



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΚΩΣΤΕΛΛΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Σπυροπούλου Ιωάννα, {Επίκουρη Καθηγήτρια}

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ



Αθήνα, Ιούλιος 2020



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL & SURVEYING ENGINEERING
DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

Diploma Thesis

**SPATIAL ANALYSIS OF ROAD
ACCIDENTS IN ATTICA REGION**

KOSTELLOU ANASTASIA

Supervisor: Spyropoulou Ioanna, {Assistant Professor N.T.U.A.}

LABORATORY OF
TRANSPORTATION ENGINEERING



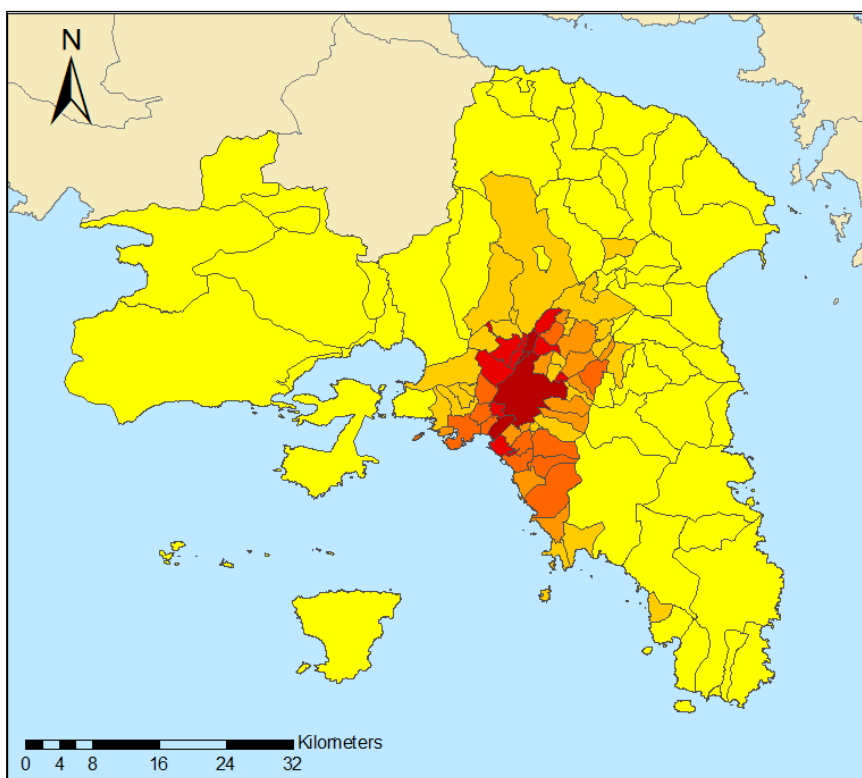
Athens, July 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ**



ΚΩΣΤΕΛΛΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Σπυροπούλου Ιωάννα, {Επίκουρη Καθηγήτρια}

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ**



Αθήνα, Ιούλιος 2020

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας τελειώνει ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο αντικείμενο του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω την κα Ιωάννα Σπυροπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση, τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές, καθώς και την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Θωμά Χατζηχρήστο, μέλος Ε.ΔΙ.Π. του Τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε σε θέματα σχετικά με την επεξεργασία και την γεωγραφική ανάλυση των δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου με βοήθησε να επιτύχω τους στόχους μου.

*Κωστέλλου Αναστασία
Αθήνα, Ιούλιος 2020*

ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Δηλώνω ότι η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί στο σύνολο της δική μου εργασία, και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την κτήση άλλου τίτλου σπουδών. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από άλλες πηγές, αυτές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.

Κωστέλλου Αναστασία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα προς αντιμετώπιση τα τελευταία χρόνια είναι αυτό της οδικής ασφάλειας, καθώς σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2018), τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την όγδοη κύρια αιτία θανάτου παγκοσμίως για όλες τις ηλικιακές ομάδες με πολλαπλές συνέπειες, οι οποίες αφορούν τόσο τους παθόντες, όσο και το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Το ενδιαφέρον της παρούσας διπλωματικής εργασίας εστιάζεται στη διερεύνηση του φαινομένου των οδικών ατυχημάτων σε χωρικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, αντικείμενο της εργασίας είναι η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων χωρικής ανάλυσης με στόχο τον προσδιορισμό των Δήμων και Δημοτικών Ενοτήτων της Περιφέρειας Αττικής που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα, τόσο στο σύνολό τους, όσο και ανά κριτήριο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία αφορούν στα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στην Περιφέρεια Αττικής το διάστημα 2011 έως και 2015 με το επίπεδο της χωρικής ανάλυσης να είναι πολυγωνικής μορφής. Χρησιμοποιείται η τεχνολογία των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων, η οποία θεωρείται από τους περισσότερους ερευνητές το αυτονόητο περιβάλλον διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων. Εφαρμόζονται τρεις μέθοδοι χωρικής ανάλυσης, οι οποίες είναι η μέθοδος της διερευνητικής ανάλυσης των δεδομένων, η μέθοδος της χωρικής αυτοσυσχέτισης και η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και υλοποιούνται με χρήση των λογισμικών ArcGIS 10.5.1 και Minitab 19. Η διερευνητική ανάλυση δεδομένων αναφέρεται σε ένα σύνολο τεχνικών, που αντικείμενο έχουν την οπτική αναπαράσταση των δεδομένων με τη χρήση γραφικών μέσων. Αποτελεί ένα μέσο για την παρουσίαση και τη μετάδοση της πληροφορίας με άμεσο και απλό τρόπο, που στόχο έχει τον εντοπισμό και την αναγνώριση δομών και ιδιοτήτων σε ένα σύνολο δεδομένων. Η μέθοδος της χωρικής αυτοσυσχέτισης εξετάζει εάν η παρατηρηθείσα τιμή μιας μεταβλητής σε μια περιοχή είναι ανεξάρτητη από τις τιμές της μεταβλητής στις γειτονικές τοποθεσίες, δηλαδή χωρική αυτοσυσχέτιση υπάρχει όταν η τιμή μίας μεταβλητής, που αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη χωρική ενότητα, επηρεάζει και επηρεάζεται από τις τιμές της ίδιας μεταβλητής στις γειτονικές χωρικές ενότητες (Kitchin και Tate, 2000). Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση δεδομένων και προσπαθεί να δημιουργήσει “φυσικές” ομάδες δεδομένων με στόχο την αντιμετώπιση των ομάδων με τους ίδιους νόμους και κανόνες. Αυτές οι ομάδες είναι ανεπηρέαστες, με την έννοια ότι δεν απαιτούνται εκ των προτέρων υποθέσεις, όπως συμβαίνει στις περισσότερες στατιστικές μεθόδους. Τα κύρια αποτελέσματα της ανάλυσης είναι αρχικά, ότι όλες οι μεταβλητές στην περιοχή μελέτης παρουσιάζουν χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο. Οι Δήμοι οι οποίοι φαίνεται να αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι αυτοί των Αθηναίων, της Καλλιθέας και της Νέας Φιλαδέλφειας-Χαλκηδόνας, ενώ το 47% των υπό διερεύνηση Δήμων παρουσιάζουν μικρή επιβάρυνση και κανένας δε βρίσκεται εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα και των τριών μεθόδων που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρείται ότι ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται κάθε φορά, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι το ίδιο, ότι δηλαδή, τα περισσότερα οδικά ατυχήματα που συμβαίνουν στην Περιφέρεια Αττικής εντοπίζονται στους Δήμους της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας.

Λέξεις κλειδιά: Οδικά ατυχήματα, χωρική ανάλυση, διερευνητική ανάλυση δεδομένων, χωρική αυτοσυσχέτιση, μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

ABSTRACT

Nowadays one of the most important issues to be addressed in recent years is that of road safety, as according to the World Health Organization (2018), road accidents are the eighth leading cause of deaths worldwide for all age groups and the consequences concern both those involved and the society as a whole. This thesis focuses on the investigation of road traffic accidents at a spatial level. Specifically, appropriate methods of spatial analysis are being applied in order to identify the Municipalities and Municipal Units of the Attica Region that face the biggest problem regarding road accidents, as a whole and also considering specific criteria. The data used in the current study involves road accidents that occurred in the Region of Attica between 2011 and 2015 with the level of spatial analysis being polygonal. Geographic Information Systems techniques are being used, which is considered by most researchers to be the most evident geographic data management environment. Three methods of spatial analysis are being applied. Those are the method of exploratory data analysis, the method of spatial autocorrelation and the method of unsupervised classification and are implemented using ArcGIS 10.5.1 and Minitab 19 software. Exploratory data analysis refers to a set of techniques, which aim at the visual representation of data using graphic media. It is a means of presenting and transmitting information in a direct and simple manner, which aims at locating and identifying structures and properties in a dataset. The method of spatial autocorrelation examines whether the observed value of a variable in an area is independent of the variable values in adjacent locations, that is, spatial autocorrelation exists when the value of a variable, referring to a specific spatial unit, is affected by the values of the same variable in adjacent spatial units (Kitchin and Tate, 2000). Unsupervised classification is a method used in data exploration that seeks to create "physical" groups of data in order to treat groups with the same laws and rules. These groups are unaffected, in the sense that no prior assumptions are required, as is the case with most statistical methods. The main results of the analysis are that all variables in the study area present a spatially grouped pattern. The Municipalities that seem to face the biggest problem are those of Athineon, Kallithea and Nea Philadelphia-Chalkidona, while there are no municipalities within the Attica Basin that exhibit high concentration of road traffic accidents. Comparing the results of all three methods applied in the context of this dissertation, it is observed that regardless of the method used each time, the general conclusion is the same, that is, most road accidents that occur in the Region of Athens. are located in the Municipalities of the metropolitan area of Athens.

Keywords: Road traffic accidents, spatial analysis, exploratory data analysis, spatial autocorrelation, unsupervised classification

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 1 -
2. ΟΔΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ	- 4 -
2.1. Ορισμοί.....	- 4 -
2.2. Δείκτες Οδικής Ασφάλειας	- 5 -
2.3. Στατιστικά Στοιχεία	- 5 -
2.3.1. Παγκόσμια στατιστικά στοιχεία.....	- 5 -
2.3.2. Ευρωπαϊκά στατιστικά στοιχεία.....	- 6 -
2.4. Αίτια και Παράγοντες Επιρροής Σοβαρότητας Οδικών Ατυχημάτων	- 11 -
2.4.1. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	- 11 -
2.5. Συνέπειες Οδικών Ατυχημάτων	- 13 -
3. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	- 16 -
3.1. Τα Υποσυστήματα Ενός ΓΣ.....	- 18 -
3.1.1. Υλικό (hardware).....	- 18 -
3.1.2. Λογισμικό (software)	- 18 -
3.2. Τα ΓΣ στην Ανάλυση των Ατυχημάτων	- 19 -
3.2.1. Ο δείκτης Moran's I	- 22 -
3.2.2. Δείκτης Getis - Ord.....	- 23 -
3.2.3. Πυκνότητα Kernel.....	- 23 -
3.2.4. Ανάλυση Ταξινόμησης	- 24 -
3.2.5. Γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση.....	- 24 -
3.3. Συμπεράσματα	- 24 -
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ.....	- 25 -
4.1. Χωρική Αυτοσυσχέτιση - Ορισμός.....	- 25 -
4.1.1. Ο δείκτης μέτρησης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I	- 26 -
4.2. Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	- 30 -
4.3. Μεθοδολογικό Πλαίσιο.....	- 35 -
4.5. Συστήματα Υποστήριξης Χωρικών Αποφάσεων για την Ανάλυση των Ατυχημάτων	- 37 -
4.6. Συμπεράσματα	- 37 -
5. ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΔΗΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	- 38 -
5.1. Περιοχή Μελέτης	- 38 -
5.2. Συλλογή Δεδομένων	- 40 -
5.3. Διαχείριση Δεδομένων	- 40 -
5.3.1. Τροποποίηση δεδομένων.....	- 40 -
5.3.2. Αντιμετάθεση δεδομένων	- 40 -

5.3.3. Κανονικοποίηση δεδομένων	- 42 -
5.4. Ανάλυση και Οπτικοποίηση των Δεδομένων	- 42 -
5.4.1. Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων	- 42 -
5.4.2. Δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I	- 45 -
5.4.3. Εφαρμογή ανάλυσης ταξινόμησης	- 56 -
5.5. Συμπεράσματα	- 61 -
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 63 -
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	- 67 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	- 70 -

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Ετήσια οδικά ατυχήματα με τραυματισμό ανά χώρα, 2007-2016 (Πηγή: CARE, EU road accidents database, last update April 2018).....	7
Πίνακας 2.2: Ετήσια οδικά θανατηφόρα ατυχήματα ανά χώρα, 2007-2016 (Πηγή: CARE, EU road accidents database, last update April 2018).....	8
Πίνακας 2.3: Μέσο κόστος ατυχήματος ανά χώρα [€/ατύχημα] (Πηγή: Παρουσίαση «Οδοποιία III - Σχεδιασμός και Λειτουργία Κόμβων, Οδική Ασφάλεια»).....	15
Πίνακας 3.1: Μελέτες ανάλυσης ατυχημάτων με χρήση GIS.....	20
Πίνακας 5.1: Διοικητική διαίρεση Περιφέρειας Αττικής.....	39
Πίνακας 5.2: Απόσπασμα αρχικής μορφής των δεδομένων.....	41
Πίνακας 5.3: Απόσπασμα τελικής μορφής των δεδομένων.....	41
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 4 τάξεις.....	57
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 5 τάξεις.....	57
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 6 τάξεις.....	57
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 7 τάξεις.....	58
Πίνακας 5.8: Απόσπασμα αποτελέσματος ταξινόμησης.....	59
Πίνακας 5.9: Αρχικά αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων.....	59
Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα ταξινόμησης 6 τάξεων.....	61

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Διάγραμμα ετήσιων θανάτων, ατυχημάτων και τραυματισμών στην Ε.Ε., 2007-2016. (Πηγή: CARE, EU road accidents data-base, last update April 2018).....	7
Σχήμα 2.2: Χάρτης θανάτων σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2017.....	9
Σχήμα 2.3: Χάρτης οδικών ατυχημάτων ανά εκατομμύριο κατοίκους για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 2015.....	10
Σχήμα 2.4: Συμβολή των τριών παραγόντων Άνθρωπος – Οδός – Όχημα (Πηγή: Παρουσίαση «Οδοποιία III - Σχεδιασμός και Λειτουργία Κόμβων, Οδική Ασφάλεια».....	11
Σχήμα 2.5: Μέθοδοι εκτίμησης κόστους οδικών ατυχημάτων (Πηγή: Ντεμογιάννη κ.ά., 2005).	14
Σχήμα 3.1: Συστατικά μέρη ΓΣ.....	16
Σχήμα 3.2: Μοντέλο αναπαράστασης της πραγματικότητας στα ΓΣ.....	17
Σχήμα 3.3 Οπτικοποίηση της εφαρμογής του εργαλείου KDE. Τα χαρακτηριστικά/αντικείμενα (αριστερά) και η Kernel πυκνότητά τους (δεξιά). Πηγή: Kernel Density (ESRI).....	23
Σχήμα 4.1: Χωρικά πρότυπα (Πηγή: ESRI Developer Network).....	26
Σχήμα 4.2: Απεικόνιση ανάλυσης “Cluster and Outlier” (Πηγή: ESRI).....	30
Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση των σταδίων του αλγόριθμου ISODATA (Αργιαλάς, 1994).	33
Σχήμα 4.4: Γραφική απεικόνιση του αλγόριθμου K-κέντρα (Αργιαλάς, 1994).....	34
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα καθορισμού στόχων μελέτης.....	36
Σχήμα 5.1: Περιοχή μελέτης.....	38
Σχήμα 5.2: Αναφορά ολικού δείκτη Moran's I για τη μεταβλητή των συνολικών ατυχημάτων...	46
Σχήμα 5.3: Αναφορά ολικού δείκτη Moran's I για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με ελαφρύ τραυματισμό.....	47
Σχήμα 5.4: Αναφορά ολικού δείκτη Moran's I για τη μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν με συνθήκες φωτισμού ημέρας.....	47
Σχήμα 5.5: Διάγραμμα μέσων όρων αθροίσματος τετραγώνων κάθε τάξης.....	58

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 01: Συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο Περιφέρειας Αττικής για την περίοδο 2011-2015..	43
Χάρτης 13: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο για την περίοδο 2011-2015.....	49
Χάρτης 46: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση των Δήμων σε 6 τάξεις επιβάρυνσης.....	60
Χάρτης 02: Διακύμανση ατυχημάτων ανά ημέρα σε μορφή γραφήματος στηλών.....	70
Χάρτης 03: Διακύμανση ατυχημάτων ανά μήνα σε μορφή γραφήματος στηλών.....	70
Χάρτης 04: Διακύμανση ατυχημάτων ανά έτος σε μορφή γραφήματος στηλών.....	71
Χάρτης 05: Διακύμανση ατυχημάτων ανά συνθήκες φωτισμού σε μορφή γραφήματος πίτας..	71
Χάρτης 06: Διακύμανση ατυχημάτων ανά καιρικές συνθήκες σε μορφή γραφήματος πίτας....	72
Χάρτης 07: Διακύμανση ατυχημάτων ανά σοβαρότητα σε μορφή γραφήματος πίτας.....	72
Χάρτης 08: Διακύμανση ατυχημάτων ανά τύπο ατυχήματος σε μορφή γραφήματος στηλών...	73
Χάρτης 09: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος διασταύρωσης σε μορφή γραφήματος πίτας.	73
Χάρτης 10: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος οχήματος σε μορφή γραφήματος στηλών.....	74
Χάρτης 11: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος συμμετέχοντα σε μορφή γραφήματος πίτας..	74
Χάρτης 12: Διακύμανση ατυχημάτων ανά πλήθος συμμετεχόντων σε μορφή γραφήματος στηλών.....	75
Χάρτης 14: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Δευτέρα.....	75
Χάρτης 15: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Τρίτη.	76
Χάρτης 16: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Τετάρτη.....	76
Χάρτης 17: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Πέμπτη.....	77
Χάρτης 18: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Παρασκευή.....	77
Χάρτης 19: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Σάββατο.....	78
Χάρτης 20: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Κυριακή.....	78
Χάρτης 21: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιανουάριο.....	79
Χάρτης 22: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Φεβρουάριο.....	79
Χάρτης 23: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Μάρτιο..	80
Χάρτης 24: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Απρίλιο.	80
Χάρτης 25: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Μάιο.....	81
Χάρτης 26: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιούνιο...	81

Χάρτης 27: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιούλιο...	82
Χάρτης 28: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Αύγουστο.....	82
Χάρτης 29: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Σεπτέμβριο.....	83
Χάρτης 30: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Οκτώβριο.....	83
Χάρτης 31: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Νοέμβριο.....	84
Χάρτης 32: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Δεκέμβριο.....	84
Χάρτης 33: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2011.....	85
Χάρτης 34: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2012.....	85
Χάρτης 35: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2013.....	86
Χάρτης 36: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2014.....	86
Χάρτης 37: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2015.....	87
Χάρτης 38: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα σε συνθήκες φωτισμού ημέρας.....	87
Χάρτης 39: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα σε συνθήκες φωτισμού νύχτας.....	88
Χάρτης 40: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα σε συνθήκες φωτισμού δύσης ηλίου.....	88
Χάρτης 41: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με καλοκαιρία....	89
Χάρτης 42: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με βροχή.....	89
Χάρτης 43: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με βαρύ τραυματισμό.....	90
Χάρτης 44: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με ελαφρύ τραυματισμό.....	90
Χάρτης 45: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με νεκρό.....	91

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2018), τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την όγδοη κύρια αιτία θανάτου παγκοσμίως για όλες τις ηλικιακές ομάδες. Καθώς ο αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς, δεν είναι τυχαίο ότι τα οδικά ατυχήματα ανεβαίνουν διαρκώς στην κλίμακα των αιτίων θανάτου σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου για παιδιά και νεαρούς ενήλικες ηλικίας 5-29 ετών. Η πρόοδος στη μείωση των θανάτων από οδικά ατυχήματα τα τελευταία χρόνια ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων περιοχών και χωρών του κόσμου. Τον τελευταίο χρόνο (2019) καταγράφηκαν 22.800 θάνατοι από τροχαία ατυχήματα στα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με την τελευταία έρευνα που δημοσίευσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα το 2019 σημειώθηκαν 65 θάνατοι ανά εκατομμύριο κατοίκους από οδικά ατυχήματα, αριθμός αρκετά υψηλότερος από το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, η χώρα έχει επιφέρει εντυπωσιακές βελτιώσεις στις επιδόσεις της όσον αφορά στην οδική ασφάλεια από το 2010, με την ταχύτερη καθοδική τάση (45%) στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Από το 2010 έως σήμερα καταγράφεται μείωση 21% των τροχαίων θυμάτων στα Κράτη Μέλη, η οποία όμως, απέχει από τον αρχικό στόχο της μείωσης κατά 50% έως το τέλος του 2020. Οι συνέπειες που επιφέρουν τα οδικά ατυχήματα είναι πολλές και δεν αφορούν αποκλειστικά τους παθόντες, αλλά και το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Όπως είναι λογικό, πέρα από τις επιπτώσεις στην υγεία των άμεσα εμπλεκόμενων, υπάρχουν οικονομικές επιπτώσεις τόσο στον εμπλεκόμενο και στο ευρύτερο οικογενειακό περιβάλλον, όσο και στην κοινωνία (Αντωνίου, 2017).

Με αφορμή τα οδικά ατυχήματα, έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες έρευνες με αντικείμενο τον προσδιορισμό, τόσο των κύριων παραγόντων που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα, όσο των χαρακτηριστικών που επιδρούν στη σοβαρότητα του τραυματισμού. Επιπλέον, έχει διερευνηθεί και η εκτίμηση της πιθανότητας να συμβεί ένα οδικό ατύχημα, καθώς και η πιθανότητα επιβίωσης από αυτό. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πλειοψηφία των παραγόντων σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του οδηγού, τον τύπο του οχήματος, την ταχύτητα, τον τύπο σύγκρουσης, τα χαρακτηριστικά του οδικού περιβάλλοντος ως προς τη χάραξη και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Το πρόβλημα των οδικών ατυχημάτων και οι σοβαρές επιπτώσεις που επιφέρουν, ώθησαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αντικείμενο της εργασίας είναι η πραγματοποίηση χωρικής ανάλυσης με εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων και στόχο τον προσδιορισμό των περιοχών της Περιφέρειας Αττικής που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα, τόσο στο σύνολό τους, όσο και ανά κριτήριο.

Προκειμένου να επιλεγθούν οι καταλληλότερες μέθοδοι χωρικής ανάλυσης, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας που αφορά στον προσδιορισμό των επικρατέστερων μεθόδων χωρικής ανάλυσης που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των οδικών ατυχημάτων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι η ανάλυση πυκνότητας πυρήνα (Steenberghen et al., 2004, Erdogan et al., 2008, Budiharto και Saido, 2012), η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (Erdogan, 2009), η ανάλυση της χωρικής αυτοσυσχέτισης με χρήση των δεικτών Moran's I και Getis-Ord (Erdogan, 2009, Tortum και Atalay, 2015), η μέθοδος Hot-Pieces (Gundogdu, 2011) και η μέθοδος της τεχνητής νοημοσύνης (Effati et al., 2014). Κυριότερος σκοπός των ερευνών με σημειακά δεδομένα, φάνηκε να είναι ο προσδιορισμός των blackspots οδικών ατυχημάτων. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των ερευνών με δεδομένα πολυγωνικής μορφής, κυριότερος σκοπός ήταν ο προσδιορισμός του χωρικού προτύπου που παρουσιάζουν οι περιοχές, καθώς και η ανάδειξη των επικίνδυνων ζωνών οδικών τμημάτων. Γενικό συμπέρασμα της ανασκόπησης είναι ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με πιο βασικό, το διαθέσιμο τύπο δεδομένων.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία αφορούν στα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στην Περιφέρεια Αττικής το διάστημα 2011 έως και 2015. Οι διευθύνσεις των

ατυχημάτων που συλλέγονται, δεν είναι επαρκώς προσδιορισμένες χωρικά, ώστε να υπάρχει σημειακή τοπολογία, με αποτέλεσμα το επίπεδο της χωρικής ανάλυσης να είναι πολυγωνικής μορφής. Στο σύνολο αναλύθηκαν τα οδικά ατυχήματα από 113 Δήμους και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής. Το επίπεδο ανάλυσης, σε συνδυασμό με τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, οδήγησαν στην επιλογή των καταλληλότερων μεθόδων χωρικής ανάλυσης, οι οποίες είναι η μέθοδος της διερευνητικής ανάλυσης των δεδομένων, η μέθοδος της χωρικής αυτοσυσχέτισης και η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι οι εξής:

- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά έτος,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά μήνα,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά σοβαρότητα τραυματισμού ,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και τύπο ατυχήματος,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και είδος διασταύρωσης,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και συνθήκες φωτισμού,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και καιρικές συνθήκες,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και πλήθος αριθμού συμμετεχόντων στο ατύχημα,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και είδος του οχήματος που ενεπλάκη,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και κατηγορία συμμετέχοντα,
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ημέρα της εβδομάδος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται συνολικά από έξι κεφάλαια. Αμέσως μετά το παρόν κεφάλαιο της εισαγωγής ακολουθεί το 2^ο κεφάλαιο, το οποίο σχετίζεται με τους παράγοντες που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή του κεφαλαίου παρατίθενται κάποιοι βασικοί ορισμοί, η κατανόηση των οποίων είναι απαραίτητη κατά τη διερεύνηση των οδικών ατυχημάτων. Ακολουθεί μία παρουσίαση στατιστικών στοιχείων, προκειμένου να γίνει αντιληπτό το μέγεθος του προβλήματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών που έχουν ως αντικείμενο μελέτης τους παράγοντες που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα. Στο τέλος του κεφαλαίου, αναλύονται οι συνέπειες των οδικών ατυχημάτων, τόσο στους άμεσα εμπλεκόμενους, όσο και στο ευρύτερο κοινωνικό σύνολο.

Το 3^ο κεφάλαιο αφορά στα Γεωπληροφοριακά Συστήματα (ΓΣ) και στη συμβολή τους στην ανάλυση των οδικών ατυχημάτων. Πιο αναλυτικά, σε πρώτο στάδιο δίνεται ο ορισμός των ΓΣ και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Σε δεύτερο στάδιο εξετάζεται η βιβλιογραφία που αφορά στη διερεύνηση ατυχημάτων που αξιοποίησαν ΓΣ και παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση χωρικών αναλύσεων οδικών ατυχημάτων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι για τον προσδιορισμό των blackspots και την ανάλυση των χωρικών φαινομένων ατυχημάτων.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι μέθοδοι, οι οποίες εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, δίνονται οι ορισμοί και περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές αρχές λειτουργίας των μεθόδων της χωρικής αυτοσυσχέτισης και της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Επιπροσθέτως, αναλύεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της κάθε μεθόδου έτσι, ώστε να γίνει κατανοητή η εφαρμογή και τα αποτελέσματά της.

Το 5^ο κεφάλαιο αφορά στην εφαρμογή των μεθόδων. Αρχικά, περιγράφεται η περιοχή μελέτης στην οποία αναφέρονται τα δεδομένα. Απαραίτητο στάδιο που προηγείται της εφαρμογής είναι η διαχείριση των δεδομένων, προκειμένου να είναι στην κατάλληλη μορφή, ώστε να χρησιμοποιηθούν από τα λογισμικά ArcGIS και Minitab. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται οι μέθοδοι και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης με τη μορφή χαρτών, γραφικών παραστάσεων και γραφημάτων.

Στο 6^ο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται μία ανασκόπηση του αντικειμένου και του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Μετέπειτα τα κυριότερα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα της ανάλυσης και τέλος, περιγράφονται πιθανά θέματα για περαιτέρω διερεύνηση.

Στις τελευταίες σελίδες της διπλωματικής εργασίας υπάρχει Παράρτημα, στο οποίο παρατίθενται για πρακτικούς λόγους οι περισσότεροι χάρτες που δημιουργήθηκαν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

2. ΟΔΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα προς αντιμετώπιση τα τελευταία χρόνια είναι αυτό της οδικής ασφάλειας. Η σημασία αυτού του ζητήματος γίνεται αντιληπτή από το γεγονός ότι σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) τα τροχαία ατυχήματα οδηγούν σε θανάτους περίπου 1,35 εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο κάθε χρόνο και αφήνουν μεταξύ 20 και 50 εκατομμυρίων ανθρώπων με μη θανατηφόρους τραυματισμούς. Περισσότεροι από τους μισούς θανάτους και τραυματισμούς της οδικής κυκλοφορίας αφορούν ευάλωτους χρήστες του δρόμου, όπως πεζοί, ποδηλάτες και μοτοσικλετιστές και τους επιβάτες τους.

2.1. Ορισμοί

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποιοι ορισμοί που έχουν δοθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Road Safety Observatory – ERSO) η κατανόηση των οποίων είναι απαραίτητη κατά τη διερεύνηση των οδικών ατυχημάτων.

- Ως οδικό ατύχημα ορίζεται η σύγκρουση η οποία συνέβη σε μια δημόσια οδό και στην οποία ενεπλάκη τουλάχιστον ένα κινούμενο όχημα. Ο παραπάνω ορισμός χρησιμοποιείται στις περισσότερες χώρες για στατιστικούς λόγους. Τα οδικά ατυχήματα συμπεριλαμβάνουν ατυχήματα με υλικές μόνο ζημιές και ατυχήματα με σωματικές βλάβες.
- Ως οδικό τροχαίο ατύχημα ορίζεται κάθε συμβάν που συντελείται στους δρόμους δημόσιας χρήσης από ένα ή περισσότερα κινούμενα οχήματα και που προκαλεί το θάνατο ή τον τραυματισμό ενός ή περισσότερων προσώπων. Τα τροχαία ατυχήματα χαρακτηρίζονται ως θανατηφόρα ή σωματικών βλαβών. Θανατηφόρο λέγεται το ατύχημα, εφόσον υπάρχουν ένας ή περισσότεροι θάνατοι οφειλόμενοι στο ατύχημα, ανεξάρτητα της ύπαρξης ή όχι τραυματιών. Σωματικών βλαβών λέγεται το ατύχημα όταν υπάρχει ένας ή περισσότεροι τραυματίες, αλλά όχι νεκρός.
- Αίτια ατυχημάτων είναι ένα σύνολο γεγονότων που εμπλέκει διαφορετικά στοιχεία της οδικής κυκλοφορίας και του μεταφορικού συστήματος (το οδικό περιβάλλον, τα οχήματα και τους χρήστες της οδού) τα οποία οδηγούν σε συγκρούσεις.
- Ως οδηγός ορίζεται το πρόσωπο που οδηγεί οποιοδήποτε μηχανοκίνητο όχημα ή ποδήλατο.
- Ως επιβάτης ορίζεται το πρόσωπο πάνω ή μέσα σε όχημα, που δεν είναι ο οδηγός. Περιλαμβάνει άτομο στην πράξη επιβίβασης ή αποβίβαση από όχημα.
- Ως πεζός ορίζεται το άτομο που μετακινείται με τα πόδια. Πρόσωπο που ωθεί ή κρατάει ποδήλατο. Πρόσωπο που ωθεί ένα καροτσάκι. Πρόσωπο που οδηγεί ένα ζώο. Πρόσωπο με πατίνια ή skateboard. Δεν συμπεριλαμβάνεται άτομο στην πράξη επιβίβασης ή αποβίβασης από όχημα.
- Ως νεκρός σε οδικό ατύχημα ορίζεται ο παθών που κατέληξε σε διάστημα 30 ημερών από το ατύχημα (τον ορισμό αυτόν ακολουθεί η Ελλάδα από 01/01/1996).
- Ως στοιχεία ατυχημάτων ορίζεται ένα τυποποιημένο σύνολο πληροφοριών για ατυχήματα με σωματικές βλάβες.
- Παράγοντες ατυχημάτων ή συμβάλλοντες παράγοντες είναι κάθε στοιχείο της κυκλοφορίας και του μεταφορικού συστήματος (π.χ. σχετιζόμενο με την οδό και το περιβάλλον της, με τα οχήματα, με την κυκλοφοριακή και μεταφορική οργάνωση, με τους χρήστες της οδού ή και με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους) το οποίο έχει προσδιοριστεί ότι λαμβάνει μέρος στη διαδικασία του ατυχήματος με τέτοιο τρόπο ώστε αν ήταν διαφορετικό ή έλλειπε, το ατύχημα δεν θα είχε συμβεί. (Λέκκος, 2015)

Τα ατυχήματα σωματικών βλαβών διακρίνονται σε ατυχήματα σοβαρών και ελαφρών βλαβών. Τα κριτήρια διάκρισης των τροχαίων ατυχημάτων σε σοβαρών και ελαφρών βλαβών δεν είναι σαφώς προσδιορισμένα στη βιβλιογραφία. Πολλοί διεθνείς οργανισμοί (ΕΕ, ΟΟΣΑ κλπ.) προτείνουν να υιοθετηθεί ορισμός με βάση την κλίμακα MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale) της σοβαρότητας του τραυματισμού που χρησιμοποιείται από τα Νοσοκομεία.

2.2. Δείκτες Οδικής Ασφάλειας

- *Αριθμός ατυχημάτων (συχνότητα)*: Χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων και για τμήματα οδών όπου δεν υπάρχει ουσιαστική διαφοροποίηση στους κυκλοφοριακούς φόρτους
- *Δείκτης ατυχημάτων (επικινδυνότητα)*: Χρησιμοποιείται για την κατάταξη των εξεταζόμενων θέσεων ή κατηγοριών ανάλογα με τον αριθμό των ατυχημάτων σε μια προκαθορισμένη περίοδο, διαιρούμενο όμως με ένα μέγεθος (συνήθως εκατομμύρια οχηματοχιλιόμετρα) που εκφράζει το βαθμό χρησιμοποίησης της εξεταζόμενης θέσης ή το βαθμό «έκθεσης στον κίνδυνο» της εξεταζόμενης κατηγορίας στην ίδια περίοδο.
- *Δείκτης σοβαρότητας*: Αναφέρεται στη σοβαρότητα του ατυχήματος και εκφράζεται συνήθως ως ο λόγος του αριθμού των νεκρών προς τον αριθμό των τραυματιών ή των ατυχημάτων με θύματα.

2.3. Στατιστικά Στοιχεία

2.3.1. Παγκόσμια στατιστικά στοιχεία

Τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την όγδοη κύρια αιτία θανάτου παγκοσμίως για όλες τις ηλικιακές ομάδες. Οι νέοι είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στους δρόμους του κόσμου και οι τραυματισμοί από την οδική κυκλοφορία είναι η κύρια αιτία θανάτου για παιδιά και νεαρούς ενήλικες ηλικίας 5-29 ετών (WHO, 2018). Οι νεαροί άνδρες κάτω των 25 ετών είναι πιο πιθανό να εμπλακούν σε τροχαία ατυχήματα από τις γυναίκες, με το 73% του συνόλου των θανάτων από την οδική κυκλοφορία να συμβαίνουν μεταξύ των νέων ανδρών σε αυτήν την ηλικία.

Οι αναπτυσσόμενες οικονομίες καταγράφουν υψηλότερα ποσοστά τραυματισμών στην οδική κυκλοφορία, με το 93% των θανάτων να προέρχονται από χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος (WHO, 2018). Η πρόοδος στη μείωση των θανάτων από οδικά ατυχήματα τα τελευταία χρόνια ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων περιοχών και χωρών του κόσμου. Εξακολουθεί να υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ του κινδύνου θανάτου από οδικό ατύχημα και του επιπέδου εισοδήματος των χωρών. Με μέσο ποσοστό 27,5 θανάτους ανά 100.000 πληθυσμό, ο κίνδυνος είναι περισσότερο από 3 φορές υψηλότερος στις χώρες χαμηλού εισοδήματος από ότι σε χώρες υψηλού εισοδήματος, όπου ο μέσος όρος είναι 8,3 θάνατοι ανά 100.000 πληθυσμό. Το ποσοστό των θανάτων από οδικά ατυχήματα είναι δυσανάλογα υψηλό μεταξύ των χωρών χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος σε σχέση με το μέγεθος του πληθυσμού τους και τον αριθμό των μηχανοκίνητων οχημάτων σε κυκλοφορία. Αν και μόνο το 1% του παγκόσμιου αριθμού μηχανοκίνητων οχημάτων βρίσκεται σε χώρες χαμηλού εισοδήματος, το 13% των θανάτων συμβαίνουν σε αυτές τις χώρες. Επίσης, σημειώθηκε μεγαλύτερη πρόοδος στη μείωση του αριθμού θανάτων από οδικά ατυχήματα μεταξύ χωρών μεσαίου και υψηλού εισοδήματος από ότι σε χώρες χαμηλού εισοδήματος.

Η διακύμανση των ποσοστών θανάτων που παρατηρήθηκαν σε διάφορες περιοχές και χώρες αντιστοιχεί επίσης σε διαφορές στους τύπους χρηστών των οδών που επηρεάζονται περισσότερο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι πεζοί και οι ποδηλάτες αντιπροσωπεύουν το 26% όλων των θανάτων, με αυτούς που χρησιμοποιούν μηχανοκίνητα δίκυκλα και τρίκυκλα να περιλαμβάνει ακόμα ένα 28%. Οι επιβάτες αυτοκινήτων αποτελούν το 29% όλων των θανάτων και το υπόλοιπο 17% είναι άγνωστοι χρήστες των οδών. Παρόλο που οι πεζοί, οι ποδηλάτες και οι αναβάτες των μηχανοκίνητων δίκυκλων και τρίκυκλων είναι πιο ευάλωτοι συγκριτικά με τους επιβάτες αυτοκινήτων, λόγω του ότι είναι λιγότερο προστατευμένοι, το φορτίο των θανάτων που βαραίνει αυτούς τους χρήστες του δρόμου είναι επίσης μια αντανάκλαση της υποδομής και του σχεδιασμού οχημάτων που δίνει προτεραιότητα στα αυτοκίνητα και άλλα μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς. Παρά την εμφανή ύπαρξη των ευάλωτων χρηστών του δρόμου σε πολλά μέρη του κόσμου, πολλοί από τους οποίους δεν μπορούν να αντέξουν οικονομικά ή δεν έχουν πρόσβαση στα ασφαλέστερα οχήματα, αυτοί εξακολουθούν να αγνοούνται σε μεγάλο βαθμό στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των οδών. Σε πολλές χώρες, οι δρόμοι συνεχίζουν να μη διαθέτουν ξεχωριστές λωρίδες για ποδηλάτες ή επαρκείς διασταυρώσεις για πεζούς και επιτρέπουν υπερβολικά υψηλές ταχύτητες μηχανοκίνητων οχημάτων. Ομοίως, ενώ οι προδιαγραφές των

οχημάτων έχουν αναπτυχθεί για τους επιβαίνοντες, πολλές δεν εφαρμόζονται ευρέως σε οχήματα που πωλούνται σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος (WHO, GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY, 2018)

2.3.2. Ευρωπαϊκά στατιστικά στοιχεία

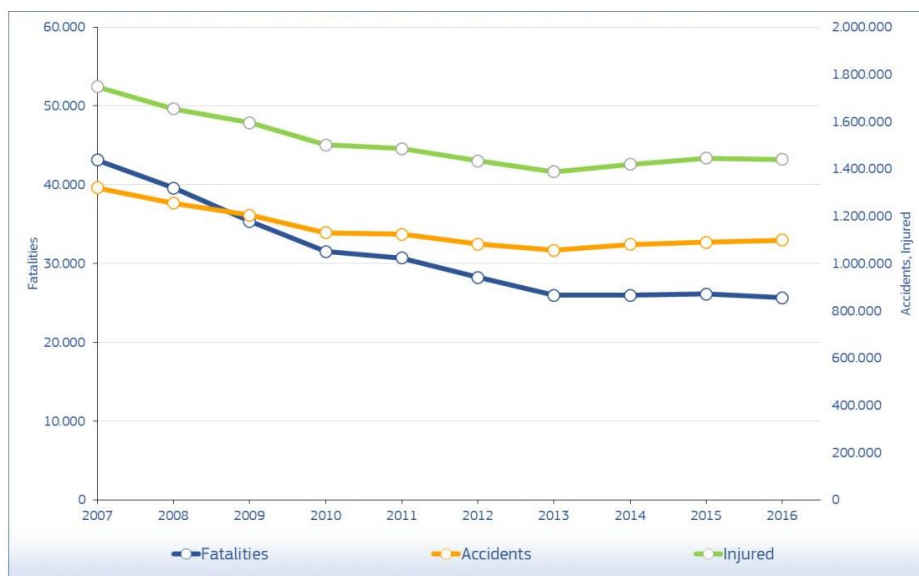
Σύμφωνα με την τελευταία έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που δημοσιεύθηκε τον Ιούνιο του 2020, το 2019 καταγράφηκαν 22.800 θάνατοι από τροχαία ατυχήματα στα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί σε σχεδόν 7.000 λιγότερους θανάτους σε σύγκριση με το 2010, σημειώνοντας μείωση κατά 23%. Σε σύγκριση με το 2018, ο αριθμός μειώθηκε κατά 2%. Με έναν μέσο όρο 51 θανάτων από τροχαία ατυχήματα ανά 1 εκατομμύριο κατοίκους, η Ευρώπη παραμένει μακράν η ασφαλέστερη περιοχή στον κόσμο όσον αφορά στην οδική ασφάλεια. Η βασική τάση παραμένει καθοδική. Το 2019 οκτώ κράτη μέλη κατέγραψαν τους χαμηλότερους αριθμούς θανάτων που έχουν σημειώσει ποτέ: Κροατία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Λετονία, Λουξεμβούργο και Σουηδία. Ωστόσο, η πρόοδος στις περισσότερες χώρες έχει επιβραδυνθεί. Κατά συνέπεια δεν προβλέπεται να επιτευχθεί ο στόχος της ΕΕ να μειωθεί κατά το ήμισυ ο αριθμός των θανάτων από τροχαία ατυχήματα από το 2010 έως τα τέλη του 2020. Ενώ οι επιδόσεις των κρατών μελών στον τομέα της οδικής ασφάλειας συγκλίνουν, καταγράφονται ακόμη τέσσερις φορές περισσότεροι θάνατοι από τροχαία ατυχήματα στη χώρα με τις χειρότερες επιδόσεις απ' ό,τι σε εκείνη με τις καλύτερες επιδόσεις. Οι ασφαλέστεροι δρόμοι βρίσκονταν στη Σουηδία (22 θάνατοι/εκατομμύριο κατοίκους) και στην Ιρλανδία (29 θάνατοι/εκατομμύριο κατοίκους), ενώ η Ρουμανία (96 θάνατοι/εκατομμύριο κατοίκους), η Βουλγαρία (89 θάνατοι/εκατομμύριο κατοίκους) και η Πολωνία (77 θάνατοι/εκατομμύριο κατοίκους) ανέφεραν τα υψηλότερα ποσοστά θανατηφόρων ατυχημάτων το 2019.

Ορισμένες χώρες που έχουν σημειώσει τεράστια πρόοδο είναι η Ελλάδα, η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Ιρλανδία, οι τρεις βαλτικές χώρες (Λετονία, Λιθουανία και Εσθονία) και η Κροατία και κατέγραψαν υψηλότερη από τον μέσο όρο μείωση (μεταξύ 30 και 40 %) όσον αφορά στον αριθμό των θανάτων από τροχαία ατυχήματα. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα το 2019 σημειώθηκαν 65 θάνατοι από οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους, αριθμός αρκετά υψηλότερος από το μέσο όρο της ΕΕ. Ωστόσο, η χώρα έχει επιφέρει εντυπωσιακές βελτιώσεις στις επιδόσεις της όσον αφορά στην οδική ασφάλεια από το 2010, με την ταχύτερη καθοδική τάση (45 %) στην ΕΕ. Η ετήσια μεταβολή το 2019 ήταν μείωση κατά 1 % η οποία όμως ήταν αρκετή για να καταγραφεί ο χαμηλότερος αριθμός στα χρονικά.

Από το 1984, έχουν ληφθεί πολλά μέτρα σε περιφερειακό επίπεδο για τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων. Ένα από αυτά τα μέτρα είναι η δημιουργία της βάσης δεδομένων CARE (Community database on Accidents on the Roads in Europe) για τα οδικά ατυχήματα. Η κύρια διαφορά μεταξύ της CARE και των περισσότερων άλλων υφιστάμενων διεθνών βάσεων δεδομένων είναι ότι η CARE περιλαμβάνει λεπτομερή στοιχεία για μεμονωμένα ατυχήματα, όπως συλλέγονται από τα κράτη μέλη. Αυτή η δομή επιτρέπει μέγιστη ευελιξία και δυνατότητες όσον αφορά στην ανάλυση των πληροφοριών που περιέχονται στο σύστημα και ανοίγει ένα σύνολο νέων δυνατοτήτων στον τομέα της ανάλυσης των οδικών, ατυχημάτων.

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται τα συνολικά ατυχήματα ανά κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το χρονικό διάστημα 2007-2016 (σημειώνεται ότι η συντομογραφία για την Ελλάδα είναι "EL"). Πιο συγκεκριμένα, στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα ατυχήματα που επέφεραν τραυματισμούς, ενώ στον Πίνακα 2.2 φαίνεται ο συνολικός ετήσιος αριθμός θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων. Αυτό που παρατηρείται τόσο για την Ελλάδα, όσο και για την πλειοψηφία των χωρών, είναι η σταδιακή μείωση των ετήσιων οδικών ατυχημάτων. Από το 2010 έως σήμερα καταγράφεται μείωση 21% των τροχαίων θυμάτων η οποία όμως, απέχει από τον αρχικό στόχο της μείωσης κατά 50% έως το τέλος του 2020. Στρατηγικός στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξακολουθεί να παραμένει μηδενικοί θάνατοι και σοβαροί τραυματισμοί στους δρόμους της έως το 2050. Επίσης παραμένουν και οι ενδιάμεσοι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των θανάτων κατά 50% μεταξύ 2020-2030 αλλά και των σοβαρών

τραυματισμών την ίδια περίοδο. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται διαγραμματικά η μείωση των ατυχημάτων για την αντίστοιχη περίοδο.



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα ετήσιων θανάτων, ατυχημάτων και τραυματισμών στην Ε.Ε., 2007-2016. (Πηγή: CARE, EU road accidents database, last update April 2018)

Πίνακας 2.1 Ετήσια οδικά ατυχήματα με τραυματισμό ανά χώρα, 2007-2016 (Πηγή: CARE, EU road accidents database, last update April 2018)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BE	43.239	42.115	41.944	40.569	42.119	38.057	35.632	41.481	40.303	40.096
BG	8.010	8.047	7.068	6.610	6.638	6.716	7.016	7.019	7.226	7.404
CZ	23.060	22.481	21.706	19.675	20.486	20.503	20.342	21.054	21.561	21.386
DK	5.549	5.020	4.174	3.498	3.525	3.124	2.985	2.881	2.853	2.882
DE	335.845	320.614	310.667	288.297	306.266	299.637	291.105	302.435	305.659	308.145
EE	2.449	1.868	1.506	1.348	1.508	1.383	1.382	1.436	1.391	1.468
IE	5.467	6.736	6.615	5.779	5.230	5.610	4.976	5.743	5.831	5.893
EL	15.449	15.083	14.789	15.032	13.849	12.398	12.109	11.690	11.440	11.318
ES	100.508	93.161	88.251	85.503	83.027	83.115	89.519	91.570	97.756	102.362
FR	81.272	74.487	72.315	67.288	65.024	60.437	56.812	58.191	56.600	57.515
HR	18.033	16.290	15.731	13.274	13.229	11.774	11.228	10.323	11.038	10.457
IT	230.871	218.963	215.430	212.997	205.638	188.228	181.660	177.031	174.539	175.791
CY	1.468	1.392	1.197	1.198	1.058	919	774	758	660	650
LV	9.865	8.894	3.160	3.193	3.386	3.358	3.489	3.728	3.692	3.792
LT	6.448	4.796	3.827	3.530	3.266	3.392	3.391	3.256	3.031	3.201
LU	954	927	869	787	962	1.019	949	908	983	941
HU	20.634	19.174	17.863	16.308	15.827	15.174	15.691	15.847	16.333	16.627
MT	942	764	636	577	1.140	1.270	1.208	1.449	1.367	1.437
NL	25.819	23.708	19.378	10.778	5.134	4.968	9.522	13.358	18.523	18.749
AT	41.096	39.173	37.925	35.348	35.129	40.831	38.502	37.957	37.960	38.466
PL	49.536	49.054	44.195	38.832	40.069	37.046	35.847	34.970	32.967	33.664
PT	35.311	33.613	35.484	35.426	32.541	29.867	30.339	30.604	31.955	32.299
RO	24.661	29.307	28.612	25.995	26.647	26.928	24.827	25.355	28.944	30.751
SI	11.640	9.165	8.717	7.659	7.257	6.857	6.568	6.345	6.578	6.495
SK	8.483	8.416	8.415	6.131	5.775	5.370	5.113	2.149	5.502	5.602
FI	6.657	6.881	6.414	6.072	6.408	5.725	5.334	5.324	5.164	4.709
SE	18.548	18.462	18.027	16.627	16.274	16.636	14.942	13.091	14.829	14.086
UK	188.105	176.814	169.805	160.080	157.068	151.346	144.480	152.407	146.203	142.846
EU	1.319.96	1.225.40	1.204.72	1.128.41	1.124.48	1.081.68	1.055.74	1.078.36	1.090.88	1.099.03
Yearly Change		-4,9%	-4,0%	-6,3%	-0,3%	-3,8%	-2,4%	2,1%	1,2%	0,7%
IS	1.146	1.083	893	883	849	741	820	808	912	986
LI	420	402	385	366	327	405	468			
NO	8.182	7.716	6.912	6.419	5.956	5.922	5.127	4.931	4.492	4.195
CH	21.911	20.736	20.506	19.609	18.990	18.148	17.473	17.803	17.736	17.577

Πίνακας 2.2 Ετήσια οδικά θανατηφόρα ατυχήματα ανά χώρα, 2007-2016 (Πηγή: CARE, EU road accidents database, last update April 2018)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BE	1.006	869	884	786	799	720	676	685	687	597
BG	-	937	748	659	558	527	520	572	612	-
CZ	1.111	983	846	742	713	687	606	623	668	560
DK	366	378	271	231	208	156	173	168	172	195
DE	4.609	4.117	3.867	3.387	3.724	3.375	3.131	3.187	3.277	3.016
EE	174	114	83	70	93	82	74	72	61	-
IE	309	254	220	185	172	152	179	179	-	-
EL	1.442	1.411	1.296	1.142	1.051	908	814	739	741	772
ES	2.957	2.384	2.117	1.953	1.816	1.709	1.488	1.512	1.559	1.663
FR	4.265	3.933	3.956	3.706	3.647	3.386	3.020	3.146	3.158	3.222
HR	548	585	493	402	385	355	328	284	317	279
IT	4.718	4.358	3.973	3.871	3.616	3.515	3.161	3.175	3.236	3.105
CY	88	79	64	56	67	51	41	44	56	45
LV	376	285	227	198	164	161	169	182	172	144
LT	-	-	-	-	-	-	230	243	223	-
LU	43	34	44	29	30	34	41	31	33	29
HU	1.107	891	752	649	563	541	540	573	585	565
MT	12	9	11	13	-	-	-	-	11	23
NL	669	630	597	500	520	532	456	455	505	506
AT	644	629	576	515	492	501	435	411	445	415
PL	5.028	4.862	4.144	3.504	3.775	3.246	3.062	2.954	2.687	2.757
PT	765	721	673	857	826	667	585	603	554	529
RO	2.462	2.655	2.464	2.103	1.818	1.833	1.657	1.621	1.685	1.713
SI	263	200	154	127	129	122	116	97	112	125
SK	599	555	336	345	-	-	-	-	-	-
FI	349	321	255	241	273	235	244	208	243	-
SE	426	355	336	249	292	258	247	254	240	243
UK	2.919	2.439	2.161	1.782	1.854	1.682	1.663	1.732	1.685	1.760
EU	38.322	35.218	31.778	28.532	28.173	26.023	24.014	24.106	24.248	23.926
Yearly Change		-8,1%	-9,8%	-10,2%	-1,3%	-7,6%	-7,7%	0,4%	0,6%	-1,3%
IS	15	12	15	7	12	9	14	3	16	18
LI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO	209	237	186	190	158	139	170	135	102	128
CH	361	336	335	313	312	301	257	229	238	208

Στο θεματικό χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 2.2) απεικονίζονται τα κράτη μέλη της Ε.Ε. κατηγοριοποιημένα ανάλογα με τους θανάτους σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους για το έτος 2017. Αυτό που γίνεται αμέσως αντιληπτό, είναι η μεγάλη διακύμανση στον αριθμό των θανάτων μεταξύ των Κρατών Μελών, γεγονός που σχετίζεται άμεσα και με τη συνολική πρόοδο που σημειώνεται ετησίως στην Ε.Ε. Παράλληλα, φαίνεται να επιβεβαιώνονται και τα στατιστικά στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με τον κίνδυνο θανάτου από οδικό ατύχημα και του επιπέδου εισοδήματος της κάθε χώρας, αφού οι χώρες που σημειώνουν τους λιγότερους θανάτους ανά εκατομμύριο κατοίκους στην Ε.Ε. είναι αυτές με το υψηλότερο κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Εκτός από την οικονομία της κάθε χώρας, στο χάρτη φαίνεται να ακολουθείται και ένα γεωγραφικό μοτίβο, με τις χώρες της ανατολικής Ευρώπης να σημειώνουν τα μεγαλύτερα νούμερα θανάτων από οδικά ατυχήματα. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι παράγοντες, όπως το κλίμα και η κουλτούρα του λαού της κάθε χώρας συμβάλλουν στη διαμόρφωση της οδικής συμπεριφοράς και τελικά στο συνολικό αριθμό των οδικών ατυχημάτων.

Στο χάρτη του Σχήματος 2.3 φαίνονται τα ποσοστά μείωσης των θανάτων σε οδικά ατυχήματα στα κράτη μέλη της Ε.Ε. για το διάστημα 2010-2015. Είναι θετικό το γεγονός ότι τα Κράτη Μέλη που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μείωση είναι και αυτά με τους περισσότερους θανάτους από οδικά ατυχήματα. Το φαινόμενο της σταδιακής μείωσης των ατυχημάτων παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της περιοχής μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας για το διάστημα 2011-2015, η οποία είναι η Περιφέρεια Αττικής.



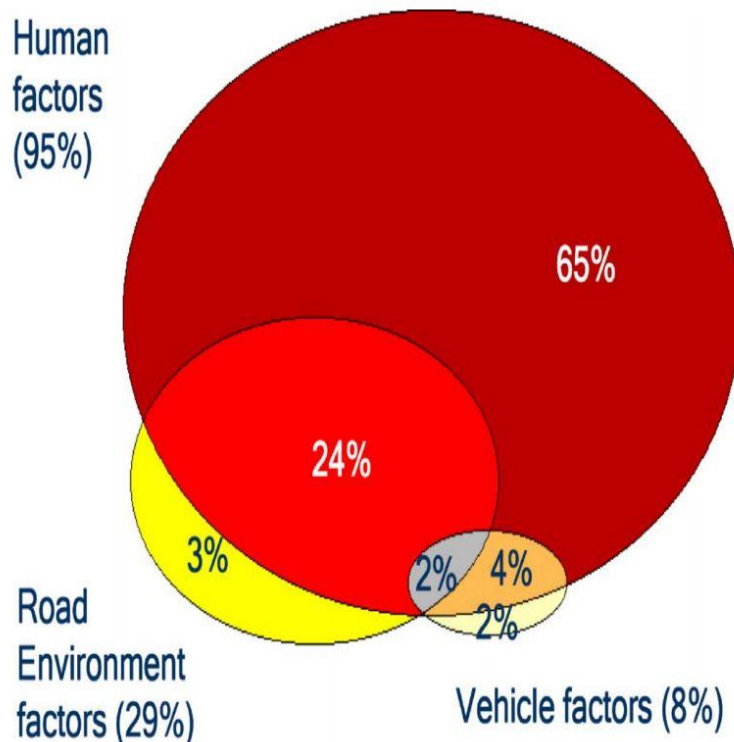
Σχήμα 2.2 Χάρτης θανάτων σε οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2017



Σχήμα 2.3 Χάρτης οδικών ατυχημάτων ανά εκατομμύριο κατοίκους για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 2015

2.4. Αίτια και Παράγοντες Επιρροής Σοβαρότητας Οδικών Ατυχημάτων

Οι παράγοντες που εμπλέκονται σε ένα τροχαίο ατύχημα είναι τρεις: ο ανθρώπινος παράγοντας, το όχημα και η οδός σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 Συμβολή των τριών παραγόντων Άνθρωπος – Οδός – Όχημα (Πηγή: Παρουσίαση «Οδοποιία III - Σχεδιασμός και Λειτουργία Κόμβων, Οδική Ασφάλεια»)

Η σωματική και η ψυχική υγεία των οδηγών, η ηλικία, το διανοητικό επίπεδο, η ικανότητα του οδηγού και ο σεβασμός από μέρους του κώδικα οδικής κυκλοφορίας παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων. Αναφορικά με το όχημα, διάφορες μηχανικές παράμετροι αυτού, όπως η ποιότητα της κατασκευής και της συντήρησης του συστήματος οδήγησης και πέδησης, το ανένδοτο των θυρών και η ανάρτηση, διαδραματίζουν σοβαρό ρόλο στη συχνότητα και τη βαρύτητα των τροχαίων ατυχημάτων. Οι ειδικοί αποδίδουν ευθύνες και στο οδικό περιβάλλον, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά χάραξης, τις συνθήκες φωτισμού, τον έλεγχο της κυκλοφορίας (σηματοδότηση, σήμανση).

2.4.1. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Διάφορες έρευνες έχουν διεξαχθεί διεθνώς με αντικείμενο μελέτης τους παράγοντες που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα. Οι παράμετροι που εντοπίζονται διαφέρουν ανάλογα την περιοχή, αλλά και τη μέθοδο που εφαρμόζεται σε κάθε έρευνα. Η πλειοψηφία αυτών σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του οδηγού, τον τύπο του οχήματος, την ταχύτητα, τον τύπο σύγκρουσης, τα χαρακτηριστικά του οδικού περιβάλλοντος ως προς τη χάραξη και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

- Οι Khorashadi et al. (2005) εξέτασαν τις διαφορές στη σοβαρότητα του τραυματισμού οδηγού σε αγροτική και αστική περιοχή σε ατυχήματα που αφορούσαν μεγάλα φορτηγά χρησιμοποιώντας 4 χρόνια δεδομένων ατυχημάτων στην Καλιφόρνια και λαμβάνοντας υπόψη 4 κατηγορίες σοβαρότητας: χωρίς τραυματισμό, παράπνοο πόνου, ορατό τραυματισμό και σοβαρό/θανατηφόρο τραυματισμό. Διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μο-

ντέλων σε αστικές και αγροτικές περιοχές σε σχέση με παράγοντες όπως ο οδηγός, το όχημα και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Οι Lee και Mannering (2002) ανέλυσαν ατυχήματα περί εκτροπής από το οδόστρωμα σε τμήμα αυτοκινητόδρομου μήκους 96,6 χλμ. στην πολιτεία της Ουάσιγκτον. Υποστήριξαν ότι τα χρονικά χαρακτηριστικά (π.χ. ημέρα, ώρα αιχμής), τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (π.χ. τύπος καιρού, κατάσταση της επιφάνειας του δρόμου), τα χαρακτηριστικά του οδηγού (π.χ. κατανάλωση αλκοόλ) και τα χαρακτηριστικά του οδικού περιβάλλοντος είχαν σημαντική επίδραση στη σοβαρότητα.

- Οι Ulfarsson και Mannering (2004) διερεύνησαν τις διαφορές στη σοβαρότητα των τραυματισμών μεταξύ ανδρών και γυναικών στα ατυχήματα οχημάτων αθλητικών υπηρεσιών, μίνι βαν, οχήματα παραλαβής φορτίων, καθώς και επιβατικών αυτοκινήτων και πρότειναν ότι υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών οδηγών όσον αφορά στη συμπεριφορά και την ψυχολογία. Επομένως, αυτό το γεγονός πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω και να εφαρμοστεί κατά το σχεδιασμό οχημάτων και οδών. Οι Valent et al. (2002) εφάρμοσαν τη λογιστική παλινδρόμηση για να αξιολογήσουν τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών του οδηγού και της σοβαρότητας του ατυχήματος στην ευρύτερη περιοχή του Ούντινε, στη βορειοανατολική Ιταλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι άντρες είναι πιο πιθανό να εμπλακούν σε ατύχημα με θάνατο και ότι οι οδηγοί αυτοκινήτων έχουν χαμηλότερη πιθανότητα θανάτου από τους μοτοσικλετιστές και τους ποδηλάτες.
- Οι Kim et al. (2006) ανέπτυξαν ένα οικονομετρικό μοντέλο για να εκτιμήσουν την πιθανότητα ατυχημάτων (με μοντέλο ελεγχόμενης παλινδρόμησης) και επιβίωσης (με μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η πιθανότητα επιβίωσης επηρεάζεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των οχημάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα και από τα χαρακτηριστικά του οδηγού και των επιβατών. Όσοι οδηγούν βαριά οχήματα (π.χ. οδηγοί φορτηγών) είχαν αυξημένο ποσοστό επιβίωσης. Οι Chang και Wang (2006) πραγματοποίησαν μια έρευνα για την ανάλυση της σοβαρότητας του τραυματισμού. Αναλύοντας τα δεδομένα ατυχημάτων του 2001 για την Ταϊπέι, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρέασε τη σοβαρότητα του ατυχήματος ήταν ο τύπος οχήματος.
- Ο Al-Ghamdi (2002) επιχείρησε να εκτιμήσει την επίδραση διαφόρων παραμέτρων στη σοβαρότητα των ατυχημάτων στο Ριάντ, την πρωτεύουσα της Σαουδικής Αραβίας. Οι πιο σημαντικές μεταβλητές βρέθηκαν να είναι τα χαρακτηριστικά της θέσης του ατυχήματος (διασταύρωση, μη διασταύρωση) καθώς και η αιτία του ατυχήματος (ταχύτητα, λειτουργία κόκκινης ένδειξης φωτεινού σηματοδότη, παραβίαση κατεύθυνσης οδού κ.λπ.). Επιπλέον, η λογιστική παλινδρόμηση βρέθηκε ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στο Ριάντ. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σε αυτή τη μελέτη, η ηλικία του οδηγού δεν βρέθηκε να είναι σημαντικός παράγοντας. Φαίνεται ότι οι νέοι καθώς και οι μεγαλύτεροι οδηγοί εκτίθενται στους ίδιους κινδύνους. Ο Al-Ghamdi (2002) σημείωσε επίσης ότι ο αριθμός των θανάτων και των σοβαρών τραυματισμών δεν καθορίστηκε μόνο από τη σοβαρότητα του ατυχήματος αλλά και από τη συχνότητα του ατυχήματος. Κατά συνέπεια, παράγοντες που επηρεάζουν τη σοβαρότητα και / ή τη συχνότητα των ατυχημάτων πρέπει να εξεταστούν. Για παράδειγμα, ένας κοινός παράγοντας που επηρεάζει τόσο τη σοβαρότητα όσο και τη συχνότητα των ατυχημάτων είναι η επιτάχυνση (Aarts και Van Schagen 2006), η οποία μπορεί να εξηγήσει τη δυναμική των ατυχημάτων τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια του ατυχήματος.
- Οι Theofilatos et al. (2012) διεξήγαγαν μία έρευνα στην οποία μελέτησαν τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σοβαρότητα των ατυχημάτων εντός και εκτός αστικών περιοχών στην Ελλάδα. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά δεδομένα για όλα τα τροχαία ατυχήματα που καταγράφηκαν στην Ελλάδα το 2008. Εξετάστηκαν επιβάτες από όλους τους τύπους οχημάτων (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσικλέτες κ.λπ.), συμπεριλαμβανομένων των επιβατών μπροστινού και οπίσθιου καθίσματος. Στόχος της έρευνας ήταν, εκτός άλλων, η ανάλυση της σοβαρότητας του ατυχήματος, η ταυτοποίηση των σχετικών καθοριστικών παραγόντων και ο ποσοτικός προσδιορισμός των επιπτώσεών τους μέσω μακροσκοπικής ανάλυσης. Λόγω της έλλειψης λεπτομερούς καταγραφής στα αρχεία ατυχημάτων, εξετάστηκαν μόνο 2 αποτελέσματα σοβαρότητας: (1) θάνατος ή σοβαρός

τραυματισμός (KSI) και (2) ελαφρύς τραυματισμός (SI). Οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν για εξέταση και κωδικοποίηση ήταν οι εξής: (1) Σοβαρότητα, (2) Ηλικία παθόντος, (3) Κατηγορία (οδηγός, επιβάτης), (4) Τοποθεσία, (5) Τύπος οχήματος (αυτοκίνητο, ποδήλατο, μοτοσικλέτα μικρότερη των 50cc, μοτοσικλέτα άνω των 50cc, φορτηγό, λεωφορείο, άλλο), (6) Ηλικία οχήματος, (7) Είδος περιοχής (αστική, μη-αστική), (8) Καιρικές συνθήκες (καλές, βροχόπτωση, άλλο), (9) Ώρα ατυχήματος (νύχτα/σούρουπο, ημέρα) και (10) Τύπος ατυχήματος (εκτός διαδρομής, παράσυρση πεζού, σταθμευμένο όχημα, μετωπική σύγκρουση, πλάγια-κάθετη σύγκρουση, πλαγιομετωπική σύγκρουση, νωτομετωπική σύγκρουση, άλλο). Μετά την κωδικοποίηση και τη μετατροπή των δεδομένων, τα δεδομένα εισήχθησαν στο στατιστικό λογισμικό. Η αρχική βάση δεδομένων χωρίστηκε σε 2 διαφορετικά σύνολα δεδομένων: ένα για εντός αστικών περιοχών και ένα για εκτός αστικών περιοχών.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι:

- Συνέβησαν λιγότερα ατυχήματα τη νύχτα, επειδή υπάρχει και λιγότερη κίνηση, αλλά ήταν πιο σοβαρά.
- Οι πιθανότητες εμπλοκής σε ατύχημα με σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν 0,816 φορές χαμηλότερες από ό,τι κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ταυτόχρονα, οι οδηγοί και οι επιβάτες μικρών μοτοσικλετών (<50 cc) ήταν πιο πιθανό να τραυματιστούν σοβαρά ή να σκοτωθούν. Πιο συγκεκριμένα, ο λόγος πιθανότητας ενός ατυχήματος να είναι σοβαρό ή θανατηφόρο για τους αναβάτες μικρών μοτοσικλετών ήταν 2,495 φορές υψηλότερος από ό,τι για τους επιβάτες αυτοκινήτων.
- Οι αναβάτες μεγάλων μοτοσικλετών (> 50 cc) ήταν πολύ πιθανό να τραυματιστούν σοβαρά ή να σκοτωθούν σε ατύχημα. Ο λόγος πιθανότητας ενός ατυχήματος να είναι σοβαρό ή θανατηφόρο για τους αναβάτες μεγάλων μοτοσικλετών ήταν 1.275 φορές υψηλότερος από ό,τι για τους επιβάτες αυτοκινήτων.
- Η αναλογία πιθανότητας ενός ατυχήματος να είναι σοβαρό / θανατηφόρο όταν ο τύπος σύγκρουσης είναι μια νωτομετωπική σύγκρουση ήταν 0,384 φορές χαμηλότερος από ένα ατύχημα εκτός διαδρομής.
- Η αναλογία πιθανότητας ενός ατυχήματος να είναι σοβαρό / θανατηφόρο όταν η σύγκρουση είναι πλευρική ήταν 0,313 φορές χαμηλότερη από ένα ατύχημα εκτός διαδρομής.
- Ο οδηγός και οι επιβάτες λεωφορείων ήταν λιγότερο πιθανό να τραυματιστούν σοβαρά ή θανάσιμα από τους επιβάτες αυτοκινήτων.
- Παράγοντες που επηρεάζουν τη σοβαρότητα των τροχαίων ατυχημάτων μόνο εντός των αστικών περιοχών είναι η ηλικία των οδηγών, ο τύπος των οχημάτων, το οδικό περιβάλλον και ο τύπος σύγκρουσης με τους νέους οδηγούς, τα ποδήλατα, τις διασταυρώσεις και τη σύγκρουση με σταθερά αντικείμενα να παρουσιάζουν υψηλότερους δείκτες, αποδεικνύοντας ότι αυτές οι συγκεκριμένες συνθήκες πρέπει να αποτελούν το επίκεντρο των παρεμβάσεων οδικής ασφάλειας σε αστικές περιοχές. Παράλληλα, παράγοντες που επηρεάζουν τη σοβαρότητα εκτός αστικών περιοχών είναι οι καιρικές συνθήκες και ο τύπος σύγκρουσης (οι μετωπικές και πλαγιομετωπικές συγκρούσεις παρουσιάζουν υψηλότερη επικινδυνότητα). Ως αποτέλεσμα, η ειδική οδική υποδομή και τα μέτρα συμπεριφοράς του οδηγού πρέπει να εστιάζονται σε αυτές τις συγκεκριμένες συνθήκες.

2.5. Συνέπειες Οδικών Ατυχημάτων

Οι συνέπειες που επιφέρουν τα οδικά ατυχήματα είναι ολοφάνερο ότι είναι πολλές και δεν αφορούν αποκλειστικά τους παθόντες, αλλά και το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Οι άμεσα εμπλεκόμενοι σε οδικά ατύχημα, σε περίπτωση τραυματισμού δεν είναι πλέον σε θέση για το διάστημα ανάρρωσής τους να ακολουθούν τις δραστηριότητες που είχαν πριν το ατύχημα. Μάλιστα σε περίπτωση σοβαρού τραυματισμού ή και θανάτου οι επιπτώσεις τόσο για τον ίδιο τον παθόντα, όσο και για το κοινωνικό σύνολο είναι ακόμα πιο σοβαρές. Όπως είναι λογικό, πέρα από τις επιπτώσεις στην υγεία των άμεσα εμπλεκόμενων, υπάρχουν οικονομικές επιπτώσεις τόσο στον εμπλεκόμενο και στο ευρύτερο οικογενειακό περιβάλλον, όσο και στην

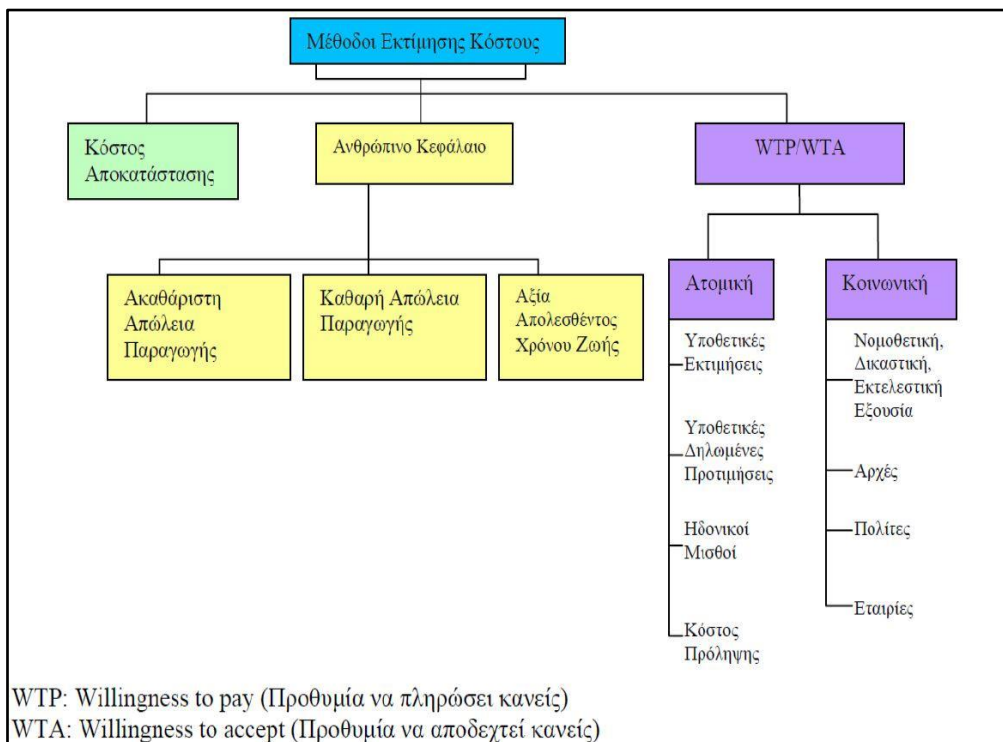
κοινωνία (Αντωνίου, 2017). Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά μερικές από τις αρνητικές επιπτώσεις των οδικών ατυχημάτων:

- Η απώλεια της ανθρώπινης ζωής. Για το άτομο η απώλεια της ίδιας της ζωής του αλλά και ο τραυματισμός του που συνεπάγεται ενδεχόμενη αναπηρία εφ' όρου ζωής. Το τροχαίο ατύχημα μπορεί να προκαλέσει ψυχικά τραύματα και να επηρεάσει τις προσωπικές σχέσεις και την επαγγελματική σταδιοδρομία ενός ανθρώπου. Συνέπειες θα υπάρχουν επίσης για την οικογένεια και τους συγγενείς των θυμάτων, κυρίως με την ύπαρξη ψυχολογικών τραυμάτων.
- Δημιουργία κυκλοφοριακών προβλημάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν συμβαίνει ένα οδικό ατύχημα, έχει ως αποτέλεσμα να διακόπτεται η κυκλοφορία σε τουλάχιστον μία λωρίδα κυκλοφορίας και η διέλευση των οχημάτων να περιορίζεται σε λιγότερες λωρίδες ή ακόμα και να διακόπτεται τελείως η κυκλοφορία στη συγκεκριμένη θέση. Έτσι, δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση τόσο στη θέση του συμβάντος, όσο και στις όμορες οδούς.
- Οικονομικό κόστος ατυχημάτων. Το κόστος σε ένα οδικό ατύχημα μπορεί να διακριθεί σε δυο κατηγορίες:

A) Άμεσο κόστος (ιατρικό κόστος, κόστος αποκατάστασης, ζημιές σε περιουσία, διοικητικό κόστος) και

B) Έμμεσο κόστος, το οποίο επιβάλλεται στην κοινωνία και επηρεάζει την ευημερία της (απώλεια παραγωγικής ικανότητας και ανθρώπινο κόστος) (Alfaro et al., 1994).

Οι πρώτες εκτιμήσεις του κόστους των τροχαίων ατυχημάτων έγιναν γύρω στο 1950 στη Μεγάλη Βρετανία και στις Η.Π.Α. Οι περισσότερες από τις πρώτες εκτιμήσεις αφορούσαν μόνο το «άμεσο» κόστος, οριζόμενο ως ζημιές στην περιουσία, ιατρική περίθαλψη, δικαστικά έξοδα και διάφορα «μικρά» έξοδα (Dawson, R.F.F. 1967). Με το πέρασμα των χρόνων το οικονομικό κόστος παρουσιάζοταν ολοένα αυξανόμενο ως αποτέλεσμα της γενικής ανόδου των τιμών στην κοινωνία, αλλά και ως αποτέλεσμα της περιοδικής αναθεώρησης των μεθόδων εκτίμησης. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζονται σχηματικά οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση των τροχαίων ατυχημάτων (Alfaro, J.L. et al. 1994).



Σχήμα 2.5 Μέθοδοι εκτίμησης κόστους οδικών ατυχημάτων (Πηγή: Ντεμονγιάννη κ.ά., 2005)

Το μέσο κόστος ενός ατυχήματος μπορεί να εκτιμηθεί μέσα από τη σχέση
 Μέσο Κόστος Ατυχήματος = ΣΤ * ΜΚΑ(ΣΤ) + ΕΤ * ΜΚΑ(ΕΤ) + ΥΖ * ΜΚΑ(ΥΖ)
 όπου:

- ΣΤ: Ατύχημα με σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο
- ΕΤ: Ατύχημα με ελαφρύ τραυματισμό
- ΥΖ: Ατύχημα με σοβαρές υλικές ζημιές μόνο
- ΜΚΑ(X, Y): είναι το μέσο κόστος ατυχήματος της κατηγορίας ατυχήματος X={ΣΤ, ΕΤ, ΥΖ} σε κατηγορία οδού Y={αυτοκινητόδρομος, υπεραστική οδός}

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται το μέσο κόστος ατυχήματος ανά χώρα.

Πίνακας 2.3 Μέσο κόστος ατυχήματος ανά χώρα [€/ατύχημα] (Πηγή: Παρουσίαση «Οδοποιία III - Σχεδιασμός και Λειτουργία Κόμβων, Οδική Ασφάλεια»)

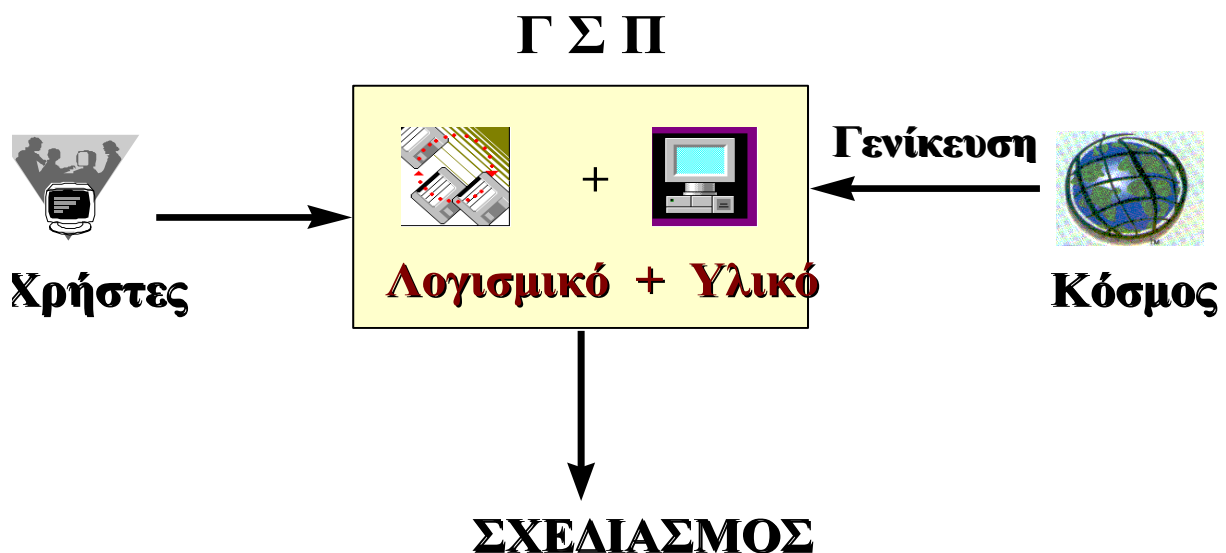
Χώρα	Αυτοκινητόδρομοι			Υπεραστικές οδοί		
	Κατηγορία ατυχήματος					
	Σοβαρός τραυματισμός	Ελαφρύς τραυματισμός	Σοβαρές υλικές ζημιές	Σοβαρός τραυματισμός	Ελαφρύς τραυματισμός	Σοβαρές υλικές ζημιές
Αυστρία	320.000			290.000		
Βέλγιο	315.000			285.000		
Ελβετία	340.000			305.000		
Γερμανία	300.000	31.000	18.500	270.000	18.000	13.000
Δανία	335.000			300.000		
Ισπανία	245.000			220.000		
Γαλλία	515.000	36.500		550.000	40.000	
Φινλανδία	300.000			270.000		
Ηνωμένο Βασίλειο	300.000			270.000		
Ελλάδα	185.000			165.000		
Ιταλία	300.000			270.000		
Νορβηγία	300.000			270.000		
Ολλανδία	335.000			300.000		
Πορτογαλία	200.000			180.000		
Σουηδία	295.000			265.000		
				Επίπεδο τιμών 2000		

3. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ως Γεωπληροφοριακό Σύστημα (ΓΣ) ορίζεται ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, τη διαχείριση και την απεικόνιση χωρικών δεδομένων, που υποστηρίζει τη διαδικασία του σχεδιασμού παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη, να αναλύει γεωγραφικές πληροφορίες για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό, σύμφωνα με το δικό του μοντέλο λήψης αποφάσεων (Burrough P., 1986). Γενικά τα ΓΣ μπορούν να θεωρηθούν σαν ένα σύνολο προγραμμάτων που λειτουργούν πάνω σε μια χωρική βάση δεδομένων (Goodchild, 1992).

Οι παραπάνω ορισμοί δεν είναι και οι μοναδικοί. Υπάρχουν τόσοι πολλοί ορισμοί όσες και οι χρήσεις ή οι επιστήμες που αναμιγνύονται με τα ΓΣ: γεωγραφία, αστικός σχεδιασμός, αρχιτεκτονική του τοπίου, περιβαλλοντικές επιστήμες, και άλλα. Επίσης, ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών προσφέρει "εργαλεία" όπου επαγγελματίες σ' αυτούς τους τομείς χρησιμοποιούν για να βελτιώσουν τον τρόπο εργασίας τους. Όπως τα τηλέφωνα, οι υπολογιστές και οι επεξεργαστές κειμένων είναι εργαλεία για να κάνουν την εργασία πιο εύκολη, πιο γρήγορη και πιο ουσιαστική, έτσι και τα ΓΣ χορηγούν "εργαλεία" σε επαγγελματίες για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της εργασίας τους με γεωγραφικά ή με περιγραφικά δεδομένα (Huxhold, 1992).

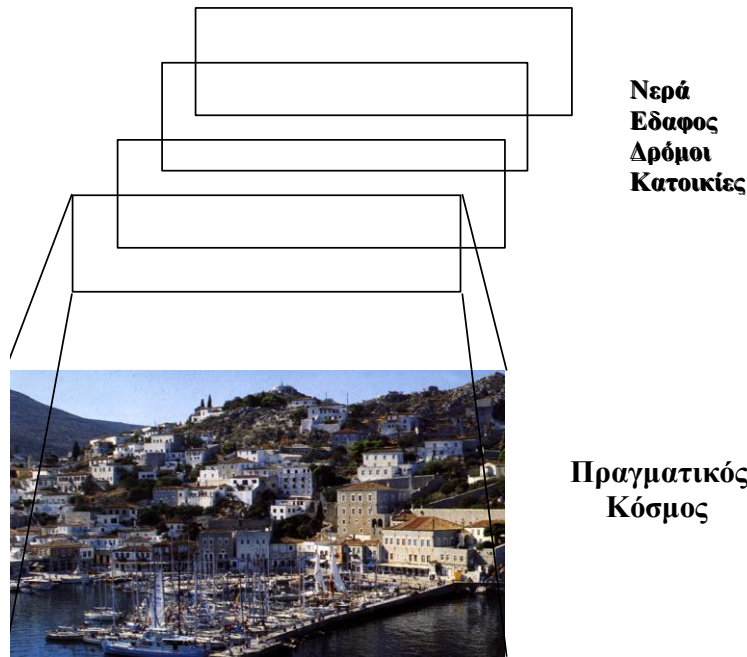
Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα ΓΣ αποτελούνται από τα εξής τμήματα (Rhind 1985), όπως φαίνονται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 3.1 Συστατικά μέρη ΓΣ

Ο πραγματικός κόσμος παριστάνεται σε ένα ΓΣ από ένα αριθμό λογικών επιπέδων, όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 3.2, ενώ γενικεύεται με δύο, κυρίως, τρόπους:

- με τα διανυσματικά μοντέλα (vector)
- και τα μοντέλα μορφής κανάβου (raster)



Σχήμα 3.2 Μοντέλο αναπαράστασης της πραγματικότητας στα ΓΣ

Στα διανυσματικά μοντέλα, η βασική λογική μονάδα στο γεωγραφικό χώρο είναι η γραμμή, εκφρασμένη από μία σειρά σημείων με συντεταγμένες x, y . Τέτοια μπορεί να είναι μία ισ αριθμική καμπύλη, ένας ποταμός, ένας δρόμος, το όριο μίας περιοχής ή τμήμα των παραπάνω. Μεμονωμένα σημεία, σε μία τέτοιου είδους οργάνωση μπορεί να εκφραστούν σε γραμμές μηδενικού μήκους (ένα σημείο με συντεταγμένες x, y), ενώ οι επιφάνειες εκφράζονται από το σύνολο των διαδοχικών γραμμών που τις προσδιορίζουν (Burrough, 1986).

Στα μοντέλα μορφής κανάβου, ο γεωγραφικός χώρος έχει χωριστεί σε χωρία κανονικού σχήματος (φατνία), το καθένα από τα οποία αποτελεί βασική λογική μονάδα και όλα μαζί ένα κανάβο. Αντί του τετραγώνου που είναι ο πλέον συνήθης τύπος λογικής μονάδας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραλληλόγραμμο ή οποιοδήποτε άλλο κανονικό πολύγωνο (ή πολύεδρο αν το μοντέλο είναι τρισδιάστατο). Η απλούστερη δομή δεδομένων στο πλαίσιο των μοντέλων με μορφή κανάβου συνίσταται στην σειριακή (μονοδιάστατη) απόδοση των φατνίων. Κάθε φατνίο προσδιορίζεται με το ζεύγος γραμμής - στήλης του αντίστοιχου πίνακα και έναν αριθμό που προσδιορίζει το είδος ή την τιμή του χαρακτηριστικού που απεικονίζει.

Συνοπτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο μοντέλων σε σχέση με περιβαλλοντικά γεωγραφικά δεδομένα (Burrough 1986, Tomlin 1990).

Τα πλεονεκτήματα των διανυσματικών μοντέλων είναι η συμπαγής δομή και η αποτελεσματική γενίκευση των γεωμετρικών δεδομένων, ενώ στα μειονεκτήματα τους εντάσσονται η πολύπλοκη δομή δεδομένων και η δυσκολία στην μαθηματική προσομοίωση, μια και κάθε μονάδα έχει διαφορετικό μέγεθος. Τα πλεονεκτήματα των μοντέλων μορφής κανάβου είναι η απλή δομή δεδομένων, η εύκολη σύνδεση γεωγραφικών και τηλεπισκοπικών δεδομένων, η ευκολία μαθηματικής προσομοίωσης και απόδοσης συνεχών φαινομένων. Είναι προφανές ότι η δομή αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για διαχείριση από σύστημα σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού (π.χ. Python, C, κτλ.) λόγω της ευκολίας αποθήκευσης, επεξεργασίας και απόδοσης. Τα μειονεκτήματά της είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων, η σχέση μεγέθους κανάβου - πληροφορίας και η χρονοβόρα διαδικασία των προβολικών μετασχηματισμών.

Αν και πριν από μερικά χρόνια η επιλογή ενός εκ των δύο μοντέλων υπαγόρευε και την αγορά αντίστοιχου λογισμικού, η σύγχρονη τάση είναι το λογισμικό να συνδυάζει και τα δύο μοντέλα καθώς και λειτουργίες μετασχηματισμού από το ένα στο άλλο.

3.1. Τα Υποσυστήματα Ενός ΓΣ

Τα εργαλεία ενός ΓΣ περιλαμβάνουν τον απαραίτητο τεχνικό εξοπλισμό (Hardware) και το λογισμικό (Software) που επιτρέπει την εισαγωγή, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση των δεδομένων.

3.1.1. Υλικό (hardware)

Το βασικό χαρακτηριστικό οποιουδήποτε συστήματος συμπεριλαμβανόμενου και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών είναι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU). Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας ενός ΓΣ δε διαφέρει σε τίποτα από αυτήν οποιουδήποτε άλλου γενικής χρήσης συστήματος πληροφοριών ενώ τα πιο γνωστά λειτουργικά συστήματα χρησιμοποιούνται και από τα διάφορα λογισμικά ΓΣ. Η οθόνη γραφικών πρέπει να είναι όσο το δυνατόν καλύτερης ευκρίνειας. Το πληκτρολόγιο είναι ανάλογο μ' αυτό άλλων συστημάτων και επιτρέπει την εισαγωγή πληροφοριών και εντολών στον υπολογιστή. Το πληκτρολόγιο είναι ένας εύκολος τρόπος για την εισαγωγή αλφαριθμητικών πληροφοριών κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης. Για την εισαγωγή των γεωγραφικών δεδομένων χρησιμοποιούνται δύο κυρίως συσκευές: ο ψηφιοποιητής και ο αυτόματος σαρωτής (scanner). Ο αυτόματος σχεδιαστής (plotter) είναι ένα ακόμη μέρος από τον τεχνικό εξοπλισμό που επιτρέπει την αυτόματη σχεδίαση των δεδομένων. Μπορεί να είναι διανυσματικός (pen plotter) ή και μορφής κανάβου (inkjet plotter).

3.1.2. Λογισμικό (software)

Το λογισμικό ενός ΓΣ περιλαμβάνει πέντε βασικά "υποσυστήματα" για:

1. Εισαγωγή δεδομένων και έλεγχο-επαλήθευσή τους.
2. Διαχείριση της γεωγραφικής βάσης δεδομένων.
3. Εξαγωγή πληροφοριών και παρουσίαση.
4. Μετασχηματισμό των δεδομένων.
5. Εργαλεία χωρικής ανάλυσης.

Η εισαγωγή των δεδομένων αφορά τόσο τα γεωγραφικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα. Τα γεωγραφικά δεδομένα μπορούν να προέλθουν από ετερόκλητες πηγές, όπως γεωδαιτικές επιγείες μετρήσεις, τηλεπισκοπικές, φωτογραμμετρικές μεθόδους και υπάρχοντες χάρτες. Τα περιγραφικά δεδομένα είναι γενικά περιπτώσεις ή φαινόμενα τα οποία σχετίζονται με τα γεωγραφικά δεδομένα. Η λογική δομή αυτών των δεδομένων απαιτεί μία χωρική αναφορά ή κάποια χωρικά χαρακτηριστικά καταχωρημένα σε κάθε εγγραφή της βάσης δεδομένων. Αυτές οι χωρικές αναφορές όπως το είδος της χρήσης γης ή της εδαφολογικής σύστασης σχετίζονται με τις συντεταγμένες ενός γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς και καταγράφονται.

Η διαχείριση των δεδομένων αφορά μετακίνηση και στροφή αντικειμένων, μεγέθυνση - σμίκρυνση παραθύρου εργασίας, μετατροπή δεδομένων από μια μορφή σε άλλη, γενίκευση στοιχείων κτλ. Η εξαγωγή πληροφοριών και η παρουσίαση τους αφορά στον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα αποδίδονται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους χρήστες. Ο μετασχηματισμός των δεδομένων περιλαμβάνει τις απαραίτητες διαδικασίες για τη σύνδεση χαρτών μεταξύ τους καθώς και μετασχηματισμούς που συνδέονται με αλλαγή της κλίμακας, προσαρμογής των δεδομένων σε άλλες προβολές, λογικές "πράξεις" κ.α.

Το στάδιο της χωρικής ανάλυσης περιλαμβάνει τις διαδικασίες μετατροπής των στοιχείων σε πληροφορία (Κουτσόπουλος, 1986, Noel, 1991). Σαν αποτέλεσμα η ανάλυση χώρου είναι ένα σύνολο από "ποσοτικές διαδικασίες και τεχνικές που εφαρμόζονται σε χωρικές αναλυτικές εργασίες" (Johnston et. al., 1986.) και στοχεύουν, όπως γράφει και ο Haining (1994): α) στη σωστή περιγραφή γεγονότων στο χώρο, που περιλαμβάνει κυρίως την περιγραφή των χωρικών προτύπων, β) στη συστηματική διερεύνηση των χωρικών προτύπων και των χωρικών σχέσεων με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των χωρικών διαδικασιών που ευθύνονται για τα χωρικά πρότυπα και τις σχέσεις που παρατηρούμε και γ) στην αύξηση της ικανότητας πρόβλεψης και ελέγχου γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο. Επιπλέον, όμως,

υπάρχει ένας άλλος τέταρτος αντικειμενικός στόχος, που είναι η χρήση αυτών των τεχνικών και μεθόδων σαν εργαλεία λήψης αποφάσεων για το χώρο (Κουτσόπουλος, 1998).

Γενικά τα ΓΣ θα μπορούσαν να παραλληλισθούν με μια εργαλειοθήκη (Carver, 1992). Μερικά από τα εργαλεία ή συνδυασμοί τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλύσουν αρκετά χωρικά προβλήματα. Σύμφωνα με τον Burrough (1986) τα κυριότερα χωρικά προβλήματα που επιλύει ένα ΓΣ είναι τα εξής:

- Τι είναι στην θέση A;
- Πού είναι τα X_1, X_2 ;
- Πού είναι το A σε σχέση με το B;
- Πόσο μεγάλο είναι το A (εμβαδό, περίμετρος);
- Ποιο είναι το αποτέλεσμα της επικάλυψης μεταξύ δύο ή περισσότερων επιπέδων (overlay);
- Πόσες εμφανίσεις τύπου A βρίσκονται σε απόσταση P από το B;
- Προσδιόρισε τη ζώνη σε απόσταση P από το A (buffering).

Τα κυριότερα εργαλεία που είναι ενσωματωμένα στα περισσότερα ΓΣ σήμερα παραμένουν η επικάλυψη και η δημιουργία ζώνης. Σε κάποιες ελάχιστες εξαιρέσεις (π.χ. ARC/INFO grid, IDRISI, SPANS κτλ.) υπάρχουν περισσότερα και πιο ευέλικτα εργαλεία. Πάντως, όπως και όλες οι εργαλειοθήκες έχουν περιορισμένο αριθμό εργαλείων και σίγουρα όχι ένα πλήρες σύνολο (Openshaw 1992, 1991b, 1993a, Carver 1992, Fotheringham 1991, 1993). Για παράδειγμα κανένα λογισμικό δεν επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων με λογικές εκτός της στατιστικής, όπως η υπολογιστική νοημοσύνη.

3.2. Τα ΓΣ στην Ανάλυση των Ατυχημάτων

Σημαντική αρνητική επίπτωση της κινητικότητας αποτελούν τα τροχαία ατυχήματα που έχουν ως αποτέλεσμα τραυματισμούς και απώλειες ζώνων. Τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των ερευνών, σχετικά με τα εργαλεία για την ανάλυση των ατυχημάτων και τον οδικό σχεδιασμό, έχει αυξηθεί σημαντικά. Ανάμεσα σε αυτά τα εργαλεία, τα ΓΣ ξεχωρίζουν για την ικανότητά τους να εκτελούν πολύπλοκες χωρικές αναλύσεις.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα και όπως αναφέρουν οι Crain και Mc Donald (1991), τα ΓΣ και η χρήση τους μπορεί να θεωρηθεί σαν μία διαδικασία με τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο όπως και σε κάθε άλλο πληροφοριακό σύστημα, είναι καθαρά απογραφικό και αποσκοπεί στη συλλογή στοιχείων. Στο δεύτερο στάδιο η έμφαση δίνεται στις αναλυτικές διαδικασίες. Τα περισσότερα συστήματα με την εξάντληση των αναλυτικών δυνατοτήτων, εξελίσσονται σε συστήματα στήριξης αποφάσεων, που αποτελεί και το τρίτο στάδιο. Αυτό το στάδιο χαρακτηρίζεται από τη σύνδεση και αξιοποίηση τεχνικών και μεθόδων χωρικής ανάλυσης και μαθηματικής προσομοίωσης που δεν υπάρχουν ενσωματωμένες σε ένα ΓΣ. Όσον αφορά στην ανάλυση των ατυχημάτων, η χρήση των ΓΣ αφορά όλα τα στάδια.

Στη διπλωματική αυτή εξετάζεται η βιβλιογραφία που αφορά στη διερεύνηση ατυχημάτων που αξιοποίησαν ΓΣ και παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση χωρικών αναλύσεων οδικών ατυχημάτων.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει τις βασικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για την ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων με τη χρήση ΓΣ. Σημειώνεται ότι ο πίνακας δεν προορίζεται για τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθόδων-ή ερευνών. Στη συνέχεια, οι έρευνες συνοψίζονται με κριτήρια την περιοχή μελέτης και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Υπάρχει μια σχετικά μεγάλη διασπορά στον τύπο των οδικών τμημάτων που αναλύονται. Κάποιοι ερευνητές έχουν αναλύσει τόσο τις διασταυρώσεις, όσο και τα οδικά τμήματα (Erdogan et al., 2008, Castro et al., 2012, Ma et al., 2014). Ωστόσο, οι Moore et al. (2011) ανέφεραν ότι οι διασταυρώσεις και τα οδικά τμήματα δεν αναλύθηκαν μαζί, καθώς οι παράμετροι που σχετίζονταν με τα ατυχήματα που συνέβησαν στις διασταυρώσεις διέφεραν από αυτές του οδικού τμήματος.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει 13 έρευνες (7 για αστικές περιοχές, 6 για δεδομένα από αγροτικές, αστικές προαστιακές οδούς και αυτοκινητοδρόμους), οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια.

Πίνακας 3.1 Μελέτες ανάλυσης ατυχημάτων με χρήση GIS

Συγγραφέας και έτος δημοσίευσης	Περιοχή	Μέθοδοι
Kim & Nitz (1995)	Μικτή	Μικτά χωρικά εργαλεία που περιγράφουν το βαθμό χωρικής συγκέντρωσης και αναλύονται χωρικά πρότυπα διαφόρων τύπων ατυχημάτων.
Steenberghen et al. (2004)	Αστική	Σημειακή τοπολογία θέσης, μέθοδος ανάλυσης πυκνότητας πυρήνα.
Aguero-Valverde & Jovanis (2006)	Μικτή	Πλήρες ιεραρχικό μοντέλο Bayes με χωρικές και χρονικές επιδράσεις σε σύγκριση με μια αρνητική διωνυμική κατανομή για την εκτίμηση της ετήσιας συχνότητας συντριβής σε επίπεδο επαρχίας.
Erdogan et al. (2008)	Μικτή	Προσδιορισμός των blackspots με εκτίμηση πυκνότητας πυρήνα.
Erdogan (2009)	Αστική	Στατιστική ανάλυση με τους δείκτες Moran I και Getis - Ord.
Gundogdu (2011)	Αστική	Μέθοδος Hot Pieces για τον προσδιορισμό κρίσιμων τμημάτων τροχαίων ατυχημάτων.
Truong & Somenahalli (2011)	Μικτή	Δείκτης σοβαρότητας, χωρικά πρότυπα δεδομένων και χάρτη blackspot σύγκρουσης πεζών και οχημάτων.
Budiharto & Saido (2012)	Αστική	Blackspot ατυχημάτων: τρεις μέθοδοι (εκτίμηση πυκνότητας πυρήνα, ανάλυση συστάδων και ανάλυση outliers).
Çela et al. (2013)	Αστική	Χωρικά πρότυπα ατυχημάτων χρησιμοποιώντας το δείκτη Kernel.
Rankavat & Tiwari (2013)	Μικτή	Ερευνά το δυναμικό αξιοποίησης των ΓΣ για τον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε ατυχήματα πεζών.
Effati et al. (2014)	Αστική	Εφαρμογή μεθόδου τεχνητής νοημοσύνης για την αναγνώριση των επικίνδυνων ζωνών.
Tortum & Atalay (2015)	Μικτή	Στατιστική Moran I και Getis - Ord.
Yalcin & Duzgun (2015)	Αστική	3 μέθοδοι ανάλυσης χωρικού προτύπου σε ένα δίκτυο: πυκνότητας Kernel, κοντινότερης απόστασης γείτονα, συνάρτησης K.

Ο Πίνακας 3.1 δείχνει τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων με χρήση ΓΣ. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι έρευνες τροχαίων ατυχημάτων πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση εργαλείων ΓΣ. Τα τελευταία χρόνια, ο συνδυασμός των ΓΣ και της στατιστικής ανάλυσης χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο από πολλούς ερευνητές για την διερεύνηση των οδικών ατυχημάτων.

- Οι Kim και Nitz (1995) διερεύνησαν τα χωρικά πρότυπα διαφόρων τύπων οδικών ατυχημάτων για το νησί Οάχου της πολιτείας της Χαβάης για το 1990. Χρησιμοποίησαν διάφορα χωρικά εργαλεία που περιγράφουν το βαθμό χωρικής συγκέντρωσης των ατυχημάτων, όπως την έλλειψη τυπικής απόκλισης και την ανάλυση κοντινότερης απόστασης γείτονα (Nearest Neighbor analysis). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα περισσότερα ατυχήματα συμβαίνουν πιο κοντά στα κέντρα εργασίας, παρά στις κατοικημένες περιοχές. Στις προαστιακές και αγροτικές περιοχές ωστόσο, τα ατυχήματα είναι πιο πιθανό να περιλαμβάνουν θανάτους ή σοβαρούς τραυματισμούς και να σχετίζονται με νυχτερινή οδήγηση και αλκοόλ. Αποδεικνύεται ότι αυτές οι συνθήκες συσχετίζονται χωρικά με ατυχήματα με οχήματα αντίθετης κατεύθυνσης.
- Οι Steenberghen et al. (2004) διεξήγαγαν μία έρευνα με στόχο να αναδείξουν τη χρησιμότητα των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων ως προς τον προσδιορισμό των blackspots οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν στην πόλη Μέχελεν του Βελγίου μεταξύ του 1991 και 1996. Σύγκριναν μονοδιάστατες (γραμμικές) και δισδιάστατες (πολυγωνικές) τεχνικές ομαδοποίησης για οδικά ατυχήματα και το συμπέρασμα ήταν ότι οι τεχνικές γραμμικής χωρικής ομαδοποίησης ταιριάζουν καλύτερα όταν οι ροές κυκλοφορίας μπορούν να προσδιοριστούν με σαφήνεια. Για πυκνά οδικά δίκτυα με διάχυτα μοτίβα κυκλοφορίας, οι δισδιάστατες τεχνικές επιτρέπουν τον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε ατυχήματα.

- Οι Agüero-Valverde και Jovanis (2006) χρησιμοποιώντας δεδομένα οδικών ατυχημάτων με σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο για την Πενσυλβανία για το 1996–2000, σύγκριναν τα πλήρη ιεραρχικά μοντέλα Bayes (με χωρικές και χρονικές αλληλεπιδράσεις) με τις παραδοσιακές εκτιμήσεις αρνητικών διωνυμικών κατανομών της ετήσιας συχνότητας σύγκρουσης σε επίπεδο νομού. Οι συμμεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν κοινωνικο-δημογραφικά στοιχεία, καιρικές συνθήκες, υποδομές μεταφοράς και ποσότητα ταξιδιού. Τα αποτελέσματα σχετικά με τις επιδράσεις των μεταβλητών στον κίνδυνο ατυχήματος με τραυματισμό ή θάνατο είναι ως επί το πλείστον συνεπή στην κατεύθυνση και το μέγεθος των μοντέλων. Γενικά, οι πολύ σημαντικές μεταβλητές στα μοντέλα αρνητικής διωνυμικής κατανομής είναι επίσης σημαντικές στα μοντέλα Bayes. Από την άλλη πλευρά, οι μεταβλητές που είναι οριακά σημαντικές στα μοντέλα αρνητικής διωνυμικής κατανομής είναι γενικά μη σημαντικές στα μοντέλα Bayes.
- Οι Erdogan et al. (2008) ανέπτυξαν ένα σύστημα που μετατρέπει τα δεδομένα των οδικών ατυχημάτων από δεδομένα κειμένου σε μορφή πίνακα και στη συνέχεια αυτά τα δεδομένα πίνακα παρουσιάστηκαν γεωγραφικά στους αυτοκινητόδρομους. Τα blackspots στους αυτοκινητόδρομους του Αφιόν Καραχισάρ της Τουρκίας διερευνήθηκαν και προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της Εκτίμησης Πυκνότητας Πυρήνα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι αν και πολλά από τα ατυχήματα συνέβησαν το απόγευμα, τα θανατηφόρα ατυχήματα συνέβησαν τα μεσάνυχτα. Η πιο σημαντική αιτία ατυχημάτων είναι η απροσεξία, ενώ άλλες αιτίες είναι οι υπερβολικές ταχύτητες, η μη τήρηση των πινακίδων κυκλοφορίας και των φωτεινών σηματοδοτών και η ακατάλληλη προσπέραση οχημάτων.
- Ο Erdogan (2009) διεξήγαγε μία έρευνα με στόχο να περιγράψει τις διαπεριφερειακές διαφορές στα τροχαία ατυχήματα και τη θνησιμότητα στους δρόμους της Τουρκίας. Εφάρμοσε διερευνητικές χωρικές αναλύσεις και γεωγραφικά σταθμισμένες αναλύσεις παλινδρόμησης για τον προσδιορισμό και την κατανόηση της κατανομής προβληματικών περιοχών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί δείκτες κινδύνου, οι λόγοι μεταξύ του αριθμού των ατόμων που σκοτώθηκαν σε τροχαία ατυχήματα προς του αριθμού των ατυχημάτων και προς της έκθεσής τους σε κίνδυνο κυκλοφορίας. Εφαρμόστηκαν χωρικές αναλύσεις στο μέσο ετήσιο ποσοστό θανάτων και στον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων που υπολογίστηκαν για την περίοδο 2001-2006. Η ανάλυση της χωρικής αυτοσυσχέτισης με τους δείκτες Moran I και Getis – Ord έδειξε ότι οι περιφέρειες με υψηλά ποσοστά ατυχημάτων με θάνατο παρουσίασαν χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο.
- Ο Gundogdu (2011) ανέλυσε τα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στο Ικόνιο της Τουρκίας με σκοπό τον εντοπισμό των αιτιωδών παραγόντων και τη λήψη μέτρων για τη μείωση των μελλοντικών ατυχημάτων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούν στα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στους αυτοκινητόδρομους και διασταυρώσεις των κεντρικών δρόμων της πόλης Ικόνιο στο διάστημα μεταξύ 2000 και 2010. Χρησιμοποίησε τη μέθοδο Hot Pieces, η οποία αποτελεί επέκταση της μεθόδου των blackspots, για τον προσδιορισμό των κρίσιμων οδικών τμημάτων όπου συμβαίνουν τα ατυχήματα.
- Οι Truong και Somenahalli (2011) εφάρμοσαν μία ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης στα δεδομένα σύγκρουσης πεζών-οχημάτων με σκοπό την αναγνώριση και κατάταξη μη ασφαλών στάσεων λεωφορείων. Η στατιστική του Moran's I χρησιμοποιείται για την εξέταση χωρικών προτύπων δεδομένων σύγκρουσης πεζών-οχημάτων. Η προτεινόμενη προσέγγιση αξιολογείται χρησιμοποιώντας 13 χρόνια (1996-2008) δεδομένων σύγκρουσης πεζών-οχημάτων για τη μητροπολιτική περιοχή της Αδελαΐδας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσέγγιση είναι αποτελεσματική και αξιόπιστη στον εντοπισμό blackspots σύγκρουσης πεζών και οχημάτων και στην κατάταξη μη ασφαλών στάσεων λεωφορείων.
- Οι Budiharto και Saido (2012) διεξήγαγαν μία έρευνα με σκοπό τον προσδιορισμό της ταχύτερης διαδρομής από τη θέση του οδικού ατυχήματος προς το πλησιέστερο νοσοκομείο. Ο ερευνητικός στόχος ήταν να προσδιοριστούν τα blackspots των οδικών ατυχημάτων, τα νοσοκομεία παραπομπής, καθώς και η ταχύτερη διαδρομή των ασθενοφόρων στην πόλη Σουρακάρα της Ινδονησίας χρησιμοποιώντας Γεωπληροφοριακά Συστήματα. Για τον προσδιορισμό των blackspots των οδικών ατυχημάτων χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι της

Εκτίμησης Πυκνότητας Πυρήνα, η ανάλυση συστάδων και η ανάλυση outliers. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης ήταν ο προσδιορισμός 15 blackspots με μέσο χρόνο μεταφοράς του συμμετέχοντα στο κοντινότερο νοσοκομείο περίπου 4,84 λεπτά.

- Οι *Çela et al.* (2013) διερεύνησαν τα οδικά ατυχήματα της πρωτεύουσας της Σερβίας, το Βελιγράδι. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την έρευνα προέρχονται από τα ετήσια δεδομένα που συλλέγονται από το Παρατηρητήριο Μεταφορών της Νοτιοανατολικής Ευρώπης (SEETO) από το 2003-2009 και παρέχουν μια επισκόπηση των αριθμών οδικής ασφάλειας σε χώρες των Δυτικών Βαλκανίων. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη χρονική στιγμή (ώρα, ημέρα, μήνα) που συνέβη το ατύχημα, τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση του δρόμου, καθώς και τα συμβάντα των κύριων οδών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, δύο από τις πιο σημαντικές αιτίες που επηρεάζουν τα ποσοστά ατυχημάτων είναι οι υψηλές ταχύτητες και η μη τήρηση των κανόνων.
- Οι *Rankavat και Tiwari* (2013) ερεύνησαν το δυναμικό αξιοποίησης των ΓΣ με στόχο τον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε ατυχήματα πεζών στο Δελχί την Ινδίας. Από το 2006 έως το 2009, σημειώθηκαν περίπου 8.503 θάνατοι σε οδικά ατυχήματα, από τα οποία στο 51% αυτών εμπλέκονταν πεζοί. Η ανάλυση έδειξε ότι από τους συνολικούς θανάτους από οδικά ατυχήματα με επιβατικά οχήματα, το 27% αφορούσε πεζούς.
- Οι *Effati et al.* (2014) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της γεωχωρικής νευρωνικής ασαφούς προσέγγισης με σκοπό τον προσδιορισμό επικίνδυνων ζωνών στην περιφερειακή οδό μεταξύ των πόλεων Καζβίν και Ραστ του Ιράν. Οι επικίνδυνες ζώνες συγκρίθηκαν με τα blackspots που είχαν ήδη προσδιοριστεί μέσω στατιστικών προσεγγίσεων και βρέθηκε μια καλή συσχέτιση μεταξύ τους. Επιπλέον, η προτεινόμενη προσέγγιση εντόπισε μερικές ακόμη ζώνες που δεν είχαν προσδιορισθεί από την παραδοσιακή στατιστική μέθοδο.
- Οι *Tortum και Atalay* (2015) πραγματοποίησαν χωρική ανάλυση για οδικά ατυχήματα χρησιμοποιώντας Γεωπληροφοριακά Συστήματα με δεδομένα τον πληθυσμό, την πυκνότητα του πληθυσμού, τον αριθμό των οχημάτων, τον αριθμό χιλιομέτρων ανά όχημα και το μήκος του οδικού δικτύου στην επαρχία της Τουρκίας. Εφάρμοσαν ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης για να εξετάσουν εάν οι περιοχές με υψηλά ποσοστά θνησιμότητας από οδικά ατυχήματα εμφανίζουν χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης έδειξε ότι οι περιοχές αυτές δεν είναι τυχαία κατανομημένες στο χώρο. Επίσης, προέκυψε ότι τα ποσοστά θνησιμότητας είναι υψηλότερα στις μη αναπτυγμένες περιοχές σε σύγκριση με τις αναπτυγμένες.
- Οι *Yalcin και Duzgun* (2015) πραγματοποίησαν μία έρευνα με στόχο την ανάλυση της διανομής ατυχημάτων οδικής κυκλοφορίας σύμφωνα με τους τύπους οχημάτων που εμπλέκονται στα ατυχήματα για το κέντρο της πόλης Οσμανίγιε της Τουρκίας. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι ανάλυσης χωρικού προτύπου: Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα, κοντινότερη απόσταση γείτονα και χρήση της συνάντησης K για την αποτίμηση της χωρικής διασποράς. Τα δεδομένα αφορούν 961 οδικά ατυχήματα από το 2010 έως το 2012. Η ανάλυση έδειξε ότι τα οδικά ατυχήματα εμφανίζουν χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο, ενώ εντοπίστηκαν και τα blackspots των ατυχημάτων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για τον προσδιορισμό των blackspots και για την ανάλυση των χωρικών φαινομένων ατυχημάτων.

3.2.1. Ο δείκτης Moran's I

Ο δείκτης Moran's I είναι ένα στατιστικό εργαλείο που μετρά τη χωρική εξάρτηση της θέσης των ατυχημάτων, όταν η χωρική μονάδα ανάλυσης είναι πολυγωνικής μορφής (Moran, 1948). Αξιολογεί επίσης εάν οι συστοιχίες των χωρικών σχηματισμών είναι διασκορπισμένες ή τυχαίες και αξιολογεί το επίπεδο συγκέντρωσης. Ο δείκτης Moran's I είναι μία δοκιμή χωρικής τυχαιότητας, όπου η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης συνεπάγεται κάποιο βαθμό βεβαιότητας.

3.2.2. Δείκτης Getis - Ord

Ο δείκτης αυτός έχει χαρακτηριστικά που τον καθιστούν ελκυστικό για τη μέτρηση της εξάρτησης των χωρικά κατανεμημένων μεταβλητών, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το δείκτη Moran's I, σε χωρική μονάδα ανάλυσης πολυγωνικής μορφής. Αυξάνει τη γνώση σχετικά με τις διαδικασίες που οδηγούν στην εξάρτηση στο χώρο και βελτιώνει την ανίχνευση της τοπικής εξάρτησης που μπορεί να μην εμφανίζεται όταν χρησιμοποιούνται καθολικοί δείκτες (Getis και Ord, 1992). Ο δείκτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό blackspots οδικών ατυχημάτων. Μια υψηλή τιμή της στατιστικής Getis - Ord αντιπροσωπεύει μια ομάδα υψηλής συγκέντρωσης (blackspots), ενώ μια χαμηλή τιμή αντιπροσωπεύει μια χαμηλή συγκέντρωση.

Ο δείκτης Moran's I μετρά τη χωρική εξάρτηση από τις τοποθεσίες των ατυχημάτων και συσσωρεύει τα ατυχήματα σύμφωνα με τα χωρικά πρότυπα, επομένως παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη εμφάνισης ατυχημάτων. Από την άλλη πλευρά, η στατιστική Getis - Ord μετρά μία μόνο τιμή της χωρικής συσχέτισης και παρέχει ένα μέτρο της τιμής του βαθμού ομαδοποίησης στο χωρικό πρότυπο.

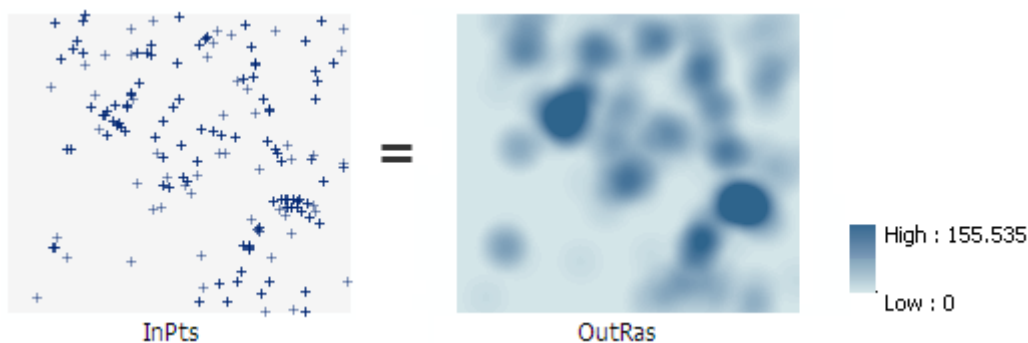
Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης Getis - Ord συνδέεται μαθηματικά με τον Ολικό δείκτη Moran's I, ώστε ο Moran's να ερμηνεύεται ως σταθμισμένος μέσος όρος των τοπικών στατιστικών (Getis και Ord 1992).

Συνοπτικά:

- Ο δείκτης Getis-Ord μετρά τις συγκεντρώσεις υψηλών ή χαμηλών τιμών για μια περιοχή μελέτης.
- Ο Ολικός δείκτης Moran's I μετρά τη χωρική αυτοσυσχέτιση (ομαδοποίηση ή διασπορά) με βάση την τοποθεσία και τις τιμές των μεταβλητών.
- Ο Τοπικός δείκτης Moran's I προσδιορίζει ομάδες υψηλών ή χαμηλών τιμών καθώς και χωρικά ακραίων σημείων, δεδομένου ενός συνόλου σταθμισμένων χαρακτηριστικών.

3.2.3. Πυκνότητα Kernel

Η Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Estimation - KDE) είναι μία ανάλυση της χωρικής κατανομής, σε σημειακά δεδομένα. Το εργαλείο Kernel Density υπολογίζει την πυκνότητα των χαρακτηριστικών/αντικειμένων σε μια γειτονιά γύρω από αυτά (Σχήμα 3.3). Υπολογίζει μία τιμή ανά μονάδα επιφάνειας από κάθε σημείο ή γραμμή χρησιμοποιώντας την τεχνική χωρικής παρεμβολής. Η τιμή της επιφάνειας είναι υψηλότερη στη θέση του σημείου και μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το σημείο φθάνοντας το μηδέν (Gibin, et al., 2007). Στα Γεωπληροφοριακά Συστήματα, το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας Kernel Density είναι ένα σύνολο δεδομένων raster, που κάθε κελί έχει μια τιμή πυκνότητας που είναι σταθμισμένη ανάλογα με την απόσταση από τα αρχικά χαρακτηριστικά/αντικείμενα (Longley, et al., 2005).



Σχήμα 3.3 Οπτικοποίηση της εφαρμογής του εργαλείου KDE. Τα χαρακτηριστικά/αντικείμενα (αριστερά) και η Kernel πυκνότητά τους (δεξιά). Πηγή: Kernel Density (ESRI)

3.2.4. Ανάλυση Ταξινόμησης

Η ταξινόμηση είναι μία διαδικασία κατά την οποία ξεχωριστά αντικείμενα-περιστατικά κατανέμονται σε κατηγορίες, όσο το δυνατόν αντικειμενικότερα, με βάση ορισμένα κριτήρια που καθορίζονται. Σε κάποιες περιπτώσεις, έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση παραγόντων σε συνδυασμό με τη χρήση στατιστικής ταξινόμησης. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση δεδομένων και προσπαθεί να δημιουργήσει “φυσικές” ομάδες δεδομένων. Αυτές οι ομάδες είναι ανεπηρέαστες, με την έννοια ότι δεν απαιτούνται εκ των προτέρων υποθέσεις, όπως συμβαίνει στις περισσότερες στατιστικές μεθόδους. Οι Tortum και Atalay (2015) πραγματοποίησαν ανάλυση παραγόντων σε συνδυασμό με τη χρήση στατιστικής ταξινόμησης για τον εντοπισμό μεταβλητών που έχουν στατιστικά σημαντική σχέση με τον αριθμό των οδικών ατυχημάτων.

3.2.5. Γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση

Η μέθοδος της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης είναι μια σύγχρονη μέθοδος χωρικής ανάλυσης, η οποία επιτρέπει την εξέταση τοπικών διακυμάνσεων σε χωρικές διεργασίες. Επιτρέπει τη βαθμονόμηση τοπικών μοντέλων επεκτείνοντας το παραδοσιακό πλαίσιο παλινδρόμησης (π.χ. τη γραμμική παλινδρόμηση) και υποστηρίζει την εκτίμηση τοπικών παραμέτρων ώστε να μπορεί να εξεταστεί κατά πόσο η σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης και ενός συνόλου ανεξάρτητων μεταβλητών είναι σταθερή ή μεταβάλλεται στο χώρο. Ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ο υπολογισμός του ιδανικότερου εύρους ζώνης με τη βοήθεια αλγορίθμου (Καλογήρου, 2015). Οι Pirdavani κ.ά. (2014) ανέπτυξαν μοντέλα πρόβλεψης σύγκρουσης χρησιμοποιώντας γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση. Διεξήχθη σε συνδυασμό με τον υπολογισμό του δείκτη Moran's I για επιλεγμένες μεταβλητές.

3.3. Συμπεράσματα

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Το πρώτο ερώτημα είναι εάν η μέθοδος είναι κατάλληλη για το διαθέσιμο τύπο δεδομένων. Πέραν αυτής της πρακτικής άποψης, είναι πρωταρχικής σημασίας η μέθοδος να αξιολογεί κατάλληλες μηδενικές και εναλλακτικές υποθέσεις (Waller και Gotway 2004). Πέρα από αυτά τα κριτήρια, στην περίπτωση της χωρικής ομαδοποίησης η ισχύς της επιλογής της κατάλληλης μεθόδου αναφέρεται στην πιθανότητα απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται και αναλύονται οι μέθοδοι και οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση των ατυχημάτων, στο περιβάλλον των ΓΣ, καθιστώντας το όλο σύστημα μέρος ενός συστήματος υποστήριξης χωρικών περιβαλλοντικών αποφάσεων, που αποτελεί και το τελευταίο στάδιο εξέλιξης ενός ΓΣ.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ή και χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό των πυρήνων των ατυχημάτων τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές, η εκλογή των οποίων επηρεάζει σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα χαρακτηριστικά των μεθόδων της χωρικής αυτοσυσχέτισης και της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, οι οποίες και θα αξιοποιηθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

4.1. Χωρική Αυτοσυσχέτιση - Ορισμός

Χωρική αυτοσυσχέτιση είναι η συσχέτιση μεταξύ των τιμών μιας μεταβλητής που οφείλεται αυστηρά στην εγγύτητα των τιμών αυτών στο γεωγραφικό χώρο, εισάγοντας μια απόκλιση από την υπόθεση ανεξάρτητων παρατηρήσεων της κλασικής στατιστικής (Griffith, 2003). Ως χωρική αυτοσυσχέτιση μπορεί να οριστεί η ύπαρξη ομοιότητας ή αλληλεξάρτησης ενός αντικείμενου με τα γειτονικά του αντικείμενα στο χώρο, δηλαδή χωρική αυτοσυσχέτιση υπάρχει όταν η τιμή μίας μεταβλητής, που αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη χωρική ενότητα, επηρεάζεται από τις τιμές της ίδιας μεταβλητής στις γειτονικές χωρικές ενότητες (Kitchin και Tate, 2000).

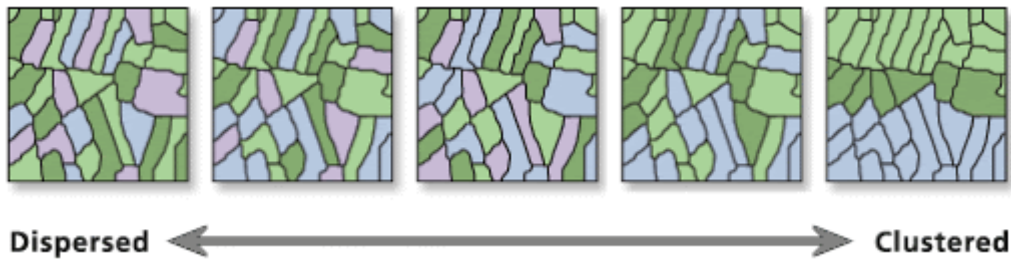
Η χωρική αυτοσυσχέτιση μπορεί να οριστεί και ως η σχέση μεταξύ των τιμών μιας ενιαίας μεταβλητής που προέρχεται από τη γεωγραφική ρύθμιση των περιοχών στις οποίες εμφανίζονται αυτές οι τιμές. Μετρά την ομοιότητα των δεδομένων μέσα σε μια περιοχή, τον βαθμό με τον οποίο ένα χωρικό φαινόμενο αυτοσυσχετίζεται στην περιοχή αυτή, το επίπεδο αλληλεξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών, τη φύση και τη δύναμη της αλληλεξάρτησης (Cliff και Ord 1973, 1981). Έτσι, η χωρική αυτοσυσχέτιση είναι μία αξιολόγηση της συσχέτισης μιας μεταβλητής αναφορικά με τη χωρική της θέση.

Η χωρική αυτοσυσχέτιση περιλαμβάνει και προσπαθεί να επιλύσει τριών ειδών προβλήματα:

- την ανάλυση προτύπου σημείων,
- την ανάλυση διαδικασιών, που δημιουργούν συνεχείς μεταβολές στο χώρο (Γεωστατιστική) και
- την ανάλυση φαινομένων, για τα οποία τα δεδομένα αναφέρονται σε πολύγωνα, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα εργαλεία χωρικής αυτοσυσχέτισης εξετάζουν εάν η παρατηρηθείσα τιμή μιας μεταβλητής σε μια περιοχή είναι ανεξάρτητη από τις τιμές της μεταβλητής στις γειτονικές τοποθεσίες. Η χωρική αυτοσυσχέτιση μπορεί να ταξινομηθεί είτε ως θετική, είτε ως αρνητική. Η θετική χωρική αυτοσυσχέτιση έχει όλες τις παρόμοιες τιμές να εμφανίζονται μαζί, ενώ η αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση έχει τις ανόμοιες τιμές να εμφανίζονται στην κοντινή απόσταση. Μια θετική χωρική αυτοσυσχέτιση αναφέρεται σε ένα χωρικό πρότυπο όπου γεωγραφικά χαρακτηριστικά των παρόμοιων τιμών τείνουν να ομαδοποιηθούν σε ένα χάρτη, ενώ μία αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση δείχνει ένα χωρικό πρότυπο στο οποίο οι χωρικές οντότητες των παρόμοιων τιμών διασκορπίζονται σε όλο το χάρτη (Σχήμα 4.1). Όταν η χωρική αυτοσυσχέτιση δεν έχει στατιστική σημαντικότητα, τότε το χωρικό πρότυπο κατανομής εμφανίζεται ως τυχαίο.

Όταν στην ευρύτερη περιοχή οι οντότητες λειτουργούν με την ίδια ένταση, τότε εντοπίζεται θετική αυτοσυσχέτιση, ενώ με την ύπαρξη αρνητικής αυτοσυσχέτισης εντοπίζονται περιοχές που διακόπτουν τη συνέχεια ενός φαινομένου και επομένως, ανάλογα με την ένταση των τιμών, οι περιοχές αυτές υστερούν ή υπερτερούν σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή. Και στις δύο περιπτώσεις, τα συμπεράσματα σχετίζονται με το χαρακτηρισμό αναγκαιότητας επέμβασης στην περιοχή.



Σχήμα 4.1 Χωρικά πρότυπα (Πηγή: ESRI Developer Network)

Για να υπολογιστεί ο συντελεστής χωρικής αυτοσυσχέτισης μιας μεταβλητής, πρέπει να συσχετιστούν οι τιμές αυτής της μεταβλητής για τα ζευγάρια όλων των παρατηρήσεων. Εντούτοις όμως, δε θα συσχετιστούν όλα τα ζευγάρια των τοποθεσιών, μόνο εκείνα που θεωρούνται γείτονες.

Η μέτρηση της συσχέτισης (ταυτόχρονη αλλαγή στην τιμή δύο αριθμητικά εκτιμημένων τυχαίων μεταβλητών) μεταξύ των γειτονικών παρατηρήσεων σε ένα πρότυπο γίνεται χρησιμοποιώντας το δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I. Ο δείκτης Moran's I ορίζεται ως το μέτρο συσχέτισης μεταξύ των γειτονικών παρατηρήσεων σε ένα σχέδιο (Boots και Getis, 1988).

4.1.1. Ο δείκτης μέτρησης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I

Ο δείκτης Moran's I είναι ένας από τους παλαιότερους και πιο κοινούς δείκτες που χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν την ύπαρξη χωρικής αυτοσυσχέτισης σε χωρικά δεδομένα μίας μεταβλητής. Σήμερα, ο δείκτης Moran's I είναι γνωστός από το εκτενές ερευνητικό έργο των Cliff και Ord (1973, 1981) που δημοσίευσαν εμπειριστατωμένες μελέτες για τη χωρική αυτοσυσχέτιση στα γεωγραφικά δεδομένα. Στις δημοσιεύσεις τους οι παραπάνω ερευνητές προτείνουν τη δική τους μαθηματική συνάρτηση υπολογισμού του δείκτη Moran's I που βασίζεται στους υπολογισμούς των "moments" του ερευνητή Moran (1948) και τον πρώτο ορισμό του δείκτη I (Moran, 1950), ο οποίος βασίστηκε στην ανάλυση του συντελεστή συσχέτισης Pearson. Ο δείκτης Moran's I αποτελείται από τον Ολικό ('Global') Δείκτη Moran's I και τον Τοπικό ('Local') Δείκτη Moran's I (Kalogirou, 2003).

Ολικός δείκτης Moran's I

Ο πρώτος ορισμός του δείκτη Moran's I για μια μεταβλητή X με τιμές x_i για κάθε χωρική οντότητα i , ο οποίος προτάθηκε από τον Moran είναι:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{2A \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

όπου n είναι ο αριθμός των χωρικών οντοτήτων (παρατηρήσεων), \bar{x} είναι ο μέσος των τιμών x_i , A είναι ο συνολικός αριθμός συνδέσεων στο σύστημα με βάση τη γειννίαση και w_{ij} είναι τα βάρη που ορίζονται με βάση τη χωρική εγγύτητα μεταξύ των παρατηρήσεων.

Ο μαθηματικός τύπος των Cliff και Ord (1973, 1981) που χρησιμοποιείται σήμερα για τον υπολογισμό του δείκτη Moran's I είναι:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_i \sum_j w_{ij} \right) \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

όπου n είναι ο αριθμός των χωρικών οντοτήτων (παρατηρήσεων) και w_{ij} είναι τα βάρη που ορίζονται με βάση τη χωρική εγγύτητα μεταξύ των παρατηρήσεων.

Ο ολικός δείκτης Moran's I παίρνει τιμές από -1 ως $+1$ και η ερμηνεία του είναι παρόμοια με αυτή του συντελεστή συσχέτισης (Rogerson 2010):

- Τιμές κοντά στο $+1$ υποδηλώνουν ισχυρή θετική χωρική αυτοσυσχέτιση (αναμένονται χωρικά πρότυπα στα οποία γειτονικές παρατηρήσεις τείνουν να έχουν παρόμοια υψηλές ή χαμηλές τιμές μιας μεταβλητής),
- Τιμές κοντά στο -1 υποδηλώνουν ισχυρή αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση (π.χ. υψηλές τιμές μιας μεταβλητής τείνουν να βρίσκονται κοντά σε χαμηλές τιμές)
- Τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν απουσία χωρικής αυτοσυσχέτισης και επομένως χωρικών προτύπων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι γενικά τα χωρικά δεδομένα τείνουν να έχουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση - ως απόρροια του πρώτου νόμου της γεωγραφίας- ενώ η αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση είναι σπάνια.

Ορισμός και υπολογισμός βαρών

Ο ορισμός και υπολογισμός των βαρών για τον υπολογισμό δεικτών, όπως ο Moran's I , βρίσκονται στο κέντρο της θεωρίας και μεθοδολογίας στη χωρική ανάλυση. Ο ορισμός απορρέει από τον πρώτο νόμο της γεωγραφίας δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα σε κοντινές μεταξύ τους παρατηρήσεις κατά τον υπολογισμό ενός στατιστικού μέτρου και εκμεταλλεύεται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των χωρικών δεδομένων: τη γεινίαση και την απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ορισμού των βαρών w_{ij} της εξίσωσης, οι οποίοι μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες: βάρη με βάση τη φυσική γεινίαση, βάρη με βάση την ευθεία απόσταση και βάρη με βάση τον αριθμό κοντινότερων γειτόνων. Σε καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις τα βάρη μπορεί να είναι δυαδικά (0 ή 1), κανονικοποιημένα ή να υπολογίζονται με βάση μια συνάρτηση αντίστροφη της απόστασης μεταξύ των παρατηρήσεων.

Τα πιο συχνά βάρη είναι τα δυαδικά όπου $w_{ij} = 1$, όταν η χωρική ενότητα i έχει κοινό σύνορο με τη χωρική ενότητα j και $w_{ij} = 0$ όταν δεν έχουν. Η γεινίαση ορίζεται με βάση τους τρεις τρόπους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Φυσικοί γείτονες μπορούν να οριστούν σε περιπτώσεις που τα δεδομένα αφορούν γεωγραφικές περιοχές που ορίζονται από πολύγωνα, όπως για παράδειγμα οι Δήμοι στην Ελλάδα. Στην "αργκό" της χωρικής αυτοσυσχέτισης χρησιμοποιούνται ονόματα από τα πιόνια του σκακιού: η βασίλισσα (Queen) που μπορεί να κάνει οριζόντιες, κάθετες και διαγώνιες κινήσεις στη σκακιέρα και ο πύργος (Rook) που μπορεί να κάνει μόνο οριζόντιες και κάθετες 40 κινήσεις. Αν δύο Δήμοι μοιράζονται ένα κοινό σύνορο με μήκος μεγαλύτερο του μηδενός τότε ορίζεται η γεινίαση τύπου πύργου (rook's contiguity), ενώ σε περίπτωση που δύο Δήμοι μοιράζονται μηδενικού μήκους σύνορο, δηλαδή έστω ένα σημείο στο χώρο, τότε ορίζεται η γεινίαση τύπου βασίλισσας (queen's contiguity). Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι με βάση τη δεύτερη περίπτωση ένας Δήμος μπορεί να έχει περισσότερους φυσικούς γείτονες απ' ό,τι στην πρώτη.

Ωστόσο, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις χωρικών δεδομένων που δεν υπάρχουν φυσικοί γείτονες. Στην περίπτωση των Δήμων για παράδειγμα, οι νησιωτικοί Δήμοι δεν έχουν κανένα φυσικό γείτονα. Γενικά τα δεδομένα με χωρική αναφορά σημεία, όπως για παράδειγμα οι θέσεις οδικών ατυχημάτων, επίσης δεν έχουν φυσικούς γείτονες. Στις περιπτώσεις αυτές, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός χωρικών δεικτών, οι γείτονες ορίζονται είτε με βάση την απόσταση (ευκλείδεια ή μέσω δικτύου), είτε ορίζεται ένας αριθμός κοντινότερων γειτόνων χωρίς όριο απόστασης. Αν οριστεί συγκεκριμένη απόσταση D τότε για κάθε παρατήρηση j που απέχει απόσταση d_{ij} από μια παρατήρηση i , το βάρος $w_{ij} = 1$ αν $d_{ij} \leq D$ και $w_{ij} = 0$ αν $d_{ij} > D$. Ο ορισμός βαρών αυτού του τύπου είναι πιο κατάλληλος σε περιπτώσεις πλεγμάτων δεδομένων όπου για κάθε παρατήρηση εξασφαλίζεται ένα ελάχιστος αριθμός γειτόνων ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του δείκτη.

Σε περιπτώσεις που οι χωρικές παρατηρήσεις δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στο χώρο, δηλαδή σε κάποιες περιοχές συγκεντρώνονται πολλά σημεία με μικρές αποστάσεις μεταξύ τους ενώ σε άλλα λίγα σημεία με μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους, είναι πιο κατάλληλος ο ορισμός βαρών με βάση τον αριθμό κοντινότερων γειτόνων. Σε αυτήν την περίπτωση ορίζεται ένας αριθμός κοντινότερων γειτόνων, π.χ. 6, ακολούθως για κάθε παρατήρηση i υπολογίζονται οι αποστάσεις από όλες τις άλλες παρατηρήσεις j , οι αποστάσεις ταξινομούνται από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη, βρίσκεται η έκτη κοντινότερη απόσταση (H_i) και το βάρος υπολογίζεται ως εξής $w_{ij} = 1$ αν $d_{ij} \leq H_i$ και $w_{ij} = 0$ αν $d_{ij} > H_i$. Το H_i σε αντίθεση με το D μεταβάλλεται για κάθε παρατήρηση i . Ο τελευταίος αυτός τρόπος ορισμού βαρών μπορεί να φαίνεται πιο πολύπλοκος, ωστόσο σε σχέση με όλους τους άλλους, εξασφαλίζει έναν ελάχιστο αριθμό γειτόνων για κάθε παρατήρηση και άρα εγγυάται τον ομαλό υπολογισμό του δείκτη Moran's I . Όπως επισημαίνουν οι Fotheringham et al. (2002), δεν υπάρχει τρόπος να βρεθεί ο βέλτιστος ή ιδανικός αριθμός κοντινότερων γειτόνων για τον υπολογισμό του δείκτη Moran's I . Ως εκ τούτου, συστήνεται κατά τον υπολογισμό του δείκτη Moran's I να δοκιμάζονται διαφορετικοί τρόποι ορισμού βαρών, και διαφορετικοί αριθμοί κοντινότερων γειτόνων, ώστε να εξετάζεται η ευαισθησία της τιμής και σημαντικότητας του δείκτη σε διαφορετικές σταθμίσεις των χωρικών δεδομένων.

Τα κανονικοποιημένα βάρη (standardised weights) ορίζονται με διαίρεση κάθε βάρους με το άθροισμα των βαρών, δηλαδή $w_{ij}^* = w_{ij} / \sum_j w_{ij}$, με αποτέλεσμα το άθροισμά τους να ισούται με τη μονάδα (Rogerson, 2010). Εναλλακτικά, τα βάρη μπορούν να οριστούν με βάση μια συνάρτηση αντίστροφη της απόστασης d_{ij} μεταξύ των παρατηρήσεων i και j , όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ορισμού βαρών με βάση τους κοντινότερους γείτονες, οι οποίοι ορίζονται με την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων. Παραδείγματα συναρτήσεων υπολογισμού βαρών είναι $w_{ij} = d_{ij}^{-\beta}$ και $w_{ij} = e^{-\beta d_{ij}}$, όπου ο εκθέτης β παίρνει συνήθως τιμές 1 ή 2 (Rogerson, 2010).

Αξιολόγηση στατιστικής σημαντικότητας του δείκτη Moran's I

Για να αξιολογηθεί αν ο δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός ή όχι έχει αναπτυχθεί ένα θεωρητικό πλαίσιο που επιτρέπει να φανεί αν ο δείκτης Moran's I υποδηλώνει μια συγκεκριμένη χωρική κατανομή των χωρικών δεδομένων που δεν είναι τυχαία. Σύμφωνα με τον Rogerson (2010), αν ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι αρκετά μεγάλος, η κατανομή των δειγματικών I , υπό την υπόθεση ότι τα χωρικά δεδομένα είναι τυχαία κατανεμημένα στο χώρο, προσεγγίζει την κανονική κατανομή, και ο μέσος και η διακύμανση του I μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον ορισμό ενός στατιστικού μέτρου Z ως εξής:

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

όπου τα $E[I]$ και $V[I]$ είναι αντίστοιχα η αναμενόμενη μέση τιμή και διακύμανση του I όταν η μηδενική υπόθεση τυχαίας κατανομής των χωρικών οντοτήτων είναι αληθής. Ουσιαστικά γίνεται ένας έλεγχος υποθέσεων με μηδενική υπόθεση $H_0 = 0$ ότι ο δείκτης Moran's I είναι 0, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποιο χωρικό πρότυπο στα δεδομένα και άρα αυτά είναι τυχαία κατανεμημένα στο χώρο, έναντι της αμφίδρομης εναλλακτικής υπόθεσης $H_1 \neq 0$ όπου ο δείκτης Moran's I δεν είναι 0, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα δεδομένα δεν είναι τυχαία κατανεμημένα στο χώρο και εμφανίζουν συγκριμένα χωρικά πρότυπα ή έχουν συγκεκριμένη χωρική δομή και κατανομή.

Έχουν προταθεί διάφοροι κανόνες πρακτικής σχετικά με το πόσο μεγάλος πρέπει να είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων. Ένας αριθμός μεγαλύτερος του 16 (Cliff και Ord 1973) ή 20 (Rogerson 2010) μπορεί να θεωρηθεί ικανός θεωρητικά, ωστόσο καλό είναι κατά την εφαρμογή σε πραγματικά δεδομένα ο αριθμός των παρατηρήσεων να είναι αρκετά μεγαλύτερος (>30 ή >100). Αν το στατιστικό μέτρο Z που θα υπολογιστεί είναι μεγαλύτερο του +1,96 ή μικρότερο

του -1,96 σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$ (95%), τότε απορρίπτεται η H_0 , επομένως ο σχετικός δείκτης Moran's I μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντικός.

Ο Goodchild (1988) αναφέρει δύο θεωρητικά πλαίσια υποθέσεων για την εκτίμηση της σημαντικότητας του δείκτη Moran's I: την υπόθεση τυχαιοποίησης (randomization hypothesis) σύμφωνα με την οποία για τη δημιουργία ενός δείγματος λαμβάνεται κάθε φορά μια θεωρητικά ανεξάρτητη παρατήρηση από ένα θεωρητικά άπειρο πληθυσμό, η οποία αφαιρείται από αυτόν, και την υπόθεση αναδειγματοληψίας (resampling hypothesis) σύμφωνα με την οποία είναι δυνατό να δημιουργηθούν πολλά δείγματα παρατηρήσεων από έναν πληθυσμό όπου κάθε παρατήρηση αφού επιλεγεί για το κάθε δείγμα επιστρέφει στον πληθυσμό.

Με βάση την υπόθεση τυχαιοποίησης τα παραπάνω στατιστικά $E[I]$ και $V[I]$ υπολογίζονται ως εξής (Rogerson 2010):

$$E[I] = \frac{-1}{n-1}$$

$$V[I] = \frac{n^2(n-1)S_1 - n(n-1)S_2 + 1(n-2)S_0^2}{(n+1)(n-1)^2S_0^2}$$

όπου

$$S_0 = \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}$$

$$S_1 = 0,5 \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$$

$$S_2 = \sum_k^n \left(\sum_j w_{kj} + \sum_i w_{ik} \right)^2$$

Τοπικός δείκτης Moran's I

Ο Anselin (1995) προτείνει τη χωρική αποδόμηση των ολικών δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης και τον ορισμό τοπικών δεικτών χωρικής σχέσης (local indicators of spatial association – LISA) όπως ο τοπικός δείκτης Moran's I. Ο τοπικός δείκτης I_i μιας μεταβλητής X , με τιμές x_i για κάθε χωρική οντότητα i και μέσο \bar{x} ορίζεται ως εξής (Anselin 1995):

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{m_2} \sum_{j=1}^k w_{ij} (x_j - \bar{x}), \quad j \neq i$$

όπου $m_2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n$. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή m_2 είναι σταθερή για όλα τα τοπικά I_i μιας μεταβλητής. Ο αριθμός των μη μηδενικών βαρών ισούται με τον αριθμό γειτόνων που ορίζονται με τους ίδιους εναλλακτικούς τρόπους όπως και στον ολικό δείκτη Moran's I.

Η ερμηνεία του τοπικού δείκτη Moran I_i είναι ουσιαστικά η ίδια με αυτή του ολικού δείκτη I . Η θετική τιμή του τοπικού I_i υποδεικνύει χωρική συγκέντρωση παρόμοιων τιμών (χαμηλών ή υψηλών) ενώ η αρνητική τιμή του I_i υποδεικνύει χωρική συγκέντρωση ανόμοιων τιμών, για

παράδειγμα μια τοποθεσία με υψηλή τιμή που περιβάλλεται από γείτονες με χαμηλές τιμές (Anselin, 1995).



Σχήμα 4.2 Απεικόνιση ανάλυσης “Cluster and Outlier” (Πηγή: ESRI)

Στην περίπτωση του τοπικού δείκτη Moran's I δεν ισχύει το όριο -1 ως $+1$ στην τιμή του, αλλά ο δείκτης μπορεί να λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από $+1$ και μικρότερες από -1 . Παράλληλα με τον υπολογισμό του ολικού και των τοπικών δεικτών Moran's I, μπορεί να δημιουργηθεί το διάγραμμα διασποράς του Moran στο οποίο προβάλλονται σε σύστημα δύο αξόνων τα ζεύγη τιμών που αφορούν την κανονικοποιημένη τιμή της μεταβλητής (z-score) που μελετάται και την κανονικοποιημένη τιμή του αθροίσματος των τιμών των γειτόνων σταθμισμένων με τα αντίστοιχα βάρη. Με βάση το συνδυασμό των προσήμων των τιμών των ζευγών αυτών και το επίπεδο σημαντικότητας των τοπικών δεικτών Moran's I, είναι δυνατή η δημιουργία του χάρτη χωρικών προτύπων (Σχήμα 4.2). Πρόκειται για ένα θεματικό χάρτη όπου κάθε χωρική οντότητα έχει ταξινομηθεί σε μία από τις παρακάτω πέντε κατηγορίες:

- Υψηλή – Υψηλή (High – High) που αφορά σε χωρικές οντότητες με υψηλή τιμή που συνορεύουν με οντότητες με επίσης υψηλές τιμές της υπό μελέτη μεταβλητής.
- Χαμηλή – Χαμηλή (Low – Low) που αφορά σε χωρικές οντότητες με χαμηλή τιμή που συνορεύουν με οντότητες με επίσης χαμηλές τιμές της υπό μελέτη μεταβλητής.
- Χαμηλή – Υψηλή (Low – High) που αφορά σε χωρικές οντότητες με χαμηλή τιμή που συνορεύουν με οντότητες με υψηλές τιμές της υπό μελέτη μεταβλητής.
- Υψηλή – Χαμηλή (High – Low) που αφορά σε χωρικές οντότητες με υψηλή τιμή που συνορεύουν με οντότητες με χαμηλές τιμές της υπό μελέτη μεταβλητής.
- Μη στατιστικά σημαντικό τοπικό δείκτη Moran's I.

4.2. Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση ή ανάλυση σε κατηγορίες-ομάδες (classification), είναι η διαδικασία κατά την οποία ξεχωριστά αντικείμενα-περιστατικά κατανέμονται σε κατηγορίες, όσο το δυνατόν αντικειμενικότερα, με βάση τα κριτήρια που καθορίζονται. Ο στόχος είναι προφανής, η αντιμετώπιση των ομάδων με τους ίδιους νόμους και κανόνες (Johnston, 1977). Η ταξινόμηση μπορεί να είναι επιβλεπόμενη ή μη επιβλεπόμενη.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised classification ή Cluster analysis) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση δεδομένων και προσπαθεί να δημιουργήσει “φυσικές” ομάδες δεδομένων. Αυτές οι ομάδες είναι ανεπηρέαστες, με την έννοια ότι δεν απαιτούνται εκ των προτέρων υποθέσεις, όπως συμβαίνει στις περισσότερες στατιστικές μεθόδους. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι ένα εργαλείο περιγραφής και εξερεύνησης των δεδομένων. Είναι μια μέθοδος που καθοδηγείται από τα δεδομένα (data driven). Το μόνο που απαιτείται από τον χρήστη είναι ο καθορισμός του αριθμού των τάξεων.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει χρησιμοποιηθεί από πολύ νωρίς σε προβλήματα γεωγραφικής ανάλυσης. Τα καλύτερα παραδείγματα χρήσης της αναφέρονται στον προσδιορισμό κλιματικών περιφερειών ή στον προσδιορισμό ομοιογενών ζωνών κοινωνικοοικονομικών δεδομένων που προέρχονται συνήθως από απογραφές πληθυσμού (Johnston, 1977, Γιαουτζή, 1982). Επίσης χρησιμοποιείται κατά κόρον στην εύρεση των φασματικών τάξεων σε δορυφορικές πολυφασματικές εικόνες, όταν δεν υπάρχουν δείγματα εδάφους (Αργιαλάς, 1994).

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο κατάλληλη για τον προσδιορισμό των πυρήνων ατυχημάτων, καθώς η συμμετοχή των χαρακτηριστικών που απαρτίζουν αυτές τις περιφέρειες στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή, για όλη την περιοχή μελέτης, ώστε να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος που αξιοποιεί την υπάρχουσα γνώση.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι διαφορετικές μέθοδοι ταξινόμησης οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα, και οι διαφορές αυτές μπορεί να είναι μεγάλες. Επίσης, όπως οι Openshaw & Gillard (1978) απέδειξαν, τα αποτελέσματα μπορεί να επηρεαστούν από τους αλγόριθμους υλοποίησης της ίδιας μεθόδου. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου είναι δύσκολο καθήκον, καθώς δεν υπάρχει μία μέθοδος που να είναι ακριβέστερη από όλες τις άλλες. Ο ορισμός της βέλτιστης μεθόδου ταξινόμησης εξαρτάται από τον σκοπό της. Επίσης δεν υπάρχει κάποιο στατιστικό εργαλείο που να αποφασίζει γενικά για την καταλληλότητα των μεθόδων. Επιπλέον, ο αριθμός των τάξεων αποτελεί μια άλλη εξαιρετικά σημαντική απόφαση, η οποία επηρεάζει και την ακρίβεια της ταξινόμησης.

Σύμφωνα με τον Openshaw (1997) μια ιδανική μέθοδος μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Δεν θα πρέπει να επιβάλλει μια ειδικά διαμορφωμένη δομή ή μορφολογικό πρότυπο στα δεδομένα, αλλά να ανταποκρίνεται στο πρότυπο των δεδομένων.
- Είναι σημαντικό να διατηρείται η ασάφεια, κάποιες περιοχές μπορεί να είναι μεταξύ των διαφόρων τάξεων και αυτό πρέπει να διατηρείται.
- Πρέπει να είναι ικανή να διαχειρίζεται δεδομένα με θόρυβο.
- Πρέπει να χρησιμοποιεί τεχνικές προεπεξεργασίας των δεδομένων στον μικρότερο δυνατό βαθμό, καθώς δεν είναι λογικό να αναμένουμε από τα δεδομένα να αποκαλύψουν τη δομή τους, εάν παραλλαχθούν μαζικά από μετασχηματισμούς σύμφωνα με την απαίτηση κάποιας μεθόδου.
- Πρέπει να έχει επαρκή ευκαμψία, δηλαδή να αποκαλύπτει τη φυσική δομή των δεδομένων, αν υπάρχει, χωρίς αυτή να είναι γνωστή εξ αρχής.
- Πρέπει να έχει την ικανότητα να προσδιορίζει τον βέλτιστο αριθμό τάξεων και να επιτυγχάνει συνολικά ικανοποιητικά αποτελέσματα χωρίς να χάνει κάποια τοπικά ακρότατα.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι οι οποίες επιτυγχάνουν μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπως η παραδοσιακά χρησιμοποιούμενη στατιστική, η λογική της ασάφειας, τα νευρωνικά δίκτυα καθώς και ο συνδυασμός των δυο τελευταίων με την ενδεχόμενη χρήση γενετικών αλγορίθμων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα χαρακτηριστικά της στατιστικής ταξινόμησης καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της.

Η στατιστική ταξινόμηση είναι η πιο συνήθης μέθοδος, σε σχέση με τις υπόλοιπες. Υπάρχουν αρκετές στατιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για το συνδυασμό διαφόρων "περιπτώσεων" σε κατηγορίες είναι η ιεραρχική, κατά την οποία υπάρχει η δυνατότητα η κατηγοριοποίηση να πραγματοποιηθεί, είτε με τη χρήση της σωρευτικής (agglomerative) μεθόδου, είτε με τη χρήση της διαιρετικής (divisive) μεθόδου. Στην πρώτη περίπτωση, στο πρώτο βήμα όλες οι "περιπτώσεις" θεωρούνται ως αυτόνομες ομάδες και ομαδοποιούνται στα επόμενα βήματα, σύμφωνα με κάποιο μέτρο ομοιότητας με δοσμένα κριτήρια, ενώ στη δεύτερη μέθοδο, αρχικά όλες οι "περιπτώσεις" θεωρείται ότι αποτελούν μία ομάδα η οποία σε διαδοχικά βήματα διασπάται σε επιμέρους μέχρι κάθε "περίπτωση" να αποτελέσει μία ομάδα. Η ιδεατή περίπτωση θα ήταν να προσδιοριστεί ο κάθε δυνατός συνδυασμός και μετά να αποφασισθεί ποιος είναι ο καλύτερος για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Αλλά αυτό είναι αδύνατο εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των περιπτώσεων.

Η μέθοδος αυτή παράγει ένα ενδιάμεσο αποτέλεσμα που υποβοηθά το χρήστη να αποκαλύψει τον ουσιαστικό αριθμό των τάξεων των δεδομένων. Το ενδιάμεσο αποτέλεσμα είναι το ιστορικό των συγχωνεύσεων, το οποίο απεικονίζεται με τη μορφή ενός δένδρουγράμματος, στο οποίο φαίνονται οι αποστάσεις μεταξύ των κέντρων για τις οποίες οι συσσωρεύσεις έχουν συγχωνευθεί.

Προκειμένου να βρεθεί πότε δύο "περιπτώσεις" μπορούν να μορφώσουν μία κατηγορία μελετάται η "απόσταση" μεταξύ τους. Ένας διαδεδομένος τρόπος εύρεσης της "απόστασης" στις ιεραρχικές μεθόδους, είναι η χρήση της τετραγωνικής Ευκλείδειας απόστασης, η οποία για N γεωγραφικά επίπεδα και δυο κανάβους έχει ως εξής:

$$\begin{aligned}d_2(x_1, x_2) &= |x_1 - x_2| = \{(x_1 - x_2)t(x_1 - x_2)\}^{\frac{1}{2}} = \\ &= [(x_{11} - x_{21})^2 + (x_{12} - x_{22})^2 + \dots + (x_{1n} - x_{2n})^2]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

Άλλη μέθοδος μέτρησης της απόστασης είναι αυτή που βασίζεται στην απόλυτη διαφορά (απόσταση οικοδομικού τετραγώνου), η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$d_1(x_1, x_2) = [(x_{11} - x_{21}) + (x_{12} - x_{22}) + \dots + (x_{1n} - x_{2n})]$$

Επίσης υπάρχει η απόσταση Mahalanobis, ενώ θα μπορούσε να οριστεί μια καινούργια απόσταση από τον εκάστοτε χρήστη.

Για να εκτιμηθεί η ποιότητα των ομαδοποιήσεων απαιτείται ο ορισμός ενός κατάλληλου κριτηρίου ποιότητας της ομαδοποίησης. Τέτοιο μέτρο αποτελεί η ελαχιστοποίηση του ολικού τετραγωνικού σφάλματος το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$Y = \sum_{C_i} \sum_{X \in C_i} (x - m_i)t(x - m_i)$$

όπου m_i είναι ο μέσος όρος της i τάξης και $X \in C_i$ είναι ένα στοιχείο που έχει αποδοθεί στην τάξη C_i .

Υπάρχουν και άλλα μέτρα της ποιότητας της ταξινόμησης, όπως η ενδοδιασπορά και η εντροπία της κάθε τάξης.

Ένας από τους συχνά χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους, ιδίως στην ταξινόμηση εικόνων είναι ο αλγόριθμος επαναληπτικής βελτιστοποίησης των συσσωρεύσεων (ISODATA), ο οποίος υλοποιείται με τα ακόλουθα βήματα (Αργιαλάς, 1994):

1. Αρχικές τιμές. Ο αλγόριθμος αρχίζει με την επιλογή του αριθμού των συσσωρεύσεων A , και C σημείων του πολυφασματικού χώρου προτύπων που θα χρησιμεύσουν ως υποψήφια κέντρα συσσώρευσης. Ας καλέσουμε τα κέντρα των αρχικών συσσωρεύσεων:

$$\underline{m}_i, \text{ με } i = 1, \dots, C$$

Η επιλογή των κέντρων \underline{m}_i , σ' αυτό το στάδιο, είναι αυθαίρετη με εξαίρεση ότι οποιοδήποτε ζευγάρι δεν μπορεί να αποτελείται από τα ίδια κέντρα. Είναι σκόπιμο η επιλογή των κέντρων να γίνει κατά τρόπο ομοιόμορφο, μέσα από τα δεδομένα, έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία ανώμαλων συσσωρεύσεων και να συντομευθεί η σύγκλιση του αλγόριθμου.

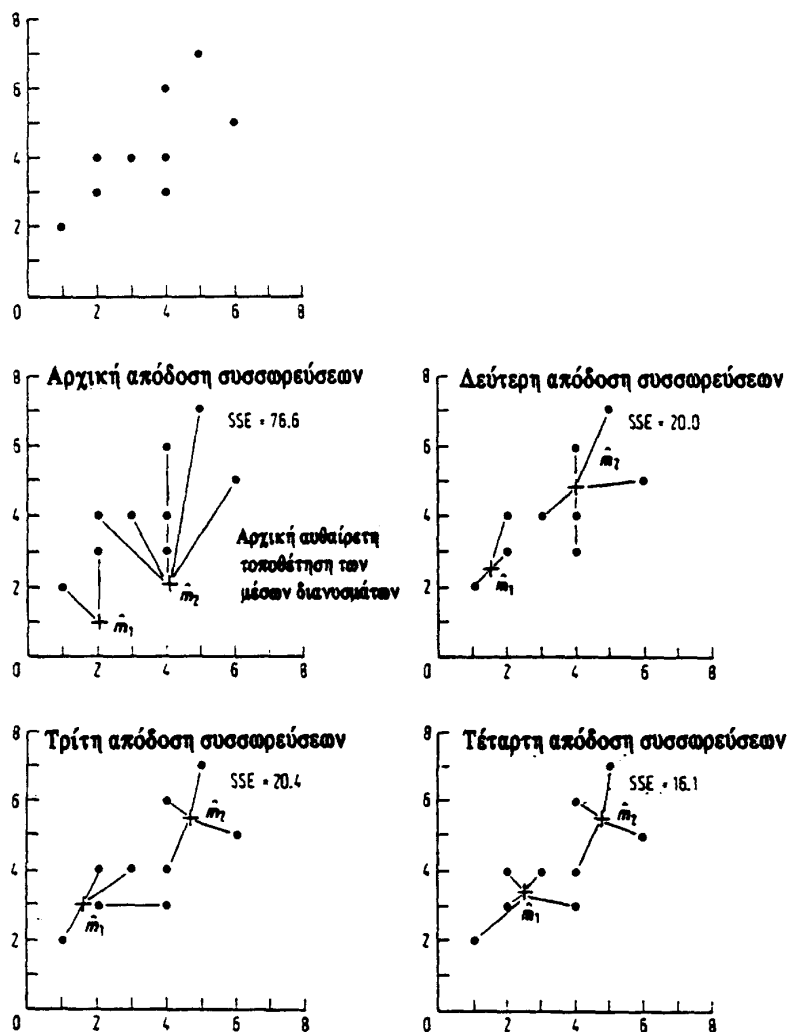
2. Η θέση x του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας εξετάζεται και το στοιχείο αποδίδεται στην εγγύτερη υποψήφια συσσώρευση. Ο εγγύτερος γείτονας βρίσκεται με βάση την ευκλείδεια απόσταση ή την απόλυτη διαφορά των κέντρων.

3. Υπολογίζονται τα κέντρα (μέσοι) των νέων συσσωρεύσεων:

$$m_i, \text{ με } i = 1, \dots, C$$

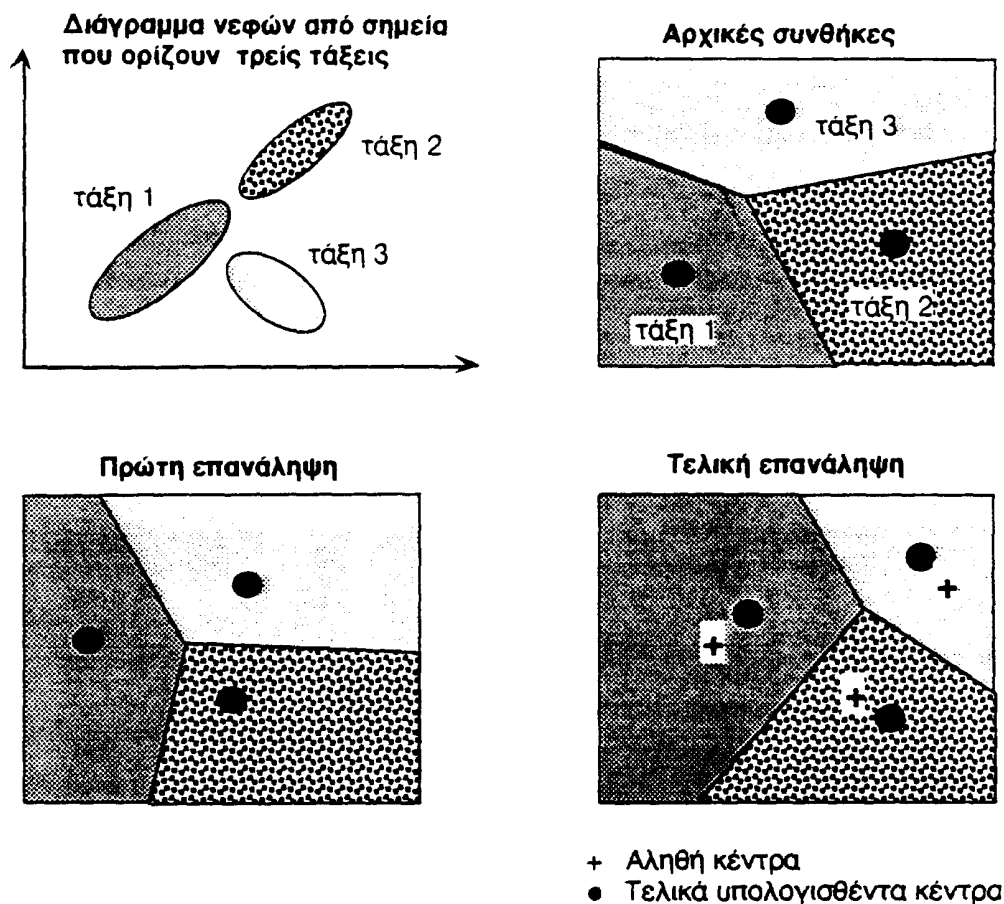
4. Αν $m_i = \underline{m}_i$, για κάθε i , ο αλγόριθμος τερματίζεται. Αλλιώς, τα \underline{m}_i επανορίζονται με τις τρέχουσες τιμές των m_i , και ο αλγόριθμος επιστρέφει στο βήμα (2).

Μια απλή μορφή του αλγόριθμου της επαναληπτικής βελτιστοποίησης δίνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 4.3. Όπως φαίνεται η μέθοδος οδηγεί προς τη σταδιακή ελάττωση του ολικού τετραγωνικού σφάλματος.



Σχήμα 4.3 Σχηματική απεικόνιση των σταδίων του αλγόριθμου ISO-DATA (Αργιαλάς, 1994)

Το Σχήμα 4.4 δείχνει μία εφαρμογή του αλγόριθμου των K-κέντρων (K-means), που αποτελεί τον πιο δημοφιλή αλγόριθμο, σε ένα δισδιάστατο σύνολο δεδομένων. Τα δεδομένα αποτελούνται από τρεις κανονικές κατανομές με διαφορετικά μέσα διανύσματος και πίνακες συμμεταβλητότητας. Στο πρώτο βήμα του αλγόριθμου καθορίζεται ένα αρχικό μέσο διάνυσμα για την κάθε τάξη. Ο κάθε κλάσος αποδίδεται στον εγγύτερο μέσο και έτσι σχηματίζονται οι πρώτες διαχωριστικές επιφάνειες, υπολογίζονται νέα μέσα διανύσματα από το αποτέλεσμα της προηγούμενης ταξινόμησης και οι κλάσοι αποδίδονται στις νέες τάξεις με τις νέες διαχωριστικές επιφάνειες. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην υπάρχει σημαντική διαφορά από επανάληψη σε επανάληψη. Ο αλγόριθμος δεν επηρεάζεται από την επιλογή των αρχικών μέσων διανυσμάτων. Αν τα μέσα διανύσματα που επιλέγονται αρχικά δεν είναι κοντά στα τελικά μέσα διανύσματα προφανώς θα χρειάζονται περισσότερες επαναλήψεις για τη σύγκλιση του αλγόριθμου.



Σχήμα 4.4 Γραφική απεικόνιση του αλγόριθμου K-κέντρα (Αργιαλάς, 1994)

Στις μεθόδους που αναφέρθηκαν, μετά από κάθε βήμα, οι ομάδες αντικαθίστανται από τα κεντροειδή τους και οι νέες αποστάσεις υπολογίζονται με βάση τα νέα κέντρα. Αρκετοί ερευνητές προτείνουν διάφορες άλλες μεθόδους υπολογισμού των ομάδων (Lance και Williams, 1967). Αυτές περιλαμβάνουν:

- Τον υπολογισμό των καινούριων ομάδων με βάση τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ ενός σημείου μιας ομάδας και του πιο απομακρυσμένου από την άλλη. Η μέθοδος αυτή δίνει έμφαση στις διαφορές μεταξύ των ομάδων.
- Τον υπολογισμό των καινούριων ομάδων με βάση τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των σημείων δυο ομάδων.
- Τον υπολογισμό των καινούριων ομάδων με βάση τη συνολική απόσταση ενός σημείου της ομάδας από όλα τα σημεία των άλλων ομάδων. Ένα σημείο αντιστοιχίζεται σε μια ομάδα μόνο αν είναι κοντινό σε σχέση με όλα τα σημεία της ομάδας αυτής. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ "συντηρητική".

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που αποσκοπούν στην ελάττωση των δεδομένων πριν αυτά εισαχθούν στον αλγόριθμο ταξινόμησης. Μια από αυτές είναι η ανάλυση παραγόντων (factor analysis) η οποία αποβλέπει στην αντικατάσταση των N αρχικών μεταβλητών από M λιγότερες, νέες μεταβλητές που συγκρατούν την χρήσιμη πληροφορία. Πρακτικά οι καινούριες μεταβλητές μπορεί να αποτελούν το 20% των παλιών. Στη δεκαετία του 1970 διεξάχθηκαν αρκετές οικολογικές έρευνες βασισμένες στην ανάλυση παραγόντων. Η μέθοδος όμως αυτή δεν είναι σήμερα ιδιαίτερα χρήσιμη. Ειδικότερα οι νέοι παράγοντες καθρεφτίζουν την εκλογή των αρχι-

κών, δεν εξηγούνται γεωγραφικά και η διαδικασία της ονοματολογίας των νέων παραγόντων είναι υποκειμενική και δύσκολη (Openshaw, 1996).

Ένα σημαντικό μειονέκτημα σε σχέση με τους στατιστικούς αλγόριθμους ταξινόμησης, είναι ότι κάθε σημείο στο X είναι μονοσήμαντα ομαδοποιημένο με άλλα μέλη της δικής του ομάδας και έτσι δεν έχει εμφανή ομοιότητα με άλλα μέλη του X . Ένα άλλο πρόβλημα είναι η παρουσία σημείων που δεν μπορούν εύκολα να ομαδοποιηθούν ή βρίσκονται εκτός. Εκτρεπόμενα σημεία μπορεί να είναι πραγματικά εκτός, να είναι θόρυβος (noise) ή απλά να οφείλονται σε μετρητικά λάθη. Πάντως ιδιορρυθμίες αυτού του τύπου μπορούν να προκαλέσουν δυσκολίες στους στατιστικούς αλγόριθμους. Ένα άλλο μειονέκτημα των στατιστικών αλγόριθμων είναι ότι μπορεί να κολλήσουν σε ένα τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο, ενώ τα δεδομένα υποτίθεται ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι στατιστικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης προέρχονται από τη δεκαετία του 1960 ή του 1970 όταν οι Η/Υ ήταν αρκετά πιο αργοί και ο χρόνος υπολογισμού είχε μεγάλο κόστος. Για αυτό τον λόγο αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου και του κόστους της επεξεργασίας. Αυτοί οι παράγοντες δεν είναι πια περιοριστικοί.

Σε αντίθεση με τη στατιστική ταξινόμηση, οι μέθοδοι της τεχνητής νοημοσύνης διαχειρίζονται με μεγαλύτερη επιτυχία πολλά από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν, αλλά η χρήση τους ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

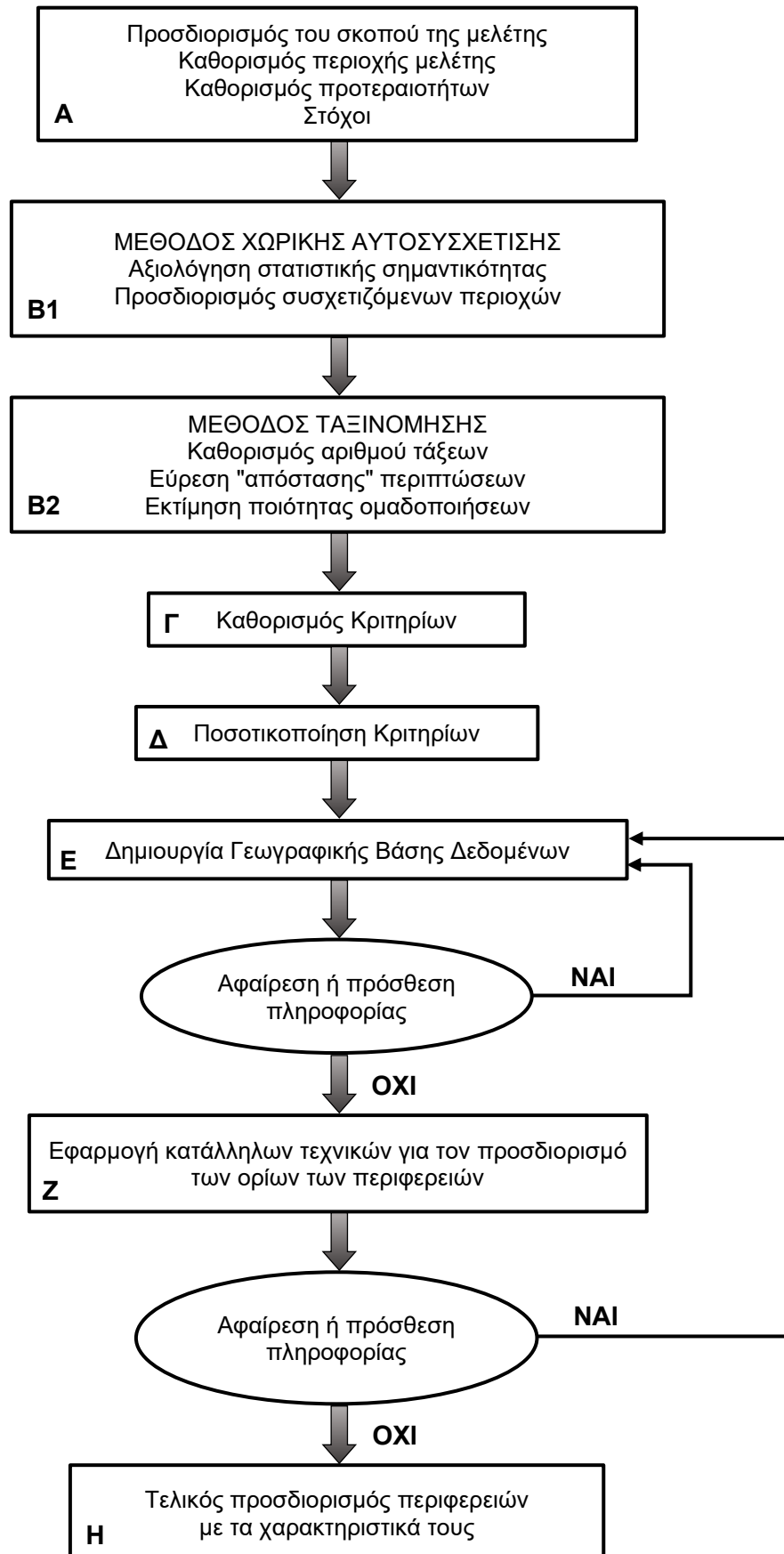
Η διαδικασία του προσδιορισμού των περιοχών υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων, με τη χρήση των ΓΣ και των μεθόδων της χωρικής αυτοσυσχέτισης μέσω του δείκτη Moran's I και της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, μπορεί να αποδοθεί με μια σειρά από βήματα, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

4.3. Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Σκοπός της χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι να εντοπίσει τις περιοχές εκείνες που έχουν ξεχωριστή θέση για την ευρύτερη περιοχή τους. Αρχικά, μελετάται ο ολικός δείκτης Global Moran's I, ο οποίος δίνει μια γενικότερη εικόνα για την αυτοσυσχέτιση σε όλη την περιοχή μελέτης, και στη συνέχεια ο τοπικός δείκτης Local Moran's I, ο οποίος ξεχωρίζει τις περιοχές που έχουν διαφορετικές τιμές από τις γειτονικές τους και αποτελούν δυναμικές ή αδύναμες περιοχές για κάθε μεταβλητή.

Ο υπολογισμός του δείκτη πραγματοποιείται με την είσοδο του ονόματος της μεταβλητής και το είδος της απόστασης στον αλγόριθμο. Η ανάλυση αυτή για τις επιλεγμένες μεταβλητές, εντοπίζει κάθε φορά έναν αριθμό αντικειμένων που είναι στατιστικά σημαντικά. Αυτό είναι το πρώτο στάδιο στη διαδικασία προσδιορισμού περιοχών που παρουσιάζουν συσχέτιση ως προς κάποιο δεδομένο. Το δεύτερο στάδιο είναι η ανάλυση ταξινόμησης, η οποία λαμβάνει χώρα στα περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμβάντων.

Η διαδικασία της ταξινόμησης εξαρτάται από τον καθορισμό των στόχων της μελέτης (Σχήμα 4.5). Τα περιγραφικά χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν και η διαδικασία προσδιορισμού των περιοχών-τάξεων εξαρτώνται από τους αντικειμενικούς στόχους που καθορίζονται κατά τη διάρκεια του αρχικού αυτού σταδίου. Μετά τον καθορισμό των προτεραιοτήτων, θα πρέπει να αποσαφηνιστούν τα αποτελέσματα. Με τη συγκεκριμενοποίηση των αποτελεσμάτων, χρειάζεται να αποφασισθεί η πληροφορία που θα εκπληρώσει τις ανάγκες της ανάλυσης. Για αυτό αναζητούνται γεωγραφικά δεδομένα αλλά και περιγραφικά χαρακτηριστικά για τους παράγοντες που εκτιμάται ότι επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Σε αυτό το στάδιο αποφασίζεται η πηγή των δεδομένων, η διαχωριστική τους ικανότητα και ελέγχεται η ποιότητα τους.



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα καθορισμού στόχων μελέτης

Στο επόμενο στάδιο λαμβάνει χώρα η ποσοτικοποίηση των δεδομένων. Στις μεταβλητές που βρίσκονται σε ποσοτική κλίμακα μέτρησης δεν χρειάζεται καμία επεξεργασία. Τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν ως έχουν στο σύστημα. Όσον αφορά στις μεταβλητές σε ποιοτική κλίμακα, στην απλούστερη περίπτωση θα μπορούσε να αντιστοιχηθεί ένας κωδικός σε κάθε κατηγορία, ή στην πιο σύνθετη απαιτείται η ιεράρχηση των τάξεων για κάθε μεταβλητή. Τέλος, τα γεωγραφικά δεδομένα κωδικοποιούνται και αποτελούν την τελική γεωγραφική βάση στην οποία θα βασιστεί η ανάλυση.

Είναι πιθανό πρόσθετες ή διαφορετικές πληροφορίες να χρειαστούν αργότερα για τη διαδικασία της ανάλυσης. Όσο πιο συγκεκριμένοι είναι οι αντικειμενικοί στόχοι, τόσο λιγότερες θα είναι οι πρόσθετες πληροφορίες. Μετά τη συμπλήρωση της γεωγραφικής και περιγραφικής βάσης δεδομένων με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων και τεχνικών, όπως αυτές αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο ακολουθεί το στάδιο του προσδιορισμού των ορίων των ομοιογενών περιοχών. Η διαδικασία της περιφεραιοποίησης, με τον αλγόριθμο K-Means δε λαμβάνει υπόψη της, τουλάχιστον άμεσα, το γεωγραφικό χώρο.

Μετά και από το στάδιο του τελικού καθορισμού των ορίων, δημιουργείται ο τελικός χάρτης, καθώς και η περιγραφή των χαρακτηριστικών τιμών των μεταβλητών για κάθε περιφέρεια, που προκύπτει από την επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων (Χάρτης 46). Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τους μέσους όρους των τιμών των μεταβλητών που έλαβαν μέρος στην ταξινόμηση για κάθε τάξη, όπως αυτές προκύπτουν από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, καθώς επίσης συγκρίνοντας τις χωρικές κατανομές της κάθε μεταβλητής με τις περιφέρειες που προκύπτουν, γίνεται η απόδοση των χαρακτηριστικών τους.

4.5. Συστήματα Υποστήριξης Χωρικών Αποφάσεων για την Ανάλυση των Ατυχημάτων

Ο προσδιορισμός των ορίων των ομοιογενών περιφερειών, μέσω των μεθοδολογιών που περιγράφηκαν παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Σύστημα Υποστήριξης Χωρικών Αποφάσεων-ΣΥΧΑ). Τα ΣΥΧΑ έχουν σχεδιαστεί ακριβώς για την παροχή στον χρήστη ενός περιβάλλοντος λήψης αποφάσεων που παρέχει τη δυνατότητα να διεξάγεται με ευέλικτο τρόπο η ανάλυση της γεωγραφικής πληροφορίας. Τα συστήματα αυτά εξελίχθηκαν παράλληλα με τα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ), που αναπτύχθηκαν για επιχειρησιακές εφαρμογές. Έχουν επίσης αναπτυχθεί για εφαρμογές στρατηγικού σχεδιασμού, επιχειρησιακής έρευνας κτλ. και παρέχουν ένα πλαίσιο για την ολοκλήρωση της διαχείρισης βάσεων δεδομένων, αναλυτικών μοντέλων και γραφικών και για την προώθηση της διαδικασίας λήψης απόφασης.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι προτεινόμενες μεθοδολογίες καθορισμού περιοχών υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων αποτελούν μια προσέγγιση, που λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες του καθορισμού σε όλα του τα στάδια, από την εισαγωγή των δεδομένων έως την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Τα Γεωπληροφοριακά Συστήματα αποτελούν το ενιαίο περιβάλλον προσδιορισμού των περιοχών αυτών. Το σύστημα αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα τμήμα ενός πλήρους ΣΥΧΑ, έτσι ώστε οι λήπτες αποφάσεων να έχουν την ευχέρεια να αξιοποιήσουν τις πληροφορίες που τους παρέχονται για την επίλυση προβλημάτων Σχεδιασμού.

4.6. Συμπεράσματα

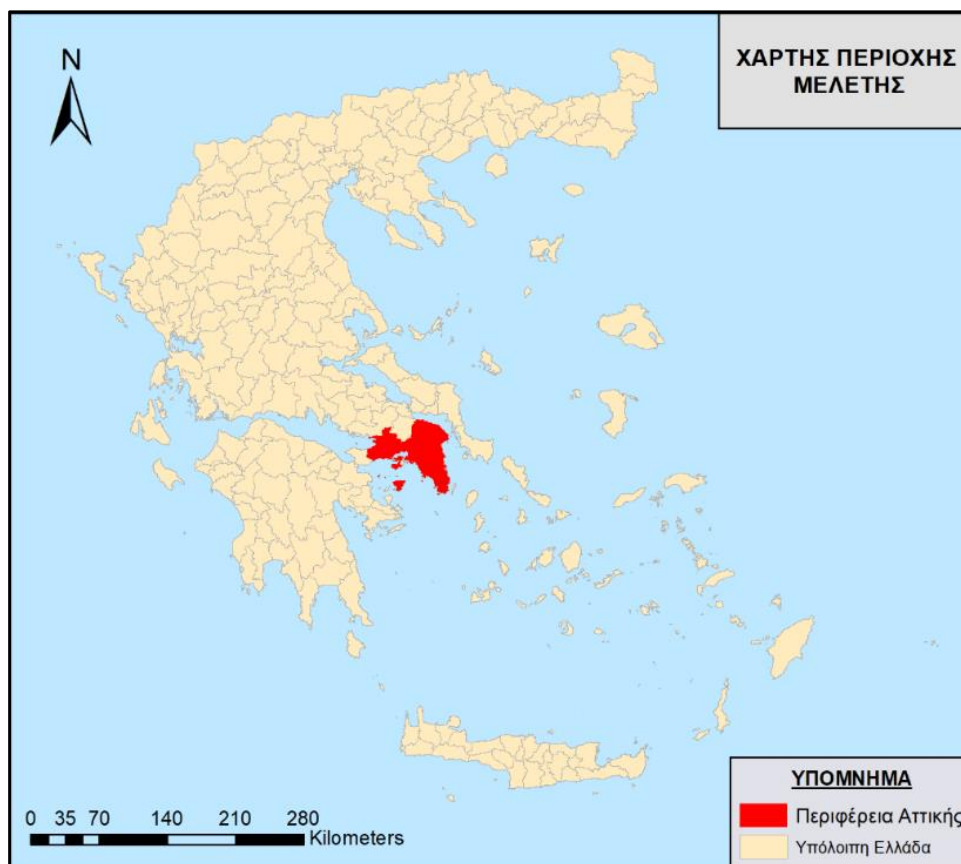
Στα προηγούμενα υπο-κεφάλαια παρουσιάστηκαν οι κυριότερες ποσοτικές μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό της χωρικής αυτοσυσχέτισης των Δήμων, καθώς και της χωρικής ομαδοποίησής τους. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στο επόμενο κεφάλαιο αναπτύσσεται η εφαρμογή της χρήσης των μεθοδολογικών αυτών πλαισίων και των μεθόδων που αναπτύχθηκαν στον προσδιορισμό περιοχών υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων στο Λεκανοπέδιο της Αττικής.

5. ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΔΗΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της χωρικής ανάλυσης των ατυχημάτων στους Δήμους που ανήκουν στην Περιφέρεια Αττικής. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται η συλλογή και η διαχείριση των διαθέσιμων δεδομένων, η ανάλυσή τους με τις κατάλληλες μεθόδους και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των παραπάνω σταδίων είναι τα ArcGIS 10.5.1 και Minitab 19.

5.1. Περιοχή Μελέτης

Τα δεδομένα αφορούν στα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στο νομό Αττικής και η ανάλυσή τους έγινε σε επίπεδο Δήμων, λόγω της ελλιπούς χωρικής πληροφορίας, αφού οι διευθύνσεις δεν ήταν επαρκώς προσδιορισμένες. Στο σύνολο αναλύθηκαν τα οδικά ατυχήματα από 113 Δήμους και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής (Σχήμα 5.1). Από την ανάλυση εξαιρέθηκαν οι Δήμοι των περισσότερων νήσων της Αττικής και συγκεκριμένα οι Δήμοι Αγκιστρίου, Κυθήρων, Πόρου, Σαλαμίνας, Σπετσών, Τροιζηνίας και Ύδρας, καθώς δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικά στοιχεία.



Σχήμα 5.1 Περιοχή μελέτης

Η Περιφέρεια Αττικής αποτελεί μία από τις 13 περιφέρειες της Ελλάδας, αποτελούμενη από το Νομό Αττικής με έδρα την Αθήνα. Σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης, το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή από την 1η Ιανουαρίου 2011, η ισχύουσα διοικητική διαίρεση της Αττικής έπαψε να υφίσταται και οργανώθηκε σε νέες διοικητικές μονάδες. Με βάση τον νέο νόμο και τη νέα διοικητική διαίρεση που προκύπτει από αυτόν, καταργήθηκαν τα τέσσερα νομαρχιακά διαμερίσματα και η περιφέρεια διαιρείται σε οκτώ περιφερειακές ενότητες, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1 Διοικητική διαίρεση Περιφέρειας Αττικής

Περιφερειακή Ενότητα	Δήμοι
Κεντρικού Τομέα Αθηνών	Δήμος Αθηναίων, Δήμος Βύρωνος, Δήμος Γαλατσίου, Δήμος Δάφνης-Υμηπτού, Δήμος Ζωγράφου, Δήμος Ηλιούπολης, Δήμος Καισαριανής, Δήμος Φιλαδέλφειας-Χαλκηδόνας
Νοτίου Τομέα Αθηνών	Δήμος Αγίου Δημητρίου, Δήμος Αλίμου, Δήμος Γλυφάδας, Δήμος Ελληνικού-Αργυρούπολης, Δήμος Καλλιθέας, Δήμος Μοσχάτου-Ταύρου, Δήμος Νέας Σμύρνης, Δήμος Παλαιού Φαλήρου
Βορείου Τομέα Αθηνών	Δήμος Αγίας Παρασκευής, Δήμος Αμαρουσίου, Δήμος Βριλησίων, Δήμος Ηρακλείου, Δήμος Κηφισιάς, Δήμος Λυκόβρυσης-Πεύκης, Δήμος Μεταμορφώσεως, Δήμος Νέας Ιωνίας, Δήμος Παπάγου-Χολαργού, Δήμος Πεντέλης, Δήμος Φιλοθέης-Ψυχικού, Δήμος Χαλανδρίου
Δυτικού Τομέα Αθηνών	Δήμος Αγίας Βαρβάρας, Δήμος Αγίων Αναργύρων-Καματερού, Δήμος Αιγάλεω, Δήμος Ιλίου, Δήμος Περιστερίου, Δήμος Πετρούπολης, Δήμος Χαϊδαρίου
Πειραιώς	Δήμος Πειραιώς, Δήμος Περάματος, Δήμος Κορυδαλλού, Δήμος Νίκαιας-Αγίου Ιωάννη Ρέντη, Δήμος Κερατσινίου-Δραπετσώνας,
Νήσων Αττικής	Δήμος Αγκιστρίου, Δήμος Αίγινας, Δήμος Κυθήρων, Δήμος Σαλαμίνας, Δήμος Σπετσών, Δήμος Τροιζηνίας, Δήμος Ύδρας, Δήμος Πόρου
Δυτικής Αττικής	Δήμος Ασπροπύργου, Δήμος Ελευσίνας, Δήμος Μεγαρέων, Δήμος Φυλής, Δήμος Μάνδρας-Ειδυλλίας
Ανατολικής Αττικής	Δήμος Αχαρνών, Δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης, Δήμος Γλυφάδας, Δήμος Διονύσου, Δήμος Κρωπίας, Δήμος Λαυρεωτικής, Δήμος Μαραθώνος, Δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας, Δήμος Παιανίας, Δήμος Παλλήνης, Δήμος Ραφήνας-Πικερμίου, Δήμος Σαρωνικού, Δήμος Σπάτων-Αρτέμιδος, Δήμος Ωρωπού

Βρισκόμενη στο ανατολικό άκρο της Στερεάς Ελλάδας, η Περιφέρεια Αττικής καλύπτει περίπου 3.808 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Εκτός από την Αθήνα, εντός της περιφέρειας υπάρχουν οι πόλεις της Ελευσίνας, των Μεγάρων, του Λαυρίου και του Μαραθώνα, καθώς και ένα μικρό μέρος της Πελοποννήσου. Περίπου 3.750.000 άνθρωποι ζουν στην περιοχή, εκ των οποίων περισσότερο από το 95% είναι κάτοικοι της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας. Η Περιφέρεια Αττικής αποτελεί την πρώτη σε πληθυσμό και πιο πυκνοκατοικημένη περιφέρεια της Ελλάδας, αφού σε αυτήν βρίσκεται το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, που αποτελεί την πρωτεύουσα της Ελλάδας, συγκεντρώνοντας το 1/3 του πληθυσμού της χώρας, δηλαδή 3.761.810 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Γεωγραφικά η Αττική χωρίζεται σε δύο μεγάλες υπο-ενότητες, την περιοχή πρωτεύουσας και το υπόλοιπο Αττικής. Η περιοχή πρωτεύουσας περιλαμβάνει το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, δηλαδή όλους τους δήμους Αθηνών-Πειραιώς που ανήκαν στην τέως διοίκηση πρωτεύουσας, και οριοθετείται από τον Σαρωνικό κόλπο και τα βουνά της Πάρνηθας, του Υμηπτού και της Πεντέλης που ορίζουν το λεκανοπέδιο Αττικής. Το υπόλοιπο της Αττικής καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της περιφέρειας και αποτελείται από το ανατολικό και δυτικό τμήμα, τα νησιά του Σαρωνικού και την επαρχία Τροιζηνίας που βρίσκεται στην Πελοπόννησο.

5.2. Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη συγκεκριμένη μελέτη αντλήθηκαν από τη ΕΛΣΤΑΤ, με βάση τα στοιχεία από τα Δελτία Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) που συλλέγει η Τροχαία και αφορούν στα οδικά ατυχήματα που έλαβαν χώρα στην Αττική την περίοδο 2011 έως και 2015. Τα στοιχεία που καταγράφηκαν είναι σε μορφή υπολογιστικού φύλλου (Excel), αν και η πρωτογενής καταγραφή του ατυχήματος γίνεται σε έντυπη μορφή. Τα στοιχεία που καταγράφονται για κάθε οδικό ατύχημα και χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές στη μετέπειτα ανάλυση είναι τα ακόλουθα:

- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο [1]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά έτος (2011 έως 2015) [5]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά μήνα (Ιανουάριος έως Δεκέμβριος) [12]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά σοβαρότητα τραυματισμού (βαρύς τραυματισμός, ελαφρύς τραυματισμός, νεκρός, άλλο) [4]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και τύπο ατυχήματος (εκτροπή από οδόστρωμα, μετωπική σύγκρουση, νωτομετωπική σύγκρουση, παράσυρση πεζού, πλάγια σύγκρουση, πλαγιομετωπική σύγκρουση, πρόσκρουση σε σταθμευμένο όχημα/αντικείμενο) [7]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και είδος διασταύρωσης (σε ισόπεδη διασταύρωση, όχι σε ισόπεδη διασταύρωση) [2]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και συνθήκες φωτισμού (μέρα, νύχτα, σούρουπο) [3]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και καιρικές συνθήκες (βροχή, καλοκαιρία) [2]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και πλήθος αριθμού συμμετεχόντων στο ατύχημα (1, 2, 3, 4, 5 και 6) [6]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και είδος του οχήματος που ενεπλάκη (επιβατικό, δίκυκλο μέχρι 49cc, δίκυκλο από 50cc και άνω, φορτηγό, ποδήλατο, λεωφορείο, άγνωστο, άλλο) [8]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και κατηγορία συμμετέχοντα (οδηγός, πεζός, επιβάτης) [3]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ημέρα της εβδομάδος (Δευτέρα έως Κυριακή) [7]

5.3. Διαχείριση Δεδομένων

Προκειμένου τα δεδομένα να χρησιμοποιηθούν στη μετέπειτα ανάλυση, είναι απαραίτητο να παρουσιαστούν με την κατάλληλη μορφή. Για το λόγο αυτό απαιτείται η υλοποίηση μίας σειράς διαδικασιών που αφορούν στην τροποποίηση, τόσο της μορφής, όσο και του τρόπου εμφάνισής τους. Οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται αναλυτικά στο παρόν υπο-κεφάλαιο.

5.3.1. Τροποποίηση δεδομένων

Η πληροφορία της ημερομηνίας στην αρχική βάση δεδομένων ήταν καταχωρημένη με τη μορφή της ημέρας του μήνα του ατυχήματος (από 1 έως 31), ενώ για την ανάλυση χρειάζεται να φαίνεται η ημέρα της εβδομάδος (Δευτέρα, Τρίτη κλπ.). Αυτή η τροποποίηση πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος Excel. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές που αφορούν στην ημερομηνία πήραν τη μορφή αριθμού και στη συνέχεια εφαρμόστηκαν οι συναρτήσεις DATE και TEXT.

5.3.2. Αντιμετάθεση δεδομένων

Στη συνέχεια ακολουθεί μία περεταίρω μετατροπή που αφορά στη μορφή εμφάνισης των δεδομένων και έχει καίρια σημασία για την αξιοποίησή τους στη χωρική ανάλυση. Στην αρχική βάση δεδομένων κάθε ατύχημα αποτελεί και μία καταγραφή η οποία περιέχει όλες τις πληροφορίες που αναφέρονται στο προηγούμενο υπο-κεφάλαιο (Πίνακας 5.2). Σε μία γραμμή του υπολογιστικού φύλλου είναι καταχωρημένο ένα οδικό ατύχημα και στις αντίστοιχες στήλες υπάρχουν οι υπόλοιπες πληροφορίες.

Εφόσον η ανάλυση γίνεται σε επίπεδο Δήμου, πρέπει και τα δεδομένα των καταγραφών να αφορούν σε Δήμους με τη μορφή της συχνότητας εμφάνισης. Πρέπει στην τελική μορφή της

βάσης δεδομένων μία γραμμή να αναφέρεται σε ένα Δήμο και στις διπλανές στήλες να εμφανίζεται η συχνότητα, η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με το πλήθος του συνόλου των ατυχημάτων που συνέβησαν.

Αυτές οι μετατροπές πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα εισάγονται στην αρχική τους μορφή (Πίνακας 5.2) και εφαρμόζεται μία σειρά διαδικασιών που αφορούν στον υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης καταγραφών ανά Δήμο. Με τη χρήση διαφόρων εργαλείων δημιουργούνται ξεχωριστές στήλες για κάθε διαφορετική τιμή της κάθε μεταβλητής. Από τη μεταβλητή “σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά έτος” προκύπτουν 5 στήλες, μία για κάθε έτος, στις οποίες τελικά εμφανίζεται ο αριθμός που αντιστοιχεί στο πλήθος των ατυχημάτων που πραγματοποιήθηκαν το συγκεκριμένο έτος. Από τη μεταβλητή “σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά μήνα” προκύπτουν 12 στήλες, μία για κάθε μήνα του έτους, στις οποίες εμφανίζεται ο αριθμός που αντιστοιχεί στο πλήθος των ατυχημάτων που πραγματοποιήθηκαν το συγκεκριμένο μήνα, ξεχωριστά για κάθε Δήμο. Αντίστοιχα, από τη μεταβλητή “σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά σοβαρότητα τραυματισμού” προκύπτουν 4 στήλες, μία για κάθε είδος τραυματισμού, από τη μεταβλητή “σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και τύπο ατυχήματος” προκύπτουν 7 στήλες, μία για κάθε τύπο ατυχήματος κοκ. Στους Πίνακες 5.2 και 5.3 φαίνονται αντίστοιχα αποσπάσματα από την αρχική και τελική μορφή των δεδομένων.

Πίνακας 5.2 Απόσπασμα αρχικής μορφής των δεδομένων

ΔΗΜΟΣ	ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΜΕΡΑ	ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ	ΤΥΠΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ	ΠΛΗΘΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ	ΕΙΔΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	ΙΣΟΠΕΔΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΔΗΜΟΣ ΑΘΗΝΑΙΩΝ	2011	1	1	Ελαφρά τραυματίας	Πλαγιομετωπική σύγκρουση	1	Πεζός	Επιβατικό	Ναι	Μέρα	Καλοκαιρία
ΔΗΜΟΣ ΑΙΓΑΛΕΩ	2013	4	24	Ελαφρά τραυματίας	Πρόσκρουση σε σταθμευμένο αντικείμενο	1	Οδηγός	Επιβατικό	Ναι	Μέρα	Καλοκαιρία
ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	2015	7	12	Βαριά τραυματίας	Νωτομετωπική σύγκρουση	2	Επιβάτης	Δίκυκλο 50cc και άνω	Ναι	Σούρουπο	Βροχή
ΔΗΜΟΣ ΒΡΗΛΗΣΙΩΝ	2011	2	9	Βαριά τραυματίας	Παράσυρση πεζού	2	Πεζός	Δίκυκλο μέχρι 49cc	Όχι	Νύχτα	Βροχή
ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	2012	9	6	Ελαφρά τραυματίας	Παράσυρση πεζού	1	Πεζός	Ποδήλατο	Ναι	Σούρουπο	Καλοκαιρία
ΔΗΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΥ	2014	11	18	Ελαφρά τραυματίας	Πλάγια σύγκρουση	2	Οδηγός	Δίκυκλο μέχρι 49cc	Ναι	Νύχτα	Βροχή
ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	2011	6	25	Ελαφρά τραυματίας	Πλάγια σύγκρουση	1	Οδηγός	Δίκυκλο 50cc και άνω	Όχι	Μέρα	Καλοκαιρία
ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΣΜΥΡΝΗΣ	2013	10	31	Νεκρός	Παράσυρση πεζού	1	Επιβάτης	Επιβατικό	Ναι	Μέρα	Καλοκαιρία
ΔΗΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	2015	2	13	Βαριά τραυματίας	Εκτροπή από την οδό	2	Επιβάτης	Δίκυκλο μέχρι 49cc	Ναι	Νύχτα	Βροχή
ΔΗΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ	2014	5	1	Ελαφρά τραυματίας	Πλάγια σύγκρουση	1	Πεζός	Επιβατικό	Ναι	Νύχτα	Καλοκαιρία
ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	2012	11	17	Νεκρός	Παράσυρση πεζού	1	Πεζός	Φορητό	Όχι	Σούρουπο	Καλοκαιρία

Πίνακας 5.3 Απόσπασμα τελικής μορφής των δεδομένων

ΔΗΜΟΣ	2011	ΜΑΪΟΣ	ΤΡΙΤΗ	ΕΛΑΦΡΑ ΤΡΑΥΜΑΤΙΑΣ	ΠΑΡΑΣΥΡΣΗ ΠΕΖΟΥ	1 (ΠΛΗΘΟΣ)	ΠΕΖΟΣ	ΕΠΙΒΑΤΙΚΟ	ΝΑΙ (ΙΣΟΠΕΔΗ)	ΜΕΡΑ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΑ
ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	92	48	79	511	108	510	105	363	266	320	436
ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	74	59	96	646	109	628	107	565	299	394	577
ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΦΑΔΑΣ	302	130	188	1296	205	1242	197	12	639	777	1140
ΔΗΜΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ	75	28	52	287	65	297	64	129	154	181	264
ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΗΣ	142	61	101	668	108	653	103	498	328	375	603
ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	70	42	51	412	77	406	79	82	235	246	376
ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ	53	22	37	214	44	217	39	283	97	122	194
ΔΗΜΟΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ	96	42	62	420	34	427	34	437	148	269	374
ΔΗΜΟΣ ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ	26	8	9	58	23	92	17	64	22	49	81
ΔΗΜΟΣ ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΗΣ	59	23	43	236	39	233	39	158	165	136	197
ΔΗΜΟΣ ΧΑΪΔΑΡΙΟΥ	51	28	92	297	130	336	70	287	130	190	303

5.3.3. Κανονικοποίηση δεδομένων

Τελικό βήμα στη διαχείριση των δεδομένων είναι η κανονικοποίησή τους. Αυτό γίνεται έτσι, ώστε τα αποτελέσματα της ανάλυσης να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα. Το μέγεθος που επιλέγεται για την κανονικοποίηση είναι το μήκος οδικού δικτύου ανά 10χλμ. Το μέγεθος των οχηματοχιλιόμετρων θα ήταν ιδανικότερο, όμως δεν είναι διαθέσιμο.

5.4. Ανάλυση και Οπτικοποίηση των Δεδομένων

Στο παρόν υπο-κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής ανάλυσης που πραγματοποιείται στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μία σύντομη χωρική παρουσίαση των αρχικών δεδομένων, καθώς και μία αναλυτική παρουσίαση και περιγραφή των αποτελεσμάτων των μεθόδων που εφαρμόζονται.

5.4.1. Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων

Η Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων αναφέρεται σε ένα σύνολο τεχνικών, που αντικείμενο έχουν την οπτική αναπαράσταση των δεδομένων με τη χρήση γραφικών μέσων. Με τη βοήθεια της οπτικοποίησης μπορεί να απεικονιστούν σε γραφήματα ιδιότητες των δεδομένων, σχέσεις συνάφειας, συγκρίσεις τιμών, γεωγραφική διασπορά συμβάντων, ανοδικές και καθοδικές τάσεις, επιμερισμός συνόλων σε υποσύνολα και πολλές άλλες πληροφορίες. Τα γραφικά είναι ένα μέσο για τον εντοπισμό και αναγνώριση δομών και ιδιοτήτων σε ένα σύνολο δεδομένων (Card et al., 1999, Rober, 2000). Η πληροφόρηση αυτή παρέχεται με τρόπο κατανοητό με “μία ματιά”. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος κατανοεί καλύτερα και γρηγορότερα μια πληροφορία, όταν αυτή αποτυπώνεται σε μια εικόνα, παρά όταν περιγράφεται με μορφή αναλυτικού κειμένου. Επιπλέον, η γραφική απεικόνιση της πληροφορίας είναι καλαίσθητη και σαφώς πιο ευχάριστη από την ανάγνωση κειμένου. Αυτές οι ιδιότητες της οπτικοποίησης την έχουν καταστήσει χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Επίσης, η οπτικοποίηση αποτελεί εξαιρετικό μέσο για την παρουσίαση και τη μετάδοση της πληροφορίας (Κύρκος, 2015).

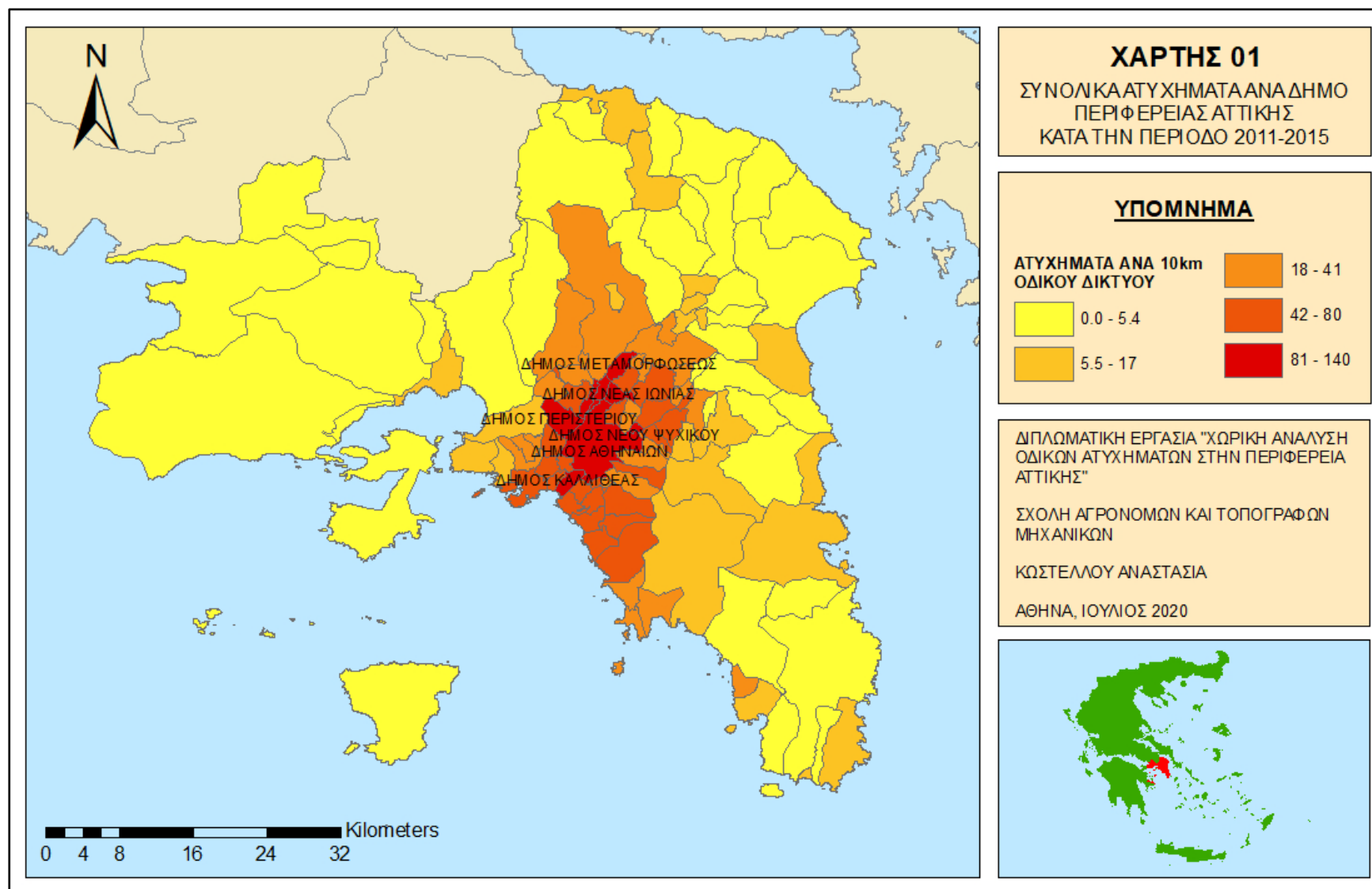
Η απεικόνιση των μεταβλητών που αναφέρθηκαν στο υπο-κεφάλαιο 5.2. παρουσιάζεται συνολικά στο Παράρτημα, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

- Χάρτης 01: Συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο Περιφέρειας Αττικής (2011-2015)

Στο Χάρτη 01 παρουσιάζεται η μεταβλητή των συνολικών ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το διάστημα 2011-2015. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση έχουν κανονικοποιηθεί σύμφωνα με το μήκος οδικού δικτύου κάθε Δήμου. Με μία πρώτη ματιά, φαίνεται πως το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στους εξής Τομείς: Κεντρικό, Νότιο, Βόρειο, Δυτικό και Πειραιώς. Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται λογικό, καθώς εκεί βρίσκονται οι κυριότεροι οδικοί άξονες της Αττικής, όπως:

- Λεωφόρος Κηφισίας
- Λεωφόρος Συγγρού
- Λεωφόρος Βουλιαγμένης
- Λεωφόρος Ποσειδώνος
- Λεωφόρος Κηφισού
- Περιφερειακή Υμηττού
- Λεωφόρος Λαυρίου και
- Λεωφόρος Βάρης - Κορωπίου.

Στο χάρτη έχουν σημειωθεί τα ονόματα των Δήμων που ανήκουν στην έκτη κατηγορία, αυτή με τα περισσότερα ατυχήματα ανά 10χλμ οδικού δικτύου.



Χάρτης 01: Συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο Περιφέρειας Αττικής για την περίοδο 2011-2015

- Χάρτης 02: Διακύμανση ατυχημάτων ανά ημέρα σε μορφή γραφήματος στηλών

Στο Χάρτη 02 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά ημέρα, κατά το διάστημα 2011-2015. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα της απεικόνισης, φαίνεται πως η μέρα κατά την οποία συνέβησαν τα περισσότερα ατυχήματα είναι η *Παρασκευή*. Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται λογικό, καθώς την Παρασκευή παρατηρείται υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος σε σχέση με τις υπόλοιπες ημέρες της εβδομάδας.

- Χάρτης 03: Διακύμανση ατυχημάτων ανά μήνα σε μορφή γραφήματος στηλών

Στο Χάρτη 03 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά μήνα, κατά το διάστημα 2011-2015. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα της απεικόνισης, φαίνεται πως ο μήνας κατά τον οποίο συμβαίνουν τα περισσότερα ατυχήματα είναι ο *Ιούνιος*. Ο μήνας κατά τον οποίο παρατηρείται υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος στη διάρκεια του έτους είναι ο Ιούνιος, επομένως το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης μεταβλητής κρίνεται λογικό.

- Χάρτης 04: Διακύμανση ατυχημάτων ανά έτος σε μορφή γραφήματος στηλών

Στο Χάρτη 04 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά έτος από το 2011 έως και το 2015. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα της απεικόνισης, φαίνεται πως το έτος κατά τον οποίο συνέβησαν τα περισσότερα ατυχήματα είναι το 2011. Επίσης, φαίνεται και η σταδιακή μείωση των ετήσιων συνολικών ατυχημάτων, όπως έχει σχολιαστεί στο Κεφάλαιο 2, η οποία είναι απόρροια της οικονομικής κρίσης που αντιμετωπίζει η χώρα μας.

- Χάρτης 05: Διακύμανση ατυχημάτων ανά συνθήκες φωτισμού σε μορφή γραφήματος πίτας

Στο Χάρτη 05 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά συνθήκες φωτισμού, κατά το διάστημα 2011-2015. Όπως φαίνεται στο χάρτη, τα περισσότερα ατυχήματα τείνουν να συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ημέρας και περίπου τα μισά από αυτά συμβαίνουν κατά τις νυχτερινές ώρες. Παρόλου που οι συνθήκες φωτισμού την ημέρα φαινομενικά είναι πιο ιδανικές από αυτές της νύχτας, οι οδηγοί παρουσιάζουν ριψοκίνδυνη οδηγική συμπεριφορά, η οποία απορρέει από την ψευδαίσθηση πως υπό το φως του ηλίου έχουμε καλύτερο έλεγχο του αυτοκινήτου. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της ημέρας ο κύκλος φωτός είναι αυξημένος με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος.

- Χάρτης 06: Διακύμανση ατυχημάτων ανά καιρικές συνθήκες σε μορφή γραφήματος πίτας

Στο Χάρτη 06 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά καιρικές συνθήκες, κατά το διάστημα 2011-2015. Η χώρα μας διαθέτει περίπου 211 ημέρες ηλιοφάνειας το χρόνο. Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι όταν ο καιρός είναι βροχερός, η μέση ταχύτητα κίνησης μειώνεται λόγω αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου, είναι λογικό τα περισσότερα οδικά ατυχήματα να συμβαίνουν με καλοκαιρία. Ωστόσο, στα βόρεια προάστια της Αττικής παρατηρούνται πιο συχνά οδικά ατυχήματα που συμβαίνουν με βροχή.

- Χάρτης 07: Διακύμανση ατυχημάτων ανά σοβαρότητα σε μορφή γραφήματος πίτας

Στο Χάρτη 07 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά σοβαρότητα, κατά το διάστημα 2011-2015. Η τιμή της μεταβλητής που παρουσιάζει με διαφορά, τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι ο ελαφρύς τραυματισμός. Ωστόσο, παρατηρείται ότι στους Δήμους της Δυτικής και Βόρειας Αττικής συμβαίνουν πιο συχνά ατυχήματα με βαρύ τραυματισμό ή νεκρό από ότι στην υπόλοιπη Αττική.

- Χάρτης 08: Διακύμανση ατυχημάτων ανά τύπο ατυχήματος σε μορφή γραφήματος στηλών
Στο Χάρτη 08 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά τύπο ατυχήματος, κατά το διάστημα 2011-2015. Ο τύπος σύγκρουσης που συμβαίνει πιο συχνά είναι η πλαγιομετωπική σύγκρουση, ενώ μεγάλη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζει και η παράσυρση πεζού.
- Χάρτης 09: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος διασταύρωσης σε μορφή γραφήματος πίτας
Στο Χάρτη 09 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά είδος διασταύρωσης, κατά το διάστημα 2011-2015. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οπτικοποίησης των δεδομένων, τα περισσότερα ατυχήματα συμβαίνουν σε ισόπεδες διασταυρώσεις, ωστόσο, η διαφορά των δύο τιμών στη συχνότητα εμφάνισής τους είναι τόσο μικρή, που συμπεραίνεται ότι το είδος της διασταύρωσης δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα οδικά ατυχήματα.
- Χάρτης 10: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος οχήματος σε μορφή γραφήματος στηλών
Στο Χάρτη 10 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά είδος οχήματος, κατά το διάστημα 2011-2015. Τα οχήματα, τα οποία συμμετέχουν περισσότερο σε οδικά ατυχήματα είναι πρώτα τα επιβατικά και ύστερα τα δίκυκλα από 50cc και άνω.
- Χάρτης 11: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος συμμετέχοντα σε μορφή γραφήματος πίτας
Στο Χάρτη 11 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά είδος συμμετέχοντα, κατά το διάστημα 2011-2015. Η τιμή της μεταβλητής που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι αυτή του οδηγού. Όπως προκύπτει από τα δεδομένα του Χάρτη 12, στα περισσότερα οδικά ατυχήματα το πλήθος των συμμετεχόντων είναι 1, επομένως είναι λογικό αυτός να είναι ο οδηγός του οχήματος.
- Χάρτης 12: Διακύμανση ατυχημάτων ανά πλήθος συμμετεχόντων σε μορφή γραφήματος στηλών
Στο Χάρτη 12 του Παραρτήματος, παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής ανά πλήθος συμμετεχόντων, κατά το διάστημα 2011-2015. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οπτικοποίησης των δεδομένων, στο μεγαλύτερο ποσοστό των ατυχημάτων, ο συμμετέχων είναι μόνο ένας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, το 2019 ο συνολικός στόλος οχημάτων που κυκλοφορούσαν στην Ελλάδα ήταν 8.402.294 οχήματα (αυτοκίνητα, λεωφορεία, φορτηγά και μοτοσικλέτες), εκ των οποίων τα 7.006.408 ήταν επιβατικά. Συγκρίνοντας αυτόν τον αριθμό με τον πληθυσμό της χώρας (περίπου 11.000.000 κάτοικοι), προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πληρότητα των οχημάτων πιθανόν να είναι μικρότερη από 2 άτομα/όχημα.

5.4.2. Δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I

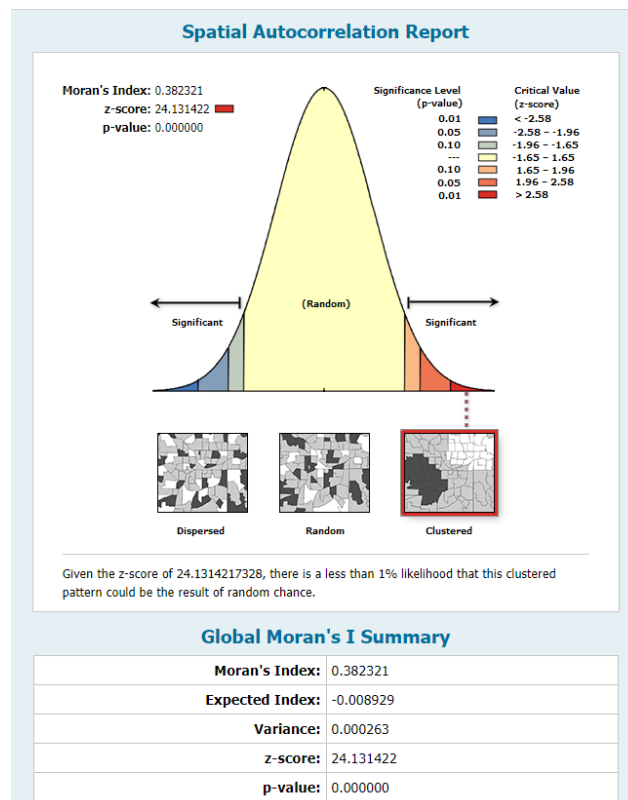
➤ Ολικός δείκτης Moran's I

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο υπο-κεφάλαιο 4.1., στους στατιστικούς ελέγχους υποθέσεων διατυπώνεται η μηδενική υπόθεση H_0 (null hypothesis), που αποτελεί την υπόθεση που τίθεται υπό αμφισβήτηση και εξετάζεται αν τα δεδομένα συνηγορούν προς την απόρριψή της έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης H_1 (alternative hypothesis). Στην χωρική αυτοσυσχέτιση ως μηδενική υπόθεση τίθεται η υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις κατανέμονται τυχαία στο χώρο και δεν εμφανίζονται αλληλεξαρτήσεις (CSR: Complete Spatial Randomness hypothesis). Είναι

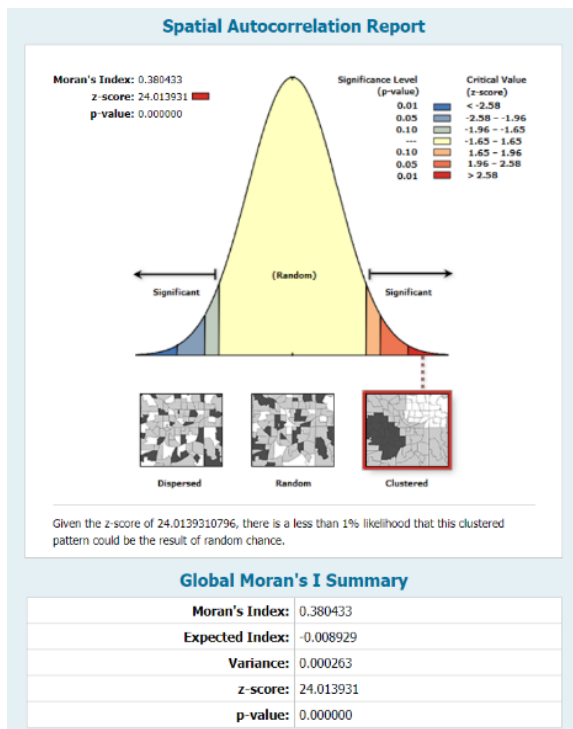
λοιπόν, επιθυμητό να απορριφθεί η υπόθεση της χωρικής τυχαιότητας στην κατανομή παρατηρήσεων H_0 .

Για να ελεγχθεί αν είναι δυνατή η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης πραγματοποιείται η κανονικοποίηση της τιμής του δείκτη Global Moran's I με την τιμή z-score. Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει τη διαφορά του υπολογισμένου δείκτη με τον αναμενόμενο δείκτη, σταθμισμένο ως προς το στατιστικό σφάλμα που προκύπτει. Αυτή η τιμή είναι ενδεικτική της τυποποιημένης συνάρτησης συχνοτήτων της κανονικής κατανομής. Σε αυτή τη φάση προκαθορίζεται το επιθυμητό επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας α ή p-value, που ορίζει την περιοχή απόρριψης (Φώτης, 2009).

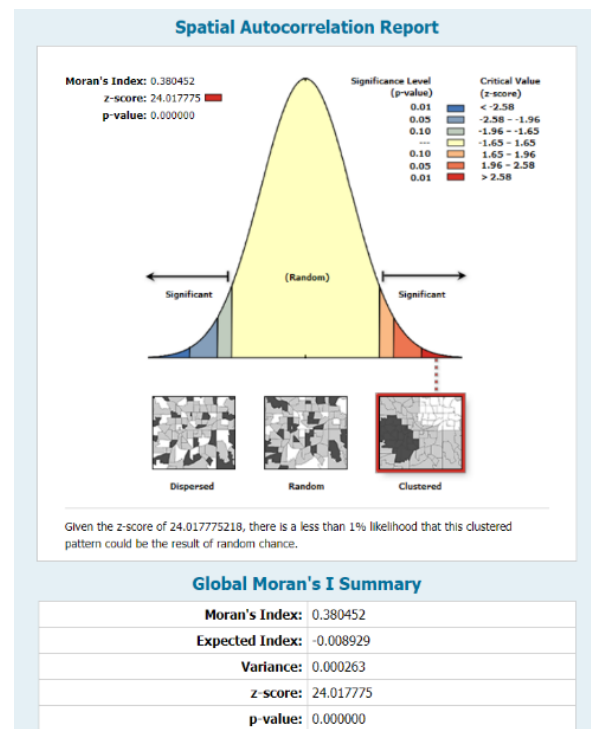
Ο ολικός δείκτης Moran's I υπολογίσθηκε αρχικά για τη μεταβλητή των συνολικών ατυχημάτων. Το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν z-score = 24,13, επομένως απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, δηλαδή οι παρατηρήσεις της μεταβλητής παρουσιάζουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση και συνεπώς, χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο με βεβαιότητα 99% ή επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 1%. (Σχήμα 5.2). Η ίδια διαδικασία υπολογισμού πραγματοποιήθηκε για όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές προκειμένου να γίνει βέβαιο ότι το πρότυπο που παρουσιάζουν οι μεταβλητές στην περιοχή μελέτης είναι χωρικά ομαδοποιημένο. Σε όλες τις μεταβλητές παρατηρήθηκε το ίδιο πρότυπο και εφόσον τα αποτελέσματα είναι όλα όμοια μεταξύ τους, παρατίθενται ενδεικτικά δύο εξ αυτών (Σχήματα 5.3 και 5.4).



Σχήμα 5.2 Αναφορά ολικού δείκτη Moran's I για τη μεταβλητή των συνολικών ατυχημάτων



Σχήμα 5.3 Αναφορά ολικού δείκτη Moran's I για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με ελαφρύ τραυματισμό



Σχήμα 5.4 Αναφορά ολικού δείκτη Moran's I για τη μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν με συνθήκες φωτισμού ημέρας

➤ Τοπικός δείκτης Moran's I

Οι τοπικοί δείκτες διακρίνουν εκείνες τις χωρικές ομάδες που έχουν υψηλές ή χαμηλές τιμές καθώς και εκείνες οι οποίες εμφανίζουν ακραίες τιμές σε σχέση με τις γειτονικές τους, δηλαδή επικεντρώνονται στη μελέτη της χωρικής αυτοσυσχέτισης σε τοπικό επίπεδο και διαχωρίζουν τα δεδομένα σε ομάδες.

Ο τοπικός δείκτης Moran's I υπολογίστηκε για τις μεταβλητές που θεωρήθηκαν πιο σημαντικές ως προς το βαθμό συμβολής τους στο αποτέλεσμα της ανάλυσης των οδικών ατυχημάτων. Αυτές ήταν:

- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο [1]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ημέρα της εβδομάδος (Δευτέρα έως Κυριακή) [7]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά μήνα (Ιανουάριος έως Δεκέμβριος) [12]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά έτος (2011 έως 2015) [5]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και συνθήκες φωτισμού (μέρα, νύχτα, σούρουπο) [3]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και καιρικές συνθήκες (βροχή, καλοκαιρία) [2]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά σοβαρότητα τραυματισμού (βαρύς τραυματισμός, ελαφρύς τραυματισμός, νεκρός, άλλο) [4]

Για κάθε μία από τις παραπάνω μεταβλητές δημιουργήθηκε και ένας χάρτης στον οποίο απεικονίζεται η χωρική συσχέτιση μεταξύ των Δήμων της Περιφέρειας Αττικής. Για πρακτικούς λόγους, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο χάρτης που αφορά στο σύνολο των ατυχημάτων, ενώ οι υπόλοιποι χάρτες παρατίθενται στο Παράρτημα, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

Όπως αναλύεται και στο υπο-κεφάλαιο 4.1. ο εν λόγω δείκτης μπορεί να λάβει τιμές μεγαλύτερες του +1 και μικρότερες του -1 χωρίς κανένα περιορισμό. Η θετική τιμή σημαίνει ύπαρξη συγκέντρωσης παρόμοιων τιμών σε γειτονικές περιοχές. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το αποτέλεσμα είναι αρνητική τιμή, αυτό σημαίνει ότι στις όμορες περιοχές υπάρχει ανομοιογένεια ως προς τις τιμές. Στην περίπτωση που ο δείκτης λάβει τιμή ίση με τη μονάδα τότε

παρατηρείται ότι η συγκέντρωση της μεταβλητής i είναι ίση με τη συγκέντρωση της ευρύτερης περιοχής. Το αποτέλεσμα του z -score παράγει τέσσερις ομάδες αποτελεσμάτων:

- Όταν το z -score λαμβάνει υψηλά θετική τιμή, τότε θεωρείται ότι υπάρχει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, δηλαδή υπάρχει ομοιότητα των τιμών μεταξύ της χωρικής μονάδας και των γειτόνων της. Στην περίπτωση αυτή:
 1. αν η τιμή της μελετώμενης μεταβλητής xi είναι υψηλή, τότε και οι γειτονικές τιμές είναι υψηλές. Επομένως, η χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως high-high (υψηλή τιμή με υψηλές γειτονικές τιμές) και αποτελεί τμήμα μίας χωρικής ομάδας με υψηλές τιμές (high-high cluster ή H-H cluster).
 2. αν η τιμή της μελετώμενης μεταβλητής xi είναι χαμηλή, τότε και οι γειτονικές τιμές είναι χαμηλές. Επομένως, η χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως low-low (χαμηλή τιμή με χαμηλές γειτονικές τιμές) και αποτελεί τμήμα μίας χωρικής ομάδας με χαμηλές τιμές (low-low cluster ή L-L cluster).
- Αντίθετα, όταν το z -score λαμβάνει υψηλά αρνητική τιμή, τότε θεωρείται ότι υπάρχει αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση, δηλαδή υπάρχει ανομοιότητα των τιμών μεταξύ της χωρικής μονάδας και των γειτόνων της. Στην περίπτωση αυτή:
 3. αν η τιμή της μελετώμενης μεταβλητής xi είναι υψηλή, τότε οι γειτονικές τιμές είναι χαμηλές. Επομένως, η χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως high-low outlier (χωρικά ακραία τιμή: υψηλή τιμή με χαμηλές γειτονικές τιμές).
 4. αν η τιμή της μελετώμενης μεταβλητής xi είναι χαμηλή, τότε οι γειτονικές τιμές είναι υψηλές. Επομένως, η χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως low-high outlier (χωρικά ακραία τιμή: χαμηλή τιμή με υψηλές γειτονικές τιμές).
- Όλες οι υπόλοιπες τιμές z -score, οδηγούν στη μη απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και, συνεπώς, αυτές οι τιμές της μελετώμενης μεταβλητής θεωρούνται ότι κατανέμονται τυχαία στο χώρο.

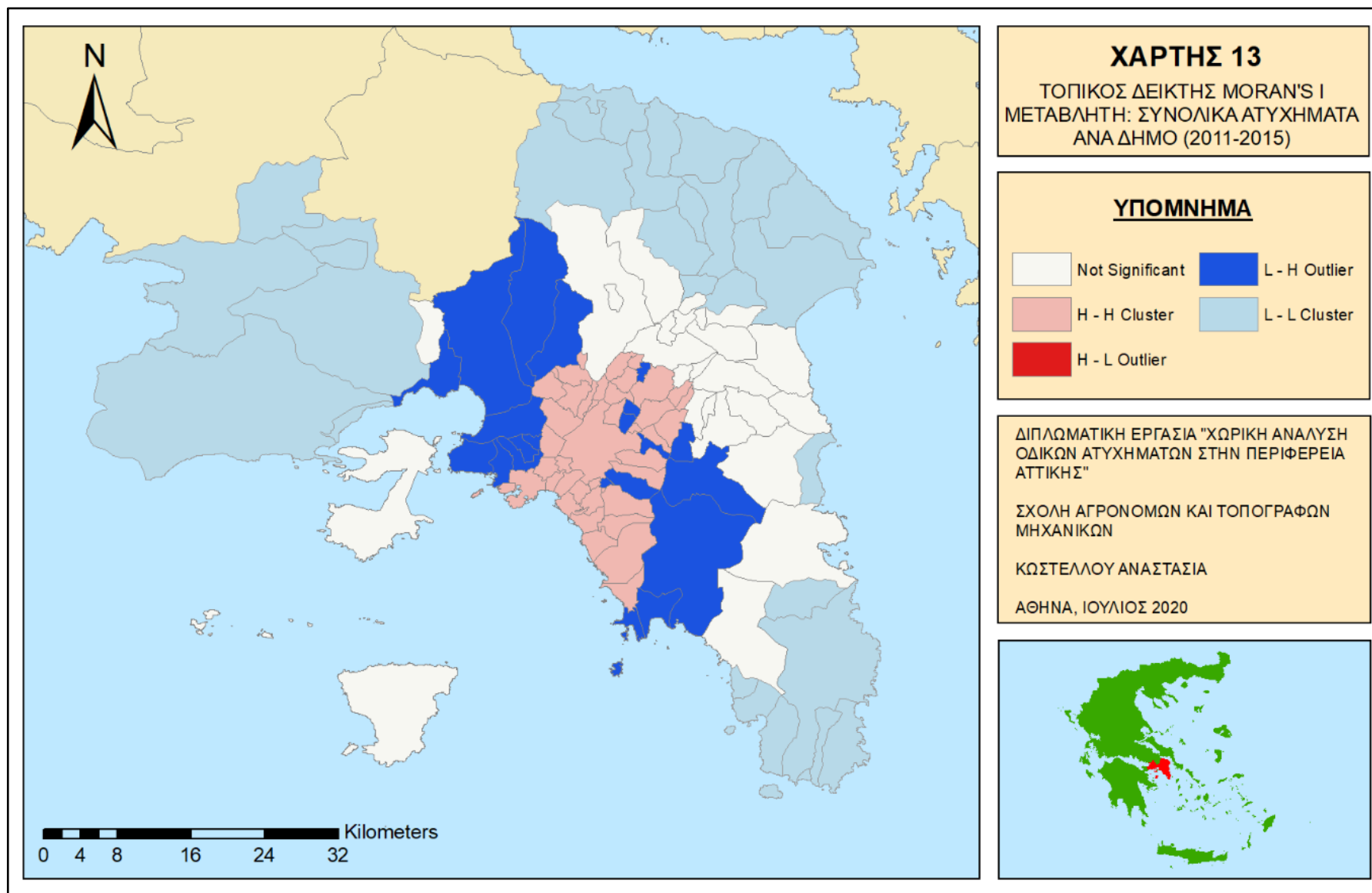
- Χάρτης 13: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο Περιφέρειας Αττικής (2011-2015)

Στο Χάρτη 13 παρατηρείται ότι οι Δήμοι που ανήκουν στην πρώτη ομάδα (*High-High Cluster*), δηλαδή αυτοί που η μεταβλητή των συνολικών ατυχημάτων λαμβάνει υψηλή τιμή και ταυτόχρονα οι γειτονικοί Δήμοι παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές, είναι περίπου οι ίδιοι Δήμοι, οι οποίοι στο Χάρτη 01 εμφανίζουν και τις υψηλότερες τιμές ατυχημάτων. Επίσης, παρατηρείται ότι οι Δήμοι που ανήκουν στην ομάδα High-High Cluster βρίσκονται εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής, το οποίο ορίζεται από τα όρη Αιγάλεω (Δ), Ποικίλο (Δ-ΒΔ), Πάρνηθα (Β), Πεντέλη (ΒΑ) και Υμηττό (Α). Οι Δήμοι και Δημοτικές Ενότητες που βρίσκονται εντός του Λεκανοπεδίου και ωστόσο, δεν παρουσιάζουν υψηλές τιμές, σύμφωνα με το δείκτη Moran's I, είναι οι Δήμοι Βύρωνος και Πεύκης, καθώς και οι Δημοτικές Ενότητες Υμηττού, Παπάγου, Ψυχικού και Φιλοθέης. Όπως φαίνεται και στον εν λόγω Χάρτη, δεν παρατηρούνται Δήμοι, οι οποίοι ανήκουν στην ομάδα Low-High Outlier, δηλαδή οι Δήμοι εντός του Λεκανοπεδίου είναι και οι μοναδικοί που παρουσιάζουν υψηλή τιμή με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα.

Τα αποτελέσματα όλων των υπόλοιπων Χαρτών συγκρίνονται με το Χάρτη 13, καθώς η μεταβλητή των συνολικών ατυχημάτων θεωρήθηκε η πιο σημαντική.

- Χάρτης 14: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Δευτέρα (2011-2015)

Στο Χάρτη 14 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Δευτέρα. Σε γενικές γραμμές δεν παρατηρείται διαφορά σε σχέση με το Χάρτη 13, αφού οι μόνοι Δήμοι που κατηγοριοποιήθηκαν σε διαφορετικές ομάδες είναι οι Δήμοι Αγίας Βαρβάρας (από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier) και Παλλήνης (από Not Significant σε Low-High Outlier). Επίσης, σε διαφορετικές ομάδες κατηγοριοποιήθηκαν οι Δημοτικές Ενότητες Μαγούλας, Αγίου Στεφάνου και Καλυβίων, χωρίς όμως να παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή.



Χάρτης 13: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο για την περίοδο 2011-2015

- Χάρτης 15: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Τρίτη (2011-2015)

Στο Χάρτη 15 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Τρίτη. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, παρατηρούνται μόνο δύο διαφοροποιήσεις, στις Δημοτικές Ενότητες Καματερού (από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier) και Ψυχικού (από Low-High Outlier έγινε High-High Cluster).
- Χάρτης 16: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Τετάρτη (2011-2015)

Στο Χάρτη 16 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Τετάρτη. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Υμηττού και Πεύκης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ η Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier.
- Χάρτης 17: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Πέμπτη (2011-2015)

Στο Χάρτη 17 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Πέμπτη. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Παπάγου και Ψυχικού από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ η Δημοτική Ενότητα Μελισσίων από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier.
- Χάρτης 18: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Παρασκευή (2011-2015)

Στο Χάρτη 18 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Παρασκευή. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Ψυχικού, Υμηττού και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ ο Δήμος Πετρούπολης και οι Δημοτικές Ενότητες Καματερού και Ζεφυρίων από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers.
- Χάρτης 19: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Σάββατο (2011-2015)

Στο Χάρτη 19 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Σάββατο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δήμοι Βύρωνος και Αγίας Βαρβάρας και η Δημοτική Ενότητα Βάρης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Δάφνης, Ψυχικού και ο Δήμος Πετρούπολης από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers.
- Χάρτης 20: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Κυριακή (2011-2015)

Στο Χάρτη 20 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής την ημέρα Κυριακή. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13, ο Δήμος Κορυδαλλού και οι Δημοτικές Ενότητες Υμηττού, Ψυχικού, Φιλοθέης και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ οι Δήμοι Βριλησίων και Πετρούπολης και οι Δημοτικές Ενότητες Λυκόβρυσσης και Καματερού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης η Δημοτική Ενότητα του Αγίου Στεφάνου από Low-Low Cluster έγινε High-Low Outlier.

- Χάρτης 21: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιανουάριο (2011-2015)

Στο Χάρτη 21 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Ιανουάριο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δημοτικές Ενότητες Φιλοθέης και Παπάγου από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ ο Δήμος Κηφισιάς από Not Significant έγινε Low-High Outlier.
- Χάρτης 22: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Φεβρουάριο (2011-2015)

Στο Χάρτη 22 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Φεβρουάριο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δήμοι Βύρωνος και Αγίας Βαρβάρας, καθώς και οι Δημοτικές ενότητες Παπάγου, Φιλοθέης, Ψυχικού και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters. Ο Δήμος Βριλησίων και η Δημοτική Ενότητα Καματερού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Ο Δήμος Μαρκόπουλου Μεσογαίας και η Δημοτική Ενότητα Καλυβίων από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters, ενώ η Δημοτική Ενότητα Βάρης από Low-High Outlier έγινε Not Significant.
- Χάρτης 23: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Μάρτιο (2011-2015)

Στο Χάρτη 23 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Μάρτιο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Βουλιαγμένης και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ η Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier. Επίσης οι Δημοτικές Ενότητες Αναβύσσου και Αγίου Στεφάνου από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant.
- Χάρτης 24: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Απρίλιο (2011-2015)

Στο Χάρτη 24 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Απρίλιο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Κορυδαλλού και οι Δημοτικές Ενότητες Πεύκης, Φιλοθέης, Ψυχικού και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, οι Δήμοι Πετρούπολης, Ζωγράφου και Βριλησίων, καθώς και η Δημοτική Ενότητα Καματερού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, ο Δήμος Κηφισιάς και οι Δημοτικές Ενότητες Μαγούλας και Ροδόπολης από Not Significant έγιναν Low-High Outliers, ενώ η Δημοτική Ενότητα του Αγίου Στεφάνου από Low-Low Cluster έγινε Not Significant.
- Χάρτης 25: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Μάιο (2011-2015)

Στο Χάρτη 25 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Μάιο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Υμηττού, Παπάγου, Φιλοθέης, Ψυχικού και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters και άρα, όλοι οι Δήμοι του Λεκανοπεδίου παρουσιάζουν υψηλές τιμές. Επίσης, ο Δήμος Κηφισιάς από Not Significant έγινε Low-High Outlier, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Σταμάτας και Αγίου Στεφάνου από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant.

- Χάρτης 26: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιούνιο (2011-2015)

Στο Χάρτη 26 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Ιούνιο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Αγίας Βαρβάρας και οι Δημοτικές Ενότητες Παπάγου, Βουλιαγμένης, Βάρης και Πεύκης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ οι Δήμοι Πετρούπολης και Βριλησσιών και η Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, η Δημοτική Ενότητα Αγίου Στεφάνου από Low-Low Cluster έγινε High-Low Outlier, οι Δημοτικές Ενότητες Σαρωνίδας, Αναβύσσου, Παλαιάς Φωκαίας και Κουβαρά από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Ροδόπολης και Νέας Μάκρης από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters.
- Χάρτης 27: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιούλιο (2011-2015)

Στο Χάρτη 27 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Ιούλιο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Αγίας Βαρβάρας και οι Δημοτικές Ενότητες Ψυχικού, Βάρης και Βουλιαγμένης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ ο Δήμος Πετρούπολης και οι Δημοτικές Ενότητες Ζεφυρίου, Καματερού και Λυκόβρυσσης από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, οι Δημοτικές Ενότητες Σαρωνίδας, Αναβύσσου, Παλαιάς Φωκαίας, Αγίου Κωνσταντίνου και Κουβαρά από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Δροσιάς, Ροδόπολης, Νέας Μάκρης και Ραφήνας από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters.
- Χάρτης 28: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Αύγουστο (2011-2015)

Στο Χάρτη 28 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Αύγουστο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Βάρης και Βουλιαγμένης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, οι Δημοτικές Ενότητες Ζεφυρίου και Λυκόβρυσσης από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, οι Δημοτικές Ενότητες Σαρωνίδας, Αναβύσσου και Κουβαρά από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant, οι Δημοτικές Ενότητες Ροδόπολης και Νέας Μάκρης από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters και η Δημοτική Ενότητα Φυλής από Low-High Outlier έγινε Not Significant.
- Χάρτης 29: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Σεπτέμβριο (2011-2015)

Στο Χάρτη 29 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Σεπτέμβριο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δημοτικές Ενότητες Φιλοθέης και Πεύκης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, η Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου και ο Δήμος Πετρούπολης από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Αγίου Στεφάνου και Αναβύσσου από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant.
- Χάρτης 30: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Οκτώβριο (2011-2015)

Στο Χάρτη 30 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Οκτώβριο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δήμοι Βύρωνος και Αγίας Βαρβάρας και οι Δημοτικές Ενότητες Υμηττού, Φιλοθέης

και Ψυχικού από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ενώ ο Δήμος Βριλησίων και η Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, η Δημοτική Ενότητα Αγίου Στεφάνου από Low-Low Cluster έγινε High-Low Outlier, και η Δημοτική Ενότητα Μαγούλας από Not Significant έγινε Low-Low Cluster.

- Χάρτης 31: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Νοέμβριο (2011-2015)

Στο Χάρτη 31 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Νοέμβριο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, η Δημοτική Ενότητα Φιλοθέης από Low-High Outlier έγινε High-High Cluster, ενώ οι Δήμοι Καισαριανής και Πετρούπολης και οι Δημοτικές Ενότητες Ζεφυρίου και Βούλας από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, οι Δημοτικές Ενότητες Αφιδνών, Αγίου Στεφάνου και Σταμάτας από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant, οι Δημοτικές Ενότητες Καλυβιών Θορικού και Μαρκόπουλου Μεσογαίας από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters και η Δημοτική Ενότητα Βάρης από Low-High Outlier έγινε Not Significant.

- Χάρτης 32: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Δεκέμβριο (2011-2015)

Στο Χάρτη 32 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το μήνα Δεκέμβριο. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δήμοι Κορυδαλλού και Αγίας Βαρβάρας και η Δημοτική Ενότητα Υμηττού από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ο Δήμος Πετρούπολης και οι Δημοτικές Ενότητες Καματερού και Δραπετσώνας από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης, η Δημοτική Ενότητα Βάρης από Low-High Outlier έγινε Not Significant.

- Χάρτης 33: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2011

Στο Χάρτη 33 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το έτος 2011. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δημοτικές Ενότητες Νίκαιας, Ψυχικού, Βάρης και Παπάγου από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ο Δήμος Βριλησίων και η Δημοτική Ενότητα Καματερού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers, ενώ η Δημοτική Ενότητα Αναβύσσου από Low-Low Cluster έγινε Not Significant και η Δημοτική Ενότητα Ροδόπολης από Not Significant έγινε Low-Low Cluster.

- Χάρτης 34: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2012

Στο Χάρτη 34 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το έτος 2012. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Αγίας Βαρβάρας και η Δημοτική Ενότητα Βουλιαγμένης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ο Δήμος Πετρούπολης και οι Δημοτικές Ενότητες Καματερού και Ζεφυρίου από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers, ενώ η Δημοτική Ενότητα Σαρωνίδας από Low-Low Clusters έγινε Low-High Outlier. Επίσης, η Δημοτική Ενότητα Αναβύσσου από Low-Low Cluster έγινε Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Ροδόπολης και Νέας Μάκρης από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters.

- Χάρτης 35: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2013

Στο Χάρτη 35 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το έτος 2013. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, η Δημοτική Ενότητα Πεύκης από Low-High Outlier έγινε High-High Cluster, ο Δήμος Βριλησίων Καματερού από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Θρακομακεδόνων και Μαγούλας από Not Significant έγιναν Low-High Outliers. Επίσης οι

Δημοτικές Ενότητες Βουλιαγμένης και Βάρης από Low-High Outliers έγιναν Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Αγίου Στεφάνου και Αφιδνών από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant.

- Χάρτης 36: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2014
Στο Χάρτη 36 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το έτος 2014. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Αγίας Βαρβάρας και οι Δημοτικές Ενότητες Πεύκης, Φιλοθέης και Ψυχικού από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, η Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Σαρωνίδας και Αγίου Στεφάνου από Low-Low Clusters έγιναν High-Low Outlier και Not Significant αντίστοιχα. Επίσης ο Δήμος Κηφισιάς και η Δημοτική Ενότητα Μελισσίων από Not Significant έγιναν Δημοτικές Ενότητες Βουλιαγμένης και Βάρης από Low-High Outliers έγιναν Low-High Outliers.
- Χάρτης 37: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2015
Στο Χάρτη 37 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής το έτος 2015. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δήμοι Αγίας Βαρβάρας και Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Ψυχικού, Υμηττού και Βουλιαγμένης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ο Δήμος Πετρούπολης από High-High Cluster έγινε Low-High Outlier. Επίσης, οι Δημοτικές Ενότητες Ροδόπολης και Αγίου Στεφάνου από Low-Low Clusters έγιναν Not Significant, ενώ ο Δήμος Κηφισιάς και οι Δημοτικές Ενότητες Μελισσίων, Ανθούσας και Παλλήνης από Not Significant Low-High Outliers.
- Χάρτης 38: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με φως ημέρας (2011-2015)
Στο Χάρτη 38 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με συνθήκες φωτισμού ημέρας. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13, ο Δήμος και Βύρωνος και η Δημοτική Ενότητα Ψυχικού, από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters και η Δημοτική Ενότητα Αγίου Στεφάνου από Low-Low Cluster έγινε Not Significant.
- Χάρτης 39: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με φως νύχτας (2011-2015)
Στο Χάρτη 39 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με συνθήκες φωτισμού νύχτας. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Κορυδαλλού και οι Δημοτικές Ενότητες Αγίας Βαρβάρας, Φιλοθέης και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, οι Δήμοι Πετρούπολης και Βριλησίων από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Ροδόπολης και Μαρκόπουλου Μεσογαίας από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters.
- Χάρτης 40: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με φως δύσης ηλίου (2011-2015)
Στο Χάρτη 40 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με συνθήκες φωτισμού δύσης ηλίου. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Βύρωνος και οι Δημοτικές Ενότητες Άνω Λιοσίων, Πεύκης και Βάρης από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, ο Δήμος Βριλησίων και οι Δημοτικές Ενότητες Καματερού και Χολαργού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers, ενώ η Δημοτική Ενότητα Ροδόπολης από Not Significant έγινε Low-Low Cluster. Επίσης οι Δημοτικές Ενότητες Σαρωνίδας και Αναβύσσου από Low-Low Clusters έγιναν High-Low Outliers και Not Significant αντίστοιχα.

- Χάρτης 41: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με καλοκαιρία (2011-2015)

Στο Χάρτη 41 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με καλοκαιρία. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Βύρωνος και η Δημοτική Ενότητα Ψυχικού από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters και η Δημοτική Ενότητα Ροδόπολης από Not Significant έγινε Low-Low Cluster.
- Χάρτης 42: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με βροχή (2011-2015)

Στο Χάρτη 42 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με βροχή. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, ο Δήμος Αγίας Βαρβάρας και οι Δημοτικές Ενότητες Παπάγου και Υμηττού από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, οι Δήμοι Γλυφάδας, Ηλιούπολης και Αγίου Δημητρίου και οι Δημοτικές Ενότητες Αγίου Ιωάννου Ρέντη, Ζεφυρίου, Λυκόβρυσσης, Αργυρούπολης, Ελληνικού και Βούλας από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης οι Δημοτικές Ενότητες Καλυβίων Θορικού και Μαρκόπουλου Μεσογαίας από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Βάρης και Βουλιαγμένης από Low-High Outliers έγιναν Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Αφιδνών, Αγίου Στεφάνου και Σταμάτας από Low-Low Clusters έγιναν High-Low Outliers.
- Χάρτης 43: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με βαρύ τραυματισμό (2011-2015)

Στο Χάρτη 43 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με βαρύ τραυματισμό. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, οι Δήμοι Περάματος, Χαϊδαρίου και Κορυδαλλού και οι Δημοτικές Ενότητες Ελευσίνας, Κερασινίου και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, οι Δήμοι Ηλιούπολης, Νέας Σμύρνης και Αγίου Δημητρίου και οι Δημοτικές Ενότητες Καματερού, Λυκόβρυσσης και Χολαργού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης οι Δημοτικές Ενότητες Κρουονερίου, Άνοιξης, Δροσιάς, Διονύσου, Ροδόπολης, Πεντέλης, Νέας Μάκρης, Ραφήνας και Μαρκόπουλου Μεσογαίας από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Σαλαμίνας και Μαγούλας από Not Significant έγιναν Low-High Outliers. Διαφοροποίηση είχαν και οι Δήμοι Αμαρουσίου, Αγίας Παρασκευής και Βριλησίων, οι οποίοι από High-High Clusters έγιναν Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Βάρης και Περάμου οι οποίες από Low-High Outlier και Low-Low Cluster αντίστοιχα έγιναν Not Significant.
- Χάρτης 44: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με ελαφρύ τραυματισμό (2011-2015)

Στο Χάρτη 44 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με ελαφρύ τραυματισμό. Η μοναδική διαφοροποίηση από το Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων, είναι ο Δήμος Βύρωνος, ο οποίος από Low-High Outlier έγινε High-High Cluster.
- Χάρτης 45: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με νεκρό (2011-2015)

Στο Χάρτη 45 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της χωρικής αυτοσυσχέτισης του δείκτη Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα ανά Δήμο και Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής με νεκρό. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 13 των συνολικών ατυχημάτων οι Δήμοι Περάματος, Χαϊδαρίου και Κορυδαλλού και οι Δημοτικές Ενότητες Ελευσίνας, Κερασινίου, Ψυχικού, Βουλιαγμένης και Νίκαιας από Low-High Outliers έγιναν High-High Clusters, οι

Δήμοι Πετρούπολης και Ηρακλείου και η Δημοτική Ενότητα Καματερού από High-High Clusters έγιναν Low-High Outliers. Επίσης οι Δημοτικές Ενότητες Κρουονερίου, Διονύσου, Ροδόπολης, Πεντέλης, Νέας Μάκρης, Ραφήνας και Μαρκόπουλου Μεσογαίας από Not Significant έγιναν Low-Low Clusters, ενώ οι Δημοτικές Ενότητες Σαλαμίνας και Μαγούλας από Not Significant έγιναν Low-High Outliers. Διαφοροποίηση είχαν και οι Δήμοι Αμαρουσίου, Αγίας Παρασκευής και Βριλησίων, οι οποίοι από High-High Clusters έγιναν Not Significant και οι Δημοτικές Ενότητες Κερατέας, Μάνδρας, Αγίου Κωνσταντίνου, Παλαιάς Φωκαίας, Αναβύσσου, Σαρωνίδας, Νέας Περάμου και Ερυθρών οι οποίες από και Low-Low Clusters έγιναν Not Significant.

Με τη μέθοδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης, η οποία πραγματοποιήθηκε με τον Ολικό δείκτη Moran's I, προσδιορίστηκε το πρότυπο που παρουσιάζουν οι μεταβλητές στην περιοχή μελέτης ως χωρικά ομαδοποιημένο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Τοπικού δείκτη Moran's I οι Δήμοι που παρουσιάζουν υψηλές τιμές και οι συνορεύοντες Δήμοι αυτών παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές ανήκουν δηλαδή, στην ομάδα High-High Cluster, είναι εκείνοι, οι οποίοι βρίσκονται εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής. Αυτό το συμπέρασμα παρατηρήθηκε σε όλες τις μεταβλητές για τις οποίες εφαρμόστηκε ο Τοπικός Δείκτης.

5.4.3. Εφαρμογή ανάλυσης ταξινόμησης

Η ανάλυση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, που έχει ως σκοπό την οριοθέτηση των ομοιογενών περιοχών -στην περίπτωση αυτή, Δήμων- πραγματοποιήθηκε με βάση τον αλγόριθμο K-κέντρων (K-means) με χρήση του λογισμικού Minitab. Η λειτουργία του αλγορίθμου περιγράφεται αναλυτικά στο υπο-κεφάλαιο 4.2., ενώ οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν και στη μέθοδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης, δηλαδή:

- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο [1]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ημέρα της εβδομάδος (Δευτέρα έως Κυριακή) [7]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά μήνα (Ιανουάριος έως Δεκέμβριος) [12]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά έτος (2011 έως 2015) [5]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και συνθήκες φωτισμού (μέρα, νύχτα, σούρουπο) [3]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και καιρικές συνθήκες (βροχή, καλοκαιρία) [2]
- Σύνολο ατυχημάτων ανά Δήμο και ανά σοβαρότητα τραυματισμού (βαρύς τραυματισμός, ελαφρύς τραυματισμός, νεκρός, άλλο) [4]

Προαναλυτικά στάδια

Όπως έχει αναφερθεί στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου, τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν ύστερα από μία κανονικοποίηση, η οποία έγινε με βάση το μήκος οδικού δικτύου κάθε Δήμου σε 10χλμ. Ωστόσο, η ομαδοποίηση με τον αλγόριθμο K-κέντρων είναι «ισοτροπική» προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου και ως εκ τούτου, τείνει να παράγει περισσότερο ή λιγότερο στρογγυλές (παρά επιμήκεις) ομάδες. Το να εφαρμόζεται ο αλγόριθμος σε μεταβλητές με μεγάλο εύρος τιμών, ισοδυναμεί με την τοποθέτηση περισσότερου βάρους σε μεταβλητές με μικρότερη διακύμανση, έτσι οι ομάδες θα τείνουν να διαχωρίζονται κατά μήκος των μεταβλητών με μεγαλύτερη διακύμανση. Επομένως, για τη μέθοδο της ταξινόμησης απαιτείται μία επιπλέον κανονικοποίηση, ώστε οι τελικές τιμές όλων των μεταβλητών (συχνότητα εμφάνισης οδικών ατυχημάτων) να είναι ισοδύναμες. Η επιπλέον αυτή κανονικοποίηση έχει ως αποτέλεσμα οι τιμές όλων των μεταβλητών να κυμαίνονται μεταξύ 0 και 100 και η σχέση που εφαρμόστηκε είναι η εξής:

$$x_j = \frac{100}{x_{max}} x_i$$

όπου x_i η αρχική τιμή της μεταβλητής, x_{max} η μέγιστη τιμή της μεταβλητής και x_j η ζητούμενη, κανονικοποιημένη τιμή της μεταβλητής.

Η διαδικασία της περιφериοποίησης με τον αλγόριθμο K-Means δεν λαμβάνει υπόψη της, τουλάχιστον άμεσα, τον γεωγραφικό χώρο, συνεπώς αυτό που καθόρισε το αποτέλεσμα της ταξινόμησης ήταν η συχνότητα εμφάνισης οδικών ατυχημάτων σε κάθε μία από τις παραπάνω μεταβλητές.

Καθορισμός αριθμού τάξεων

Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός του αριθμού των τάξεων στις οποίες θα κατηγοριοποιηθούν τελικά τα δεδομένα. Αυτό το βήμα αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική απόφαση, η οποία επηρεάζει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Για το λόγο αυτό, εκτελέσθηκε ο αλγόριθμος K-κέντρων μέσω του λογισμικού Minitab. Τα δεδομένα αρχικά μετατράπηκαν από το ArcGIS σε κατάλληλη μορφή, ώστε να εισαχθούν στο Minitab. Γενικά, όσο αυξάνεται ο αριθμός των τάξεων, τόσο μειώνεται το σφάλμα της ταξινόμησης. Πολύ βασική παράμετρο για τη συγκεκριμένη μέθοδο αποτελεί το επιθυμητό εύρος των τάξεων. Για το συγκεκριμένο πλήθος δεδομένων, τους 113 Δήμους, το επιθυμητό εύρος τάξεων επιλέχθηκε να είναι από 4 έως 7 τάξεις. Για να βρεθεί ο καταλληλότερος αριθμός τάξεων, αρχικά εκτελέστηκε ο αλγόριθμος K-Means για κάθε αριθμό τάξεων από 4 έως και 7. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω στους Πίνακες 5.4, 5.5, 5.6 και 5.7:

Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 4 τάξεις

	Number of observations	Within cluster sum of squares	Average distance from centroid	Maximum distance from centroid
Cluster1	4	24505,261	76,894	94,476
Cluster2	35	96751,361	50,183	91,601
Cluster3	19	102654,919	69,919	110,356
Cluster4	55	24865,817	18,478	60,470

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 5 τάξεις

	Number of observations	Within cluster sum of squares	Average distance from centroid	Maximum distance from centroid
Cluster1	4	24505,261	76,894	94,476
Cluster2	27	45243,098	38,905	63,221
Cluster3	20	49188,884	48,299	63,739
Cluster4	53	18462,500	16,641	52,812
Cluster5	9	37831,306	64,134	84,607

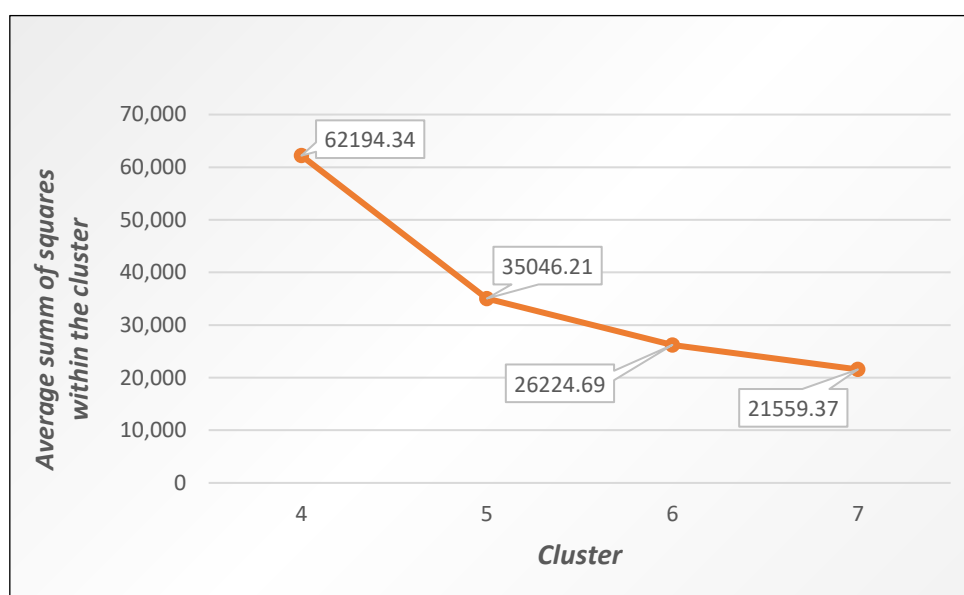
Πίνακας 5.6 Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 6 τάξεις

	Number of observations	Within cluster sum of squares	Average distance from centroid	Maximum distance from centroid
Cluster1	4	24505,261	76,894	94,476
Cluster2	12	20287,436	39,807	56,945
Cluster3	11	24637,610	46,011	69,885
Cluster4	25	37101,754	36,772	61,888
Cluster5	8	32353,561	63,058	82,634
Cluster6	53	18462,500	16,641	52,812

Πίνακας 5.7 Αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων με 7 τάξεις

	Number of observations	Within cluster sum of squares	Average distance from centroid	Maximum distance from centroid
Cluster1	4	24505,261	76,894	94,476
Cluster2	12	20287,436	39,807	56,945
Cluster3	11	24637,610	46,011	69,885
Cluster4	7	5837,918	27,202	49,994
Cluster5	8	32353,561	63,058	82,634
Cluster6	18	24831,294	35,304	57,793
Cluster7	53	18462,500	16,641	52,812

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση το μέσο όρο της στήλης “Within cluster sum of squares”, δηλαδή με βάση το μέσο όρο του αθροίσματος των τετραγώνων της κάθε τάξης. Έτσι, δημιουργείται το διάγραμμα του Σχήματος 5.5:



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα μέσων όρων αθροίσματος τετραγώνων κάθε τάξης

Η γενική εικόνα κάθε αντίστοιχου διαγράμματος φανερώνει ότι το μέσο σφάλμα μειώνεται όσο ο αριθμός των τάξεων μεγαλώνει, δηλαδή είναι αντιστρόφως ανάλογα. Αυτό που αναζητείται κάθε φορά, είναι το τοπικό βέλτιστο στο επιθυμητό εύρος των τάξεων. Κριτήριο επιλογής του τοπικού βέλτιστου αριθμού των τάξεων αποτελεί η κλίση της καμπύλης. Σύμφωνα με το διάγραμμα, η αλλαγή της κλίσης της καμπύλης είναι μικρότερη στο σημείο καμπής των 6 τάξεων και επομένως, επιλέγεται αυτός ο αριθμός τάξεων ως ο καταλληλότερος.

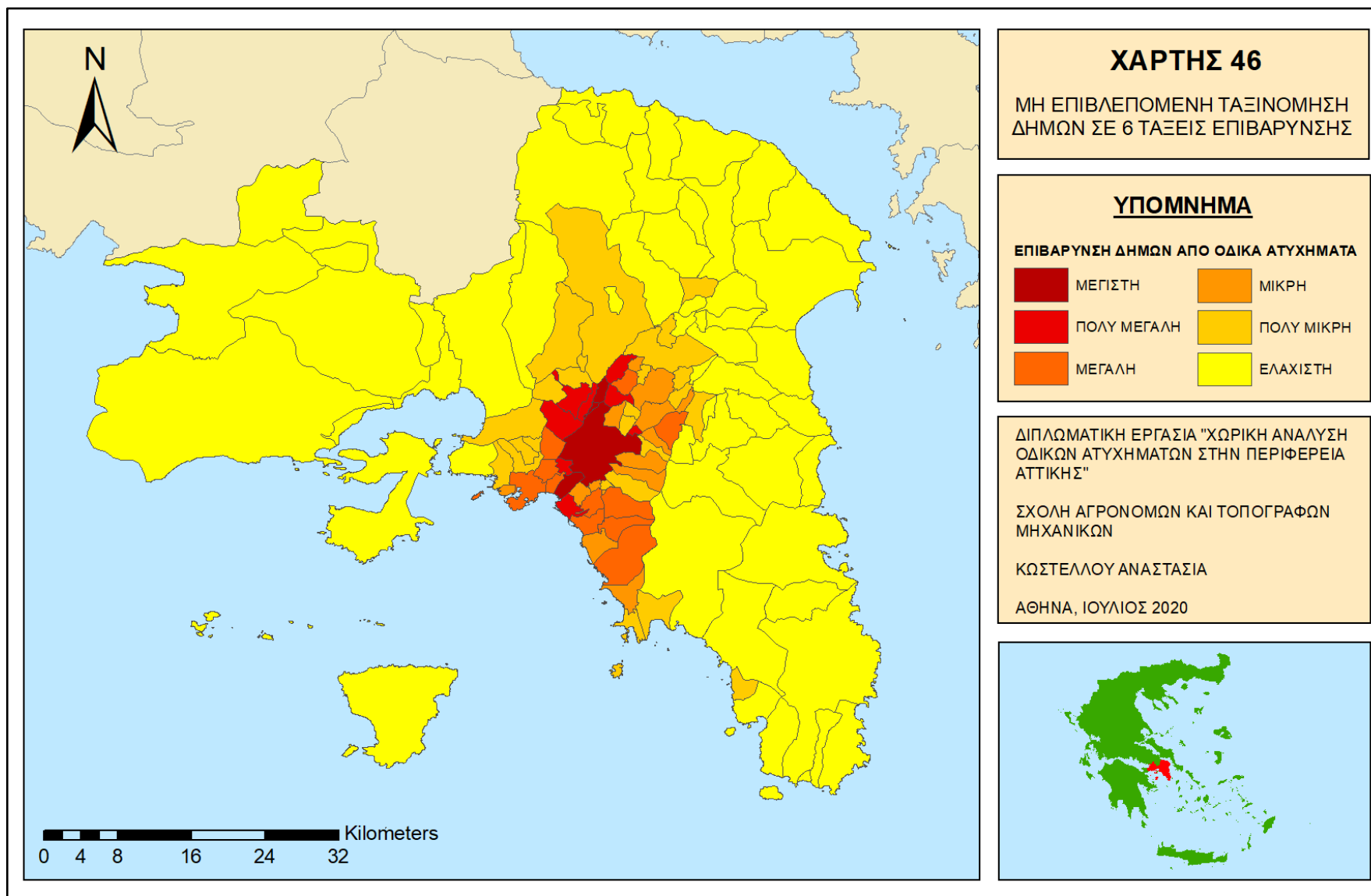
Το επόμενο βήμα είναι η λειτουργία του αλγορίθμου K-means στα διαθέσιμα δεδομένα, με αριθμό τάξεων 6. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα του αλγορίθμου παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.8, όπου φαίνεται απόσπασμα από τις τιμές των μεταβλητών και η ταξινόμηση των Δήμων στις 6 τάξεις. Σημειώνεται ότι η αρίθμηση των τάξεων στον Πίνακα 5.8 δεν είναι η τελική. Η ονομασία των τελικών τάξεων έγινε με βάση τις τιμές του Πίνακα 5.9. όπου, σύμφωνα με τους μέσους όρους των τιμών κάθε στήλης προκύπτει ότι η στήλη Cluster1 είναι εκείνη με τις υψηλότερες τιμές και ακολουθούν αντίστοιχα οι στήλες Cluster5, Cluster3, Cluster2, Cluster4 και Cluster6. Με αυτή τη σειρά λοιπόν, ονομάστηκαν οι τάξεις που φαίνονται στο υπόμνημα του Χάρτη 46, ως επιβαρύνσεις των Δήμων από οδικά ατυχήματα, με υψηλότερη επιβάρυνση να παρουσιάζουν οι Δήμοι της τάξης “ΜΕΓΙΣΤΗ” και τη χαμηλότερη οι Δήμοι της τάξης “ΕΛΑΧΙΣΤΗ”.

Πίνακας 5.8 Απόσπασμα αποτελέσματος ταξινόμησης

ΔΗΜΟΣ	synolo	Monday	january	year_2013	nyxta	kalokairia	nerkros	cl6
ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	30.13	31.39	23.80	21.99	29.51	30.92	23.51	2
ΒΡΗΛΗΣΣΙΩΝ	21.94	25.71	21.01	9.82	18.81	20.95	5.41	4
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	45.69	45.50	30.61	35.66	48.05	48.69	10.02	3
ΚΗΦΙΣΙΑΣ	14.91	19.37	9.00	9.59	14.25	15.48	13.65	4
ΕΚΑΛΗΣ	8.22	8.55	3.29	5.39	8.26	8.13	19.78	6
ΝΕΑΣ ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ	16.29	10.88	12.23	9.29	14.60	15.37	12.59	4
ΠΕΥΚΗΣ	16.08	8.94	11.48	14.87	15.99	17.90	0.00	4
ΛΥΚΟΒΡΥΣΕΩΣ	27.10	25.21	20.60	14.45	23.36	28.35	21.20	2
ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	69.30	64.91	46.90	52.37	69.35	72.64	34.86	5
ΧΟΛΑΡΓΟΥ	30.50	36.03	26.64	21.80	26.36	30.34	25.25	2
ΠΑΠΑΓΟΥ	16.31	17.58	23.84	7.70	13.63	15.41	13.56	4
ΝΕΑΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	1.57	3.03	0.00	0.00	3.25	1.63	0.00	6
ΑΘΗΝΑΙΩΝ	100.00	100.00	72.59	70.57	100.00	100.00	36.80	1

Πίνακας 5.9 Αρχικά αποτελέσματα αλγορίθμου K-κέντρων

Variable	Cluster1	Cluster2	Cluster3	Cluster4	Cluster5	Cluster6
synolo	88,6540	31,8735	41,4422	17,2982	60,3553	2,8790
monday	83,0759	32,7627	40,6383	17,1247	56,3324	3,2544
tuesday	68,7430	19,9701	27,5998	10,3918	40,7806	1,7664
wednesday	88,7133	31,8187	41,4879	17,0622	62,5716	2,7292
thursday	88,8286	29,7686	40,4628	15,2375	56,2325	2,4250
friday	75,2980	32,2130	40,2143	13,9449	63,6752	2,7356
saturday	77,2522	26,5800	32,6046	14,5073	49,8538	2,7494
sunday	77,1528	30,7348	41,6817	19,1938	54,0678	4,0675
january	76,0819	21,7019	26,4307	12,3243	45,4616	1,5820
february	80,3141	29,5492	31,6026	16,8289	58,4650	1,9965
march	76,0267	29,1252	33,4417	12,3628	51,7513	1,8566
april	90,5650	31,1398	43,0629	16,1698	56,1128	2,5629
may	82,1349	32,0202	41,2073	20,3030	60,5124	2,9862
june	80,3805	33,2127	44,1181	20,2063	56,2347	3,0584
july	77,9565	26,4581	39,0285	15,1343	46,9492	3,7653
august	90,3790	29,9177	44,7317	17,4585	65,0504	4,8215
september	84,0566	35,1405	47,9122	18,7664	64,5038	3,3586
october	91,4377	30,4610	48,5675	18,3518	62,9234	2,4787
november	89,6905	29,8790	47,6394	18,0011	61,7211	2,4313
december	85,9917	30,8578	36,8490	15,7518	59,3372	2,3040
year_2011	93,1099	31,7625	36,4363	15,3698	60,1936	2,5956
year_2012	82,2035	29,3590	38,3356	15,2249	56,7181	2,6631
year_2013	71,7187	20,7127	28,1959	11,1474	47,0014	1,9727
year_2014	88,1724	31,4134	44,3743	18,4289	57,3051	2,8305
year_2015	66,1291	34,8327	45,4050	20,8468	54,3340	3,3350
mera	87,2955	32,7777	40,4609	17,1152	61,5554	2,8676
nyxta	92,9424	30,2357	42,6206	17,5608	57,5118	2,5472
soyroppo	67,2408	27,7362	38,5028	14,4442	61,1183	2,3595
broxh	68,5393	19,1114	16,7114	12,2738	52,5475	2,6826
kalokairia	88,4216	32,2047	42,4488	17,2618	60,1066	2,6952
baria	81,4904	27,2927	42,0044	18,7998	46,2558	4,9339
elafria	87,7440	31,5531	40,7494	16,8858	60,3377	2,6164
nerkros	69,2162	27,0385	35,7161	17,0851	40,0554	6,4921



Χάρτης 46: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση των Δήμων σε 6 τάξεις επιβάρυνσης

Το τελικό εξαγόμενο αποτέλεσμα, το οποίο περιλαμβάνει την τάξη στην οποία ανήκει ο κάθε Δήμος, μετατράπηκε σε κατάλληλη μορφή ώστε να εισαχθεί στο λογισμικό ArcGIS και να οπτικοποιηθεί. Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων φαίνεται στο Χάρτη 46.

Σύμφωνα λοιπόν, με το Χάρτη 46 οι Δήμοι, οι οποίοι φαίνεται να αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα, αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα, είναι αυτοί των *Αθηναίων, της Καλλιθέας και της Νέας Φιλαδέλφειας-Χαλκηδόνος*. Στον Πίνακα 5.10 που ακολουθεί, φαίνεται αναλυτικά σε ποιες τάξεις ταξινομήθηκαν όλοι οι Δήμοι και οι Δημοτικές Ενότητες, καθώς και τι ποσοστό επί του συνόλου περιλαμβάνει η κάθε τάξη.

Πίνακας 5.10 Αποτελέσματα ταξινόμησης 6 τάξεων

ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΩΝ/Δ. ΕΝΟΤΗΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ	ΔΗΜΟΙ/Δ. ΕΝΟΤΗΤΕΣ
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	4	3,5%	ΑΘΗΝΑΙΩΝ, ΝΕΑΣ ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ, ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ, ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ
ΠΟΛΥ ΜΕΓΑΛΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	8	7,1%	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ, ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ, ΝΕΟΥ ΨΥΧΙΚΟΥ, ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ, ΤΑΥΡΟΥ, ΠΑΛΑΙΟΥ ΦΑΛΗΡΟΥ, ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ, ΙΛΙΟΥ (ΝΕΩΝ ΛΙΟΣΙΩΝ)
ΜΕΓΑΛΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	11	9,7%	ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ, ΗΛΙΟΥΠΟΛΗΣ, ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, ΓΛΥΦΑΔΑΣ, ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ, ΜΟΣΧΑΤΟΥ, ΠΕΙΡΑΙΩΣ, ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΟΥ ΡΕΝΤΗ, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΛΙΜΟΥ
ΜΙΚΡΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	12	10,6%	ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ, ΛΥΚΟΒΡΥΣΕΩΣ, ΧΟΛΑΡΓΟΥ, ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ, ΔΑΦΝΗΣ, ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ, ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ, ΝΕΑΣ ΣΜΥΡΝΗΣ, ΒΟΥΛΑΣ, ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ
ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	25	22,1%	ΝΕΑΣ ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ, ΠΕΥΚΗΣ, ΠΑΠΑΓΟΥ, ΜΕΛΙΣΣΙΩΝ, ΒΥΡΩΝΟΣ, ΥΜΗΤΤΟΥ, ΨΥΧΙΚΟΥ, ΦΙΛΟΘΕΗΣ, ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ, ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΗΣ, ΧΑΙΔΑΡΙΟΥ, ΓΕΡΑΚΑ, ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΩΝ, ΖΕΦΥΡΙΟΥ, ΚΑΜΑΤΕΡΟΥ, ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ, ΑΓΙΟΥ ΣΤΕΦΑΝΟΥ, ΑΧΑΡΝΩΝ, ΒΑΡΗΣ, ΚΕΡΑΤΣΙΝΙΟΥ, ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΥ, ΝΙΚΑΙΑΣ, ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΑΡΩΝΙΔΟΣ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	53	47,0%	ΒΡΙΛΗΣΣΙΩΝ, ΚΗΦΙΣΙΑΣ, ΕΚΑΛΗΣ, ΝΕΑΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ, ΠΕΝΤΕΛΗΣ, ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΥ, ΝΕΑΣ ΜΑΚΡΗΣ, ΚΑΛΑΜΟΥ, ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ, ΠΑΙΔΝΙΑΣ, ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ, ΑΝΘΟΥΣΑΣ, ΠΑΛΛΗΝΗΣ, ΩΡΩΠΟΥ, ΑΥΛΩΝΟΣ, ΑΦΙΔΝΩΝ, ΒΙΛΙΩΝ, ΕΡΥΘΡΩΝ, ΟΙΝΟΗΣ, ΠΟΛΥΔΕΝΔΡΙΟΥ, ΜΕΓΑΡΕΩΝ, ΝΕΑΣ ΠΕΡΑΜΟΥ, ΦΥΛΗΣ, ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ, ΣΑΛΑΜΙΝΟΣ, ΑΙΓΙΝΑΣ, ΡΟΔΟΠΟΛΕΩΣ, ΣΤΑΜΑΤΑΣ, ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΟΡΙΚΟΥ, ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ, ΣΥΚΑΜΙΝΟΥ, ΕΛΕΥΣΙΝΟΣ, ΜΑΓΟΥΛΑΣ, ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ, ΑΝΟΙΞΕΩΣ, ΚΡΩΠΙΑΣ, ΡΑΦΗΝΑΣ, ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ, ΣΠΑΤΩΝ-ΛΟΥΤΣΑΣ, ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ, ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ, ΔΙΟΝΥΣΟΥ, ΔΡΟΣΙΑΣ, ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΥ, ΚΑΠΑΝΔΡΙΤΙΟΥ, ΜΑΛΑΚΑΣΗΣ, ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΩΡΩΠΟΥ, ΜΑΝΔΡΑΣ, ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ, ΑΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, ΚΕΡΑΤΕΑΣ, ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ, ΒΑΡΝΑΒΑ, ΚΟΥΒΑΡΑ, ΠΑΛΛΙΑΣ ΦΩΚΑΙΑΣ

Ένα γενικό σχόλιο για το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ότι οι Δήμοι που φαίνεται να έχουν το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα, είναι εκείνοι που ανήκουν στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών – Πειραιώς, το οποίο είναι η μεγαλύτερη και πιο πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή στην Αττική και περιλαμβάνει την Αθήνα, τον Πειραιά και τα προάστιά τους. Εκτείνεται κατά κύριο λόγο στο Λεκανοπέδιο Αττικής κι εντός των διοικητικών ορίων πέντε Περιφερειακών Ενοτήτων της Περιφέρειας Αττικής.

5.5. Συμπεράσματα

Με βάση την ανάλυση που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα υπο-κεφάλαια, προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία συνοψίζονται στη συνέχεια.

Από την οπτικοποίηση των δεδομένων, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα σχετικά με τα οδικά ατυχήματα εντοπίζεται στους Δήμους που βρίσκονται στον Κεντρικό, Νότιο, Βόρειο και Δυτικό Τομέα, καθώς και στον Τομέα Πειραιώς με τους Δήμους Αθηναίων, Καλλιθέας, Περιστερίου, Νέας Ιωνίας, Νέου Ψυχικού και Μεταμόρφωσης να συγκεντρώνουν τα περισσότερα

ατυχήματα. Η ημέρα κατά την οποία συμβαίνουν τα περισσότερα οδικά ατυχήματα είναι η Παρασκευή, ενώ ο αντίστοιχος μήνας είναι ο Ιούνιος. Επίσης, διαπιστώνεται ότι στο χρονικό διάστημα 2011-2015 τα περισσότερα οδικά ατυχήματα συνέβησαν το 2011 και μέχρι το 2015 παρουσίασαν μειωτική τάση. Παρότι οι συνθήκες φωτισμού την ημέρα είναι φαινομενικά πιο ιδανικές, η πλειοψηφία των ατυχημάτων τείνει να συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας, που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι υψηλότερος. Επιπροσθέτως, τα περισσότερα οδικά ατυχήματα συμβαίνουν με καλές καιρικές συνθήκες, καθώς οι συνολικές ημέρες με καλοκαιρία ανά έτος αποτελούν την πλειοψηφία. Τέλος, με μέση πληρότητα επιβατών ανά όχημα μικρότερη από 2, η αντίστοιχη μεταβλητή δείχνει ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό των οδικών ατυχημάτων, ο συμμετέχων είναι μόνο ένας και άρα είναι ο οδηγός.

Με τη μέθοδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης, η οποία πραγματοποιήθηκε με τον Ολικό δείκτη Moran's I, προσδιορίστηκε το πρότυπο που παρουσιάζουν οι μεταβλητές στην περιοχή μελέτης ως χωρικά ομαδοποιημένο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Τοπικού δείκτη Moran's I οι Δήμοι που παρουσιάζουν υψηλές τιμές και οι συνορεύοντες Δήμοι αυτών παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές ανήκουν δηλαδή, στην ομάδα High-High Cluster, είναι εκείνοι, οι οποίοι βρίσκονται εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής. Αυτό το συμπέρασμα παρατηρήθηκε σε όλες τις μεταβλητές για τις οποίες εφαρμόστηκε ο Τοπικός Δείκτης.

Η ανάλυση με τη μέθοδο της ταξινόμησης απαιτεί μια σειρά από προαναλυτικά στάδια, καθώς επίσης και προεπεξεργασίας των δεδομένων. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση της πραγματικότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς δίνει τη δυνατότητα της μελέτης του φαινομένου των οδικών ατυχημάτων στο σύνολό του, αφού το αποτέλεσμα προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη όλες τις χρησιμοποιούμενες μεταβλητές. Το συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση της ταξινόμησης, είναι ότι οι Δήμοι που ανήκουν στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών – Πειραιώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επιβάρυνση από οδικά ατυχήματα.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα και των τριών μεθόδων που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρείται ότι ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται κάθε φορά, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι το ίδιο, ότι δηλαδή, τα περισσότερα οδικά ατυχήματα που συμβαίνουν στην Περιφέρεια Αττικής εντοπίζονται στους Δήμους της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ζήτημα της οδικής ασφάλειας βρίσκεται στο επίκεντρο του παγκόσμιου ενδιαφέροντος, καθώς σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την όγδοη κύρια αιτία θανάτου παγκοσμίως για όλες τις ηλικιακές ομάδες. Οι θάνατοι από οδικά ατυχήματα αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου για παιδιά και νεαρούς ενήλικες ηλικίας 5-29 ετών (WHO, 2018). Σύμφωνα με την τελευταία έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που δημοσιεύθηκε τον Ιούνιο του 2020, το 2019 καταγράφηκαν 22.800 θάνατοι από τροχαία ατυχήματα στα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα το 2019 σημειώθηκαν 65 θάνατοι από οδικά ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους, αριθμός αρκετά υψηλότερος από το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα στατιστικά στοιχεία καθιστούν τα οδικά ατυχήματα ως ένα από τα κυριότερα προβλήματα στην παγκόσμια υγεία και συχνά το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως παγκόσμια “πανδημία”. Η πρόληψη των οδικών ατυχημάτων συνεπάγεται την ανάπτυξη μεθόδων για τον εντοπισμό, την ανάλυση και τη βελτίωση των εκτεθειμένων περιοχών.

Όλα τα παραπάνω οδήγησαν στην ανάγκη για τη μελέτη του φαινομένου των οδικών ατυχημάτων στην Περιφέρεια Αττικής, η οποία αποτελεί και την πρώτη σε πληθυσμό και πιο πυκνοκατοικημένη περιφέρεια της Ελλάδας. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων χωρικής ανάλυσης με στόχο τον προσδιορισμό των περιοχών της Περιφέρειας Αττικής που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα, τόσο στο σύνολό τους, όσο και ανά κριτήριο. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τους Δήμους και τις Δημοτικές Ενότητες της Περιφέρειας Αττικής, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση του Σχεδίου Καλλικράτη.

Αρχικά έγινε μία διερεύνηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας που αφορά στον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα, αλλά και των επικρατέστερων μεθόδων χωρικής ανάλυσης που έχουν χρησιμοποιηθεί για αυτό το σκοπό. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η πλειοψηφία παραγόντων σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του οδηγού, τον τύπο του οχήματος, την ταχύτητα, τον τύπο σύγκρουσης, τα χαρακτηριστικά του οδικού περιβάλλοντος ως προς τη χάραξη και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με κυριότερο το διαθέσιμο τύπο δεδομένων.

Χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων, η οποία θεωρείται από τους περισσότερους ερευνητές το αυτονόητο περιβάλλον διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων. Αυτό γιατί

- διαχειρίζεται δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές (δεδομένα πεδίου, δορυφορικές εικόνες κτλ)
- προμηθεύει δομές δεδομένων για την όσο το δυνατόν καλύτερη αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων
- κάνει δυνατή τη συγκέντρωση και το διαχωρισμό πληροφοριών ανάμεσα σε πολλαπλές κλίμακες.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη εργασία αντλήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ, με βάση τα στοιχεία από τα Δελτία Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) που συλλέγει η Τροχαία και αφορούν στα οδικά ατυχήματα που έλαβαν χώρα στην Περιφέρεια Αττικής την περίοδο 2011 έως και 2015. Από τα διαθέσιμα δεδομένα, ως μεταβλητές στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν: το σύνολο των οδικών ατυχημάτων ανά Δήμο, έτος, μήνα, ημέρα, σοβαρότητα, τύπο ατυχήματος, είδος διασταύρωσης, συνθήκες φωτισμού, καιρικές συνθήκες, πλήθος αριθμού συμμετεχόντων στο ατύχημα, είδος οχήματος και κατηγορία συμμετέχοντα. Οι διευθύνσεις των ατυχημάτων που συλλέγονται, δεν είναι επαρκώς προσδιορισμένες χωρικά ώστε να υπάρξει σημειακή τοπολογία, με αποτέλεσμα το επίπεδο της χωρικής ανάλυσης να είναι πολυγωνικής μορφής, αυτό των Δήμων της Περιφέρειας Αττικής.

Το επίπεδο ανάλυσης, σε συνδυασμό με τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, οδήγησαν στην επιλογή των καταλληλότερων μεθόδων χωρικής ανάλυσης, οι οποίες είναι η μέθοδος της διερευνητικής ανάλυσης των δεδομένων, η μέθοδος της χωρικής αυτοσυσχέτισης και η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Η διερευνητική ανάλυση αποτελεί ένα μέσο για την παρουσίαση και τη μετάδοση της πληροφορίας με άμεσο και απλό τρόπο, που στόχο έχει τον εντοπισμό και την αναγνώριση δομών και ιδιοτήτων σε ένα σύνολο δεδομένων. Με τη βοήθεια της οπτικοποίησης μπορούν να απεικονιστούν σε γραφήματα ιδιότητες των δεδομένων, σχέσεις συνάφειας, συγκρίσεις τιμών, γεωγραφική διασπορά συμβάντων, ανοδικές και καθοδικές τάσεις κ.ά. Επιλέχθηκε ως πρώτη μέθοδος ανάλυσης έτσι, ώστε να γίνει μία αρχική εκτίμηση μέσω του εντοπισμού των επικρατέστερων τιμών των μεταβλητών χωρικά.

Πριν από το στάδιο της διερευνητικής ανάλυσης, στο στάδιο της διαχείρισης των δεδομένων περιλαμβάνεται η κανονικοποίησή τους με βάση το μήκος οδικού δικτύου ανά 10χλμ. Αυτό έγινε έτσι ώστε τα αποτελέσματα της ανάλυσης να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Από τη διερευνητική ανάλυση των δεδομένων, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα σχετικά με τα οδικά ατυχήματα εντοπίζεται στους Δήμους που βρίσκονται στον Κεντρικό, Νότιο, Βόρειο και Δυτικό Τομέα, καθώς και στον Τομέα Πειραιώς με τους Δήμους Αθηναίων, Καλλιθέας, Περιστερίου, Νέας Ιωνίας, Νέου Ψυχικού και Μεταμόρφωσης να συγκεντρώνουν τα περισσότερα ατυχήματα. Το αποτέλεσμα ότι η ημέρα και ο μήνας που συμβαίνουν τα περισσότερα οδικά ατυχήματα είναι η Παρασκευή και ο Ιούνιος, με ποσοστά 15,43% και 9,31% επί του συνόλου αντίστοιχα, εξηγείται από το γεγονός ότι τότε παρουσιάζεται υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος. Επίσης, διαπιστώνεται ότι στο χρονικό διάστημα 2011-2015 τα περισσότερα οδικά ατυχήματα συνέβησαν το 2011 και μέχρι το 2015 παρουσίασαν μειωτική τάση, όπως φαίνεται και από τα στατιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, γεγονός που αιτιολογείται από την οικονομική κρίση που αντιμετωπίζει η Ελλάδα με συνεπακόλουθο το μειωμένο αριθμό μετακινήσεων, ειδικά με ΙΧ. Παρότι οι συνθήκες φωτισμού την ημέρα είναι φαινομενικά πιο ιδανικές, το 63,68% των ατυχημάτων τείνει να συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας, που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι υψηλότερος. Επιπροσθέτως, τα περισσότερα οδικά ατυχήματα με ποσοστό 95,53% συμβαίνουν με καλές καιρικές συνθήκες, καθώς οι συνολικές ημέρες με καλοκαιρία ανά έτος αποτελούν την πλειοψηφία. Τέλος, με μέση πληρότητα επιβατών ανά όχημα μικρότερη από 2, η αντίστοιχη μεταβλητή δείχνει ότι με ποσοστό 93,57% των συνολικών οδικών ατυχημάτων, ο συμμετέχων είναι μόνο ένας και άρα είναι ο οδηγός.

Η ανάλυση της χωρικής αυτοσυσχέτισης, σε αντίθεση με τη διερευνητική ανάλυση, αποτελεί μία σύνθετη μέθοδο, η οποία σχετίζεται με την ύπαρξη ομοιότητας ή αλληλεξάρτησης ενός αντικείμενου με τα γειτονικά του αντικείμενα στο χώρο, δηλαδή χωρική αυτοσυσχέτιση υπάρχει όταν η τιμή μια μεταβλητής, που αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη χωρική ενότητα, επηρεάζεται και επηρεάζεται από τις τιμές της ίδιας μεταβλητής στις γειτονικές χωρικές ενότητες (Kitchin και Tate, 2000). Η χωρική αυτοσυσχέτιση πραγματοποιήθηκε μέσω του δείκτη Moran's I (ολικό και τοπικό). Αποτέλεσμα του ολικού δείκτη είναι ο εντοπισμός ύπαρξης ή μη ύπαρξης τυχαιότητας στον τρόπο που κατανέμονται οι οντότητες στο χώρο. Ο τοπικός δείκτης εφαρμόζεται για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά και διακρίνει τις χωρικές ομάδες που έχουν υψηλές ή χαμηλές τιμές σε σχέση με τις γειτονικές τους.

Με τη μέθοδο της χωρικής αυτοσυσχέτισης, η οποία πραγματοποιήθηκε με τον Ολικό δείκτη Moran's I, προσδιορίστηκε το πρότυπο που παρουσιάζουν οι μεταβλητές στην περιοχή μελέτης. Αυτό ήταν για όλες τις μεταβλητές χωρικά ομαδοποιημένο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Τοπικού δείκτη Moran's I οι Δήμοι που παρουσιάζουν υψηλές τιμές και οι συνορεύοντες Δήμοι αυτών παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές (ανήκουν στην ομάδα High-High Cluster) είναι εκείνοι, οι οποίοι βρίσκονται εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής. Αυτό το συμπέρασμα παρατηρήθηκε στις περισσότερες μεταβλητές για τις οποίες εφαρμόστηκε ο Τοπικός Δείκτης. Ωστόσο, στους Χάρτες 42 και 43 των μεταβλητών "συνολικών ατυχημάτων με βροχή" και "με βαρύ τραυματισμό" αντίστοιχα, παρατηρείται διαφοροποίηση στην κατανομή των Δήμων με υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα, για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με βροχή, οι Δήμοι που βρίσκονται στο Νότιο άκρο του Λεκανοπεδίου εμφανίζουν χαμηλές τιμές (ομάδα Low-High Outlier)

σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των υπόλοιπων μεταβλητών. Παρόμοια διαφοροποίηση παρατηρείται και στο αποτέλεσμα της μεταβλητής των ατυχημάτων με βαρύ τραυματισμό. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης της χωρικής αυτοσυσχέτισης στο σύνολό τους, παρατηρείται εντυπωσιακή ταύτιση στην κατανομή των υψηλών τιμών, αφού από τις 33 μεταβλητές μόνο 2 παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά.

Μέχρι το στάδιο αυτό, η χρήση των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων, σε όλα τα στάδια, από την εισαγωγή, τη διαχείριση, την απεικόνιση αλλά και την ανάλυση του χώρου ήταν επαρκής. Ήταν απαραίτητος ο εμπλουτισμός των αναλυτικών ικανοτήτων τους με άλλες μεθόδους, όπως η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, με τη χρήση εξωτερικού λογισμικού.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μία μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση δεδομένων και προσπαθεί να δημιουργήσει “φυσικές” ομάδες (τάξεις) δεδομένων όσο το δυνατόν αντικειμενικότερα, με βάση τα κριτήρια που καθορίζονται. Αφού καθοριστούν τα κριτήρια (μεταβλητές), τα αντικείμενα που αναφέρονται σε αυτά πρέπει να αποδοθούν σε τάξεις. Το πρώτο μέρος της διαδικασίας αυτής είναι τις περισσότερες φορές καθαρά υποκειμενικό, ενώ το δεύτερο, η διαδικασία απόδοσης των αντικειμένων σε περιφέρειες υπόκειται σε μαθηματικούς κανόνες. Στην συγκεκριμένη διπλωματική αξιοποιήθηκε ο αλγόριθμος K-Κέντρων (K-means), ο οποίος αποτελεί τον πιο δημοφιλή αλγόριθμο ταξινόμησης. Ο προσδιορισμός των περιφερειών των οδικών ατυχημάτων εξετάστηκε σε συνδυασμό με τις μεταβλητές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση της πραγματικότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς δίνει τη δυνατότητα της μελέτης του φαινομένου των οδικών ατυχημάτων στο σύνολό του, αφού το αποτέλεσμα προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη όλες τις χρησιμοποιούμενες μεταβλητές. Το συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση της ταξινόμησης, είναι ότι οι Δήμοι που ανήκουν στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών – Πειραιώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επιβάρυνση από οδικά ατυχήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι Δήμοι οι οποίοι φαίνεται να αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα και ταξινομήθηκαν στην τάξη με τη μέγιστη επιβάρυνση, είναι αυτοί των Αθηναίων, της Καλλιθέας και της Νέας Φιλαδέλφειας-Χαλκηδόνας. Επιπροσθέτως, εντός του Λεκανοπεδίου βρίσκονται και όλοι οι Δήμοι της δεύτερης και τρίτης σε σειρά τάξης επιβάρυνσης (πολύ μεγάλη και μεγάλη επιβάρυνση αντίστοιχα). Παρόλο που το 47% των υπό διερεύνηση Δήμων ανήκει στην τάξη, στην οποία η επιβάρυνση από οδικά ατυχήματα είναι ελάχιστη, κανένας από αυτούς δεν βρίσκεται εντός της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας. Τέλος, παρατηρείται πως το αποτέλεσμα της μεθόδου της ταξινόμησης ταυτίζεται με τα αποτελέσματα της χωρικής αυτοσυσχέτισης και αντίστροφα.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε για την αντιμετώπιση του προβλήματος του προσδιορισμού των περιοχών υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων, σε συνδυασμό με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της, δηλαδή την διερευνητική ανάλυση, την ανάλυση αυτοσυσχέτισης και την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, αποτελούν ένα υποσύνολο ενός Συστήματος Υποστήριξης Χωρικών Αποφάσεων (ΣΥΧΑ), που μπορεί να αξιοποιηθεί στην επίλυση οποιουδήποτε ανάλογου προβλήματος και συνιστά την συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το μεθοδολογικό αυτό πλαίσιο αξιοποιήθηκε στον προσδιορισμό των πιο επιβαρυσμένων Δήμων της Περιφέρειας Αττικής ως προς τα οδικά ατυχήματα. Η μεθοδολογική προσέγγιση κρίνεται αποδοτική στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας.

Όπως αναφέρθηκε, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη διερεύνηση του φαινομένου των οδικών ατυχημάτων και πώς αυτά κατανέμονται στο χώρο. Λόγω της έλλειψης λεπτομερών χωρικής πληροφορίας, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο Δήμου. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η αντίστοιχη έρευνα με χρήση σημειακών δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση η ανάλυση θα ήταν πιο λεπτομερής, αφού θα μπορούσε να γίνει εντοπισμός των προβληματικών σημείων των οδικών αξόνων της Περιφέρειας (διασταυρώσεις, νησίδες κτλ.) και να συντελέσει στη βελτίωσή τους. Επιπλέον, στην ανάλυση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης θα μπορούσαν αντί του αλγόριθμου K-κέντρων, να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης. Επίσης, προτείνεται η χρήση μεθόδων μαθηματικής προσημείωσης, όπως

της παλινδρόμησης ή νευρωνικών δικτύων, ώστε να μοντελοποιηθούν τα αίτια που συμβάλουν στο φαινόμενο των οδικών ατυχημάτων στη χώρα μας.

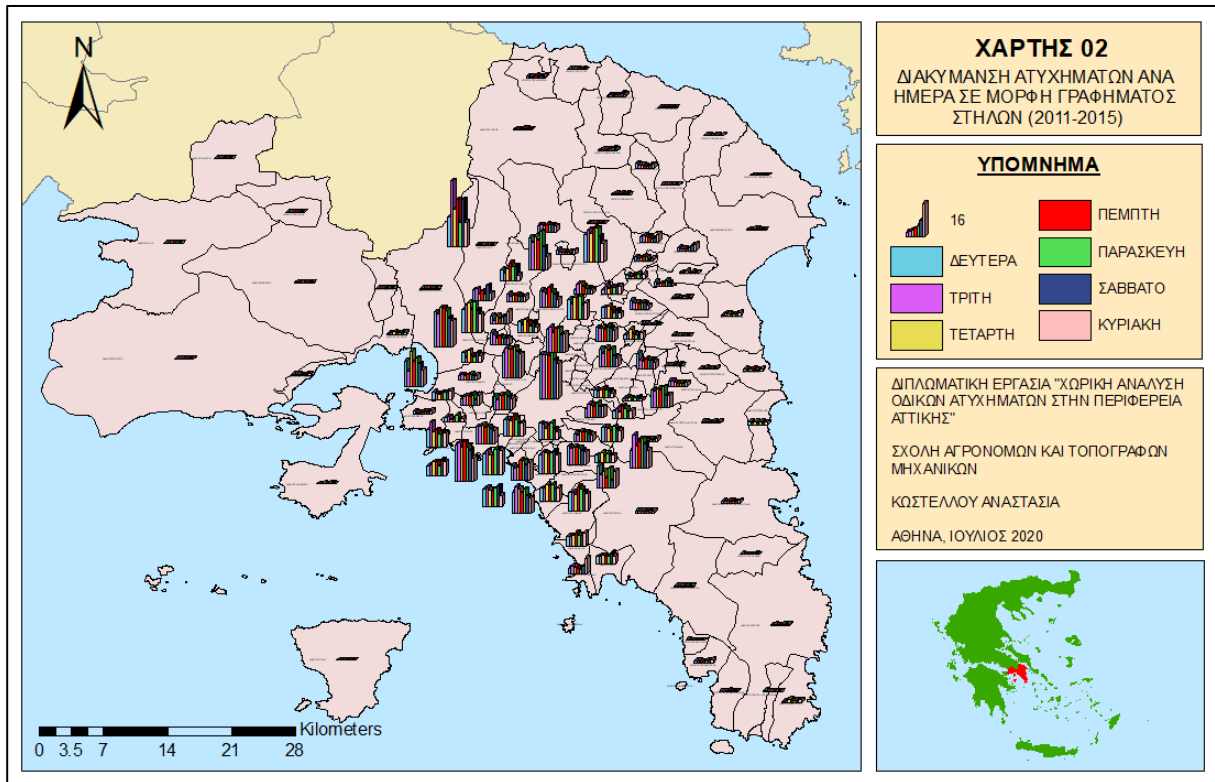
ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Aarts, L and Van Schagen, I. 2006. Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accid Anal Prev.*, 38: 215–224. [[Crossref](#)], [[PubMed](#)], [[Web of Science ®](#)], [[Google Scholar](#)]
2. AGUERO-VALVERDE, J. and JOVANIS, P.P., 2006. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), pp. 618-625.
3. Al-Ghamdi, A S. 2002. Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accid Anal Prev.*, 34: 729–741. [[Crossref](#)], [[PubMed](#)], [[Web of Science ®](#)], [[Google Scholar](#)]
4. Alfaro, J.L., Chapuis, M., Fabre, F. (1994) Cost 313, Volkswirtschaftliche Kosten der Strassenverkehrsunfälle, Schlussbericht. Brussel: Europäische Kommission.
5. Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93–115.
6. Boots, N., & Getis, A. (1988). *Point Pattern Analysis*
7. Burrough P., 1986, *Principles of GIS for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford, London
8. BUDIARTO, U. and SAIDO, A.P., 2012. Traffic accident hotspot identification and ambulance fastest route mobilization process for the city of Surakarta. *Jurnal Transportasi*, 12(3).
9. Card, S., Mackinlay, J., & Shneiderman, B. (1999). *Readings in Information Visualization*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
10. Carver J. S., 1992, *Integrating Multi-Criteria Evaluation with GIS*, *International Journal of GIS*, Vol. 5, N. 3, pp. 321-339
11. CASTRO, M., PALETI, R. and BHAT, C.R., 2012. A latent variable representation of count data models to accommodate spatial and temporal dependence: Application to predicting crash frequency at intersections. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(1), pp. 253-272.
12. ÇELA, L., SHIODE, S. and LIPOVAC, K., 2013. Integrating GIS and spatial analytical techniques in an analysis of road traffic accidents in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 3(1), pp. 1-15.
13. Chang, L-Y and Wang, H W. 2006. Analysis of traffic injury severity: an application of non-parametric classification tree techniques. *Accid Anal Prev.*, 38: 1019–1027. [[Crossref](#)], [[PubMed](#)], [[Web of Science ®](#)], [[Google Scholar](#)]
14. Cliff, A.D., & Ord, J.K. (1973). *Spatial autocorrelation*. London: Pion.
15. Cliff, A.D., & Ord, J.K. (1981). *Spatial processes: models and applications*. London: Pion.
16. Crain I. K. and McDonald C. L., 1991. From Land Inventory to Land Management, *Cartographica*, 21 40-6
17. Dawson, R.F.F. 1967. *Cost of Road Accidents in Great Britain*. Crowthorne: RRL Report LR79
18. EFFATI, M., RAJABI, M., SAMADZADEGAN, F. and SHABANI, S., 2014. A geospatial neuro-fuzzy approach for identification of hazardous zones in regional transportation corridors. *International Journal of Civil Engineering*, 12(3), pp. 289-303.
19. ERDOGAN, S., 2009. Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey. *Journal of Safety Research*, 40(5), pp. 341-351.
20. ERDOGAN, S., YILMAZ, I., BAYBURA, T. and GULLU, M., 2008. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), pp. 174-181.
21. ERSO – The European Road Safety Observatory (2010). *Traffic Safety Basic Facts “Urban Areas”*, Available at [ec.europa.eu] [[Google Scholar](#)]
22. Fortheringham A.S., 1991, “G.I.S. and Spatial Analysis: an NCGIA Research Initiative”, *Environment and Planning A*. Vol. 23, p. 1139.
23. Fortheringham A.S., 1993, *On the Future of Spatial Analysis, Environment and Planning A*, Anniversary Issue, p. 33.
24. GETIS, A. and ORD, J.K., 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), pp. 189-206.
25. Gibin, M., Longley, P. & Atkinson, P., 2007. Kernel density estimation and percent volume contours in general practice. In: A. C. Winstanley, ed. *Proceedings of the GIScience Research UK Conference (GISRUK)*. Maynooth, Ireland: National University of Ireland (NUI), pp. 270-280
26. Goodchild M., 1992, *An Overview and Definition of GIS*, In *Principles and Applications of GIS: Theory and Practice*, ed. by Goodchild M., Maguire D., Rhind D., pp 5 -11, Taylor & Francis
27. Goodchild, M.F. (1988). *Spatial autocorrelation*. Norwich: Geobooks.
28. Griffith, D.A. (2003). *Spatial autocorrelation and spatial filtering: gaining understanding through theory and scientific visualization*. Berlin: Springer-Verlag.
29. GUNDOGDU, I.B., 2011. A new approach for GIS-supported mapping of traffic accidents, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport 2011*, Thomas Telford Ltd., pp. 87-96.

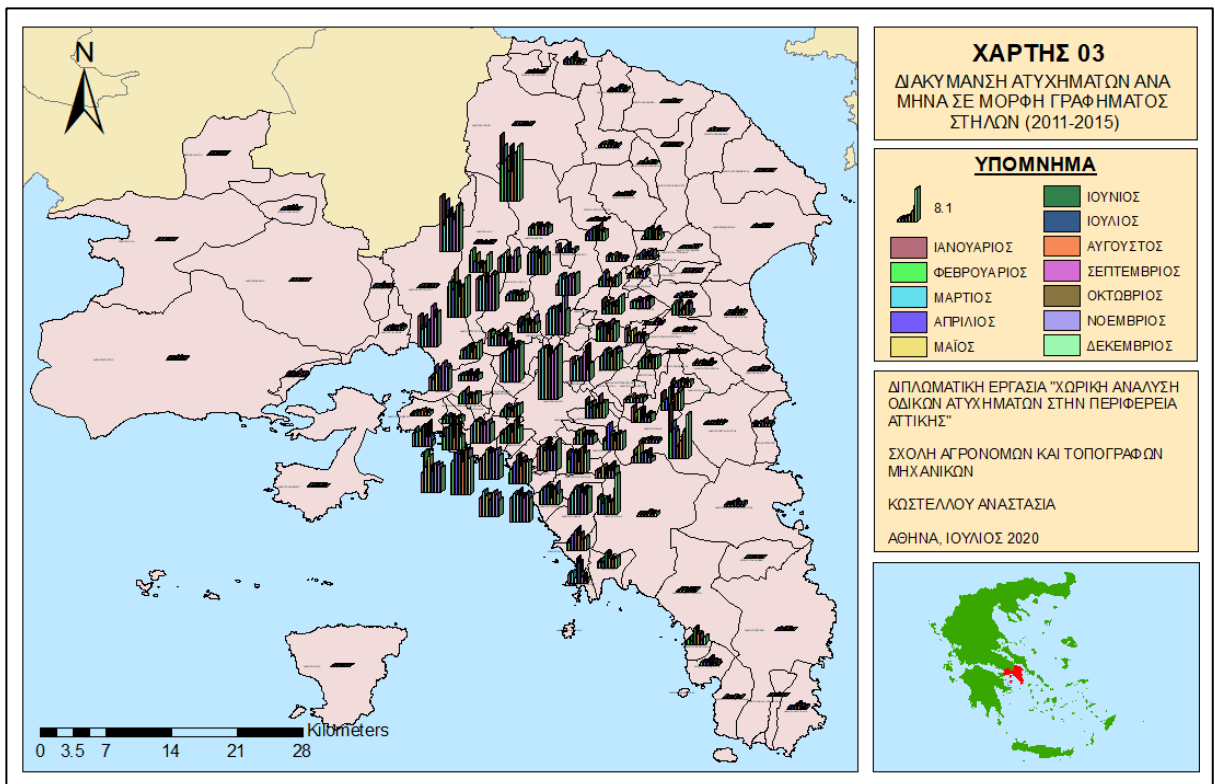
30. Haining R., 1994, "Designing Spatial Data Analysis Modules for Geographical Information Systems" in *Spatial Analysis and G.I.S* edited by Fortheringham S. And Rogerson P., Taylor and Francis,
31. Huxhold W., 1992, *An Introduction to Urban GIS*, Oxford University Press
32. Johnston G. et al., 1986, *The Dictionary of Human Geography*, Blackwell, Oxford
33. Johnston R., 1977, *Classification in Geography*, Geoabstracts Ltd, Norwich, UK
34. Kalogirou, S. (2003). *Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review*. *Progress in Energy and Combustion Science*, 29, 515-566.
35. Khorashadi, A, Niemeier, D, Shankar, V and Mannering, F L. 2005. Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis. *Accid Anal Prev.*, 37: 910–921. [[Crossref](#)], [[PubMed](#)], [[Web of Science](#)®], [[Google Scholar](#)]
36. Kim, H S, Kim, J H and Son, B. 2006. Factors associated with automobile accidents and survival. *Accid Anal Prev.*, 38: 981–987. [[Crossref](#)], [[PubMed](#)], [[Web of Science](#)®], [[Google Scholar](#)]
37. KIM, K. and NITZ, L., 1995. Spatial Analysis of Honolulu Motor Vehicle Crashes: I. Spatial Patterns. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), pp. 663-674.
38. Kitchin, R., Tate, N., 2000 *Conducting Research in Human Geography: Theory, Methodology and Practice* (Prentice Hall, Harlow, Essex) [[Google Scholar](#)]
39. Lance N., Williams W., 1967, A general Theory of Classifactory Sorting Strategies, *Computer Journal*, 9, pp. 373-380
40. Lee, J and Mannering, F L. 2002. Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. *Accid Anal Prev.*, 34: 149–161. [[Crossref](#)], [[PubMed](#)], [[Web of Science](#)®], [[Google Scholar](#)]
41. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W., 2005. *Geographic Information Systems and Science*. West Sussex: John Wiley & Sons.
42. MA, L., YAN, X. and QIAO, W., 2014. A quasi-Poisson approach on modeling accident hazard index for urban road segments. *Discrete Dynamics in nature and society*, 2014, New York, NY.
43. MOORE, D.N., SCHNEIDER, W.H., SAVOLAINEN, P.T. and FARZANEH, M., 2011. Mixed logit analysis of bicyclist injury severity resulting from motor vehicle crashes at intersection and non-intersection locations. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), pp. 621-630.
44. MORAN, P.A., 1948. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2), pp. 243- 251.
45. Moran's I [[wikipedia](#)]
46. Noel C., 1991, *Statistics for Spatial Data*, Wiley & Sons
47. Openshaw S., 1991b, "A Spatial Analysis Research Agenda" in *Handling Geographical Information*, Masser, I and Blakemore M. (eds), Longman, London
48. Openshaw S., 1992, *Developing Appropriate Spatial Analysis Methods for GIS*. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, edited by David J. Maquire, Michael F. Goodchild and David W. Rhind (London: Longman), pp. 389-402.
49. Openshaw S., 1993a, *GIS Crime and GIS Criminality*, *Environment and Planning A*, Vol. 25, pp. 451-458
50. Openshaw S., 1996, *Census Users Guide*, pp. 239-268
51. Openshaw S, 1997, *Artificial Intelligence in Geography*, Wiley, London
52. PIRDAVANI, A., BELLEMANS, T., BRIJS, T. and WETS, G., 2014. Application of geographically weighted regression technique in spatial analysis of fatal and injury crashes. *Journal of Transportation Engineering*, 140(8), pp. 04014032.
53. RANKAVAT, S. and TIWARI, G., 2013. Pedestrian Accident Analysis in Delhi using GIS. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10(0), pp. 1446-1457.
54. Rhind D., 1985, *Understanding GIS The ARC/INFO method*, ESRI, USA
55. Rober, N. (2000). *Multidimensional Analysis and Visualization Software for Dynamic SPECT (M.Sc.)*. *Ottovon-Guericke-Universitaet, Magdeburg*.
56. Rogerson, P.A. (2010). *Statistical Methods for Geography (3rd Edition)*. London: Sage
57. STEENBERGHEN, T., DUFAYS, T., THOMAS, I. and FLAHAUT, B., 2004. Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(2), pp. 169-181.
58. Theofilatos A, Graham D, Yannis G, 2012. Factors Affecting Accident Severity Inside and Outside Urban Areas in Greece [[Google Scholar](#)]
59. Tomlin D., 1990, *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*, Prentice Hall
60. TORTUM, A. and ATALAY, A., 2015. Spatial analysis of road mortality rates in Turkey, *Proceedings of the Institution of Civil EngineersTransport* 168(6), Thomas Telford Ltd, pp. 532-542.
61. TRUONG, L.T. and SOMENAHALLI, S.V., 2011. Using GIS to identify pedestrian-vehicle crash hot spots and unsafe bus stops. *Journal of Public Transportation*, 14(1), pp. 6.

62. Ulfarsson, G and Mannering, F L. 2004. Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents. *Accid Anal Prev.*, 36: 135–147. [Crossref], [PubMed], [Web of Science ®], [Google Scholar]
63. Valent, F, Schiava, F, Savonnito, C, Gallo, T, Brusaferrero, S and Barbone, F. 2002. Risk factors for fatal road accidents in Udine, Italy. *Accid Anal Prev.*, 34: 71–84. [Crossref], [PubMed], [Web of Science ®], [Google Scholar]
64. Waller LA, Gotway CA (2004) *Applied spatial statistics for public health data*. WileyInterscience, Hoboken [NJ]
65. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2018. *Global status report on road safety 2018* https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
66. YALCIN, G. and DUZGUN, H.S., 2015. Spatial analysis of two-wheeled vehicles traffic crashes: Osmaniye in Turkey. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(7), pp. 2225-2232.
67. Αργιαλάς Δ., 1994, Έμπειρα Συστήματα και Τηλεπισκόπηση, Διήμερο Ψηφιακή Χαρτογραφία, Φωτογραμμετρία, Τηλεπισκόπηση, Τεχνολογίες Αιχμής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 10-11 Φεβρουαρίου 1994
68. Αντωνίου Δ., 2017, «Τροχαία ατυχήματα και υποδομές, μια εμπειρική διερεύνηση για την περίπτωση της Θεσσαλονίκης», Δια-τμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στην οικονομική επιστήμη, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη
69. Γιαουτζή Μ., 1982, Τυπολογία Νομών και Περιφερειοποίηση της Χώρας, Σπουδαστήριο Πολεοδομίας: Ερευνητικό Πρόγραμμα, ΑΠΘ
70. Κουτσόπουλος Κ., 1986, Γεωγραφία: Μεθοδολογία και Μέθοδοι Ανάλυσης, Παπαδάμης, Αθήνα
71. Κουτσόπουλος Κ., 1998, Μια θέση για κάθε τι και κάθε τι στη θέση του, Μια Ολοκληρωμένη Χωρική Προσέγγιση, Τεχνικά Χρονικά, Υπο δημοσίευση.
72. Καλογήρου, Σ. 2015. Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση. [Κεφ. 5]. Στο Καλογήρου, Σ. 2015. Χωρική ανάλυση. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5034>
73. Κύρκος, Ε. 2015. Οπτική και Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Επιχειρηματική ευφυΐα και εξόρυξη δεδομένων. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Κεφάλαιο 5. Διαθέσιμο στο: [Αποθετήριο Κάλλιπος: Οπτική και Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων](https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5034)
74. Λέκκος Σ., 2015 «Διερεύνηση Θεμάτων Οδικής Ασφάλειας στην Αττική Οδό»
75. Ντεμογιάννη Σ, Μίντσης Γ., Ταξιλάρης Χ. και Μπάσμπας Σ. (2005) Μέθοδοι εκτίμησης του κόστους των οδικών ατυχημάτων. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005. Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: http://library.tee.gr/digital/m2070/m2070_demogianni.pdf
76. Φώτης, Γ. Ν. 2009. Ποσοτική χωρική ανάλυση. Αθήνα : Εκδόσεις Γκοβόση, 2009.

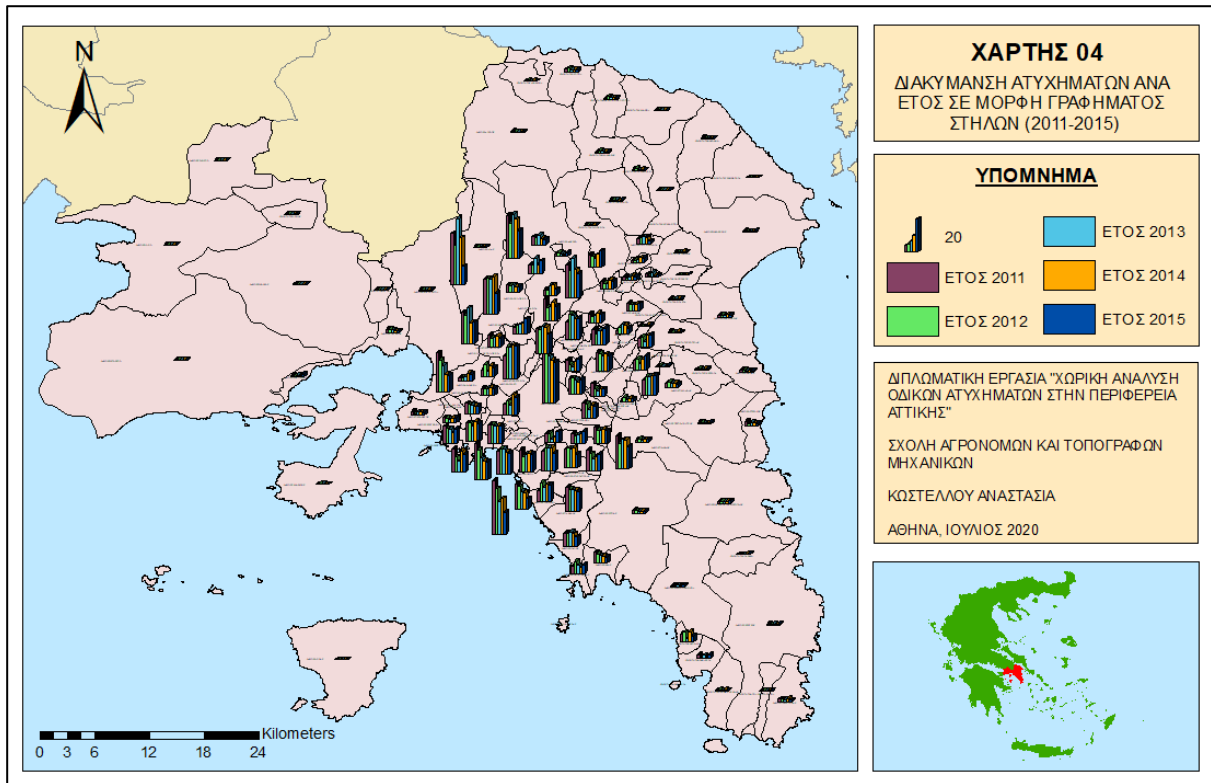
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



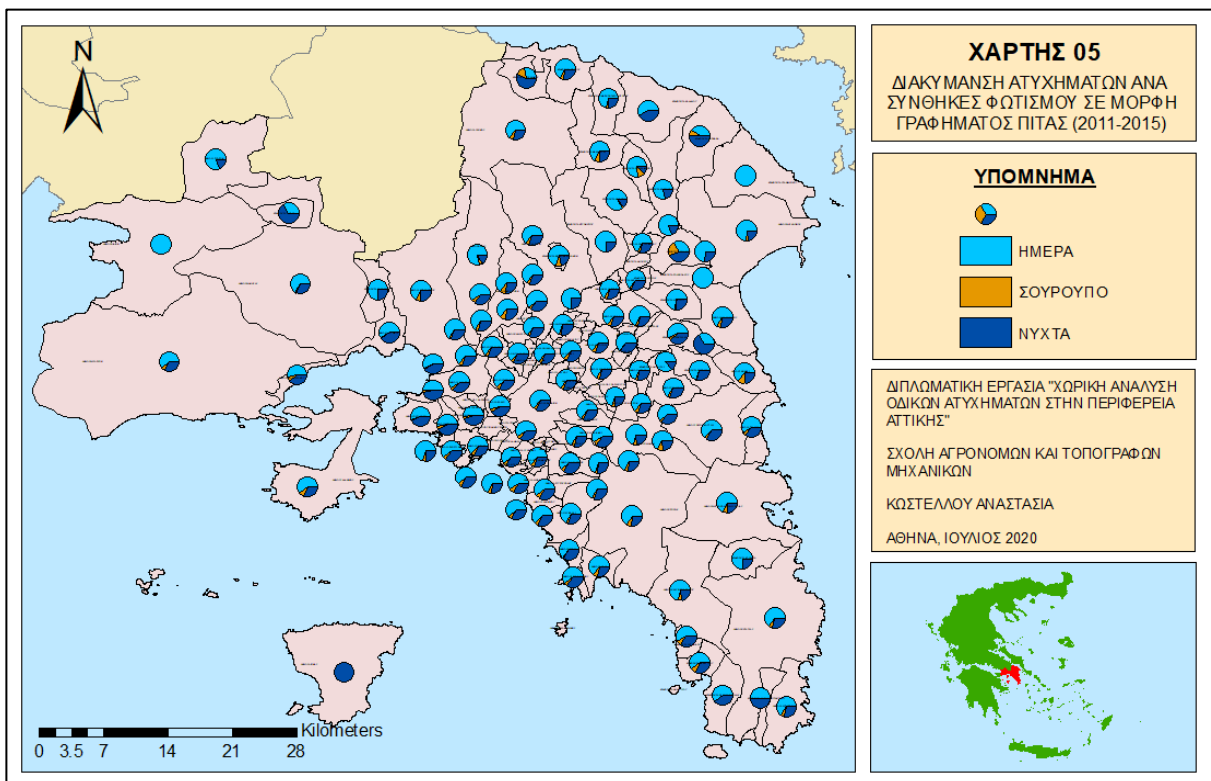
Χάρτης 02: Διακύμανση ατυχημάτων ανά ημέρα σε μορφή γραφήματος στηλών



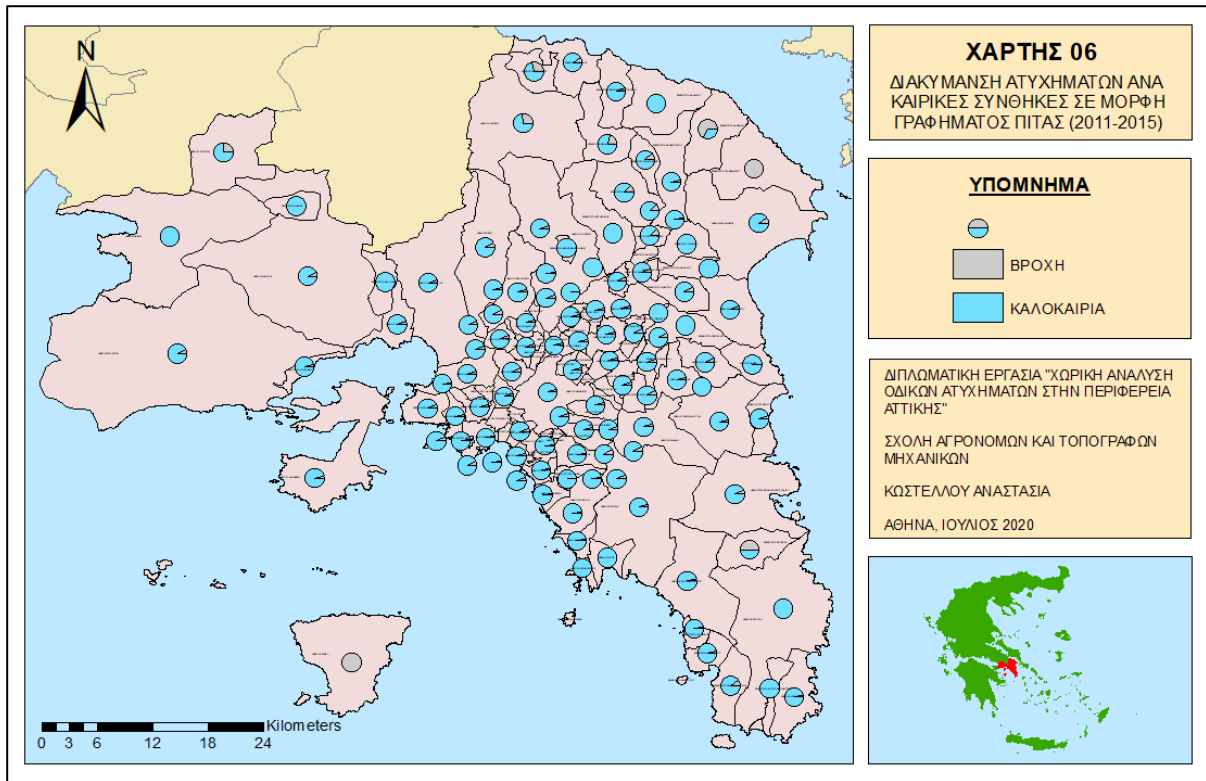
Χάρτης 03: Διακύμανση ατυχημάτων ανά μήνα σε μορφή γραφήματος στηλών



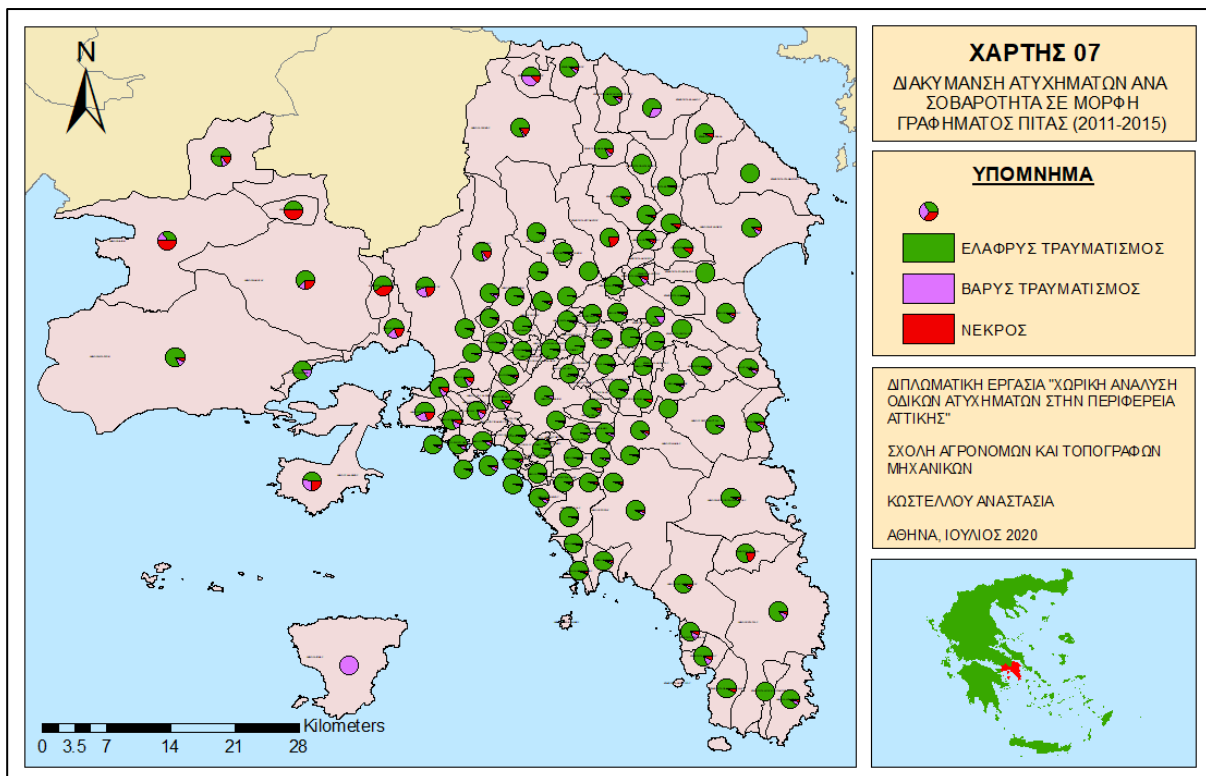
Χάρτης 04: Διακύμανση ατυχημάτων ανά έτος σε μορφή γραφήματος στηλών



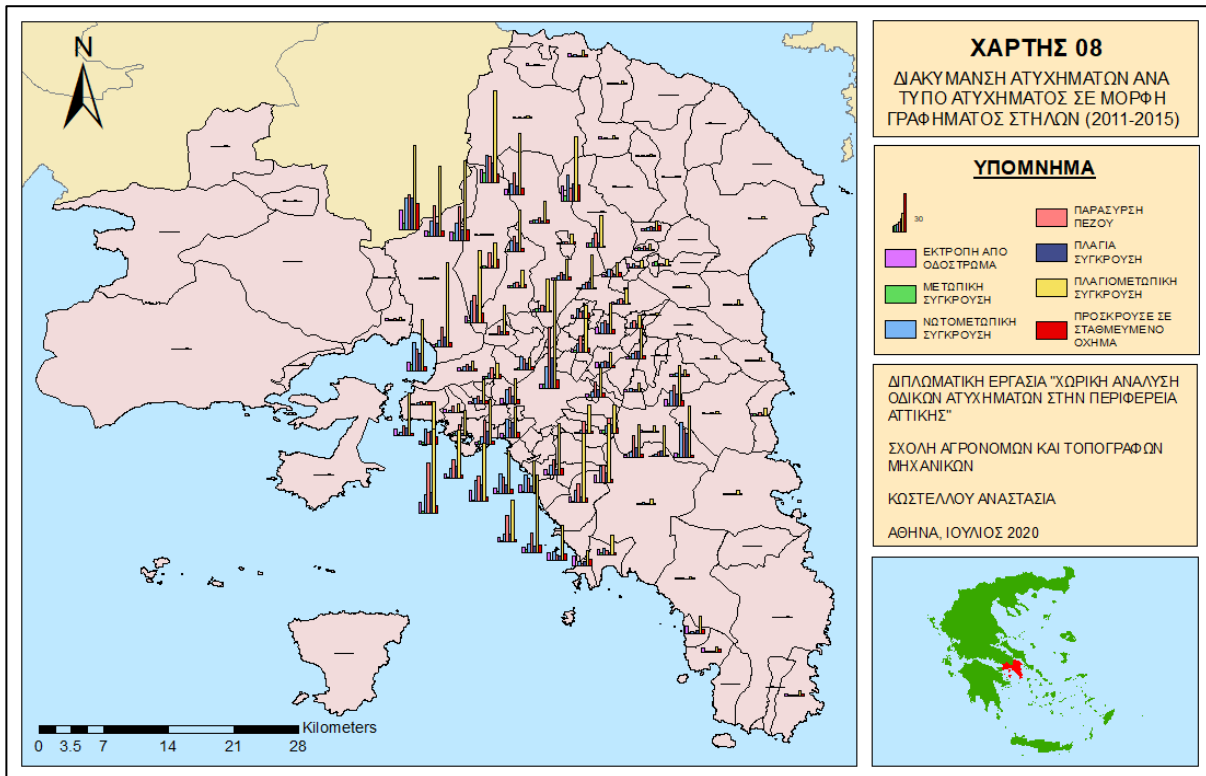
Χάρτης 05: Διακύμανση ατυχημάτων ανά συνθήκες φωτισμού σε μορφή γραφήματος πίτας



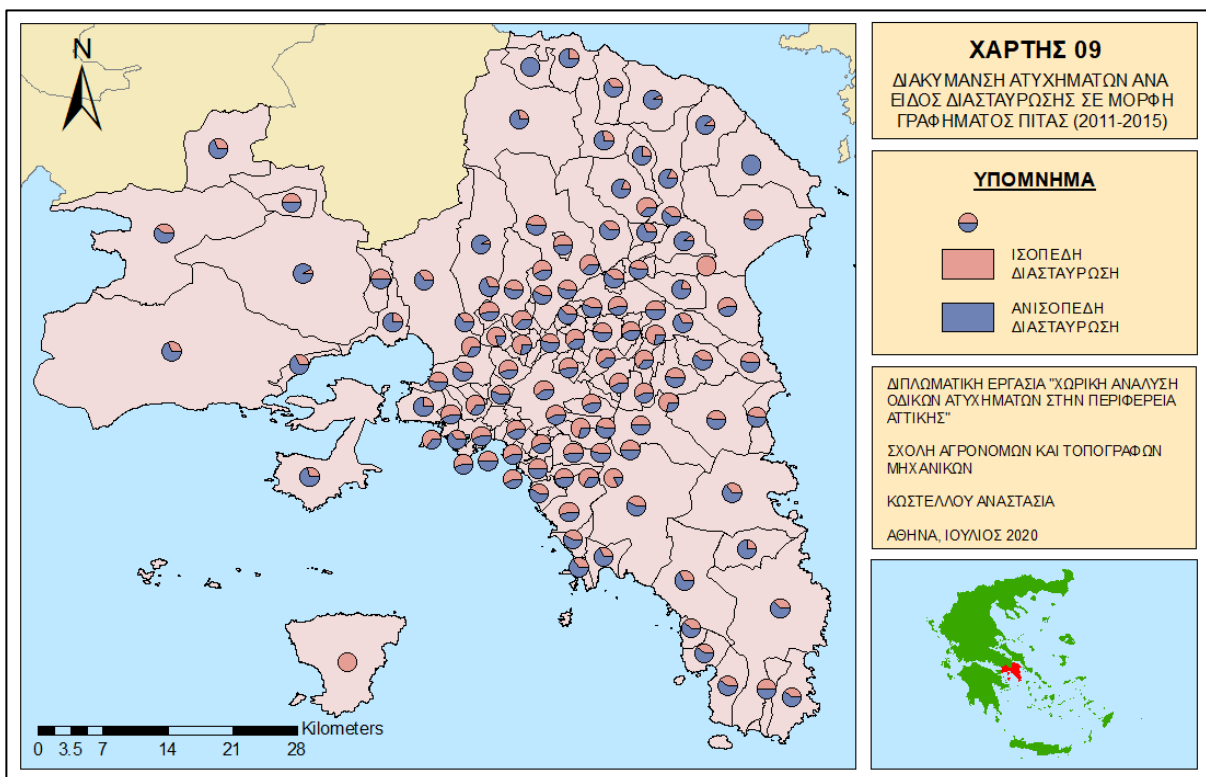
Χάρτης 06: Διακύμανση ατυχημάτων ανά καιρικές συνθήκες σε μορφή γραφήματος πίτας



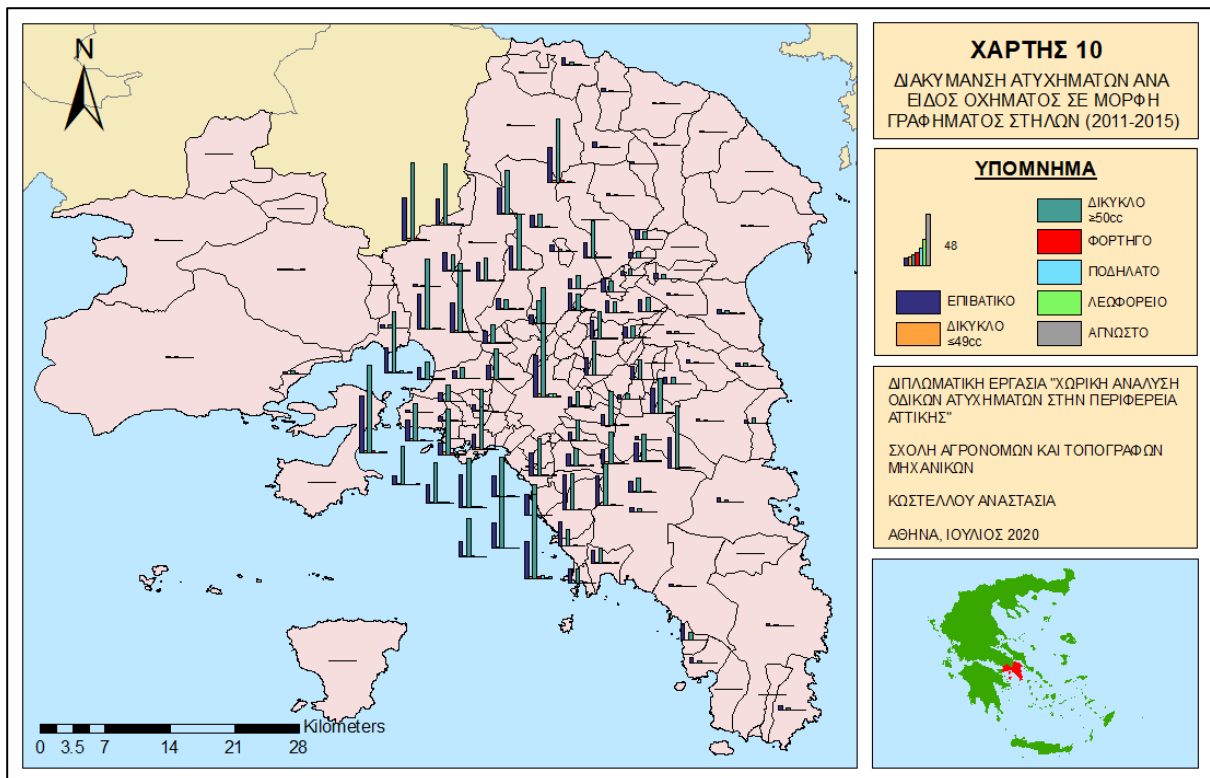
Χάρτης 07: Διακύμανση ατυχημάτων ανά σοβαρότητα σε μορφή γραφήματος πίτας



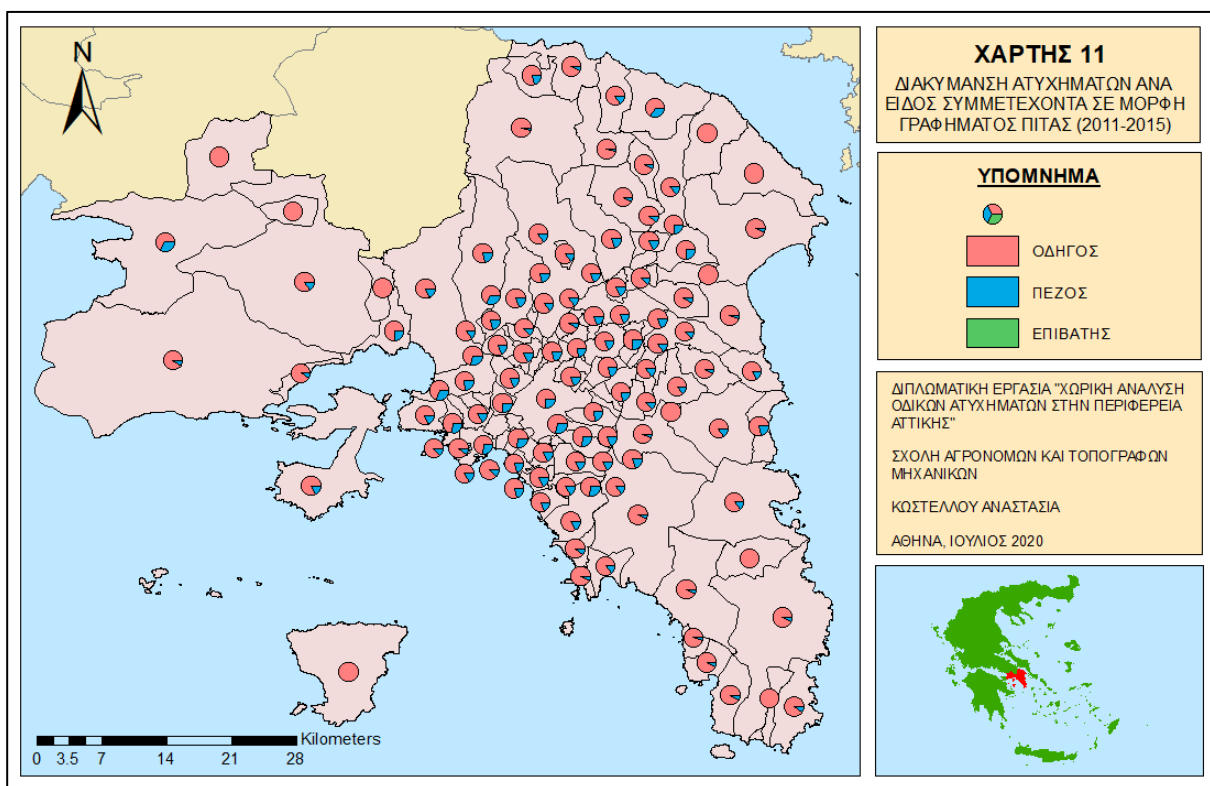
Χάρτης 08: Διακύμανση ατυχημάτων ανά τύπο ατυχήματος σε μορφή γραφήματος στηλών



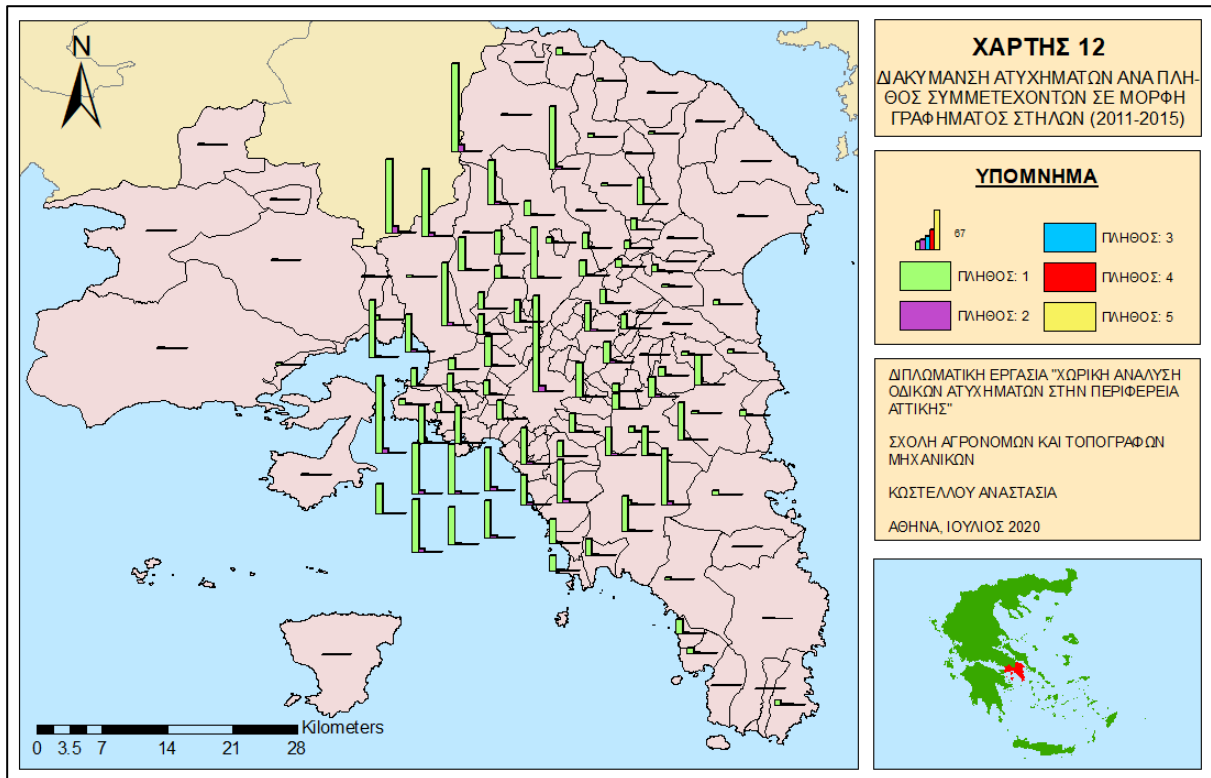
Χάρτης 09: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος διασταύρωσης σε μορφή γραφήματος πίτας



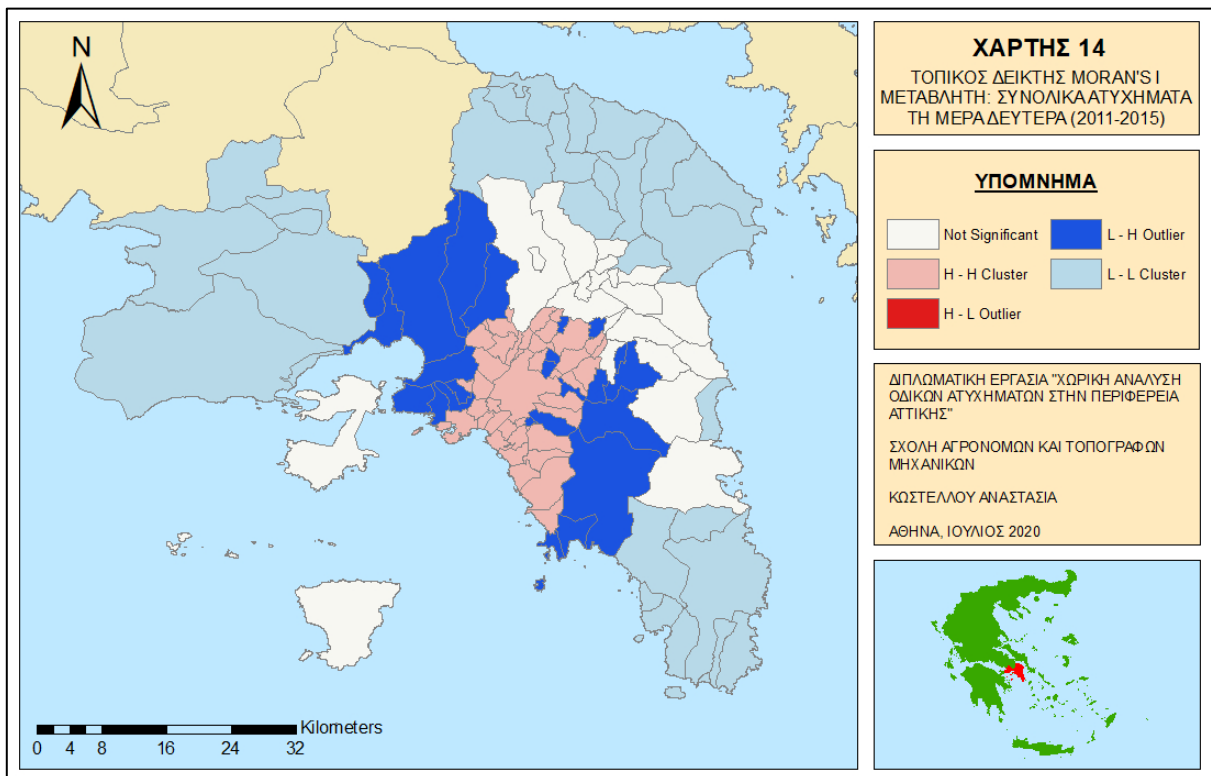
Χάρτης 10: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος οχήματος σε μορφή γραφήματος στηλών



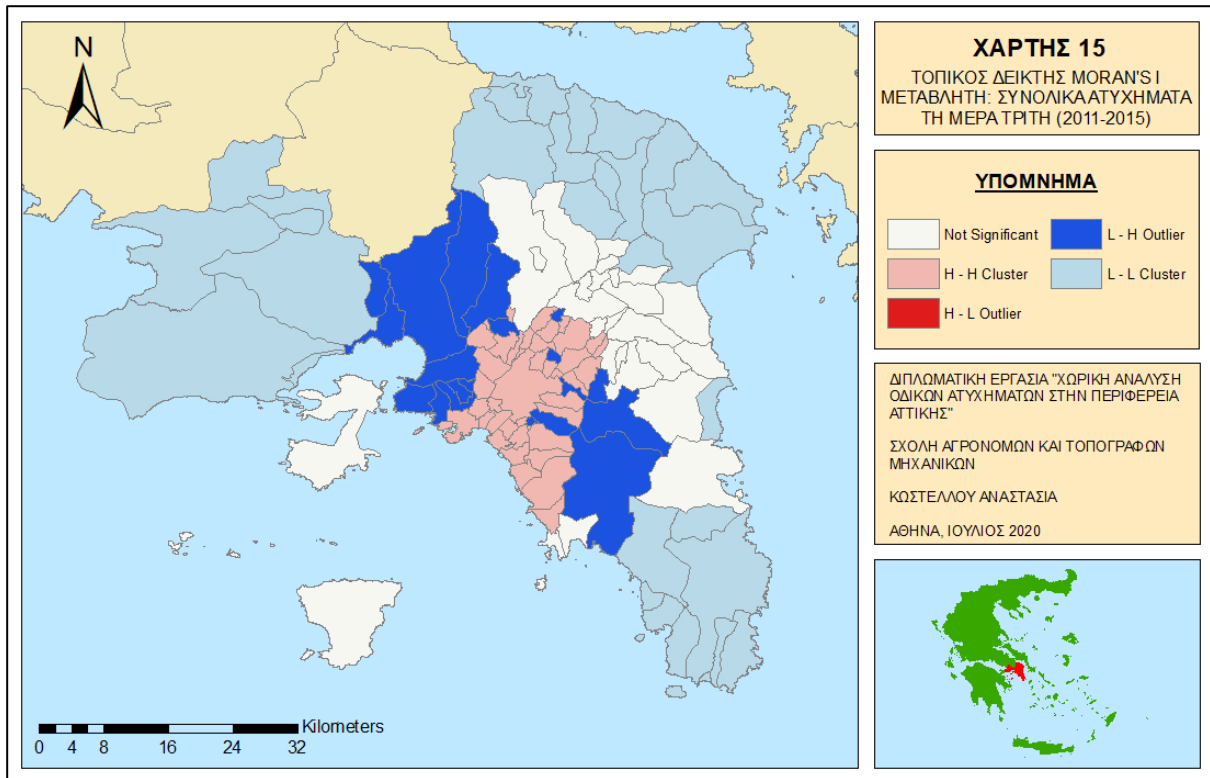
Χάρτης 11: Διακύμανση ατυχημάτων ανά είδος συμμετέχοντα σε μορφή γραφήματος πίτας



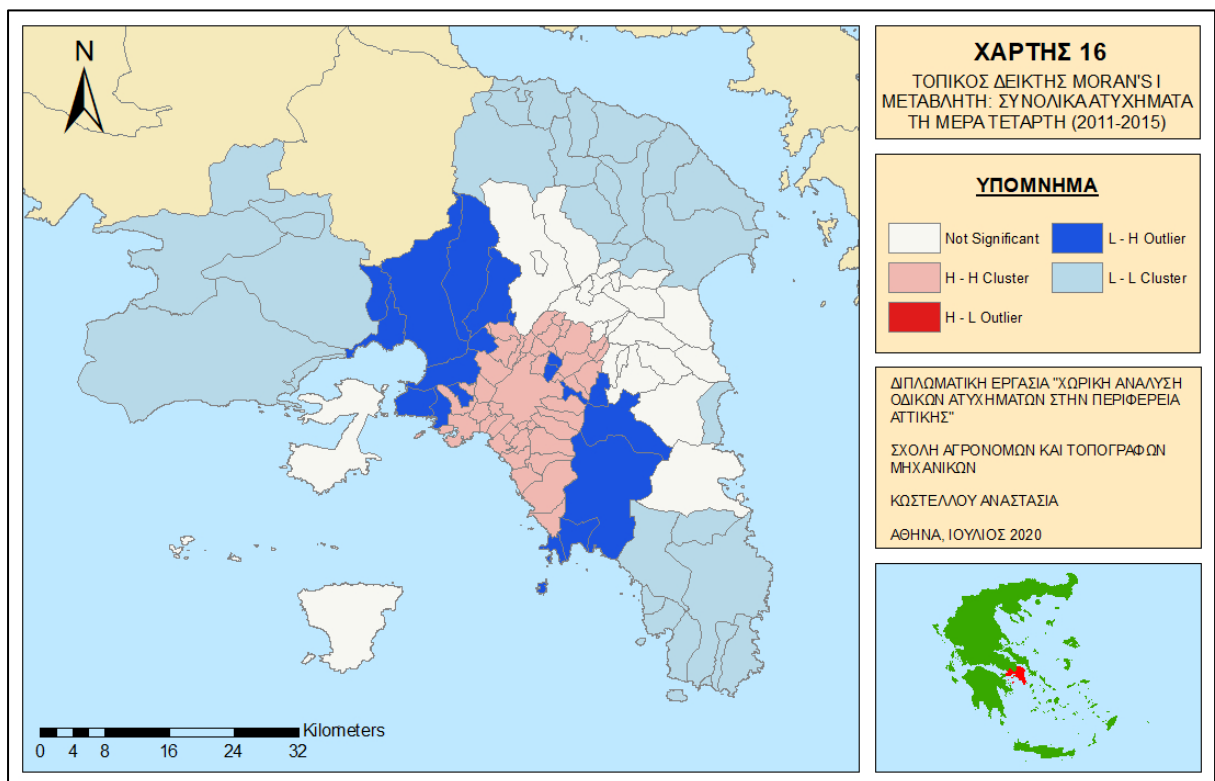
Χάρτης 12: Διακύμανση ατυχημάτων ανά πλήθος συμμετεχόντων σε μορφή γραφήματος στη-
λών



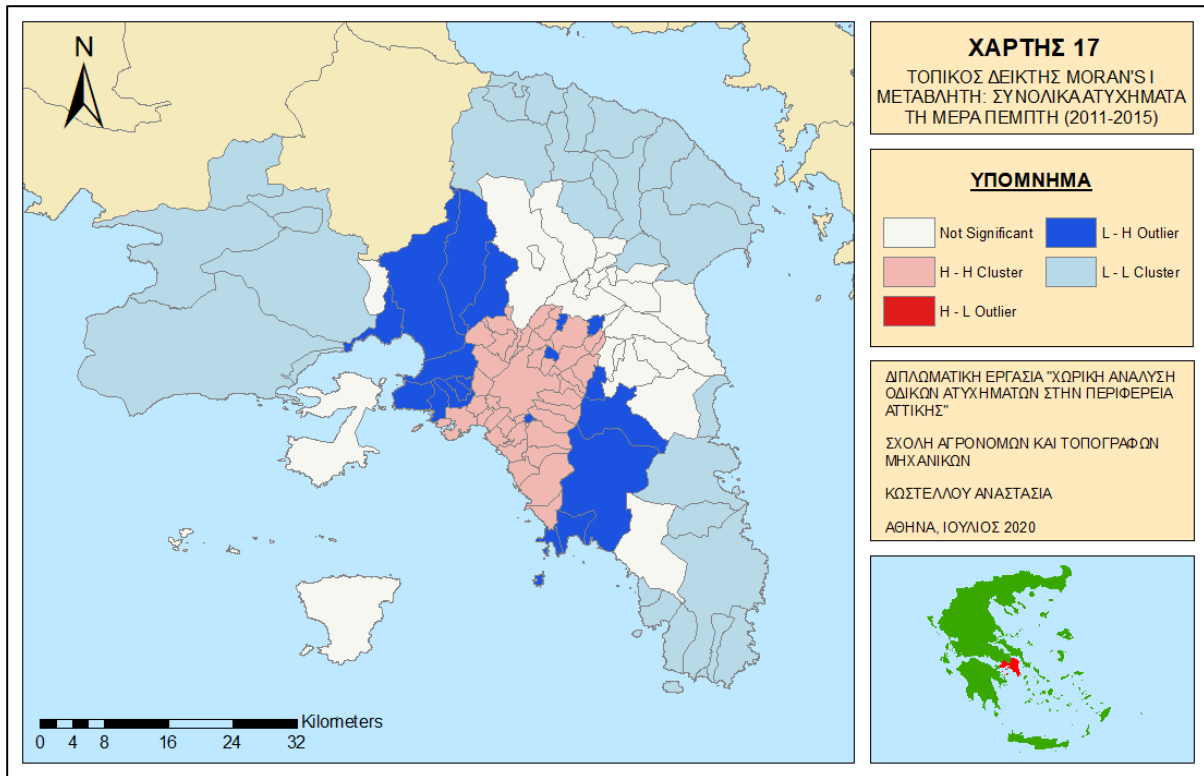
Χάρτης 14: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Δευ-
τέρα



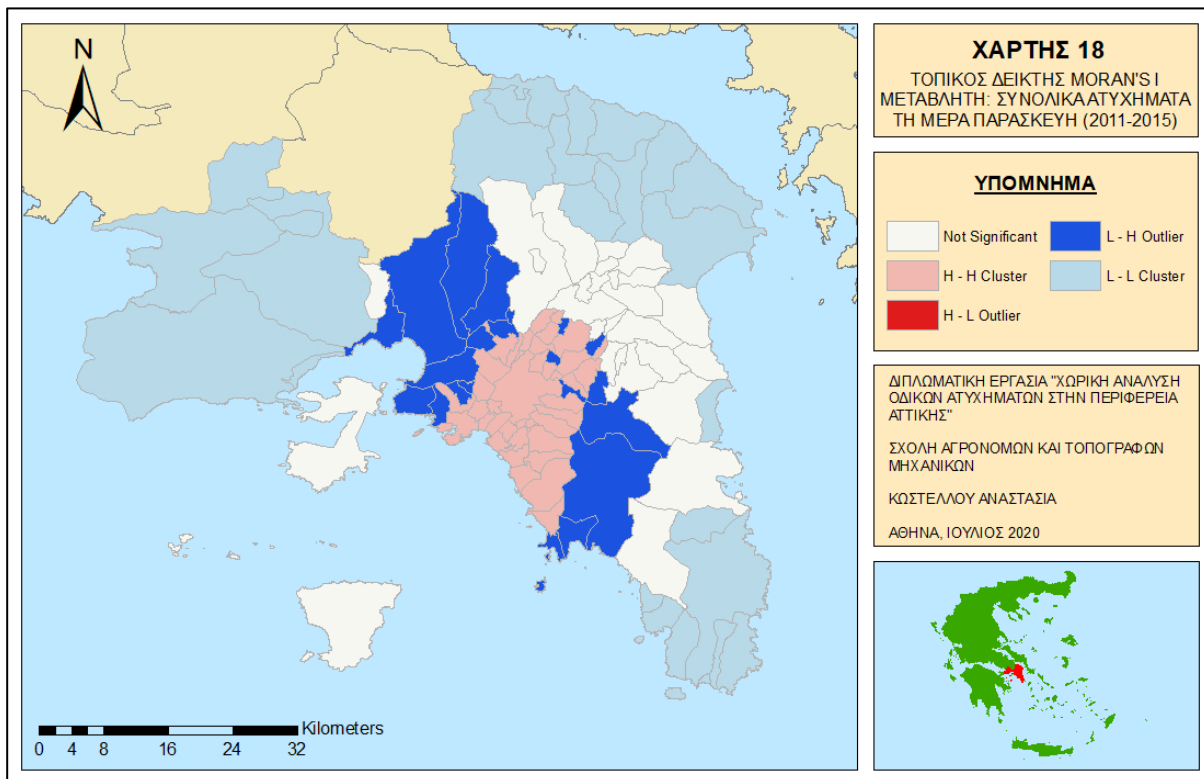
Χάρτης 15: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Τρίτη



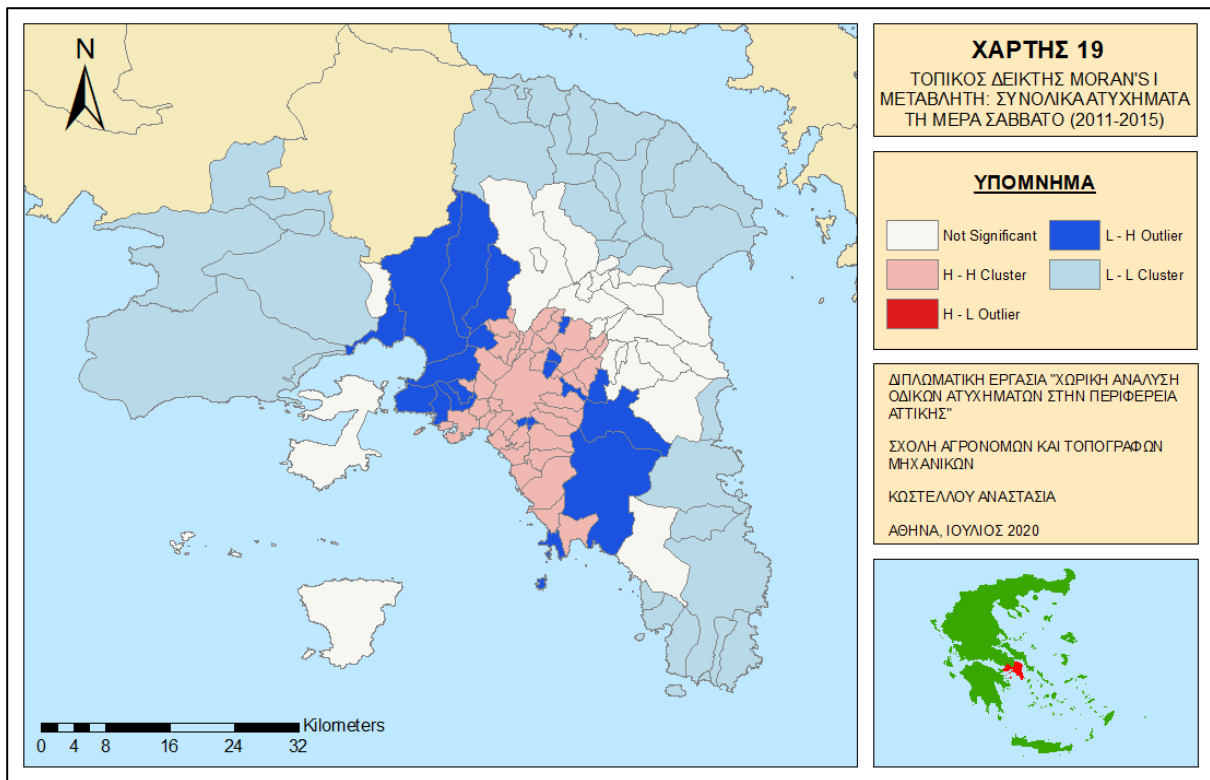
Χάρτης 16: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Τετάρτη



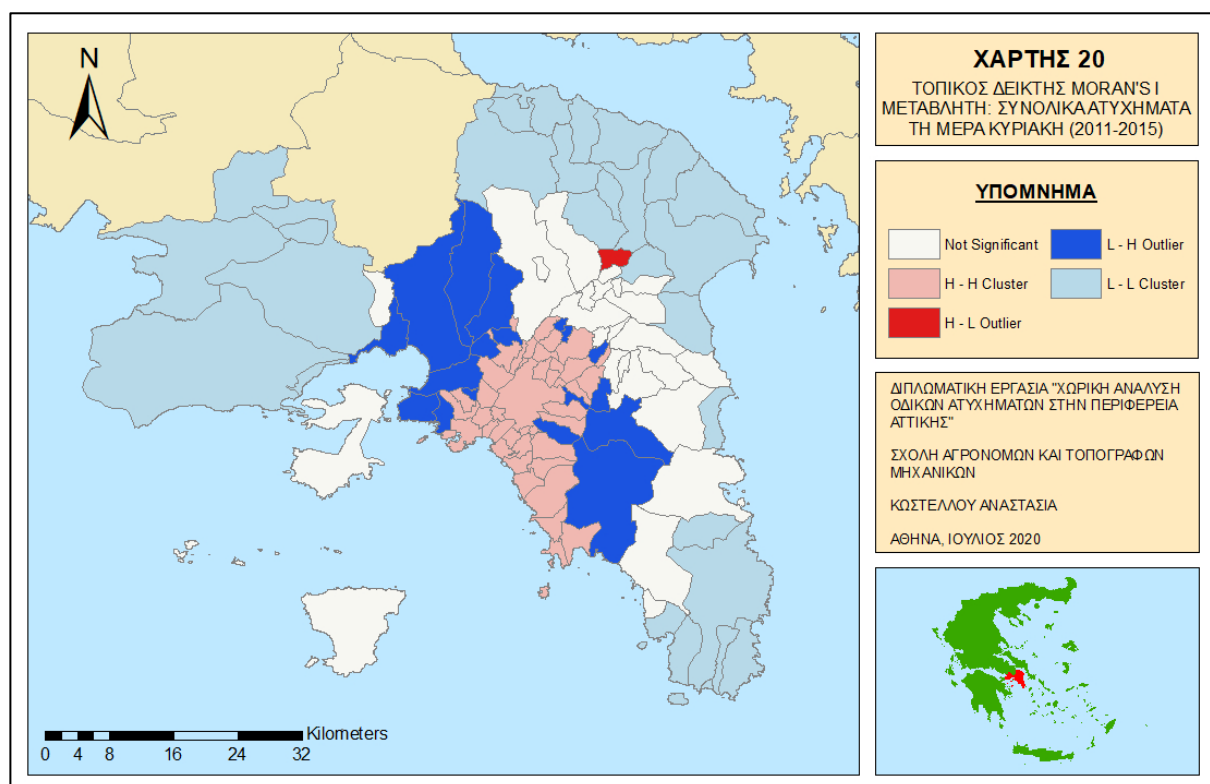
Χάρτης 17: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Πέμπτη



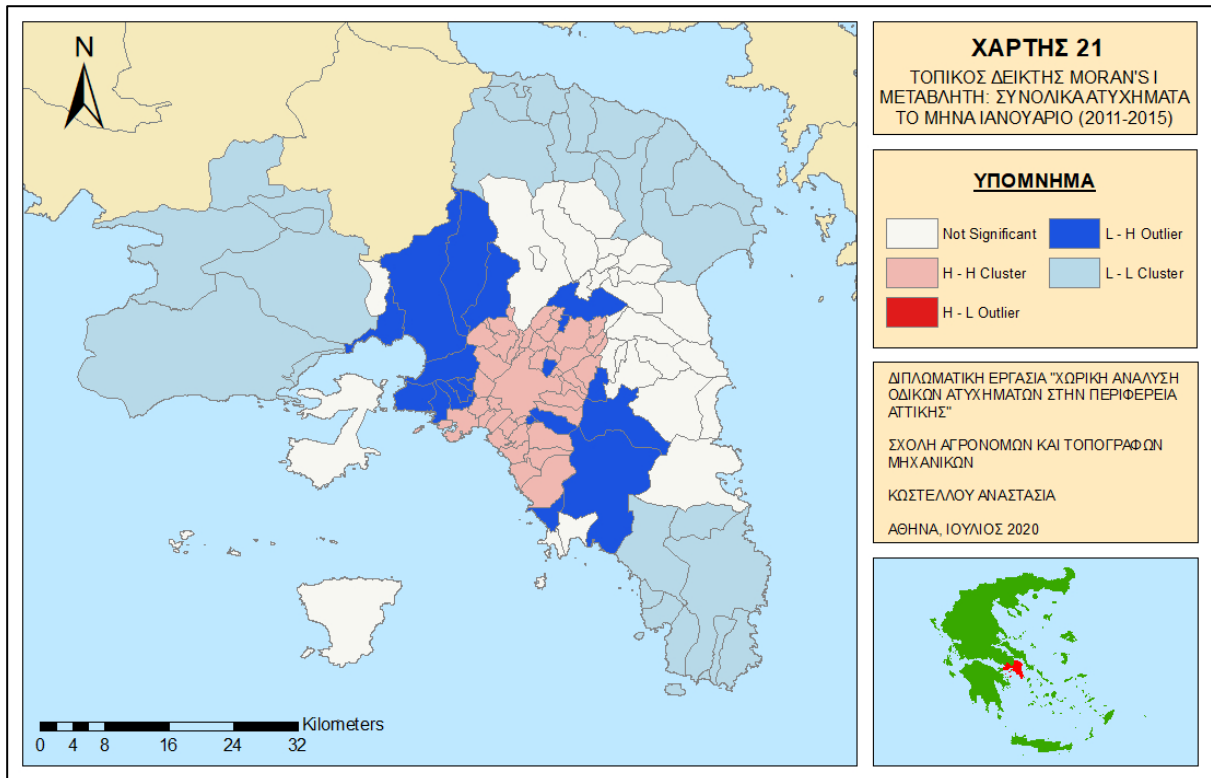
Χάρτης 18: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Παρασκευή



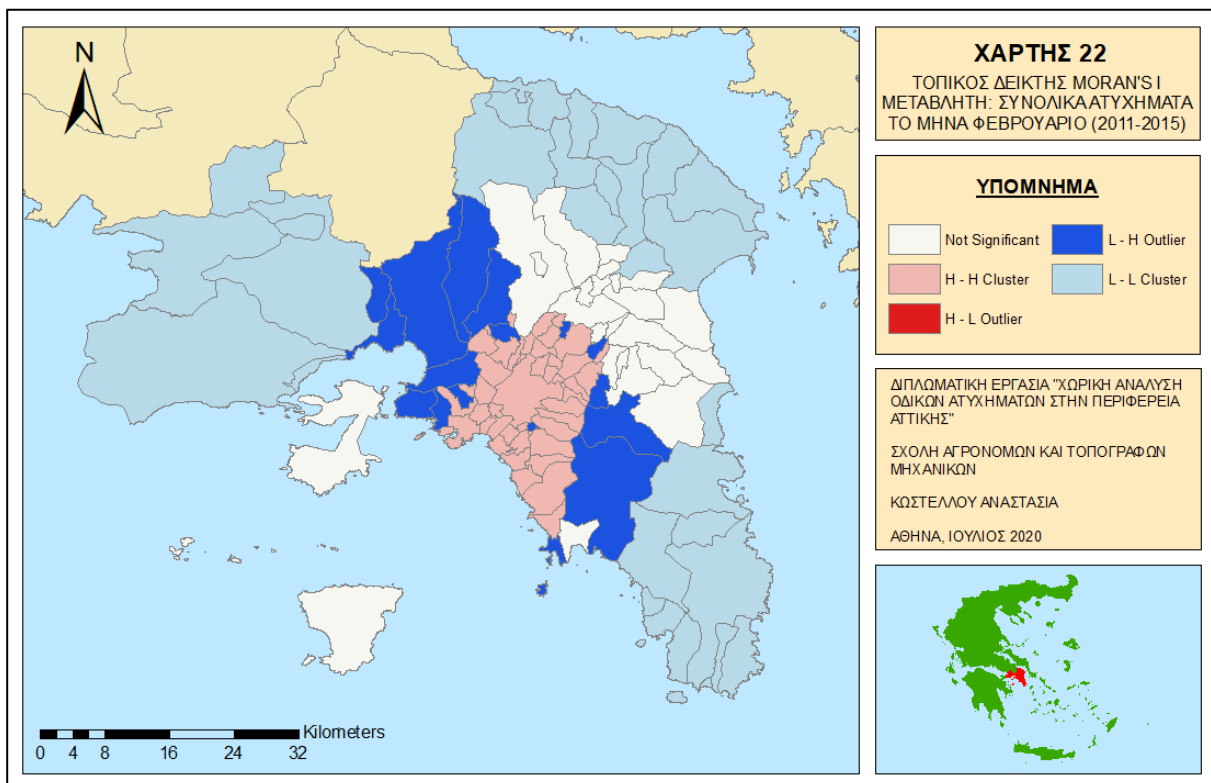
Χάρτης 19: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Σάββατο



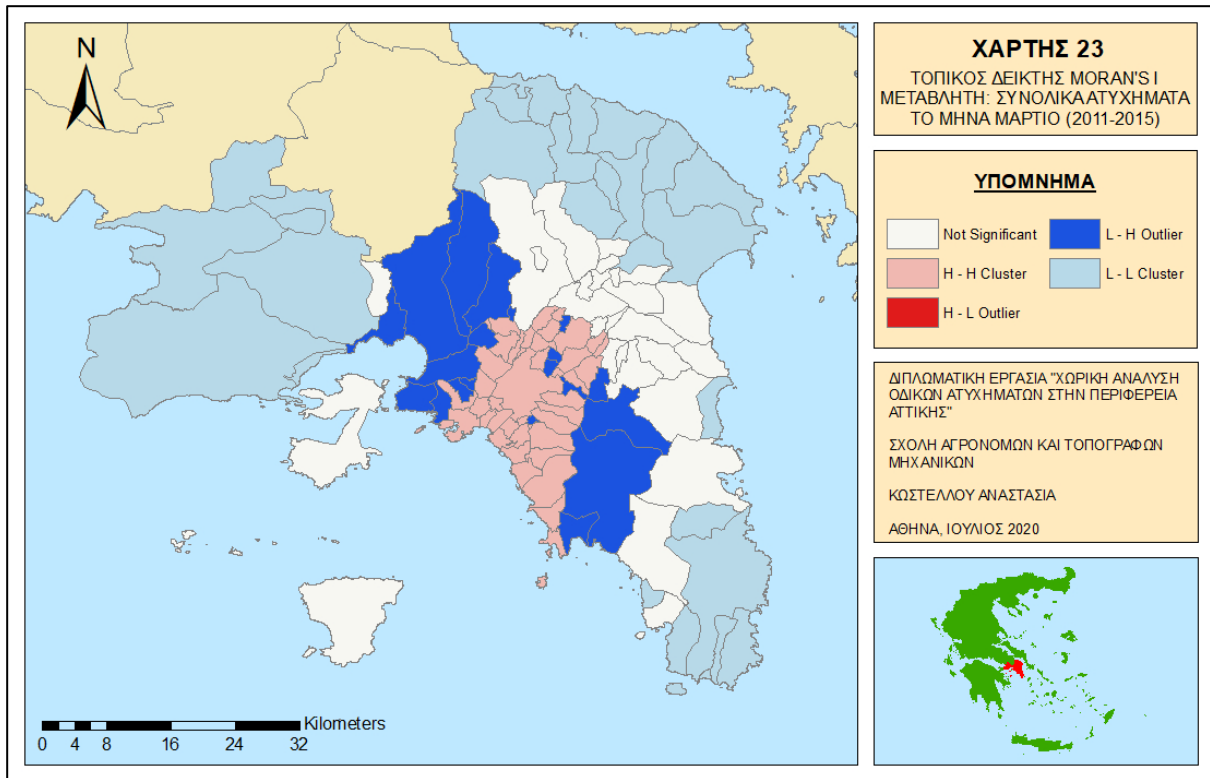
Χάρτης 20: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα την ημέρα Κυριακή



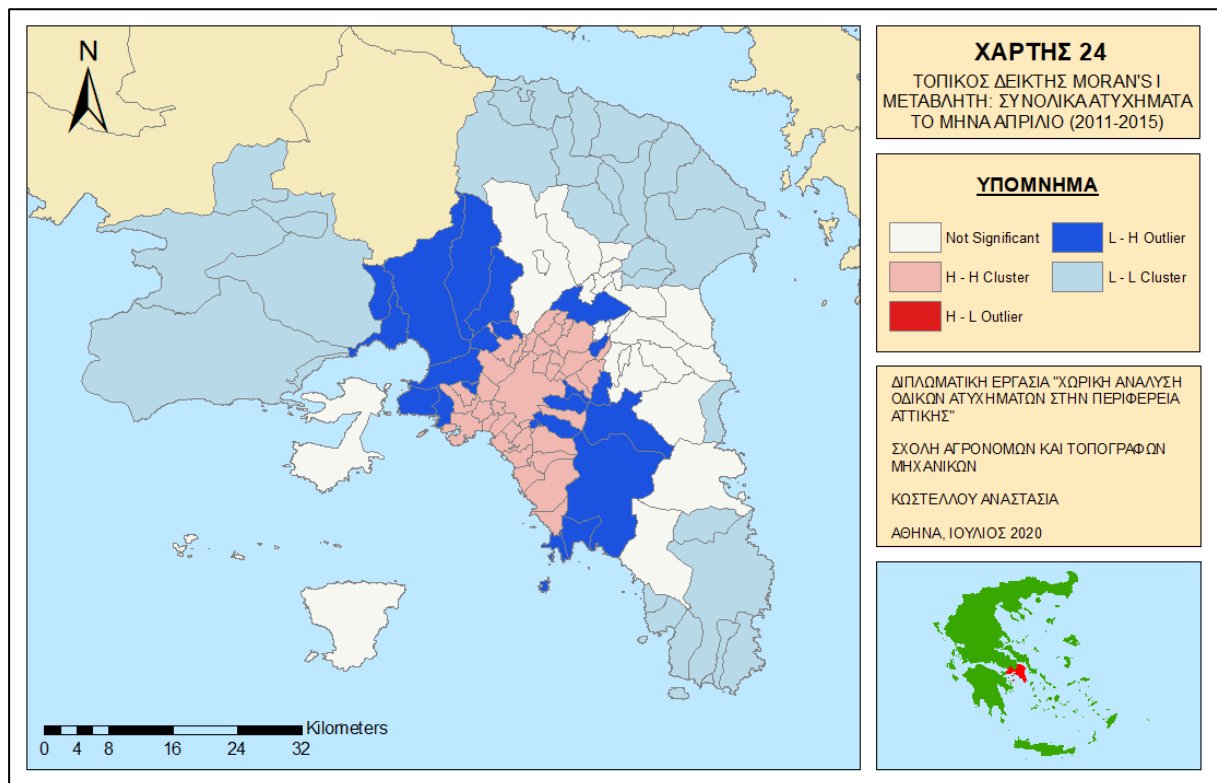
Χάρτης 21: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιανουάριο



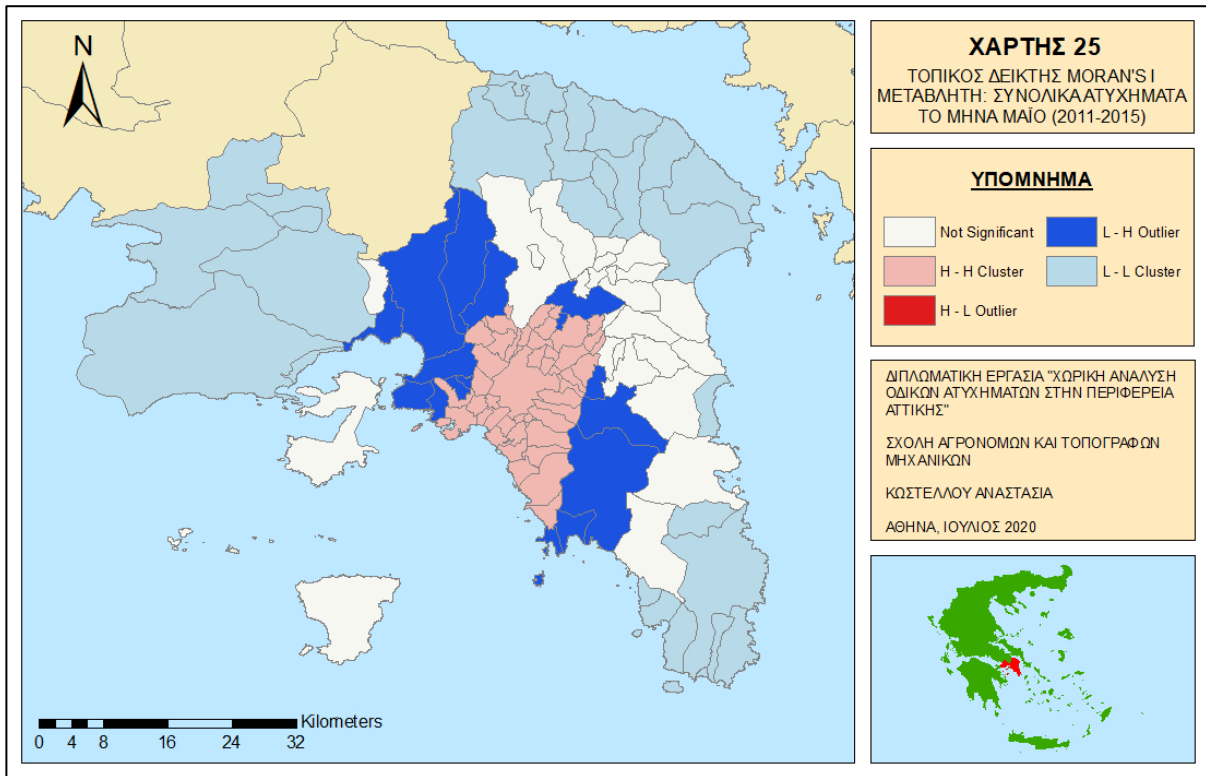
Χάρτης 22: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Φεβρουάριο



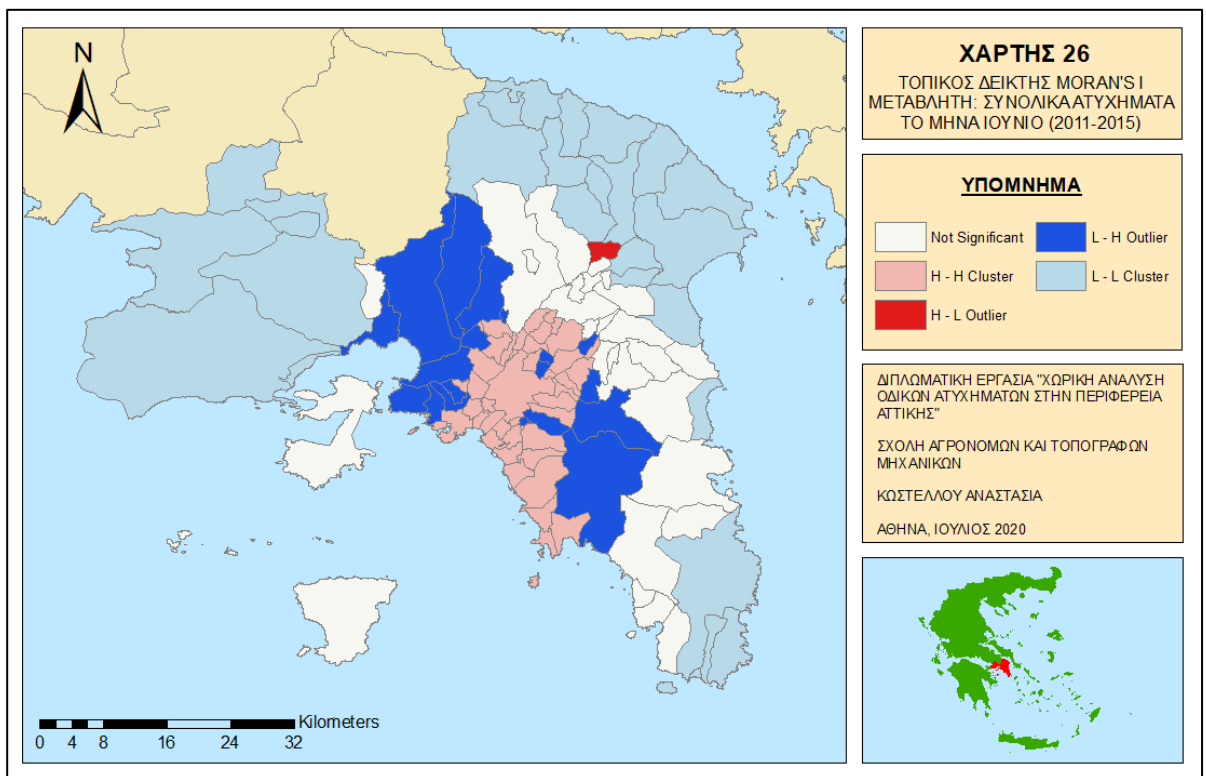
Χάρτης 23: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Μάρτιο



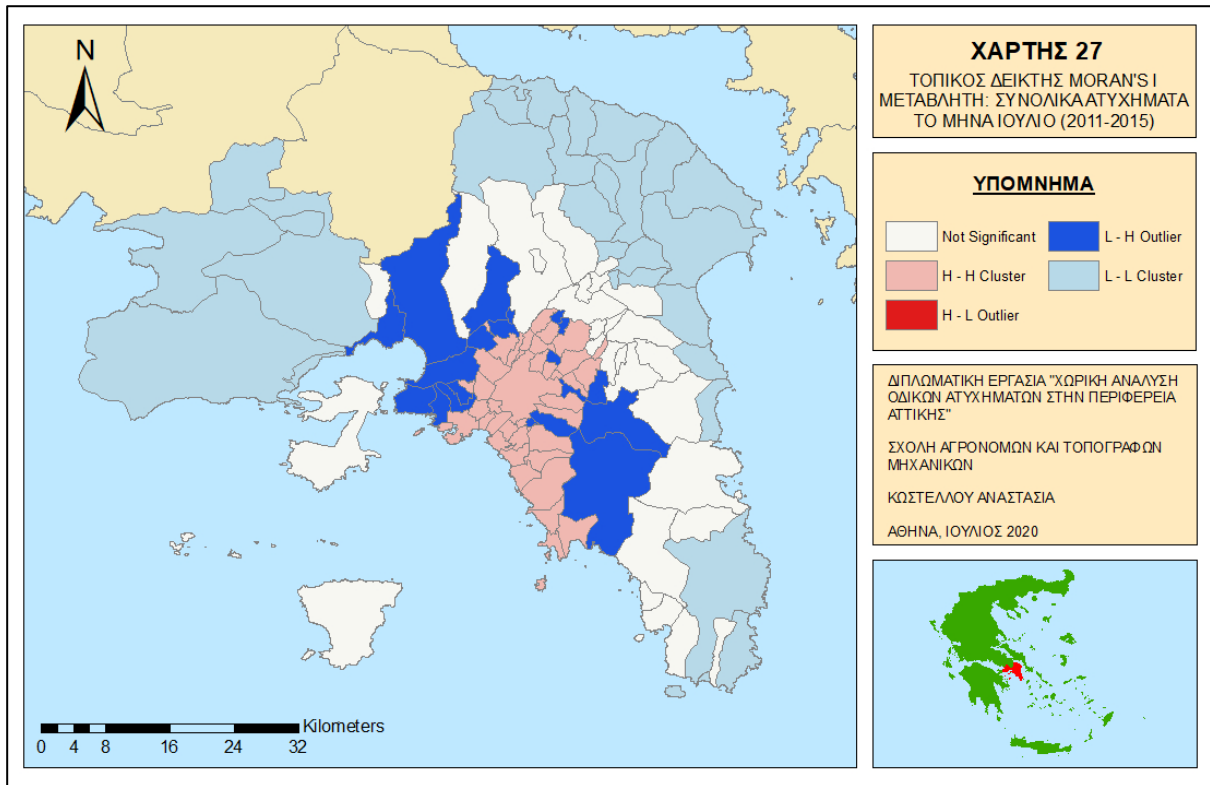
Χάρτης 24: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Απρίλιο



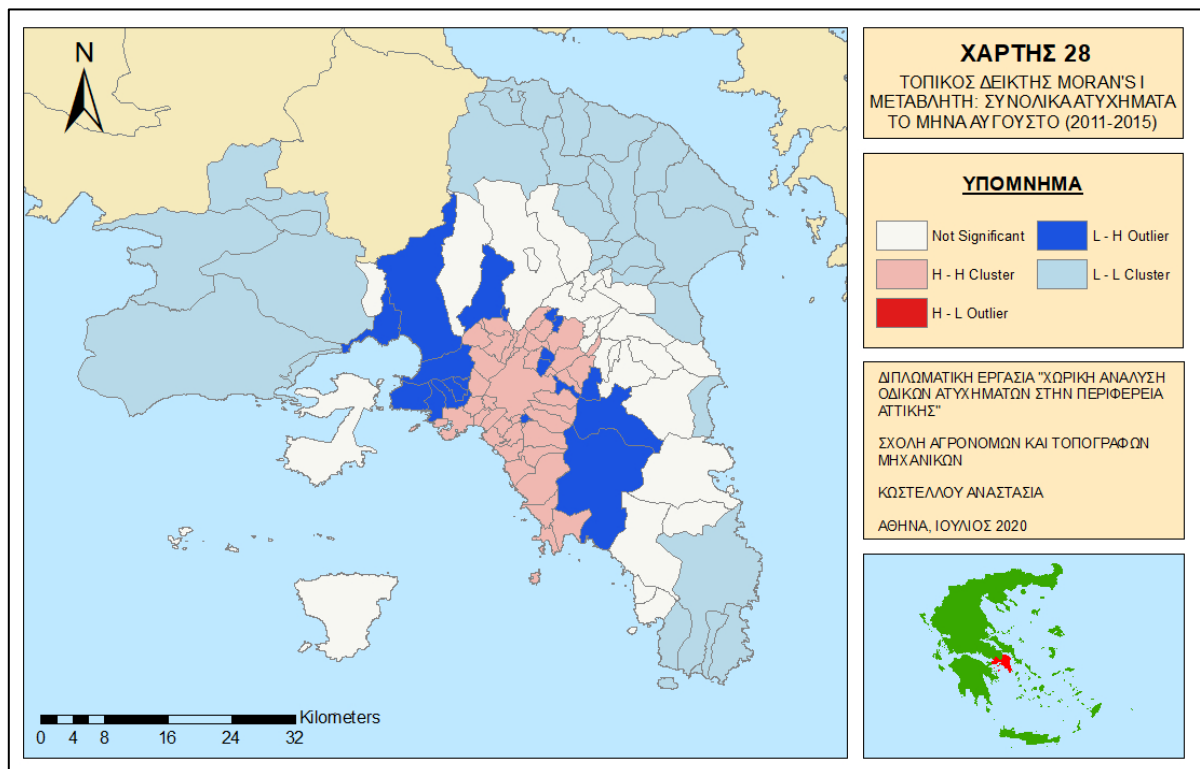
Χάρτης 25: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Μάιο



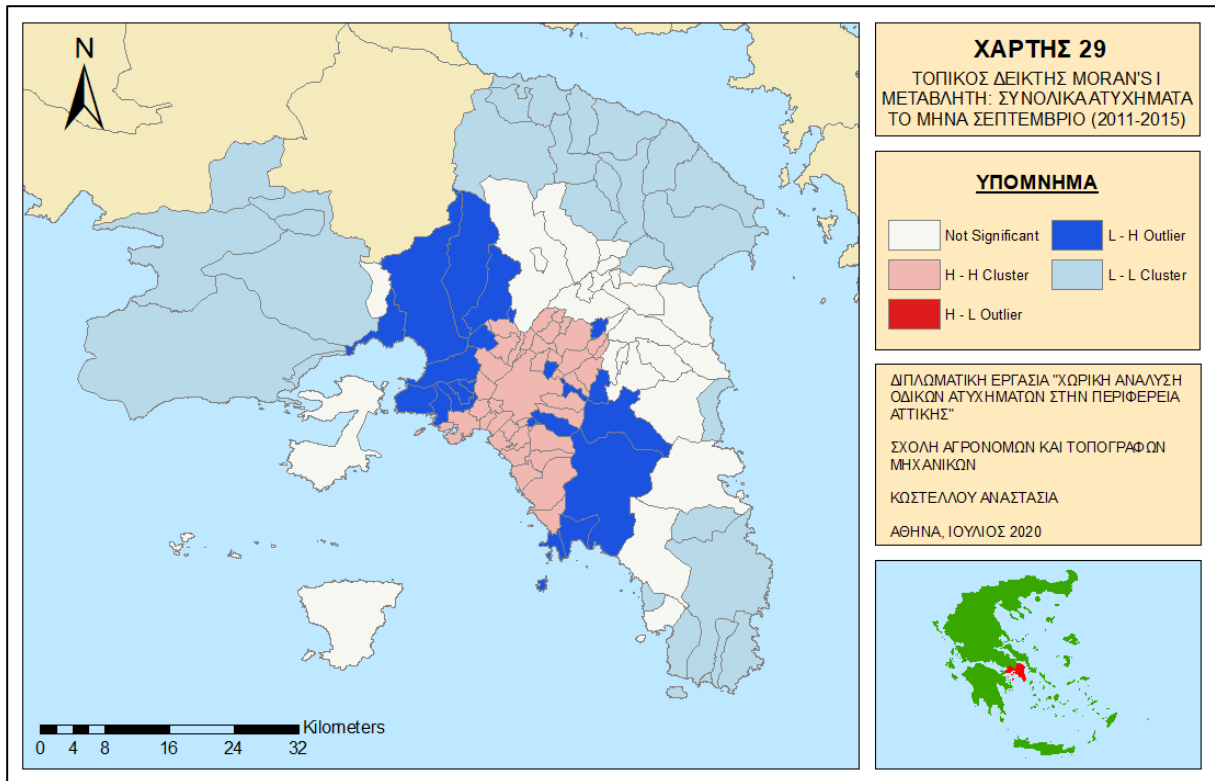
Χάρτης 26: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιούνιο



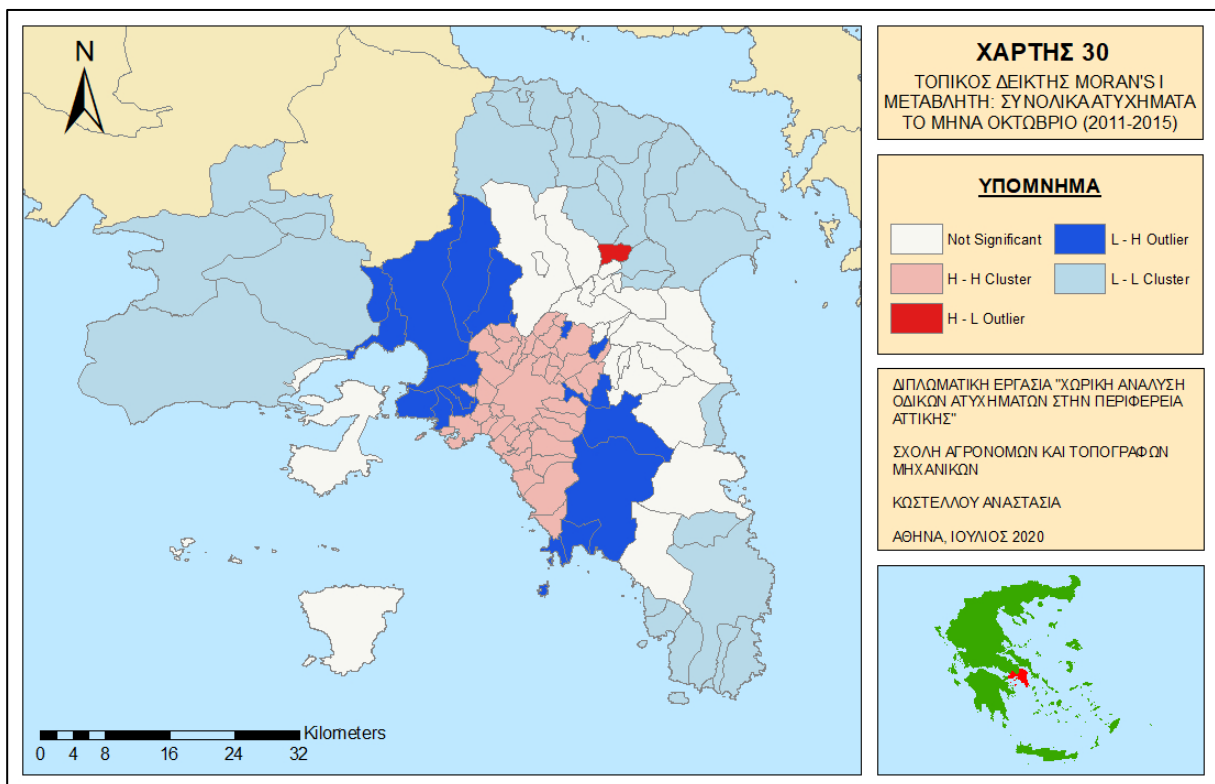
Χάρτης 27: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Ιούλιο



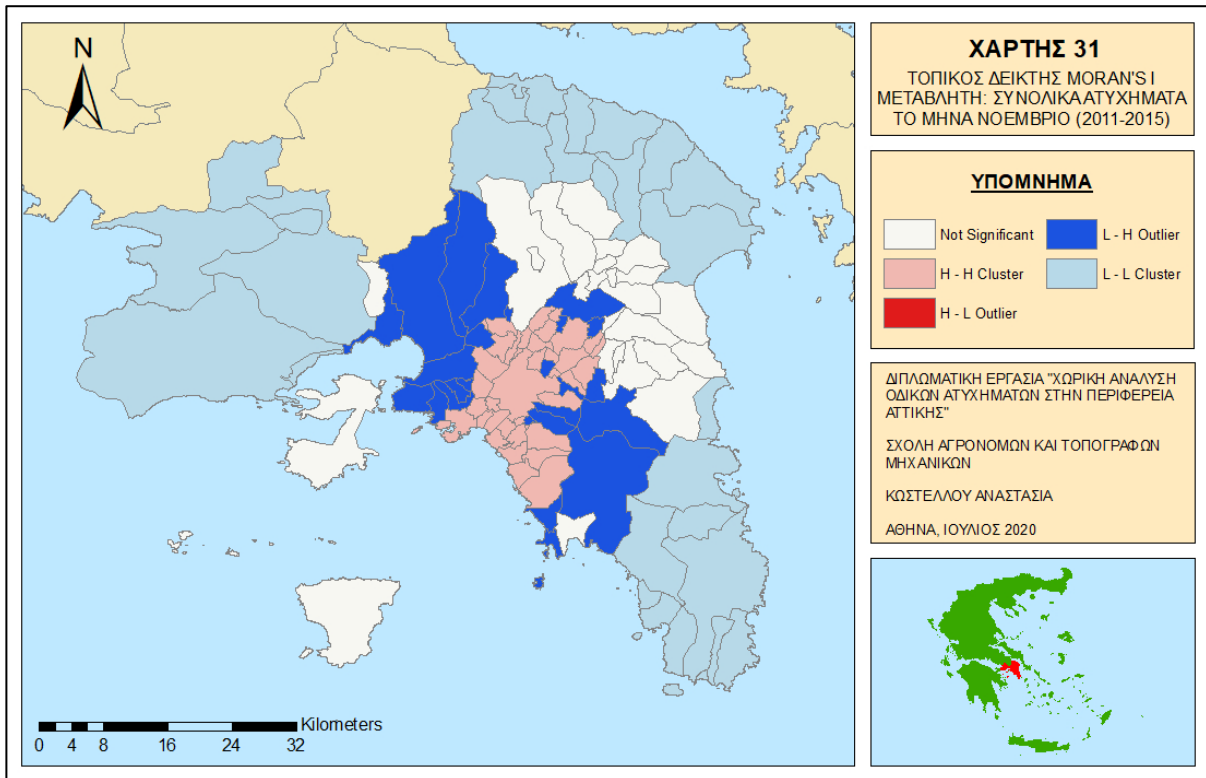
Χάρτης 28: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Αύγουστο



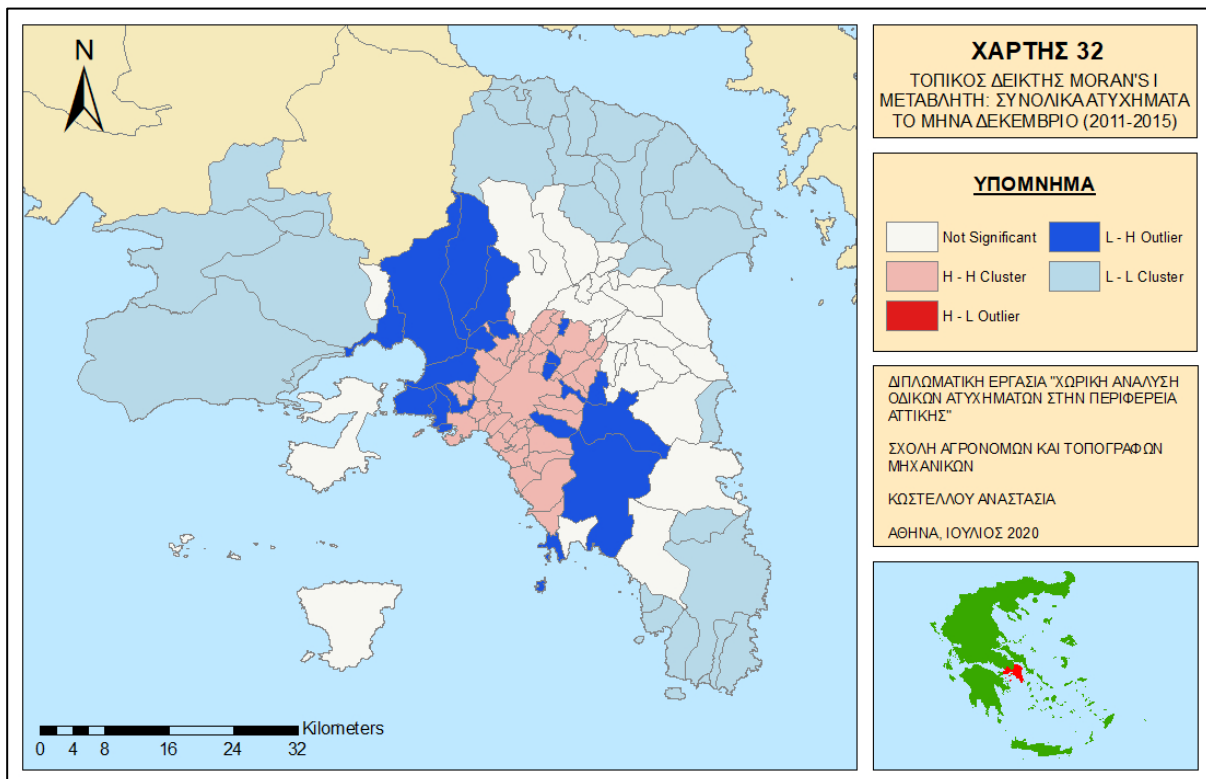
Χάρτης 29: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Σεπτέμβριο



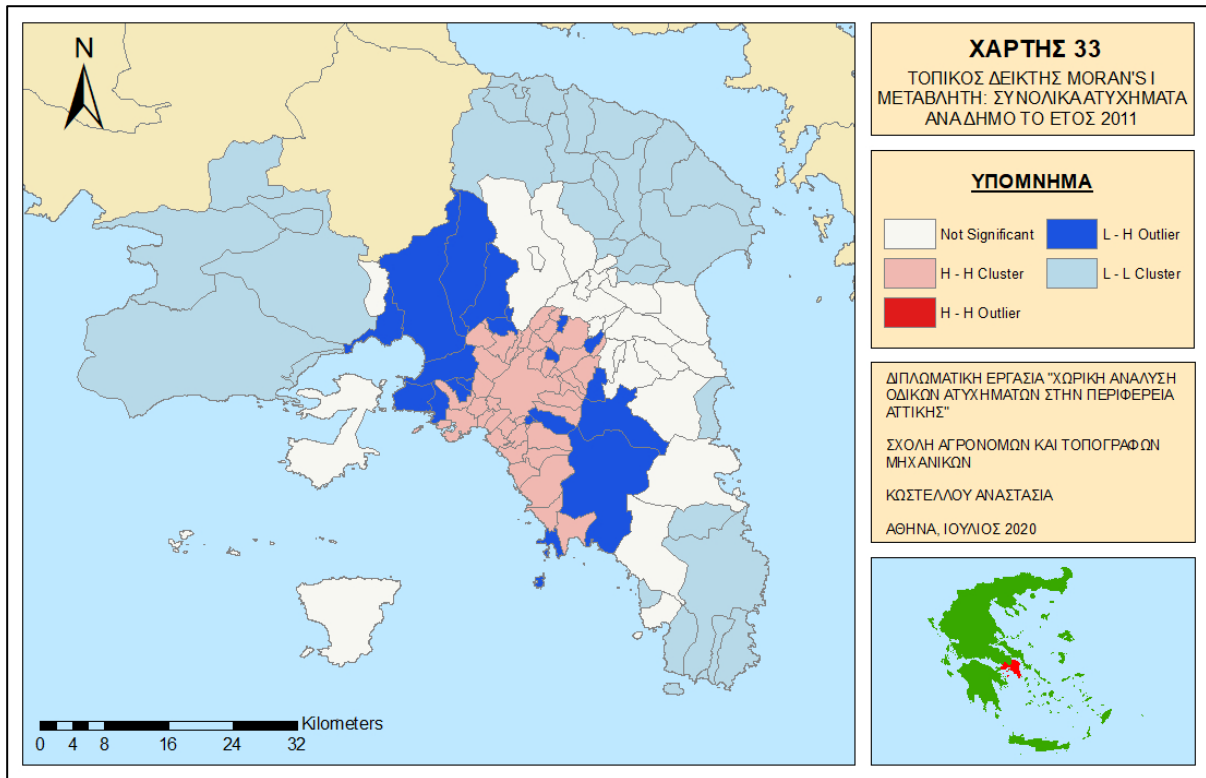
Χάρτης 30: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Οκτώβριο



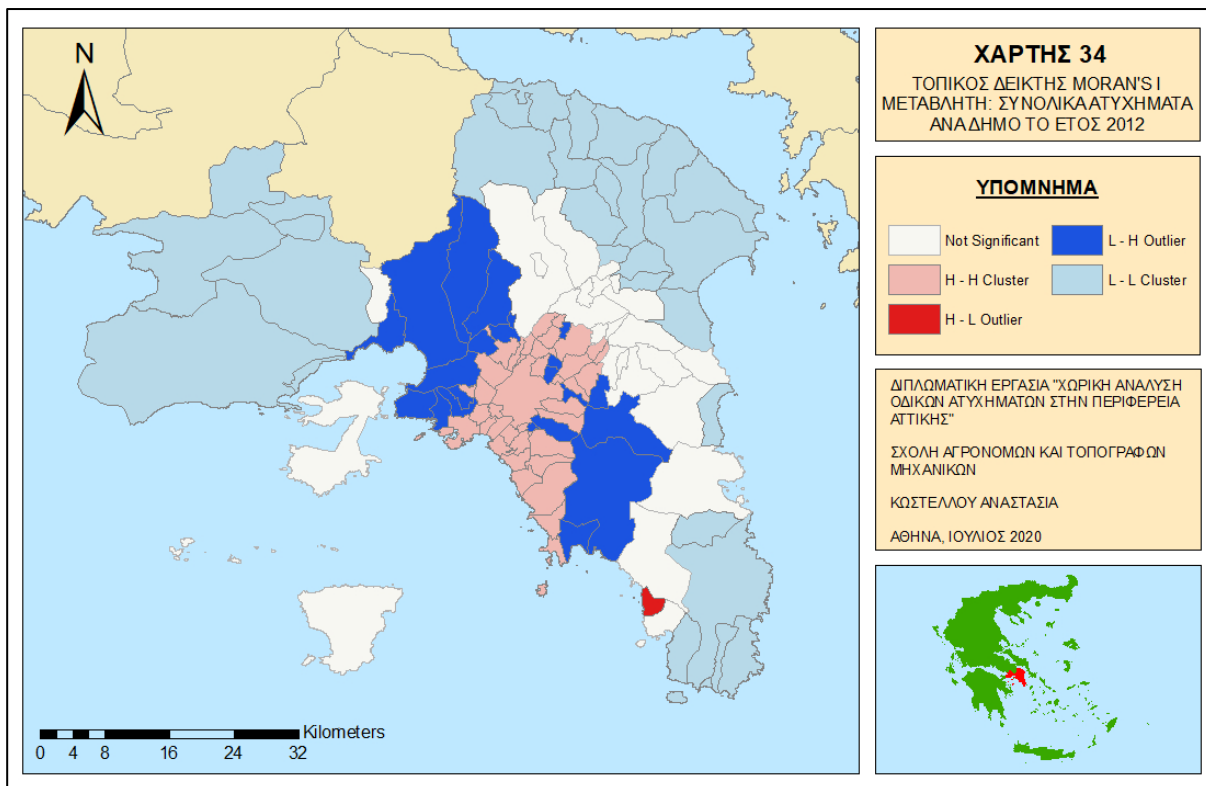
Χάρτης 31: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Νοέμβριο



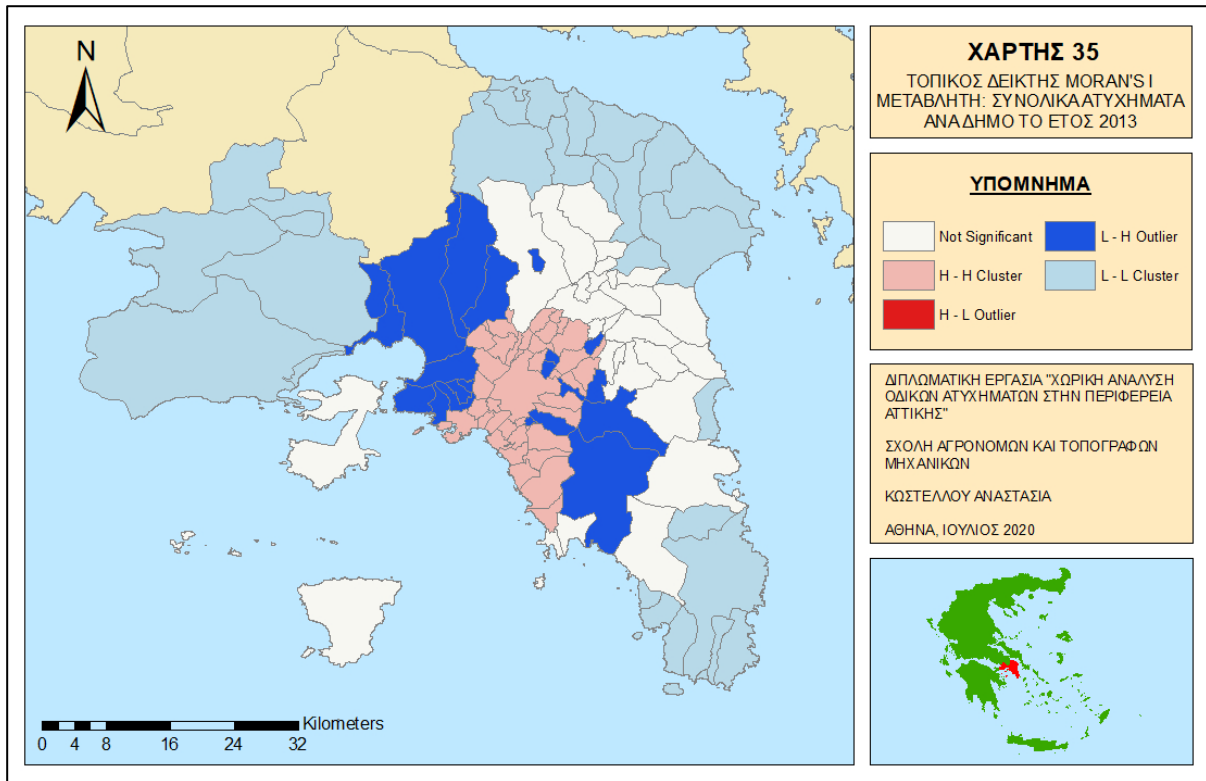
Χάρτης 32: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το μήνα Δεκέμβριο



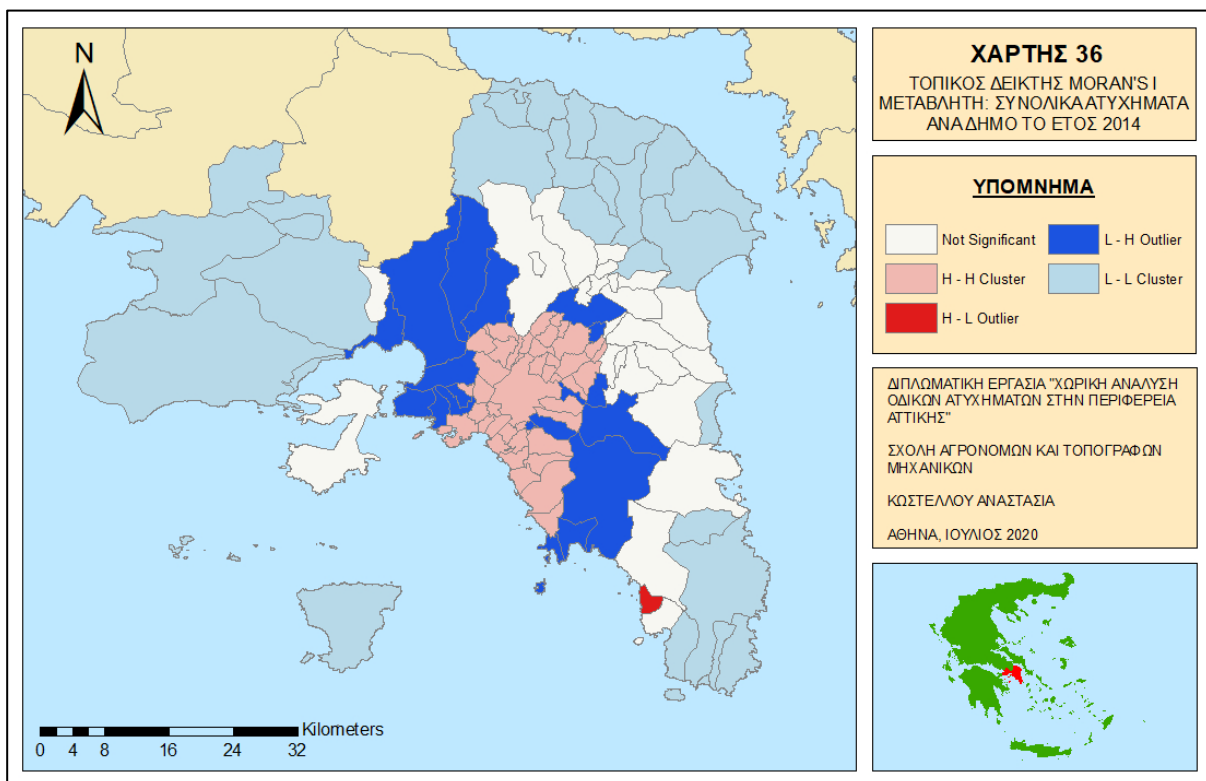
Χάρτης 33: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2011



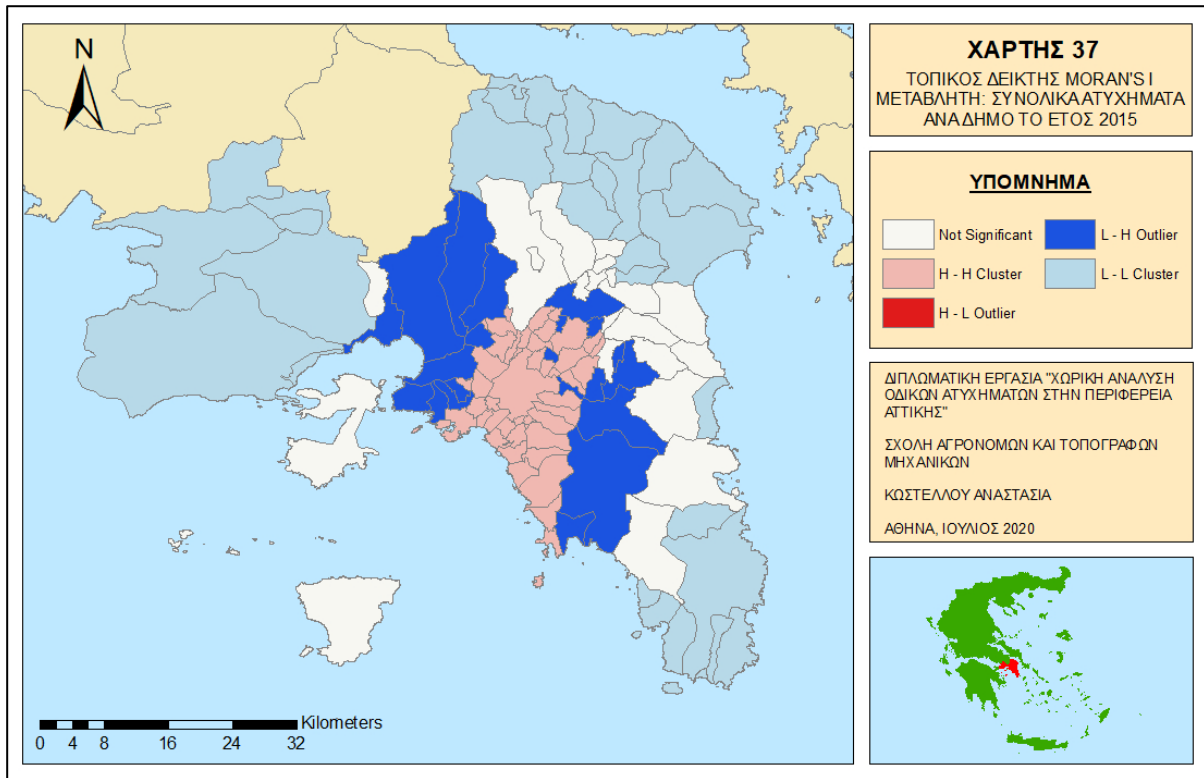
Χάρτης 34: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2012



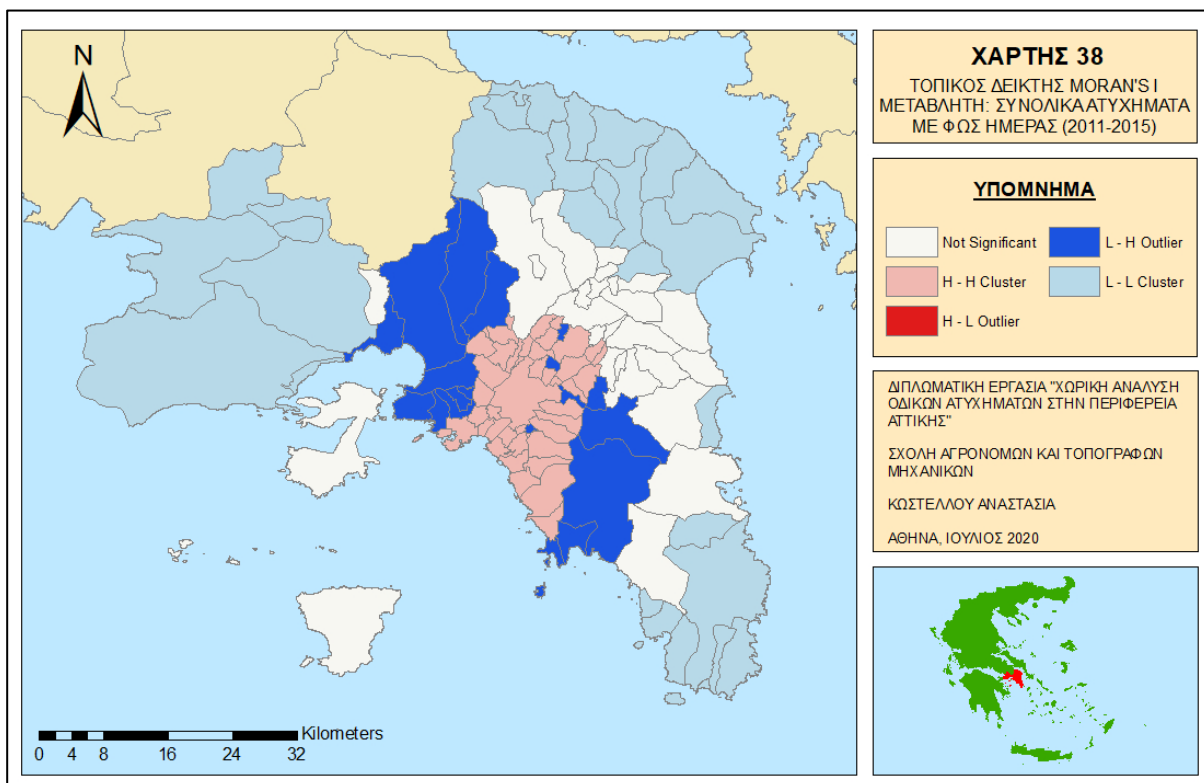
Χάρτης 35: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2013



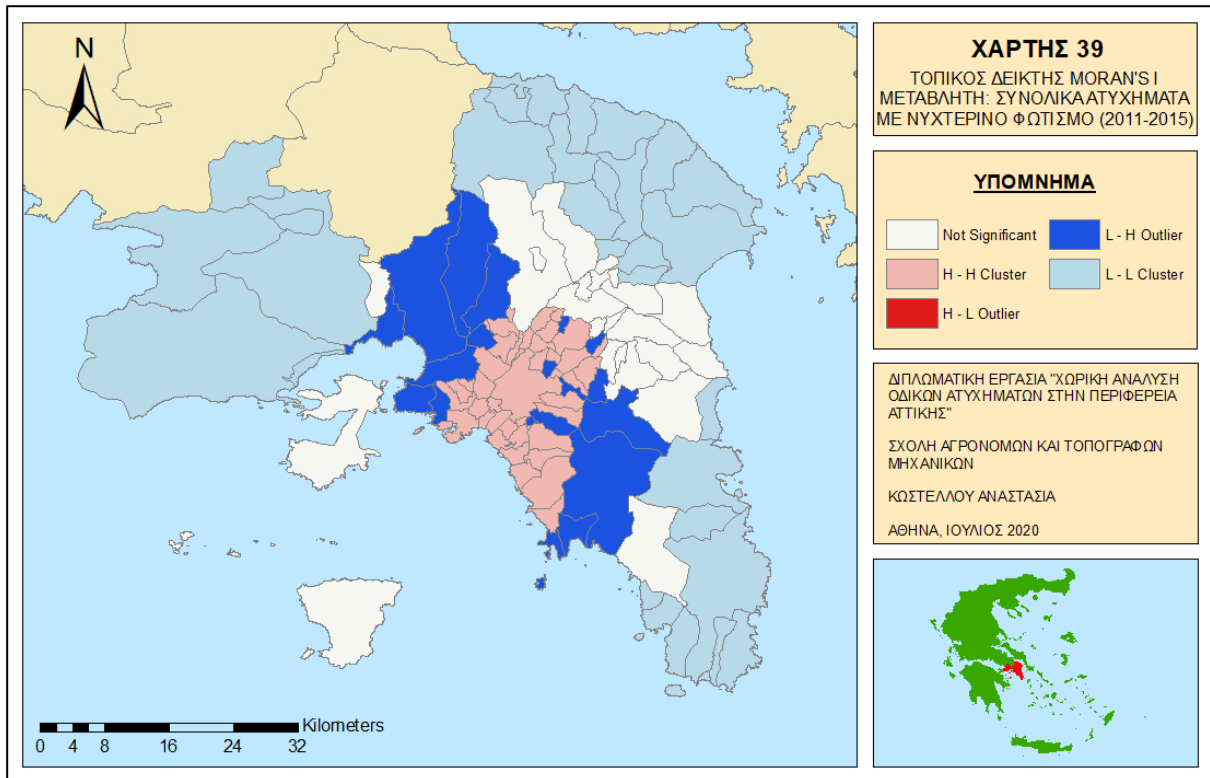
Χάρτης 36: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2014



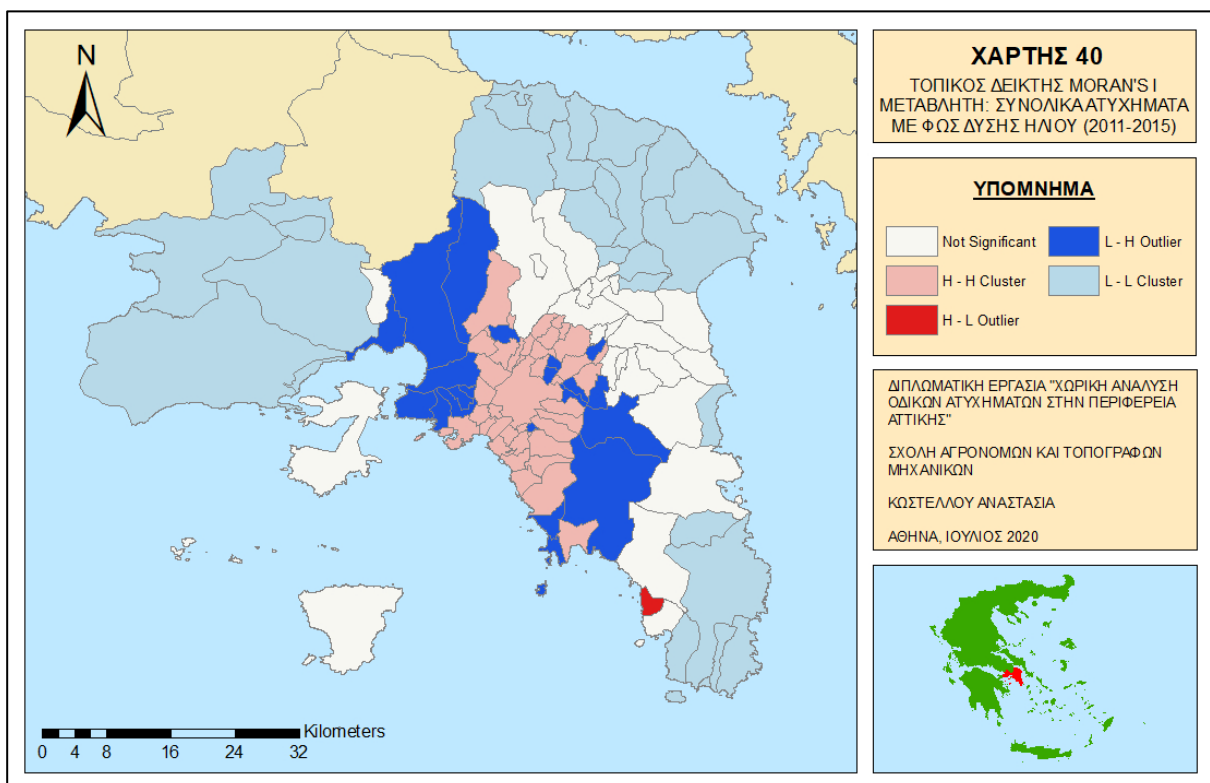
Χάρτης 37: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα το έτος 2015



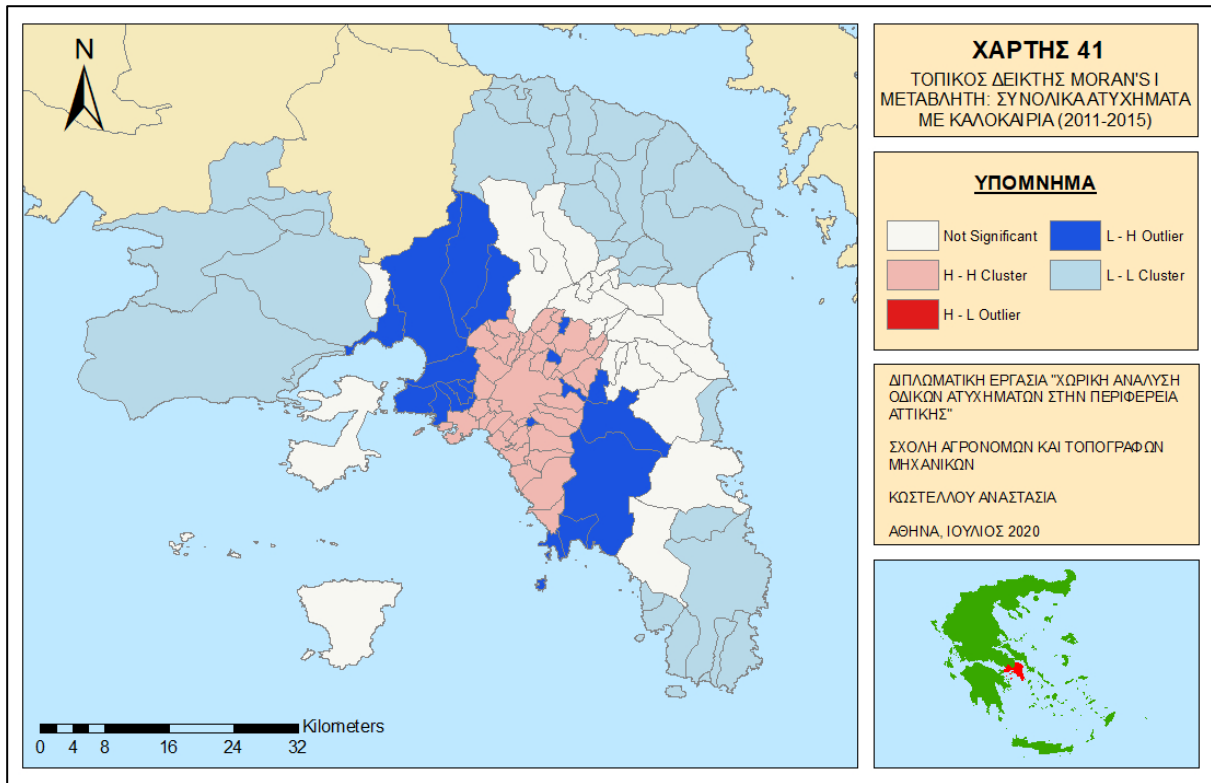
Χάρτης 38: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα σε συνθήκες φωτισμού ημέρας



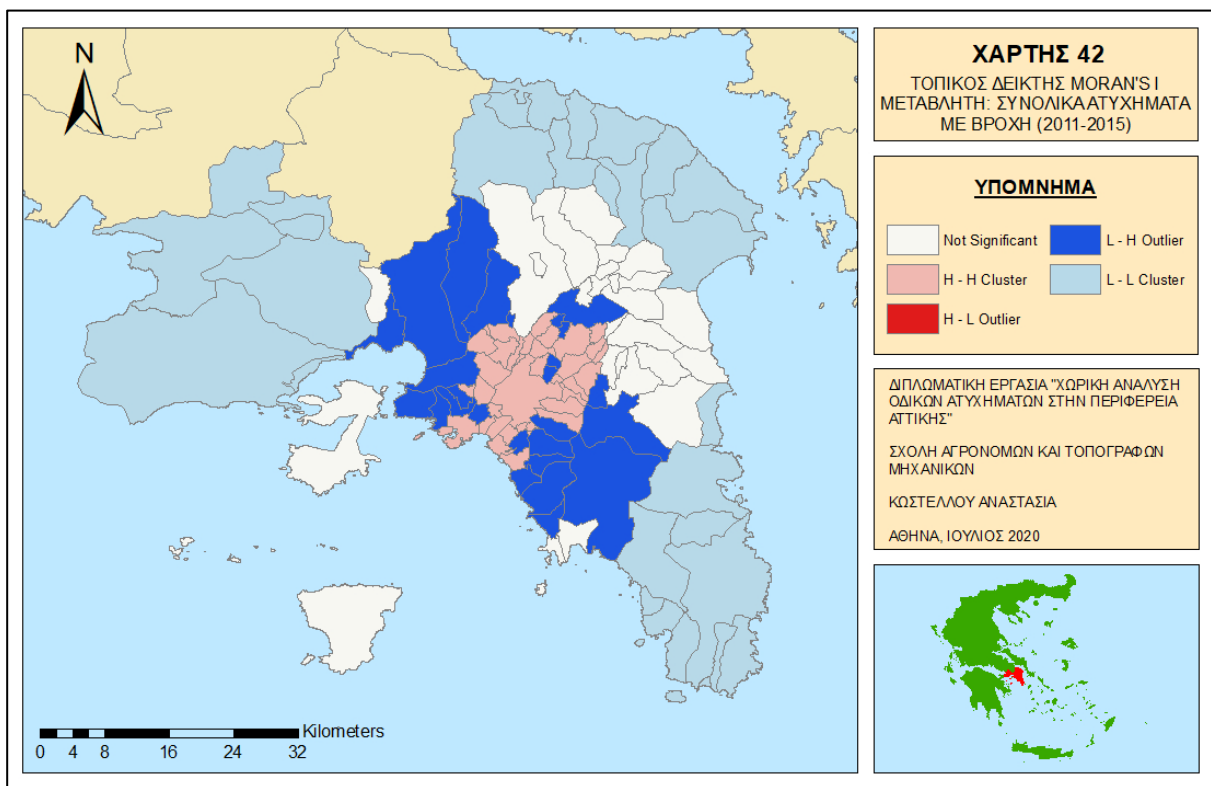
Χάρτης 39: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα σε συνθήκες φωτισμού νύχτας



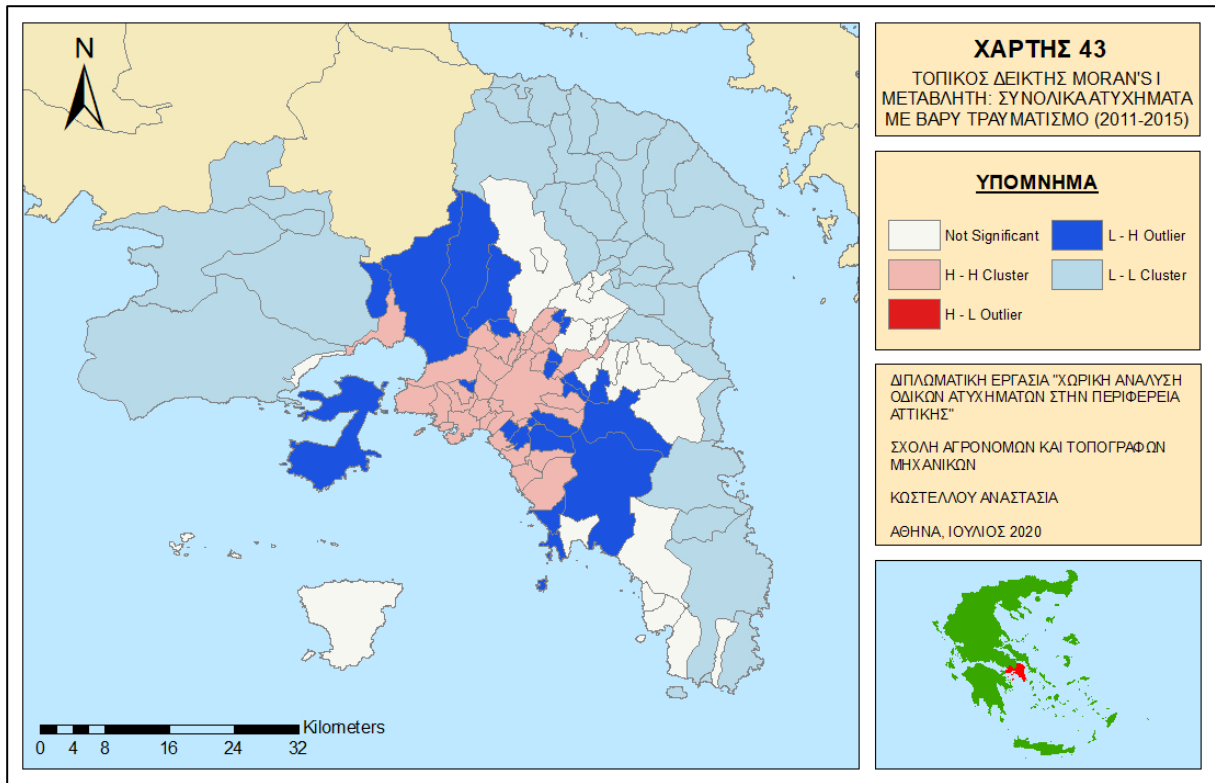
Χάρτης 40: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα σε συνθήκες φωτισμού δύσης ηλίου



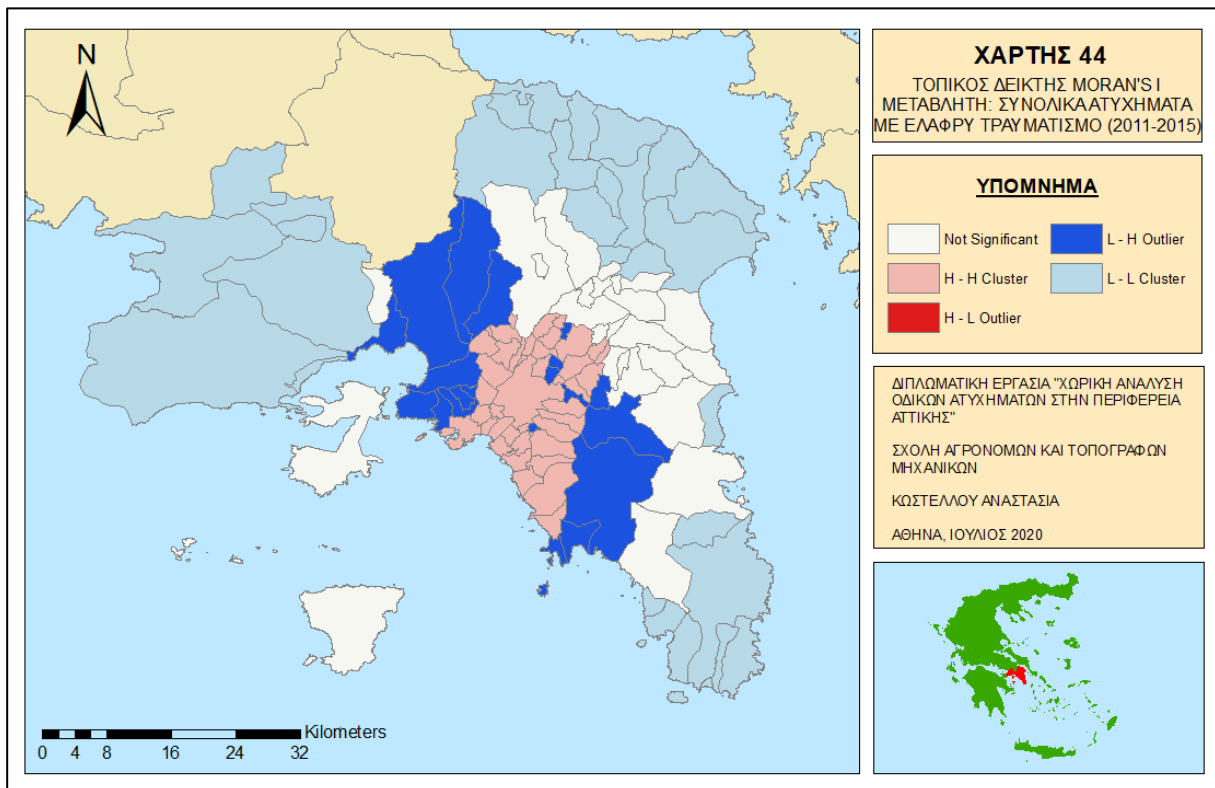
Χάρτης 41: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με καλοκαιρία



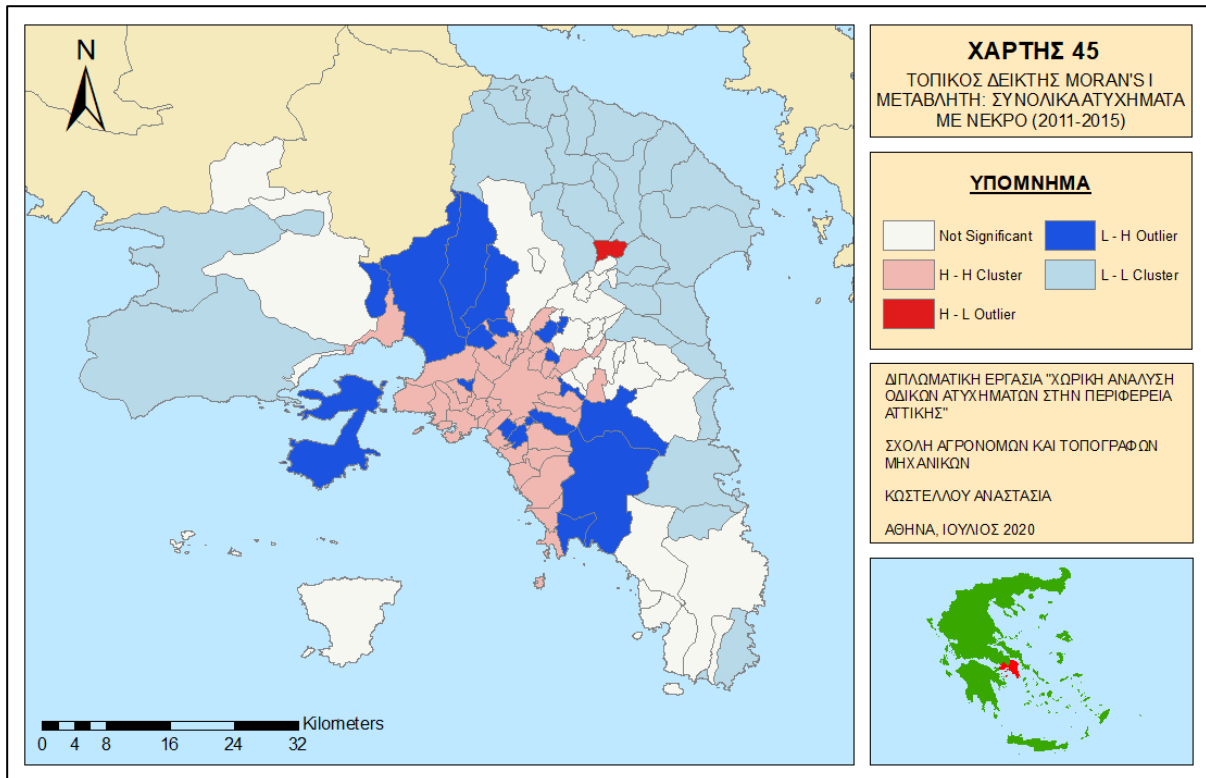
Χάρτης 42: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με βροχή



Χάρτης 43: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με βαρύ τραυματισμό



Χάρτης 44: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με ελαφρύ τραυματισμό



Χάρτης 45: Τοπικός δείκτης Moran's I με μεταβλητή τα συνολικά ατυχήματα με νεκρό