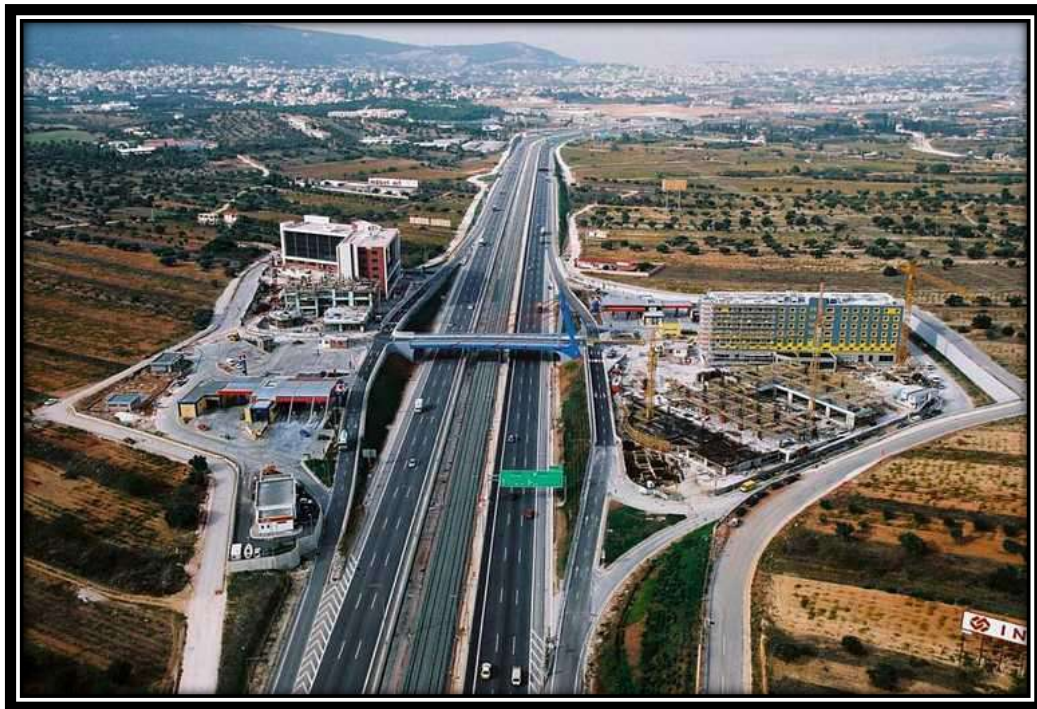




**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής**

**Αξιολόγηση παραμέτρων ασφάλειας σε ανισόπεδους κόμβους  
μορφής «διαμάντι»**

Διπλωματική Εργασία



Γιώργος Α. Όψιμος

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2021



## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν και με στήριξαν σε αυτή την προσπάθειά μου. Πρώτιστα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την υποστήριξή του καθώς και για την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησής της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον προσωπικό μου φίλο Βασίλειο Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για τη βοήθεια που μου προσέφερε με τις συμβουλές και παρατηρήσεις του, για την υπομονή του, αλλά και για την όμορφη συνεργασία κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους και τους συμφοιτητές μου, για τις όμορφες αλλά και δύσκολες στιγμές που περάσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια. Μα, πιο πολύ θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη και την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο.

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Γιώργος Α. Όψιμος

## Σύνοψη

### **Αξιολόγηση παραμέτρων ασφάλειας σε ανισόπεδους κόμβους μορφής «διαμάντι»**

Γιώργος Α. Όψιμος

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασία είναι η Αξιολόγηση παραμέτρων ασφάλειας σε ανισόπεδους κόμβους μορφής «διαμάντι». Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για ανάλυση, συλλέχθηκαν από το Κέντρο Διαχείρισης Αττικής Οδού καθώς και το και Αστυνομικό Τμήμα Αττικής Οδού από δύο βάσεις δεδομένων οι οποίες αφορούσαν σε χρονικό διάστημα δέκα χρόνων. Στην πρώτη συμπεριλαμβάνονται τα ατυχήματα που καταγράφηκαν σε κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι» που μελετήθηκε και στη δεύτερη η ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) στους τέσσερις κλάδους κάθε ανισόπεδου κόμβου. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των στατιστικών μεθόδων της γραμμικής παλινδρόμησης. Μέσω των μοντέλων παλινδρόμησης, εξετάστηκε ο βαθμός επίδρασης της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε ανισόπεδου κόμβου, της ΕΜΗΚ στις δευτερεύουσες οδούς κάθε ανισόπεδου κόμβου λόγω διαμπερούς κυκλοφορίας και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού στην πρόβλεψη ατυχημάτων. Αναπτύχθηκαν συνολικά οκτώ γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης, από τα οποία επιλέχτηκε το μοντέλο με την καλύτερη ποιότητα. Πιο συγκεκριμένα επίλεχτηκε το 7<sup>ο</sup> μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων που συνδιάζει τις μεταβλητές της ΕΜΗΚ στην δευτερεύουσα οδό κάθε ανισόπεδου κόμβου και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού.

## **Abstract**

### **Road safety parameters' assessment for «great separated diamond» type junctions**

Giorgos A. Opsimos

Supervisor: Stergios Mavromatis, Professor NTUA

The aim of the present Diploma Thesis, is to assess the road safety parameters on «great separated diamond» type junctions. All data utilized for the analysis, have been collected from the Traffic Operation Center and the Police Department of Attica Road from two (2) data bases for a time period of ten (10) years. The first data base includes the road accidents occurred on each great separated diamond type junction. The second data base includes the AADT on each junction arm. Linear regression Analysis has been used as the statistical methodology to estimate the degree of impact of the AADT on Junction major Arms and on the secondary roads as well as the cross width of secondary roads for accident prediction. Eight (8) accident prediction models have been developed and 1 of those models has been selected which had a better quality. Furthermore, it chose the 7<sup>th</sup> model which combines the viriabies of AADTxrd and the cross width of secondary roads.



## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	1
1.1.	Γενική Ανασκόπηση.....	1
1.2.	Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	1
1.3.	Μεθοδολογία.....	2
1.4.	Δομή.....	3
2.	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	6
2.1.	Εισαγωγή.....	6
2.2.	Βασικές έννοιες CMF.....	6
2.3.	Ανάπτυξη CMF.....	6
2.4.	Ορισμός SPF.....	7
2.5.	Παρόμοιες έρευνες.....	8
2.5.1.	Systematic Safety Evaluation Of Diverging Diamond Interchanges Based On Nationwide Implementation Data.....	8
2.5.2.	Safety Performance of Crossroad Ramp Terminals at Single-Point and Tight Diamond Interchanges.....	9
2.5.3.	Investigation of Existing and Alternative Methods for Combining Multiple CMFs. 10	
3.	Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	11
3.1.	Εισαγωγή.....	11
3.2.	Βασικές Έννοιες Στατιστικής.....	11
3.3.	Μαθηματικά μοντέλα.....	14
3.3.1.	Μέθοδος Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	14
3.3.2.	Εκτίμηση συντελεστών γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης.....	15
3.4.	Παρουσίαση δεδομένων στο περιβάλλον της R μέσω εντολής Boxplot (Θηκόγραμμα) 17	
3.5.	Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου.....	18
3.5.1.	Συντελεστές της εξίσωσης.....	18
3.5.2.	Στατιστική Σημαντικότητα (p-value).....	18
3.5.3.	Προσαρμογή δεδομένων και εκτιμήσεις σφαλμάτων.....	19
4.	Συλλογή και Επεξεργασία δεδομένων.....	21

4.1.	Εισαγωγή .....	21
4.2.	Συλλογή δεδομένων.....	21
4.3.	Επεξεργασία δεδομένων.....	28
4.3.1.	ΕΜΗΚ (AADTramp, AADTrxd) και Ατυχήματα (Accidents).....	28
4.3.2.	Αποστάσεις μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) .	35
5.	Μεθοδολογία .....	39
5.1.	Εισαγωγή .....	39
5.2.	Επεξεργασία δεδομένων και εισαγωγή στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R .....	39
5.2.1.	Διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων στο excel .....	39
5.2.2.	Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R.....	41
5.3.	Συσχέτιση Δεδομένων.....	44
5.4.	Ανάπτυξη Μοντέλων Παλινδρόμησης στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R.....	46
5.5.	1 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	46
5.5.1.	Ανάπτυξη 1 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	46
5.5.2.	Ποιότητα και Σχόλια 1 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	47
5.6.	2 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	48
5.6.1.	Ανάπτυξη 2 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	48
5.6.2.	Ποιότητα και Σχόλια 2 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	49
5.7.	3 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	50
5.7.1.	Ανάπτυξη 3 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	50
5.7.2.	Ποιότητα και Σχόλια 3 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	51
5.8.	4 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	51
5.8.1.	Ανάπτυξη 4 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	51
5.8.2.	Ποιότητα και Σχόλια 4 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	52
5.9.	5 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	53
5.9.1.	Ανάπτυξη 5 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	53
5.9.2.	Ποιότητα και Σχόλια 5 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	54
5.10.	6 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	54
5.10.1.	Ανάπτυξη 6 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	54
5.10.2.	Ποιότητα και Σχόλια 6 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	55
5.11.	7 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	56
5.11.1.	Ανάπτυξη 7 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	56



5.11.2.	Ποιότητα και Σχόλια 7 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	57
5.12.	8 <sup>ο</sup> Μοντέλο .....	57
5.12.1.	Ανάπτυξη 8 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	57
5.12.2.	Ποιότητα και Σχόλια 8 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	58
6.	Συμπεράσματα .....	60
6.1.	Συνολικά Συμπεράσματα - Αποτελέσματα .....	60
6.2.	Προτάσεις για βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης .....	61
6.3.	Προτάσεις για συνέχεια έρευνας.....	62
7.	Βιβλιογραφία.....	63

## Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 : Διάγραμμα ροής σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας .....	5
Διάγραμμα 2 : Διακύμανση ΕΜΗΚ στους κλάδους, ανά ανισόπεδο κόμβο για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.....	29
Διάγραμμα 3 : Διακύμανση ΕΜΗΚ στις δευτερεύουσες οδούς, ανά ανισόπεδο κόμβο για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019. ....	30
Διάγραμμα 4 : Διακύμανση Ατυχημάτων, ανά ανισόπεδο κόμβο για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.....	30
Διάγραμμα 5 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Παιανίας για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019. ....	31
Διάγραμμα 6 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Δημοκρατίας για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.....	31
Διάγραμμα 7 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Ηρακλείου για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.....	32
Διάγραμμα 8 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Άνω Λιοσίων για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019. ....	32
Διάγραμμα 9 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Ασπρόπυργου για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019. ....	33
Διάγραμμα 10 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Ασπρόπυργου για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.....	33
Διάγραμμα 11 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Γλυκών Νερών για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019. ....	34

Διάγραμμα 12 : Αποστάσεις μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού, για κάθε ανισόπεδο κόμβο. .... 35

Διάγραμμα 13 : Σύγκριση μεταβλητών αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) και ατυχημάτων (Accidents) για τους εξεταζόμενους ανισόπεδους κόμβους..... 36

Διάγραμμα 14 : Σύγκριση μεταβλητών Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADT<sub>trap</sub>) και ατυχημάτων (Accidents)..... 37

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1 : Ποσοστό απο την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για υπολογισμό ΕΜΗΚ στην δευτερεύουσα οδό σε κάθε ανισόπεδο κόμβο. . . . .	27
Πίνακας 2 : Περίληψη 1 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	47
Πίνακας 3 : Μεταβλητές στην εξίσωση 1 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	47
Πίνακας 3 : Περίληψη 2 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	48
Πίνακας 4 : Μεταβλητές στην εξίσωση 2 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	48
Πίνακας 5 : Περίληψη 3 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	50
Πίνακας 6 : Μεταβλητές στην εξίσωση 3 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	50
Πίνακας 7 : Περίληψη 4 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	52
Πίνακας 8 : Μεταβλητές στην εξίσωση 4 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	52
Πίνακας 9 : Περίληψη 5 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	53
Πίνακας 10 : Μεταβλητές στην εξίσωση 5 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	53
Πίνακας 12 : Μεταβλητές στην εξίσωση 6 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	55
Πίνακας 11 : Περίληψη 6 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	55
Πίνακας 13 : Περίληψη 7 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	56
Πίνακας 15 : Περίληψη 8 <sup>ου</sup> Μοντέλου. . . . .	58

Πίνακας 16 : Μεταβλητές στην εξίσωση 8 <sup>ου</sup> Μοντέλου.....	58
--	----

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1 : Απεικόνιση θηκογράμματος, Πηγή : Ιστότοπος <a href="http://www.mycourses.com.gr">www.mycourses.com.gr</a> , Μάθημα Ποσοτικές Μέθοδοι στις μεταφορές. ....	17
Εικόνα 2 : Συσχέτιση μεταβλητών Accidents και AADT και στατιστική σημαντικότητα μεταξύ τους, Πηγή : Λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R-studio. ....	19
Εικόνα 3 : Τυπική μορφή ανισόπεδου κόμβου μορφής «διαμάντι», Πηγή : Ιστότοπος <a href="http://www.mycourses.com.gr">www.mycourses.com.gr</a> , Μάθημα Ειδικά κεφάλαια Γεωμετρικού σχεδιασμού οδών. ....	21
Εικόνα 4 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή της Παιανίας, Πηγή : Google Earth. ....	22
Εικόνα 5 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή της οδού Δημοκρατίας, Πηγή : Google Earth. ....	23
Εικόνα 6 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή του Ηρακλείου, Πηγή : Google Earth. ....	23
Εικόνα 7 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή του Ασπρόπυργου, Πηγή : Google Earth. ....	24
Εικόνα 8 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, Πηγή : Google Earth. ....	24
Εικόνα 9 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή των Γλυκών Νερών, Πηγή : Google Earth. ....	25
Εικόνα 10 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή της Μαγούλας, Πηγή : Google Earth. ....	25
Εικόνα 11 : Χρήση εργαλείου «Ruler», Πηγή : Google Earth. ....	26

Εικόνα 12 : Εισαγωγή δεδομένων στην R. ....	41
Εικόνα 13 : Βάση δεδομένων των Ατυχημάτων και της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους, στο περιβάλλον της R.....	42
Εικόνα 15 : Βάση δεδομένων αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού, στο περιβάλλον της R.....	43
Εικόνα 14 : Βάση δεδομένων ΕΜΗΚ για τις δευτερεύουσες οδούς, στο περιβάλλον της R.....	43
Εικόνα 16 : Συσχέτιση της μεταβλητής των Ατυχημάτων και της ΕΜΗΚ για τους τέσσερις κλάδους.....	44
Εικόνα 17 : Συσχέτιση της μεταβλητής των Ατυχημάτων και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού. ....	45
Εικόνα 18 : Συσχέτιση της μεταβλητής ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού.....	45

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Γενική Ανασκόπηση

Στην εποχή που ζούμε, οι οδικές μεταφορές είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και αποτελούν κύριο παράγοντα της εξέλιξης των κοινωνιών. Έτσι, η πρόοδος και η βελτιστοποίηση του τομέα των μεταφορών είναι αναμφισβήτητα αντικείμενο της επιστήμης του συγκοινωνιολόγου μηχανικού και έχουν στόχο την παροχή ασφαλών, γρήγορων και οικονομικών μετακινήσεων.

Τα ατυχήματα που παρατηρούνται στις υπεραστικές οδούς, σχετίζονται με τις μεγάλες ταχύτητες που αναπτύσσονται, καθώς και τη γεωμετρία της οδού. Σημαντική είναι επίσης και η επιρροή των κόμβων στα ατυχήματα τα οποία συνήθως εμφανίζονται στις ισόπεδες διασταυρώσεις. Με βάση τη διεθνή εμπειρία, σημαντικός αριθμός ατυχημάτων καταγράφεται και στους κλάδους εισόδου – εξόδου ανισόπεδων κόμβων όπου υπάρχουν ισόπεδες διασταυρώσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις σημαντική είναι η επιρροή της ετήσιας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας (ΕΜΗΚ) στους κλάδους εισόδου – εξόδου με τη δευτερεύουσα οδό που, όου επιπλέον κρίσιμος παράγοντας φαίνεται να αποτελεί και η απόσταση μεταξύ ισόπεδων αυτών κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing).

## 1.2. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι η αξιολόγηση παραμέτρων ασφάλειας σε ανισόπεδους κόμβους μορφής «διαμάντι» αξιοποιώντας δεδομένα, τα οποία παραχωρήθηκαν από το Κέντρο Διαχείρισης Αττικής Οδού και το Αστυνομικό Τμήμα Αττικής Οδού.

Αρχικά, η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει έναν κύριο στόχο. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται να εξεταστεί κατά πόσο η απόσταση μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) για κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι» επηρεάζει την πρόβλεψη ατυχημάτων.

Έτσι, για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν στοιχεία από συγκεκριμένους ανισόπεδους κόμβους που επιλέχθηκαν. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν



μαθηματικά στατιστικά μοντέλα τα οποία θα εξηγήσουν τα παραπάνω ζητήματα και θα προβλέπουν τη σχέση μεταξύ συγκεκριμένων μεταβλητών και ατυχημάτων.

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, θα βοηθήσουν στην κατανόηση του βαθμού επιρροής των συγκεκριμένων μεταβλητών στην πρόβλεψη ατυχημάτων.

### 1.3. Μεθοδολογία

Πρώτιστα, έγινε έρευνα και συλλογή στοιχείων μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, κυρίως σε διεθνή βιβλιογραφία αφού πρώτα αποφασίστηκε το θέμα κι ο στόχος της μελέτης αυτής. Πιο αναλυτικά, έγινε αναζήτηση επιστημονικών άρθρων, προτύπων και προδιαγραφών, ερευνών οι οποίες ήταν συνυφασμένες με την Διπλωματική Εργασία, καθώς και γενικών πληροφοριών. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη επαφή με το θέμα της εργασίας και έγινε προσπάθεια κατανόησης του προβλήματος ώστε να αποκτηθεί μια εμπειρία σχετικά με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Η διαδικασία αυτή βοήθησε στον τρόπο επεξεργασίας του θέματος και στη τελική απόφαση της μεθόδου με την οποία θα διερευνηθεί το θέμα.

Στη συνέχεια, αποφασίστηκε ο τρόπος για τη συλλογή των δεδομένων που ήταν απαραίτητα για την διεκπεραίωση της εργασίας. Για το σκοπό αυτό, μέσω τηλεφωνικής επικοινωνίας αλλά και ηλεκτρονικής αλληλογραφίας με τις αρμόδιες υπηρεσίες Κέντρο Διαχείρισης Αττικής Οδού και Αστυνομικό Τμήμα Αττικής Οδού έγινε η συλλογή των απαιτούμενων για την μελέτη στοιχείων. Οι ανισόπεδοι κόμβοι μορφής «διαμάντι» που επιλέχτηκαν για την ανάλυση αυτού ήταν αποκλειστικά μέσα στην Αττική Οδό, περιμετρικά της Αθήνας. Συγκεκριμένα, επιλέχτηκαν ο ανισόπεδος κόμβος Παιανίας, ο ανισόπεδος κόμβος Δημοκρατίας (Αχαρνάι), ο ανισόπεδος κόμβος Ηρακλείου, ο ανισόπεδος κόμβος Άνω Λιοσίων, ο ανισόπεδος κόμβος Ασπρόπυργου, ο ανισόπεδος κόμβος Μαγούλας και ο ανισόπεδος κόμβος Γλυκών Νερών. Οι κόμβοι αυτοί, επιλέχτηκαν κυρίως γιατί είναι μορφής «διαμάντι» αλλά και λόγω του αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου που παρουσιάζουν.

Για την ανάλυση των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή βάσεων δεδομένων και απεικόνιση γραφημάτων μέσω του προγράμματος λογιστικών φύλλων Microsoft Excel. Με τον τρόπο αυτό, έγιναν πιο κατανοητά τα δεδομένα κι επιλέχτηκε η μέθοδος για την περαιτέρω ανάλυσή τους. Ακολούθως, έγινε πιο εκτενής επεξεργασία των βάσεων δεδομένων για να αποκτήσουν μορφή με την οποία να μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, τη γλώσσα προγραμματισμού R. Χρησιμοποιώντας την R, αναπτύχθηκαν μαθηματικά μοντέλα γραμμικής

παλινδρόμησης για την περιγραφή της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή.

Έπειτα, αξιολογήθηκαν και σχολιάστηκαν τα αποτελέσματα, ώστε να παραχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την περιγραφή του βαθμού επιρροής των ατυχημάτων (Accidents) σε σχέση με την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία στους τέσσερις κλάδους του Ανισόπεδου κόμβου μορφής «διαμάντι» (AADTramp), την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία στην δευτερεύουσα οδό λόγω διαμπερής κίνησης (AADTxrd) και την απόσταση μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) . Έτσι, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το θέμα το οποίο μελετήθηκε.

## 1.4. Δομή

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας με την κεντρική ιδέα του περιεχομένου για κάθε κεφάλαιο αυτής.

### **Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή**

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στην γενική παρουσίαση του θέματος στο οποίο ανήκει το περιεχόμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Στη συνέχεια, αναφέρεται ο σκοπός της εργασίας καθώς και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ολοκλήρωση αυτής. Επίσης, παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή της εν λόγω εργασίας καθώς και τα στάδια για την ολοκλήρωση της.

### **Κεφάλαιο 2 : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

Με βάση την διεθνή βιβλιογραφική έρευνα που χρησιμοποιήθηκε, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα τα οποία αφορούν κυρίως την έννοια του Crash Modification Factors (CMF), δηλαδή τους δείκτες μεταβολής συγκρούσεων. Πιο αναλυτικά, αναφέρονται οι κύριες έννοιες, στοιχεία που προκύπτουν από επιστημονικά άρθρα, καθώς και κανονισμοί που πρέπει να τηρούνται σύμφωνα με τη νομοθεσία. Τέλος, προβάλλονται έρευνες οι οποίες είναι συνυφασμένες με την κεντρική ιδέα της Διπλωματικής Εργασίας.

### **Κεφάλαιο 3 : Θεωρητικό Υπόβαθρο**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται το υπόβαθρο που έχει σχέση με την θεωρία αλλά και στοιχεία στα οποία επικεντρώθηκαν τα στάδια για να επιτευχθεί η ανάλυση των δεδομένων του ζητήματος της Διπλωματικής Εργασίας. Στην αρχή, παρουσιάζονται οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να γίνει η συλλογή των δεδομένων

για τους συγκεκριμένους ανισόπεδους κόμβους «διαμάντι» στην Αττική Οδό. Παράλληλα, περιγράφονται οι στατιστικές αλλά και μαθηματικές έννοιες με στόχο την αναλυτικότερη επεξήγηση των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Έπειτα, ακολουθεί μία μικρή παρουσίαση του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης (R-Studio) αλλά και ορισμένα στάδια που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων.

#### **Κεφάλαιο 4 : Συλλογή και Ανάλυση δεδομένων**

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εύρεση και ανάλυση των δεδομένων που βασίστηκε η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία. Αρχικά, γίνεται αναλυτική επεξήγηση για τον τρόπο που συλλέχθηκαν τα δεδομένα, τόσο για τα στοιχεία που αφορούν μετρήσεις από λογισμικά όσο και για στοιχεία τα οποία παραχωρήθηκαν από το Κέντρο Διαχείρισης Αττικής Οδού και το Αστυνομικό Τμήμα Αττικής Οδού. Στη συνέχεια αυτού, προβάλλονται πίνακες αλλά και διαγράμματα στα οποία διακρίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Ακολούθως, πραγματοποιείται η επεξεργασία τους στο πρόγραμμα λογιστικών φύλλων Microsoft Excel και κατ' επέκταση η εισαγωγή τους στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R-Studio.

#### **Κεφάλαιο 5 : Μεθοδολογία**

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθεται αναλυτικά η διαδικασία και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για το εξεταζόμενο θέμα. Αρχικά, μέσω στατιστικών μοντέλων γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων, κυρίως με διάφορους ελέγχους αξιοπιστίας για την αποδοχή τους. Επιπρόσθετα, για την επιτυχή πρόβλεψη του συντελεστή CMF παρουσιάζονται τα ολοκληρωμένα στατιστικά μοντέλα.

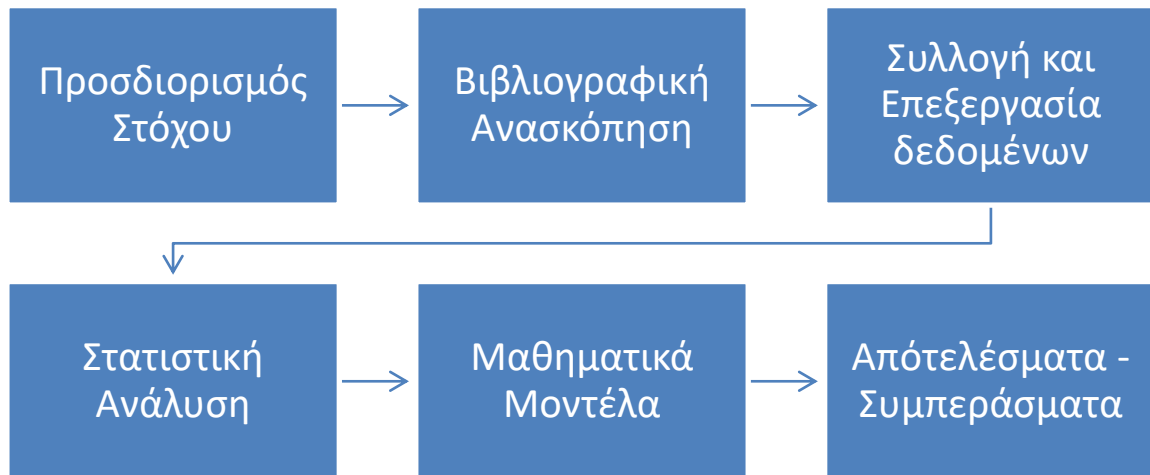
#### **Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω των στατιστικών μοντέλων, . Πιο εκτενέστερα, παρουσιάζεται μια περίληψη στα κύρια σημεία της παρούσας μελέτης, τα συμπεράσματα που εξήχθησαν καθώς και μερικές προτάσεις για μια πιθανή μελλοντική έρευνα συνυφασμένη με την παρούσα.

#### **Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

Τέλος, το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στις αναφορές οι οποίες έγιναν από τις βιβλιογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Οι αναφορές αυτές περιλαμβάνουν στοιχεία που παρουσιάζονται κυρίως στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας αλλά και στο κεφάλαιο με το θεωρητικό υπόβαθρο.

Πιο κάτω φαίνεται σε μορφή διαγράμματος, η πορεία που ακολουθήθηκε για να ολοκληρωθεί η εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.



*Διάγραμμα 1 : Διάγραμμα ροής σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας*

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1. Εισαγωγή

1. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να παρουσιαστούν στοιχεία από την βιβλιογραφική ανασκόπηση τα οποία συνέλαβαν στην καλύτερη κατανόηση του συγκεκριμένου θέματος. Πιο αναλυτικά, προβάλλεται ο ορισμός των δεικτών μεταβολής συγκρούσεων CMF, τα στάδια μελέτης για τον προσδιορισμό του συντελεστή αυτού καθώς και οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται για την εγκυρότητα αλλά και για την αποδοχή του. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε έρευνες οι οποίες είναι παρόμοιες με την παρούσα και παρουσιάζονται μελέτες προσέγγισης του συντελεστή CMF σε ανισόπεδους κόμβους μορφής «διαμάντι». (Πηγή: U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. Crash Modifications Factors Clearinghouse. <http://www.cmfclearinghouse.org>)

### 2.2. Βασικές έννοιες CMF

Οι δείκτες μεταβολής συγκρούσεων (CMF) είναι ένας πολλαπλασιαστικός παράγοντας που εκτιμά το ποσοστό των ατυχημάτων που αναμένονται μετά την εφαρμογή ενός αντίμετρου (π.χ. αύξηση του πλάτους των οριογραμμών της οδού, εγκατάσταση φωτεινού σηματοδότη, αλλαγή στην γεωμετρία της οδού). Με άλλα λόγια ο συντελεστής αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ασφάλεια μιας αλληλουχίας βελτιώσεων.

Τα CMF με τιμή μικρότερη από 1,0 υποδηλώνουν αναμενόμενη μείωση των συγκρούσεων ενώ αντιθέτως με τιμή μικρότερη από 1,0 υποδηλώνουν αναμενόμενη αύξηση. (Πηγή: U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. Crash Modifications Factors Clearinghouse. <http://www.cmfclearinghouse.org>)

### 2.3. Ανάπτυξη CMF

Αρχικά, τα CMF μπορούν να υποδείξουν ποιο αντίμετρο θα έχει το μεγαλύτερο αντίκτυπο στη μείωση των συγκρούσεων αλλά και να ποσοτικοποιήσει τα οφέλη για κάθε εναλλακτική λύση που εξετάζεται. Έτσι, για να επιτευχθεί αυτό, ακολουθείται μια σειρά από βήματα τα οποία είναι αναγκαία για τον συγκεκριμένο σχεδιασμό. Το πρώτο στάδιο που ακολουθείται είναι ο καθορισμός μερικών μελλοντικών αντιμέτρων τα οποία θα αφορούν τους τύπους των συγκρούσεων αλλά και την τοποθεσία του προβλήματος. Ακολούθως, ανάλογα με τα αντίμετρα τα οποία

επιλέχτηκαν, ελέγχεται εάν αυτά είναι εγκεκριμένα από την αρμόδια υπηρεσία και ακολούθως μέσω συγκριτικής αξιολόγησης επιλέγεται η βέλτιστη λύση.

Για κάθε αντίμετρο που καθορίζεται, επιλέγεται ένα CMF το οποίο σύμφωνα με την συγκεκριμένη ανάλυση υπερέχει από τα άλλα. Έπειτα, εφαρμόζεται το CMF και εκτιμάται ο αναμενόμενος αριθμός ατυχημάτων μετά την εφαρμογή του αντιμέτρου. Τέλος, επιλέγεται το αντίμετρο που θα εφαρμοστεί και συγκρίνεται η μείωση των συγκρούσεων του «μετά» και του «πριν». (Πηγή: U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. Crash Modifications Factors Clearinghouse. <http://www.cmfclearinghouse.org>)

#### **2.4. Ορισμός SPF**

Αρχικά, το εγχειρίδιο ασφάλειας των οδών (HSM) που δημοσιεύτηκε από το American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) παρέχει διαδικασίες και στατιστικά εργαλεία για την εκτίμηση του αναμενόμενου αριθμού ατυχημάτων. Ένα κρίσιμο εργαλείο της μεθοδολογίας που προτείνεται στο HSM είναι η λειτουργία απόδοσης ασφάλειας (SPF). Τα SPF είναι μοντέλα παλινδρόμησης που συσχετίζουν ποσοτικά τον αναμενόμενο αριθμό ατυχημάτων σύμφωνα με την κυκλοφορία και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Επιπλέον, διερευνώνται νέες μορφές της μεθόδου για τον προσδιορισμό του καλύτερου μοντέλου χρησιμοποιώντας τεχνικές παλινδρόμησης Poisson-Gamma. Οι δυνατότητες πρόβλεψης των δύο βαθμονομημένων μοντέλων και των τεσσάρων πρόσφατα αναπτυσσόμενων SPF, αξιολογούνται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων επικύρωσης. Όσον αφορά, τα μέτρα απόδοσης που εξετάζονται για την αξιολόγηση του μοντέλου, είναι η μέση απόλυτη απόκλιση, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα πρόβλεψης, η μέση προκατάληψη πρόβλεψης, η τιμή πιθανότητας καταγραφής και το κριτήριο πληροφοριών του Akaike. Επιπλέον, το καλύτερο μοντέλο περιγράφει τη μέση συχνότητα σύγκρουσης ως συνάρτηση της ετήσιας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας, του μήκους τμήματος, του πλάτους της λωρίδας, του έτους και του ορίου ταχύτητας. Σύμφωνα με μελέτες, διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος που συνιστά η HSM για την εκτίμηση συντελεστή βαθμονόμησης έχει επίσης καλή απόδοση. (Πηγή: U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. Crash Modifications Factors Clearinghouse. <http://www.cmfclearinghouse.org>)

## 2.5. Παρόμοιες έρευνες

### 2.5.1. Systematic Safety Evaluation Of Diverging Diamond Interchanges Based On Nationwide Implementation Data.

#### **Στόχος:**

1. Στόχος της συγκεκριμένης έρευνας, είναι η αξιολόγηση της ασφάλειας έξι αποκλίνοντων διαμαντιών (Diverging Diamond Interchanges (DDIs) με διάφορες μεθόδους, μια εκ των οποίων είναι η εφαρμογή CMF για σύγκριση «πριν» και «μετά» των αντιμέτρων στην εξεταζόμενη περιοχή δεδομένου ότι οι οδηγοί ενδέχεται να μην είναι εξοικειωμένοι με τον συγκεκριμένο τύπο ανισόπεδου κόμβου «αποκλίνον διαμάντι». (Πηγή: Abdelrahman, Abdel-Aty, Yuan, Al-Omari, 2020. Systematic Safety Evaluation of Diverging Diamond Interchanges Based on Nationwide Implementation Data.)

#### **Στάδια Ανάλυσης:**

2. Στο πλαίσιο της έρευνας αυτής, εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι για την επιλογή αντιμέτρων και κατ' επέκταση την βελτίωση του συγκεκριμένου κόμβου. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος «πριν» και «μετά» με συγκριτική ομαδική μελέτη (Before-After with Comparison Group Study), ακολούθως η εμπειρική μέθοδος (Bayes Empirical Bayes Before-After Approach), και η μέθοδος της διατομής (Cross-Sectional Method) για να επιτευχθεί η ανάλυση στο αν αποτελεί ασφαλέστερη μορφή ανισόπεδου κόμβου το «αποκλίνον διαμάντι». (Πηγή: Abdelrahman, Abdel-Aty, Yuan, Al-Omari, 2020. Systematic Safety Evaluation of Diverging Diamond Interchanges Based on Nationwide Implementation Data.)

#### **Αποτελέσματα:**

3. Έτσι, για κάθε μέθοδο ξεχωριστά, παρατίθενται τα αποτελέσματα σε ποσοστιαία μορφή, τα οποία δείχνουν μέσω των CMF ότι τα ατυχήματα μειώνονται αντίστοιχα. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η μετατροπή συμβατικών ανταλλακτικών διαμαντιών σε DDI είναι ένα αντίμετρο που μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συχνότητα πρόσκρουσης σε τέτοιου είδους διασταυρώσεις. (Πηγή: Abdelrahman, Abdel-Aty, Yuan, Al-Omari, 2020. Systematic Safety Evaluation Of Diverging Diamond Interchanges Based On Nationwide Implementation Data.)

### **2.5.2. Safety Performance of Crossroad Ramp Terminals at Single-Point and Tight Diamond Interchanges.**

#### **Στόχος:**

1. Στην παρούσα έρευνα, παρουσιάζεται η σύγκριση των επιδόσεων ασφαλείας της δευτερεύουσας οδού σε δύο παραλλαγές ανισόπεδου κόμβου μορφής «διαμάντι», με ένα σημείο διασταύρωσης και «στενού τύπου», (Single - Point and Tight Diamond Interchanges). Επιπλέον, έγινε μελέτη με στόχο την ανάπτυξη νέων μοντέλων πρόβλεψης σύγκρουσης σε διασταυρώσεις για δευτερεύουσες οδούς σε ανισόπεδους κόμβους μορφής διαμάντι «στενού τύπου». (Πηγή: Torbic, Porter, Gooch, and Kersavage, 2020. Safety Performance of Crossroad Ramp Terminals at Single-Point and Tight Diamond Interchanges.)

#### **Στάδια Ανάλυσης:**

Αφού, έγινε αναφορά στα χαρακτηριστικά του ανισόπεδου κόμβου που αναλύεται, αναπτύχθηκαν μοντέλα προβλέψεις ατυχημάτων για την δευτερεύουσα οδό σε ανισόπεδους κόμβους «διαμάντι» αλλά και σε αντίστοιχους ανισόπεδους κόμβους μορφής διαμάντι «στενού τύπου». Επιπρόσθετα, παρατίθενται πίνακες αλλά και εξισώσεις σύμφωνα με τις μεταβλητές που συμπεριλήφθηκαν στην ανάπτυξη των μοντέλων. (Πηγή : Torbic, Porter, Gooch, and Kersavage, 2020. Safety Performance of Crossroad Ramp Terminals at Single-Point and Tight Diamond Interchanges.)

#### **Αποτελέσματα:**

Γενικά, διαπιστώθηκε ότι τα μοντέλα πρόβλεψης ατυχημάτων για την δευτερεύουσα οδό σε κόμβους μορφής «διαμάντι», προβλέπουν περισσότερα ατυχήματα από ό, τι τα μοντέλα για δευτερεύουσες οδούς σε ανισόπεδους κόμβους μορφής διαμάντι «στενού τύπου». Οι συγκρίσεις των μοντέλων πρόβλεψης ατυχημάτων υποδηλώνουν λογικά αποτελέσματα σε όλο το εύρος των συνθηκών του φόρτου κυκλοφορίας. (Πηγή: Torbic, Porter, Gooch, and Kersavage, 2020. Safety Performance of Crossroad Ramp Terminals at Single-Point and Tight Diamond Interchanges.)



### **2.5.3. Investigation of Existing and Alternative Methods for Combining Multiple CMFs.**

#### **Στόχος:**

1. Στη συγκεκριμένη αυτή μελέτη, παρουσιάζονται αρκετά ζητήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή πολλαπλών CMF και να παρέχονται οδηγίες σχετικά με τον τρόπο εκτίμησης του συνδυασμένου αποτελέσματος «θεραπείας» όταν προτείνονται πολλαπλές «θεραπείες» σε μια εξεταζόμενη τοποθεσία. Αυτή η εργασία παρουσιάζει αρκετές υπάρχουσες μεθόδους για τον συνδυασμό πολλαπλών CMF, αλλά παράλληλα διερευνώνται θέματα αναφορικά με την υπέρβαση των εντοπισμένων ζητημάτων. Τέλος, οι μέθοδοι εφαρμόζονται και συγκρίνονται με τα υπάρχοντα CMF για πολλαπλές θεραπείες σε μια προσπάθεια επικύρωσης των νέων διαδικασιών. (Πηγή: Vanasse Hangen Brustlin, Frank Gross, Ajmal (AJ) Hamidi, 2011. Investigation of Existing and Alternative Methods for Combining Multiple CMFs.)

#### **Στάδια Ανάλυσης:**

Αρχικά, αναφέρεται ότι υπάρχουν πολυάριθμα CMF για μεμονωμένες θεραπείες αλλά και ότι κατά κάποιον τρόπο ο συνδυασμός μεμονωμένων CMF για την εκτίμηση του συνδυασμένου αποτελέσματος θεραπείας είναι μια εναλλακτική λύση για την ανάπτυξη CMF για κάθε πιθανό συνδυασμό θεραπειών. Ακολούθως, στην εργασία αυτή, αναλύονται εμπεριστατωμένα θέματα που σχετίζονται με την εφαρμογή πολλαπλών CMF, διερευνώνται μέθοδοι για την υπέρβαση προσδιορισμένων ζητημάτων, παρουσιάζονται λεπτομερείς μέθοδοι και αναπτύσσεται συγκεκριμένη προκαταρκτική αξιολόγηση του θέματος. (Πηγή: Vanasse Hangen Brustlin, Frank Gross, Ajmal (AJ) Hamidi, 2011. Investigation of Existing and Alternative Methods for Combining Multiple CMFs.)

#### **Αποτελέσματα:**

Στην έρευνα αυτή, προτείνεται να μην συνδυάζονται περισσότερα από δύο CMF σε μια ανάλυση. Στην περίπτωση εφαρμογής τριών ή περισσότερων αντιμέτρων, είναι πιθανόν να μην προκύπτει η αναμενόμενη μείωση στον αριθμό των των συγκρούσεων. Επιπλέον, παρέχεται ένα μητρώο για να βοηθήσει στον εντοπισμό πιθανών αλληλεπικαλυπτόμενων αποτελεσμάτων μεταξύ δύο θεραπειών. Τέλος, υπογραμμίζεται ότι η μελέτη αυτή χρειάζεται περεταίρω διεύρυνση από τους ερευνητές του CMF. (Πηγή: Vanasse Hangen Brustlin, Frank Gross, Ajmal (AJ) Hamidi, 2011. Investigation of Existing and Alternative Methods for Combining Multiple CMFs.)

## 3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 3.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, προβάλλεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχτηκε η επεξεργασία των δεδομένων του θέματος της Διπλωματικής Εργασίας. Στην αρχή, παρουσιάζονται μέθοδοι ανάλυσης που αναπτύχθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή μοντέλων πρόβλεψης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης και εξετάστηκε πιθανή συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (ατυχήματα) και των ανεξάρτητων μεταβλητών (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία στους τέσσερις κλάδους του Ανισόπεδου κόμβου μορφής «διαμάντι» (AADTramp), Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία στην δευτερεύουσα οδό λόγω διαμπερούς κίνησης (AADTxrd) και απόσταση μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing)). Έπειτα, περιγράφονται τα κριτήρια αποδοχής αλλά και απόρριψης των μοντέλων, οι στατιστικοί έλεγχοι, αλλά και κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R-Studio που χρησιμοποιήθηκε.

### 3.2. Βασικές Έννοιες Στατιστικής

- Πληθυσμός ορίζεται το σύνολο των παρατηρήσεων του χαρακτηριστικού που ενδιαφέρει τη στατιστική έρευνα. Πρόκειται για ένα σύνολο στοιχείων που είναι τελείως καθορισμένα. Επίσης ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός.
- Σημαντική έννοια είναι το "δείγμα" και αναφέρεται σε ένα υποσύνολο του πληθυσμού. Οι περισσότερες στατιστικές έρευνες στηρίζονται σε δείγματα αφού οι ιδιότητες του πληθυσμού είναι συνήθως αδύνατον να καταγραφούν. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη μελέτη του δείγματος θα ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια για ολόκληρο το πληθυσμό μόνο αν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού.
- Για να αρχίσει να εκπονείται μια μελέτη, χρειάζεται να μετρηθούν και να καταγραφούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία ορίζονται ως **μεταβλητές**. Ανάλογα με την σημασία τους στην έρευνα, διακρίνονται σε **εξαρτημένες μεταβλητές (dependent variables)** και **ανεξάρτητες μεταβλητές (independent variables)**. Οι εξαρτημένες μεταβλητές, ορίζονται οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές, δηλαδή είναι αυτές που αναλύουν εξωτερικούς παράγοντες από τους οποίους επηρεάζονται. Αντιθέτως, οι

ανεξάρτητες μεταβλητές είναι οι μεταβλητές που εκφράζουν μία ιδιότητα και μπορεί να εκτιμήσουν , την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής.

- Επιπλέον, σημαντικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται στον κλάδο της στατιστικής και υπάρχουν σε όλες τις κατανομές είναι η μέση τιμή και η διακύμανση. Ως **μέση τιμή (E)** ορίζεται το άθροισμα των τιμών διά το πλήθος των τιμών. **Διακύμανση** ορίζεται ο «μέσος όρος των τετραγώνων διαφορών από το μέσο όρο». Η διακύμανση (Var) είναι ίση με 0 εάν όλες οι τιμές της μεταβλητής είναι ίσες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση. Όταν η διακύμανση είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή, αυτό ονομάζεται υπερδιασπορά και είναι μεγαλύτερη από 1. Εάν είναι μικρότερη από 1 από αυτή είναι γνωστή ως υποδιαστολή.

$$\bar{x} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_v}{v} = \frac{\sum_{i=1}^v t_i}{v} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v t_i$$

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

- Η **διασπορά  $s^2$**  προκύπτει από τα τετράγωνα των παρατηρήσεων και συχνά είναι δύσκολο να την ερμηνεύσουμε ως πραγματικό φυσικό μέγεθος. Γι' αυτό ορίζουμε τη δειγματική τυπική απόκλιση (s), που είναι απλά η θετική ρίζα της δειγματικής διασποράς  $s^2$  . Η τυπική απόκλιση (s) μετριέται με τη μονάδα μέτρησης της τυχαίας μεταβλητής X κι εκφράζει την τυπική απόκλιση των δεδομένων από τη δειγματική μέση τιμή, δηλαδή μέχρι πόσο περίπου περιμένουμε μια τυπική τιμή της X να απέχει από τη μέση τιμή.

- Παράλληλα, μια σημαντική έννοια, η οποία δείχνει το πόσο καλά συσχετίζονται δύο μεταβλητές και μπορούν να συνυπάρχουν στο ίδιο μοντέλο είναι ο συντελεστής συσχέτισης  $\rho$ . Έστω  $x$ ,  $y$  δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές. Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο μεταβλητών  $x$  και  $y$ , οι οποίες έχουν διασπορά  $\sigma_x^2$  και  $\sigma_y^2$  αντίστοιχα, και συνδιασπορά  $\sigma_{xy} = \text{cov}[x,y]$ , καθορίζεται με το συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient)  $\rho$ , ο οποίος ορίζεται ως εξής:  $\rho = (\sigma_{xy}/\sigma_x)(1/\sigma_y)$ . Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης  $\rho$  γίνεται με την αντικατάσταση στην παραπάνω εξίσωση της συνδιασποράς  $\sigma_{xy}$  και των διασπορών  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της εκτιμήτριας  $r$ :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ( $\rho$ ), 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  $y$ .

### 3.3. Μαθηματικά μοντέλα

Ένας από τους σημαντικότερους κλάδους της στατιστικής, είναι η ανάλυση της παλινδρόμησης (regression analysis). Σε κάθε παλινδρόμηση υπάρχουν μία ή περισσότερες μεταβλητές οι οποίες ονομάζονται ανεξάρτητες ενώ μια μεταβλητή του δείγματος, διαφορετική από τις προηγούμενες, ονομάζεται εξαρτημένη. Ειδικότερα εξαρτημένη μεταβλητή ορίζεται η μεταβλητή η οποία θέλουμε να προβλεφθεί ενώ ανεξάρτητη μεταβλητή ορίζεται αυτή που χρησιμοποιείται για να προβλεφθεί η εξαρτημένη. Η εξαρτημένη μεταβλητή επιλέγεται από τον ερευνητή όπου θέλει να εκτίμηση την πρόβλεψη της. Αντίθετα οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν αποφασίζονται αυθαίρετα, αλλά παίρνουν καθορισμένες τιμές και καθοδηγούν την εξαρτημένη. Όταν μια παλινδρόμηση έχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή ονομάζεται απλή παλινδρόμηση, ενώ αν υπάρχουν περισσότερες ονομάζεται πολλαπλή παλινδρόμηση. Η χρησιμότητα των παλινδρομήσεων είναι σημαντική για την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, όπου εκφράζουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Τέλος, ένα σημαντικό κριτήριο το οποίο έχει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του κατάλληλου μοντέλου είναι αν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής ή διακριτή.

#### 3.3.1. Μέθοδος Γραμμικής Παλινδρόμησης

Με την γραμμική παλινδρόμηση εξετάζεται ποιες μεταβλητές του δείγματος που θα τοποθετηθούν σαν ανεξάρτητες είναι στατιστικά σημαντικές με την μεταβλητή που θα οριστεί σαν εξαρτημένη και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη μοντέλων όπου η εξαρτημένη είναι μετρήσεις. Δηλαδή ο στόχος είναι να προσδιοριστούν εκείνες οι μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν την εξαρτημένη. Χρησιμοποιείται καλύτερα για σπάνια γεγονότα, καθώς αυτά τείνουν να ακολουθούν μια κατανομή Poisson (σε αντίθεση με τα πιο συνηθισμένα συμβάντα που τείνουν να ακολουθούν κανονική κατανομή) και γενικά είναι η πιο κατάλληλη για περιπτώσεις όπου η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ένας μικρός ακέραιος.

Η γενική μαθηματική εξίσωση για την παλινδρόμηση είναι :

$$\log(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

όπου :

- $y$  = εξαρτημένη μεταβλητή
- $x_1, x_2, \dots, x_p$  = οι ανεξάρτητες μεταβλητές

➤  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p =$  αριθμητικοί συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών ➤  $\beta_0 =$  σταθερός συντελεστής

### 3.3.2. Εκτίμηση συντελεστών γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης

Η συνάρτηση που εφαρμόζεται στο περιβάλλον του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης (R-studio) για τον υπολογισμό των συντελεστών ενός **γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης** με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων είναι η συνάρτηση `lm()` (linear model).

Αρχικά, η **μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων** είναι μία μέθοδος εκτίμησης των συντελεστών ενός γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης. Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή εντοπίζει τη σχέση για την οποία τα δεδομένα που έχουν προκύψει θα προσαρμοστούν όσο το δυνατό καλύτερα στο γράφημα της. Οι τιμές των  $b_0$  και  $b_1$  προσδιορίζονται βρίσκοντας τις τιμές για τις οποίες ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων. Χρησιμοποιώντας τα τετράγωνα των αποκλίσεων, δε λαμβάνονται υπόψη τα πρόσημα τους κι επιπλέον οι μεγάλες τιμές αποκλίσεων επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το συνολικό άθροισμα (επιφέρουν μεγαλύτερη «ποινή»). Τα παραπάνω υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$\begin{aligned} \sum e^2 &= \sum (y - \hat{y})^2 \\ &= \sum (y - (b_0 + b_1 x))^2 \end{aligned}$$

Οι τιμές των  $b_0$  και  $b_1$  υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$b_1 = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \quad \text{ή} \quad b_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

και

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Όπου :

$\bar{y}$ : μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής

$\bar{x}$  : μέση τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής

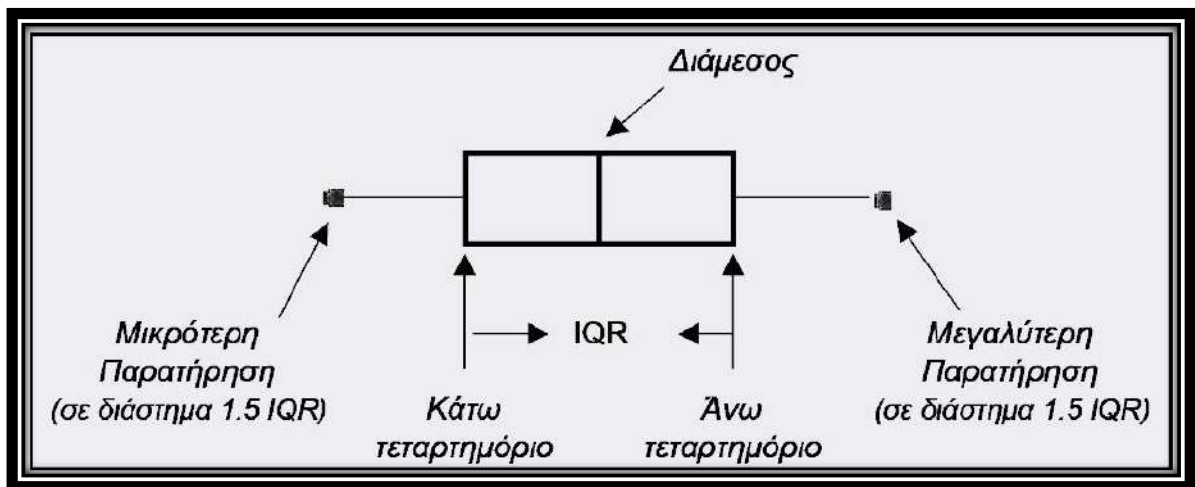
$n$  : πλήθος των μετρήσεων

Η **συνάρτηση lm()** λαμβάνει ως ορίσματα το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης με τη μορφή τύπου (formula) από το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R-studio). Αυτό, μπορεί να είναι απλό ή πολλαπλό, με ειδική σύνταξη για τον προσδιορισμό της εξαρτημένης και των ανεξαρτητών μεταβλητών, το σύνολο εκπαίδευσης απ' όπου θα εκτιμηθούν οι συντελεστές. Αν επιτύχει, η συνάρτηση lm() επιστρέφει ένα αντικείμενο το οποίο περιέχει μεταβλητές με τα αποτελέσματα της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνου μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι εκτιμήσεις των συντελεστών  $\beta$  καθώς και τα υπόλοιπα. Η σύνταξη για τη συνάρτηση lm () όπως εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για την εφαρμογή γραμμικής παλινδρόμησης είναι:

**lm(log\_sum\_accidents\_vector~log\_sum\_AADT\_vector+log\_sum\_AADT1\_vector+spacing\_vector)**

### 3.4. Παρουσίαση δεδομένων στο περιβάλλον της R μέσω εντολής **Boxplot** (Θηκόγραμμα)

Το boxplot στην περιγραφική στατιστική, παρουσιάζει μια μορφή γραφικής απεικόνισης μερικών παραμέτρων μιας σειράς παρατηρήσεων. Αυτές οι παράμετροι είναι η διάμεσος (Median), το άνω και κάτω τεταρτημόριο (Minimum and Maximum Values) και η μικρότερη και μεγαλύτερη παρατήρηση ή αλλιώς ακραίες τιμές (Outliers). Το διάστημα μεταξύ του άνω και κάτω τεταρτημόριου είναι το σύμβολο IQR, ενώ το διάστημα της μικρότερης και μεγαλύτερης παρατήρησης είναι 1,5 IQR εκατέρωθεν από τα όρια του άνω και κάτω τεταρτημόριου.



Εικόνα 1 : Απεικόνιση θηκογράμματος, Πηγή : Ιστότοπος [www.mycourses.com.gr](http://www.mycourses.com.gr), Μάθημα Ποσοτικές Μέθοδοι στις μεταφορές.



### 3.5. Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου

Η ανάπτυξη ενός σωστού μοντέλου για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής δεν είναι απλή διαδικασία. Δεν είναι μία τυχαία παράθεση ορισμένων ανεξάρτητων μεταβλητών του δείγματος, αλλά βασίζεται σε κριτήρια τα οποία πρέπει να επαληθεύονται ώστε να μπορεί να γίνεται αποδεκτό.

#### 3.5.1. Συντελεστές της εξίσωσης

Οι συντελεστές της εξίσωσης στη γραμμική παλινδρόμηση εκτιμώνται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Όσον αφορά τα πρόσημα, το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντιθέτως, το αρνητικό πρόσημο δηλώνει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης.

#### 3.5.2. Στατιστική Σημαντικότητα (p-value)

Όταν γίνεται χρήση στατιστικών μοντέλων, η τιμή της στατιστικής σημαντικότητας p-value (probability value) είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα στατιστικά συμπεράσματα που εξάγονται. Αρχικά, η απόφαση για το αν θα γίνει αποδεκτή η μηδενική υπόθεση  $H_0$  γίνεται βάσει πιθανοτήτων. Γενικά, σε έναν στατιστικό έλεγχο χρησιμοποιούνται δύο συγκεκριμένες διατυπώσεις στατιστικών υποθέσεων που είναι γνωστές ως εναλλακτική υπόθεση ( $H_1$ ) και μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ). Η υπόθεση ότι το αποτέλεσμα αυτό εμφανίζεται, ονομάζεται Πειραματική Υπόθεση (Experimental Hypothesis), αλλά κυρίως έχει επικρατήσει ο όρος Εναλλακτική Υπόθεση (Alternative Hypothesis) και συμβολίζεται  $H_1$ . Η αντίθετη της εναλλακτικής υπόθεσης είναι η Μηδενική Υπόθεση (Null Hypothesis) και συμβολίζεται με  $H_0$ . Με δεδομένο ότι η μηδενική υπόθεση είναι η αντίστροφη της εναλλακτικής, ο ερευνητής αναφέρει ότι το αποτέλεσμα της εναλλακτικής υπόθεσης δεν εμφανίζεται. Για τον σκοπό αυτό ορίζουμε επίπεδο εμπιστοσύνης  $(1-\alpha)$  για την απόφαση ελέγχου. Το  $(\alpha)$  λέγεται επίπεδο σημαντικότητας (significance level) και καθορίζει το εύρος της περιοχής αποδοχής κι απόρριψης, δηλαδή το αποδεκτό όριο σφάλματος. Η πιθανότητα  $(p)$ , είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . 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  $(\alpha)$ , τότε η μηδενική υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική σημαντικότητα στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R-Studio, ελέγχεται εάν η τιμή του p-value είναι μικρότερη από 0,05.

```
> # Correlation test with pearson (accidents vs aatd)
> cor.test(all_aatd_vector, all_accidents_vector, method="pearson")

Pearson's product-moment correlation

data: all_aatd_vector and all_accidents_vector
t = 3.4432, df = 318, p-value = 0.0006519
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.08164019 0.29313029
sample estimates:
cor
0.1895833
```

Εικόνα 2 : Συσχέτιση μεταβλητών Accidents και AADT και στατιστική σημαντικότητα μεταξύ τους, Πηγή : Λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R-studio.

### 3.5.3. Προσαρμογή δεδομένων και εκτιμήσεις σφαλμάτων

Το **Student's t-test** είναι ένας τύπος συμπερασματικής στατιστικής που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί εάν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ της ανεξάρτητης μεταβλητής και του αποτελέσματος. Ένα t-test χρησιμοποιείται ως εργαλείο ελέγχου υποθέσεων, το οποίο επιτρέπει τη δοκιμή μιας υπόθεσης. Επιπλέον, η τιμή του τυπικού σφάλματος είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής του t-test, δηλαδή όσο θα μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο η επιρροή της ανεξάρτητης μεταβλητής θα αυξάνεται. Πιο αναλυτικά, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% , το t είναι ίσο με 1,5. Έτσι, για να είναι στατιστικά σημαντική μια μεταβλητή θα πρέπει η τιμή του Student's t-test να είναι μεγαλύτερη από 1,5 κατά απόλυτη τιμή.

Ο **συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$** , ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής κύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που μπορεί να εξηγηθεί με βάση την κύμανση της ανεξάρτητης μεταβλητής και το εύρος τιμών είναι  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του  $R^2$  στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών. Δηλαδή, όσο υψηλότερο είναι το  $R^2$  τόσο καλύτερα εκφράζει το μοντέλο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Συγκεκριμένα, εκφράζει την ποιότητα ενός μοντέλου και ορίζεται ως:

$$R^2 = SSR / SST$$

Όπου :

SSR : το Άθροισμα των Τετραγώνων της Παλινδρόμησης, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στο «χειρότερο» και το «καλύτερο» πρότυπο (ευθεία γραμμή)

SST : το Συνολικό Άθροισμα των Τετραγώνων, δηλαδή μετρά την κύμανση των τιμών της μεταβλητής  $y$  γύρω από τη μέση τιμή της («χειρότερο πρότυπο»).

Όσον αφορά το προσαρμοσμένο  $R^2$  (Adjusted) , χρησιμοποιείται για πιο ακριβή έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου, αφού όταν γίνεται πρόσθεση μεταβλητών στο μοντέλο, ο συντελεστής  $R^2$  αυξάνεται συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο λιγότερων μεταβλητών. Επιπλέον, η ελάχιστη ικανοποιητική τιμή που μπορεί να πάρει, είναι 0,45. Το προσαρμοσμένο  $R^2$  (Adjusted) περιγράφεται από την σχέση:

$$adjR^2 = MSE / MST$$

Όπου :

MST: η μέση τιμή του συνόλου των τετραγώνων

MSE: το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

## 4. Συλλογή και Επεξεργασία δεδομένων

### 4.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα, προβάλλεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η συλλογή αλλά και η επεξεργασία των δεδομένων. Αρχικά, με την χρήση του διαδικτυακού προγράμματος γραφικής απεικόνισης Google Earth αλλά και την βοήθεια του Κέντρου Διαχείρισης Αττικής οδού και του Αστυνομικού Τμήματος Αττικής οδού, παρουσιάζονται οι μετρήσεις οι οποίες αναλύθηκαν για το θέμα που εξετάστηκε. Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκαν γραφικές παραστάσεις μέσω του προγράμματος λογιστικών φύλλων Excel για την περαιτέρω ανάπτυξη των δεδομένων.

### 4.2. Συλλογή δεδομένων

Τα δεδομένα για την παρούσα Διπλωματική Εργασία συλλεχτήκαν με δύο τρόπους. Πρώτιστα, επιλέχτηκαν επτά ανισόπεδοι κόμβοι μορφής «διαμάντι» εντός της Αττικής οδού για του οποίους συλλέχτηκαν μετρήσεις για το σκοπό της Διπλωματικής Εργασίας. Μια τυπική μορφή ανισόπεδου κόμβου «διαμάντι» απαρτίζεται από την κύρια οδό, την δευτερεύουσα οδό, τους τέσσερις συνδετήριους κλάδους μονής κατεύθυνση και τις ισόπεδες διασταυρώσεις επί την δευτερεύουσα οδό.



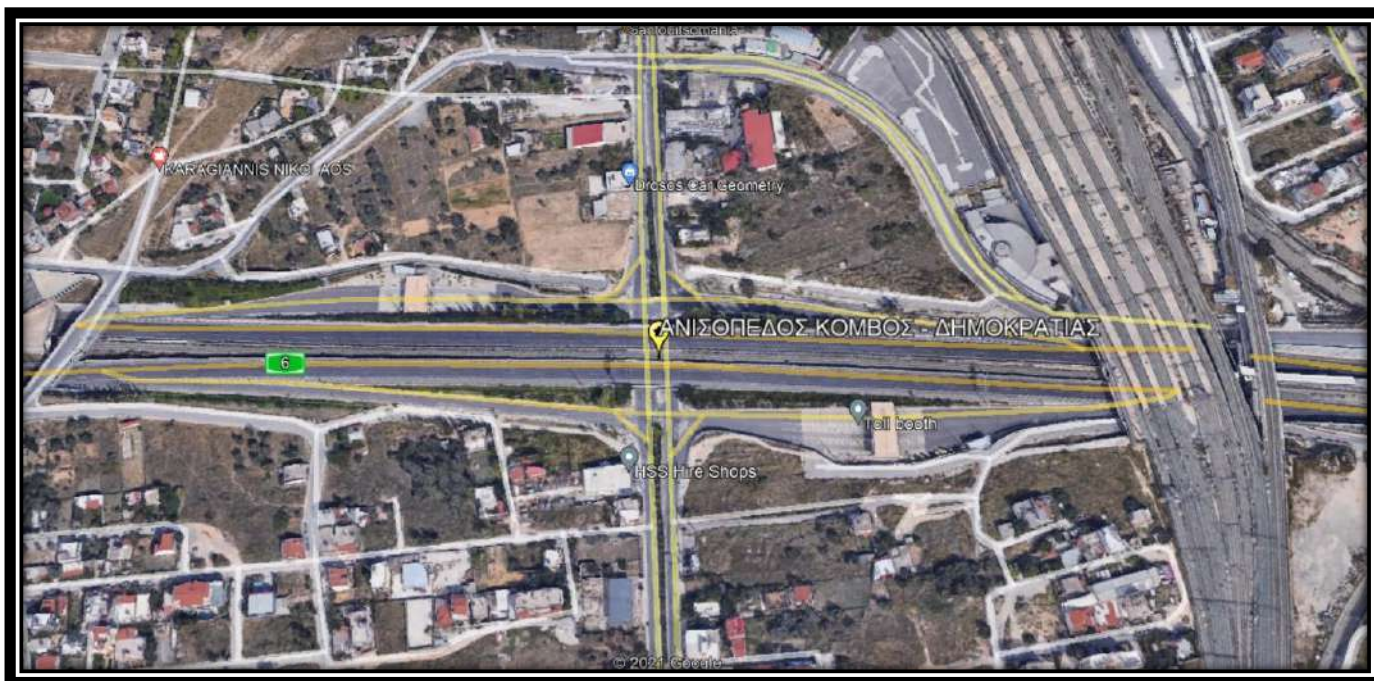
Εικόνα 3 : Τυπική μορφή ανισόπεδου κόμβου μορφής «διαμάντι»,  
Πηγή : Ιστότοπος [www.mycourses.com.gr](http://www.mycourses.com.gr), Μάθημα Ειδικά κεφάλαια  
Γεωμετρικού σχεδιασμού οδών.

Οι ανισόπεδοι κόμβοι οι οποίοι επιλέχθηκαν είναι ο ΑΚ Παιανίας, ο ΑΚ Δημοκρατίας, ο ΑΚ Ηρακλείου, ο ΑΚ Άνω Λιοσίων, ο ΑΚ Ασπρόπυργου, ο ΑΚ Μαγούλας και ο ΑΚ Γλυκών Νερών. Όσον αφορά τους ανισόπεδους κόμβους Παιανίας, Δημοκρατίας, Ηρακλείου, Άνω Λιοσίων, Μαγούλας και Γλυκών Νερών οι συνθήκες στην δευτερεύουσα οδό εκτελούνται με σηματοδότηση και στις δύο διασταυρώσεις. Στον ανισόπεδο κόμβο Ασπρόπυργου, οι συνθήκες επί της δευτερεύουσα οδού εκτελούνται με σηματοδότηση για την δεξιά διασταύρωση και με υποχρεωτική στάση (STOP) για την αριστερή πλευρά. Οι συγκεκριμένοι ανισόπεδοι κόμβοι επιλέχθηκαν κυρίως για την μορφή τους (ΑΚ «διαμάντι») αλλά και για τον υψηλό φόρτο που παρατηρείται κυρίως στις ώρες αιχμής. Επιπλέον, ο μισός αριθμός από το σύνολο των ανισόπεδων κόμβων που επιλέχθηκαν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το Διεθνές Αεροδρόμιο Ελευθέριου Βενιζέλου στο Μαρκόπουλο. Παρακάτω παρουσιάζονται σε εικόνες οι επτά ανισόπεδοι κόμβοι μορφής «διαμάντι» από το πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης Google Earth.

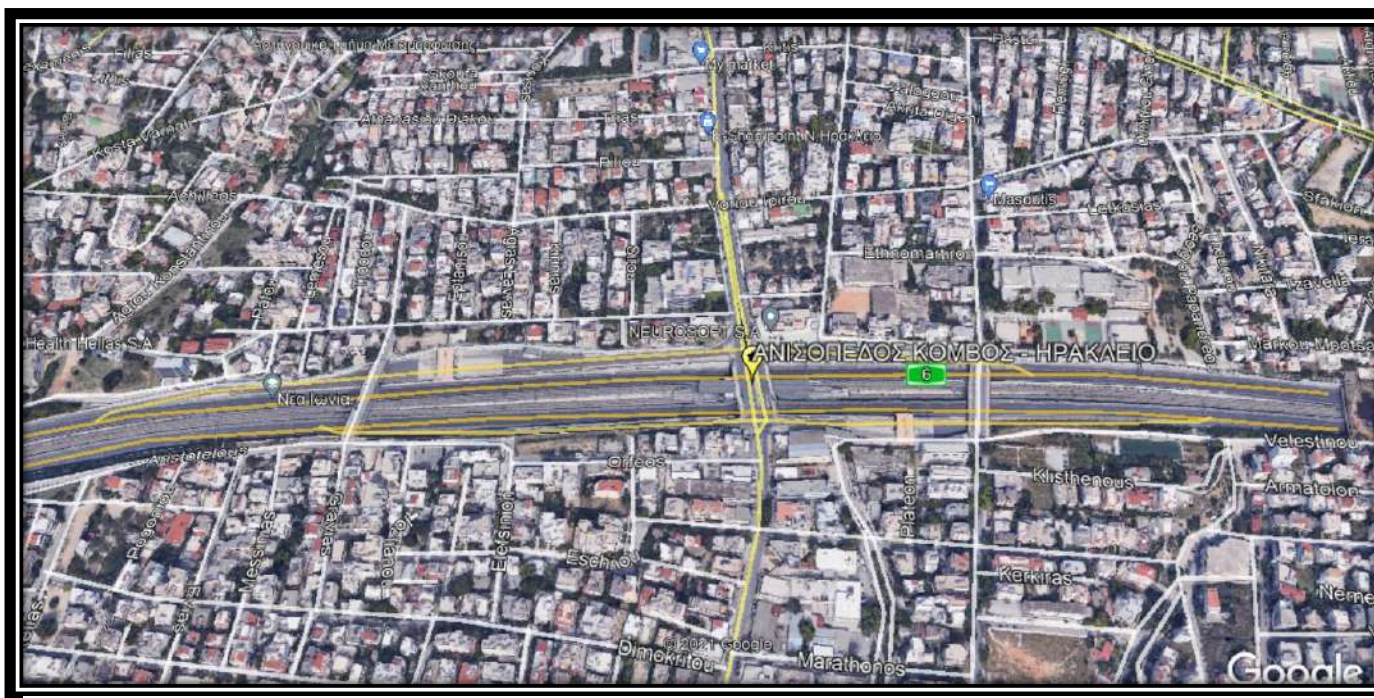


Εικόνα 4 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή της Παιανίας, Πηγή : Google Earth.



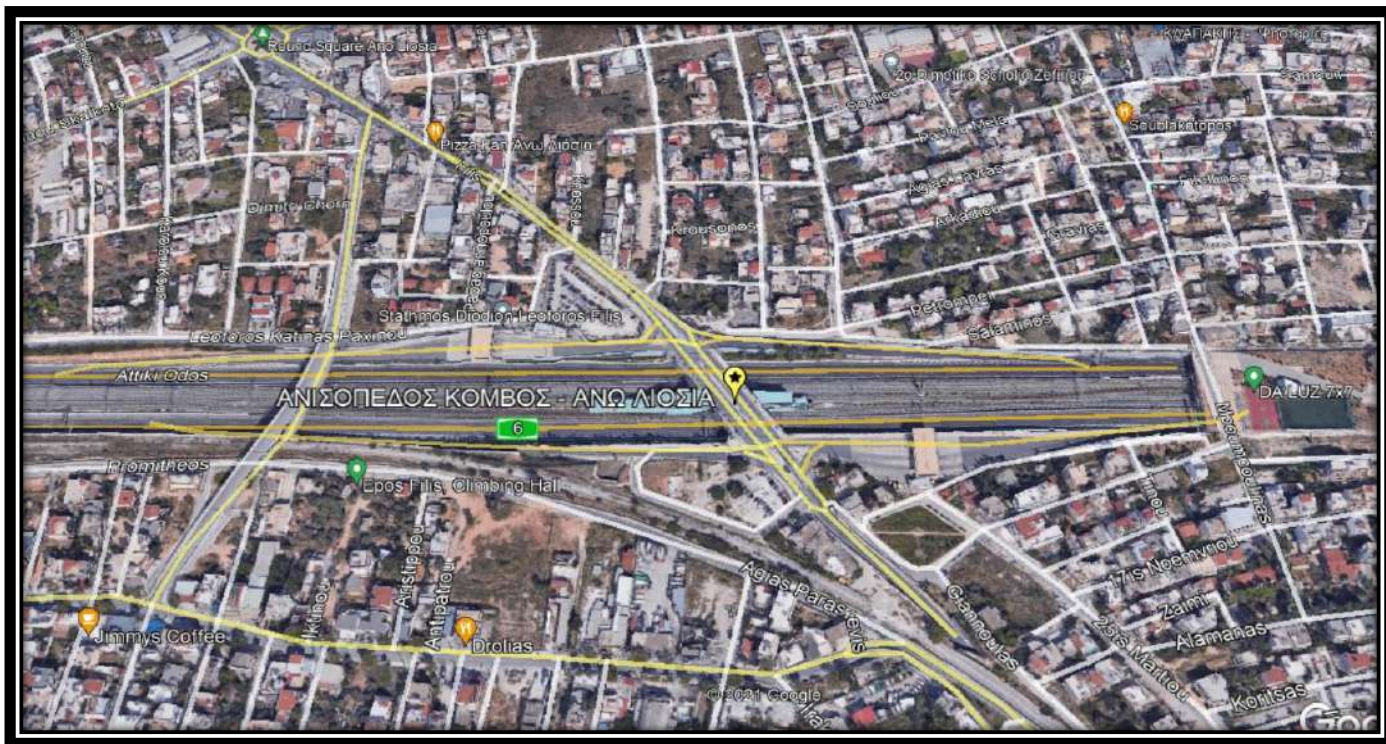


Εικόνα 5 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή της οδού Δημοκρατίας, Πηγή : Google Earth.



Εικόνα 6 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή του Ηρακλείου, Πηγή : Google Earth.





Εικόνα 8 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, Πηγή : Google Earth.



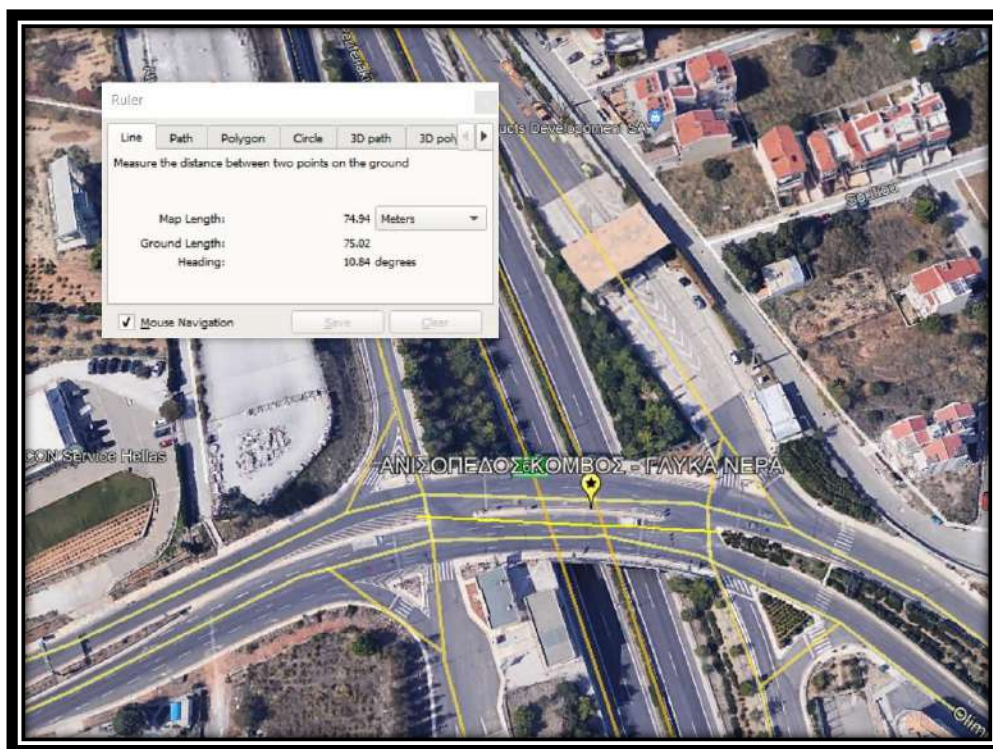
Εικόνα 7 : Ανισόπεδος κόμβος «διαμάντι» στην Αττική Οδό, στην περιοχή του Ασπρόπυργου, Πηγή : Google Earth.







Ο πρώτος τρόπος με τον οποίο συλλεχτήκαν σημαντικά στοιχεία, επιτεύχθηκε μέσω του προγράμματος γραφικής απεικόνισης Google Earth, όπου μετρήθηκαν για κάθε ανισόπεδο κόμβο «διαμάντι» ξεχωριστά, οι αποστάσεις μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing). Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, με την χρήση του εργαλείου «Ruler» που προσφέρει το λογισμικό για κάθε ένα από τους επτά ανισόπεδους κόμβους, έγιναν πολλαπλές μετρήσεις ώστε να προκύψουν τα βέλτιστα αποτελέσματα.



Εικόνα 11 : Χρήση εργαλείου «Ruler», Πηγή : Google Earth

Στη συνέχεια, με την βοήθεια του Κέντρου Διαχείρισης Αττικής οδού αλλά και του Αστυνομικού Τμήματος Αττικής οδού, συλλέχτηκαν δύο βασικά δεδομένα τα οποία συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Τα στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τις προαναφερθέντες υπηρεσίες, ήταν η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (Annual average daily traffic Ramp ) στους τέσσερις κλάδους του ανισόπεδου κόμβου για επτά ανισόπεδους κόμβους αλλά και τα ατυχήματα (Accidents) σε κάθε θέση των υπο εξέταση ανισόπεδων κόμβων για μια σειρά δέκα χρόνων (2010-2019). Επιπρόσθετα, η διαμπερής κίνηση επί της δευτερεύουσας οδού στις περιοχές των εξεταζόμενων ανισόπεδων κόμβων μορφής «διαμάντι», – σύμφωνα με εισήγηση του Κέντρου Διαχείρισης Αττικής οδού – ελήφθη ως ποσοστό της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας στους τέσσερις κλάδους του ανισόπεδου κόμβου(AADTramp). Θεωρήθηκε δηλαδή ότι η αναλογία αυτή είναι περίπου 70/30 δηλαδή 70% του φόρτου προέρχεται από την ΑΟ και 30% του φόρτου αφορά σε διαμπερή κυκλοφορία επί της δευτερεύουσας οδού. Για παράδειγμα, σε δείγμα 1000 οχ/24h στην ΑΟ:

Φόρτος κάθετης οδού =  $1000 \times (3/7)$

Πιο συγκεκριμένα για κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι» θεωρήθηκε αναλογία όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

ΑΚ ΠΑΙΑΝΙΑΣ	ΑΚ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ	ΑΚ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΑΚ ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΩΝ	ΑΚ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ	ΑΚ ΜΑΓΟΥΛΑΣ	ΑΚ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ
AADT*3/7	AADT*3/7	AADT*4/7	AADT*3/7	AADT*3/7	AADT*3/7	AADT*1/2

Πίνακας 1 : Ποσοστό απο την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για υπολογισμό ΕΜΗΚ στην δευτερεύουσα οδό σε κάθε ανισόπεδο κόμβο. .

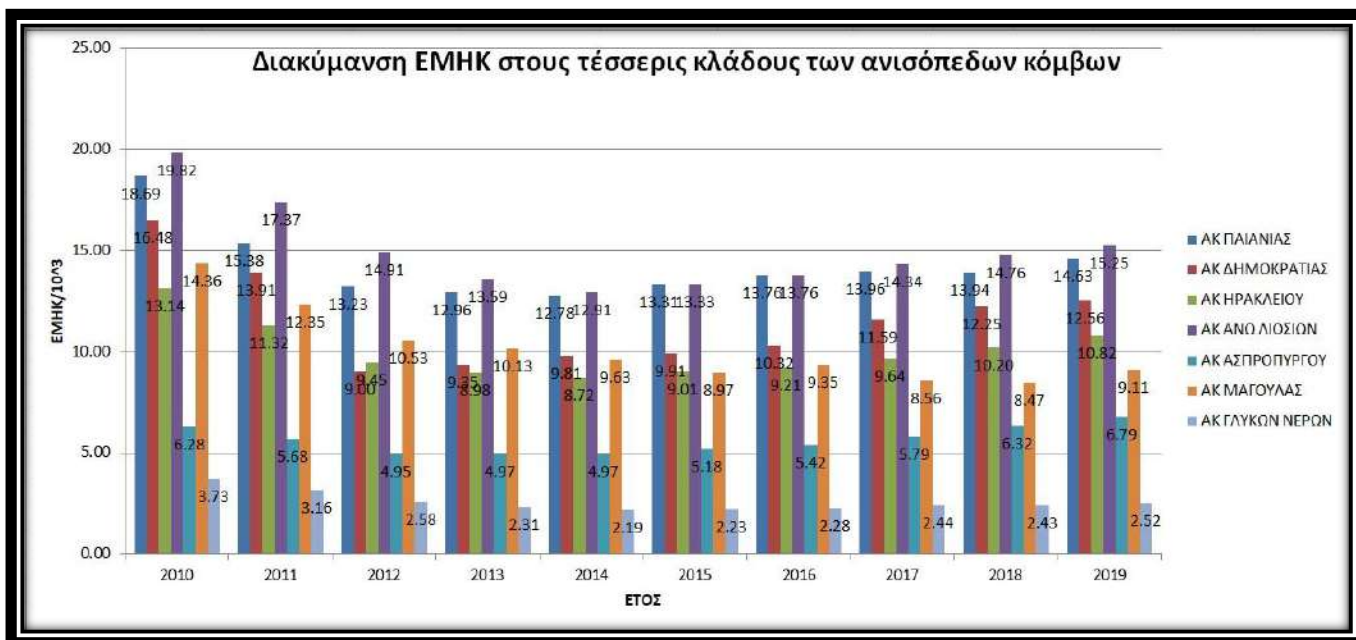
Η αρχική μορφή των δεδομένων παρουσιάστηκε σε μορφή αρχείου λογιστικών φύλλων Excel.

### 4.3. Επεξεργασία δεδομένων

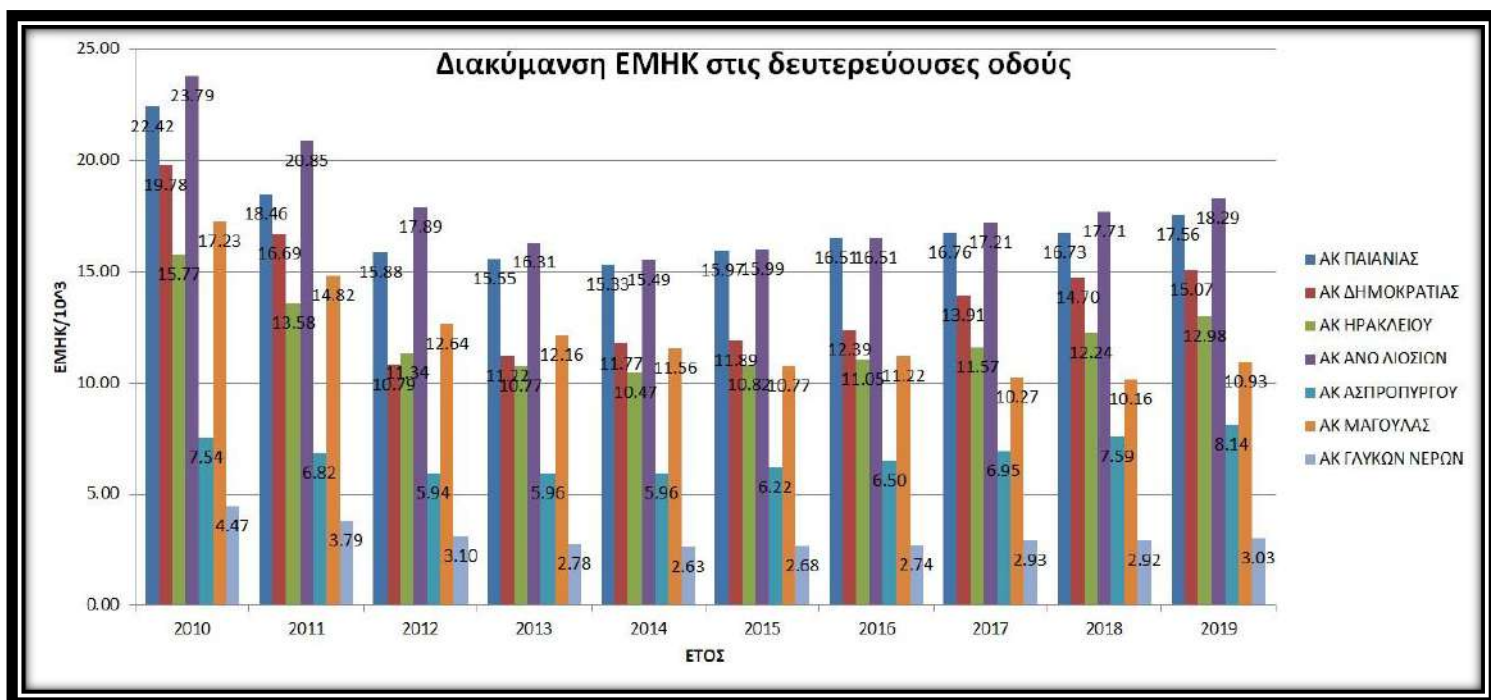
Πέρα από το στάδιο της συλλογής δεδομένων που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη υποενότητα, στην παρούσα προβάλλεται η επεξεργασία των στοιχείων και η απεικόνισή τους σε γραφικές παράστασης μέσω του προγράμματος λογιστικών φύλλων Excel, με στόχο την περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή βασικών συμπερασμάτων. Οι γραφικές παραστάσεις προέκυψαν από τα στοιχεία που συλλέχτηκαν στους ανισόπεδους κόμβους μορφής «διαμάντι» που προαναφέρθηκαν (ΑΚ Παιανίας, ΑΚ Δημοκρατίας, ΑΚ Ηρακλείου, ΑΚ Άνω Λιοσίων, ΑΚ Ασπρόπυργου, ΑΚ Μαγούλας, ΑΚ Γλυκών Νερών) και μέσω αυτών αναδεικνύονται οι τιμές των μεγεθών της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramp), της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας στην δευτερεύουσα οδό λόγω διαμπερούς κίνησης (AADTxrd) και των ατυχημάτων (Accidents) για τον κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι» ξεχωριστά. Επιπλέον, σε γράφημα απεικονίστηκε και η τιμή των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) για κάθε ανισόπεδο κόμβο.

#### 4.3.1. ΕΜΗΚ (AADTramp, AADTxrd) και Ατυχήματα (Accidents)

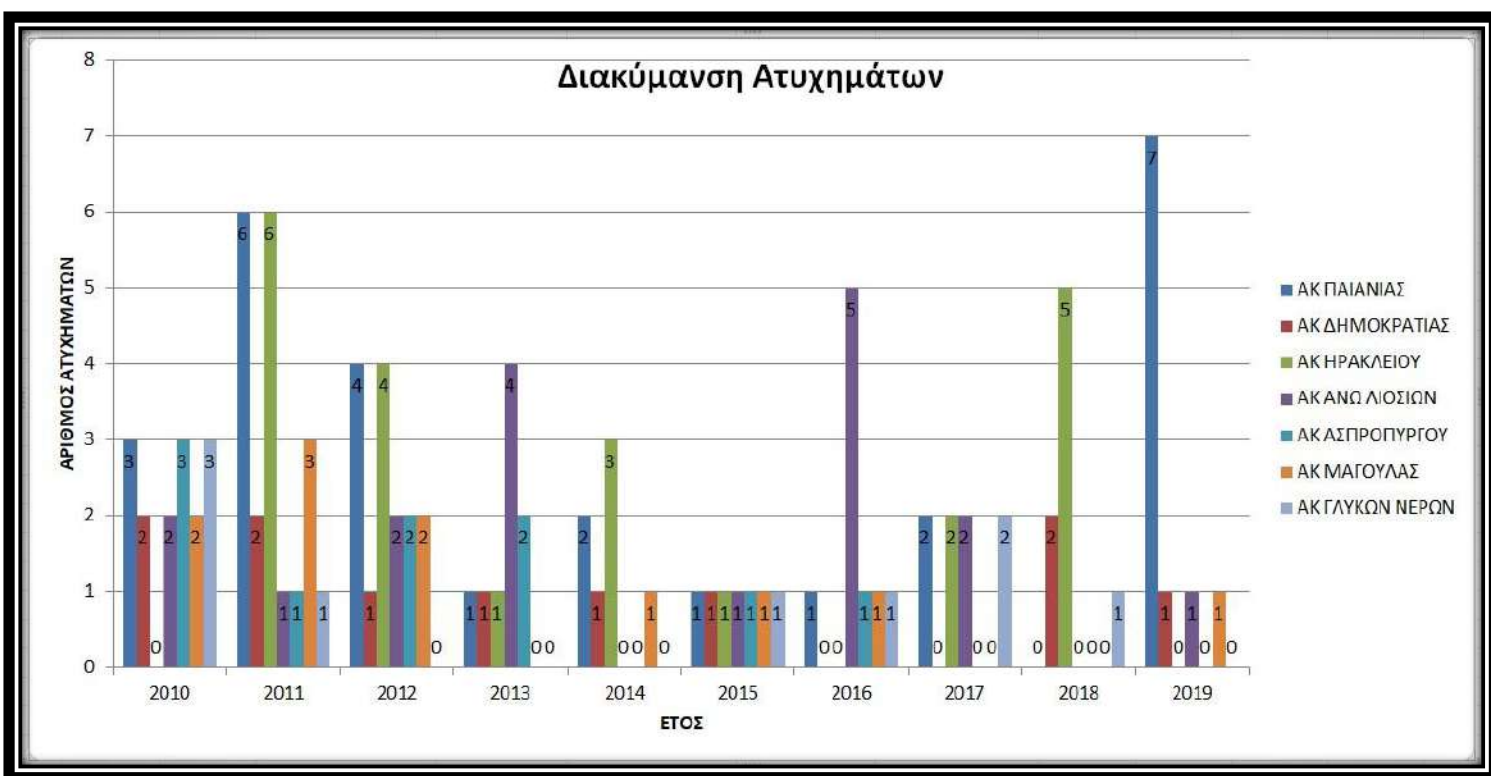
Τα παρακάτω διαγράμματα, παρουσιάζουν τόσο τις μετρήσεις σε κάθε ανισόπεδο κόμβο για τα μεγέθη της Ετήσια Μέσης Ημερήσια Κυκλοφορίας (AADTramp), της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας στην δευτερεύουσα οδό λόγω διαμπερούς κίνησης (AADTxrd) και των ατυχημάτων (Accidents) για κάθε έτος, όσο και άλλες γραφικές παραστάσεις με περεταίρω ανάλυση των συγκεκριμένων δεδομένων.



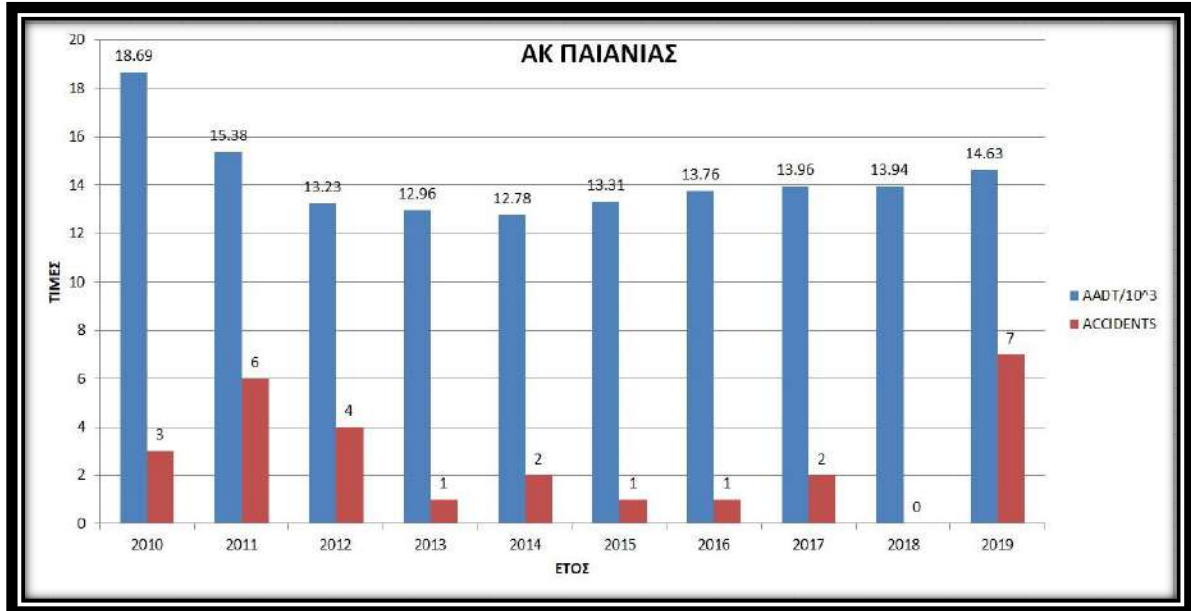
Διάγραμμα 2 : Διακύμανση ΕΜΗΚ στους κλάδους, ανά ανισόπεδο κόμβο για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.



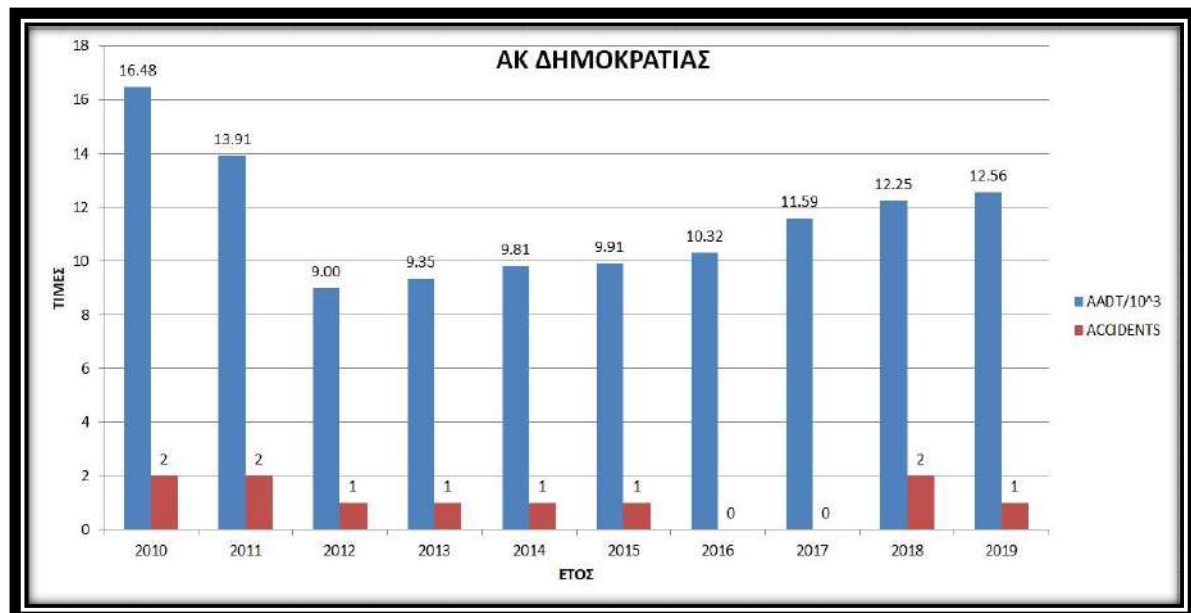
Διάγραμμα 3 : Διακύμανση ΕΜΗΚ στις δευτερεύουσες οδούς, ανά ανισόπεδο κόμβο για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.



Διάγραμμα 4 : Διακύμανση Ατυχημάτων, ανά ανισόπεδο κόμβο για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.



Διάγραμμα 5 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Παιανίας για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.

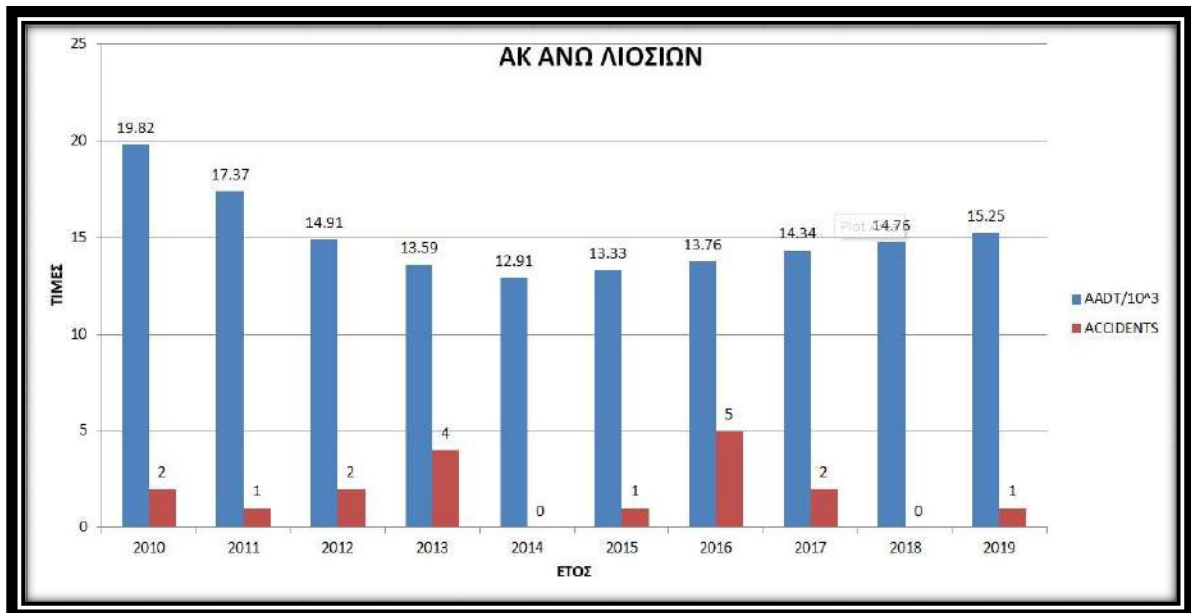


Διάγραμμα 6 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Δημοκρατίας για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.

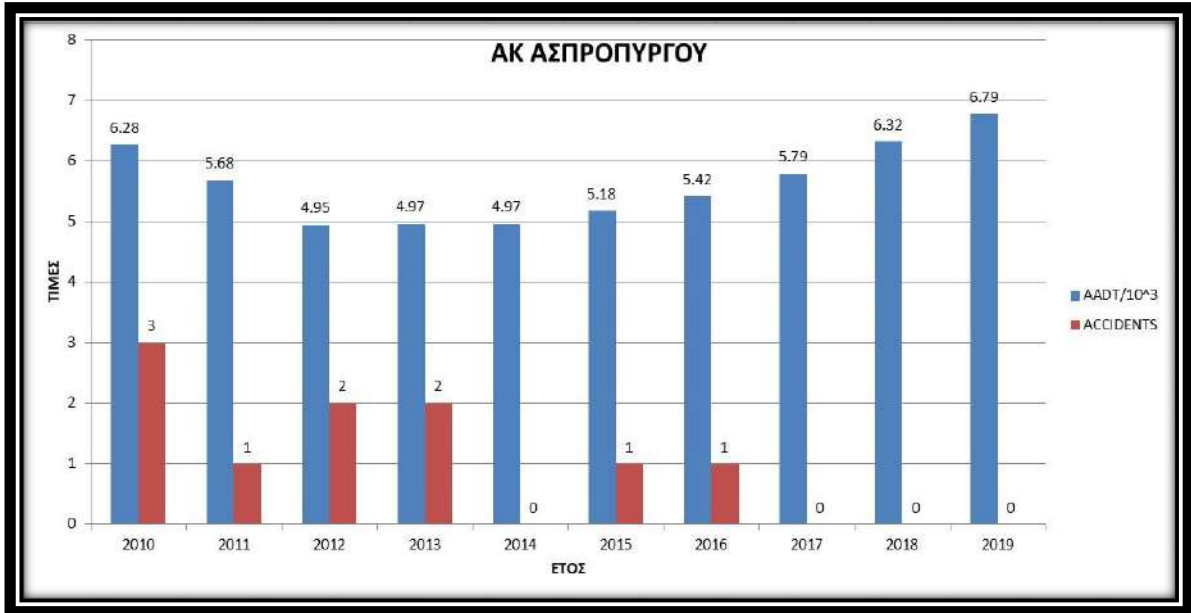




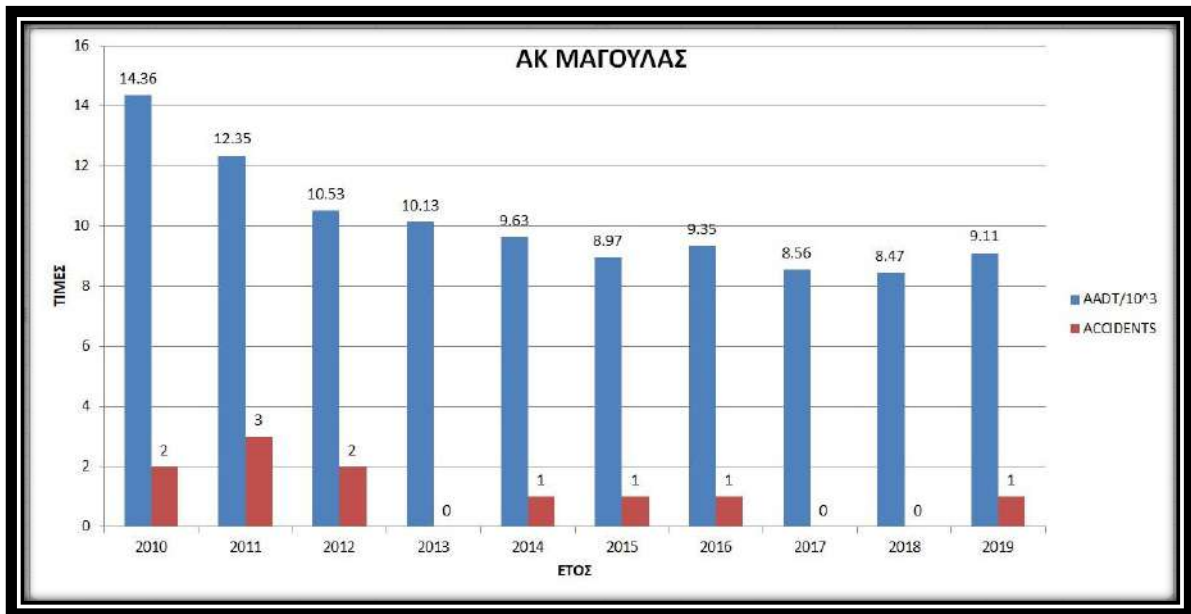
Διάγραμμα 7 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Ηρακλείου για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.



Διάγραμμα 8 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Άνω Λιοσίων για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.

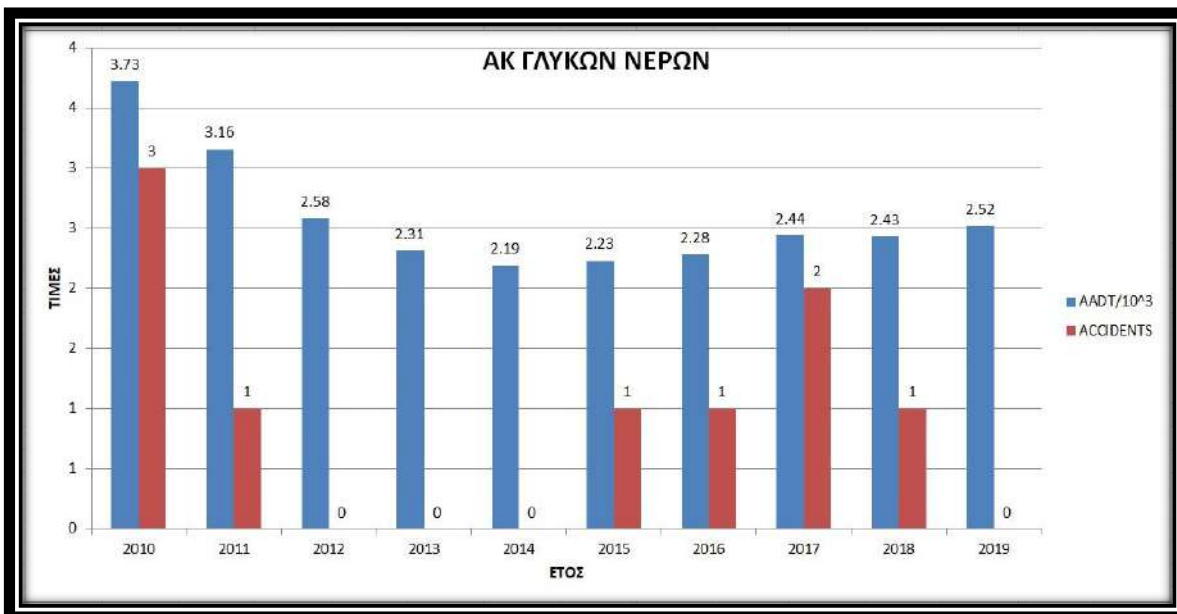


Διάγραμμα 9 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Ασπρόπυργου για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.



Διάγραμμα 10 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Μαγούλας για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.

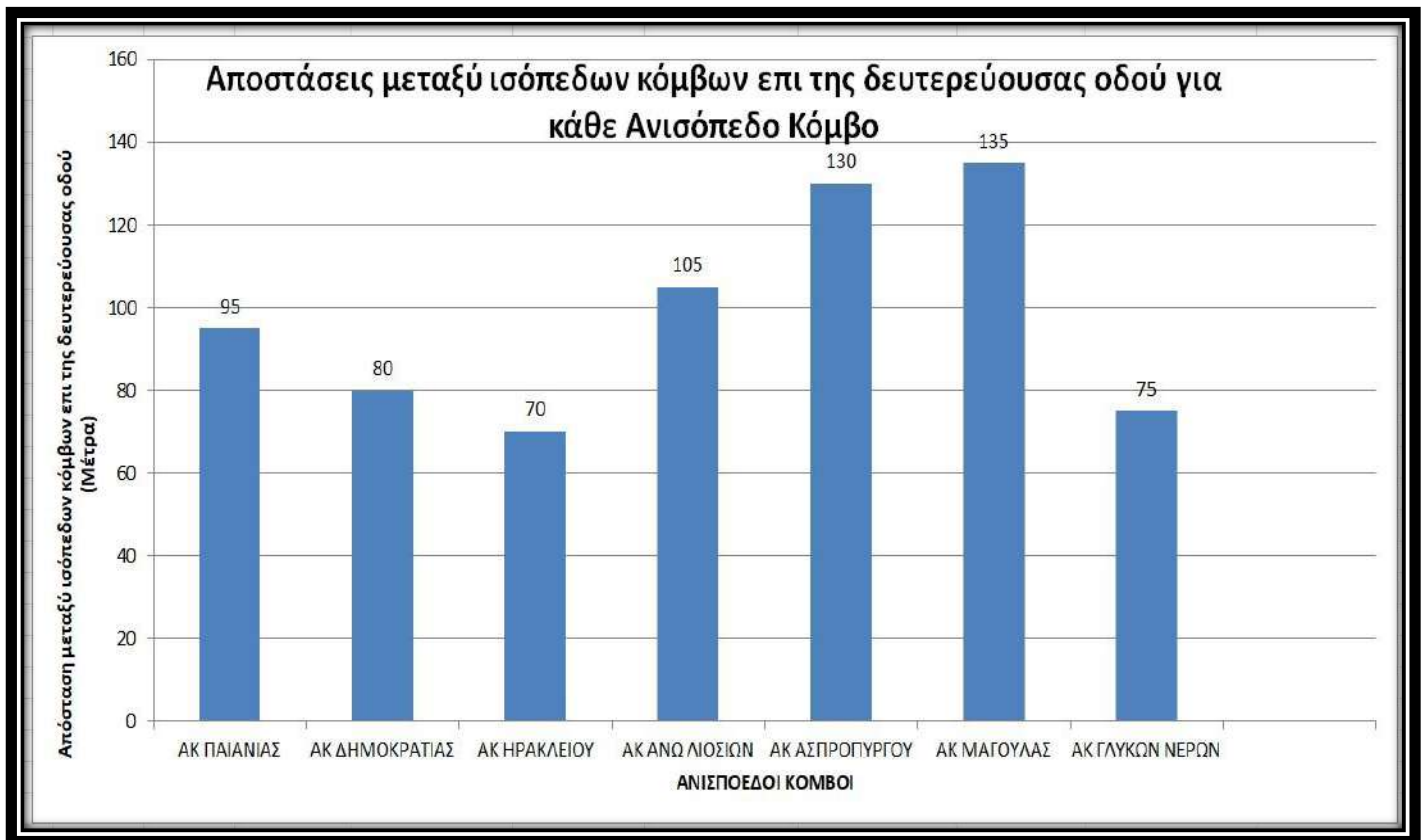




Διάγραμμα 11 : Διακύμανση Ατυχημάτων και ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους για τον ανισόπεδο κόμβο Γλυκών Νερών για τα έτη μεταξύ 2010 και 2019.

#### 4.3.2. Αποστάσεις μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing)

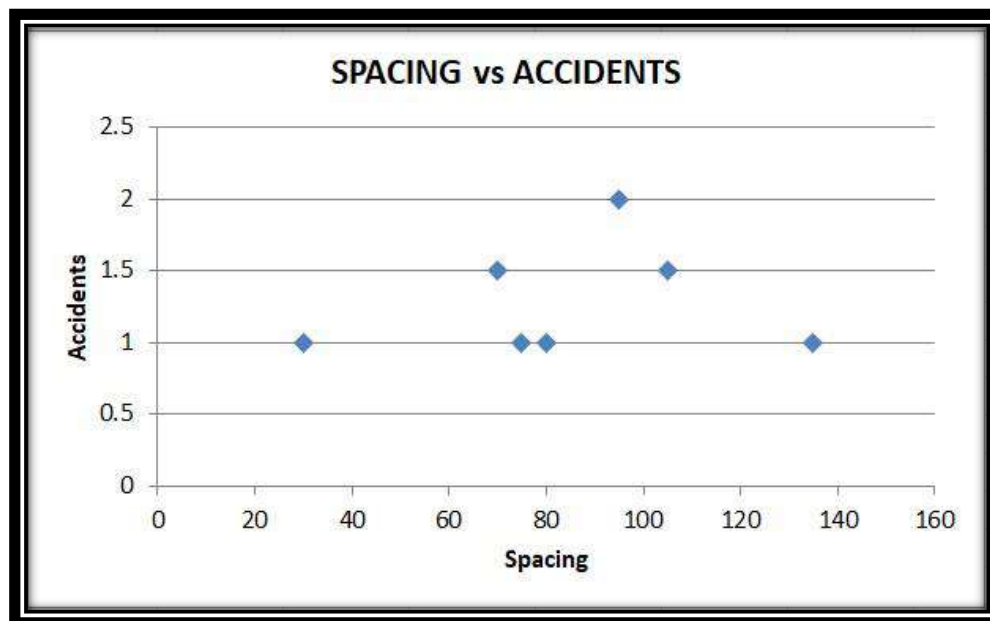
Παρακάτω, παρουσιάζεται το διάγραμμα με την απόσταση μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) για κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι», όπως μετρήθηκε από το διαδικτυακό πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης Google Earth.



Διάγραμμα 12 : Αποστάσεις μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού, για κάθε ανισόπεδο κόμβο.

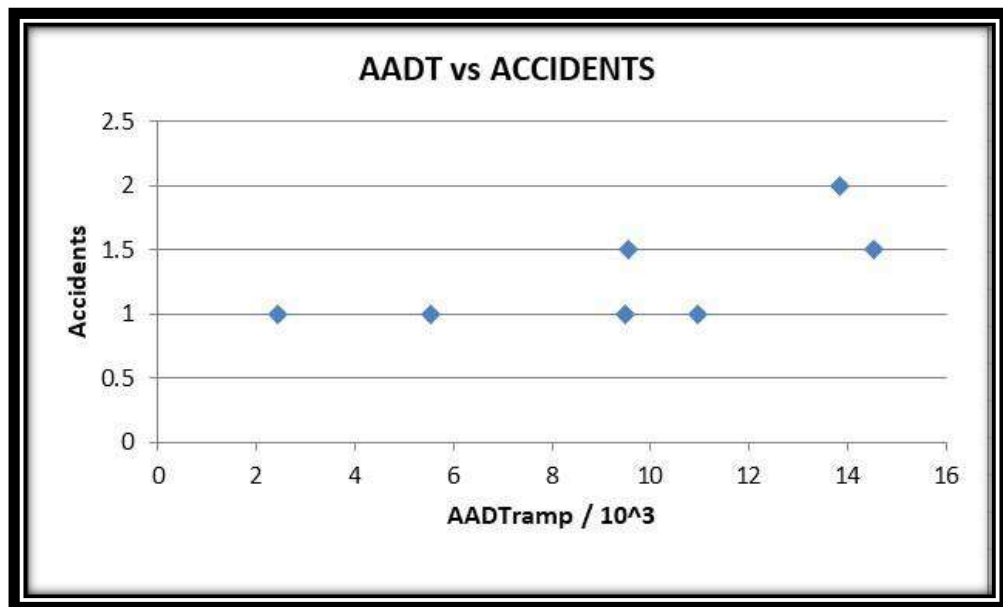
Με βάση τα παραπάνω γραφήματα που αφορούν τις μεταβλητές Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (AADT<sub>trap</sub>), ατυχήματα (Accidents) και απόσταση μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing), εξάγονται οι πιο κάτω παρατηρήσεις.

- Με βάση τα διαγράμματα, φαίνεται ότι η μεταβλητή των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) με την μεταβλητή των ατυχημάτων (Accidents) έχουν μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing), τόσο πιο λίγα είναι τα ατυχήματα. Συγκεκριμένα, η παρατήρηση αυτή διακρίνεται στους ανισόπεδους κόμβους Ασπρόπυργου και Μαγούλας, όπου έχουν τις μεγαλύτερες τιμές αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) και συνάμα τα λιγότερα ατυχήματα από όλους τους ανισόπεδους κόμβους. Παρακάτω, παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα για τους εξεταζόμενους ανισόπεδους κόμβους.



Διάγραμμα 13 : Σύγκριση μεταβλητών αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) και ατυχημάτων (Accidents) για τους εξεταζόμενους ανισόπεδους κόμβους.

- Όσον αφορά τις μεταβλητές της Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (AADTramp) και των ατυχημάτων (Accidents), παρατηρείται μια ανάλογη σχέση μεταξύ τους, δηλαδή όσο αυξάνεται η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (AADTramp) τόσο αυξάνονται και τα ατυχήματα (Accidents). Αυτό φαίνεται κυρίως από τα διαγράμματα που αφορούν τους ανισόπεδους κόμβους Παιανίας και Άνω Λιοσίων, όπου κατέχουν τις μεγαλύτερες τιμές Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramp) από όλους τους ανισόπεδους κόμβου αλλά και υψηλές τιμές σε ατυχήματα (Accidents). Παρακάτω, φαίνεται το εν λόγω διάγραμμα.



Διάγραμμα 14 : Σύγκριση μεταβλητών Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramp) και ατυχημάτων (Accidents)

- Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρήθηκε ότι οι μεταβλητές της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramr) και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) δεν σχετίζονται ανάλογα, δηλαδή δεν ισχύει η παραδοχή ότι όταν υπάρχουν αυξημένες τιμές Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramr) θα υπάρχουν αντίστοιχα και μεγάλες αποστάσεις μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing). Η παρατήρηση αυτή, διακρίνεται στις γραφικές παραστάσεις των ανισόπεδων κόμβων Παιανίας και Άνω Λιοσίων σε σύγκριση με τους ανισόπεδους κόμβους Ασπρόπυργου και Μαγούλας.

## 5. Μεθοδολογία

### 5.1. Εισαγωγή

Με την ολοκλήρωση της ανασκόπησης σε βιβλιογραφίες αλλά και της μελέτης του θεωρητικού υπόβαθρου τα οποία συνέδραμαν τόσο στη καλύτερη κατανόηση του θέματος όσο και στην συλλογή - επεξεργασία των στοιχείων, ακολούθησε η επιλογή της μεθοδολογίας που ικανοποιούσε τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στην συγκεκριμένη ενότητα, αναλύονται τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολούθησε, τα μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν και κρίθηκαν κατάλληλα για τις ανάγκες του ζητούμενου της μελέτης, αλλά και τα αποτελέσματα αυτών.

Για την επεξεργασία και ανάπτυξη των μοντέλων, εφαρμόστηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression), η οποία αναλύθηκε παραστατικά στο κεφάλαιο «Θεωρητικό Υπόβαθρο». Συγκεκριμένα, στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται εκτενώς τα στάδια της ανάπτυξης της μεθοδολογίας και των μοντέλων, με αποτέλεσμα τον έλεγχο αυτών, στην αξιοπιστία των δεδομένων και στους στατιστικούς ελέγχους για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε, στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της Διπλωματικής Εργασίας.

### 5.2. Επεξεργασία δεδομένων και εισαγωγή στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, αναφέρεται σε αυτή την παράγραφο. Πιο αναλυτικά, προβάλλεται η επεξεργασία των στοιχείων από τις μετρήσεις που προέκυψαν στους ανισόπεδους κόμβους μορφής «διαμάντι» και ακολούθως παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των μεταβλητών στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R-Studio).

#### 5.2.1. Διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων στο excel

Αρχικά, η πρώτη φάση επεξεργασίας των δεδομένων έγινε με την χρήση του προγράμματος λογιστικών φύλλων excel και στη συνέχεια με την βοήθεια του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης (R-studio)., δημιουργήθηκαν φύλλα στο πρόγραμμα λογιστικών φύλλων Excel με τις τιμές των μεταβλητών της Ετήσιας Μέσης

Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramp), της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας για τις δευτερεύουσες οδούς κάθε ανισόπεδο κόμβου λόγω διαμπερούς κίνησης, των Ατυχημάτων (Accidents) και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) για καλύτερη κατανόηση τους. Ακολούθως, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δημιουργήθηκαν διάφορα γραφήματα από την επεξεργασία των μεταβλητών, τα οποία βοήθησαν σημαντικά τόσο για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, όσο και για την συνέχεια της επεξεργασίας στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R-studio).

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν οι τελικές μορφές των βάσεων δεδομένων σε αρχεία Microsoft Excel (πρόγραμμα λογιστικών φύλλων) όπου μετατράπηκαν σε αρχεία CSV (Comma-separated values) για την εισαγωγή τους στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R-studio). Απαραίτητη προϋπόθεση για την δημιουργία του CSV (Comma-separated values) αρχείου, ήταν κωδικοποίηση των μεταβλητών που αφορούσαν τα δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν και επεξεργάστηκαν. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα στοιχεία τα οποία απαρτίζουν τις βάσεις δεδομένων, όπως προέκυψαν σε αρχεία CSV (Comma-separated values) :

**AK\_PAIAN** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Παιανίας

**AK\_DIMOKR** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Δημοκρατίας

**AK\_HRAKL** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Ηρακλείου

**AK\_ANOLIOSIA** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Άνω Λιοσίων

**AK\_ASPROPYR** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Ασπρόπυργου

**AK\_MAGOYLA** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Μαγούλας

**AK\_GLYKANERA** : ο ανισόπεδος κόμβος μορφής «διαμάντι» Γλυκών Νερών

**Accidents\_AADT** : οι τιμές των ατυχημάτων και της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADTramp ) στους τέσσερις κλάδους για κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι» για τα έτη μεταξύ 2010-2019

**AADT1** : οι τιμές της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας για την δευτερεύουσα οδό (AADTxrd) λόγω διαμπερούς κίνησης για κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι» για τα έτη μεταξύ 2010-2019

**Spacing** : οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο μορφής «διαμάντι»

### 5.2.2. Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R

Με την χρήση του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης (R-studio), επιτυγχάνεται η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που είναι απαραίτητη για την συνέχεια. Αφού, γίνει η εγκατάσταση και η λειτουργία συγκεκριμένων πακέτων του λογισμικού μέσω των εντολών **install.packages** και **library()**, ακολουθεί η εισαγωγή των βάσεων δεδομένων με χρήση της εντολής **Accidents\_AADT <- read.csv("C:/Users/George A Opsimos/Desktop/Accidents\_AADT.csv")**. Με την ίδια εντολή, εισάγονται και οι υπόλοιπες βάσεις δεδομένων, σύμφωνα με το όνομα του αρχείου CSV (Comma-separated values). Στη συνέχεια, μέσω της εντολής **view(data)** παρουσιάζεται, σε ξεχωριστό script ο πίνακας των δεδομένων με τον οποίο τον θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση των στοχεύων αλλά και η στατιστική επεξεργασία. Πιο κάτω, παρατίθενται εικόνες οι οποίες αφορούν σημεία στα οποία έγινε αναφορά.

```
28 #load dataset
29 Accidents_AADT <- read.csv("C:/Users/George A Opsimos/Desktop/Accidents_AADT.csv")
30 view(Accidents_AADT)
31
32 Spacing <- read.csv("C:/Users/George A Opsimos/Desktop/Spacing.csv", nrow = 1)
33 view(Spacing)
34
35 AADT1 <- read.csv("C:/Users/George A Opsimos/Desktop/AADT1.csv")
36 view(AADT1)
37
38 # Get junction names
39 junctions <- colnames(Spacing)
40
41 # Get accidents and aadt for each junction
42 AK_PAIAN_Accidents = Accidents_AADT[1:4, c(TRUE,FALSE)]
43 AK_PAIAN_Accidents
44 AK_PAIAN_AADT = Accidents_AADT[1:4, !c(TRUE,FALSE)]
45 AK_PAIAN_AADT
46
47 AK_DIMOKR_Accidents = Accidents_AADT[5:8, c(TRUE,FALSE)]
48 AK_DIMOKR_Accidents
49 AK_DIMOKR_AADT = Accidents_AADT[5:8, !c(TRUE,FALSE)]
50 AK_DIMOKR_AADT
51
52 AK_HRAKL_Accidents = Accidents_AADT[9:12, c(TRUE,FALSE)]
53 AK_HRAKL_Accidents
54 AK_HRAKL_AADT = Accidents_AADT[9:12, !c(TRUE,FALSE)]
55 AK_HRAKL_AADT
56
57 AK_ANOLIOSIA_Accidents = Accidents_AADT[13:16, c(TRUE,FALSE)]
58 AK_ANOLIOSIA_Accidents
59 AK_ANOLIOSIA_AADT = Accidents_AADT[13:16, !c(TRUE,FALSE)]
60 AK_ANOLIOSIA_AADT
61
```

Εικόνα 12 : Εισαγωγή δεδομένων στην R.



	ACC_10	AADT_10	ACC_11	AADT_11	ACC_12	AADT_12	ACC_13	AADT_13	ACC_14	AADT_14	ACC_15	AADT_15	ACC_16	AADT_16
1	0	5923	2	4916	2	4154	1	4077	1	4044	0	4357	1	
2	0	6089	1	4951	1	4297	0	4205	1	4142	0	4206	0	
3	2	586	1	567	0	488	0	469	0	447	0	541	0	
4	1	6089	2	4951	1	4297	0	4205	0	4142	1	4206	0	
5	0	1529	1	1167	0	1039	0	898	0	817	0	798	0	
6	1	7173	0	6208	0	5053	0	4514	0	4310	1	4349	0	
7	1	6392	1	5380	1	1973	1	3129	1	3644	0	4013	0	
8	0	1388	0	1136	0	927	0	807	0	736	0	747	0	
9	0	2401	2	2015	0	1760	0	1921	1	1884	0	1817	0	
10	0	4437	1	3902	0	3246	0	2959	0	2853	0	2991	0	
11	0	4115	3	3527	3	2924	1	2712	2	2649	1	2640	0	
12	0	2186	0	1865	1	1517	0	1385	0	1338	0	1365	0	
13	0	1799	0	1390	0	1349	1	1116	0	963	1	1022	1	
14	0	8911	1	7945	1	6778	1	6260	0	6040	0	6198	0	
15	2	7642	0	6787	0	5743	2	5320	0	5119	0	5291	4	
16	0	1571	0	1250	1	1040	0	893	0	767	0	817	0	
17	2	250	0	202	1	179	0	161	0	143	0	146	1	
18	0	2889	0	2673	1	2321	0	2375	0	2413	0	2455	0	
19	1	2976	0	2663	0	2324	1	2313	0	2301	1	2433	0	
20	0	187	1	145	0	128	1	119	0	112	0	115	0	
21	1	3315	2	3090	1	2793	0	2775	1	2861	0	3015	1	
22	0	3997	0	3041	0	2507	0	2290	0	2230	0	1976	0	

Εικόνα 13 : Βάση δεδομένων των Ατυχημάτων και της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους, στο περιβάλλον της R.

	AADT_10	AADT_11	AADT_12	AADT_13	AADT_14	AADT_15	AADT_16	AADT_17	AADT_18	AADT_19
1	2539	2107	1780	1747	1733	1867	1909	1924	1951	2022
2	2609	2122	1841	1802	1775	1802	1888	1918	1899	2001
3	251	243	208	201	192	232	213	223	226	246
4	2609	2122	1841	1802	1775	1802	1888	1918	1899	2001
5	655	509	445	385	350	342	345	366	377	417
6	3074	2660	2166	1935	1847	1864	1954	2022	2213	2364
7	2739	2306	847	1341	1690	1720	1794	2237	2298	2204
8	595	487	397	346	315	320	331	344	364	396
9	1601	1343	1173	1281	1256	1211	1111	1133	1182	1249
10	2958	2601	2164	1973	1902	1994	2122	2206	2354	2513
11	2744	2358	1949	1808	1766	1893	1958	2082	2193	2329
12	1457	1242	1011	923	892	910	950	1006	1069	1121
13	771	596	578	478	413	438	405	420	415	461
14	3776	3405	2905	2683	2588	2656	2764	2669	2998	3072
15	3275	2909	2461	2280	2194	2267	2366	2489	2539	2591
16	673	536	446	383	337	350	360	369	372	409
17	107	87	77	69	61	63	62	65	73	81
18	1229	1146	995	1018	1034	1065	1116	1197	1323	1410

Εικόνα 15 : Βάση δεδομένων ΕΜΗΚ για τις δευτερεύουσες οδούς, στο περιβάλλον της R.

	ΑΚ_ΡΑΙΑΝ	ΑΚ_ΔΙΜΟΚΡ	ΑΚ_ΗΡΑΚΙ	ΑΚ_ΑΝΟΛΙΟΣΙΑ	ΑΚ_ΑΣΠΡΟΠΥΡ	ΑΚ_ΜΑΓΟΥΛΑ	ΑΚ_ΓΛΥΚΑΝΕΡΑ
1	95	80	70	105	130	135	75

Εικόνα 14 : Βάση δεδομένων αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού, στο περιβάλλον της R.

### 5.3. Συσχέτιση Δεδομένων

Πρώτιστα, πριν από τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης των ατυχημάτων (Accidents), εξετάστηκε η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται η μέγιστη συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής και μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Οι απόλυτες τιμές του συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα δηλώνουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν ανύπαρκτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Ουσιαστικά, όσο πιο μικρό είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης (p-value), δηλαδή όσο το δυνατόν τείνει η τιμή στο μηδέν, τόσο υψηλή είναι η στατιστική σημαντικότητα του δείγματος. Στα μοντέλα που δημιουργήθηκαν, ορίστηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή τα ατυχήματα (Accidents) και ως εξαρτημένες μεταβλητές η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (AADT) και η απόσταση ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing). Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε έλεγχος συσχέτισης μεταξύ εξαρτημένης μεταβλητής (Accidents) και των ανεξάρτητων μεταβλητών (AADTramp, AADTxrd, spacing). Ο έλεγχος συσχέτισης πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής `cor(x,y,method=pearson)` όπου:

x, y = οι δύο μεταβλητές για τις οποίες εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση

method= η μέθοδος με την οποία πραγματοποιείται η γραμμική συσχέτιση, όπου σε αυτή την περίπτωση είναι Pearson.

Παρακάτω, παρουσιάζεται στις εικόνες ο έλεγχος συσχέτισης που πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης (R-studio).

```
> # Correlation test with pearson (accidents vs aatd)
> cor.test(all_aatd_vector, all_accidents_vector, method="pearson")

Pearson's product-moment correlation

data: all_aatd_vector and all_accidents_vector
t = 3.5642, df = 278, p-value = 0.0004294
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.09413126 0.31846364
sample estimates:
 cor
0.209046
```

Εικόνα 16 : Συσχέτιση της μεταβλητής των Ατυχημάτων και της ΕΜΗΚ για τους τέσσερις κλάδους.

```
> # Correlation test with pearson (accidents vs spacing)
> cor.test(sum_accidents_vector, spacing_vector, method="pearson")

Pearson's product-moment correlation

data: sum_accidents_vector and spacing_vector
t = -0.6614, df = 5, p-value = 0.5376
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.8542351  0.5969196
sample estimates:
      cor
-0.2836382
```

Εικόνα 17 : Συσχέτιση της μεταβλητής των Ατυχημάτων και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού.

```
> # Correlation test with pearson (accidents vs spacing)
> cor.test(sum_AADT_vector, spacing_vector, method="pearson")

Pearson's product-moment correlation

data: sum_AADT_vector and spacing_vector
t = 0.096894, df = 5, p-value = 0.9266
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.7336855  0.7712075
sample estimates:
      cor
0.04329158
```

Εικόνα 18 : Συσχέτιση της μεταβλητής ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους και των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού.

## 5.4. Ανάπτυξη Μοντέλων Παλινδρόμησης στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R

Για να προσδιοριστούν τα μοντέλα πρόβλεψης των ατυχημάτων (Accidents) σε σχέση με τις εξαρτημένες μεταβλητές, δηλαδή την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (AADT<sub>tramp</sub>), την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία λόγω διαμπερούς κίνησης στις δευτερεύουσες οδούς των ανισόπεδων κόμβων (AADT<sub>xrd</sub>) και την απόσταση ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R-studio) η εφαρμογή της γίνεται με συγκεκριμένες εντολές.

Αρχικά, στη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης ορίζεται η εξαρτημένη μεταβλητή η οποία στη περίπτωση αυτή είναι η τιμή των ατυχημάτων (Accidents). Η μεθοδολογία αυτή επιτυγχάνεται μέσω της εντολής `lm(formula)` και η περίληψη του μοντέλου μέσω της εντολής `summary(model)`, ώστε να γίνει εξαγωγή και στατιστική αξιολόγηση του μοντέλου.

## 5.5. 1<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.5.1. Ανάπτυξη 1<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για την δημιουργία του συγκεκριμένου μοντέλου, έγινε εισαγωγή των δεδομένων των Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδου κόμβου (AADT<sub>tramp</sub>) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Έπειτα από επεξεργασία, δημιουργήθηκε μέσω γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADT<sub>tramp</sub>) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Η εξίσωση που περιγράφει το 1<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\text{Accidents} = 13.032 + 1.080\text{E-}04 * (\text{AADT}) - 8.405\text{E-}02 * (\text{Spacing}) \quad (5.1)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
5.721 on 4 degrees of freedom	2.487 on 2 and 4 DF	0.5542	0.3314	0.1987

Πίνακας 2 : Περίληψη 1<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 1				
Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	13.032	10.2728513	1.269	0.273
AADT	1.080E-04	5.240E-05	2.062	0.108
Spacing	-8.405E-02	8.959E-02	-0.938	0.401

Πίνακας 3 : Μεταβλητές στην εξίσωση 1<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.5.2. Ποιότητα και Σχόλια 1<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.5542** και adjusted **R<sup>2</sup> = 0.3314** δεν είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 34% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT θετική.



## 5.6. 2<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.6.1. Ανάπτυξη 2<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για την κατασκευή μοντέλου αυτού, έγινε εισαγωγή των δεδομένων των Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδου κόμβου (AADTDgamp) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στον κύβο αντίστοιχα. Ύστερα από επεξεργασία, δημιουργήθηκε μέσω γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTDgamp) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένα στον κύβο. Η εξίσωση που περιγράφει το 2<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\text{Accidents} = 1.277\text{E}+01 + 3.504\text{E}-15 * (\text{AADT})^3 - 2.095\text{E}-06 * (\text{Spacing})^3 \quad (5.2)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
5.904 on 4 degrees of freedom	2.213 on 2 and 4 DF	0.5252	0.2878	0.2254

Πίνακας 4 : Περίληψη 2<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 2				
Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (>  t )
Intercept	1.277E+01	5.010E+00	2.549	0.0634
AADT	3.504E-15	1.900E-15	1.844	0.1389
Spacing	-2.095E-06	2.815E-06	-0.744	0.4982

Πίνακας 5 : Μεταβλητές στην εξίσωση 2<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.6.2. Ποιότητα και Σχόλια 2<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.5252** και adjusted **R<sup>2</sup> = 0.2878** δεν είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 29% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT θετική.



## 5.7. 3<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.7.1. Ανάπτυξη 3<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το συγκεκριμένο μοντέλο, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των δεδομένων των λογαριασμένων Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδο κόμβου (AADTDrapm) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Μετά από ανάλυση μέσω γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα λογαριασμένα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTDrapm) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Η εξίσωση που περιγράφει το 3<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\log(\text{Accidents}) = 1.056 + 3.121\text{E-}06 * (\text{AADT}) - 2.156\text{E-}03 * (\text{Spacing}) \quad (5.3)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
0.1418 on 4 degrees of freedom	3.266 on 2 and 4 DF	0.6202	0.4304	0.1442

Πίνακας 6 : Περίληψη 3<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 3				
Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	1.056E+00	2.545E-01	4.150	0.0143
AADT	3.121E-06	1.298E-06	2.404	0.0740
Spacing	-2.156E-03	2.220E-03	-0.971	0.3864

Πίνακας 7 : Μεταβλητές στην εξίσωση 3<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.7.2. Ποιότητα και Σχόλια 3<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.6202** και adjusted **R<sup>2</sup> = 0.4304** είναι σχεδόν αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 44% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT θετική.

## 5.8. 4<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.8.1. Ανάπτυξη 4<sup>ου</sup> Μοντέλου

Στο μοντέλο αυτό, έγινε εισαγωγή των δεδομένων των λογαριασμένων Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδου κόμβου (AADTDramp) υψωμένες στο τετράγωνο και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στον κύβο αντίστοιχα. Έπειτα από επεξεργασία και χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα λογαριασμένα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTDramp) υψωμένες στο τετράγωνο και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Η εξίσωση που περιγράφει το 4<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\log(\text{Accidents}) = 1.145 + 1,701\text{E-}11 * (\text{AADT})^2 - 1,909\text{E-}03 * (\text{Spacing}) \quad (5.4)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
0.1439 on 4 degrees of freedom	3.108 on 2 and 4 DF	0.6085	0.4127	0.1533

Πίνακας 8 : Περίληψη 4<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 4				
Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	1.145E+00	2.435E-01	4.703	0.00929
AADT	1.701E-11	7.264E-12	2.342	0.07920
Spacing	-1.909E-03	2.252E-03	-0.848	0.44422

Πίνακας 9 : Μεταβλητές στην εξίσωση 4<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.8.2. Ποιότητα και Σχόλια 4<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.6285** και **adjusted R<sup>2</sup> = 0.4127** είναι σχεδόν αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 42% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT θετική.

## 5.9. 5<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.9.1. Ανάπτυξη 5<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το μοντέλο αυτό, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των δεδομένων των λογαριασμένων Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδου κόμβου (AADTDgramp) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στο τετράγωνο. Έπειτα από επεξεργασία και χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα λογαριασμένα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTDgramp) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στο τετράγωνο. Η εξίσωση που περιγράφει το 5<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\log(\text{Accidents}) = 9,563\text{E-}01 + 3.058\text{E-}06 * (\text{AADT}) - 1,032\text{E-}05 * (\text{Spacing})^2 \quad (5.5)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
0.1421 on 4 degrees of freedom	3.244 on 2 and 4 DF	0.6186	0.4279	0.1455

Πίνακας 10 : Περίληψη 5<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 5 Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	9.563E-01	1.784E-01	5.359	0.00585
AADT	3.058E-06	1.300E-06	2.353	0.07830
Spacing	-1.032E-05	1.075E-05	-0.960	0.39128

Πίνακας 11 : Μεταβλητές στην εξίσωση 5<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.9.2. Ποιότητα και Σχόλια 5<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.6186** και **adjusted R<sup>2</sup> = 0.4279** είναι σχεδόν αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 43% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT θετική.

### 5.10. 6<sup>ο</sup> Μοντέλο

#### 5.10.1. Ανάπτυξη 6<sup>ου</sup> Μοντέλου

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, έγινε εισαγωγή των δεδομένων των λογαριασμένων Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδου κόμβου (AADTDgramp) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στο κύβο. Κατόπιν επεξεργασίας και χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα λογαριασμένα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTDgramp) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στο κύβο. Η εξίσωση που περιγράφει το 6<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\log(\text{Accidents}) = 9,284\text{E-}01 + 3.001\text{E-}06 * (\text{AADT}) - 6,416\text{E-}08 * (\text{Spacing})^3 \quad (5.6)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
0.1422 on 4 degrees of freedom	3.231 on 2 and 4 DF	0.6177	0.4265	0.1462

Πίνακας 13 : Περίληψη 6<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 6				
Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	9.284E-01	1.623E-01	5.720	0.00462
AADT	3.001E-06	1.303E-06	2.303	0.08265
Spacing	-6.416E-08	6.724E-08	-0.954	0.39404

Πίνακας 12 : Μεταβλητές στην εξίσωση 6<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.10.2. Ποιότητα και Σχόλια 6<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.6177** και adjusted **R<sup>2</sup> = 0.4265** είναι σχεδόν αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 43% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT θετική.



## 5.11. 7<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.11.1. Ανάπτυξη 7<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το μοντέλο αυτό, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των δεδομένων των λογαριασμένων Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στις δευτερεύουσες οδούς κάθε ανισόπεδου κόμβου μορφής «διαμάντι» λόγω διαμπερούς κίνησης (AADT<sub>xrd</sub>) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Έπειτα από επεξεργασία και χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα λογαριασμένα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στην δευτερεύουσα οδό κάθε κόμβου (AADT<sub>Dxrd</sub>) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing). Η εξίσωση που περιγράφει το 7<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\log(\text{Accidents}) = 8.772\text{E-}01 + 7.598\text{E-}06 * (\text{AADT1}) - 7.701\text{E-}04 * (\text{Spacing}) \quad (5.7)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
0.1184 on 4 degrees of freedom	5.553 on 2 and 4 DF	0.7352	0.6028	0.07013

Πίνακας 14 : Περίληψη 7<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 7 Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	8.772E-01	2.385E-01	3.678	0.02120
AADT1	7.598E-06	2.400E-06	3.166	0.03400
Spacing	-7.701E-04	1.887E-03	-0.408	0.70420

Πίνακας 15 : Μεταβλητές στην εξίσωση 7<sup>ου</sup> Μοντέλου.



### 5.11.2. Ποιότητα και Σχόλια 7<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών **ΔΕΝ** είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.7352** και **adjusted R<sup>2</sup> = 0.6028** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 60% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση της μεταβλητής AADT1 θετική.
- 

## 5.12. 8<sup>ο</sup> Μοντέλο

### 5.12.1. Ανάπτυξη 8<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το τελευταίο μοντέλο που παρουσιάζεται, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των δεδομένων των λογαριασμένων Ατυχημάτων ( Accidents), της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους του κάθε ανισόπεδο κόμβου (AADTDramp) υψωμένη στο τετράγωνο, της ΕΜΗΚ στις δευτερεύουσες οδούς κάθε ανισόπεδο κόμβου μορφής «διαμάντι» λόγω διαμπερούς κίνησης (AADT<sub>crd</sub>) και οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στο τετράγωνο. Έπειτα από επεξεργασία και χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων με εξαρτημένη μεταβλητή τα λογαριασμένα ατυχήματα (Accidents) και ανεξάρτητες μεταβλητές την ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTDramp) υψωμένη στο τετράγωνο, την ΕΜΗΚ στις δευτερεύουσες οδούς σε κάθε ανισόπεδο κόμβο (AADT<sub>crd</sub>) και τις τιμές των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού για κάθε ανισόπεδο κόμβο (spacing) υψωμένες στο τετράγωνο. Η εξίσωση που περιγράφει το 8<sup>ο</sup> μοντέλο, καθώς και τα αποτελέσματα σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω :

$$\log(\text{Accidents}) = 8,620\text{E-}01 + 2,386\text{E-}12 * (\text{AADT})^2 + 6,722\text{E-}06 * (\text{AADT1}) - 4.624\text{E-}06 * (\text{Spacing})^2 \quad (5.8)$$

Model Summary				
Residual standard error	F - statistics	Multiple R - squared	Adjusted R - squared	p - value
0.1353 on 3 degrees of freedom	2.854 on 3 and 3 DF	0.7405	0.4811	0.206

Πίνακας 16 : Περίληψη 8<sup>ου</sup> Μοντέλου.

Model 8				
Accidents				
Variables	Estimate	Std. error	t - value	Pr (> t )
Intercept	8.620E-01	2.098E-01	4.109	0.026
AADT	2.386E-12	1.324E-11	0.180	0.869
AADT1	6.722E-06	5.341E-06	1.259	0.297
Spacing	-4.624E-06	1.081E-05	-0.428	0.698

Πίνακας 17 : Μεταβλητές στην εξίσωση 8<sup>ου</sup> Μοντέλου.

### 5.12.2. Ποιότητα και Σχόλια 8<sup>ου</sup> Μοντέλου

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής :

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών δεν είναι μικρότερο από 0.05, όπως φαίνεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** δείχνει μέτρια προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R = 0.7405** και adjusted **R<sup>2</sup> = 0.4811** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 48% της μεταβλητότητας των ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής Spacing έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ η αύξηση των μεταβλητών AADT και AADT1 θετική.
- Παρότι έγινε μεγάλη προσπάθεια να διερευνηθεί η επιρροή του spacing, εντούτοις αυτό δεν κατέστη δυνατό με βάση τα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα που ελήφθησαν.
- Αυτό οφείλεται στα χαρακτηριστικά του δείγματος με την έννοια ότι αυτά είναι περιορισμένα καθώς δεν υπήρχε πιο λεπτομερής καταμερισμός των επιμέρους κινήσεων καθώς και αντίστοιχη λεπτομέρεια στην καταγραφή των ατυχημάτων.

- Κατά συνέπεια προτείνεται το μοντέλο 7 το οποίο με καλή ακρίβεια περιγράφει την πρόβλεψη ατυχημάτων ως συνάρτηση του φόρτου μόνο της δευτερεύουσας οδού. Άλλωστε τα ατυχήματα προκύπτουν στις περιοχές διασταυρώσεων του κόμβου, δηλαδή στις περιοχές εισόδου και εξόδου από την αρτηρία από και προς τη δευτερεύουσα οδό αντίστοιχα.

## 6. Συμπεράσματα

### 6.1. Συνολικά Συμπεράσματα - Αποτελέσματα

Μέσα από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψε ένα σύνολο συμπερασμάτων που συνδέεται με τους αρχικούς στόχους της. Στο υποκεφάλαιο αυτό, προβάλλεται μια σύνθεση αποτελεσμάτων από τα προηγούμενα κεφάλαια με σκοπό την ικανοποίηση του αρχικού σκοπού της μελέτης. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- Αν και έγιναν πολλαπλές δοκιμές για να διερευνηθεί η επιρροή των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing), εντούτοις αυτό δεν κατέστη δυνατό με βάση τα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα που ελήφθησαν.
- Τα χαρακτηριστικά του δείγματος είναι περιορισμένα, καθώς δεν υπήρχε λεπτομερής καταμερισμός των επιμέρους κινήσεων αλλά και αντίστοιχη λεπτομέρεια στην καταγραφή των ατυχημάτων.
- Προτείνεται το 7<sup>ο</sup> μοντέλο το οποίο με καλή ακρίβεια περιγράφει την πρόβλεψη ατυχημάτων ως συνάρτηση του φόρτου μόνο της δευτερεύουσας οδού. Ούτως ή άλλως τα ατυχήματα προκύπτουν στις περιοχές διασταυρώσεων του κόμβου, δηλαδή στις περιοχές εισόδου και εξόδου από την αρτηρία από και προς τη δευτερεύουσα οδό αντίστοιχα.
- Παρότι το δείγμα έδειξε ότι η τιμή των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας οδού (spacing) επηρεάζει τον αριθμό ατυχημάτων, δηλαδή όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της μεταβλητής των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας (spacing), τόσο πιο μικρή είναι η πρόβλεψη των ατυχημάτων, δεν κατέστη εφικτό να βρεθεί σχέση ή να εκτιμηθεί η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής.
- Απο την ανάπτυξη των μοντέλων πρόβλεψης, παρατηρούμε ότι η μεταβλητή των αποστάσεων μεταξύ ισόπεδων κόμβων επί της δευτερεύουσας (spacing) δεν είναι στατιστικά σημαντική ως προς τους δείκτες ατυχημάτων.
- Η αύξηση της μεταβλητής της ΕΜΗΚ στους τέσσερις κλάδους κάθε κόμβου (AADTD<sub>ramp</sub>) έχει αρνητική επίδραση στην τιμή της πρόβλεψης των ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, όσο πιο μικρή τιμή έχει η μεταβλητή (AADTD<sub>ramp</sub>), τόσο πιο μικρή πρόβλεψη ατυχημάτων γίνεται.

## 6.2. Προτάσεις για βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μιας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη μείωση των οδικών ατυχημάτων στις συγκεκριμένες περιοχές μελέτης.

- Για την άμεση επίτευξη της μείωσης των ατυχημάτων, απαιτείται πρόνοια της νομοθεσίας για αυστηρότερες ποινές των παραβιάσεων του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, μέσα από αυτήν την διαδικασία είναι να επικρατήσουν ασφαλέστερες συνθήκες κυκλοφορίας και κατ'επέκταση λιγότερα ατυχήματα.
- Η συντήρηση των πινακίδων αλλά και της οριζόντιας σήμανσης, αποτελεί μια βελτίωση αρκετά σημαντική ώστε να είναι πιο ευανάγνωστες και ορατές.
- Άλλες σημαντικές βελτιώσεις της υφιστάμενης κατάστασης είναι ο οδικός φωτισμός αλλά και το οδόστρωμα. Με την βελτίωση του οδικού φωτισμού αλλά και την συντήρηση του οδοστρώματος θα επιτευχθεί πιο ασφαλή κυκλοφορία και συνάμα πιο λίγα ατυχήματα.
- Ο έλεγχος για τα μήκη ορατότητας σε κάθε δευτερεύουσα οδό αλλά και η επίτευξη αυτού στις περιπτώσεις όπου είναι αναγκαίο, αποτελεί εξίσου μια πολύ σημαντική βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης.
- Μια ακόμα πρόταση για βελτίωση, είναι η μελέτη κίνησης τροχιάς οχημάτων –κυρίως των βαρέων οχημάτων- στην δευτερεύουσα οδό.
- Η προκήρυξη έργων βελτίωσης (συμβολές κλάδων με διατρέχουσα οδό, αριστερές στροφές επί της δευτερεύουσας οδού) κυρίως στις δευτερεύουσες οδούς των ανισόπεδων κόμβων «διαμάντι», θα αποτελούσε άλλη μια πρόταση για μείωση των οδικών ατυχημάτων.

### 6.3. Προτάσεις για συνέχεια έρευνας

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

- Πρώτιστα, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί παρόμοια έρευνα με περισσότερα ποιοτικά αλλά και ποσοτικά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα να υπάρχουν περισσότεροι εξεταζόμενοι ανισόπεδοι κόμβοι αλλά και στοιχεία περισσότερων ετών. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των ανισόπεδων κόμβων που συμμετέχουν στο πείραμα τόσο πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προκύπτουν και αυτό πιθανόν να έδινε τη δυνατότητα ανάπτυξης μοντέλων με ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Επίσης, το δείγμα των δεικτών ατυχημάτων θα πρέπει να γίνει πιο συγκεκριμένο, ώστε να παρουσιάζεται εκτενέστερα η σοβαρότητα αλλά και η θέση του ατυχήματος.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσιαζόταν αν συσχετιζόνταν εξισώσεις από διεθνής βιβλιογραφίες μαζί εξισώσεις από την ανάλυση των μοντέλων.
- Η εφαρμογή εναλλακτικών μεθοδολογιών στατιστικής ανάλυσης, όπως για παράδειγμα η ανάλυση με χρονοσειρές, όπου θα παρουσίαζε ένα επιπλέον ιδιαίτερο ενδιαφέρον προς μελέτη.

## 7. Βιβλιογραφία

1. Torbic, Porter, Gooch, and Kersavage, 2020. Safety Performance of Crossroad Ramp Terminals at Single-Point and Tight Diamond Interchanges.
2. Abdelrahman, Abdel-Aty, Yuan, Al-Omari, 2020. Systematic Safety Evaluation Of Diverging Diamond Interchanges Based On Nationwide Implementation Data.
3. Vanasse Hangen Brustlin, Frank Gross, Ajmal (AJ) Hamidi, 2011. Investigation of Existing and Alternative Methods for Combining Multiple CMFs.
4. U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. Crash Modification Factors in Practice.
5. U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. Crash Modifications Factors Clearinghouse.  
<http://www.cmfclearinghouse.org>
6. David R. McDonald, 2020. Lessons Learned In Roadway Design: A Few Nuggets Of Knowledge.
7. George Yiannis, Anastasios Dragomanovits, Alexandra Laiou, Francesca La Torre, Lorenzo Domenichini, Thomas Richter, Stephan Ruhl, Daniel Graham, Niovi Karatheodorou, 2017. Road traffic accident prediction modeling: a literature review.
8. Salvatore Cafiso, Alfonso Montella, Carmelo D' Agostino, Filomena Mauriello, Francesco Galante, 2020. Crash modification functions for pavement surface condition and geometric design indicators.
9. Geni Bahar, Margaret Parkhill, Errol Tan, Chris Philip, Nesta Morris, Sasha Naylor, Tammi White, 2009. Highway Safety Manual Knowledge Base.



10. Στέργιος Μαυρομάτης. Ειδικά Κεφάλαια Γεωμετρικού Σχεδιασμού Οδών, Κεφάλαιο 3, Ανισόπεδοι Κόμβοι.
11. Λογαριθμική Κανονική Παλινδρόμηση, 2015, (log- linear regression).  
<https://methods.sagepub.com/book/learning-statistics-using-r/i2891.xml>
12. Κατανομή και Παλινδρόμηση Poisson, 2019 (Poisson regression).  
<https://towardsdatascience.com/the-poisson-distribution-and-poisson-process-explained-4e2cb17d459>
13. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας, 1994. "Οδική Ασφάλεια." Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
14. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι.,1990. Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
15. Συσχέτιση, Γραμμική Παλινδρόμηση, Λογιστική Παλινδρόμηση, Εφαρμογές,  
[http://mycourses.ntua.gr/courses/CIVIL1013/document/%C4%E9%E1%EB%D%E5%E9%F2/Regression19\\_Part\\_I.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/CIVIL1013/document/%C4%E9%E1%EB%D%E5%E9%F2/Regression19_Part_I.pdf)

## Παράρτημα

### Κώδικας από το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R - Studio)

```
#####  
#### Bachelors Thesis 2021 ####  
#### Giorgos A. Opsimos CV14769 ####  
#####  
  
## Install and Load packages  
# install.packages("ggplot")  
# install.packages("gvlma")  
# install.packages("DAAG")  
# install.packages("leaps")  
# install.packages("lmtest")  
# install.packages("curl")  
# install.packages("DMwR")  
# install.packages("car")  
  
library(ggplot2)  
library(gvlma)  
library(lattice)  
library(DAAG)  
library(car)  
library(DMwR)  
library(grid)  
library(leaps)  
library(curl)  
library(lmtest)  
  
#load dataset  
Accidents_AADT <- read.csv("C:/Users/George A  
Opsimos/Desktop/Accidents_AADT.csv")
```

```
View(Accidents_AADT)
```

```
Spacing <- read.csv("C:/Users/George A Opsimos/Desktop/Spacing.csv", nrow  
= 1)
```

```
View(Spacing)
```

```
AADT1 <- read.csv("C:/Users/George A Opsimos/Desktop/AADT1.csv")
```

```
View(AADT1)
```

```
# Get junction names
```

```
junctions <- colnames(Spacing)
```

```
# Get accidents and aadt for each junction
```

```
AK_PAIAN_Accidents = Accidents_AADT[1:4, c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_PAIAN_Accidents
```

```
AK_PAIAN_AADT = Accidents_AADT[1:4, !c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_PAIAN_AADT
```

```
AK_DIMOKR_Accidents = Accidents_AADT[5:8, c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_DIMOKR_Accidents
```

```
AK_DIMOKR_AADT = Accidents_AADT[5:8, !c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_DIMOKR_AADT
```

```
AK_HRAKL_Accidents = Accidents_AADT[9:12, c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_HRAKL_Accidents
```

```
AK_HRAKL_AADT = Accidents_AADT[9:12, !c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_HRAKL_AADT
```

```
AK_ANOLIOSIA_Accidents = Accidents_AADT[13:16, c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_ANOLIOSIA_Accidents
```

```
AK_ANOLIOSIA_AADT = Accidents_AADT[13:16, !c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_ANOLIOSIA_AADT
```

```
AK_ASROPYR_Accidents = Accidents_AADT[17:20, c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_ASROPYR_Accidents
```

```
AK_ASROPYR_AADT = Accidents_AADT[17:20, !c(TRUE,FALSE)]
```

```
AK_ASROPYR_AADT
```

```
AK_MAGOULA_Accidents = Accidents_AADT[21:24, c(TRUE,FALSE)]
AK_MAGOULA_Accidents
AK_MAGOULA_AADT = Accidents_AADT[21:24, !c(TRUE,FALSE)]
AK_MAGOULA_AADT
```

```
AK_GLYKANERA_Accidents = Accidents_AADT[25:28, c(TRUE,FALSE)]
AK_GLYKANERA_Accidents
AK_GLYKANERA_AADT = Accidents_AADT[25:28, !c(TRUE,FALSE)]
AK_GLYKANERA_AADT
```

```
# Get AADT1 for each junction
AK_PAIAN_AADT1 = AADT1[1:4, !c(FALSE)]
AK_PAIAN_AADT1
```

```
AK_DIMOKR_AADT1 = AADT1[5:8, !c(FALSE)]
AK_DIMOKR_AADT1
```

```
AK_HRAKL_AADT1 = AADT1[9:12, !c(FALSE)]
AK_HRAKL_AADT1
```

```
AK_ANOLIOSIA_AADT1 = AADT1[13:16, !c(FALSE)]
AK_ANOLIOSIA_AADT1
```

```
AK_ASPROPYR_AADT1 = AADT1[17:20, !c(FALSE)]
AK_ASPROPYR_AADT1
```

```
AK_MAGOULA_AADT1 = AADT1[21:24, !c(FALSE)]
AK_MAGOULA_AADT1
```

```
AK_GLYKANERA_AADT1 = AADT1[25:28, !c(FALSE)]
AK_GLYKANERA_AADT1
```

```
# Get a spacing of a specific junction
Spacing$AK_PAIAN
```

```
# Boxplots for accidents
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_PAIAN_Accidents)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_DIMOKR_Accidents)), las=2)
```

```
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_HRAKL_Accidents)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_ANOLIOSIA_Accidents)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_ASROPYR_Accidents)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_MAGOULA_Accidents)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_GLYKANERA_Accidents)), las=2)
```

```
#Boxplots for AATD
```

```
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_PAIAN_AADT)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_DIMOKR_AADT)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_HRAKL_AADT)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_ANOLIOSIA_AADT)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_ASROPYR_AADT)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_MAGOULA_AADT)), las=2)
boxplot(x = as.list(as.data.frame(AK_GLYKANERA_AADT)), las=2)
```

```
# Get all AATD and run shapiro
```

```
all_aatd = Accidents_AADT[, !c(TRUE,FALSE)]
all_aatd_vector = as.numeric(unlist(all_aatd, use.names = FALSE))
shapiro.test(all_aatd_vector)
```

```
# Get all accedents and run shapiro
```

```
all_accidents = Accidents_AADT[, c(TRUE,FALSE)]
all_accidents_vector = as.numeric(unlist(all_accidents, use.names = FALSE))
shapiro.test(all_accidents_vector)
```

```
# Correlation test with pearson (accidents vs aatd)
```

```
cor.test(all_aatd_vector, all_accidents_vector, method="pearson")
```

```
# Create a vector with the sum accidents for each junction
```

```
sum_accidents_vector = c(sum(AK_PAIAN_Accidents),
sum(AK_DIMOKR_Accidents), sum(AK_HRAKL_Accidents),
sum(AK_ANOLIOSIA_Accidents), sum(AK_ASROPYR_Accidents),
sum(AK_MAGOULA_Accidents), sum(AK_GLYKANERA_Accidents))
sum_accidents_vector
```

```
spacing_vector = as.numeric(Spacing[1,])
```

```
spacing_vector
```

```
# Correlation test with pearson (accidents vs spacing)
```

```
cor.test(sum_accidents_vector, spacing_vector, method="pearson")
```

```
# Create a vector with the sum AADT for each junction
```

```
sum_AADT_vector = c(sum(AK_PAIAN_AADT), sum(AK_DIMOKR_AADT),
```

```
sum(AK_HRAKL_AADT), sum(AK_ANOLIOSIA_AADT),
```

```
sum(AK_ASROPYR_AADT), sum(AK_MAGOULA_AADT),
```

```
sum(AK_GLYKANERA_AADT))
```

```
sum_AADT_vector
```

```
# Create a vector with the sum AADT1 for each junction
```

```
sum_AADT1_vector = c(sum(AK_PAIAN_AADT1), sum(AK_DIMOKR_AADT1),
```

```
sum(AK_HRAKL_AADT1), sum(AK_ANOLIOSIA_AADT1),
```

```
sum(AK_ASROPYR_AADT1), sum(AK_MAGOULA_AADT1),
```

```
sum(AK_GLYKANERA_AADT1))
```

```
sum_AADT1_vector
```

```
# Correlation test with pearson (accidents vs spacing)
```

```
cor.test(sum_AADT_vector, spacing_vector, method="pearson")
```

```
# Linear Regression for model1
```

```
model1 <- lm(sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+spacing_vector)
```

```
summary(model1)
```

```
# Linear Regression for model2
```

```
model2 <-
```

```
lm(sum_accidents_vector~cube_sum_AADT_vector+cubes_spacing_vector)
```

```
summary(model2)
```

```
# Linear Regression for model3
```

```
# Create a vector with the log of sum accidents
```

```
log_sum_accidents_vector <- log10(sum_accidents_vector)
```

```
log_sum_accidents_vector
```

```
model3 <- lm(log_sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+spacing_vector)
```

```
summary(model3)
```

```

# Linear Regression for model4
model4 <-
lm(log_sum_accidents_vector~square_sum_AADT_vector+spacing_vector)
summary(model4)

# Linear Regression for model5
model5 <-
lm(log_sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+square_spacing_vector)
summary(model5)

# Linear Regression for model6
model6 <-
lm(log_sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+cubes_spacing_vector,)
summary(model6)

# Linear Regression for model7
model7 <-
lm(log_sum_accidents_vector~sum_AADT1_vector+spacing_vector)
summary(model7)

# Linear Regression for model8
log_sum_AADT1_vector <- log10(sum_AADT1_vector)
log_sum_AADT1_vector
model8 <-
lm(log_sum_accidents_vector~square_sum_AADT_vector+sum_AADT1_vector
+square_spacing_vector)
summary(model8)

# Linear Regression for model9
# Create a vector with the sum AADT squares
square_sum_AADT_vector <- (sum_AADT_vector)**2
square_sum_AADT_vector
model9 <-
lm(sum_accidents_vector~square_sum_AADT_vector+spacing_vector)
summary(model9)

```



```

# Linear Regression for model10
# Create a vector with the spacing squares
square_spacing_vector <- (spacing_vector)**2
square_spacing_vector
model10 <-
lm(sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+square_spacing_vector)
summary(model10)

# Linear Regression for model11
model11 <-
lm(sum_accidents_vector~square_sum_AADT_vector+square_spacing_vector)
summary(model11)

# Linear Regression for model12
# Create a vector with the sum AADT cubes
cube_sum_AADT_vector <- (sum_AADT_vector)**3
cube_sum_AADT_vector
model12 <-
lm(sum_accidents_vector~cube_sum_AADT_vector+spacing_vector)
summary(model12)

# Linear Regression for model13
# Create a vector with the spacing cubes
cubes_spacing_vector <- (spacing_vector)**3
cubes_spacing_vector
model13 <-
lm(sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+cubes_spacing_vector)
summary(model13)

# Linear Regression for model14
model14 <-
lm(log_sum_accidents_vector~cube_sum_AADT_vector+spacing_vector)
summary(model14)

# Linear Regression for model15

```

```
# Create a vector with the log of sum AADT
log_sum_AADT_vector <- log10(sum_AADT_vector)
log_sum_AADT_vector
model15 <-
lm(log_sum_accidents_vector~log_sum_AADT_vector+spacing_vector)
summary(model15)

# Linear Regression for model16
model16 <-
lm(sum_accidents_vector~sum_AADT_vector+sum_AADT1_vector+spacing_
vector)
summary(model16)

# Linear Regression for model17
model17 <- lm(sum_accidents_vector~sum_AADT1_vector+spacing_vector)
summary(model17)
```