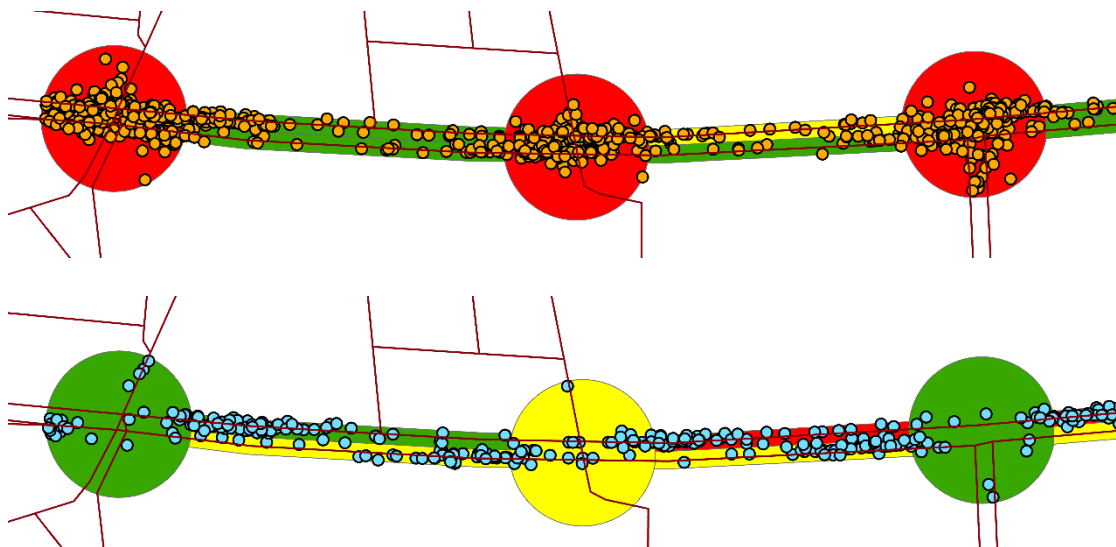




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΟΔΗΓΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΕΞΥΠΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΜΑΚΣΙΖΟΓΛΟΥ ΗΛΙΑΣ - ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εξαιρετική συνεργασία μας, καθώς και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η βοήθεια και οι χρήσιμες συμβουλές του ήταν καταλυτικές στην εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Δημήτρη Τσελέντη, Διδάκτορα ΕΜΠ, για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές του κατά τα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν και στην εταιρεία OSeven, η οποία μας παραχώρησε τα χρήσιμα στοιχεία οδικής συμπεριφοράς, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω και τον αδερφό μου Αναστάσιο - Πέτρο Παρμακσίζογλου, για την βοήθεια που μου παρείχε στο πρόγραμμα GIS (ArcMap) , το οποίο αξιοποίησε εκτενώς αυτή η Διπλωματική Εργασία.

Τέλος, ευχαριστώ γενικότερά την οικογένειά μου και τους φίλους μου για όλη τη στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2019
Ηλίας - Αλέξανδρος Παρμακσίζογλου

Σύνοψη

ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΟΔΗΓΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΕΞΥΠΝΑ ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ

ΠΑΡΜΑΚΣΙΖΟΓΛΟΥ ΗΛΙΑΣ - ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η πραγματοποίηση **χωρικής ανάλυσης συμπεριφοράς ασφάλειας οδηγών με δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα**. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί πως οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις ανά ημέρα, οι οποίες αποτελούν βασικά στοιχεία που συνθέτουν τον τρόπο επικίνδυνης οδήγησης των οδηγών, αλληλοεπιδρούν τόσο με το περιβάλλον της οδού όσο και με την οδική συμπεριφορά των χρηστών της οδού. Με την εισαγωγή των βάσεων δεδομένων και την επεξεργασία τους σε υπολογιστικό περιβάλλον GIS, επιτεύχθηκε η δημιουργία νέων πινάκων περιγραφής των φαινομένων που παρατηρούνται στον οδικό άξονα έρευνας (Λεωφόρος Μεσογείων), σε περιοχές κόμβου και σε περιοχές μεταξύ κόμβων και δημιουργήθηκαν αναλυτικοί χάρτες απεικόνισης των παρατηρήσεων στο χώρο, από τους οποίους προέκυψαν μορφότυποι συσσώρευσης και διαβάθμισης των συμβάντων. Τελικώς, αναπτύχθηκαν τέσσερα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης σε επίπεδο περιοχής από τα οποία προέκυψε ότι η ταχύτητα αποτελεί την πιο στατιστικά σημαντική παράμετρο, πρόβλεψης των απότομων συμβάντων ανά ημέρα.

Λέξεις κλειδιά: συμπεριφορά οδηγού, απότομα συμβάντα, χωρική ανάλυση, GIS, γραμμική παλινδρόμηση

Abstract

SPATIAL ANALYSIS OF DRIVER SAFETY BEHAVIOUR USING DATA FROM SMARTPHONES

PARMAKSIZOGLOU ILIAS ALEXANDROS

Supervisor: George Yannis, Professor, NTUA

The aim of this diploma thesis is to conduct a **spatial analysis of driver safety behavior using data from smartphones**. Specifically, this research investigates how harsh accelerations and decelerations per day, which are key elements of everyday driving, interact with both the road environment and road users' behaviour. Data were processed in a GIS computer environment, resulting to the creation of new tables describing the phenomena observed on the road map of the study (Leoforos Mesogeion) in node and link areas. Additionally, analytic maps were developed that aimed to indicate patterns of the accumulation and ranking of the harsh events in the selected road axis. Finally, four linear regression models were developed, which demonstrated speed as the most statistically significant factor in predicting harsh events per day on a region basis.

Key words: driver behaviour, harsh events, spatial analysis, GIS, linear regression

Περίληψη

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία είχε **στόχο να εξεταστούν χωρικά, δεδομένα οδικής συμπεριφοράς από έξυπνα τηλέφωνα σε συγκεκριμένο οδικό άξονα (Λ. Μεσογείων) και σε συνδυασμό με γεωμετρικά στοιχεία του οδικού τμήματος να πραγματοποιηθεί ανάλυση συμπεριφοράς ασφάλειας των οδηγών.** Συγκεκριμένα, εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αλληλοεπιδρούν τόσο με το περιβάλλον της οδού όσο και με την, ενδεχομένως, επικίνδυνη οδηγική συμπεριφορά των χρηστών της.

Για την **εκπλήρωση των στόχων** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς, καταγεγραμμένα μέσω ειδικής εφαρμογής. Τα προς ανάλυση στοιχεία παρελήφθησαν σε μορφή βάσεων δεδομένων οι οποίες περιείχαν συνολικά **198.450 παρατηρήσεις**. Οι βάσεις δεδομένων περιείχαν τον χωρικό προσδιορισμό των απότομων συμβάντων ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες της παρούσας μελέτης.

Στο πλαίσιο της **χωρικής ανάλυσης** απαιτήθηκε να χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα GIS (ArcMap), καθώς λόγω του μεγάλου όγκου των στοιχείων η επεξεργασία τους σε χωρικό επίπεδο χωρίς εργαλεία Γεωπληροφορικής, θα ήταν πρακτικά αδύνατη. Περαιτέρω, σε επίπεδο **στατιστικής ανάλυσης** η εργασία αξιοποίησε βασικές γνώσεις στατιστικής και η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, με ειδικό λογισμικό (IBM SPSS 21.0).

Μέσω της χωρικής ανάλυσης και συγκεκριμένα της **χωρικής απεικόνισης** των απότομων συμβάντων, εντοπίστηκαν μορφότυπα (patterns) σχετικά με την συσσώρευση και διαβάθμιση των παρατηρήσεων, πάνω στον εξεταζόμενο οδικό άξονα. Παράλληλα μέσω της **επεξεργασίας** πάνω στο χάρτη, δημιουργήθηκαν τέσσερις νέοι πίνακες για τις εξεταζόμενες παρατηρήσεις ανά περιοχή του οδικού άξονα. Οι παραπάνω πίνακες περιείχαν δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς ανά περιοχή, τα οποία εξήχθησαν από τα στοιχεία των βάσεων δεδομένων. Επιπλέον, προστέθηκαν και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου οδικού άξονα, τα οποία ελήφθησαν από την πλατφόρμα Google Maps και από επιτόπια αυτοψία.

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω πίνακες πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία και προέκυψαν **τέσσερα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης** τα οποία καθορίζουν τους στατιστικά σημαντικότερους παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τα απότομα συμβάντα (επιβραδύνσεις, επιταχύνσεις) σε περιοχές κόμβου και σε περιοχές μεταξύ κόμβων για τον εξεταζόμενο οδικό άξονα. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των στατιστικών μοντέλων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Συγκεντρωτικός πίνακας στατιστικών μοντέλων

	Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης			
	Περιοχή Κόμβου		Περιοχή μεταξύ Κόμβων	
	Απότομες Επιβραδύνσεις ανά ημέρα	Απότομες Επιταχύνσεις ανά ημέρα	Απότομες Επιβραδύνσεις ανά ημέρα	Απότομες Επιταχύνσεις ανά ημέρα
Σταθερά	-0,011	0.276	0.0811	0.0712
Δεξιόστροφες έξοδοι από περιοχή κόμβου (0-2)	0.029	0.1		
Ύπαρξη Λεωφορειολωρίδας (0/1)			0.0314	0.0455
Μήκος οδού (m)			0.0001	0.0002
Τυπική απόκλιση της ταχύτητας απότομου συμβάντος ανα περιοχή (km/h)	-0,019	-0,068		
Ελάχιστη τιμή της απόστασης απότομου συμβάντος ανα περιοχή (m)			-0,024	-0,040
Μέγιστη τιμή της διαφοράς της ταχύτητας απότομης επιτάχυνσης ανα περιοχή (km/h)		0.008		
Μέγιστη τιμή της διαφοράς της ταχύτητας απότομης επιβράδυνσης ανα περιοχή (km/h)	0.006			

Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν διάφορα αποτελέσματα άμεσα συνδεδεμένα με το στόχο της εργασίας. Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- Σε ότι αφορά στη χωρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε είναι σαφές πως η επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη χρήση **υπολογιστικών προγραμμάτων GIS**. Η δυνατότητα απεικόνισης των φαινομένων δίνει ένα σαφέστατο πλεονέκτημα στην κατανόηση της υφιστάμενης κατάστασης της εξεταζόμενης περιοχής και βοηθά να ληφθούν σωστές αποφάσεις πριν ξεκινήσει η στατιστική ανάλυση.
- Από την χωρική απεικόνιση παρατηρήθηκε **συσσώρευση** των περισσότερων απότομων συμβάντων, σε περιοχές κόμβου και πιο ήπιες συνθήκες σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Πιο συγκεκριμένα όμως, σε τμήματα του οδικού άξονα με διαδοχικούς κόμβους ανά μικρά χιλιομετρικά διαστήματα, η πυκνότητα απότομων συμβάντων φαίνεται ακόμη πιο αυξημένη, δημιουργώντας έτσι περιοχές οξείας επικινδυνότητας σε μεγάλα τμήματα του άξονα.
- Οι **χωρικοί μέσοι** των παρατηρήσεων σε περιοχές μεταξύ κόμβων έδειξαν ότι οι απότομες επιβραδύνσεις τείνουν κατά κανόνα να συγκλίνουν ελαφρά προς την είσοδο του κόμβου και όχι στην έξοδο. Στην περίπτωση των απότομων επιταχύνσεων, ενώ πάλι φαίνεται να τείνουν προς την είσοδο του κόμβου, στις περιοχές με αυξημένο μήκος η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης ταχύτητας κάνει το παραπάνω συμπέρασμα λιγότερο αξιόπιστο. Σε περιοχές κόμβου, όπως και ήταν αναμενόμενο οι χωρικοί μέσοι των απότομων συμβάντων **τήνουν προς το κεντροειδές** του εξεταζόμενου κόμβου.
- Όταν συνυπολογίζεται και η **βαρύτητα στις παρατηρήσεις**, έγινε αντιληπτό ότι τα απότομα συμβάντα, παρουσιάζουν μεγαλύτερες ταχύτητες συχνότερα σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Ωστόσο, η διαφορά ταχύτητας συμβάντος, που υποδεικνύει το πόσο έντονο ήταν το συμβάν, φαίνεται να είναι σημαντικότερη σε περιοχές κόμβου, για περιπτώσεις απότομων επιταχύνσεων. Στις απότομες επιβραδύνσεις η διάφορά ταχύτητος συμβάντων φαίνεται να συμβαίνει συχνότερα κατά την προσέγγιση του οδηγού σε περιοχή κόμβου και όχι μέσα σε αυτή.
- Από την **χρωματική διαβάθμιση** του οδικού άξονα επί του χάρτη κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της ποιότητας της υφιστάμενης κυκλοφοριακής κατάστασης της Λεωφόρου Μεσογείων. Σε γενικές γραμμές οι τιμές πιθανότητας απότομων συμβάντων παρέμειναν μικρές. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι η ύπαρξη μεγαλύτερου δείγματος μελέτης και η γνώση των συνολικών διαδρομών που πραγματοποιήθηκαν, θα μπορούσε να αποφέρει πιο συντηρητικά αποτελέσματα.
- Σε περιοχή κόμβου παρατηρήθηκαν ως **σημαντικοί παράγοντες** ανάπτυξης απότομων συμβάντων ανά ημέρα ο αριθμός δεξιών εξόδων από τον κόμβο, η μέγιστη τιμή της ταχύτητας ανά περιοχή και η τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή της ταχύτητας ανά περιοχή. Αντίστοιχα για τα απότομα συμβάντα ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων παρατηρήθηκε ότι η ύπαρξη λεωφορειολωρίδας, το μήκος τμήματος της οδού και η ελάχιστη τιμή της απόστασης συμβάντος ανά περιοχή επηρεάζει την ανάπτυξη απότομων συμβάντων ανά ημέρα.

- Ο **αυξημένος αριθμός δεξιών εξόδων** από τον κόμβο οδηγεί στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης απότομου συμβάντος ανά ημέρα, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στην πολυπλοκότητα του οδικού συστήματος.
- Στις περιοχές μεταξύ κόμβων όταν το **μήκος είναι αυξημένο**, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συχνότητα απότομου συμβάντος ανά ημέρα. Αυτό εξηγείται λογικά καθώς η δυνατότητα ανάπτυξης μεγαλύτερης ταχύτητας προφανώς επιδρά αρνητικά στην οδική ασφάλεια του συστήματος.
- Η **ύπαρξη λεωφορειολωρίδας** λειτούργησε αυξητικά στις συχνότητες των απότομων συμβάντων σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Τούτο διαπιστώθηκε ύστερα και από τοπική αυτοψία, στην οποία παρατηρήθηκε διαρκής καταπάτηση της λεωφορειολωρίδας και ουσιαστική λειτουργία αυτής, ως τρίτη λωρίδα. Σε συνδυασμό δε, με την αυξημένη κίνηση λεωφορείων στην περιοχή, ήταν λογικό να οξύνει τα απότομα συμβάντα που παρατηρούνται.
- Η **μεγιστοποίηση της διαφοράς της ταχύτητας** συντελεί στην αύξηση των απότομων συμβάντων, στην περίπτωση των επιταχύνσεων, καθώς υποδεικνύει την ύπαρξη πιο έντονων φαινομένων στις περιοχές κόμβου. Αντίστοιχα η μεγιστοποίηση της ταχύτητας των απότομων συμβάντων, σε απόλυτη τιμή, προκαλεί και πάλι αύξηση επικινδυνότητας και στις περιπτώσεις απότομων επιβραδύνσεων.
- Αντιστρόφως η **αύξηση της τυπικής απόκλισης** από τη μέση τιμή της ταχύτητας ανά περιοχή φαίνεται να μειώνει την εμφάνιση απότομων συμβάντων σε περιοχές κόμβου. Αυτό εξηγείται λογικά, καθώς η συχνότητα απότομων συμβάντων ανά ημέρα φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από την παρατήρηση περισσότερων χαμηλότερων ταχυτήτων στην περιοχή, παρά από την ισάξια παρατήρηση υψηλότερων ταχυτήτων που μια αυξημένη τυπική απόκλισή προσδίδει.
- Τέλος, η **απόσταση συμβάντος** παρατηρήθηκε ως μια ακόμα σημαντική μεταβλητή ένδειξης της ποσότητας έντασης του απότομου συμβάντος και η ελαχιστοποίηση της αποδείχθηκε πως επηρεάζει θετικά στη μείωση της συχνότητας των απότομων συμβάντων και αντιστοίχως της επικινδυνότητας των περιοχών μεταξύ κόμβων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Οδικές Μετακινήσεις	1
1.1.1	Οδικά Ατυχήματα	1
1.1.2	Οδική Ασφάλεια	1
1.1.3	Συνέπειες Οδικών Ατυχημάτων	2
1.2	Χωρική Ανάλυση	2
1.2.1	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	3
1.2.2	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μεταφορές	4
1.2.3	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Οδική Ασφάλεια	4
1.3	Στόχος Διπλωματικής Εργασίας	5
1.4	Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας	5
1.5	Δομή Διπλωματικής Εργασίας	6
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	8
2.1	Εισαγωγή	8
2.2	Συστήματα Καταγραφής Οδικής Συμπεριφοράς	8
2.3	Χωρική Ανάλυση και Οδική Ασφάλεια	10
2.4	Σύνοψη Βιβλιογραφίας	12
3.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	14
3.1	Εισαγωγή	14
3.2	Βασικές έννοιες Χωρικής Στιγματοθέτησης	14
3.3	Βασικές έννοιες Χωρικής Ανάλυσης	17
3.4	Βασικές έννοιες Στατιστικής Ανάλυσης	18
3.5	Συσχέτιση Μεταβλητών	20
3.6	Μαθηματικά Μοντέλα	21
3.6.1	Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση	21
3.6.2	Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση	22
3.6.3	Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων	22
3.7	Στατιστική Αξιολόγηση του Μοντέλου	23
4.	ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	26
4.1	Εισαγωγή	26
4.2	Διαδικασία Συλλογής	26
4.2.1	Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων	27
4.2.2	Μετάδοση Δεδομένων	28
4.2.3	Αποθήκευση Δεδομένων	28
4.2.4	Επεξεργασία Δεδομένων	28
4.2.5	Παρουσίαση Δεδομένων	30
5.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	31
5.1	Εισαγωγή	31
5.2	Προβολή Στοιχείων στο Χάρτη	31
5.3	Διευθέτηση Περιοχών Οδικού Άξονα	39
5.4	Διαχωρισμός και Στατιστική Ανάλυση ανά περιοχή	44
5.5	Δημιουργία Master Tables	47
5.6	Απεικόνιση Παρατηρήσεων	55
5.6.1	Πυκνότητα Παρατηρήσεων	55
5.6.2	Χωρικοί Μέσοι Παρατηρήσεων	56
5.6.3	Χρωματική Διαβάθμιση Οδικού Άξονα	57
5.6.4	Απεικόνιση Παρατηρήσεων με Βαρύτητα	64

5.6.5	Σύνοψη Αποτελεσμάτων Απεικόνισης Παρατηρήσεων	67
6.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	69
6.1	Λογισμικό Στατιστικής Ανάλυσης IBM SPSS 21.0	69
6.2	Ανάπτυξη Μεθοδολογίας	70
6.2.1	Εισαγωγή	70
6.2.2	Ελεγχος Συσχέτισης	71
6.2.3	Διαδικασία Γραμμικής Παλινδρόμησης	73
6.2.4	Σχεδιασμός Διαγράμματος Καταλοίπων	74
6.2.5	Σχετική Επιρροή Μεταβλητών	75
6.3	Αποτελέσματα Μοντέλων	76
6.3.1	Μοντέλο 1 – Πρόβλεψη συμβάντων σε περιοχή κόμβου	76
6.3.2	Μοντέλο 2 – Πρόβλεψη συμβάντων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	81
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	87
7.1	Σύνοψη Αποτελεσμάτων	87
7.2	Συμπεράσματα	89
7.3	Προτάσεις για Οδική Ασφάλεια	90
7.4	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	91

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1	Διάγραμμα ροής σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας ...	7
Διάγραμμα 3.1	Χωρικά πρότυπα από ομοιόμορφα σε ομαδοποιημένα	18
Διάγραμμα 4.1	Διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων OSeven	26
Διάγραμμα 4.2	Συστήματα Ροής δεδομένων oSeven	27
Διάγραμμα 5.1	Διάγραμμα Ροής δημιουργίας πινάκων Excel	45
Διάγραμμα 5.2	Διάγραμμα Ροής δημιουργίας στατιστικών στοιχείων	46
Διάγραμμα 6.1	Τυχαίο διάγραμμα καταλοίπων	75
Διάγραμμα 6.2	Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιβραδύνσεων ανά ημέρα σε κόμβο	77
Διάγραμμα 6.3	Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιταχύνσεων ανά ημέρα σε κόμβο	79
Διάγραμμα 6.4	Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα	82
Διάγραμμα 6.5	Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα	84

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1	Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή κόμβου	51
Πίνακας 5.2	Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή κόμβου	52
Πίνακας 5.3	Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	53
Πίνακας 5.4	Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	54
Πίνακας 6.1	Ενδεικτικός πίνακας συσχέτισης μεταβλητών	72
Πίνακας 6.2	Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιβραδύνσεων σε κόμβο	76
Πίνακας 6.3	Περίληψη μοντέλου απότομων επιβραδύνσεων σε κόμβο	77
Πίνακας 6.4	Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιβραδύνσεων σε κόμβο	77

Πίνακας 6.5 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε κόμβο	77
Πίνακας 6.6 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιταχύνσεων σε κόμβο	78
Πίνακας 6.7 Περίληψη μοντέλου απότομων επιταχύνσεων σε κόμβο	78
Πίνακας 6.8 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιταχύνσεων σε κόμβο ..	78
Πίνακας 6.9 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή κόμβου.....	79
Πίνακας 6.10 Ελαστικότητα και σχετική επιρροή μοντέλων απότομων συμβάντων σε περιοχή κόμβων	80
Πίνακας 6.11 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων.....	81
Πίνακας 6.12 Περίληψη μοντέλου απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	82
Πίνακας 6.13 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	82
Πίνακας 6.14 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα	82
Πίνακας 6.15 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων.....	83
Πίνακας 6.16 Περίληψη μοντέλου απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	83
Πίνακας 6.17 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων	84
Πίνακας 6.18 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα	84
Πίνακας 6.19 Ελαστικότητα και σχετική επιρροή μοντέλων απότομων συμβάντων σε περιοχή κόμβων	86
Πίνακας 7.1 Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων.....	88

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1 Το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς (ITRS).....	15
Εικόνα 3.2 Το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84)	16
Εικόνα 3.3 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων	23
Εικόνα 4.1 Yaw, Pitch, Roll.....	28
Εικόνα 5.1 Αλλαγή προβαλλόμενου συστήματος συντεταγμένων σε περιβάλλον ArcMap	32
Εικόνα 5.2 Επιλογή ΕΓΣΑ 87' σε περιβάλλον ArcMap	33
Εικόνα 5.3 Εισαγωγή χάρτη σε ΕΓΣΑ 87' σε περιβάλλον ArcMap.....	33
Εικόνα 5.4 Εισαγωγή στοιχείων βάσης δεδομένων στο χώρο	36
Εικόνα 5.5 Διαδικασία οριοθέτησης περιοχής στο ArcMap μέσω του εργαλείου Create Feature Class	41
Εικόνα 5.6 Εργαλείο Start Editing	41
Εικόνα 5.7 Εργαλείο Create Features	41
Εικόνα 5.8 Οριοθέτηση περιοχής κόμβου στο ArcMap.....	42
Εικόνα 5.9 Attribute Table	43
Εικόνα 5.10 Οριοθετημένες περιοχές στη Λεωφόρο Μεσογείων	43
Εικόνα 5.11 Εργαλείο Select by Location	44
Εικόνα 5.12 Εργαλείο Export data	44
Εικόνα 5.13 Εργαλείο Merge	48
Εικόνα 5.14 Καθορισμός διαφορετικών ημερών με παρατήρηση ανά περιοχή	49
Εικόνα 5.15 Εργαλείο Point Density	55

Εικόνα 5.16 Χωρικοί Μέσοι σε περιοχή κόμβου	57
Εικόνα 5.17 Χωρικοί Μέσοι σε περιοχή μεταξύ κόμβων σε άνοδο και κάθοδο	57
Εικόνα 5.18 Τελικό Attribute Table για κόμβους	58
Εικόνα 5.19 Ορισμός χρωματικής κλίμακας ανά περιοχή σε ArcMap	59
Εικόνα 6.1 Τρόπος Εισαγωγής δεδομένων στο SPSS	69
Εικόνα 6.2 Πεδίο Δεδομένων SPSS (Data view)	69
Εικόνα 6.3 Πεδίο Δεδομένων SPSS (Variable view).....	70
Εικόνα 6.4 Επιλογή εντολής για τον έλεγχο συσχέτισης των μεταβλητών	71
Εικόνα 6.5 Επιλογή παραμέτρων για τον έλεγχο συσχέτισης των μεταβλητών	72
Εικόνα 6.6 Επιλογή εντολής γραμμικής παλινδρόμησης	73
Εικόνα 6.7 Επιλογή ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών για τη γραμμική παλινδρόμηση	73
Εικόνα 6.8 Εισαγωγή Studentized Residuals στο Master Table	74
Εικόνα 6.9 Διαδικασία σχεδιασμού καταλοίπων μοντέλου μέσω SPSS	75

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 5.1 Οδικό Δίκτυο Ελλάδας	34
Χάρτης 5.2 Οδικό Δίκτυο Αθήνας	35
Χάρτης 5.3 Απότομες Επιταχύνσεις στην περιοχή της Αθήνας	37
Χάρτης 5.4 Απότομες Επιβραδύνσεις στην περιοχή της Αθήνας	38
Χάρτης 5.5 Η Λεωφόρος Μεσογείων και οι κάθετοι δρόμοι της σε χάρτη	39
Χάρτης 5.6 Χάρτης πυκνότητας απότομων επιταχύνσεων	56
Χάρτης 5.7 Χάρτης πυκνότητας απότομων επιβραδύνσεων	56
Χάρτης 5.8 Ενδεικτική περιοχή σε μέγεθος	59
Χάρτης 5.9 Πιθανότητα απότομης επιτάχυνσης σε κόμβο χρωματικά	60
Χάρτης 5.10 Πιθανότητα απότομης επιβράδυνσης σε κόμβο χρωματικά	61
Χάρτης 5.11 Πιθανότητα απότομης επιτάχυνσης σε περιοχή μεταξύ κόμβων χρωματικά.....	62
Χάρτης 5.12 Πιθανότητα απότομης επιβράδυνσης σε περιοχή μεταξύ κόμβων χρωματικά.....	63
Χάρτης 5.13 Απότομες επιταχύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στην ταχύτητα συμβάντος	64
Χάρτης 5.14 Απότομες επιταχύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στη διάφορα ταχύτητα συμβάντος	65
Χάρτης 5.15 Απότομες επιταχύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στην απόσταση συμβάντος	65
Χάρτης 5.16 Απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στη ταχύτητα συμβάντος	66
Χάρτης 5.17 Απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στη διαφορά ταχύτητα συμβάντος	66
Χάρτης 5.18 Απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στην απόσταση συμβάντος.....	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Οδικές Μετακινήσεις

Οι **οδικές μετακινήσεις** αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου και η συνεχής βελτίωση τους, αποτελεί δείκτη της ανάπτυξης του ανθρώπινου τρόπου ζωής καθώς και της εξέλιξης των κοινωνιών. Η εξασφάλιση των ολοένα, ασφαλέστερων, γρηγορότερων, οικονομικότερων και περιβαλλοντικά ορθών οδικών μετακινήσεων είναι ένα πρόβλημα που καλείται να μελετήσει ο συγκοινωνιολόγος της σύγχρονης εποχής.

1.1.1 Οδικά Ατυχήματα

Η ανάγκη για οδικές μετακινήσεις, δημιουργεί και την πιθανότητα οδικών ατυχημάτων. Το 1896 καταγράφηκε στην Ελλάδα ο πρώτος θάνατος λόγω οδικού ατυχήματος. Κατά τη διερεύνηση του, ο ιατροδικαστής είχε τότε γράψει: «Αυτό δεν πρέπει ποτέ να συμβεί ξανά». Δυστυχώς περισσότερο από ένα αιώνα αργότερα, περισσότεροι από 1,3 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν και περίπου **50 εκατομμύρια ανά τον κόσμο τραυματίζονται** στους δρόμους κάθε χρόνο (World Health Organisation, 2018). Τα οδικά ατυχήματα είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της δημόσιας υγείας στον κόσμο.

Ο λεγόμενος **συγχωρητικός σχεδιασμός**, δηλαδή ο σχεδιασμός του οδικού περιβάλλοντος με τρόπο ο οποίος ενισχύει την πρόληψη τραυματισμών και μειώνει την απώλεια ζωών αποτελεί μια από τις βασικές αρχές του βιώσιμου οδικού σχεδιασμού. Εν έτει 2017 τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την ένατη πιο συνηθισμένη αιτία θανάτου ανά τον κόσμο. Η βαρύτητα του προβλήματος της οδικής ασφάλειας μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα αν λάβουμε υπόψιν ότι τα θύματα είναι υγιή πριν από κάποιο οδικό ατύχημα, σε αντίθεση με άλλες συνηθισμένες αιτίες θανάτου. Οι αριθμοί δείχνουν μια ταχεία αύξηση σε αυτά και σύμφωνα με υπολογισμούς της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, μέχρι το 2020 αναμένεται ότι ο αριθμός των θανάτων θα ανέλθει στα 2,4 εκατομμύρια ετησίως.

Οι κατηγορίες οδικών ατυχημάτων είναι οι εξής:

- ατυχήματα με απώλειες ζωής
- ατυχήματα με σωματικές και ψυχικές βλάβες
- ατυχήματα με υλικές ζημιές

Ο ορισμός του θανάτου διαφέρει από χώρα σε χώρα. Παλαιότερα, στην Ελλάδα ο θάνατος καταγραφόταν μόνο στον τόπο του ατυχήματος. Πλέον, η καταγραφή του θανάτου τείνει να καθιερωθεί διεθνώς, όχι μόνο σε αυτόν στον τόπο του ατυχήματος αλλά και εκείνου που συνέβη εντός 30 ημερών από την ημέρα του ατυχήματος, αλλά στο νοσοκομείο.

1.1.2 Οδική Ασφάλεια

Καθοριστικό ρόλο στα οδικά ατυχήματα παίζουν οι ακόλουθοι **παράγοντες σε σειρά σπουδαιότητας**:

- οι χρήστες της οδού
- η οδός και το περιβάλλον

➤ το όχημα

Τα ατυχήματα που οφείλονται σε **μηχανικές βλάβες** ή σε ανεπαρκή συντήρηση του οχήματος είναι ελάχιστα. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι ο παράγοντας αυτός είναι αμελητέος και ότι η κατασκευή ασφαλέστερων οχημάτων, αλλά και η περιοδική συντήρηση τους μέσω των κατάλληλων ελέγχων δεν είναι επιβεβλημένη.

Το **περιβάλλον της οδού** μπορεί να αποτελέσει σοβαρότατο αίτιο για ένα οδικό ατύχημα. Πιο συγκεκριμένα, τα ανεπαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού όπως λωρίδες κυκλοφορίας, προβληματική σήμανση, ερείσματα με ανεπαρκές πλάτος και έλλειψη φωτισμού σε συνδυασμό με ακραίες καιρικές συνθήκες είναι συχνές αιτίες πρόκλησης οδικών ατυχημάτων. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω καταστάσεων απαιτείται η σωστή έρευνα και σχεδιασμός υπέρ της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής, κατά τη δημιουργία νέων οδικών δικτύων, αλλά και διαρκής επιμέλεια, συντήρηση και βελτίωση των προβληματικών και μη σημείων του υφιστάμενου οδικού δικτύου.

Τέλος, ο πιο **κρίσιμος παράγοντας** για τα οδικά ατυχήματα είναι **ο άνθρωπος** είτε ως οδηγός, επιβάτης ή πεζός καθώς η παραβίαση των κανόνων οδικής ασφάλειας, όπως η μέθη κατά τη διάρκεια της οδήγησης και η μη τήρηση της σήμανσης, αποτελεί κύρια αιτία οδικών ατυχημάτων. Η μείωση της επιρροής αυτού του παράγοντα μπορεί να επιτευχθεί μέσα από την κατάλληλη εκπαίδευση και ενημέρωση των οδηγών και των πεζών για την συμμόρφωση τους με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.). Επίσης, οι τακτικοί έλεγχοι και η αυξημένη αστυνόμευση μπορούν να συνδράμουν σε αυτό το έργο.

1.1.3 Συνέπειες Οδικών Ατυχημάτων

Τα οδικά ατυχήματα έχουν σοβαρές συνέπειες τόσο για το άτομο όσο και για την κοινωνία. Για το άτομο η **απώλεια ζωής**, αλλά και ο τραυματισμός που μπορεί να συνεπάγεται ενδεχόμενη αναπηρία για όλη του τη ζωή. Το οδικό ατύχημα μπορεί να προκαλέσει ψυχικά τραύματα και να επηρεάσει τις προσωπικές σχέσεις και την επαγγελματική σταδιοδρομία ενός ανθρώπου. Συνέπειες υπάρχουν επίσης για την οικογένεια και τους συγγενείς των θυμάτων, κυρίως με την ύπαρξη ψυχολογικών τραυμάτων.

Εκτός από τις ανθρώπινες τραγωδίες και τον πόνο που προκαλείται από τα οδικά ατυχήματα, το **οικονομικό κόστος**, τα έξοδα περίθαλψης και αποκατάστασης αποτελούν ένα επιπρόσθετο βάρος στα κράτη ανά τον κόσμο. Έχει υπολογιστεί ότι το οικονομικό αυτό βάρος, μαζί με την απώλεια παραγωγικότητας που προκύπτει, ανέρχεται σε δεκάδες δισεκατομμυρίων δολαρίων κάθε χρόνο. Το τεράστιο οικονομικό κόστος που προκύπτει από την κατάσταση αυτή, αποτελεί μια τροχοπέδη στην ανάπτυξη χωρών που έχουν μειωμένες οικονομικές δυνατότητες.

1.2 Χωρική Ανάλυση

Η χωρική ανάλυση (spatial analysis) αποτελεί ένα σχετικά νέο γνωστικό αντικείμενο στην Ελλάδα. Παρόλο που είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών** (Geographical Information Systems – GIS) και τη **Γεωπληροφορική**, αποτελεί ένα διακριτό τομέα βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας όπου κατά την ανάλυση των δεδομένων λαμβάνεται υπόψιν η χωρική πληροφορία των δεδομένων αυτών.

Τα τελευταία χρόνια, η χωρική ανάλυση γνωρίζει άνθηση στις επιστήμες της πληροφορικής και της στατιστικής εξαιτίας των θεωρητικών και τεχνικών προκλήσεων που δημιουργήσε η διαθεσιμότητα τεράστιου όγκου δεδομένων από τα οποία μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την ανθρώπινη συμπεριφορά σε συλλογικό και ατομικό επίπεδο. Η **εξόρυξη δεδομένων** (data mining) και η **ανάλυση μεγάλων δεδομένων** (big data analysis) ανοίγουν ένα νέο πεδίο το οποίο ο συγκοινωνιολόγος μηχανικός μπορεί να μελετήσει και να εμβαθύνει.

1.2.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) είναι ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή **για την καταγραφή, αποθήκευση, αναζήτηση, ανάλυση και απεικόνιση των γεωγραφικών δεδομένων**. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν ένα νέο παράδειγμα για την οργάνωση των πληροφοριών και το σχεδιασμό του πληροφοριακού συστήματος, η βασική πτυχή του οποίου είναι η χρήση της θέσης ως βάση της διάρθρωσης των συστημάτων πληροφοριών.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορεί να θεωρηθούν ως ένα παρακλάδι δύο σημαντικών τεχνολογιών λογισμικού, του συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων και του **Συστήματος Σχεδίασης CAD** (Computer Aided Design), με την προσθήκη εξειδικευμένων λειτουργιών για τη διαχείριση και ανάλυση χωρικών δεδομένων, δηλαδή, στοιχεία που μπορούν να αναφέρονται σε γεωγραφική θέση. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών επιτρέπουν την ταυτόχρονη διαχείριση μεγάλου όγκου χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, παρέχουν ποικίλες δυνατότητες επεξεργασίας και χωρικής ανάλυσης των στοιχείων, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν δυνατότητες τυποποίησης και αυτοματοποίησης των διαφόρων διαδικασιών. Ένα ΣΓΠ, ως σύστημα, αποτελείται από τα παρακάτω:

1. Εισαγωγή Στοιχείων

Το τμήμα του συστήματος που είναι υπεύθυνο για την τροφοδότηση του συστήματος με δεδομένα. Αυτά πρέπει να είναι σε ψηφιακή δομή και συνήθως προκύπτουν με ψηφιοποίηση αναλογικών δεδομένων (π.χ. τυπωμένοι χάρτες) ή με τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων με τη χρήση ψηφιακών μεθόδων αποτύπωσης χώρου (αποτύπωση με GPS, Τηλεπισκόπηση). Αυτό το στάδιο αφορά τόσο στη γεωγραφική όσο και στην περιγραφική διάσταση των δεδομένων.

2. Επεξεργασία

Τα δεδομένα πρέπει να υποστούν εκείνη την επεξεργασία που τα καθιστά κατάλληλα για περαιτέρω ανάλυση και χρήση. Αυτό μπορεί να αφορά στην ορθή απόδοση του συστήματος συντεταγμένων, στη δημιουργία σχέσεων μεταξύ των δεδομένων, στη διόρθωση σφαλμάτων και στην μετάβαση από μια δομή σε μια άλλη.

3. Ανάλυση

Ο χρήστης - αναλυτής θέτει ερωτήσεις σύμφωνα με τη δυνατότητα των δεδομένων. Ενδεικτικά παρατίθενται πιθανές ερωτήσεις:

- Πώς απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος;
- Πού βρίσκεται το Α;
- Που βρίσκεται το Α σε σχέση με το Β;
- Τι θα συμβεί εάν...;
- Πόσο από το Α υπάρχει στην περιοχή Γ;

- Ποια είναι συντομότερη διαδρομή από το Α στο Β;
- Ποια είναι η οικονομικότερη διαδρομή από το Α στο Β;

4. Απόδοση

Η απόδοση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης γίνεται σε αναλογικά μέσα με την οργάνωση της εκτύπωσης χαρτογραφικών προϊόντων ή με την απόδοση σε ψηφιακές πλατφόρμες είτε με τη χρήση του Διαδικτύου, μέσω διαδραστικών χαρτών (Web-based GIS), είτε μέσω εσωτερικών δικτύων οργανισμών μέσω εφαρμογών που υποστηρίζουν πολλαπλούς χρήστες με διακριτούς ρόλους (Enterprise GIS).

5. Έλεγχος

Κάθε σύστημα οφείλει να έχει μηχανισμούς ανάδρασης (feedback) ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα και η ακρίβεια των πληροφοριών. Αυτό μπορεί να γίνεται μέσω λογισμικού με διαδικασίες κανόνων επικύρωσης, με διαδικασίες ελέγχου ακρίβειας συντεταγμένων και γενικότερα με διαδικασίες ποιοτικών και ποσοτικών ελέγχων ανάλογα με τη φύση των δεδομένων.

1.2.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μεταφορές

Τα τελευταία χρόνια έχουν υπάρξει πολλές εφαρμογές των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών που σχετίζονται με τις εξελίξεις στο σχεδιασμό των μεταφορών και της μηχανικής. Η δύναμη τους έχει τις ρίζες της στο γεγονός ότι τα Σ.Γ.Π. επιτρέπουν την **εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη χωρική φύση των δεδομένων**.

Παραδείγματα εφαρμογών των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στον τομέα των μεταφορών περιλαμβάνουν **Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων** (Pavement Management Systems), βέλτιστη δρομολόγηση των οχημάτων, **μοντελοποίηση της κυκλοφορίας και ανάλυση οδικών ατυχημάτων**, δημογραφική ανάλυση, καθώς και τη δυνατότητα να απεικονίζεται οποιαδήποτε μορφή δεδομένων που έχει χωρική συνιστώσα. Άλλες δυνατότητες των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών περιλαμβάνουν την **ενσωμάτωση βάσεων δεδομένων**, όπως επίσης και δυνατότητες ανάλυσης δικτύου (π.χ. συντομότερη διαδρομή δρομολόγησης). Από αυτές μπορούμε να βγάλουμε πάρα πολλά συμπεράσματα σχετικά με την οδική συμπεριφορά των χρηστών της οδού τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

1.2.3 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Οδική Ασφάλεια

Η ανάλυση των παραγόντων που επιδρούν στο επίπεδο οδικής ασφάλειας υποστηρίζεται σημαντικά από την ύπαρξη συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η χρήση τους συμβάλλει στην **αναγνωσιμότητα στοιχείων** τα οποία δεν θα γίνονταν αντιληπτά με τη χρήση άλλων συμβατικών στατιστικών μεθόδων ανάλυσης (χωρίς γεωγραφική αναφορά). Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο πληροφορικής για τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων ετερογενών στοιχείων. Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τον εντοπισμό επικίνδυνων σημείων στους δρόμους.

Με την ταχύτητα εξέλιξης των υπολογιστικών συστημάτων, η εφαρμογή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής (Geographic Information System) με **ψηφιακή απεικόνιση της περιοχής έρευνας** και με δημιουργία σχετικής βάσης δεδομένων η οποία περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία (πλήθος ατυχημάτων,

χαρακτηριστικά οδικού δικτύου κ.α.), η ανάλυση και ο εντοπισμός των επικίνδυνων θέσεων διευκολύνονται αρκετά. Η ικανότητα των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών να συνδέουν τα στοιχεία με χωρικά δεδομένα διευκολύνει την ιεράρχηση της εμφάνισης των ατυχημάτων στους δρόμους και τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν γραφικά, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό και τη λήψη αποφάσεων. Σε γενικές γραμμές, θεωρείται ότι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να υποστηρίξουν αξιόπιστα τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και καθορισμού προτεραιοτήτων, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε πιο εστιασμένες επεμβάσεις και κατ' επέκταση, σε καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

1.3 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η πραγματοποίηση μιας **χωρικής ανάλυσης συμπεριφοράς ασφάλειας οδηγών με δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα**. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί πως οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις ανά ημέρα, οι οποίες αποτελούν βασικά στοιχεία που συνθέτουν τον επικίνδυνο τρόπο οδήγησης των οδηγών, αλληλοεπιδρούν τόσο με το περιβάλλον της οδού αλλά και με την οδική συμπεριφορά των χρηστών της οδού. Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, επιλέχθηκε συγκεκριμένος οδικός άξονας (Λεωφόρος Μεσογείων), ο οποίος κωδικοποιήθηκε σύμφωνα με τις ανάγκες της έρευνας σε περιοχές κόμβου και σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Με την εισαγωγή των δεδομένων στο χώρο, αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν οι κατάλληλες μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων.

Σε πρώτο στάδιο με το πέρας της **κωδικοποίησης του οδικού άξονα** αναπτύχθηκαν χάρτες με σκοπό να απεικονίσουν την κατάσταση του υφιστάμενου οδικού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας στοιχεία της εταιρίας OSeven από έξυπνα κινητά τηλέφωνα τα οποία αφορούσαν απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις σε κάθε εξεταζόμενη περιοχή.

Σε δεύτερο στάδιο για το σύνολο των παρατηρήσεων της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκε **ανάπτυξη επιμέρους στατιστικών μοντέλων** σε επίπεδο περιοχής, τα οποία συσχέτιζαν τόσο τις απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα όσο και τις απότομες επιβραδύνσεις με παραμέτρους που αφορούν στα χαρακτηριστικά γεωμετρίας και κυκλοφορίας του εξεταζόμενου οδικού άξονα, αλλά και στη συμπεριφορά του χρήστη.

Εκτιμάται ότι με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής Εργασίας, θα υπάρξει σαφής εικόνα των παραγόντων τόσο σε επίπεδο οδικού περιβάλλοντος όσο και σε επίπεδο οδικής συμπεριφοράς του χρήστη από τα οποία επηρεάζονται οι απότομες επιταχύνσεις και απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε περιοχές κόμβου και σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Παράλληλα, θα έχει μελετηθεί χωρικά ο εξεταζόμενος οδικός άξονας σε σημαντικό βαθμό ώστε να δημιουργηθούν χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν αναλυτικά τα φαινόμενα τα οποία εξετάζονται.

1.4 Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά, μετά την οριστικοποίηση του **επιδιωκόμενου στόχου**, πραγματοποιήθηκε **βιβλιογραφική ανασκόπηση** τόσο σε ελληνική όσο και σε διεθνή βιβλιογραφία. Στη φάση αυτή, αναζητήθηκαν παρεμφερείς έρευνες, επιστημονικά άρθρα καθώς και γενικές πληροφορίες σχετικά με το εξεταζόμενο αντικείμενο, που θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες για τη συγκεκριμένη έρευνα. Μέσω των ερευνών αυτών καταβλήθηκε προσπάθεια να αποκτηθεί μια σχετική εμπειρία στην επεξεργασία τέτοιων θεμάτων, καθώς επίσης και να αποφασιστεί η μέθοδος με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των στοιχείων και θα επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος.

Αφού μελετήθηκαν τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, σειρά είχε η εύρεση του τρόπου συλλογής στοιχείων. Εφαρμόστηκε ένα καινοτόμο σύστημα **συλλογής δεδομένων**, μέσα από την εξατομικευμένη καταγραφή της συμπεριφοράς του οδηγού από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων σε πραγματικό χρόνο. Με τη συμβολή της εταιρείας OSeven και της εφαρμογής της η οποία εκτελεί την παραπάνω διαδικασία, η συλλογή στοιχείων ολοκληρώθηκε λαμβάνοντας δύο βάσεις δεδομένων. Η μία βάση αποτελείτο από απότομες επιταχύνσεις και η δεύτερη από απότομες επιβραδύνσεις, που καταγράφηκαν από χρήστες της εφαρμογής, στην περιοχή της Αθήνας. Κάθε σειρά των βάσεων δεδομένων περιείχε και τις ακριβείς συντεταγμένες του απότομου συμβάντος στο χώρο, σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία τα οποία χαρακτήριζαν την οδική συμπεριφορά τη χρονική στιγμή του συμβάντος.

Στη συνέχεια ακολούθησε η **χωρική ανάλυση** και με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS, εισήχθησαν τα συμβάντα στο χώρο και κατηγοριοποιήθηκαν για τον εξεταζόμενο οδικό άξονα (Λεωφόρος Μεσογείων), σε διαφορετικές κωδικοποιημένες περιοχές. Η λογική της κωδικοποίησης ήταν να χωριστεί ο οδικός άξονας σε περιοχές κόμβου, και περιοχές μεταξύ κόμβων στην άνοδο και κάθοδο αυτού. Η επεξεργασία στο υπολογιστικό περιβάλλον ArcGIS, οδήγησε στην δημιουργία των πινάκων (Master Tables) στους οποίους θα βασιζόταν η ανάλυση.

Η επιλογή της μεθόδου **στατιστικής επεξεργασίας** των στοιχείων και η εισαγωγή των master tables, είχε προετοιμαστεί στο Microsoft Excel και στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (IBM SPSS 21.0). Επόμενο στάδιο αποτέλεσε η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης που περιέγραφαν σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις εξαρτημένες μεταβλητές. Στόχος ήταν η εύρεση ενός κοινού μοντέλου σε περιοχή κόμβου και ενός μοντέλου για τις περιοχές μεταξύ κόμβων, ανεξαρτήτως του τύπου του απότομου συμβάντος.

Μετά την αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το υπό εξέταση πρόβλημα και διατυπώθηκαν αξιόλογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την **εισαγωγή** της Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζει στον αναγνώστη το γενικότερο πλαίσιο της οδικής ασφάλειας καθώς και αυτό της χωρικής ανάλυσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο επιδιωκόμενος στόχος της Διπλωματικής Εργασίας και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της **βιβλιογραφικής ανασκόπησης** όπως αυτά προέκυψαν από την αναζήτηση ερευνών με παρεμφερές

αντικείμενο, δηλαδή έρευνες πάνω σε συστήματα καταγραφής οδικής συμπεριφοράς καθώς και χρήσης χωρικής ανάλυσης σε θέματα οδικής ασφάλειας. Παρατίθενται εργασίες από το εξωτερικό και τον ελληνικό χώρο, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί σε συνέδρια, επιστημονικά περιοδικά, άρθρα ή συγγράμματα. Κατόπιν, πραγματοποιείται σύνοψη των αποτελεσμάτων των ερευνών και κριτική αξιολόγησή τους, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσον κάποιες από αυτές είναι ικανές να συμβάλλουν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο** της Διπλωματικής Εργασίας, παρουσιάζεται και αναλύεται η επιλεγείσα μεθοδολογία, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις μαθηματικές και στατιστικές θεωρίες στις οποίες αυτή βασίζεται καθώς και στη θεωρία σχετικά με τους τρόπους χωρικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για την απεικόνιση των φαινομένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της διαδικασίας της **συλλογής των στοιχείων** από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα μέσω της ειδικής πλατφόρμας αποτύπωσης της οδικής συμπεριφοράς από την εταιρεία OSeven.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος κωδικοποίησης των περιοχών στο χώρο και η **επεξεργασία που υπέστησαν τα στοιχεία** ώστε να χρησιμοποιηθούν στη στατιστική ανάλυση και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία των master tables. Παράλληλα, απεικονίζονται οι χάρτες που περιγράφουν την κατάσταση του οδικού περιβάλλοντος, που προέκυψαν από τη χωρική ανάλυση.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής των τελικών **μαθηματικών μοντέλων**. Παρουσιάζονται τα τελικά μοντέλα και παράλληλα εξηγούνται και αναλύονται τα αποτελέσματα, συνοδευόμενα από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις.

Στο έβδομο κεφάλαιο, έπειτα από τη **σύνοψη των αποτελεσμάτων**, παρατίθενται τα **συμπεράσματα** που προέκυψαν από την ερμηνεία των εξαγόμενων μοντέλων. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα.



Διάγραμμα 1.1 Διάγραμμα ροής σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να γίνει η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έτσι ώστε να τονιστούν οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στο αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. **Αναζητήθηκαν επιστημονικές έρευνες** και άρθρα τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο έτσι ώστε να αποφασιστεί η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Όλες οι αναφερόμενες έρευνες είναι δημοσιευμένες σε επιστημονικά περιοδικά και αποτελούν μέρος της διεθνούς βιβλιογραφίας. Για τους σκοπούς της Διπλωματικής η βιβλιογραφία χωρίστηκε σε δύο υποκεφάλαια:

- Τα συστήματα καταγραφής της οδικής συμπεριφοράς
- Έρευνες όπου χρησιμοποιήθηκε χωρική ανάλυση για θέματα οδικής ασφάλειας.

2.2 Συστήματα Καταγραφής Οδικής Συμπεριφοράς

Οι έρευνες που παρατίθενται είναι οι εξής:

- Toledo, Tomer, Oren Musicant, and Tsippy Lotan (2008), "In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, p: 320-331
- Zaldivar, Jorge, et al. (2011), "Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones." *Local Computer Networks (LCN)*
- Vaiana, Rosolino, et al. (2014), "Driving behavior and traffic safety: an acceleration based safety evaluation procedure for smartphones." *Modern Applied Science*, p:88

Μια πρώτη προσπάθεια να αποτυπώσουν την **οδική συμπεριφορά** έκαναν μέσω ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, με όνομα Drive Diagnostics, οι Toledo, Lotan & Musicant (2008). Το συγκεκριμένο σύστημα είναι προσαρμοσμένο στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, έχει διαστάσεις 11x6x3 εκατοστά και φορτίζεται από την μπαταρία του οχήματος. Σκοπός της έρευνας τους ήταν να εκτιμηθεί η συμπεριφορά των οδηγών, καταμετρώντας τον τρόπο οδήγησής τους μέσω αυστηρά ορισμένων παραμέτρων.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασιζόταν στη **συλλογή στοιχείων** από το προαναφερόμενο σύστημα, όπως η επιτάχυνση του οχήματος (κατά x, y), η ταχύτητά του, η ακριβής θέση του μέσω συντεταγμένων με τη βοήθεια του GPS, η κατανάλωση καυσίμων, ο συνολικός χρόνος ταξιδιού κ.α. Σε αντίθεση με άλλα παρόμοια συστήματα, η μετάδοση των πληροφοριών μέσω του Drive Diagnostics γίνεται συνεχώς και σε πραγματικό χρόνο, ενώ το όχημα βρίσκεται εν κινήσει. 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 (αριθμός οχήματος, μέση κατανάλωση καυσίμων, συμμετοχή σε

οδικά ατυχήματα κτλ.). Τέλος, οι οδηγοί κατατάσσονταν 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 επιρροή 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 επιρροή του Drive Diagnostics και στους τριάντα-τρεις οδηγούς που χρησιμοποιήθηκε είχε εξαφανιστεί με το πέρασ πέντε μηνών.

Την προηγούμενη εργασία πήγαν να ένα βήμα παραπέρα οι Zaldivar, Calafate, Cano και Manzoni (2011) οι οποίοι αυτή τη φορά προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα νέο σύστημα καταγραφής οδικής συμπεριφοράς. Το σύστημα που ανέπτυξαν σκόπευε στη **δημιουργία μιας εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα** με λογισμικό Android η οποία παρακολουθεί το όχημα σε συνδυασμό με το σύστημα OBD-II (On Board Diagnostics), που βρίσκεται πάνω στο όχημα με σκοπό την ανίχνευση οδικών ατυχημάτων. Το σύστημα OBD αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και είχε ως στόχο την ανίχνευση μηχανικών προβλημάτων στο όχημα, τα οποία προκαλούν υψηλά επίπεδα εκπομπής ρύπων. Για να το επιτύχει αυτό, το σύστημα είναι συνδεδεμένο με τη μηχανή του αυτοκινήτου και όταν ανιχνεύσει ένα πρόβλημα, το αποθηκεύει στη μνήμη ώστε να επιδιορθωθεί αργότερα από τους ειδικούς.

Η **μεθοδολογία** στηρίχθηκε κατά ένα σκέλος στο παρακάτω σύστημα. Το κινητό τηλέφωνο συνδεόταν μέσω Bluetooth με το μηχάνημα OBD-II και λάμβανε πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του οχήματος. Επιπλέον, μέσω GPS, η ταχύτητα και η ακριβής τοποθεσία ήταν γνωστές. Για την ανίχνευση του οδικού ατυχήματος, δύο παράμετροι έχουν ληφθεί υπόψιν. Η μία αφορά στην ενεργοποίηση του συστήματος των αερόσακων και η άλλη στην επιτάχυνση του αυτοκινήτου, καθώς πολύ υψηλές τιμές του G λαμβάνουν χώρα μόνον όταν συμβαίνουν σοβαρά ατυχήματα. Επομένως, μόλις ανιχνευθεί ότι έχει γίνει ένα ατύχημα, στέλνεται αμέσως ειδοποίηση είτε με γραπτό μήνυμα είτε με email σε ένα άτομο της επιλογής του οδηγού, το οποίο έχει αποφασιστεί από την αρχή της έρευνας, ενώ παράλληλα καλείται η άμεση βοήθεια και η αστυνομία. Οι συντεταγμένες του οχήματος που λαμβάνονται από το GPS είναι απαραίτητες για την όσο το δυνατόν πιο γρήγορη άφιξη του ασθενοφόρου.

Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν **άκρως ενθαρρυντικά** όσον αφορά στην οδική ασφάλεια και στο χρόνο διακομιδής των εμπλεκόμενων σε ατύχημα στο κοντινότερο νοσοκομείο. Ο χρόνος ειδοποίησης από την ώρα που συνέβη το ατύχημα υπολογίστηκε στα 3 δευτερόλεπτα, με τον μέγιστο χρόνο να φτάνει τα 6 δευτερόλεπτα. Η διαφορά έγκειται στην απόδοση σύνδεσης του κινητού τηλεφώνου στο διαδίκτυο.

Τέλος οι Vaiana, Astarita, Iuele και Caruso (2014) προσπάθησαν να **παρακάμψουν την ύπαρξη κάποιου ειδικού συστήματος** πάνω στα οχήματα. Συγκεκριμένα η εργασία τους πραγματεύτηκε την ανάπτυξη μιας πρωτότυπης εφαρμογής για ηλεκτρονικές, κινητές συσκευές η οποία εκτιμά το βαθμό ασφάλειας των οδηγών που βρίσκονται εν κινήσει μετρώντας τη διαμήκη και πλευρική τους επιτάχυνση, μέσω

χρήσης των συστημάτων GPS . Όπου απαιτείται, η εφαρμογή εμφανίζει μια προειδοποίηση στους οδηγούς ώστε να συμμορφώσουν τη συμπεριφορά τους στο δρόμο.

Η μεθοδολογία είναι παρόμοια με αυτή των προηγούμενων εργασιών. Τοποθετώντας σε έναν άξονα x, y τις επιταχύνσεις του οχήματος (πλευρική και διαμήκης αντίστοιχα), εκτιμήθηκε η συμπεριφορά του οδηγού στο τιμόνι (επιθετικός ή μη). Χρησιμοποιήθηκε, όμως και ο κύκλος τριβής του οχήματος, ο οποίος είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών των ελαστικών του αυτοκινήτου και των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψιν την **εμπειρία του οδηγού** και τον τύπο του αυτοκινήτου δημιουργήθηκε το 'Διάγραμμα Οδηγικής Συμπεριφοράς' (Driving Style Diagram – DSD), το οποίο αποτελεί μία συσχέτιση όλων των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με το ίδιο όχημα και το ίδιο smartphone και πήραν μέρος πέντε οδηγοί με διαφορετικά οδηγικά χαρακτηριστικά. Η συμπεριφορά κάθε οδηγού εκτιμήθηκε με βάση το ποσοστό υπέρβασης των ορίων επιτάχυνσης του DSD.

Η έρευνα είχε ως **αποτέλεσμα** ότι η καλύτερη τιμή για να διαχωριστούν οι επιθετικοί από τους ασφαλείς οδηγούς μπορεί να οριστεί στο 9% για το ποσοστό υπέρβασης των ορίων επιτάχυνσης του διαγράμματος DSD.

2.3 Χωρική Ανάλυση και Οδική Ασφάλεια

Οι έρευνες που παρατίθενται είναι οι εξής:

- Mahmud, A. and Zarrinbashar, E. (2008). Intelligent GIS-Based Road Accident Analysis and Real-Time Monitoring Automated System using WiMAX/GPRS. International Journal of Engineering, 2(1), pp.1-7.
- Anderson, T. (2007). Comparison of spatial methods for measuring road accident 'hotspots': a case study of London. Journal of Maps, 3(1), pp.55-63.
- Ivan, K. and Haidu, I. (2012). The Spatio-Temporal Distribution of road accidents in Cluj Napoca. Geographia Technica, 2, pp.32-38.
- Agüero-Valverde, J. and Jovanis, P. (2006). Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. Accident Analysis & Prevention, 38(3), pp.618-625.
- Sabel, C., Kingham, S., Nicholson, A. and Bartie, P. (2005). Road Traffic Accident Simulation Modelling - A Kernel Estimation Approach
- Noland, R. and Quddus, M. (2004). A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. Accident Analysis & Prevention, 36(6), pp.973-984.
- Baraklanios, I., Spyridonidou, A., Basbas, S., Karanikolas, N. and Vagiona, D. (2012). Developing a GIS-based methodology for managing and analyzing road traffic accident data in Greece. In: 4th International Conference on Cartography & GIS. Thessaloniki.
- Σπανάκης, Δ. (2013). Πολυεπίπεδη Διερεύνηση Χαρακτηριστικών Οδικών Ατυχημάτων στις ελληνικές πόλεις. Undergraduate. NTUA.

Μια από τις πρώτες έρευνες πάνω στην οποία βασίστηκε αυτή η εργασία ήταν αυτή των Mahmud και Zarrinbasha (2008), οι οποίοι 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).

Μια διαφορετική προσέγγιση ακολούθησε η Anderson (2007) η οποία προσπάθησε να **εντοπίσει τα σημεία όπου έχουν ήδη λάβει χώρα** πολλά οδικά ατυχήματα στο βόρειο Λονδίνο με τους παρακάτω τρεις τρόπους: σε επίπεδο διοικητικής ενότητας με το άθροισμα των περιστατικών εντός αυτής, σε επίπεδο οδικού τμήματος και τέλος δημιουργώντας μια επιφάνεια πυκνότητας των οδικών ατυχημάτων αφού αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία, μέσω εκτιμητή πυκνότητας (kernel density estimator). Κάθε μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε έδωσε μια διαφορετική εικόνα για το πρόβλημα έχοντας πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα.

Μια προσπάθεια απεικόνισης του προβλήματος της οδικής ασφάλειας στο οδικό περιβάλλον επιχείρησαν, οι Ivan and Haidu (2012), οι οποίοι χρησιμοποίησαν το **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.

Επιπρόσθετα, οι Agüero-Valverde and Jovanis (2006) στην έρευνα τους για τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα αλλά και αυτά στα οποία υπήρχε τραυματισμός για την περιοχή της Πενσυλβάνια, διαπίστωσαν ότι οι τιμές των συντελεστών από τις **μεταβλητές που σχετίζονται με το σύστημα** μεταφορών είναι σημαντικές και προσεγγίζουν σημαντικά τις τιμές από το μοντέλο της Αρνητικής Διωνυμικής Κατανομής (Negative Binomial Distribution) η οποία συμπίπτει με το ομαδοποιημένο πρότυπο. Επίσης, στην ίδια έρευνα διαπίστωσαν ότι η ηλικιακή ομάδα κατοίκων ηλικίας μικρότερης των 15 ετών έχει συσχέτιση με τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα ενώ κάποιες άλλες όχι (ηλικίας 65+).

Επιπλέον, άξιες αναφοράς είναι οι μελέτες που έχουν γίνει για να συσχετίσουν την πιθανότητα να συμβεί ένα οδικό ατύχημα με την **καθημερινή κυκλοφοριακή κίνηση του οδικού δικτύου**. Οι Sabel et al. (2005) δημιούργησαν ένα σχετικό διάγραμμα για τη Νέα Ζηλανδία στο διάστημα έρευνας 2000-2004, από το οποίο προκύπτει ότι υπάρχει μια τάση στους αυτοκινητόδρομους υψηλής κυκλοφορίας και στους μικρότερους δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας να συμβαίνουν λιγότερα ατυχήματα σε σχέση με αυτά που συμβαίνουν στις οδικές αρτηρίες ενδιάμεσης ροής.

Μια άλλη σημαντική εργασία για τη συσχέτιση μιας σειράς παραγόντων με τα οδικά ατυχήματα πραγματοποιήθηκε από τους Noland and Quddus (2004) για όλη την Αγγλία ανά εκλογικό διαμέρισμα. Αν και στην Αγγλία λαμβάνουν χώρα πολύ λίγα ατυχήματα σε σχέση με άλλες, γίνονται προσπάθειες να μειωθούν και άλλο. Μερικές από τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν **αφορούσαν στα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου** όπου διαπιστώθηκε ότι οι δρόμοι πρώτης και δεύτερης κατηγορίας

είχαν συσχέτιση με τα οδικά ατυχήματα. Μεγαλύτερη συσχέτιση είχαν για οδικά ατυχήματα με ελαφρείς αλλά και βαρείς τραυματισμούς. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι σε αυτούς τους δρόμους συχνά γίνεται υπέρβαση των επιτρεπτών ορίων ταχύτητας αλλά και στο ότι η αλληλοεπίδραση των οχημάτων τείνει να είναι μεγαλύτερη (Noland and Quddus, 2004). Οι αυτοκινητόδρομοι ήταν σχετικά πιο ασφαλείς παρά το γεγονός ότι σε αυτούς το όριο ταχύτητας είναι μεγαλύτερο (Noland and Quddus, 2004). Στην ίδια έρευνα συσχετίστηκαν τα οδικά ατυχήματα με την πυκνότητα διασταυρώσεων (junctions and roundabouts) και διαπιστώθηκε συσχέτιση μόνο με τους ελαφρείς τραυματισμούς.

Τέλος οι μελέτες που έχουν γίνει για αυτό το αντικείμενο έρευνας στον ελλαδικό χώρο δεν είναι πάρα πολλές αλλά είναι αξιόλογες. Οι Baraklanios et al. (2012) πραγματοποίησαν ανάλυση των οδικών ατυχημάτων για την πόλη της Βέροιας αλλά και για ένα τμήμα της Εγνατίας οδού με χρήση του GIS και εφάρμοσαν τη μέθοδο kernel density estimator για να παραχθεί **ένας χάρτης που απεικονίζει πόσο πυκνά είναι τα οδικά ατυχήματα**. Επιπλέον, τα περιστατικά στην Εγνατία οδό παρουσιάστηκαν αθροιστικά ως σημεία για να εντοπιστούν τα μελανά σημεία (black spots). Επίσης, μια προσέγγιση για την έρευνα των οδικών ατυχημάτων πραγματοποιήθηκε από τον Σπανάκη (2013) μέσα από μια πολυεπίπεδη διερεύνηση για τα χαρακτηριστικά των οδικών ατυχημάτων για τριάντα ελληνικές πόλεις για το διάστημα 2006-2010 όπου διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των νεκρών αυξάνεται σημαντικά από την έλλειψη νυχτερινού φωτισμού στο οδικό δίκτυο ενώ μειώνεται αρκετά με την ύπαρξη κεντρικής νησίδας.

2.4 Σύνοψη Βιβλιογραφίας

Οι παραπάνω εργασίες καλύπτουν ένα αρκετά ευρύ φάσμα, σχετικά με την αποτύπωση της οδικής συμπεριφοράς και την αξιοποίηση των συστημάτων GIS για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Μερικά από τα βασικότερα σημεία τα οποία προκύπτουν από τις παραπάνω έρευνες είναι :

- Για την αποτελεσματικότερη λειτουργία των συστημάτων καταγραφής δεδομένων απαιτείται σύνδεση με πληροφορικά συστήματα, ώστε να αποθηκεύονται και να επεξεργάζονται άμεσα οι πληροφορίες.
- Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τα συστήματα καταγραφής αφορούν τόσο στην ανθρώπινη συμπεριφορά και τρόπο οδήγησης του χρήστη όσο και στα μηχανικά χαρακτηριστικά του οχήματος.
- Τα συστήματα καταγραφής της οδικής συμπεριφοράς φαίνεται να βελτιώνουν τα επίπεδα οδικής ασφάλειας. Ωστόσο, χρειάζεται η παρακολούθηση της συμπεριφοράς να συνεχιστεί σε βάθος χρόνου.
- Τα περισσότερα συστήματα καταγραφής συνδέονται με τον "εγκέφαλο" του οχήματος.
- Οι δυνατότητες για καλύτερες προβλέψεις, αυξάνονται όσο τα δεδομένα που λαμβάνονται αυξάνονται ομοιόμορφα, τόσο σε βάθος χρόνου όσο και σε ποσότητα.
- Η παρακολούθηση του οδικού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο είναι ήδη εφικτή λόγω της δυνατότητας τεράστιας συλλογής 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 συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από παρακολούθηση των αστικών κέντρων, 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.
- Δείκτες χωρικής κεντρικότητας, όπως ο χωρικός μέσος μπορεί να απεικονίσει το κέντρο γύρω από το οποίο υπάρχουν περιοχές υψηλών ατυχημάτων.
- Κάποιες ηλικιακές ομάδες έχουν συσχέτιση με τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα ενώ κάποιες άλλες όχι.
- Η καθημερινή κυκλοφοριακή κίνηση του οδικού δικτύου επηρεάζει σημαντικά την οδική ασφάλεια ανεξαρτήτως ορίων ταχύτητας.
- Υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της κατηγορίας της οδού (αστικό / υπεραστικό δίκτυο) και των ατυχημάτων καθώς και με το περιβάλλον της οδού.
- Στην Ελλάδα υπάρχουν αξιόλογες έρευνες σε χωρικό επίπεδο, αλλά υπάρχουν πολλές δυνατότητες για περαιτέρω έρευνα.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρακάτω κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη ανασκόπηση του θεωρητικού υπόβαθρου που ακολούθησε η στατιστική και χωρική ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας, αλλά και του θεωρητικού υποβάθρου της διαδικασίας προβολής των χωρικών δεδομένων στο χάρτη. Για τον σκοπό της παρούσας εργασίας στο κομμάτι της χωρικής ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν απλές διαδικασίες ομαδοποίησης των φαινομένων σε **περιβάλλον GIS**, με σκοπό την απεικόνιση της υφιστάμενης κατάστασης στον εξεταζόμενο οδικό άξονα.

Αντίστοιχα στο κομμάτι της στατιστικής ανάλυσης εφαρμόστηκε **γραμμική παλινδρόμηση** (linear regression) για την εξαγωγή των τεσσάρων βασικών μοντέλων της Διπλωματικής. Λόγω της φύσης των εξαρτημένων μεταβλητών (απότομα συμβάντα ανά μέρα) επιλέχθηκε η γραμμική παλινδρόμηση ως ιδανικότερη μέθοδος για την ανάλυση. Συγκεκριμένα στα μοντέλα αναζητείται η σχέση μεταξύ των απότομων συμβάντων στην οδήγηση ανά ημέρα σε επίπεδο περιοχής με διάφορα οδηγικά και χωρικά μεγέθη. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύεται η γραμμική παλινδρόμηση, τα κριτήρια αποδοχής ενός μαθηματικού προτύπου καθώς και ο τρόπος που επιτεύχθηκαν τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης μέσω λειτουργιών ειδικού στατιστικού λογισμικού. Μεγάλο τμήμα των θεωρητικών στοιχείων αυτών έχει αναπτυχθεί εκτενώς και σε προηγούμενες διπλωματικές εργασίες.

3.2 Βασικές έννοιες Χωρικής Στιγματοθέτησης

Οι **γεωγραφικές συντεταγμένες** είναι ένα σύστημα συντεταγμένων με δύο μεγέθη από τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων (εκτός των πόλων) και χρησιμεύουν στον εντοπισμό της θέσης οποιουδήποτε στοιχείου στη Γη. Ως βάση των γεωγραφικών συντεταγμένων λαμβάνεται ο ισημερινός και ο πρώτος μεσημβρινός. Τις γεωγραφικές συντεταγμένες αποτελούν το **γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος**.

Γεωγραφικό πλάτος (latitude) (ϕ) ενός σημείου που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είναι η γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφος του τόπου με το επίπεδο του ισημερινού. Το γεωγραφικό πλάτος χαρακτηρίζεται Βόρειο Β (North N) ή Νότιο Ν (South S) ανάλογα σε ποιο ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν ομώνυμα πλάτη (same names) σε αντίθεση με σημεία διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν ετερόνυμα πλάτη (contrary names). Το γεωγραφικό πλάτος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και δεύτερα από $0^\circ - 90^\circ$ Β ή $0^\circ - 90^\circ$ Ν (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον ισημερινό του οποίου το γεωγραφικό πλάτος είναι 0°).

Γεωγραφικό μήκος (longitude) (λ) ενός σημείου στην επιφάνεια της γης είναι η στερεή γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του μεσημβρινού που διέρχεται από το εν λόγω σημείο με το επίπεδο του πρώτου μεσημβρινού. Το γεωγραφικό μήκος χαρακτηρίζεται Ανατολικό Α (East E) ή Δυτικό Δ (West W) ανάλογα σε ποιο ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν ομώνυμα μήκη (same names) σε αντίθεση με τόπους διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν ετερόνυμα μήκη (contrary names). Το γεωγραφικό μήκος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και

δεύτερα από $0^\circ - 180^\circ$ Α ή $0^\circ - 180^\circ$ Δ (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον πρώτο μεσημβρινό με γεωγραφικό μήκος 0°).

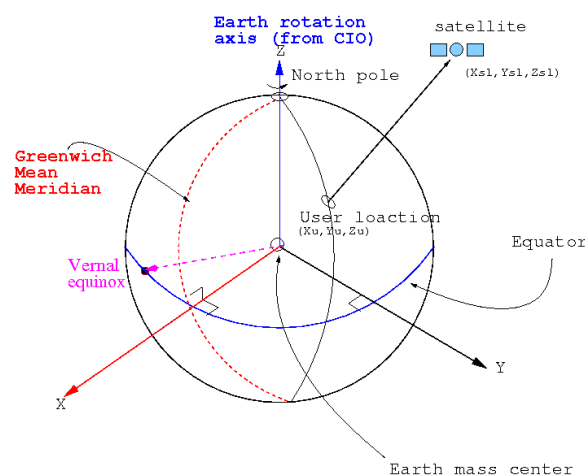
Γεωγραφικό στίγμα (geographical position) ενός τόπου ή ενός σημείου είναι η τομή του αντίστοιχου παράλληλου πλάτους (φ) και του μεσημβρινού (λ) αυτού του σημείου. Δηλαδή οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου αυτού.

Σύστημα συντεταγμένων είναι το σύνολο των παραδοχών και ορισμών που οριοθετούν ένα χώρο και αποσκοπούν στην περιγραφή της θέσης ενός αντικειμένου στο χώρο αυτό με αριθμητικές τιμές. Στην ουσία, ένα σύστημα συντεταγμένων είναι πάντα σχετικό ως προς κάποιο σταθερό σημείο και οριοθετείται με συγκεκριμένες παραδοχές που επιτρέπουν την υλοποίησή του.

Ελλειψοειδές αναφοράς είναι μία μαθηματικώς οριζόμενη επιφάνεια που προσεγγίζει το γεωειδές (το αληθινό σχήμα της Γης) ή το σχήμα άλλων πλανητικών σωμάτων. Εξαιτίας της σχετικής τους απλότητας, τα ελλειψοειδή αναφοράς χρησιμοποιούνται ως μία προτιμώμενη επιφάνεια πάνω στην οποία ορίζονται σημειακές συντεταγμένες όπως το πλάτος, το μήκος και το υψόμετρο, και με βάση την οποία εκτελούνται υπολογισμοί γεωδαιτικών δικτύων.

Το **Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς** (International Terrestrial Reference System) είναι ένα σύστημα συντεταγμένων το οποίο ορίζεται με:

- Κέντρο, το κέντρο της μάζας της Γης συμπεριλαμβανομένων των ωκεανών και της ατμόσφαιρας
- Μονάδα μέτρησης θεωρείται το 1m
- Τον προσανατολισμό των αξόνων ως εξής:
 1. τον άξονα X ως τομή του επιπέδου του μέσου μηδενικού μεσημβρινού και του επιπέδου του μέσου ισημερινού
 2. τον άξονα Y κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν οι άξονες X και Z προς ανατολές, έτσι ώστε το σύστημα να είναι δεξιόστροφο
 3. τον άξονα Z να διέρχεται από το μέσο συμβατικό Πόλο και να είναι κάθετος στο μέσο ισημερινό επίπεδο.



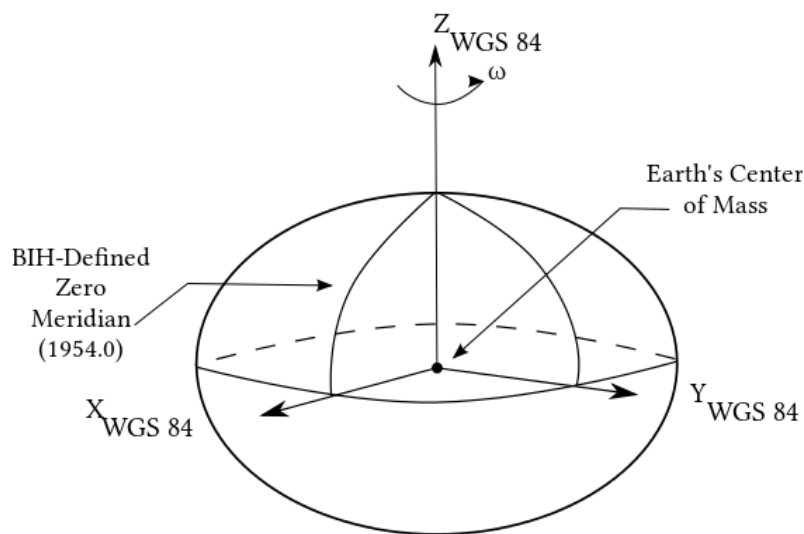
Εικόνα 3.1 Το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς (ITRS)

Πηγή: Wikipedia

Το **Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης** (Global Positioning System - GPS), είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης, ακίνητου ή κινούμενου χρήστη, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού, οι οποίες ονομάζονται "πομποδέκτες GPS". Οι πομποδέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές.

Το **Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα** (WGS84) είναι το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται από το **Global Positioning System** (GPS). Το σύστημα αναφοράς ορίζεται και διατηρείται από τον Εθνικό Οργανισμό Γεωγραφικών Πληροφοριών (NGA) των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι συντεταγμένες που υπολογίζονται από τους δέκτες GPS είναι πιθανό να παρέχονται με βάση το WGS84 και τα ύψη σε σχέση με το ελλειψοειδές WGS84.

Η διαφορά μεταξύ των συντεταγμένων **ITRS** και **WGS84** όπως χρησιμοποιείται για το πλαίσιο αναφοράς του GPS είναι μερικά εκατοστά. Επομένως, οι συντεταγμένες σε αυτά τα συστήματα μπορούν κανονικά να θεωρηθούν ακριβείς για τις περισσότερες εφαρμογές GIS.



Εικόνα 3.2 Το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84)

Πηγή: Wikipedia

Το **Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987** (ΕΓΣΑ'87) είναι ένα γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα από το 1990. Το ΕΓΣΑ'87 προδιαγράφει ένα τοπικό, μη γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του γεωδαιτικού σταθμού του Διονύσου ΒΔ. Παρόλο που το ΕΓΣΑ'87 χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS80, δηλαδή το ίδιο με το γεωδαιτικό σύστημα WGS84 που χρησιμοποιεί το GPS, η αρχή των αξόνων έχει μετατοπισθεί σχετικά με το κέντρο της Γης κατά GRS80 ώστε η επιφάνεια του ελλειψοειδούς να προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές στην περιοχή της Ελλάδας.

Για τους σκοπούς της Διπλωματικής οι συντεταγμένες των απότομων συμβάντων ήταν στο σύστημα αναφοράς WGS84. Ωστόσο, για να επιτευχθεί η σωστή προβολή των σημείων πάνω σε ελληνικό χάρτη και για την ευκολότερη επεξεργασία σε αυτόν, κρίθηκε απαραίτητο οι συντεταγμένες να **μετατραπούν στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87**.

3.3 Βασικές έννοιες Χωρικής Ανάλυσης

Η **Χωρική Ανάλυση** (Spatial Analysis) αποτελεί μία από τις βασικές περιοχές ενδιαφέροντος της επιστήμης της Γεωγραφίας. Σκοπός της Γεωγραφικής Ανάλυσης είναι η έρευνα των γεωγραφικών κατανομών με έμφαση στον προσδιορισμό χωρικών προτύπων, την ερμηνεία των διαδικασιών που τα προκαλούν και τη γενίκευσή τους. Πεδία εφαρμογής είναι οι χωρικές κατανομές τόσο του ανθρωπογενούς όσο και του φυσικού περιβάλλοντος. Η σύγχρονη Χωρική Ανάλυση έχει τις ρίζες της στην Ποσοτική Επανάσταση της δεκαετίας του 1960 στις ΗΠΑ, όταν μαθηματικές μέθοδοι από τις φυσικές επιστήμες εισήχθησαν στη Γεωγραφία με ανάπτυξη νέων μαθηματικών προσαρμοσμένων στην ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων. Από την εποχή αυτή η έμφαση είναι στη στατιστική ανάλυση των χωρικών δεδομένων. Στα πλαίσια αυτό η σύγχρονη Γεωγραφική Ανάλυση συνδέεται με τον έλεγχο υποθέσεων, τη δόμηση μοντέλων και την ανάπτυξη θεωρίας με αυξανόμενη χρήση μαθηματικών και στατιστικών στοιχείων.

Οι βασικοί δείκτες που περιγράφουν τη χωρική κατανομή των παρατηρήσεων διαφέρουν από αυτούς των βιβλίων στατιστικής οι οποίοι χρησιμοποιούν μη χωρικά στοιχεία καθώς όλες οι παρατηρήσεις αναφέρονται στην ίδια θέση. Σε αντίθεση με τις μη χωρικές κατανομές, οι χωρικές έχουν **δομή πολλαπλών μεταβλητών**. Η κατανομή είναι δι-μεταβλητή στην πιο απλή περίπτωση όπου τα σημεία απεικονίζονται σε έναν χάρτη (δύο διαστάσεις X και Y) χωρίς περαιτέρω πληροφορία. Ωστόσο, στα σημεία μίας κατανομής μπορεί να δοθεί και κάποιο βάρος ή κάποια άλλη ιδιότητα ή επιπλέον να προστεθεί και η χρονική διάσταση του φαινομένου.

Οι απλούστερες μορφές **χωρικών δεδομένων** είναι στοιχεία σε πλέγμα (grided data), στα οποία μετριέται μια κλιμακωτή ποσότητα για κάθε σημείο, σε ένα κανονικό πλέγμα σημείων και δεδομένα σε σύνολα σημείων, στα οποία παρατηρείται μια σειρά συντεταγμένων (π. Χ. Σημείων στο επίπεδο). Ένα παράδειγμα δεδομένων σε πλέγμα θα ήταν μια δορυφορική εικόνα της πυκνότητας των δασών που ψηφιοποιήθηκε σε ένα πλέγμα. Ένα παράδειγμα ενός συνόλου σημείων είναι οι συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους όλων των δέντρων σε ένα συγκεκριμένο οικόπεδο.

Ο **χωρικός μέσος** όρος πρόκειται για ένα σκετ σημείων που αναπαριστούν το κεντροειδές, το οποίο επιλύει το ίδιο πρόβλημα στο επίπεδο που ο γνωστός μέσος όρος λύνει στην πραγματική γραμμή - δηλαδή, το κέντρο έχει το μικρότερο δυνατό μέσο όρο τετραγωνική απόσταση από όλα τα σημεία του σκετ. Ο χωρικός μέσος μπορεί να θεωρηθεί το κέντρο βάρους ενός μοτίβου σημείων ή χωρικής κατανομής. Σε πολλές γεωγραφικές εφαρμογές, είναι σκόπιμο να οριστούν διαφορετικά βάρη σε σημεία της χωρικής κατανομής ανάλογα με την αξία του φαινομένου. Ο χωρικός μέσος προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις :

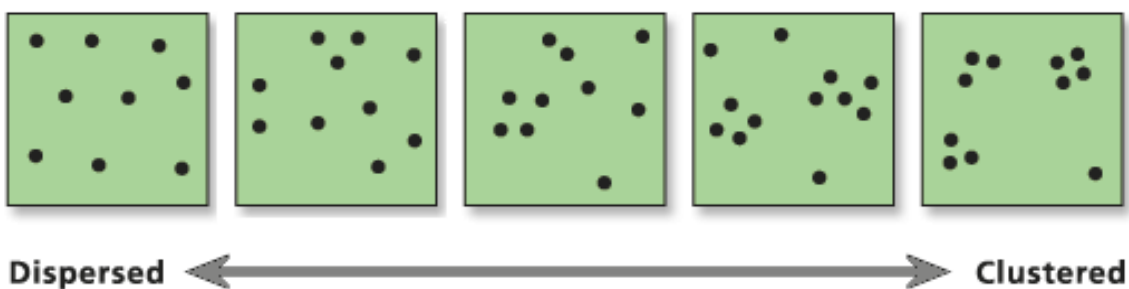
$$\bar{x} = \sum_i^n \frac{\bar{x}_i}{n}$$

και

$$\bar{y} = \sum_i^n \frac{\bar{y}_i}{n}$$

Χωρικό πρότυπο ορίζεται το χαρακτηριστικό εκείνο που περιγράφει τη χωρική τακτοποίηση ενός συνόλου αντικειμένων. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι το χωρικό πρότυπο προκύπτει από ένα χάρτη που είναι μια στατική απεικόνιση σε χώρο και χρόνο και συνεπώς ο ερευνητής πρέπει να το λάβει υπόψη του. Επιπλέον, σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι η έκταση και τα όρια της περιοχής έρευνας καθώς και το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται έχουν βαρύνουσα σημασία στην ανάλυση του χωρικού προτύπου. Το τελευταίο είναι υποδεέστερο των δύο προαναφερθέντων. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα τρία είδη χωρικών προτύπων:

- **Τυχαίο (random)** πρότυπο στο οποίο η πιθανότητα εμφάνισης του κάθε σημείου σε οποιαδήποτε θέση στο χώρο είναι ίδια. Επίσης, η θέση ενός σημείου στο χώρο δεν εξαρτάται από τη θέση ενός άλλου της κατανομής. Το τυχαίο χωρικό πρότυπο δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον από την πλευρά της έρευνας.
- **Ομοιόμορφο (dispersed)** πρότυπο στο οποίο η πυκνότητα κατανομής των σημείων είναι ίση. Εμφανίζεται συνήθως σε ανταγωνιστικές διαδικασίες με σκοπό το ένα σημείο από το άλλο να απέχει μια σημαντική απόσταση. Χαραριστικό παράδειγμα αυτού του προτύπου αποτελούν καταστήματα τα οποία πρέπει να έχουν τη δική τους ξεχωριστή πελατεία προκειμένου να αναπτυχθούν οικονομικά.
- **Ομαδοποιημένο (clustered)** πρότυπο το οποίο εμφανίζεται σε ελκυστικές διαδικασίες όπου η μικρή απόσταση που έχουν μεταξύ τους τα σημεία διευκολύνει τη μετάδοση κάποια ιδιότητας. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί η συγκέντρωση καταστημάτων λιανικού εμπορίου στα κέντρα των πόλεων. Οι πελάτες/καταναλωτές διευκολύνονται από τις κοντινές αποστάσεις που έχουν παρόμοια καταστήματα και γι' αυτό το λόγο σημειώνεται υψηλή συγκέντρωση. Ωστόσο, εκτός από τα τρία προαναφερθέντα χωρικά πρότυπα υπάρχουν και ενδιάμεσες καταστάσεις οι οποίες δεν χρήζουν σχολιασμού.



Διάγραμμα 3.1 Χωρικά πρότυπα από ομοιόμορφα σε ομαδοποιημένα

Πηγή: Esri

3.4 Βασικές έννοιες Στατιστικής Ανάλυσης

Ο όρος **πληθυσμός** (population) αναφέρεται στο σύνολο των παρατηρήσεων του χαρακτηριστικού που ενδιαφέρει τη στατιστική έρευνα. Πρόκειται για ένα σύνολο

στοιχείων που είναι τελείως καθορισμένα. Ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός.

Ο όρος **δείγμα** (sample) αναφέρεται σε ένα υποσύνολο του πληθυσμού. Οι περισσότερες στατιστικές έρευνες στηρίζονται σε δείγματα, αφού οι ιδιότητες του πληθυσμού είναι συνήθως αδύνατο να καταγραφούν. Όλα τα στοιχεία που ανήκουν στο δείγμα ανήκουν και στον πληθυσμό χωρίς να ισχύει το αντίστροφο. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την έρευνα του δείγματος θα ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια για ολόκληρο τον πληθυσμό μόνο εάν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού.

Με τον όρο **μεταβλητές** (variables) εννοούνται τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν να μετρηθούν και να καταγραφούν σε ένα σύνολο ατόμων. Οι μεταβλητές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ποιοτικές μεταβλητές** (qualitative variables): Είναι οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Η χρήση αριθμών για την παράσταση των τιμών μίας τέτοιας μεταβλητής είναι καθαρά συμβολική και δεν έχει την έννοια της μέτρησης.
- **Ποσοτικές μεταβλητές** (quantitative variables): Είναι οι μεταβλητές με τιμές αριθμούς, που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις διακριτές και τις συνεχείς. Σε μία διακριτή μεταβλητή η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές είναι σταθερή ποσότητα. Αντίθετα σε μια συνεχή μεταβλητή δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα. Στην πράξη, συνεχής θεωρείται μια μεταβλητή όταν μπορεί να πάρει όλες τις τιμές σε ένα διάστημα, διαφορετικά θεωρείται διακριτή.
- Σε μια **διακριτή μεταβλητή** η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές της είναι σταθερή ποσότητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο αριθμός των μελών μιας οικογένειας.
- Αντίθετα, σε μία **συνεχή μεταβλητή** δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την ηλικία, για την οποία η διαφορά ανάμεσα σε δυο τιμές θα μπορούσε να είναι χρόνια, μήνες, ημέρες, ώρες κλπ.

Μέτρα κεντρικής τάσης (measures of central tendency): Σε περίπτωση ανάλυσης, ενός δείγματος $x_1, x_2, \dots, x_n$ η μέση τιμή υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Μέτρα διασποράς και μεταβλητότητας (measures of variability): Στην περίπτωση που τα δεδομένα αποτελούν ένα δείγμα η διακύμανση συμβολίζεται με s^2 και ορίζεται ως:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

όπου $\bar{x}$ είναι ο δειγματικός μέσος, δηλαδή η μέση τιμή των παρατηρήσεων του δείγματος.

Η μαθηματική σχέση που δίνει την τυπική απόκλιση του δείγματος είναι:

$$s = (s^2)^{1/2} = \left[\frac{\sum_{i=1}^v (x_i - \bar{x})^2}{v - 1} \right]^{1/2}$$

Για την περίπτωση συμμετρικά κατανεμημένου δείγματος σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα, προκύπτει ότι:

- Το διάστημα $(-s, +s)$ περιέχει περίπου το 68% των δεδομένων
- Το διάστημα $(-2s, +2s)$ περιέχει περίπου το 95% των δεδομένων
- Το διάστημα $(-3s, +3s)$ περιέχει περίπου το 99% των δεδομένων

Μέγιστο (maximum) του δείγματος και **ελάχιστο** (minimum) του δείγματος, τα οποία ονομάζονται επίσης η μεγαλύτερη παρατήρηση και η μικρότερη παρατήρηση αντίστοιχα, είναι οι τιμές των μεγαλύτερων και λιγότερο στοιχειωδών στοιχείων ενός δείγματος. Η διαφορά τους δίνει το **εύρος** (range) του δείγματος.

Συνδιακύμανση (covariance of the two variables): Αποτελεί ένα μέτρο της σχέσης μεταξύ δύο περιοχών δεδομένων και δίνεται από τη σχέση:

$$Cov(X, Y) = \left[\frac{1}{v-1} \right] \sum_{i=1}^v [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]$$

όπου $\bar{x}$ και $\bar{y}$ είναι οι δειγματικοί μέσοι, δηλαδή η μέση τιμή των παρατηρήσεων του κάθε δείγματος.

Μέτρα αξιοπιστίας είναι:

- Το επίπεδο εμπιστοσύνης, που ορίζεται ως η αναλογία των περιπτώσεων που μια εκτίμηση θα είναι σωστή.
- Το επίπεδο σημαντικότητας, που ορίζεται ως η αναλογία των περιπτώσεων που ένα συμπέρασμα είναι εσφαλμένο.

3.5 Συσχέτιση Μεταβλητών

Στη συνέχεια θεωρούνται δύο τυχαίες μεταβλητές X , Y . Ο βαθμός της **γραμμικής συσχέτισης** των δύο αυτών μεταβλητών X και Y με διασπορά σ_X^2 και σ_Y^2 αντίστοιχα και συνδιασπορά $\sigma_{XY} = Cov[X, Y]$ καθορίζεται με συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) ρ , που ορίζεται ως εξής:

$$\rho = \left(\frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X} \right) \left(\frac{1}{\sigma_Y} \right)$$

Ο **συντελεστής συσχέτισης ρ** εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται. Δεν εξαρτάται από την μονάδα μέτρησης των X και Y και παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$. Τιμές κοντά στο 1 δηλώνουν ισχυρή θετική

συσχέτιση, τιμές κοντά στο -1 δηλώνουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση και τιμές κοντά στο 0 δηλώνουν γραμμική ανεξαρτησία των X και Y .

Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ρ γίνεται με την αντικατάσταση στην ανωτέρω εξίσωση της συνδιασποράς s_{XY} και των διασπορών s_X , s_Y από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της εκτιμήτριας r :

$$r(X, Y) = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\left[(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)^{1/2} \right]}$$

3.6 Μαθηματικά Μοντέλα

3.6.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Ο κλάδος της στατιστικής, ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μίας από τις υπόλοιπες, ονομάζεται **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis). Με τον όρο εξαρτημένη μεταβλητή εννοείται η μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ ο όρος ανεξάρτητη μεταβλητή αναφέρεται σε εκείνη τη μεταβλητή, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία αλλά παίρνει καθορισμένες τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή αντίθετα, θεωρείται τυχαία και "καθοδηγείται" από την ανεξάρτητη μεταβλητή.

Προκειμένου να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή ένας συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκαλεί τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων. Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μια στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Επισημαίνεται ότι η επιλογή της μεθόδου ανάπτυξης ενός μοντέλου βασίζεται στο αν η **εξαρτημένη μεταβλητή** λαμβάνει συνεχείς ή διακριτές τιμές. Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές μέγεθος και ακολουθεί κανονική κατανομή χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, της οποίας η πιο απλή περίπτωση είναι η απλή γραμμική παλινδρόμηση (Simple Linear Regression).

Στην **απλή γραμμική** παλινδρόμηση υπάρχει μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή X και μία εξαρτημένη μεταβλητή Y , η οποία προσεγγίζεται ως μία γραμμική συνάρτηση του X .

Η τιμή y_i της μεταβλητής Y , για κάθε τιμή της μεταβλητής X , δίνεται από τη σχέση:

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

Το πρόβλημα της παλινδρόμησης είναι η εύρεση των παραμέτρων α και β που εκφράζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τη γραμμική εξάρτηση της εξαρτημένης μεταβλητής Y από την **ανεξάρτητη μεταβλητή X** . Κάθε ζεύγος τιμών (α, β) καθορίζει και μία διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή και οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- Ο σταθερός όρος α είναι η τιμή του Y για $X = 0$

- Ο συντελεστής b του X είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή αλλιώς ο συντελεστής παλινδρόμησης (regression coefficient). Εκφράζει τη μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X μεταβληθεί κατά μία μονάδα.

Ο όρος ε_i ονομάζεται **σφάλμα παλινδρόμησης** (regression error). Στην πράξη ο γραμμικός προσδιορισμός που επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί μόνο να προσεγγίσει την πραγματική μαθηματική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών X και Y . Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στο μοντέλο ο όρος του σφάλματος ε_i . Αυτό γίνεται τόσο για να αντιπροσωπευθούν στο μοντέλο τυχόν παραληφθείσες μεταβλητές, όσο και για να ληφθεί υπόψη κάθε σφάλμα προσέγγισης που σχετίζεται με τη γραμμική συναρτησιακή μορφή. Το ε_i μπορεί συχνά να αναφέρεται και ως σφάλμα, απόκλιση, υπόλοιπο κλπ.

3.6.2 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

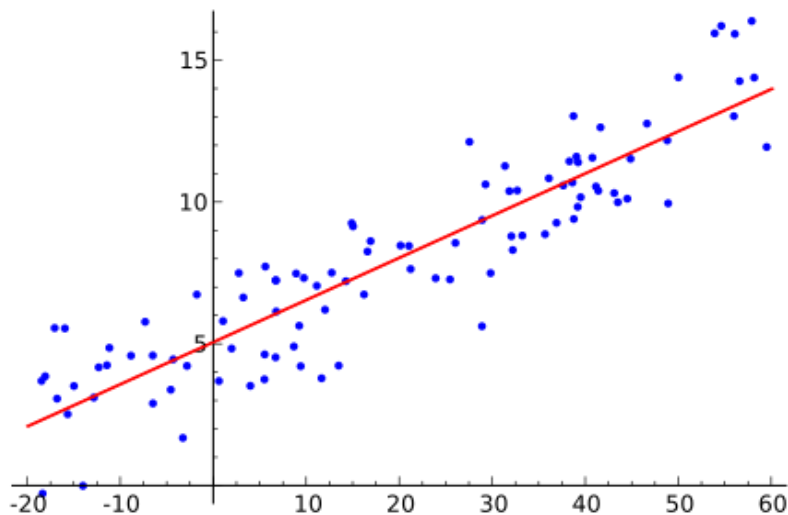
Σε περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές X ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) τότε γίνεται αναφορά στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression). Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχει τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \dots + \beta_k * x_{ki} + \varepsilon_i$$

Γενικά το πρόβλημα και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει εάν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η **μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών** ($\rho(x_i, x_j) \rightarrow 0$, για κάθε $i \neq j$).

3.6.3 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων

Η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (Least Squares Method). Σύμφωνα με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, ο προσδιορισμός των συντελεστών b_i δίνει μια **προσεγγιστική ευθεία** που συνδέει τις τιμές της μεταβλητής Y , δοθέντων των τιμών της μεταβλητής X . Η ευθεία που προκύπτει ονομάζεται ευθεία παλινδρόμησης της Y πάνω στην X . Σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων (X, Y) από την ευθεία να είναι ελάχιστο. Παρακάτω δίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων.



Εικόνα 3.3 Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων

Πηγή: Wikipedia

3.7 Στατιστική Αξιολόγηση του Μοντέλου

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός μοντέλου μετά τη διαμόρφωσή του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i της εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης. Όσον αφορά στους συντελεστές της εξίσωσης, θα πρέπει να υπάρχει **δυνατότητα λογικής ερμηνείας** των προσήμων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής (x_i) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες. Πληροφορίες σχετικά με το αν πρέπει μια μεταβλητή να συμπεριληφθεί στο πρότυπο ή όχι δίνει ένας άλλος στατιστικός δείκτης που υπολογίζεται κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων, ο t-ratio.

$$t_{\text{stat}} = \beta_i / \text{s.e}$$

όπου s.e. το τυπικό σφάλμα των σταθερών παραμέτρων (standard error).

Ο t-ratio αναφέρεται σε καθεμία από τις μεταβλητές ξεχωριστά. Ο δείκτης αυτός είναι στην ουσία το αποτέλεσμα της διαίρεσης της εκτιμώμενης για το συντελεστή τιμής δια της **τυπικής απόκλισης** της. Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέγεθος που παρουσιάζει τη συνέπεια με την οποία έχει υπολογιστεί η τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή. Αυτό σημαίνει ότι η πραγματική τιμή του συντελεστή για διάστημα εμπιστοσύνης (επίπεδο σημαντικότητας) 95% βρίσκεται στο διάστημα με κέντρο την υπολογιζόμενη τιμή του συντελεστή και άκρα την τιμή αυτή $\pm$ την τυπική απόκλιση.

Ο δείκτης t-ratio στην ουσία δείχνει αν η πραγματική τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή διαφέρει σημαντικά από το 0 ή όχι. Δείχνει δηλαδή αν η **επίδραση** της αντίστοιχης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα είναι σημαντική ή όχι. Αν η επιρροή αυτή είναι σημαντική τότε η συγκεκριμένη μεταβλητή πρέπει να συμπεριληφθεί στην

ανάπτυξη του μαθηματικού προτύπου. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να αποκλειστεί. Οι τιμές που μπορεί να πάρει κυμαίνονται από $-\infty$ έως $+\infty$.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόλυτη τιμή του τόσο μεγαλύτερη είναι η **επιρροή** της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Ανάλογα με το επίπεδο σημαντικότητας στο οποίο ενδιαφέρει να βρίσκονται τα αποτελέσματα της έρευνας, υπάρχουν πίνακες που δίνουν την τιμή του t-ratio πάνω από την οποία η συγκεκριμένη μεταβλητή πρέπει να συμπεριληφθεί στο πρότυπο. Κατά συνέπεια για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, μια μεταβλητή μπορεί να παραμείνει στο πρότυπο αν η απόλυτη τιμή του t-ratio του συντελεστή της είναι μεγαλύτερη από 1,96.

Πρέπει να σημειωθεί ότι από τη στιγμή που υπάρχει σταθερός όρος, η τελευταία τιμή των κατηγορικών μεταβλητών θεωρείται περιττή και χρησιμοποιείται ως επίπεδο αναφοράς για τη σύγκριση αυτής με τις άλλες τιμές των κατηγορικών μεταβλητών. Με το t-test λοιπόν καθορίζεται εάν υπάρχει **στατιστικά σημαντική διαφορά** μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει και με τις αλληλεπιδράσεις των κατηγορικών μεταβλητών με τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές. Επισημαίνεται ότι οι διακριτές μεταβλητές με κατηγορίες k έχουν k-1 βαθμούς ελευθερίας, ενώ οι συνεχείς έχουν πάντοτε ένα βαθμό ελευθερίας.

Αντί για το t-ratio μπορεί πιο απλά να υπολογιστεί η τιμή του p-value και να συγκριθεί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας. Συγκεκριμένα, μία συνήθης πρακτική στον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων, είναι ο υπολογισμός της τιμής της πιθανότητας p (probability-value ή p-value). Η **πιθανότητα p** είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας α που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης H_0 έναντι της εναλλακτικής H_1 . Είναι μία σημαντική τιμή, διότι ποσοτικοποιεί τη στατιστική απόδειξη που υποστηρίζει την εναλλακτική υπόθεση. Γενικά, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της πιθανότητας p, τόσο περισσότερες είναι οι αποδείξεις για την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης H_0 έναντι της εναλλακτικής H_1 . Εάν η τιμή p είναι μικρότερη ή ίση του επιπέδου σημαντικότητας α , τότε η μηδενική υπόθεση H_0 απορρίπτεται.

Η **ποιότητα του μοντέλου** εξετάζεται με τον συντελεστή προσαρμογής R^2 . Ο συντελεστής R^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

όπου $\hat{y}$ η προβλεπόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής από τις ανεξάρτητες.

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.

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το **ποσοστό της μεταβλητότητας** της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X. Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X. Ο συντελεστής R^2 έχει συγκριτική αξία, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του R^2 που είναι αποδεκτή ή

απορριπτέα, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή R^2 . Ο συντελεστής R^2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το X παίρνει καθορισμένες τιμές ή είναι τυχαία μεταβλητή.

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

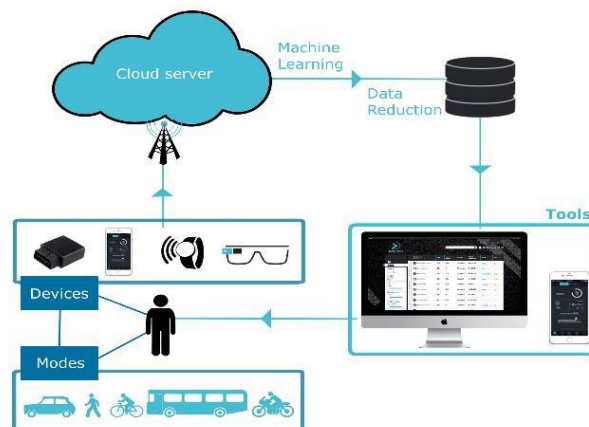
4.1 Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να γίνει μια **χωρική ανάλυση συμπεριφοράς ασφάλειας οδηγών με δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα**. Κατά συνέπεια με το πέρας της βιβλιογραφικής ανασκόπησης ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που προσδιόρισε τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η απεικόνιση των στοιχείων σε περιβάλλον GIS και επίσης οδήγησε στην επιλογή κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η γραμμική παλινδρόμηση ως βέλτιστη μέθοδος για την ανάλυση. Κατά συνέπεια το επόμενο βήμα είναι η συλλογή δεδομένων από συσκευές smartphone σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, αξιοποιώντας την ειδική πλατφόρμας της εταιρίας OSeven.

Μέσω της **χωρικής ανάλυσης** αυτών των δεδομένων και τη στατιστική τους επεξεργασία μπορεί να υλοποιηθεί ο στόχος της διπλωματικής και να παρουσιαστούν λεπτομερείς χάρτες για συγκεκριμένο οδικό άξονα (Λεωφόρος Μεσογείων), στον οποίο να απεικονίζονται τα καταγεγραμμένα φαινόμενα, αλλά και να γίνει μια προσπάθεια πρόβλεψης των καθοριστικών παραγόντων της οδού αλλά και της οδικής συμπεριφοράς που επηρεάζουν τα απότομα συμβάντα ανά ημέρα (επιβραδύνσεις/επιταχύνσεις) κατά της διάρκεια της οδήγησης.

4.2 Διαδικασία Συλλογής

Η **OSeven** έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την καταγραφή, την συλλογή, την αποθήκευση, την αξιολόγηση και την παρουσίαση των δεδομένων της οδηγικής συμπεριφοράς χρησιμοποιώντας εφαρμογές **έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone)** και προηγμένους αλγόριθμους **Machine Learning**. Αυτή η καινοτομία που εφαρμόζεται στον τρόπο συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, παρουσιάζει νέες προκλήσεις συγκεντρώνοντας μεγάλο όγκο δεδομένων για ανάλυση κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας. Το σύστημα που αναπτύχθηκε ενσωματώνει μια διαδικασία συλλογής και διαβίβασης δεδομένων από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (Smartphones), των οποίων τα κύρια χαρακτηριστικά περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.



Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων OSeven

Πηγή: OSeven

4.2.1 Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων

Η καταγραφή των δεδομένων ξεκινάει αυτόματα στις εφαρμογές του κινητού τηλεφώνου 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 την διακοπή της κατάστασης της οδήγησης, για να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι ο οδηγός συνεχίζει το ταξίδι του με στάση λίγων λεπτών. Όλες οι επιπλέον πληροφορίες που συλλέγονται μετά το πέρας της διαδρομής απορρίπτονται χρησιμοποιώντας τις τεχνικές μηχανικής μάθησης που περιγράφονται παρακάτω.

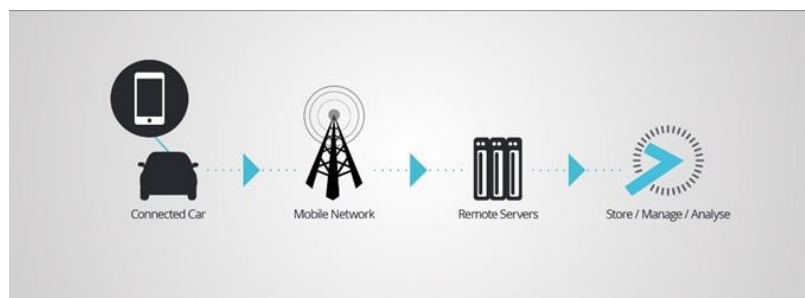
Τα καταγεγραμμένα δεδομένα προέρχονται από τους διάφορους **αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone) και αλγόριθμους συγχώνευσης (fusion algorithms) δεδομένων** που παρέχονται από το Android (Google) και το iOS (Apple). Η εφαρμογή κινητού τηλεφώνου (mobileApp) που έχει αναπτυχθεί καταγράφει τη συμπεριφορά του χρήστη χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες της συσκευής και χρησιμοποιείται μια ποικιλία APIs 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. Τα πρωτογενή δεδομένα είτε καταγράφονται από τους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (Smartphone) είτε παρέχονται από iOS και Android με τη μορφή δεδομένων συγχώνευσης.

Ενδεικτικά, το κινητό τηλέφωνο ενσωματώνει αισθητήρες τεχνολογίας:

- Επιταχυνσιόμετρου (Accelerometer)
- Γυροσκόπιου (Gyroscope)
- Μαγνητόμετρου (Magnetometer)
- GPS (ταχύτητα, πορεία, γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος)

Ενώ από συσκευές iOS και Android παρέχονται τα δεδομένα Yaw, Pitch, Roll, η Γραμμική επιτάχυνση και η Βαρύτητα σε x,y,z άξονες.

Η **συχνότητα της καταγραφής των δεδομένων** ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα, με μέγιστη τιμή 1Hz. Είναι αξιοσημείωτο ότι με αυτόν τον τρόπο συλλέγεται ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων των χαρακτηριστικών οδήγησης και αυτό πραγματοποιείται μόνο με τη χρήση των εφαρμογών του κινητού τηλεφώνου. Το βασικό πλαίσιο λειτουργίας της ροής δεδομένων φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4.2 Συστήματα Ροής δεδομένων oSeven

Πηγή: OSeven

4.2.2 Μετάδοση Δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής, η εφαρμογή μεταδίδει όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, στην **κεντρική βάση δεδομένων του OSeven backend office** μέσω ενός κατάλληλου δίαυλου επικοινωνίας, όπως είναι ένα δίκτυο Wi-Fi ή ένα κυψελοειδές δίκτυο (κατόπιν επιλογής του χρήστη) όπως είναι το δίκτυο 3G / 4G με βάση τις ρυθμίσεις του χρήστη.

Για να επιτευχθεί η **διάδραση** μεταξύ αυτών των πλευρών, δημιουργήθηκε API το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των δεδομένων από μια ηλεκτρονική υπηρεσία σε μια εφαρμογή πελάτη. Το API χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και τη λήψη δεδομένων μεταξύ συστημάτων, υποστηρίζοντας τη μεταξύ τους διαλειτουργικότητα. Κάνοντας τα δεδομένα προσβάσιμα μέσω του Παγκόσμιου Ιστού με τη χρήση API καθίσταται δυνατή η υποβολή δεδομένων στη βάση δεδομένων από συσκευές τρίτων καθώς επίσης και την πληροφορία άμεσα διαθέσιμη.

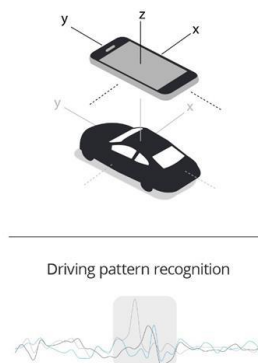
Ο συνολικός όγκος δεδομένων για έναν μέσο οδηγό υπολογίζεται σε 50Mb / μήνα.

4.2.3 Αποθήκευση Δεδομένων

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο σύστημα OSeven backend χρησιμοποιώντας **προηγμένες τεχνικές κρυπτογράφησης** και ασφάλειας δεδομένων, σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και τις οδηγίες της ΕΕ για την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται υποστηρίζουν τον έλεγχο ταυτότητας του χρήστη και την κρυπτογράφηση για να αποτρέπεται η πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένα δεδομένα από τρίτους.

4.2.4 Επεξεργασία Δεδομένων

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).



Εικόνα 4.1 Yaw, Pitch, Roll

Πηγή: OSeven

Οι **μέθοδοι εκμάθησης μηχανών** (μέθοδοι φιλτραρίσματος, ομαδοποίησης και ταξινόμησης) χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των δεδομένων από το θόρυβο, τα σφάλματα και την αναγνώριση επαναλαμβανόμενων μοτίβων μέσα στα δεδομένα. Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα θα υποβληθούν σε επεξεργασία κατάλληλη για μεγάλο όγκο δεδομένων, προκειμένου να υπολογιστούν οι απαραίτητες παράμετροι και να ληφθούν δείκτες συμπεριφοράς που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση. Με άλλα λόγια, **τα δεδομένα χωρικά και χρονικά διαχωρισμένα από το κινητό τηλέφωνο (Smartphone), επεξεργάζονται προκειμένου να προκύψουν χρήσιμοι δείκτες οδικής ασφάλειας.**

Οι μέθοδοι τεχνικής νοημοσύνης επιτρέπουν την **ανίχνευση της επιθετικής συμπεριφοράς** του οδηγού υπό τη μορφή απότομων συμβάντων, την απόσπαση προσοχής του οδηγού από τη χρήση του κινητού του τηλεφώνου, την αναγνώριση των τρόπων οδήγησης, την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας, καθώς και τον προσδιορισμό των χρονικών και χωρικών χαρακτηριστικών όλων των παραπάνω.

Η διαδικασία των αλγορίθμων Machine Learning και η τεχνική εξόρυξης των Big Data δίνεται παρακάτω σε απλά βήματα:

- Φιλτράρισμα δεδομένων και ανίχνευση τιμών που αποκλίνουν
- Εξομάλυνση δεδομένων (όπου χρειάζεται)
- Περιοχές υπερβολικής ταχύτητας
- Συμβάντα απότομων επιταχύνσεων
- Συμβάντα απότομων φρεναρισμάτων
- Συμβάντα απότομων στροφών
- Χρήση κινητού τηλεφώνου (ομιλία, σύνταξη μηνυμάτων, πλοήγηση στο διαδίκτυο)
- Οδήγηση εντός επικίνδυνων ωρών (απόσταση σε επικίνδυνες ώρες)
- Τρόπος μετακίνησης (αυτοκίνητο Ι.Χ., μέσα μαζικής μεταφοράς, ποδήλατο, μοτοποδήλατο)
- Καθορισμός οδηγού ή επιβάτη

Υπολογίζεται μια ποικιλία διαφορετικών μετά-δεδομένων έπειτα από τη διαδικασία Machine Learning (ML) τα οποία είναι χρήσιμα στο χρήστη ή στην αξιολόγηση της οδηγικής συμπεριφοράς, όπως για παράδειγμα:

Δείκτες έκθεσης κινδύνου

- Συνολική απόσταση
- Διάρκεια οδήγησης
- Τύπος (τύποι) οδικού δικτύου που χρησιμοποιείται (η θέση δίνεται στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού θέσης (GPS) και ενσωματώνεται σε χορηγούς χαρτών, π.χ. Google, OSM)
- Περίοδος της ημέρας που πραγματοποιήθηκε η οδήγηση (ώρες αιχμής, επικίνδυνες ώρες)
- Καιρικές Συνθήκες
- Σκοπός του ταξιδιού

Δείκτες οδηγικής συμπεριφοράς

- Υπέρβαση του ορίου ταχύτητας (διάρκεια υπέρβασης του ορίου, υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κλπ.)
- Αριθμός και σοβαρότητα απότομων συμβάντων
- Απότομη επιβράδυνση (επιτάχυνση κατά μήκος)
- Απότομη επιτάχυνση (επιτάχυνση κατά μήκος)

- Απότομες στροφές (γωνιακή ταχύτητα, πλευρική επιτάχυνση, πορεία)
- Οδηγική επιθετικότητα (π.χ. επιβράδυνση, επιτάχυνση)
- Απόσπαση λόγω χρήσης κινητού τηλεφώνου

Αυτοί οι δείκτες μαζί με άλλα δεδομένα (π.χ. δεδομένα από χάρτες) αξιοποιούνται διαδοχικά για να εφαρμοστεί η στατιστική ανάλυση ατομικά σε κάθε οδηγό, σε όλους τους τύπους οδών (αστική οδός, αυτοκινητόδρομος κλπ.) και κάτω από διάφορες συνθήκες οδήγησης, επιτρέποντας τη δημιουργία μιας μεγάλης βάσης δεδομένων με οδηγικά χαρακτηριστικά.

Το τελικό βήμα της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων είναι η ανάπτυξη του μοντέλου οδηγικής συμπεριφοράς. Συγκεντρωτικά δεδομένα αναλύονται και το **σύστημα αξιολόγησης** βαθμονομείται με βάση το συνολικό δείγμα. 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.

Κάθε διαδρομή και επομένως κάθε οδηγός αξιολογείται με βάση τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η τελική αξιολόγηση που παράγεται περιλαμβάνει τόσο **συνολική αξιολόγηση όσο και αξιολόγηση ανά χαρακτηριστικό**. Τα επεξεργασμένα δεδομένα μεταφέρονται σε φιλικές προς το χρήστη εφαρμογές έξυπνων κινητών τηλεφώνων ή σε πλατφόρμες στο διαδίκτυο που προσφέρουν φιλικά προς το χρήστη περιβάλλοντα για να λάβουν τις αναλυτικές αναφορές των διαδρομών τους. Η παρουσίαση της διαδικασίας των δεδομένων περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Πρέπει να αναφερθεί ότι όλα τα επεξεργασμένα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων της OSeven ακολουθώντας διαδικασίες ανωνυμίας ώστε τα δεδομένα να μη μπορούν να συνδεθούν με συγκεκριμένο χρήστη.

4.2.5 Παρουσίαση Δεδομένων

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 (συνολικά και ανά κατηγορία). Κατά συνέπεια, προσφέρεται στον οδηγό ένας τρόπος φιλικός στο χρήστη να αντιλαμβάνεται τα τμήματα ταξιδιού με επικίνδυνη συμπεριφορά οδήγησης και να αποφύγει παρόμοιες συμπεριφορές στο μέλλον. Ταυτόχρονα, οι ασφαλιστικές εταιρείες έχουν πρόσβαση σε δεδομένα των πελατών τους χρησιμοποιώντας τη διαδικτυακή πύλη της OSeven. Τα αποτελέσματα οδήγησης χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των ασφάλιστρων ή/και προγραμμάτων αξιοπιστίας

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία της επεξεργασίας των στοιχείων που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Καθώς ο στόχος της διπλωματικής ήταν να γίνει μια **χωρική ανάλυση συμπεριφοράς ασφάλειας οδηγών με δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα**, σε αντίθεση με άλλες διπλωματικές εργασίες που έχουν διεξαχθεί στον τομέα με δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα, χρειάστηκε εκτενέστατη επεξεργασία των βάσεων δεδομένων σε περιβάλλον GIS.

Για την εκπόνηση της Διπλωματικής εργασίας παρελήφθησαν δύο βάσεις δεδομένων από την OSeven οι οποίες περιείχαν **198450 παρατηρήσεις** τόσο απότομων επιβραδύνσεων όσο και απότομων επιταχύνσεων. Αυτές οι παρατηρήσεις αφορούσαν στην περιοχή της Αττικής, ωστόσο καθώς η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε οδικό άξονα (Λ. Μεσογείων) πρακτικά χρησιμοποιήθηκε σημαντικά μικρότερο υποσύνολο της. Κάθε παρατήρηση αποτελούταν από διαφορετικές παραμέτρους, οι οποίες όμως δεν ήταν όλες χρήσιμες για την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε.

Σε πρώτο στάδιο εξετάστηκαν δυο συγκεκριμένες παράμετροι από τις βάσεις δεδομένων, το **SmoothenedLongitude** και **SmoothenedLatitude**, καθώς η τομή τους στο χώρο απεικόνιζε το γεωγραφικό στίγμα της κάθε παρατήρησης. Στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν και άλλες παράμετροι του κάθε συμβάντος, όπως το μήκος απόστασης συμβάντος, η διαφορά στην ταχύτητα, και η ταχύτητα του οχήματος κατά το συμβάν.

Το **γεωγραφικό στίγμα ήταν απαραίτητο** ώστε να προβληθεί κάθε παρατήρηση σε χάρτη και μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap, να ακολουθηθεί μια διαφορετική προσέγγιση στην επεξεργασία των στοιχείων, με σκοπό τη δημιουργία νέων πινάκων για ανάλυση, που δημιουργήθηκαν από τις αρχικές βάσεις δεδομένων σε επίπεδο περιοχής στον οδικό άξονα. Κατά συνέπεια, στο παρακάτω κεφάλαιο 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.

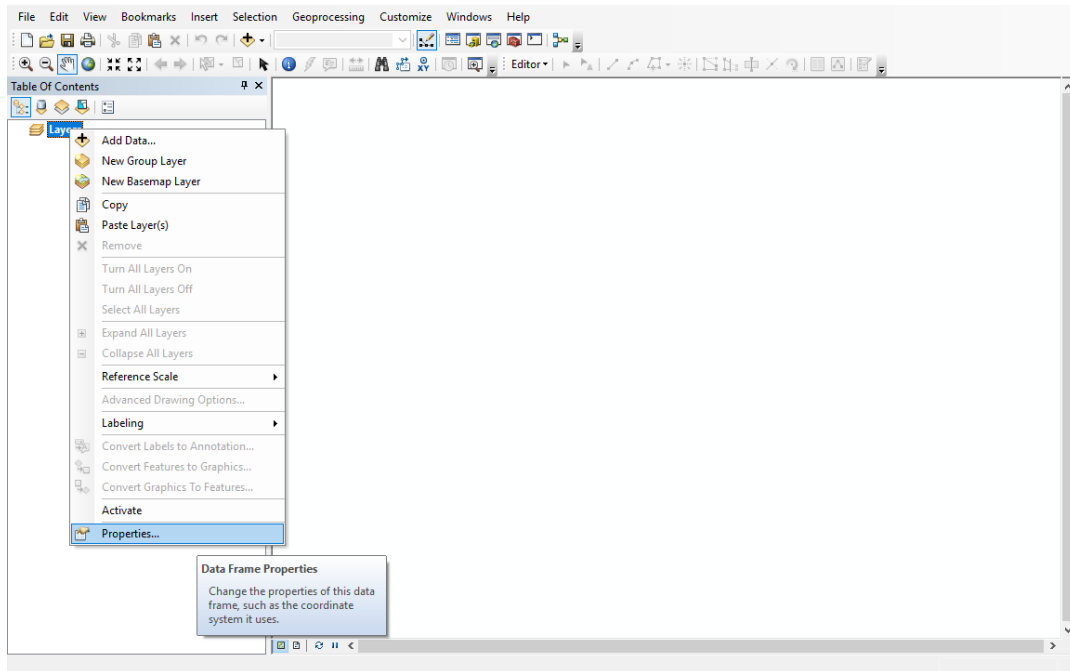
5.2 Προβολή Στοιχείων στο Χάρτη

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, από τις δύο βάσεις για απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αντίστοιχα, δεν χρησιμοποιήθηκαν όλες οι μεταβλητές στην ανάλυση. 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. Συνεπώς, 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. Η ανάγκη για **διευθέτηση διαφορετικών περιοχών** πάνω σε χάρτη για τη δημιουργία των πινάκων επιβάλλει τη χρήση ενός

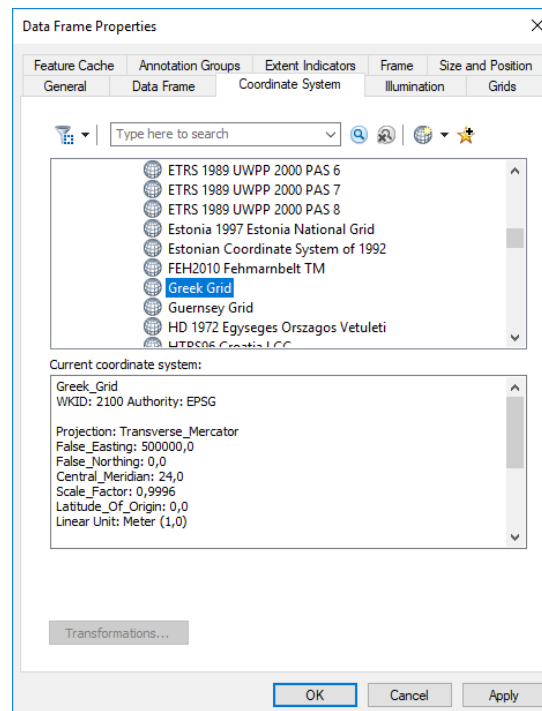
συστήματος σε μέτρα, στο οποίο με τη χρήση του ArcMap οριοθετούνται περιοχές οι οποίες είναι εύκολα μετρήσιμες. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η μετατροπή των συντεταγμένων σε ΕΓΣΑ 87', σύστημα που μετρά την απόσταση σε μέτρα τόσο σε x όσο και σε y με κέντρο το Γεωδαιτικό σταθμό του Διονύσου στην Αθήνα.

Μέσω του λογισμικού ArcMap ανοίγοντας ένα νέο αρχείο .mxd (αρχείο ArcMap), αρχικά ορίστηκε ως προβαλλόμενο σύστημα συντεταγμένων το ΕΓΣΑ 87', πατώντας δεξί κλικ αριστερά στα **Layers** → **Properties**, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.1 Αλλαγή προβαλλόμενου συστήματος συντεταγμένων σε περιβάλλον ArcMap

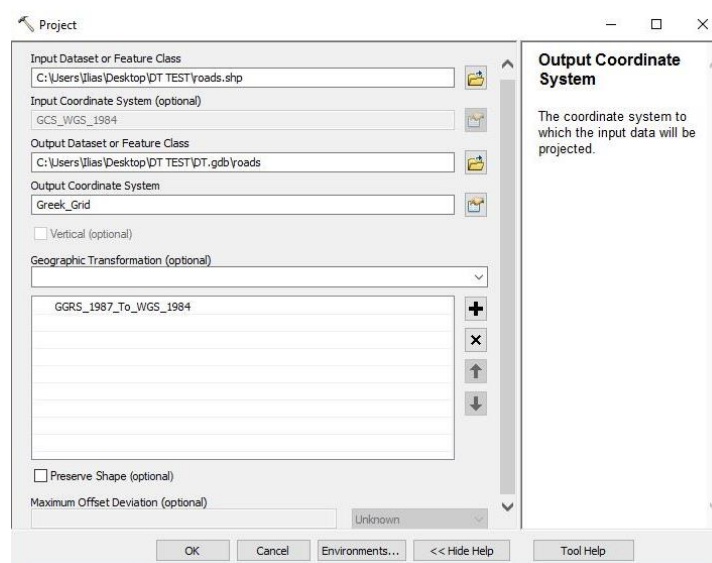
Στη συνέχεια επιλέγεται το tab Coordinate System, στο οποίο βρίσκεται μια πληθώρα Συστημάτων Αναφοράς. Επόμενο βήμα η επιλογή στο **φάκελο Projected Coordinate Systems** → **National Grids** → **Europe** → **Greek Grid**, θέτει το ΕΓΣΑ 87' ως το προβαλλόμενο σύστημα της έρευνας,



Εικόνα 5.2 Επιλογή ΕΓΣΑ 87' σε περιβάλλον ArcMap

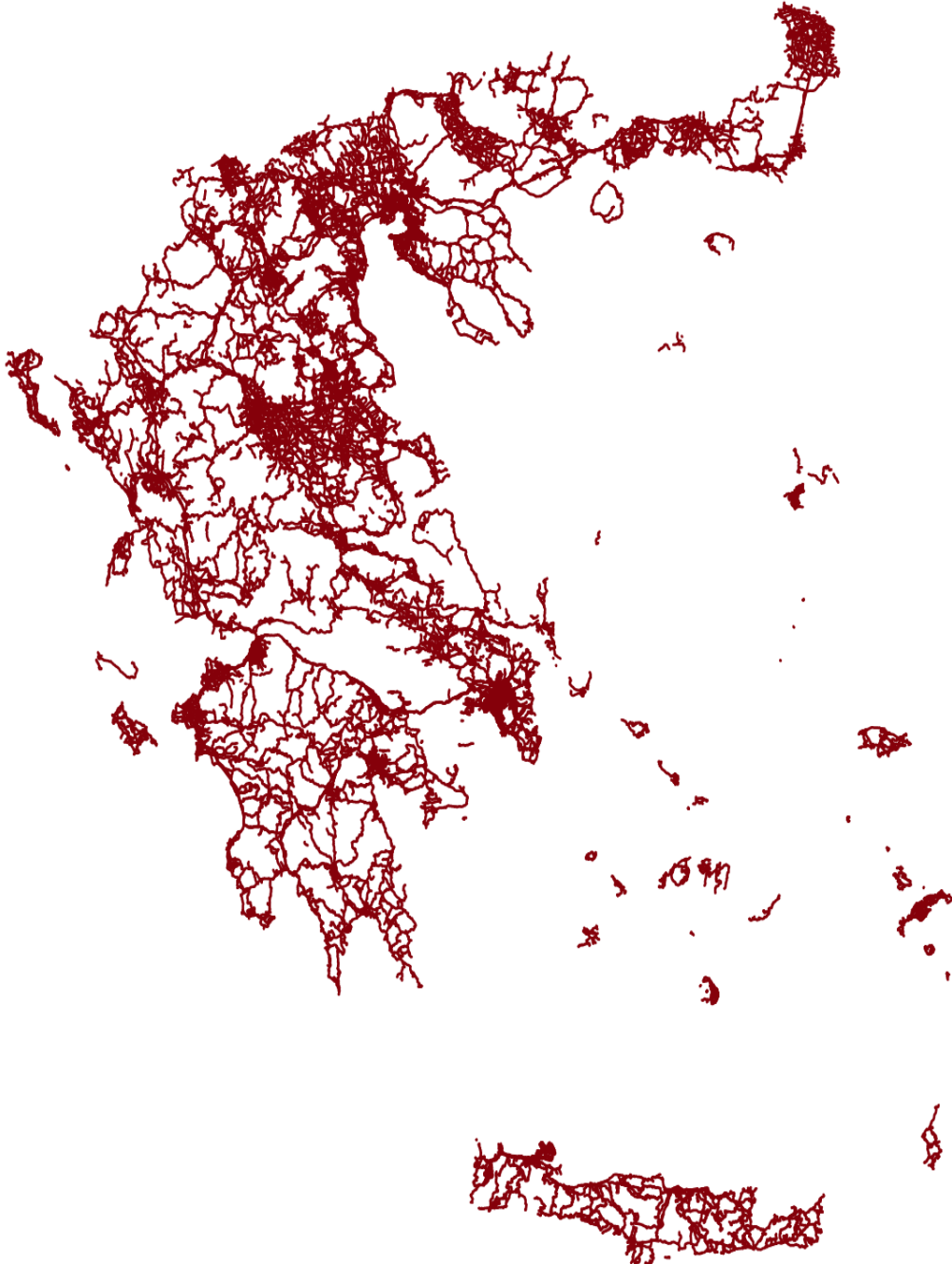
Η πρώτη αλλαγή η οποία παρατηρείται, κάτω αριστερά στο πρόγραμμα, είναι πως έγινε μετατροπή των μονάδων σε μέτρα.

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής 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**.



Εικόνα 5.3 Εισαγωγή χάρτη σε ΕΓΣΑ 87' σε περιβάλλον ArcMap

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα ως **Input Dataset or Feature Class** εισάγεται το Shapefile προς επεξεργασία. Στην επόμενη σειρά φαίνεται πως το ArcMap αναγνωρίζει ότι το αρχείο χρησιμοποιεί το σύστημα WGS84. Το **Output Dataset or Feature Class** είναι το μέρος στο οποίο θα αποθηκευτεί το νέο shapefile που θα δημιουργηθεί και στο **Output Coordinate System** επιλέγεται το Greek Grid για να γίνει η μετατροπή σε ΕΓΣΑ 87'. Αυτή η συγκεκριμένη εντολή μετατρέπει το χάρτη σε επεξεργάσιμη για της ανάγκες της Διπλωματικής Εργασίας μορφή. Παρατίθενται δυο χάρτες ένας συνολικός και ένας για την Αθήνα, στην οποία θα επικεντρωθεί η ανάλυση.



Χάρτης 5.1 Οδικό Δίκτυο Ελλάδας

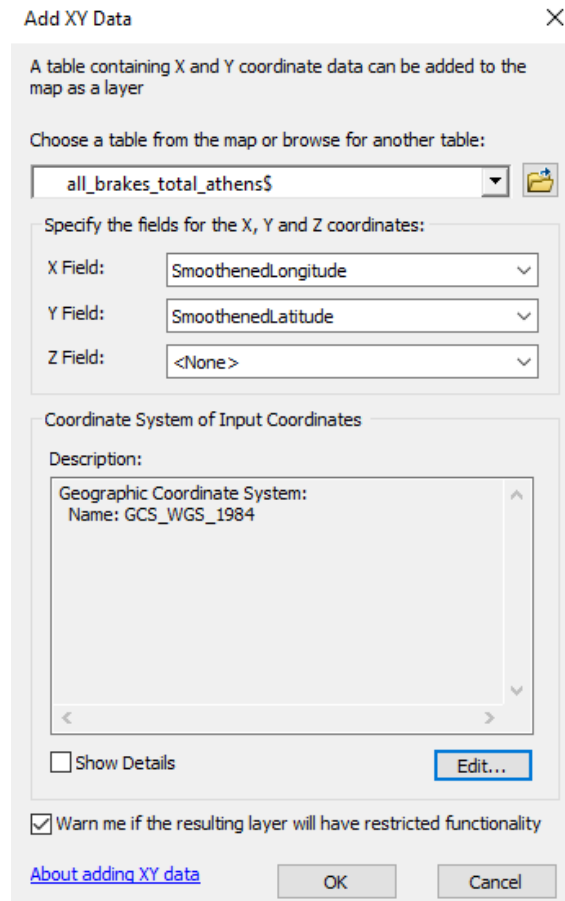
Πηγή: www.arcgis.com



Χάρτης 5.2 Οδικό Δίκτυο Αθήνας

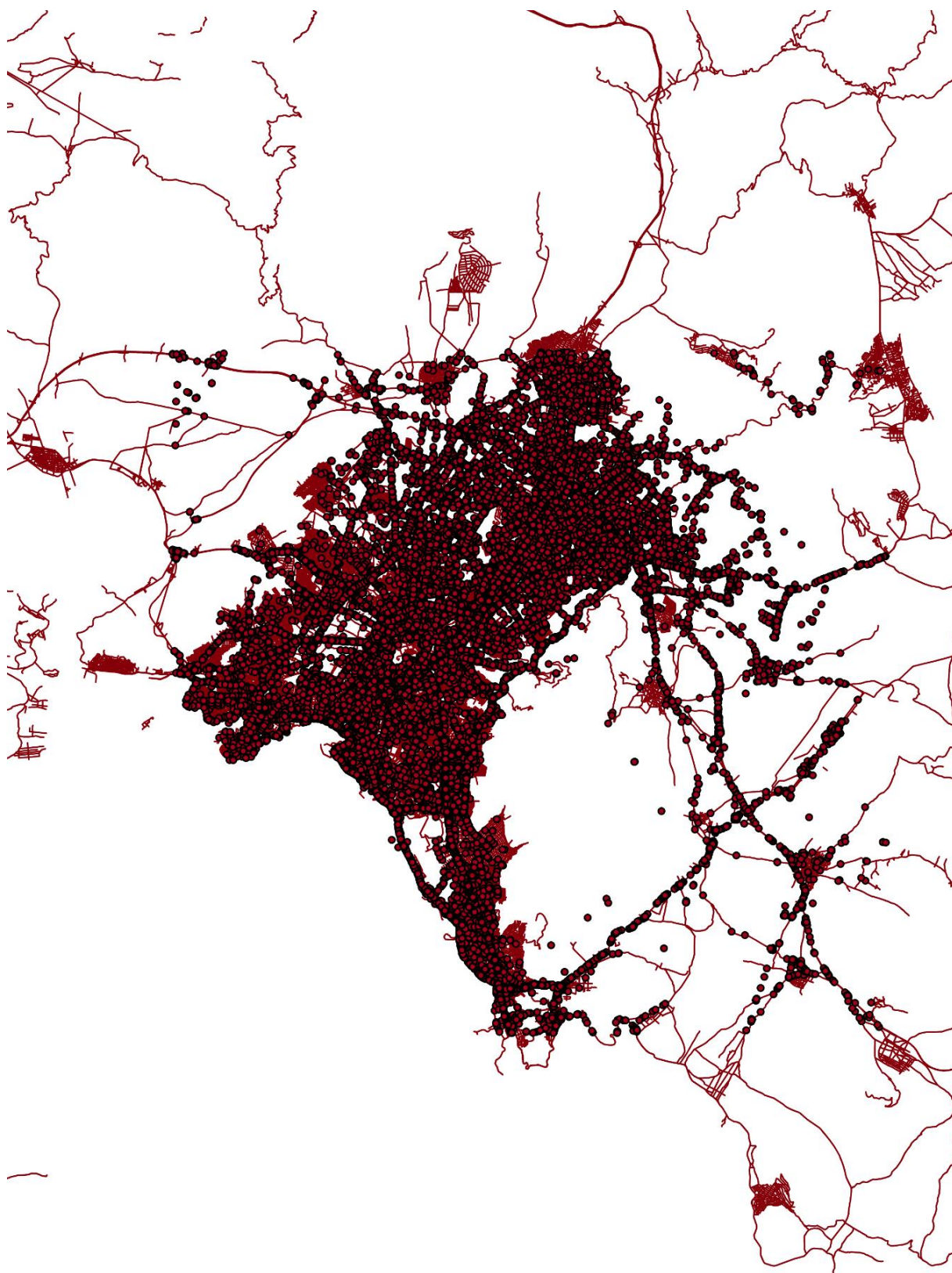
Πηγή: www.arcgis.com

Με την ίδια εντολή γίνεται η μετατροπή των συντεταγμένων των δυο βάσεων από WGS84 σε ΕΓΣΑ 87', με τη μικρή διαφοροποίηση ότι πρέπει τα δυο αρχεία .xlsx να εισαχθούν σε μορφή που κατανοεί το ArcMap. Κατά συνέπεια, στο υπολογιστικό περιβάλλον ArcMap, πηγαίνοντας στις εντολές **File → Add Data → Add XY Data**, εισάγεται η βάση δεδομένων στο χώρο σε συντεταγμένες WGS84. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα αρχικά εισάγεται η βάση δεδομένων η οποία μελετάται και ως **X Field** ορίζεται η στήλη της βάσης που έχει το **SmoothenedLongitude**, ενώ ως **Y Field** ορίζεται η στήλη της βάσης που έχει το **SmoothenedLatitude**. Τέλος ως **Input Coordinates** ορίζεται το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, WGS84.

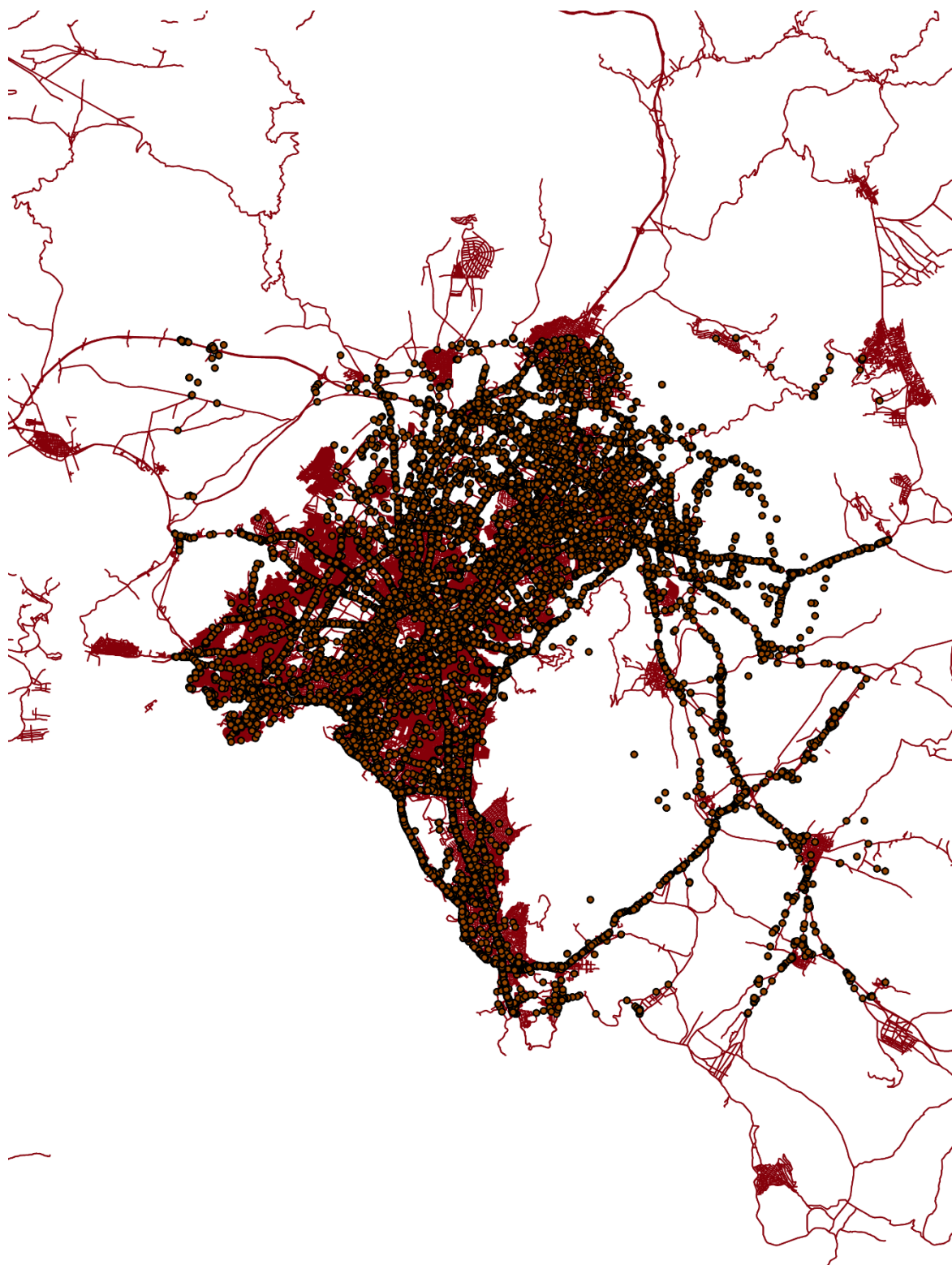


Εικόνα 5.4 Εισαγωγή στοιχείων βάσης δεδομένων στο χώρο

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και για τις δυο βάσεις και αποτέλεσμα της είναι η δημιουργία δύο διαφορετικών layers στο αρχείο τα οποία αποθηκεύονται στη **geodatabase**. Ως geodatabase ορίζεται ένας φάκελος στον υπολογιστή, ο οποίος περιέχει όλα τα προβαλλόμενα layers τα οποία θα δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Αντίστοιχα **layers** αποτελούν όλα τα διαφορετικά σετ χωρικών στοιχείων τα οποία προβάλλονται στο χάρτη. Τα δυο προαναφερόμενα layers στη συνέχεια γίνονται **Project** στο ελληνικό σύστημα αναφοράς με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και για το χάρτη στις προηγούμενες σελίδες. Το τελικό αποτέλεσμα απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες για την περιοχή της Αθήνας.



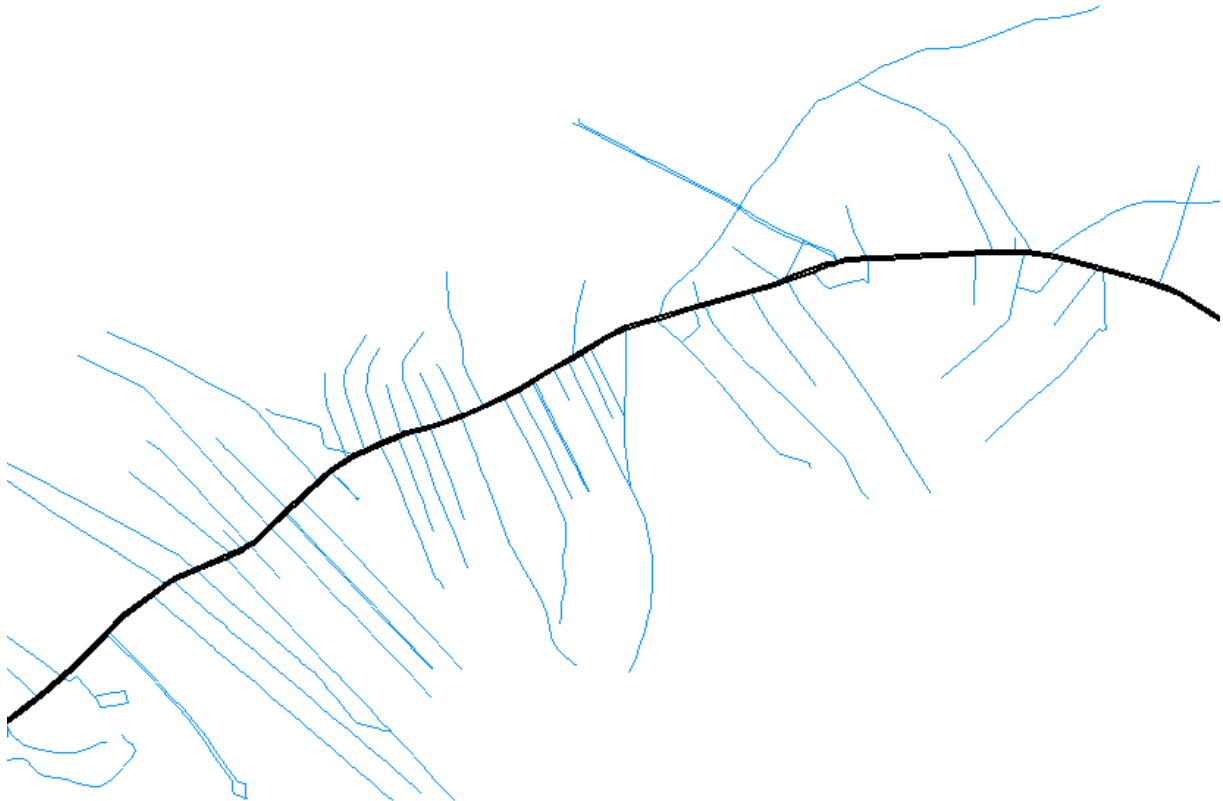
Χάρτης 5.3 Απότομες Επιταχύνσεις στην περιοχή της Αθήνας



Χάρτης 5.4 Απότομες Επιβραδύνσεις στην περιοχή της Αθήνας

5.3 Διευθέτηση Περιοχών Οδικού Άξονα

Ο οδικός άξονας που αποφασίστηκε να μελετηθεί είναι η **Λεωφόρος Μεσογείων**. Συγκεκριμένα μελετήθηκε το τμήμα της Λεωφόρου από τη διασταύρωση με το Νοσοκομείο Σωτηρία μέχρι και πριν το κόμβο του Σταυρού. Οι λόγοι που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο τμήμα ήταν η πληθώρα παρατηρήσεων που υπήρχαν στον συγκεκριμένο άξονα, καθώς και η απουσία ανισόπεδων κόμβων οι οποίοι θα δημιουργούσαν αβεβαιότητα στην ανάλυση καθώς οι βάσεις δεδομένων δεν περιείχαν το γεωγραφικό ύψος της κάθε παρατήρησης. Είναι πρόδηλο ότι η έλλειψη του πραγματικού γεωγραφικού στίγματος της κάθε παρατήρησης όπως στην περίπτωση ανισόπεδου κόμβου θα οδηγούσε σε εσφαλμένη απεικόνιση των φαινομένων.



Χάρτης 5.5 Η Λεωφόρος Μεσογείων και οι κάθετοι δρόμοι της σε χάρτη

Έχοντας επιλέξει τον οδικό άξονα της έρευνας, επόμενο βήμα ήταν η διευθέτηση των περιοχών, μέσω των σχεδιαστικών εργαλείων του ArcMap. 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. Στη συνέχεια μέσω διαφορετικών εργαλείων του ArcMap, τα οποία αναφέρονται εκτενώς παρακάτω, καθορίζονται ποιες παρατηρήσεις ανήκουν σε κάθε περιοχή.

Οι περιοχές ορίστηκαν με πολύ συγκεκριμένες παραμέτρους και κατηγοριοποιήθηκαν σε δύο τύπους:

- **Περιοχές σε κόμβο**
- **Περιοχές μεταξύ κόμβων**

Για τις περιοχές σε κόμβο θεωρήθηκαν οι εξής παράμετροι:

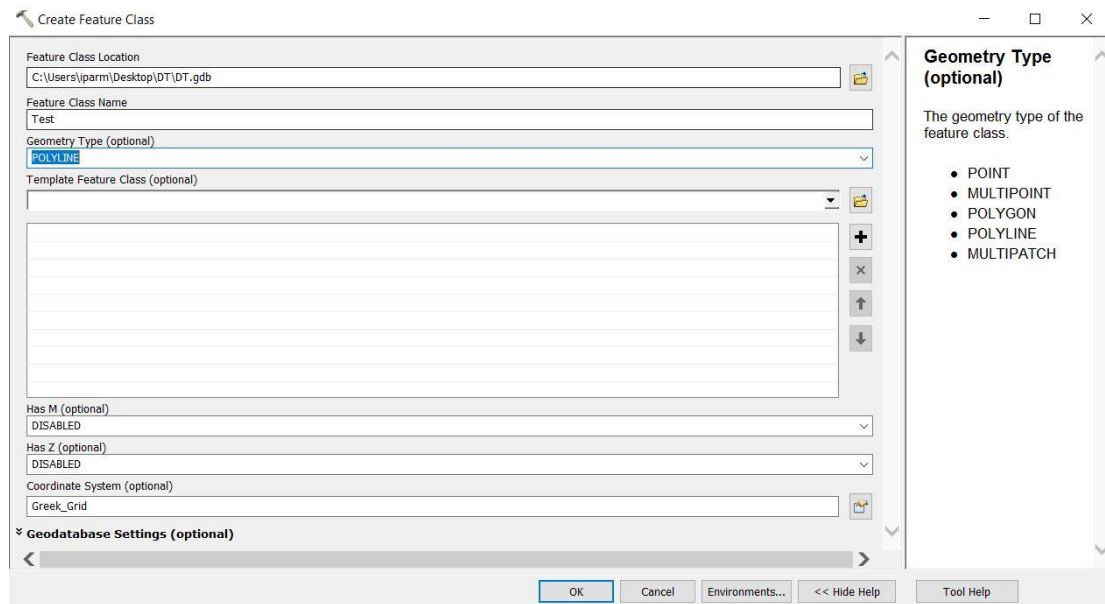
- Η περιοχή την οποία επηρεάζει ο κόμβος είναι μορφής κύκλου.
- Το κέντρο του κόμβου είναι στην εκτιμώμενη συμβολή της Λεωφόρου Μεσογείων με τους κάθετους σε αυτήν άξονες.
- Η ακτίνα επιρροής του κάθε κόμβου είναι πενήντα μέτρα.
- Σε περίπτωση τομής των περιοχών κόμβων οι επιφάνεια τομής αλληλομοιράζεται στους δύο κόμβους σχηματίζοντας μη κυκλικές περιοχές.

Ενώ για τις περιοχές μεταξύ κόμβων θεωρήθηκαν οι εξής παράμετροι:

- Κάθε περιοχή ορίζεται από το τέλος του προηγούμενου κόμβου μέχρι την αρχή του επόμενου κόμβου.
- Η μορφή της περιοχής είναι πολυγωνική ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.
- Κάθε τμήμα μεταξύ δυο κόμβων χωρίζεται σε περιοχή άνοδου και αντίστοιχη περιοχή κάθοδου.
- Πλάτος τμήματος ορίστηκε από τον εκτιμώμενο άξονα της οδού και πλάτος 12 μέτρα δεξιά για τις ανόδους και αριστερά για τις καθόδους ξεκινώντας από το Νοσοκομείο Σωτηρία.

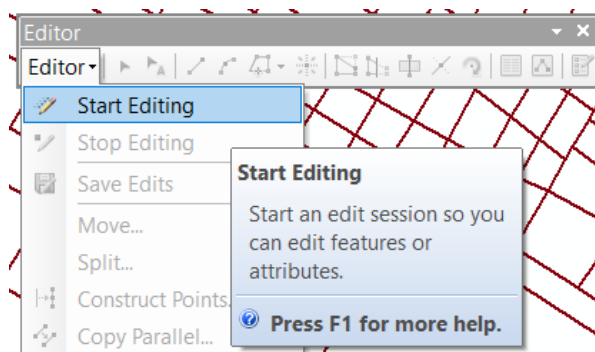
Με τις συγκεκριμένες παραμέτρους καθορίστηκαν οι περιοχές έρευνας. Στις παρακάτω σελίδες θα δοθεί ένα απλό παράδειγμα για το πως προέκυψε μια περιοχή καθώς και οι τελικώς οριοθετημένες περιοχές στο χάρτη.

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα νέο layer προς επεξεργασία πάνω στο χάρτη. Πάνω σε αυτό αποθηκεύτηκαν και κωδικοποιήθηκαν με τον επιθυμητό τρόπο όλες οι περιοχές της έρευνας. Αυτό γίνεται μέσω του tool **Create Feature Class**, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Ως **Feature Class Location**, επιλέγεται η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται η geodatabase, ενώ στη συνέχεια ορίστηκε το **Feature Class Name** και το **Geometry Type** της οριοθετημένης περιοχής, που συνήθως είναι προτιμότερο να είναι **Polyline**. Είναι προφανές ότι το **Coordinate System** που πρέπει να επιλεγεί είναι το ΕΓΣΑ 87'.

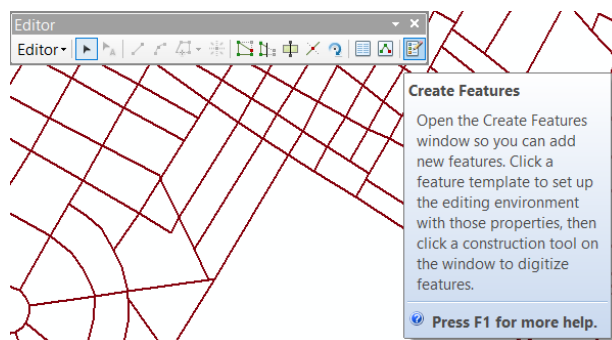


Εικόνα 5.5 Διαδικασία οριοθέτησης περιοχής στο ArcMap μέσω του εργαλείου Create Feature Class

Έχοντας ορίσει το νέο layer μπορεί να αρχίσει η σχεδίαση πάνω στο χάρτη. Για να γίνει αυτό θα επιλέγεται το Editor Toolbar, το οποίο βρίσκεται στο βασικό Tab, ακολουθώντας το **Customise → Toolbars → Editor** και όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες πρέπει να επιλεγεί **Start Editing** και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο **Create Features**.



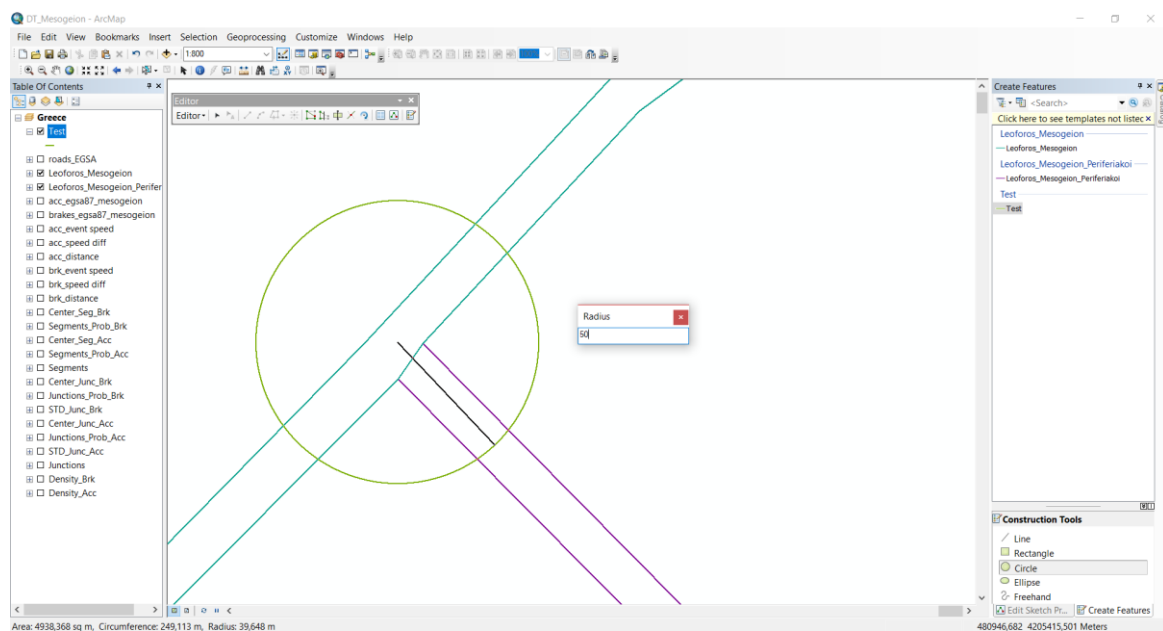
Εικόνα 5.6 Εργαλείο Start Editing



Εικόνα 5.7 Εργαλείο Create Features

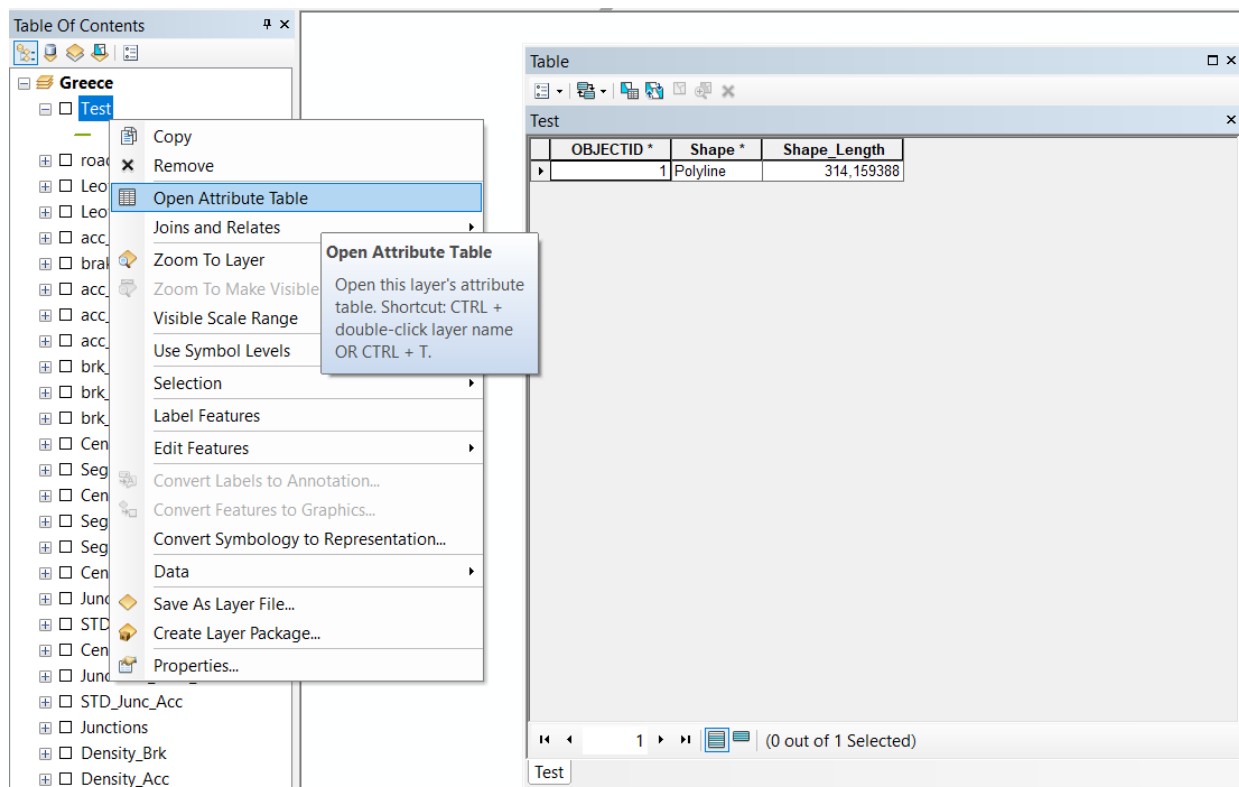
Το εργαλείο **Create Features** οδηγεί στο παράθυρο δεξιά στο οποίο επιλέγεται αρχικά το Layer πάνω στο οποίο θα οριστεί στη συνέχεια μια περιοχή. Επόμενο βήμα κάτω δεξιά στα **Construction Tools** επιλέγεται το σχήμα που θα έχει η περιοχή.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα πάνω στο πρώτο εξεταζόμενο κόμβο του άξονα (Νοσοκομείο Σωτηρία) θα οριστεί περιοχή σε σχήμα κύκλου με την εντολή **Circle** σύμφωνα με τις προαναφερθείσες παραμέτρους. Πατώντας αριστερό κλικ πάνω στο χάρτη ορίζεται το εκτιμώμενο κέντρο του κόμβου και πατώντας δεξί κλικ επιλέγοντας την εντολή **Radius**, μπορεί να οριστεί η ακτίνα του κύκλου σε πενήντα μέτρα. Προφανώς, στην περίπτωση των περιοχών μεταξύ κόμβων η σωστή επιλογή θα ήταν η εντολή **Line** για να οριστεί περιοχή μορφής πολυγώνου με τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν.



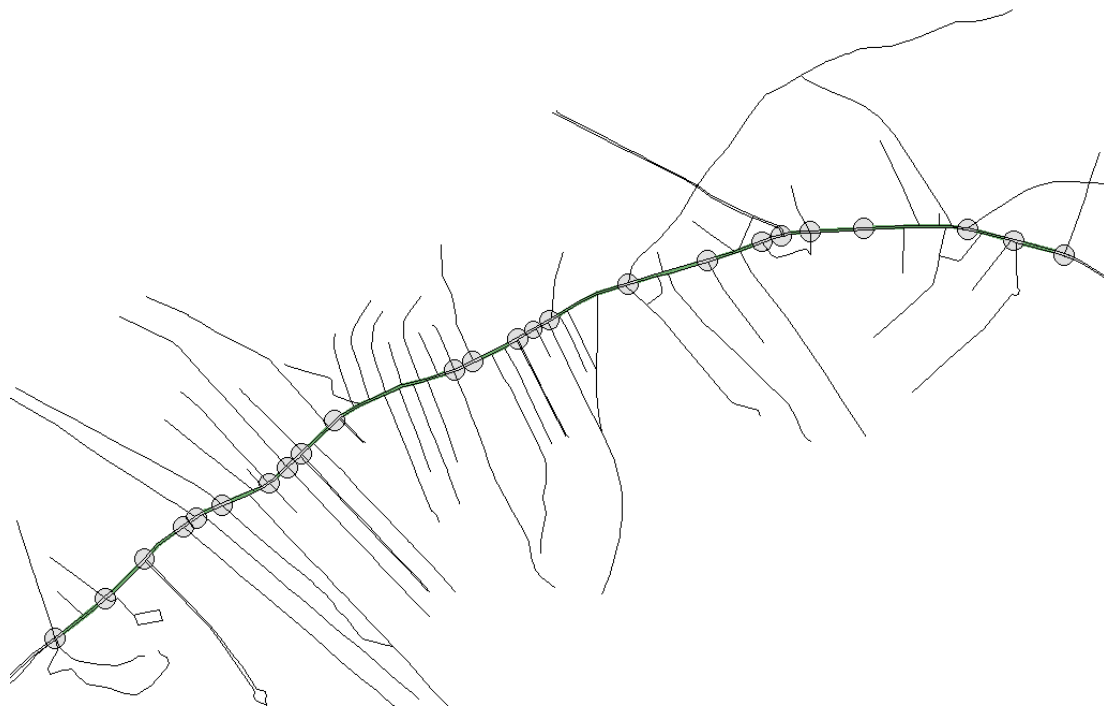
Εικόνα 5.8 Οριοθέτηση περιοχής κόμβου στο ArcMap

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα κάθε νέο σχήμα το οποίο αποθηκεύεται στο Layer λαμβάνει δικό του κωδικό και εισάγεται σε πίνακα ο οποίος ανοίγει κάνοντας δεξί κλικ στο Layer και πηγαίνοντας στην επιλογή **Open Attribute Table**. Κάθε περιοχή που ορίζεται παίρνει τη δικιά της σειρά σε αυτόν τον πίνακα και σε κάθε σειρά μπορούν να προστεθούν πολλά επιπλέον στοιχεία τα οποία καθορίζουν την κάθε περιοχή, όπως ονομασία, αριθμός παρατηρήσεων σε κάθε περιοχή κ.α. Αυτοί οι πίνακες που θα προκύψουν από τα σχέδια αποτελούν μια πρώτη μορφή των τελικών πινάκων που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση.



Εικόνα 5.9 Attribute Table

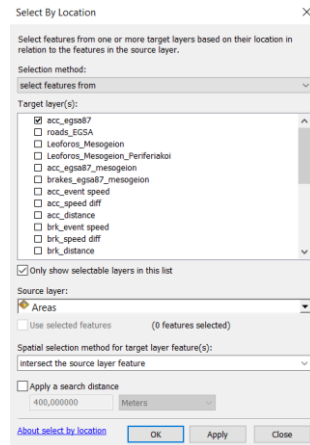
Τελικά οι περιοχές και αντίστοιχα τα δυο Attribute Tables για το κάθε layer που δημιουργήθηκε (ένα για κόμβους, ένα για περιοχές μεταξύ κόμβων) ορίστηκαν όπως φαίνεται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 5.10 Οριοθετημένες περιοχές στη Λεωφόρο Μεσογείων

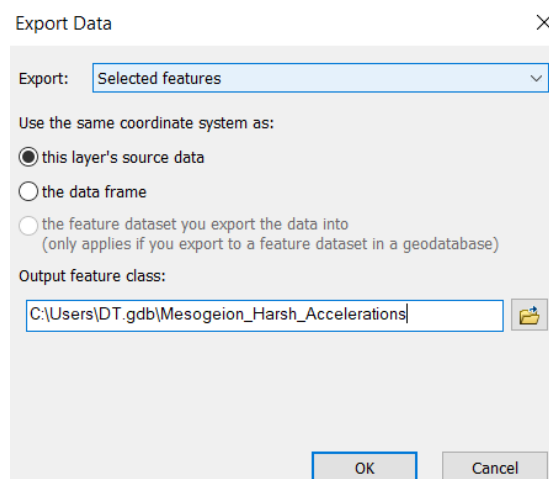
5.4 Διαχωρισμός και Στατιστική Ανάλυση ανά περιοχή

Για να γίνει η ανάλυση σε επίπεδο περιοχής όπως ορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, 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 στην 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.



Εικόνα 5.11 Εργαλείο Select by Location

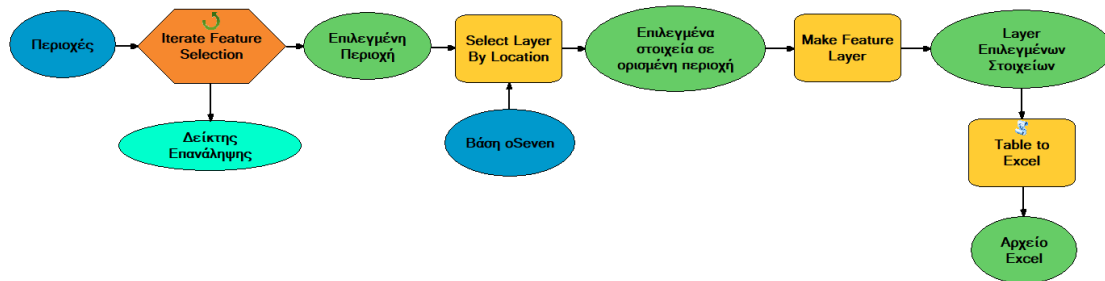
Στη συνέχεια πηγαίνοντας στο Layer της βάσης δεδομένων, της οποίας επιλέχθηκαν τα στοιχεία πατώντας δεξί κλικ και συνεχίζοντας στο **Data → Export Data** θα ανοίξει το παρακάτω παράθυρο με το οποίο ορίζεται ένα νέο layer το οποίο θα περιέχει μόνο τις παρατηρήσεις που έχουν επιλεγεί με την προηγούμενη εντολή.



Εικόνα 5.12 Εργαλείο Export data

Έχοντας τα δυο νέα layer για απότομες επιταχύνσεις και απότομες επιβραδύνσεις που εξετάζονται αντίστοιχα, συνεχίστηκε περαιτέρω ο διαχωρισμός και σε **επίπεδο περιοχής**. Ουσιαστικά, η ίδια ακριβώς διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω, έπρεπε να επαναληφθεί για κάθε οριοθετημένη περιοχή. Αντί όμως να δημιουργηθούν νέα διαφορετικά Layers για κάθε διαφορετική περιοχή, αναπτύχθηκε ένα αρχείο excel το οποίο περιέχει τις παρατηρήσεις που συνέβησαν σε αυτή.

Το ζήτημα που έπρεπε να λυθεί ήταν η **επαναληπτικότητα** του προβλήματος που αναφέρεται γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε το **Model Builder** του ArcMap. Πρόκειται για ένα εργαλείο του προγράμματος το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία διαγραμμάτων ροής, τα οποία μπορούν να εκτελούν επαναληπτικά όλες τις εντολές του προγράμματος. Κατά συνέπεια μέσω της χρήσης του παρακάτω διαγράμματος ροής, δημιουργήθηκαν τα αρχεία excel που ήταν απαραίτητα. Το παρακάτω διάγραμμα ροής εκτελέστηκε τέσσερις φορές για τα δυο είδη διαφορετικών περιοχών και τις δύο διαφορετικές βάσεις δεδομένων.



Διάγραμμα 5.1 Διάγραμμα Ροής δημιουργίας πινάκων Excel

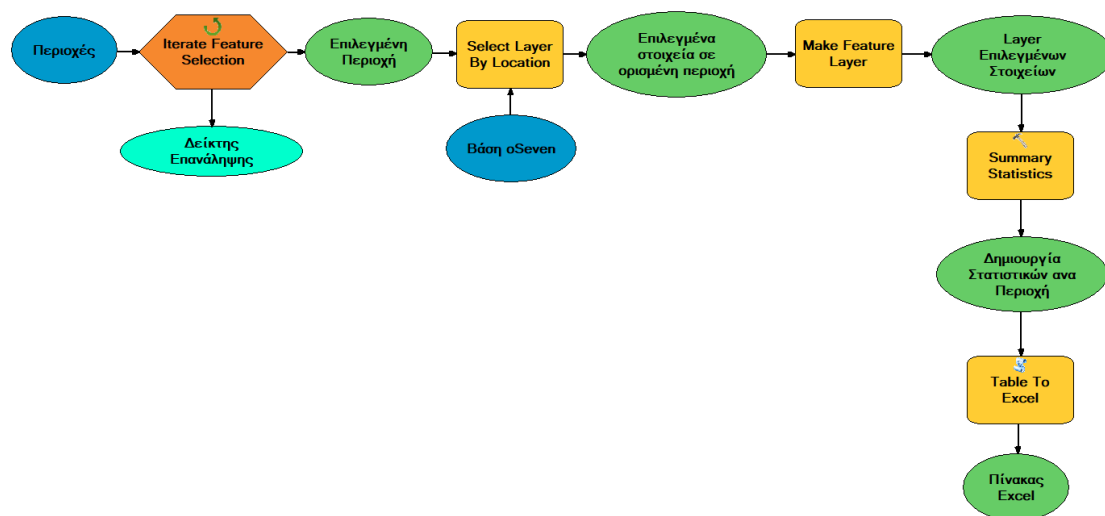
Στο διάγραμμα απεικονίζεται η ίδια διαδικασία με αυτή του καθορισμού των σημείων της Μεσογείων, όπου χρησιμοποιήθηκε η εντολή **Select by Location**. Οι βασικές διαφορές είναι η εντολή **Iterate Feature Selection** η οποία δίνει την δυνατότητα πολλών επαναλήψεων σε οποιοδήποτε **Attribute Table** ανά κάθε σειρά αυτού, σε αυτή την περίπτωση εκείνο των οριοθετημένων περιοχών. Ως δείκτης επανάληψης μπορεί να οριστεί οποιοδήποτε στοιχείο κάθε σειράς του εξεταζόμενου πίνακα, εδώ επιλέχθηκε το όνομα το οποίο δόθηκε σε κάθε περιοχή.

Στη συνέχεια γίνεται η επιλογή των στοιχείων, της κάθε βάσης ξεχωριστά τα οποία βρίσκονται στην κάθε οριοθετημένη περιοχή, με την εντολή **Select by Location**. Τέλος με τις εντολές **Make Feature Layer** δημιουργείται ένα νέο Layer για τα επιλεγμένα σημεία και με την **Table to Excel**, δημιουργείται ένα excel για κάθε περιοχή, το οποίο αποθηκεύεται σε φάκελο που επιλέγεται στον υπολογιστή, με ονομασία αυτή του δείκτη επανάληψης. Για να είναι επιτυχής η επανάληψη είναι απαραίτητη η ονομασία του αρχείου που θα οριστεί από την εντολή Table to Excel να είναι της μορφής **%Δείκτης Επανάληψης%.xls**. Η τοποθέτηση των συμβόλων πρόκειται για κανόνα του Model Builder ο οποίος ουσιαστικά φροντίζει να δημιουργηθούν τα διαφορετικά αρχεία και να μην γίνει η εγγραφή του ενός αρχείου επάνω στο άλλο.

Η δυνατότητα να καθοριστεί η περιοχή στην οποία ανήκει κάθε παρατήρηση είχε ως αποτέλεσμα την δυνατότητα εξαγωγής σημαντικών **στατιστικών στοιχείων** για κάθε περιοχή, από τα αρχεία excel τα οποία δημιουργήθηκαν. Ωστόσο, καθώς ο αριθμός των πινάκων που δημιουργήθηκαν ήταν αρκετά μεγάλος, κάτι τέτοιο αν και εφικτό δεν

ήταν χρηστικό να γίνει μέσω του Excel. Συγκεκριμένα, προέκυψαν συνολικά 116 πίνακες για τις 58 περιοχές έρευνας (58 για απότομες επιταχύνσεις και 58 για απότομες επιβραδύνσεις), επομένως ήταν εμφανές ότι έπρεπε να βρεθεί κάποιος διαφορετικός τρόπος για να συνεχιστεί η στατιστική ανάλυση.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ξανά το Model Builder του ArcMap και συγκεκριμένα η εντολή **Summary Statistics**, η οποία έδωσε τη δυνατότητα να εξαχθούν όλα τα επιθυμητά στατιστικά στοιχεία. Ως εκ τούτου, με διαδικασία παρόμοια με το προηγούμενο διάγραμμα ροής δημιουργήθηκαν διαφορετικοί πίνακες ανά περιοχή οι οποίοι περιείχαν στατιστικά στοιχεία για οποιαδήποτε από τις στήλες του πίνακα. Μόνη διαφορά ήταν η προσθήκη της εντολής Summary Statistics, με την οποία ορίστηκαν τα στατιστικά στοιχεία προς ανάλυση. Αντίστοιχα και αυτό το διάγραμμα ροής εκτελέστηκε τέσσερις φορές.



Διάγραμμα 5.2 Διάγραμμα Ροής δημιουργίας στατιστικών στοιχείων

Αρχικά μέσω αυτού του διαγράμματος υπολογίστηκε η συχνότητα των παρατηρήσεων σε κάθε περιοχή, ενώ ήταν επιπλέον εφικτό να υπολογιστούν στατιστικά στοιχεία όπως ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, το μέγιστο, το ελάχιστο και το εύρος, κάθε στήλης των παρατηρήσεων των εξεταζόμενων πινάκων. Με δεδομένη την ανάγκη να προκύψουν από τη χωρική ανάλυση στοιχεία που ερμηνεύουν την οδική συμπεριφορά ανά περιοχή, δόθηκε έμφαση στη δημιουργία στατιστικών για τις στήλες των πινάκων, που αφορούσαν στην οδική συμπεριφορά όπως η **απόσταση (distance)**, η **ταχύτητα της παρατήρησης (EventSpeed)** και η **διαφορά στη ταχύτητα (SpeedDiff)**. Παράλληλα υπολογίστηκε και το εύρος των διαφορετικών **ημερομηνιών (loggingdate)**, με σκοπό να γίνει μια εκτίμηση του μεγέθους του δείγματος σε χρονικό επίπεδο.

Η δημιουργία των νέων πινάκων από το παραπάνω διάγραμμα ροής, καθόρισε τα κύρια στατιστικά στοιχεία που αφορούν την οδική συμπεριφορά για κάθε περιοχή ξεχωριστά. Μέσω αυτών δημιουργήθηκαν τα **τελικά master tables** στα οποία πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη των μοντέλων στο επόμενο κεφάλαιο. Το αποτέλεσμα του διαγράμματος, προφανώς είναι 116 νέα αρχεία excel (2 για κάθε περιοχή), πίνακες οι οποίοι ήταν πρακτικά μια σειρά ο καθένας.

5.5 Δημιουργία Master Tables

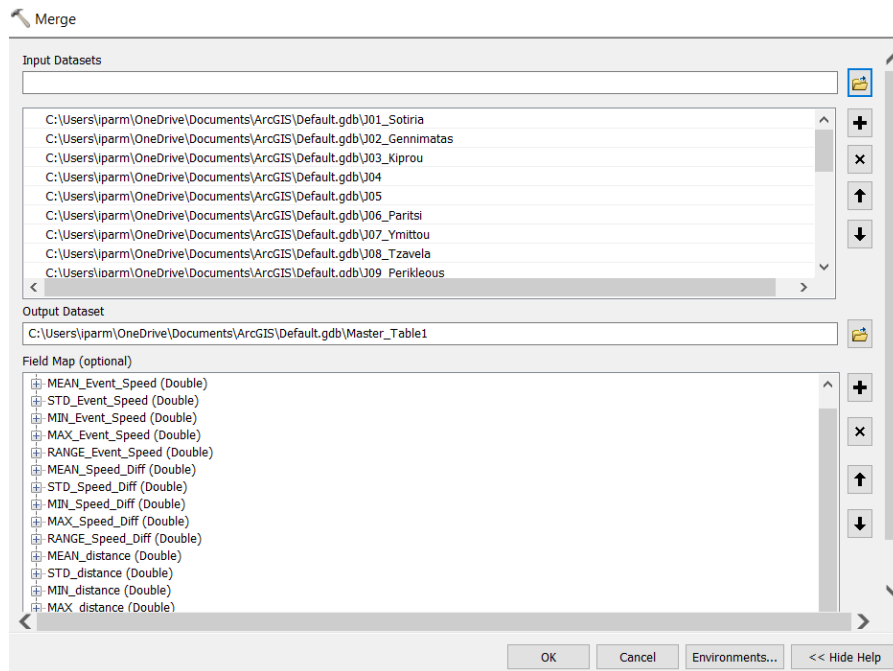
Σε αυτό το σημείο της εργασίας είχαν αρχίσει να παίρνουν μορφή τα τέσσερα μοντέλα τα οποία θα αναπτύσσονταν ως ακολούθως:

- **Απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή κόμβου**
- **Απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή κόμβου**
- **Απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων**
- **Απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων**

Για αυτά τα τέσσερα μοντέλα λοιπόν έπρεπε να αναπτυχθούν και τα τέσσερα αντίστοιχα Master Tables. Τα Master tables αποφασίστηκε να περιέχουν χαρακτηριστικά οδικής συμπεριφοράς τα οποία προέκυψαν από τις **βάσεις** της OSeven ύστερα από την επεξεργασία τους στο ArcMap, καθώς και **χωρικά χαρακτηριστικά** τα οποία προέκυψαν από μετρήσεις πάνω στο χάρτη, τοπική αυτοψία των περιοχών και στοιχεία τα οποία μπορούσαν να ληφθούν από τη πλατφόρμα Google Maps.

Για τη δημιουργία των τεσσάρων Master Tables έπρεπε να συγκεντρωθούν τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία που υπολογίστηκαν, στο εκάστοτε Master Table. Για παράδειγμα οι 24 διαφορετικοί πίνακες με στατιστικά στοιχεία απότομων επιβραδύνσεων για κάθε περιοχή κόμβου, έπρεπε να γίνουν ουσιαστικά ένας πίνακας 24 σειρών. Καθώς η εντολή **Summary Statistics**, αποθηκεύει το πίνακα που δημιουργεί για κάθε περιοχή από το προηγούμενο διάγραμμα ροής ως layer, στη geodatabase, το μόνο που χρειαζόταν να γίνει ήταν να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Merge** για να γίνουν τα 24 διαφορετικά layers 1.

Επόμενο βήμα ήταν να γίνει **Export** το νέο Layer σε αρχείο που αναγνωρίζεται από το excel. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα βάζοντας ως **Input Datasets** τα 24 layers τα οποία περιέχουν τα στατιστικά στοιχεία των απότομων επιβραδύνσεων για κάθε περιοχή κόμβου, προκύπτει ως **Output Dataset** το πρώτο Master Table. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες τρεις φορές για τα υπόλοιπα Master Tables. Εδώ είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η εντολή **Merge** των layers, έπρεπε να γίνεται κατευθείαν με το πέρας της κάθε μιας εκτέλεσης του **διαγράμματος 5.2**. Η χρήση της εντολής **Export** έχει περιγραφεί σε προηγούμενο παράδειγμα, με μόνη διαφορά ότι αυτή τη φορά το νέο δημιουργημένο layer εξάγεται σε αρχείο μορφής .dbf ώστε να είναι συμβατό με περιβάλλον excel.



Εικόνα 5.13 Εργαλείο Merge

Οι παράμετροι που αφορούσαν την **οδική συμπεριφορά** ανά περιοχή όπως προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση και αποτυπώνονται στα Master Tables ήταν οι εξής:

- FREQUENCY: Συχνότητα παρατήρησης
- MEAN_Event_Speed: Μέση τιμή της ταχύτητας συμβάντος
- STD_Event_Speed: Τυπική απόκλιση της ταχύτητας συμβάντος
- MIN_Event_Speed: Ελάχιστη τιμή της ταχύτητας συμβάντος
- MAX_Event_Speed: Μέγιστη τιμή της ταχύτητας συμβάντος
- RANGE_Event_Speed: Εύρος τιμής της ταχύτητας συμβάντος
- MEAN_Speed_Diff: Μέση τιμή της διαφοράς ταχύτητας συμβάντος
- STD_Speed_Diff: Τυπική απόκλιση της διαφοράς ταχύτητας συμβάντος
- MIN_Speed_Diff: Ελάχιστη τιμή της διαφοράς ταχύτητας συμβάντος
- MAX_Speed_Diff: Μέγιστη τιμή της διαφοράς ταχύτητας συμβάντος
- RANGE_Speed_Diff: Εύρος τιμής της διαφοράς ταχύτητας συμβάντος
- MEAN_distance: Μέση τιμή της απόστασης συμβάντος
- STD_distance: Τυπική απόκλιση της απόστασης συμβάντος
- MIN_distance: Ελάχιστη τιμή της απόστασης συμβάντος
- MAX_distance: Μέγιστη τιμή της απόστασης συμβάντος
- Range_Days: Εύρος τιμής της απόστασης συμβάντος

Στη συνέχεια προστέθηκαν τα **χωρικά χαρακτηριστικά** τα οποία ήταν εφικτό να συλλεχθούν. Είναι προφανές ότι αυτά διαφέρουν σε περιοχές κόμβου και σε περιοχές μεταξύ κόμβων καθώς αυτές οι περιοχές έχουν εντελώς διαφορετική γεωμετρία αλλά και χρήση. Κατά συνέπεια λοιπόν σε επίπεδο περιοχής υπάρχει διαφοροποίηση στη μορφή των Master Tables, ωστόσο η μορφή δεν αλλάζει λόγω των απότομων συμβάντων. Παρατίθενται οι χωρικές παράμετροι που προστέθηκαν στον πίνακα μέσω τοπικής αυτοψίας και χρήσης της πλατφόρμας Google Maps:

- Σε περιοχή κόμβου

1. Left_Exits: Αριθμός αριστερών εξόδων από τον κόμβο
2. Left_Entrances: Αριθμός αριστερών εισόδων στον κόμβο
3. Right_Exits: Αριθμός δεξιών εξόδων από τον κόμβο
4. Right_Entrances: Αριθμός δεξιών εισόδων στον κόμβο
5. Incoming_Lanes: Αριθμός εισερχόμενων λωρίδων στον κόμβο
6. Outgoing_Lanes: Αριθμός εξερχόμενων λωρίδων στον κόμβο
7. Sideway: Ύπαρξη παραδρόμου (0/1)

➤ Σε περιοχή μεταξύ κόμβων

1. Length: Μήκος του οδικού τμήματος σε μέτρα
2. Slope: Κλίση του οδικού τμήματος
3. Right Exit/Entrance: Αριθμός δεξιών εισόδων και εξόδων από το οδικό τμήμα
4. Bus_Stops: Αριθμός στάσεων λεωφορείου
5. Bus_Lane: Ύπαρξη λεωφορειολωρίδας (0/1)
6. Sideway: Ύπαρξη παραδρόμου (0/1)

Τελευταίο στοιχείο που υπολογίστηκε για τη δημιουργία των Master Tables, το οποίο ωστόσο δεν χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση, ήταν ο **υπολογισμός του αριθμού των συνολικών διαφορετικών ημερών** στις οποίες πραγματοποιήθηκε παρατήρηση για κάθε περιοχή. Αυτό ήταν εφικτό μόνο μέσω formula του Excel και συγκεκριμένα με την εντολή **SUMPRODUCT(1/COUNTIF(A1:A_n, A1:A_n))**, όπου A η στήλη η οποία περιείχε της διαφορετικές ημερομηνίες (loggingdate) σε κάθε ένα από τους διαφορετικούς πίνακες ανά περιοχή και όπου n ο αριθμός των παρατηρήσεων σε εκείνη την περιοχή. Αυτό το σημείο ήταν το μόνο το οποίο δεν κατέστη δυνατή η χρήση επαναληπτικής διαδικασίας και χρειάστηκε να εκτελεστεί η παραπάνω εντολή ξεχωριστά για τον κάθε πίνακα που ορίστηκε από το **διάγραμμα ροής 5.1**.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Date							
2	10/10/2015							
3	10/10/2015							
4	10/12/2015							

Εικόνα 5.14 Καθορισμός διαφορετικών ημερών με παρατήρηση ανά περιοχή

Αυτή η εντολή δημιούργησε τη στήλη **Days** στο πίνακα, η οποία αν και δεν χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση έδωσε τη δυνατότητα, διαιρώντας εκείνη προς το χρονικό εύρος του εξεταζόμενου δείγματος ανά περιοχή (**Range_Days**), το οποίο προέκυψε προηγουμένως, να καθοριστεί η πιθανότητα να γίνει απότομο συμβάν (επιτάχυνση ή επιβράδυνση) κάθε μέρα. Αυτή η πιθανότητα αξιοποιήθηκε στη συνέχεια για τη δημιουργία χαρτών που απεικονίζουν τα φαινόμενα στην περιοχή.

Κατά συνέπεια οι τελικές δύο παράμετροι των Master Tables ήταν:

- **Mod_Freq_Acc & Mod_Freq_Brk** : Το κλάσμα της συχνότητας των παρατηρήσεων (επιβραδύνσεων η επιταχύνσεων αντίστοιχα) προς το εύρος του

χρονικού δείγματος. Ουσιαστικά είναι ο αριθμός των απότομων συμβάντων ανά ημέρα και λειτούργησε ως η εξαρτημένη μεταβλητή της ανάλυσης.

- **Prob_Acc & Prob_Brk** : Το κλάσμα του αριθμού διαφορετικών ημερών που πραγματοποιήθηκε παρατήρηση (επιβραδύνσεις ή επιταχύνσεις αντίστοιχα) προς το εύρος του χρονικού δείγματος. Ουσιαστικά είναι η πιθανότητα να γίνει τουλάχιστον ένα απότομο συμβάν σε κάθε περιοχή ανά ημέρα.

Παρατίθενται τα τελικά Master Tables τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 5.1 Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή κόμβου

Junctions	Left_Exits	Left_Entrances	Right_Exits	Right_Entrances	Incoming_Lanes	Outgoing_Lanes	Sideway	FREQUENCY	MEAN_Event_Speed (km/h)	STD_Event_Speed (km/h)	MIN_Event_Speed (km/h)	MAX_Event_Speed (km/h)	RANG_Event_Speed (km/h)	MEAN_Speed_Diff (km/h)	STD_Speed_Diff (km/h)	MIN_Speed_Diff (km/h)	MAX_Speed_Diff (km/h)	RANG_Speed_Diff (km/h)	MEAN_distance (m)	STD_distance (m)	MIN_distance (m)	MAX_distance (m)	RANG_distance (m)	Days	Range_Days	Mod_Freq_Acc	Prob_Acc
J1	1	2	1	2	5	1	0	33	46	20	27	101	74	-16	3	-22	-13	9	4,36	3,00	0,29	14,19	13,91	29	448	0,086	7,53
J2	2	2	2	2	3	2	0	42	40	10	26	66	40	-15	2	-22	-13	9	3,85	1,87	1,78	11,94	10,16	38	449	0,101	9,13
J3	2	2	2	2	5	2	0	24	40	10	28	60	31	-14	2	-21	-13	8	3,07	0,97	1,92	5,45	3,53	24	448	0,060	6,03
J4	0	0	1	0	2	0	1	22	43	11	25	62	37	-15	2	-24	-13	11	3,70	2,82	0,44	15,48	15,04	18	443	0,063	5,11
J5	0	0	1	1	2	1	1	85	50	13	26	89	63	-14	2	-22	-13	9	3,57	1,46	1,09	9,25	8,16	67	441	0,199	15,65
J6	0	1	1	1	1	1	1	66	43	8	27	71	45	-15	3	-21	-13	8	3,59	2,54	0,51	17,38	16,87	55	438	0,164	13,65
J7	0	2	0	2	2	0	1	64	47	14	27	90	63	-15	1	-22	-13	9	3,79	2,43	2,16	15,82	13,66	58	446	0,147	13,36
J8	1	0	2	1	2	1	1	104	45	11	27	65	38	-15	2	-24	-13	11	3,34	1,58	0,63	9,80	9,17	83	455	0,235	18,78
J9	1	1	2	1	2	1	1	63	44	13	23	85	61	-15	3	-24	-13	11	6,67	18,45	0,75	149,48	148,73	58	452	0,140	12,89
J10	1	0	1	0	0	1	1	50	41	8	26	67	41	-14	2	-20	-13	7	4,09	1,99	2,17	11,15	8,98	44	449	0,113	9,98
J11	0	2	1	2	3	1	1	164	43	11	24	116	92	-15	2	-22	-13	9	3,81	1,83	0,30	13,46	13,16	116	454	0,372	26,30
J12	1	0	1	0	0	2	1	64	49	16	24	101	77	-15	2	-22	-13	9	3,84	2,41	1,21	15,66	14,44	59	452	0,146	13,44
J13	1	0	1	1	1	1	0	31	54	18	25	98	74	-15	3	-26	-13	13	4,04	1,96	2,13	9,15	7,02	27	434	0,078	6,78
J14	0	0	0	1	1	0	0	19	53	11	33	70	37	-15	3	-22	-13	9	4,21	3,61	0,81	14,12	13,30	17	415	0,051	4,53
J15	0	1	0	1	2	0	0	31	49	10	33	68	35	-15	3	-24	-13	11	5,83	11,84	0,46	67,77	67,31	29	429	0,068	6,37
J16	2	2	2	2	2	2	0	25	39	9	24	58	34	-15	2	-22	-13	9	4,84	2,94	0,94	15,31	14,37	23	452	0,062	5,67
J17	0	2	0	2	2	0	0	14	43	9	27	57	30	-17	3	-23	-13	9	3,15	2,14	0,21	9,14	8,93	14	451	0,037	3,73
J18	1	0	1	0	0	1	0	42	41	10	24	77	53	-15	2	-20	-13	7	4,21	1,89	0,64	9,60	8,96	38	449	0,097	8,80
J19	1	0	1	1	3	2	1	21	41	10	25	68	43	-15	2	-21	-13	8	3,31	1,01	2,11	5,87	3,76	20	457	0,072	6,87
J20	1	1	1	1	2	1	0	26	48	22	23	102	79	-14	1	-17	-13	4	4,51	2,25	2,18	10,32	8,14	23	446	0,058	5,16
J21	0	0	0	0	0	0	0	18	43	11	29	65	36	-15	2	-22	-13	9	3,26	1,16	2,10	6,57	4,47	16	449	0,041	3,68
J22	1	0	1	1	1	1	0	14	45	21	25	98	73	-14	2	-18	-13	5	3,63	2,27	2,32	9,13	6,81	14	424	0,049	4,93
J23	0	1	2	1	4	1	0	11	43	19	24	79	55	-15	3	-25	-13	12	3,62	3,12	2,29	13,00	10,71	11	450	0,030	3,01
J24	0	0	0	0	0	0	0	27	63	18	30	90	60	-15	3	-25	-13	12	4,54	4,45	1,20	25,56	24,36	24	435	0,063	5,56

Πίνακας 5.2 Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή κόμβου

Junctions	Left_Exits	Left_Entrances	Right_Exits	Right_Entrances	Incoming_Lanes	Outgoing_Lanes	Sideway	FREQ_UENCY	MEAN_Event_Speed (km/h)	STD_Event_Speed (km/h)	MIN_Event_Speed (km/h)	MAX_Event_Speed (km/h)	RANG_Event_Speed (km/h)	MEAN_Speed_Diff (km/h)	STD_Speed_Diff (km/h)	MIN_Speed_Diff (km/h)	MAX_Speed_Diff (km/h)	RANG_Speed_Diff (km/h)	MEAN_distance (m)	STD_distance (m)	MIN_distance (m)	MAX_distance (m)	RANG_distance (m)	Days	Range_Days	Mod_Freq_Acc	Prob_Acc
J1	1	2	1	2	5	1	0	300	23	9	10	83	73	12	3	9	25	16	3,47	2,03	0,09	21,49	21,40	212	448	0,670	47,32
J2	2	2	2	2	3	2	0	266	21	6	11	52	41	12	3	9	22	13	3,54	2,95	0,34	30,67	30,33	186	449	0,592	41,43
J3	2	2	2	2	5	2	0	233	21	7	11	63	52	12	3	9	23	14	3,54	3,36	0,57	47,84	47,27	178	448	0,520	39,73
J4	0	0	1	0	2	0	1	69	22	10	15	58	43	11	2	9	17	8	3,16	0,85	1,90	6,00	4,10	59	443	0,156	13,32
J5	0	0	1	1	2	1	1	99	23	9	15	63	48	11	2	9	20	11	3,69	1,62	1,97	11,49	9,52	82	441	0,224	18,59
J6	0	1	1	1	1	1	1	198	21	8	12	82	70	11	2	9	21	12	3,34	1,92	0,12	21,62	21,50	146	438	0,452	33,33
J7	0	2	0	2	2	0	1	171	20	6	12	53	42	11	2	9	24	15	3,52	2,42	1,04	25,76	24,72	139	446	0,383	31,17
J8	1	0	2	1	2	1	1	145	22	8	13	58	45	11	2	9	18	9	3,50	1,73	1,97	14,62	12,66	121	455	0,319	26,59
J9	1	1	2	1	2	1	1	206	21	7	10	61	50	11	3	9	22	13	3,99	10,47	0,52	152,25	151,72	163	452	0,456	36,06
J10	1	0	1	0	0	1	1	264	20	7	10	67	57	12	3	9	20	11	3,48	2,43	0,82	35,14	34,32	179	449	0,588	39,87
J11	0	2	1	2	3	1	1	185	21	7	14	68	54	11	2	9	19	10	3,82	2,35	1,08	24,83	23,75	144	454	0,407	31,72
J12	1	0	1	0	0	2	1	196	22	10	11	96	85	11	2	9	19	10	4,38	2,70	0,37	17,04	16,67	147	452	0,434	32,52
J13	1	0	1	1	1	1	0	89	23	13	15	81	66	12	2	9	19	10	3,22	1,86	0,41	15,13	14,72	77	434	0,205	17,74
J14	0	0	0	1	1	0	0	61	22	11	10	58	48	11	2	9	20	11	3,52	1,15	0,49	7,42	6,93	54	415	0,147	13,01
J15	0	1	0	1	2	0	0	80	23	13	11	86	75	11	3	9	19	10	3,44	2,32	0,10	19,39	19,30	67	429	0,186	15,62
J16	2	2	2	2	2	2	0	306	21	8	11	73	62	12	3	9	24	15	4,16	5,55	0,20	72,09	71,89	211	452	0,677	46,68
J17	0	2	0	2	2	0	0	149	21	5	14	42	28	12	3	9	19	10	3,71	2,50	0,55	17,30	16,75	128	451	0,330	28,38
J18	1	0	1	0	0	1	0	78	25	13	15	64	49	11	2	9	17	8	4,41	8,61	2,04	78,30	76,26	67	449	0,174	14,92
J19	1	0	1	1	3	2	1	185	23	10	10	67	57	11	2	9	21	12	3,56	1,68	0,29	13,35	13,06	141	457	0,405	30,85
J20	1	1	1	1	2	1	0	89	21	7	14	55	41	12	3	9	20	11	3,73	2,50	1,20	16,44	15,25	72	446	0,200	16,14
J21	0	0	0	0	0	0	0	134	20	7	10	61	51	13	3	9	25	16	3,38	2,12	0,46	19,11	18,65	102	449	0,298	22,72
J22	1	0	1	1	1	1	0	68	22	12	13	73	60	12	3	9	24	15	3,44	1,28	2,01	7,45	5,44	63	424	0,160	14,86
J23	0	1	2	1	4	1	0	216	22	9	12	62	50	13	4	9	24	15	3,18	1,98	0,10	16,17	16,07	152	450	0,480	33,78
J24	0	0	0	0	0	0	0	84	21	10	15	69	54	11	2	9	16	7	4,35	1,96	2,09	14,21	12,12	80	435	0,193	18,39

Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

Segments	Length (m)	Slope	Right Exit/Entrance	Sideway	Bus_Stops	Bus Lane	FREQ UENCY	MEAN_Event_Speed (km/h)	STD_Event_Speed (km/h)	MIN_Event_Speed (km/h)	MAX_Event_Speed (km/h)	RANG_Event_Speed (km/h)	MEAN_Speed_Diff (km/h)	STD_Speed_Diff (km/h)	MIN_Speed_Diff (km/h)	MAX_Speed_Diff (km/h)	RANG_Speed_Diff (km/h)	MEAN_distance (m)	STD_distance (m)	MIN_distance (m)	MAX_distance (m)	RANG_distance (m)	Days	Range_Days	Mod_Freq_Brk	Prob_Brk
S1_up	220	3,182	0	0	0	1	41	51	12	29	83	54	-15	2	-21	-13	8	3,29	1,14	1,98	6,95	4,98	39	424	0,097	9,67
S2_up	175	1,111	2	0	1	1	39	47	13	28	95	67	-14	2	-22	-13	9	3,63	1,24	0,71	6,83	6,12	37	395	0,099	9,87
S3_up	153	1,325	0	1	1	1	5	39	12	27	56	28	-14	1	-15	-14	1	3,04	0,79	2,31	4,18	1,87	4	309	0,016	1,62
S4_up	45	-1,709	1	1	1	1	28	48	12	24	72	48	-15	2	-21	-13	8	3,42	1,37	0,40	7,57	7,17	25	368	0,076	7,61
S5_up	157	2,548	1	1	1	1	40	46	11	26	84	59	-14	1	-19	-13	6	4,99	6,95	2,01	44,66	42,65	37	357	0,112	11,20
S6_up	20	2,500	0	1	0	1	12	46	7	35	60	25	-14	1	-17	-13	4	3,32	1,30	2,12	6,65	4,53	12	389	0,031	3,08
S7_up	130	-1,538	0	1	0	1	49	47	13	29	79	50	-14	1	-20	-13	7	3,55	1,68	0,90	8,94	8,03	41	446	0,110	10,99
S8_up	545	0,367	3	1	2	1	37	49	10	30	88	58	-15	2	-20	-13	7	3,62	1,88	2,04	11,13	9,09	32	424	0,087	8,73
S9_up	146	2,740	2	1	1	1	68	57	19	27	108	81	-16	3	-23	-13	10	3,54	2,56	0,62	21,51	20,89	60	442	0,154	15,38
S10_up	328	0,915	4	0	1	1	45	51	19	24	103	79	-14	2	-23	-13	10	3,41	1,64	2,16	11,63	9,47	42	434	0,104	10,37
S11_up	320	2,188	2	0	2	1	34	66	22	26	107	80	-15	2	-20	-13	7	3,97	1,97	2,00	10,90	8,90	31	411	0,083	8,27
S12_up	190	2,105	1	0	1	0	27	54	14	24	85	61	-14	1	-20	-13	7	3,34	1,43	0,37	7,80	7,43	27	370	0,073	7,30
S13_up	45	2,222	0	0	1	0	4	52	11	39	65	26	-17	5	-23	-13	10	4,84	2,78	2,94	8,88	5,94	4	278	0,014	1,44
S14_up	177	1,695	2	0	0	0	22	57	12	39	84	45	-15	2	-22	-13	9	3,51	1,27	1,05	5,71	4,67	22	353	0,062	6,23
S15_up	428	2,804	3	0	2	0	28	46	12	28	83	54	-14	1	-18	-13	5	4,08	3,50	2,18	20,77	18,59	27	400	0,070	7,00
S16_up	182	1,648	2	0	0	0	38	64	20	29	102	73	-15	3	-24	-13	11	3,20	1,99	0,19	11,97	11,78	31	404	0,094	9,41
S17_up	221	2,262	1	0	1	0	3	67	16	55	85	30	-14	1	-14	-13	1	3,28	1,55	2,28	5,06	2,79	3	326	0,009	0,92
S1_down	220	-3,182	1	0	0	1	61	50	14	29	90	61	-14	1	-18	-13	5	4,32	4,93	2,11	40,66	38,54	55	417	0,146	14,63
S2_down	175	-1,111	1	0	1	1	54	52	12	25	79	55	-15	2	-21	-13	8	3,36	1,42	0,91	8,33	7,42	49	440	0,123	12,27
S3_down	153	-2,649	0	0	0	1	39	45	10	23	68	44	-14	1	-17	-13	4	4,11	1,86	2,16	11,74	9,57	35	439	0,089	8,88
S4_down	45	1,709	0	0	1	1	10	42	9	32	65	34	-14	1	-18	-13	4	3,39	0,83	2,49	5,02	2,52	9	320	0,031	3,13
S5_down	157	-2,548	1	0	0	1	34	53	14	29	82	53	-15	2	-20	-13	7	4,03	2,79	1,95	14,25	12,29	28	421	0,081	8,08
S6_down	20	-2,500	0	0	0	1	10	47	13	28	66	38	-14	1	-15	-13	2	3,61	1,35	2,14	6,10	3,96	10	309	0,032	3,24
S7_down	130	1,538	2	0	1	1	54	50	14	27	91	63	-15	2	-23	-13	10	3,59	2,17	0,49	15,52	15,03	49	433	0,125	12,47
S8_down	545	-0,367	8	0	3	1	58	44	11	25	75	49	-14	2	-23	-13	10	3,46	1,43	0,17	8,34	8,17	50	450	0,129	12,89
S9_down	146	-2,740	1	0	1	1	40	52	11	26	75	49	-14	2	-21	-13	8	3,27	1,58	2,07	11,63	9,56	35	371	0,108	10,78
S10_down	328	-0,915	3	0	2	1	30	56	15	26	82	57	-15	2	-21	-13	8	3,89	2,49	1,09	10,91	9,82	29	427	0,070	7,03
S11_down	320	-2,188	1	0	1	1	59	48	14	27	93	65	-15	3	-27	-13	14	3,48	1,78	0,06	12,34	12,27	50	415	0,142	14,22
S12_down	190	-2,105	2	0	1	1	26	54	15	35	86	51	-15	1	-18	-13	5	4,78	5,73	2,41	30,56	28,15	24	366	0,071	7,10
S13_down	45	-2,222	0	0	0	0	2	41	2	39	43	3	-13	0	-13	-13	0	2,86	0,59	2,45	3,28	0,83	2	152	0,013	1,32
S14_down	177	-1,695	1	0	1	0	30	47	12	30	79	49	-14	1	-17	-13	4	3,37	1,16	1,87	5,94	4,06	26	410	0,073	7,32
S15_down	428	-2,804	3	0	2	0	28	57	13	34	76	42	-14	2	-22	-13	9	3,26	1,11	1,34	5,44	4,09	23	430	0,065	6,51
S16_down	182	-1,648	0	0	0	0	11	61	15	40	87	47	-15	2	-20	-14	7	5,70	4,82	2,06	17,91	15,85	11	393	0,028	2,80
S17_down	221	-2,262	1	0	1	0	55	60	16	30	96	66	-14	1	-21	-13	8	3,51	1,51	1,90	9,85	7,95	45	430	0,128	12,79

Πίνακας 5.4 Συγκεντρωτικό Master Table απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

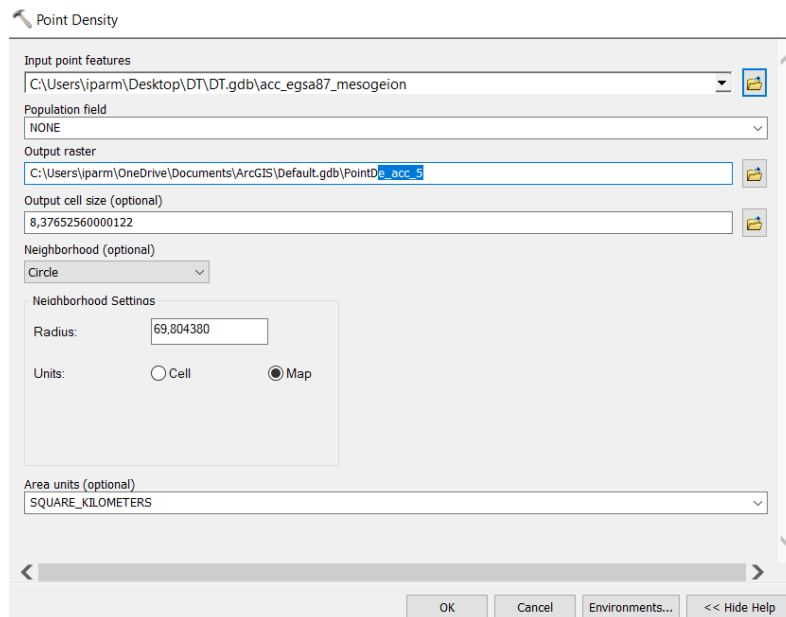
Segments	Length (m)	Slope	Right Exit/E ntranc e	Sidewa y	Bus_S tops	Bus Lane	FREQ UENC Y	MEAN _Event _Spee d (km/h)	STD_E vent_S peed (km/h)	MIN_E vent_S peed (km/h)	MAX_ Event_ Speed (km/h)	RANG E_Eve nt_Spe ed (km/h)	MEAN _Spee d_Diff (km/h)	STD_S peed_ Diff (km/h)	MIN_S peed_ Diff (km/h)	MAX_ Speed_ Diff (km/h)	RANG E_Spe ed_Diff (km/h)	MEAN _distan ce (m)	STD_di stance (m)	MIN_di stance (m)	MAX_d istance (m)	RANG E_dist ance (m)	Days	Range _Days	Mod_F req_Ac c	Prob_ Acc
S1_up	220	3,182	0	0	0	1	32	34	19	15	71	56	11	2	9	20	11	3,41	1,14	2,17	6,68	4,51	31	387	0,083	8,01
S2_up	175	1,111	2	0	1	1	25	19	4	16	30	14	10	1	9	15	6	11,12	39,45	2,05	200,43	198,38	22	348	0,072	6,32
S3_up	153	1,325	0	1	1	1	6	26	12	16	46	30	11	1	9	13	4	2,55	0,28	2,13	2,91	0,78	6	396	0,015	1,52
S4_up	45	-1,709	1	1	1	1	21	23	11	15	47	32	10	1	9	14	5	3,52	1,17	2,24	6,54	4,29	21	430	0,049	4,88
S5_up	157	2,548	1	1	1	1	32	21	8	15	53	38	11	2	9	16	7	3,53	2,04	2,15	11,62	9,47	30	434	0,074	6,91
S6_up	20	2,500	0	1	0	1	5	19	5	15	28	12	10	1	9	11	2	4,60	2,33	2,39	8,54	6,15	5	293	0,017	1,71
S7_up	130	-1,538	0	1	0	1	72	21	12	15	86	71	11	2	9	24	15	3,73	3,63	0,14	31,85	31,71	63	397	0,181	15,87
S8_up	545	0,367	3	1	2	1	58	38	17	15	73	58	11	2	9	22	13	3,26	1,15	1,02	6,61	5,58	46	436	0,133	10,55
S9_up	146	2,740	2	1	1	1	25	24	17	15	78	63	10	2	9	18	9	3,11	1,54	0,87	8,96	8,09	20	388	0,064	5,15
S10_up	328	0,915	4	0	1	1	61	26	16	15	76	61	11	1	9	14	5	3,47	1,91	2,02	14,86	12,84	56	433	0,141	12,93
S11_up	320	2,188	2	0	2	1	45	27	16	15	68	53	11	2	9	16	7	5,15	10,68	2,16	74,37	72,21	40	426	0,106	9,39
S12_up	190	2,105	1	0	1	0	11	36	23	15	88	73	11	1	9	13	4	3,48	1,80	2,20	8,74	6,54	10	274	0,040	3,65
S13_up	45	2,222	0	0	1	0	7	35	12	16	48	33	10	1	9	12	3	3,35	1,49	1,94	5,73	3,79	7	182	0,038	3,85
S14_up	177	1,695	2	0	0	0	25	42	20	16	78	62	11	3	9	18	9	4,07	4,20	0,65	20,50	19,85	21	379	0,066	5,54
S15_up	428	2,804	3	0	2	0	14	29	16	15	66	51	10	1	9	13	3	3,10	0,82	2,28	5,53	3,25	13	415	0,034	3,13
S16_up	182	1,648	2	0	0	0	13	27	18	16	69	53	11	4	9	24	15	4,40	4,93	0,95	20,32	19,38	13	339	0,038	3,83
S17_up	221	2,262	1	0	1	0	19	55	17	23	81	58	11	3	9	22	13	2,90	1,02	2,09	6,62	4,53	17	362	0,052	4,70
S1_down	220	-3,182	1	0	0	1	64	23	13	15	66	51	11	2	9	16	7	3,53	3,24	1,97	26,69	24,72	58	451	0,142	12,86
S2_down	175	-1,111	1	0	1	1	34	22	9	15	56	41	10	1	9	14	4	3,01	0,78	1,77	5,81	4,04	29	402	0,085	7,21
S3_down	153	-2,649	0	0	0	1	26	22	8	15	47	32	11	1	9	14	5	3,11	1,15	1,75	6,08	4,34	23	374	0,070	6,15
S4_down	45	1,709	0	0	1	1	8	22	14	16	57	41	10	2	9	14	5	2,89	0,52	2,10	3,71	1,60	6	351	0,023	1,71
S5_down	157	-2,548	1	0	0	1	40	21	10	15	68	53	11	1	9	14	5	3,98	2,64	2,21	18,69	16,48	37	444	0,090	8,33
S6_down	20	-2,500	0	0	0	1	7	43	17	23	66	43	10	1	9	11	2	2,93	0,55	2,12	3,56	1,43	5	410	0,017	1,22
S7_down	130	1,538	2	0	1	1	22	26	14	15	58	43	11	2	9	15	6	3,33	0,80	2,06	4,91	2,85	19	443	0,050	4,29
S8_down	545	-0,367	8	0	3	1	147	25	14	15	78	63	11	2	9	21	12	3,93	4,52	0,99	41,72	40,73	117	439	0,335	26,65
S9_down	146	-2,740	1	0	1	1	26	19	6	15	46	31	11	1	9	15	6	3,59	1,61	2,15	9,33	7,18	26	421	0,062	6,18
S10_down	328	-0,915	3	0	2	1	27	27	19	11	92	81	11	3	9	20	11	3,08	1,85	1,21	11,80	10,59	25	399	0,068	6,27
S11_down	320	-2,188	1	0	1	1	42	22	10	15	47	32	11	2	9	15	6	3,84	3,22	2,09	19,29	17,19	37	446	0,094	8,30
S12_down	190	-2,105	2	0	1	1	15	46	20	15	69	54	10	2	9	14	5	3,53	0,91	2,37	5,75	3,38	13	425	0,035	3,06
S13_down	45	-2,222	0	0	0	0	16	19	5	15	33	18	10	1	9	12	3	3,14	0,58	2,18	4,17	1,99	14	371	0,043	3,77
S14_down	177	-1,695	1	0	1	0	17	28	19	15	72	57	11	1	9	13	4	2,93	0,77	1,86	5,16	3,30	15	422	0,040	3,55
S15_down	428	-2,804	3	0	2	0	14	29	16	15	66	51	10	1	9	13	3	3,10	0,82	2,28	5,53	3,25	14	359	0,039	3,90
S16_down	182	-1,648	0	0	0	0	10	39	16	15	55	40	11	3	9	18	9	2,68	0,52	2,11	3,65	1,54	9	406	0,025	2,22
S17_down	221	-2,262	1	0	1	0	12	33	23	15	77	62	11	3	9	18	9	3,79	1,13	2,50	6,08	3,58	10	382	0,031	2,62

5.6 Απεικόνιση Παρατηρήσεων

Στο παρακάτω υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν διάφορα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από την απεικόνιση των φαινομένων πάνω στο χάρτη μέσω διάφορων εργαλείων του ArcMap.

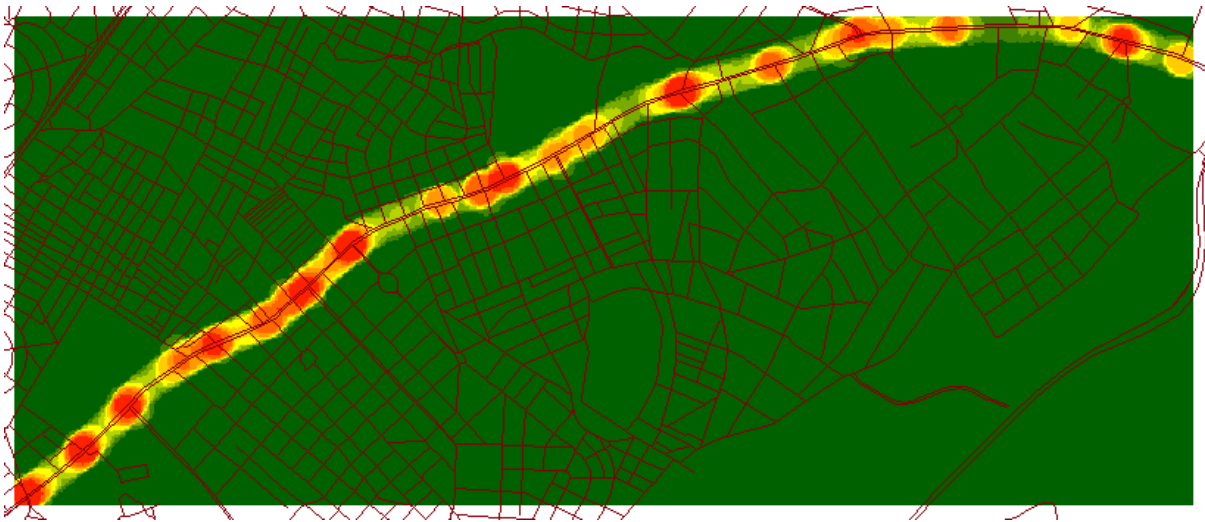
5.6.1 Πυκνότητα Παρατηρήσεων

Αρχικά εξετάστηκε η πυκνότητα των φαινομένων πάνω στην περιοχή έρευνας. Στόχος ήταν η δημιουργία χαρτών μέσω του εργαλείου **Point Density**, θέτοντας ως input τις δυο βάσεις δεδομένων που παρασχέθηκαν από την OSeven και συγκεκριμένα μόνο τα σημεία τα οποία αφορούν στη Λεωφόρο Μεσογείων, όπως είχαν οριστεί σε προηγούμενα κεφάλαια.

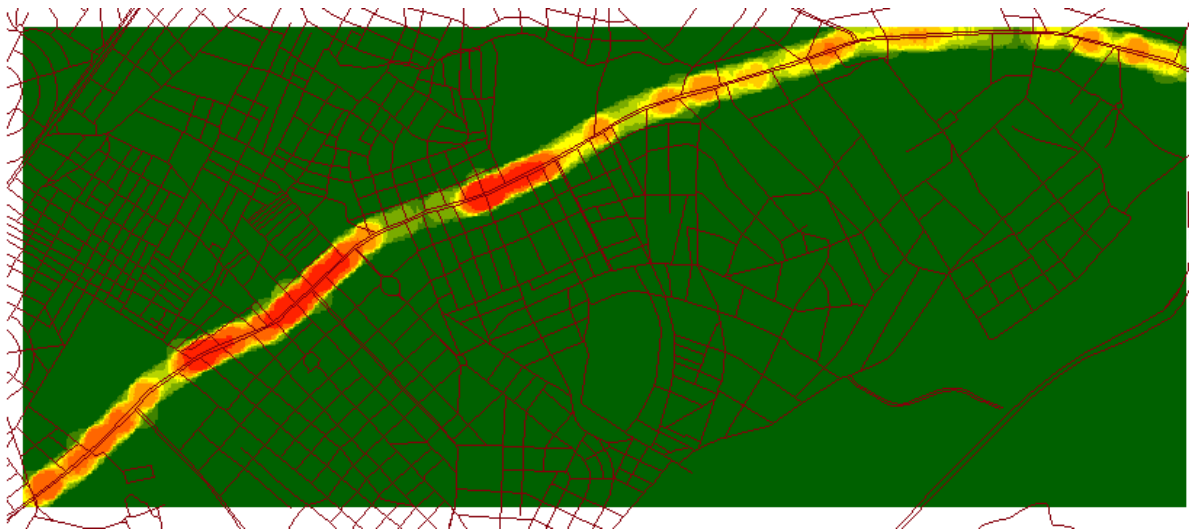


Εικόνα 5.15 Εργαλείο Point Density

Ο έλεγχος της πυκνότητας των παρατηρήσεων **επιβεβαίωσε τις επιλογές** που έγιναν στο διαχωρισμό και σχεδιασμό των περιοχών της Λεωφόρου Μεσογείων. Όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες, η απόφαση να εξεταστούν διαφορετικά οι περιοχές σε κόμβο και οι περιοχές σταθερές ροής ήταν σωστή καθώς είναι ξεκάθαρη η διαφορά των χωρικών προτύπων που εμφανίζονται στις διαφορετικές περιοχές από το χάρτη. Επιπλέον, η εκτίμηση ότι οι ζώνες επιρροής σε περιοχές κόμβου είναι κυκλικής μορφής επιβεβαιώθηκε. Τέλος, οι δυο χάρτες μπορούν να υποδείξουν και τα πιο φορτισμένα σημεία του οδικού άξονα, αλλά καθώς τα στοιχεία τα οποία εισήχθησαν δεν είναι χρονικά σταθμισμένα, η ανάδειξη των πιο φορτισμένων περιοχών θα παρατεθεί στη συνέχεια με διαφορετικούς χάρτες.



Χάρτης 5.6 Χάρτης πυκνότητας απότομων επιταχύνσεων



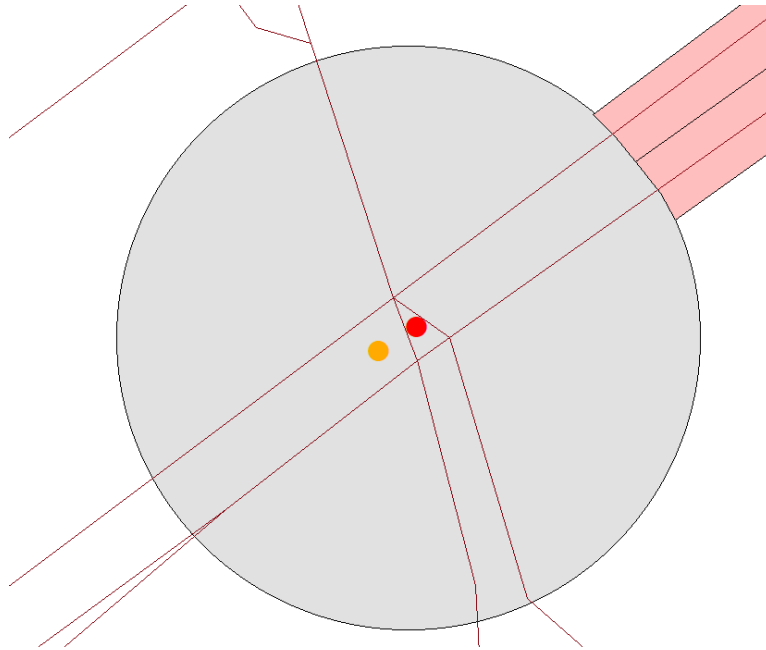
Χάρτης 5.7 Χάρτης πυκνότητας απότομων επιβραδύνσεων

5.6.2 Χωρικοί Μέσοι Παρατηρήσεων

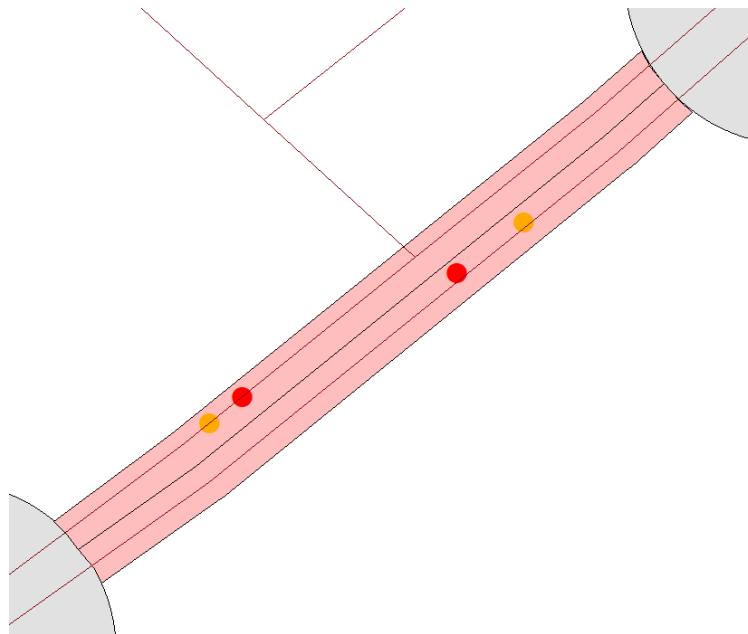
Στη συνέχεια αποφασίστηκε να υπολογιστεί ο χωρικός μέσος που έχει το σύνολο των παρατηρήσεων ανά περιοχή. Ο χωρικός μέσος δείχνει ουσιαστικά το κεντροειδές των παρατηρήσεων πάνω στο επίπεδο για κάθε περιοχή και μπορεί να υποδείξει το σημείο γύρω από το οποίο συγκλίνουν οι περισσότερες παρατηρήσεις. Επομένως είναι ένα καλό σημείο γύρω από το οποίο μπορούν να προταθούν **ενέργειες βελτίωσης της οδικής ασφάλειας**, όπως καλύτερη αστυνόμευση, τοποθέτηση κάμερας για ελέγχους κυκλοφορίας, Real-Time παρακολούθηση κ.α., ειδικά στις περιοχές που έδειξαν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης απότομου συμβάντος.

Δουλεύοντας πάλι επαναληπτικά χρησιμοποιώντας το **Διάγραμμα 5.1**, και προσθέτοντας την εντολή **Mean Center**, δημιουργήθηκαν τα νέα layer με τους χωρικούς μέσους κάθε περιοχής ανά εξεταζόμενη βάση. Πάλι, ακολουθήθηκε η διαδικασία ενοποίησης των διαφορετικών Layers με την εντολή **Merge**. Κατά συνέπεια κάθε περιοχή απέκτησε, δυο χωρικούς μέσους, έναν λόγω απότομων επιταχύνσεων και ένα λόγω απότομων επιβραδύνσεων. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται με

κόκκινο χρώμα για απότομες επιταχύνσεις και με πορτοκαλί χρώμα για απότομες επιβραδύνσεις οι χωρικοί μέσοι σε τυχαία περιοχή κόμβου καθώς και αντίστοιχα οι χωρικοί μέσοι σε τυχαίες περιοχές μεταξύ κόμβων σε άνοδο και κάθοδο αντίστοιχα.



Εικόνα 5.16 Χωρικοί Μέσοι σε περιοχή κόμβου



Εικόνα 5.17 Χωρικοί Μέσοι σε περιοχή μεταξύ κόμβων σε άνοδο και κάθοδο

5.6.3 Χρωματική Διαβάθμιση Οδικού Άξονα

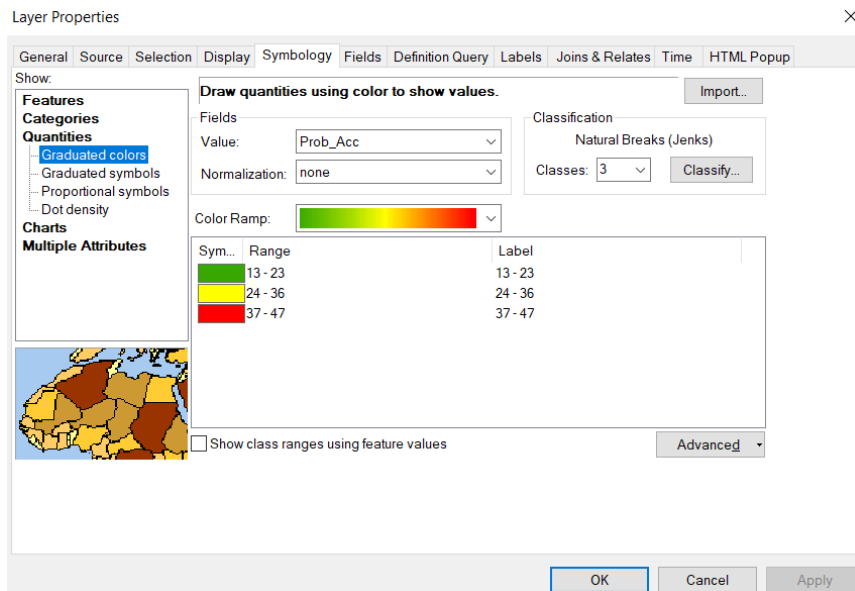
Στο υποκεφάλαιο 5.3 είχε αναφερθεί η χρησιμότητα του attribute table των περιοχών που έχουν οριστεί από το σχεδιασμό. Στο attribute table πρακτικά μπορούν να προστεθούν όλες οι παράμετροι οι οποίοι συντέλεσαν τα τέσσερα master tables. Αυτό

γίνεται με την εντολή **Add Field** υπό την προϋπόθεση ότι ο το αρχείο είναι ανοιχτό για επεξεργασία (editing) μέσω του **Editor**. Στην προσπάθεια να δημιουργηθεί μια χρωματική διαβάθμιση (color grading) για τη Λεωφόρο Μεσογείων, αποφασίστηκε να αξιοποιηθούν οι μεταβλητές **Prob_Acc** & **Prob_Brk** αντίστοιχα, σε περιοχή κόμβου και σε περιοχή μεταξύ κόμβων, δηλαδή να αξιολογηθεί ο υφιστάμενος οδικός άξονας βάση της πιθανότητας να γίνει τουλάχιστον ένα απότομο συμβάν ανά ημέρα. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το Attribute table των περιοχών κόμβου όπως αυτό προέκυψε μετά τη δημιουργία των Master Tables, δηλαδή και με τα στοιχεία πιθανότητας επί τοις εκατό όπως υπολογίστηκαν.

Junctions						
	NAME	OBJECTID *	SHAPE_Length	SHAPE_Area	Prob_Acc	Prob_Brk
	J1	21	314,159265	7853,981634	47	8
	J2	20	314,159265	7853,981634	41	9
	J3	19	314,159265	7853,981634	40	6
	J4	22	308,104341	7294,805865	13	5
	J5	23	308,420947	7321,679713	19	16
	J6	18	314,159265	7853,981634	33	14
	J7	17	314,159265	7853,981634	31	13
	J8	16	314,159241	7853,980437	27	19
	J9	15	314,159265	7853,981634	36	13
	J10	14	314,159265	7853,981634	40	10
	J11	13	314,159265	7853,981634	32	26
	J12	12	314,159288	7853,982752	33	13
	J13	11	314,159265	7853,981634	18	7
	J14	24	266,228045	5640,24206	13	5
	J15	10	314,159265	7853,981634	16	6
	J16	9	314,159265	7853,981634	47	6
	J17	8	314,159265	7853,981634	28	4
	J18	7	314,159265	7853,981634	15	9
	J19	6	314,159188	7853,977755	31	7
	J20	5	314,159265	7853,981634	16	5
	J21	4	314,159265	7853,981634	23	4
	J22	3	314,159265	7853,981634	15	5
	J23	2	314,159265	7853,981634	34	3
	J24	1	314,159265	7853,981634	18	6

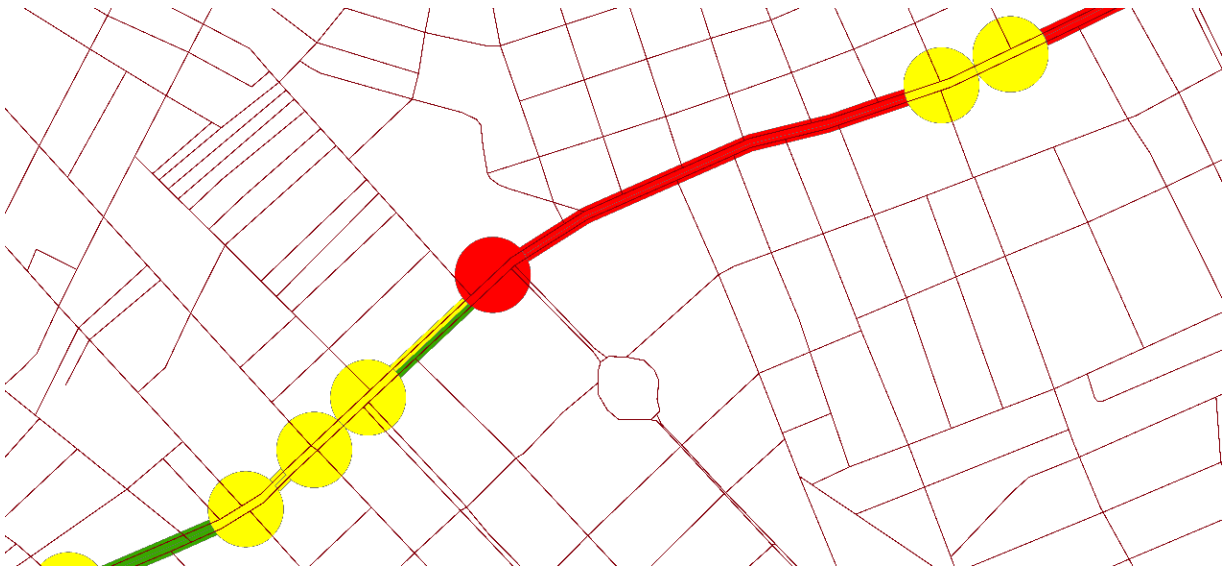
Εικόνα 5.18 Τελικό Attribute Table για κόμβους

Έχοντας λοιπόν το Attribute Table του Layer για τις περιοχές έτοιμο, είναι εφικτό πλέον να αποφασιστεί ο τρόπος με τον οποίο θα απεικονιστούν τα στοιχεία. Πατώντας δεξί κλικ στο layer πηγαίνοντας στα **Properties** και στη συνέχεια στο παράθυρο **Symbology** εμφανίζονται όλοι οι εναλλακτικοί τρόποι παρουσίασης του εξεταζόμενου Layer. Η επιλογή **Quantities** → **Graduated Colors** έγινε για να δημιουργηθεί μια χρωματική κλίμακα της πιθανότητας εμφάνισης απότομου συμβάντος στις περιοχές. Ορίστηκε ως **Field Value** η πιθανότητα καθώς και ο αριθμός των κλάσεων. Στη παρακάτω εικόνα υποδεικνύεται ότι για την περίπτωση κόμβου και πιθανότητα τουλάχιστον μια απότομης επιτάχυνσης ανά ημέρα ορίστηκαν τρεις κλάσεις. Αντίστοιχες παράμετροι ακολουθήθηκαν και στις υπόλοιπες περιπτώσεις.

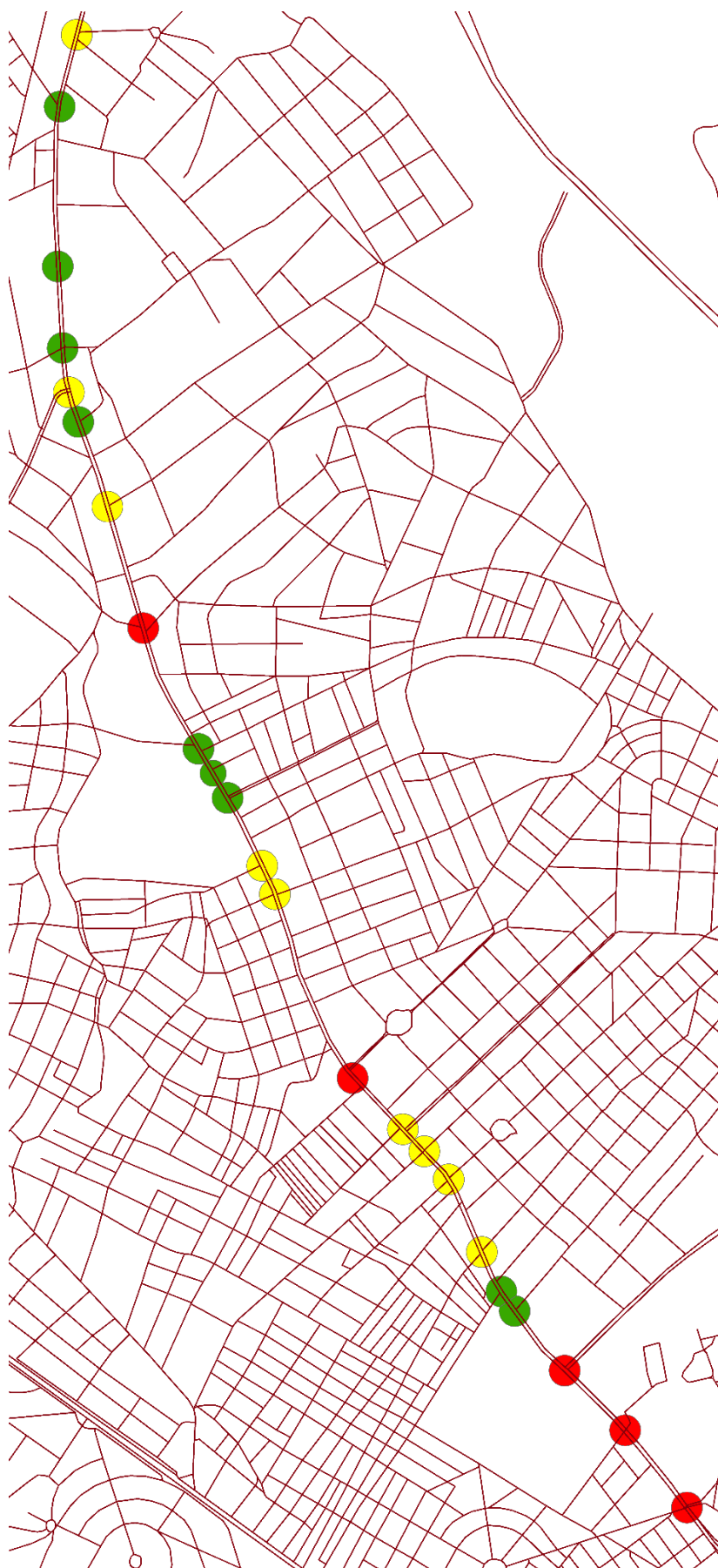


Εικόνα 5.19 Ορισμός χρωματικής κλίμακας ανά περιοχή σε ArcMap

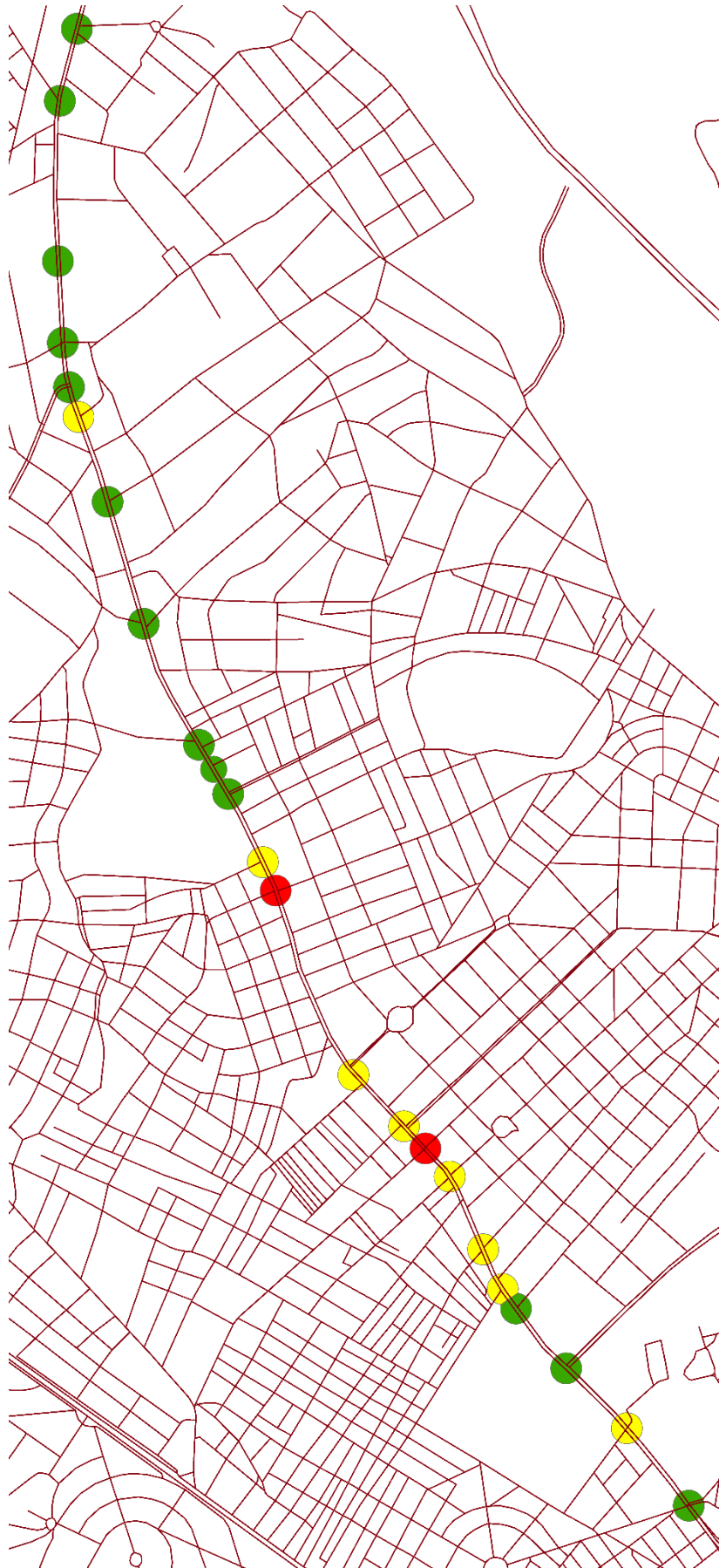
Ακολουθώντας αυτήν τη διαδικασία για τα δύο είδη περιοχών και τα δυο είδη απότομων συμβάντων προκύπτουν οι παρακάτω **τέσσερις χάρτες** που ορίζουν τις λιγότερο επικίνδυνες και περισσότερο επικίνδυνες περιοχές του οδικού άξονα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται τυχαία περιοχή σε μεγέθυνση. Προφανώς στο color grading που παρατίθεται οι κόκκινες περιοχές είναι αυτές με αυξημένη πιθανότητα απότομου συμβάντος, οι κίτρινες με μέτρια πιθανότητα και οι πράσινες με μικρή πιθανότητα.



Χάρτης 5.8 Ενδεικτική περιοχή σε μεγέθυνση



Χάρτης 5.9 Πιθανότητα απότομης επιτάχυνσης σε κόμβο χρωματικά



Χάρτης 5.10 Πιθανότητα απότομης επιβράδυνσης σε κόμβο χρωματικά



Χάρτης 5.11 Πιθανότητα απότομης επιτάχυνσης σε περιοχή μεταξύ κόμβων
χρωματικά

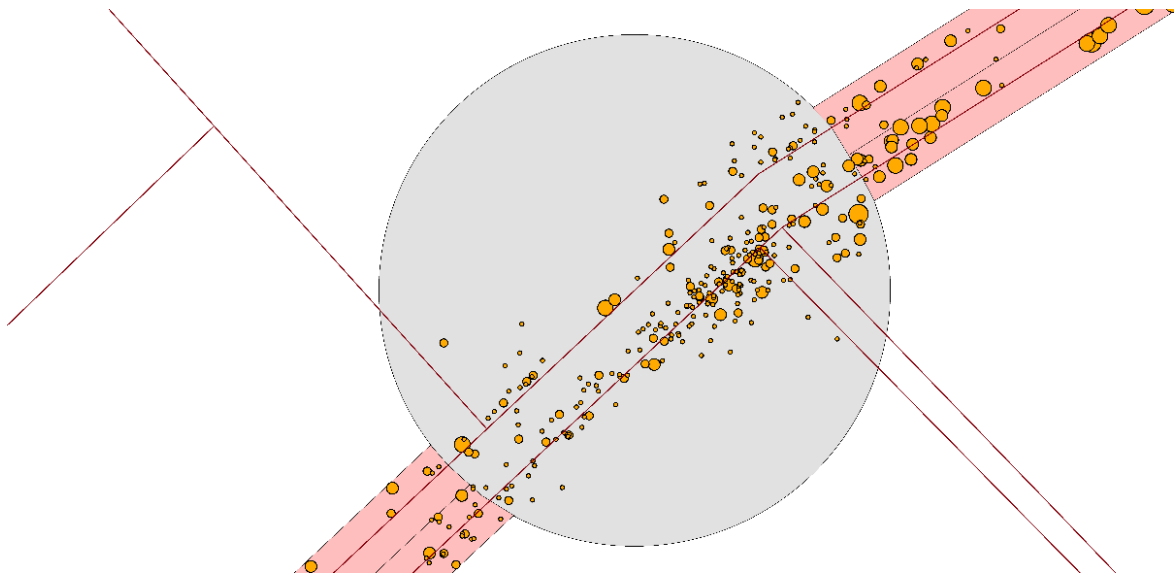


Χάρτης 5.12 Πιθανότητα απότομης επιβράδυνσης σε περιοχή μεταξύ κόμβων χρωματικά

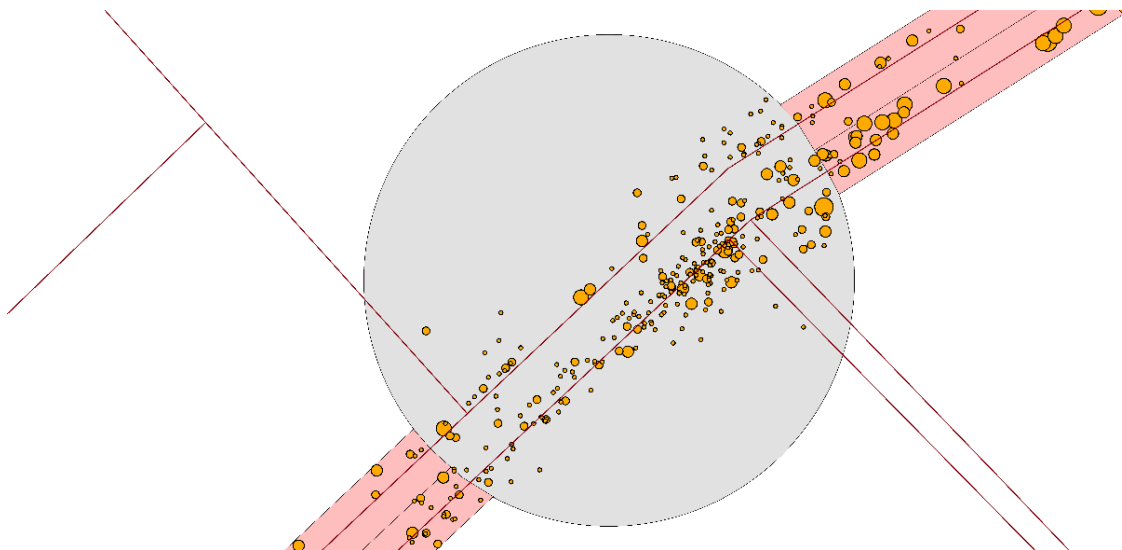
5.6.4 Απεικόνιση Παρατηρήσεων με Βαρύτητα

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια απεικόνισης των στοιχείων, αυτή φορά χρησιμοποιώντας βαρύτητα στο κάθε στοιχείο. Όπως έχει αναφερθεί οι στήλες των βάσεων που περιγράφουν την οδική συμπεριφορά είναι οι **distance**, **SpeedDiff** και **Event Speed**. Κατά συνέπεια πραγματοποιήθηκε μια τελική απεικόνιση των φαινομένων αλλάζοντας τη μάζα του κάθε σημείου στο χάρτη ανάλογα με το πόσο πιο έντονη ήταν η τιμή του κάθε στοιχείου, σε αυτές τις παραπάνω παραμέτρους. Πάλι μέσω του **Symbology**, ωστόσο αυτή τη φορά χρησιμοποιήθηκαν **Graduated Symbols**. Ο συνδυασμός των παρακάτω χαρτών με τους προηγούμενους για πιθανότητα απότομου event, μπορεί να βοηθήσει να εξαχθούν καλύτερα συμπεράσματα για κάθε περιοχή καθώς οι προηγούμενοι χάρτες μόνοι τους δεν λαμβάνουν υπόψιν τη βαρύτητα των συμβάντων.

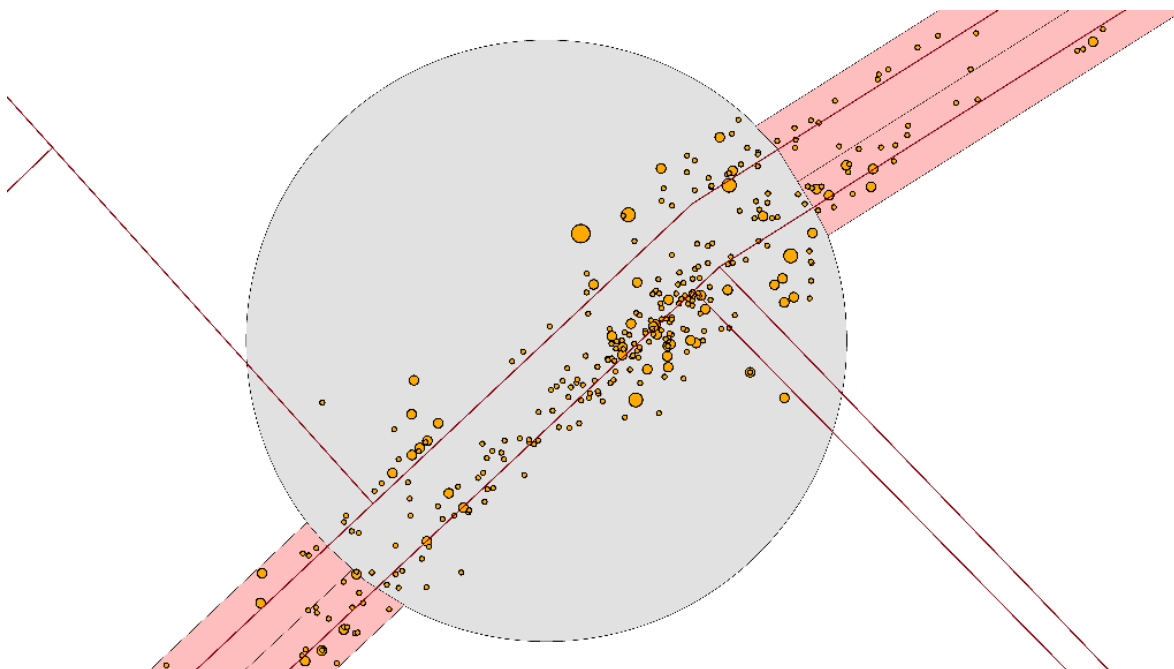
Παρατίθενται ενδεικτικά για ένα τυχαίο κόμβο διαφορετικοί χάρτες έχοντας λάβει υπόψιν τη βαρύτητα της κάθε παραμέτρου για επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αντίστοιχα.



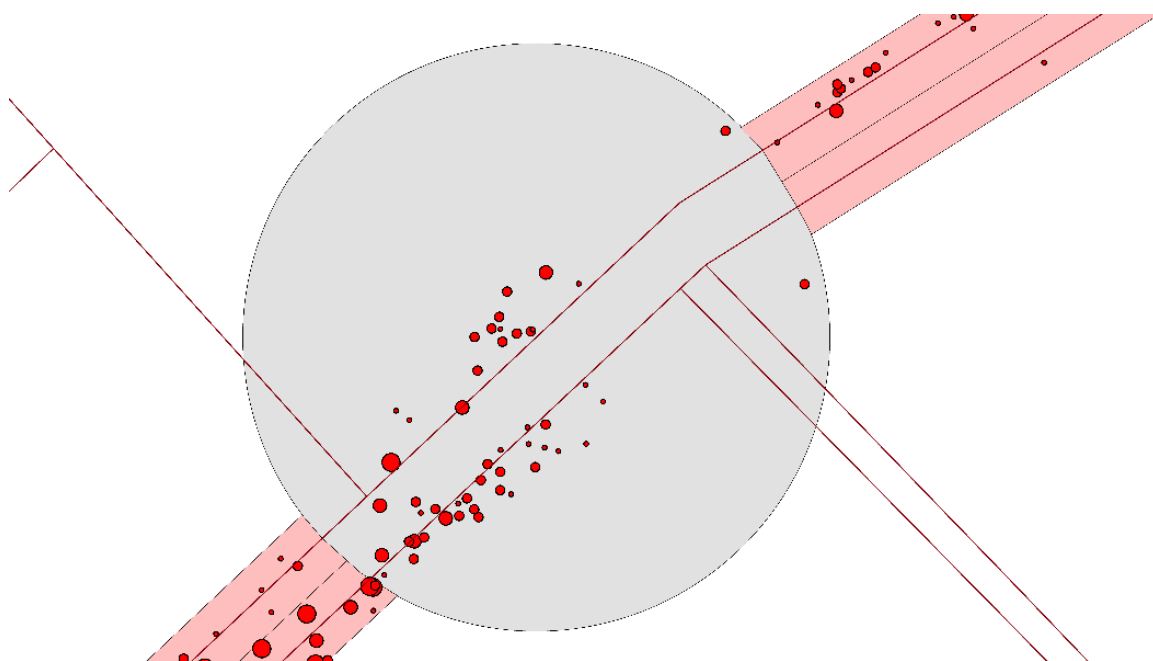
Χάρτης 5.13 Απότομες επιταχύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στην ταχύτητα συμβάντος



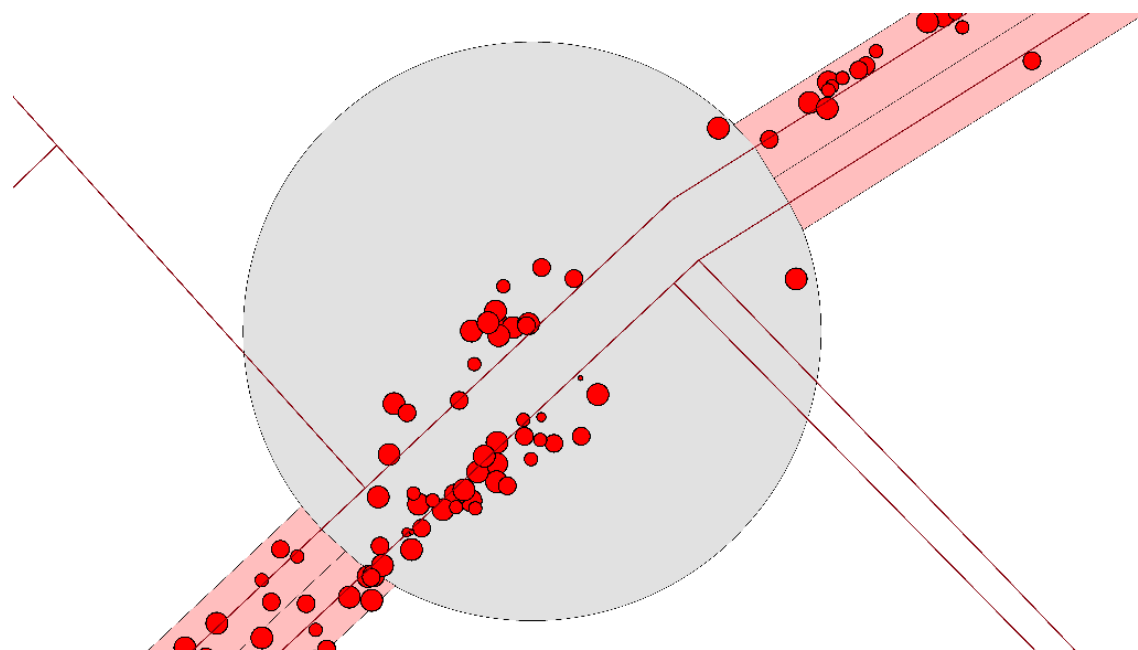
Χάρτης 5.14 Απότομες επιταχύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στη διάφορα ταχύτητα συμβάντος



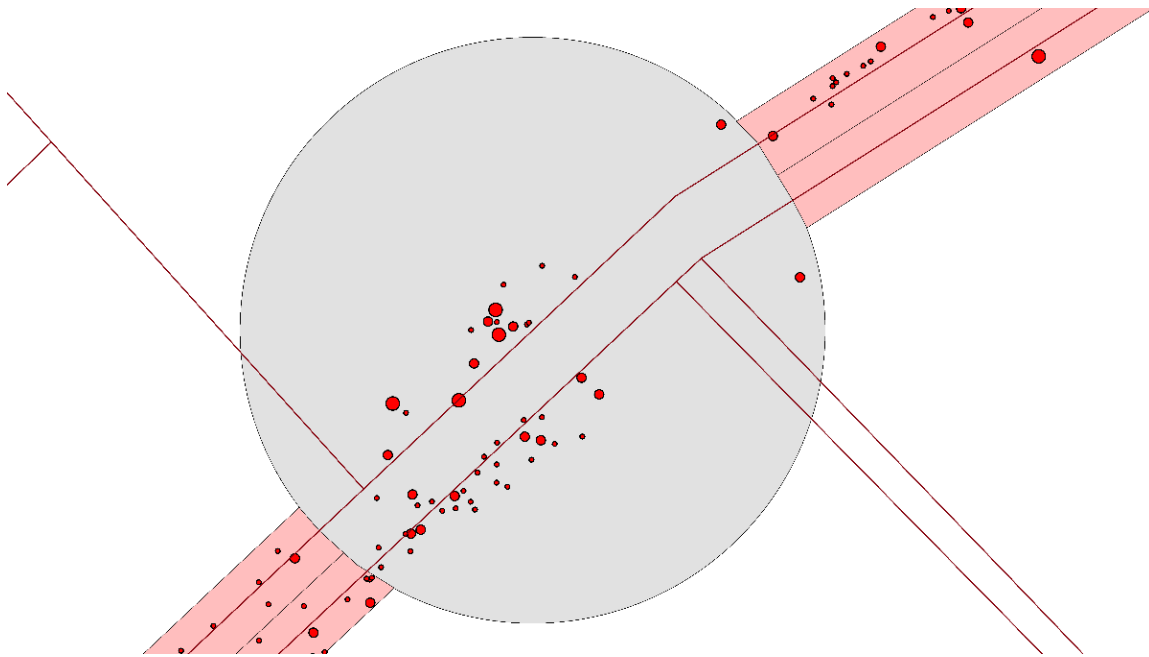
Χάρτης 5.15 Απότομες επιταχύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στην απόσταση συμβάντος



Χάρτης 5.16 Απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στη ταχύτητα συμβάντος



Χάρτης 5.17 Απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στη διαφορά ταχύτητα συμβάντος



Χάρτης 5.18 Απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή κόμβου με βαρύτητα στην απόσταση συμβάντος

5.6.5 Σύνοψη Αποτελεσμάτων Απεικόνισης Παρατηρήσεων

Από τους παραπάνω χάρτες, ύστερα από παρατήρηση των φαινομένων προέκυψαν μερικά συμπεράσματα σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση του οδικού άξονα, σημαντικότερα των οποίων ήταν τα εξής:

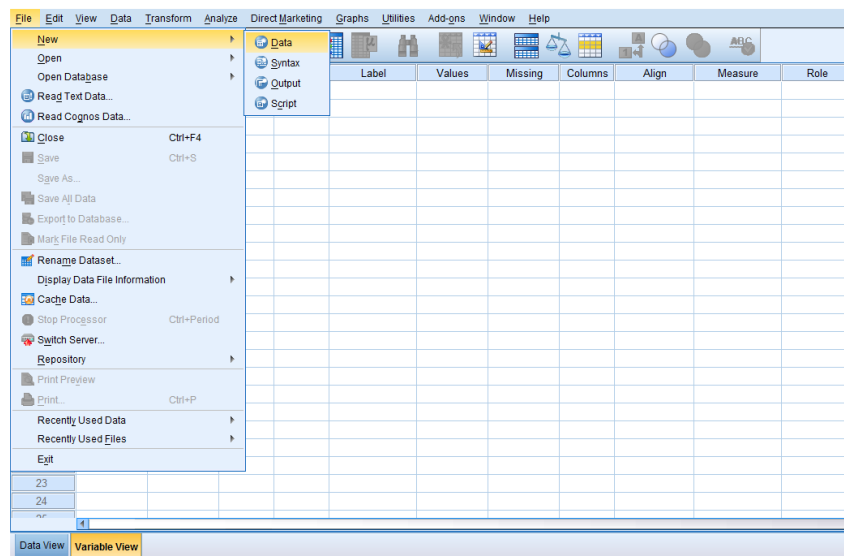
- Η συσσώρευση των περισσότερων απότομων συμβάντων, όπως φαίνεται από τους χάρτες πυκνοτήτων, είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε περιοχές κόμβου. Αυτό υποδεικνύει την ορθότητα της μελέτης σε επίπεδο περιοχής
- Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι στα τμήματα του οδικού άξονα με διαδοχικούς κόμβους ανά μικρά χιλιομετρικά διαστήματα, η πυκνότητα απότομων συμβάντων αυξάνεται σημαντικά, δημιουργώντας μεγάλες περιοχές αυξημένης επικινδυνότητας στο χάρτη.
- Οι χωρικοί μέσοι των παρατηρήσεων σε περιοχές μεταξύ κόμβων μάς έδειξαν πως οι απότομες επιβραδύνσεις τείνουν κατά κανόνα προς την είσοδο του κόμβου και όχι στην έξοδο. Στην περίπτωση των απότομων επιταχύνσεων, ενώ πάλι φαίνεται να τείνουν προς την είσοδο του κόμβου, στις περιοχές με αυξημένο μήκος η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης ταχύτητας φαίνεται να κάνει το παραπάνω συμπέρασμα λιγότερο αξιόπιστο.
- Όπως και ήταν αναμενόμενο σε περιοχές κόμβου οι χωρικοί μέσοι των απότομων συμβάντων τείνουν προς το κεντροειδές του εξεταζόμενου κόμβου.
- Βάζοντας βαρύτητα στις παρατηρήσεις μας, έγινε αντιληπτό πως τα απότομα συμβάντα που συνέβησαν με μεγαλύτερες ταχύτητες, προέκυψαν σε περιοχές μεταξύ κόμβων.

- Ωστόσο, η διαφορά ταχύτητας συμβάντος που υποδεικνύει το πόσο έντονο ήταν το συμβάν, φαίνεται να είναι πιο αυξημένη σε περιοχές κόμβου σε ότι αφορά τις απότομες επιταχύνσεις.
- Στις απότομες επιβραδύνσεις η διάφορά ταχύτητος συμβάντων φαίνεται να συμβαίνει συχνότερα κατά την προσέγγιση του οδηγού σε περιοχή κόμβου αλλά όχι μέσα σε αυτή.
- Από τη χρωματική διαβάθμιση του οδικού άξονα παρατηρήθηκε ότι 14 κόμβοι έχουν πιθανότητα μικρότερη από 8 τοις εκατό να πραγματοποιηθεί απότομη επιβράδυνση, 8 κόμβοι έχουν πιθανότητα από 9 έως 16 τοις εκατό και 2 κόμβοι από 17 έως 26 τοις εκατό. Αντίστοιχα στην περίπτωση των απότομων επιταχύνσεων 10 κόμβοι έχουν πιθανότητα μικρότερη από 23 τοις εκατό να πραγματοποιηθεί απότομη επιτάχυνση, 9 κόμβοι έχουν πιθανότητα από 24 έως 36 τοις εκατό και 5 κόμβοι από 37 έως 49 τοις εκατό.
- Στις περιοχές μεταξύ κόμβων, 8 περιοχές έχουν πιθανότητα μικρότερη από 3 τοις εκατό να πραγματοποιηθεί απότομη επιβράδυνση, 17 περιοχές έχουν πιθανότητα από 3 έως 9 τοις εκατό και 9 περιοχές από 10 έως 14 τοις εκατό. Αντίστοιχα, παρατηρείται πως στις απότομες επιβραδύνσεις 25 περιοχές έχουν πιθανότητα μικρότερη από 7 τοις εκατό να πραγματοποιηθεί απότομη επιβράδυνση, 8 περιοχές έχουν πιθανότητα από 8 έως 16 τοις εκατό και μόνο μια περιοχή από 17 έως 30 τοις εκατό.

6. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

6.1 Λογισμικό Στατιστικής Ανάλυσης IBM SPSS 21.0

Έχοντας στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύξει τα τέσσερα Master Tables πάνω στα οποία θα γίνει η στατιστική ανάλυση σε αρχεία excel, με μεταβλητές χωρικού και συμπεριφορικού χαρακτήρα, επόμενο βήμα είναι η **ανάπτυξη των μοντέλων**. Αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού IBM SPSS 21.0. Με το συγκεκριμένο λογισμικό ήταν δυνατή η επεξεργασία των πινάκων από excel με την εισαγωγή τους στο πεδίο δεδομένων (data view) ανάλυσης να γίνεται όπως απεικονίζεται παρακάτω. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εισάγεται το master table για απότομες επιβραδύνσεις σε κόμβο.



Εικόνα 6.1 Τρόπος Εισαγωγής δεδομένων στο SPSS

	Junctions	NoLeft_Exits	NoLeft_Entrances	NoRight_Exits	NoRight_Entrances	NoIncoming_Lanes	NoOutgoing_Lanes	Sideway	FREQUENCY_B	MEAN_Event_Speed	STD_Event_Speed	MIN_Event_Speed	MAX_Event_Speed
1	J1	1,000	2,000	1,000	2,000	5,000	1,000	0,000	33,000	45,921	19,669	26,787	26,035
2	J2	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	2,000	0,000	42,000	40,483	9,750	26,217	24,977
3	J3	2,000	2,000	2,000	2,000	5,000	2,000	0,000	24,000	40,228	9,834	24,977	24,977
4	J4	0,000	0,000	1,000	0,000	2,000	0,000	1,000	22,000	43,434	10,556	25,948	26,722
5	J5	0,000	0,000	1,000	1,000	2,000	1,000	1,000	85,000	50,123	13,116	26,722	26,722
6	J6	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	66,000	43,426	8,485	26,722	26,722
7	J7	0,000	2,000	0,000	2,000	2,000	0,000	1,000	64,000	47,190	14,160	26,722	26,722
8	J8	1,000	0,000	2,000	1,000	2,000	1,000	1,000	104,000	44,575	10,949	26,722	26,722
9	J9	1,000	1,000	2,000	1,000	2,000	1,000	1,000	63,000	43,675	13,071	23,422	23,422
10	J10	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	50,000	40,731	7,686	25,726	25,726
11	J11	0,000	2,000	1,000	2,000	3,000	1,000	1,000	164,000	43,127	10,830	23,661	23,661
12	J12	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	2,000	1,000	64,000	46,578	15,759	24,098	24,098
13	J13	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	31,000	53,559	18,439	24,631	24,631
14	J14	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	19,000	52,637	10,904	32,760	32,760
15	J15	0,000	1,000	0,000	1,000	2,000	0,000	0,000	31,000	49,349	9,661	32,882	32,882
16	J16	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	0,000	25,000	39,283	9,027	23,674	23,674
17	J17	0,000	2,000	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	14,000	43,345	8,506	26,892	26,892
18	J18	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	42,000	40,978	10,245	24,381	24,381
19	J19	1,000	0,000	1,000	1,000	3,000	2,000	1,000	21,000	40,579	10,235	24,807	24,807
20	J20	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	1,000	0,000	25,000	47,570	21,817	23,429	23,429
21	J21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	18,000	43,440	11,122	28,908	28,908
22	J22	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	14,000	45,288	20,593	25,301	25,301
23	J23	0,000	1,000	2,000	1,000	4,000	1,000	0,000	11,000	42,569	18,850	24,221	24,221
24	J24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	27,000	62,985	18,434	30,384	30,384

Εικόνα 6.2 Πεδίο Δεδομένων SPSS (Data view)

Στη συνέχεια **καθορίστηκε το όνομα, ο τύπος, και ο αριθμός των ψηφίων** κάθε μεταβλητής στο πεδίο των μεταβλητών (variable view). Επισημαίνεται ότι, το πρόγραμμα αυτό αναγνωρίζει μόνο λατινικούς χαρακτήρες και όλες οι στήλες αποτελούνται από αριθμούς και όχι από κείμενο. Επίσης, πραγματοποιήθηκε διάκριση κάθε μεταβλητής σε συνεχή (scale) και διακριτή (nominal). Για παράδειγμα η μεταβλητή *sideway* είναι διακριτή με τιμές 0 και 1, ενώ η μεταβλητή *Mean_Event_Speed* είναι συνεχής.

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	Junctions	String	3	0		None	None	7	Left	Nominal	Input
2	NoLeft_Exits	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
3	NoLeft_Entr...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
4	NoRight_Exits	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
5	NoRight_En...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
6	NoIncoming...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
7	NoOutgoing...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
8	Sideway	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Nominal	Input
9	FREQUEN...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
10	MEAN_Eve...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
11	STD_Event...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
12	MIN_Event...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
13	MAX_Event...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
14	RANGE_Ev...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
15	MEAN_Spe...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
16	STD_Speed...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
17	MIN_Speed...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
18	MAX_Speed...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
19	RANGE_Sp...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
20	MEAN_dist...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
21	STD_distance	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
22	MIN_distance	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
23	MAX_distance	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
24	RANGE_dis...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
25	Days	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
26	Mod_Freq...	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
27	Range_Days	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input
28	Prob_Brk	Numeric	12	3		None	None	12	Right	Scale	Input

Εικόνα 6.3 Πεδίο Δεδομένων SPSS (Variable view)

6.2 Ανάπτυξη Μεθοδολογίας

6.2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας λόγω της φύσης των εξαρτημένων μεταβλητών επιλέχθηκε η **γραμμική παλινδρόμηση** ως ιδανικότερη μέθοδος για την ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων.

Λόγω του **μεγάλου πλήθους των μεταβλητών** αναπτύχθηκαν αρκετά αποδεκτά μοντέλα τα οποία περιέγραφαν ικανοποιητικά τα χαρακτηριστικά των περιοχών της έρευνας. Ωστόσο για την καλύτερη ερμηνεία των φαινομένων, στόχος ήταν η ανάπτυξη μόνο δύο διαφορετικών μοντέλων ανάλογα με τον τύπο της περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι αναζητήθηκαν οι παράμετροι που επηρεάζουν τα απότομα γεγονότα σε διαφορετικές περιοχές ανεξαρτήτως είδους απότομου συμβάντος.

Προφανώς, αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι **στατιστικοί έλεγχοι** που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου, παρατίθενται τα αποτελέσματα που

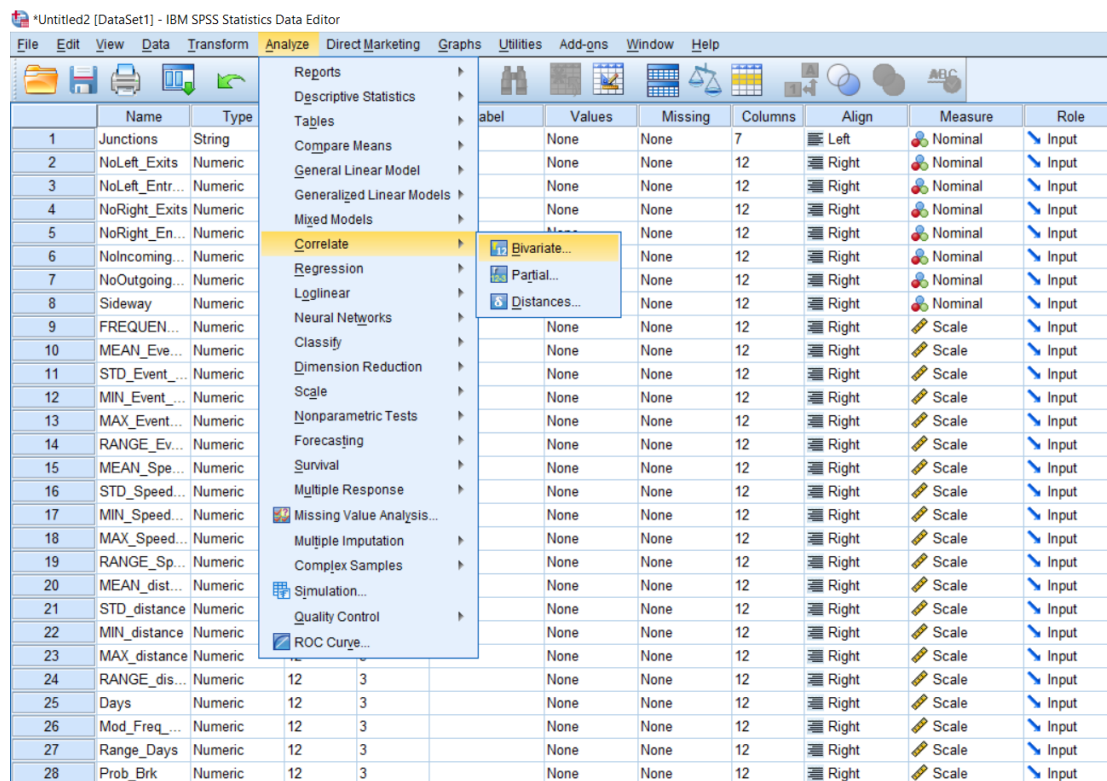
προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών, η περιγραφή τους, και η ερμηνεία τους με βάση το γενικότερο πλαίσιο της έρευνας.

6.2.2 Έλεγχος Συσχέτισης

Εξετάστηκε σε πρώτη φάση η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Σε αυτό το σημείο επιδιώκεται η **μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών και μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών**. Απόλυτες τιμές των συντελεστών συσχέτισης κοντά στη μονάδα δείχνουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν φανερώνουν ανύπαρκτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Στην πράξη θεωρούμε μικρή συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών όταν η απόλυτη τιμή του δείκτη συσχέτισης κατά Pearson r είναι μικρότερη ή ίση με $0.5 \sim 0.6$ ($r \leq 0.5 \sim 0.6$).

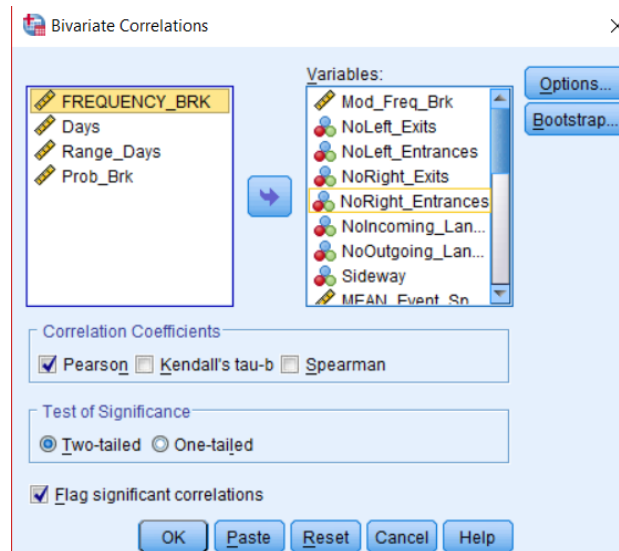
Για τον έλεγχο ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία στο πρόγραμμα SPSS, όπως απεικονίζεται και στις σχετικές εικόνες.

analyze → correlate → bivariate



Εικόνα 6.4 Επιλογή εντολής για τον έλεγχο συσχέτισης των μεταβλητών

Οι μεταβλητές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας εισάγονται στο πεδίο Variables. Είναι προφανές ότι μεταβλητές όπως το FREQUENCY, Days, Range_Days, Prob_Brk, που περιγράφονται από την εξαρτημένη μεταβλητή Mod_Freq_Brk δεν επιλέγονται.



Εικόνα 6.5 Επιλογή παραμέτρων για τον έλεγχο συσχέτισης των μεταβλητών

Η δημιουργία πινάκων όπως του παρακάτω ενδεικτικού, βοήθησε σημαντικά να επιλεγθούν οι παράμετροι οι οποίες ήταν πιο σημαντικές στην ανάλυση και να προσδιοριστούν τα τελικά μοντέλα. Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί πως καθώς αναζητείται ένα μοντέλο ίδιων παραμέτρων για δυο διαφορετικά σετ στοιχείων, υπήρχαν αρκετές μεταβλητές που ενώ ήταν στατιστικά σημαντικές για το ένα σετ στοιχείων δεν ήταν για το άλλο.

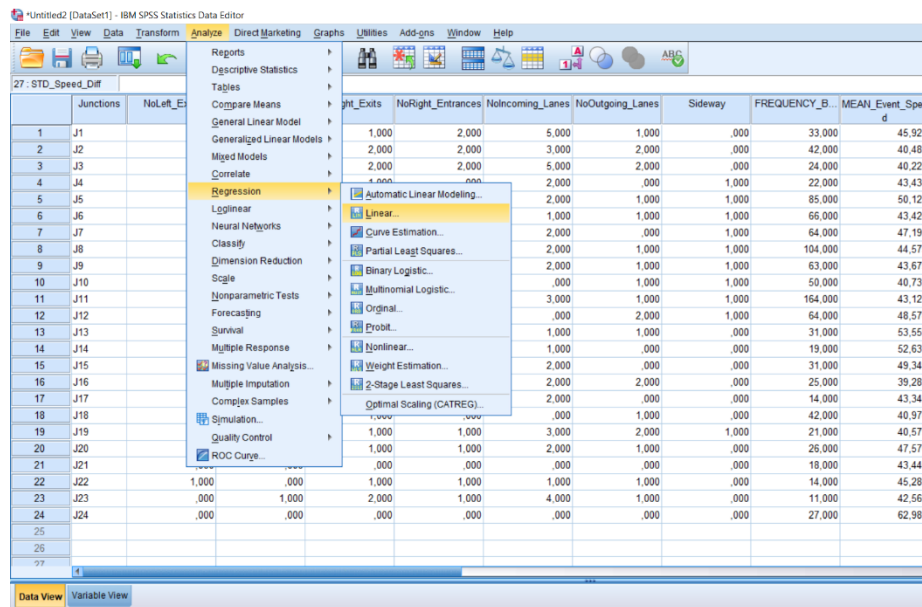
Πίνακας 6.1 Ενδεικτικός πίνακας συσχέτισης μεταβλητών

		Correlations					
		Mod_Freq_Brk	NoLeft_Exits	NoLeft_Entrances	NoRight_Exits	NoRight_Entrances	NoIncoming_Lanes
Mod_Freq_Brk	Pearson Correlation	1	-,134	,118	,171	,177	,038
	Sig. (2-tailed)		,534	,583	,424	,409	,861
	N	24	24	24	24	24	24
NoLeft_Exits	Pearson Correlation	-,134	1	,234	,686**	,275	,256
	Sig. (2-tailed)	,534		,272	,000	,193	,228
	N	24	24	24	24	24	24
NoLeft_Entrances	Pearson Correlation	,118	,234	1	,204	,866**	,656**
	Sig. (2-tailed)	,583	,272		,338	,000	,001
	N	24	24	24	24	24	24
NoRight_Exits	Pearson Correlation	,171	,686**	,204	1	,241	,455*
	Sig. (2-tailed)	,424	,000	,338		,257	,025
	N	24	24	24	24	24	24
NoRight_Entrances	Pearson Correlation	,177	,275	,866**	,241	1	,722**
	Sig. (2-tailed)	,409	,193	,000	,257		,000
	N	24	24	24	24	24	24
NoIncoming_Lanes	Pearson Correlation	,038	,256	,656**	,455*	,722**	1
	Sig. (2-tailed)	,861	,228	,001	,025	,000	
	N	24	24	24	24	24	24

6.2.3 Διαδικασία Γραμμικής Παλινδρόμησης

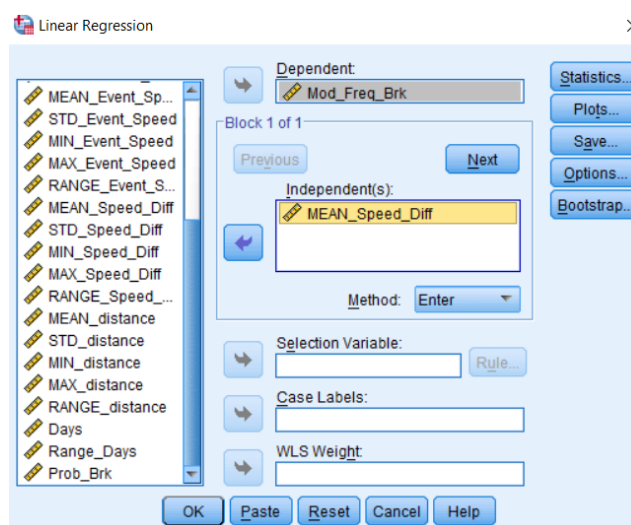
Στα τέσσερα master tables τα οποία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση, εφαρμόστηκε η γραμμική παλινδρόμηση. Αυτή η επιλογή εξηγείται από το γεγονός ότι η μεταβλητή που εξετάζεται (εξαρτημένη) είναι συνεχής. Τα βήματα που εφαρμόζονται μέσω του προγράμματος SPSS απεικονίζονται στη σχετική εικόνα:

analyze → regression → linear



Εικόνα 6.6 Επιλογή εντολής γραμμικής παλινδρόμησης

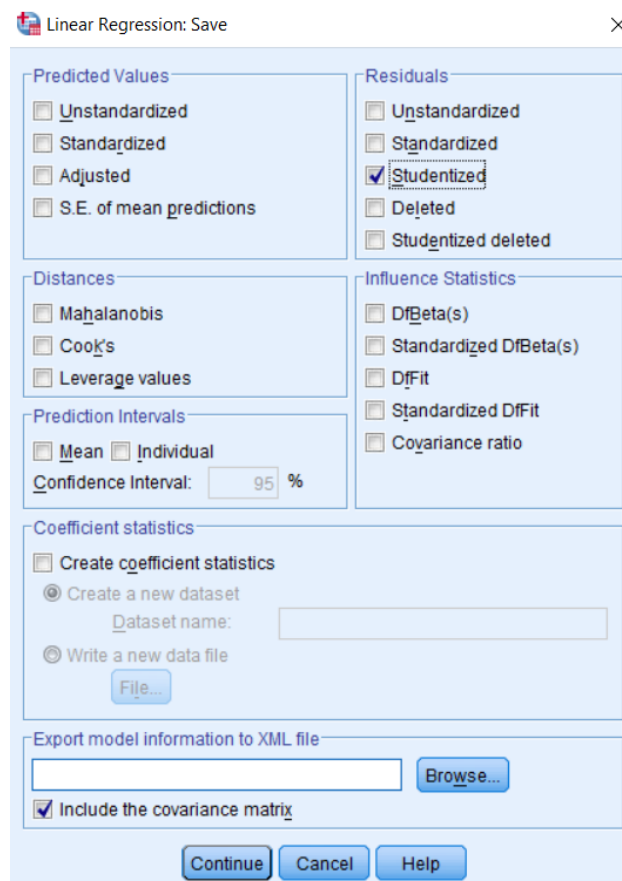
Στη συνέχεια καθορίζονται η εξαρτημένη και οι ανεξάρτητες μεταβλητές και εισάγονται αντίστοιχα στα πεδία Dependent και Independent(s). Στο πλαίσιο Method μπορεί να επιλεγεί μία μέθοδος για τη βέλτιστη επιλογή επεξηγηματικών μεταβλητών. Αυτή συνήθως παραμένει «Enter», που σημαίνει ότι στο μοντέλο εισέρχονται όσες μεταβλητές βρίσκονται στο πλαίσιο Independent(s) με τη σειρά που γράφονται εκεί.



Εικόνα 6.7 Επιλογή ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών για τη γραμμική παλινδρόμηση

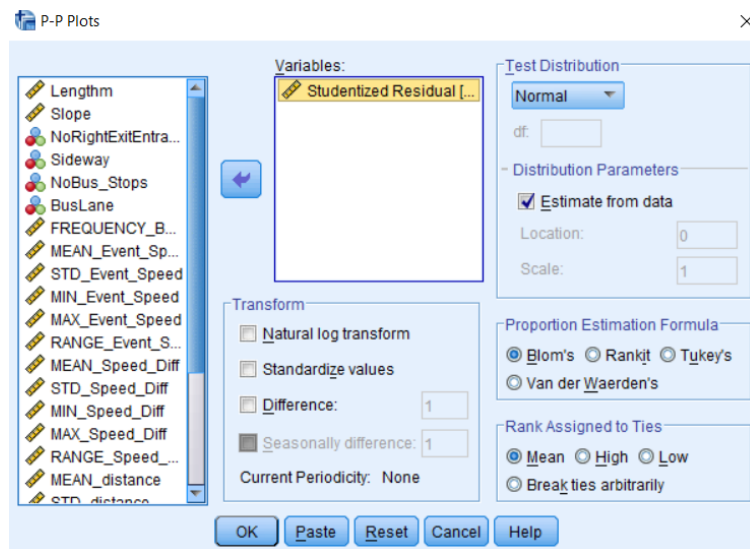
6.2.4 Σχεδιασμός Διαγράμματος Καταλοίπων

Ένας επιπλέον έλεγχος της ποιότητας του μοντέλου μπορεί να γίνει μέσω του σχεδιασμού (plot) του διαγράμματος καταλοίπων (studentized residuals) της γραμμικής παλινδρόμησης. Ως κατάλοιπο ορίζεται η διαφορά της προβλεπόμενης τιμής του μοντέλου με την πραγματική τιμή που προέκυψε και αυτή δίνει τη δυνατότητα να γίνει εκτίμηση του σφάλματος του μοντέλου. Τα **studentized residuals** υπολογίζονται εύκολα μέσω του SPSS. Εφόσον έχει αποφασιστεί το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που θα εξεταστεί με τη γνωστή διαδικασία, επόμενο βήμα η επιλογή της εντολής Save δεξιά του παραθύρου που φαίνεται στην εικόνα 6.7. Στο παράθυρο που ανοίγει και απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα, επιλέγονται τα Studentized Residuals.

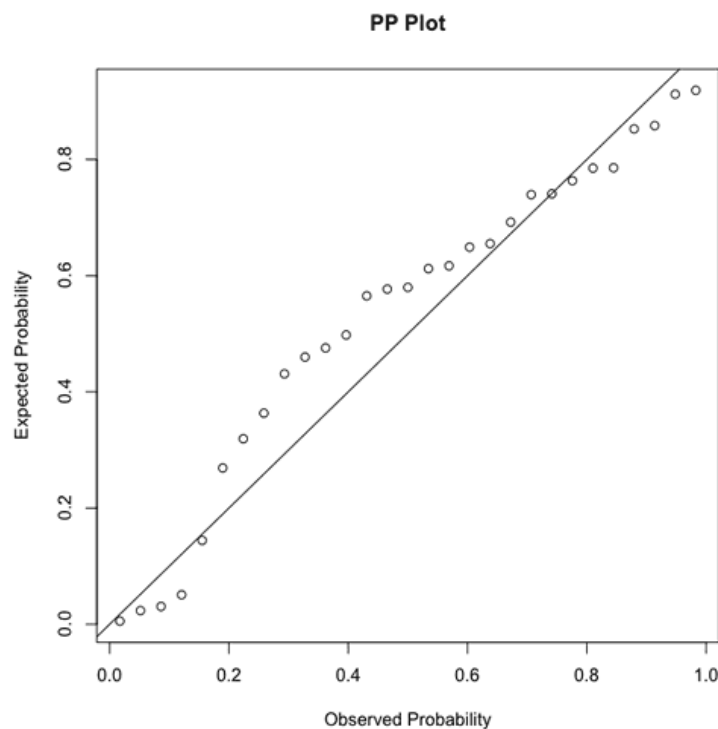


Εικόνα 6.8 Εισαγωγή Studentized Residuals στο Master Table

Η εντολή αυτή θα δημιουργήσει μια νέα στήλη με μεταβλητές στο τέλος του Master Table. Αυτά θα είναι τα κατάλοιπα του εξεταζόμενου μοντέλου τα οποία απεικονίζονται ώστε να εκτιμηθεί η ποιότητα του μοντέλου. Ακολουθώντας τα βήματα **analyze** → **Descriptive Statistics** → **P – P Plots** σχεδιάζεται η αθροιστική πιθανότητα σφάλματος του μοντέλου. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα το μόνο που χρειάζεται να γίνει είναι να επιλεγούν τα κατάλοιπα ως Variable.



Εικόνα 6.9 Διαδικασία σχεδιασμού καταλοίπων μοντέλου μέσω SPSS



Διάγραμμα 6.1 Τυχαίο διάγραμμα καταλοίπων

6.2.5 Σχετική Επιρροή Μεταβλητών

Ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή που περιέχεται στη μαθηματική σχέση του μοντέλου εκφράζεται ποσοτικά μέσω του μεγέθους της σχετικής επιρροής. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού βασίζεται στη θεωρία της ελαστικότητας και αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η ελαστικότητα είναι αδιάστατο μέγεθος και δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών. Σε συνδυασμό με το πρόσημο των μεταβλητών είναι πιθανό να προσδιοριστεί αν η αύξηση κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής επιφέρει αύξηση ή μείωση στην εξαρτημένη. Η ελαστικότητα για γραμμικά μοντέλα δίνεται από τη σχέση:

$$e_i = (\Delta Y_i / \Delta X_i) * (X_i / Y_i) = \beta_i * (X_i / Y_i)$$

όπου β_i ο συντελεστής της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής, X_i η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής και Y_i η τιμή της εξαρτημένης. Ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών δίνεται ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

6.3 Αποτελέσματα Μοντέλων

6.3.1 Μοντέλο 1 – Πρόβλεψη συμβάντων σε περιοχή κόμβου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο με ταυτόχρονα σημαντικότερες μεταβλητές για να εκφραστούν οι απότομες επιβραδύνσεις και αντίστοιχα επιταχύνσεις ανά ημέρα (Mod_Freq_Acc & Mod_Freq_Brk) σε περιοχή κόμβου είναι εκείνο με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- STD_Event_Speed: Τυπική απόκλιση της ταχύτητας συμβάντος
- MAX_Event_Speed: Μέγιστη τιμή της ταχύτητας συμβάντος
- Right_Exits: Αριθμός δεξιών εξόδων από τον κόμβο

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΜΒΟΥ – ΜΟΝΤΕΛΟ 1.1

Αρχικά παρατίθεται ο πίνακας συσχετίσεων των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών για τις απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή κόμβου όπως αυτός προέκυψε από το υπολογιστικό πρόγραμμα IBM SPSS 21.0, με τη διαδικασία που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Πίνακας 6.2 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιβραδύνσεων σε κόμβο

Correlations					
		Mod_Freq_Acc	Right_Exits	STD_Event_Speed (km/h)	MAX_Event_Speed (km/h)
Mod_Freq_Acc	Pearson Correlation	1	0,171	-.0200	,412*
	Sig. (2-tailed)		0,424	0,350	0,046
	N	24	24	24	24
Right_Exits	Pearson Correlation	0,171	1	-.0018	-.0099
	Sig. (2-tailed)	0,424		0,933	0,646
	N	24	24	24	24
STD_Event_Speed (km/h)	Pearson Correlation	-.0200	-.0018	1	,721**
	Sig. (2-tailed)	0,350	0,933		0,000
	N	24	24	24	24
MAX_Event_Speed (km/h)	Pearson Correlation	,412*	-.0099	,721**	1
	Sig. (2-tailed)	0,046	0,646	0,000	
	N	24	24	24	24

Η στατιστική περίληψη του εξεταζόμενου μοντέλου και η ανάλυση διασποράς ANOVA απεικονίζεται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.3 Περίληψη μοντέλου απότομων επιβραδύνσεων σε κόμβο

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1.1	0,869	0,755	0,719	0,041200112858539

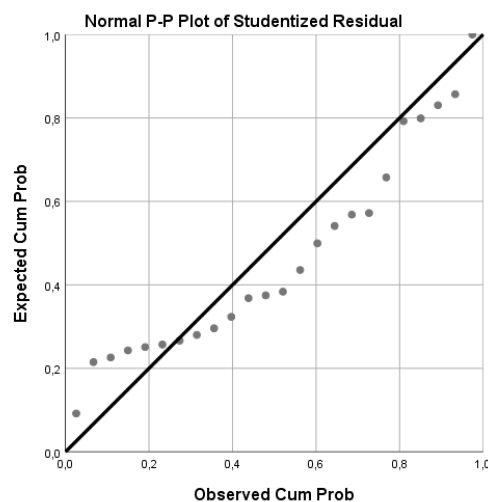
Πίνακας 6.4 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιβραδύνσεων σε κόμβο

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1.1	Regression	0,105	3	0,035	20,582	,000 ^b
	Residual	0,034	20	0,002		
	Total	0,139	23			

Τελικά το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για **απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε κόμβο** προέκυψε από τις παρακάτω μεταβλητές και έδωσε το εξής Διάγραμμα Καταλοίπων.

Πίνακας 6.5 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε κόμβο

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1.1	(Constant)	-0,112	0,044		-2,532	0,020
	Right_Exits	0,029	0,012	0,271	2,432	0,025
	STD_Event_Speed (km/h)	-0,019	0,003	-1,065	-6,647	0,000
	MAX_Event_Speed (km/h)	0,005	0,001	1,206	7,496	0,000



Διάγραμμα 6.2 Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιβραδύνσεων ανά ημέρα σε κόμβο

Τελικά η μαθηματική σχέση μοντέλου του μοντέλου που προέκυψε είναι :

$$\text{Mod_Freq_Brk} = - \text{Right_Exits} * 0.112 \text{ MAX_Event_Speed} * 0.005 - \text{STD_Event_Speed} * 0.019 - 0.112$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΜΒΟΥ – ΜΟΝΤΕΛΟ 1.2

Παρατίθεται ο πίνακας συσχετίσεων των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών για τις απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή κόμβου.

Πίνακας 6.6 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιταχύνσεων σε κόμβο

Correlations					
		Mod_Freq_Acc	Right_Exits	STD_Event_Speed (km/h)	MAX_Event_Speed (km/h)
Mod_Freq_Acc	Pearson Correlation	1	,533**	-,518**	0,12
	Sig. (2-tailed)		0,007	0,010	0,576
	N	24	24	24	24
Right_Exits	Pearson Correlation	,533**	1	-,0146	-,0006
	Sig. (2-tailed)	0,007		0,496	0,979
	N	24	24	24	24
STD_Event_Speed (km/h)	Pearson Correlation	-,518**	-,0146	1	,560**
	Sig. (2-tailed)	0,010	0,496		0,004
	N	24	24	24	24
MAX_Event_Speed (km/h)	Pearson Correlation	0,12	-,0006	,560**	1
	Sig. (2-tailed)	0,576	0,979	0,004	
	N	24	24	24	24

Η στατιστική περίληψη του εξεταζόμενου μοντέλου και η ανάλυση διασποράς ANOVA απεικονίζεται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.7 Περίληψη μοντέλου απότομων επιταχύνσεων σε κόμβο

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1.2	0,829	0,688	0,641	0,101848093484280

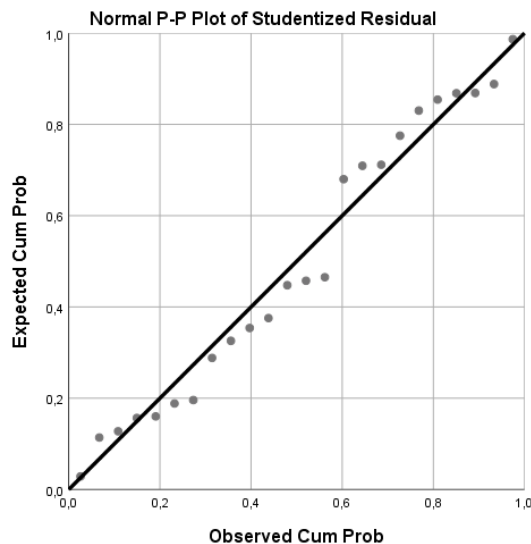
Πίνακας 6.8 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιταχύνσεων σε κόμβο

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1.2	Regression	0,457	3	0,152	14,681	,000b
	Residual	0,207	20	0,010		
	Total	0,664	23			

Τελικά το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για **απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε κόμβο** προέκυψε από τις παρακάτω μεταβλητές και έδωσε το εξής Διάγραμμα Καταλοίπων.

Πίνακας 6.9 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή κόμβου

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1.2	(Constant)	0,275	0,123		2,229	0,037
	Right_Exits	0,100	0,030	0,425	3,348	0,003
	STD_Event_Speed (km/h)	-0,058	0,012	-0,764	-4,987	0,000
	MAX_Event_Speed (km/h)	0,008	0,002	0,550	3,632	0,002



Διάγραμμα 6.3 Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιταχύνσεων ανά ημέρα σε κόμβο

Τελικά η μαθηματική σχέση μοντέλου του μοντέλου που προέκυψε είναι :

$$\text{Mod_Freq_Acc} = \text{Right_Exits} * 0.1 + \text{MAX_Event_Speed} * 0.008 - \text{STD_Event_Speed} * 0.058 + 0.275$$

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΟΜΒΟΥ

Παρατηρείται ότι και στα δυο μοντέλα που προέκυψαν τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Οι τροποποιημένοι συντελεστές συσχέτισης R^2 (Adjusted R squared) βρίσκονται μεταξύ του διαστήματος 0.4 – 0.75, επομένως θεωρούνται καλοί και συγκεκριμένα:

1. Το Μοντέλο 1.1 έχει R^2 ίσο με 0.719
2. Το Μοντέλο 1.2 έχει R^2 ίσο με 0.641

- Ο έλεγχος του απόλυτου t να είναι μεγαλύτερος από 1.7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται παντού
- Το επίπεδο σημαντικότητας Sig των μεταβλητών είναι στις περισσότερες μεταβλητές μικρότερο του 5%
- Οι σταθεροί όροι (β_i) δεν είναι μεγάλοι
- Τα διαγράμματα καταλοίπων δεν παρουσιάζουν προβλήματα κρίνονται δηλαδή ικανοποιητικά
- Ενώ οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημα τους εξηγούνται λογικά και πιο συγκεκριμένα παρατηρείται ότι:

Για το Μοντέλο 1.1

1. Η αύξηση των δεξιών εξόδων από κόμβο στη Λεωφόρο Μεσογείων, αυξάνει κατά 2.9 τοις εκατό τις απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα. Αυτό προφανώς είναι λογικό καθώς, αυξάνεται και η πολυπλοκότητα του κόμβου.
2. Όσο μεγιστοποιείται η τιμή της ταχύτητας συμβάντος σε επίπεδο περιοχής είναι προφανές πως η επικινδυνότητα των υψηλών ταχυτήτων, οδηγεί σε αύξηση των απότομων επιβραδύνσεων κατά 0.6 τοις εκατό.
3. Ενώ όσο αυξάνει σε χιλιόμετρα ανά ώρα η τυπική απόκλιση της μέσης ταχύτητας συμβάντος ανά περιοχή, παράλληλα μειώνονται και οι απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα κατά 1.9 τοις εκατό.

Για το Μοντέλο 1.2

1. Όπως και στο παράδειγμα των επιβραδύνσεων, η αύξηση των δεξιών εξόδων από κόμβο στη Λεωφόρο Μεσογείων, αυξάνει κατά 10 τοις εκατό τις απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα.
2. Αντίστοιχα για κάθε ένα χιλιόμετρο ανά ώρα που αυξάνεται η τιμή της μέγιστης ταχύτητας συμβάντος ανά περιοχή, οι απότομες επιταχύνσεις αυξάνονται κατά 0.8 τοις εκατό.
3. Μείωση 6.8 τοις εκατό ωστόσο δημιουργεί η τυπική απόκλιση της μέσης ταχύτητας περιοχής.

Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Πίνακας 6.10 Ελαστικότητα και σχετική επιρροή μοντέλων απότομων συμβάντων σε περιοχή κόμβων

	Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μοντέλο 1.1			Μοντέλο 1.2		
		β_i	Σχετική Επιρροή	Ελαστικότητα	β_i	Σχετική Επιρροή	Ελαστικότητα
Διακριτές	RightExit/Entrances	,029	1	0,369995399	,100	1	0,293322496
Συνεχείς	MAX_Event_Speed	,006	1.79	6,25134439	,008	1	1,854495316
	STD_Event_Speed	-,019	1	-3,492275637	-,068	-1,23	-2,271787323

Εξετάζεται μόνο η επιρροή των συνεχών μεταβλητών, με την μεταβλητή “**MAX_Event_Speed**” να παρουσιάζει 1.79 φορές μεγαλύτερη επιρροή από το τη μεταβλητή “**STD_Event_Speed**” στην περίπτωση απότομων επιβραδύνσεων και αντιστρόφως η “**STD_Event_Speed**” 1.23 φορές μεγαλύτερη επιρροή στην περίπτωση των απότομων επιταχύνσεων.

6.3.2 Μοντέλο 2 – Πρόβλεψη συμβάντων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

Κατ’ αναλογία με το μοντέλο 1 έγινε και η στατιστική ανάλυση για τις περιοχές μεταξύ κόμβων. Κατά συνέπεια, ύστερα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα (Mod_Freq_Acc & Mod_Freq_Junc) στον εξεταζόμενο τύπο περιοχής είναι εκείνο με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- MIN_distance: Ελάχιστη τιμή της απόστασης συμβάντος
- Bus_Lane: Ύπαρξη λεωφοριολωρίδας (0/1)
- Length: Μήκος

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΜΒΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΟ 2.1

Παρατίθεται ο πίνακας συσχετίσεων των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών για τις απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων.

Πίνακας 6.11 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

Correlations					
		Mod_Freq_Brk	Length (m)	Bus Lane	MIN_distance (m)
Mod_Freq_Brk	Pearson Correlation	1	0,337	,403*	-,554**
	Sig. (2-tailed)		0,051	0,018	0,001
	N	34	34	34	34
Length (m)	Pearson Correlation	0,337	1	-0,020	-0,196
	Sig. (2-tailed)	0,051		0,909	0,267
	N	34	34	34	34
Bus Lane	Pearson Correlation	,403*	-0,020	1	-0,092
	Sig. (2-tailed)	0,018	0,909		0,604
	N	34	34	34	34
MIN_distance (m)	Pearson Correlation	-,554**	-0,196	-0,092	1
	Sig. (2-tailed)	0,001	0,267	0,604	
	N	34	34	34	34

Η στατιστική περίληψη του εξεταζόμενου μοντέλου και η ανάλυση διασποράς ANOVA απεικονίζεται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.12 Περίληψη μοντέλου απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
2.1	0,702	0,493	0,443	0,030467746442334

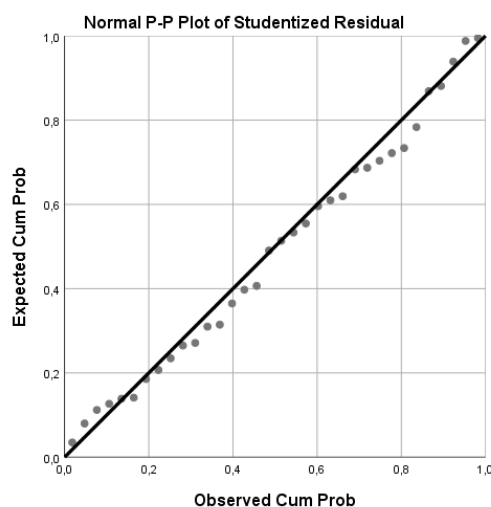
Πίνακας 6.13 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.1	Regression	0,027	3	0,009	9,738	,000b
	Residual	0,028	30	0,001		
	Total	0,055	33			

Τελικά το πρώτο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για **απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων** προέκυψε από τις παρακάτω μεταβλητές και έδωσε το εξής Διάγραμμα Καταλοίπων.

Πίνακας 6.14 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
2.1	(Constant)	0,081	0,018		4,535	0,000
	Bus Lane	0,031	0,011	0,365	2,794	0,009
	Length (m)	0,000	0,000	0,252	1,900	0,067
	MIN_distance (m)	-0,024	0,007	-0,471	-3,540	0,001



Διάγραμμα 6.4 Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιβραδύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα

Τελικά η μαθηματική σχέση μοντέλου του μοντέλου που προέκυψε είναι :

$$\text{Mod_Freq_Brk} = \text{Bus_Lane} * 0.031 + \text{Length} * 0.000076 - \text{MIN_distance} * 0.024 + 0.081$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΜΒΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΟ 2.2

Παρατίθεται ο πίνακας συσχετίσεων των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών για τις απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων.

Πίνακας 6.15 Συσχετίσεις σημαντικών μεταβλητών απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

Correlations					
		Mod_Freq_Acc	Length (m)	Bus Lane	MIN_distance (m)
Mod_Freq_Acc	Pearson Correlation	1	,560**	,361*	-,502**
	Sig. (2-tailed)		0,001	0,036	0,002
	N	34	34	34	34
Length (m)	Pearson Correlation	,560**	1	-0,020	-0,211
	Sig. (2-tailed)	0,001		0,909	0,231
	N	34	34	34	34
Bus Lane	Pearson Correlation	,361*	-0,020	1	-0,067
	Sig. (2-tailed)	0,036	0,909		0,705
	N	34	34	34	34
MIN_distance (m)	Pearson Correlation	-,502**	-0,211	-0,067	1
	Sig. (2-tailed)	0,002	0,231	0,705	
	N	34	34	34	34

Η στατιστική περίληψη του εξεταζόμενου μοντέλου και η ανάλυση διασποράς ANOVA απεικονίζεται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.16 Περίληψη μοντέλου απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
2.2	0,766	0,587	0,545	0,041136032842076

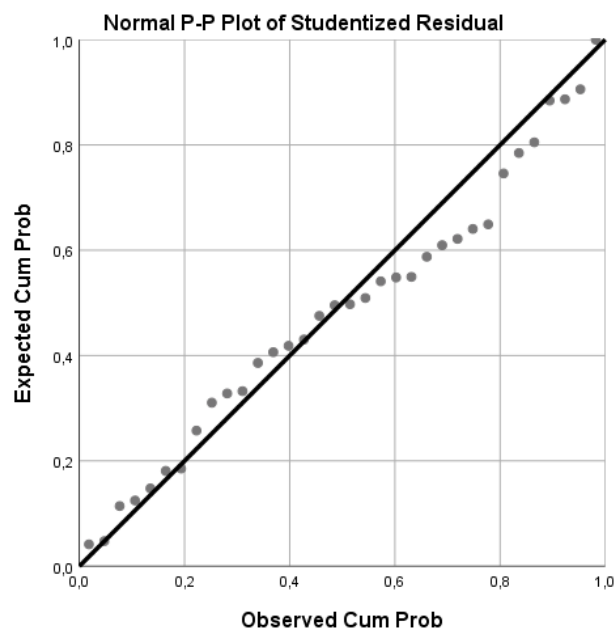
Πίνακας 6.17 Ανάλυση διασποράς για μοντέλο απότομων επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.2	Regression	0,072	3	0,024	14,202	,000b
	Residual	0,051	30	0,002		
	Total	0,123	33			

Τελικά το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για **απότομες επιταχύνσεις ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων** προέκυψε από τις παρακάτω μεταβλητές και έδωσε το εξής Διάγραμμα Καταλοίπων.

Πίνακας 6.18 Μεταβλητές εξίσωσης για απότομες επιβραδύνσεις σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
2.2	(Constant)	0,071	0,032		2,243	0,032
	Length (m)	0,000	0,000	0,487	4,056	0,000
	Bus Lane	0,044	0,015	0,346	2,940	0,006
	MIN_distance (m)	-0,040	0,013	-0,376	-3,126	0,004

**Διάγραμμα 6.5** Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο επιταχύνσεων σε περιοχή μεταξύ κόμβων ανά ημέρα

Τελικά η μαθηματική σχέση μοντέλου του μοντέλου που προέκυψε είναι :

$$\text{Mod_Freq_Acc} = \text{Bus_Lane} * 0.044 + 0.00022 * \text{Length} - \text{MIN_distance} * 0.04 + 0.07$$

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΜΒΩΝ

Παρατηρούμε ότι και στα δυο μοντέλα που προέκυψαν τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Οι τροποποιημένοι συντελεστές συσχέτισης R^2 (Adjusted R squared) βρίσκονται μεταξύ του διαστήματος 0.4 – 0.75, επομένως θεωρούνται καλοί και συγκεκριμένα:
 1. Το Μοντέλο 2.1 έχει R^2 ίσο με 0.443
 2. Το Μοντέλο 2.2 έχει R^2 ίσο με 0.545
- Ο έλεγχος του απόλυτου t να είναι μεγαλύτερος από 1.7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται παντού.
- Το επίπεδο σημαντικότητας Sig των μεταβλητών είναι στις περισσότερες μεταβλητές μικρότερο του 5% και κατ' εξαίρεση σε δυο μεταβλητές μικρότερο του 7 %.
- Οι σταθεροί όροι (β_i) δεν είναι μεγάλοι.
- Τα διαγράμματα καταλοίπων δεν παρουσιάζουν προβλήματα κρίνονται δηλαδή ικανοποιητικά.
- Ενώ, οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημα τους εξηγούνται λογικά και πιο συγκεκριμένα παρατηρείται ότι:

Για το Μοντέλο 2.1

1. Η ύπαρξη της λεωφορειολωρίδας ανεβάζει την πολυπλοκότητα του οδικού τμήματος και προκαλεί αύξηση 3.1% στις απότομες επιβραδύνσεις στα τμήματα που υπάρχει.
2. Επίσης, η αύξηση του μήκους οδικού τμήματος μεταξύ κόμβων, αυξάνει τη δυνατότητα ανάπτυξης ταχύτητας για τον οδηγό και επομένως είναι λογικό να συμβάλλει στις απότομες επιβραδύνσεις κατά 0.008 % για κάθε ένα μέτρο του οδικού τμήματος.
3. Αντίθετα η αύξηση της τιμής της ελάχιστης απόστασης παρατήρησης σημαίνει λιγότερο ακαριαία συμβάντα για την περιοχή και εύλογα μειώνει τις απότομες επιβραδύνσεις ανά ημέρα κατά 2.4 % για κάθε μέτρο που αυξάνεται η ελάχιστη τιμή στην περιοχή.

Για το Μοντέλο 2.2

1. Όπως και στις απότομες επιβραδύνσεις είναι λογική η αύξηση 4.4 % που παρατηρείται ανά ημέρα λόγω της λεωφορειολωρίδας.
2. Όμοια με πριν, η αύξηση του μήκους αυξάνει τις απότομες επιταχύνσεις κατά 0.022 % για κάθε ένα μέτρο του οδικού τμήματος.

3. Και στις απότομες επιταχύνσεις η αύξηση της ελάχιστης τιμής της απόστασης παρατήρησης προκαλεί μείωση 0.4 % για κάθε ένα μέτρο που αυξάνεται η ελάχιστη τιμή απόστασης στην περιοχή.

Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Πίνακας 6.19 Ελαστικότητα και σχετική επιρροή μοντέλων απότομων συμβάντων σε περιοχή κόμβων

	Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μοντέλο 2.1			Μοντέλο 2.2		
		βι	Σχετική Επιρροή	Ελαστικότητα	βι	Σχετική Επιρροή	Ελαστικότητα
Διακριτές	BusLane	0,0314	1,0000	0,3205	0,0445	1,0000	0,6142
Συνεχείς	MIN_distance	-0,0235	-3,8054	-1,0111	-0,0401	-2,2249	-1,7989
	Lengthm	0,0001	1,0000	0,2657	0,0002	1,0000	0,8085

- Εξετάζεται μόνο η επιρροή των συνεχών μεταβλητών, με την μεταβλητή **“MIN_distance”** να παρουσιάζει 3.8 φορές μεγαλύτερη επιρροή από το τη μεταβλητή **“Length”** στην περίπτωση απότομων επιβραδύνσεων και 2.22 φορές μεγαλύτερη επιρροή στην περίπτωση των απότομων επιταχύνσεων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία είχε **στόχο να εξεταστούν χωρικά, δεδομένα οδικής συμπεριφοράς από έξυπνα τηλέφωνα σε συγκεκριμένο οδικό άξονα (Λ. Μεσογείων) και σε συνδυασμό με γεωμετρικά στοιχεία του οδικού τμήματος να πραγματοποιηθεί ανάλυση συμπεριφοράς ασφάλειας των οδηγών.** Συγκεκριμένα, εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αλληλοεπιδρούν τόσο με το περιβάλλον της οδού όσο και με την, ενδεχομένως, επικίνδυνη οδηγική συμπεριφορά των χρηστών της.

Για την **εκπλήρωση των στόχων** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς, καταγεγραμμένα μέσω ειδικής εφαρμογής. Τα προς ανάλυση στοιχεία παρελήφθησαν σε μορφή βάσεων δεδομένων οι οποίες περιείχαν συνολικά **198.450 παρατηρήσεις**. Οι βάσεις δεδομένων περιείχαν τον χωρικό προσδιορισμό των απότομων συμβάντων ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες της παρούσας μελέτης.

Στο πλαίσιο της **χωρικής ανάλυσης** απαιτήθηκε να χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα GIS (ArcMap), καθώς λόγω του μεγάλου όγκου των στοιχείων η επεξεργασία τους σε χωρικό επίπεδο χωρίς εργαλεία Γεωπληροφορικής, θα ήταν πρακτικά αδύνατη. Περαιτέρω, σε επίπεδο **στατιστικής ανάλυσης** η εργασία αξιοποίησε βασικές γνώσεις στατιστικής και η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, με ειδικό λογισμικό (IBM SPSS 21.0).

Μέσω της χωρικής ανάλυσης και συγκεκριμένα της **χωρικής απεικόνισης** των απότομων συμβάντων, εντοπίστηκαν μορφότυπα (patterns) σχετικά με την συσσώρευση και διαβάθμιση των παρατηρήσεων, πάνω στον εξεταζόμενο οδικό άξονα. Παράλληλα μέσω της **επεξεργασίας** πάνω στο χάρτη, δημιουργήθηκαν τέσσερις νέοι πίνακες για τις εξεταζόμενες παρατηρήσεις ανά περιοχή του οδικού άξονα. Οι παραπάνω πίνακες περιείχαν δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς ανά περιοχή, τα οποία εξήχθησαν από τα στοιχεία των βάσεων δεδομένων. Επιπλέον, προστέθηκαν και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου οδικού άξονα, τα οποία ελήφθησαν από την πλατφόρμα Google Maps και από επιτόπια αυτοψία.

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω πίνακες πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία και προέκυψαν **τέσσερα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης** τα οποία καθορίζουν τους στατιστικά σημαντικότερους παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τα απότομα συμβάντα (επιβραδύνσεις, επιταχύνσεις) σε περιοχές κόμβου και σε περιοχές μεταξύ κόμβων για τον εξεταζόμενο οδικό άξονα. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των στατιστικών μοντέλων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Πίνακας 7.1 Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων

	Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης			
	Περιοχή Κόμβου		Περιοχή μεταξύ Κόμβων	
	Απότομες Επιβραδύνσεις ανά ημέρα	Απότομες Επιταχύνσεις ανά ημέρα	Απότομες Επιβραδύνσεις ανά ημέρα	Απότομες Επιταχύνσεις ανά ημέρα
Σταθερά	-0,011	0.276	0.0811	0.0712
Δεξιόστροφες έξοδοι από περιοχή κόμβου (0-2)	0.029	0.1		
Ύπαρξη Λεωφορειολωρίδας (0/1)			0.0314	0.0455
Μήκος οδού (m)			0.0001	0.0002
Τυπική απόκλιση της ταχύτητας απότομου συμβάντος ανα περιοχή (km/h)	-0,019	-0,068		
Ελάχιστη τιμή της απόστασης απότομου συμβάντος ανα περιοχή (m)			-0,024	-0,040
Μέγιστη τιμή της διαφοράς της ταχύτητας απότομης επιτάχυνσης ανα περιοχή (km/h)		0.008		
Μέγιστη τιμή της διαφοράς της ταχύτητας απότομης επιβράδυνσης ανα περιοχή (km/h)	0.006			

7.2 Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν διάφορα αποτελέσματα άμεσα συνδεδεμένα με το στόχο της εργασίας. Στο υποκεφάλαιο αυτό επιχειρείται να δοθεί μια απάντηση στα **συνολικά ερωτήματα** της έρευνας με σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- Σε ότι αφορά στη χωρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε είναι σαφές πως η επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη χρήση **υπολογιστικών προγραμμάτων GIS**. Η δυνατότητα απεικόνισης των φαινομένων δίνει ένα σαφέστατο πλεονέκτημα στην κατανόηση της υφιστάμενης κατάστασης της εξεταζόμενης περιοχής και βοηθά να ληφθούν σωστές αποφάσεις πριν ξεκινήσει η στατιστική ανάλυση.
- Από την χωρική απεικόνιση παρατηρήθηκε **συσσώρευση** των περισσότερων απότομων συμβάντων, σε περιοχές κόμβου και πιο ήπιες συνθήκες σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Πιο συγκεκριμένα όμως, σε τμήματα του οδικού άξονα με διαδοχικούς κόμβους ανά μικρά χιλιομετρικά διαστήματα, η πυκνότητα απότομων συμβάντων φαίνεται ακόμη πιο αυξημένη, δημιουργώντας έτσι περιοχές οξείας επικινδυνότητας σε μεγάλα τμήματα του άξονα.
- Οι **χωρικοί μέσοι** των παρατηρήσεων σε περιοχές μεταξύ κόμβων έδειξαν ότι οι απότομες επιβραδύνσεις τείνουν κατά κανόνα να συγκλίνουν ελαφρά προς την είσοδο του κόμβου και όχι στην έξοδο. Στην περίπτωση των απότομων επιταχύνσεων, ενώ πάλι φαίνεται να τείνουν προς την είσοδο του κόμβου, στις περιοχές με αυξημένο μήκος η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης ταχύτητας κάνει το παραπάνω συμπέρασμα λιγότερο αξιόπιστο. Σε περιοχές κόμβου, όπως και ήταν αναμενόμενο οι χωρικοί μέσοι των απότομων συμβάντων **τήνουν προς το κεντροειδές** του εξεταζόμενου κόμβου.
- Όταν συνυπολογίζεται και η **βαρύτητα στις παρατηρήσεις**, έγινε αντιληπτό ότι τα απότομα συμβάντα, παρουσιάζουν μεγαλύτερες ταχύτητες συχνότερα σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Ωστόσο, η διαφορά ταχύτητας συμβάντος, που υποδεικνύει το πόσο έντονο ήταν το συμβάν, φαίνεται να είναι σημαντικότερη σε περιοχές κόμβου, για περιπτώσεις απότομων επιταχύνσεων. Στις απότομες επιβραδύνσεις η διάφορά ταχύτητος συμβάντων φαίνεται να συμβαίνει συχνότερα κατά την προσέγγιση του οδηγού σε περιοχή κόμβου και όχι μέσα σε αυτή.
- Από την **χρωματική διαβάθμιση** του οδικού άξονα επί του χάρτη κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της ποιότητας της υφιστάμενης κυκλοφοριακής κατάστασης της Λεωφόρου Μεσογείων. Σε γενικές γραμμές οι τιμές πιθανότητας απότομων συμβάντων παρέμειναν μικρές. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι η ύπαρξη μεγαλύτερου δείγματος μελέτης και η γνώση των συνολικών διαδρομών που πραγματοποιήθηκαν, θα μπορούσε να αποφέρει πιο συντηρητικά αποτελέσματα.
- Σε περιοχή κόμβου παρατηρήθηκαν ως **σημαντικοί παράγοντες** ανάπτυξης απότομων συμβάντων ανά ημέρα ο αριθμός δεξιών εξόδων από τον κόμβο, η μέγιστη τιμή της ταχύτητας ανά περιοχή και η τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή της ταχύτητας ανά περιοχή. Αντίστοιχα για τα απότομα συμβάντα ανά ημέρα σε περιοχή μεταξύ κόμβων παρατηρήθηκε ότι η ύπαρξη λεωφορειολωρίδας, το μήκος

τμήματος της οδού και η ελάχιστη τιμή της απόστασης συμβάντος ανά περιοχή επηρεάζει την ανάπτυξη απότομων συμβάντων ανά ημέρα.

- Ο **αυξημένος αριθμός δεξιών εξόδων** από τον κόμβο οδηγεί στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης απότομου συμβάντος ανά ημέρα, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στην πολυπλοκότητα του οδικού συστήματος.
- Στις περιοχές μεταξύ κόμβων όταν το **μήκος είναι αυξημένο**, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συχνότητα απότομου συμβάντος ανά ημέρα. Αυτό εξηγείται λογικά καθώς η δυνατότητα ανάπτυξης μεγαλύτερης ταχύτητας προφανώς επιδρά αρνητικά στην οδική ασφάλεια του συστήματος.
- Η **ύπαρξη λεωφορειολωρίδας** λειτούργησε αυξητικά στις συχνότητες των απότομων συμβάντων σε περιοχές μεταξύ κόμβων. Τούτο διαπιστώθηκε ύστερα και από τοπική αυτοψία, στην οποία παρατηρήθηκε διαρκής καταπάτηση της λεωφορειολωρίδας και ουσιαστική λειτουργία αυτής, ως τρίτη λωρίδα. Σε συνδυασμό δε, με την αυξημένη κίνηση λεωφορείων στην περιοχή, ήταν λογικό να οξύνει τα απότομα συμβάντα που παρατηρούνται.
- Η **μεγιστοποίηση της διαφοράς της ταχύτητας** συντελεί στην αύξηση των απότομων συμβάντων, στην περίπτωση των επιταχύνσεων, καθώς υποδεικνύει την ύπαρξη πιο έντονων φαινομένων στις περιοχές κόμβου. Αντίστοιχα η μεγιστοποίηση της ταχύτητας των απότομων συμβάντων, σε απόλυτη τιμή, προκαλεί και πάλι αύξηση επικινδυνότητας και στις περιπτώσεις απότομων επιβραδύνσεων.
- Αντιστρόφως η **αύξηση της τυπικής απόκλισης** από τη μέση τιμή της ταχύτητας ανά περιοχή φαίνεται να μειώνει την εμφάνιση απότομων συμβάντων σε περιοχές κόμβου. Αυτό εξηγείται λογικά, καθώς η συχνότητα απότομων συμβάντων ανά ημέρα φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από την παρατήρηση περισσότερων χαμηλότερων ταχυτήτων στην περιοχή, παρά από την ισάξια παρατήρηση υψηλότερων ταχυτήτων που μια αυξημένη τυπική απόκλιση προσδίδει.
- Τέλος, η **απόσταση συμβάντος** παρατηρήθηκε ως μια ακόμα σημαντική μεταβλητή ένδειξης της ποσότητας έντασης του απότομου συμβάντος και η ελαχιστοποίηση της αποδείχθηκε πως επηρεάζει θετικά στη μείωση της συχνότητας των απότομων συμβάντων και αντιστοίχως της επικινδυνότητας των περιοχών μεταξύ κόμβων.

7.3 Προτάσεις για Οδική Ασφάλεια

Με βάση τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την παρούσα Διπλωματική Εργασία παρατίθενται και μερικές προτάσεις για τη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας, καθώς και για τη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας.

- Η χρήση των προγραμμάτων GIS, μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην εξακρίβωση των επικίνδυνων περιοχών του οδικού δικτύου και ως αποτέλεσμα να καταστεί δυνατότερη και πιο στοχευμένη η αστυνόμευσή του, ώστε να δημιουργηθούν ασφαλέστερες συνθήκες οδήγησης στους δρόμους τόσο για τους χρήστες αυτοκινήτων, για τους υπόλοιπους οδηγούς (μοτοσικλετών, ποδηλάτων), όσο και για τους πεζούς. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να **αξιοποιηθούν από τους φορείς αστυνόμευσης** στην περιοχή έρευνας, για τον

καθορισμό των σημείων που η περαιτέρω αστυνόμευση θα βοηθούσε στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

- Επιπροσθέτως, ο συνδυασμός δεδομένων από έξυπνα κινητά τηλέφωνα σε συνδυασμό με προγράμματα GIS, μπορεί να δημιουργήσει **δυνατότητες real-time παρακολούθησης του δικτύου**, γεγονός που μπορεί να δώσει ένα σαφές προβάδισμα στις αρχές για βελτίωση της οδικής ασφάλειας, αλλά και για καλύτερη παρακολούθηση του οδικού δικτύου και έγκαιρης επέμβασης σε περίπτωση ανάγκης.
- Επίσης, θα ήταν σκόπιμο να γίνει έλεγχος του εξεταζόμενου οδικού άξονα έρευνας (Λεωφόρος Μεσογείων), 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 και στο περιβάλλον αυτού.
- Τέλος, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο τα σημεία αυξημένης πιθανότητας απότομου συμβάντος που υπέδειξε η παρούσα εργασία, να συσχετιστούν και με **υπάρχοντες χάρτες μελανών σημείων**, ώστε να ενισχυθεί η επιχειρηματολογία για επεμβάσεις στα σημεία.

7.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Η παρατήρηση των ίδιων μεταβλητών σε **μεγαλύτερο δείγμα οδηγών**, θα παρουσίαζε αρκετό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, όσο περισσότερα δεδομένα από οδηγούς συντελέσουν τις αρχικές βάσεις δεδομένων, τόσο πιο αξιόπιστα αποτελέσματα θα προκύψουν και ενδεχομένως να έδινε τη δυνατότητα ανάπτυξης μοντέλων με ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών.
- Θα ήταν αρκετά ενδιαφέρον σε παρόμοιες εργασίες να συνδυάζονταν **στοιχεία κυκλοφοριακής ροής** για τον εξεταζόμενο άξονα, ώστε η στάθμιση της συχνότητας εμφάνισης συμβάντος να είναι πιο αντιπροσωπευτική της κυκλοφορίας που έχει η οδός υπό έρευνα.
- Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε επίσης μία ανάλυση η οποία θα στηριζόταν σε **περισσότερα δεδομένα**, όπως το φύλο των οδηγών, η ηλικία, η ψυχολογική τους κατάσταση και τα χαρακτηριστικά του οχήματος (ιπποδύναμη, τύπος οχήματος, παλαιότητα κλπ.) καθώς σίγουρα θα οδηγούσε σε καλύτερα συμπεράσματα και σε πιο αξιόπιστα και αντικειμενικά μοντέλα.
- Άξιες μελέτης, θα ήταν και έρευνες αντίστοιχες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, οι οποίες θα εξέταζαν αναλυτικότερα συγκεκριμένο οδικό άξονα και σε **χρονικό επίπεδο**, με σκοπό να εντοπιστούν τα χρονικά διαστήματα του εικοσιτετραώρου που είναι πιο επιρρεπή σε απότομα συμβάντα, καθώς επίσης να εξεταστεί εάν κάποιοι παράμετροι είναι σημαντικότεροι σε κάποιο τμήμα του.
- Τέλος θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να γίνει η παρούσα έρευνα και σε άξονες με **διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά** και χρήση, όπως αυτοκινητόδρομοι, ανισόπεδοι κόμβοι και αστικά οδικά δίκτυα.

1. Mahmud, A. and Zarrinbasha, E. (2008). Intelligent GIS-Based Road Accident Analysis and Real-Time Monitoring Automated System using WiMAX/GPRS. *International Journal of Engineering*, 2(1), pp.1-7.
2. Anderson, T. (2007). Comparison of spatial methods for measuring road accident 'hotspots': a case study of London. *Journal of Maps*, 3(1), pp.55-63.
3. Ivan, K. and Haidu, I. (2012). The Spatio-Temporal Distribution of road accidents in Cluj Napoca. *Geographia Technica*, 2, pp.32-38.
4. Aguero-Valverde, J. and Jovanis, P. (2006). Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), pp.618-625.
5. Sabel, C., Kingham, S., Nicholson, A. and Bartie, P. (2005). Road Traffic Accident Simulation Modelling - A Kernel Estimation Approach
6. Noland, R. and Quddus, M. (2004). A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. *Accident Analysis & Prevention*, 36(6), pp.973-984.
7. Baraklanios, I., Spyridonidou, A., Basbas, S., Karanikolas, N. and Vagiona, D. (2012). Developing a GIS-based methodology for managing and analyzing road traffic accident data in Greece. In: 4th International Conference on Cartography & GIS. Thessaloniki.
8. Σπανάκης, Δ. (2013). Πολυεπίπεδη Διερεύνηση Χαρακτηριστικών Οδικών Ατυχημάτων στις ελληνικές πόλεις. Undergraduate. NTUA.
9. WHO (World Health Organization), Global Status Report on Road Safety
10. Toledo, Tomer, Oren Musicant, and Tsippy Lotan (2008), "In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, p: 320-331
11. Zaldivar, Jorge, et al. (2011), "Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones." *Local Computer Networks (LCN)*
12. Vaiana, Rosolino, et al. (2014), "Driving behavior and traffic safety: an acceleration based safety evaluation procedure for smartphones." *Modern Applied Science*, p:88
13. Μαχαίρας, Ηλίας (2016), "Χωροχρονική Ανάλυση θανατηφόρων τροχαίων οχημάτων σε περιβάλλον GIS"
14. Γούγουλας, Αθανάσιος (2006) "Χωρική ανάλυση τροχαίων ατυχημάτων με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών"
15. OSeven, 2018,(www.oseven.io) (ανάκτηση 22.11.2018)
16. Wikipedia,el.wikipedia.org/wiki/Παλινδρόμηση

17. Φραντζεσκάκης, Γκόλιας. Οδική Ασφάλεια. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994
18. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1990