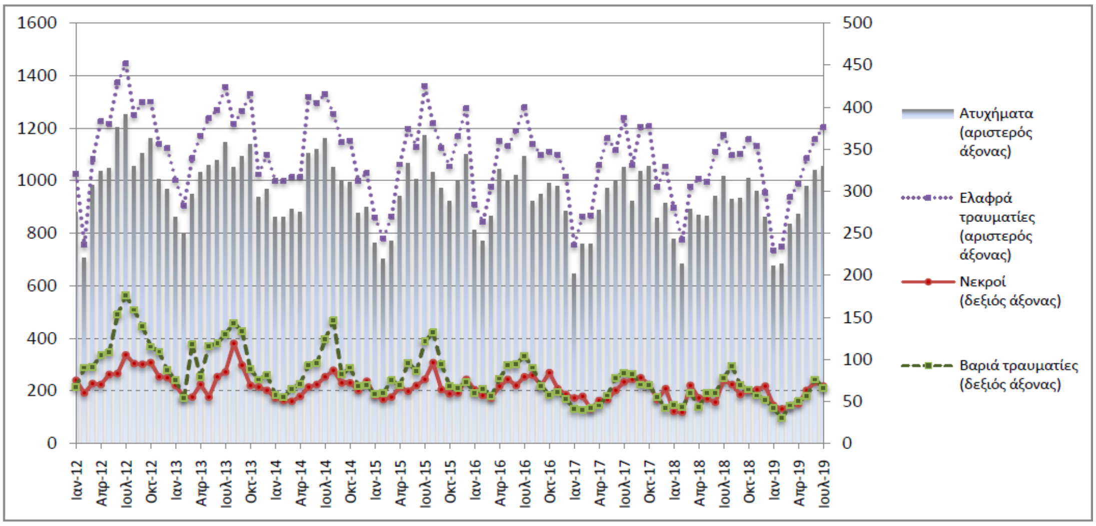
Ειδικότερα για την Ελλάδα, **οι νεκροί εμφάνισαν σημαντική μείωση** της τάξεως του 10% που οφείλεται όχι μόνο στις συνεχιζόμενες συνέπειες της οικονομικής κρίσης αλλά και στα πεντακόσια (500) νέα χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομων, που δόθηκαν στην κυκλοφορία στις αρχές του 2017 και αντικατέστησαν ιδιαίτερα επικίνδυνα οδικά τμήματα του οδικού δικτύου. Η Ελλάδα την τελευταία δεκαετία εμφανίζει την υψηλότερη μείωση του αριθμού των νεκρών στα οδικά ατυχήματα στην Ευρώπη (51%) παρόλα αυτά με 64 νεκρούς ανά εκ. πληθυσμού βρίσκεται στην 22η θέση ανάμεσα στα 28 κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (NRSO, 2019) και απέχει από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο των 50 νεκρών ανά εκ. πληθυσμού, και ακόμα περισσότερο από τα κράτη με τις καλύτερες επιδόσεις (25 νεκροί ανά εκ. πληθυσμού).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2009-2018
AT	76	66	62	63	54	51	56	50	47	45	-40.8%
BE	88	77	80	69	65	65	65	56	54	52	-40.9%
BG	121	105	89	82	83	91	98	99	96	88	-27.3%
CY	89	73	85	59	51	52	67	54	62	57	-36.0%
CZ	86	77	67	71	62	65	70	58	55	62	-27.9%
DE	51	45	50	45	41	42	43	39	39	39	-23.5%
DK	55	48	40	30	34	32	31	37	30	30	-45.5%
EE	75	59	76	66	61	59	51	54	36	51	-32.0%
ES	59	52	44	41	36	36	36	39	39	39	-33.9%
FI	52	50	54	47	48	42	49	47	42	43	-17.3%
FR	66	62	61	56	50	51	52	54	51	48	-27.3%
GR	131	113	103	89	80	73	73	76	69	64	-51.2%
HR	127	99	97	92	86	73	82	73	80	77	-39.4%
HU	82	74	64	61	60	63	65	62	64	64	-22.0%
IE	53	46	41	35	41	42	36	39	33	31	-41.5%
IT	72	66	64	63	57	56	56	54	56	55	-23.6%
LT	116	95	97	101	86	91	83	66	67	61	-47.4%
LU	97	64	64	65	84	64	64	56	42	60	-38.1%
LV	117	103	86	88	99	106	95	80	70	78	-33.3%
MT	51	36	51	22	40	24	26	51	41	38	-25.5%
NL	44	39	40	34	28	28	31	31	31	31	-29.5%
PL	120	103	110	94	88	84	77	80	75	76	-36.7%
PT	80	80	74	68	61	61	57	54	58	59	-26.3%
RO	137	117	100	102	93	91	95	97	99	96	-29.9%
SE	39	28	34	30	27	28	27	27	25	32	-17.9%
SI	84	67	69	63	61	52	58	63	50	44	-47.6%
SK	71	69	61	65	46	54	51	51	51	46	-35.2%
UK	38	31	31	28	28	29	28	28	28	28	-26.3%
EU	71	63	61	56	51	51	51	50	49	49	-31.0%

Διάγραμμα 1.2 Αριθμός νεκρών ανά εκατομμύριο πληθυσμού στην Ευρώπη

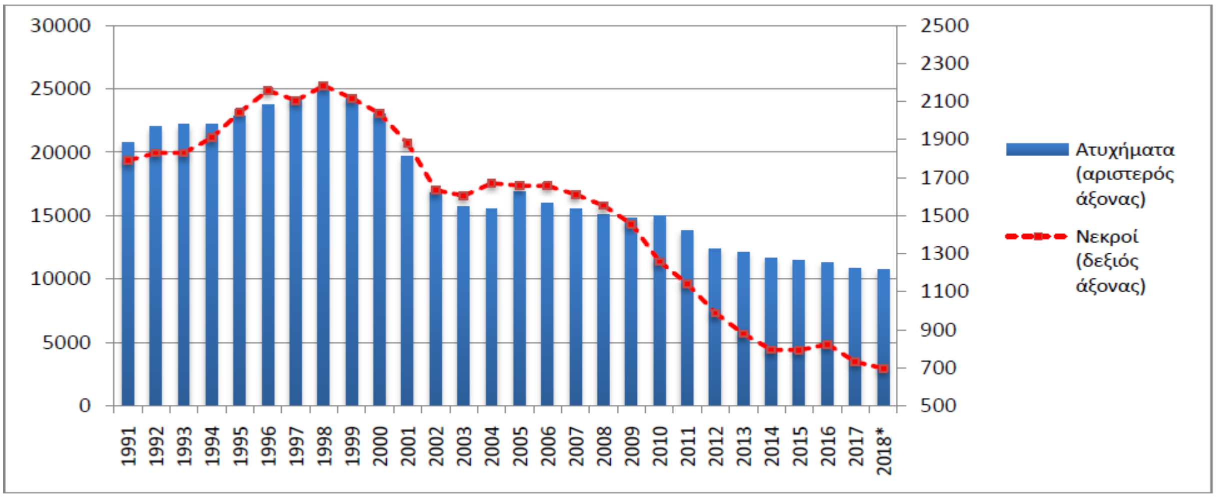
Πηγή: https://www.nrso.ntua.gr/road-fatalities-per-million-population-european-union-2009-2018/

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) τον Ιανουάριο του 2018 τα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν σε ολόκληρη τη χώρα και προκάλεσαν το θάνατο ή τον τραυματισμό ανθρώπων, **αυξήθηκαν κατά 18,8%** σε σύγκριση με τον αντίστοιχο του 2017. Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο αριθμός των ατυχημάτων (νεκροί και τραυματίες) όπως εξελίχθηκε από τον Ιανουάριο του 2012 έως τον Ιούλιο του 2019, στο οποίο διαπιστώνεται μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων με το πέρασμα του χρόνου.



Διάγραμμα 1.3 Οδικά ατυχήματα και παθόντες
Πηγή: [ΕΛΣΤΑΤ]()

Ακόμα πιο μακροσκοπικά, η χώρα μας συνολικά παρουσιάζει **σημαντική πτωτική τάση** στα ατυχήματα από το 1991 έως το 2018, όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα, οδεύοντας προς τον στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ουσιαστική μείωση των οδικών ατυχημάτων έως το 2020.



Διάγραμμα 1.4 Σύνολο οδικών τροχαίων ατυχημάτων και νεκρών, 1991-2018
Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

Οι τρεις **βασικοί παράγοντες ενός οδικού ατυχήματος** (NRSO, 2019) είναι ο χρήστης της οδού, το οδικό περιβάλλον και το όχημα, με τη συμπεριφορά του οδηγού να αποτελεί την κύρια αιτία για ποσοστό 65 - 95% των οδικών ατυχημάτων. Η συμπεριφορά του οδηγού περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που μπορούν να αποτελούν αιτίες οδικών ατυχημάτων όπως:

- Επικίνδυνες ενέργειες (υψηλή ταχύτητα, παραβάσεις κώδικα οδικής 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 προσοχής οδηγού
- Κούραση

Οι **κρίσιμοι παράγοντες πρόκλησης οδικών ατυχημάτων στην Ελλάδα,** κατά σειρά σημασίας είναι (NRSO, 2019) : οι υψηλές ταχύτητες και η επιθετική οδήγηση, τα υψηλά ποσοστά κυκλοφορίας μοτοσικλετιστών, τα χαμηλά ποσοστά χρήσης ζώνης και κράνους, ιδίως στους συνεπιβάτες, η ανοργάνωτη - απροστάτευτη κυκλοφορία ευάλωτων χρηστών της οδού, η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και με χρήση κινητού τηλεφώνου.

Τέλος, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία**, η πιθανότητα εμπλοκής σε οδικό ατύχημα αυξάνεται σημαντικά στο σκοτάδι** (Johansson, Wanvik, & Elvik, 2009). Συνεπώς ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που αξίζει να μελετηθεί, αποτελεί η επίδραση της νύχτας στην οδηγική συμπεριφορά. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η οπτική αντίληψη είναι μειωμένη σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού (χαμηλότερη φωτεινότητα) και μπορεί να μειώσει τον χρόνο αντίδρασης σε κινδύνους στο δρόμο. Επιπρόσθετα, η οδήγηση στο σκοτάδι συνδέεται με υψηλότερο βαθμό σφαλμάτων αντίληψης, όπως απόσπαση της συγκέντρωσης και έλλειψη προσοχής, καθώς και υψηλότερα περιστατικά υπνηλίας και κούρασης και οδήγησης υπό την επήρεια μέθης με αποτέλεσμα την πρόκληση οδικών ατυχημάτων (NRSO, 2019).

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων**. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται να βρεθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια κυκλοφορίας, εκφρασμένη σε συχνότητα εμφάνισης απότομων συμβάντων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Επιπλέον, εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά οδήγησης που καταγράφηκαν από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων, τα κυκλοφοριακά μεγέθη των οδικών αξόνων (ταχύτητα, κυκλοφοριακός φόρτος, κατάληψη) και τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και καθορίζουν την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του οδηγού ανάλογα τη θέση του στον οδικό άξονα και πιο συγκεκριμένα ανάλογα με το αν κινείται σε διασταύρωση ή σε οδικό τμήμα.

Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία από μία καινοτόμο **εφαρμογή παρακολούθησης της συμπεριφοράς του οδηγού** σε πραγματικό χρόνο, η οποία χρησιμοποιεί τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε χωρική ανάλυση των δεδομένων που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά οδήγησης για τον προσδιορισμό της οδηγικής συμπεριφοράς συγκριτικά με το εάν ο οδηγός βρίσκεται σε διασταύρωση ή οδικό τμήμα.

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν κατάλληλα **μοντέλα στατιστικής ανάλυσης,** προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί επαρκώς η επιρροή των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν οκτώ μαθηματικά μοντέλα, εκ των οποίων τα τέσσερα αφορούσαν στην οδηγική συμπεριφορά στις διασταυρώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (07:00-22:00) και τα άλλα τέσσερα στην οδηγική συμπεριφορά στα οδικά τμήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας (22:00-07:00). Επιπλέον αναπτύχθηκαν άλλα τέσσερα μοντέλα για τα συμβάντα απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε διασταυρώσεις και σε οδικά τμήματα συνολικά, λαμβάνοντας υπόψη στην οδηγική συμπεριφορά την επιρροή της ώρας της ημέρας.

1.3 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας και για την επίτευξη του τελικού της στόχου ακολουθήθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία τα στάδια της οποίας παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Το αρχικό στάδιο υλοποιήθηκε με τον **καθορισμό του αντικειμένου** προς εξέταση καθώς και του επιδιωκόμενου στόχου. Για την επίτευξη του στόχου πραγματοποιήθηκε ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση**. Αναζητήθηκαν δηλαδή έρευνες με θέμα συναφές με εκείνο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας τόσο σε ελληνικό, όσο και σε διεθνές επίπεδο. Μέσω των ερευνών αυτών ανακτήθηκε σχετική εμπειρία η οποία συνέβαλε στην επιλογή μεθόδου συλλογής των στοιχείων, όσο και στην επιλογή μεθόδων ανάλυσης αυτών.

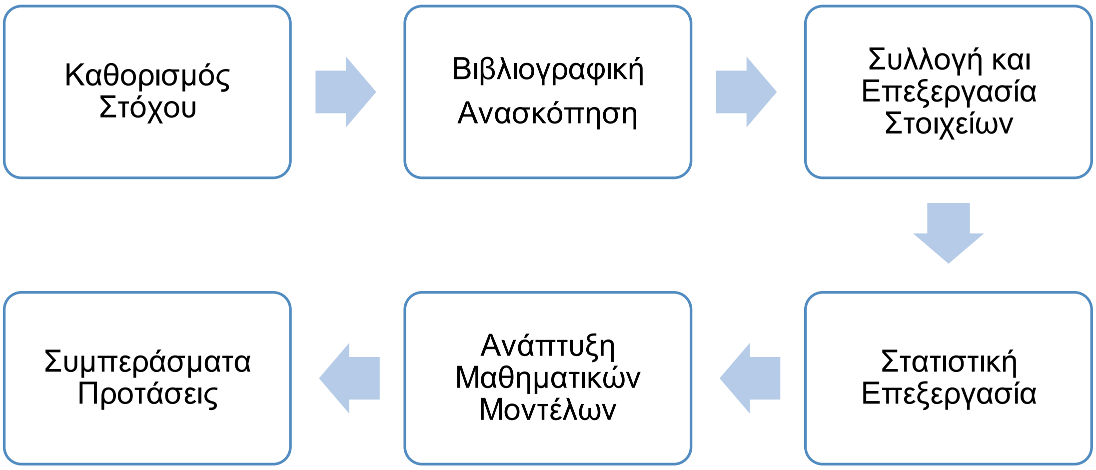
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των στοιχείων** που απαιτούνταν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, για την εύρεση των στοιχείων που χαρακτηρίζουν τον τρόπο οδήγησης του οδηγού αξιοποιήθηκε ένα καινοτόμο σύστημα συλλογής δεδομένων, μέσα από την εξατομικευμένη **καταγραφή της συμπεριφοράς του οδηγού** σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Τριακόσιοι τρεις οδηγοί (303) συμμετείχαν στο πείραμα οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες (smartphone naturalistic driving experiment) στην Αθήνα και σε διάστημα 25 Αυγούστου του 2016 έως 26 Νοεμβρίου του 2017. Με τα παραπάνω δεδομένα δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με χιλιάδες απότομα συμβάντα. Αξιοποιήθηκε η ειδική πλατφόρμα της εταιρείας της συγκεκριμένης εφαρμογής σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα (OSeven) για την αποτελεσματική μετάβαση από τη συλλογή στοιχείων στη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η **χωρική ανάλυση** των συγκεντρωμένων δεδομένων, μέσω της εφαρμογής ενός **Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών** (ArcMap 10.3) με αποτέλεσμα την προβολή τους στο οδικό δίκτυο. Σε αυτό το σημείο αποφασίστηκε η τελική επιλογή των οδικών αξόνων προς διερεύνηση που ήταν, η Λ. **Μεσογείων**, από το ύψος της συμβολής της με τη Λεωφόρο Κατεχάκη και μέχρι το ύψος του Σταυρού, και η Λ. **Βουλιαγμένης**, από την οδό Αγ. Κωνσταντίνου στην Ηλιούπολη και μέχρι τη Λ. Ποσειδώνος στη Βούλα.

Προκειμένου να ομαδοποιηθούν τα δεδομένα σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες περιοχές, αναπαριστώντας τις διασταυρώσεις με κύκλους σταθερής ακτίνας και τα οδικά τμήματα με πολύγωνα, αναλόγως τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας και συνυπολογίζοντας το μισό πλάτος της νησίδας μεταξύ των δύο αντίθετων κατευθύνσεων (άνοδος, κάθοδος). Η συγκεκριμένη διαδικασία είχε ως απώτερο στόχο τη **διερεύνηση της οδηγικής συμπεριφοράς με κύριο γνώμονα τη θέση του οδηγού στην οδό.**

Το δεύτερο σκέλος της φάσης συλλογής δεδομένων υλοποιήθηκε στο Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.). Μέσω των βάσεων δεδομένων του Κ.Δ.Κ. **αντλήθηκαν τα κυκλοφοριακά στοιχεία** για τις δύο λεωφόρους, που είχαν μετρηθεί με τον μηχανικό εξοπλισμό του, και αντιστοιχήθηκαν στα χωρικά τμήματα που είχαν οριστεί από την προηγούμενη ανάλυση. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν τα **χαρακτηριστικά των δύο οδικών αξόνων** προς διερεύνηση (αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, ύπαρξη ή απουσία λεωφορειολωρίδας, παράδρομου, αριθμός εισερχόμενων ή εξερχόμενων λωρίδων στις διασταυρώσεις κ.τ.λ.). Η συγκέντρωση των προαναφερόμενων στοιχείων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της διαδικτυακής υπηρεσίας χαρτογράφησης (Google Maps) και του προγράμματος γραφικής απεικόνισης της Γης (Google Earth) που παρέχονται από τη Google. Τελικώς, τα συλλεχθέντα στοιχεία από τις προηγούμενες διαδικασίες επεξεργάστηκαν κατάλληλα και έπειτα ταξινομήθηκαν σε μία ενιαία ηλεκτρονική βάση δεδομένων (Microsoft Excel) προκειμένου να είναι έτοιμα για το στάδιο της στατιστικής ανάλυσης με τη χρήση ειδικού στατιστικού λογισμικού (IBM SPSS Statistics 23).

Επόμενο στάδιο αποτέλεσε η **επιλογή της κατάλληλης μεθόδου στατιστικής ανάλυσης** (λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση) με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των τελικών μαθηματικών μοντέλων προς επίτευξη των οριζόμενων στόχων της Διπλωματικής Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν οκτώ μοντέλα σε επίπεδο οριοθετημένης περιοχής, με εξαρτημένες μεταβλητές τον λόγο της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων προς τον φόρτο της περιοχής, ώστε να είναι πιο συγκρίσιμα τα αποτελέσματα. Με αυτόν τον τρόπο έγινε προσπάθεια εξέτασης του βαθμού συσχέτισης των συλληφθέντων χαρακτηριστικών της οδού, της κυκλοφορίας και του τρόπου οδήγησης με τη συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων εντός διασταύρωσης και οδικού τμήματος κατά τη διάρκεια της ημέρας και νύχτας.

Έπειτα **έγινε αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων** και με βάση τα αποτελέσματα των μοντέλων εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την επιρροή των εκάστοτε ανεξάρτητων μεταβλητή στην εξαρτημένη. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για το υπό εξέταση ζήτημα και διατυπώθηκαν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται υπό μορφή διαγράμματος ροής τα διαδοχικά στάδια που ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.



Διάγραμμα 1.5 Διάγραμμα ροής των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του εκάστοτε κεφαλαίου της.

Στο **πρώτο κεφάλαιο,** που αποτελεί μια **εισαγωγή,** γίνεται αναφορά σε στατιστικά στοιχεία ατυχημάτων σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο. Έπειτα, περιγράφεται το αντικείμενο και ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας και τίθενται τα ερωτήματα προς διερεύνηση. Τέλος πραγματοποιείται συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας με την παράθεση του διαγράμματος ροής για καλύτερη κατανόηση καθώς και της δομής της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από εκτενή **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών με παρεμφερές αντικείμενο. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται σύνοψη των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** που αποτελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο**, αναλύεται η επιλεχθείσα μεθοδολογία. Αρχικά, καταγράφονται όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της κάθε μεθόδου και παρουσιάζεται η ακολουθείσα διαδικασία παραγωγής των μοντέλων καθώς και οι στατιστικοί έλεγχοι που πρέπει πραγματοποιηθούν. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία σύντομη παράθεση των βημάτων που ακολουθούνται για την επεξεργασία των δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αφορά τη διαδικασία **συλλογής** και **επεξεργασίας των στοιχείων** που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στη διαδικασία άντλησης και προεργασίας των στοιχείων από την OSeven και στη συμπλήρωσή τους με αυτά του Κ.Δ.Κ. αλλά και με τα χαρακτηριστικά των οδών, με σκοπό τη διαμόρφωση των τελικών βάσεων δεδομένων για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επεξεργασία συγκεκριμένων δεδομένων για την ανάπτυξη των μοντέλων και η κωδικοποίησή τους προκειμένου να εισαχθούν στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης. Στο τέλος του κεφαλαίου αναλύεται η πορεία υπολογισμών μέσω της χρήσης του στατιστικού προγράμματος SPSS καθώς και μια προκαταρτική ανάλυση από τα στοιχεία που προέκυψαν.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται αναλυτικά η **διαδικασία και μεθοδολογία** που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των μοντέλων και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Πραγματοποιείται σύγκριση των μοντέλων που αφορούν την οδήγηση κατά την ημέρα και τη νύχτα, αναλύονται οι συσχετίσεις των επιμέρους μεταβλητών ενώ τα τελικά μοντέλα συνοδεύονται και από διαγράμματα ευαισθησίας για την καλύτερη αποτύπωση των αποτελεσμάτων.

Το **έκτο κεφάλαιο**, περιλαμβάνει τα **συμπεράσματα** που προέκυψαν από την ερμηνεία των τελικών μαθηματικών μοντέλων. Μέσω αυτών επιχειρείται να δοθεί απάντηση στο αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο **έβδομο κεφάλαιο,** παρουσιάζεται με μορφή καταλόγου το σύνολο των **βιβλιογραφικών αναφορών** που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Ο κατάλογος αυτός περιλαμβάνει αναφορές, που αφορούν τόσο σε έρευνες που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια της εισαγωγής και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όσο και σε στατιστικές έννοιες και μεθόδους, που αναλύθηκαν στο θεωρητικό υπόβαθρο.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, η οποία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζονται έρευνες στον τομέα της οδικής ασφάλειας, των οποίων το αντικείμενο και η μεθοδολογία τους παρουσιάζουν συνάφεια με τα υπό μελέτη ζητήματα, όπως αυτά παρουσιάστηκαν συνοπτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά παρατίθενται έρευνες οι οποίες έχουν ως κύριο αντικείμενο την οδηγική συμπεριφορά, αξιοποιώντας δεδομένα που λαμβάνονται από **αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων**.

Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται έρευνες που πραγματοποιούν χωρική ανάλυση κυρίως οδικών ατυχημάτων και άλλων δεδομένων που αφορούν χαρακτηριστικά της οδού μέσω του **Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών**, καθώς στην παρούσα Διπλωματική Εργασία γίνεται χωρική ανάλυση δεδομένων σχετικών με την οδική ασφάλεια. Τέλος παρατίθενται έρευνες που σχετίζονται με τη σύγκριση της οδηγικής συμπεριφοράς κατά τη **διάρκεια της ημέρας και της νύχτας**. Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός της καταλληλότερης μεθόδου για την αντιμετώπιση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας.

2.2 Συλλογή δεδομένων από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Σκοπό της έρευνας από (Mantouka, Barmpounakis, & Vlahogianni, 2019) αποτέλεσε ο εντοπισμός των **επιθετικών και επικίνδυνων προφίλ οδήγησης** χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέγονται από **αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων.** Το σύνολο των δεδομένων περιλάμβανε πάνω από 10.000 ταξίδια που πραγματοποιήθηκαν σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον από 129 οδηγούς. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: αρχικά πραγματοποιήθηκε μια ομαδοποίηση προκειμένου να διαχωριστούν τα επιθετικά από μη επιθετικά ταξίδια. Στη συνέχεια, για τη διάκριση ασφαλών μετακινήσεων από μη ασφαλείς, πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη ομαδοποίηση. Με αυτόν τον τρόπο, τα ταξίδια κατηγοριοποιήθηκαν σε έξι ξεχωριστές ομάδες με αυξανόμενη σημασία σε σχέση με την ασφάλεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι περίπου το 50% των ταξιδιών χαρακτηρίστηκαν ως «ασφαλή ταξίδια», ενώ στο 23,5% των ταξιδιών οι οδηγοί οδήγησαν πάνω από το όριο ταχύτητας και μόνο το 7,5% των ταξιδιών χαρακτηρίζεται από απόσπαση προσοχής. Η περαιτέρω ανάλυση των οδηγών σε σχέση με την ομαδοποίηση των ταξιδιών τους έδειξε ότι οι οδηγοί δεν μπορούν να διατηρήσουν ένα σταθερό προφίλ οδήγησης στο χρόνο αλλά παρουσιάζουν έντονη άστατη συμπεριφορά ανά ταξίδι.

Μια άλλη έρευνα που διεξήχθη από τους (Toledo, Musicant, & Lotan, 2008) είχε ως αντικείμενο τη **διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών μέσω ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων** (Drive Diagnostics), το οποίο είναι προσαρμοσμένο στο εσωτερικό του αυτοκινήτου. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν να εκτιμήσει τη συμπεριφορά των οδηγών, μετρώντας τον τρόπο οδήγησής τους μέσω συγκεκριμένων παραμέτρων. Η μέθοδος της έρευνας ήταν η εξής: το σύστημα συλλέγει στοιχεία όπως η επιτάχυνση του οχήματος, η ταχύτητά του, η ακριβής θέση του, η κατανάλωση καυσίμων, ο συνολικός χρόνος ταξιδιού κτλ. Προκειμένου να μετρηθούν συγκεκριμένες παράμετροι, όπως η συχνότητα αλλαγής λωρίδων, τα απότομα φρεναρίσματα και επιταχύνσεις και η υπερβολική ταχύτητα, αυτές οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω ασύρματων δικτύων σε έναν διακομιστή, ο οποίος τις αποθηκεύει ώστε για κάθε οδηγό να υπάρχει ένας συγκεκριμένος φάκελος με τα χαρακτηριστικά του. Τέλος, οι οδηγοί κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες (προσεκτικοί, κανονικοί και επιθετικοί), ανάλογα με το προφίλ που προκύπτει από τα δεδομένα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αρχική έκθεση των συμμετεχόντων στο πείραμα είχε σημαντική επίδραση στη **βελτίωση της οδηγικής τους συμπεριφοράς** και της οδικής ασφάλειας. Επιπλέον, **η πρόσβαση που είχαν στα δεδομένα του συστήματος τους βοήθησε να καταλάβουν τα σφάλματα** που διαπράττουν στο δρόμο. Παρόλα αυτά, η έρευνα έδειξε ότι αν δεν υπάρξει περαιτέρω ενδιαφέρον για την καταγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς των ανθρώπων, μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα δεν παρατηρείται καμία πρόοδος. Στην εν λόγω εργασία, η επίδραση του Drive Diagnostics και στους τριάντα-τρεις οδηγούς που χρησιμοποιήθηκε είχε εξαφανιστεί με το πέρας πέντε μηνών.

Στην έρευνα των (Paleti, Sahin, & Cetin, 2017) χρησιμοποιήθηκαν **δεδομένα αισθητήρων από έξυπνα κινητά τηλέφωνα για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση των μη ασφαλών μοντέλων οδήγησης** και τη σχέση τους με οδικά ατυχήματα. Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκαν στατιστικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τα σφάλματα των μετρήσεων που σχετίζονται με μικροσκοπικά μέτρα κυκλοφορίας, τα οποία υπολογίζονται χρησιμοποιώντας δεδομένα από τους αισθητήρες των κινητών τηλεφώνων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μοντέλα με μικροσκοπικές μεταβλητές κυκλοφορίας αποδείχθηκαν στατιστικά καλύτερα από τα παραδοσιακά μοντέλα που ελέγχουν μόνο τις γεωμετρικές μεταβλητές της οδού και μεταβλητές κυκλοφορίας.

Στόχο της έρευνας από (Gitelman, et al., 2018). αποτέλεσε η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των συμβάντων οδήγησης IVDR (In-vehicle data recorders), των χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου και των ατυχημάτων, ώστε να εξετάσει τη δυνατότητα για την **πρόβλεψη των συμβάντων και την εύρεση των θέσεων υψηλού κινδύνου στο οδικό δίκτυο**. Η βάση των δεδομένων μελέτης περιελάβανε 3.500 τμήματα υπεραστικών δρόμων στο Ισραήλ, για τους οποίους τα γεγονότα IVDR συσχετίστηκαν με την οδική υποδομή και τα ατυχήματα. Χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα αρνητικής-δυωνιμικής παλινδρόμησης τα οποία προσαρμόστηκαν για τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών της οδού και των συμβάντων οδήγησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι καλύτερες οδικές συνθήκες συσχετίστηκαν με μείωση των συμβάντων «πέδησης» και αύξηση των συμβάντων «συναγερμού ταχύτητας». Τα συμβάντα «πέδησης» και τα συνολικά συμβάντα εμφάνισαν καλύτερη δυνατότητα για την πρόβλεψη ατυχημάτων σε οδούς μονής κατεύθυνσης, με θετική συσχέτιση με ατυχήματα, όπου για άλλους τύπους δρόμων τα συμβάντα «συναγερμού ταχύτητας» ήταν υψηλά συσχετισμένα με οδικά ατυχήματα, αλλά με αρνητική συσχέτιση. Η ετερογένεια των ευρημάτων υποδηλώνει την ανάγκη για **περαιτέρω έρευνα** των παραπάνω με ιδιαίτερη έμφαση στους ορισμούς των συμβάντων οδήγησης που παράγονται από IVDR ή άλλες τεχνολογίες.

Στόχος της εργασίας που πραγματοποιήθηκε από (G. Yannis, D.Tselentis, E.Papadimitriou, S. Mavromatis, 2014) ήταν να αναδείξει τις δυνατότητες **παρακολούθησης και αξιολόγησης της κυκλοφορίας και της συμπεριφοράς των οδηγών,** μέσω της συνεχούς **συλλογής δεδομένων από το όχημα (**OBD – On Board Diagnostics) **και το έξυπνο κινητό τηλέφωνο** (smartphone). Η συγκεκριμένη έρευνα εξετάζει τη συσχέτιση μεταξύ της οδηγικής συμπεριφοράς και του βαθμού έκθεσης στον κυκλοφοριακό κίνδυνο. Επιπλέον, εξετάζονται οι επιπτώσεις των κρίσιμων δεικτών συμπεριφοράς και έκθεσης στον κυκλοφοριακό κίνδυνο, καθώς και η συμπεριφορά οδήγησης και τα μοντέλα έκθεσης που χρησιμοποιούν τους παραπάνω δείκτες για τον υπολογισμό του κυκλοφοριακού κινδύνου. Οι δείκτες οδικής ασφάλειας (SPIs) είναι τα μέτρα (δείκτες), οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τις λειτουργικές συνθήκες του συστήματος οδικής κυκλοφορίας, που επηρεάζουν την απόδοση ασφαλείας του συστήματος. Τα δεδομένα μεταδίδονται αυτόματα σε μια κεντρική βάση δεδομένων μέσω του δικτύου του κινητού. Η βάση δεδομένων αναλύεται για να αξιολογήσει κάθε οδηγό βάσει της οδηγικής συμπεριφοράς. Αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη δεικτών κινδύνου οδήγησης, έκθεσης και συμπεριφοράς. Τα αποτελέσματα μπορούν να μεταφερθούν μέσω εφαρμογών προγραμματισμού (API) σε μια φιλική προς το χρήστη εφαρμογή Smartphone. Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι **ένα σύστημα βαθμολόγησης της οδήγησης με αστέρια** που παρακολουθεί και παρέχει ανατροφοδότηση σχετικά με τη συμπεριφορά ασφαλείας του οδηγού, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα πολύ καλό **κίνητρο** για τους περισσότερους οδηγούς **ώστε να οδηγούν με ασφαλέστερο τρόπο**.

2.3 Χωρική Ανάλυση

Πολλοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν τα ατυχήματα λειτουργούν σε χωρική κλίμακα. Οι (Ziakopoulos & Yannis, 2020) πραγματοποίησαν μια εκτενή **κριτική επισκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας** σχετικά με τις διαφορετικές χωρικές προσεγγίσεις στην οδική ασφάλεια μέσω των οποίων οι ερευνητές χειρίζονται τη διάσταση του χώρου στις αναλύσεις τους. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν η χρήση διαφορετικών επιπέδων επιφανειακών μονάδων στις μελέτες χωρικής ανάλυσης καθώς επίσης και οι διαφορετικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης.

Οι (Aguero-Valverde & Jovanis, 2006) θέλησαν να διερευνήσουν τη **βελτίωση της χρήσης των χωρικών μοντέλων της εμφάνισης των ατυχημάτων** και να κατανοήσουν τις επιπτώσεις αυτών. Ο σκοπός αυτής της έρευνας ήταν να αναπτυχθούν χωρικά μοντέλα συχνότητας ατυχημάτων για την πολιτεία της Πενσυλβανίας σε επίπεδο νομού, ενώ ελέγχθηκαν παράλληλα παράγοντες που σχετίζονται με τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, τις μεταφορές και το περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας τους τραυματισμούς από οδικά ατυχήματα και τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα που καταγράφηκαν στη Πενσυλβανία την περίοδο 1996-2000, συγκρίνονται τα πλήρη ιεραρχικά μοντέλα Bayes (FB) (με χωρο-χρονικές επιπτώσεις και χωρο-χρονικές αλληλεπιδράσεις), με τις αρνητικές διωνυμικές (NB) εκτιμήσεις της ετήσιας συχνότητας εμφάνισης οδικών ατυχημάτων σε επίπεδο κομητείας. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές ορίζονται τα κοινωνικο-δημογραφικά στοιχεία, οι καιρικές συνθήκες, οι υποδομές των μεταφορών και οι οδικές διαδρομές. Συμπέρασμα της συγκεκριμένης εργασίας είναι πως τα ιεραρχικά μοντέλα (FB) συμφωνούν με τις εκτιμήσεις της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (NB). Επίσης, στους νομούς, με το υψηλότερο ποσοστό πληθυσμού κάτω από το επίπεδο φτώχειας, με το υψηλότερο ποσοστό του πληθυσμού τους να ανήκουν στις ηλικιακές κατηγορίες 0-14, 15-24 και άνω των 64 ετών και εκείνες με αυξημένες οδικές διαδρομές, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της πιθανότητας για πρόκληση οδικού ατυχήματος. Επιπρόσθετο συμπέρασμα αποτελεί η διαπίστωση ότι η συνολική βροχόπτωση είναι στατιστικά σημαντική και θετικά συσχετισμένη στα μοντέλα NB, ενώ παρουσιάζεται στατιστικά μη σημαντική στα μοντέλα FB. Τέλος, η χωρική συσχέτιση είναι πιθανό να φανεί ακόμα πιο σημαντική σε μοντέλα οδικών ατυχημάτων σε επίπεδο οδικών τμημάτων και διασταυρώσεων.

Οι (Mahmud, 2008) ανέπτυξαν το σύστημα IRAS (Intelligent Road Accident System) μέσω του οποίου η αστυνομία της Μαλαισίας μπορεί να **επιβλέπει τα οδικά ατυχήματα σε πραγματικό χρόνο** (real-time). Το σύστημα είναι βασισμένο σε G.I.S. αλλά και σε τεχνολογίες που σχετίζονται με τις τηλεπικοινωνίες καθώς χρησιμοποιεί GPRS για τη μεταφορά των δεδομένων στο Κέντρο Ελέγχου. Ταυτόχρονα προσφέρει δυνατότητα χωρικών ερωτήσεων, παρουσίαση διαγραμμάτων αλλά και ένα προχωρημένο περιβάλλον χρήσης (user interface).

Οι (Prasannakumar, Vijith, Charutha, & Geetha, 2011) αξιολόγησαν και οριοθέτησαν τα σημεία των οδικών ατυχημάτων σε μια πόλη της Νότιας Ινδίας όπου η ανεπαρκής ανάπτυξη του δικτύου μεταφοράς συχνά οδηγεί σε κυκλοφοριακή συμφόρηση και ατυχήματα. Τα μοντέλα εντοπισμού και διανομής των σημείων εξετάζονται με τη βοήθεια της **τεχνολογίας γεωπληροφορικής** για να αναδείξουν την επιρροή των χωρικών ή/και χρονικών παραγόντων στο σχηματισμό τους. Ο σημαντικότερος σκοπός της ανάλυσης ατυχημάτων είναι ο εντοπισμός και η παραγωγή των πληροφοριών προκειμένου να βοηθηθούν οι υπεύθυνοι να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη και τη μείωση των ατυχημάτων. Η χωρική στατιστική χαρτογράφηση είναι το κλειδί για την κατανόηση της χωρικής και χρονικής εμφάνισης ατυχημάτων και οι χωρικές στατιστικές περιλαμβάνουν ένα σύνολο τεχνικών για την περιγραφή και τη μοντελοποίηση χωρικών δεδομένων. Η **χωρική στατιστική ανάλυση** που σχετίζεται με οδικά ατυχήματα μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια χωρική βάση δεδομένων που περιλαμβάνει όλες τις επιθυμητές πληροφορίες και τη δημιουργία επιπέδων δεδομένων από τις διαθέσιμες πηγές που έχουν ληφθεί από το πεδίο. Τα ατυχήματα συνολικά δείχνουν μια ομαδοποιημένη φύση, ενώ η σύγκριση των χωροχρονικών διαχωρισμών υποδηλώνει τυχαία κατανομή σε ορισμένες κατηγορίες. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά από διάφορους οργανισμούς για την υιοθέτηση καλύτερων στρατηγικών σχεδιασμού και διαχείρισης για τη βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας καθώς και τη μείωση των ατυχημάτων.

Μια προσπάθεια απεικόνισης του προβλήματος της οδικής ασφάλειας στο οδικό περιβάλλον επιχείρησαν, οι (Ivan & Haidu, 2012), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον **χωρικό μέσο των οδικών ατυχημάτων** για το χρονικό διάστημα 2010 έως και Μάιο του 2012 για την πόλη Cluj-Napoca της βορειοδυτικής Ρουμανίας προκειμένου να εντοπιστεί το σημείο το οποίο αντιπροσωπεύει την κατανομή. Υπολόγισαν και την τυπική απόσταση αυτών όπως και την έλλειψη τυπικού σφάλματος η οποία έδειξε ότι η κατανομή των περιστατικών είναι κατά μήκος του κυρίου οδικού δικτύου.

2.4 Σύγκριση οδηγικής συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια ημέρας και νύχτας

Οι (Bella, Calvi, & D'Amico, 2014) πραγματοποίησαν μια μελέτη προκειμένου να **συγκρίνουν τη συμπεριφορά της ταχύτητας του οδηγού κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας,** προσδιορίζοντας σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά ταχύτητας υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Ο κύριος στόχος της εργασίας ήταν να συγκρίνει τα μέτρα διαφοράς ταχύτητας (ΔV85) οδηγού σε προσομοίωση ημέρας και νύχτας, για οδήγηση με διαφορετικές γεωμετρίες των συνθέσεων εφαπτομένης-καμπύλης και να προτείνει νέες σχέσεις μεταξύ αυτών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό των οδών και την αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας. Η έρευνα διεξήχθη με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης για τμήμα υφιστάμενου αγροτικού δρόμου δύο λωρίδων που αποτελείται από 39 διαμορφώσεις εφαπτομενικής καμπύλης. Τα προφίλ ταχύτητας καταγράφηκαν για 40 οδηγούς υπό προσομοιωμένες συνθήκες οδήγησης κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Τα αποτελέσματα προτείνουν νέα μοντέλα πρόβλεψης της ταχύτητας, διαφοροποιημένα για οδήγηση κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, τα οποία υπογραμμίζουν τις επιδράσεις διαφόρων γεωμετρικών παραμέτρων κάτω από διαφορετικές συνθήκες ορατότητας. Συγκεκριμένα, τα μοντέλα πρόβλεψης για την ταχύτητα λειτουργίας σε καμπύλες έδειξαν το αντίστροφο της ακτίνας και τη γωνία παραμόρφωσης της καμπύλης και υπό τις δύο συνθήκες οδήγησης.

Μια άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από (Calvi & Bella, 2014) στοχεύει στην **ανάλυση των προφίλ ταχύτητας** των οδηγών για την αξιολόγηση των παραμέτρων διαφοράς ταχύτητας (85MSR, ΔV85 και Δ85V) **κατά τη διάρκεια οδήγησης ημέρας και νύχτας**. Η έρευνα διεξήχθη με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης σε ένα τμήμα 10 χλμ. ενός υπάρχοντος αγροτικού δρόμου δύο λωρίδων που αποτελείται από 39 διαμορφώσεις εφαπτόμενων καμπυλών. Τα προφίλ ταχύτητας 40 οδηγών καταγράφηκαν τόσο σε προσομοιωμένες συνθήκες ημέρας όσο και νύχτας. Η μελέτη προτείνει νέες σχέσεις μεταξύ διαφορικών παραμέτρων ταχύτητας για διαφορετικές συνθήκες ορατότητας και γεωμετρίες διαμόρφωσης εφαπτομένης-καμπύλης. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν διαφορετικές σχέσεις μεταξύ διαφορικών παραμέτρων ταχύτητας μεταξύ τεσσάρων διαφορετικών κατηγοριών γεωμετριών εφαπτομένης-καμπύλης και υπό συνθήκες οδήγησης ημέρας και νύχτας.

Σε μια άλλη εργασία από (Bassani, Catani, Cirillo, & Mutani, 2016) εξετάστηκαν οι **κατανομές ταχύτητας**, οι οποίες διαμορφώθηκαν χρησιμοποιώντας περιβαλλοντικές παραμέτρους που σχετίζονται τόσο με **τη γεωμετρία του δρόμου όσο και με τις συνθήκες φωτισμού**. Για να επιτευχθεί αυτό, οι συγγραφείς συνέταξαν μια περιεκτική βάση δεδομένων στην οποία τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, οι ταχύτητες και η φωτεινότητα είναι διαθέσιμες τόσο για νυχτερινές όσο και για ημερήσιες συνθήκες. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι μέσες ταχύτητες και οι αποκλίσεις από τον μέσο όρο επηρεάζονται σημαντικά από τις αλλαγές στις παραμέτρους φωτισμού για τις διάφορες συνθήκες (ηλιόλουστες, συννεφιασμένες και σκοτεινές) που εξετάζονται στη συγκεκριμένη έρευνα. Η γνώση των επιπτώσεων αυτών των παραμέτρων είναι θεμελιώδης για αποτελεσματικές πολιτικές διαχείρισης του οδικού δικτύου, ιδίως σε αστικές οδούς όπου σημειώνεται κυρίως ο μεγαλύτερος αριθμός ατυχημάτων.

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε από (Hu & Donnell, 2010) στοχεύει στη **μοντελοποίηση του ρυθμού επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης** του οδηγού σε μια σύνθετη αγροτική εθνική οδό δύο λωρίδων κατά την προσέγγιση ή την απομάκρυνση οριζόντιων καμπυλών **υπό συνθήκες νυκτερινής οδήγησης**. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη ήταν από ένα πείραμα πεδίου που διεξήχθη στην Πενσυλβανία. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι επεξηγηματικές μεταβλητές που σχετίζονται με ρυθμούς επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης κατά την προσέγγιση ή απόκλιση οριζόντιων καμπυλών στο παρόν πείραμα περιλάμβαναν αρκετές γεωμετρικές μεταβλητές σχεδιασμού, όπως κατεύθυνση καμπύλης, ακτίνα καμπύλης, μήκος οριζόντιας καμπύλης και κατακόρυφο δείκτη καμπύλης.

2.5 Σύνοψη

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα **συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης** που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα αναλύθηκε βιβλιογραφία που έχει ως αντικείμενο την εκτίμηση της συμπεριφοράς του οδηγού μέσω συστημάτων καταγραφής δεδομένων που βρίσκονται εντός του οχήματος ή μέσω των έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανάλυση που αφορά αφενός στην αξιοποίηση των συστημάτων GIS για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και αφετέρου στη σύγκριση της οδηγικής συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύκτας. Παρατηρήθηκε ποικιλία μεθοδολογιών προσέγγισης, όπως γραμμικά ή μη μοντέλα και χρήση προσομοιωτή οδήγησης και πειραμάτων πεδίου.

Η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι τα **συστήματα καταγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς** φαίνεται να βελτιώνουν τα επίπεδα οδικής ασφάλειας. Ωστόσο, χρειάζεται η παρακολούθηση της συμπεριφοράς να συνεχιστεί σε βάθος χρόνου. Επιπλέον, μέσω των συστημάτων καταγραφής μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τόσο στην ανθρώπινη συμπεριφορά και στον τρόπο οδήγησης όσο και στα μηχανικά χαρακτηριστικά του οχήματος. Η παρακολούθηση του οδικού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο είναι ήδη εφικτή λόγω της δυνατότητας συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων που προσφέρουν οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις. Κατά συνέπεια, είναι σαφές πως τα συστήματα αυτά μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην έγκαιρη πρόληψη και αντιμετώπιση οδικών ατυχημάτων. Η καταγραφή διαφόρων στοιχείων οδήγησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σκιαγράφηση του προφίλ του οδηγού, την αυτοβελτίωσή του ή ακόμα και την εφαρμογή ασφάλιστρων με βάση την οδηγική του συμπεριφορά.

Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από παρακολούθηση σε αστικές περιοχές, εφαρμόζεται ήδη και σε συνδυασμό με **εφαρμογές GIS**, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην απεικόνιση των φαινομένων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια. Το πλήθος δεδομένων των ατυχημάτων που έχουν ήδη συμβεί μπορεί να οδηγήσει στην αξιόπιστη πρόβλεψη των αιτιών ατυχημάτων αν αναλυθεί χωρικά. Η αύξηση της χρήσης του G.I.S. έχει οδηγήσει τους επιστήμονες σε εξελιγμένες μεθόδους για την ποσοτικοποίηση των περιοχών συγκέντρωσης (hotspots) οδικών ατυχημάτων ωστόσο, δεν υπάρχει καθολικός ορισμός των επικίνδυνων θέσεων ατυχημάτων.

Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι η **οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας** επιφέρει αναμφίβολα μεταβολή στη συμπεριφορά των οδηγών. Τα στατιστικά στοιχεία ατυχημάτων αποδεικνύουν ότι η απουσία φωτισμού ή η ύπαρξη αμυδρού φωτισμού σχετίζεται με τη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση οι συνθήκες κακής ορατότητας, ιδιαίτερα στη βροχή, μειώνουν την αποτελεσματικότητα της οπτικής αντίληψης του οδικού περιβάλλοντος των οδηγών με αποτέλεσμα τον υψηλό κίνδυνο ατυχημάτων κατά τη νυχτερινή οδήγηση. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερο στις κατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, προτείνονται νέα μοντέλα πρόβλεψης ταχύτητας, διαφοροποιημένα για οδήγηση κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, τα οποία υπογραμμίζουν τις επιδράσεις διαφορετικών γεωμετρικών παραμέτρων κάτω από διαφορετικές συνθήκες ορατότητας.

3 Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** που αξιοποιήθηκε για την ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στις δύο μεθόδους ανάλυσης που αναπτύχθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων, δηλαδή στη **γραμμική παλινδρόμηση** (linear regression) και στη **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** (log normal regression). Οι μέθοδοι αυτές επιλέχθηκαν βάσει του είδους της εξαρτημένης μεταβλητής (συνεχής). Στη συνέχεια, αναλύονται οι **στατιστικοί έλεγχοι** και τα **κριτήρια αποδοχής** ή απόρριψης ενός μοντέλου. Τέλος, παρατίθενται οι κύριες λειτουργίες του ειδικού λογισμικού επεξεργασίας το οποίο χρησιμοποιήθηκε.

3.2 Μαθηματικά Μοντέλα

Ο κλάδος της στατιστικής ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να καθίσταται δυνατή η πρόβλεψη της μίας από τις υπόλοιπες, ονομάζεται **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis). Ο όρος **εξαρτημένη** μεταβλητή αφορά εκείνη της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ ο όρος **ανεξάρτητη** αποδίδεται στη μεταβλητή η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία, αλλά παίρνει καθορισμένες τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή θεωρείται τυχαία και «καθοδηγείται» από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Προκειμένου να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκάλεσε τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων. Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μία στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Σημειώνεται ότι η επιλογή της μεθόδου ανάπτυξης ενός μοντέλου βασίζεται στο αν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής ή διακριτή.

3.2.1 Γραμμική Παλινδρόμηση

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι **συνεχές μέγεθος** και ακολουθεί κανονική κατανομή, τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Η απλούστερη περίπτωση γραμμικής παλινδρόμησης είναι η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** (simple linear regression). Η απλή γραμμική παλινδρόμηση ορίζεται από μία μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή X και μία εξαρτημένη μεταβλητή Y, που προσεγγίζεται ως γραμμική συνάρτηση του X. Η τιμή y_i της Y, για κάθε τιμή της x_i της X, προσδιορίζεται ως εξής:

$$y_i = \alpha + \beta * x_i + \varepsilon_i$$

Το πρόβλημα της παλινδρόμησης έγκειται στην **εύρεση των παραμέτρων α και β** που εκφράζουν καλύτερα τη γραμμική εξάρτηση της Y από τη X. Κάθε ζεύγος τιμών (α, β) καθορίζει μία διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από μία ευθεία γραμμή, ενώ οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- Ο σταθερός όρος α είναι η τιμή του y για x = 0.
- Ο συντελεστής β είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή διαφορετικά ο συντελεστής παλινδρόμησης (regression coefficient). Εκφράζει τη μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X αλλάξει κατά μία μονάδα.
- Η τυχαία μεταβλητή ε_i ονομάζεται σφάλμα παλινδρόμησης (regression error) και ορίζεται ως η διαφορά της y_i από τη δεσμευμένη μέση τιμή $E(Y|X = x_i)$, όπου $E\ (Y|X = x_i) = a + \beta x_i$.

Για την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

- Η μεταβλητή X είναι ελεγχόμενη για το πρόβλημα που μελετάται, δηλαδή οι τιμές της είναι γνωστές.
- Η εξάρτηση της Y από τη X είναι γραμμική.
- Το σφάλμα παλινδρόμησης έχει μέση τιμή μηδέν για κάθε τιμή της X και η διασπορά του είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από τη X, δηλαδή $E\ (\varepsilon_i) = 0$ και $Var\ (\varepsilon_i) = \sigma\varepsilon^2$.

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές X, $(X_1,\ X_2,\ X_3,\ \dots\ ,\ X_\kappa)$, γίνεται αναφορά στην **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression). Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχει τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_o + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \beta_\kappa * x_{\kappa i} + \dots + \varepsilon_i$$

Οι υποθέσεις της **πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης** δεν διαφέρουν από αυτές της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Το καινούριο στοιχείο που εισάγεται είναι η ανάγκη για μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών ($\rho(x_i\ ,\ x_j\ )\forall\ i \neq j \rightarrow 0$), η οποία πρέπει να ελεγχθεί πριν γίνει η εκτίμηση των παραμέτρων των μεταβλητών.

3.2.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Μέσω της **λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης** (log-normal regression) δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι γραμμική. Στη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης και υπολογίζονται από την ανάλυση της παλινδρόμησης με βάση **την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων**.

Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι **μη αρνητικά**, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την **κανονική κατανομή** και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος (Bauer, Harwood, 1998). Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$\log y_i = \beta_o + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \beta_\kappa * x_{\kappa i} + \dots + \varepsilon_i$$

όπου y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, β_0, β_1, ..., β_κ οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης, x_{1i}, ..., x_{ki} οι εξαρτημένες μεταβλητές και ε_i το σφάλμα παλινδρόμησης.

3.3 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Τα **κριτήρια** βάσει των οποίων πραγματοποιείται η αξιολόγηση ενός μαθηματικού μοντέλου μετά τη διαμόρφωσή του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i της εκάστοτε εξίσωσης, η ελαστικότητα, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου καθώς και το σφάλμα της εξίσωσης.

3.3.1 Λογική ερμηνεία των προσήμων των συντελεστών

Θετικό πρόσημο του συντελεστή β_i συνεπάγεται αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντιθέτως, **αρνητικό πρόσημο** υποδηλώνει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Επιπλέον, θα πρέπει να ερμηνεύεται λογικά η τιμή του συντελεστή, καθώς αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μια μονάδα οδηγεί σε αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες.

3.3.2 Ελαστικότητα

Η **ελαστικότητα** αποτελεί δείκτη ο οποίος αντικατοπτρίζει την **ευαισθησία** της εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί 1% μεταβολή της ανεξάρτητης. Για γραμμικά μοντέλα και **συνεχείς μεταβλητές** η ελαστικότητα εκφράζεται ως εξής:

$$\mathrm{e_i} = \frac{\Delta \mathrm{Yi}}{\Delta \mathrm{Xi}} * \frac{\mathrm{Xi}}{\mathrm{Yi}} = \beta_\mathrm{i} * \frac{\mathrm{Xi}}{\mathrm{Yi}}$$

Για **διακριτές και διατεταγμένες μεταβλητές** χρησιμοποιείται η έννοια της ψευδοελαστικότητας, η οποία περιγράφει τη μεταβολή στην τιμή της πιθανότητας επιλογής κατά τη μετάβαση από τη μία τιμή της διακριτής μεταβλητής στην άλλη. Η **ψευδοελαστικότητα** υπολογίζεται μέσω της παρακάτω μαθηματικής σχέσης:

$$E_{\mathrm{x_i n_k}}^{\mathrm{P(i)}} = e^{\beta ik} \frac{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{I}} \mathrm{e}^{\beta_\mathrm{i} \mathrm{x_n}}}{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{I}} \mathrm{e}^{\Delta(\beta_\mathrm{i} \mathrm{x_n})}} - \mathrm{x}$$

Όπου:

- I, το πλήθος των πιθανών επιλογών
- xink, η τιμή της μεταβλητής k, για την εναλλακτική i, του ατόμου n
- Δ(βixn), η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της xnk έχει μεταβληθεί από 0 σε 1
- βixn, η αντίστοιχη τιμή όταν η xink έχει τιμή 0
- βik, η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής xnk

3.3.3 Στατιστική σημαντικότητα

Σημαντικός έλεγχος για την αξιολόγηση του μοντέλου είναι ο **έλεγχος t-test** (κριτήριο t της κατανομής Student). Μέσω του δείκτη t προσδιορίζεται η **στατιστική σημαντικότητα** των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή η επιλογή των μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής t εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\mathrm{t_{stat}} = \frac{\beta \mathrm{i}}{\mathrm{s.e.}}$$

Όπου, s.e. το τυπικό σφάλμα (standard error).

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι μείωση του τυπικού σφάλματος επιφέρει αύξηση του συντελεστή t_{stat} και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t κατά απόλυτη τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα που παρατίθεται στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή t για το εκάστοτε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Πίνακας 3.1: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t

Βαθμοί Ελευθερίας	**Επίπεδο Εμπιστοσύνης**				
	0,900	**0,950**	**0,975**	**0,990**	**0,995**
80	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Ως βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom) τίθενται το πλήθος δείγματος μείον ένα. Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% η τιμή t=1,7, επομένως προκύπτει ότι για να είναι συμπεριληφθεί κάποια μεταβλητή στο μοντέλο θα πρέπει να έχει συντελεστή t μεγαλύτερο του 1,7 κατά απόλυτη τιμή, έτσι ώστε να κρίνεται στατιστικά σημαντική.

3.3.4 Συντελεστής προσαρμογής R^2

Ο **συντελεστής R^2** χρησιμοποιείται ως **δείκτης αξιολόγησης της ποιότητας** του μοντέλου καθώς αποτελεί κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{\mathrm{SSR}}{\mathrm{SST}}$$

Όπου:

$SSR=\sum_{i=1}^{n}(\widehat{y_i} - \bar{y})^2 = \beta^2 \sum_{i=1}^{n}(\mathrm{xi} - \mathrm{x})^2$
$SST=\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{y_i} - \bar{y})^2$

Τα αρχικά SSR και SST έχουν προέλθει από τις φράσεις υπόλοιπο άθροισμα τετραγώνων (Residual Sum of Squares) και συνολικό άθροισμα τετραγώνων (Total Sum of Squares), αντίστοιχα. Με $\widehat{y_i}$ συμβολίζεται η προβλεπόμενη τιμή της εξαρτημένες μεταβλητές από τις ανεξάρτητες.

Ο συντελεστής **R^2 εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X, ενώ λαμβάνει τιμές από 0 έως 1**. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή που είναι αποδεκτή ή απορριπτέα, αλλά μεταξύ μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τον υψηλότερο συντελεστή. Πολλές φορές εισάγεται ως σημαντικότητα του ελέγχου μία συγκεκριμένη τιμή την οποία ο έλεγχος πρέπει να υπερβεί, και για επίπεδο **εμπιστοσύνης 95% η τιμή ορίζεται στο 0,05.**

3.3.5 Σφάλμα εξίσωσης μοντέλου

Αναφορικά με το **σφάλμα** της εξίσωσης του μοντέλου, αυτό οφείλει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις για τη γραμμική παλινδρόμηση:

- Να ακολουθεί κανονική κατανομή
- Να έχει σταθερή διασπορά, $Var(\varepsilon_i) = \sigma_\varepsilon^2 = c$
- Να έχει μηδενική συσχέτιση, $\rho(\varepsilon_i\ , e_j) = 0,\ \forall\ i \neq j$

Σημειώνεται ότι η διασπορά του σφάλματος εξαρτάται από το συντελεστή R^2. Όσο μεγαλύτερο είναι το R^2 τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος και άρα τόσο καλύτερη η πρόβλεψη.

3.4 Λειτουργία του ειδικού στατιστικού λογισμικού

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα θεωρητικά στοιχεία που συνδέονται με τη λειτουργία του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε (IBM SPSS Statistics 23). Έπειτα από την εισαγωγή και τον καθορισμό των μεταβλητών σε συνεχεία, εκτελέσθηκε η εντολή Analyze η οποία περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιλογές:

- **Correlate:** Η διαδικασία που μετράει τη **συσχέτιση** ανάμεσα σε ζευγάρια μεταβλητών. Επιλέγεται η εντολή *Bivariate correlation*, ενώ οι μεταβλητές εισάγονται στο πλαίσιο Variables και χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης Pearson αν πρόκειται για συνεχείς μεταβλητές και αντίστοιχα ο συντελεστής συσχέτισης Spearman αν πρόκειται για διακριτές μεταβλητές.
- **Regression:** Η διαδικασία που εκτελεί διάφορα είδη **παλινδρόμησης**, όπως η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των μοντέλων. Η εξαρτημένη μεταβλητή εισάγεται στο πλαίσιο Dependent και οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισάγονται στο πλαίσιο Independent(s). Στο πλαίσιο Method μπορεί να επιλεγεί μια μέθοδος για τη βέλτιστη επιλογή επεξηγηματικών μεταβλητών. Αυτή συνήθως αφήνεται Enter που σημαίνει ότι στο μοντέλο εισέρχονται όσες μεταβλητές βρίσκονται στο πλαίσιο Independent(s*)* με τη σειρά που αναγράφονται εκεί.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στα δεδομένα εξόδου θα πρέπει να πληρούν τα εξής κριτήρια:

- Οι **τιμές** και τα **πρόσημα** των συντελεστών β_i να εξηγούνται **λογικά** για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή.
- Η τιμή του **στατιστικού ελέγχου t** να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1,7 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και το **επίπεδο σημαντικότητας** να είναι μικρότερο από 5%. Κατ' εξαίρεση ίσως γίνονται δεκτές μεταβλητές με επίπεδο σημαντικότητας λίγο μεγαλύτερο.
- Ο **συντελεστής συσχέτισης R^2** να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερος.

4 Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η **διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων**, έτσι ώστε να δοθεί μία πλήρη εικόνα για την ποιότητα και αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Αρχικά παρουσιάζονται οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν με στόχο τον συνδυασμό των δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων μέσω της εφαρμογής της εταιρείας OSeven και από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.). Η προκαταρτική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε μέσω του λογισμικού στο οποίο έγινε η χωρική (ArcMap 10.3) και η στατιστική ανάλυση τους (IBM SPSS Statistics 23) ώστε να παραχθούν τα τελικά μοντέλα. Προκειμένου να δημιουργηθεί μία ικανή περιοχή έρευνας, επιλέχθηκαν η Λ. Μεσογείων και η Λ. Βουλιαγμένης, στην Αθήνα, λόγω των συνθηκών αστικής λεωφόρου με συγκρίσιμο αριθμό κυκλοφοριακών λωρίδων και διαχωρισμό των δύο κατευθύνσεων.

4.2 Συλλογή δεδομένων

Όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς προέρχονται από τη χρήση λεπτομερών **δεδομένων φυσικής οδήγησης** που έχουν συλλεχθεί από το κινητό τηλέφωνο του οδηγού και από το Κ.Δ.Κ. μέσω ανιχνευτών που έχουν τοποθετηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις των οδών.

4.2.1 OSeven

Η OSeven είναι μια πρωτοποριακή εταιρεία που ειδικεύεται στην **ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς** και τις λύσεις τηλεματικής. Μέσω της καινοτόμου **εφαρμογής** της **στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα**, οι οδηγοί μπορούν να παρακολουθούν την οδηγική τους συμπεριφορά, να εντοπίζουν τα αδύνατα σημεία τους στην οδήγηση, να συγκρίνουν την απόδοσή τους με άλλους οδηγούς και να βελτιώνονται συνεχώς. Χρησιμοποιείται μια εξελιγμένη μηχανή καταγραφής που λαμβάνει τιμές από όλους τους διαφορετικούς αισθητήρες που υπάρχουν στο κινητό, επιτυγχάνοντας έναν βέλτιστο συνδυασμό ακρίβειας και κατανάλωσης μπαταρίας, ενώ ταυτόχρονα μετράει την απόσπαση προσοχής του οδηγού κατά την οδήγηση, μία από τις σημαντικότερες αιτίες των οδικών ατυχημάτων.

Η **καταγραφή των δεδομένων** ξεκινάει αυτόματα όταν αναγνωρίζεται μια κατάσταση οδήγησης και σταματάει αυτόματα όταν αναγνωρίζεται κατάσταση μη οδήγησης. Η εγγραφή κατά τη διάρκεια της οδήγησης μένει σε αναμονή για πέντε λεπτά μετά τη διακοπή της κατάστασης της οδήγησης, για να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι ο οδηγός συνεχίζει το ταξίδι του με στάση λίγων λεπτών. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα προέρχονται από τους διάφορους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone) και αλγόριθμους συγχώνευσης (fusion algorithms) δεδομένων που παρέχονται από το Android (Google) και το iOS (Apple).

Η εφαρμογή κινητού τηλεφώνου που έχει αναπτυχθεί καταγράφει τη συμπεριφορά του χρήστη **χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες της συσκευής** (Επιταχυνσιόμετρου (Accelerometer), Γυροσκόπιο (Gyroscope), μαγνητόμετρο (Magnetometer), GPS (ταχύτητα, πορεία, γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος). Επίσης, χρησιμοποιείται μια ποικιλία APIs (Application Programming Interface) για να διαβαστούν τα δεδομένα των αισθητήρων που έχουν καταγραφεί και να αποθηκευτούν προσωρινά στη βάση δεδομένων του έξυπνου κινητού τηλεφώνου (smartphone) πριν μεταφερθούν στην κεντρική βάση δεδομένων. Μετά τη μετάδοση των δεδομένων στην κεντρική βάση δεδομένων του συστήματος, όλες οι πληροφορίες διαγράφονται από το κινητό τηλέφωνο. Το βασικό πλαίσιο λειτουργίας της ροής δεδομένων φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:

Εικόνα 4.1 Ροή δεδομένων
Πηγή: https://www.oseven.io

Αφού τα δεδομένα αποθηκευτούν στον εξυπηρετητή, για να πραγματοποιηθεί η κεντρική επεξεργασία και η μείωση της διάστασης των δεδομένων, μετατρέπονται τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε σημαντικές συμπεριφορές και σε συναφείς με την οδική ασφάλεια παραμέτρους (δηλαδή χειρισμό και επεξεργασία μαζικών δεδομένων). Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις δύο μεγάλες μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων που περιλαμβάνουν δύο οικογένειες τεχνικών, **τεχνικές εξόρυξης μεγάλων δεδομένων** και **αλγόριθμους Machine Learning** (ML). Οι διαδικασίες που γίνονται είναι οι εξής:

- Εντοπισμός απότομων συμβάντων (απότομων επιταχύνσεων, φρεναρισμάτων και στροφών) και χρήσης κινητού τηλεφώνου
- Προσδιορισμός μέσου μεταφοράς(αυτοκίνητο, μοτοσικλέτα, μαζική μεταφορά)
- Προσδιορισμός τρόπου μετακίνησης (αυτοκίνητο Ι.Χ., μέσα μαζικής μεταφοράς, ποδήλατο, μοτοποδήλατο)
- Φιλτράρισμα δεδομένων και ανίχνευση τιμών που αποκλίνουν
- Οδήγηση εντός επικίνδυνων ωρών (απόσταση σε επικίνδυνες ώρες)

Το τελικό βήμα της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων είναι η **ανάπτυξη του μοντέλου οδηγικής συμπεριφοράς**. Η βαθμολογία για κάθε ταξίδι και η συνολική βαθμολογία του οδηγού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το εξελιγμένο μοντέλο βαθμολόγησης OSeven. Το μοντέλο οδηγικής συμπεριφοράς αναπτύσσει διάφορους δείκτες για την αξιολόγηση της οδήγησης και τελικώς συγκεντρώνει την όλη διαδικασία σε μια βάση ανά ταξίδι-διαδρομή για κάθε οδηγό στο δείγμα με σκοπό να παραχθεί το τελικό σύστημα βαθμολόγησης του κάθε οδηγού.

Τα αποτελέσματα όλης της προαναφερθείσας διαδικασίας είναι **προσβάσιμα στην εφαρμογή έξυπνων κινητών τηλεφώνων (Smartphone) και στη Διαδικτυακή Πύλη,** όπου είναι διαθέσιμα για το χρήστη να δει όλα τα συμβάντα που ανιχνεύθηκαν και τη θέση τους στο χάρτη όπως επίσης και όλα τα αποτελέσματα. Έτσι, προσφέρεται στον οδηγό ένας τρόπος φιλικός στον χρήστη να αντιλαμβάνεται τα τμήματα ταξιδιού με επικίνδυνη συμπεριφορά οδήγησης και να αποφύγει παρόμοιες συμπεριφορές στο μέλλον.

Εικόνα 4.2:Εφαρμογή στο κινητό τηλέφωνο και διαδικτυακή πλατφόρμα
Πηγή: https://www.oseven.io

Για τη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν **δεδομένα από τριακόσιους τρεις (303)** οδηγούς στην Αθήνα και σε χρονικό διάστημα από **25 Αυγούστου του 2016 έως 26 Νοεμβρίου του 2017**, με αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο μεγάλων βάσεων δεδομένων, που αφορούσαν στις απότομες επιταχύνσεις και απότομες επιβραδύνσεις, με χιλιάδες (219.757, 102.918) συμβάντα η κάθε μία. Η βάση δεδομένων (dataset) που προέκυψε δόθηκε σε δύο αρχεία Microsoft Excel. Το πρώτο αναφερόταν στις απότομες επιταχύνσεις και το δεύτερο στις απότομες επιβραδύνσεις με την κάθε γραμμή να αντιστοιχεί σε ένα συμβάν. Πιο συγκεκριμένα περιλάμβανε τα εξής στοιχεία:

- userid: κωδική ονομασία οδηγού
- tripid: κωδική ονομασία διαδρομής
- loggingtime: η ώρα που έγινε το συμβάν
- loggingdate: η ημερομηνία που έγινε το συμβάν
- locationTimestamp_since1970: η χρονική στιγμή εμφάνισης ενός συμβάντος
- SmoothenedLongitude: το γεωγραφικό μήκος μετά την απομάκρυνση των εξωστρεφών και των αλγορίθμων εξομάλυνσης
- SmoothenedLatitude: το γεωγραφικό πλάτος μετά την αφαίρεση των εξωστρεφών και των αλγορίθμων εξομάλυνσης
- accelerometerAccelerationX: η επιτάχυνση στον άξονα X του smartphone
- accelerometerAccelerationY: η επιτάχυνση στον άξονα Y του smartphone
- accelerometerAccelerationZ: η επιτάχυνση στον άξονα Z του smartphone
- smoothenedSpeed: η ταχύτητα του οχήματος εξομαλυμένη με ένα μέσο φίλτρο πέντε δευτερολέπτων κινούμενο (κυλιόμενη μέση τιμή της ταχύτητας με χρονικό παράθυρο 5 δευτερολέπτων χωρίς outliers)
- Type_of_Road: ο τύπος της οδού
- NewAccelX: αναπροσανατολισμένες τιμές επιταχυνσιόμετρου (Άξονας X)
- NewAccelY: αναπροσανατολισμένες τιμές επιταχυνσιόμετρου (Άξονας Y)
- NewAccelZ: αναπροσανατολισμένες τιμές επιταχυνσιόμετρου (Άξονας Z)
- Distance: απόσταση πραγματοποίησης συμβάντος
- SpeedDiff: η μέγιστη διαφορά ταχύτητας σε δύο δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια του συμβάντος
- EventSpeed: η ταχύτητα που έγινε το συμβάν

4.2.2 Βάση δεδομένων Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.)

Το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.) ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Ιούλιο του 2004 και μέσω αυτού επιβλέπονται συνεχώς οι κυκλοφοριακές συνθήκες στους κεντρικούς δρόμους της Αττικής, λαμβάνονται μέτρα για την αντιμετώπιση έκτακτων συμβάντων (ατυχήματα, ακινητοποίηση οχημάτων, έργα στο δρόμο, εκδηλώσεις, κ.λπ..) που δημιουργούν προβλήματα στην κυκλοφορία, ενώ παράλληλα ενημερώνονται οι οδηγοί σχετικά με τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Ο **βασικός εξοπλισμός** του Κ.Δ.Κ. αποτελείται από περίπου 550 θέσεις μέτρησης των κυκλοφοριακών δεδομένων (απλοί επαγωγικοί βρόχοι και βρόχοι «μηχανικής όρασης»), 217 κάμερες εποπτείας της κυκλοφορίας, 24 Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων, το σύστημα Εποπτείας της Κυκλοφορίας SITRAFFIC CONCERT, καθώς και ρυθμιστές κυκλοφορίας στους σηματοδοτούμενους κόμβους (περίπου 850).

Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από το Κ.Δ.Κ. πρωτογενώς είναι εκείνα της **κατάληψης** της οδού (Occupancy ή O [%]) μέσω μέτρησης του ποσοστού χρόνου στον οποίο υπάρχει όχημα πάνω στον μετρητή και ο **κυκλοφοριακός φόρτος** της οδού (Counting ή Q [Veh/h-οχήματα/ώρα]) με απλό μέτρημα οχημάτων. Επίσης, εμφανίζεται η θέση των βρόχων μέσω των καρτεσιανών συντεταγμένων τους (ΕΓΣΑ 1987) παράλληλα με μία περιγραφή σχετικά με τον αριθμό λωρίδων (αριθμός ανιχνευτών) και την κατεύθυνση στην οποία αναφέρονται. Στη συνέχεια μέσω των μετρήσεων της κατάληψης και του μήκους βρόχου προκύπτει δευτερογενώς η **ταχύτητα** κίνησης οχημάτων (Velocity ή V [km/h-χιλιόμετρα/ώρα]). Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται είναι ο ορισμός της ταχύτητας, δηλαδή η απόσταση η οποία διανύεται στη μονάδα του χρόνου. Για τον υπολογισμό θεωρείται ένα μέσο μήκος οχήματος lv (συνήθως περί τα 5 μέτρα). Έτσι, εάν σε χρόνο t_1 το πλέον πρόσθιο μέρος ενός οχήματος βρίσκεται στην αρχή του βρόχου (έναρξη μέτρησης κατάληψης), και σε χρόνο t_2 το πλέον οπίσθιο μέρος ενός οχήματος βρίσκεται στο τέλος του βρόχου (λήξη μέτρησης κατάληψης), η ταχύτητα του οχήματος υπολογίζεται ως:

$$V = \frac{l_v + l_\beta}{t_2 - t_1}$$

όπου l_β το μήκος βρόχου.

Τα κυκλοφοριακά δεδομένα αναφέρονται σε ομάδα οχημάτων (μέσα μεγέθη) και συλλέγονται σε δύο χρονικές βάσεις. Η πρώτη αποτελείται από μετρήσεις ανά διαστήματα 90 δευτερολέπτων και με τη σύνθεσή τους προκύπτει η δεύτερη, η οποία αποτελείται από μετρήσεις ανά διαστήματα μίας ώρας. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιλέχθηκε η **ωριαία βάση δεδομένων**. Επισημαίνεται ότι αυτά τα στοιχεία αφορούν στο σύνολο του ρεύματος κυκλοφορίας της κύριας οδού και όχι στη λωρίδα κυκλοφορίας. Εξαίρεση αποτελούν τοπικές βοηθητικές λωρίδες, όπως λωρίδες επιτάχυνσης/επιβράδυνσης, ράμπες εισόδου/εξόδου κ.λπ.. Στα σημεία όπου βρίσκονται τέτοιες τοπικές βοηθητικές λωρίδες, όπως και στις λεωφορειολωρίδες, το Κ.Δ.Κ. έχει εγκαταστήσει ξεχωριστούς μετρητές αποκλειστικά για τα δεδομένα εισροών/εκροών στην κύρια λεωφόρο. Μετά από συνεργασία με το Κ.Δ.Κ., εντοπίστηκαν οι διαθέσιμες θέσεις μέτρησης στη Λ. Βουλιαγμένης και στη Λ. Μεσογείων, οι οποίες αποτελούνται από μετρητές απλών επαγωγικών βρόχων αλλά και βρόχων μηχανικής όρασης. Ωστόσο, όσον αφορά στη Λ. Βουλιαγμένης, λήφθηκαν υπόψη μόνο οι θέσεις μέτρησης μεταξύ της οδού Αγ. Κωνσταντίνου και της Λ. Αλίμου, λόγω της χαμηλής ποιότητας των μετρήσεων μετά το ύψος της Λ. Αλίμου.

Οι μετρήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου, της κατάληψης και της ταχύτητας από τους βρόχους που είχαν προσδιοριστεί στις δύο λεωφόρους υπό μελέτη δόθηκαν από το Κ.Δ.Κ. με μορφή πίνακα σε αρχείο Excel. Συγκεκριμένα, ο πίνακας παρουσίαζε τις **καθημερινές ωριαίες μετρήσεις του έτους 2017**, για τις ημέρες που ήταν αποδεκτές και αξιόπιστες. Με σκοπό τον **συνδυασμό όλων των δεδομένων** που συλλέχθηκαν δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας (PivotTable) που συνόψισε τις ωριαίες μετρήσεις που δόθηκαν από το Κ.Δ.Κ. Στο νέο πίνακα κάθε γραμμή αναφερόταν σε μία θέση μέτρησης και οι στήλες έδειχναν τους **ωριαίους μέσους όρους** του κυκλοφοριακού φόρτου, της κατάληψης και της ταχύτητας του έτους 2017. Στη συνέχεια, βάσει του προηγούμενου πίνακα δημιουργήθηκε ένας δεύτερος συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσίαζε πλέον το μέσο κυκλοφοριακό φόρτο, τη μέση κατάληψη και τη μέση ταχύτητα του έτους 2017 για κάθε θέση μέτρησης των δύο λεωφόρων και για κάθε ώρα της ημέρας. Ο κυκλοφοριακός φόρτος μετατράπηκε σε κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα διαιρώντας με τον αριθμό ανιχνευτών σε κάθε θέση μέτρησης, που ήταν γνωστός από το Κ.Δ.Κ., για καλύτερη σύγκριση των κυκλοφοριακών φόρτων μεταξύ των διατομών της λεωφόρου.

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων κυκλοφοριακών μεγεθών

		Θέση Μέτρησης		Q[veh/h]	Q/lane	V[km/h]	O[%]		Q[veh/h]	Q/lane	V[km/h]	O[%]
Λ. Μεσογείων	Άνοδος	443	Μέρα	1373,7	686,9	52,0	10,0	Νύχτα	548,0	54,7	59,9	2,7
		444		927,4	463,7	45,1	6,9		381,3	55,3	49,5	2,3
		448		1967,9	656,0	43,1	11,9		773,4	65,1	53,5	3,0
		467		1592,3	796,1	51,3	11,5		641,4	55,8	59,0	3,6
		491		273,6	273,6	48,9	3,8		84,2	22,0	49,7	0,9
		451		1628,1	814,1	54,0	10,8		657,8	60,7	61,8	3,2
		454		1808,5	904,2	47,3	14,3		682,2	47,6	60,9	3,4
		457		1629,8	814,9	43,7	13,2		638,1	48,3	56,8	3,3
		459		1587,2	793,6	49,9	10,8		552,3	50,9	58,0	2,7
		462		1472,8	736,4	52,6	9,6		538,9	55,8	61,2	2,5
		464		992,4	496,2	89,3	3,5		345,6	98,3	85,3	1,0
	Κάθοδος	445		1152,9	576,5	53,9	7,4		370,1	49,8	59,8	1,7
		449		1579,1	789,6	50,6	12,6		590,2	46,8	60,2	3,5
		452		1626,8	813,4	41,1	14,9		598,4	40,1	53,9	3,4
		495		408,3	408,3	37,4	8,1		125,1	15,4	41,8	1,8
		456		1627,4	813,7	46,3	12,7		588,0	46,3	54,9	3,3
		458		1501,9	750,9	51,5	10,1		501,0	49,4	61,0	2,3
		460		2123,3	707,8	33,4	15,2		692,6	45,6	48,7	3,2
		469		1248,4	624,2	50,5	9,5		422,7	44,6	59,0	2,1
		463		1763,0	587,7	52,3	7,9		536,0	67,4	59,7	1,7
Λ. Βουλιαγμένης	Άνοδος	847		1588,5	529,5	58,2	6,9		631,4	91,9	63,0	2,1
		850		1933,9	644,6	61,1	7,1		661,1	92,6	64,7	2,0
		854		1963,7	654,6	45,8	12,3		624,1	50,6	58,9	1,9
	Κάθοδος	848		2075,7	691,9	62,4	7,6		688,6	91,0	66,1	2,2
		851		2064,1	688,0	59,5	7,7		680,6	88,1	64,3	2,1
		853		2056,5	685,5	49,5	10,9		646,0	59,1	59,0	2,1

4.3 Επεξεργασία δεδομένων

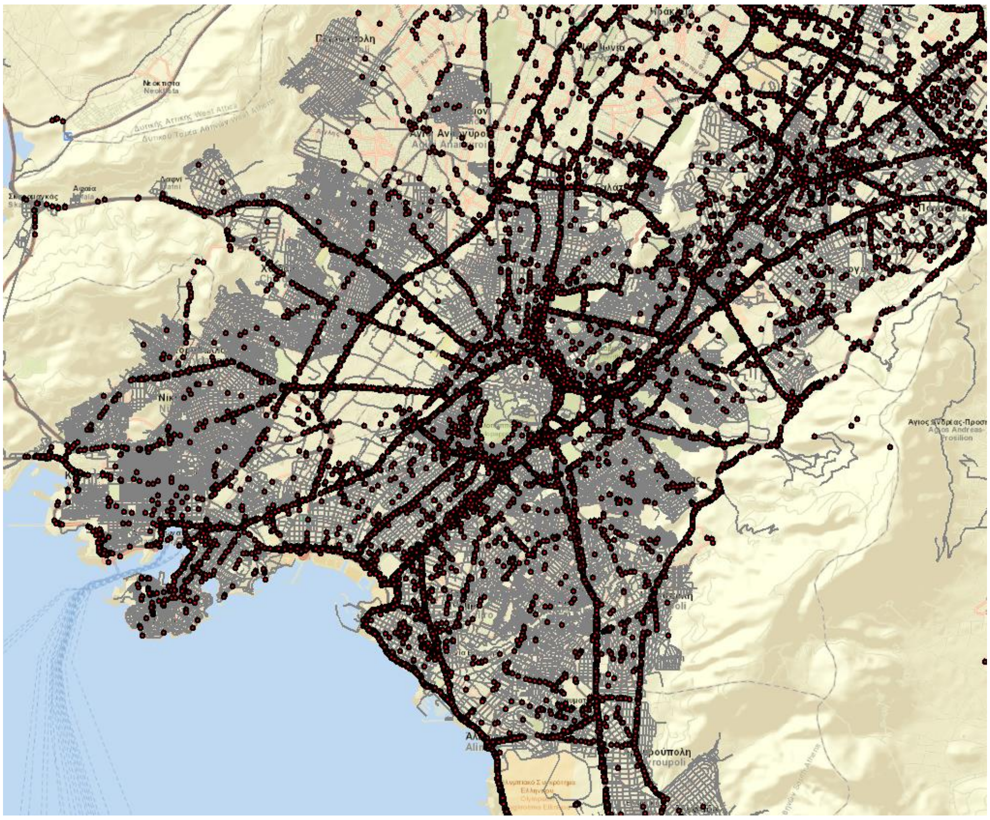
Επόμενο στάδιο από τη συλλογή δεδομένων είναι η επεξεργασία αυτών με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορούν να εισαχθούν στους αλγορίθμους. Στο παρακάτω υποκεφάλαιο θα αναπτυχθεί ο τρόπος με τον οποίο προέκυψαν οι τελικοί πίνακες στους οποίους πραγματοποιήθηκε η ανάλυση και θα παρουσιαστούν διάφοροι χάρτες οι οποίοι δημιουργήθηκαν από την **επεξεργασία στο ArcMap**, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για την εξεταζόμενη περιοχή και να απεικονιστούν τα φαινόμενα που περιγράφουν οι βάσεις δεδομένων. Ακόμα, παρουσιάζεται επιγραμματικά η διαδικασία εισαγωγής των μεταβλητών που προέκυψαν στο **λογισμικό της στατιστικής ανάλυσης SPSS.**

4.3.1 Επεξεργασία των δεδομένων μέσω του προγράμματος ArcMap 10.3

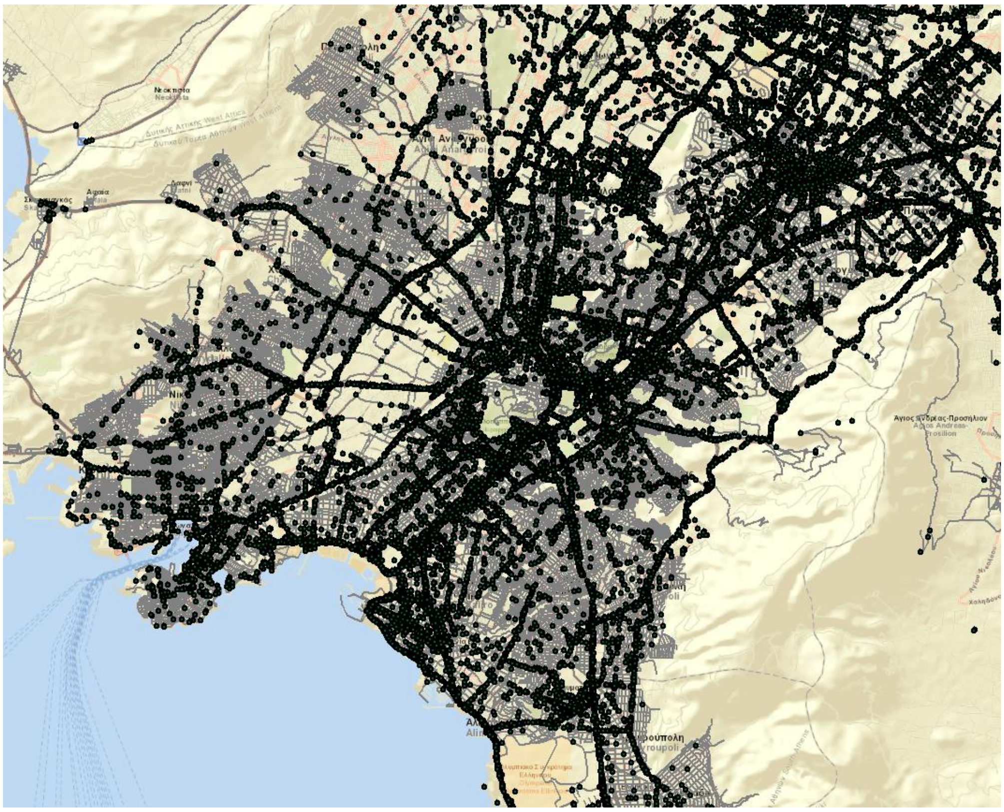
Σε πρώτη φάση, από την αρχική βάση δεδομένων απαραίτητα προς ανάλυση αποτελούν τα σημεία όπου ο παρατηρήθηκε κάποιο συμβάν για το χρήστη. Επομένως, οι πρώτες μεταβλητές που εξετάστηκαν ήταν οι SmoothenedLongitude και SmoothenedLatitude αντίστοιχα, οι οποίες έδιναν το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος στο οποίο πραγματοποιήθηκε κάποιο απότομο συμβάν. Για κάθε σειρά της βάσης υπήρχε το γεωγραφικό στίγμα σε **συντεταγμένες WGS84**, τις οποίες χρησιμοποιούν τα συστήματα GPS. Ωστόσο το Παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα κρίθηκε ακατάλληλο για τη χωρική ανάλυση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Το συγκεκριμένο σύστημα δίνει συντεταγμένες σε μοίρες από το εκτιμώμενο κέντρο της γης, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα δύσχρηστο στη χωρική ανάλυση. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η μετατροπή των συντεταγμένων σε **Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 ΕΓΣΑ 87'**, σύστημα που μετρά την απόσταση σε μέτρα τόσο σε x όσο και σε y με κέντρο το Γεωδαιτικό σταθμό του Διονύσου στην Αθήνα. Τελικά αποτυπώθηκαν οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, βάσει το συντεταγμένων τους, με την προσθήκη των δύο datasets της OSeven, σε μορφή shapefile (shp.), ως layers με ονόματα "acc_egsa87" και "brakes_egsa87". Η εισαγωγή των προαναφερόμενων layers πραγματοποιήθηκε από τη διαμορφωμένη geodatabase (gdb) ακολουθώντας την πορεία: File ⇒ Add Data ⇒ Add XY Data.

Για την παρούσα Διπλωματική Εργασία, χρησιμοποιήθηκε χάρτης ο οποίος βρέθηκε στο διαδίκτυο δωρεάν και ήταν αρχείο μορφής .shp (shapefile) συμβατό με το ArcMap. Αυτός ο χάρτης περιείχε τις **σημαντικότερες οδικές αρτηρίες** του οδικού συστήματος της Ελλάδας και ήταν κωδικοποιημένος. Το σχετικό shapefile έπρεπε να προβληθεί σε ΕΓΣΑ 87', καθώς και εκείνο όπως και οι βάσεις δεδομένων ήταν στο σύστημα αναφοράς WGS84. Η διαδικασία αυτή έγινε μέσω του εργαλείου Project. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε **εισαγωγή του χάρτη** με σκοπό την ευκολότερη και ταχύτερη αναγνώριση των δρόμων. Η εισαγωγή του χάρτη επιτεύχθηκε μέσω της πορείας: File ⇒ Add Data ⇒ Add Basemap ⇒ Οδικό δίκτυο.

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε ο **διαχωρισμός των διασταυρώσεων και οδικών τμημάτων** στις δύο λεωφόρους υπό μελέτη. Για αυτόν τον λόγο προστέθηκαν δύο layers που το ένα αναφερόταν στις διασταυρώσεις ενώ το άλλο στα οδικά τμήματα. Η εισαγωγή των layers πραγματοποιήθηκε μέσω της πορείας: Windows ⇒ Catalog ⇒ δεξί κλικ στο geodatabase που επρόκειτο να γίνει η αποθήκευση τους ⇒ New ⇒ Feature Class. Στο πεδίο "Name" δόθηκαν τα ονόματα Junctions και Segments για τα αντίστοιχα layers, στο πεδίο "Type" επιλέχθηκε το "Polygon Features" και ορίστηκε ως σύστημα συντεταγμένων το EGSA_1987.



Εικόνα 4.3 Αποτύπωση απότομων επιβραδύνσεων



Εικόνα 4.4 Αποτύπωση απότομων επιταχύνσεων

Με σκοπό την **κατηγοριοποίηση των συμβάντων** απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε διασταυρώσεις και σε οδικά τμήματα ανάλογα με τη χωρική μονάδα που πραγματοποιήθηκαν, επεξεργάστηκαν τα αντίστοιχα layers. Το υπολογιστικό περιβάλλον βοήθησε σημαντικά στο να **απομονωθούν οι παρατηρήσεις** που αφορούν τη συγκεκριμένη έρευνα και γίνει πιο ταχεία η επεξεργασία σε αυτό, καθώς αντί για το σύνολο των παρατηρήσεων, έγινε επεξεργασία σημαντικά μικρότερου τμήματος των βάσεων. Αφού εντοπίστηκαν στον χάρτη οι δύο λεωφόροι υπό μελέτη, ξεκίνησε η διαδικασία διαχωρισμού τους σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα μέσω της εμφάνισης της γραμμής εργαλείων ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία των χωρικών δεδομένων (Editor Toolbar ⇒ Editor ⇒ Start Editing). Έπειτα από το παράθυρο “Create Features” (Editor ⇒ Editing Windows ⇒ Create Features) επιλέχθηκε το layer “Junctions”. Συγκεκριμένα το προηγούμενο layer επεξεργάστηκε ώστε να σχεδιαστούν κύκλοι ακτίνας πενήντα (50) μέτρων στις θέσεις των διασταυρώσεων με σηματοδότη και κύκλοι ακτίνας σαράντα (40) μέτρων στις θέσεις των διαβάσεων πεζών, με το κέντρο τους να συμπίπτει προσεγγιστικά με αυτό των διασταυρώσεων. Ως εργαλείο κατασκευής (Construction Tools) επιλέχθηκε από το παράθυρο “Create Features” ο κύκλος (Circle).

Για το **διαχωρισμό των δύο λεωφόρων σε οδικά τμήματα ανόδου και καθόδου** άρχισε η επεξεργασία του layer Segments επιλέγοντάς το στο παράθυρο “Create Features”. Όσον αφορά στο συγκεκριμένο layer, διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να σχεδιαστούν πολύγωνα που να συμπίπτουν με τα οδικά τμήματα ανόδου δηλαδή με πλάτος ίσο με το άθροισμα των πλατών των λωρίδων κυκλοφορίας συν το μισό πλάτος της νησίδας και με μήκος ίσο με αυτό του αντίστοιχου οδικού τμήματος. Όμοια, σχεδιάστηκαν τα πολύγωνα που συνέπιπταν με τα οδικά τμήματα καθόδου. Για να είναι δυνατή η σχεδίαση των περιοχών των οδικών τμημάτων, έγινε επιλογή του πολυγώνου (Polygon) από τη λίστα των διαθέσιμων εργαλείων κατασκευής (Construction Tools). Για τη λήξη της επεξεργασίας των layers επιλέχθηκε το “Stop Editing” από το μενού “Editor”, αφού είχαν αποθηκευτεί (Editor ⇒ Save Edits) οι γεωμετρικοί χώροι των διασταυρώσεων και οδικών τμημάτων που είχαν σχεδιαστεί.

Στη Λ. Μεσογείων **σχεδιάστηκαν δεκαεπτά (17) οδικά τμήματα** ανόδου **(**Segment_σup), δεκαεπτά (17) οδικά τμήματα καθόδου (Segment_down), είκοσι τέσσερις **(24) διασταυρώσεις** (Junction) ενώ στη Λ. Βουλιαγμένης σχεδιάστηκαν είκοσι τέσσερα **(24) οδικά τμήματα ανόδου** (Segment_up), είκοσι τέσσερα (24) οδικά τμήματα καθόδου (Segment_down), είκοσι έξι **(26) διασταυρώσεις** (Junctions). Οι διασταυρώσεις και τα οδικά τμήματα αριθμήθηκαν, κατά τη διάρκεια της σχεδίασής τους, ώστε στη μετέπειτα ανάλυση των δεδομένων να αποφευχθούν τυχόν σφάλματα σχετικά με τη θέση της διασταύρωσης ή του οδικού τμήματος στη λεωφόρο. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 4.2 παρατίθενται οι ακριβείς θέσεις των διασταυρώσεων, σύμφωνα με τις κάθετες οδούς, και οι κωδικές ονομασίες τους.

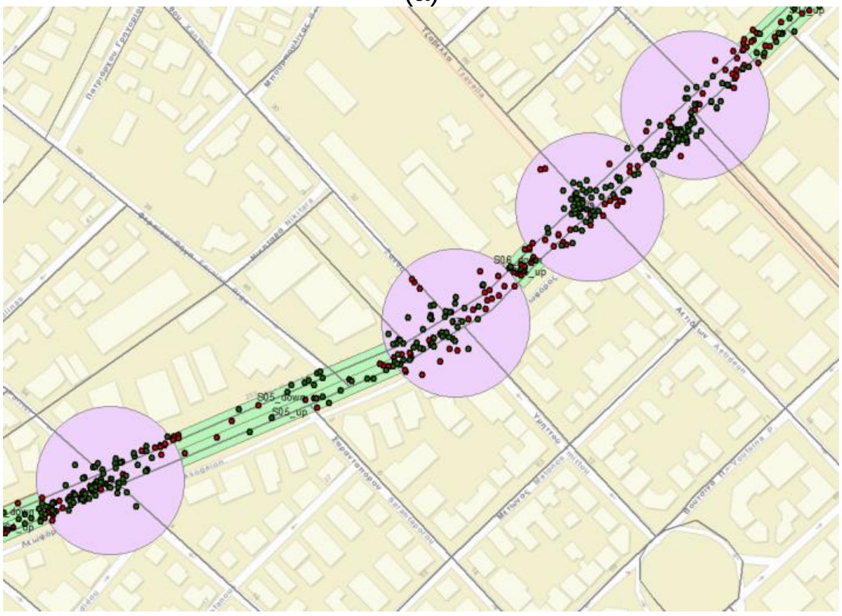
Πίνακας 4.2: Κωδικές ονομασίες των διασταυρώσεων

	Junctions	Name
Λ. Μεσογείων	**J1**	Grigoriou Xenopoulou
	J2	Charitonidou
	J3	Kiprou
	J4	Anastaseos
	J5	Leof. Dimokratias
	J6	Paritsi/ Agiou Ioanni Theologou
	J7	Xanthou/Imittou
	J8	Tzavella/Aetideon
	J9	Vironos/ Leof.Perikleous
	J10	Faneromenis
	J11	Zoodochou Pigi/ 17is Noemvriou
	J12	Parnassidos
	J13	Arkadiou
	J14	St. Nomismatokopio
	J15	Solomou
	J16	Souliou/Ipeiroy
	J17	Zaloggou/Irinis
	J18	Ir. Politechniou
	J19	Chalandriou
	J20	Elpidos/Agiou Ioannou
	J21	ERT
	J22	Agias Triados/Taigetou
	J23	Agiou Andreou/Dimitras
	J24	Agelaou/Efkalipton
Λ. Βουλιαγμένης	**JV1**	Agiou Konstantinou
	JV2	Pantazi
	JV3	Agiou Vasiliou
	JV4	St. Ilioupolis
	JV5	Dodekanisou
	JV6	Ethnarchou Makariou
	JV7	Thessalias/Al. Papanastasiou
	JV8	Karaiskaki/Anexartisias

Για να γίνει η ανάλυση σε επίπεδο περιοχής έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος **αντιστοίχισης της κάθε παρατήρησης στην αντίστοιχη περιοχή που ανήκει**. Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά δοκιμάστηκε να διαχωριστεί από την κάθε βάση δεδομένων οι παρατηρήσεις οι οποίες ήταν εκτός των περιοχών των οποίων ορίστηκαν, ώστε να γίνει η επεξεργασία μόνο εκείνων των στοιχείων που αφορούν στη Διπλωματική Εργασία. Μέσω της εντολής “Select by Location” επιλέχθηκε ως Target Layer η κάθε βάση δεδομένων και ως Source Layer, το Layer με τις οριοθετημένες περιοχές της έρευνας.

Επόμενο βήμα ήταν ο **διαχωρισμός των παρατηρήσεων ανάλογα με την ώρα της ημέρας**. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εντολή “Make feature Layer” στην οποία ως input δόθηκαν τα Layer με τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αντίστοιχα και έτσι δημιουργήθηκαν τέσσερα νέα Layer για τα επιλεγμένα σημεία (διασταυρώσεις και οδικά τμήματα) για απότομες επιταχύνσεις την ημέρα και για απότομες επιταχύνσεις τη νύχτα σε κάθε λεωφόρο.

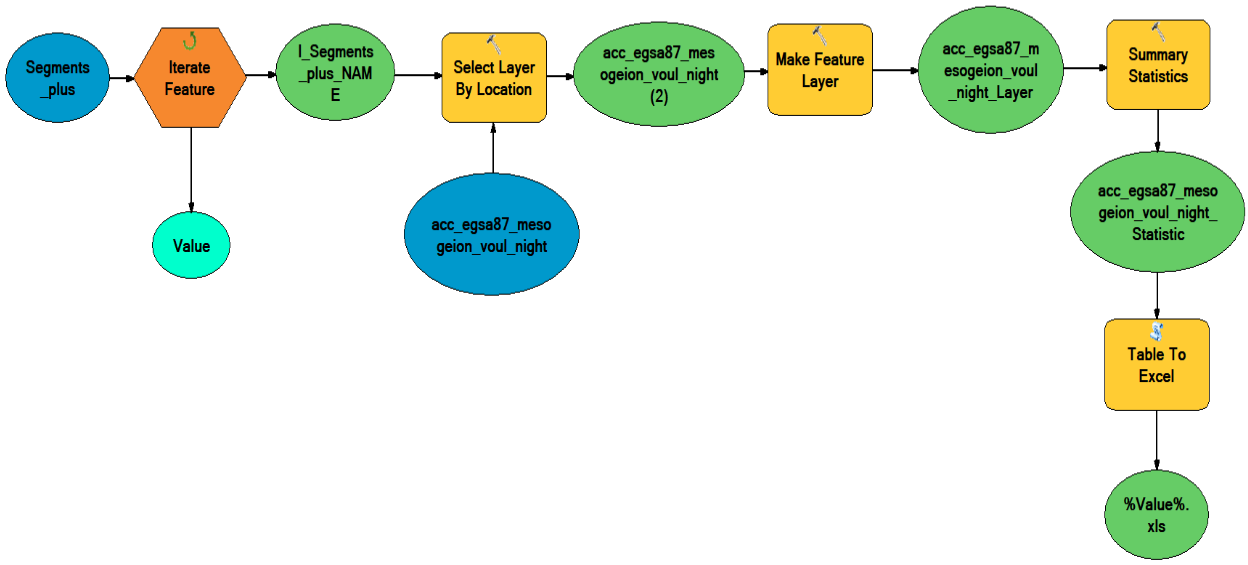
(a)



(b)

Εικόνα 4.5 Αποτύπωση απότομων συμβάντων την ημέρα (a) και τη νύχτα (b) σε τμήμα της Λ. Μεσογείων

Χρησιμοποιήθηκε το **Model Builder** του ArcMap ώστε να λυθεί η επαναληπτικότητα του προβλήματος. Κατά συνέπεια μέσω της χρήσης του παρακάτω διαγράμματος ροής, δημιουργήθηκαν τα αρχεία excel που ήταν απαραίτητα. Το παρακάτω διάγραμμα ροής εκτελέστηκε οχτώ φορές για τα δυο είδη διαφορετικών περιοχών και τις δύο διαφορετικές βάσεις δεδομένων και για κάθε ώρα της μέρας.



Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα ροής υπολογισμού στατιστικών στοιχείων και πινάκων μέσω Model Builder

Το κάθε ένα αρχείο που δημιουργήθηκε περιείχε έναν πίνακα με στήλες που παρουσίαζαν **στατιστικά επεξεργασμένα τα δεδομένα της OSeven**. Συγκεκριμένα, οι στήλες περιείχαν:

- τη συχνότητα εμφάνισης συμβάντων (FREQUENCY), δηλαδή τον αριθμό των απότομων συμβάντων που πραγματοποιήθηκαν στην οριοθετημένη περιοχή
- την ελάχιστη τιμή των μεταβλητών (MIN_Speed_Diff, MIN_Event_Speed, MIN_distance)
- τη μέγιστη τιμή των μεταβλητών (MAX_ Speed_Diff, MAX_Event_Speed, MAX_distance)
- την τυπική απόκλιση των μεταβλητών (STD_ Speed_Diff, STD_Event_Speed, STD_distance)
- το εύρος ή κύμανση των μεταβλητών (RANGE_ Speed_Diff, RANGE_Event_Speed, RANGE_distance)
- τον αριθμητικό μέσο των μεταβλητών (MEAN_ Speed_Diff, MEAN_Event_Speed, MEAN_distance)

Τέλος **συγχωνεύθηκαν** όλα τα αρχεία Excel που προέκυψαν από το μοντέλο γεωεπεξεργασίας (Model Builder) **σε οχτώ πίνακες** μέσω του Microsoft Excel. Ο πρώτος πίνακας αναφερόταν στα απότομα συμβάντα επιταχύνσεων που έλαβαν χώρα σε διασταύρωση κατά τη διάρκεια της ημέρας με τη κάθε γραμμή να αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη διασταύρωση των λεωφόρων και με τις στήλες να περιέχουν τη μέγιστη τιμή, την ελάχιστη τιμή, τη τυπική απόκλιση, το εύρος, τον αριθμητικό μέσο των μεταβλητών που περιγράφουν τον τρόπο οδήγησης για κάθε διασταύρωση. Όμοια σχηματίστηκαν και οι υπόλοιποι πίνακες.

Επιπλέον, με σκοπό τον συνδυασμό των δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων και των κυκλοφοριακών μεγεθών που μετρήθηκαν από τους βρόχους που τοποθετήθηκαν από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας, **αποτυπώθηκαν οι θέσεις μέτρησης φόρτου και κατάληψης** βάσει των καρτεσιανών συντεταγμένων τους. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή των συντεταγμένων στο ίδιο αρχείο ArcMap που ήταν υπό επεξεργασία επιλέχθηκε από το μενού File ⇒ Add Data ⇒ Add XY Data.

Λόγω του μικρότερου αριθμού βρόχων, συγκριτικά με τον αριθμό διασταυρώσεων και οδικών τμημάτων που ορίστηκαν στις δύο λεωφόρους, έγιναν κάποιες θεωρήσεις σχετικά με τις θέσεις που δεν είχαν ακριβή μέτρηση από το Κ.Δ.Κ., δηλαδή σε εκείνες που δεν είχαν τοποθετηθεί βρόχοι. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι **ο μέσος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα**, **η μέση κατάληψη και η μέση ταχύτητα** κυκλοφορίας στα οδικά τμήματα, που δεν υπήρχε θέση μέτρησης, ισούνταν με το μέσο όρο των αντίστοιχων κυκλοφοριακών μεγεθών του προηγούμενου και του επόμενου οδικού τμήματος που είχαν ακριβή μέτρηση από τοποθετημένους βρόχους. Δηλαδή:

$$Q/l_{Svup/down} = \frac{\mathrm{Q/l_{S\mu up/down}} + \mathrm{Q/l_{S\kappa up/down}}}{2} \; [Veh/h]$$

$$O_{Svup/down} = \frac{\mathrm{O_{S\mu up/down}} + \mathrm{O_{S\kappa up/down}}}{2} \; [\%]$$

$$V_{Svup/down} = \frac{\mathrm{V_{S\mu up/down}} + \mathrm{V_{S\kappa up/down}}}{2} \; [km/h]$$

Όπου,

- Svup/down: οδικό τμήμα ανόδου ή καθόδου χωρίς θέση μέτρησης
- Sμup/down: οδικό τμήμα ανόδου ή καθόδου πριν το οδικό τμήμα S_v, σύμφωνα με τη ροή, με θέση μέτρησης
- Sκup/down: οδικό τμήμα ανόδου ή καθόδου μετά το οδικό τμήμα S_v, σύμφωνα με τη ροή, με θέση μέτρησης

Στην περίπτωση που στο οδικό τμήμα Sκ εισερχόταν **σημαντικός κυκλοφοριακός φόρτος** από οδό κάθετη στη λεωφόρο (π.χ. οδός Χαλανδρίου στη Λ. Μεσογείων), τα ζητούμενα κυκλοφοριακά μεγέθη του οδικού τμήματος Sv θεωρήθηκαν ίσα με αυτά του προηγούμενου οδικού τμήματος από αυτό, που είχε θέση μέτρησης.

Για τα κυκλοφοριακά μεγέθη των διασταυρώσεων έγινε μία διαφορετική θεώρηση. Ο κυκλοφοριακός φόρτος της διασταύρωσης θεωρήθηκε ίσος με τον μέσο όρο των κυκλοφοριακών φόρτων του οδικού τμήματος ανόδου και του οδικού τμήματος καθόδου που οι ροές τους καταλήγουν σε αυτή, όμοια για τη μέση ταχύτητα και κατάληψη. Δηλαδή:

$$Q_{J\mathrm{n}} = \frac{\mathrm{Q}_{\mathrm{S}n-1\_\mathrm{up}} + \mathrm{Q}_{\mathrm{Sn\_down}}}{2} \; [Veh/h]$$

$$O_{J\mathrm{n}} = \frac{\mathrm{O}_{\mathrm{S}n-1\_\mathrm{up}} + \mathrm{O}_{\mathrm{Sn\_down}}}{2} \; [\%]$$

$$V_{J\mathrm{n}} = \frac{\mathrm{V}_{\mathrm{Sn-1\_up}} + \mathrm{V}_{\mathrm{Sn\_down}}}{2} \; [km/h]$$

Στην περίπτωση που οι κύκλοι των διαδοχικών διασταυρώσεων που είχαν σχεδιαστεί στο ArcMap, με ακτίνα πενήντα (50) ή σαράντα (40) μέτρων, **τέμνονταν ή εφάπτονταν** με αποτέλεσμα ενδιάμεσά τους να μην υπάρχει οδικό τμήμα, τα κυκλοφοριακά μεγέθη που αφορούσαν στις συγκεκριμένες διασταυρώσεις ήταν ίσα με τους μέσους όρους του οδικού τμήματος ανόδου που εισερχόταν στην πρώτη διασταύρωση και του οδικού τμήματος καθόδου που εισερχόταν στη δεύτερη διασταύρωση.

Η τελική διαμόρφωση των πινάκων (master tables) πραγματοποιήθηκε με τη προσθήκη στηλών με στοιχεία σχετικά με τις δύο λεωφόρους που είχαν αντληθεί από τη Google Maps και τη Google Earth. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία αφορούσαν στη **γεωμετρία των δύο λεωφόρων** και ήταν τα εξής:

Οδικά τμήματα:

- Length: μήκος του οδικού τμήματος σε μέτρα [m]
- No. Right Exit/Entrance: αριθμός δεξιών εξόδων από το οδικό τμήμα και εισόδων στο οδικό τμήμα
- Sideway: ύπαρξη (1) ή απουσία (0) παράδρομου
- No. Bus_Stops: αριθμός στάσεων λεωφορείου
- Bus Lane: ύπαρξη (1) ή απουσία (0) λεωφορειολωρίδας

Διασταυρώσεις:

- No. Left_Exits: αριθμός αριστερών εξόδων από τη διασταύρωση
- No Left_Entrances: αριθμός αριστερών εισόδων στη διασταύρωση
- No. Right_Exits: αριθμός δεξιών εξόδων από τη διασταύρωση
- No. Right_Entrances: αριθμός δεξιών εισόδων στη διασταύρωση
- No. Incoming_Lanes: αριθμός εισερχόμενων κυκλοφοριακών λωρίδων στη διασταύρωση
- No. Outgoing_Lanes: αριθμός εξερχόμενων κυκλοφοριακών λωρίδων από τη διασταύρωση
- Sideway: ύπαρξη (1) ή απουσία (0) παράδρομου

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απόσπασμα των τελικών πινάκων (**Master tables**) που δημιουργήθηκαν. Στον πίνακα 4.3 επισημαίνονται με κίτρινο χρώμα τα οδικά τμήματα στα οποία έχουν τοποθετηθεί θέσεις μέτρησης από το Κ.Δ.Κ. και άρα οι μετρήσεις κυκλοφοριακών μεγεθών είναι ακριβείς. Επιπλέον προστέθηκε μια νέα στήλη με τη μεταβλητή **time of day**, η οποία συμβολίζει την ώρα της ημέρας και δέχεται τιμές 0 για την ημέρα (07:00-22:00) και 1 για νύχτα (22:00-07:00). Στη συνέχεια συγχωνεύθηκαν οι προηγούμενοι οκτώ πίνακες έτσι ώστε να προκύψουν τέσσερις που αντιστοιχούν στα απότομα συμβάντα στη περιοχή διασταυρώσεων και οδικών τμημάτων συνολικά για μέρα και νύχτα, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τη δημιουργία των μαθηματικών μοντέλων.

Πίνακας 4.3 Απόσπασμα της βάσης δεδομένων απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή οδικών τμημάτων τη νύχτα

SEGMENTS	Length (m)	No.Right Exit/Entrance	Sideway	No. Bus_Stops	Bus Lane	FREQUENCY	MEAN_Event_Speed	STD_Event_Speed	MIN_Event_Speed	MAX_Event_Speed	RANGE_Event_Speed	MEAN_Speed_Diff	STD_Speed_Diff	MIN_Speed_Diff	MAX_Speed_Diff	RANGE_Speed_Diff	MEAN_distance	STD_distance	MIN_distance	MAX_distance	RANGE_distance	Q/lane	V[km/h]	O[%]	FREQUENCY/Q[1/Veh/h]
SM1_up	220	0	0	0	1	27	49,617	10,810	31,738	69,401	37,663	-14,866	1,957	-20,588	-13,003	7,585	3,348	1,281	1,978	6,954	4,976	726,064	47,193	11,679	0,037
SM2_up	175	2	0	1	1	24	44,439	11,428	28,397	66,971	38,574	-14,271	1,026	-16,315	-13,025	3,290	3,689	1,353	1,804	6,830	5,027	796,150	51,274	11,486	0,030
SM3_up	153	0	1	1	1	4	39,598	13,949	27,300	55,591	28,291	-14,444	0,651	-15,057	-13,853	1,204	3,185	0,832	2,312	4,180	1,868	814,052	54,008	10,838	0,005
SM4_up	45	1	1	1	1	19	46,028	12,907	24,286	72,396	48,110	-14,958	1,225	-16,718	-13,121	3,598	3,205	0,818	2,226	5,305	3,079	859,141	50,664	12,586	0,022
SM5_up	157	1	1	1	1	31	46,054	11,620	31,246	84,376	53,131	-14,450	1,628	-19,483	-13,000	6,483	5,497	7,832	2,009	44,662	42,653	904,230	47,320	14,333	0,034
SM6_up	20	0	1	0	1	5	45,089	6,365	38,714	54,238	15,523	-14,479	1,425	-16,373	-13,327	3,046	3,175	1,157	2,182	4,616	2,434	859,577	45,486	13,773	0,006

Πίνακας 4.4 Απόσπασμα της βάσης δεδομένων απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή διασταυρώσεων

Junctions	No.Left_Exits	No Left_Entrances	No.Right_Exits	No.Right_Entrances	No.Incoming_Lanes	No.Outgoing_Lanes	Sideway	FREQUENCY	MEAN_Event_Speed	STD_Event_Speed	MIN_Event_Speed	MAX_Event_Speed	RANGE_Event_Speed	MEAN_Speed_Diff	STD_Speed_Diff	MIN_Speed_Diff	MAX_Speed_Diff	RANGE_Speed_Diff	MEAN_distance	STD_distance	MIN_distance	MAX_distance	RANGE_distance	Q [Veh/h]	V[km/h]	O[%]	FREQUENCY/Q[1/Veh/h]	time of day
J1	1	2	1	2	5	1	0	188	22,810	9,781	10,770	82,980	72,210	11,410	2,860	9,000	25,390	16,390	3,410	2,040	0,090	21,490	21,400	3359,250	48,920	12,140	0,056	0
J2	2	2	2	2	3	2	0	198	20,650	6,610	10,520	50,410	39,890	12,510	3,440	9,000	21,730	12,730	3,560	3,270	0,420	30,670	30,250	3383,080	46,530	12,720	0,059	0
J3	2	2	2	2	5	2	0	156	21,270	7,606	11,140	62,580	51,440	12,030	3,040	9,030	22,730	13,700	3,710	3,940	0,570	47,840	47,270	3195,260	48,570	12,630	0,049	0
J4	0	0	1	0	2	0	1	56	22,280	10,130	15,000	58,000	43,000	10,720	1,960	9,000	17,420	8,424	3,150	0,910	1,900	5,999	4,097	3254,900	47,550	12,890	0,017	0
J5	0	0	1	1	2	1	1	73	22,800	8,066	14,620	57,610	42,990	11,220	2,420	9,000	19,770	10,770	3,840	1,760	2,200	11,490	9,290	3254,900	47,550	12,890	0,022	0
J6	0	1	1	1	1	1	1	125	20,200	7,486	13,720	81,540	67,830	11,280	2,470	9,000	21,370	12,370	3,370	2,120	0,120	21,620	21,500	3345,360	47,180	13,200	0,037	0

4.3.2 Επεξεργασία των δεδομένων με το λογισμικό IBM SPSS 23.0

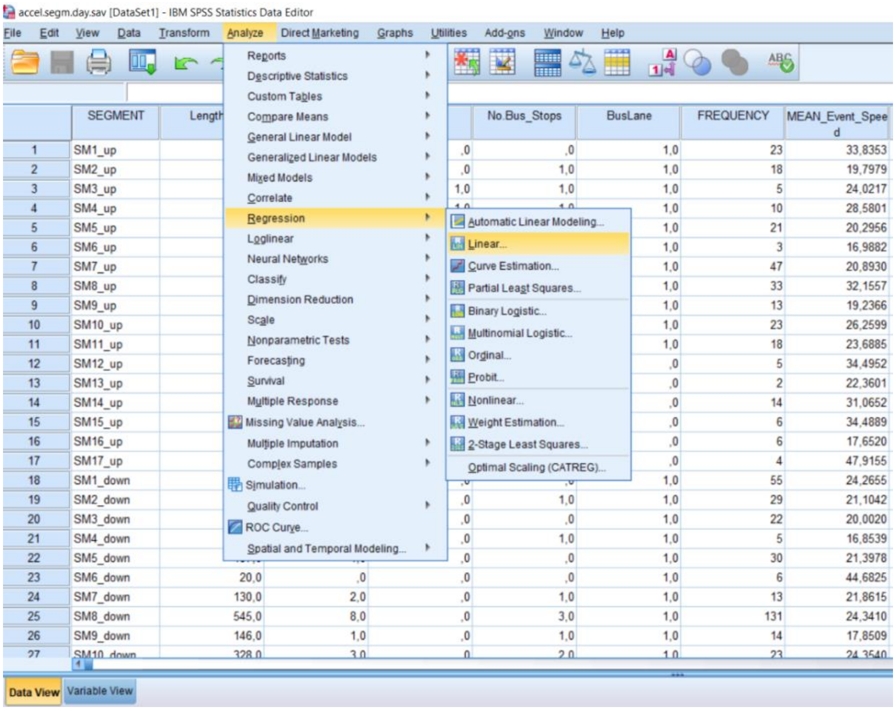
Έπειτα από την τελική διαμόρφωση των πινάκων στο λογισμικό Microsoft Excel, τα στοιχεία εισήχθησαν στο πεδίο δεδομένων (Data View) και **καθορίστηκαν και χαρακτηρίστηκαν οι μεταβλητές** μέσω του πεδίου μεταβλητών (Variable View). Ειδικότερα, ορίστηκε το είδος της εκάστοτε μεταβλητής (αριθμητική κλπ.), ο αριθμός δεκαδικών ψηφίων καθώς και ο τύπος της. Οι τύποι των μεταβλητών ορίζονται ως εξής:

- **Συνεχείς μεταβλητές** (scale variables), οι οποίες λαμβάνουν όλες τις τιμές πραγματικών αριθμών, όπως το μήκος του οδικού τμήματος.
- **Διατεταγμένες μεταβλητές** (ordinal variables), οι οποίες λαμβάνουν ακέραιες τιμές, με μαθηματική συσχέτιση μεταξύ τους, δηλαδή μικρότεροι αριθμοί συμβολίζουν μικρότερες αξίες μεταβλητής. Μια τέτοια μεταβλητή είναι ο αριθμός αριστερών εξόδων σε μία διασταύρωση ή ο αριθμός στάσεων λεωφορείου σε ένα οδικό τμήμα.
- **Διακριτές μεταβλητές** (nominal variables), οι οποίες λαμβάνουν συμβολικές ακέραιες τιμές χωρίς μαθηματική συσχέτιση.

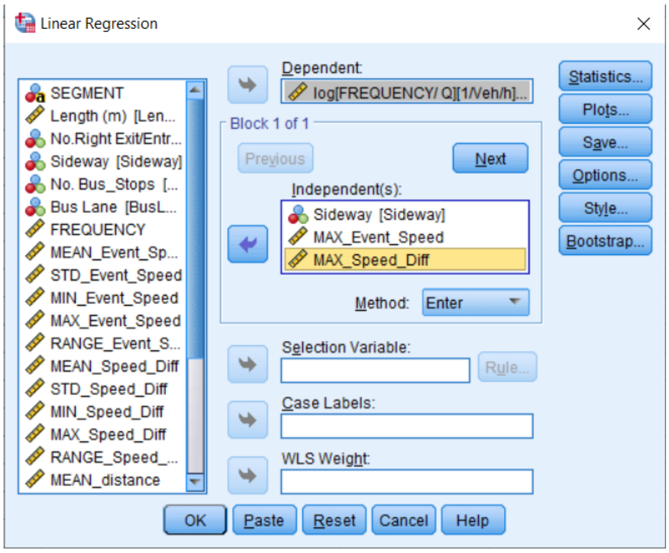
Επισημαίνεται ότι **διαφορετικές μορφές της ίδιας μεταβλητής** (π.χ. ταχύτητα, V, και λογάριθμός ταχύτητας, $\log V$, ή τετράγωνο της ταχύτητας, V^2) πρέπει να εισαχθούν ως ξεχωριστές μεταβλητές αφού έχουν υπολογιστεί στο Excel.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η **διερεύνηση συσχετίσεων** μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Όλες οι επιλεγμένες μεταβλητές αναλύθηκαν ανά ζεύγη ενώ χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Pearson για συνεχείς μεταβλητές και ο συντελεστής Spearman για διακριτές. Οι συντελεστές που προέκυψαν κυμαίνονταν από -1.00 (τέλεια αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση) έως +1.00 (τέλεια ανάλογη συσχέτιση), ενώ τιμή 0.00 αφορούσε τέλεια ασυσχέτιστες μεταβλητές. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής: Analyze ⇒ Correlate ⇒Bivariate και έπειτα η επιλογή των μεταβλητών και του συντελεστή (Pearson/Spearman).

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η **κύρια στατιστική ανάλυση**, με στόχο την ανάπτυξη των τελικών μοντέλων. Εξετάστηκαν δύο αναλύσεις, **η γραμμική και η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση**. Και για τις δύο ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα: Analyze ⇒Regression ⇒Linear, με τη μοναδική διαφορά ότι η εξαρτημένη μεταβλητή, στη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση, ήταν εκφρασμένη σε λογάριθμο. Απαραίτητος είναι **ο καθορισμός των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών**. Η εξαρτημένη μεταβλητή εισάγεται στο πλαίσιο Dependent, ενώ οι εξαρτημένες μεταβλητές, εισάγονται στο πλαίσιο" Independent(s)". Στο πλαίσιο "Method" μπορεί να επιλεγεί μια μέθοδος για τη βέλτιστη επιλογή εξαρτημένων μεταβλητών. Αυτή συνήθως αφήνεται "Enter", που σημαίνει ότι στο μοντέλο εισέρχονται όσες μεταβλητές βρίσκονται στο πλαίσιο "Independent(s)" με τη σειρά που γράφονται εκεί. Τέλος, από την επιλογή "Options" επιλέχθηκαν οι στατιστικοί έλεγχοι που πρέπει να γίνουν.



Εικόνα 4.6 Επιλογή γραμμικής παλινδρόμησης

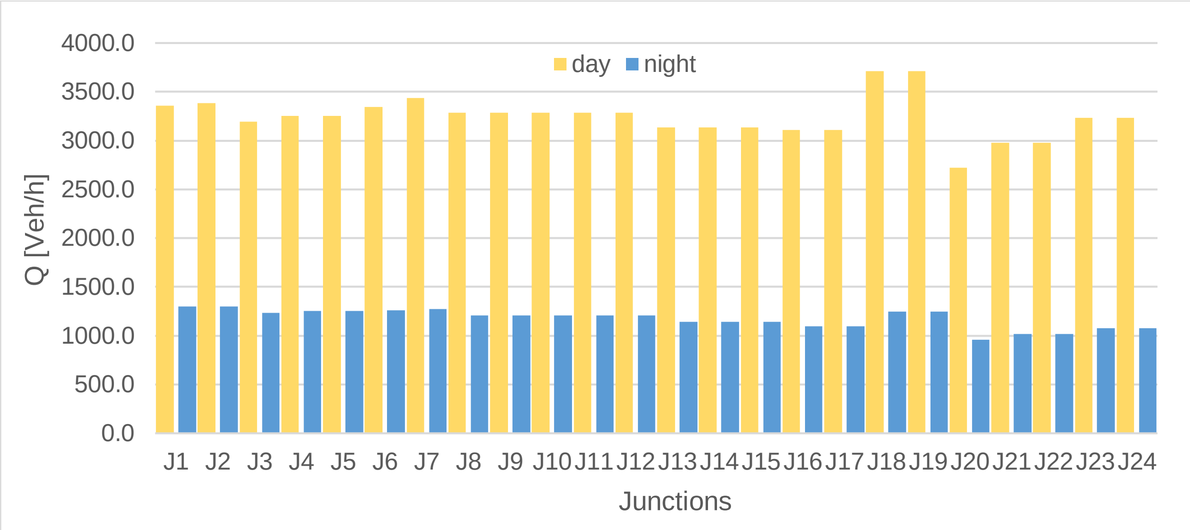


Εικόνα 4.7 Επιλογή μεταβλητών και μεθόδου εισαγωγής τους

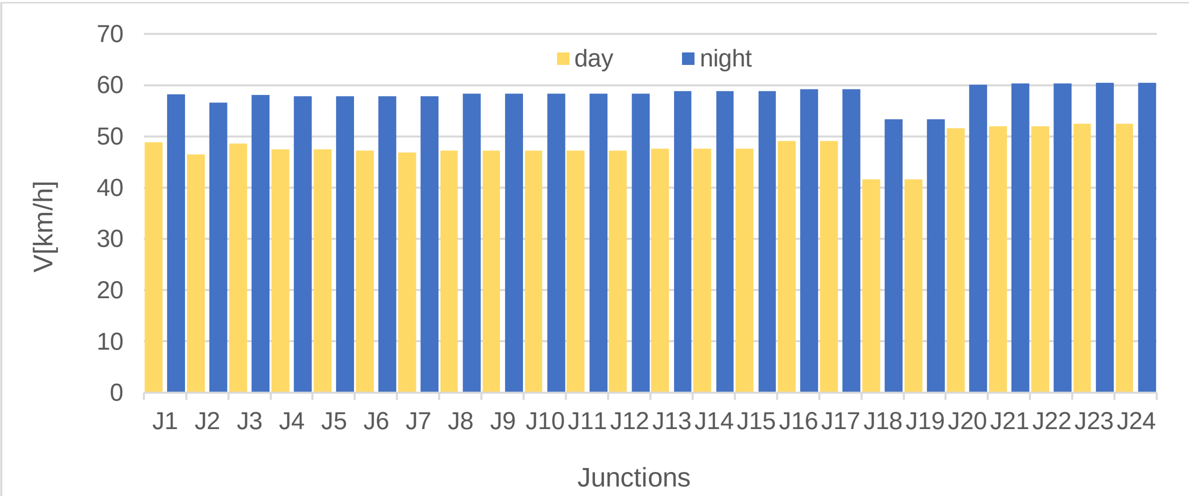
4.4 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία

Με στόχο τη **διερεύνηση της ασφάλειας κυκλοφορίας** ανάλογα με τα δεδομένα οδήγησης που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων, τα κυκλοφοριακά μεγέθη και τα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας λεωφόρων, παρουσιάζονται στη συνέχεια **διαγράμματα** που αποτελούν μία **προκαταρκτική ανάλυση,** η οποία θα συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή ποιοτικότερων συμπερασμάτων. Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία επιτρέπουν μία πρώτη ανασκόπηση των δεδομένων και ως συνέπεια την αναγνώριση ορισμένων φαινομένων ή τάσεων, την εξοικείωση με τους αριθμούς και την τάξη μεγέθους τους. Επίσης, είναι πιθανό να προκύψει κάποια αναγνώριση των ανεξάρτητων μεταβλητών οι οποίες έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στις εξαρτημένες ώστε να διερευνηθούν περαιτέρω κατά τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων.

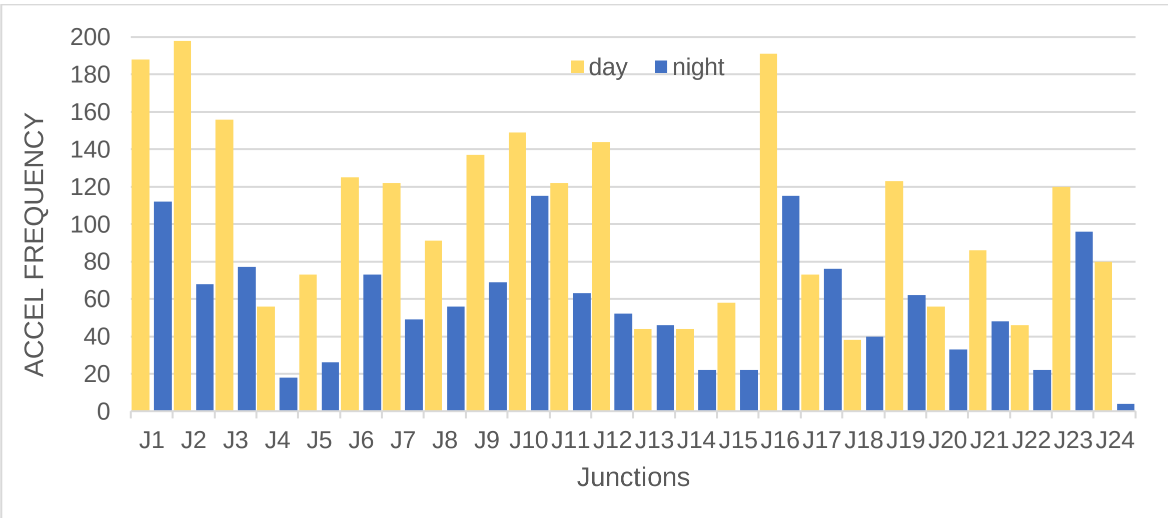
Διασταυρώσεις:



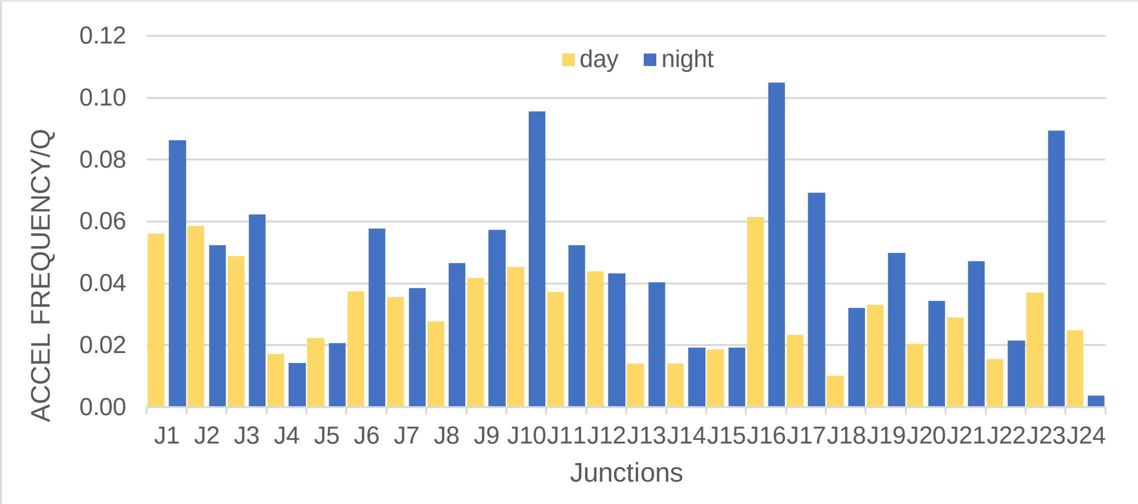
Διάγραμμα 4.2 Μέσοι κυκλοφοριακοί φόρτοι στις διασταυρώσεις της Λ. Μεσογείων



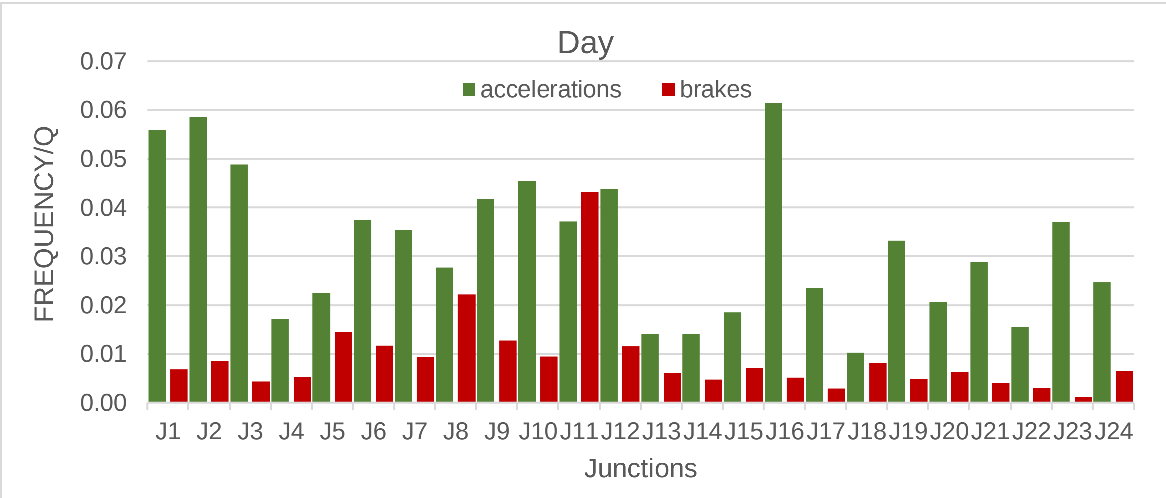
Διάγραμμα 4.3 Μέση ταχύτητα κυκλοφορίας στις διασταυρώσεις της Λ. Μεσογείων



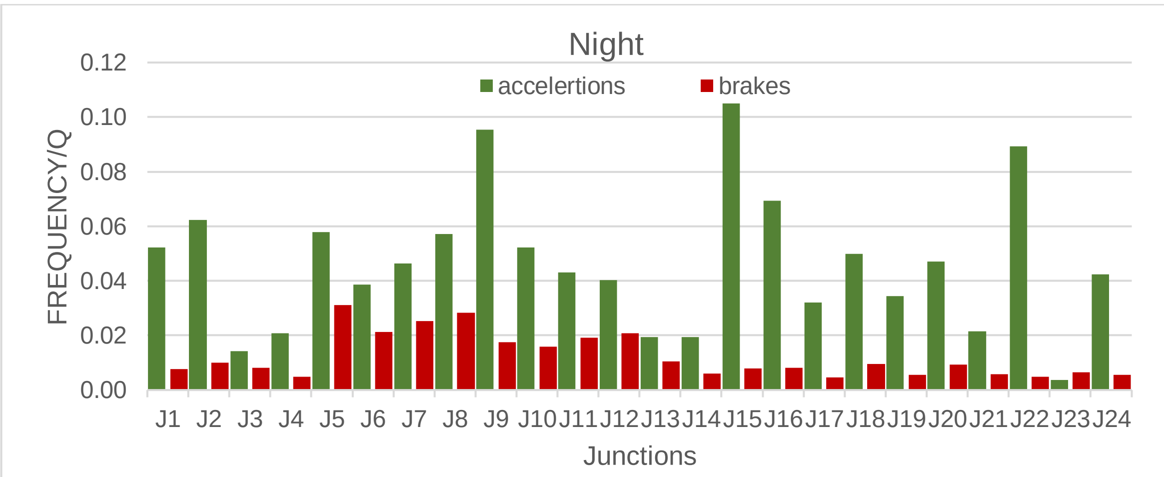
Διάγραμμα 4.4 Συχνότητα απότομων επιταχύνσεων στις διασταυρώσεις της Λ. Μεσογείων



Διάγραμμα 4.5 Λόγος της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο στις διασταυρώσεις της Λ. Μεσογείων

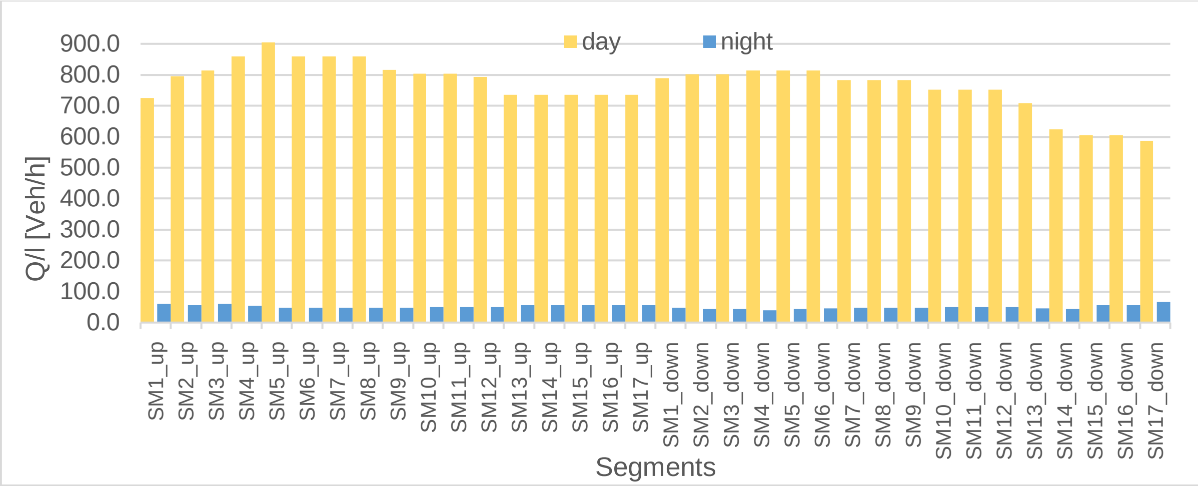


Διάγραμμα 4.6 Λόγος της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων (accelerations) και επιβραδύνσεων (brakes) προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο στις διασταυρώσεις της Λ. Μεσογείων κατά τη διάρκεια της ημέρας

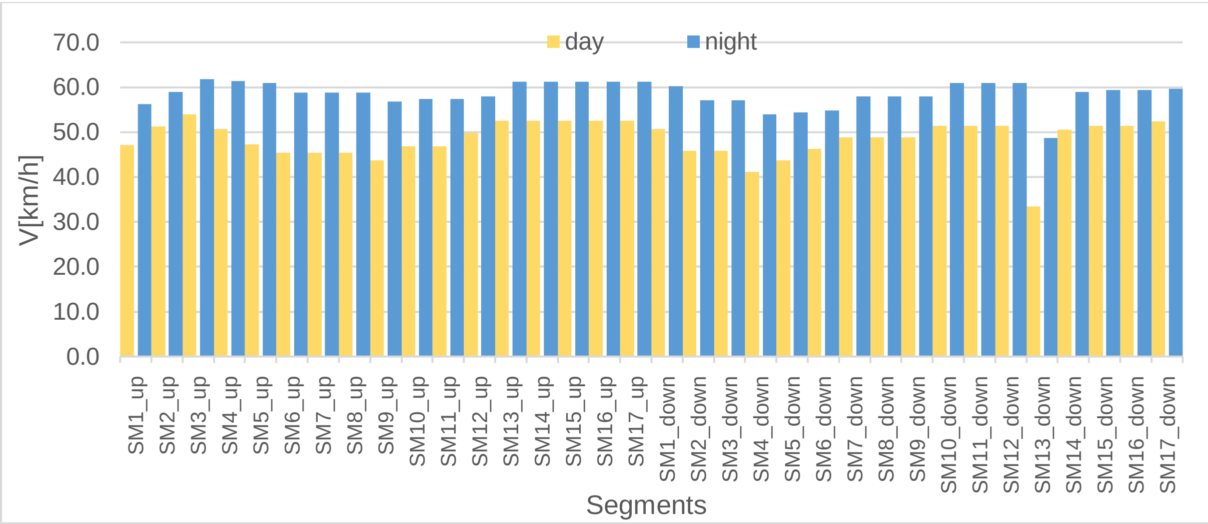


Διάγραμμα 4.7 Λόγος της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων (accelerations) και επιβραδύνσεων (brakes) προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο στις διασταυρώσεις της Λ. Μεσογείων κατά τη διάρκεια της νύχτας

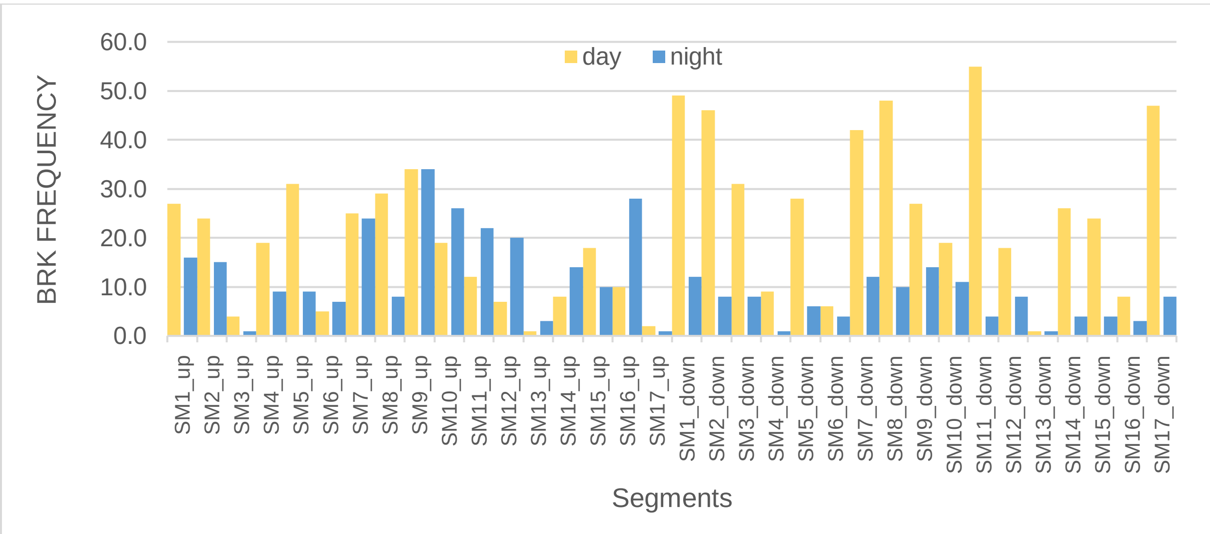
<u>Οδικά τμήματα:</u>



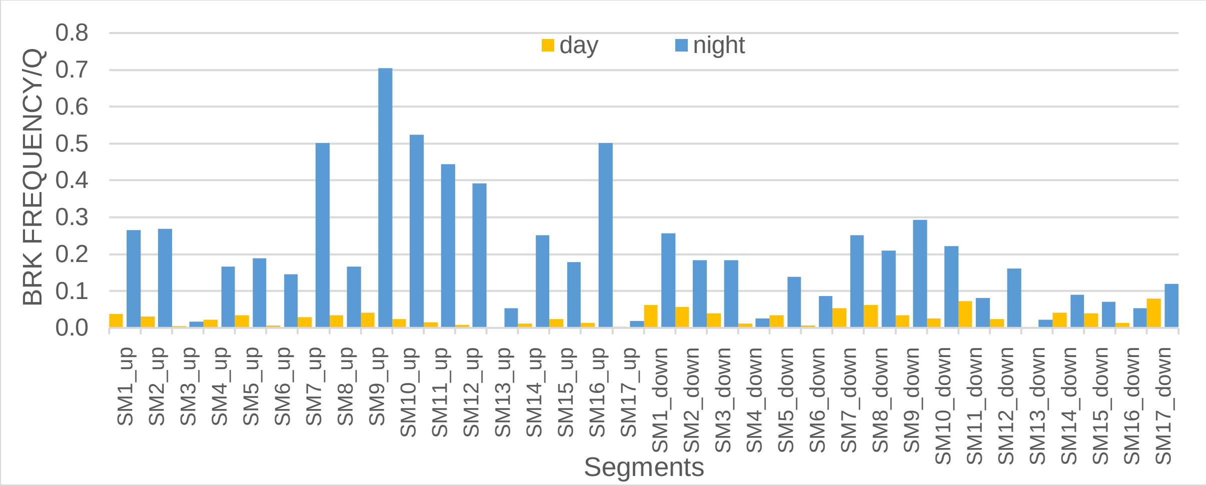
Διάγραμμα 4.8 Μέσοι κυκλοφοριακοί φόρτοι ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα της Λ. Μεσογείων



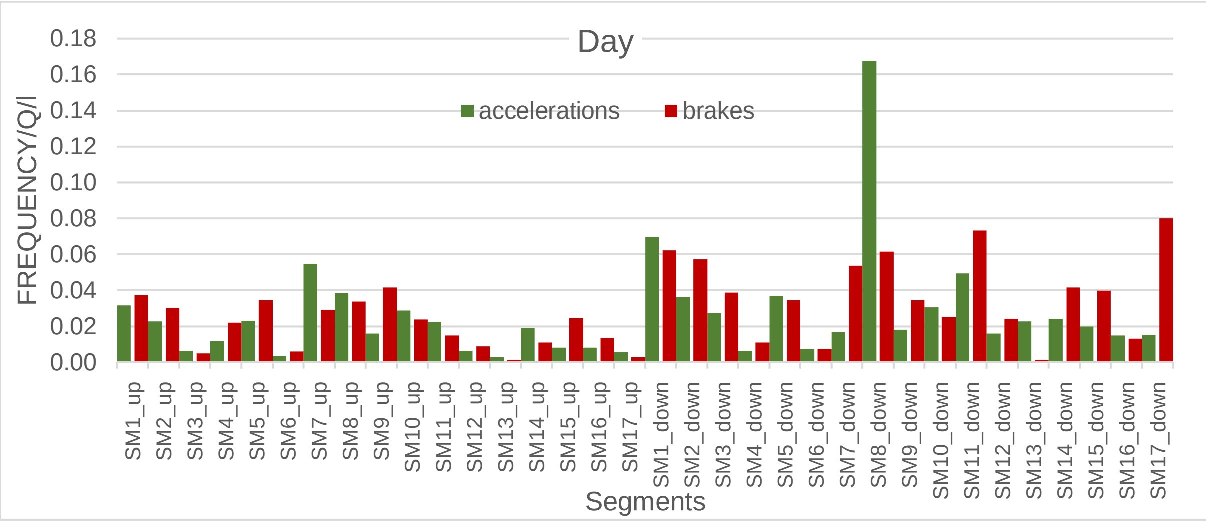
Διάγραμμα 4.9 Μέση ταχύτητα κυκλοφορίας στα οδικά τμήματα της Λ. Μεσογείων



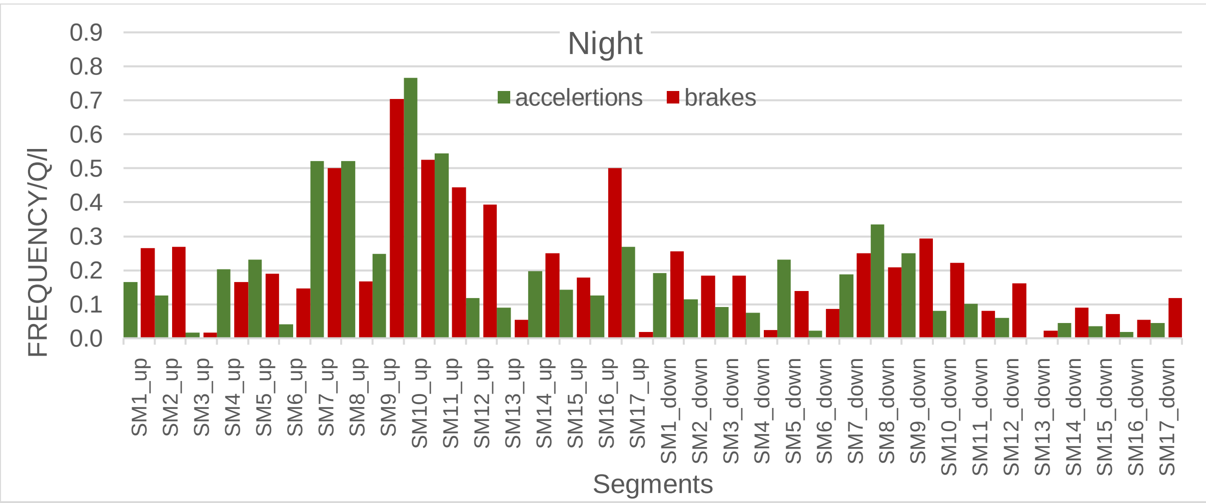
Διάγραμμα 4.10 Συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων στα οδικά τμήματα της Λ. Μεσογείων



Διάγραμμα 4.11 Λόγος της συχνότητας των απότομων επιβραδύνσεων προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα της Λ. Μεσογείων



Διάγραμμα 4.12 Λόγος της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων (accelerations) και επιβραδύνσεων (brakes) προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα της Λ. Μεσογείων κατά τη διάρκεια της ημέρας



Διάγραμμα 4.13 Λόγος της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων (accelerations) και επιβραδύνσεων (brakes) προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα της Λ. Μεσογείων κατά τη διάρκεια της νύχτας

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτουν τα εξής **γενικά σχόλια και παρατηρήσεις**:

- Ο **μέσος κυκλοφοριακός φόρτος** στις διασταυρώσεις και στα οδικά τμήματα είναι μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια της **ημέρας**.
- Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** στις διασταυρώσεις και στα οδικά τμήματα είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της **νύχτας**.
- Η **συχνότητα των απότομων επιταχύνσεων** στις διασταυρώσεις είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της **ημέρας**. Αυτό φαίνεται λογικό αφού υπάρχει μεγαλύτερος κυκλοφοριακός φόρτος κατά τη διάρκεια της ημέρας, επομένως αναμένεται να συμβαίνουν και περισσότερα απότομα συμβάντα. Το ίδιο παρατηρείται και για τη συχνότητα των **απότομων επιβραδύνσεων σε οδικά τμήματα**.
- Ο **λόγος της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο** στις διασταυρώσεις είναι μεγαλύτερος τη **νύχτα**. Αυτό εξηγείται λογικά αφού κατά τη διάρκεια της νύχτας έχουμε αρκετά μικρότερο φόρτο σε σχέση με την ημέρα. Το ίδιο συμβαίνει και για τον λόγο της συχνότητας των απότομων επιβραδύνσεων προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα.
- Ο **λόγος της συχνότητας** των **απότομων επιταχύνσεων** στις διασταυρώσεις προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο είναι μεγαλύτερος από τον λόγο των **απότομων επιβραδύνσεων** σε διασταυρώσεις προς τον φόρτο τόσο κατά τη διάρκεια την ημέρα όσο και της νύχτας.
- Ο **λόγος της συχνότητας** των **απότομων επιβραδύνσεων** προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερος από τον λόγο των απότομων επιταχύνσεων προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο ανά λωρίδα στα οδικά τμήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας και περίπου ίσος κατά τη διάρκεια της ημέρας.

5 Ανάπτυξη Μαθηματικών Μοντέλων

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της **εφαρμογής της μεθοδολογίας**, καθώς και την **παρουσίαση των αποτελεσμάτων** της Διπλωματικής Εργασίας. Στη συνέχεια, ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και την παραγωγή των τελικών μοντέλων, ενώ έμφαση δίνεται στην εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων που όπως έχει προαναφερθεί, απαιτούνται για την αποδοχή ή μη των μοντέλων. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τόσο τη μαθηματική σχέση κάθε μοντέλου, όσο και σχετικά διαγράμματα και πίνακες για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ελαστικότητας και ανάλυση ευαισθησίας.

Τα τελικά μοντέλα που προέκυψαν ήταν **αποτελέσματα μιας σειράς δοκιμών**, κατά τις οποίες αναπτύχθηκε μεγάλος αριθμός μαθηματικών μοντέλων που περιλάμβαναν συνδυασμούς όλων των μεταβλητών που καταγράφηκαν. Επιλέχθηκε η μέθοδος της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης (log-normal regression), αφενός διότι η μεταβλητή που εξετάζεται (εξαρτημένη) είναι συνεχής και αφετέρου διότι η μέθοδος αυτή εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τη γραμμική παλινδρόμηση. Τα μοντέλα αξιολογήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων, όπως αυτοί έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά και με βάση τη λογική εξήγηση των αποτελεσμάτων. Στις δοκιμές αυτές απορρίφθηκαν οι μεταβλητές που αποδείχθηκαν ότι δεν έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή. Για ευκολία του αναγνώστη, στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνολικά όλα τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν.

Πίνακας 5.1 Πίνακας παρουσίασης μαθηματικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν

5.2	Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων **επιταχύνσεων σε διασταύρωση**	5.2.1	**Μοντέλο 1** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση την ημέρα
		5.2.2	**Μοντέλο 2** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση τη νύχτα
5.3	Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων **επιβραδύνσεων σε διασταύρωση**	5.3.1	**Μοντέλο 3** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση την ημέρα
		5.3.2	**Μοντέλο 4** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση τη νύχτα
5.4	Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων **επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα**	5.4.1	**Μοντέλο 5** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα την ημέρα
		5.4.2	**Μοντέλο 6** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα τη νύχτα
5.5	Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων **επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα**	5.5.1	**Μοντέλο 7** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων την ημέρα
		5.5.2	**Μοντέλο 8** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα τη νύχτα
5.6	Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε **διασταύρωση - συνολικά για ημέρα και νύχτα**	5.6.1	**Μοντέλο 9** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση
		5.6.2	**Μοντέλο 10** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση
5.7	Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε **οδικό τμήμα - συνολικά για ημέρα και νύχτα**	5.7.1	**Μοντέλο 11** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα
		5.7.2	**Μοντέλο 12** Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα

5.2 Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση

Διερευνήθηκε αρχικά η συσχέτιση των μεταβλητών ώστε να επιλεγεί το καλύτερο μοντέλο. Πρακτικά εκείνο που επιδιώκεται είναι η **μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και η μηδενική συσχέτιση μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών.** Η απόλυτη τιμή του συντελεστή, πάνω από την οποία θεωρήθηκε υψηλή συσχέτιση ορίστηκε σύμφωνα με εμπειρικό κανόνα ίση με 0,4. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εμφάνισαν υψηλή συσχέτιση (μεγαλύτερη από 0,4) δεν ελήφθησαν υπόψη στα τελικά μοντέλα. Αφού βρέθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών, πραγματοποιήθηκε η επιλογή των βασικών μεταβλητών οι οποίες δεν συσχετίζονται, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητες στα μαθηματικά μοντέλα που θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο. Παρόμοια διαδικασία ανάλυσης συσχετίσεων ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα μοντέλα. Τελικός στόχος για την καλύτερη σύγκριση των μοντέλων, ήταν να έχουν τις ίδιες μεταβλητές την ημέρα και τη νύχτα.

Πίνακας 5.2 Συντελεστές συσχέτισης ενδεικτικών μεταβλητών για τις απότομες επιταχύνσεις σε διασταύρωση

Correlations							
	No Left_Exits	No Left_Entrances	MAX_Event_Speed	MAX_Speed_Diff	MIN_distance	V	O
No Left_Exits	1,000	0,324	0,039	0,321	-0,348	0,057	-0,065
No Left_Entrances	0,324	1,000	-0,267	0,481	-0,461	0,013	0,053
MAX_Event_Speed	-0,048	-0,267	1,000	0,137	-0,270	-0,096	0,121
MAX_Speed_Diff	0,321	0,481	0,137	1,000	-0,645	-0,173	0,195
MIN_distance	-0,348	-0,461	-0,270	-0,645	1,000	-0,011	-0,009
V	0,057	0,013	-0,096	-0,173	-0,011	1,000	-0,936
O	-0,009	0,133	0,121	0,195	-0,009	-0,936	1,000

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- **V** η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε χιλιόμετρα ανά ώρα [km/h]
- **MAX_Speed_Diff** η μέγιστη τιμή της μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δυο δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια του απότομου συμβάντος [km/h]
- **MAX_Event_Speed** η μέγιστη τιμή των ταχυτήτων πραγματοποίησης του κάθε συμβάντος [km/h]
- **No Left_Entrances** ο αριθμός των αριστερών εισόδων στη διασταύρωση

5.2.1 Μοντέλο 1 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση την ημέρα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι:

Log (FREQUENCY/Q) = -1,234 - 0,034***V** + 0,037***MAX_Speed_Diff** + 0,007***MAX_Event_Speed** + 0,137***No Left_Entrances**

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.3 Περίληψη μοντέλου 1

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,813	**0,661**	0,612	0,240

Πίνακας 5.4 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 1

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	-1,234	0,562		-2,195	0,037	-	-	
V	-0,034	0,008	-0,456	-4,064	0,000	1,063	-4,07	Συνεχείς
MAX_Speed_Diff	0,037	0,015	0,327	2,414	0,023	-0,487	1,867	
MAX_Event_Speed	0,007	0,003	0,276	2,379	0,024	-0,261	1	
No Left_Entrances	0,137	0,062	0,297	2,209	0,036	-0,08	-	Διακριτή

5.2.2 Μοντέλο 2 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση τη νύχτα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι**:**

Log (FREQUENCY / Q) = - 0,113 - 0,056***V** + 0,064***MAX_Speed_Diff** + 0,011***MAX_Event_Speed** + 0,173***No Left_Entrances**

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.5 Περίληψη μοντέλου 2

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,819	**0,670**	0,623	0,257

Πίνακας 5.6 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 2

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
Constant	-0,113	0,980		-0,116	0,909	-	-	
V	-0,056	0,016	-0,382	-3,497	0,002	2,431	-5,081	Συνεχείς
MAX_Speed_Diff	0,064	0,016	0,468	4,053	0,000	-0,897	1,875	
MAX_Event_Speed	0,011	0,003	0,370	3,349	0,002	-0,478	1	
No Left Entrances	0,173	0,058	0,344	2,981	0,006	-0,118	-	Διακριτή

5.2.3 Ποιότητα Μοντέλων

Για τα δύο παραπάνω μοντέλα ισχύουν τα εξής:

- ✓ Οι **συντελεστές R^2** είναι ίσοι με **0,661** και **0,67** αντίστοιχα για τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας και κρίνονται αρκετά ικανοποιητικοί.
- ✓ Ικανοποιείται ο **στατιστικός έλεγχος t test** καθώς όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν τιμή t μεγαλύτερη του 1,7 (σε απόλυτη τιμή).
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** είναι μικρότερο από 5% για όλες τις μεταβλητές.
- ✓ Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται **λογικά.**

5.2.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλων

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

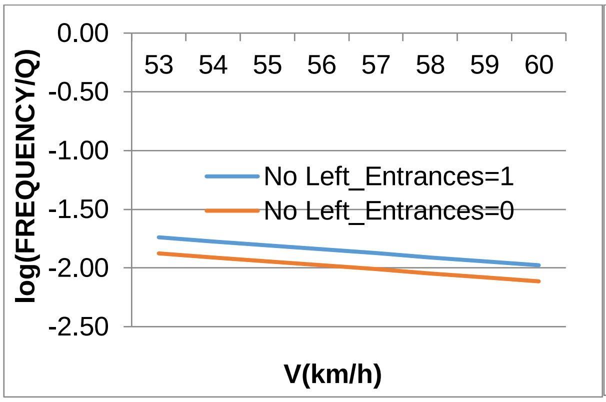
- ❖ Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** επιδρά αρνητικά στον λογάριθμο της συχνότητας απότομων επιταχύνσεων στη διασταύρωση καθώς ο συντελεστής β για τη συγκεκριμένη μεταβλητή έχει αρνητικό πρόσημο και τιμή ίση με 0,034 για την ημέρα και 0,056 για τη νύχτα. Πιθανόν κάτι τέτοιο να συμβαίνει διότι με τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας οι πιο επιθετικοί χρήστες βρίσκουν επαρκείς χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς τους οποίους εκμεταλλεύονται επιταχύνοντας απότομα.
- ❖ Καθώς αυξάνεται η **μέγιστη διαφορά ταχύτητας σε δύο δευτερόλεπτα** κατά τη διάρκεια της απότομης επιτάχυνσης, ο λογάριθμος της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση αυξάνεται. Αυτό δηλώνει πιο απρόβλεπτη και επιθετική συμπεριφορά των χρηστών και επομένως μεγαλύτερο αριθμό απότομων επιταχύνσεων συγκριτικά με μικρότερες τιμές. Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος, δηλαδή επηρεάζεται περισσότερο η συχνότητα των συμβάντων.
- ❖ Αν παρατηρηθεί αύξηση στη **μέγιστη τιμή των ταχυτήτων των απότομων επιταχύνσεων** που πραγματοποιήθηκαν σε διασταύρωση τότε θα αυξηθεί και ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιρροή της μεταβλητής αυτής είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την επιρροή των υπόλοιπων.
- ❖ Ο **αριθμός των αριστερών εισόδων** επιδρά θετικά στον λογάριθμο της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί πιθανώς από την προσπάθεια του οδηγού που εισέρχεται στη διασταύρωση, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, αυξάνοντάς την απότομα λόγω της σημαντικής διαφοράς των δύο ταχυτήτων.
- ❖ Η ύπαρξη **σταθεράς** με αρνητικό συντελεστή υποδηλώνει την ύπαρξη επιπρόσθετων άγνωστων παραγόντων που προκαλούν μείωση των απότομων επιταχύνσεων.

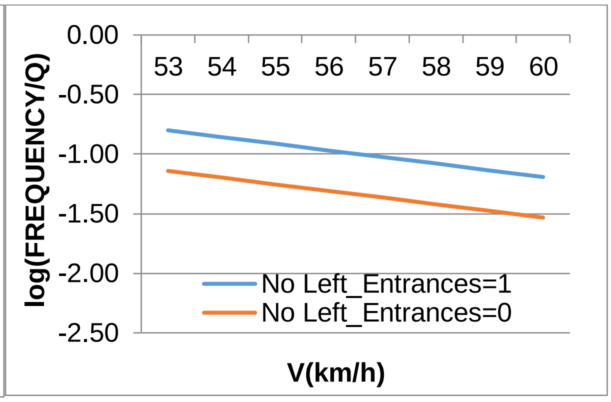
5.2.5 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Από τις τρεις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η μεταβλητή **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας V** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Επομένως, η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας εμφανίζεται να ασκεί σχετικά σημαντική επιρροή στη συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν η οριοθετημένη περιοχή υπό μελέτη είναι η διασταύρωση. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 4,07 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή

MAX_Event_Speed που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,261). Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για τα απότομα συμβάντα τη νύχτα.

5.2.6 Ανάλυση ευαισθησίας





Διάγραμμα 5.1 & 5.2
Λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με τη μέση ταχύτητα κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Διάγραμμα 5.1) και της νύχτας (Διάγραμμα 5.2)

Από τα παραπάνω διαγράμματα ευαισθησίας, προκύπτουν συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι με την **αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας** παρατηρείται **μείωση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων που πραγματοποιούνται σε διασταύρωση. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι για μεγαλύτερο αριθμό εισόδων στη διασταύρωση παρουσιάζονται περισσότερες απότομες επιταχύνσεις, με την κλίση της καμπύλης να παραμένει ίδια. Επιπλέον παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας η κλίση του διαγράμματος είναι μεγαλύτερη, που σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κυκλοφορίας τα συμβάντα μειώνονται περισσότερο τη νύχτα.

5.3 Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- **V** η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε χιλιόμετρα ανά ώρα [km/h]
- **MAX_Event_Speed** η μέγιστη τιμή των ταχυτήτων πραγματοποίησης του κάθε συμβάντος [km/h]
- **Sideway** Ύπαρξη (1) ή απουσία (0) παράδρομου

5.3.1 Μοντέλο 3 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση την ημέρα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι:

Log (FREQUENCY/Q) = - 0,347 - 0,051***V** + 0,008***MAX_Event_Speed** + 0,173***Sideway**

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.7 Περίληψη μοντέλου 3

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,788	**0,621**	0,581	0,235

Πίνακας 5.8 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 3

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	-0,347	0,443		-0,782	0,441	-	-	
V	-0,051	0,008	-0,737	-6,263	0,000	-4,67	-0,07	Συνεχείς
MAX_Event_Speed	0,008	0,003	0,344	2,999	0,006	1	0,005	
Sideway	0,173	0,085	0,239	2,024	0,052	-0,05	-	Διακριτή

5.3.2 Μοντέλο 4 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση τη νύχτα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι:

Log (FREQUENCY/Q) = 1,570 - 0,069***V** + 0,005***MAX_Event_Speed** + 0,170***Sideway**

Πίνακας 5.9 Περίληψη μοντέλου 4

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,697	**0,486**	0,433	0,229

Πίνακας 5.10 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 4

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	1,57	0,872		1,799	0,082	-	-	
V	-0,069	0,015	-0,643	-4,67	0,000	2	-11,7	Συνεχείς
MAX_Event_Speed	0,005	0,002	0,315	2,352	0,026	-0,17	1	
Sideway	0,17	0,084	0,281	2,036	0,051	-0,05	-	Διακριτή

5.3.3 Ποιότητα μοντέλων

Για τα δύο παραπάνω μοντέλα ισχύουν τα εξής:

- ✓ Οι **συντελεστές R^2** είναι ίσοι με **0,621** και **0,486** αντίστοιχα και κρίνονται αρκετά ικανοποιητικοί.
- ✓ Ικανοποιείται ο **στατιστικός έλεγχος t** καθώς όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν τιμή t μεγαλύτερη του 1,7 (σε απόλυτη τιμή).
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** είναι μικρότερο από 5% για όλες τις μεταβλητές.
- ✓ Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται **λογικά.**

5.3.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλων

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

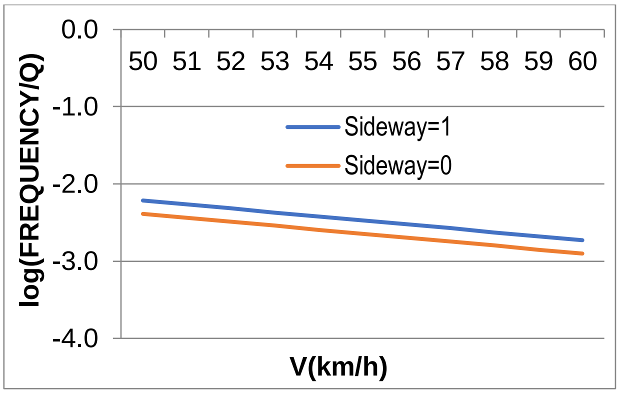
- ❖ Καθώς η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** μειώνεται, ο αριθμός απότομων επιβραδύνσεων που παρατηρούνται στη διασταύρωση αυξάνεται. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας υπάρχει περίπτωση να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές των οδηγών. Πιθανόν κάτι τέτοιο να συμβαίνει διότι οι πιο επιθετικοί χρήστες βρίσκουν επαρκείς χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς τους οποίους εκμεταλλεύονται επιβραδύνοντας απότομα.
- ❖ Καθώς αυξάνεται η μέγιστη τιμή της **ταχύτητας συμβάντος**, η εξαρτημένη μεταβλητή αυξάνεται. Δηλώνει πιο απρόβλεπτη και επιθετική συμπεριφορά των χρηστών επομένως μεγαλύτερο αριθμό απότομων επιβραδύνσεων.
- ❖ Η ύπαρξη **παραδρόμου** στη διασταύρωση προκαλεί επίσης αύξηση στον αριθμό των απότομων επιβραδύνσεων. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί πιθανώς από την προσπάθεια του οδηγού που εξέρχεται από τη διασταύρωση, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, επιβραδύνοντας απότομα.
- ❖ Η ύπαρξη **σταθεράς** με αρνητικό συντελεστή υποδηλώνει την ύπαρξη επιπρόσθετων άγνωστων παραγόντων που προκαλούν μείωση των απότομων επιβραδύνσεων.

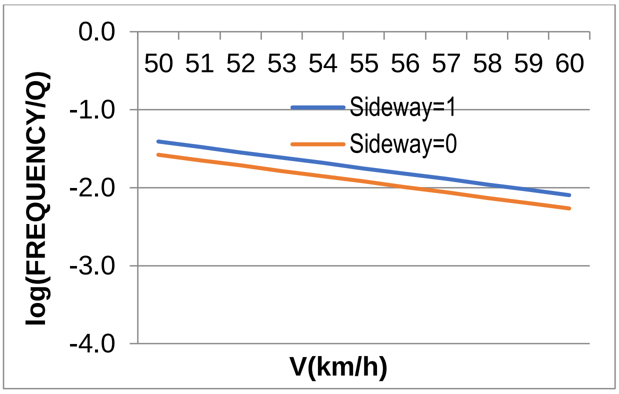
5.3.5 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Από τις δύο ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η μεταβλητή **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας V** εμφανίζεται να ασκεί σχετικά σημαντική επιρροή στη συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 4,672 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά 11,69 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή MAX_Event_Speed.

5.3.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Από τα παρακάτω διαγράμματα ευαισθησίας, προκύπτουν συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι με την **αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας** παρατηρείται **μείωση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων που πραγματοποιούνται σε διασταύρωση. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι με την ύπαρξη παράδρομου στη διασταύρωση παρουσιάζονται περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις, με την κλίση της καμπύλης να παραμένει ίδια. Επιπλέον παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας η κλίση του διαγράμματος είναι μεγαλύτερη, που σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κυκλοφορίας τα συμβάντα μειώνονται περισσότερο τη νύχτα.





Διάγραμμα 5.3 & 5.4 Λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με τη μέση ταχύτητα κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Διάγραμμα 5.3) και της νύχτας (Διάγραμμα 5.4)

5.4 Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- **O** μέση κατάληψη (Occupancy) [%]
- **MAX_Event_Speed** η μέγιστη τιμή των ταχυτήτων πραγματοποίησης του κάθε συμβάντος [km/h]
- **MIN_distance** η ελάχιστη τιμή της απόστασης συμβάντος
- **No Right Exit/Entrance** αριθμός δεξιών εξόδων από το οδικό τμήμα και εισόδων στο οδικό τμήμα

5.4.1 Μοντέλο 5 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα την ημέρα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι**:**

Log (FREQUENCY/Q) = - 2,320+0,068***O** + 0,006***MAX_Event_Speed** - 0,302***MIN_distance** + 0,075***No Right Exit/Entrance**

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.11 Περίληψη μοντέλου 5

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,752	**0,565**	0,525	0,285

Πίνακας 5.12 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 5

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	-2,32	0,297		-7,81	0,000	-	-	
O	0,068	0,019	0,389	3,605	0,001	-0,43	2,2	Συνεχείς
MAX_Event_Speed	0,006	0,002	0,295	2,575	0,013	-0,19	1	
MIN_distance	-0,302	0,072	-0,45	-4,212	0,000	0,357	-1,84	
No.Right Exit/Entrance	0,075	0,03	0,281	2,487	0,017	-0,07	-	Διακριτή

5.4.2 Μοντέλο 6 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα τη νύχτα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι**:**

Log (FREQUENCY/Q) = - 1,772 + 0,377***O** + 0,004***MAX_Event_Speed** – 0,276***MIN_distance** + 0,103***No Right Exit/Entrance**

Πίνακας 5.13 Περίληψη μοντέλου 6

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,822	**0,676**	0,645	0,263

Πίνακας 5.14 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 6

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	-1,772	0,363		-4,887	0,000	-	-	
O	0,377	0,077	0,508	4,876	0,000	-1,517	3,748	Συνεχείς
MAX_Event_Speed	0,004	0,002	0,222	1,876	0,068	-0,405	1	
MIN_distance	-0,276	0,062	-0,438	-4,447	0,000	0,773	-1,91	
No.Right Exit/Entrance	0,103	0,028	0,364	3,691	0,001	-0,307	-	Διακριτή

5.4.3 Ποιότητα μοντέλων

Για τα παραπάνω μοντέλα ισχύουν τα εξής:

- ✓ Οι **συντελεστές R^2** είναι ίσοι με **0,565** και 0,**676** αντίστοιχα και κρίνονται αρκετά ικανοποιητικοί.
- ✓ Ικανοποιείται ο **στατιστικός έλεγχος t** καθώς όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν τιμή t μεγαλύτερη του 1,7 (σε απόλυτη τιμή).
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** είναι μικρότερο από 5% για όλες τις μεταβλητές.
- ✓ Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται **λογικά.**

5.4.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλων

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

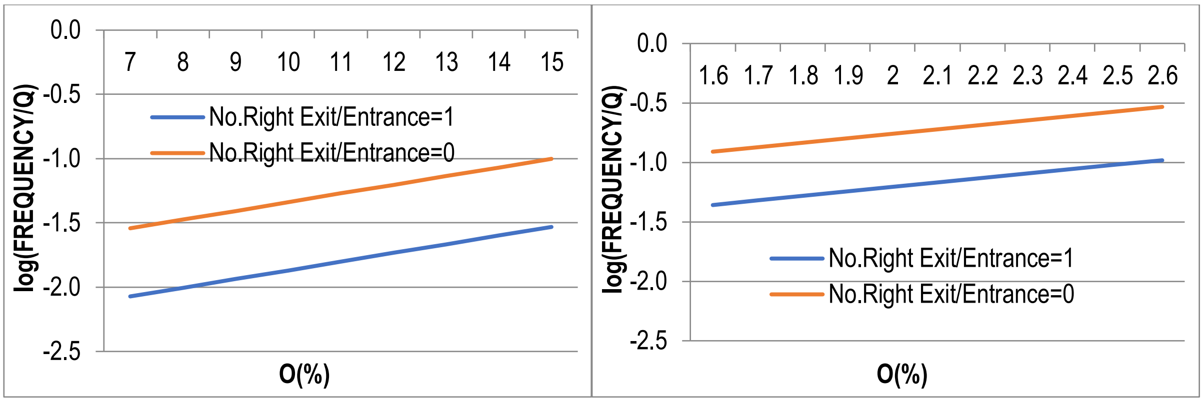
- Αν αυξηθεί η **μέση κατάληψη** σε οδικό τμήμα, τότε θα αυξηθούν οι απότομες επιταχύνσεις. Ενδεχομένως οι πιο επιθετικοί οδηγοί αντιλαμβάνονται την αύξηση του κορεσμού της ροής και προσπαθούν να αξιοποιήσουν οποιοδήποτε ικανό χωρικό διαχωρισμό (κενό στην κυκλοφορία), με αποτέλεσμα ο συγκεκριμένος περιορισμός της κίνησης στους λιγότερο υπομονετικούς οδηγούς να δημιουργεί μια πιο επιθετική συμπεριφορά.
- Αν παρατηρηθεί αύξηση στη **μέγιστη τιμή των ταχυτήτων** των απότομων επιταχύνσεων που πραγματοποιήθηκαν σε οδικό τμήμα τότε θα αυξηθεί και ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων. Δηλώνει πιο απρόβλεπτη και επιθετική συμπεριφορά των χρηστών επομένως μεγαλύτερο αριθμό απότομων επιταχύνσεων.
- Το αρνητικό πρόσημο του συντελεστή της μεταβλητής που εκφράζει την **ελάχιστη τιμή των αποστάσεων**, δηλώνει την αντίθετη συμπεριφορά εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής.
- Με την **προσθήκη επιπλέον λωρίδων εξόδου και εισόδου** στο οδικό τμήμα, η συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε αυτή την περιοχή αυξάνεται. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί ενδεχομένως από την προσπάθεια του οδηγού που εισέρχεται στο οδικό τμήμα, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, αυξάνοντάς την απότομα λόγω της σημαντικής διαφοράς των δύο ταχυτήτων.
- Η ύπαρξη **σταθεράς** με αρνητικό συντελεστή υποδηλώνει την ύπαρξη επιπρόσθετων άγνωστων παραγόντων που προκαλούν μείωση των απότομων επιταχύνσεων.

5.4.5 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Από τις τρεις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η **μέση κατάληψη O** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Επομένως, η μέση κατάληψη εμφανίζεται να ασκεί σχετικά σημαντική επιρροή στη συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν η οριοθετημένη περιοχή υπό μελέτη είναι οδικό τμήμα. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 3,748 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή MAX_Event_Speed που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,405). Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για τα απότομα συμβάντα τη νύχτα.

5.4.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Από τα παρακάτω διαγράμματα ευαισθησίας, προκύπτουν συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι με την **αύξηση της μέσης κατάληψης** παρατηρείται **αύξηση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων που πραγματοποιούνται σε οδικό τμήμα. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι για μεγαλύτερο αριθμό εισόδων και εξόδων στη διασταύρωση παρουσιάζονται περισσότερες απότομες επιταχύνσεις, με την κλίση της καμπύλης να παραμένει ίδια. Επιπλέον παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας η κλίση του διαγράμματος είναι μεγαλύτερη, που σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κυκλοφορίας τα συμβάντα μειώνονται περισσότερο τη νύχτα.



Διάγραμμα 5.5 & 5.6 Λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με τη μέση κατάληψη κατά τη διάρκεια της ημέρας (Διάγραμμα 5.5) και της νύχτας (Διάγραμμα 5.6)

5.5 Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- ❖ **V** η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε χιλιόμετρα ανά ώρα [km/h]
- ❖ **MIN_Speed_Diff** η ελάχιστη τιμή της μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δυο δευτερόλεπτα [km/h]
- ❖ **MIN_distance** η ελάχιστη τιμή της απόστασης συμβάντος
- ❖ **Length** το μήκος του οδικού τμήματος [m]

5.5.1 Μοντέλο 7 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων την ημέρα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι:

Log (FREQUENCY/Q) = -1,530-0,013***V** - 0,038***MIN_Speed_Diff** - 0,239***MIN_distance** + 0,001***Length**

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.15 Περίληψη μοντέλου 7

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,756	**0,571**	0,533	0,306

Πίνακας 5.16 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 7

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	-1,530	0,599		-2,555	0,014			
V	-0,013	0,007	-0,174	-1,733	0,090	0,399	-3,164	Συνεχείς
MIN_Speed_Diff	-0,038	0,019	-0,270	-1,998	0,052	-0,455	3,601	
MIN_distance	-0,239	0,074	-0,431	-3,217	0,002	0,265	-2,099	
Length	0,001	0,000	0,251	2,385	0,021	-0,455	1	

5.5.2 Μοντέλο 8 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα τη νύχτα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι:

Log (FREQUENCY/Q) = -1,074 - 0,040***V** - 0,038***MIN_Speed_Diff** - 0,213***MIN_distance** + 0,001***Length**

Πίνακας 5.17 Περίληψη μοντέλου 8

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,709	**0,502**	0,457	0,308

Πίνακας 5.18 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 8

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	1,074	0,815		1,317	0,195	-	-	
V	-0,04	0,014	-0,331	-2,833	0,007	3,648	-16,4	Συνεχείς
MIN_Speed_Diff	-0,038	0,017	-0,298	-2,272	0,028	-1,15	5,175	
MIN_distance	-0,213	0,055	-0,475	-3,873	0,000	0,501	-2,25	
Length	0,001	0,000	0,200	1,815	0,076	-0,22	1	

5.5.3 Ποιότητα Μοντέλων

Για τα δύο παραπάνω μοντέλα ισχύουν τα εξής:

- ✓ Οι **συντελεστές R^2** είναι ίσοι με **0,571** και **0,502** αντίστοιχα για τα δύο μοντέλα, και κρίνονται ικανοποιητικοί.
- ✓ Ικανοποιείται ο **στατιστικός έλεγχος t** καθώς όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν τιμή t μεγαλύτερη του 1,7 (σε απόλυτη τιμή).
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** είναι μικρότερο από 5% για όλες τις μεταβλητές.
- ✓ Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στα μοντέλα και τα πρόσημά τους εξηγούνται **λογικά.**

5.5.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλων

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

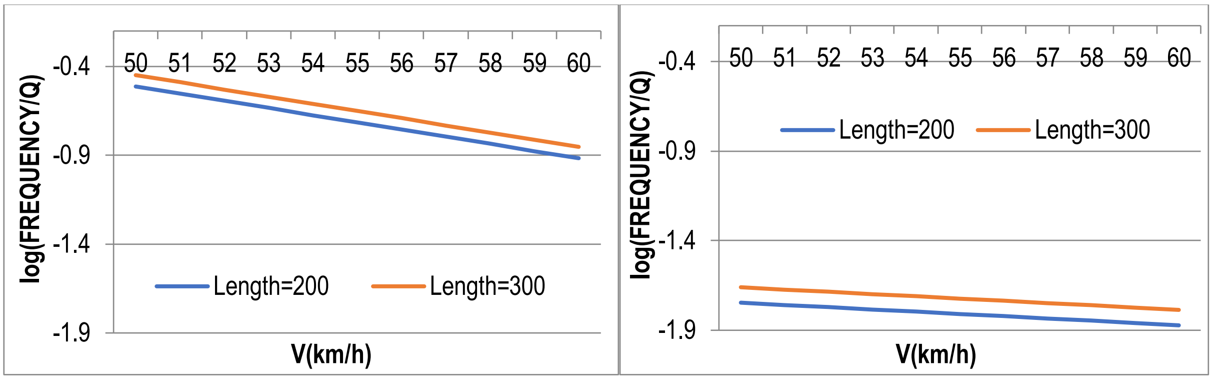
- Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** επιδρά αρνητικά στον λογάριθμο της συχνότητας απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα, καθώς ο συντελεστής β για τη συγκεκριμένη μεταβλητή έχει αρνητικό πρόσημο. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας υπάρχει περίπτωση να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές των οδηγών.
- Καθώς αυξάνεται το ελάχιστο της **μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δύο δευτερόλεπτα** κατά τη διάρκεια της απότομης επιβράδυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα. Αυτό δηλώνει πιο απρόβλεπτη και επιθετική συμπεριφορά των χρηστών επομένως μεγαλύτερο αριθμό απότομων επιβραδύνσεων συγκριτικά με μικρότερες τιμές. Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας ο συντελεστής είναι ίδιος, δηλαδή επηρεάζεται με όμοιο τρόπο τη συχνότητα των συμβάντων.
- Το αρνητικό πρόσημο του συντελεστή της μεταβλητής που εκφράζει την **ελάχιστη τιμή της απόστασης**, δηλώνει την αντίθετη συμπεριφορά εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι η απόσταση πραγματοποίησης του απότομου συμβάντος, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένας δείκτης της διαθέσιμης απόστασης κάθε οχήματος στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα κατά τη διάρκεια της απότομης επιβράδυνσης.
- Καθώς αυξάνεται το **μήκος ενός οδικού τμήματος** αυξάνεται και ο αριθμός των απότομων επιβραδύνσεων που παρατηρούνται στο αντίστοιχο οδικό τμήμα. Πιθανόν κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι σε μεγαλύτερα οδικά τμήματα παρατηρούνται πιο πολλές είσοδοι/έξοδοι από αυτό. Ο οδηγός που εξέρχεται από το οδικό τμήμα υπάρχει περίπτωση να επιβραδύνει απότομα προκειμένου να μειώσει ταχύτητα και να προσαρμοστεί γρήγορα σε δρόμους με χαμηλότερα όρια ταχυτήτων.
- Η ύπαρξη **σταθεράς** με αρνητικό συντελεστή υποδηλώνει την ύπαρξη επιπρόσθετων άγνωστων παραγόντων που προκαλούν μείωση των απότομων επιβραδύνσεων.

5.5.5 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Από τις τέσσερις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας V** παρατηρείται ότι έχει τη μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταβλητές. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει **16 φορές μεγαλύτερη** επιρροή σε σχέση με τη μεταβλητή Length που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,222). Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για τα απότομα συμβάντα τη νύχτα.

5.5.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Από τα παρακάτω διαγράμματα ευαισθησίας, προκύπτουν συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι με την **αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας** παρατηρείται **μείωση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων που πραγματοποιούνται σε οδικό τμήμα. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι για μεγαλύτερο μήκος οδικού τμήματος παρουσιάζονται περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις, με την κλίση της καμπύλης να παραμένει ίδια. Επιπλέον παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας η κλίση του διαγράμματος είναι μεγαλύτερη, που σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κυκλοφορίας τα συμβάντα μειώνονται περισσότερο την ημέρα.



Διάγραμμα 5.7 & 5.8 Λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με τη μέση ταχύτητα κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Διάγραμμα 5.7) και της νύχτας (Διάγραμμα 5.8)

5.6 Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε διασταύρωση - συνολικά για ημέρα και νύχτα

Στα παρακάτω τέσσερα μοντέλα συμπεριλήφθηκε η μεταβλητή **time of day**, η οποία εκφράζει την ώρα της ημέρας και δέχεται τιμές 0 για την ημέρα (07:00-22:00) και 1 για τη νύχτα (22:00-07:00). Τα τελικά μοντέλα που προέκυψαν ήταν **αποτελέσματα μιας σειράς δοκιμών**, κατά τις οποίες αναπτύχθηκε μεγάλος αριθμός μαθηματικών μοντέλων που περιλάμβαναν συνδυασμούς όλων των μεταβλητών που καταγράφηκαν. Επιλέχθηκε η μέθοδος της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης (log-normal regression), αφενός διότι η μεταβλητή που εξετάζεται (εξαρτημένη) είναι συνεχής και αφετέρου διότι η μέθοδος αυτή εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τη γραμμική παλινδρόμηση. Τα μοντέλα αξιολογήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων, όπως αυτοί έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά και με βάση τη λογική εξήγηση των αποτελεσμάτων. Στις δοκιμές αυτές απορρίφθηκαν οι μεταβλητές που αποδείχθηκαν ότι δεν έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή.

5.6.1 Μοντέλο 9 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση

Αρχικά διερευνήθηκε η συσχέτιση των μεταβλητών ώστε να επιλεγεί το καλύτερο μοντέλο. Πρακτικά εκείνο που επιδιώκεται είναι η **μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και η μηδενική συσχέτιση μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών.** Η απόλυτη τιμή του συντελεστή, πάνω από την οποία θεωρήθηκε υψηλή συσχέτιση ορίστηκε σύμφωνα με εμπειρικό κανόνα ίση με 0,4. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εμφάνισαν υψηλή συσχέτιση (μεγαλύτερη από 0,4) δεν ελήφθησαν υπόψη στα τελικά μοντέλα. Παρόμοια διαδικασία ανάλυσης συσχετίσεων ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα μοντέλα. Όπως προέκυψε από την ανάλυση, τα κυκλοφοριακά μεγέθη της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας (V) και μέσης κατάληψης (O) εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση με τη μεταβλητή time of day, η οποία ήταν απαραίτητο να υπάρχει σε όλα τα μοντέλα, και για το λόγο αυτό δεν συμπεριελήφθησαν σε κανένα μοντέλο.

Πίνακας 5.19 Συντελεστές συσχέτισης ενδεικτικών μεταβλητών για απότομες επιταχύνσεις σε διασταύρωση

Correlations								
	time of day	**No Left_Entrances**	**No.Outgoing_Lanes**	**RANGE_Event_Speed**	**MAX_Speed_Diff**	**MIN_distance**	**V**	**O**
time of day	1,000	0,000	0,000	-0,012	-0,230	0,169	0,672	-0,867
No Left_Entrances	0,000	1,000	0,292	-0,146	0,398	-0,484	-0,018	0,016
No.Outgoing_ Lanes	0,000	0,292	1,000	0,164	0,294	-0,319	0,092	-0,094
RANGE_Event_ Speed	-0,012	-0,146	0,164	1,000	0,220	-0,333	-0,113	0,116
MAX_Speed_ Diff	-0,230	0,398	0,294	0,220	1,000	-0,517	-0,241	0,272
MIN_distance	0,169	-0,484	-0,319	-0,333	-0,517	1,000	0,070	-0,137
V	0,672	-0,018	0,092	-0,113	-0,241	0,070	1,000	-0,900
O	-0,867	0,016	-0,094	0,116	0,272	-0,137	-0,900	1,000

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- **Time of day** ώρα της ημέρας (0-1)
- **Range_Event_Speed** το εύρος των ταχυτήτων πραγματοποίησης του κάθε συμβάντος [km/h]
- **MAX_Speed_Diff** η μέγιστη τιμή της μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δυο δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια του συμβάντος [km/h]
- **No Left_Entrances** ο αριθμός των αριστερών εισόδων στη διασταύρωση

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι:

Log (FREQUENCY/Q) = - 0,347 - 0,051***V** + 0,008***MAX_Event_Speed** + 0,173***Sideway**

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.20 Περίληψη μοντέλου 9

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,733	**0,537**	0,506	0,289

Πίνακας 5.21 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 9

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	-3,199	0,25		-12,794	0,000	-	-	
time of day	0,299	0,074	0,366	4,043	0,000	-0,11	-	Διακριτή
RANGE_Event_Speed	0,01	0,002	0,354	3,891	0,000	-0,31	1	Συνεχείς
MAX_Speed_Diff	0,047	0,013	0,378	3,677	0,001	-0,64	2,07	
No Left_Entrances	0,151	0,049	0,304	3,109	0,003	-0,1	-	Διακριτή

5.6.2 Μοντέλο 10 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- **Time of day** ώρα της ημέρας (0-1)
- **Range_Event_Speed** το εύρος των ταχυτήτων πραγματοποίησης του κάθε συμβάντος [km/h]
- **MAX_Speed_Diff** η μέγιστη τιμή της μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δυο δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια του συμβάντος [km/h]
- **MIN_distance** η ελάχιστη τιμή της απόστασης πραγματοποίησης συμβάντος
- **No.Outgoing_Lanes** αριθμός εξερχόμενων κυκλοφοριακών λωρίδων από τη διασταύρωση

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι**:**

Log (FREQUENCY/Q) = - 2,320+0,068***O** + 0,006***MAX_Event_Speed** - 0,302***MIN_distance** + 0,075***No Right Exit/Entrance**

Πίνακας 5.22 Περίληψη μοντέλου 10

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,653	**0,426**	0,379	0,275

Πίνακας 5.23 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 10

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
(Constant)	0,917	1,055		0,869	0,388	-	-	
time of day	0,234	0,071	0,338	3,284	0,002	-0,06	-	Διακριτή
RANGE_Event_Speed	0,004	0,002	0,223	2,029	0,047	-0,08	1	Συνεχείς
MAX_Speed_Diff	0,232	0,076	0,339	3,053	0,003	1,434	-18,05	
MIN_distance	-0,141	0,044	-0,318	-3,18	0,002	0,11	-1,38	
No.Outgoing_Lanes	-0,058	0,023	-0,254	-2,524	0,014	0,039	-	Διακριτή

5.6.3 Ποιότητα μοντέλων

Για τα παραπάνω μοντέλα ισχύουν τα εξής:

- ✓ Οι **συντελεστές R^2** είναι ίσοι με **0,537** και **0,426** αντίστοιχα και κρίνονται ικανοποιητικοί.
- ✓ Ικανοποιείται ο **στατιστικός έλεγχος t** καθώς όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν τιμή t μεγαλύτερη του 1,7 (σε απόλυτη τιμή).
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** είναι μικρότερο από 5% για όλες τις μεταβλητές.
- ✓ Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται **λογικά.**

5.6.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλων

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

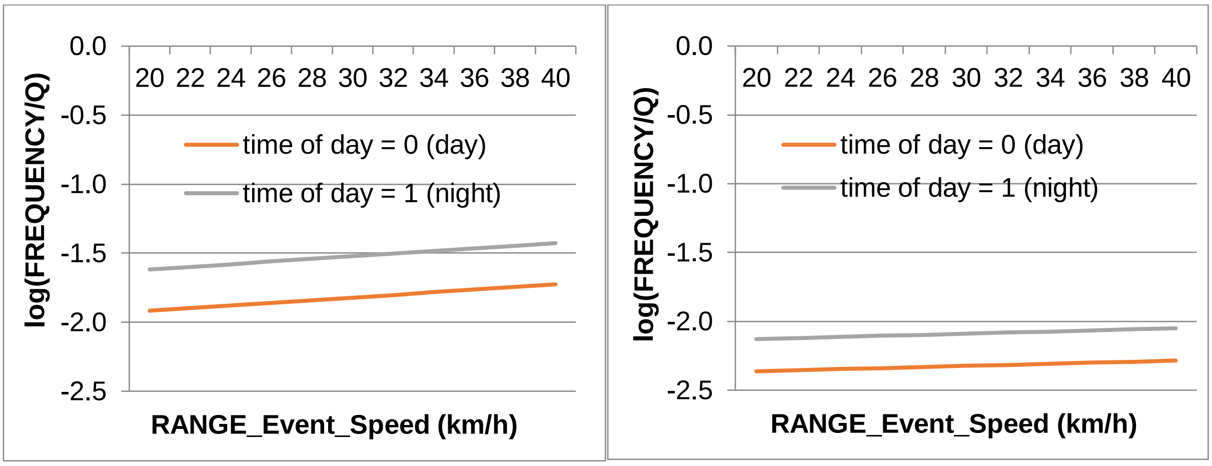
- ❖ Κατά τη **διάρκεια της νύχτας** θα συμβούν περισσότερα απότομα συμβάντα στη διασταύρωση. Στη νυχτερινή οδήγηση οι συνθήκες είναι δυσμενέστερες σε σχέση με την ημέρα, καθώς η ορατότητα είναι μειωμένη με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των οδηγών και να πραγματοποιούν περισσότερες απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.
- ❖ Αν παρατηρηθεί αύξηση στη **εύρος της τιμής των ταχυτήτων** των απότομων συμβάντων που πραγματοποιήθηκαν σε διασταύρωση τότε θα αυξηθεί και ο αριθμός των απότομων συμβάντων. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι οι οδηγοί που αυξομειώνουν σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα οδήγησής τους να χαρακτηρίζονται πιο «ασταθείς» ως προς την οδηγική τους συμπεριφορά με αποτέλεσμα να συμβαίνουν περισσότερα απότομα συμβάντα.
- ❖ Καθώς αυξάνεται το μέγιστο της **μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δύο δευτερόλεπτα,** μειώνεται ο λογάριθμος της συχνότητας εμφάνισης απότομων συμβάντων σε διασταύρωση.
- ❖ Το αρνητικό πρόσημο του συντελεστή της μεταβλητής που εκφράζει την **ελάχιστη τιμή της απόστασης**, δηλώνει την αντίθετη συμπεριφορά εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής.
- ❖ Με την προσθήκη επιπλέον **αριστερών εισόδων** στη διασταύρωση η συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε αυτή την περιοχή αυξάνεται. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί ενδεχομένως από την προσπάθεια του οδηγού που εισέρχεται στη διασταύρωση, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, αυξάνοντάς την απότομα λόγω της σημαντικής διαφοράς των δύο ταχυτήτων.
- ❖ Καθώς αυξάνεται **ο αριθμός των εξερχόμενων κυκλοφοριακών λωρίδων** από τη διασταύρωση, η συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε αυτή την περιοχή αυξάνεται. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί ενδεχομένως από την προσπάθεια του οδηγού που βγαίνει από τη διασταύρωση, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, από εκείνη που είχε στη λεωφόρο σε μία χαμηλότερη, μειώνοντάς την απότομα λόγω της σημαντικής διαφοράς των δύο ταχυτήτων.

5.6.5 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Από τις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου για τις απότομες επιταχύνσεις σε διασταύρωση, η μεταβλητή **MAX_Speed_Diff** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 2,07 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή Range_Event_Speed που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,308). Αντίστοιχα για τη συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων, η MAX_Speed_Diff παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 18 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή RANGE_Event_Speed που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,08).

5.6.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Από τα παρακάτω διαγράμματα ευαισθησίας, προκύπτουν συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι με την **αύξηση του εύρους της ταχύτητας συμβάντος** παρατηρείται **αύξηση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων συμβάντων που πραγματοποιούνται σε διασταύρωση. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι τη νύχτα **παρουσιάζονται περισσότερα απότομα συμβάντα**, με την κλίση της καμπύλης να παραμένει ίδια.



Διάγραμμα 5.9 & 5.10 Λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με το εύρος της ταχύτητας του συμβάντος (Διάγραμμα 5.9) και λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με το εύρος της ταχύτητας του συμβάντος (Διάγραμμα 5.10)

5.7 Πρόβλεψη συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα - συνολικά για ημέρα και νύχτα

Έπειτα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη συχνότητας απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον λογάριθμο του λόγου της συχνότητας προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- ❖ **Time of day** ώρα της ημέρας (0-1)
- ❖ **MIN_Event_Speed** η ελάχιστη τιμή των ταχυτήτων πραγματοποίησης του κάθε συμβάντος [km/h]
- ❖ **MIN_Speed_Diff** η ελάχιστη τιμή της μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δυο δευτερόλεπτα [km/h]
- ❖ **Length** το μήκος του οδικού τμήματος σε μέτρα [m]

5.7.1 Μοντέλο 11 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι**:**

Log (FREQUENCY/Q) = 1,627 + 0,923* **time of day** - 0,013***MIN_Event_Speed** - 0,364* **MIN_Speed_Diff** + 0,001* **Length**

Πίνακας 5.24 Περίληψη μοντέλου 11

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,876	**0,767**	0,757	0,296

Πίνακας 5.25 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 11

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
Constant	1,627	0,589		2,764	0,007	-	-	
time of day	0,923	0,062	0,773	14,917	0,000	0,178	-	Διακριτή
MIN_Event_Speed	-0,013	0,003	-0,264	-4,806	0,000	0,254	-4,18	
MIN_Speed_Diff	-0,364	0,064	-0,313	-5,717	0,000	-0,06	1	Συνεχείς
Length	0,001	0	0,179	3,474	0,001	-0,22	3,536	

5.7.2 Μοντέλο 12 Συχνότητα εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα

Η **μαθηματική σχέση** που προέκυψε είναι**:**

Log (FREQUENCY/Q) = - 2,007+0,915* **time of day** - 0,024***MIN_Event_Speed** - 0,051* **MIN_Speed_Diff** + 0,001* **Length**

Πίνακας 5.26 Περίληψη μοντέλου 12

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,903	**0,815**	0,807	0,267

Πίνακας 5.27 Μεταβλητές στην Εξίσωση μοντέλου 12

Coefficients								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	ei	ei*	
	B	Std. Error	Beta					
Constant	-2,007	0,21		-9,566	0	-	-	
time of day	0,915	0,054	0,757	16,963	0	-0,69	-	Διακριτή
MIN_Event_Speed	-0,024	0,003	-0,399	-8,741	0	0,848	-5,59	
MIN_Speed_Diff	-0,051	0,009	-0,268	-5,735	0	-1,06	-1,06	Συνεχείς
Length	0,001	0	0,132	2,88	0,005	-0,15	1	

5.7.3 Ποιότητα μοντέλων

Για τα παραπάνω μοντέλα ισχύουν τα εξής:

- ✓ Οι **συντελεστές R^2** είναι ίσοι με **0,767** και **0,815** και κρίνονται αρκετά υψηλοί.
- ✓ Ικανοποιείται ο **στατιστικός έλεγχος t** καθώς όλες οι μεταβλητές εμφανίζουν τιμή t μεγαλύτερη του 1,7 (σε απόλυτη τιμή).
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** είναι μικρότερο από 5% για όλες τις μεταβλητές.
- ✓ Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται **λογικά.**

5.7.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλων

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

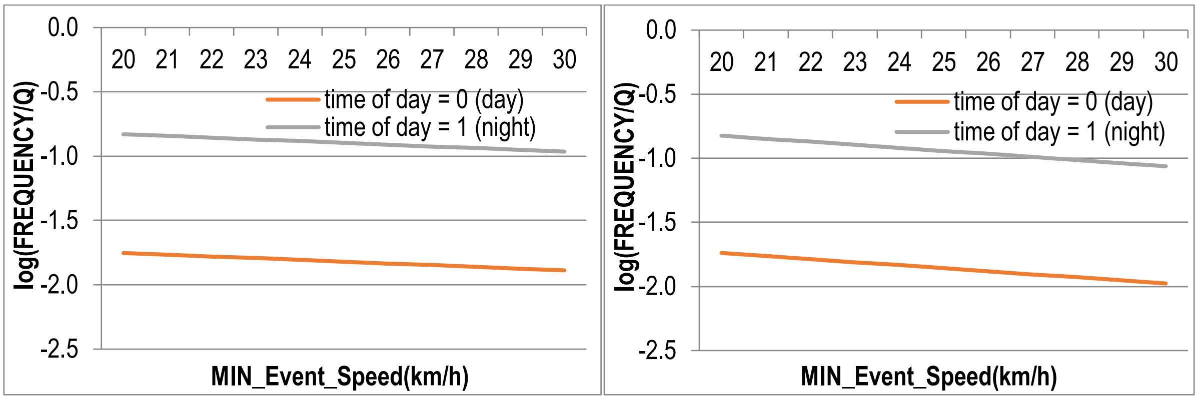
- ❖ Κατά τη **διάρκεια της νύχτας**, θα αυξηθούν οι απότομες επιταχύνσεις και οι απότομες επιβραδύνσεις στο οδικό τμήμα. Η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας, εκτός από τη μειωμένη ορατότητα συνδέεται επίσης με υψηλότερο βαθμό σφαλμάτων αντίληψης, όπως απόσπαση της συγκέντρωσης αλλά και έλλειψη προσοχής λόγω πιθανής κούρασης ή κατανάλωσης αλκοόλ με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των απότομων συμβάντων.
- ❖ Αν παρατηρηθεί αύξηση στη **ελάχιστη τιμή των ταχυτήτων** των απότομων επιταχύνσεων που πραγματοποιήθηκαν σε οδικό τμήμα τότε θα μειωθεί και ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων.
- ❖ Καθώς αυξάνεται το ελάχιστο της **μέγιστης διαφοράς ταχύτητας σε δύο δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια της απότομης επιτάχυνσης**, μειώνεται ο λογάριθμος της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα.
- ❖ Καθώς αυξάνεται το **μήκος ενός οδικού τμήματος** αυξάνεται και ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων που παρατηρούνται στο αντίστοιχο οδικό τμήμα. Πιθανόν κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι σε μεγαλύτερα οδικά τμήματα παρατηρούνται πιο πολλές είσοδοι/έξοδοι από αυτό. Ο οδηγός που εξέρχεται από το οδικό τμήμα υπάρχει περίπτωση να επιβραδύνει απότομα προκειμένου να μειώσει ταχύτητα και να προσαρμοστεί γρήγορα σε δρόμους με χαμηλότερα όρια ταχυτήτων.

5.7.5 Σχετική επιρροή μεταβλητών

Από τις τρεις ανεξάρτητες συνεχείς μεταβλητές του μοντέλου, η **MIN_Event_Speed** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 4,176 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή MAX_Event_Speed που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,061), για τις επιταχύνσεις και 5,6 φορές μεγαλύτερη επιρροή (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με τη μεταβλητή Length που εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή (ei=-0,152) για τις επιβραδύνσεις.

5.7.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Από τα παρακάτω διαγράμματα ευαισθησίας, προκύπτουν συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι με την **αύξηση του ελάχιστου της ταχύτητας συμβάντος** παρατηρείται **μείωση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων συμβάντων που πραγματοποιούνται σε οδικό τμήμα. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι τη νύχτα **παρουσιάζονται περισσότερα απότομα συμβάντα**, με την κλίση της καμπύλης να παραμένει ίδια.



Διάγραμμα 5.11& 5.12 Λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με ελάχιστο της ταχύτητας του συμβάντος (Διάγραμμα 5.11) και λογάριθμος του λόγου της συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα προς τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνάρτηση με το ελάχιστο της ταχύτητας του συμβάντος (Διάγραμμα 5.12)

6 Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί **χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων**. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται να βρεθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια κυκλοφορίας, εκφρασμένη σε συχνότητα εμφάνισης απότομων συμβάντων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Επιπλέον, εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά οδήγησης που καταγράφηκαν από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων, τα κυκλοφοριακά μεγέθη των οδικών αξόνων (ταχύτητα, κυκλοφοριακός φόρτος, κατάληψη) και τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και καθορίζουν την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του εκάστοτε οδηγού ανάλογα τη θέση του στον οδικό άξονα και πιο συγκεκριμένα ανάλογα με το αν κινείται σε διασταύρωση ή σε οδικό τμήμα.

Αποφασίστηκε η έρευνα να πραγματοποιηθεί σε μακροσκοπικό επίπεδο. Με σκοπό τη δημιουργία μιας επαρκούς περιοχής μελέτης ορίστηκαν **δύο αστικές λεωφόροι**, η Λ. Μεσογείων και η Λ. Βουλιαγμένης στην Αθήνα, κυρίως λόγω του συγκρίσιμου αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων που προσέφεραν και του διαχωρισμού των δύο κατευθύνσεων.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από **τρεις πηγές**. Η πρώτη ομάδα δεδομένων αφορούσε στον τρόπο οδήγησης περίπου τριακοσίων (300) οδηγών στην Αθήνα που είχαν καταγραφεί από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones) μέσω εφαρμογής της OSeven (322.675 συμβάντα). Η δεύτερη διαμορφώθηκε από τα κυκλοφοριακά μεγέθη που συλλέχθηκαν μέσω είκοσι έξι (26) βρόγχων, εγκατεστημένων από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας Περιφέρειας Αττικής, σε συγκεκριμένες θέσεις μέτρησης στις δύο αστικές λεωφόρους υπό μελέτη. Τέλος, η τρίτη αποτελούνταν από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο οδικών αξόνων που αντλήθηκαν με τη βοήθεια της διαδικτυακής υπηρεσίας χαρτογράφησης Google Maps.

Έπειτα από τη συλλογή των δεδομένων ακολούθησε η χωρική ανάλυση εκείνων που αφορούσαν στον τρόπο οδήγησης των οδηγών, αποτυπώνοντας τις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις που καταγράφηκαν στους οδικούς άξονες των δύο λεωφόρων και αντιστοιχίζοντας τις σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα μέσω του **Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών** (GIS) ArcMap.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μια σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν, με τη μέθοδο της **λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**, οκτώ μαθηματικά μοντέλα, εκ των οποίων τα τέσσερα αφορούν στην οδηγική συμπεριφορά στις διασταυρώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (07:00-22:00) και τα άλλα τέσσερα στην οδηγική συμπεριφορά στα οδικά τμήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας (22:00-07:00). Επιπλέον αναπτύχθηκαν άλλα τέσσερα μοντέλα για συμβάντα απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων σε διασταυρώσεις και σε οδικά τμήματα, λαμβάνοντας υπόψη στην οδηγική συμπεριφορά την επιρροή της ώρας της ημέρας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.1 Συγκεντρωτικός πίνακας απότομων συμβάντων κατά τη διάρκεια ημέρας και νύχτας

	Διασταύρωση																Οδικό τμήμα															
	Απότομες επιταχύνσεις								Απότομες επιβραδύνσεις								Απότομες επιταχύνσεις								Απότομες επιβραδύνσεις							
	Μέρα				Νύχτα				Μέρα				Νύχτα				Μέρα				Νύχτα				Μέρα				Νύχτα			
	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*
Constant	-1,234	-2,195	-	-	-0,113	-0,116	-	-	-0,347	-0,782	-	-	1,570	1,799	-	-	-2,320	-7,810	-	-	-1,772	-4,887	-	-	-1,530	-2,555	-	-	1,074	1,317	-	-
V	-0,034	-4,064	1,063	-4,07	-0,056	-3,497	2,431	-5,081	-0,051	-6,263	1,149	-4,672	-0,069	-4,670	2,000	-11,69																
O																	0,068	3,605	-0,427	2,202	0,377	4,876	-1,517	3,748								
MAX_Event_Speed	0,007	2,379	-0,261	1,000	0,011	3,349	-0,478	1,000	0,008	2,999	-0,246	1,000	0,005	2,352	-0,171	1,000	0,006	2,575	-0,194	1,000	0,004	1,876	-0,405	1,000								
MAX_Speed_Diff	0,037	2,414	-0,487	1,867	0,064	4,053	-0,897	1,875																								
MIN_Speed_Diff																									-0,038	-1,998	-0,455	3,601	-0,038	-2,272	-1,151	5,175
MIN_distance																	-0,302	-4,212	0,357	-1,839	-0,276	-4,447	0,773	-1,910	-0,239	-3,217	0,265	-2,099	-0,213	-3,873	0,501	-2,254
No.Right Exit/Entrance																	0,075	2,487	-0,073	-	0,103	3,691	-0,307	-								
Length																									0,001	2,385	-0,455	1,000	0,001	1,815	-0,222	1,000
No Left_Entrances	0,137	2,209	-0,080	-	0,173	2,981	-0,118	-																								
Sideway									0,173	2,024	-0,045	-	0,170	2,036	-0,049	-																
R^2	**0,661**				**0,67**				**0,621**				**0,486**				**0,565**				**0,676**				**0,571**				**0,502**			

Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτικός πίνακας απότομων συμβάντων σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα

	Διασταύρωση								Οδικό τμήμα							
	Απότομες επιταχύνσεις				Απότομες επιβραδύνσεις				Απότομες επιταχύνσεις				Απότομες επιβραδύνσεις			
	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*
Constant	-3,199	-12,794	-	-	0,917	0,869	-	-	1,627	2,764	-	-	-2,007	-9,566	-	-
time of day	0,299	4,043	-0,109	-	0,234	3,284	-0,057	-	0,923	14,917	0,178	-	0,915	16,963	-0,687	-
RANGE_Event_Speed	0,010	3,891	-0,308	1,000	0,004	2,029	-0,079	1,000								
MIN_Event_Speed									-0,013	-4,806	0,254	-4,176	-0,024	-8,741	0,848	-5,589
MAX_Speed_Diff	0,047	3,677	-0,637	2,066	0,232	3,053	1,434	-18,045								
MIN_Speed_Diff									-0,364	-5,717	-0,061	1,000	-0,051	-5,735	-1,063	-1,063
MIN_distance					-0,141	-3,180	0,110	-1,380								
No Left_Entrances	0,151	3,109	-0,095	-												
No.Outgoing_Lanes					-0,058	-2,524	0,039	-								
Length									0,001	3,474	-0,215	3,536	0,001	2,880	-0,152	1,000
R^2	**0,537**				**0,426**				**0,767**				**0,815**			

6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία **σειρά συμπερασμάτων** που συνδέεται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματά της. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

Συνολική αποτίμηση

- Ως ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη συχνότητα των απότομων συμβάντων αποδείχθηκε ότι είναι η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**. Εν γένει, προκύπτει ότι τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά (ταχύτητα, κατάληψη) έχουν τη στατιστικά σημαντικότερη επιρροή στη συχνότητα των απότομων συμβάντων σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά της οδού και την οδηγική συμπεριφορά.

- Τη **νύχτα ο αριθμός των απότομων συμβάντων αυξάνεται** τόσο σε διασταυρώσεις όσο και σε οδικά τμήματα. Στη νυχτερινή οδήγηση οι συνθήκες είναι δυσμενέστερες σε σχέση με την ημέρα. Αυτό το συμπέρασμα εξηγείται ενδεχομένως από το γεγονός ότι η ορατότητα τη νύχτα είναι μειωμένη σε σχέση με την ημέρα και σε συνδυασμό με απόσπαση της συγκέντρωσης ή έλλειψης προσοχής του οδηγού, καθώς και υπνηλίας ή κούρασης ή και οδήγησης υπό την επήρεια μέθης, να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απότομων συμβάντων.

- Ο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά του οδηγού σε μια **διασταύρωση** είναι η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας. Ειδικότερα, καθώς η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε μια διασταύρωση αυξάνεται, παρατηρείται μείωση των απότομων συμβάντων. Ενδεχομένως κάτι τέτοιο να συμβαίνει διότι με τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας οι πιο επιθετικοί χρήστες βρίσκουν επαρκείς χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς τους οποίους εκμεταλλεύονται επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας απότομα.

- Τη μεγαλύτερη επιρροή στη συμπεριφορά του οδηγού σε **οδικό τμήμα** εμφανίζει η μέση κατάληψη και η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται η μέση κατάληψη σε ένα τμήμα οδού, τόσο αυξάνονται και οι απότομες επιταχύνσεις στη συγκεκριμένη περιοχή, διότι πιθανώς οι πιο επιθετικοί οδηγοί αντιλαμβάνονται την αύξηση του κορεσμού της κυκλοφοριακής ροής και προσπαθούν να αξιοποιήσουν οποιοδήποτε ικανό χωρικό διαχωρισμό. Ωστόσο, η αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας οδηγεί σε μείωση των απότομων συμβάντων.

Διασταυρώσεις - Απότομες επιταχύνσεις

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τη συχνότητα απότομων επιταχύνσεων σε διασταύρωση αποτελεί η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** όπως προκύπτει από τις υπολογισθείσες ελαστικότητες. Συγκεκριμένα βρέθηκε να επιδρά αρνητικά στον λογάριθμο της συχνότητας απότομων επιταχύνσεων στη διασταύρωση. Πιθανόν κάτι τέτοιο να συμβαίνει διότι με τη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας οι πιο επιθετικοί χρήστες βρίσκουν επαρκείς χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς τους οποίους εκμεταλλεύονται επιταχύνοντας απότομα.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιταχύνσεις στη διασταύρωση. Αυτό ερμηνεύεται ενδεχομένως από το γεγονός ότι η οδήγηση τη νύχτα η ταχύτητα κυκλοφορίας είναι υψηλότερη και ο κυκλοφοριακός φόρτος μικρότερος με αποτέλεσμα οι οδηγοί να βρίσκουν χωρικούς και χρονικούς διαχωρισμούς ώστε να επιταχύνουν απότομα.

Διασταυρώσεις - Απότομες επιβραδύνσεις

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τη συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων σε διασταύρωση αποτελεί η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας μπορεί να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές των οδηγών.

- Καθώς αυξάνεται η μέγιστη τιμή και το εύρος της **ταχύτητας συμβάντος**, η αυξάνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις. Αυτό δηλώνει πιο απρόβλεπτη και επιθετική συμπεριφορά των χρηστών επομένως μεγαλύτερο αριθμό απότομων επιβραδύνσεων.

- Η ύπαρξη **παραδρόμου** στη διασταύρωση προκαλεί επίσης αύξηση στον αριθμό των απότομων επιβραδύνσεων. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί ενδεχομένως από την προσπάθεια του οδηγού που εξέρχεται από τη διασταύρωση, να προσαρμόσει τη ταχύτητα κίνησής του, επιβραδύνοντας απότομα.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα ενδεχομένως να εξηγείται από το ότι, η ορατότητα τη νύχτα είναι μειωμένη σε σχέση με την ημέρα με αποτέλεσμα οι οδηγοί να μη μπορούν να αντιδρούν έγκαιρα σε ένα απότομο συμβάν και να επιβραδύνουν απότομα.

Οδικά Τμήματα - Απότομες επιταχύνσεις

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τη συχνότητα απότομων επιταχύνσεων σε οδικό τμήμα αποτελεί η **μέση κατάληψη της οδού** όπως προκύπτει από τις υπολογισθείσες ελαστικότητες. Ενδεχομένως οι πιο επιθετικοί οδηγοί αντιλαμβάνονται την αύξηση του κορεσμού της ροής και προσπαθούν να αξιοποιήσουν οποιοδήποτε ικανό χωρικό διαχωρισμό, με αποτέλεσμα ο συγκεκριμένος περιορισμός της κίνησης στους λιγότερο υπομονετικούς οδηγούς να δημιουργεί μια πιο επιθετική συμπεριφορά.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιταχύνσεις στο οδικό τμήμα. Η οδήγηση στο σκοτάδι συνδέεται με υψηλότερο βαθμό σφαλμάτων αντίληψης, όπως απόσπαση της συγκέντρωσης και έλλειψη προσοχής, καθώς και υψηλότερα περιστατικά υπνηλίας και κούρασης και οδήγησης υπό την επήρεια μέθης με αποτέλεσμα τον υψηλότερο αριθμό απότομων επιταχύνσεων.

Οδικά Τμήματα - Απότομες επιβραδύνσεις

- Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** επιδρά αρνητικά στη συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων σε οδικό τμήμα. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας υπάρχει περίπτωση να προκαλέσει απρόβλεπτες συμπεριφορές των οδηγών.

- Όσο αυξάνεται το **μήκος του οδικού τμήματος**, τόσα περισσότερα απότομα συμβάντα εμφανίζονται. Ενδεχομένως, η συγκεκριμένη παρατήρηση να οφείλεται στον μεγαλύτερο αριθμό εξόδων/εισόδων της λεωφόρου και στις περισσότερες αλλαγές λωρίδων κυκλοφορίας.

- Τέλος, κατά τη διάρκεια της **νύχτας** θα συμβούν περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις στο οδικό τμήμα. Είναι γεγονός ότι η οπτική αντίληψη των οδηγών είναι μειωμένη σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και συνεπώς μπορεί να μειώσει τον χρόνο αντίδρασης σε κινδύνους στο δρόμο, με αποτέλεσμα την αύξηση των απότομων επιβραδύνσεων.

6.3 Προτάσεις για τη βελτίωση της ασφάλειας κυκλοφορίας

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μιας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη βελτίωση τόσο της διαχείρισης της κυκλοφορίας όσο και του επιπέδου οδικής ασφάλειας:

- Η **ταχύτητα κυκλοφορίας** κρίθηκε ως ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την συχνότητα των απότομων συμβάντων. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν αποτελεσματικά **μέτρα διαχείρισης της ταχύτητας.**

- Καταρχήν, θα μπορούσε να γίνει έλεγχος των εξεταζόμενων οδικών αξόνων έρευνας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας (Λ. Μεσογείων και Λ. Βουλιαγμένης) στα **σημεία τα οποία υπήρχε αυξημένη πιθανότητα** εμφάνισης απότομου συμβάντος και λαμβάνοντας υπόψιν τους σημαντικούς παράγοντες τους οποίους υπέδειξε η στατιστική ανάλυση να διερευνηθούν τυχούσες παρεμβάσεις στη γεωμετρία, στο οδικό περιβάλλον και στη σηματοδότηση αυτών των οδικών αξόνων με κύριο στόχο την καλύτερη διαχείριση των ταχυτήτων (μείωση και εξομάλυνση).

- Επιπλέον, η εντατικοποίηση της επιτήρησης και της παρουσίας της Τροχαίας, με την κατάλληλη επιλογή θέσεων και ωρών ελέγχου και η **αύξηση της συχνότητας ελέγχων με την επιβολή χαμηλών προστίμων,** θα μπορούσε να βοηθήσει στη διαχείριση της ταχύτητας και στη γενικότερη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

- Επίσης, η **εμφάνιση μηνυμάτων στο καντράν του οχήματος** που θα προειδοποιούν τον οδηγό σχετικά με τα όρια ταχύτητας και η αποστολή ηχητικών μηνυμάτων σε περίπτωση που ξεπεραστεί το συγκεκριμένο όριο θα μπορούσε να συντελέσει στην αυτοβελτίωση του οδηγού

- Καθώς από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο αριθμός των απότομων συμβάντων αυξάνεται **κατά τη διάρκεια της νύχτας**, θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Παρά το γεγονός ότι το αστικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από καλά επίπεδα οδικού φωτισμού κρίνεται απαραίτητο να γίνεται συστηματικός έλεγχος και συντήρηση του οδικού φωτισμού από τις αρμόδιες υπηρεσίες.

- **Οι ασφαλιστικές εταιρίες θα μπορούσαν να επιβραβεύουν τους οδηγούς** που δεν οδηγούν επιθετικά και δε πραγματοποιούν απότομα συμβάντα, με μειωμένα ασφάλιστρα. Αυτή η τακτική ενδεχομένως θα δώσει οικονομικό **κίνητρο** σε όλους τους οδηγούς με στόχο την πιο **προσεκτική οδήγηση.**

6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση των παρακάτω:

- Η παρατήρηση των ίδιων μεταβλητών **σε μεγαλύτερο δείγμα οδηγών**, θα παρουσίαζε αρκετό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, όσο περισσότεροι οδηγοί συμμετέχουν στο πείραμα, τόσο πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προκύπτουν.

- Η παρατήρηση των ίδιων μεταβλητών **σε μεγαλύτερο δείγμα οδών**, θα παρουσίαζε επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ειδικά εάν αναλυθούν οδοί με διαφορετικά χαρακτηριστικά γεωμετρίας και κυκλοφορίας.

- Όσον αφορά στη μεθοδολογία ανάλυσης ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η **εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης**, όπως η ανάλυση με χρονοσειρές ή η ανάλυση ομαδοποίησης και η ανάλυση παραγόντων.

- Επιπροσθέτως, χρήσιμη θα ήταν μια ανάλυση η οποία θα στηριζόταν σε ακόμα περισσότερα δεδομένα, όπως η **κατάσταση των συμμετεχόντων και τα χαρακτηριστικά του οχήματος** (κινητήριος δύναμη, ηλικία, καύσιμο, κυβισμός κλπ.). Έτσι, αυτά τα επιπλέον στοιχεία φαίνεται ότι θα οδηγήσουν σε πολύ πιο αξιόπιστα και αντικειμενικά μοντέλα.

- Αξιόλογες, επίσης, θα ήταν και έρευνες αντίστοιχες της παρούσας οι οποίες θα πραγματοποιηθούν σε διαφορετικές συνθήκες κυκλοφορίας και σε άλλα οδικά περιβάλλοντα (υψηλή/χαμηλή κυκλοφορία, διάφορες καιρικές συνθήκες, κα.), αλλά και διάφορες ομάδες οδηγών με **μεγαλύτερο ηλικιακό εύρος** (νέοι, ηλικιωμένοι, κλπ.).

- Τέλος, θα μπορούσε να εξετασθεί **η επιρροή** που έχει στη συμπεριφορά του οδηγού **και άλλων ατόμων** (ειδικότερα παιδιών) εντός οχήματος, η **χρήση ζώνης ασφαλείας καθώς και η κατανάλωση αλκοόλ** ή η απόσπαση της προσοχής του οδηγού.

7 Βιβλιογραφία

Aguero-Valverde, J., & Jovanis, P. (2006). Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis and Prevention, 38*(3), 618-625.

Bassani, M., Catani, L., Cirillo, C., & Mutani, G. (2016). Night-time and daytime operating speed distribution in urban arterials. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 42*, 56-69.

Bella, F., Calvi, A., & D'Amico, F. (2014). Analysis of driver speeds under night driving conditions using a driving simulator. *Journal of Safety Research, 49*(February), 45.e1-52.

Calvi, A., & Bella, F. (2014). Modeling speed differential parameters in day and night environments using driving simulator. *Procedia Engineering, 84*, 648-661.

G. Yannis, D.Tselentis, E.Papadimitriou, S. Mavromatis. (2014). Star Rating Driver Traffic and Safety Behavior Through Obd and Smartphone Data Collection.

Gitelman, V., Bekhor, S., Doveh, E., Pesahov, F., Carmel, R., & Morik, S. (2018). Exploring relationships between driving events identified by in-vehicle data recorders, infrastructure characteristics and road crashes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 91*, 156-175.

Hu, W., & Donnell, E. (2010). Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: Results from a nighttime driving experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 13*(6), 397-408.

Ivan, K., & Haidu, I. (2012). The spatio-temporal distribution of road accidents in Cluj-Napoca. *Geographia Technica*(2), 32-38.

Johansson, Ö., Wanvik, P., & Elvik, R. (2009). A new method for assessing the risk of accident associated with darkness. *Accident Analysis and Prevention, 41*(4), 809-815.

Mahmud, A. (2008). Intelligent GIS-Based Road Accident Analysis and Real-Time Monitoring Automated System using WiMAX/GPRS. *International Journal of Engineering*(2), 1-7.

Mantouka, E., Barmpounakis, E., & Vlahogianni, E. (2019). Identifying driving safety profiles from smartphone data using unsupervised learning. *Safety Science, 119*, 84-90.

Paleti, R., Sahin, O., & Cetin, M. (2017). Modeling the impact of latent driving patterns on traffic safety using mobile sensor data. *Accident Analysis and Prevention, 107*), 92-101.

Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 21*, 317-325.

Toledo, T., Musicant, O., & Lotan, T. (2008). In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 16*(3), 320-331.

Ziakopoulos, A., & Yannis, G. (2020). A review of spatial approaches in road safety. *Accident Analysis and Prevention, 135*.

OSeven Telematics, (2019), https://www.oseven.io

World Health Organization, (2019), https://www.who.int/en

https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries

European Commission, Annual Accident Report. European Commission, Directorate General for Transport, (2019), https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf

NTUA Road Safety Observatory, NRSO, (2019), https://www.nrso.ntua.gr

https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/wp-content/uploads/geyannis-cp329.pdf

https://www.nrso.ntua.gr/road-fatalities-per-million-population-european-union-2009-2018/

https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/wp-content/uploads/geyannis-cp391.pdf

Κέντρο διαχείρισης της Κυκλοφορίας, (2019)

https://www.roadtraffic-technology.com/projects/athens-traffic-management/

Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, (2019)

http://www.statistics.gr/statistics/-/publication/SDT03/

Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας (1994) "Οδική Ασφάλεια." Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας, and Μ. Χ. Πιτσιάβα–Λατινοπούλου (2009) "Κυκλοφοριακή Τεχνική." Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1990.