



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών –

Μηχανικών Γεωπληροφορικής

Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική

Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης

Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χωροχρονική Ανάλυση Τροχαίων Ατυχημάτων: η περίπτωση του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης (ΒΟΑΚ) την περίοδο 2000 – 2020

Μαρία Μάκαρη

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός – Μηχανικός

Γεωπληροφορικής Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου

Αθήνα, Ιούνιος 2023



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
School Of Rural, Surveying & Geoinformatics Engineering
Post – Graduate Programme: Geoinformatics
Department Of Infrastructure And Rural Development
Laboratory Of Transportation Engineering



MASTER THESIS

*Spatio-temporal analysis of road traffic accidents: The case of
Northern Road Axis of Crete (VOAK) in the period 2000-2020*

Maria Makari

Rural, Survey and Geoinformatics Engineer N.T.U.A.

Supervisor: Konstantinos Kepaptsoglou, Associate Professor N.T.U.A.

Athens, June 2023

Στην αγαπημένη μου κόρη,

Κλεοπάτρα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε την περίοδο Ιουλίου 2022 - Ιουνίου 2023. Με την ολοκλήρωση της κλείνει ο κύκλος των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους ανθρώπους, που με την στήριξη και την συνεργασία τους, βοήθησαν στην επίτευξη της.

Κατ' αρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το θέμα, καθώς και για τη βοήθεια και την κατανόηση του.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφιο Διδάκτωρ Ορφέα Καρούντζο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής, για την καθοδήγηση, την συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια και το χρόνο που αφιέρωσε ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

Τέλος, θέλω εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου, τους φίλους και τους συναδέλφους για την υποστήριξη, την συμπαράσταση και την κατανόηση τους, καθ' όλη την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και της εκπόνησης της παρούσας.

Μάκαρη Μαρία

Αθήνα, Ιούνιος 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι οδικές μεταφορές αποτελούν έναν εξαιρετικά σημαντικό τομέα για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας αλλά και σημαντική πηγή κινδύνων με σοβαρές συνέπειες για την κοινωνία. Τα τροχαία οδικά ατυχήματα (Road Traffic Accidents – RTAs) είναι μια από αυτές τις πηγές κινδύνου και μείζον ζήτημα δημόσιας υγείας, καθώς αποτελούν την 8η αιτία θανάτου όλων των ηλικιών παγκοσμίως. Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την χωροχρονική ανάλυση των τροχαίων οδικών ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, αντικείμενο της παρούσας αποτέλεσε τόσο η στατιστική όσο και η χωρική επεξεργασία και ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων που έχουν συμβεί στον Αυτοκινητόδρομο 090 (A90) κατά το διάστημα 2000 – 2020. Ο A90 γνωστός και ως Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (BOAK), με συνολικό μήκος 312χλμ, είναι ένας από τους πιο γνωστούς αυτοκινητοδρόμους στην Ελλάδα για το ιδιαίτερα βαρύ ιστορικό του σε RTAs, ενώ αποτελεί την κύρια οδική αρτηρία του νησιού. Η μελέτη εξετάζει το χωρικό πρότυπο του φαινομένου των RTAs στον BOAK και τη μεταβολή του διαχρονικά, τόσο στο σύνολο όσο και ανά κατηγορία ατυχημάτων ανάλογα με τη σοβαρότητα τραυματισμού του παθόντα. Επιπλέον, εντοπίζονται περιοχές όπου οι τραυματισμοί και οι θάνατοι από RTAs, είτε παρουσιάζουν υψηλή ομαδοποίηση (clusters & outliers) είτε συγκεντρώνουν υψηλό κίνδυνο πρόκλησης ατυχημάτων (hotspots) στα υποδιαστήματα 2000-2009, 2010-2020 και αναδεικνύεται η διαχρονικότητά τους. Η μεθοδολογία στηρίζεται στη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με επιλογή των κατάλληλων τεχνικών χωρικής ανάλυσης, όπως η εκτίμηση πυκνότητας πυρήνα (KDE) και η χωρική ανάλυση αυτοσυσχέτισης. Προϋπόθεση για την εφαρμογή των γεωχωρικών τεχνικών, ήταν η σημειακή τοπολογία των RTAs, η γνώση δηλαδή της γεωγραφικής τους θέσης. Ο γεωγραφικός προσδιορισμός αυτών υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις Χιλιομετρικές Θέσεις των περιστατικών που αναγράφονται στα Δελτία Οδικών Ατυχημάτων της Τροχαίας, με εξάρτηση από τους Χιλιομετρικούς Δείκτες που υπάρχουν κατά μήκος του BOAK. Η Γεωγραφική Βάση Δεδομένων που δημιουργήθηκε από την ένωση της χωρικής πληροφορίας των θέσεων των RTAs με τα θεματικά χαρακτηριστικά αυτών, χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των γεωχωρικών αναλύσεων. Τα ευρήματα δείχνουν ότι τα πιο σημαντικά hotspots και clusters RTAs βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία του BOAK που απαιτούν στοχευμένες παρεμβάσεις, κυρίως λόγω κακής υποδομής και επικίνδυνης οδηγικής συμπεριφοράς. Τέλος, αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία μιας συνολικής προσέγγισης στη διαχείριση της οδικής ασφάλειας και παρέχει πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για τη μείωση τόσο του αριθμού των RTAs όσο και των τραυματισμών και των θανάτων που προκαλούνται από αυτούς.

Λέξεις κλειδιά: Τροχαία Ατυχήματα, Χωρική Ανάλυση, BOAK, Χωρική Αυτοσυσχέτιση, Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα, Hotspot Analysis

ABSTRACT

Road transport is an extremely important sector for the social and economic development of a country, but also an important source of risks with serious consequences for society. Road Traffic Accidents (RTAs) are one of these sources of risk and a major public health issue, as they are the 8th leading cause of death for all ages worldwide. This master thesis deals with the spatio-temporal analysis of traffic accidents. In particular, the subject of this paper was both the statistical and spatial processing and analysis of RTAs that have occurred on the 090 (A90) Motorway during the period 2000 – 2020. The A90, also known as the Northern Road Axis of Crete (VOAK), with a total 312 km length, is one of the most well-known highways in Greece for its particularly heavy history of RTAs, while it is the main road artery of the island. The study examines the spatial pattern of RTAs in VOAK and its change over time, both in total and by category of accidents depending on the severity of the victim's injury. In addition, areas are identified where injuries and deaths from RTAs, either show high spatial clustering (clusters & outliers) or concentrate a high risk of causing accidents (hotspots) in the sub-intervals 2000-2009, 2010-2020 where their timelessness is highlighted. The methodology is based on the use of Geographic Information Systems (GIS) with the selection of appropriate spatial analysis techniques, such as Kernel Density Estimation (KDE) and Spatial Autocorrelation Analysis. A prerequisite for the application of geospatial techniques was the point level of spatial analysis for the RTAs, i.e. the knowledge of their geographic location. The geographical determination of the locations that RTAs occurred was implemented using the Kilometric Positions of the incidents listed in the Traffic Accident Reports, depending on the Kilometric Signs that exist along the VOAK. The Geographical Database created by combining the spatial information of the RTAs locations with their thematic characteristics, was used to implement the geospatial analyses. The findings indicate that the most significant hotspots and clusters of RTAs are located in specific parts of VOAK that require targeted interventions, mostly due to poor infrastructure along with dangerous driving behavior. Finally, this study highlights the importance of a comprehensive approach to road safety management and provides insights that can help develop effective strategies for reducing both the number of RTAs and the injuries and deaths caused by them.

Keywords: Road Traffic Accidents, Spatial Analysis, VOAK, Spatial Autocorrelation, Kernel Density Estimation, Hotspot Analysis

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΟΔΙΚΑ ΤΡΟΧΑΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ & Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ GIS	5
2.1. Γενικά	5
2.2. Η Στατιστική Έρευνα των Τροχαίων Ατυχημάτων - Ορισμοί	5
2.3. Δείκτες Επίδοσης Οδικής Ασφαλείας	6
2.4. Στατιστικά Στοιχεία	7
2.4.1. Παγκόσμια στατιστικά στοιχεία	7
2.4.2. Ευρωπαϊκά στατιστικά στοιχεία	9
2.4.3. Εθνικά στατιστικά στοιχεία	14
2.5. Παράγοντες Πρόκλησης Τροχαίων Ατυχημάτων	20
2.6. Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών	23
2.6.1. Συστατικά Στοιχεία ενός ΣΓΠ	23
2.6.2. Αναπαράσταση Χωρικών Εννοιών & Δομές Δεδομένων	24
2.7. Τα GIS στην ανάλυση ατυχημάτων και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	26
2.7.1. GIS και οδική ασφάλεια	26
2.7.2. Ορισμός hotspot τοποθεσιών τροχαίων ατυχημάτων	27
2.7.3. Μέθοδοι αξιολόγησης τροχαίων ατυχημάτων που βασίζονται σε GIS 27	
2.7.4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	29
3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	32
3.1. Στατιστική Ανάλυση	32
3.2. Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα	32
3.3. Χωρική Αυτοσυσχέτιση	34
3.3.1. Αξιολόγηση στατιστικής σημαντικότητας	35
3.3.2. Δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I	37
3.3.2.1. Global Moran's I	37
3.3.2.2. Local Moran's I	38
3.3.3. Δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis - Ord G	39
3.3.3.1. Getis - Ord General	39
3.3.3.2. Getis - Ord Gi*	39
3.3.4. Hot Spot Analysis	40
4. ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ	42

4.1.	Περιοχή Μελέτης	42
4.1.1.	Γενικά.....	42
4.1.2.	ΒΟΑΚ Ιστορικό	44
4.1.3.	ΒΟΑΚ Βελτιώσεις / Αναβαθμίσεις	44
4.2.	Συλλογή Δεδομένων	47
4.2.1.	Δεδομένα τροχαίων ατυχημάτων.....	47
4.2.2.	Δεδομένα οδικού δικτύου	50
4.2.3.	Λοιπά Βοηθητικά Δεδομένα.....	51
4.3.	Διαχείριση Δεδομένων.....	52
4.3.1.	Διαχωρισμός δεδομένων σχετικών με ΒΟΑΚ.....	52
4.3.2.	Διερεύνηση τρόπου καταγραφής Χ.Θ. ατυχημάτων	53
4.4.	Καταγραφή Χιλιομετρικών Δεικτών & Εντοπισμός Τροχαίων	54
4.4.1.	Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	54
4.4.2.	Περιφερειακή Ενότητα Χανίων	56
4.4.3.	Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου.....	57
4.4.4.	Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου	57
4.4.5.	Περιφερειακή Ενότητα Λασιθίου	61
4.5.	Δημιουργία Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων	63
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	65
5.1.	Στατιστική Ανάλυση.....	65
5.2.	Χωρική Ανάλυση.....	74
5.3.	Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα.....	77
5.3.1.	Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων	78
5.3.2.	Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες.....	83
5.3.3.	Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς.....	87
5.3.4.	Δείκτης Σοβαρότητας Ατυχημάτων.....	88
5.4.	Δημιουργία Μοντέλου αναλύσεων χωρικής αυτοσυσχέτισης.....	95
5.5.	Χωρική Αυτοσυσχέτιση	100
5.5.1.	Γενικοί Δείκτες Global Moran's I & Getis-Ord General G	100
5.5.2.	Τοπικοί Δείκτες Global Moran's & Getis-Ord Gi*.....	106
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	116
6.1.	Συμπεράσματα.....	116
6.2.	Προτάσεις	120
	Βιβλιογραφία	122

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1: Μοντέλο Πεδίων, η προσέγγιση των θεματικών επιπέδων	24
Εικόνα 2.2: Η προσέγγιση των αντικειμένων	25
Εικόνα 3.1: Διάγραμμα της τεταρτοβάθμιας λειτουργίας του πυρήνα (Bailey & Gatrell, 1995).....	34
Εικόνα 3.2: Χωρικά πρότυπα	35
Εικόνα 3.3: Χωρικά πρότυπα	36
Εικόνα 3.4: Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)	41
Εικόνα 4.1: Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (Wikipedia).....	43
Εικόνα 4.2: Επικινδυνότητα του ΒΟΑΚ σύμφωνα με την κατάταξη του SENSOR project	43
Εικόνα 4.3: Σκαρίφημα τυπικών διατομών α4νσ & α4ν*σ κατά ΟΜΟΕ	45
Εικόνα 4.4: Τυπικές Διατομές α4νσ & α4ν*σ κατά ΟΜΟΕ.....	45
Εικόνα 4.5: Πληροφοριακές πινακίδες Π15 (αριστερά) & Π16 (δεξιά).....	53
Εικόνα 4.6: Εντοπισμός δυο πρώτων χιλιομετρικών δεικτών επι του ΒΟΑΚ, στην Π.Ε. Χανίων	55
Εικόνα 4.7: Απόσπασμα χάρτη My Google Maps με τις θέσεις που εντοπίστηκαν χιλιομετρικοί δείκτες κατά μήκος του ΒΟΑΚ για την Π.Ε. Ρεθύμνου.....	55
Εικόνα 4.8: Χιλιομετρικοί δείκτες στην Π.Ε. Χανίων, Χ.Θ.18+000 του ΒΟΑΚ, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, αριστερά: Μάιος 2019, δεξιά: Σεπτέμβριος 2011	56
Εικόνα 4.9: Χιλιομετρικός δείκτης στην Χ.Θ.11+000, κρυμμένος από την βλάστηση & στην Χ.Θ.56+000, σχεδόν πεσμένος	57
Εικόνα 4.10: Θεώρηση χάραξης Β.Ο.Α.Κ. πριν τις 26/09/2003, για την απόδοση των ατυχημάτων από 01/01/2000	58
Εικόνα 4.11: Θεώρηση χάραξης Β.Ο.Α.Κ. από 26/09/2003 έως 21/03/2012 , για την απόδοση των ατυχημάτων	59
Εικόνα 4.12: Θεώρηση χάραξης Β.Ο.Α.Κ. από 21/03/2012 και έπειτα, για την απόδοση των ατυχημάτων, σημερινή κατάσταση.....	59
Εικόνα 4.13: Χιλιομετρικοί δείκτες στην Χ.Θ.156+000 στην Π.Ε.Ο. εκατέρωθεν των δυο ρευμάτων κυκλοφορίας.....	60
Εικόνα 4.14: Μέτρηση χιλιομετρικής απόστασης 1χλμ από τον χιλιομετρικό δείκτη 160+000 και εύρεση του αντίστοιχου 161ου χλμ μπροστά σε βενζινάδικο	60
Εικόνα 4.15: Εθνική Οδός 090β (ΒΟΑΚ) από τον Ι.Κ. Ξηροκάμπου έως το Λιμάνι της Σητείας, Εντοπισμός Χιλιομετρικών Δεικτών (υπόβαθρο Google Maps)	61
Εικόνα 4.16: Παλαιά και Νέα χάραξη Β.Ο.Α.Κ. στο τμήμα «Αγ. Νικόλαος – Καλό Χωριό» που δόθηκε σε κυκλοφορία στις 17/01/2015.....	62
Εικόνα 4.17: Μέτρηση χιλιομετρικής απόστασης 350μ από τον χιλιομετρικό δείκτη 178+000 έως την Ι.Μ. Σεληναρίου	63
Εικόνα 5.1: Μοντέλο επαναληπτικής διαδικασίας υλοποίησης χωρικών αναλύσεων σε περιβάλλον ArcMap Model Builder.....	98
Εικόνα 5.2: Interface του μοντέλου επαναληπτικής διαδικασίας υλοποίησης χωρικών αναλύσεων σε περιβάλλον ArcMap	99
Εικόνα 5.3: Αναφορές γενικών δεικτών, Moran's I (αριστερά) & Getis-Ord G (δεξιά) για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με νεκρούς την περίοδο 2000 – 2009 για χωρική σχέση “Fixed Distance” στα 7,5χλμ.....	105
Εικόνα 5.4: Αναφορές γενικών δεικτών, Moran's I (αριστερά) & Getis-Ord G (δεξιά) για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με τραυματίες την περίοδο 2010 – 2020 για χωρική σχέση “Fixed Distance” στα 7,5χλμ	105

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Θάνατοι από τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκων — προκαταρκτικά στοιχεία για το 2022.....	11
Πίνακας 2.2: Βασικά στοιχεία οδικής ασφάλειας για την Ελλάδα (2013-2022)	14
Πίνακας 2.3: Περιφερειακή κατανομή οδικών τροχαίων ατυχημάτων και νεκρών και δείκτης ατυχημάτων και νεκρών ανά 1.000.000 κατοίκους, έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)	19
Πίνακας 2.4: Τεχνικές χαρτογράφησης τροχαίων ατυχημάτων που βασίζονται σε GIS 28	
Πίνακας 4.1: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «path_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ	48
Πίνακας 4.2: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «ex_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ	48
Πίνακας 4.3: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «trox_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ	49
Πίνακας 4.4: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «och_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ	50
Πίνακας 5.1: Περιστατικά τροχαίων οδικών ατυχημάτων και παθόντων ανά έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020)	66
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα γενικών δεικτών Moran's I & Getis Ord G για τροχαία οδικά ατυχήματα με τραυματίες στον ΒΟΑΚ	102
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα γενικών δεικτών Moran's I & Getis Ord G για τροχαία οδικά ατυχήματα με νεκρούς στον ΒΟΑΚ.....	103

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Συνολική εξέλιξη θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων στις χώρες της IRTAD, 2010 – 2021 (ITF, 2022)	9
Διάγραμμα 2.2: Διαχρονική εξέλιξη στόλου οχημάτων & θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων στην Ελλάδα (2013-2022) (NRSO, 2023)	15
Διάγραμμα 2.3: Διαχρονική εξέλιξη τραυματιών, νεκρών και περιστατικών οδικών τροχαίων ατυχημάτων στην Ελλάδα (2000-2021) (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).....	16
Διάγραμμα 2.4: Κατανομή τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς ανά ιδιότητα παθόντα στην Ελλάδα για το έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)	16
Διάγραμμα 2.5: Κατανομή τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς ανά ηλικιακή ομάδα και ανά ιδιότητα παθόντα στην Ελλάδα για το έτος 2021 (NRSO, 2023)	17
Διάγραμμα 2.6: Κατανομή τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς ανά μεταφορικό μέσο στην Ελλάδα για το έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)	17
Διάγραμμα 2.7: Ποσοστά νεκρών σε οδικά τροχαία ατυχήματα ανά τύπο πρώτης σύγκρουσης για το έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)	18
Διάγραμμα 2.8: Αριθμός νεκρών, κατά περιφέρεια, ανά 1.000.000 κατοίκους, έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).....	19
Διάγραμμα 2.9: Παράγοντες πρόκλησης ατυχημάτων (Πηγή: «Οδοποιία III - Σχεδιασμός και Λειτουργία Κόμβων, Οδική Ασφάλεια»)	20
Διάγραμμα 2.10: Τροχονομικές παραβάσεις στην Κρήτη από 31/07/2022 έως 06/08/2022	22
Διάγραμμα 5.1: Τροχαία ατυχήματα ανά έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020)	67
Διάγραμμα 5.2: Παθόντες τροχαίων ατυχημάτων στον ΒΟΑΚ (2000-2020).....	68
Διάγραμμα 5.3: Ποσοστό ανά σοβαρότητα τροχαίων ατυχημάτων στον ΒΟΑΚ (2000-2020).....	68
Διάγραμμα 5.4: Ποσοστό ανά κατηγορία παθόντων τροχαίων ατυχημάτων για κάθε έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020).....	69
Διάγραμμα 5.5: Ποσοστό ανά κατηγορία παθόντων τροχαίων ατυχημάτων για κάθε έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020).....	70
Διάγραμμα 5.6: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά ώρα στον ΒΟΑΚ (2000-2020) ..	71
Διάγραμμα 5.7: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά ημέρα εβδομάδας στον ΒΟΑΚ (περίοδος 2000-2020).....	72
Διάγραμμα 5.8: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά μήνα στον ΒΟΑΚ (2000-2020). 73	
Διάγραμμα 5.9: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά ατμοσφαιρικές συνθήκες στον ΒΟΑΚ (2000-2020)	73

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 2.1: Χάρτης θανάτων σε τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2020	12
Χάρτης 2.2: Χάρτης μείωσης θανάτων σε τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2001-2020).....	13
Χάρτης 5.1: Θέσεις τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020.....	76
Χάρτης 5.2: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020.....	79
Χάρτης 5.3: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009.....	81
Χάρτης 5.4: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020.....	82
Χάρτης 5.5: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση τραυματισμών κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020.....	84
Χάρτης 5.6: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση τραυματισμών κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009.....	85
Χάρτης 5.7: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση τραυματισμών κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020.....	86
Χάρτης 5.8: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση θανάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020.....	89
Χάρτης 5.9: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση θανάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009.....	90
Χάρτης 5.10: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση θανάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020.....	91
Χάρτης 5.11: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) Δείκτη Σοβαρότητας συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020	92
Χάρτης 5.12: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) Δείκτη Σοβαρότητας συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009	93
Χάρτης 5.13: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) Δείκτη Σοβαρότητας συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020	94
Χάρτης 5.14: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες, για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010-2020)	108
Χάρτης 5.15: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς, για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2000 – 2009).....	109

Χάρτης 5.16: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς, για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλ(περίοδος 2010 – 2020)	110
Χάρτης 5.17: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord Gi* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)	113
Χάρτης 5.18: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord Gi* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2000 – 2009)...	114
Χάρτης 5.19: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord Gi* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)...	115

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οδικές μεταφορές είναι ένας από τους βασικότερους τρόπους μεταφοράς και αποτελεί έναν εξαιρετικά σημαντικό τομέα για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας. Αποτελούν ωστόσο μια σημαντική πηγή κινδύνων με σοβαρές συνέπειες για την κοινωνία. Τα τροχαία οδικά ατυχήματα (Road Traffic Accidents – RTAs) αποτελούν μείζον ζήτημα δημόσιας υγείας καθώς είναι μια από τις κύριες αιτίες θανάτου παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας περίπου 1,35 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους ετησίως από τροχαία σε όλο τον κόσμο με τις οικονομικές επιπτώσεις να φτάνουν περίπου το 3% του ΑΕΠ κάθε χώρας. Ειδικότερα, οι τραυματισμοί στα οδικά ατυχήματα αποτελούν την 8η αιτία θανάτου όλων των ηλικιών παγκοσμίως, ενώ για τους νέους ηλικίας 5-29 ετών, είναι η βασική αιτία θανάτου. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, σύμφωνα με τα προκαταρκτικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2022, σημειώθηκαν περίπου 20.600 θάνατοι από τροχαία δυστυχήματα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, για την Ελλάδα, αν και οι επιδόσεις της χώρας σε θέματα οδικής ασφάλειας, έχουν σημειώσει εντυπωσιακή βελτίωση από το 2010, μείωση κατά 55% των θανάτων, ο αριθμός των θυμάτων από τροχαία ατυχήματα το 2022 παραμένει αρκετά υψηλότερος από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο: 58 θανάτους ανά εκατομμύριο κατοίκων.

Η Κρήτη είναι μια από τις περιοχές της Ελλάδας που εδώ και χρόνια, βρίσκεται αντιμέτωπη με πολύ υψηλό ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων στο εθνικό και επαρχιακό οδικό της δίκτυο. Ο Αυτοκινητόδρομος 090 (Α90), γνωστός και ως Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (ΒΟΑΚ), που αποτελεί την κύρια οδική αρτηρία του νησιού και γενικότερα μοναδικό αυτοκινητόδρομο σε νησί της Ελλάδας, έχει ιδιαίτερα βαρύ ιστορικό σε τροχαία οδικά ατυχήματα. Παρότι είναι μικρότερος σε μήκος από το 1,50% του συνόλου (υπεραστικού και αστικού) του οδικού δικτύου της Κρήτης, τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ δείχνουν ότι στον ΒΟΑΚ συμβαίνουν το 10% των θανατηφόρων και με τραυματισμούς τροχαίων ατυχημάτων του νησιού. Ο αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος, η υπερβολική ταχύτητα, το πλήθος κατασκευαστικών ατελειών και η ανεπαρκής υποδομή του δρόμου είναι μερικοί από τους λόγους που έχουν οδηγήσει σε αυτή την κατάσταση. Είναι συνεπώς εμφανές ότι πρέπει να σχεδιαστούν δράσεις βελτίωσης οδικής ασφάλειας με βάση τα τοπικά χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες του ΒΟΑΚ.

Η κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, βοηθώντας έτσι σημαντικά στη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Συγκεκριμένα, η χωρική κατανομή των τροχαίων ατυχημάτων μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τον εντοπισμό των περιοχών όπου είναι πιο πιθανό να συμβούν ατυχήματα. Οι τεχνικές χωρικής ανάλυσης με τη βοήθεια των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη των χωρικών προτύπων των ατυχημάτων και τον εντοπισμό των προβληματικών περιοχών (hotspot). Τα GIS έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών (Miller, 2010), παρέχοντας ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση χωρικών δεδομένων, ειδικά στην ανάλυση

τροχαίων ατυχημάτων (Erdogan, Yilmaz, Baybura, & Gullu, 2008; Anderson, 2009; Erdogan, 2009; Prasannakumar, Vijith, Charutha, & Geetha, 2011) με αρκετές μελέτες να επικεντρώνονται σε ατυχήματα αυτοκινητοδρόμων.

Αντικείμενο της παρούσας ΜΔΕ αποτέλεσε η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων για την χωροχρονική ανάλυση των τροχαίων οδικών ατυχημάτων στον ΒΟΑΚ από το 2000 έως το 2020. Στόχος ήταν η ανίχνευση των χωρικών και χρονικών προτύπων των τροχαίων και των περιοχών που πιθανώς εντοπίζονται hotspots, τόσο ως προς το σύνολό των τροχαίων, όσο και ως προς τους τραυματισμούς και τους θανάτους που αυτά επέφεραν. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν εκτός από την συνολική περίοδο 2000-2020 και δυο χρονικά υποδιαστήματα, 2000-2009, 2010-2020, για την διερεύνηση των μεταβαλλόμενων προτύπων των ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης.

Για την προσέγγιση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε αρχικώς διερεύνηση στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, σχετικά με τις μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί στην χωροχρονική ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων. Βάσει της έρευνας διαπιστώθηκαν διάφορες ομαδοποιήσεις στις μελέτες που ασχολούνται με αυτό τον τομέα. Αρχικώς, ανάλογα με τον διαθέσιμο τύπο δεδομένων, χρησιμοποιούνται είτε μη αθροιστικές (disaggregated) είτε αθροιστικές (aggregated) τεχνικές (Sengupta, Gayah, & Donnell, 2021). Όσον αφορά το οδικό δίκτυο, υπάρχει σχετικά μεγάλη διασπορά στις μελέτες, με άλλους ερευνητές να έχουν αναλύσει τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε διασταυρώσεις και άλλους σε τμήματα του οδικού δικτύου (Erdogan, Yilmaz, Baybura, & Gullu, 2008; Castro, Paleti, & Bhat, 2012; Ma, Yan, & Qiao, 2014; Moore, Schneider, Savolainen, & Farzaneh, 2011). Τέλος παρατηρείται άλλη μια βασική ομαδοποίηση ανάμεσα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία: η πρώτη ομάδα αφορά την ανάλυση παραγόντων πρόκλησης των τροχαίων, με συνήθη δημοφιλέστερη τεχνική τα μοντέλα παλινδρόμησης, όπως η Λογιστική, η Γεωγραφικά Σταθμισμένη και η Δυναμική Λογιστική Παλινδρόμηση (Al-Ghamdi, 2002; Valent, et al., 2002; Kim, Kim, & Son, 2006; Theofilatos, Graham, & Yannis, 2012; Shankar, Mannering, & Barfield, 1995). Η δεύτερη ομάδα αφορά την ανίχνευση χωροχρονικών προτύπων τροχαίων ατυχημάτων και τη χαρτογράφηση περιοχών hotspot με συνήθης δημοφιλέστερες μεθόδους την Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Estimation – KDE), την ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης, όπως οι στατιστικές Moran's I και Getis Ord (Anderson, 2009; Erdogan, Yilmaz, Baybura, & Gullu, 2008; Bíl, Andrášik, & Janoška, 2013) (Bíl, Andrášik, & Sedoník, 2019; Gatrell, Bailey, Diggle, & Rowlingson, 1996; Moons, Brijs, & Wets, 2009).

Τα δεδομένα των τροχαίων ατυχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ΜΔΕ, χορηγήθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), βάσει των Δελτίων Οδικού Τροχαίου Ατυχήματος (Δ.Ο.Τ.Α) που καταγράφει η Τροχαία, και αφορούν το σύνολο των περιστατικών τροχαίων όλης της Κρήτης για την Περίοδο 2000 – 2020. Από τα διαθέσιμα δεδομένα διαχωρίστηκαν αυτά που αφορούσαν μόνο τον ΒΟΑΚ σύμφωνα με τον κωδικό τους, 090α ή 090β, με βάση το «Μητρώο Εθνικών Οδών». Οι θέσεις των ατυχημάτων που συλλέγονται στα ΔΟΤΑ δεν είναι προσδιορισμένες γεωγραφικά, ωστόσο καταγράφεται η Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.)

του ατυχήματος επι του άξονα. Για την καλύτερη ανάλυση των ατυχημάτων επι του ΒΟΑΚ, επιλέχθηκε η ανάλυση να γίνει σε επίπεδο σημείου, και επομένως να γεωαναφερθούν τα ατυχήματα με βάσει την Χ.Θ. τους στον άξονα, εξαρτώντας τα από τους χιλιομετρικούς δείκτες που αναγράφουν την χιλιομέτρηση στο μεγαλύτερο μήκος του άξονα.

Έτσι στο πρώτο τμήμα της εργασίας, που αφορούσε την γεωαναφορά των θέσεων των ατυχημάτων, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Street View του Google Maps για τον χωροθετικό εντοπισμό των χιλιομετρικών δεικτών & η εφαρμογή My Google Maps, για την καταγραφή αυτών. Ακολουθώντας, με βάση την χιλιομετρική απόσταση των τροχαίων από τους πλησιέστερους χιλιομετρικούς δείκτες, εντοπίστηκαν και αποθηκευτήκαν οι θέσεων ατυχημάτων. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως η χωρική ακρίβεια με την οποία προσδιορίστηκαν οι γεωγραφικές θέσεις των ατυχημάτων, είναι άμεσα συνυφασμένη με την εκτίμηση του αρμόδιου υπάλληλου της τροχαίας που κατάγραψε τη χιλιομετρική θέση του ατυχήματος.

Στο δεύτερο τμήμα, τα δεδομένα αναλύθηκαν χωρικά κα χρονικά με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Προηγήθηκε μια στατιστική ανάλυση για την αρχική οπτικοποίηση των δεδομένων και την διεξαγωγή κάποιων πρώτων συμπερασμάτων. Στην συνέχεια, βάσει των ευρημάτων από την βιβλιογραφική ανασκόπηση και το σημειακό επίπεδο ανάλυσης, επιλέχθηκαν οι καταλληλότερες γεωχωρικές τεχνικές ανάλυσης των τροχαίων, οι οποίες είναι η Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (KDE) και η ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης, με τις στατιστικές Moran's I και Getis-Ord, σε γενικό και τοπικό επίπεδο. Οι μεταβλητές που ορίστηκαν προς εξέταση – θεωρήθηκαν ως οι πιο σημαντικές προς διερεύνηση καθώς παρατηρούνται συνεχώς σε τέτοιου είδους ατυχήματα – αφορούν το σύνολο των τροχαίων: α)ως περιστατικά, β)ως προς τους τραυματισμούς, γ)ως προς τους θανάτους, και δ)ως προς τον δείκτη σοβαρότητας ατυχήματος. Η εφαρμογή της KDE έδωσε μια αρχική εκτίμηση των προβληματικών περιοχών σχετικά με τα τροχαία ατυχήματα για κάθε μια από τις μεταβλητές που ορίστηκαν. Οι μέθοδοι Χωρικής Αυτοσυσχέτισης εφαρμόστηκαν, ως προς την πρόκληση τραυματισμών και θανάτων, αφενός για την ανίχνευση χωρικών ομαδοποιήσεων των τροχαίων και αφετέρου για την περεταίρω διερεύνηση πιθανών υποκρυπτόμενων προβληματικών περιοχών (outliers και hotspots), που δεν είναι ανιχνεύσιμες με την KDE.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται συνολικά από έξι κεφάλαια. Μετά το παρόν κεφάλαιο της Εισαγωγής ακολουθεί το 2ο κεφάλαιο, το οποίο παρουσιάζει στοιχεία σχετικά με την οδική ασφάλεια και τα τροχαία ατυχήματα. Συγκεκριμένα παρατίθενται κάποιες έννοιες και ορισμοί σχετικά με το εν λόγω φαινόμενο, η κατανόηση των οποίων είναι απαραίτητη για την μελέτη των τροχαίων ατυχημάτων. Ακολουθεί η παρουσίαση στατιστικών στοιχείων σε τρία επίπεδα, παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό που αποδίδουν το μέγεθος των οδικών ατυχημάτων και παρουσιάζουν πληροφορίες για αυτά σε συνάρτηση με διάφορες μεταβλητές. Ακόμα παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία για τα Γεωπληροφορικά Συστήματα (GIS) και η χρήση τους στην ανάλυση των τροχαίων

ατυχημάτων. Τέλος παρουσιάζεται εκτενώς η βιβλιογραφική ανασκόπηση, βασισμένη στην διεθνή βιβλιογραφία που συγκεντρώνει το εξεταζόμενο θέμα, και έρευνες συναφείς που έχουν γίνει στην Ελλάδα.

Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι μέθοδοι, οι οποίες εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας (ΜΔΕ). Συγκεκριμένα, δίνονται οι ορισμοί και περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές αρχές λειτουργίας των μεθόδων Ανάλυσης Πυκνότητας Πυρήνα και των αναλύσεων χωρικής αυτοσυσχέτισης, της στατιστικής Moran's I, Global και Local και των στατιστικών Getis-Ord General και Getis-Ord Gi*. Επιπροσθέτως, αναλύεται το μεθοδολογικό πλαίσιο κάθε τεχνικής έτσι, ώστε να γίνει κατανοητή η εφαρμογή και τα αποτελέσματά της.

Το 4ο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην χωροθετική καταγραφή των ατυχημάτων, την μετατροπή δηλαδή των Χιλιομετρικών Θέσεων των ατυχημάτων σε γεωγραφικές συντεταγμένες. Αρχικά, περιγράφεται η περιοχή μελέτης της εργασίας, ο ΒΟΑΚ, στον οποίο αναφέρονται τα δεδομένα. Ακολούθως παρουσιάζονται τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ και περιγράφεται η διαχείριση στην οποία υποβλήθηκαν, για να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία με το λογισμικό ArcGIS.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας για τα τροχαία ατυχήματα του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης. Αρχικά, υλοποιείται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων οδικών τροχαίων ατυχημάτων που αφορούν τον ΒΟΑΚ για την χρονική περίοδο 2000 -2020. Στη συνέχεια ακολουθεί η χωροχρονική ανάλυση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων. Η KDE εφαρμόζεται σε τρία επίπεδα χρονικής ανάλυσης: 2000-2020, 2000-2009, 2010-2020 για όλες τις μεταβλητές που ορίστηκαν (συνολικά περιστατικά τροχαίων, τραυματισμοί, θάνατοι, δείκτης σοβαρότητας ατυχημάτων), για την παρακολούθηση των μεταβαλλόμενων μοτίβων των ατυχημάτων. Τα μοντέλα χωρικής αυτοσυσχέτισης χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό περιοχών όπου οι τραυματισμοί και οι θάνατοι παρουσιάζουν υψηλή ομαδοποίηση και την ανίχνευση hotspot, στα υποδιαστήματα 2000-2009, 2010-2020. Παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν σε μορφή, διαγραμμάτων και χαρτών.

Τέλος, το έκτο κεφάλαιο συνοψίζει τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγονται όσον αφορά στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε, όπως επίσης και στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας. Στο τέλος του κεφαλαίου, διατυπώνονται προτάσεις, τόσο σχετικά με την αξιοποίηση της βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε όσο και των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, σχετικά με περαιτέρω έρευνες, συναφείς με το αντικείμενο της εργασίας αυτής.

2. ΟΔΙΚΑ ΤΡΟΧΑΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ & Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ GIS

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια παρουσίαση στοιχείων σχετικών με την οδική ασφάλεια και τα τροχαία ατυχήματα. Συγκεκριμένα παρατίθενται κάποιες έννοιες και ορισμοί σχετικά με το εν λόγω φαινόμενο και στατιστικά στοιχεία σε τρία επίπεδα, παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό που αποδίδουν το μέγεθος των οδικών ατυχημάτων και παρουσιάζουν πληροφορίες για αυτά σε συνάρτηση με διάφορες μεταβλητές. Ακόμα παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία για τα Γεωπληροφορικά Συστήματα (GIS) και η χρήση τους στην ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων. Τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου παρουσιάζονται έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που έχουν πραγματοποιηθεί σε διεθνώς και στην Ελλάδα.

2.1. Γενικά

Τα οδικά τροχαία ατυχήματα αποτελούν μείζον παγκόσμιο πρόβλημα δημόσιας υγείας προκαλώντας σημαντική επιβάρυνση στην εθνική οικονομία και στην υγειονομική περίθαλψη. Παρά την επίπονη εργασία των Ηνωμένων Εθνών και άλλων φορέων οδικής ασφάλειας τα τελευταία 20 χρόνια, εκτιμάται πως κάθε χρόνο, 1,35 εκατομμύρια θάνατοι παγκοσμίως και 20 - 50 εκατομμύρια τραυματισμοί οφείλονται σε τροχαία ατυχήματα. Ειδικότερα, οι τραυματισμοί από οδικά ατυχήματα αποτελούν την 8η αιτία θανάτου όλων των ηλικιών παγκοσμίως, ενώ για τους νέους ηλικίας 5-29 ετών, είναι η βασική αιτία θανάτου. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας το κόστος για τα κράτη ανέρχεται περίπου στο 3% του ετήσιου ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος τους.

Η πρόβλεψη 13 εκατομμύριων περαιτέρω θανάτων και 500 εκατομμύριων τραυματισμών από τροχαία ατυχήματα για την επομένη δεκαετία, υπογραμμίζει την ανάγκη ανάληψης δράσης. Επιπλέον, αν ληφθεί υπόψη ότι ο κίνδυνος θανάτου στο δρόμο είναι περισσότερο από τρεις φορές μεγαλύτερος στις αναπτυσσόμενες χώρες σε σχέση με τις ανεπτυγμένες χώρες, γίνεται αντιληπτό ότι τα τροχαία αποτελούν σημαντικό εμπόδιο για την βιώσιμη ανάπτυξη, ιδιαίτερα σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος (WHO, 2021).

Αναγνωρίζοντας τη σημασία του προβλήματος και την ανάγκη δράσης, τα Ηνωμένα Έθνη προχώρησαν στην διακήρυξη της Δεύτερης Δεκαετίας Δράσης για την Οδική Ασφάλεια 2021–2030 (σε συνέχεια της πρώτης Δεκαετίας Δράσης 2011 – 2020) με ρητό στόχο τη μείωση των θανάτων και τραυματισμών από τροχαία ατυχήματα κατά τουλάχιστον 50% κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (ΕΛΣΤΑΤ, 2023).

2.2. Η Στατιστική Έρευνα των Τροχαίων Ατυχημάτων – Ορισμοί

Η έρευνα οδικών τροχαίων ατυχημάτων διενεργείται σε μηνιαία βάση από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) και παρακολουθεί κατά Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε.), για κάθε μήνα χωριστά τον αριθμό των οδικών τροχαίων

ατυχημάτων κατά βαρύτητα (θανατηφόρα και/ή με τραυματισμούς) και τον αριθμό των παθόντων ατόμων κατά κατηγορία αυτών (οδηγοί, μεταφερόμενοι, πεζοί). Σε ετήσια βάση, γίνεται ευρύτερη ανάλυση των ατυχημάτων. Αρμόδιες για τη συμπλήρωση των Δελτίων Οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) είναι οι Αστυνομικές και Λιμενικές Αρχές της Χώρας. Το κατώτερο επίπεδο ανάλυσης του τόπου που συνέβη ένα οδικό τροχαίο ατύχημα είναι η Δημοτική – Τοπική Κοινότητα που περιγράφεται με 8ψήφιο γεωγραφικό κωδικό. Η περιοδικότητα συλλογής των στοιχείων είναι μηνιαία. Κυριότερες μεταβλητές είναι: τόπος ατυχήματος, είδος οδού, παθόντες, συνθήκες οδοστρώματος και τύπος οδού (ΕΛΣΤΑΤ, 2023).

Οι εννοιολογικοί ορισμοί της έρευνας σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή έχουν ως ακολούθως:

Οδικό τροχαίο ατύχημα (με σωματικές βλάβες) θεωρείται το συμβάν που γίνεται στους δρόμους ή στις πλατείες, που είναι ελεύθερες στη δημόσια χρήση (όχι σε αυλές, βιομηχανικούς χώρους, αμαξοστάσια των επιχειρήσεων μεταφορών κλπ.), με συμμετοχή σε αυτό ενός ή περισσότερων οχημάτων, από τα οποία το ένα τουλάχιστον βρισκόταν σε κίνηση κατά τη στιγμή του ατυχήματος και είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο ή τον τραυματισμό προσώπου ή προσώπων.

Νεκρός θεωρείται το πρόσωπο εκείνο, του οποίου ο θάνατος, επέρχεται την ίδια στιγμή ή μέσα σε διάστημα 30 ημερών από το ατύχημα (τον ορισμό αυτό ακολουθεί η Ελλάδα από 01.01.1996). Τραυματίας θεωρείται το παθόν πρόσωπο, που υπέστη σωματική κάκωση ή βλάβη της υγείας του.

Βαριά τραυματίας θεωρείται το παθόν πρόσωπο, που υπέστη σοβαρή βλάβη, όπως κρανιοεγκεφαλική κάκωση, ακρωτηριασμό, πολλαπλό τραυματισμό με αποτέλεσμα το άτομο είτε να χάσει τη διανοητική του επαφή με το περιβάλλον είτε να κινδυνεύει σοβαρά η ζωή του.

Ελαφρά τραυματίας θεωρείται το παθόν πρόσωπο, που υπέστη απλή σωματική κάκωση, μη ικανή να θέσει την ζωή του σε κίνδυνο.

Όχημα: Περιλαμβάνονται τα αυτοκίνητα οχήματα, τα ηλεκτροκίνητα λεωφορεία (τρόλλεϋ), τα τραμ, οι μοτοσυκλέτες, τα ποδήλατα και μοτοποδήλατα, τα αγροτικά μηχανήματα, τα μηχανήματα οδοποιίας, τα ζωήλατα οχήματα και οι χειράμαξες. Στα οχήματα δεν περιλαμβάνονται οι σιδηρόδρομοι, ωστόσο αν στο ατύχημα συμμετέχει όχημα μιας τουλάχιστον από τις παραπάνω κατηγορίες, τότε το ατύχημα θεωρείται οδικό τροχαίο και περιλαμβάνεται στην έρευνα.

2.3. Δείκτες Επίδοσης Οδικής Ασφαλείας

Διάφοροι δείκτες χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της επίδοσης της οδικής ασφαλείας. Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν οι δείκτες που χρησιμοποιεί η Διεθνής Ομάδα Δεδομένων Οδικής Ασφάλειας και Ανάλυσης (International Traffic Safety Data and Analysis Group – IRTAD) του ITF (International Transportation Forum), για την μέτρηση των επιδόσεων της οδικής ασφαλείας, βάση των οποίων

συγκρίνονται τα επίπεδα ασφάλειας μεταξύ των χωρών. Σε κάθε περίπτωση, τα διαφορετικά επίπεδα αυτοκίνησης καθορίζουν την ερμηνεία των συγκρίσεων ανάμεσα σε διάφορες χώρες.

Πρώτον, **ο αριθμός των θανάτων ανά κεφαλή πληθυσμού** μετρά το ποσοστό θνησιμότητας. Ο αριθμός των κατοίκων (ανά 100000 ή εκατομμύρια) είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος παρονομαστής, καθώς αυτός ο αριθμός είναι άμεσα διαθέσιμος στις περισσότερες χώρες (ITF, 2022).

Δεύτερον, **ο αριθμός των θανάτων ανά απόσταση** που διανύεται από μηχανοκίνητα οχήματα μετρά τον κίνδυνο θανάτου. Αυτός ο δείκτης περιγράφει την ποιότητα ασφάλειας της οδικής κυκλοφορίας. Θεωρητικά, είναι ο καλύτερος δείκτης για την αξιολόγηση του επιπέδου επικινδυνότητας του οδικού δικτύου. Ωστόσο, δεν λαμβάνει υπόψη τα μη μηχανοκίνητα οχήματα (π.χ. ποδήλατα). Ο κίνδυνος θανάτου εκφράζεται συνήθως σε θανάτους από τροχαία ατυχήματα ανά δισεκατομμύριο οχηματοχιλιόμετρα (ITF, 2022).

Τρίτον, **ο αριθμός των θανάτων ανά αριθμό εγγεγραμμένων μηχανοκίνητων οχημάτων** είναι μια εναλλακτική λύση στη μέτρηση των θανατηφόρων περιπτώσεων ανά διανυόμενη απόσταση, αν και δεν λαμβάνει υπόψη τον πραγματικό όγκο κυκλοφορίας. Είναι χρήσιμο μόνο για τη σύγκριση των επιδόσεων ασφάλειας χωρών με παρόμοια χαρακτηριστικά κυκλοφορίας και χρήσης οχημάτων. Αυτός ο δείκτης συνήθως εκφράζεται ως ο αριθμός των θανάτων ανά 10000 εγγεγραμμένα μηχανοκίνητα οχήματα (ITF, 2022).

2.4. Στατιστικά Στοιχεία

2.4.1. Παγκόσμια στατιστικά στοιχεία

Τα τροχαία ατυχήματα προκαλούν τον θάνατο περίπου 1,3 εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο ετησίως και αφήνουν από 20 έως 50 εκατομμύρια τραυματίες. Περισσότεροι από τους μισούς θανάτους και τραυματισμούς από τροχαία ατυχήματα αφορούν ευάλωτους χρήστες του δρόμου, όπως πεζούς, ποδηλάτες και μοτοσικλετιστές.

Οι νέοι είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στους δρόμους και οι τραυματισμοί από τροχαία είναι η κύρια αιτία θανάτου για παιδιά και νεαρούς ενήλικες ηλικίας 5-29 ετών. Οι νεαροί άνδρες κάτω των 25 ετών είναι πιο πιθανό να εμπλέκονται σε τροχαία ατυχήματα από τις γυναίκες, με το 73% όλων των θανάτων από τροχαία να συμβαίνουν μεταξύ νεαρών ανδρών αυτής της ηλικίας. Οι τραυματισμοί από τροχαία εκτιμάται ότι είναι η όγδοη κύρια αιτία θανάτου παγκοσμίως για όλες τις ηλικιακές ομάδες.

Εκτός από τον ανθρώπινο πόνο που προκαλείται από τέτοιου είδους τραυματισμούς, τα θύματα επιβαρύνουν επίσης και τις οικογένειές τους, τόσο μέσω του κόστους περίθαλψης όσο και λόγω της απώλειας παραγωγικότητας των νεκρών ή των ατόμων με αναπηρία. Γενικότερα, εκτιμάται ότι οι θανατηφόροι και μη θανατηφόροι τραυματισμοί από οδικά δυστυχήματα έχουν σοβαρό αντίκτυπο στις

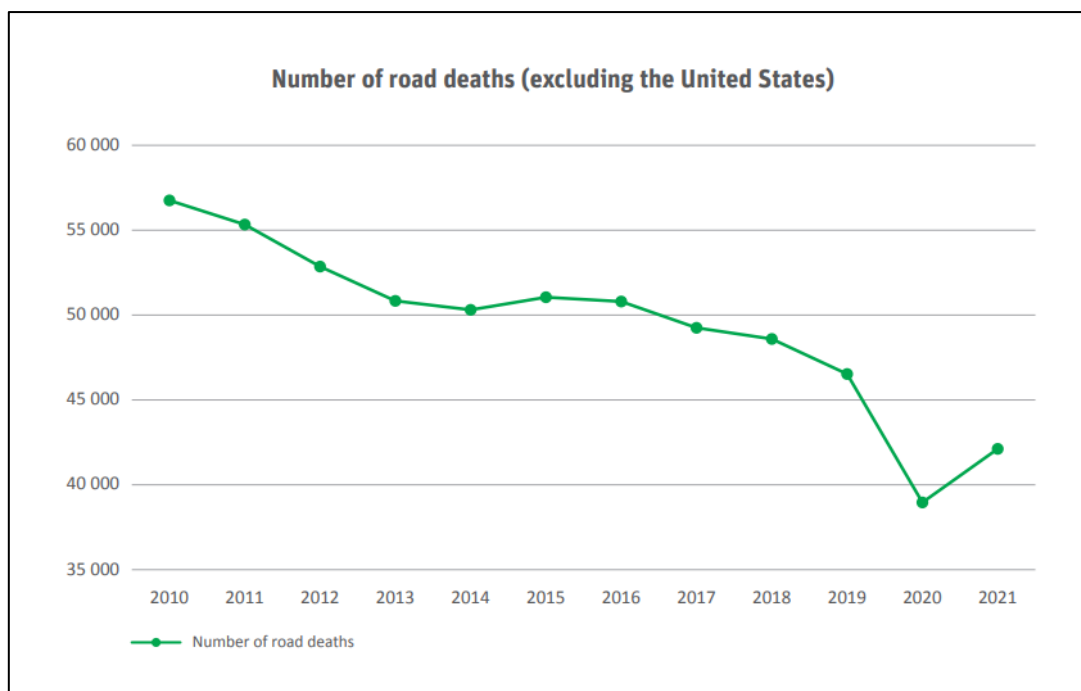
εθνικές οικονομίες, κοστίζοντας στις χώρες περίπου το 3% του ετήσιου ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) τους (WHO, 2023). Από το 2015 έως το 2030 υπολογίζεται ότι θα κοστίσουν στην παγκόσμια οικονομία περίπου 1,8 τρισεκατομμύρια δολάρια, ποσό που ισοδυναμεί με ετήσιο φόρο 0,12% επί του παγκόσμιου ΑΕΠ (CDC, 2023).

Περισσότερο από το 90% των θανάτων από τροχαία ατυχήματα συμβαίνουν σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος (Low and Middle Income Countries - LMICs). Τα ποσοστά θανάτων από τροχαία ατυχήματα είναι τα υψηλότερα στην περιοχή της Αφρικής και τα χαμηλότερα στην περιοχή της Ευρώπης. Ακόμη και σε χώρες υψηλού εισοδήματος, άτομα με χαμηλότερο κοινωνικοοικονομικό υπόβαθρο είναι πιο πιθανό να εμπλέκονται σε τροχαία ατυχήματα (WHO, 2023). Το ποσοστό θανάτων από τροχαία ατυχήματα είναι πάνω από τρεις φορές υψηλότερο στις LMICs από ότι στις χώρες υψηλού εισοδήματος (CDC, 2023).

Στην βάση δεδομένων της IRTAD, περιλαμβάνονται επικυρωμένα δεδομένα από 34 χώρες του κόσμου. Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση Οδικής Ασφάλειας για το 2022 της IRTAD, το πρώτο εξάμηνο του 2022 τα προκαταρκτικά στοιχεία παρουσιάζουν μικτή εικόνα για αυτές τις χώρες. Σε σύγκριση με τον μέσο όρο για το πρώτο εξάμηνο κάθε έτους την περίοδο 2017-2019, υπήρχαν 12% λιγότεροι θάνατοι από τροχαία το πρώτο εξάμηνο του 2022 από ό,τι πριν από την πανδημία.

Σύμφωνα με την ίδια έκθεση, το 2021, οι θάνατοι από τροχαία ατυχήματα αυξήθηκαν κατά μέσο όρο κατά 0,1% σε σύγκριση με τον μέσο όρο για την περίοδο 2017-19. Η μεγαλύτερη μείωση καταγράφηκε στη Δανία (-28.6%), και η μεγαλύτερη αύξηση στις Ηνωμένες Πολιτείες (+16,3%). Εάν από τον συνολικό μέσο όρο εξαιρεθούν οι ΗΠΑ, οι συνολικοί θάνατοι από τροχαία ατυχήματα στις χώρες μέλη του IRTAD μειώθηκαν κατά πάνω από 12%. Συνολικά, το ποσοστό θνησιμότητας μεταξύ των 34 χωρών με επικυρωμένα στοιχεία για το 2021 κυμάνθηκε από 1,5 (Νορβηγία) έως 14,2 θανάτους (Κολομβία) ανά 100000 κατοίκους (ITF, 2022). Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η πανδημία Covid-19 οδήγησε σε εκτεταμένες και σημαντικές διακοπές, συμπεριλαμβανομένων σημαντικά μειωμένων επιπέδων κυκλοφορίας παγκοσμίως. Ως εκ τούτου, τα έτη 2020 και 2021 παρέχουν λιγότερο αξιόπιστα και ουσιαστικά δεδομένα.

Όσον αφορά τη μακροπρόθεσμη εξέλιξη δεικτών οδικής ασφάλειας τη δεκαετία πριν από την Covid-19, 2010-2019, οι θάνατοι από τροχαία ατυχήματα μειώθηκαν κατά 7,7% κατά μέσο όρο μεταξύ των χωρών IRTAD: πολύ λιγότερο από τη μείωση κατά 50% που προβλεπόταν στην πρώτη δεκαετία δράσης του ΟΗΕ. Αν εξαιρέσουμε τα στοιχεία από τις Ηνωμένες Πολιτείες, η συνολική μείωση ήταν 18%. Στο Διάγραμμα 2.1 συνοψίζεται η εξέλιξη του αριθμού των θανάτων από τροχαία ατυχήματα την περίοδο 2010-21 (εξαιρουμένων των ΗΠΑ που επιφέρουν σημαντικές αυξήσεις στο μέσο όρο), όπου παρουσιάζεται μια συνολική μείωση μεταξύ 2010 και 2019, ακολουθούμενη από μια απότομη μείωση που σχετίζεται με την πανδημία το 2020 και μια αύξηση το 2021. Από τις πιο μεγάλες μειώσεις σε θανάτους έχουν επιτύχει από το 2010: η Νορβηγία(-48%), η Ελλάδα (-45%) και η Ελβετία (-43%) (ITF, 2022).



Διάγραμμα 2.1: Συνολική εξέλιξη θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων στις χώρες της IRTAD, 2010 – 2021 (ITF, 2022)

Την ίδια περίοδο (2010-2019), ο αριθμός των επιβατών αυτοκινήτων που σκοτώθηκαν στην κυκλοφορία μειώθηκε κατά 19% (29% εξαιρουμένων των ΗΠΑ), ενώ τα ποσοστά μείωσης των θανάτων για τους πεζούς 3% (29% εξαιρουμένων των ΗΠΑ) και τους ποδηλάτες 1% ήταν πολύ χαμηλότερα. Ωστόσο, ο αριθμός των θανάτων μεταξύ των χρηστών ηλεκτροκινούμενων δίκυκλων αυξήθηκε κατά 7% την ίδια περίοδο. Τρεις χώρες πέτυχαν τουλάχιστον 50% μείωση των θανάτων στους επιβάτες αυτοκινήτων το διάστημα 2010-2019: η Ελλάδα (-63%), η Νορβηγία (-54%) και η Κορέα (-51%) (ITF, 2022).

Τα στοιχεία δείχνουν επίσης ότι την περίοδο 2010-2019 οι θάνατοι από τροχαία μειώθηκαν περισσότερο για τα παιδιά (-31% για την ηλικιακή ομάδα 0-14 και -36% για 15-17 ετών) και τους νέους (-27% για 18-20 ετών και -19% για 21-24 ετών), αλλά αυξήθηκαν για τους ηλικιωμένους σε 7% για ηλικίες 65-74 ετών και 6% για ηλικιωμένους 75 ετών και άνω (ITF, 2022).

2.4.2. Ευρωπαϊκά στατιστικά στοιχεία

Το 2018 η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έθεσε ως στόχο τη μείωση κατά 50 % των θανάτων από τροχαία ατυχήματα – και, για πρώτη φορά, τη μείωση και των σοβαρών τραυματισμών – έως το 2030. Αυτοί οι στόχοι καθορίστηκαν στο στρατηγικό σχέδιο δράσης για την οδική ασφάλεια και στο πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για την «Δεύτερη Δεκαετία Δράσης στην Οδική Ασφάλεια 2021-2030» η οποία κηρύχθηκε από τον ΟΗΕ, με στόχο να μην σημειώνεται κανένας θάνατος από τροχαία ατυχήματα έως το 2050 («Όραμα μηδενικών απωλειών»).

Σύμφωνα με την δημοσίευση των προκαταρκτικών αριθμητικών στοιχείων για τους θανάτους από τροχαία ατυχήματα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 2022, περίπου 20600 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε τροχαία ατυχήματα, αριθμός που συνιστά αύξηση κατά 3 % σε σχέση με το 2021, καθώς τα επίπεδα κυκλοφορίας ανέκαμψαν μετά την πανδημία. Ωστόσο, αντιπροσωπεύει 2000 λιγότερους θανάτους (-10 %) σε σύγκριση με το προ πανδημίας έτος 2019.

Ωστόσο, η πρόοδος ήταν πολύ άνιση μεταξύ των κρατών μελών από το 2019 έως το 2022 (Πίνακας 2.1) στα θύματα από RTAs . Οι μεγαλύτερες μειώσεις, που υπερβαίνουν το 30 %, καταγράφηκαν στη Λιθουανία και την Πολωνία, ενώ στη Δανία σημειώθηκε επίσης μείωση κατά 23 %. Αντιθέτως, κατά την τελευταία τριετία, ο αριθμός των θανάτων από τροχαία ατυχήματα σε χώρες όπως η Ιρλανδία, η Ισπανία, η Γαλλία, η Ιταλία, οι Κάτω Χώρες και η Σουηδία παρέμεινε σχετικά σταθερός ή αυξήθηκε. Στην Ελλάδα η αντίστοιχη μείωση ήταν 11%.

Η συνολική κατάταξη των χωρών το 2022 όσον αφορά τα ποσοστά θανάτων δεν έχει αλλάξει σημαντικά από την περίοδο πριν από την πανδημία, με τους ασφαλέστερους δρόμους να εντοπίζονται στη Σουηδία (21 θάνατοι/εκ. κατοίκων) και στη Δανία (26/εκ), ενώ η Ρουμανία (86/εκ.) και η Βουλγαρία (78/εκ) κατέγραψαν τα υψηλότερα ποσοστά το 2022. Ο μέσος όρος της ΕΕ ήταν 46 θάνατοι από τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκων (ΕΕ, 2023).

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για το 2021 (δεν υπάρχουν ακόμη διαθέσιμα αναλυτικά στοιχεία για το 2022) σε ολόκληρη την ΕΕ, το 52 % των θανάτων από τροχαία ατυχήματα σημειώθηκε σε αγροτικές οδούς, έναντι 39 % στις αστικές περιοχές και 9 % σε αυτοκινητοδρόμους. Οι άνδρες ευθύνονταν για τρεις στους τέσσερις θανάτους από τροχαία ατυχήματα (78 %). Οι επιβαίνοντες σε αυτοκίνητα (οδηγοί και επιβάτες) αντιπροσώπευαν το 45 % του συνόλου των θανάτων από τροχαία ατυχήματα, ενώ οι πεζοί το 18 %, οι χρήστες μηχανοκίνητων δίκυκλων (μοτοσυκλέτες και μοτοποδήλατα) το 19 % και οι ποδηλάτες το 9 % του συνόλου των θανάτων. Ωστόσο, στις αστικές περιοχές, οι ευάλωτοι χρήστες του οδικού δικτύου (πεζοί, ποδηλάτες και χρήστες μηχανοκίνητων δίκυκλων) αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 70 % των συνολικών θανάτων.

Στο Χάρτη 2.1 απεικονίζονται οι θάνατοι από τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ε.Ε. για το έτος 2020 (κατά την σύνταξη της παρούσης δεν είχε δημοσιευθεί αντίστοιχος μεταγενέστερος χάρτης, για το 2021 ή το 2022). Είναι εμφανής η ανομοιογένεια του φαινομένου μεταξύ των Κρατών Μελών. Οι πιο οικονομικά προηγμένες χώρες παρατηρείται ότι παρουσιάζουν χαμηλότερους αριθμούς θανάτων, ενώ χώρες με χαμηλότερο κατά κεφαλήν ΑΕΠ σημειώνουν τις μεγαλύτερες τιμές θανάτων από τροχαία ατυχήματα. Εξετάζοντας περεταίρω το χάρτη, φαίνεται πως στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης συγκεντρώνονται οι μεγαλύτερες τιμές θανάτων, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι κοινοί παράγοντες μεταξύ αυτών των χωρών, όπως η οδηγική κουλτούρα και το κλίμα, συμβάλλουν στο συνολικό αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων.

Στο Χάρτη 2.2 φαίνεται η μακροπρόθεσμη εξέλιξη του φαινομένου των θανάτων που επιφέρουν τα τροχαία ατυχήματα για την χρονική περίοδο 2001-2020 και

συγκεκριμένα τα ποσοστά μείωσης των θανάτων στα κράτη μέλη της Ε.Ε. Η Ελλάδα φαίνεται πως έχει επιτύχει μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα σημαντική μείωση των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων, κατά 69%.

	Ποσοστό ανά εκατομμύριο πληθυσμού				% μεταβολή 2022 σε σχέση με:		Μέσος όρος 2017-2019
	2019	2020	2021	2022	2021	2019	
ΕΕ-27	51	42	45	46	3 %	-10 %	-11 %
Βέλγιο	56	43	45	52	16 %	-7 %	-3 %
Βουλγαρία	90	67	81	78	-5 %	-15 %	-17 %
Τσεχία	58	48	50	50	-1 %	-15 %	-15 %
Δανία	34	28	22	26	18 %	-23 %	-15 %
Γερμανία	37	33	31	34	9 %	-8 %	-12 %
Εσθονία	39	44	41	38	-9 %	-4 %	-10 %
Ιρλανδία	29	30	27	31	14 %	11 %	9 %
Ελλάδα	64	54	57	58	1 %	-11 %	-13 %
Ισπανία	37	29	32	36	12 %	-2 %	-5 %
Γαλλία	50	39	45	49	11 %	0 %	-2 %
Κροατία	73	58	72	71	-6 %	-7 %	-13 %
Ιταλία	53	40	49	53	9 %	-2 %	-5 %
Κύπρος	59	54	50	42	-16 %	-27 %	-26 %
Λετονία	69	73	78	60	-24 %	-15 %	-19 %
Λιθουανία	67	63	53	43	-19 %	-35 %	-35 %
Λουξεμβούργο	36	42	38	40	8 %	18 %	-6 %
Ουγγαρία	62	47	56	56	-1 %	-10 %	-13 %
Μάλτα	32	21	17	50	189 %	63 %	47 %
Κάτω Χώρες	34	30	29	35	20 %	4 %	7 %
Αυστρία	47	39	41	41	2 %	-11 %	-11 %
Πολωνία	77	66	59	51	-14 %	-34 %	-33 %
Πορτογαλία	67	52	54	63	16 %	-5 %	-2 %
Ρουμανία	96	85	92	86	-8 %	-12 %	-14 %
Σλοβενία	49	38	54	40	-25 %	-17 %	-14 %
Σλοβακία	50	45	45	46	0 %	-8 %	-8 %
Φινλανδία	38	40	41	34	-16 %	-10 %	-18 %
Σουηδία	22	20	20	21	5 %	0 %	-17 %
Ελβετία	22	26	23	31	35 %	44 %	25 %
Νορβηγία	20	17	15	23	55 %	15 %	16 %
Ισλανδία	17	22	24	24	0 %	50 %	-33 %

Πίνακας 2.1: Θάνατοι από τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκων — προκαταρκτικά στοιχεία για το 2022



Χάρτης 2.1: Χάρτης θανάτων σε τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2020



Χάρτης 2.2: Χάρτης μείωσης θανάτων σε τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2001-2020)

2.4.3. Εθνικά στατιστικά στοιχεία

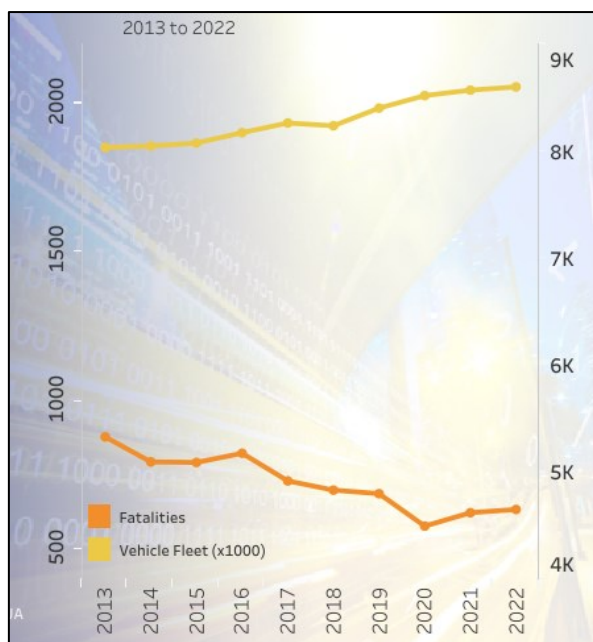
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, την τελευταία εικοσαετία (2001-2020), η Ελλάδα παρουσίασε εντυπωσιακή βελτίωση της οδικής ασφάλειας ανάμεσα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με μείωση των θανάτων από τροχαία ατυχήματα κατά 69%.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Παρατηρητηρίου Οδικής Ασφάλειας του ΕΜΠ για το 2022, στην Ελλάδα συνέβησαν 58 θάνατοι από τροχαία ατυχήματα ανά εκατομμύριο κατοίκους, αριθμός ωστόσο, που υπερβαίνει σημαντικά τον μέσο όρο της ΕΕ: 46 ανά εκατομμύριο κατοίκους, ενώ ο συνολικός αριθμός των ατυχημάτων που καταγράφηκαν όλο το 2022 από την τροχαία στην χώρα ανήλθε στα 11199 περιστατικά (Πίνακας 2.2).

Αναλύοντας τα κυκλοφοριακά δεδομένα του Πίνακα 2.2, οι θάνατοι από τροχαία ατυχήματα στην χώρα μειώθηκαν κατά 28% από το 2013 έως το 2022, ωστόσο ο καθαρός αριθμός των τροχαίων μειώθηκε μόνο κατά 8%. Σημαντική μείωση σημειώνεται στους σοβαρούς τραυματισμούς κατά 48%, ενώ μικρότερης κλίμακας μείωση σημειώθηκε για επιπόλαιους / ελαφρείς τραυματισμούς. Προβληματισμό προκαλεί το γεγονός ότι οι παραβιάσεις του ορίου ταχύτητας και της μη χρήσης ζώνης αυξήθηκαν κατά 41% και 10% αντίστοιχα. Τέλος, το ποσοστό θανάτου ανά εκατομμύριο οχήματα έχει μειωθεί κατά 33% από το 2013 (NRSO, 2023).

Basic Road Safety Figures											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2013/2022 2022/2013..
Injury Road crashes	12,109	11,690	11,440	11,318	10,848	10,737	10,712	9,105	10,454	11,199	-8%
Fatalities	879	795	793	824	731	700	688	579	624	635	-28%
Serious Injuries	1,212	1,016	999	879	706	727	652	487	610	636	-48%
Slight Injuries	13,963	13,548	13,097	12,946	12,565	12,422	12,350	10,130	11,746	12,533	-10%
Vehicle Fleet (x1000)	8,035	8,048	8,076	8,173	8,263	8,237	8,402	8,519	8,570	8,600	7%
Fatalities per million vehicl..	109	99	98	101	88	85	82	68	73	74	-33%
Speed infringements	178,816	156,892	173,476	176,592	208,190	213,333	234,169	206,554	222,312	251,394	41%
Drink & drive infringements	30,853	29,597	29,191	33,192	32,964	33,394	31,557	19,096	17,427	24,533	-20%
Seat belt infringements	35,478	34,526	29,611	34,831	31,510	33,380	34,594	30,174	32,354	39,026	10%
Helmet infringements	58,122	54,354	52,783	63,971	59,405	52,706	52,089	46,394	48,974	51,976	-11%

Πίνακας 2.2: Βασικά στοιχεία οδικής ασφάλειας για την Ελλάδα (2013-2022)

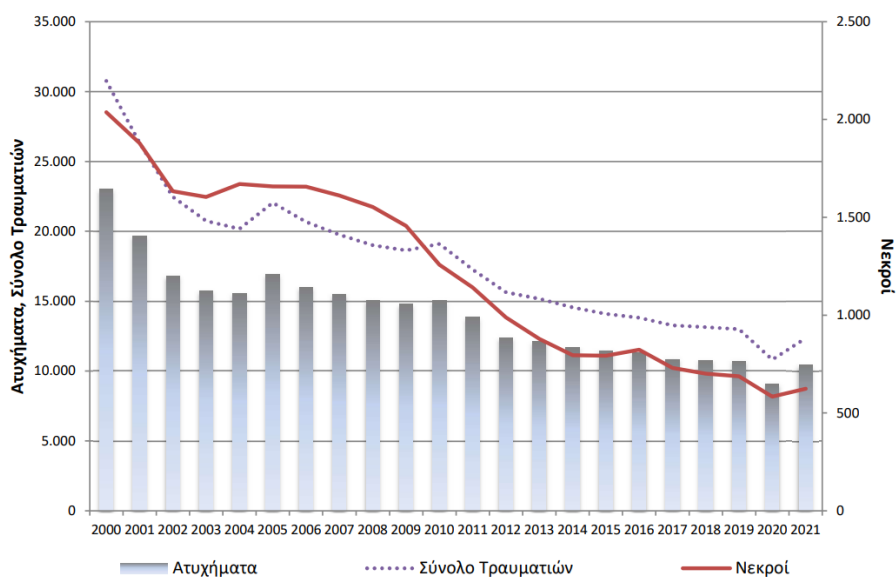


Διάγραμμα 2.2: Διαχρονική εξέλιξη στόλου οχημάτων & θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων στην Ελλάδα (2013-2022) (NRSO, 2023)

Εξετάζοντας το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι ενώ ο στόλος οχημάτων παρουσιάζει σταθερή τάση αύξησης από το 2013 έως το 2022, ως προς τους νεκρούς, παρατηρείται σταθερή μείωση με μια σχετική επιβράδυνση κατά τα έτη 2015 και 2016. Η σημαντικότερη ετήσια μείωση στον αριθμό θανάτων παρατηρείται το 2020 και σχετίζεται με τα μέτρα περιορισμού της διασποράς της πανδημίας COVID-19.

Σύμφωνα δε και με την ετήσια αναφορά για τα Οδικά Τροχαία Ατυχήματα της ΕΛΣΤΑΤ, έτους 2021 (κατά τη σύνταξη της παρούσας δεν είχε δημοσιευθεί αντίστοιχη συνολική αναφορά για το 2022), εξετάζοντας την μακροπρόθεσμη εξέλιξη του φαινομένου από το 2000 έως το 2021 (Διάγραμμα 2.3), ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων στη χώρα μας παραμένει σταθερά υψηλός από το 2012 μέχρι σήμερα, σημειώνοντας, όμως, σημαντική μείωση από τα αντίστοιχα δεδομένα του έτους 2000 και έπειτα.

Ειδικότερα, μετά από ανάλυση – ανά ιδιότητα παθόντα – των τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για το έτος 2021, όπως αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 2.4, προέκυψε πως οι οδηγοί αποτελούν το 71,6%, οι πεζοί αποτελούν το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό μετά τους οδηγούς με ποσοστό 15,2%, ενώ οι επιβάτες των οχημάτων είναι θύματα σε τροχαία ατυχήματα σε ποσοστό 13,1%. Από το 2020 υπήρξε μια μικρή αύξηση από 68% σε 72% στους θανάτων των οδηγών. Το 44% των πεζών που κατέληξαν από τροχαίο ατύχημα ανήκει στην ηλικιακή ομάδα άνω των 65 ετών.

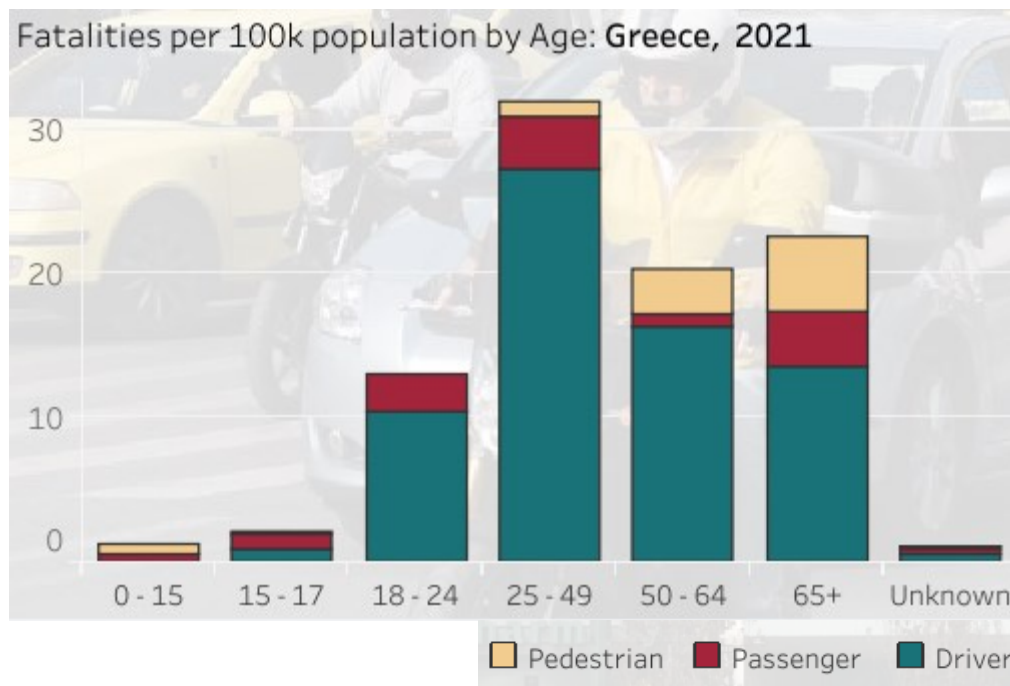


Διάγραμμα 2.3: Διαχρονική εξέλιξη τραυματιών, νεκρών και περιστατικών οδικών τροχαίων ατυχημάτων στην Ελλάδα (2000-2021) (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)



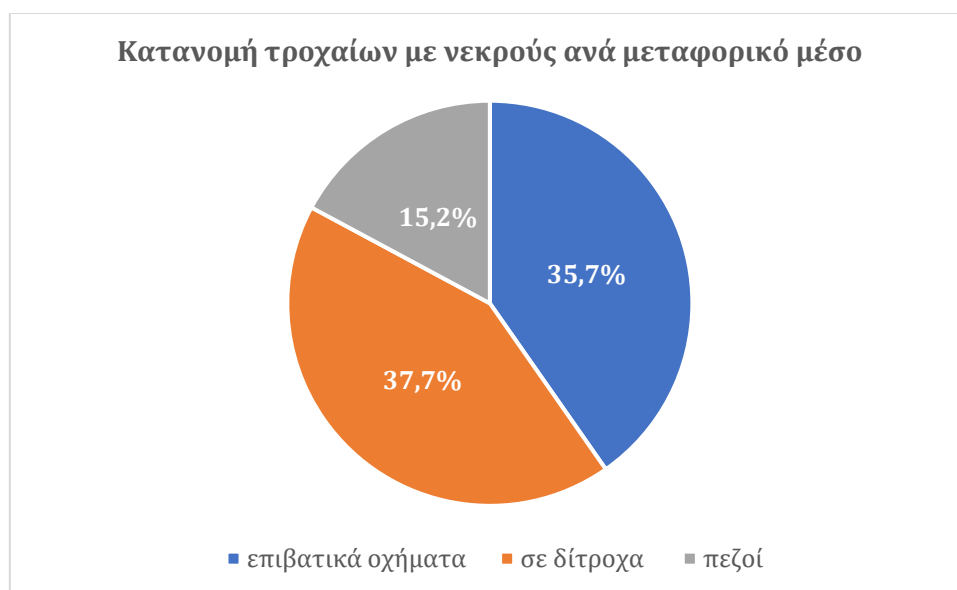
Διάγραμμα 2.4: Κατανομή τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς ανά ιδιότητα παθόντα στην Ελλάδα για το έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Σχετικά με την κατανομή ανά ηλικιακή ομάδα στην Ελλάδα, το 2021 ο αριθμός των σοβαρά τραυματισμένων θυμάτων μειώθηκε για όλες τις ηλικιακές ομάδες. Πιο αναλυτικά, οι ηλικιακές ομάδες των νεκρών από τροχαία ατυχήματα το 2021, κατανέμονται ποσοστιαία ως εξής: 0-24 ετών 16,8%, 25-49 ετών 36,7%, 50-64 ετών 19,6% και άνω των 65 ετών 24,5% (Διάγραμμα 2.5).



Διάγραμμα 2.5: Κατανομή τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς ανά ηλικιακή ομάδα και ανά ιδιότητα παθόντα στην Ελλάδα για το έτος 2021 (NRSO, 2023)

Παράλληλα, η αναλογία ανδρών και γυναικών μεταξύ των συνολικών θανάτων από τροχαία ατυχήματα ήταν 84,0% και 16,0% αντίστοιχα. Η υψηλή αναλογία των ανδρών στην Ελλάδα συμβαδίζει με το γενικό μέσο όρο της ΕΕ. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από διαφορές ανάμεσα σε άνδρες και γυναίκες, σε σχέση με τη συχνότητα μετακίνησης και τη συμπεριφορά.



Διάγραμμα 2.6: Κατανομή τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς ανά μεταφορικό μέσο στην Ελλάδα για το έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Στο Διάγραμμα 2.6 παρουσιάζεται η κατανομή ανά μεταφορικό μέσο των νεκρών από τροχαία ατυχήματα το 2021, από το σύνολο των 624 νεκρών, 223 (35,7%) επέβαιναν σε επιβατικά οχήματα, μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων περιστατικών συνέβησαν σε μη αστικές περιοχές, 235 (37,7%) επέβαιναν σε δίκτροχα και 95 (15,2%) ήταν πεζοί. Τα μεγαλύτερα ποσοστά θανάτων σε δίκτροχα και πεζούς συναντώνται σε αστικές περιοχές. Οι πιο ευάλωτοι χρήστες του δρόμου είναι οι δικυκλιστές στην Ελλάδα, όπου σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2021 ο αριθμός των μοτοσυκλετών κατά κεφαλήν στην Ελλάδα είναι πολύ μεγαλύτερος από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο.

Επιπλέον στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2.7) απεικονίζεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων ανά τύπο πρώτης σύγκρουσης για το 2021, όπου η κατηγορία «σύγκρουση μεταξύ κινούμενων οχημάτων» σημείωσε το μεγαλύτερο ποσοστό (63,7%), ενώ ακολουθεί η «παράσυρση πεζού» (15,2%) , η «εκτροπή /ανατροπή οχήματος» που σημείωσε ποσοστό 13,5% και η πρόσκρουση οχήματος με 6,4% του συνόλου των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων για το 2021.



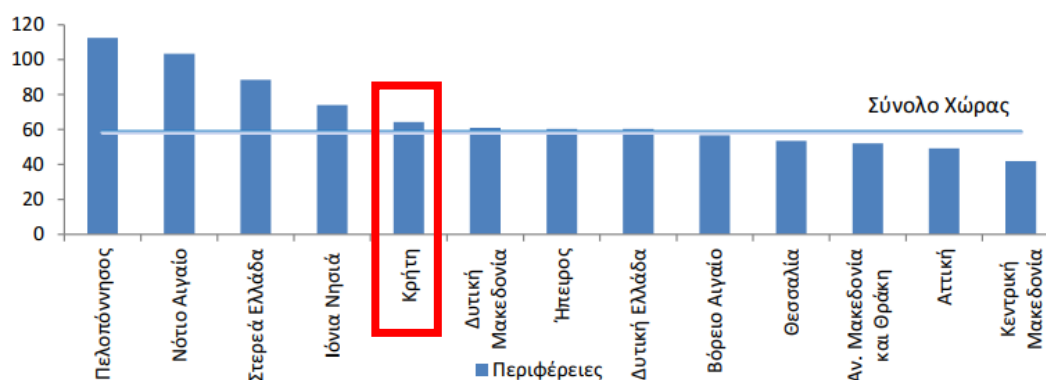
Διάγραμμα 2.7: Ποσοστά νεκρών σε οδικά τροχαία ατυχήματα ανά τύπο πρώτης σύγκρουσης για το έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Η ανάλυση των στοιχείων κατά το έτος 2021 ως προς τη γεωγραφική κατανομή των RTAs και των παθόντων νεκρών, δείχνει ότι ο δείκτης ατυχημάτων ανά 1.000.000 κατοίκους στο σύνολο της χώρας ήταν 979. Η περιφέρεια Αττικής ήταν πρώτη στην κατάταξη με δείκτη 1.541,1 ατυχήματα/εκατ. κατοίκων, και ακολουθούν η περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου με 1172,9 ενώ στην προτελευταία θέση η περιφέρεια Κρήτης με 229,3. Ως προς τους νεκρούς, ανά εκατομμύριο κατοίκους ο δείκτης στο σύνολο της χώρας ανήλθε σε 58,4. Η περιφέρεια Πελοποννήσου ήταν

πρώτη στην κατάταξη με δείκτη 112,4, ενώ η περιφέρεια Κρήτης με 64,4 βρίσκεται στην πέμπτη θέση (Πίνακας 2.3, Διάγραμμα 2.8).

Περιφέρειες	Ατυχήματα	%	Νεκροί	%	Ατυχήματα ανά 1.000.000 κατοίκους	Νεκροί ανά 1.000.000 κατοίκους
Γενικό σύνολο	10.454	100,0	624	100,0	979,0	58,4
Αν. Μακεδονία και Θράκη	295	2,8	31	5,0	495,9	52,1
Κεντρική Μακεδονία	1.919	18,4	78	12,5	1.032,4	42,0
Δυτική Μακεδονία	51	0,5	16	2,6	194,6	61,1
Ήπειρος	106	1,0	20	3,2	320,3	60,4
Θεσσαλία	238	2,3	38	6,1	335,3	53,5
Ιόνια Νησιά	172	1,6	15	2,4	849,9	74,1
Δυτική Ελλάδα	405	3,9	39	6,3	626,3	60,3
Στερεά Ελλάδα	482	4,6	49	7,9	871,2	88,6
Αττική	5.760	55,1	184	29,5	1.541,5	49,2
Πελοπόννησος	322	3,1	64	10,3	565,6	112,4
Βόρειο Αιγαίο	150	1,4	13	2,1	654,6	56,7
Νότιο Αιγαίο	408	3,9	36	5,8	1.172,9	103,5
Κρήτη	146	1,4	41	6,6	229,3	64,4

Πίνακας 2.3: Περιφερειακή κατανομή οδικών τροχαίων ατυχημάτων και νεκρών και δείκτης ατυχημάτων και νεκρών ανά 1.000.000 κατοίκους, έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)



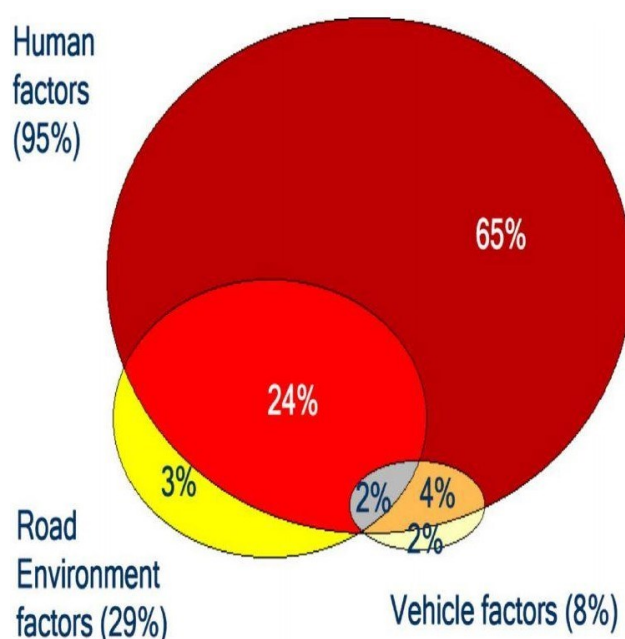
Διάγραμμα 2.8: Αριθμός νεκρών, κατά περιφέρεια, ανά 1.000.000 κατοίκους, έτος 2021 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Τέλος, όσον αφορά την διαχρονική εξέλιξη των νεκρών από οδικά τροχαία ατυχήματα στην Περιφέρεια Κρήτης, οι αριθμοί ακολουθούν την γενική τάση της χώρας από το 2000 με σημαντική μείωση (-52% για την περίοδο 2000-2012, -69,6% για την περίοδο 2000-2021), παραμένουν ωστόσο αρκετά υψηλοί λαμβάνοντας υπόψη την δυσανάλογη σχέση με την έκταση και τον πληθυσμό της Περιφέρειας (617.360 κάτοικοι). Αναλυτικότερα το 2000 υπήρχαν στην Κρήτη 122 νεκροί από

οδικά τροχαία ατυχήματα, το 2012 ήταν 64 και το 2021 υπήρξαν 41 νεκροί, οι οποίοι σε ποσοστά επι του συνόλου της χώρας είναι 6% , 6,5% και 6,6% αντίστοιχα. Ενώ ο αριθμός νεκρών ανά εκατομμύριο κατοίκων είναι αναλόγως 212 για το 2000, 101,7 για το 2012, και 64,4 νεκροί για το 2021 (Πίνακας 2.3).

2.5. Παράγοντες Πρόκλησης Τροχαίων Ατυχημάτων

Πολλοί είναι οι παράγοντες που αυξάνουν τόσο τον κίνδυνο τροχαίων ατυχημάτων όσο και τον κίνδυνο θανάτου ή τραυματισμού που αυτά προκαλούν. Τρεις όμως είναι οι βασικοί κρίκοι της αλυσίδας σε ένα ατύχημα: ο χρήστης της οδού (ανθρώπινος παράγοντας), το όχημα και το οδικό περιβάλλον (Διάγραμμα 2.9).



Διάγραμμα 2.9: Παράγοντες πρόκλησης ατυχημάτων (Πηγή: «Οδοποιία III - Σχεδιασμός και Λειτουργία Κόμβων, Οδική Ασφάλεια»)

Η συμπεριφορά του οδηγού αποτελεί την κύρια αιτία για ποσοστό 65-95% των οδικών ατυχημάτων και περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό παραγόντων που μπορούν να αποτελούν αιτίες ατυχημάτων, όπως επικίνδυνες ενέργειες (υψηλή ταχύτητα, παραβάσεις κυκλοφορίας κ.α.), οδηγικό λάθος ή αντίδραση, συμπεριφορά ή απειρία, απόσπαση προσοχής, κούραση και κατανάλωση αλκοόλ και ουσιών (Γιαννής, 2018). Αναφορικά με το όχημα, διάφορες μηχανικές παράμετροι αυτού, όπως η ποιότητα κατασκευής και συντήρησης του συστήματος οδήγησης και πέδησης, 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) (Κωστέλλου, 2020).

Οι κρισιμότεροι παράγοντες πρόκλησης ενός οδικού τροχαίου ατυχήματος στην Ελλάδα κατά σειρά σημασίας είναι: οδήγηση με υψηλές ταχύτητες και με επιθετικότητα, υψηλά ποσοστά κυκλοφορίας μοτοσικλετιστών, χαμηλά ποσοστά χρήσης ζώνης και κράνους (ιδίως στους συνεπιβάτες), ανοργάνωτη - απροστάτευτη κυκλοφορία ευάλωτων χρηστών της οδού, οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ και με χρήση κινητού τηλεφώνου, γενικευμένη επιθετική οδήγηση (Γιαννής, 2014).

Όσον αφορά συγκεκριμένα την Περιφέρεια Κρήτης, αν και τα RTAs έχουν μειωθεί σημαντικά από το 2000 τουλάχιστον, τα στοιχεία που καταγράφονται συνεχίζουν να προκαλούν προβληματισμό (146 ατυχήματα με 41 νεκρούς το 2021), και καταδεικνύουν το μεγάλο πρόβλημα που υπάρχει στο νησί.

Σε μια σειρά τροχονομικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν το 2022 κατά την διάρκεια μιας εβδομάδας αυξημένης τουριστικής κίνησης, από τις 31/07/2022 έως και τις 06/08/2022, ένα στα τέσσερα οχήματα που ελέγχθηκαν, βεβαιώθηκε με τροχονομική παράβαση. Οι έλεγχοι αυτοί πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο στοχευμένων ενεργειών και δράσεων, για την πρόληψη των τροχαίων ατυχημάτων και την ασφαλή μετακίνηση οχημάτων και πολιτών. Αναλυτικότερα, ελέγχθηκαν συνολικά (12113) οχήματα, και βεβαιώθηκαν (3243) παραβάσεις, η κατανομή των οποίων παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα (Χαλκιαδάκης, 2022). Όπως διαπιστώνεται η πρώτη αιτία παράβασης του ΚΟΚ στην Κρήτη είναι η υπερβολική ταχύτητα σε ποσοστό 11,5%, και ακολουθεί η μη χρήση προστατευτικού κράνους με 10,1% και η χρήση κινητού τηλεφώνου με 4 % (Διάγραμμα 2.10). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό επίσης της Κρήτης, αποτελεί το υψηλό ποσοστό των αλλοδαπών οδηγών κατά την τουριστική περίοδο (Γιαννής & Φώλλα, 2016), η επικινδυνότητα των οποίων είναι σχεδόν διπλάσια της αντίστοιχης των Ελλήνων οδηγών καθώς αφενός προσαρμόζονται δυσκολότερα στις συνθήκες κυκλοφορίας και αφετέρου καταναλώνουν υψηλή ποσότητα αλκοόλ, ιδιαίτερα κατά τις νυκτερινές ώρες.

Όσον αφορά τον παράγοντα οδικό περιβάλλον, το οδικό δίκτυο της Κρήτης είναι από τα πλέον γερασμένα στη χώρα. Σε αυτή την κατάσταση βρίσκεται σήμερα ένα μεγάλο μέρος του ΒΟΑΚ, ο οποίος είναι ένας δρόμος, με κατασκευαστικές κακοτεχνίες (ανάποδες κλίσεις, λακκούβες), πλημμελή συντήρηση (φθαρμένες διαγραμμίσεις, χαμηλής ποιότητας ασφαλτοτάπητας), ανεπαρκή φωτισμό και ελλιπή σηματοδότηση, ανεπαρκή υδραυλική απορροή, απουσία οργανωμένων στάσεων και ανισόπεδων διαβάσεων πεζών (στα τμήματα που διέρχονται από αστικές περιοχές), ανεξέλεγκτες συνδέσεις και προσβάσεις, όπου παρατηρείται συχνά ακόμα και η είσοδος ανεπιτήρητων ποιμνίων και τέλος απουσία διαχωριστικού στηθαίου ασφαλείας στο μεγαλύτερο μήκος του (Σαματάς, Λιονάκης, & Καραβιώτης, 2018; Αγαπάκης, 2022).



Διάγραμμα 2.10: Τροχονομικές παραβάσεις στην Κρήτη από 31/07/2022 έως 06/08/2022

Εξετάζοντας και τον τρίτο βασικό παράγοντα πρόκλησης ατυχημάτων, σημειώνεται ότι τα οχήματα στην Κρήτη είναι συχνά πεπαλαιωμένα και με κακή συντήρηση (Κλαψινού, 2022). Τα παλαιά οχήματα στερούνται σύγχρονων συστημάτων, όπως πέδησης, αερόσακου, κ.λπ. Σε αυτή την κατάσταση έχει συμβάλει αφενός η κρίση των τελευταίων ετών αλλά και η κουλτούρα των οδηγών.

Όσον αφορά την οικονομική διάσταση του φαινομένου στην Ελλάδα, το οικονομικό κόστος των καταγεγραμμένων οδικών δυστυχημάτων με παθόντες στην χώρα εκτιμάται περίπου στα 3 δισ. ευρώ ετησίως (και ενδεχομένως τριπλασιάζεται εάν υπολογιστεί ο πραγματικός αριθμός των παθόντων αλλά και τα ατυχήματα με υλικές ζημιές μόνο) (Γιαννής & Φώλλα, 2016). Λαμβάνοντας υπόψη ότι το συνολικό ΑΕΠ της χώρας ήταν 208 δισ. Ευρώ περίπου για το 2022, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα τροχαία ατυχήματα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία της χώρας, ειδικά στην περίοδο οικονομικής ύφεσης που διανύουμε.

Συνοψίζοντας, τα οδικά τροχαία ατυχήματα είναι ένα πρόβλημα διαχρονικό και πολυπαραγοντικό, με ανεξέλεγκτες διαστάσεις και δυσμενείς επιπτώσεις. Αποτελεί τόσο για την παγκόσμια κοινότητα, όσο και για την Ευρωπαϊκή Ένωση και τη χώρα μας εθνικό και κοινωνικό πρόβλημα άμεσης αντιμετώπισης. Για την μείωση των τροχαίων απαιτείται ένα πλέγμα δράσεων και ενεργειών που θα συμβάλει στην μείωση ακόμη και τον μηδενισμό των τροχαίων, αλλά πρωτίστως στην διαρκή επαγρύπνηση.

2.6. Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.), γνωστά ευρέως και ως G.I.S. Geographic Information Systems, είναι ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφορίας, σχετικής με φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο (Goodchild, 1985). Βασική διαφορά των ΣΓΠ από άλλα συστήματα πληροφοριών, είναι ότι διαχειρίζονται σύνθετες πληροφορίες και σχέσεις του χώρου και χρησιμοποιούνται για να λύσουν χωρικά προβλήματα ή προβλήματα που έχουν κάποια χωρική διάσταση.

Ο παραπάνω ορισμός είναι ένας από τους πολλούς που υπάρχουν, όσες και οι χρήσεις ή οι επιστήμες που αναμειγνύονται με τα ΓΣΠ: γεωγραφία, τηλεπισκόπηση, αστικός σχεδιασμός, αρχιτεκτονική του τοπίου, περιβαλλοντικές επιστήμες, κ.λπ. Επίσης, ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών προσφέρει "εργαλεία" σε επαγγελματίες αυτών των τομέων, που χρησιμοποιούν για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της εργασίας τους με γεωγραφικά ή με περιγραφικά δεδομένα (Huxhold, 1992). Μερικά από τα εργαλεία ή συνδυασμοί τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλύσουν αρκετά χωρικά προβλήματα. Τα κυριότερα ερωτήματα που επιλύει ένα ΣΓΠ σχετίζονται με τη θέση, τα πρότυπα, τις τάσεις, τις συνθήκες και τις επιπτώσεις (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

2.6.1. Συστατικά Στοιχεία ενός ΣΓΠ

Ένα ΣΓΠ αποτελεί ένα σύνθετο σύστημα που αποτελείται από επιμέρους συστατικά στοιχεία: το σύστημα του υπολογιστή, δηλαδή το υλικό (hardware) και το λειτουργικό σύστημα (operating system), το λογισμικό (software), τα χωρικά δεδομένα, τις διαδικασίες διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων, τους χρήστες (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Όσον αφορά το hardware, ένα ΣΓΠ είναι δυνατόν να λειτουργεί σε ένα φάσμα συστημάτων υπολογιστών, όπως προσωπικούς υπολογιστές, φορητούς υπολογιστές, ταμπλέτες, υπερυπολογιστές, κ.ά. Όσον αφορά το λογισμικό, αυτό επιτρέπει στους χρήστες την εισαγωγή, αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και απεικόνιση των δεδομένων. Αυτές οι διαδικασίες υποστηρίζονται από ένα υποκείμενο Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων - ΣΔΒΔ (Database Management System - DBMS) και διατίθενται από όλα τα πακέτα λογισμικού μέσω διαφορετικών διεπαφών χρήστη (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Τα δεδομένα των ΣΓΠ είναι κυρίως χωρικά, δηλαδή δεδομένα που αφορούν τη θέση των γεωγραφικών οντοτήτων αλλά και τις χωρικές τους σχέσεις με άλλες οντότητες. Επίσης τα ΣΓΠ διαχειρίζονται και μη-χωρικά δεδομένα τα οποία συνήθως αφορούν μη-χωρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων (π.χ., πληθυσμός των απογραφικών μονάδων, μέση ετήσια θερμοκρασία μιας περιοχής, κ.ά.) (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Οι λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί ένα ΣΓΠ περιλαμβάνουν την εισαγωγή των δεδομένων στο ΣΓΠ, την αποθήκευση, επεξεργασία, διαχείριση, μετασχηματισμό, ανάλυση και τέλος την απόδοση των δεδομένων χρησιμοποιώντας χάρτες,

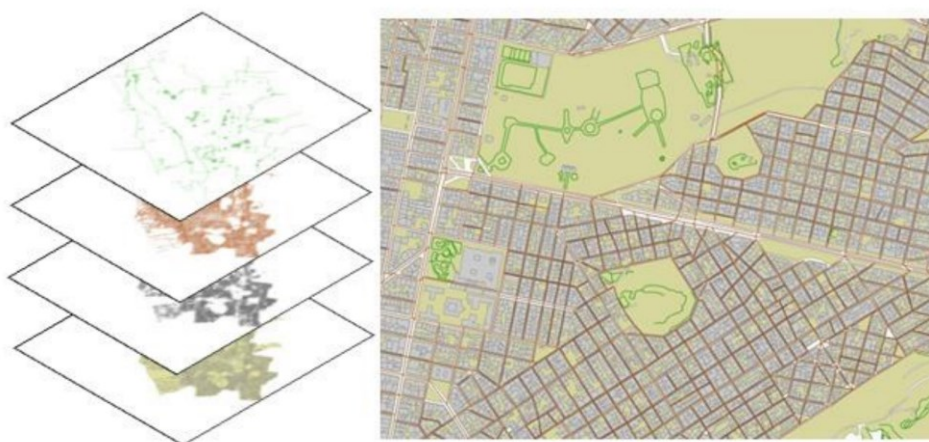
γραφήματα, στατιστικές, κλπ. ανάλογα πάντα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Τα προαναφερθέντα συστατικά στοιχεία των ΣΓΠ δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά χωρίς τη συμβολή των χρηστών οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του ΣΓΠ, καθώς και για τη λήψη αποφάσεων με βάση τις αναλύσεις που έχουν προκύψει. Τα ΣΓΠ μπορεί να κυμαίνονται από μικρά συστήματα τα οποία διαχειρίζεται ένας μοναδικός χρήστης σε πολύπλοκα συστήματα μεγάλων φορέων που απαιτούν τον συντονισμό και τη συνεργασία ολόκληρων ομάδων (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

2.6.2. Αναπαράσταση Χωρικών Εννοιών & Δομές Δεδομένων

Για την αναπαράσταση χωρικών εννοιών, την γενίκευση δηλαδή του πραγματικού κόσμου στα GIS, τα κύρια μοντέλα δεδομένων (data models) που χρησιμοποιούνται είναι: το μοντέλο πεδίων (field-based model) και το μοντέλο αντικειμένων (object-based model). Ανάλογα με το είδος των γεωγραφικών δεδομένων, προτιμάται άλλοτε το ένα και άλλοτε το άλλο μοντέλο (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Το μοντέλο πεδίων είναι ο κλασικός τρόπος αναπαράστασης του γεωγραφικού χώρου μέσω θεματικών επιπέδων πληροφορίας. Κάθε θεματικό επίπεδο αντιπροσωπεύει μια θεματική προσέγγιση για ένα συγκεκριμένο σκοπό και μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα διαφορετικά είδη πληροφοριών. Με άλλα λόγια, ο γεωγραφικός χώρος προσεγγίζεται ως ένα συνεχές χωρικό μέσο το οποίο αποτελείται από επιμέρους υπό-περιοχές, τα πεδία. Ως πεδίο, ορίζεται η μοναδιαία υποδιαίρεση του γεωγραφικού χώρου στην οποία αποδίδεται η τιμή ενός χαρακτηριστικού ή μεγέθους, το οποίο παρουσιάζει συνεχή μεταβολή (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).



Εικόνα 2.1: Μοντέλο Πεδίων, η προσέγγιση των θεματικών επιπέδων

Μια εναλλακτική προσέγγιση δόμησης των χωρικών δεδομένων θεωρεί τον γεωγραφικό χώρο ως μια ενιαία περιοχή όπου περιέχονται διάφορα αντικείμενα (objects), τα οποία διαθέτουν γεωμετρικές ιδιότητες (σχήμα, θέση, κλπ.) και θεματικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 2.2). Αυτά τα αντικείμενα θεωρούνται πως βρίσκονται σε ένα μόνο θεματικό επίπεδο, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την απεικόνιση της τρίτης διάστασης, όπως και την καθιέρωση ενός ενιαίου συστήματος αναφοράς. Συνήθως προτιμάται έναντι του μοντέλου πεδίων για την αναπαράσταση γεωγραφικών αντικειμένων με διακριτά όρια, όπως π.χ. για την αναπαράσταση των διοικητικών διαιρέσεων μιας περιοχής, των υδρογραφικών και οδικών δικτύων, κ.λπ. (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Η αναπαράσταση ενός μοντέλου αντικειμένων στον υπολογιστή απαιτεί την χρήση δομών δεδομένων οι οποίες υποστηρίζουν τη χρήση διακριτών αντικειμένων με συγκεκριμένη γεωμετρική (μέγεθος, σχήμα, κλπ.) και θεματική πληροφορία (χαρακτηριστικά, ιδιότητες, κλπ.) (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).



Εικόνα 2.2: Η προσέγγιση των αντικειμένων

Οι Δομές Γεωγραφικών Δεδομένων (ΔΓΔ) θεωρούνται ως ο συνδεδεμένος κρίκος μεταξύ του μοντέλου αντίληψης και περιγραφής του γεωγραφικού χώρου και του χώρου που παρέχεται από ένα υπολογιστικό σύστημα. Οι ΔΓΔ ουσιαστικά υλοποιούν τα μοντέλα δεδομένων. Οι ΔΓΔ διακρίνονται στην κανονικοποιημένη δομή (raster structure) και στη διανυσματική δομή (vector structure). Οι δύο ΔΓΔ παρουσιάζουν ξεχωριστές ιδιότητες, διαχειρίζονται τη χωρική διάσταση των γεωγραφικών δεδομένων, έχοντας ως στόχο την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση χώρου κατά την αποθήκευσή τους και την ταχύτερη προσπέλαση, επεξεργασία και ανάκτησή τους (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Η κανονικοποιημένη δομή αναπαριστά τα γεωγραφικά δεδομένα με τη βοήθεια πινάκων φατνίων, θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη για την υλοποίηση του

μοντέλου πεδίων, λόγω της δυνατότητάς της να αναπαριστά άμεσα τη μεταβολή της τιμής κάποιου γεωγραφικού χαρακτηριστικού/μεγέθους από θέση σε θέση. Τα γεωγραφικά δεδομένα που αναπαρίστανται σύμφωνα με αυτή τη δομή δημιουργούνται συνήθως κατά τη σάρωση κλασικών αναλογικών χαρτών και εικόνων ή παράγονται κατά τη μετατροπή δεδομένων διανυσματικής δομής. Άλλα παραδείγματα γεωγραφικών δεδομένων raster αποτελούν οι δορυφορικές εικόνες, οι αεροφωτογραφίες και τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Η διανυσματική δομή (κάνει χρήση διανυσμάτων, όπως φανερώνει και το όνομά της και είναι στενά συνδεδεμένη με το μοντέλο αντικειμένων. Η διανυσματική δομή συχνά προτιμάται λόγω της ακρίβειας που προσφέρει κατά την αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων, της οικονομίας σε χώρο αποθήκευσης, της ποιότητας της απεικόνισης που παρομοιάζεται με αυτήν του αναλογικού χάρτη, και της μεγάλης ποικιλίας λειτουργιών χωρικής ανάλυσης που παρέχονται συνήθως για τα γεωγραφικά δεδομένα της δομής αυτής από τα ΣΓΠ (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Τα σύγχρονα λογισμικά ΣΓΠ υποστηρίζουν και τα δυο μοντέλα δεδομένων καθώς και λειτουργίες μετασχηματισμού από το ένα στο άλλο.

2.7. Τα GIS στην ανάλυση ατυχημάτων και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.7.1. GIS και οδική ασφάλεια

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, όλο και περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν τα Συστήματα Γεωπληροφοριακών Συστημάτων (GIS) στην ανάλυση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων. Τα GIS αποτελούν ένα ολοκληρωμένο εργαλείο διαχείρισης για την οδική ασφάλεια. Στην χωρικά κατανομημένη φύση των τροχαίων ατυχημάτων, η χρήση του GIS παρέχει συγκριτικό πλεονέκτημά στην ανάλυση τους, λόγω της δυνατότητας αποθήκευσης, ενημέρωσης, ανάκτησης, σύγκρισης και χωρικής εμφάνισης δεδομένων (Li, 2006). Πέρα από την δυνατότητα διατήρησης μεγάλου όγκου δεδομένων που μπορούν εύκολα να διαμοιραστούν και να διαχειριστούν, τα GIS διαθέτουν μια πλατφόρμα ανάλυσης και οπτικοποίησης δεδομένων για την εξέταση της μεταξύ τους σχέσης και έχουν την δυνατότητα παραγωγής γραφικών και μη αποτελεσμάτων. Η δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων επιτρέπει την εξελιγμένη ανάλυση και τη γρήγορη λήψη αποφάσεων (Afolayan, Easa, Abiola, Alayaki, & Folorunso, 2022).

Γίνεται επομένως σαφές πως με τα GIS, ο αναλυτής μπορεί να συνδυάσει δεδομένα ατυχημάτων και αυτοκινητοδρόμων, να κωδικοποιήσει γεωγραφικά τα δεδομένα και τις τοποθεσίες ατυχημάτων, να υπολογίσει τη συχνότητα και τον ρυθμό των ατυχημάτων, να υπολογίσει τη μέση και τυπική απόκλιση των ποσοστών ατυχημάτων, κ.λπ. (Liang, Mo'soem, & Hua, 2005). Ωστόσο, η επιτυχία αυτών των αναλύσεων βασίζεται αποκλειστικά στην ακρίβεια, την αξιοπιστία και την πλήρη περιεκτικότητα των δεδομένων των τροχαίων ατυχημάτων. Σε αυτό το σημείο αναφέρεται, ότι σε διεθνές επίπεδο, οι χώρες δεν έχουν συμφωνήσει σε

ένα κοινό περιεχόμενο των στοιχείων που πρέπει να περιλαμβάνονται στις αναφορές τροχαίων ατυχημάτων.

2.7.2. Ορισμός hotspot τοποθεσιών τροχαίων ατυχημάτων

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση πιθανών τοποθεσιών hotspot τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ. Πως ορίζονται όμως τα hotspots στο ερευνητικό πεδίο της ανάλυσης ατυχημάτων;

Ένα hotspot αναφέρεται σε μια τοποθεσία κατά μήκος του δρόμου που θεωρείται υψηλού κινδύνου για συγκρούσεις οχημάτων. Ο (Elnik, 2008) παρουσίασε έναν εννοιολογικό ορισμό ενός οδικού τμήματος hotspot, ως κάθε τμήμα με περισσότερα αναμενόμενα ατυχήματα από άλλα αντίστοιχα τμήματα λόγω ιδιόμορφων παραγόντων κινδύνου που επικρατούν στο τμήμα. Σύμφωνα με τους (Hazaymeh, Almagbile, & Alomari, 2022) μια τοποθεσία hotspot είναι μια περιοχή μεγαλύτερη από τη συγκεκριμένη τιμή ενός συγκεκριμένου συμβάντος. Αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη είτε ψυχρών είτε θερμών σημείων/περιοχών με μικρότερη ή μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή με βάση το πόσο κάτω ή πάνω από τη συγκεκριμένη τιμή βρίσκονται. Αρκετές τεχνικές συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μπορούν να εκτελέσουν τέτοια ανάλυση και χαρτογράφηση.

Οι hotspot περιοχές του οδικού δικτύου μπαίνουν στο στόχαστρο σε ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ασφάλειας. Οι πιο διαδεδομένες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι υπεύθυνοι αφορούν το πού και πώς να επιβάλλουν προληπτικά μέτρα και διατάξεις για τη μεγιστοποίηση της οδικής ασφάλειας.

2.7.3. Μέθοδοι αξιολόγησης τροχαίων ατυχημάτων που βασίζονται σε GIS

Τα τροχαία ατυχήματα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, χωρικά και χρονικά, στον οδικό ιστό, σε ορισμένες περιοχές συγκεντρώνονται και σε άλλες απουσιάζουν (Hazaymeh, Almagbile, & Alomari, 2022). Σε αυτό το πλαίσιο, πολλές τεχνικές χαρτογράφησης τροχαίων ατυχημάτων είναι αφιερωμένες στην διερεύνηση των χωρικών μοτίβων των ατυχημάτων και κατ' επέκταση στον εντοπισμό περιοχών υψηλής πυκνότητας (clusters & hotspots). Στο πλαίσιο αυτό οι τεχνικές GIS ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.4.

Γενικώς, οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί για την αξιολόγηση τροχαίων ατυχημάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: η πρώτη ομάδα επικεντρώθηκε στην ανάλυση των παραγόντων που προκαλούν τα τροχαία ατυχήματα (Al-Ghamdi, 2002; Valent, et al., 2002; Kim, Kim, & Son, 2006; Theofilatos, Graham, & Yannis, 2012; Shankar, Mannering, & Barfield, 1995). Η ουσία αυτών των μελετών ήταν να προσδιοριστεί η αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος, του ανθρώπου, του δρόμου και του οχήματος σε σχέση με τα τροχαία ατυχήματα. Οι δημοφιλέστερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις μελέτες αυτές, είναι συνήθως κάποιο μοντέλο παλινδρόμησης όπως η Λογιστική Παλινδρόμηση,

η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση, η Δυναμική Λογιστική Παλινδρόμηση, κ.λπ.

Κατηγορία	Τεχνική	Περιγραφή
Προκαταρκτικές γενικές στατιστικές μέθοδοι	Ανίχνευση χωρικών προτύπων δεδομένων (π.χ., Δείκτης Εγγύτερου Γείτονα, Δείκτης Global Moran's I, Δείκτης Getis-Ord General και στατιστική Geary's C)	Σχετικό μέτρο σύγκρισης χωρικών κατανομών μεταξύ διαφορετικών τύπων χωρικών γεγονότων ή σε σχέση με τον ίδιο τύπο για διαφορετικές χρονικές περιόδους. Δημιουργεί μια κατανόηση των γενικών (ή «παγκόσμιων») προτύπων στα δεδομένα και δείχνει στοιχεία ύπαρξης ομαδοποίησης. Αυτή η ομαδοποίηση, ωστόσο, ποικίλλει για διαφορετικές κλίμακες.
Τεχνικές χαρτογράφησης	Μέθοδοι εξομάλυνσης συνεχών επιφανειών (π.χ. Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα, KDE)	Η Quartic Kernel Density Estimation απαιτεί προσδιορισμό του μεγέθους κελιών πλέγματος και της ακτίνας αναζήτησης πριν από την εκτέλεση.
Τοπικοί Δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης	Στατιστική Local Moran's I και Στατιστική Getis-Ord G_i^*	Οι τοπικοί δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι πιο προηγμένοι μέθοδοι για την κατανόηση των hotspot τροχαίων ατυχημάτων. Αξιολογούν την χωρική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων συγκρίνοντας τους τοπικούς μέσους όρους με τους γενικούς μέσους όρους. Το αποτέλεσμα τους υποδεικνύει το επίπεδο στο οποίο το hotspot μπορεί να διακριθεί πιο καθαρά από άλλα επίπεδα συγκέντρωσης.

Πίνακας 2.4: Τεχνικές χαρτογράφησης τροχαίων ατυχημάτων που βασίζονται σε GIS

Η δεύτερη ομάδα χρησιμοποίησε διάφορες γεωχωρικές τεχνικές για τη χαρτογράφηση περιοχών hotspot. Αυτές οι γεωχωρικές τεχνικές, χρησιμοποιούνται συνήθως για τη χαρτογράφηση της πυκνότητας των τροχαίων ατυχημάτων με βάση τον αριθμό των σημείων ατυχημάτων σε κάθε τοποθεσία (Anderson, 2009; Erdogan, Yilmaz, Baybura, & Gullu, 2008; Bíl, Andrášik, & Janoška, 2013). Ορισμένες ερευνητικές εργασίες χρησιμοποίησαν προσεγγίσεις με βάση την απόσταση για τον προσδιορισμό των χωρικών ομάδων (clusters) τροχαίων ατυχημάτων (Bíl, Andrášik, & Sedoník, 2019; Gatrell, Bailey, Diggle, & Rowlingson, 1996; Moons, Brijs, & Wets, 2009).

Όσον αφορά στη γεωχωρική μεθοδολογία υπάρχουν δύο βασικές κατευθύνσεις: η χρήση μη αθροιστικών (disaggregated) ή αθροιστικών μεθόδων (aggregated) (Sengupta, Gayah, & Donnell, 2021). Όταν είναι διαθέσιμα σημειακά δεδομένα σχετικά με τις θέσεις ατυχημάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μη αθροιστικές τεχνικές για την αποκρυπτογράφηση τυχόν μοτίβων στην κατανομή των τοποθεσιών ατυχημάτων. Ελλείψει τέτοιων δεδομένων, ωστόσο, διάφορες μορφές αθροιστικών μεθόδων μπορούν να χρησιμοποιηθούν που συμπεριλαμβάνουν ως επίπεδο αναφοράς την οδό ή την διαδρομή (Bombom & Edino, 2009) ή κάποια χωρική/επιφανειακή οντότητα όπως οι Δήμοι (Osayomi & Areola, 2015). Η μη αθροιστική μέθοδος επιτρέπει την εφαρμογή τοπικών μέτρων αποκατάστασης, ενώ η αθροιστική μέθοδος εστιάζει σε δράσεις μεγαλύτερης κλίμακας, σε περιοχές με χαμηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας.

Τέλος, όσον αφορά το οδικό δίκτυο, υπάρχει σχετικά μεγάλη διασπορά στις μελέτες, με άλλους ερευνητές να έχουν αναλύσει τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε διασταυρώσεις και άλλους σε τμήματα του οδικού δικτύου (Erdogan, Yilmaz, Baybura, & Gullu, 2008; Castro, Paleti, & Bhat, 2012; Ma, Yan, & Qiao, 2014; Moore, Schneider, Savolainen, & Farzaneh, 2011).

2.7.4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά κάποιες από τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια και προσεγγίζουν το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η μέθοδος της Εκτίμησης Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Estimation - KDE) χρησιμοποιείται ευρέως, όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Πίνακας 2.4), στην ανάλυση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου έγκειται στον προσδιορισμό της διασποράς του κινδύνου ενός ατυχήματος.

Οι Erdogan et al. (2008) ανίχνευσαν hotspot, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους στατιστικής ανάλυσης, την κατανομή Poisson και έπειτα την KDE, στο οδικό δίκτυο του Afyonkarashiasar. Η Anderson (2009) χρησιμοποίησε την KDE για τη μελέτη των χωρικών προτύπων τροχαίων ατυχημάτων που σχετίζονται με τραυματισμό στο Λονδίνο, βάσει δεδομένων πενταετίας. Με τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης και περιβαλλοντικών δεδομένων χρησιμοποίησε τον αλγόριθμο K-means clustering για τη δημιουργία μιας ταξινόμησης των hotspot και κατέληξε στον καθορισμό των περιστασιακών δεικτών που είναι πιο πιθανό να υπάρχουν σε ορισμένες χωρικές ομάδες ατυχημάτων. Η μελέτη των Bil et al. (2013) πρότεινε μια διαδικασία αξιολόγησης χωρικών ομάδων τροχαίων ατυχημάτων στην Νότια Μοραβία της Τσεχίας και τις οργάνωσε ανάλογα με τη σημασία τους, χρησιμοποιώντας την τυπική KDE για την αρχική αναγνώριση χωρικών ομάδων RTAs και επεκτείνοντας αυτή με έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας για την ανίχνευση των πιο σημαντικών ομάδων, μέσω των διαδικασιών αξιολόγησης αντοχής και ευστάθειας συστάδων. Οι Bil et al. (2019) διεξήγαγαν μια χωροχρονική ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων στο κύριο αγροτικό οδικό δίκτυο της Τσεχίας (3.933 χλμ.) την περίοδο 2010 – 2018, όπου εφαρμόστηκε η KDE σε συνδυασμό με μια μέθοδο ομαδοποίησης (clustering method), για τον εντοπισμό ομαδοποιήσεων. Διαπίστωσαν ότι μόνο το 50% των hotspot ήταν σταθερά (περίπου στην ίδια θέση) για ολόκληρη την 9ετή περίοδο.

Οι μελέτες που αναφέρονται στην συνέχεια, χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό τεχνικών χωρικής ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένων κυρίως των στατιστικών χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I και Getis-Ord, για τη διερεύνηση τυχόν προτύπων στην κατανομή των RTAs και τον εντοπισμό hotspot περιοχών.

Η μελέτη των Khan et al. (2008) χρησιμοποίησε τον τοπικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis-Ord G_i^* για τον καθορισμό σημαντικών χωρικών προτύπων στην κατανομή των ατυχημάτων τριετίας που σχετίζονται με αντίξοες καιρικές συνθήκες, στο Wisconsin των ΗΠΑ. Για να περιγράψει τις διαπεριφερειακές

διαφορές στα τροχαία ατυχήματα και τη θνησιμότητα στους δρόμους της Τουρκίας, ο Erdogan (2009) πραγματοποίησε μια σειρά χωρικών αναλύσεων για την περίοδο 2001–2006, χρησιμοποιώντας αρχικά την εμπειρική εξομάλυνση Bayes για την αφαίρεση θορύβου περιβάλλοντος, και στην συνέχεια γενικούς (Global Moran's I, Geary C και Getis–Ord General G) και τοπικούς δείκτες (Local Moran's I, Getis–Ord Gi*) χωρικής αυτοσυσχέτισης για να εξεταστεί εάν οι επαρχίες με υψηλά ποσοστά θανάτων – ατυχημάτων παρουσιάζουν χωρική ομαδοποίηση. Τέλος χρησιμοποίησε την γεωγραφικά σταθμισμένη ανάλυση παλινδρόμησης για την διερεύνηση παραγόντων που επηρεάζουν τα ατυχήματα στις προβληματικές περιοχές. Στην έρευνα των Prasannakumar et al. (2011) χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι χωρικής αυτοσυσχέτισης Global Moran's I και Getis-Ord Gi* για την αξιολόγηση της χωρικής ομαδοποίησης των ατυχημάτων και η KDE για την οριοθέτηση των οδικών εκτάσεων καθώς και των απομονωμένων ζωνών όπου συγκεντρώνονται τα hotspots, σε μια πόλη της Νότιας Ινδίας όπου η ανεπαρκής ανάπτυξη του δικτύου χερσαίων μεταφορών οδηγεί συχνά σε κυκλοφοριακή συμφόρηση και ατυχήματα. Οι Truong et al. (2011) χρησιμοποίησαν δεδομένα 13 ετών (1996-2008) σύγκρουσης πεζών-οχημάτων για τη μητροπολιτική περιοχή της Αδελαΐδας, όπου εφάρμοσαν μία ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης με σκοπό την αναγνώριση και κατάταξη μη ασφαλών στάσεων λεωφορείων. Η διερεύνηση ομαδοποίησης των δεδομένων σύγκρουσης πεζών-οχημάτων υλοποιήθηκε με τον γενικό δείκτη Global Moran's I, ενώ ο χάρτης hotspots δημιουργήθηκε με εφαρμογή της στατιστικής Getis-Ord Gi* και συσχετίστηκε με τις στάσεις των λεωφορείων, υπολογίστηκε ο δείκτης σοβαρότητας κάθε περιστατικού και τελικώς προέκυψε η κατάταξη των μη ασφαλών στάσεων λεωφορείου. Οι Kingham et al. (2011) ερεύνησαν με την KDE τη χρονική εξέλιξη των μεταβαλλόμενων προτύπων (3113) RTAs που συνέβησαν κατά τις σχολικές ώρες προσέλευσης και αποχώρησης (08.00–09.00 και 15.00–16.00) για τις περιόδους 1980-2004 & 2000-2004 στην πόλη Christchurch (Νέα Ζηλανδία) και αναγνώρισαν τα hotspots με τη στατιστική Getis-Ord Gi*, τα οποία συσχέτισαν με τις θέσεις των σχολείων. Οι Harirforoush et al. (2019) ανέλυσαν χωροχρονικά πρότυπα τροχαίων ατυχημάτων στο Sherbrooke για 3 χρόνια (2011–2013). Η μέθοδος KDE χρησιμοποιήθηκε για να χαρτογραφήσει τα χωροχρονικά μοτίβα των RTAs για 4 διαφορετικές εποχές και η στατιστική Local Moran's για εντοπιστούν χωρικές ομάδες τροχαίων στατιστικής σημαντικότητας.

Αρκετές μελέτες για την αξιολόγηση των τροχαίων ατυχημάτων έχουν διεξαχθεί όπως είναι φυσικό, και στην Ελλάδα. Η Κωστέλλου (2020) χρησιμοποίησε την στατιστική Moran's I σε γενικό και τοπικό επίπεδο για να προσδιορίσει ποιοι Δήμοι της Περιφέρειας Αττικής παρουσιάζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα για το διάστημα 2011 - 2015, τόσο στο σύνολό τους, όσο και ανά επιλεγμένες μεταβλητές. Στην συνέχεια εφάρμοσε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αλγόριθμο K-means για την οριοθέτηση των ομοιογενών περιοχών. Η Λιόγκα (2020) ανέπτυξε τη συσχέτιση της θέσης των τροχαίων ατυχημάτων με τη συντακτική δομή του αστικού χώρου στον Δήμο Αθηναίων για την περίοδο 2008 -2017, εξετάζοντας τα ατυχήματα αυτά καθ' αυτά, αλλά και μεταβλητές που σχετίζονται με την σοβαρότητα τραυματισμού και την ιδιότητα των παθόντων.

Εξέτασε το χωρικό πρότυπο των τροχαίων με την μέθοδο του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbor Analysis) και χρησιμοποίησε τον δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I, γενικό και τοπικό, για την διερεύνηση του βαθμού συσχέτισης των περιστατικών μεταξύ τους και ανά μεταβλητή. Η κατανομή των τροχαίων ατυχημάτων για όλη τη Περιφέρεια Κρήτης, εξετάστηκε από τον Μελιδονιώτη (2013) σε επίπεδο Δήμου, το διάστημα 2001-2012, με δεδομένα από το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής του ΕΚΑΒ. Χρησιμοποίησε γεωστατιστικούς δείκτες, ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης Local Moran's I, και την Γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση για την ανάδειξη παραγόντων που αυξάνουν το κίνδυνο ατυχήματος και σχετίζονται με τα βασικά χαρακτηριστικά του ατόμου, το χρόνο και το χώρο. Οι Yiannis et al. (2017) επεξεργάστηκαν στοιχεία από 59316 καταγεγραμμένα ατυχήματα στην Ελλάδα, με τη βοήθεια της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης (lognormal regression). Διερεύνησαν πως οι παράμετροι όπως το είδος της σύγκρουσης και οι καιρικές συνθήκες, επηρεάζουν τη σοβαρότητα του ατυχήματος για κάθε τύπο οχήματος (αυτοκίνητο, μοτοσυκλέτα, μοτοποδήλατο, λεωφορείο και φορτηγό).

3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι τεχνικές αναλύσεις και τα χωρικά εργαλεία που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία και αναλύεται το θεωρητικό τους υπόβαθρο.

3.1. Στατιστική Ανάλυση

Η Περιγραφική Στατιστική αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την συνοπτική και αποτελεσματική παρουσίαση δεδομένων. Μέσα από δείκτες, ποσοστά, αναλογίες, συχνότητες και διαγράμματα επιτυγχάνεται η διεξαγωγή κάποιων πρώτων συμπερασμάτων αλλά και μία αναγνωριστική εικόνα των δεδομένων. Η επιλογή των κατάλληλων αριθμητικών και γραφικών μεθόδων γίνεται με βάση τον τύπο της επιθυμητής μεταβλητής προς παρουσίαση. Τα υπό μελέτη δεδομένα περιλαμβάνουν πολλές αριθμητικές μεταβλητές και επιτρέπουν τόσο την στατιστική επεξεργασία όσο και την αναπαράστασή τους με γραφήματα και διαγράμματα.

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. Η πληροφόρηση αυτή παρέχεται με τρόπο κατανοητό με “μια 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 (Κύρκος, 2015).

3.2. Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα

Η χωρική στατιστική χαρτογράφηση είναι το κλειδί για την κατανόηση της χωρικής και χρονικής εμφάνισης ατυχημάτων. Οι χωρικές στατιστικές περιλαμβάνουν ένα σύνολο τεχνικών για την περιγραφή και τη μοντελοποίηση χωρικών δεδομένων.

Ένα πολλά υποσχόμενο χωρικό εργαλείο για την κατανόηση των γεωγραφικά μεταβαλλόμενων σημειακών μοτίβων είναι η μέθοδος Εκτίμησης Πυκνότητας Πυρήνα (Chainey & Ratcliffe, 2005; Sabel, 2006). Είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη στατιστική μέθοδος για την εξομάλυνση δεδομένων, επειδή είναι απλή στην κατανόηση και την εφαρμογή της. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου έγκειται στον προσδιορισμό της διασποράς του κινδύνου ενός ατυχήματος. Η διασπορά του κινδύνου μπορεί να οριστεί ως η περιοχή γύρω από μια καθορισμένη χωρική ομάδα (cluster) στην οποία υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα με βάση τη χωρική εξάρτηση (Tessa K. Anderson, 2009).

Η βασική διαδικασία σύμφωνα με την οποία εκτιμάται η προαναφερθείσα πυκνότητα είναι η μετατροπή ενός σημειακού σχεδίου σε μία συνεχή απεικόνιση της πυκνότητας καταλαμβάνοντας μία ευρύτερη περιοχή. Σε γενικές γραμμές πρόκειται για μία τεχνική εξομάλυνσης, που γενικεύει τα γεγονότα ή τα σημεία στην ευρύτερη περιοχή (Schönfelder & Axhausen, 2002).

Συγκεκριμένα, η Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα (KDE), υπολογίζει την πυκνότητα των χαρακτηριστικών σημείων γύρω από κάθε ψηφιοκουκίδα εξόδου. Στην ουσία, μια περιγεγραμμένη επιφάνεια επικαλύπτει κάθε σημείο αναφοράς, η τιμή της οποίας μεγιστοποιείται στην ακριβή θέση του σημείου και μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνεται η απόσταση από το σημείο, φτάνοντας τελικά στο μηδέν μόλις επεκταθεί στην απόσταση που ισοδυναμεί με την ακτίνα αναζήτησης του στην εφαρμογή. Ο όγκος κάτω από την επιφάνεια αντιστοιχεί στην τιμή του πεδίου πληθυσμού της εξεταζόμενης μεταβλητής για το συγκεκριμένο σημείο ή στο 1 εάν δεν έχει καθοριστεί πεδίο πληθυσμού. Η πυκνότητα κάθε ψηφιοκουκίδας εξόδου προσδιορίζεται αθροίζοντας τις τιμές όλων των kernel επιφανειών που επικαλύπτονται στο κέντρο της ψηφιοκουκίδας, με τη συνάρτηση kernel να βασίζεται στη τεταρτοβάθμια συνάρτηση πυρήνα που περιγράφεται από τον Silverman (1986). Η προβλεπόμενη πυκνότητα σε μια νέα θέση (x,y) προσδιορίζεται στη συνέχεια από τον ακόλουθο τύπο:

$$f(x, y) = \frac{1}{radius^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{3}{\pi} \cdot pop_i \cdot \left(1 - \left(\frac{dist_i}{radius} \right)^2 \right)^2 \right]$$

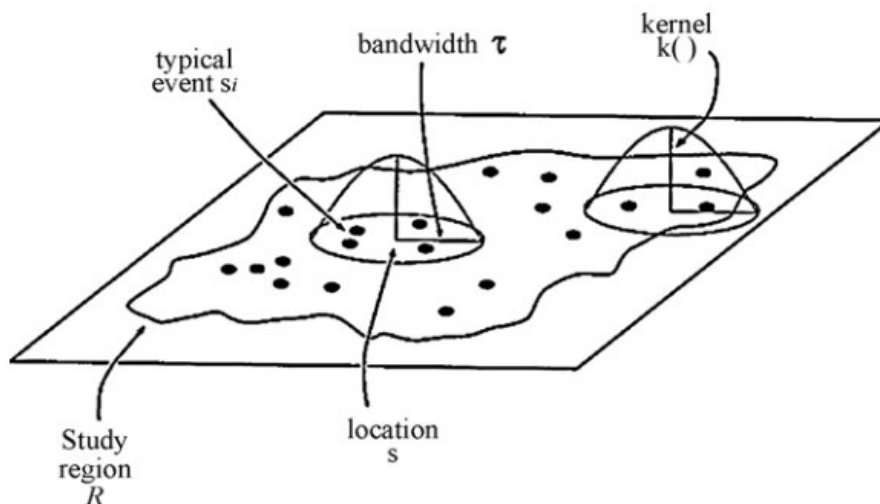
Όπου

- $i = 1, 2, 3, \dots, n$ είναι τα σημεία εισόδου, που περιλαμβάνονται στο άθροισμα μόνο εάν βρίσκονται εντός της ακτίνας απόστασης της θέσης (x,y)
- pop_i είναι η τιμή πεδίου πληθυσμού του σημείου i, η οποία είναι μια προαιρετική παράμετρος
- $dist_i$ είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου I και της θέσης (x,y)

Αφού υπολογιστεί, η πυκνότητα στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται είτε με το πλήθος των σημείων είτε με το άθροισμα του πεδίου πληθυσμού, εάν παρέχεται. Αυτή η προσαρμογή διασφαλίζει ότι το χωρικό ολοκλήρωμα ισούται με τον αριθμό των σημείων (ή το άθροισμα ή το πεδίο πληθυσμού) αντί να είναι συνεχώς 1. Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιεί έναν πυρήνα Quartic, όπως περιγράφεται από τον Silverman (1986). Ο τύπος πρέπει να υπολογίζεται για κάθε θέση όπου είναι επιθυμητή η εκτίμηση της πυκνότητας. Δεδομένου ότι σχηματίζεται μια ψηφιοποιημένη λεία και συνεχής επιφάνεια (raster), αυτοί οι υπολογισμοί εφαρμόζονται στο κέντρο κάθε κελιού στο raster που προκύπτει.

Οι δύο παράμετροι που επηρεάζουν το αποτέλεσμα του KDE είναι η ακτίνα αναζήτησης ή εύρος ζώνης / bandwidth και το μέγεθος κελιού/cell size. Αναμφισβήτητο το πιο σημαντικό κριτήριο προσδιορισμού της καταλληλότερης επιφάνειας πυκνότητας είναι η ακτίνα (Silverman, 1986; Bailey & Gatrell, 1995; Fotheringham, Brunson, & Charlton, 2000). Η επιλογή της ακτίνας θα επηρεάσει το αποτέλεσμα των hotspot, για παράδειγμα όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος

ζώνης τόσο μεγαλύτερα θα είναι τα hotspot. Το περιορισμένο εύρος μελετών που έχουν τεκμηριωμένες παραμέτρους για μετρήσεις πυκνότητας τροχαίων ατυχημάτων δείχνει ότι η διαδικασία καθορισμού της ακτίνα αναζήτησης και του μεγέθους κελιού είναι κάπως υποκειμενική.



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα της τεταρτοβάθμιας λειτουργίας του πυρήνα (Bailey & Gatrell, 1995)

Για το ArcGIS 10.2.1, η προεπιλεγμένη ακτίνα αναζήτησης (εύρος ζώνης) υπολογίζεται με βάση τη χωρική διαμόρφωση και τον αριθμό των σημείων εισόδου. Αυτή η προσέγγιση διορθώνει τα χωρικά ακραία σημεία εισόδου που είναι πολύ μακριά από τα υπόλοιπα- έτσι η ακτίνα αναζήτησης δεν θα είναι αδικαιολόγητα μεγάλη.

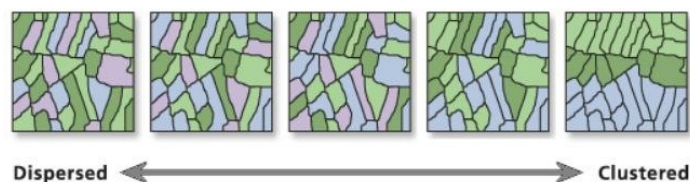
3.3. Χωρική Αυτοσυσχέτιση

Η χωρική αυτοσυσχέτιση εξετάζει τον βαθμό στον οποίο μια μεταβλητή συσχετίζεται με τον εαυτό της. Είναι η έννοια που αποτυπώνεται ως ο Πρώτος Νόμος της Γεωγραφίας: «Τα πάντα σχετίζονται με οτιδήποτε άλλο, αλλά τα κοντινά πράγματα σχετίζονται περισσότερο από τα μακρινά πράγματα» (Tobler, 1970).

Εάν υπάρχουν συστηματικά πρότυπα στην κατανομή μιας δεδομένης μεταβλητής, λέγεται ότι είναι χωρικά αυτοσυσχετισμένη. Γειτονικές περιοχές με παρόμοιες τιμές της μεταβλητής λέγεται ότι παρουσιάζουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση ανεξάρτητα από το αν οι τιμές είναι θετικές ή αρνητικές. Αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση υπάρχει όταν μια περιοχή υψηλών ή χαμηλών τιμών περιβάλλεται από γείτονες ανόμοιων τιμών. Τα τυχαία μοτίβα δεν εμφανίζουν χωρικές αυτοσυσχετίσεις.

Στην Εικόνα 3.2, φαίνεται η κατανομή των χωρικών προτύπων κατά την οποία η διασπορά σχηματίζει είτε ομαδοποιήσεις (clustered) στο χώρο, είτε

διασκορπισμένα πρότυπα (dispersed). Ένα πρότυπο που παρουσιάζεται σε ενδιάμεσο σημείο των δύο παραπάνω άκρων, αποτελεί τυχαίο (random) πρότυπο κατανομής.



Εικόνα 3.2: Χωρικά πρότυπα

Οι χωρικές αυτοσυσχετίσεις ασχολούνται ταυτόχρονα τόσο με τη θέση όσο και με ποσοτικά χαρακτηριστικά. Για να προσδιοριστεί εάν οι τιμές σε μία χαρτογράφηση αποκλίνουν σημαντικά από ένα πρότυπο στο οποίο οι τιμές εκχωρούνται τυχαία, απαιτείται κάποιο είδος δείκτη σύγκρισης. Οι δείκτες μέτρησης χωρικής αυτοσυσχέτισης μπορεί να είναι:

- Γενικοί, όπως ο Global Moran's I και ο Getis and Ord G και G^* , οι οποίοι αναγνωρίζουν χωρικά πρότυπα και τάσεις
- Τοπικοί, όπως ο Local Moran's I και ο Getis and Ord G_i και G_i^* , οι οποίοι προσδιορίζουν τη θέση και το μέγεθος των χωρικών ομάδων.

Η χωρική αυτοσυσχέτιση είναι σημαντική για τα τροχαία ατυχήματα καθώς τα περιστατικά αυτά δεν είναι ανεξάρτητα (Levine, Kim, & Nitz, 1995; O'Sullivan & Unwin, 2003). Τα ατυχήματα συγκεντρώνονται συνήθως κατά μήκος τμημάτων δρόμου, ή και σε περιοχές που βασίζονται σε ζωνικά χαρακτηριστικά, όπως περιοχές με πυκνότητα δρόμων και αυτοκινήτων, με κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες και με μεγάλα μεγέθη πληθυσμού μεταξύ άλλων. Αυτά τα χαρακτηριστικά ασκούν μεγάλη επιρροή στη δημιουργία και την έλξη κυκλοφοριακής κίνησης, χωρίς την οποία δεν θα υπήρχαν ατυχήματα.

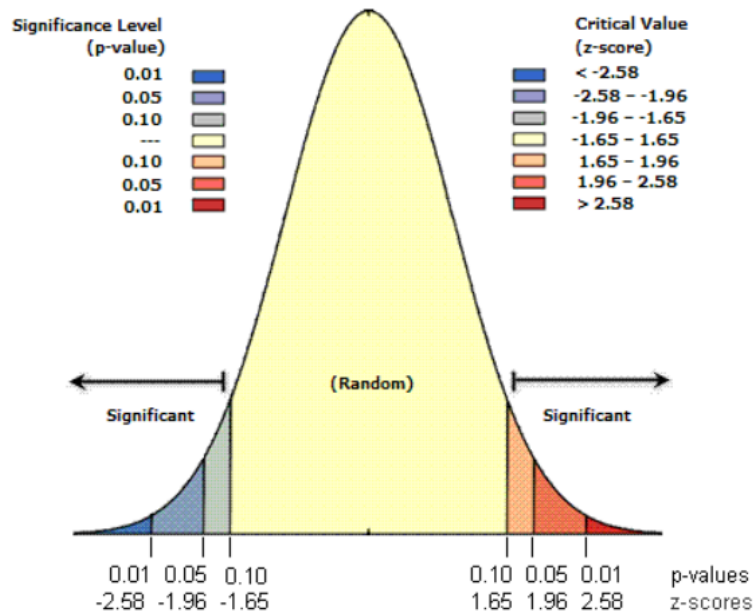
3.3.1. Αξιολόγηση στατιστικής σημαντικότητας

Οι περισσότερες στατιστικές δοκιμές ξεκινούν με τον έλεγχο μιας μηδενικής υπόθεσης. Η μηδενική υπόθεση για τα μοντέλα χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι η Πλήρης Χωρική Τυχειότητα, είτε των ίδιων των χαρακτηριστικών που εξετάζονται είτε των τιμών που σχετίζονται με αυτά τα χαρακτηριστικά. Οι τιμές z-score και p-value που επιστρέφονται από τα εργαλεία ανάλυσης προτύπων υποδηλώνουν αν μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ή όχι.

Η τιμή p-value είναι μια πιθανότητα. Για τα μοντέλα χωρικής αυτοσυσχέτισης, είναι η πιθανότητα ότι το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο δημιουργήθηκε από κάποια τυχαία διαδικασία. Όταν η τιμή p-value είναι πολύ μικρή, σημαίνει ότι είναι

πολύ απίθανο το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο να είναι αποτέλεσμα τυχαίων διεργασιών, επομένως μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση.

Οι τιμές z-score είναι τυπικές αποκλίσεις. Τόσο οι τιμές z-score όσο και οι p-value συσχετίζονται με την τυπική κανονική κατανομή όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.3: Χωρικά πρότυπα

Πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές (αρνητικές) τιμές z-score, που σχετίζονται με πολύ μικρές τιμές p-value, βρίσκονται στα άκρα της κανονικής κατανομής. Όταν εκτελείτε ένα μοντέλο ανάλυσης προτύπων και αποδίδει μικρές τιμές p-value και είτε πολύ υψηλή είτε πολύ χαμηλή z-score, αυτό δείχνει ότι είναι απίθανο το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο να αντικατοπτρίζει το θεωρητικό τυχαίο μοτίβο που αντιπροσωπεύεται από την μηδενική υπόθεσή.

Για να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση, πρέπει να εκτιμηθεί ο αποδεκτός βαθμός κινδύνου για την περίπτωση που η υπόθεση αυτή είναι ψευδής. Κατά συνέπεια, πριν εκτελεστεί η χωρική στατιστική, επιλέγεται ένα επίπεδο εμπιστοσύνης. Τα τυπικά επίπεδα εμπιστοσύνης είναι 90%, 95% ή 99%. Το επίπεδο εμπιστοσύνης 99% είναι το πιο συντηρητικό, υποδεικνύοντας ότι δύσκολα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, εκτός εάν η πιθανότητα ότι το πρότυπο δημιουργήθηκε τυχαία είναι πολύ μικρή (λιγότερη από 1 τοις εκατό πιθανότητα).

3.3.2. Δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I

3.3.2.1. Global Moran's I

Ο ολικός δείκτης Moran's I (Global Moran's I) αποτελεί έναν από τους παλαιότερους και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες για την εξέταση ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης των ποσοτικών δεδομένων μιας μεταβλητής. Ο δείκτης αυτός βασίζεται στον πρώτο ορισμό του δείκτη Moran's (Moran, 1948), αλλά και στον συντελεστή συσχέτισης Pearson και δίνεται από τη σχέση που προτάθηκε από τους Cliff και Ord (Ord & Cliff, 1973; Cliff & Ord, 1981):

$$I = \frac{n}{W} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} (x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{\sum_i^n \sum_i^n (x_i - \bar{X})^2}$$

Όπου, x_i : η τιμή κάθε χωρικής μονάδας i | x_j : η τιμή κάθε χωρικής μονάδας j γειτονικής της i | \bar{X} : ο μέσος όρος των τιμών της χωρικής μονάδας | $w_{i,j}$: τα βάρη με βάση τη χωρική εγγύτητα μεταξύ των παρατηρήσεων i & j | n : ο συνολικός αριθμός των μονάδων | W : το άθροισμα των στοιχείων του πίνακα βαρών που υπολογίζονται με βάση την χωρική εγγύτητα, όπου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}$$

Ενώ η τιμή z-score της στατιστικής υπολογίζεται από τον τύπο:

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

Όπου:

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

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2$$

Οι τιμές που λαμβάνει ο ολικός δείκτης Moran's I είναι από -1 έως +1, όπου τιμές κοντά στο +1 υποδηλώνουν ισχυρή θετική χωρική συσχέτιση (Clustered), τιμές κοντά στο -1 υποδηλώνουν ισχυρή αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση (Dispersed) και τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν απουσία χωρικής αυτοσυσχέτισης και άρα τυχαία κατανομή (Random).

Ο υπολογισμός των βαρών γίνεται είτε με βάση τη φυσική γειτνίαση μεταξύ των παρατηρήσεων, είτε με βάση την ευθεία απόσταση, είτε με βάση τον αριθμό των κοντινότερων γειτόνων. Σε οποιαδήποτε περίπτωση τα βάρη μπορεί να είναι δυαδικά, όπου την τιμή 1 λαμβάνουν οι γείτονες και την τιμή 0 οι μη γείτονες, κανονικοποιημένα, τα οποία ορίζονται με διαίρεση κάθε βάρους με το άθροισμα όλων των βαρών, ή να υπολογίζονται συναρτήσει της αντίστροφης απόστασης μεταξύ των παρατηρήσεων (Καλογήρου, 2015).

3.3.2.2. Local Moran's I

Σε αντίθεση με τον Global Moran's I που είναι ένας «καθολικός» δείκτης ο οποίος αφορά το σύνολο της εξεταζόμενης περιοχής, ο δείκτης Local Moran's I, ταυτοποιεί τοπικά πρότυπα για επιμέρους χωρικές αυτοσυσχετίσεις μιας περιοχής. Σε μια περιοχή μπορεί να παρατηρείται έντονη συνύπαρξη θετικής και αρνητικής αυτοσυσχέτισης σε τοπικό επίπεδο.

Για την εξέταση τοπικών μεταβολών της χωρικής αυτοσυσχέτισης των μεταβλητών, ο Anselin (1995), πρότεινε τον τοπικό δείκτη Moran's I (Anselin, 1995):

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{X})}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X})$$

Όπου:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Ο τοπικός δείκτης Moran's I μπορεί να έχει τιμές μεγαλύτερες του +1 και μικρότερες του -1, σε αντίθεση με τον ολικό, ωστόσο η ερμηνεία τους είναι όμοια. Η θετική τιμή του τοπικού δείκτη υποδεικνύει χωρική συγκέντρωση παρόμοιων υψηλών ή χαμηλών τιμών (συστάδες/clusters), ενώ η αρνητική υποδεικνύει συγκέντρωση ανόμοιων τιμών, όπου εμφανίζονται οι σημαντικές διαφορές των τιμών γειτονικών σημείων (χωρικές ομάδες ακραίων τιμών/outliers).

Ο δείκτης υπολογίζεται για κάθε χωρική μονάδα i της περιοχής μελέτης, στην συνέχεια εκτελείται η διαδικασία ελέγχου υπόθεσης για κάθε i και προκύπτουν τα αντίστοιχα z-score για κάθε μια. Με αυτόν τον έλεγχο μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα αν η ομοιότητα (ή η ανομοιότητα) της τιμής μίας χωρικής μονάδας με τις γειτονικές της είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη σε μία τυχαία κατανομή. Με βάση τις τιμές των z-score, τα αποτελέσματα του τοπικού δείκτη Moran's I, μπορούν να ενταχθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Υψηλή θετική τιμή z-score χωρικής μονάδας: θεωρείται ότι υπάρχει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, δηλαδή υπάρχει ομοιότητα των τιμών μεταξύ της χωρικής μονάδας και των γειτονικών της.
 - Εάν η τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής είναι υψηλή, και οι γειτονικές χωρικές μονάδες λαμβάνουν υψηλές τιμές τότε η εξεταζόμενη χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως High-High Cluster.
 - Εάν η τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής είναι χαμηλή, και οι γειτονικές χωρικές μονάδες λαμβάνουν χαμηλές τιμές τότε η εξεταζόμενη χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως Low-Low Cluster.
- Χαμηλή αρνητική τιμή z-score χωρικής μονάδας: Αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση, δηλαδή υπάρχει ανομοιότητα των τιμών μεταξύ της χωρικής μονάδας και των γειτονικών της.

- Εάν η τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής είναι υψηλή, τότε οι τιμές των γειτονικών χωρικών μονάδων είναι χαμηλές και η εξεταζόμενη χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως High-Low Outlier.
- Εάν η τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής είναι χαμηλή, τότε οι τιμές των γειτονικών χωρικών μονάδων είναι υψηλές και η εξεταζόμενη χωρική μονάδα χαρακτηρίζεται ως Low- High Outlier.

3.3.3. Δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis - Ord G

3.3.3.1. Getis - Ord General

Οι Getis και Ord (1992) πρότειναν μία ομάδα μέτρων χωρικής αυτοσυσχέτισης που συμβολίζονται με το λατινικό γράμμα G. Αυτά τα στατιστικά στοιχεία έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τη μέτρηση χωρικής εξάρτησης σε μεταβλητές χωρικών δεδομένων.

Ο γενικός δείκτης G ορίζεται από τη σχέση (Getis & Ord, 1992):

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \forall j \neq i$$

όπου, $w_{i,j}$ είναι το βάρος μεταξύ των i & j και x_i, x_j είναι οι τιμές της μεταβλητής x στα σημεία i, j αντίστοιχα.

Με τον γενικό δείκτη Getis-Ord General G το χωρικό πρότυπο που εξετάζεται αφορά την συγκέντρωση υψηλών ή χαμηλών τιμών ομαδοποίησης της εξεταζόμενης μεταβλητής. Επομένως ο δείκτης Global Moran's I εντοπίζει παρόμοιες τιμές της μεταβλητής ενδιαφέροντος που μπορεί να εμφανίζονται μαζί, αλλά δεν υποδεικνύει εάν κάποιο σύμπλεγμα αποτελείται από υψηλές ή χαμηλές τιμές. Η γενική στατιστική Getis-Ord General, μπορεί πιο συγκεκριμένα να χρησιμοποιηθεί για να αναδείξει εάν υπάρχουν ή όχι συμπλέγματα υψηλών/χαμηλών τιμών στην περιοχή μελέτης.

3.3.3.2. Getis - Ord G_i^*

Ο τοπικός δείκτης G_i ύστερα από αναθεώρηση των Ord και Getis (1995) (Ord & Getis, 1995) δίνεται από την παρακάτω σχέση, όπου λαμβάνονται υπόψη τα βάρη:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}}$$

όπου, $w_{i,j}$ είναι το βάρος μεταξύ των i & j | x_i, x_j είναι οι τιμές της μεταβλητής x στα σημεία i, j αντίστοιχα | \bar{X} είναι ο μέσος όρος της μεταβλητής | S η τυπική απόκλιση.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

Ο ολικός δείκτης Getis – Ord General παρέχει μία ένδειξη ύπαρξης ή απουσίας χωρικών προτύπων, ενώ για την ανίχνευση της θέσης των χωρικών προτύπων υψηλών ή χαμηλών τιμών μιας μεταβλητής πρέπει να υπολογιστούν οι τοπικοί δείκτες G_i^* για κάθε σημείο i . Οι προκύπτουσες τιμές z-score και p-value δείχνουν που υπάρχει χαρακτηριστική χωρική συγκέντρωση.

Ένα χαρακτηριστικό μπορεί να μην είναι στατιστικά σημαντικό hot spot παρότι έχει υψηλή τιμή. Για να θεωρηθεί στατιστικά σημαντικό πρέπει η θετική τιμή του G_i του χαρακτηριστικού με υψηλή τιμή να περιβάλλεται από χαρακτηριστικά με εξίσου υψηλές τιμές. Μια αρνητική τιμή του G_i που είναι στατιστικά σημαντική δηλώνει ότι γύρω από το σημείο i σε απόσταση d υπάρχει μια γειτονιά χαμηλών τιμών (cold spots). Γίνεται η υπόθεση ότι το σύνολο των τιμών x_i εντός της γειτονιάς d είναι ένα τυχαίο δείγμα των τιμών της μεταβλητής X και ακολουθεί κανονική κατανομή (Getis & Ord, 1992). Το τοπικό άθροισμα για ένα χαρακτηριστικό και τους γείτονές του συγκρίνεται αναλογικά με το άθροισμα όλων των χαρακτηριστικών. Όταν το τοπικό άθροισμα είναι πολύ διαφορετικό από το αναμενόμενο και όταν αυτή η διαφορά είναι πολύ μεγάλη για να είναι το αποτέλεσμα τυχαίας πιθανότητας, προκύπτει ένα στατιστικά σημαντικό z-score.

3.3.4. Hot Spot Analysis

Σε πληθώρα προβλημάτων προκύπτει η ανάγκη εύρεσης περιοχών που παρουσιάζουν υψηλή χωρική συγκέντρωση στοιχείων με υψηλές ή χαμηλές τιμές. Στην παρούσα εργασία υπήρξε η ανάγκη προσδιορισμού των τροχαίων ατυχημάτων στο χώρο.

Προτού πραγματοποιηθεί η ανίχνευση θερμών σημείων (hot spots) και ψυχρών σημείων (cold spots), ελέγχεται αν τα δεδομένα είναι ομαδοποιημένα με κάποια τεχνική χωρικής αυτοσυσχέτισης. Στο λογισμικό ArcGIS η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με τη μέθοδο Global Moran's I (Spatial autocorrelation) ή με τη μέθοδο Getis-Ord General G (High/Low Clustering). Η ανάλυση Hotspot πραγματοποιείται με τη μέθοδο Getis – Ord G_i^* (Hot Spot Analysis) είτε με τη μέθοδο Anselin Local Moran's I (Cluster and Outlier Analysis).

Για την εκτέλεση των παραπάνω μεθόδων θα πρέπει να καθορισθεί η σχέση χωρικής συγγένειας των χαρακτηριστικών (Conceptualization of Spatial Relationship). Στο στάδιο αυτό προσδιορίζεται το ποιος θεωρείται γείτονας και καθορίζεται το βάρος του κάθε χαρακτηριστικού. Στο ArcGIS διατίθενται οι εξής μέθοδοι προσδιορισμού αυτών των σχέσεων (ESRI, χ.χ.):

- Inverse Distance: Τα κοντινά γειτονικά χαρακτηριστικά έχουν μεγαλύτερη επιρροή στους υπολογισμούς για ένα χαρακτηριστικό στόχο από τα χαρακτηριστικά που είναι μακριά. Επί της ουσίας με τη χρήση της ανάστροφης απόστασης η επιρροή ενός σημείου σε ένα άλλο φθίνει κατά την απομάκρυνση του.
- Inverse Distance Square: η κλίση είναι εντονότερη από την προηγούμενη μέθοδο και η σημαντική επιρροή στους υπολογισμούς είναι από τους κοντινούς γείτονες του χαρακτηριστικού στόχου.
- Fixed Distance Band: Κάθε χαρακτηριστικό αναλύεται στο πλαίσιο γειτονικών χαρακτηριστικών. Τα γειτονικά χαρακτηριστικά εντός της καθορισμένης κρίσιμης απόστασης λαμβάνουν βάρος ένα και ασκούν επιρροή στους υπολογισμούς για το χαρακτηριστικό στόχο. Τα γειτονικά χαρακτηριστικά εκτός της κρίσιμης απόστασης λαμβάνουν βάρος μηδέν και δεν επηρεάζουν τους υπολογισμούς ενός χαρακτηριστικού στόχου.
- Zone Of Indifference: Τα χαρακτηριστικά εντός της καθορισμένης κρίσιμης απόστασης ενός χαρακτηριστικού στόχου λαμβάνουν μοναδιαίο βάρος και επηρεάζουν τους υπολογισμούς για αυτό το χαρακτηριστικό. Μόλις ξεπεραστεί η κρίσιμη απόσταση, τα βάρη (και η επιρροή που έχει ένα γειτονικό χαρακτηριστικό στους υπολογισμούς χαρακτηριστικών στόχου) μειώνονται με την απόσταση.
- Contiguity Edges only: Μόνο οι γειτονικές ιδιότητες των πολυγώνων που μοιράζονται ένα όριο ή αλληλεπικαλύπτονται θα επηρεάσουν τους υπολογισμούς για το χαρακτηριστικό πολυγώνου στόχο.
- Contiguity Edges Corners: Τα χαρακτηριστικά των πολυγώνων που μοιράζονται ένα όριο, μοιράζονται έναν κόμβο ή αλληλεπικαλύπτονται, επηρεάζουν τους υπολογισμούς για το χαρακτηριστικό πολυγώνου στόχο.
- Get Spatial Weights from File: Οι χωρικές σχέσεις καθορίζονται από συγκεκριμένο αρχείο χωρικών βαρών.

Οι μέθοδοι υπολογισμού των αποστάσεων κάθε χαρακτηριστικού από τα γειτονικά του πραγματοποιείται είτε με Ευκλείδεια Απόσταση, όπου προσδιορίζεται η ευθεία απόσταση μεταξύ δύο σημείων, είτε με την Μανχάταν Απόσταση, όπου η απόσταση μεταξύ δύο σημείων μετράται κατά μήκος ορθογώνιων αξόνων και υπολογίζεται το άθροισμα της απόλυτης διαφοράς μεταξύ των συντεταγμένων x και y.



Εικόνα 3.4: Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*)

4. ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΉ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

4.1. Περιοχή Μελέτης

4.1.1. Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην χωρική ανάλυση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων που έχουν συμβεί κατά μήκος του Βόρειου Οδικού Άξονα της Κρήτης ή ΒΟΑΚ (Εικόνα 4.1) από το έτος 2000 έως το έτος 2020. Ο ΒΟΑΚ με συνολικό μήκος περίπου 312 χιλιόμετρα, διατρέχει την βόρεια πλευρά της Περιφέρειας Κρήτης, συνδέοντας από Δύση προς Ανατολή την πόλη της Κίσαμου με τη Σητεία.

Η Περιφέρεια Κρήτης, με έκταση 2641τ.χλμ. και πληθυσμό 302450 κατοίκους (απογραφή 2021) διαιρείται σε τέσσερις Περιφερειακές Ενότητες (Π.Ε.) (Λασιθί, Ηράκλειο, Χανιά και Ρέθυμνο). Η Π.Ε. Ηρακλείου είναι η μεγαλύτερη σε πληθυσμό και έχει το μεγαλύτερο το κατά κεφαλή εισόδημα (ΑΕΠ/κάτοικο), το οποίο είναι παραπλήσιο και στις υπόλοιπες τρεις Π.Ε. Στην Κρήτη λειτουργούν 2 διεθνή αεροδρόμια (Ηράκλειο και Χανιά) και ένα αεροδρόμιο εσωτερικού (Σητεία) ενώ προγραμματίζεται η κατασκευή ενός νέου διεθνούς αερολιμένα στο Καστέλι Ηρακλείου, που θα αντικαταστήσει το υφιστάμενο αεροδρόμιο Ηρακλείου. Όσον αφορά στις θαλάσσιες μεταφορές, οι λιμένες Ηρακλείου και Χανίων (Σούδα) είναι οι 2 κυριότεροι λιμένες του νησιού που δέχονται τους κυριότερους εμπορευματικούς και επιβατικούς θαλάσσιους φόρτους. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μετακινήσεων στην Περιφέρεια Κρήτης είναι η έντονη εποχικότητα, λόγω της τουριστικής κίνησης κατά τη θερινή περίοδο, ο κυκλοφοριακός φόρτος σχεδόν διπλασιάζεται σε σχέση με τη χειμερινή περίοδο.

Η Κρήτη διαθέτει πλούσιο οδικό δίκτυο με τον ΒΟΑΚ να αποτελεί τον σημαντικότερο οδικό της άξονα και γενικότερα μοναδικό αυτοκινητόδρομο σε νησί της Ελλάδας. Ο ΒΟΑΚ συνδέει την Κίσαμο με τη Σητεία, διαμέσου των τεσσάρων σημαντικότερων αστικών κέντρων της, Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο και Άγιο Νικόλαο. Η ονομασία του σύμφωνα με το «Μητρώο Εθνικών Οδών» της ΕΛΣΤΑΤ είναι Αυτοκινητόδρομος 90 (Α90), ενώ σύμφωνα με το ίδιο Μητρώο ο ΒΟΑΚ υποδιαιρείται ονομαστικά σε 090α για το τμήμα από την Κίσαμο Χανίων έως τον Αγ. Νικόλαο Λασιθίου και σε 090β για το τμήμα από τον Αγ. Νικόλαο έως την Σητεία. Ο ΒΟΑΚ, σε συνδυασμό με τους κάθετους άξονες, το Νότιο Οδικό Άξονα Κρήτης (ΝΟΑΚ) και τις πύλες εισόδου του νησιού (Λιμάνια – Αεροδρόμια), επηρεάζει κυρίαρχα και αποφασιστικά όλους τους άξονες ανάπτυξης της Κρήτης. Ανήκει στο σύνολο του, στο Διευρωπαϊκό δίκτυο Μεταφορών, με το τμήμα από Χανιά έως Σητεία να ανήκει στην Ευρωπαϊκή Οδό 75 (Ε75) και το τμήμα Κίσαμος – Χανιά στην Ευρωπαϊκή Οδό 65 (Ε65) (Εικόνα 4.1).

Εδώ και χρόνια η Κρήτη βρίσκεται αντιμέτωπη με πολύ υψηλό ποσοστό τροχαίων. Ο ΒΟΑΚ έχει ιδιαίτερα βαρύ ιστορικό σε τροχαία οδικά ατυχήματα. Παρότι είναι μικρότερος σε μήκος από το 1,50% του συνόλου (υπεραστικού και αστικού) του οδικού δικτύου της Κρήτης, τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ δείχνουν ότι στον ΒΟΑΚ συμβαίνουν το 10% των θανατηφόρων και με τραυματισμούς τροχαίων ατυχημάτων του νησιού. Σύμφωνα με την κατάταξη του SENSOR (South

East Neighbourhood Safe Routes) όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2 ο ΒΟΑΚ χαρακτηρίζεται ως αυτοκινητόδρομος μέσου-υψηλού κινδύνου (Medium – High Risk) στο τμήμα Χανιά – Σητεία και υψηλού κινδύνου (High Risk) στο τμήμα Κίσαμος – Χανιά. Ο αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος, η υπερβολική ταχύτητα και η ανεπαρκής υποδομή του δρόμου είναι μερικοί από τους λόγους που έχουν οδηγήσει σε αυτή την κατάσταση.



Εικόνα 4.1: Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (Wikipedia)

Είναι συνεπώς εμφανές ότι πρέπει να σχεδιαστούν δράσεις βελτίωσης οδικής ασφάλειας με βάση τα τοπικά χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες του ΒΟΑΚ. Η κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυση των περιστατικών των τροχαίων ατυχημάτων που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, βοηθώντας έτσι σημαντικά στη λήψη καλύτερων αποφάσεων.



Εικόνα 4.2: Επικινδυνότητα του ΒΟΑΚ σύμφωνα με την κατάταξη του SENSOR project

4.1.2. ΒΟΑΚ Ιστορικό

Ο σχεδιασμός του άξονα έγινε στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι οδικές μετακινήσεις μέχρι τότε γινόταν μέσω των ορεινών όγκων καθιστώντας την προσπελασιμότητα του νησιού δύσκολη και χρονοβόρα.

Οι μελέτες που εκπονήθηκαν το 1960 εφάρμοζαν μέση ταχύτητα μελέτης 80 Χλμ/h, κατά μήκος κλίση $\leq 7,5$ %, χαρακτηρίζονταν από ανεπαρκή κυκλοφορικά στοιχεία και δεν είχαν δεσμεύσεις περιβαλλοντικών όρων. Οι αντιλήψεις που επικρατούσαν τότε ήταν να αποφευχθούν τα μεγάλα τεχνικά έργα όπως σήραγγες και κοιλαδογέφυρες κυρίως λόγω κόστους (ΒΟΑΚ, 2008).

Η κατασκευή του ΒΟΑΚ ξεκίνησε το 1968 με δίχνη διατομή (1 λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση) πλάτους 11,10 – 12,50 μ. και γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατηγορίας ΙΙΙ και τύπου Γ, με βάση του Ελληνικούς κανονισμούς οδών του 1962. Το τμήμα από Άγιο Νικόλαο μέχρι Σητεία μήκους ~70 Χλμ στην Π.Ε. Λασιθίου κατασκευάστηκε με διατομή πλάτους ~8 μ. και υποδεέστερα από την κατηγορία Γ γεωμετρικά χαρακτηριστικά (ΒΟΑΚ, 2008).

Πολλά ορεινά τμήματα του άξονα κατασκευάστηκαν με κατά μήκος κλίση μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή σχεδιασμού (7,5 %) και για τον λόγο αυτό προστέθηκαν εκ των υστέρων λωρίδες βραδυπορείας για τα βαρέα οχήματα. Λόγω της έλλειψης μεγάλων τεχνικών έργων για λόγους μείωσης του κόστους, κατασκευάστηκαν μεγάλα ορύγματα και επιχώματα τα οποία απαιτούσαν και απαιτούν διαρκή συντήρηση. Ακόμα και σήμερα, στα ορεινά τμήματα υπάρχουν τοπικά κατολισθήσεις ή λιθοπτώσεις με κίνδυνο στην ασφάλεια της κυκλοφορίας (ΒΟΑΚ, 2008).

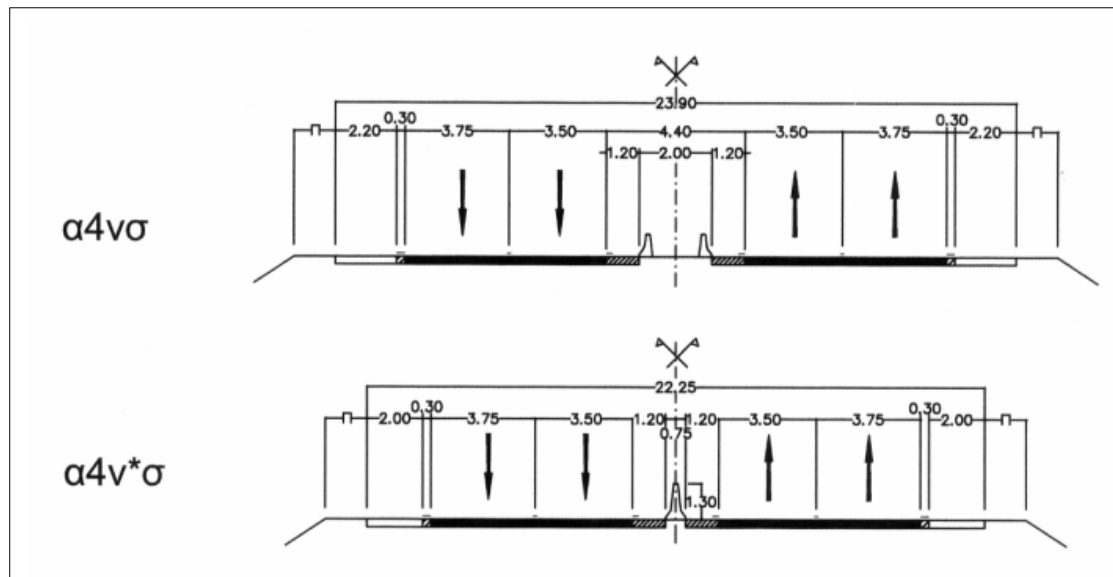
4.1.3. ΒΟΑΚ Βελτιώσεις / Αναβαθμίσεις

Ο ΒΟΑΚ σήμερα αποτελεί έναν οδικό άξονα, ο οποίος παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα με την εξυπηρέτηση της υφιστάμενης κυκλοφορίας και την οδική ασφάλεια. Θεωρείται από τους πιο επικίνδυνους οδικούς άξονες στην Ευρώπη, με επικίνδυνες κακοτεχνίες και σημεία-παγίδες, που αυξάνουν την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος.

Οι πρώτες παρεμβάσεις βελτίωσης του ΒΟΑΚ σε σχέση με την αρχική του μορφή ξεκίνησαν στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Πρώτα κατασκευάστηκε το οδικό τμήμα από Χανιά προς Κίσαμο ενώ την ίδια περίοδο σχεδιάστηκε και το τμήμα Μουρνιές Χανίων - Κολυμπάρι. Ωστόσο και στα νέα τμήματα, παρά το γεγονός ότι υπήρχε σε κάποια σημεία διαχωριστική νησίδα και φωτισμός, υπάρχουν εξ' αρχής της κυκλοφορίας τους προβλήματα οδικής ασφάλειας μέχρι και σήμερα. Η παράκαμψη Ρεθύμνου δόθηκε στην κυκλοφορία στις αρχές της δεκαετίας του 1990 απαλλάσσοντας την πόλη από την κίνηση των οχημάτων. Στην ανατολική Κρήτη και σταδιακά, από την ανάληψη των Ολυμπιακών αγώνων της Ελλάδας και μετά, έγιναν σημαντικές βελτιώσεις από τα Λινοπεράματα Ηρακλείου μέχρι και την Περιφερειακή Ενότητα Λασιθίου (Νομικός & Μωραΐτη, 2019). Από τότε περίπου

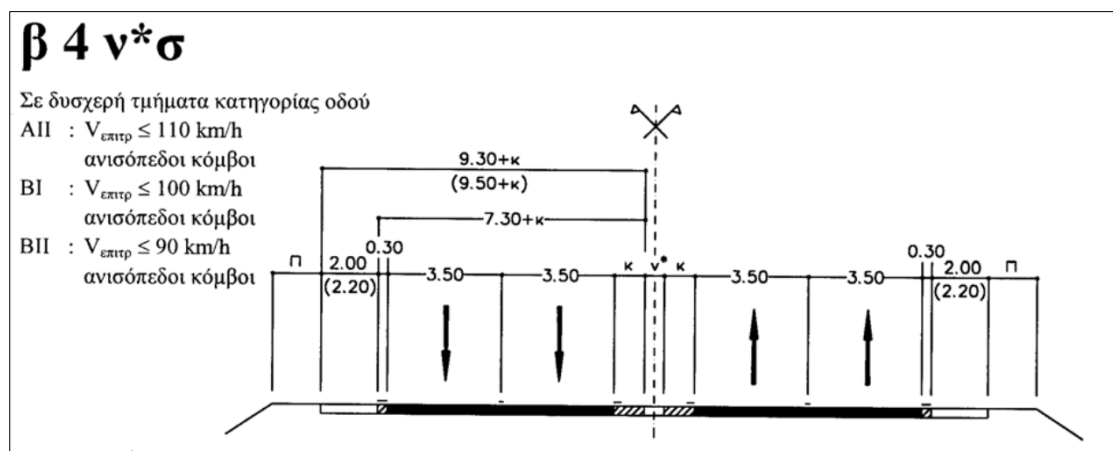
ξεκίνησε πέρα των βελτιώσεων και η αναβάθμιση του ΒΟΑΚ κατά τμήματα σε σύγχρονο αυτοκινητόδρομο.

Με τον όρο αυτοκινητόδρομος νοείται δρόμος διατομής διαχωρισμένης κυκλοφορίας, 2 λωρίδων ανά κατεύθυνση με Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.), συνολικού πλάτους από 22,4 m έως 24,00 m. Σύμφωνα με τις εγκεκριμένες «Οδηγίες Μελετών Έργων Οδοποιίας» (Ο.Μ.Ο.Ε.) οι τυπικές διατομές που εφαρμόζονται σε αυτοκινητοδρόμους, κατηγορίας ΑΙ είναι οι α4νσ και α4ν*σ .



Εικόνα 4.3: Σκαρίφημα τυπικών διατομών α4νσ & α4ν*σ κατά ΟΜΟΕ

Ωστόσο, η διατομή που εφαρμόζεται στον ΒΟΑΚ είναι η β4ν*σ. Η διαφορά της από την παραπάνω α4ν*σ είναι ότι και οι 4 λωρίδες είναι πλάτους 3,50 m και έτσι το συνολικό πλάτος του ΒΟΑΚ είναι $2 \cdot 10,75 = 21,50$ m (Αγαπάκης, 2022).



Εικόνα 4.4: Τυπικές Διατομές α4νσ & α4ν*σ κατά ΟΜΟΕ

Έτσι ο ΒΟΑΚ αναβαθμίζεται και βελτιώνεται τουλάχιστον από το 2000. Αυτό σημαίνει πως τα τμήματα που αναβαθμίστηκαν είτε διατήρησαν την παλαιά τους χάραξη και διαπλατύνθηκαν ώστε να αποκτήσουν την διατομή αυτοκινητόδρομου, είτε κατασκευάστηκαν νέα τμήματα που ακολουθούν διαφορετική βελτιωμένη χάραξη σε σχέση με την παλαιά.

Σήμερα, μόνο τα 51χλμ από τα συνολικά 312χλμ του ΒΟΑΚ έχουν αναβαθμιστεί σε αυτοκινητόδρομο. Τα 51χλμ αφορούν τις παρακάμψεις των πόλεων Ηρακλείου από «Λινοπεράματα – Α/Κ Καστελλίου» μήκους 37χλμ, Ρεθύμνου μήκους 6χλμ και Χανίων από «Α/Κ Βαμβακόπουλου – Α/Κ Σούδας» μήκους 8χλμ (Αγαπάκης, 2022).

Στην περίπτωση των βελτιώσεων, μέσα στην υπό εξέταση χρονική περίοδο 2000 – 2020, παραδόθηκαν στην κυκλοφορία και τμήματα νέας χάραξης που δεν έχουν την τυπική διατομή β4ν*σ. Μετά την παράδοση των νεότερων τμημάτων σε κυκλοφορία, τα παλαιά χαρακτηρίζονται πλέον ως Παλαιά Εθνική Οδός (ΠΕΟ).

Τα τμήματα νέας χάραξης (με ή χωρίς διατομή β4ν*σ) ήταν σημαντικό να εντοπιστούν για τις ανάγκες της παρούσας (ΜΔΕ), ώστε ο χωρικός εντοπισμός των τροχαίων ατυχημάτων να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής. Τα τμήματα αυτά και η αντίστοιχη ημερομηνία παράδοσης τους στην κυκλοφορία είναι τα κάτωθι :

- 27-09-2003: Π.Ε. Ηρακλείου, «Τμήμα Χερσόνησος – Σταλίδα», συνολικού μήκους 6,8χλμ, με αφετηρία περίπου από την παράκαμψη Χερσονήσου (ανάντι περιοχής «Κουτουλουφάρι», ~Χ.Θ.160+000 του υφισταμένου ΒΟΑΚ (ΠΑΤΡΙΣ, 2003).
- 21-03-2012: Π.Ε. Ηρακλείου, «Παράκαμψη Μαλλίων», συνολικού μήκους 9,0χλμ, με αφετηρία στον κόμβο Μοχού περίπου και κατάληξη στον κόμβο Τάρμαρου εντός Π.Ε. Λασιθίου (~Χ.Θ.176+000 του υφισταμένου ΒΟΑΚ) (ΠΑΤΡΙΣ, 2012).
- 17/01/2015: Π.Ε. Λασιθίου, «Τμήμα Άγιος Νικόλαος – Καλό Χωριό», με αφετηρία τον κόμβο Αγίου Νικολάου (~Χ.Θ.199+000 του 090α ή ~Χ.Θ.2+000 του 090β, υφισταμένου ΒΟΑΚ) και καταλήγει στο ύψος του Καλού Χωριού (Καραγιάννης, 2015).

Πλέον έχει μπει σε τροχιά υλοποίησης η αναβάθμιση όλου του υπόλοιπου μήκους του ΒΟΑΚ. Το έργο αναμένεται να ξεπεράσει συνολικά τα 1,7 δισ. Ευρώ. Το ανατολικό τμήμα (Νεάπολη-Άγιος Νικόλαος) είναι ήδη υπό κατασκευή, στο μεσαίο τμήμα (Χερσόνησος-Νεάπολη) έχουν οριστεί οι ανάδοχοι και το δυτικό και κύριο τμήμα του από τα Χανιά μέχρι τη Χερσόνησο είναι σε φάση υποβολής δεσμευτικών προσφορών (Καραγιάννης, 2023). Η αναβάθμιση του ΒΟΑΚ σε σύγχρονο αυτοκινητόδρομο αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση των μεταφορών, επιβατικών και εμπορευματικών, και στην περαιτέρω ανάπτυξη της Περιφέρειας Κρήτης ενώ θα αναβαθμίσει σημαντικά την οδική ασφάλεια.

4.2. Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή γεωγραφικών δεδομένων αναφέρεται στον εντοπισμό και την παραγωγή των γεωγραφικών δεδομένων που είναι απαραίτητα για την υλοποίηση μιας συγκεκριμένης εφαρμογής ΣΓΠ. Πρόκειται για μια διαδικασία ιδιαίτερα σημαντική η οποία επηρεάζει άμεσα την ποιότητα και τη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων που θα παράγει το ΣΓΠ (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων και στοιχείων για την διεκπεραίωση της υπόψη μελέτης, έγινε από τους αρμόδιους φορείς. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν κατάλληλα ώστε να μπορούν να αναλυθούν χωρικά και να εξαχθούν τα απαιτούμενα αποτελέσματα, σε μορφές διαγραμμάτων, πινάκων και χαρτών. Αναλυτικότερα, συγκεντρώθηκαν στοιχεία που αφορούσαν τροχαία οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στην Κρήτη κατά την χρονική περίοδο 2000 - 2020.

4.2.1. Δεδομένα τροχαίων ατυχημάτων

Τα δεδομένα που αφορούν τα τροχαία χορηγήθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) η οποία συλλέγει τα Δελτία Οδικού Τροχαίου Ατυχήματος (Δ.Ο.Τ.Α) από την Τροχαία Ελλάδας, τα ψηφιοποιεί λεπτομερώς και τα κωδικοποιεί δημιουργώντας μια δυναμική και λεπτομερή βάση δεδομένων. Τα δελτία αυτά αποτελούν για την Ελλάδα την κύρια και πρωτογενή πηγή καταγραφής στοιχείων των οδικών ατυχημάτων και συμπληρώνονται από την Τροχαία για κάθε οδικό ατύχημα που λαμβάνει χώρα και έχει ως αποτέλεσμα θάνατο ή τραυματισμό ενός ή περισσότερων προσώπων (ΕΛΣΤΑΤ, 2023).

Τα στοιχεία που χορηγήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ είναι καταγεγραμμένα σε μορφή πινάκων σε υπολογιστικά φύλλα (excel), ωστόσο η πρωτογενής καταγραφή εκάστοτε ατυχήματος σε Δ.Ο.Τ.Α. γίνεται σε έντυπη μορφή από την Τροχαία. Οι πίνακες που δόθηκαν είναι τέσσερις και καθένας αφορά μια ξεχωριστή κατηγορία χαρακτηριστικών του τροχαίου, συνολικά για τα τροχαία οδικά ατυχήματα όλης της Κρήτης:

- Το αρχείο με όνομα «path_kriti_2000_2020.xls» περιέχει στοιχεία για τους παθόντες των τροχαίων ατυχημάτων, όπως φύλλο, ηλικία, θέση στο όχημα κ.λπ. όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 Κάθε εγγραφή του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα παθόντα άτομο που συμμετείχε σε τροχαίο. Ο αριθμός των εγγραφών που περιέχονται στον πίνακα, και επομένως των συμμετεχόντων σε τροχαία ατυχήματα σε όλη την Κρήτη κατά την περίοδο 2000 – 2020 είναι 14381.
- Στο αρχείο «ex_kriti_2000_2020.xls» συμπεριλαμβάνονται πληροφορίες σχετικές με τα εξαρτήματα ασφαλείας κάθε οχήματος που ενεπλάκη στο ατύχημα (Πίνακας 4.2). Ο πίνακας αυτός περιέχει 26824 εγγραφές.
- Το αρχείο με όνομα «trox_kriti_2000_2020.xls» περιέχει τα περισσότερα στοιχεία που αφορούν το ατύχημα, όπως ημερομηνία, ώρα, συνθήκες και χαρακτηριστικά οδού, Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.), κωδικό άξονα οδού, γεωγραφικό κωδικό τόπου ατυχήματος (σύμφωνα με το πρόγραμμα

Καποδίστριας μέχρι και το έτος 2015, ενώ από το 2016 χρησιμοποιείται η διοικητική διαίρεση σύμφωνα με τον Καλλικράτη), αριθμό παθόντων, καιρικές συνθήκες κ.λπ. όπως παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 4.3. Κάθε εγγραφή του πίνακα αυτού αντιστοιχεί σε ένα συμβάν τροχαίου οδικού ατυχήματος, ανεξαρτήτως των εμπλεκόμενων οχημάτων και παθόντων ατόμων. Οι εγγραφές του πίνακα αυτού, δηλαδή τα οδικά τροχαία ατυχήματα στην εικοσαετία 2000 - 2020 είναι 6658.

- Τέλος, στο αρχείο με όνομα «och_kriti_2000_2020.xls» έχουν καταγραφεί πληροφορίες που αφορούν τα εμπλεκόμενα οχήματα και κάθε εγγραφή αντιστοιχεί σε ένα όχημα. Οι μεταβλητές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4, ενώ ο συνολικός αριθμός των εμπλεκόμενων οχημάτων σε τροχαία στην Κρήτη κατά την υπό μελέτη χρονική περίοδο είναι 10558.

A/A	Ονομασία μεταβλητής	Περιγραφή μεταβλητής
1	YEAR_ID	Έτος
2	MONTH_ID	Μήνας
3	AA_ATICHIMATOS_ID	AA ατυχήματος
4	AA_OXHMATOS_ID	AA οχήματος
5	AA_PATHONTOS_ID	AA παθόντος
6	KATIG_PATHON_CL	Κατηγορία παθόντων
7	FILO_PATHON_CL	Φύλο παθόντα
8	ILIKIA_PATHON_NR	Ηλικία παθόντα σε έτη
9	IPIKOOT_PATHON_CL	Υπηκοότητα παθόντα
10	CHRISI_EXOPL_CL	Χρήση εξοπλισμού ασφαλείας
11	SOVAROT_ATICH_CL	Σοβαρότητα ατυχήματος
12	THESI_PATHON_CL	Θέση στο όχημα
13	LOGOS_METAKIN_CL	Λόγος μετακίνησης
14	SIMIO_ATICHIM_CL	Ειδικά στοιχεία πεζών έως 18 ετών, Α. Σημείο ατυχήματος
15	PEZOS_8_SINOD_CL	Ειδικά στοιχεία πεζών έως 18 ετών, Β. Αν πεζός παθών έως 8 ετών

Πίνακας 4.1: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «path_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ

A/A	Ονομασία μεταβλητής	Περιγραφή μεταβλητής
1	YEAR_ID	Έτος
2	MONTH_ID	Μήνας
3	AA_ATICHIMATOS_ID	AA ατυχήματος
4	AA_OXHMATOS_ID	AA οχήματος
5	EXARTHMA_ASF_CL	Εξάρτημα ασφαλείας

Πίνακας 4.2: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «ex_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ

A/A	Ονομασία μεταβλητής	Περιγραφή μεταβλητής	A/A	Ονομασία μεταβλητής	Περιγραφή μεταβλητής
1	YEAR_ID	Έτος	30	KATEYTH_CL	Κατευθύνσεις
2	MONTH_ID	Μήνας	31	NUM_LINES_NR	Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση
3	AA_ATICHIMATOS_ID	AA ατυχήματος	32	DIAG_KATEYTH_CL	Διαγράμμιση κατευθύνσεων στον άξονα της οδού
4	AA_DESMIDAS_NR	Αριθμός δεσμίδας	33	DIAG_LINES_CL	Διαγράμμιση μεταξύ λωρίδων
5	AA_DELTIOU_DESMIDAS_NR	Αριθμός δελτίου μέσα στη δεσμίδα	34	DIAG_ORIO_LEFT_CL	Διαγράμμιση οριογραμμής αριστερά
6	AA_DELTIOY_NOMOY_NR	Αριθμός δελτίου μέσα στο νομό	35	DIAG_ORIO_RIGHT_CL	Διαγράμμιση οριογραμμής δεξιά
7	POLICE_CL	Κωδικός για αστυνομικό τμήμα / Λιμενική αρχή	36	WITH_CENTR_NHS_YN	Με κεντρική νησίδα
8	GEOCODE_ACC_CL	Γεωγραφικός κωδικός τόπου ατυχήματος	37	WITH_CENTR_STITH_YN	Με κεντρικό στηθαίο ασφαλείας
9	AST_FLG_CL	Ένδειξη κατοικημένης περιοχής	38	WITH_PLEYR_LEFT_YN	Με πλευρικό στηθαίο ασφαλείας αριστερά
10	STREET_NO_TX	Αριθμός οδού τόπου ατυχήματος	39	WITH_PLEYR_RIGHT_YN	Με πλευρικό στηθαίο ασφαλείας δεξιά
11	KILOMETERS_NR	Χιλιμετρική θέση οδού	40	ERISMA_LEFT_YN	Έρεισμα αριστερά
12	TURN_FLG_CL	Φορά χιλιομέτρησης	41	ERISMA_RIGHT_YN	Έρεισμα δεξιά
13	TYPE_STREET_CL	Είδος οδού	42	PLATOS_ODOSTR_NR	Πλάτος οδοστρώματος
14	CODE_STREET_CL	Κωδικός οδού	43	EYTHIGRAMIA_YN	Ευθυγραμμία
15	CODE_STREET_DIAST_CL	Κωδικός οδού διασταύρωσης	44	STENOSH_YN	Στένωση
16	AYTO_DROMOS_YN	Το τμήμα αυτό είναι αυτοκινητόδρομος	45	ISO_DIASTAYROSI_YN	Ισόπεδη διασταύρωση
17	WEEK_ACC_NR	AA εβδομάδας έτους	46	TURN_RIGHT_CL	Δεξιά στροφή
18	DATE_WEEK_ACC_NR	Ημέρα εβδομάδας ατυχήματος	47	TURN_LEFT_CL	Αριστερή στροφή
19	HOURLY_ACC_NR	Ωρα ατυχήματος	48	ALLHL_TURNS_YN	Αλληλουχία στροφών
20	DATE_ACC_NR	Ημέρα ατυχήματος	49	ANOFERIA_CL	Ανωφέρεια
21	PATH_DEAD_NR	Παθόντες νεκροί	50	KATOFERIA_CL	Κατωφέρεια
22	PATH_BAR_TRAYM_NR	Παθόντες βαριά τραυματίες	51	ANOF_KATOF_YN	Απότομη εναλλαγή ανωφέρειας και κατωφέρειας
23	PATH_ELAF_TRAYM_NR	Παθόντες ελαφρά τραυματίες	52	TIPOS_ATICHIM_CL	Τύπος ατυχήματος πρώτης σύγκρουσης
24	OXHMATA_NR	Αριθμός οχημάτων που έλαβαν μέρος στο ατύχημα	53	ELIGMOS_A_CL	Ελιγμός οχήματος Α' που πιθανόν συνετέλεσε στο ατύχημα
25	TYPE_ODOSTROMATOS_CL	Είδος οδοστρώματος	54	KINSHSH_PEZON_CL	Δεν υπάρχει περιγραφή
26	ATMOSF_SINTHIKES_CL	Ατμοσφαιρικές συνθήκες	55	SHMATODOTHSH1_CL	Δεν υπάρχει περιγραφή
27	CONDITIONS_ODOSTR_CL	Συνθήκες οδοστρώματος	56	SHMATODOTHSH2_CL	Δεν υπάρχει περιγραφή
28	STATUS_ODOSTR_CL	Κατάσταση οδοστρώματος	57	ASTYN_LIMEN_CL	Δεν υπάρχει περιγραφή
29	LIGHT_CL	Φωτισμός κατά τη νύχτα	58	EGAT_SIM_ATYX_YN	Δεν υπάρχει περιγραφή

Πίνακας 4.3: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «trox_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ

A/A	Ονομασία μεταβλητής	Περιγραφή μεταβλητής
1	YEAR_ID	Έτος
2	MONTH_ID	Μήνας
3	AA_ATICHIMATOS_ID	AA ατυχήματος
4	AA_OXHMATOS_ID	AA οχήματος
5	TYPE_OXHMATOS_CL	Είδος και χρήση οχήματος
6	ETHNIK_PINAKIDON	Εθνικότητα πινακίδων
7	WITH_RYMOYLK_CL	Με ρυμουλκούμενο
8	MARKA_CL	Μάρκα οχήματος
9	KYBIKA_NR	Κυβικά οχήματος
10	ETOS_FIRST_KYKL_NR	Έτος πρώτης κυκλοφορίας
11	MHXAN_CHECK_CL	Μηχανολογικός έλεγχος ΚΤΕΟ
12	NUM_DRIVER_NR	Αριθμός οδηγών και επιβατών
13	TYPE_ALKOTEST_CL	Τύπος αλκοτέστ
14	RESULT_ALKOTEST_CL	Αποτέλεσμα αλκοτέστ
15	HOUR_ALKOTEST_NR	Ώρα που έγινε το αλκοτέστ
16	PLACE_ALKOTEST_CL	Τόπος που έγινε το αλκοτέστ
17	DIPLOMA_ODIGISIS_CL	Δίπλωμα οδήγησης
18	KATEGORIA_DIPLOM_CL	Κατηγορία διπλώματος
19	ETOS_KTISIS_DIPL_NR	Έτος απόκτησης διπλώματος
20	ALKOTEST_NR	Αποτέλεσμα αλκοτέστ
21	EPIKIND_EMPOR_YN	Το όχημα μετέφερε επικίνδυνα εμπορεύματα (ADR)
22	YPERBARO_CL	Το όχημα ήταν υπέρβαρο
23	FORT_YPERMEG_CL	Το φορτίο ήταν υπερμέγεθες

Πίνακας 4.4: Στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο «och_kriti_2000_2020.xls» της ΕΛΣΤΑΤ

4.2.2. Δεδομένα οδικού δικτύου

Τα σύνολο των γεωχωρικών δεδομένων που αφορούν το οδικό δίκτυο χορηγήθηκαν σε μορφή αρχείου μορφότυπου (format shapefile) από την Διεύθυνση Οδικών Υποδομών (Δ.Ο.Υ. – τ έως Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας ΔΜΕΟ). Ο όρος “σύνολο των γεωχωρικών δεδομένων” με τίτλο: «Εθνικό και Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο της ΔΜΕΟ», σημαίνει ψηφιακό διανυσματικό αρχείο σε διαχειρίσιμη μορφή (DXF, DWG, Personal Geodatabase, Shapefile), το οποίο έχει εξαχθεί από την τελευταία ενημερωμένη έκδοση (έκδοση V6, ημερομηνία τελευταίας ενημέρωσης : Σεπτέμβριος 2009) της Βάσης Δεδομένων του Οδικού Δικτύου (ΒΔΟΔ) της Δ.Ο.Υ.

Η ΒΔΟΔ δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του υποέργου 3 «Δημιουργία Βάσης Δεδομένων Οδικού Δικτύου», το οποίο αποτελεί ένα από τα 6 υποέργα του συνολικού έργου του τ. ΥΠΕΧΩΔΕ (ΓΓΔΕ), «Δημιουργία ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων, δημιουργία μεταδεδομένων, ανάπτυξη λογισμικού διαχείρισης, υλοποίηση δικτυακού κόμβου για την παροχή υπηρεσιών και την εξυπηρέτηση του πολίτη μέσω διαδικτύου και ηλεκτρονικών μέσων».

Στην ΒΔΟΔ περιλαμβάνονται οι οδικοί άξονες των πέντε βασικών κατηγοριών του δικτύου (Πρωτεύον, Δευτερεύον και Τριτεύον Εθνικό, Πρωτεύον και Δευτερεύον Επαρχιακό), με σκοπό την ενιαία και αποτελεσματική διαχείριση, ανάλυση

και παρουσίαση όλων των δεδομένων (γεωμετρικών και περιγραφικών) που τους συνιστούν, ώστε να διευκολυνθούν οι διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων θεσμικού ορισμού των οδικών αξόνων, εφαρμογής πολιτικής διαχείρισης οδικών αξόνων, έκδοσης κανονιστικών πράξεων (διαταγμάτων, αποφάσεων κ.ά.) χαρακτηρισμών – αποχαρακτηρισμών, καθώς και άλλων εργασιών οι οποίες έως τώρα διεξάγονταν χωρίς την βοήθεια μιας συστηματικής και οργανωμένης ψηφιακής καταγραφής σε δομή βάσης δεδομένων. Τέλος, η ΒΔΟΔ περιέχει ακόμα το Αποχαρακτηρισμένο Δίκτυο, το Δίκτυο με Εκκρεμή / Προτεινόμενο / Ανεπιβεβαίωτο χαρακτηρισμό, τα μετα-δεδομένα του συνόλου και την τεκμηρίωση του συνόλου.

Τα στοιχεία της χωρικής αναφοράς για την συγκεκριμένη βάση δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

- Γεωδαιτικό σύστημα Αναφοράς (DATUM) : Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87)
- Σύστημα Συντεταγμένων : Ορθογώνιο Επίπεδο Σύστημα Συντεταγμένων.
- Απόλυτη οριζοντιογραφική ακρίβεια : Από 5 m έως 25 m (ανάλογα με την περιοχή)
- Οριζοντιογραφική διακριτική ικανότητα : Ισοδύναμη με 5 m ή αντίστοιχα με 0.2 arc seconds ή 0,00005 δεκαδικής μοίρας

Η ΒΔΟΔ, Έκδοση 1 (V6) περιλαμβάνει όλο το χαρακτηρισμένο οδικό δίκτυο έτσι όπως είχε χαρακτηριστεί με τα Βασιλικά Διατάγματα (1955, 1956) και όλες τις αποφάσεις χαρακτηρισμού, αποχαρακτηρισμού και ανακατάταξης της ΔΜΕΟ έως τον Σεπτέμβριο του 2009, με τελευταία την απόφαση χαρακτηρισμού ΔΜΕΟ/5114/ε/712, 30/09/2009

Κάθε στοιχείο (οδικό τμήμα) του παραπάνω συνόλου συνοδεύεται από τα παρακάτω περιγραφικά χαρακτηριστικά : χαρακτηρισμός, ονομασία, αρίθμηση, μήκος, νομός.

Το αρχείο που χορηγήθηκε για τις ανάγκες εκπόνησης της υπόψη μελέτης εξήχθη από την ΒΔΟΔ της Δ.Ο.Υ. με χρήση του Λογισμικού ARCGIS 9.3.1. και περιέχει όλους τους χαρακτηρισμένους οδικούς άξονες του Εθνικού και Επαρχιακού Οδικού Δικτύου των Π.Ε. Χανίων, Ρεθύμνης, Ηρακλείου και Λασιθίου.

4.2.3. Λοιπά Βοηθητικά Δεδομένα

Εκτός των παραπάνω βασικών συνόλων δεδομένων για την διεκπεραίωση της υπόψη εργασίας, συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα της ΕΛΣΤΑΤ και κάποια ακόμη βοηθητικά αρχεία, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ των διαθέσιμων στοιχείων. Συγκεκριμένα τα αρχεία πινάκων που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα κάτωθι:

«Μητρώο Εθνικών Οδών» : αρχείο πίνακα που περιέχει τον κωδικό κάθε οδού που ανήκει στο Εθνικό Δίκτυο ανά Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε.), την ονομασία της εθνικής οδού, καθώς και τους Δήμους και τα σημεία που διέρχεται κάθε οδός κατά Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.).

«Μητρώο Επαρχιακών Οδών» : αντίστοιχα με παραπάνω, αρχείο πίνακα που περιέχει τον κωδικό κάθε οδού που ανήκει στο Επαρχιακό Δίκτυο ανά Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε.) και την ονομασία της επαρχιακής οδού.

Αρχείο πίνακα υπολογιστικού φύλλου excel, με αντιστοίχιση των ονομασιών και της κωδικοποίησης της διοικητικής διαίρεσης της χώρας σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, όπως είναι καταγεγραμμένα στο πεδίο GEOCODE_ACC_CL που περιλαμβάνεται στο αρχείο «trox_kriti_2000_2020.xls».

Αρχείο πίνακα υπολογιστικού φύλλου excel, με αντιστοίχιση των ονομασιών των τμημάτων τροχαίας ή αστυνομικών τμημάτων και της κωδικοποίησης αυτών σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, όπως είναι καταγεγραμμένα στο πεδίο POLICE_CL που περιλαμβάνεται στο αρχείο «trox_kriti_2000_2020.xls».

4.3. Διαχείριση Δεδομένων

4.3.1. Διαχωρισμός δεδομένων σχετικών με ΒΟΑΚ

Στην παρούσα εργασία στόχος ήταν να γίνει χωρική ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ. Για να είναι εφικτή η χωρική ανάλυση σε έναν αυτοκινητόδρομο είναι απαραίτητο τα δεδομένα των ατυχημάτων να συνοδεύονται από την γεωγραφική τους θέση. Οι πίνακες των δεδομένων των τροχαίων που χορηγήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ δεν περιέχουν αυτή την πληροφορία, είτε σε μορφή γεωγραφικών συντεταγμένων είτε καρτεσιανών. Αν και είναι εξαιρετικά σημαντική και πολύτιμη η γνώση της θέσης που γίνεται ένα ατύχημα, δεν έχει θεσπιστεί ακόμη η υποχρεωτικότητα καταγραφής της στα Δ.Ο.Τ.Α. στην Ελλάδα.

Σε αστικό περιβάλλον καταγράφονται οι διευθύνσεις των οδών, οι οποίες αποτελούν μια σχετικά αξιόπιστη πληροφορία θέσης και μπορούν να μετατραπούν σε συντεταγμένες. Σε υπεραστικές οδούς, είτε εθνικές είτε επαρχιακές, η μόνη σχετική πληροφορία θέσης που υπάρχει στην φόρμα καταγραφής των Δ.Ο.Τ.Α. είναι η Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.), δηλαδή η απόσταση σε χιλιόμετρα κατά μήκος ενός άξονα ξεκινώντας από ένα σταθερό σημείο, την αφετηρία συνήθως του εκάστοτε άξονα.

Οι Χ.Θ. στο Εθνικό Οδικό Δίκτυο αναγράφονται στους Χιλιομετρικούς δείκτες, που είναι οι πληροφοριακές πινακίδες Π15 ή Π16 (Εικόνα 4.5), αποτελούν τμήμα της κατακόρυφης σήμανσης της οδού και τοποθετούνται πλευρικά και στα δυο ρεύματα κυκλοφορίας. Στην Ελλάδα, αν και οι νεότεροι αυτοκινητόδρομοι έχουν συνεχή χιλιομετρική δεικτοδότηση (π.χ. Ιονία Οδός, Αττική Οδός, Εγνατία Οδός, κ.λπ), δεν ισχύει ωστόσο το ίδιο για τα παλαιότερα τμήματα του Εθνικού οδικού δικτύου.

Στο αρχείο δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ «trox_kriti_2000_2020.xls» περιλαμβάνεται η μεταβλητή της Χ.Θ. (πεδίο «KILOMETERS_NR»), αν και δεν καταγραφεί η τιμή της για όλα τα περιστατικά οδικών τροχαίων ατυχημάτων που υπάρχουν στον πίνακα. Επομένως, το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε ώστε να εντοπιστούν αρχικά οι εγγραφές του πίνακα που αφορούν τον ΒΟΑΚ και στην συνέχεια να εξετασθεί

αν οι αναγραφόμενες Χ.Θ., οι οποίες αποτελούν περιγραφική πληροφορία μπορούσαν να μετατραπούν σε γεωγραφική πληροφορία. Το αρχείο που είναι σε μορφή πίνακα excel εισήχθη σε περιβάλλον ArcGIS και μετατράπηκε σε αρχείο πίνακα dbase, για να γίνει η διαχείριση του μεσώ Σ.Γ.Π.



Εικόνα 4.5: Πληροφοριακές πινακίδες Π15 (αριστερά) & Π16 (δεξιά)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο ΒΟΑΚ σύμφωνα με το «Μητρώο Εθνικών Οδών» της ΕΛΣΤΑΤ έχει δυο κωδικούς, 090α για το τμήμα από την Κίσσαμο Χανίων έως τον Αγ. Νικόλαο Λασιθίου και σε 090β για το τμήμα από τον Αγ. Νικόλαο έως την Σητεία. Έτσι με βάση αυτούς τους δυο κωδικούς, διαχωρίστηκαν οι εγγραφές από το αρχικό αρχείο που περιελάμβανε 6.658 εγγραφές συμβάντων οδικών τροχαίων για όλη την Κρήτη, από την 01/01/2000 έως την 31/12/2020. Προέκυψε ότι από το σύνολο των τροχαίων, τα 920 περιστατικά αφορούσαν τον ΒΟΑΚ. Στην συνέχεια διερευνήθηκε το πεδίο της Χ.Θ. για τις αντίστοιχες εγγραφές. Από τις 920 εγγραφές βρέθηκε ότι οι 855 είχαν έγκυρη τιμή στο πεδίο της Χ.Θ. Οι υπόλοιπες εγγραφές είτε δεν είχαν καμία τιμή στο πεδίο αυτό, είτε είχαν τιμές άκυρες, όπως 9999.

Για τον γεωγραφικό εντοπισμό αυτών των 855 ατυχημάτων, αρχικά διαχωρίστηκαν οι εγγραφές ανά Περιφερειακή Ενότητα με βάση τον αντίστοιχο γεωγραφικό κωδικό τόπου ατυχήματος (πεδίο GEOCODE_ACC_CL). Στην συνέχεια έγινε σύνδεση των εγγραφών με βάση τους κωδικούς των αστυνομικών τμημάτων με το Μητρώο των Αστυνομικών Αρχών, για να εντοπιστεί ποιο αστυνομικό τμήμα ή τμήμα τροχαίας κατέγραψε το εν λόγω ατύχημα.

4.3.2. Διερεύνηση τρόπου καταγραφής Χ.Θ. ατυχημάτων

Ο ΒΟΑΚ εποπτεύεται από την Τροχαία ΒΟΑΚ, η οποία δημιουργήθηκε με Προεδρικό Διάταγμα τον Μάιο του 2011 (ΦΕΚ 112/Α/17-5-2011) και αποτελείται από 4 τμήματα, αρμόδια το κάθε ένα αντίστοιχα για την κάθε Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης. Πριν το 2011 τα τροχαία του ΒΟΑΚ καταγράφονταν είτε από το τμήμα Τροχαίας είτε από τοπικά Αστυνομικά τμήματα. Για να διασαφηνιστεί ο τρόπος με τον οποίο οι αρμόδιες αστυνομικές αρχές καταγράφουν την Χ.Θ. ενός ατυχήματος στον ΒΟΑΚ, πραγματοποιήθηκε τηλεφωνική επικοινωνία με όσα τμήματα είχαν καταγράψει ατύχημα μέσα στην περίοδο ενδιαφέροντος.

Επιβεβαιώθηκε έτσι ότι οι Χ.Θ. που καταγράφονται στα Δ.Ο.Τ.Α. από τις αρχές, γίνεται με βάση κυρίως τους χιλιομετρικούς δείκτες που υπάρχουν στο μεγαλύτερο μήκος το ΒΟΑΚ. Συγκεκριμένα η Τροχαία ΒΟΑΚ Χανίων και η αντίστοιχη

Ρεθύμνου ακολουθούν τους Χιλιομετρικούς δείκτες, ενώ τα αντίστοιχα τμήματα Ηρακλείου και Λασιθίου κάνουν την καταγραφή με βάση κάποια χαρακτηριστικά σημεία (όπως γέφυρες, κόμβους, εκκλησίες, κ.λπ.) στα οποία η Χ.Θ. είναι γνωστή και εξαρτώνται από αυτά για να υπολογίσουν περίπου την αντίστοιχη Χ.Θ. του εκάστοτε ατυχήματος. Επομένως η ακρίβεια με την οποία καταγράφηκε η Χ.Θ. ενός ατυχήματος, είναι άμεσα συνυφασμένη με την εκτίμηση του υπαλλήλου τροχαίας που κατέγραψε το περιστατικό.

Με βάση τις πληροφορίες που αντλήθηκαν από την Τροχαία ΒΟΑΚ Χανίων, η επίσημη χιλιομέτρηση του ΒΟΑΚ διαιρείται σε δύο τμήματα με κοινή αφετηρία την πόλη των Χανίων. Το πρώτο τμήμα είναι από τα Χανιά έως την Σητεία και το δεύτερο τμήμα είναι από τα Χανιά έως την Κίσσαμο. Η αφετηρία της χιλιομέτρησης και των χιλιομετρικών δεικτών αντίστοιχα, βρίσκεται ανάμεσα στον Ανισόπεδο Κόμβο (Α.Κ.) Βαμβακόπουλου και τον Α.Κ. Μουρνιών. Με βάση την χάραξη του ΒΟΑΚ υλοποιήθηκε ενιαία χιλιομέτρηση για κάθε ένα από τα δύο τμήματα του άξονα. Έτσι το πρώτο τμήμα χαρακτηρίζεται από την Τροχαία Χανίων «Εθνική Οδός Χανίων – Κίσσαμου» με Χ.Θ. από 0+000 έως Χ.Θ. 33+000 περίπου, ενώ το δεύτερο «Εθνική Οδός Χανίων – Ρεθύμνου» (μέχρι τα σύνορα με την Π.Ε. Ρεθύμνου), Χ.Θ. 0+000 – Χ.Θ. 42+000 περίπου. Σύμφωνα με αυτή την ονοματολογία καταγράφονται τα τροχαία ατυχήματα στο τμήμα του ΒΟΑΚ που διατρέχει τα Χανιά. Η χιλιομέτρηση συνεχίζεται από τα όρια της Π.Ε. Ρεθύμνου έως τον Άγιο Νικόλαο (Χ.Θ. 197+000 περίπου), όπου τελειώνει ο 090α και ξεκινάει ο 090β. Συγκεκριμένα στην Π.Ε. Ρεθύμνου το εύρος χιλιομέτρησης του ΒΟΑΚ είναι περίπου Χ.Θ.42+000 – Χ.Θ.108+500, στην Π.Ε. Ηρακλείου Χ.Θ.108+500 – Χ.Θ.173+500 και στην Π.Ε. Λασιθίου Χ.Θ.173+500 - Χ.Θ.197+000 για την 090α και Χ.Θ.0+000 - Χ.Θ. 71+000 για την 090β (έως το λιμένα Σητείας).

4.4. Καταγραφή Χιλιομετρικών Δεικτών & Εντοπισμός Τροχαίων

4.4.1. Μεθοδολογικό πλαίσιο

Δεδομένων των παραπάνω στοιχείων, για την σύνδεση των Χ.Θ. των τροχαίων με την πραγματική τους θέση στο χώρο, ήταν αναγκαίος ο εντοπισμός των χιλιομετρικών δεικτών στον ΒΟΑΚ κοντά στις Χ.Θ. των υπόψη ατυχημάτων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Street View του Google Maps.

Πιο συγκεκριμένα, το Street View του Google Maps επιτρέπει στους χρήστες να εξερευνήσουν και να περιηγηθούν σε μια περιοχή, μέσω πανοραμικών φωτογραφιών που έχουν τραβηχτεί από το επίπεδο του εδάφους. Τα οχήματα του Street View διαθέτουν ειδικές κάμερες που πραγματοποιούν λήψη φωτογραφιών, ενώ κινούνται στο δρόμο. Μετά τη λήψη τους, οι φωτογραφίες υπόκεινται σε επεξεργασία μέσω υπολογιστή και προετοιμάζονται για να χρησιμοποιηθούν στο Google Maps. Παράλληλα μπορεί να γίνει θέαση του ίδιου σημείου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές εφόσον υπάρχει προηγούμενη φωτογραφική κάλυψη της περιοχής.

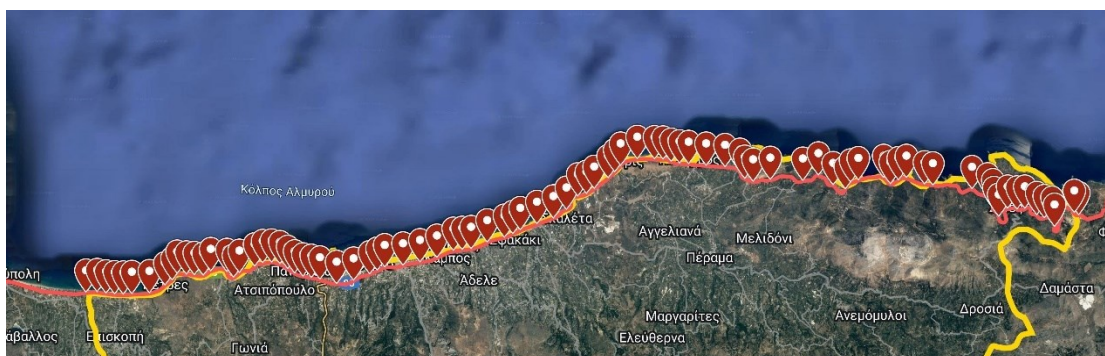
Με αφετηρία τον Α.Κ. Βαμβακόπουλου στην κατεύθυνση Χανιά - Ρέθυμνο αναζητήθηκαν με το Street View οι πινακίδες Π15 ή Π16. Η φωτογραφική κάλυψη του

ΒΟΑΚ κατά την χρονική περίοδο που πραγματοποιήθηκε αυτή η εργασία (Νοέμβριος 2022) είναι κυρίως από τον Μάιο του 2019. Ο πρώτος χιλιομετρικός δείκτης που εντοπίστηκε αντιστοιχεί στο 1ο χλμ του ΒΟΑΚ (Εικόνα 4.6). Το σημείο αυτό αποτέλεσε την αφετηρία και με γνώμονα την χιλιομετρική απόσταση 1χλμ ή 500μ συνεχίστηκε ο εντοπισμός των ζητούμενων πινακίδων, εστιάζοντας κάθε φορά στο σημείο που ήταν αναμενόμενη η ύπαρξη τους βάσει της απόστασης.



Εικόνα 4.6: Εντοπισμός δυο πρώτων χιλιομετρικών δεικτών επι του ΒΟΑΚ, στην Π.Ε. Χαλκίδας

Για την καταγραφή των θέσεων τόσο των χιλιομετρικών δεικτών που εντοπίζονταν όσο και των ατυχημάτων που θα χωροθετούνταν σε επόμενη φάση, και την συγκέντρωσή τους σε ένα χάρτη χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Google My Maps. Με την εφαρμογή αυτή ο χρήστης μπορεί να φτιάξει στο διαδίκτυο προσαρμοσμένους χάρτες, να τους μοιραστεί με άλλους χρήστες, να αποθηκεύσει στοιχεία, όπως σημεία, πολύγωνα, διαδρομές, να εισάγει και να εξάγει kml, kmz και csv αρχεία για τα επίπεδα του χάρτη. Για κάθε Π.Ε. δημιουργήθηκε ένας χάρτης Google My Maps όπου καταγράφονταν όλες οι θέσεις χιλιομετρικών δεικτών που εντοπίζονταν (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7: Απόσπασμα χάρτη My Google Maps με τις θέσεις που εντοπίστηκαν χιλιομετρικοί δείκτες κατά μήκος του ΒΟΑΚ για την Π.Ε. Ρεθύμνου

4.4.2. Περιφερειακή Ενότητα Χανίων

Οι χιλιομετρικοί δείκτες που εντοπίστηκαν στην Π.Ε. Χανίων στην «Εθνική Οδό Χανίων – Ρεθύμνου», ξεκινούν από το 1ο χλμ και με συχνότητα 500μ συνεχίζονται μέχρι τα σύνορα με το Ρέθυμνο. Ο τελευταίος χιλιομετρικός δείκτης που βρέθηκε εντός της Π.Ε. Χανίων είναι στην Χ.Θ. 42+000. Συνολικά καταγράφηκαν 56 πινακίδες σχετικές με τις θέσεις στις οποίες αναφέρονται ατυχήματα. Δεν καταγράφηκε το σύνολο των πινακίδων που υπήρχαν, αφού η καταγραφή αυτών δεν αποτελεί τον αντικειμενικό σκοπό της εργασίας.

Η καλή κατάσταση των πινακίδων που βρέθηκαν οδηγεί στο συμπέρασμα της πρόσφατης τοποθέτησής τους. Το γεγονός επιβεβαιώθηκε και από την θέαση παλαιότερων φωτογραφικών λήψεων που ήταν διαθέσιμες στο Street View στην ίδια θέση (Ιούλιο του 2014 & Σεπτέμβριο του 2011), όπου στις πιο πολλές θέσεις που ελέγχθηκαν δεν υπήρχαν αντίστοιχοι δείκτες παλιότερα. Στις λίγες περιπτώσεις που βρέθηκαν οι αντίστοιχοι δείκτες από παλαιότερες λήψεις, ήταν σε πολύ κακή κατάσταση (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8: Χιλιομετρικοί δείκτες στην Π.Ε. Χανίων, Χ.Θ.18+000 του ΒΟΑΚ, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, αριστερά: Μάιος 2019, δεξιά: Σεπτέμβριος 2011

Στο 2ο τμήμα του ΒΟΑΚ που διατρέχει τα Χανιά, «Εθνική Οδός Χανίων – Κίσσαμου», δεν βρέθηκαν καθόλου χιλιομετρικοί δείκτες. Παράλληλα, στα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ, δεν καταγράφεται σε ποια από τις δυο Ε.Ο. (Χανίων – Κισσάμου ή Χανίων – Ρεθύμνου) συνέβη το τροχαίο, παρότι όπως βεβαιώθηκε από την Τροχαία Χανίων ΒΟΑΚ, η πληροφορία καταγράφεται στα ΔΟΤΑ. Για το λόγο αυτό, και εφόσον δεν βρέθηκε κάποιο άλλο στοιχείο που να υποδείξει ποια από τα ατυχήματα της Π.Ε. Χανίων ανήκουν είτε στο ένα είτε στο άλλο τμήμα, έγινε η παραδοχή ότι όλα τα ατυχήματα συνέβησαν στην Ε.Ο. Χανίων – Ρεθύμνου, η οποία έχει μεγαλύτερο μήκος και μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο.

Αφού εντοπίστηκαν οι χιλιομετρικοί δείκτες στην Π.Ε. Χανίων, η τοποθέτηση των Χ.Θ. των τροχαίων ατυχημάτων πάνω στον άξονα του ΒΟΑΚ υλοποιήθηκε με εξάρτηση από τους πλησιέστερους δείκτες κατά περίπτωση, μετρώντας την χιλιομετρική απόστασή τους στο Google My Maps, όπου και καταγράφηκε η θέση τους.

4.4.3. Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου

Στην Π.Ε. Ρεθύμνου οι πινακίδες που βρέθηκαν καλύπτουν όλο το μήκος του ΒΟΑΚ εντός αυτής, τοποθετημένες ανά 500μ, και είναι αρκετά ευδιάκριτες. Όπως και στην Π.Ε. Χανίων έτσι και στην Π.Ε. Ρεθύμνου, οι πινακίδες που εντοπίστηκαν ήταν σε καλή κατάσταση, ελάχιστες ήταν πεσμένες, ή δεν εντοπίστηκαν ίσως λόγω κάλυψης τους από την βλάστηση (Εικόνα 4.9). Ο τελευταίος χιλιομετρικός δείκτης που εντοπίζεται στην Π.Ε. Ρεθύμνου είναι στην Χ.Θ. 108+000. Από την ιστορική αναζήτηση των φωτογραφικών λήψεων του Street View, φάνηκε πως υπήρχαν χιλιομετρικοί δείκτες από το 2011 με αντίστοιχη κάλυψη ανά 500μ. σε καλή κατάσταση. Συνολικά καταγράφηκαν 88 πινακίδες σχετικές με ατυχήματα, ωστόσο, όπως και στα Χανιά, υπήρχαν περισσότερες.



Εικόνα 4.9: Χιλιομετρικός δείκτης στην Χ.Θ.11+000, κρυμμένος από την βλάστηση & στην Χ.Θ.56+000, σχεδόν πεσμένος

Οι γεωγραφικές θέσεις των τροχαίων ατυχημάτων στην Π.Ε. Ρεθύμνου εντοπίστηκαν, όπως και στην Π.Ε. Χανίων, με εξάρτηση των Χ.Θ. τους από τους πλησιέστερους χιλιομετρικούς δείκτες σε αυτά, με βάση την χιλιομετρική τους απόσταση επι του ΒΟΑΚ.

4.4.4. Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου

Στην Π.Ε. Ηρακλείου οι χιλιομετρικοί δείκτες που συνεχίζονται από το Ρέθυμνο, σταματούν στην Χ.Θ. 151+500. Στην θέση αυτή εντοπίζεται η αφετηρία της αναβάθμισης του τμήματος Γουρνές – Χερσόνησος.

Το τμήμα Γουρνές – Χερσόνησος άρχισε να κατασκευάζεται το 2012 και το μεγαλύτερο του τμήμα παραδόθηκε τον Απρίλιο του 2018 (efsyn.gr, 2018), έχει μήκος 9χλμ και ανήκει στα 51χλμ αυτοκινητόδρομου που διαθέτει η Κρήτη. Η απουσία χιλιομετρικών δεικτών φαίνεται να οφείλεται στην αποξήλωση τους κατά την

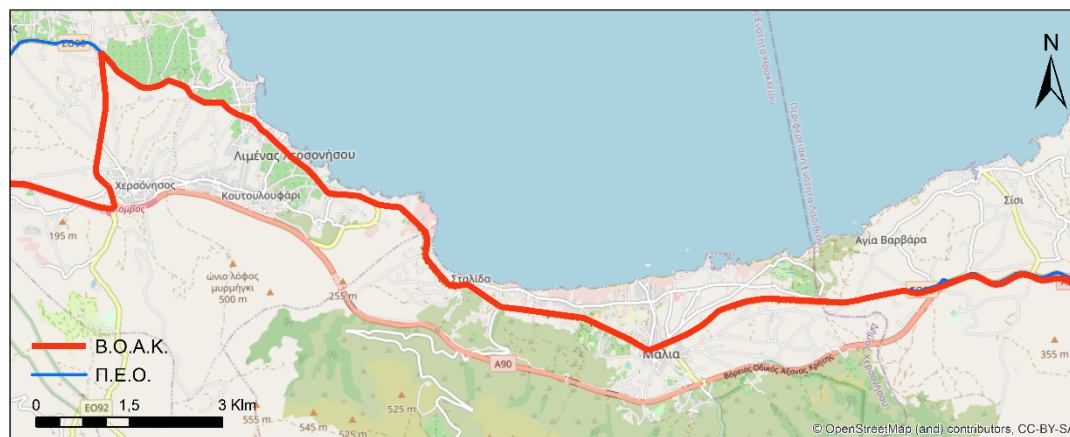
περίοδο υλοποίησης του έργου, μετά την ολοκλήρωση του οποίου δεν τοποθετήθηκαν νέοι.

Από το πέρας της αναβάθμισης του τμήματος Γουρνές – Χερσόνησος, ξεκινούν και τα τμήματα νεότερων χαράξεων. Χιλιομετρικοί δείκτες δεν βρέθηκαν ούτε κατά μήκος των νέων τμημάτων.

Κατά την έρευνα της περιοχής μελέτης στην συγκεκριμένη Π.Ε. βρέθηκε ότι μέσα στην περίοδο ενδιαφέροντος, 2000 – 2020, δόθηκαν στην κυκλοφορία δυο τμήματα νέας χάραξης. Έτσι, για να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής ο χωρικός εντοπισμός των ατυχημάτων έπρεπε να εξεταστούν και τα τμήματα της Παλαιάς Εθνικής Οδού (Π.Ε.Ο.) που πριν την παράδοση των νέων τμημάτων ήταν αυτά τμήμα του ΒΟΑΚ.

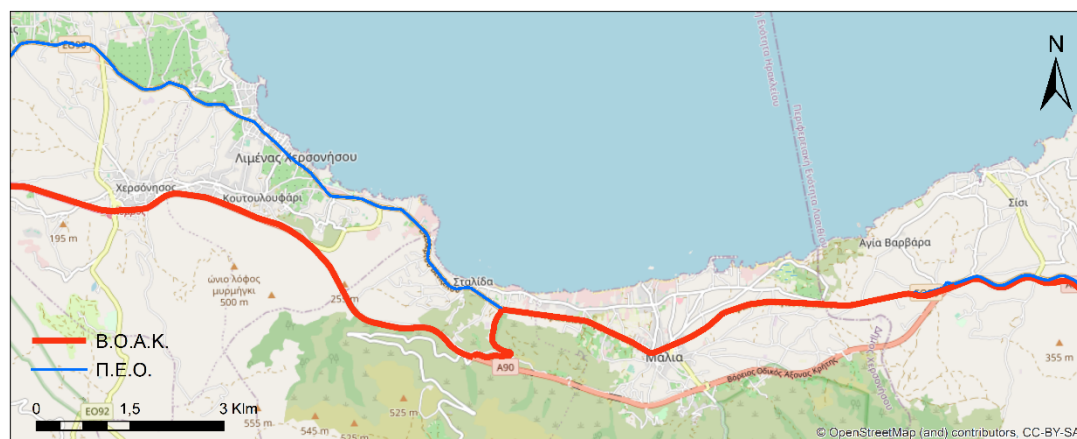
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα τμήματα Χερσόνησος – Σταλίδα (από Α.Κ. Χερσονήσου έως Ι.Κ. Μοχού ή Σταλίδας) και το αμέσως επόμενο τμήμα Παράκαμψης Μαλλίων (από Ι.Κ. Μοχού ή Σταλίδας έως τον Ι.Κ. Ταρμάρου), δεν είχαν δοθεί σε κυκλοφορία πριν από τις 26/09/2003, όπου παραδόθηκε το τμήμα Χερσόνησος – Σταλίδα. Έτσι διακρίθηκαν 3 περιοχές για 3 διαφορετικές περιόδους, κάνοντας την βασική παραδοχή ότι τα νέα μήκη χαράξεων δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από το παλιό αντίστοιχο μήκος και επομένως η χιλιομέτρηση δεν αλλάζει σημαντικά από την Π.Ε.Ο. στα νέα τμήματα:

- 01/01/2000 - 26/09/2003: από τον Α.Κ. Χερσονήσου (Χ.Θ.160+000) έως τον Ι.Κ. Ταρμάρου (Χ.Θ.176+000, σύνορα Π.Ε. Ηρακλείου - Λασιθίου) τα ατυχήματα συνέβησαν στην σημερινή Π.Ε.Ο. (Εικόνα 4.10).



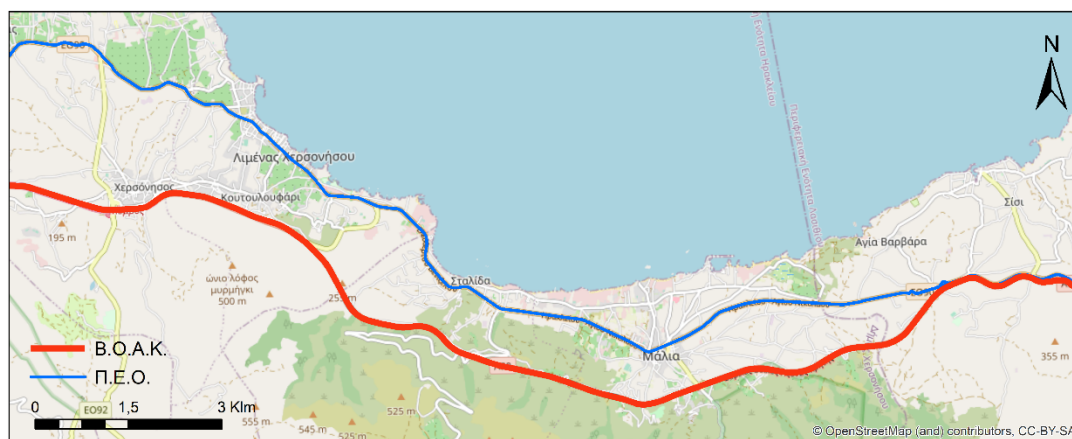
Εικόνα 4.10: Θεώρηση χάραξης Β.Ο.Α.Κ. πριν τις 26/09/2003, για την απόδοση των ατυχημάτων από 01/01/2000

- 26/09/2003 - 21/03/2012: η κυκλοφορία από τον Α.Κ. Χερσονήσου (Χ.Θ.160+000) έως τον Ι.Κ. Μοχού ή Σταλίδας (Χ.Θ.167+000) εξυπηρετείται από το νέο τμήμα, ενώ μετά την Χ.Θ. 167+000 η σημερινή Π.Ε.Ο. συνεχίζει να εξυπηρετεί την κυκλοφορία μέχρι τον Ι.Κ. Ταρμάρου (Χ.Θ.176+000). Τα ατυχήματα τοποθετήθηκαν αντίστοιχα (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Θεώρηση χάραξης Β.Ο.Α.Κ. από 26/09/2003 έως 21/03/2012, για την απόδοση των ατυχημάτων

- 21/03/2012 – 31/12/2020: παραδίδεται στην κυκλοφορία και η Παράκαμψη Μαλλίων, άρα η κυκλοφορία από Χ.Θ.160+000 έως 176+000, γίνεται εξ' ολοκλήρου στην Νέα Εθνική Οδό (Ν.Ε.Ο.). Τα ατυχήματα της περιόδου αυτής χωροθετήθηκαν ανάλογα (Εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.12: Θεώρηση χάραξης Β.Ο.Α.Κ. από 21/03/2012 και έπειτα, για την απόδοση των ατυχημάτων, σημερινή κατάσταση

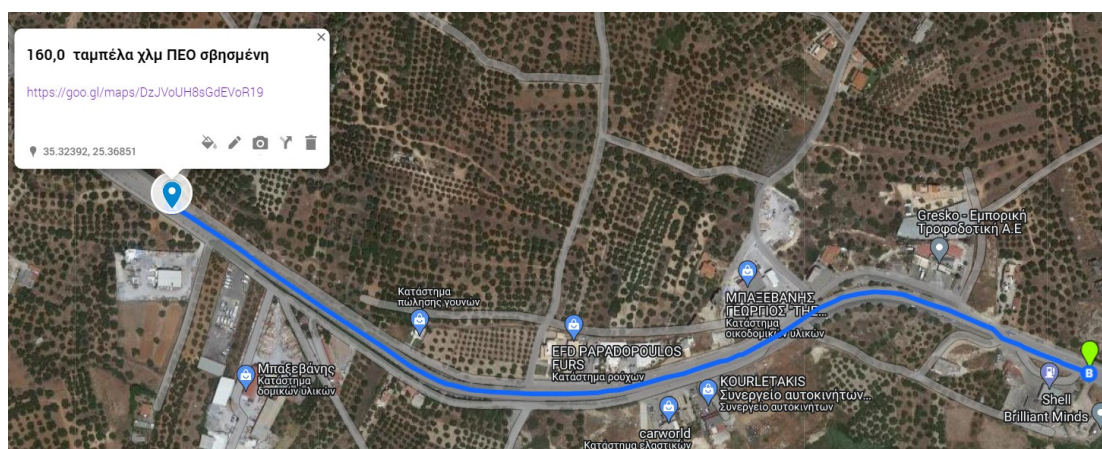
Χιλιόμετρικοί δείκτες δεν βρέθηκαν, όπως προαναφέρθηκε στα τμήματα νέων χαράξεων. Βρέθηκαν όμως στην Παλαιά Εθνική Οδό (Π.Ε.Ο) όπου η χιλιόμετρηση συνεχιζόταν από τον τελευταίο δείκτη που εντοπίστηκε, στην Χ.Θ. 151+500, πριν την αρχή του τμήματος Γουρνές – Χερσόνησος. Συγκεκριμένα βρέθηκαν 5 χιλιόμετρικοί δείκτες από την Χ.Θ.156+000 έως την Χ.Θ.160+000.



Εικόνα 4.13: Χιλιομετρικοί δείκτες στην Χ.Θ.156+000 στην Π.Ε.Ο. εκατέρωθεν των δυο ρευμάτων κυκλοφορίας

Επομένως, ατυχήματα που συνέβησαν στην Π.Ε.Ο. βάσει ημερομηνίας, εξαρτήθηκαν από τους χιλιομετρικούς δείκτες που βρέθηκαν στην Π.Ε.Ο. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι, οι Χ.Θ. που προέκυπταν μετρώντας την σχετική χιλιομετρική απόσταση από τον τελευταίο δείκτη της Π.Ε.Ο. βρέθηκαν να συμπίπτουν με τα χαρακτηριστικά σημεία γνωστών Χ.Θ. όπως είχαν δοθεί από την Τροχαία ΒΟΑΚ Ηρακλείου. Για παράδειγμα δόθηκε ότι το 161ο χλμ έχει την επισήμανση “SHELL”, μετρώντας την χιλιομετρική απόσταση 1χλμ από τον δείκτη του 160^{ου} χλμ υπάρχει όντως ένα βενζινάδικο. Αντίστοιχα δόθηκε ότι το 169ο χλμ έχει την επισήμανση “Διασταύρωση ξενοδοχείων ΑΡΜΟΝΙΑ - ΙΚΑΡΟΣ”, και όντως μετρώντας 9χλμ επι της Π.Ε.Ο. από τον δείκτη στο 160ο χλμ, βρίσκεται ένα εκ των αντίστοιχων ξενοδοχείων. Η παραπάνω σύμπτωση των σημείων αποδεικνύει ότι ακόμα και αν δεν υπήρχαν σχετικά κοντινοί δείκτες, η εξάρτηση από τους προηγούμενους οδήγησε στην σωστή θεωρητικά θέση.

Οι θέσεις των ατυχημάτων στα νεότερα τμήματα του ΒΟΑΚ εξαρτήθηκαν από τον τελευταίο δείκτη που βρέθηκε στην Χ.Θ. 151+500, με γνώμονα την πραγματική χιλιομετρική τους απόσταση από αυτόν. Τα ατυχήματα που συνέβησαν πριν το 151,5 χλμ, χωροθετήθηκαν μετρώντας την χιλιομετρική τους απόσταση από τους εγγύτερους χιλιομετρικούς δείκτες.



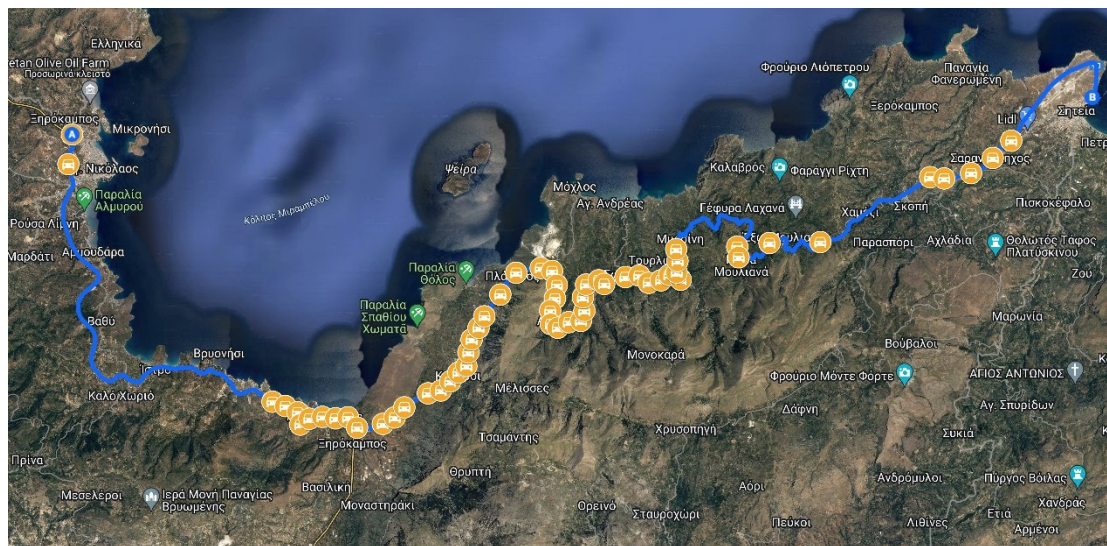
Εικόνα 4.14: Μέτρηση χιλιομετρικής απόστασης 1χλμ από τον χιλιομετρικό δείκτη 160+000 και εύρεση του αντίστοιχου 161ου χλμ μπροστά σε βενζινάδικο

4.4.5. Περιφερειακή Ενότητα Λασιθίου

Λίγο πριν τον Ι.Κ. Τάρμαρου και το τέλος των νέων χαράξεων, ο ΒΟΑΚ εισέρχεται στην Π.Ε. Λασιθίου, όπου εντοπίζεται ο πρώτος, εντός της Π.Ε. αυτής, χιλιομετρικός δείκτης στην Χ.Θ. 176+000. Μέχρι τον Ι.Κ. Αγίου Νικολάου (ή Ξηροκάμπου) Χ.Θ.197+000 περίπου, που θεωρείται ότι τελειώνει το τμήμα του ΒΟΑΚ το οποίο χαρακτηρίζεται ως 090α, βρέθηκαν 24 χιλιομετρικοί δείκτες, με τον τελευταίο να εντοπίζεται στην Χ.Θ. 195+000.

Στον Ι.Κ. Ξηροκάμπου ξεκινάει το τμήμα του ΒΟΑΚ που σύμφωνα με το Μητρώο Εθνικών Οδών της ΕΛΣΤΑΤ ονομάζεται 090β και η χιλιομέτρηση του οποίου ξεκινάει από το μηδέν στο τέλος του 090α. Το γεγονός επιβεβαιώνεται από τις πινακίδες που βρέθηκαν επι του τμήματος αυτού και δείχνουν ότι η χιλιομέτρηση έχει νέα αρίθμηση. Το τμήμα 090β καταλήγει στο λιμάνι της Σητείας και με βάση τον τελευταίο χιλιομετρικό δείκτη που εντοπίστηκε έχει μήκος 71χλμ περίπου (έως το Λιμένα Σητείας).

Στον 090β βρέθηκαν συνολικά 57 χιλιομετρικοί δείκτες (Εικόνα 4.15), με τους δυο πρώτους να εντοπίζονται στη Χ.Θ.1+000 και στη Χ.Θ.17+500 και την τελευταία στη Χ.Θ. 65+000. Με βάση τις καταγραφές των Χ.Θ. των ατυχημάτων φαίνεται ότι ενώ τα περισσότερα έχουν καταγραφεί με την χιλιομέτρηση που ισχύει για τον 090β, υπάρχουν και κάποια ατυχήματα που έχουν καταγραφεί με χιλιομέτρηση που συνεχίζεται από τον 090α, δηλαδή με Χ.Θ. μεγαλύτερες από 195+000. Σε κάθε περίπτωση μετρήθηκε η σχετική χιλιομετρική απόσταση για τον ορθότερο εντοπισμό οποιασδήποτε θέσης ενδιαφέροντος.



Εικόνα 4.15: Εθνική Οδός 090β (ΒΟΑΚ) από τον Ι.Κ. Ξηροκάμπου έως το Λιμάνι της Σητείας, Εντοπισμός Χιλιομετρικών Δεικτών (υπόβαθρο Google Maps)

Το τρίτο και τελευταίο τμήμα νέας χάραξης που κατασκευάστηκε μέσα στο χρονικό διάστημα που εξετάζεται στην παρούσα ΜΔΕ, βρίσκεται στην Π.Ε. Λασιθίου, ξεκινάει από τον νέο Α.Κ. Αγίου Νικολάου και καταλήγει στο ύψος του οικισμού

«Καλό Χωριό» (Ι.Κ. Καλού Χωριού). Έχει συνολικό μήκος 9χλμ περίπου και δόθηκε στην κυκλοφορία στις 17/01/2015 (Καραγιάννης, 2015). Όπως και στην περίπτωση των νέων χαραξέων στην Π.Ε. Ηρακλείου, έτσι και εδώ τα μήκη παλαιάς και νέας χάραξης δεν διαφέρουν σημαντικά, και για αυτό θεωρείται ότι η χιλιόμετρηση δεν αλλάζει είτε στο παλαιό τμήμα είτε στο νέο.

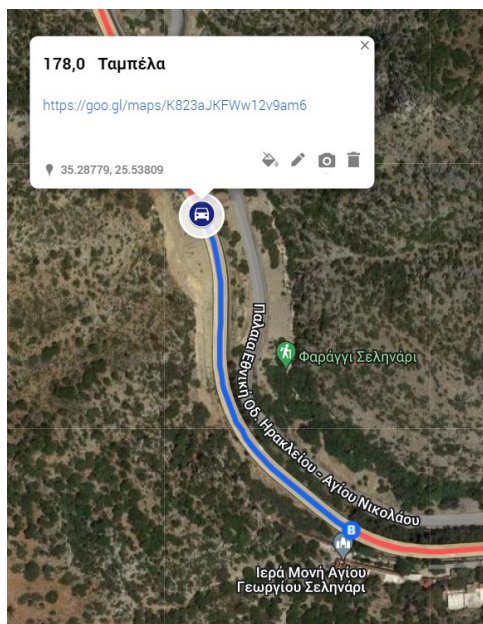
Για την ορθότερη απόδοση της θέσης των ατυχημάτων στην περιοχή της νέας χάραξης χωρίστηκαν 2 περίοδοι, πριν την παράδοση του νέου τμήματος και μετά. Επομένως τα τροχαία ατυχήματα που συνέβησαν πριν τις 17/01/2015 αποδόθηκαν στο τμήμα της Π.Ε.Ο. που έως τότε ανήκε στον ΒΟΑΚ, και μετά από αυτή την ημερομηνία στο νέο τμήμα (Ν.Ε.Ο.) (Εικόνα 4.16).

Σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης των τροχαίων στην Π.Ε. Λασιθίου, είτε στο 090α είτε στο 090β, έγινε όπως και στις προηγούμενες Π.Ε. , με εξάρτηση από τους κοντινότερους σε κάθε περιστατικό χιλιομετρικούς δείκτες, με βάση την χιλιομετρική απόσταση επι του ΒΟΑΚ όπως μετράται στο Google Maps.

Τέλος, επισημαίνεται το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά σημεία γνωστών Χ.Θ. που χρησιμοποιούνται από την Τροχαία ΒΟΑΚ Λασιθίου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την εξάρτηση και καταγραφή της Χ.Θ. του εκάστοτε τροχαίου ατυχήματος, συμφωνούν με τις αναγραφές στους χιλιομετρικούς δείκτες που βρέθηκαν πλησίον αυτών των σημείων. Για παράδειγμα δόθηκε ότι το 178ο χλμ έχει την επισήμανση “Ιερά Μονή Σεληναρίου”, και ο χιλιομετρικός δείκτης με την αντίστοιχη επιγραφή, απέχει 350μ από την περιοχή που συνορεύει ο Ιερός Ναός με τον ΒΟΑΚ (Εικόνα 4.17). Αντίστοιχα, το 182ο χλμ έχει την επισήμανση «Σήραγγα Βραχασίου», και ο αντίστοιχος χιλιομετρικός δείκτης βρίσκεται 100 πριν το στόμιο της σήραγγας.



Εικόνα 4.16: Παλαιά και Νέα χάραξη Β.Ο.Α.Κ. στο τμήμα «Αγ. Νικόλαος – Καλό Χωριό» που δόθηκε σε κυκλοφορία στις 17/01/2015



Εικόνα 4.17: Μέτρηση χιλιομετρικής απόστασης 350μ από τον χιλιομετρικό δείκτη 178+000 έως την Ι.Μ. Σεληναρίου

Η παραπάνω σύμπτωση των σημείων αποδεικνύει ότι τα χαρακτηριστικά σημεία γνωστών Χ.Θ. που χρησιμοποιούν οι αρχές, έχουν προκύψει με βάση την χιλιομέτρηση που ακολουθούν και οι χιλιομετρικοί δείκτες. Επομένως ο γεωγραφικός εντοπισμός των ατυχημάτων με βάση τους χιλιομετρικούς δείκτες οδηγεί στην σωστή θεωρητικά θέση.

4.5. Δημιουργία Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων

Στα ΣΓΠ τα θεματικά και τα χωρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων συνδέονται προκειμένου να είναι δυνατή η πλήρης εποπτεία κάθε οντότητας και η διατύπωση ποικίλων ερωτημάτων. Στην παρούσα ΜΔΕ οι γεωγραφικές οντότητες που εξετάζονται είναι ο ΒΟΑΚ και οι σημειακές οντότητες των τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος αυτού (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Για να είναι δυνατή η συσχέτιση της γεωγραφικής θέσης των ατυχημάτων με τα περιγραφικά δεδομένα που συλλέχθηκαν σε μορφές πινάκων, ήταν απαραίτητη η δημιουργία μιας Βάσης Γεωγραφικών Δεδομένων. Μια βάση γεωγραφικών δεδομένων (ΒΓΔ) αποτελεί μια συλλογή συσχετιζόμενων δεδομένων όπως και μια απλή βάση δεδομένων (ΒΔ), διαφέρει όμως στα κύρια δεδομένα της, τα οποία συνδέονται με μια συγκεκριμένη θέση στον γεωγραφικό χώρο μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων (Κάβουρας, Δάρρα, Κονταξάκη, & Τομαή, 2016).

Τα περιγραφικά δεδομένα που ελήφθησαν από την ΕΛΣΤΑΤ με την μορφή πινάκων, προ επεξεργάστηκαν στο ArcGIS όπως αναφέρθηκε στην §4.3.1. για να διαχωριστούν μόνο τα δεδομένα που αφορούν τον ΒΟΑΚ και να προκύψουν εγγραφές με έγκυρες Χ.Θ.

Οι γεωγραφικές θέσεις των ατυχημάτων που καταγράφηκαν σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην §4.4. εξήχθησαν από την εφαρμογή Google My Maps σε μορφή kml, και εισήχθησαν στο λογισμικό ArcGIS. Τα kml αρχεία έχουν γεωγραφικές συντεταγμένες στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (World Geodetic System, WGS '84). Ωστόσο τα γεωχωρικά δεδομένα του οδικού δικτύου που χορηγήθηκαν από την ΔΟΥ είναι στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87. Για να είναι συμβατά τα σημειακά δεδομένα των ατυχημάτων με το οδικό δίκτυο και για την ευκολότερη διεκπεραίωση των χωρικών αναλύσεων που εφαρμόστηκαν, όπως παρουσιάζονται παρακάτω, οι γεωγραφικές θέσεις των ατυχημάτων μετασχηματίστηκαν στο ΕΓΣΑ '87.

Επομένως για την συσχέτιση των θέσεων των ατυχημάτων με τις θεματικές πληροφορίες που τα αφορούν, δημιουργήθηκε μια Βάση Γεωγραφικών Δεδομένων με το λογισμικό ArcGIS. Με γνώμονα ότι η σχέση μεταξύ των δυο αυτών επιπέδων, είναι μια σχέση ένα προς πολλά (1:ν), και με «κλειδί» σύνδεσης την Χ.Θ. των ατυχημάτων, η οποία είχε καταγραφεί στο αρχείο kml που εξήχθη από το Google My Maps και υπήρχε και στον περιγραφικό πίνακα δεδομένων, υλοποιήθηκε η σύνδεση της γεωχωρικής θέσης με την περιγραφική πληροφορία.

Η σχέση 1:ν σημαίνει πως σε κάθε μεμονωμένη Χ.Θ. μπορούν να έχουν συμβεί περισσότερα από ένα ατυχήματα. Συγκεκριμένα, τα 855 περιστατικά ατυχημάτων που εξετάστηκαν αντιστοιχούν σε 409 σημεία στο χώρο. Δηλαδή σε κάθε σημείο αντιστοιχούν περίπου 2 ατυχήματα κατά μέσο όρο.

Μετά την σύνδεση των παραπάνω συνόλων δεδομένων εντός της ΒΓΔ που δημιουργήθηκε, τα δεδομένα των ατυχημάτων έχουν αποκτήσει πλέον χωρική υπόσταση και μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτά οι επιθυμητές χωρικές αναλύσεις.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την περίπτωση του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης. Αρχικά, αναφέρεται η διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων οδικών τροχαίων ατυχημάτων που αφορούν τον ΒΟΑΚ για την χρονική περίοδο 2000 - 2020 με στατιστικές μεθόδους και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια ακολουθεί η χωρική ανάλυση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων, όπου παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν σε μορφή χαρτών.

5.1. Στατιστική Ανάλυση

Με την οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω της στατιστικής ανάλυσης υπό τη μορφή διαγραμμάτων, γραφημάτων και πινάκων μπορούν να αντληθούν σημαντικές πληροφορίες για τα ατυχήματα και να αποκτήσει ο αναγνώστης μια πρώτη γρήγορη και σαφή εικόνα για το φαινόμενο που εξετάζεται. Πληροφορίες όπως η τάση του φαινομένου, οι τραυματισμοί ή οι θάνατοι, οι συνθήκες που επικρατούσαν κατά τις ώρες των τροχαίων ατυχημάτων, κ.λπ. μπορούν να μεταδοθούν μέσω της απεικόνισης τους σε γραφήματα.

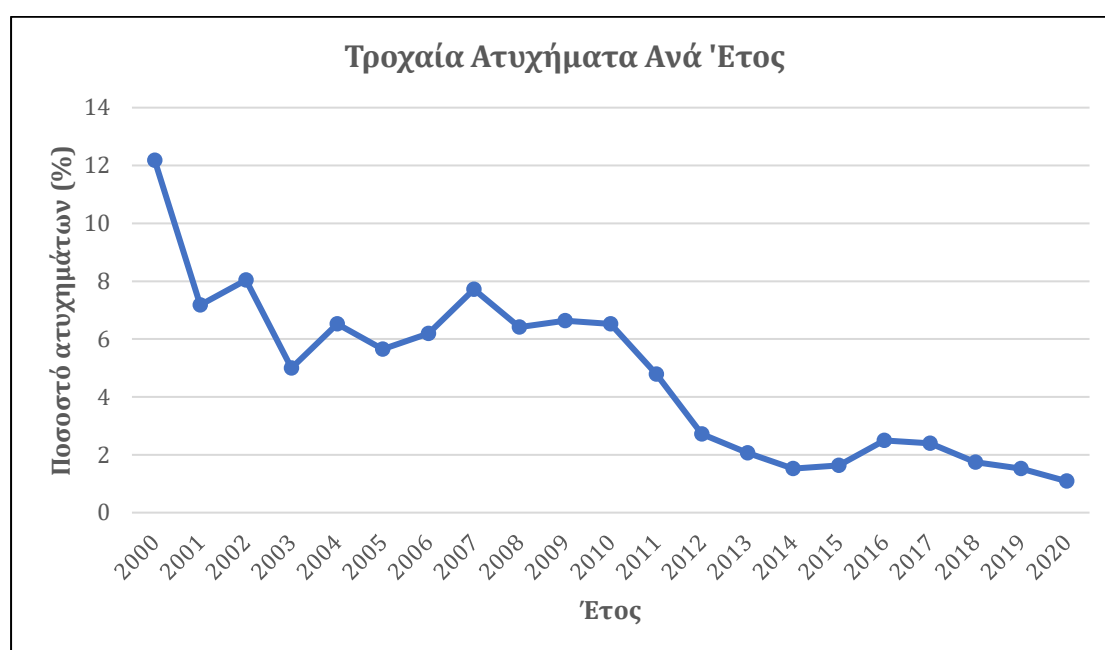
Η στατιστική ανάλυση εφαρμόστηκε σε όλα τα ατυχήματα που συνέβησαν στον ΒΟΑΚ, είτε είχαν έγκυρη Χ.Θ. είτε όχι. Τα περιστατικά αυτά είναι στο σύνολο τους 920 τροχαία οδικά ατυχήματα, και συνέβησαν στον ΒΟΑΚ από την 01/01/2000 έως την 31/12/2020. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ατυχήματα και οι παθόντες ανά έτος και τα ποσοστά αυτών.

Αρχικά εξετάστηκε η τάση του φαινομένου την περίοδο ενδιαφέροντος μεταξύ 2000 -2020. Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.1 τα τροχαία ατυχήματα στον ΒΟΑΚ εμφανίζουν σημαντικά καθοδική τάση από το 2000, με σταθερό περίπου ρυθμό από το 2010. Τα μέγιστα και τα ελάχιστα ποσοστά ατυχημάτων παρουσιάζονται στα άκρα του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό εκ του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων έχει το 2000 με 12% περίπου, ενώ το μικρότερο ποσοστό ατυχημάτων παρουσιάζεται το 2020 με μόλις 1% των συνολικών ατυχημάτων. Μικρές αυξήσεις σε σχέση με τα πλησιέστερα σε αυτά έτη παρατηρούνται το 2002, το 2004, και το 2007.

Έτος	Τροχαία Ατυχήματα		Παθόντες							
			Νεκροί		Βαριά Τραυματίες		Ελαφρά Τραυματίες		Σύνολο Παθόντων ανά Έτος	
	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό
2000	112	12,17%	48	21,05%	70	30,70%	110	48,25%	228	12,75%
2001	66	7,17%	38	29,46%	23	17,83%	68	52,71%	129	7,21%
2002	74	8,04%	35	23,49%	28	18,79%	86	57,72%	149	8,33%
2003	46	5,00%	30	34,88%	22	25,58%	34	39,53%	86	4,81%
2004	60	6,52%	41	31,06%	27	20,45%	64	48,48%	132	7,38%
2005	52	5,65%	28	30,43%	15	16,30%	49	53,26%	92	5,15%
2006	57	6,20%	28	23,93%	20	17,09%	69	58,97%	117	6,54%
2007	71	7,72%	31	23,85%	19	14,62%	80	61,54%	130	7,27%
2008	59	6,41%	24	20,17%	27	22,69%	68	57,14%	119	6,66%
2009	61	6,63%	25	18,12%	18	13,04%	95	68,84%	138	7,72%
2010	60	6,52%	32	30,77%	20	19,23%	52	50,00%	104	5,82%
2011	44	4,78%	17	20,24%	14	16,67%	53	63,10%	84	4,70%
2012	25	2,72%	15	27,27%	9	16,36%	31	56,36%	55	3,08%
2013	19	2,07%	10	26,32%	7	18,42%	21	55,26%	38	2,13%
2014	14	1,52%	13	52,00%	5	20,00%	7	28,00%	25	1,40%
2015	15	1,63%	11	35,48%	3	9,68%	17	54,84%	31	1,73%
2016	23	2,50%	11	33,33%	4	12,12%	18	54,55%	33	1,85%
2017	22	2,39%	11	28,95%	6	15,79%	21	55,26%	38	2,13%
2018	16	1,74%	7	30,43%	4	17,39%	12	52,17%	23	1,29%
2019	14	1,52%	11	52,38%	2	9,52%	8	38,10%	21	1,17%
2020	10	1,09%	7	43,75%	2	12,50%	7	43,75%	16	0,89%
Σύνολο	920	100,00%	473	26,45%	345	19,30%	970	54,25%	1788	100,00%

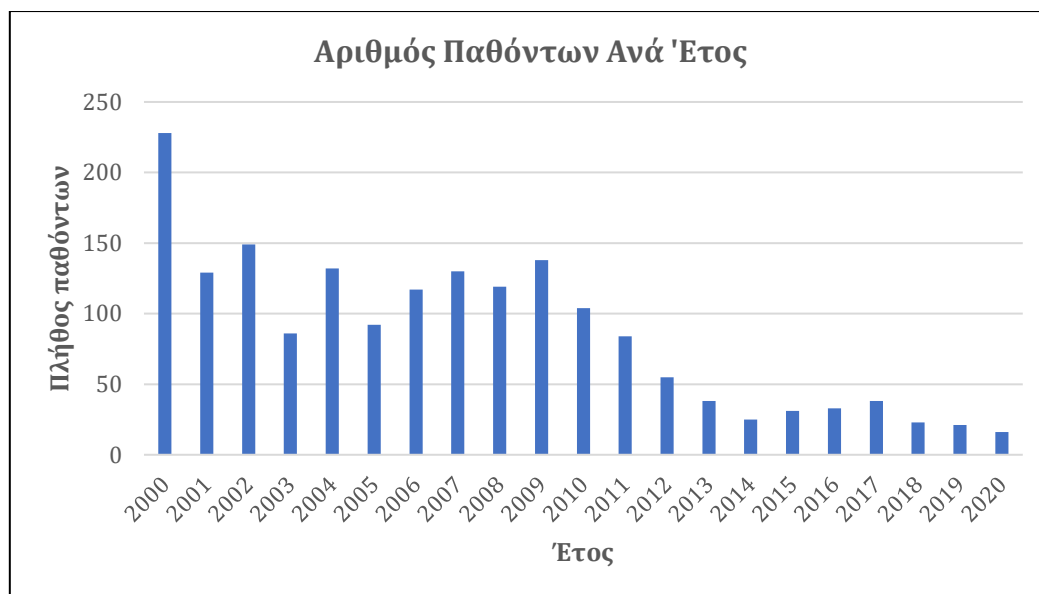
Πίνακας 5.1: Περιστατικά τροχαίων οδικών ατυχημάτων και παθόντων ανά έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

Η καθοδική αυτή τάση μπορεί να οφείλεται στις βελτιώσεις και αναβαθμίσεις που υλοποιήθηκαν στον ΒΟΑΚ την εξεταζόμενη περίοδο. Ειδικότερα, η μεγάλη πτώση του ποσοστού των ατυχημάτων μεταξύ του 2000 και 2001 κατά 5 ποσοστιαίες μονάδες, μπορεί να αιτιολογηθεί από την παράδοση σε κυκλοφορία των πρώτων τμημάτων αυτοκινητοδρόμου που κατασκευάστηκαν την περίοδο εκείνη με οδόστρωμα διαχωρισμένης κυκλοφορίας. Ακόμα, η σταθερή πτώση που παρατηρείται από το 2009 και μετά, φαίνεται να είναι αποτέλεσμα και της οικονομικής κρίσης, που όπως είναι γνωστό μειώθηκε αισθητά η χρήση του αυτοκίνητου για τις μετακινήσεις. Τέλος σύμφωνα με τον τοπικό τύπο μετά την ίδρυση των Τμημάτων Τροχαίας ΒΟΑΚ, η αστυνόμευση αυξήθηκε στον ΒΟΑΚ τα τελευταία έτη, συνεισφέροντας έτσι στην περεταίρω μείωση των ατυχημάτων.



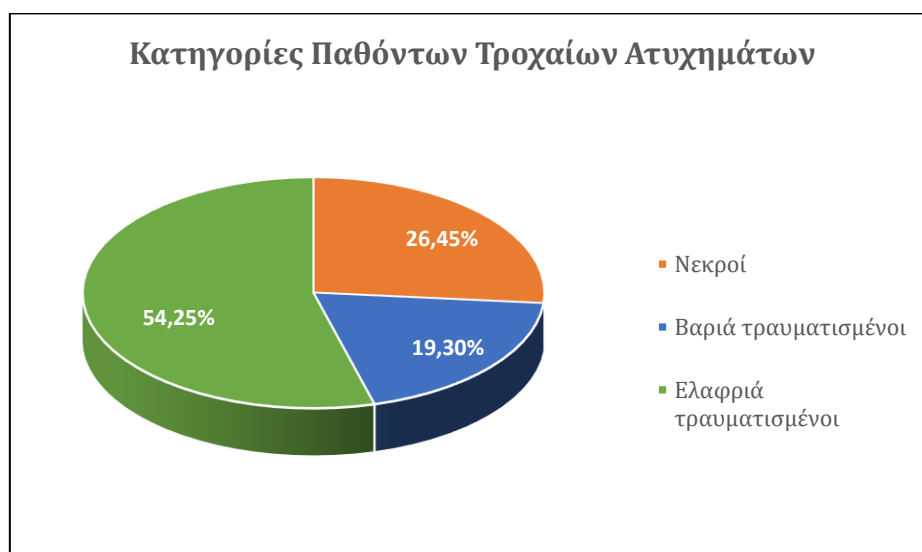
Διάγραμμα 5.1: Τροχαία ατυχήματα ανά έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

Αντίστοιχα, εξετάζοντας την διακύμανση ανά έτος των παθόντων (Διάγραμμα 5.2), ανεξαρτήτως από το είδος τραυματισμού, παρατηρείται ότι ακολουθείται η ίδια περίπου τάση με τα περιστατικά των τροχαίων. Το 2000 υπάρχουν τα περισσότερα θύματα, 228 άνθρωποι είτε τραυματίστηκαν, είτε έχασαν την ζωή τους στον ΒΟΑΚ, ενώ το 2001 ο αριθμός αυτός σχεδόν υποδιπλασιάζεται με 129 συνολικά παθόντες. Από το 2009 έως το 2014 είναι ολοφάνερη η πτωτική τάση των παθόντων από οδικά ατυχήματα, με εξαίρεση την περίοδο 2015 – 2017 που υπάρχει μια μικρή αύξηση. Το 2020 έχει την μικρότερη τιμή, με 16 παθόντες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή αυτή οφείλεται και στα μέτρα κατά της Covid-19 .



Διάγραμμα 5.2: Παθόντες τροχαίων ατυχημάτων στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

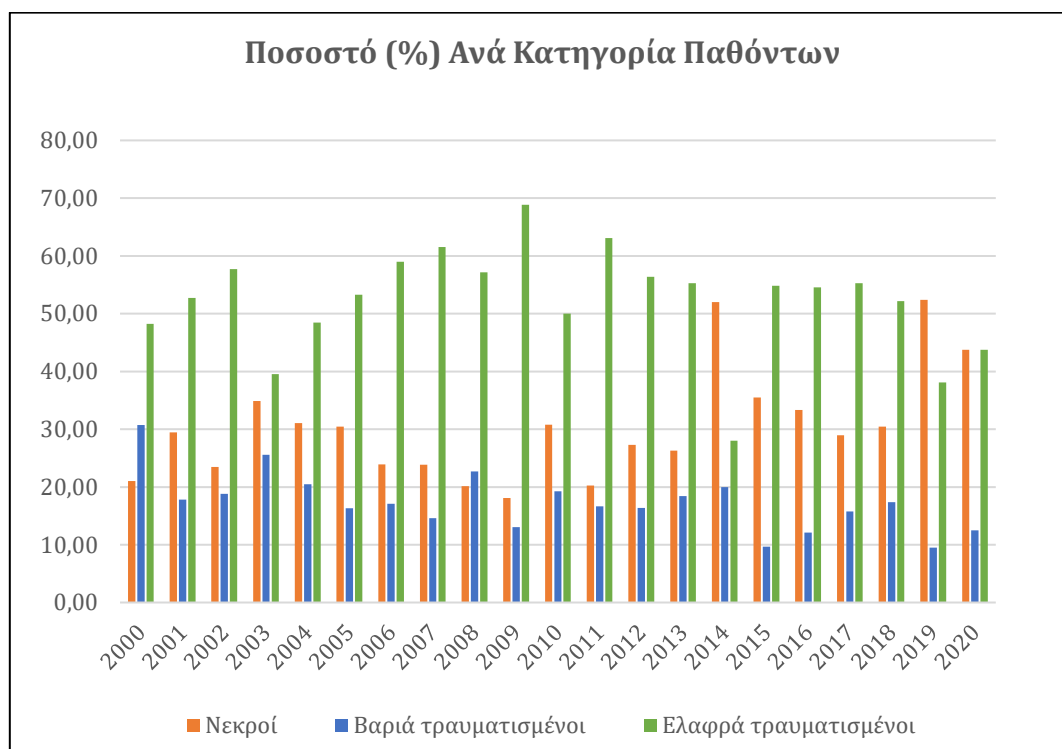
Ακολούθως, παρουσιάζεται συνολικά η ποσοστιαία διακύμανση των παθόντων ανάλογα με την σοβαρότητα τραυματισμού στο σύνολο των εξεταζόμενων ατυχημάτων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2020 (Διάγραμμα 5.3). Οι κατηγορίες παθόντων που καταγράφονται στα ΔΟΤΑ είναι τρεις: α) ελαφριά τραυματίας, β) βαριά τραυματίας και γ) νεκρός. Το χαμηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας στον ΒΟΑΚ φαίνεται με μια πρώτη ανάγνωση του ποσοστού των νεκρών τροχαίων ατυχημάτων, το οποίο αγγίζει το 26,5%, λίγο παραπάνω δηλαδή από το ¼ των παθόντων έχουν χάσει την ζωή τους. Οι βαριά τραυματίες, που αναλόγως χρήζουν ιδιαίτερης αντιμετώπισης λόγω της σοβαρότητας της κατάστασης τους, καταλαμβάνουν το 19.3% και τέλος οι ελαφρά τραυματίες φτάνουν το 54,2%.



Διάγραμμα 5.3: Ποσοστό ανά σοβαρότητα τροχαίων ατυχημάτων στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

Στο Διάγραμμα 5.4 παρουσιάζεται, σε μορφή γραφήματος στηλών, αναλυτικά η διακύμανση των κατηγοριών σοβαρότητας των τροχαίων ατυχημάτων ανά έτος, όπου μπορεί κανείς να αποκτήσει γρήγορα μια συνοπτική εικόνα για την μεταβολή μεταξύ των ειδών τραυματισμού διαχρονικά στην εξεταζόμενη περίοδο. Τα ποσοστά των νεκρών ανά έτος φτάνουν ή ξεπερνούν το 20%, με εξαίρεση το 2009 που φτάνουν στο 18%. Οι βαριά τραυματίες στα περισσότερα έτη καταλαμβάνουν μικρότερα ποσοστά από τους νεκρούς, ενώ οι ελαφρά τραυματίες κυμαίνονται από 40% έως 60% περίπου.

Στο επόμενο Διάγραμμα 5.5, με μορφή γραφήματος γραμμής, διασαφηνίζονται ακόμα περισσότερο οι τάσεις αύξησης ή μείωσης σε κάθε κατηγορία τραυματισμού. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζεται το ποσοστό των θυμάτων από τροχαία ατυχήματα για κάθε έτος και πώς αυτό μεταβάλλεται στην εξεταζόμενη περίοδο.



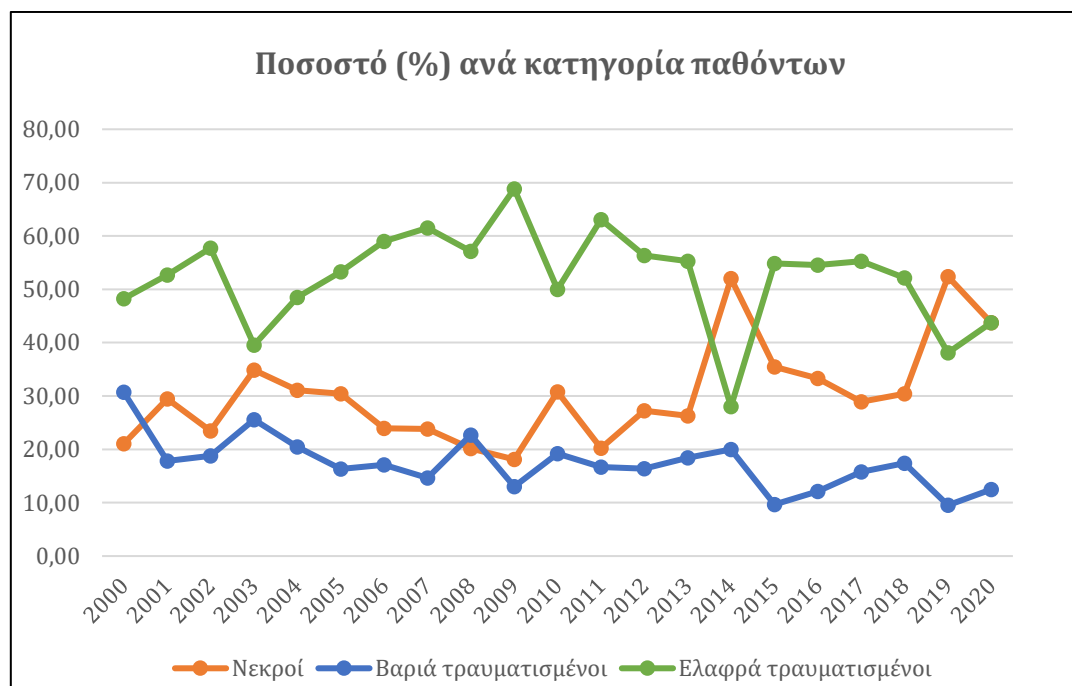
Διάγραμμα 5.4: Ποσοστό ανά κατηγορία παθόντων τροχαίων ατυχημάτων για κάθε έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

Αναλυτικότερα, στο Διάγραμμα 5.5 παρατηρείται ότι το ποσοστό των νεκρών στον ΒΟΑΚ από το 2000 μέχρι το 2003 παρουσιάζει αυξομειώσεις. Από το 2003 και έπειτα ακολούθησε μια σταθερή πτωτική τάση μέχρι το 2009, όπου παρατηρείται και το μικρότερο ποσοστό θανάτων με τιμή 18%, που όμως δεν διατηρήθηκε, καθώς από το επόμενο έτος άρχισε να έχει πάλι αυξητικές τάσεις, αν και με κάποιες αυξομειώσεις, χωρίς όμως να σημειώνονται ελάχιστες τιμές. Τα έτη 2014 και 2019 η απότομη έξαρση των θανάτων στον ΒΟΑΚ οδήγησε σε ποσοστά που ξεπερνούν το 52% των συνολικών παθόντων ανά έτος. Η αυξομείωση αυτή

δείχνει ότι δεν υπάρχει διαχρονική σταθερότητα ως προς το ποσοστό εμφάνισης νεκρών σε τροχαία ατυχήματα στην περιοχή που εξετάζεται.

Οι βαριά τραυματισμένοι φαίνεται να έχουν συνολικά ελαφρώς πτωτική τάση στην εξεταζόμενη περίοδο με μικρές ενδιάμεσες εξάρσεις (2003, 2008), και ποσοστά που κυμαίνονται από 30% το 2000 (μέγιστη τιμή) έως 10% περίπου το 2020 (ελάχιστη τιμή). Σημειώνεται ότι στην πλειοψηφία των ετών, εκτός των 2000, 2003 & 2008, το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 20% και 10% περίπου.

Στους ελαφρά τραυματίες δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση αύξησης ή μείωσης αυτών στατιστικά, καθώς υπάρχουν αρκετές αυξομειώσεις. Σε δεκαπέντε (15) από τα είκοσι ένα (21) έτη αναφοράς το ποσοστό τους κυμαίνεται από 50% έως 60%. Έξαρση στην κατηγορία του ελαφρύ τραυματισμού φαίνεται να υπάρχει το 2009 με 69% περίπου, σε αντίθεση με το 2014 που παρουσιάζει αισθητά το μικρότερο ποσοστό με 28%, σε αντίθεση με το μεγάλη τιμή των θανάτων το ίδιο έτος.



Διάγραμμα 5.5: Ποσοστό ανά κατηγορία παθόντων τροχαίων ατυχημάτων για κάθε έτος στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω διερεύνηση της διακύμανσης των τροχαίων ατυχημάτων σε σχέση με χρονικές μεταβλητές, εκτός της μονάδας του έτους που εξετάστηκε παραπάνω.

Στο Διάγραμμα 5.6 παρουσιάζεται η διακύμανση ατυχημάτων ανά ώρα σε μορφή γραφήματος στηλών, κατά το διάστημα 2000-2020 στον ΒΟΑΚ. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα, φαίνεται πως από τις 15.00 έως τις 19.00 συμβαίνουν τα περισσότερα ατυχήματα, με το μέγιστο ποσοστό 6,4% περίπου να παρατηρείται στις

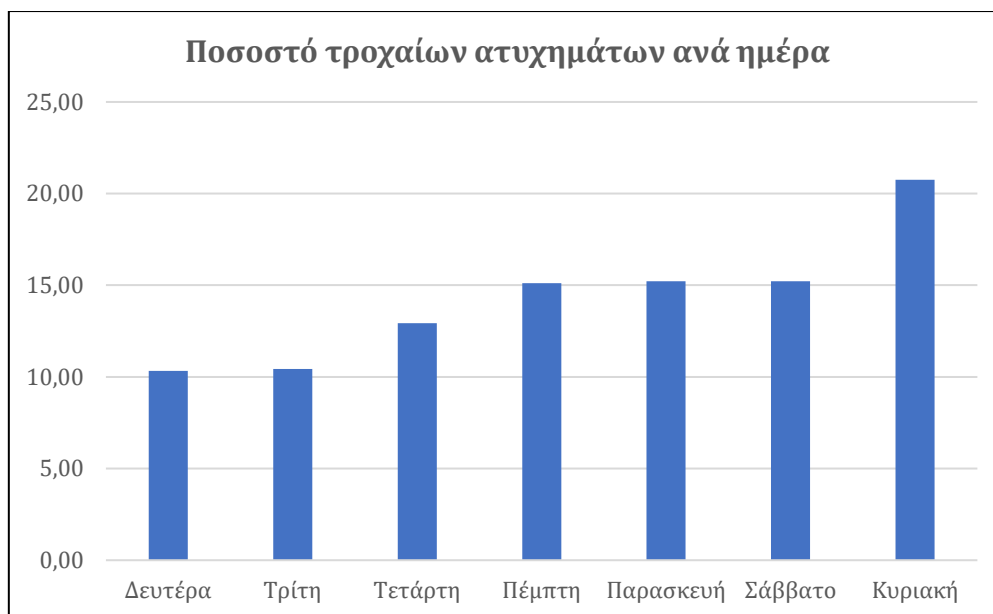
18.00. Τα χαμηλότερα ποσοστά παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες από τις 00.00 έως τις 04.00, με ποσοστά που κυμαίνονται από 2% έως 3%, αποτέλεσμα που κρίνεται λογικό, καθώς κατά τις ώρες αυτές οι κυκλοφοριακοί φόρτοι είναι ελάχιστοι.

Στο Διάγραμμα 5.7 παρουσιάζεται η διακύμανση ατυχημάτων ανά ημέρα σε μορφή γραφήματος στηλών, κατά το διάστημα 2000-2020 στον ΒΟΑΚ. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα, φαίνεται πως η μέρα κατά την οποία συνέβησαν τα περισσότερα ατυχήματα είναι η Κυριακή με ποσοστό 21% περίπου. Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται λογικό, καθώς η Κυριακή είναι μια ημέρα αργίας, που αυξάνονται οι μετακινήσεις για λόγους αναψυχής. Οι ημέρες Πέμπτη, Παρασκευή και Σάββατο αγγίζουν το 15% του συνόλου των ατυχημάτων, ενώ τα μικρότερα ποσοστά παρουσιάζονται τις Δευτέρα και Τρίτη, κοντά στο 10%.



Διάγραμμα 5.6: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά ώρα στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

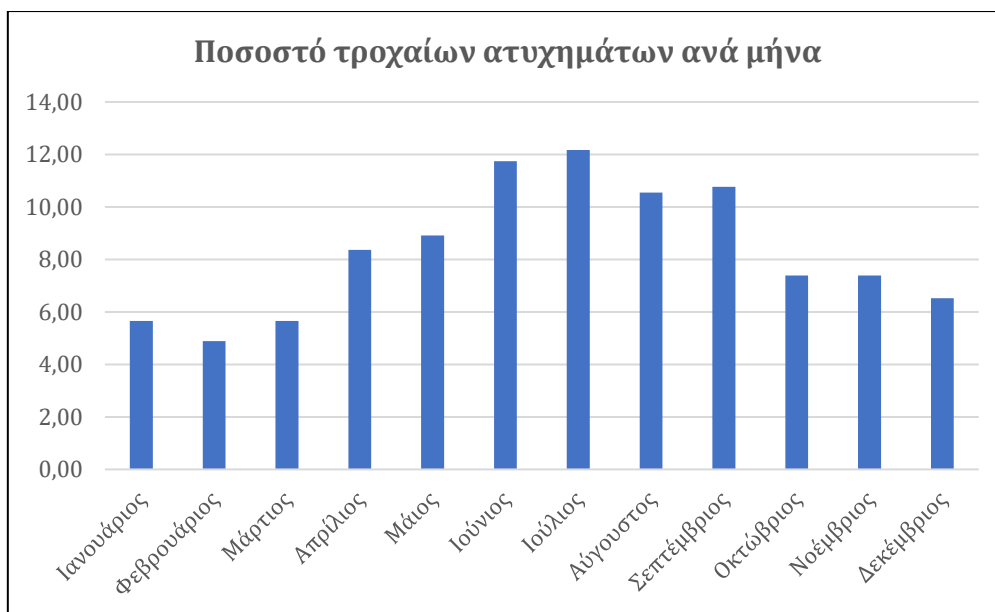
Στο Διάγραμμα 5.8 παρουσιάζεται η μεταβλητή των ατυχημάτων που συνέβησαν στον ΒΟΑΚ ανά μήνα, κατά το υπό μελέτη διάστημα. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα, φαίνεται πως οι μήνες κατά τους οποίους συμβαίνουν τα περισσότερα ατυχήματα στον ΒΟΑΚ είναι ο Ιούλιος με ποσοστό 12,2% και ο Ιούνιος με 11,7%, ενώ ακολουθούν ο Αύγουστος και ο Σεπτέμβριος. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, εφόσον οι μήνες κατά τους οποίους παρατηρούνται τα υψηλότερα ποσοστά ατυχημάτων είναι υψηλής τουριστικής κίνησης όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος διπλασιάζεται. Αντιθέτως τα χαμηλότερα ποσοστά παρατηρούνται τους τρεις πρώτους μήνες του έτους, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.



Διάγραμμα 5.7: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά ημέρα εβδομάδας στον ΒΟΑΚ (περίοδος 2000-2020)

Τέλος στο Διάγραμμα 5.9 παρουσιάζονται οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την ώρα που συνέβησαν τα οδικά τροχαία ατυχήματα στον ΒΟΑΚ. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, πως στην πλειοψηφία των περιστατικών επικρατούσε καλοκαιρία, με ποσοστό που αγγίζει το 83,5%. Κρίνεται επομένως από το αποτέλεσμα πως το βεβαρυμμένο ιστορικό του ΒΟΑΚ σε τροχαία ατυχήματα δεν συνδέεται με τις καιρικές συνθήκες, εφόσον υπό συνθήκες βροχής συνέβη μόνο το 7,7% των συνολικών ατυχημάτων στην περίοδο 2000 – 2020 και υπό συνθήκες ψιλής βροχής το 7,2%.

Ολοκληρώνοντας την στατιστική ανάλυση στα δεδομένα της παρούσης ΜΔΕ, σημειώνεται ότι η εφαρμογή απλών στατιστικών μεθόδων δεν είναι πάντα επιτυχημένη καθώς αγνοούνται οι σύνθετες χωρικές σχέσεις ανάμεσα στα δεδομένα, το οποίο επιλύει η χρήση GIS (Φώτης, 2010). Αντιθέτως η χωρική ανάλυση αποδίδει στο εξεταζόμενο φαινόμενο την χωρική διάσταση που το αντιπροσωπεύει, το ερμηνεύει και το αναλύει καλύτερα και λεπτομερέστερα (Λιόγκα, 2020).



Διάγραμμα 5.8: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά μήνα στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

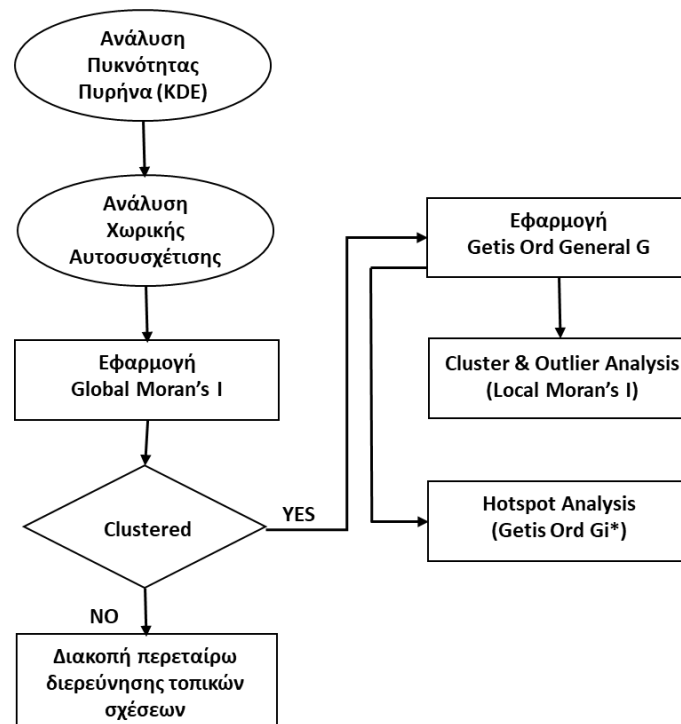


Διάγραμμα 5.9: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων ανά ατμοσφαιρικές συνθήκες στον ΒΟΑΚ (2000-2020)

5.2. Χωρική Ανάλυση

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η εφαρμογή των μεθόδων χωρικής ανάλυσης που εφαρμόστηκαν για την διερεύνηση της χωρικής κατανομής των τροχαίων οδικών ατυχημάτων, την ανίχνευση χωρικών ομάδων με υψηλή/χαμηλή ομαδοποίηση ή ακραίες τιμές και τον εντοπισμό πιθανών hotspot. Η χωρική στατιστική χαρτογράφηση είναι το κλειδί για την κατανόηση της χωρικής και χρονικής εμφάνισης τροχαίων ατυχημάτων και περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών για την περιγραφή και τη μοντελοποίηση χωρικών δεδομένων (Prasannakumara, Vijitha, Charuthaa, & Geetha, 2011).

Χρησιμοποιήθηκαν μερικές από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες χωρικές στατιστικές και τεχνικές για την χωρική ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων και τον εντοπισμό hotspot. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση της συγκέντρωσης των τροχαίων οδικών ατυχημάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου εκτίμησης πυκνότητας πυρήνα (Kernel Density Estimation - KDE). Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι στατιστικές Moran's I (χωρική αυτοσυσχέτιση) για να προσδιοριστεί η ομαδοποίηση των τροχαίων ατυχημάτων που έχουν στατιστική σημασία. Παράλληλα, για τις περιπτώσεις προτύπων χωρικά ομαδοποιημένων, εφαρμόστηκε ο δείκτης Getis-Ord General G, αποκαλύπτοντας αν πρόκειται για υψηλές ή για χαμηλές τιμές ομαδοποίησης. Τέλος διεξήχθη ανάλυση hotspot των ατυχημάτων με την στατιστική Getis-Ord G_i^* . Όλες οι χωρικές επεξεργασίες πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό ΣΓΠ ArcGIS 10.5.1 και τις επεκτάσεις του.



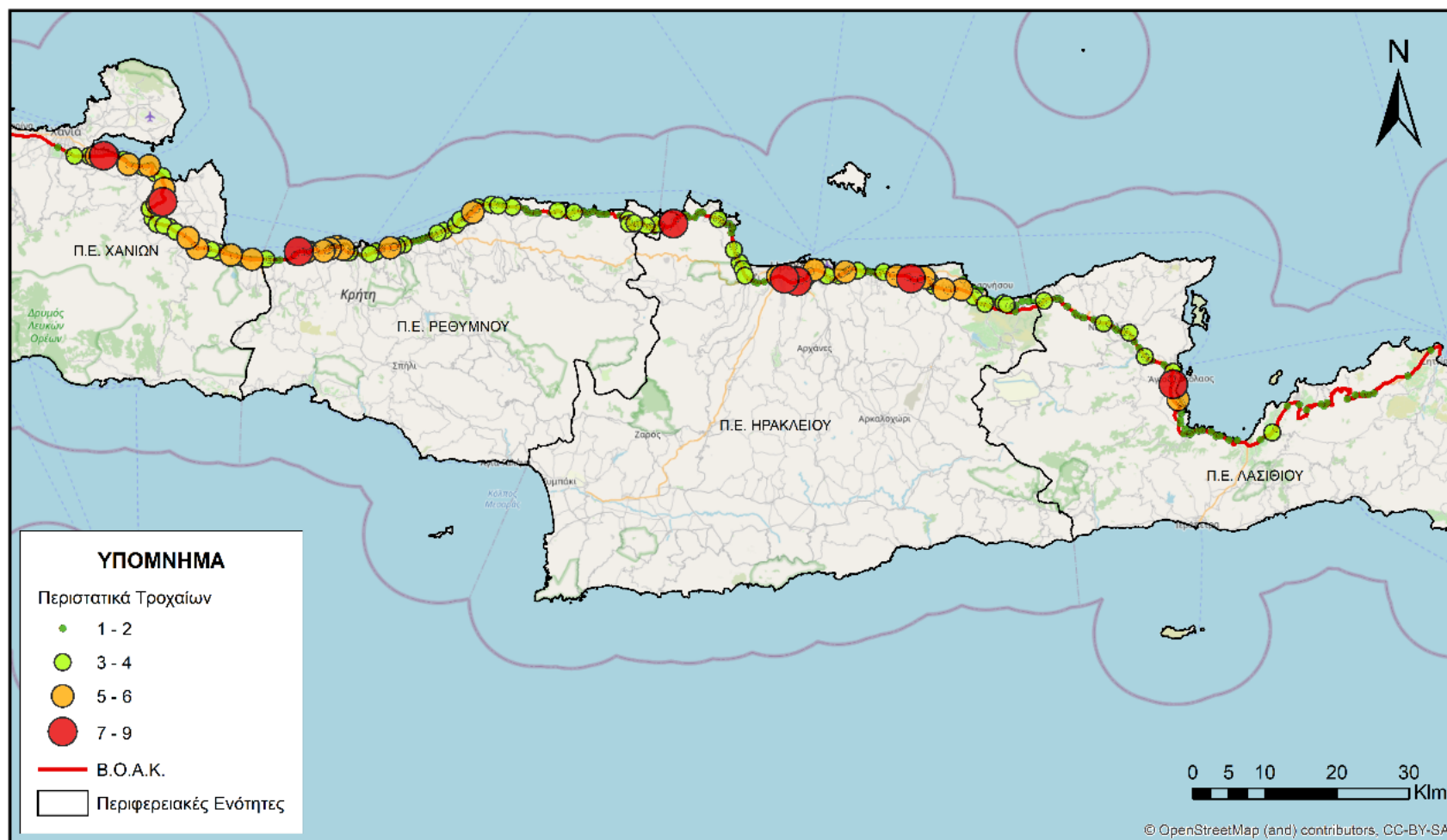
Διάγραμμα 5.10: Διάγραμμα ροής χωρικών αναλύσεων

Ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων που συμμετέχουν στην χωρική ανάλυση είναι 855 από τα συνολικά 920 που υπήρχαν στα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ και αφορούν τον ΒΟΑΚ. Τα 65 περιστατικά που δεν συμμετέχουν στην χωρική ανάλυση, δεν είχαν έγκυρη εγγραφή χιλιομετρικής θέσης (Χ.Θ.) και έτσι δεν ήταν εφικτός ο γεωγραφικός εντοπισμός τους. Σημειώνεται, σε αυτό το σημείο πως στην όλη ανάλυση δεν συμμετέχει το τμήμα του ΒΟΑΚ «Εθνική Οδός Χανίων – Κισιάμου», καθώς όπως έχει προαναφερθεί δεν έχει καταγραφεί στα δεδομένα αυτή η πληροφορία που αφορά τον διαχωρισμό των τμημάτων εντός της Π.Ε. Χανίων.

Πριν την εξέταση του φαινομένου των οδικών τροχαίων ατυχημάτων χωρικά, κρίθηκε σκόπιμη η συνολική παρουσίαση αυτών για την χρονική περίοδο ενδιαφέροντος 2000 – 2020 σε ένα χάρτη (Χάρτης 5.1). Μέσω της οπτικοποίησης αυτής προσφέρεται ένα εκ πρώτης όψεως εποπτικό αποτέλεσμα και συμπέρασμα για το σύνολο των τροχαίων οδικών ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ και τα σημεία που συγκεντρώνονται περισσότερα περιστατικά στο εν λόγω διάστημα.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.1 σημειώνεται πως τα 855 περιστατικά τροχαίων ατυχημάτων αντιστοιχούν σε 409 σημεία, δυο τροχαία δηλαδή ανά θέση κατά μέσο όρο. Στο χάρτη που δημιουργήθηκε τα περιστατικά των τροχαίων ατυχημάτων αναπαρίστανται με σταθμισμένα σημεία, διαφορετικού χρώματος και μεγέθους, ανάλογα με την συχνότητα εμφάνισής τους. Ειδικότερα, με κόκκινο χρώμα απεικονίστηκαν οι θέσεις στις οποίες συνέβησαν από 7 έως 9 τροχαία ατυχήματα, με πορτοκαλί χρώμα θέσεις αντίστοιχα με 5 έως 6 περιστατικά, με λαχανί χρώμα θέσεις που σημειώθηκαν 3 έως 4 τροχαία και με σκούρο πράσινο θέσεις που συνέβησαν από ένα έως δυο περιστατικά τροχαίων.

Παρατηρώντας τον χάρτη, εντοπίζονται τα σημεία με την μεγαλύτερη συχνότητα συμβάντων οδικών τροχαίων, περισσότερα από τα οποία βρίσκονται στην Π.Ε. Ηρακλείου. Ατυχήματα που συνέβησαν από 5 έως 6 φορές στο ίδιο σημείο εντοπίζονται περισσότερο στην Π.Ε. Χανίων και στην Π.Ε. Ηρακλείου.



Χάρτης 5.1: Θέσεις τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ για την χρονική περίοδο 2000 – 2020

5.3. Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Estimation - KDE) είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μη παραμετρική στατιστική μέθοδος για την εξομάλυνση δεδομένων, επειδή είναι απλή στην κατανόηση και την εφαρμογή της. Στην ουσία είναι μία ανάλυση χωρικής κατανομής σε σημειακά δεδομένα, και μέσω αυτής υπολογίζεται η πυκνότητα των χαρακτηριστικών/αντικειμένων σε μια γειτονιά γύρω από αυτά. Το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας Kernel Density σε ένα GIS είναι ένα σύνολο δεδομένων raster, όπου κάθε κελί έχει μια τιμή πυκνότητας που είναι σταθμισμένη ανάλογα με την απόσταση από τα αρχικά χαρακτηριστικά / αντικείμενα.

Η KDE εφαρμόστηκε στα δεδομένα προκειμένου να δημιουργηθεί μια υποκειμενική επιφάνεια της μεταβλητότητας των τιμών των τροχαίων ατυχημάτων. Με αυτό το μέτρο εκτιμάται η αναλογία των συνολικών ατυχημάτων που αναμένονται να συμβούν σε κάθε σημείο του παραγόμενου χάρτη.

Τα δεδομένα διαχωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες με βάση την χρονική περίοδο για την εφαρμογή της KDE και εξετάστηκαν ως προς τέσσερις μεταβλητές. Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν με βάση την διαίρεση της χρονικής περιόδου σε υποτιμήματα είναι οι εξής:

1. 01/01/2000 – 31/12/2020 (Αριθμός συνολικών ατυχημάτων : 855)
2. 01/01/2000 – 31/12/2009 (Αριθμός συνολικών ατυχημάτων : 605)
3. 01/01/2010 – 31/12/2020 (Αριθμός συνολικών ατυχημάτων : 250)

Με τον τρόπο αυτό, μπορεί κανείς αφενός να αποκτήσει μια γενική εικόνα από το αποτέλεσμα της διαδικασίας KDE για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, και αφετέρου με την διαίρεση της σε δυο δεκαετίες, δίνεται η δυνατότητα πραγματοποίησης συγκρίσεων μεταξύ των υποδιαιρεμένων χρονικών περιόδων.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα είναι :

- Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων
- Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με παθόντες τραυματίες, ελαφρά και βαριά
- Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με παθόντες νεκρούς
- Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με εφαρμογή Δείκτη Σοβαρότητας Ατυχημάτων:

Για την καλύτερη οπτικοποίηση των ατυχημάτων με βάση την σοβαρότητα σε τραυματισμούς που επιφέρουν, δημιουργήθηκε ένας δείκτης. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων των εμπλεκόμενων παθόντων σε κάθε ατύχημα με ένα βάρος ανάλογο της σοβαρότητας τραυματισμού. Έτσι ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$i = w_{\theta} * N_{\theta} + w_{\beta} * N_{\beta} + w_{\varepsilon} * N_{\varepsilon} \quad (1)$$

Όπου

i : Δείκτης σοβαρότητας ατυχημάτων

$w_{\theta}, w_{\beta}, w_{\varepsilon}$: τα βάρη που τέθηκαν για τους παθόντες. Για τους θανάτους (θ) το βάρος ισούται με 3, για τους βαριά τραυματίες (β) ισούται με την τιμή 2 & για τους ελαφρά τραυματίες (ε) είναι μοναδιαίο.

$N_{\theta}, N_{\beta}, N_{\varepsilon}$: ο αριθμός των παθόντων σε εκάστοτε περιστατικό τροχαίου ατυχήματος.

Έτσι ο τύπος (1) διαμορφώνεται ως εξής:

$$i = 3N_{\theta} + 2N_{\beta} + N_{\varepsilon} \quad (2)$$

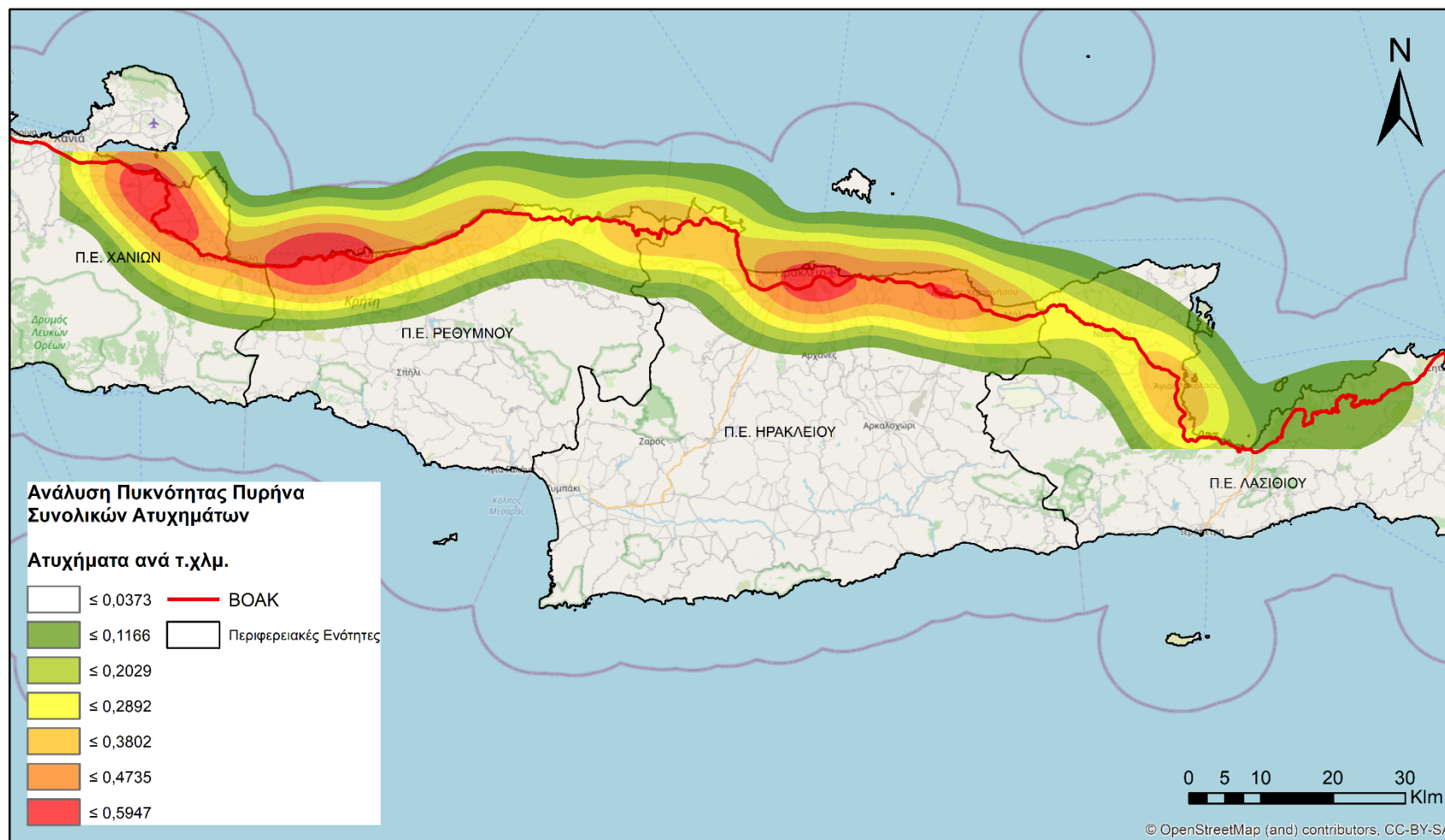
Ακολουθεί η παρουσίαση των χαρτών που δημιουργήθηκαν με την εφαρμογή της Ανάλυσης Πυκνότητας Πυρήνα για κάθε μεταβλητή και για τις τρεις χρονικές περιόδους κατά μήκος του ΒΟΑΚ (Χάρτες 5.2 έως 5.13).

5.3.1. Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων

Στους Χάρτες 5.2 έως 5.4 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ. Στην Π.Ε. Λασιθίου παρατηρούνται και για τις τρεις χρονικές περιόδους, σχετικά μεσαίες και χαμηλές συγκεντρώσεις ατυχημάτων. Για το λόγο αυτό δεν γίνεται περεταίρω ανάλυση της πυκνότητας των ατυχημάτων αυτής της Π.Ε.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.2, που αφορά την συνολικά εξεταζόμενη χρονική περίοδο 2000 – 2020, εστίες πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων, με τιμές πυκνότητας 0,4735 ~ 0,5947 ατυχ./τ.χλμ, κατά μήκος του ΒΟΑΚ παρατηρούνται:

- Στην Π.Ε. Χανίων, από το 10χλμ του ΒΟΑΚ έως το 30χλμ, λίγο μετά δηλαδή τον Ανατολικό Κόμβο Σούδας (ή και Παλαιός Κόμβος Σούδας) και έως τον ύψος του οικισμού Βρυσών περίπου.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, από τα όρια των Π.Ε. Χανίων – Ρεθύμνου, δηλαδή από το 42,5χλμ περίπου του ΒΟΑΚ έως το 58,5χλμ του ΒΟΑΚ, 700μ περίπου από το τέλος του Κόμβου Τυμπακίου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου η εστία που παρατηρείται είναι μικρότερη σε σχέση με τις παραπάνω, και εντοπίζεται έξω από την πόλη του Ηρακλείου από το 133χλμ του ΒΟΑΚ (Κόμβος Εσταυρωμένου) έως το 144,5χλμ περίπου (μετά τον Κόμβο Καρτερού), σημείο που έχει τον χαρακτηρισμό «ΚΤΕΟ» σύμφωνα και με το Μητρώο Εθνικών Οδών της ΕΛΣΤΑΤ, από την ύπαρξη του αντίστοιχου Κέντρου σε εκείνη την θέση. Ένας 2ος μικρός πυρήνας παρατηρείται από το 156,5χλμ έως το 160χλμ (πριν τον Κόμβο Χερσονήσου περίπου).



Χάρτης 5.2: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020

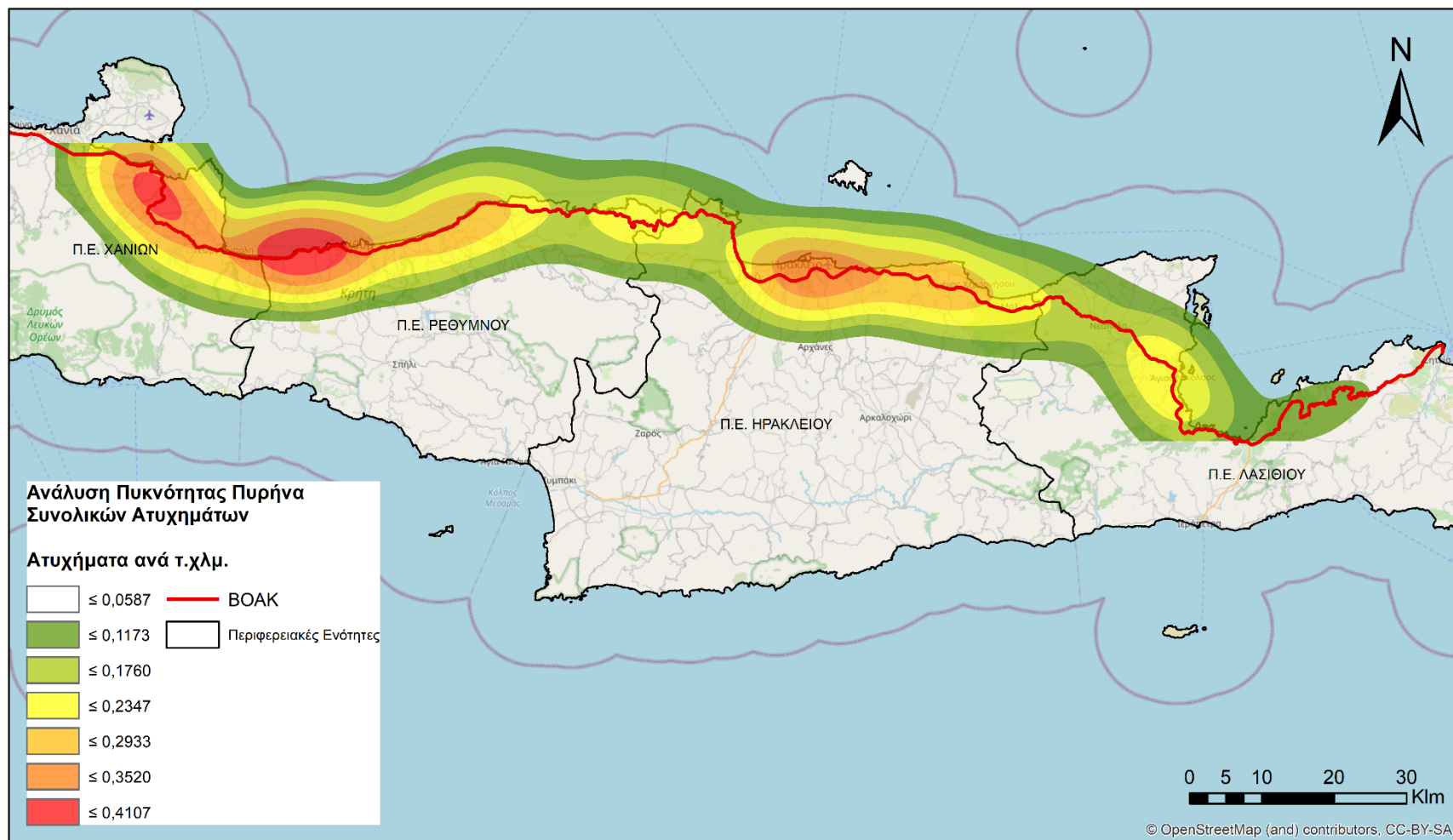
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, ένα τμήμα του ΒΟΑΚ εντός αυτού του πυρήνα, με την αναβάθμιση του Τμήματος Γουρνές – Χερσόνησος που παραδόθηκε στην κυκλοφορία το 2018, απόκτησε νέα χάραξη.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.3, που αφορά την 1η δεκαετία της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, 01/01/2000 – 31/12/2009, παρατηρούνται κατά μήκος του ΒΟΑΚ εστίες πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων με τιμές πυκνότητας 0,3520 ~ 0,4107 ατυχ./τ.χλμ. :

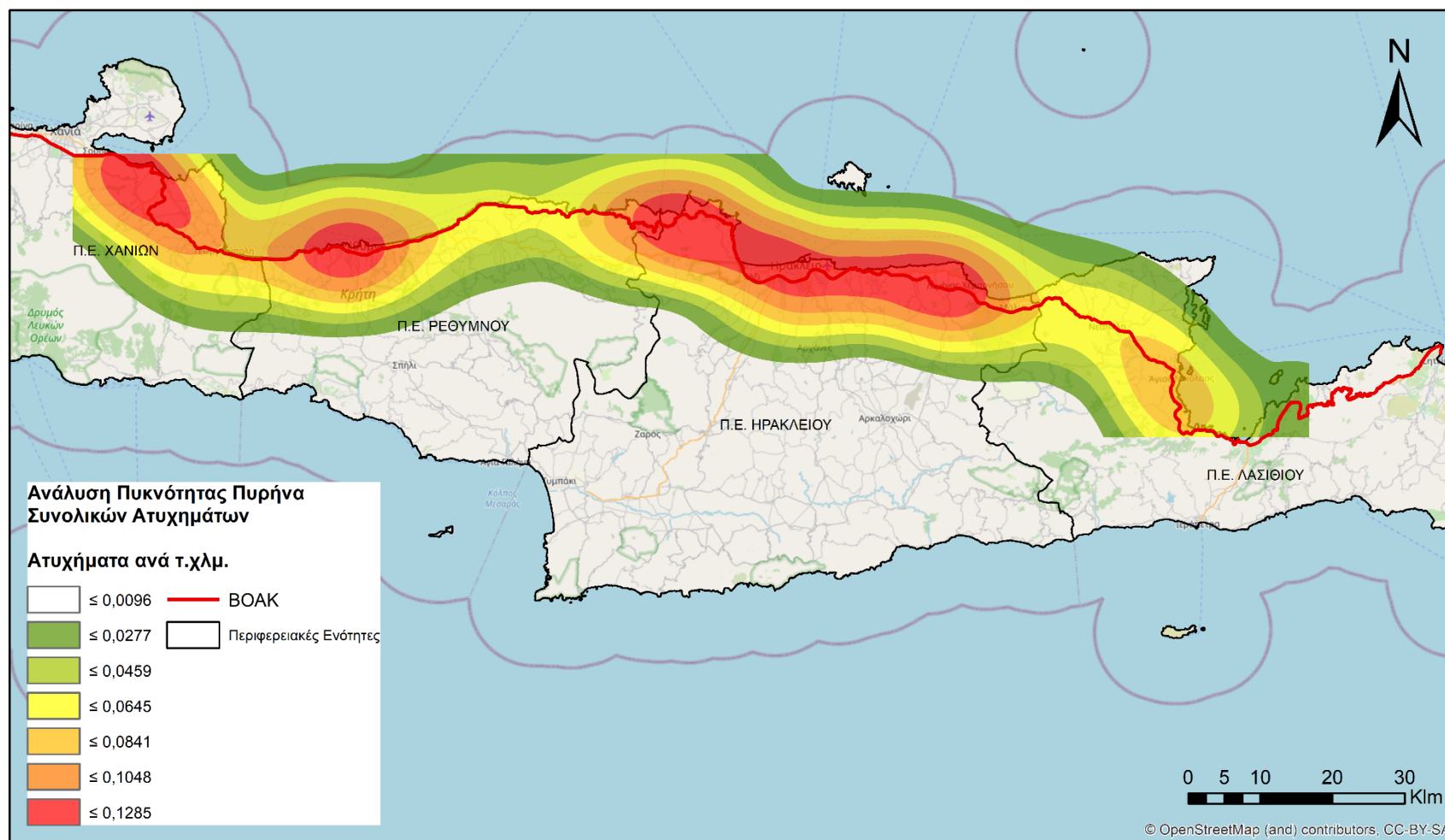
- Στην Π.Ε. Χανίων, ο πυρήνας υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων διατηρεί την ίδια θέση με παραπάνω, ωστόσο έχει μικρότερη ακτίνα, από το 17,5 χλμ του ΒΟΑΚ (πριν την αρχή του Κόμβου Καλυβών) έως το 23,5χλμ περίπου (συνολικό μήκος 6χλμ).
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, ο πυρήνας υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων είναι σχεδόν ίδιος με την προηγούμενη κατηγορία, με την ίδια αφετηρία περίπου στα όρια των Π.Ε. Χανίων – Ρεθύμνου, μέχρι το 55,5 χλμ περίπου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου δεν συναντώνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις τροχαίων για αυτή την δεκαετία, παρατηρείται ωστόσο ότι η πυκνότητα των ατυχημάτων συγκεντρώνεται στην ίδια περιοχή που εντοπίστηκε στην προηγούμενη περίπτωση, κατά μήκος της περιφέρειας της πόλης του Ηρακλείου.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.4, που αφορά την 2η περίοδο του συνολικά εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος, 01/01/2010 – 31/12/2020, παρατηρούνται μεν κατά μήκος του ΒΟΑΚ εστίες πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων, με τιμές πυκνότητας 0,1048 ~ 0,1285 ατυχ./τ.χλμ., ωστόσο αν αυτές οι τιμές συγκριθούν με τις αντίστοιχες της 1ης δεκαετίας γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στην 2η περίοδο οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρότερες (μέγιστη τιμή πυκνότητας 1ης δεκαετίας: 0,5947 ατυχ./τ.χλμ.). Έτσι οι περιοχές με τις υψηλότερες πυκνότητες ατυχημάτων είναι :

- Στην Π.Ε. Χανίων, υψηλές συγκεντρώσεις εντοπίζονται στην ίδια περίπου περιοχή με την συνολική χρονική περίοδο, από το 7,5χλμ περίπου, λίγο πριν τον Ανατολικό Κόμβο Σούδας, έως το 28χλμ του ΒΟΑΚ.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, ο πυρήνας υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων είναι πιο μικρός από τις προηγούμενες περιπτώσεις, και έχει μετατοπιστεί ελαφρώς ανατολικά. Η περιοχή αυτή αρχίζει από το 48,7χλμ περίπου του ΒΟΑΚ και τελειώνει στο 61,3χλμ, πριν τον Κόμβο Αμαρίου. Ένας ακόμα πυρήνας ξεκινάει από το 102χλμ λίγο πριν τον Κόμβο Σισών και συνεχίζεται στην Π.Ε. Ηρακλείου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου η περιοχή υψηλής συγκέντρωσης καταλαμβάνει σχεδόν όλο το τμήμα του ΒΟΑΚ εντός της Π.Ε. αυτής, με αφετηρία από το 102 χλμ του ΒΟΑΚ (εντός της Π.Ε. Ρεθύμνου) εκτείνεται ως το 166χλμ της ΝΕΟ, ανάμεσα στην έξοδο της Σήραγγας Χερσονήσου και τον Κόμβο Σταλίδας.



Χάρτης 5.3: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009



Χάρτης 5.4: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020

5.3.2. Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες

Στους Χάρτες 5.5 έως 5.7 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων που συνέβησαν στον ΒΟΑΚ για τα οποία υπήρχαν παθόντες, είτε βαριά τραυματίες είτε ελαφριά τραυματίες. Σε αυτό το σημείο παρατηρείται πως και για τις τρεις χρονικές περιόδους στην Π.Ε. Λασιθίου, παρατηρούνται μεσαίες και χαμηλές σχετικά συγκεντρώσεις ατυχημάτων με τραυματίες, και για το λόγο αυτό δεν γίνεται περαιτέρω ανάλυση της πυκνότητας των ατυχημάτων αυτής της Π.Ε. παρακάτω.

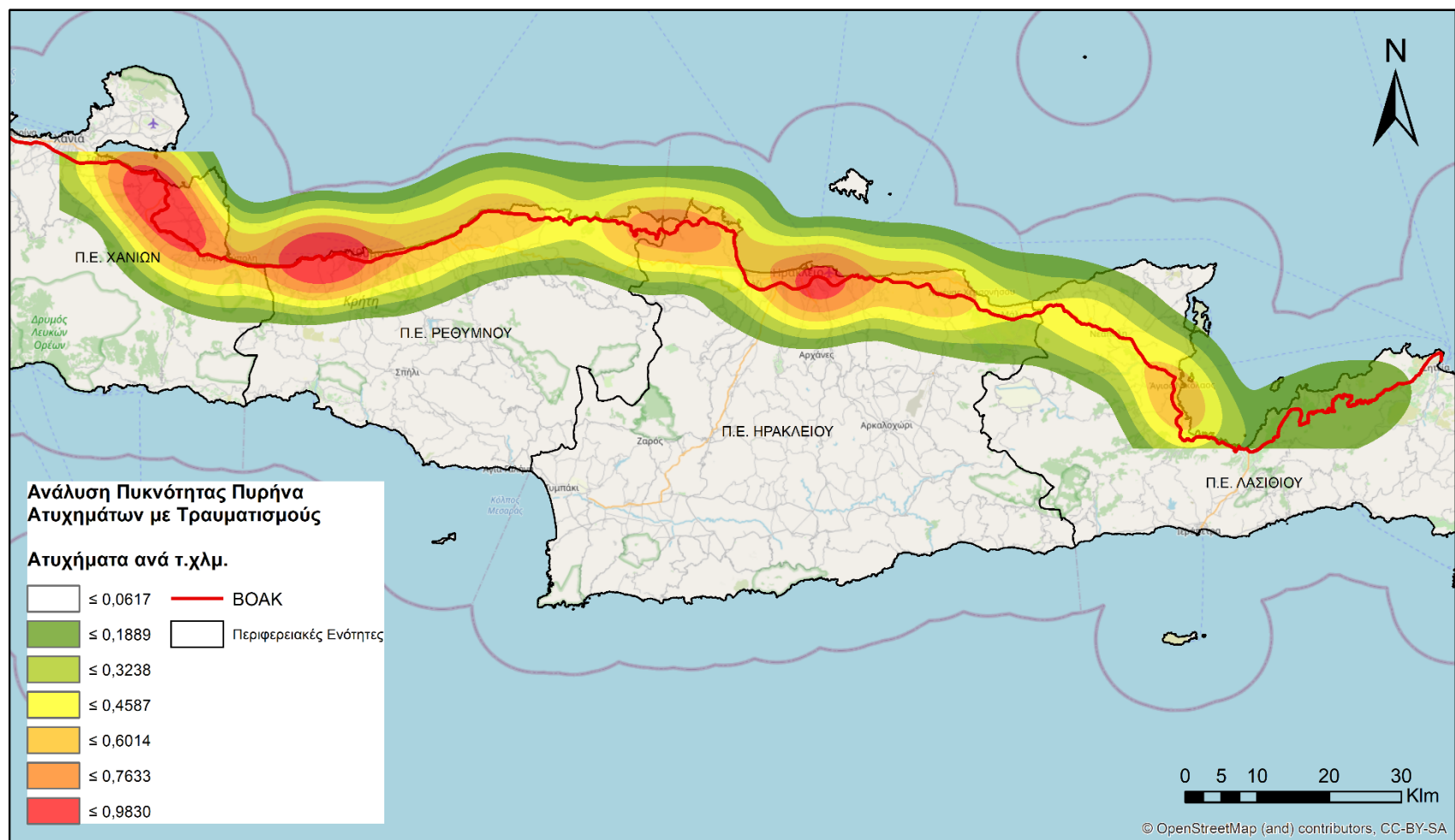
Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.5, που αφορά την συνολικά εξεταζόμενη χρονική περίοδο 2000 – 2020, εστίες πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων με παθόντες τραυματίες, με τιμές πυκνότητας 0,7633 ~ 0,9830 ατυχ./τ.χλμ, κατά μήκος του ΒΟΑΚ παρατηρούνται:

- Στην Π.Ε. Χανίων, από το 10,5χλμ του ΒΟΑΚ, ανάμεσα τον Ανατολικό Κόμβο Σούδας και στον Ισόπεδο Κόμβο Ζαχαριά, έως το 32,5 χλμ, πριν τον Κόμβο εξόδου Βρυσών.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, από το 44,5χλμ του ΒΟΑΚ έως το 58χλμ, μετά τον Ανισόπεδο Κόμβο Τυμπακίου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου, εντοπίζεται ένας πυρήνας υψηλών συγκεντρώσεων περιφερειακά της ομώνυμης πόλης, από το 135,7χλμ του ΒΟΑΚ, λίγο πριν την γέφυρα της Οδού Ούλωφ Πάλμε, έως το 143,6χλμ στον Κόμβο Καρτερού.

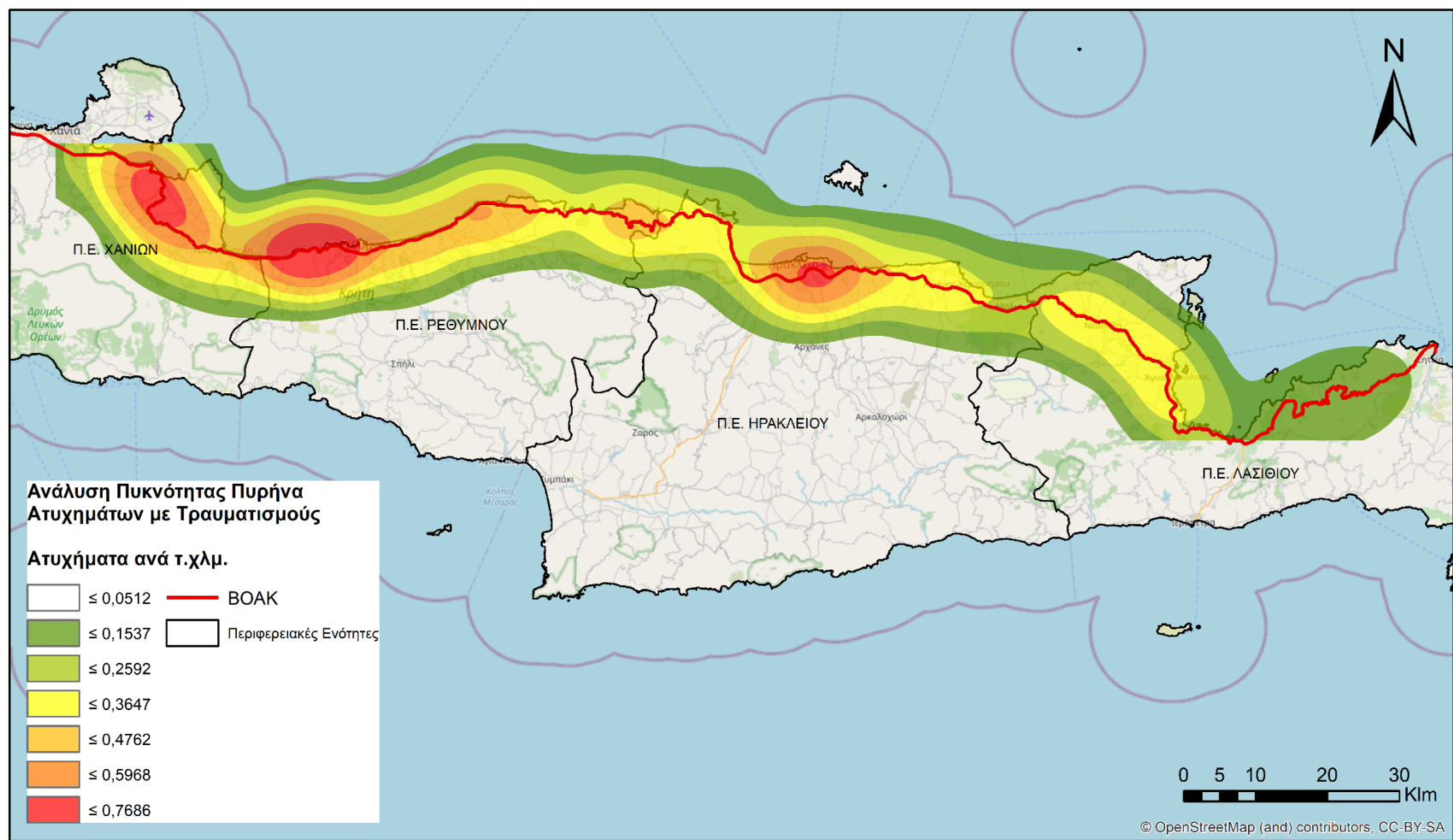
Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.6, που αφορά την 1η δεκαετία της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, 01/01/2000 – 31/12/2009, οι υψηλές τιμές συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων με παθόντες τραυματίες εντοπίζονται στις ίδιες περιοχές με την συνολικά εξεταζόμενη περίοδο, ωστόσο με μικρότερη έκταση. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται εστίες πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων με τιμές πυκνότητας 0,5968 ~ 0,7686 ατυχ./τ.χλμ. :

- Στην Π.Ε. Χανίων, από το 15χλμ του ΒΟΑΚ έως το 28χλμ.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, από το 43,5χλμ του ΒΟΑΚ, κοντά στα όρια με την Π.Ε. Χανίων, έως το 57,5χλμ, στον Ανισόπεδο Κόμβο Τυμπακίου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου, από το 137,5χλμ του ΒΟΑΚ έως το 143χλμ περίπου.

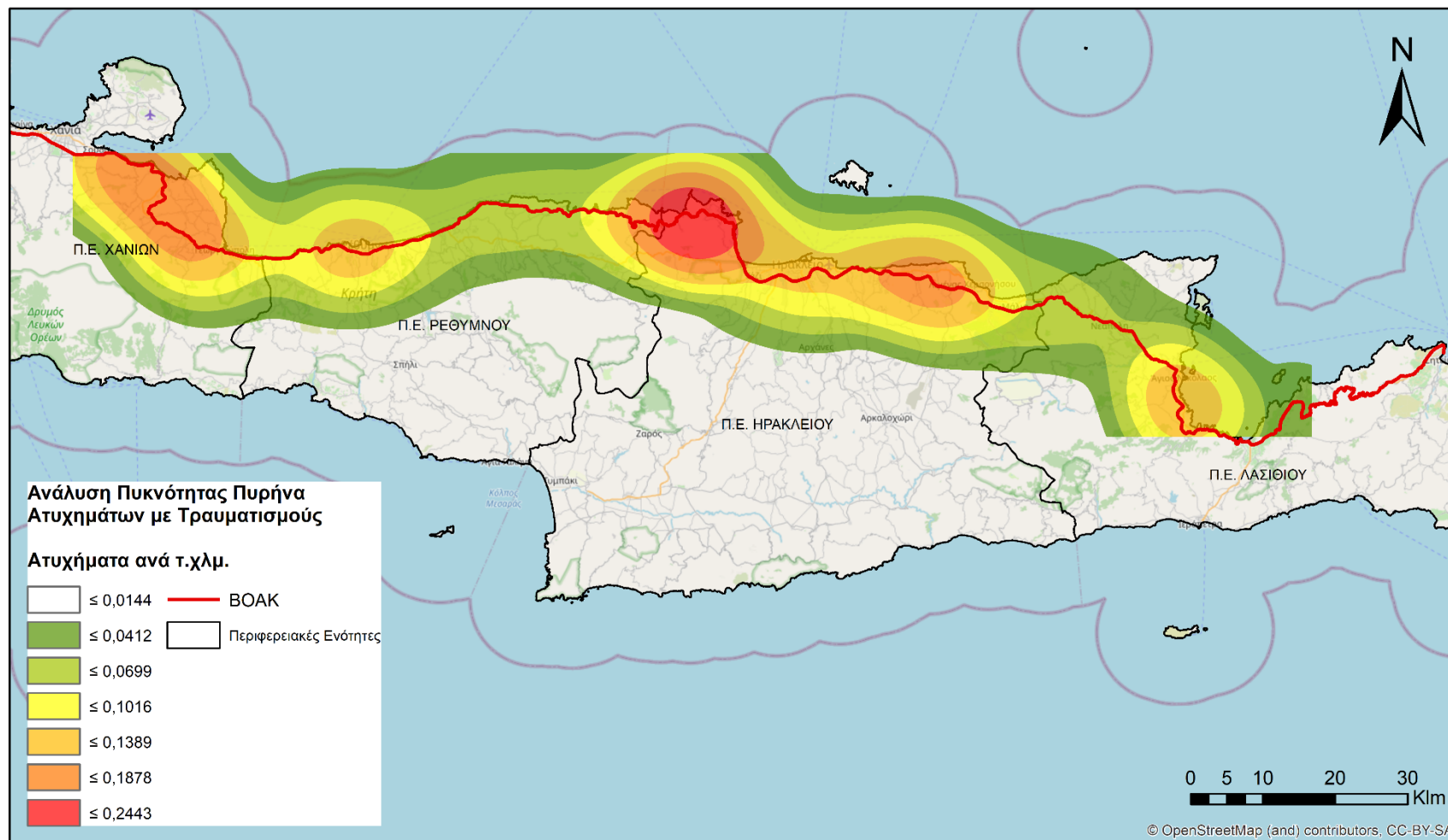
Στον Χάρτη 5.7, που αφορά την 2η εξεταζόμενη υποπερίοδο, 01/01/2010 – 31/12/2020, παρατηρείται μια εστία πολύ υψηλής συγκέντρωσης τροχαίων ατυχημάτων με παθόντες τραυματίες κατά μήκος του ΒΟΑΚ με τιμές πυκνότητας 0,1878 ~ 0,2443 ατυχ./τ.χλμ. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στην Π.Ε. Ηρακλείου από το 104χλμ (εντός Π.Ε. Ρεθύμνου) έως το 123χλμ περίπου στην Διασταύρωση Παλαιοκάστρου. Αν οι τιμές αυτές συγκριθούν με τις αντίστοιχες της 1ης δεκαετίας γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στην 2η περίοδο οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρότερες (μέγιστη τιμή πυκνότητας 1ης δεκαετίας: 0,7686 ατυχ./τ.χλμ.). Μικρότερης κλίμακας πυκνότητες τροχαίων (0,1389 - 0,1878 ατυχ./τ.χλμ.) βρίσκονται στην Π.Ε. Χανίων (7 – 36 χλμ) και στην Π.Ε. Ηρακλείου (149 - 162 χλμ).



Χάρτης 5.5: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση τραυματισμών κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020



Χάρτης 5.6: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση τραυματισμών κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009



Χάρτης 5.7: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση τραυματισμών κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020

5.3.3. Σύνολο τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς

Στους Χάρτες 5.8 έως 5.10 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων που συνέβησαν στον ΒΟΑΚ για τα οποία υπήρχαν νεκροί. Αντίστοιχα με τις προηγούμενες μεταβλητές, για όλες τα εξεταζόμενα διαστήματα στην Π.Ε. Λασιθίου, παρατηρούνται χαμηλές σχετικά συγκεντρώσεις ατυχημάτων με νεκρούς, και για αυτό δεν γίνεται περεταίρω ανάλυση της πυκνότητας των ατυχημάτων αυτής της Π.Ε. παρακάτω.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.8, που αφορά την συνολικά εξεταζόμενη χρονική περίοδο 2000 – 2020, εστίες πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς, με τιμές πυκνότητας 0,2379 ~ 0,3111 ατυχ./τ.χλμ, κατά μήκος του ΒΟΑΚ παρατηρούνται:

- Στην Π.Ε. Χανίων, από το 10,5χλμ του ΒΟΑΚ, ανάμεσα τον Ανατολικό Κόμβο Σούδας και στον Ισόπεδο Κόμβο Ζαχαριά, έως το 31,5χλμ περίπου.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, από το 43,8χλμ του ΒΟΑΚ, μετά τα σύνορα με την Π.Ε. Χανίων, έως το 55χλμ, πριν τον Κόμβο Ατσιπόπουλου. Εντοπίζεται μια ακόμη εστία πολύ υψηλής πυκνότητας τροχαίων με νεκρούς, η οποία αρχίζει στο 98,2χλμ περίπου και καταλήγει στο 112,4χλμ περίπου, εντός της Π.Ε. Ηρακλείου, λίγο μετά τον Ισόπεδο Κόμβο Φόδελε.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου, εντοπίζεται ένας αρκετά μεγάλος πυρήνας υψηλών συγκεντρώσεων, από το 131,7χλμ του ΒΟΑΚ, πριν τον Κόμβο Εσταυρωμένου, έως το 164,4χλμ στην σήραγγα.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.9, που αφορά την 1η δεκαετία της συνολικά εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, 01/01/2000 – 31/12/2009, η υψηλότερη τάξη συγκεντρώσεων τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς κατά μήκος του ΒΟΑΚ, κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές πυκνότητας 0,1596 ~ 0,1966 ατυχ./τ.χλμ. Συγκεκριμένα παρατηρούνται εστίες πολύ υψηλών τιμών:

- Στην Π.Ε. Χανίων, ξεκινάει περί το 15χλμ του ΒΟΑΚ, 600μ περίπου από τον Κόμβο Καλαμίου, και καταλήγει στο 35,4χλμ.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, ένα μικρός πυρήνας αρχίζει στο 42χλμ του ΒΟΑΚ, μετά τον οικισμό Κάβρο Χανίων, έως το 45,6χλμ. Μικρότερη κλίμακα υψηλής πυκνότητας τροχαίων με τιμές 0,1295 ~ 0,1596 ατυχ./τ.χλμ. εντός της Π.Ε. αρχίζει στο 66,2χλμ και φτάνει έως το 77χλμ.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου, εντοπίζεται ένας αρκετά μεγάλος πυρήνας υψηλών συγκεντρώσεων, από το 131,7χλμ του ΒΟΑΚ, 1χλμ περίπου πριν την αρχή του Κόμβου Εσταυρωμένου, έως το 164,5χλμ στην έξοδο της σήραγγας.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.10, για την περίοδο 01/01/2010 – 31/12/2020, παρατηρείται μια εστία πολύ υψηλής συγκέντρωσης τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς κατά μήκος του ΒΟΑΚ, στην Π.Ε. Ηρακλείου, με τιμές πυκνότητας 0,0939 ~ 0,1280 ατυχ./τ.χλμ. Αρχίζει στο 96χλμ (εντός Π.Ε. Ρεθύμνου) και τελειώνει στο 118χλμ περίπου. Σημειώνεται ότι αν και οι μέγιστες τιμές πυκνότητας αυτής της περιόδου είναι μικρότερες σε σχέση με της 1ης δεκαετίας (μέγιστη τιμή: 0,1966 ατυχ./τ.χλμ.), η διαφορά τους δεν είναι πολύ μεγάλη. Μικρότερης κλίμακας πυκνότητες τροχαίων (0,0678 - 0,0939 ατυχ./τ.χλμ.) βρίσκονται στην Π.Ε. Χανίων

από τον Κόμβο Σούδας στο 5,7χλμ έως το 25 χλμ περίπου και στην Π.Ε. Ρεθύμνου (47 - 59,3χλμ), ενώ στην Π.Ε. Ηρακλείου η περιοχή επιρροής της κλάσης αυτής εκτείνεται από το 92,3χλμ έως τον Α.Κ. Λινοπεραμάτων στο 126,6χλμ περίπου.

5.3.4. Δείκτης Σοβαρότητας Ατυχημάτων

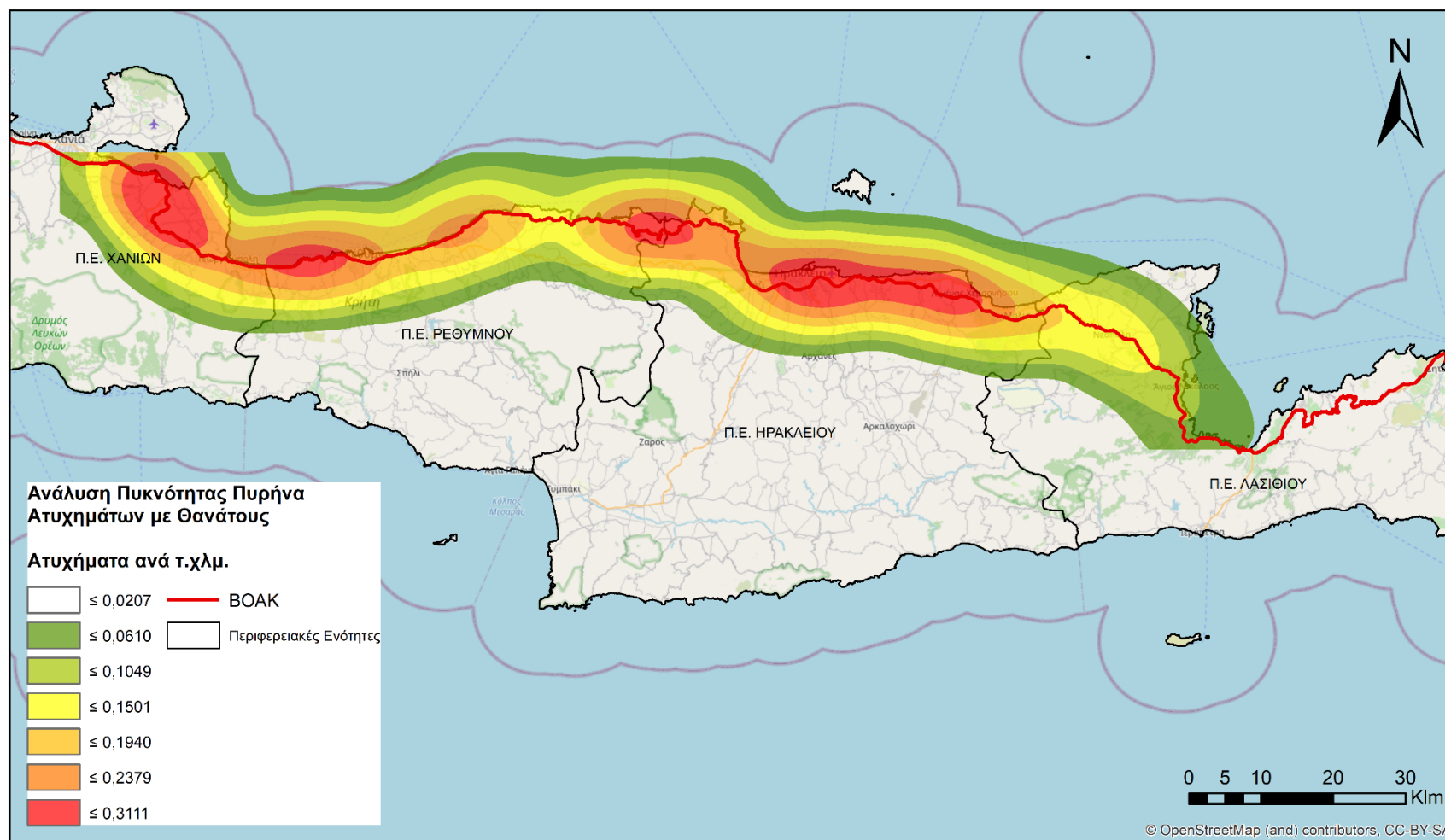
Στους Χάρτες 5.11 έως 5.13 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων που συνέβησαν στον ΒΟΑΚ με βάση τον Δείκτη Σοβαρότητας ατυχημάτων που εφαρμόστηκε στα δεδομένα. Στο τμήμα του ΒΟΑΚ που διατρέχει την Π.Ε. Λασιθίου, για τις τρεις χρονικές περιόδους που εξετάστηκαν, σημειώνονται χαμηλές σχετικά πυκνότητες του δείκτη σοβαρότητας ατυχημάτων, και για το λόγο αυτό δεν γίνεται περεταίρω ανάλυση της πυκνότητας των ατυχημάτων αυτής της Π.Ε. παρακάτω.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.11 που αφορά την συνολικά εξεταζόμενη χρονική περίοδο 2000 – 2020, εστίες με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του δείκτη σοβαρότητας τροχαίων ατυχημάτων, με τιμές πυκνότητας 2,2776 ~ 2,9937 ατυχ./τ.χλμ, κατά μήκος του ΒΟΑΚ παρατηρούνται:

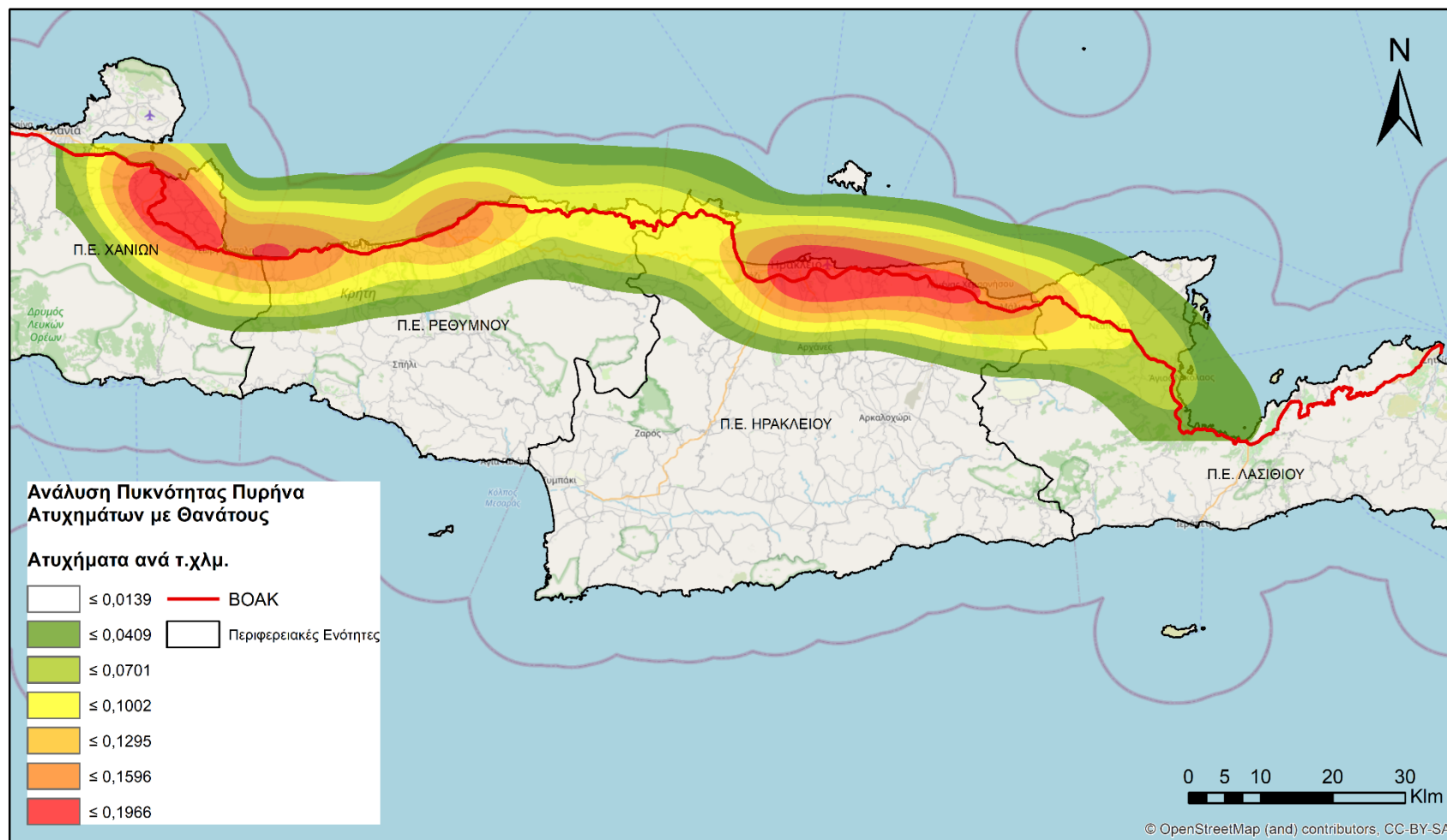
- Στην Π.Ε. Χανίων, από το 11,3χλμ του ΒΟΑΚ, 400μ περίπου πριν την αρχή του Κόμβου Ζαχαριά, έως το 29,5χλμ περίπου.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, από το 46χλμ του ΒΟΑΚ, έως το 55,6 χλμ, στην έξοδο του Κόμβου Ατσιπόπουλου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου, από το 134χλμ του ΒΟΑΚ, μετά τον Κόμβο Εσταυρωμένου, έως το 144,5χλμ περίπου (θέση «ΚΤΕΟ»). Ενώ μια ακόμα εστία μικρής ακτίνας συναντάται στην περιοχή των Γουβών, στο τμήμα νέας χάραξης που δημιουργήθηκε με την αναβάθμιση του Τμήματος Γουρνές – Χερσόνησος, από το 155χλμ περίπου έως το 158χλμ.

Εξετάζοντας τον Χάρτη 5.12 που αφορά την 1η δεκαετία της συνολικά εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, 01/01/2000 – 31/12/2009, η υψηλότερη τάξη συγκεντρώσεων του δείκτη σοβαρότητας τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ, κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές πυκνότητας 1,5351 ~ 2,0282 ατυχ./τ.χλμ. Οι περιοχές υψηλότερων τιμών πυκνότητας βρίσκονται σχεδόν στις ίδιες θέσεις με την προηγούμενη περίπτωση, για το σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου. Συγκεκριμένα παρατηρούνται εστίες πολύ υψηλών τιμών:

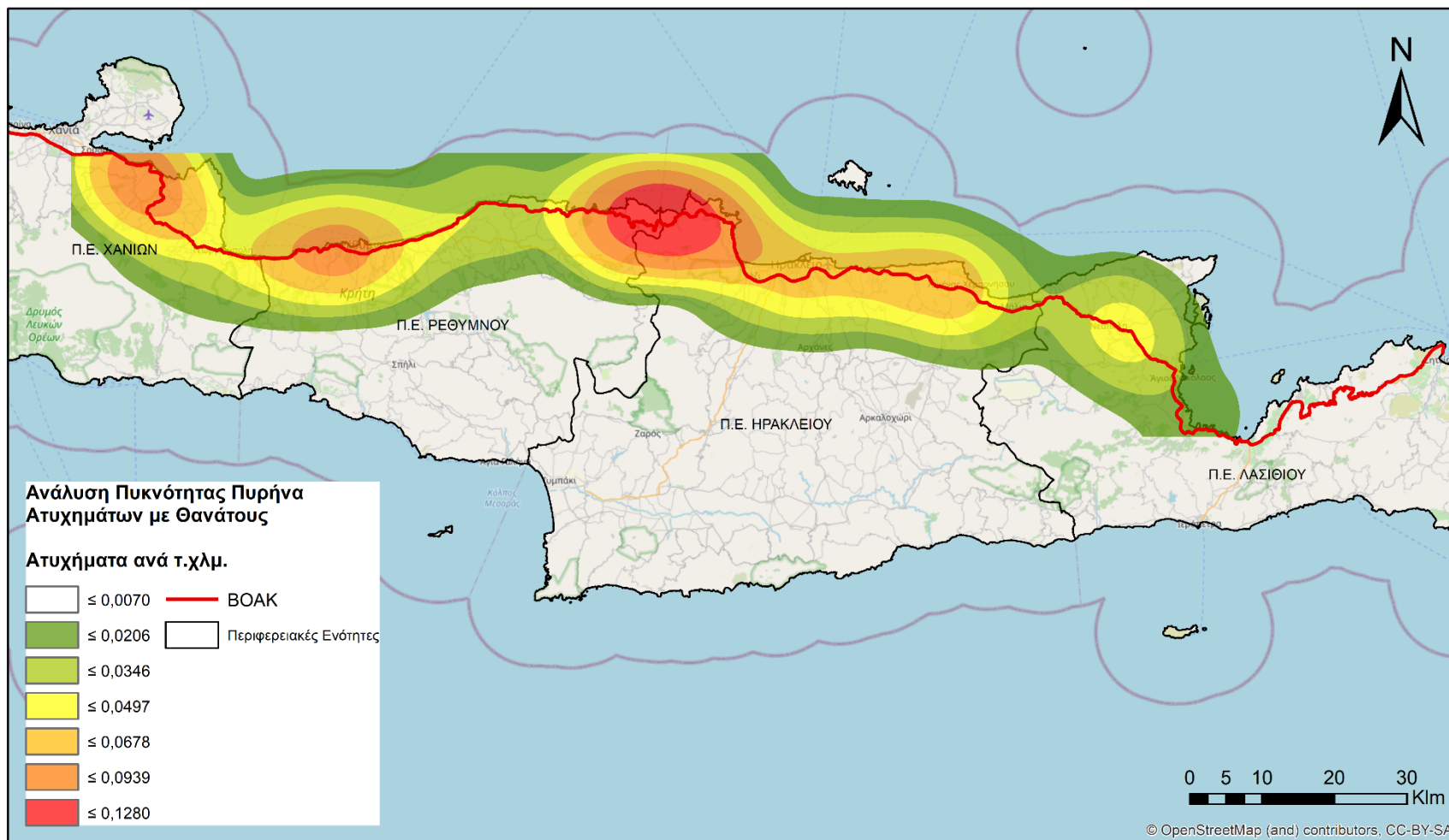
- Στην Π.Ε. Χανίων, από το 12,5χλμ του ΒΟΑΚ, μετά τον Κόμβο Ζαχαριά, έως το 31χλμ περίπου.
- Στην Π.Ε. Ρεθύμνου, από το 44χλμ του ΒΟΑΚ, έως το 55,5χλμ, στην έξοδο του Κόμβου Ατσιπόπουλου.
- Στην Π.Ε. Ηρακλείου, από το 133χλμ του ΒΟΑΚ, έως το 146χλμ περίπου.



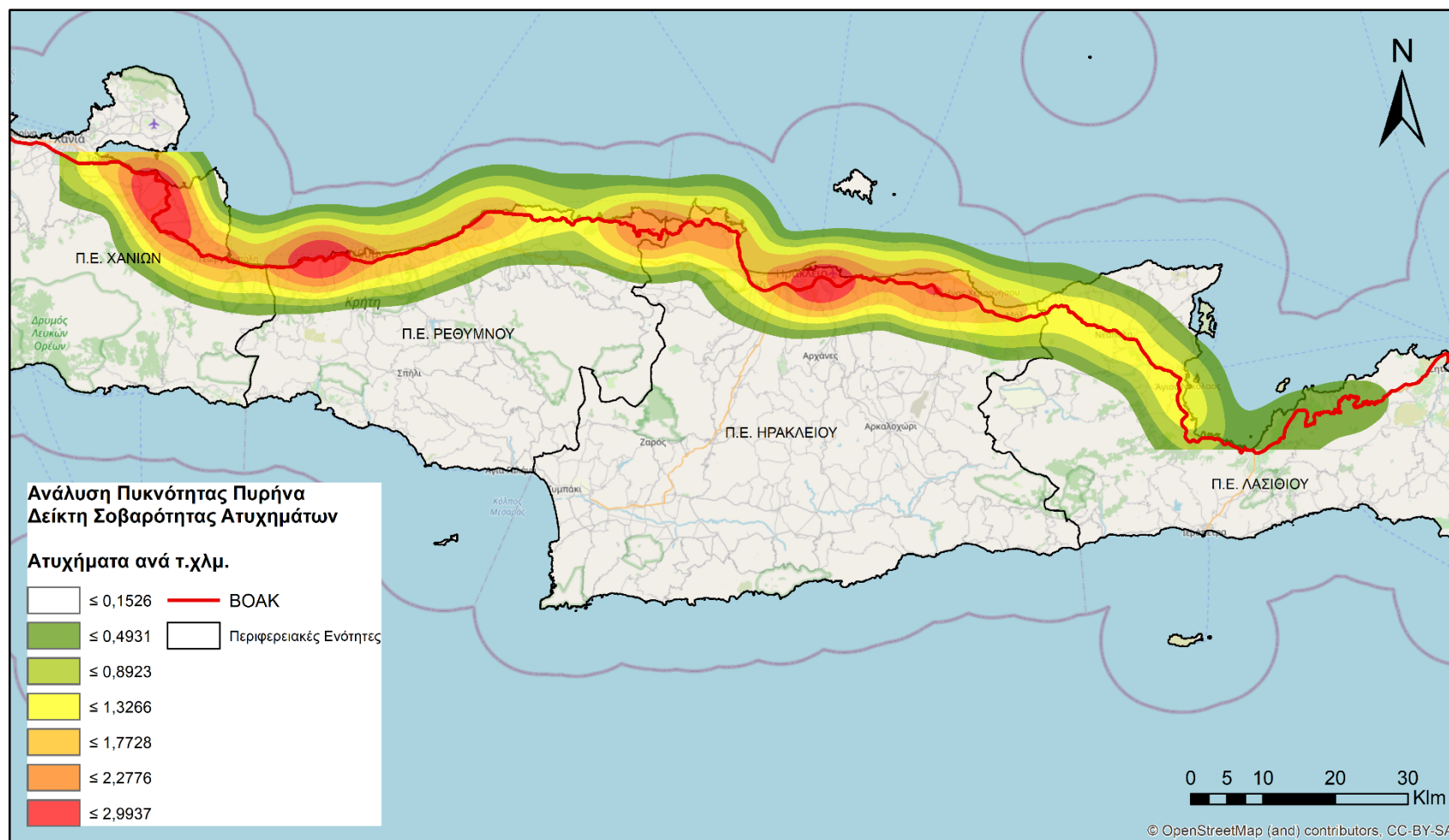
Χάρτης 5.8: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση θανάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020



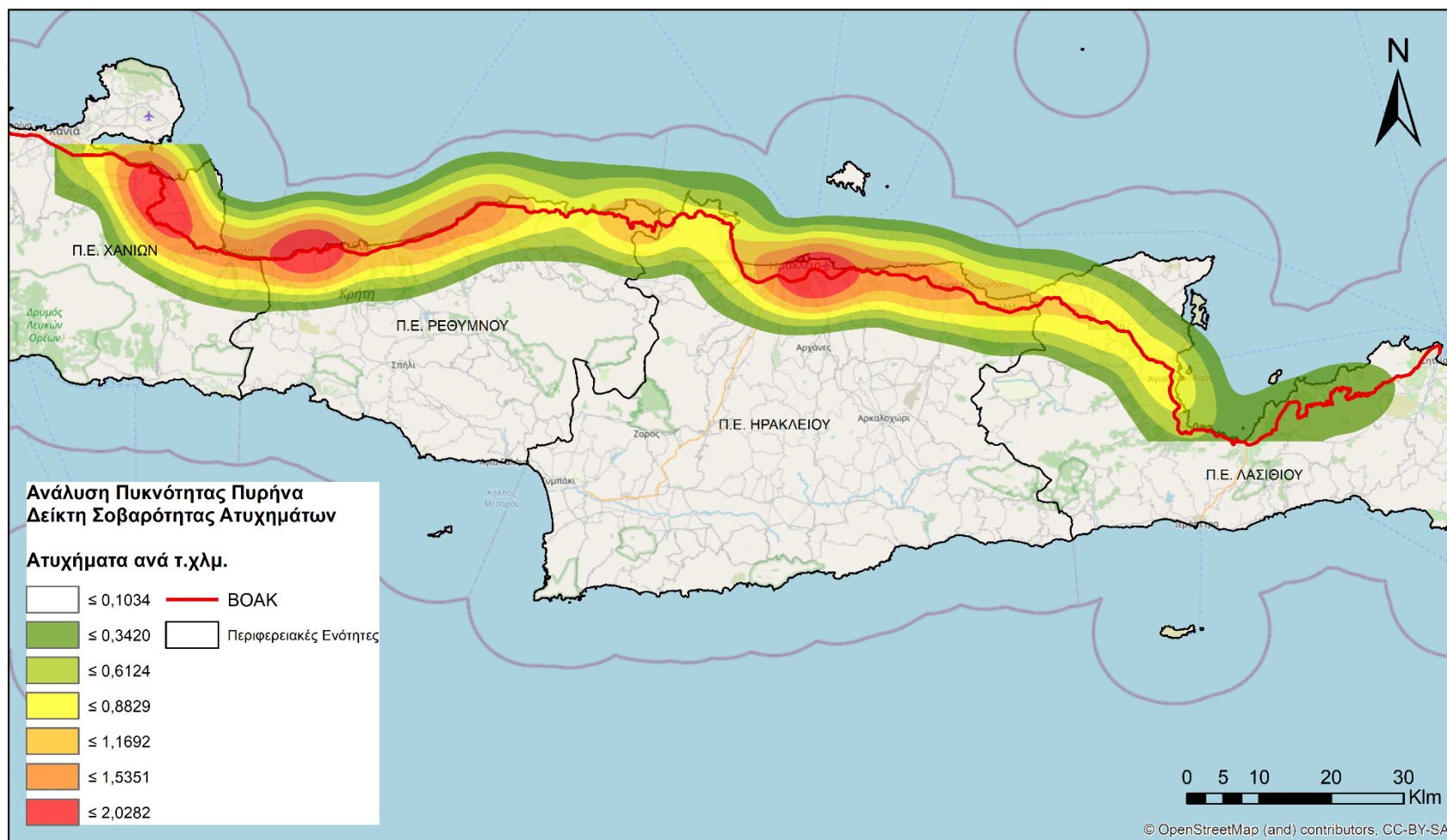
Χάρτης 5.9: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση θανάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009



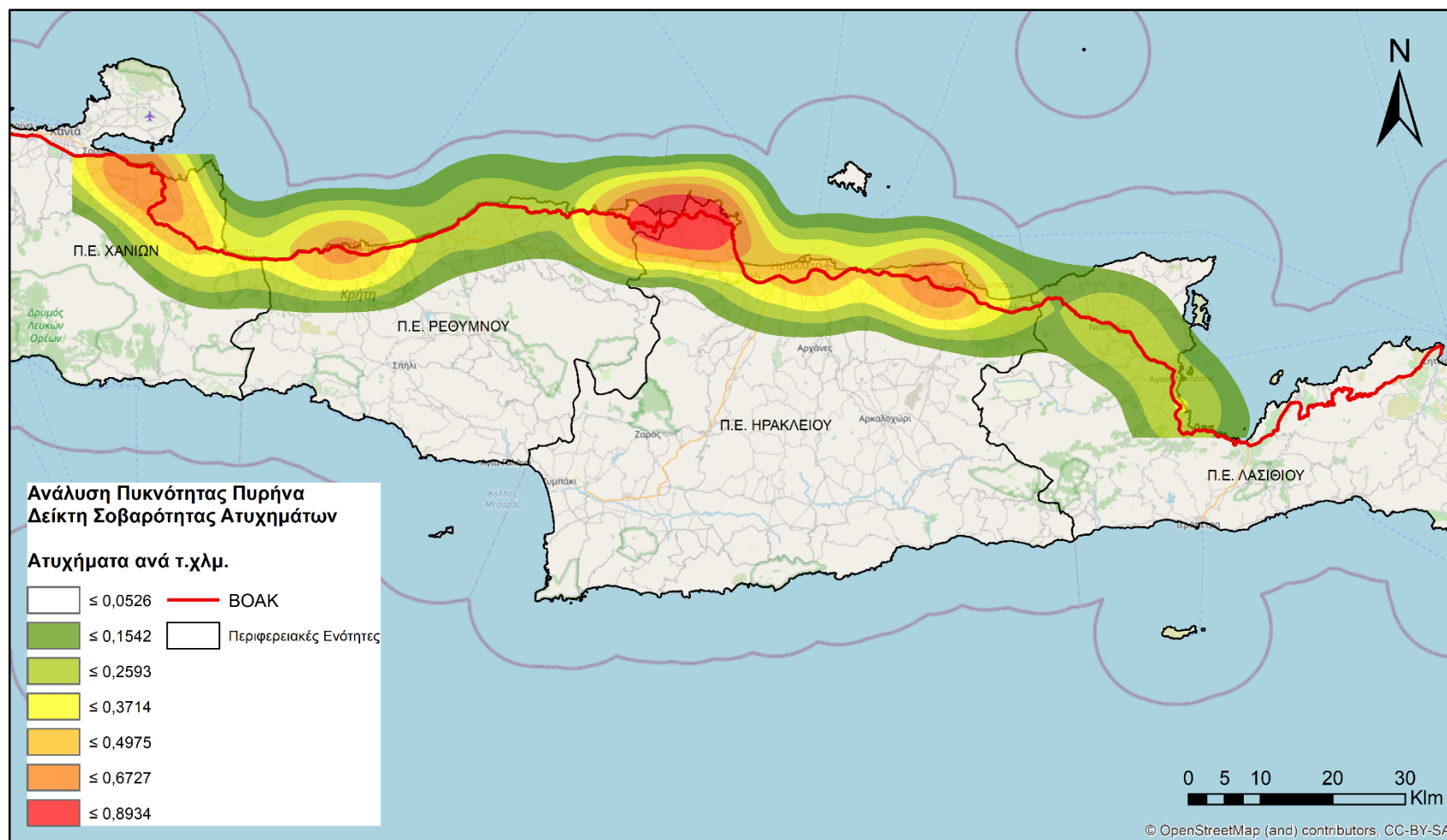
Χάρτης 5.10: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. με πρόκληση θανάτων κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020



Χάρτης 5.11: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) Δείκτη Σοβαρότητας συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2020



Χάρτης 5.12: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) Δείκτη Σοβαρότητας συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2000 – 2009



Χάρτης 5.13: Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Analysis) Δείκτη Σοβαρότητας συνολικών τροχαίων ατυχημάτων ανά τετρ. χλμ. κατά μήκος του BOAK για την χρονική περίοδο 2010 – 2020

Τέλος, εξετάζοντας τον Χάρτη 5.13, για την περίοδο 01/01/2010 – 31/12/2020, παρατηρείται μια εστία πολύ υψηλής συγκέντρωσης του δείκτη σοβαρότητας τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος του ΒΟΑΚ, μεταξύ των Π.Ε. Ρεθύμνου και Π.Ε. Ηρακλείου, με τιμές πυκνότητας 0,6727 ~ 0,8934 ατυχ./τ.χλμ. Αρχίζει στο 99,3 χλμ του ΒΟΑΚ και τελειώνει στο 120χλμ περίπου. Σημειώνεται ότι οι μέγιστες τιμές πυκνότητας αυτής της περιόδου είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με της 1ης δεκαετίας (μέγιστη τιμή: 2,082 ατυχ./τ.χλμ.). Μικρότερης κλίμακας πυκνότητες τροχαίων (0,4975 - 0,6727 ατυχ./τ.χλμ.) βρίσκονται στην Π.Ε. Χανίων από 7,5χλμ έως το 24χλμ περίπου, στην Π.Ε. Ρεθύμνου από 51,5χλμ έως το 57,6χλμ στον Κόμβο Τυμπακίου, ενώ στην Π.Ε. Ηρακλείου η περιοχή επιρροής της κλάσης αυτής εκτείνεται από το 95,8χλμ έως το 125,3χλμ περίπου και από το 152,6χλμ μετά τον Κόμβο Γουρνών έως το 162,5χλμ περίπου στο ύψος του Κουτουλουφαρίου.

5.4. Δημιουργία Μοντέλου αναλύσεων χωρικής αυτοσυσχέτισης

Στην προηγούμενη ενότητα μελετήθηκε η πυκνότητα των τροχαίων ατυχημάτων στο γεωγραφικό χώρο μέσω των επιφανειών που δημιουργήθηκαν. Στις παρακάτω ενότητες εξετάζεται η Χωρική Αυτοσυσχέτιση των τροχαίων ατυχημάτων που συνέβησαν στον ΒΟΑΚ και η πιθανή ύπαρξη hotspot. Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται το μοντέλο επαναληπτικής διαδικασίας, που δημιουργήθηκε για την αυτόματη και ταυτόχρονη εκτέλεση των χωρικών αναλύσεων, ώστε να είναι δυνατή η διερεύνηση της επιρροής των διαφόρων παραμέτρων εισόδου σε αυτές και η εξοικονόμηση χρόνου.

Ο έλεγχος της Χωρικής Αυτοσυσχέτισης πραγματοποιείται με τη βοήθεια τεσσάρων δεικτών. Αρχικά υπολογίζεται ο δείκτης Global Moran's I για μία γενική τιμή αυτοσυσχέτισης των μεταβλητών στη περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, για την περίπτωση που βρεθεί ομαδοποιημένο πρότυπο υπολογίζεται και ο δείκτης Getis-Ord General G, με τον οποίο μετράται ο βαθμός ομαδοποίησης, αποκαλύπτοντας αν πρόκειται για υψηλές ή για χαμηλές τιμές ομαδοποίησης. Ακολούθως, εφαρμόζεται ο τοπικός δείκτης Local Moran's I εντοπίζοντας τις χωρικές οντότητες που φέρουν διαφορετικές ή παρόμοιες τιμές από τις γειτονικές τους και τέλος εφαρμόζεται η στατιστική Getis-Ord Gi* για τον εντοπισμό σημείων hotspot στον ΒΟΑΚ.

Οι προαναφερόμενες χωρικές στατιστικές εφαρμόστηκαν μέσω του ΣΓΠ ArcGIS 10.5.1, όπου απαιτείται η είσοδος μιας σειράς παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν και τις τέσσερις μεθόδους χωρικής αυτοσυσχέτισης που αναφέρθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, οι βασικότεροι παράμετροι που επηρεάζουν το αποτέλεσμα στην συγκεκριμένη εργασία είναι:

- Καθορισμένη απόσταση (Distance Band or Threshold): Καθορίζεται μια απόσταση αποκοπής. Χαρακτηριστικά εκτός του καθορισμένου ορίου για ένα χαρακτηριστικό στόχο αγνοούνται ή έχουν σταδιακά μειωμένη επίδραση στις αναλύσεις για αυτό το χαρακτηριστικό. Όταν αυτή η παράμετρος παραμείνει κενή, υπολογίζεται και εφαρμόζεται μια προεπιλεγμένη

τιμή κατωφλίου. Αυτή η προεπιλεγμένη τιμή είναι η Ευκλείδεια απόσταση που διασφαλίζει ότι κάθε χαρακτηριστικό έχει τουλάχιστον έναν γείτονα. Η απόσταση αυτή για τα τροχαία ατυχήματα του BOAK είναι 4776,2μ.

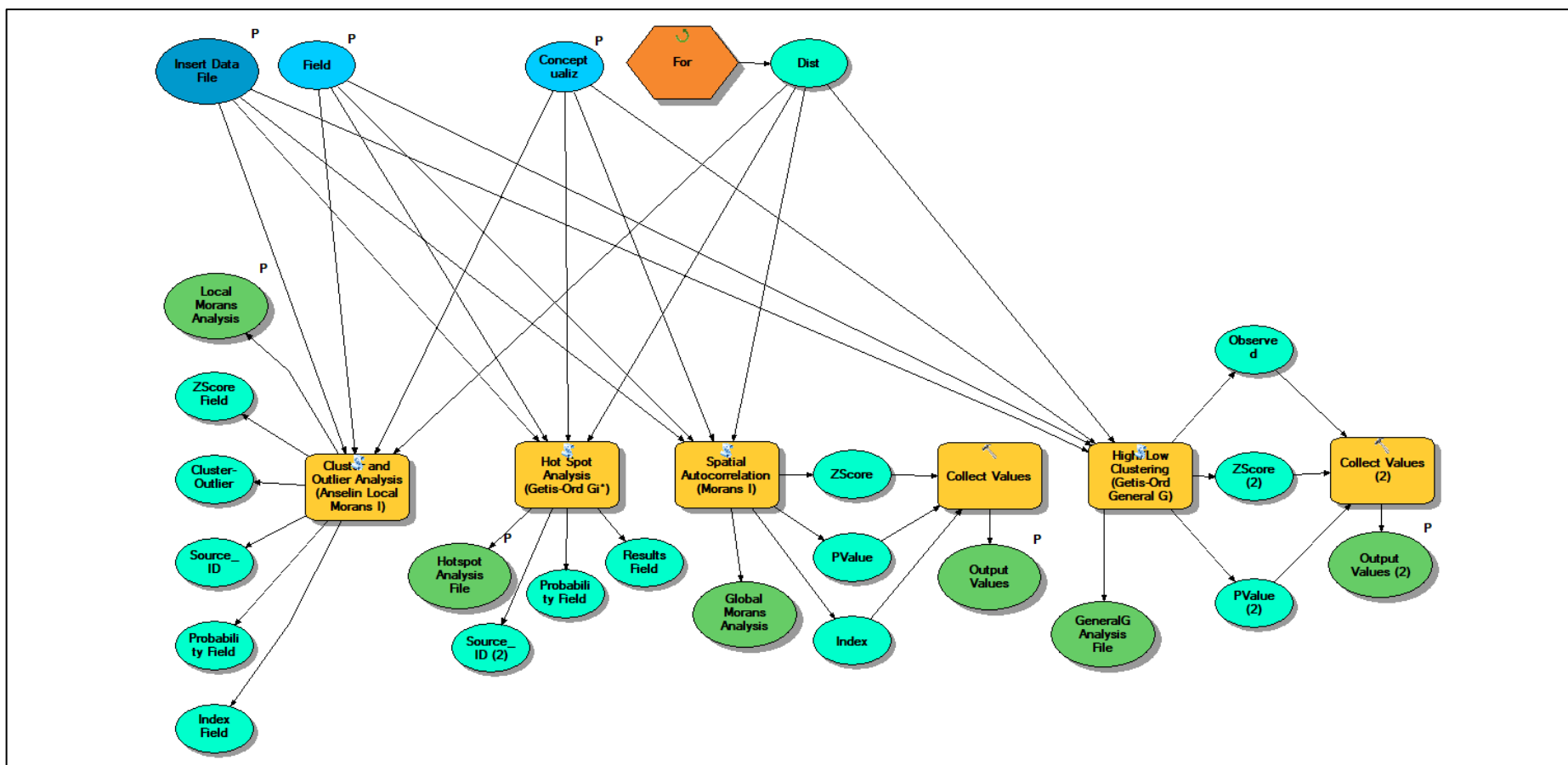
- **Εννοιολόγηση των Χωρικών Σχέσεων ή Σχέση Χωρικής Συγγένειας των χαρακτηριστικών (Conceptualization of Spatial Relationships):** η παράμετρος αυτή καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ορίζονται οι χωρικές σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών. Από τις διατιθέμενες επιλογές του ArcGIS 10.5.1 όπως αναφέρθηκαν αναλυτικά στην §3.3.4, αυτές που κρίθηκαν καταλληλότερες για τα δεδομένα των τροχαίων ατυχημάτων είναι οι εξής: Inverse Distance, Fixed Distance Band, Zone Of Indifference.
- **Μέθοδος Απόστασης (Distance Method):** Καθορίζει τον τρόπο υπολογισμού των αποστάσεων από κάθε χαρακτηριστικό σε γειτονικά χαρακτηριστικά. Οι επιλογές που δίδονται είναι η Ευκλείδεια απόσταση και η απόσταση Manhattan όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στην §3.3.4. Στην παρούσα ΜΔΕ έγινε χρήση της Ευκλείδειας Απόστασης, καθώς είναι πιο αντιπροσωπευτική για τα δεδομένα των τροχαίων σε αυτοκινητόδρομο.
- **Κανονικοποίηση των τιμών του εξεταζόμενου χαρακτηριστικού:** συνιστάται κάθε φορά που η κατανομή των χαρακτηριστικών είναι δυνητικά μεροληπτική λόγω σχεδιασμού δειγματοληψίας ή επιβεβλημένου συνολικού σχήματος. Στην παρούσα επιλέχθηκε η κανονικοποίηση των χωρικών βαρών. Κάθε βάρος διαιρείται με το άθροισμα των σειρών του (το άθροισμα των βαρών όλων των γειτονικών χαρακτηριστικών).
- **Εφαρμογή μεταθέσεων (μόνο για την ανάλυση Local Moran's).** Οι μεταθέσεις χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί πόσο πιθανό θα ήταν να βρεθεί η πραγματική χωρική κατανομή των τιμών που αναλύονται. Οι μεταθέσεις δημιουργούν πολλά τυχαία σύνολα δεδομένων και συγκρίνουν αυτές τις τιμές με το Local Moran's I των αρχικών δεδομένων. Για να γίνει αυτό, κάθε μετάθεση αναδιατάσσει τυχαία τις τιμές γειτονιάς γύρω από κάθε χαρακτηριστικό και υπολογίζει την τιμή I του Local Moran για αυτά τα τυχαία δεδομένα. Η αύξηση του αριθμού των μεταθέσεων αυξάνει την ακρίβεια αλλά και τον χρόνο επεξεργασίας. Στην παρούσα ΜΔΕ χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη τιμή μεταθέσεων που υπάρχει στο ArcGIS, και είναι 9999 μεταθέσεις, για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας, καθώς ο όγκος των δεδομένων δεν είναι μεγάλος και το χρονικό κόστος ήταν μικρό.

Προκειμένου να εξεταστεί η επιρροή των τριών προαναφερθέντων χωρικών σχέσεων για διάφορες τιμές κρίσιμων αποστάσεων και να επιλεγθεί τελικώς ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων που οδηγούν στο ορθότερο τελικό αποτέλεσμα, καθώς και για λόγους εξοικονόμησης χρόνου διεξαγωγής των χωρικών στατιστικών αναλύσεων, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο επαναληπτικής διαδικασίας.

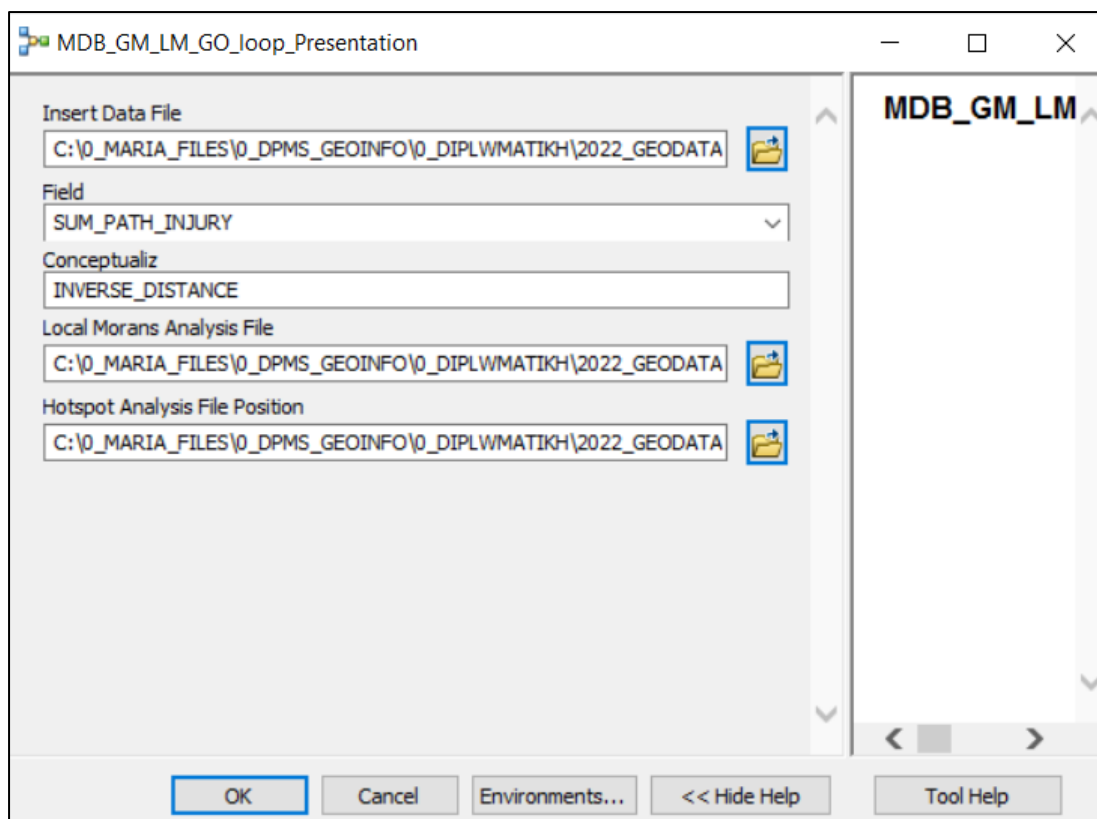
Η επαναληπτική αυτή διαδικασία ορίστηκε στο γεωπληροφοριακό σύστημα ArcGIS 10.5.1, μέσω του model builder, ώστε όλες οι αναλύσεις χωρικής αυτοσχέτισης και hotspot που περιεγράφηκαν, να γίνονται αυτόματα μετά τον ορισμό εισαγωγής του εκάστοτε αρχείου δεδομένων. Στο μοντέλο αυτό, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1, ορίστηκε ένας βρόγχος επανάληψης, ώστε το πεδίο τιμών

της καθορισμένης απόστασης να λαμβάνει τιμές από 5χλμ (τιμή μεγαλύτερη από την ελάχιστη 4776,2μ που αναφέρθηκε παραπάνω) έως 20χλμ, με διάστημα επανάληψης τα 2,5χλμ. Τιμές μεγαλύτερες των 20χλμμ κρίθηκαν ότι δεν είναι κατάλληλες για το επίπεδο ανάλυσης της παρούσας.

Το εργαλείο της αυτοματοποιημένης διαδικασίας που δημιουργήθηκε έχει πέντε πεδία εισαγωγής που πρέπει να συμπληρώσει ο χρήστης, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.2. : 1) το αρχείο εισόδου, 2) το χαρακτηριστικό πεδίο του αρχείου (μεταβλητή) που θα λάβει μέρος στην ανάλυση, 3) την μέθοδο καθορισμού των χωρικών σχέσεων, 4) τον ορισμό της θέσης και του ονόματος του αρχείου που θα προκύψει από την ανάλυση Local Moran's I & 5) τον ορισμό της θέσης και του ονόματος του αρχείου που θα προκύψει από την ανάλυση hotspot (Getis-Ord Gi*). Τα φύλλα αναφοράς των αναλύσεων Global Moran's I & Getis-Ord General G, αποθηκεύονται στην προκαθορισμένη θέση του ΣΓΠ στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και από εκεί γίνεται η συλλογή των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5.1: Μοντέλο επαναληπτικής διαδικασίας υλοποίησης χωρικών αναλύσεων σε περιβάλλον ArcMap Model Builder



Εικόνα 5.2: Interface του μοντέλου επαναληπτικής διαδικασίας υλοποίησης χωρικών αναλύσεων σε περιβάλλον ArcMap

Προκειμένου να παρέχεται καλύτερη ακρίβεια για την αξιολόγηση των hotspot των τροχαίων οδικών ατυχημάτων, τα μοντέλα χωρικής αυτοσυσχέτισης χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό περιοχών όπου μόνο οι τραυματισμοί και οι θάνατοι παρουσιάζουν υψηλή ομαδοποίηση και, κατά συνέπεια, χρειάζονται άμεσες παρεμβάσεις. Συνεπώς, οι μεταβλητές που εξετάζονται σε αυτή την ενότητα είναι οι εξής:

- Το σύνολο των τροχαίων ατυχημάτων ως προς τους τραυματίες
- Το σύνολο των τροχαίων ατυχημάτων ως προς τους νεκρούς

Τα χρονικά διαστήματα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τις δυο διακριτές χρονικές υποπεριόδους, όπως αναφέρθηκαν και στην προηγούμενη μέθοδο:

- 01/01/2000 – 31/12/2009 (Αριθμός συνολικών ατυχημάτων : 605)
- 01/01/2010 – 31/12/2020 (Αριθμός συνολικών ατυχημάτων : 255)

Θωρήθηκε πως το συνολικό χρονικό διάστημα, στο οποίο αναφέρεται το σύνολο των δεδομένων που διατίθενται, πρέπει να διαιρεθεί σε δυο υποπεριόδους, καθώς μέσα σε αυτό το διάστημα των 21 ετών (2000 – 2020) έχουν γίνει πολλές αλλαγές στον ΒΟΑΚ. Οι αλλαγές αυτές αφορούν τις αναβαθμίσεις των διαφόρων τμημάτων, αλλαγές χαράξεων, δημιουργία νέων ή και ανακατασκευή κόμβων, βελτιώσεις οδικής ασφάλειας, κ.λπ. όπως επίσης και στην βελτίωση των πολιτικών αστυνόμευσης και της οδηγικής συμπεριφοράς.

5.5. Χωρική Αυτοσυσχέτιση

Η χωρική αυτοσυσχέτιση εξετάζει τον βαθμό στον οποίο μια μεταβλητή συσχετίζεται με τον εαυτό της. Είναι η έννοια όπου αποτυπώνεται ως ο Πρώτος Νόμος της Γεωγραφίας: «Τα πάντα σχετίζονται με οτιδήποτε άλλο, αλλά τα κοντινά πράγματα σχετίζονται περισσότερο από τα μακρινά πράγματα» (Tobler, 1970). Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό της χωρικής αυτοσυσχέτισης. Ο δείκτης Moran και ο δείκτης Getis-Ord είναι δύο κοινά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για την ανάλυση δεδομένων τροχαίων ατυχημάτων (Erdogan, 2009; Osayomi & Areola, 2015).

Υπάρχουν δύο βασικές μορφές αυτών των μοντέλων: γενικό και τοπικό. Το γενικό μοντέλο υπολογίζει και επιστρέφει μόνο μία τιμή, η οποία καθορίζει εάν η κατανομή των περιστατικών είναι ομαδοποιημένη, τυχαία ή διασκορπισμένη. Η διαφορά του γενικού μοντέλου δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης με το τοπικό, είναι ότι το πρώτο δεν προσδιορίζει τις περιοχές ή τις τοποθεσίες όπου οι μεταβλητές ομαδοποιούνται ή όπου η χωρική αυτοσυσχέτιση είναι σημαντική (Nicholson, 1999). Την ανάλυση αυτή υλοποιεί το τοπικό μοντέλο δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης.

5.5.1. Γενικοί Δείκτες Global Moran's I & Getis-Ord General G

Ο σημαντικότερος και πιο παλιός γενικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι ο Global Moran's I. Το αποτέλεσμα του δείκτη αυτού είναι μια κατανομή σε μορφή καμπάνας (Εικόνα 5.3) από την οποία φαίνεται το χωρικό πρότυπο της εξεταζόμενης μεταβλητής (ομαδοποιημένο, τυχαίο ή διασκορπισμένο), αλλά και οι τιμές των z-score, p-value και αυτής του δείκτη Moran (Moran's Index), που δείχνει το βαθμό αυτοσυσχέτισης των μεταβλητών (Λιόγκα, 2020).

Αντιστοίχως, ο γενικός δείκτης Getis-Ord General G αποτελεί έναν ακόμα δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης, το αποτέλεσμα του οποίου είναι ίδιο με αυτό του Global Moran's I (Εικόνα 5.3), με την διαφορά ότι το χωρικό πρότυπο που εξετάζεται αφορά την συγκέντρωση υψηλών ή χαμηλών τιμών ομαδοποίησης της εξεταζόμενης μεταβλητής, ενώ πέρα από τις z-score και p-value, δίδεται η τιμή του δείκτη της μεθόδου αυτής «Observed General G».

Επομένως το μέτρο Global Moran's I εντοπίζει ότι παρόμοιες τιμές της μεταβλητής ενδιαφέροντος μπορεί να εμφανίζονται μαζί. Δεν υποδεικνύει εάν κάποιο σύμπλεγμα αποτελείται από υψηλές ή χαμηλές τιμές. Η γενική στατιστική Getis-Ord G, μπορεί πιο συγκεκριμένα να χρησιμοποιηθεί για να αναδείξει εάν υπάρχουν ή όχι συμπλέγματα υψηλών/χαμηλών τιμών στην περιοχή μελέτης.

Οι δείκτες υπολογίστηκαν μέσω του μοντέλου που δημιουργήθηκε για κάθε συνδυασμό παραμέτρων χωρικών σχέσεων και καθορισμένης απόστασης, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, για τις δυο μεταβλητές στις δυο υποπεριόδους. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis) των δεδομένων στις παραμέτρους εισόδου. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες 5.2 και 5.3., όπου η στατιστική Getis-Ord General G εφαρμόστηκε

μόνο στις περιπτώσεις που υπήρχε ομαδοποιημένο πρότυπο με βάση τον γενικό δείκτη Moran.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 5.2 παρατηρείται πως το σύνολο των RTAs ως προς τους τραυματίες παρουσιάζουν τυχαία κατανομή, κατά την χρονική περίοδο 2000–2009, για όλους τους συνδυασμούς παραμέτρων που δοκιμάστηκαν. Ενώ για την 2η περίοδο, 2010–2020, το χωρικό πρότυπο του φαινομένου είναι ομαδοποιημένο, για τους περισσότερους συνδυασμούς παραμέτρων. Για αυτές τις περιπτώσεις φαίνεται ότι η εξεταζόμενη μεταβλητή χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από υψηλές τιμές συγκεντρώσεων, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της στατιστικής Getis-Ord General G.

Αντίστοιχα, εξετάζοντας τον Πίνακα 5.3 παρατηρείται πως το σύνολο των RTAs ως προς τους νεκρούς παρουσιάζουν ομαδοποιημένο πρότυπο και κατά τις δυο χρονικές υποπεριόδους που εξετάζονται, για όλους τους συνδυασμούς παραμέτρων που δοκιμάστηκαν εκτός από την περίπτωση χρήσης της χωρικής σχέσης «Inverse Distance». Για τις περιπτώσεις των ομαδοποιημένων προτύπων φαίνεται ότι η εξεταζόμενη μεταβλητή χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από υψηλές τιμές συγκεντρώσεων, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της στατιστικής Getis-Ord General G.

Συνολικά, αναφορικά με τον συνδυασμό παραμέτρων που εφαρμόστηκαν παρατηρούνται τα εξής:

- Για κάθε χωρική σχέση που δοκιμάστηκε, οι τιμές των δεικτών Global Moran's I & Getis-Ord General G, επηρεάζονται πολύ λίγο από την μεταβολή της κρίσιμης απόστασης μεταξύ του εύρους 5χλμ – 20χλμ.
- Οι τιμές των δεικτών αντίστοιχα για τις διάφορες χωρικές σχέσεις ανά εξεταζόμενη περίοδο και μεταβλητή, δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές τους.
- Χρησιμοποιώντας τη χωρική σχέση «Inverse Distance», στις τρεις από τις τέσσερις περιπτώσεις προκύπτει ότι η μεταβλητή ενδιαφέροντος έχει τυχαίο πρότυπο.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και παρατηρήσεις, λαμβάνοντας επίσης υπόψη και την τεκμηρίωση (documentation) του ArcGIS 10.5.1 που προτείνει για την ανάλυση Hotspot (η οποία εφαρμόζεται παρακάτω με χρήση του Getis-Ord Gi*) ως καταλληλότερο μοντέλο χωρικών σχέσεων την «Fixed Distance Band», επιλέχθηκε αυτή η χωρική σχέση για την τελική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

VARIABLE: INJURIES									
PARAMETERS		GLOBAL MORAN' S I				GETTIS ORD GENERAL G			
Conceptualization	Distance (m)	Pattern	Moran's I	z-score	p-value	Pattern	Observed G	z-score	p-value
Distance Method: EUCLIDEAN, Standardization: ROW									
2000 - 2009									
INVERSE DISTANCE	5.000	Random	-0,010331	-0,234236	0,814802				
	7.500	Random	-0,015012	-0,364263	0,715662				
	10.000	Random	-0,017619	-0,437922	0,661443				
	12.500	Random	-0,017691	-0,441640	0,658750				
	15.000	Random	-0,019162	-0,483522	0,628725				
	17.500	Random	-0,020114	-0,510890	0,609428				
	20.000	Random	-0,020709	-0,528244	0,597330				
FIXED DISTANCE BAND	5.000	Random	0,008380	0,915081	0,360149				
	7.500	Random	0,000548	0,254016	0,799483				
	10.000	Random	-0,003195	-0,211145	0,832774				
	12.500	Random	-0,000069	0,248619	0,803655				
	15.000	Random	-0,001743	-0,015388	0,987722				
	17.500	Random	-0,002824	-0,224274	0,822544				
	20.000	Random	-0,002935	-0,265587	0,790557				
ZONE OF INDIFFERENCE	5.000	Random	0,008264	0,906884	0,364468				
	7.500	Random	0,000615	0,262171	0,793190				
	10.000	Random	-0,003183	-0,209715	0,833890				
	12.500	Random	-0,000064	0,249600	0,802896				
	15.000	Random	-0,001729	-0,012800	0,989787				
	17.500	Random	-0,002790	-0,217848	0,827548				
	20.000	Random	-0,002940	-0,266903	0,789544				
2010 - 2020									
INVERSE DISTANCE	5.000	Clustered	0,157693	2,697034	0,006996	High Clusters	0,004554	2,098039	0,035902
	7.500	Clustered	0,147195	2,568287	0,010220	High Clusters	0,004533	2,027536	0,042608
	10.000	Clustered	0,138294	2,438266	0,014758	High Clusters	0,004506	1,936886	0,052759
	12.500	Clustered	0,131515	2,337292	0,019424	High Clusters	0,004491	1,890719	0,058662
	15.000	Clustered	0,128753	2,302135	0,021328	High Clusters	0,004481	1,861081	0,062733
	17.500	Clustered	0,127466	2,290800	0,021975	High Clusters	0,004477	1,850003	0,064313
	20.000	Clustered	0,126066	2,272966	0,023028	High Clusters	0,004469	1,823027	0,068299
FIXED DISTANCE BAND	5.000	Clustered	0,077084	3,213556	0,001311	High Clusters	0,004369	3,365694	0,000764
	7.500	Clustered	0,047100	2,499816	0,012426	High Clusters	0,004310	3,439110	0,000584
	10.000	Clustered	0,031025	2,016390	0,043759	High Clusters	0,004187	2,376803	0,017463
	12.500	Clustered	0,002351	0,420149	0,674377	Random	0,004053	0,570469	0,568360
	15.000	Clustered	0,001330	0,399346	0,689638	Random	0,004009	-0,122811	0,902256
	17.500	Clustered	-0,001476	0,211009	0,832881	Random	0,004041	0,474668	0,635023
	20.000	Clustered	-0,004847	-0,074783	0,940387	Random	0,004041	0,514946	0,606591
ZONE OF INDIFFERENCE	5.000	Clustered	0,076235	3,185398	0,001446	High Clusters	0,004364	3,302973	0,000957
	7.500	Clustered	0,046934	2,497160	0,012519	High Clusters	0,004310	3,444450	0,000572
	10.000	Clustered	0,030815	2,007186	0,044730	High Clusters	0,004186	2,362838	0,018136
	12.500	Random	0,002353	0,420937	0,673801				
	15.000	Random	0,001086	0,381513	0,702823				
	17.500	Random	-0,001482	0,210660	0,833153				
	20.000	Random	-0,004843	-0,074428	0,940670				

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα γενικών δεικτών Moran's I & Getis Ord G για τροχαία οδικά ατυχήματα με τραυματίες στον ΒΟΑΚ

VARIABLE: DEATHS									
PARAMETERS		GLOBAL MORAN' S I				GETTIS ORD GENERAL G			
Conceptualization	Distance (m)	Pattern	Moran's I	z-score	p-value	Pattern	Observed G	z-score	p-value
Distance Method: EUCLIDEAN, Standardization: ROW									
2000 - 2009									
INVERSE DISTANCE	5.000	<i>Random</i>	-0,030746	-0,782726	0,433788				
	7.500	<i>Random</i>	-0,030746	-0,790648	0,429149				
	10.000	<i>Random</i>	-0,028769	-0,741274	0,458527				
	12.500	<i>Random</i>	-0,028063	-0,724800	0,468575				
	15.000	<i>Random</i>	-0,027935	-0,723329	0,469478				
	17.500	<i>Random</i>	-0,027983	-0,726178	0,467730				
	20.000	<i>Random</i>	-0,028090	-0,730368	0,465165				
FIXED DISTANCE BAND	5.000	<i>Clustered</i>	0,021011	2,059642	0,039433	<i>Random</i>	0,001704	1,517799	0,129065
	7.500	<i>Clustered</i>	0,022883	2,818668	0,004822	<i>High Clusters</i>	0,001713	2,243391	0,024872
	10.000	<i>Clustered</i>	0,030025	4,330808	0,000015	<i>High Clusters</i>	0,001748	4,182504	0,000029
	12.500	<i>Clustered</i>	0,029751	4,904081	0,000001	<i>High Clusters</i>	0,001741	4,431629	0,000009
	15.000	<i>Clustered</i>	0,029586	5,458780	0	<i>High Clusters</i>	0,001750	5,286219	0
	17.500	<i>Clustered</i>	0,027405	5,558815	0	<i>High Clusters</i>	0,001755	5,824881	0
	20.000	<i>Clustered</i>	0,025841	5,688635	0	<i>High Clusters</i>	0,001749	5,634259	0
ZONE OF INDIFFERENCE	5.000	<i>Clustered</i>	0,021017	2,065718	0,038855	<i>Random</i>	0,001704	1,526619	0,126856
	7.500	<i>Clustered</i>	0,022879	2,823343	0,004753	<i>High Clusters</i>	0,001713	2,247179	0,024629
	10.000	<i>Clustered</i>	0,030035	4,337757	0,000014	<i>High Clusters</i>	0,001748	4,189232	0,000028
	12.500	<i>Clustered</i>	0,029722	4,904521	0,000001	<i>High Clusters</i>	0,001741	4,432485	0,000009
	15.000	<i>Clustered</i>	0,029562	5,459144	0	<i>High Clusters</i>	0,001750	5,294135	0
	17.500	<i>Clustered</i>	0,027387	5,559458	0	<i>High Clusters</i>	0,001755	5,823933	0
	20.000	<i>Clustered</i>	0,025807	5,686069	0	<i>High Clusters</i>	0,001749	5,631303	0
2010 - 2020									
INVERSE DISTANCE	5.000	<i>Random</i>	0,042437	0,780706	0,434975				
	7.500	<i>Random</i>	0,044803	0,835547	0,403410				
	10.000	<i>Random</i>	0,046354	0,869652	0,384491				
	12.500	<i>Random</i>	0,045366	0,858159	0,390805				
	15.000	<i>Random</i>	0,043038	0,822165	0,410983				
	17.500	<i>Random</i>	0,043334	0,831325	0,405790				
	20.000	<i>Random</i>	0,042982	0,827532	0,407935				
FIXED DISTANCE BAND	5.000	<i>Clustered</i>	0,056605	2,420542	0,015497	<i>High Clusters</i>	0,004428	2,509517	0,012090
	7.500	<i>Clustered</i>	0,055764	2,946007	0,003219	<i>High Clusters</i>	0,004403	2,839421	0,004520
	10.000	<i>Clustered</i>	0,050689	3,172199	0,001513	<i>High Clusters</i>	0,004403	3,369117	0,000754
	12.500	<i>Clustered</i>	0,048430	3,487694	0,000487	<i>High Clusters</i>	0,004370	3,452513	0,000555
	15.000	<i>Clustered</i>	0,033024	2,787978	0,005304	<i>High Clusters</i>	0,004301	3,090352	0,001999
	17.500	<i>Clustered</i>	0,036795	3,416767	0,000634	<i>High Clusters</i>	0,004290	3,324921	0,000884
	20.000	<i>Clustered</i>	0,036960	3,715137	0,000203	<i>High Clusters</i>	0,004285	3,520308	0,000431
ZONE OF INDIFFERENCE	5.000	<i>Clustered</i>	0,058398	2,496451	0,012544	<i>High Clusters</i>	0,004429	2,461510	0,013835
	7.500	<i>Clustered</i>	0,055507	2,939732	0,003285	<i>High Clusters</i>	0,004400	2,828987	0,004670
	10.000	<i>Clustered</i>	0,050603	3,171650	0,001516	<i>High Clusters</i>	0,004403	3,367795	0,000758
	12.500	<i>Clustered</i>	0,048284	3,483038	0,000496	<i>High Clusters</i>	0,004370	3,453029	0,000554
	15.000	<i>Clustered</i>	0,032861	2,778933	0,005454	<i>High Clusters</i>	0,004302	3,097454	0,001952
	17.500	<i>Clustered</i>	0,036769	3,416787	0,000634	<i>High Clusters</i>	0,004290	3,326855	0,000878
	20.000	<i>Clustered</i>	0,036916	3,713488	0,000204	<i>High Clusters</i>	0,004285	3,517358	0,000436

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα γενικών δεικτών Moran's I & Getis Ord G για τροχαία οδικά ατυχήματα με νεκρούς στον ΒΟΑΚ

Όσο αφορά την κρίσιμη απόσταση, λαμβάνοντας υπόψη ότι για την αποτελεσματική εφαρμογή των δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης πρέπει να επιλεγθεί μια κατάλληλη τιμή που να ικανοποιεί τις συνθήκες:

- Όλα τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον έναν γείτονα.
- Κανένα χαρακτηριστικό δεν πρέπει να έχει όλα τα άλλα χαρακτηριστικά ως γείτονας.
- Ειδικά αν οι τιμές για το πεδίο εισαγωγής είναι ασύμμετρες ως προς την κατανομή τους, κάθε χαρακτηριστικό θα πρέπει να έχει περίπου οκτώ γείτονες.

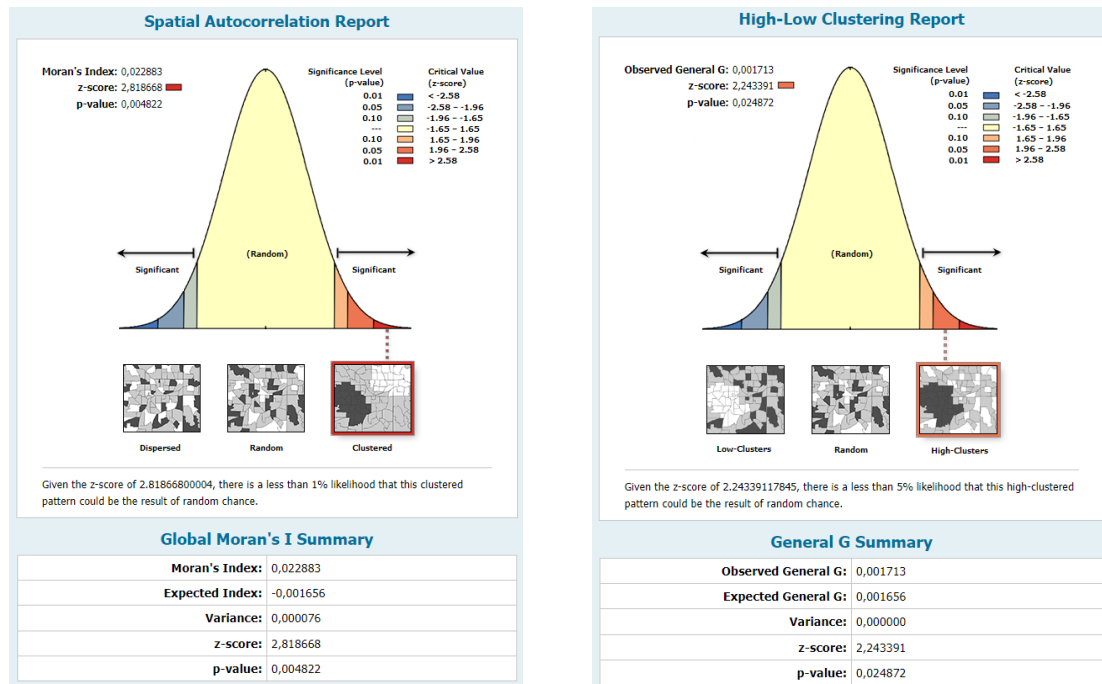
Επιλέχθηκε η τιμή των 7,5χλμ η οποία καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις και εξετάζει τα τροχαία ατυχήματα σε μια μικρή σχετικά κλίμακα.

Επομένως, στον Πίνακα 5.2, φαίνεται πως για τη μεταβλητή των τραυματισμών, για “Fixed Distance” στα 7.5χλμ, το αποτέλεσμα του γενικού δείκτη Moran για την περίοδο 2000-2009 είναι: δείκτης Moran=0,0005, z-score=0,254 και p-value=0,799, άρα η μηδενική υπόθεση, ότι οι παρατηρήσεις της μεταβλητής ακολουθούν τυχαία κατανομή δεν μπορεί να απορριφθεί. Για το λόγο αυτό δεν θα εξεταστούν περαιτέρω σε τοπικό επίπεδο για τη συγκεκριμένη περίοδο τα RTAs ως προς την μεταβλητή των τραυματισμών.

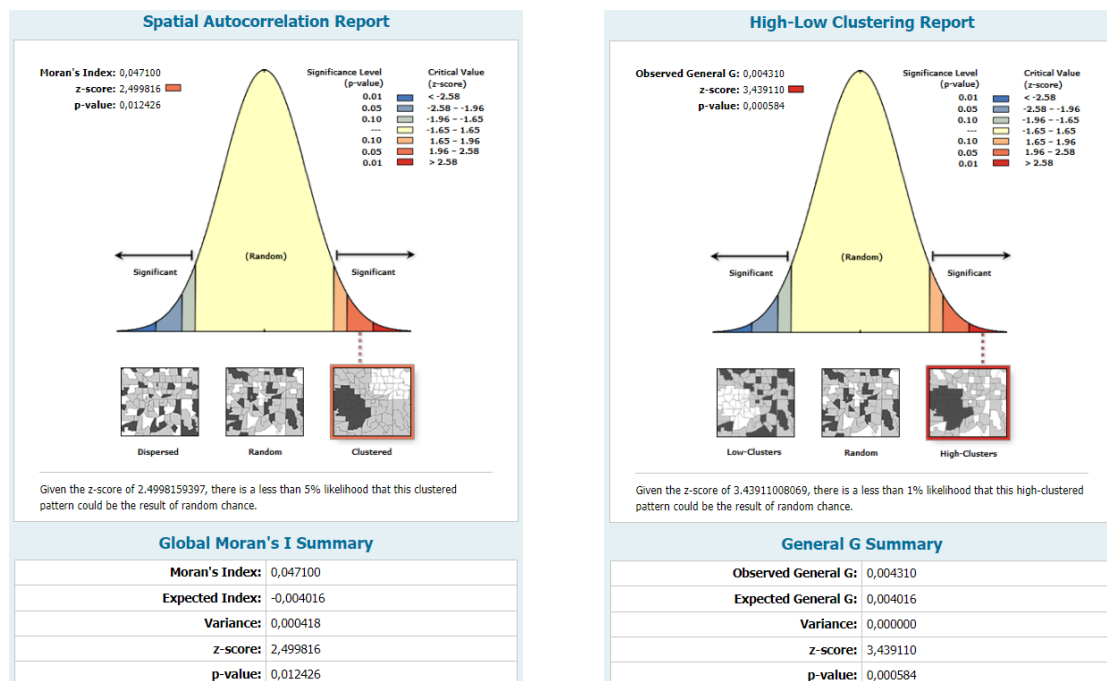
Αντιθέτως, για την περίοδο 2010-2020 οι παρατηρήσεις της μεταβλητής παρουσιάζουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση και συνεπώς, χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο (Clustered) με βεβαιότητα 99% ή επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 1%. Οι τιμές που προέκυψαν από την ανάλυση είναι: δείκτης Moran=0,0471, z-score=2,450 και p-value=0,012. Επιπρόσθετα οι περιοχές με θετική χωρική αυτοσυσχέτιση χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ομαδοποίησης (High Clusters), με τιμή δείκτη Observed G=0,004, z-score=3,439 και p-value=0,001.

Ομοίως στον Πίνακα 5.3 φαίνεται πως για τη μεταβλητή των θανάτων, για χωρική σχέση χαρακτηριστικών “Fixed Distance” στα 7.5χλμ, το αποτέλεσμα για την περίοδο 2000-2009 είναι ότι οι παρατηρήσεις της μεταβλητής παρουσιάζουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση και συνεπώς, χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο (Clustered) με βεβαιότητα 99% ή επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 1%. Οι τιμές που προέκυψαν από την ανάλυση είναι: δείκτης Moran=0,022, z-score=2,819 και p-value=0,005. Επιπρόσθετα, οι περιοχές με θετική χωρική αυτοσυσχέτιση χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ομαδοποίησης (High Clusters), με τιμή δείκτη Observed G=0,002, z-score=2,2432 και p-value=0,025.

Το ίδιο ισχύει και για την περίοδο 2010-2020, για την μεταβλητή των θανάτων, παρουσιάζουν δηλαδή χωρικά ομαδοποιημένο πρότυπο με βεβαιότητα 99%, όπου οι προκύπτουσες τιμές είναι: δείκτης Moran=0,056, z-score=2,946 και p-value=0,003. Ενώ όπως και παραπάνω, υπάρχουν υψηλές τιμές ομαδοποίησης με τιμή δείκτη Observed G=0,004, z-score=2,839 και p-value=0,004. Ακολουθώντας παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές αναφορές για τα παραπάνω αποτελέσματα.



Εικόνα 5.3: Αναφορές γενικών δεικτών, Moran's I (αριστερά) & Getis-Ord G (δεξιά) για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με νεκρούς την περίοδο 2000 – 2009 για χωρική σχέση "Fixed Distance" στα 7,5χλμ



Εικόνα 5.4: Αναφορές γενικών δεικτών, Moran's I (αριστερά) & Getis-Ord G (δεξιά) για τη μεταβλητή των ατυχημάτων με τραυματίες την περίοδο 2010 – 2020 για χωρική σχέση "Fixed Distance" στα 7,5χλμ

5.5.2. Τοπικοί Δείκτες Global Moran's & Getis-Ord Gi*

Για την ανίχνευση της θέσης των χωρικών ομάδων που παρουσιάζουν υψηλές ή χαμηλές τιμές ομαδοποίησης ή και έξαρση τιμών, έχουν αναπτυχθεί δείκτες τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης. Το κύριο πλεονέκτημα των τοπικών στατιστικών έγκειται στην ευελιξία τους και στην ικανότητα εστίασης τους σε τοπικό επίπεδο, τα οποία βοηθούν στον εντοπισμό της ύπαρξης και της φύσης της ομαδοποίησης και καθιστούν δυνατή την οριοθέτηση και τον ορισμό των αντικειμένων (Getis & Ord, 1996).

Τοπικός δείκτης Local Moran's

Ο δείκτης Local Moran's , όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στην §3.3.2.2 προσδιορίζει τέσσερα σενάρια χωρικών ομάδων, ανάλογα με την τιμή της εξεταζόμενης μεταβλητής και των γειτονικών της: 1) High-High Cluster: υψηλή τιμή μεταβλητής που περιβάλλεται από γείτονες υψηλών τιμών (θετική χωρική αυτοσυσχέτιση). 2) High-Low Outlier, υψηλή τιμή μεταβλητής, με γειτονικές χαμηλές τιμές (αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση). 3) Low-Low Cluster, χαμηλή τιμή μεταβλητής τιμών που περιβάλλεται επίσης από περιοχές χαμηλών τιμών (θετική χωρική αυτοσυσχέτιση) & 4) Low-High Outlier, χαμηλή τιμή μεταβλητής που σημαίνει ότι περιβάλλονται περιοχές με υψηλές τιμές (αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση). Οι περιοχές αρνητικής χωρικής αυτοσυσχέτισης αναφέρονται ως ακραίες τιμές / Outlier , ενώ αυτές της θετικής χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι συστάδες / Cluster.

Τα αποτελέσματα του τοπικού δείκτη Local Moran's I για τις μεταβλητές που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στους ακόλουθους Χάρτες 5.14 – 5.16. Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται για κάθε μεταβλητή παράλληλα για τις δυο περιόδους 2000-2009 και 2010-2020.

- Χάρτης 5.14: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)

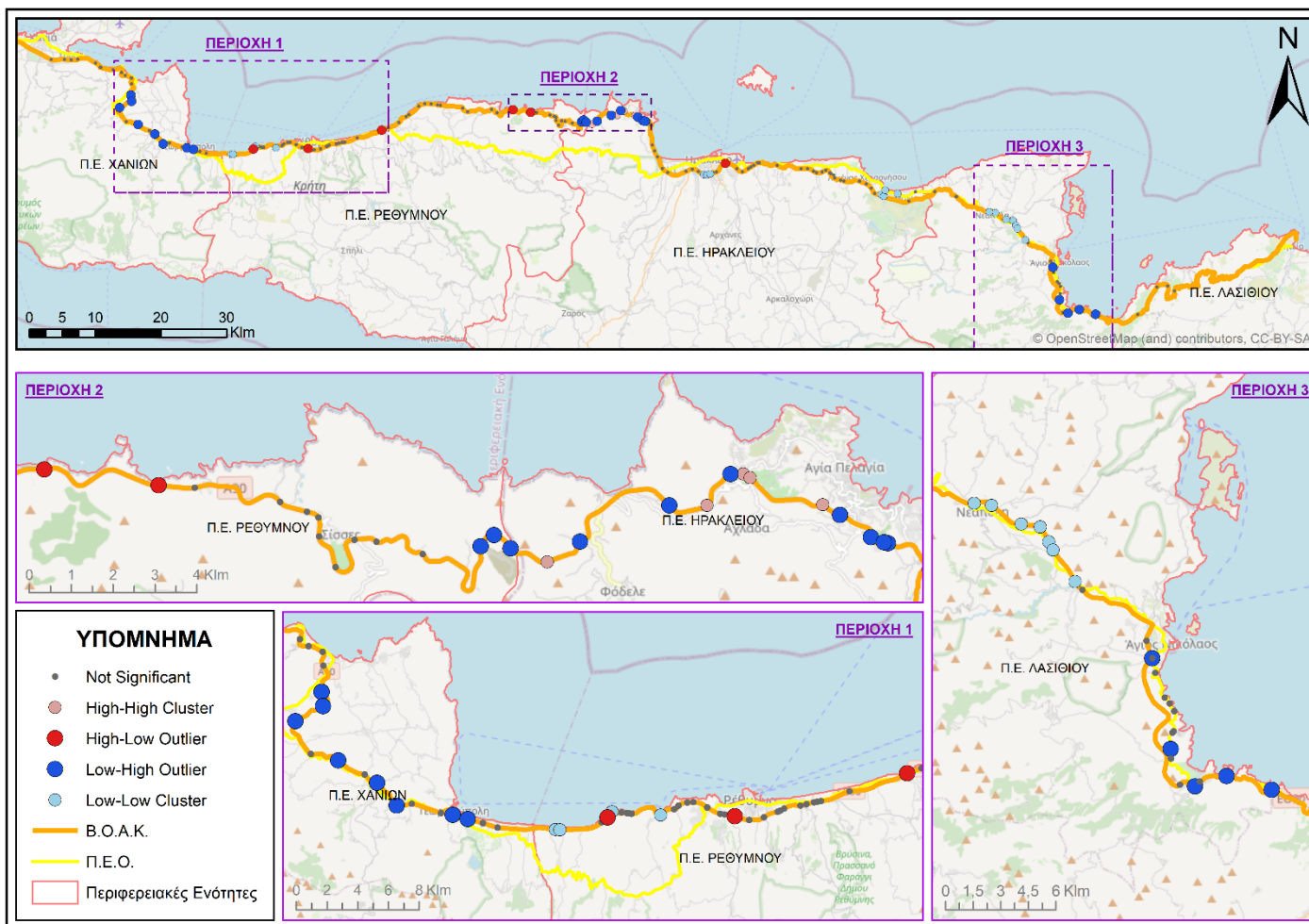
Για την μεταβλητή των τροχαίων ατυχημάτων ως προς τους τραυματισμούς για την 2η περίοδο, περιοχές High-Low Outliers (υψηλοί αριθμοί τραυματισμών που περιβάλλονται από πολύ χαμηλές τιμές) εντοπίζονται κυρίως στην Π.Ε. Ρεθύμνου. Αντίθετα, Low-High Outliers εντοπίζονται κυρίως στην Π.Ε. Χανίων: 20χλμ – 38χλμ (ύψος Γεωργιούπολης), στην Π.Ε. Λασιθίου: στην οδό 090β, από το ύψος του Αγ. Νικολάου (2χλμ της 090β) έως το 214χλμ του ΒΟΑΚ και στην Π.Ε. Ηρακλείου: 107χλμ – 119,5 χλμ (περιοχή στην οποία παρεμβάλλονται και λίγα High-High Clusters). Περιοχές με Low-Low Clusters εντοπίζονται στην Π.Ε. Λασιθίου, έξω από την Νεάπολη από το 185χλμ έως το 192χλμ περίπου, στην Π.Ε. Ηρακλείου έξω από την ομώνυμη πόλη και στην περιοχή της Σταλίδας & στην Π.Ε. Ρεθύμνου μετά τα σύνορα με την Π.Ε. Χανίων έως το 48χλμ. Λίγα High-High Clusters εντοπίζονται στην Π.Ε. Ηρακλείου από την περιοχή του Φόδελε ως την Αγ. Πελαγία.

- Χάρτης 5.15: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2000 – 2009)

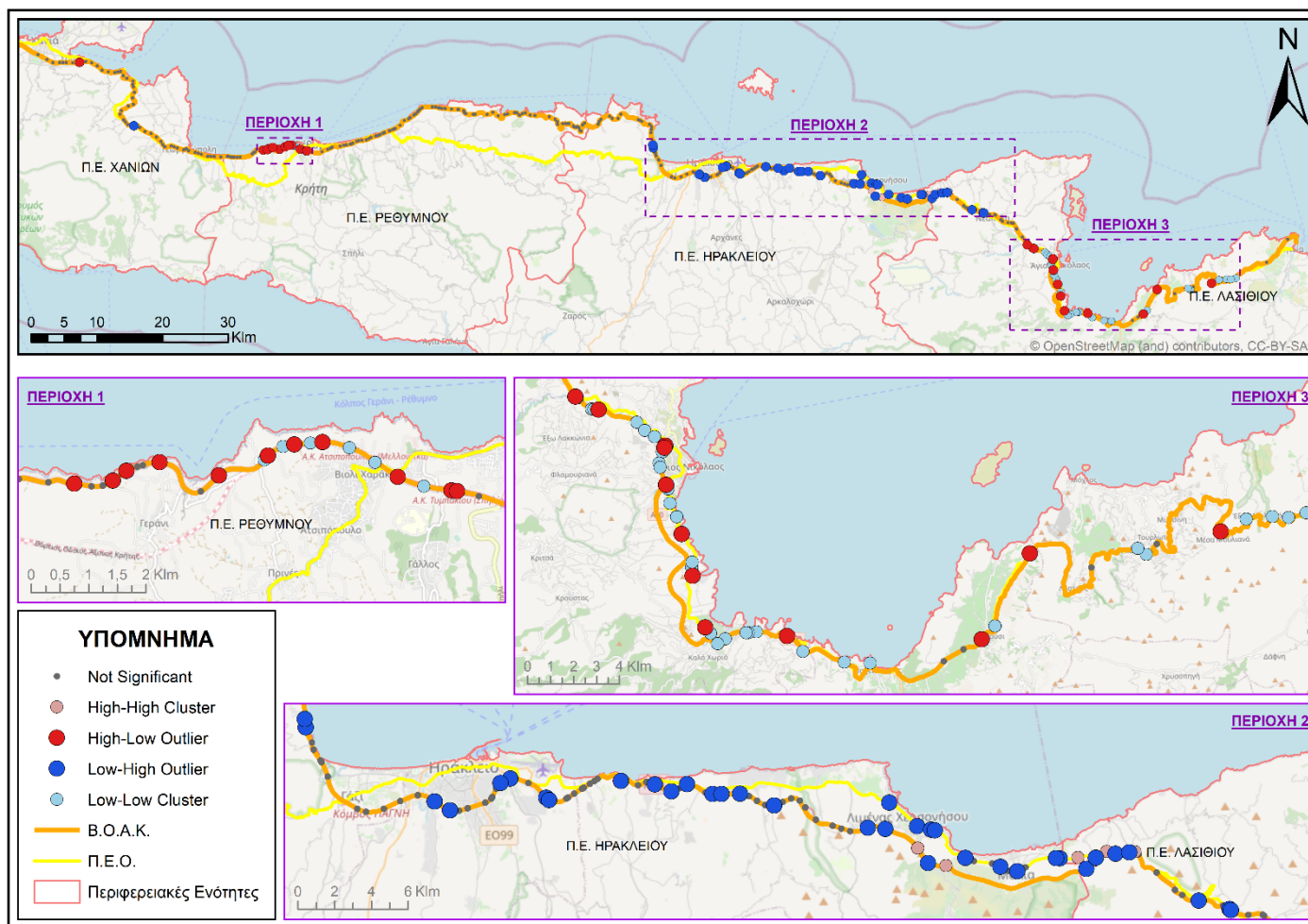
Για την μεταβλητή των τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς κατά μήκος του ΒΑΟΚ την 1η δεκαετία παρατηρείται αρχικά συγκέντρωση High-Low Outliers στην Π.Ε. Ρεθύμνου από το 49χλμ έως το 57χλμ περίπου πριν το κόμβο Τυμπακίου, και στην Π.Ε. Λασιθίου πιο συγκεντρωμένα από το 193χλμ της 090α έως το 15χλμ της 090β, ειδικότερα πάνω στο παλαιό τμήμα του ΒΟΑΚ που αντικαταστάθηκε από το νέο τμήμα «Αγ. Νικόλαος – Καλό Χωριό» και τρία ακόμα σημεία μέχρι το 50χλμ της 090β στο ύψος του οικισμού Μέσα Μουλιανά. Ανάμεσα στα High-Low Outliers στις ίδιες περιοχές υπάρχουν και Low-Low Clusters. Τέλος στην περιοχή 2 του χάρτη φαίνεται μια μεγάλη περιοχή με αρκετά σημεία Low-High Outliers στην Π.Ε. Ηρακλείου κυρίως από το 123,5χλμ (ύψος Παλαιοκάστρου) έως το 184χλμ (ύψος Βουλισμένης) που παρατηρούνται και κατά μήκος της ΠΕΟ και στην ΝΕΟ. Με λιγότερη συχνότητα στην ίδιο εύρος του ΒΟΑΚ συναντώνται και High-High Clusters ανάμεσα στα Low-High Outliers. Στην Π.Ε. Χανίων τα περισσότερα τροχαία ατυχήματα δεν είναι στατιστικά σημαντικά ως προς την μεταβλητή των θανάτων για τη δεκαετία 2000-2009.

- Χάρτης 5.16: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)

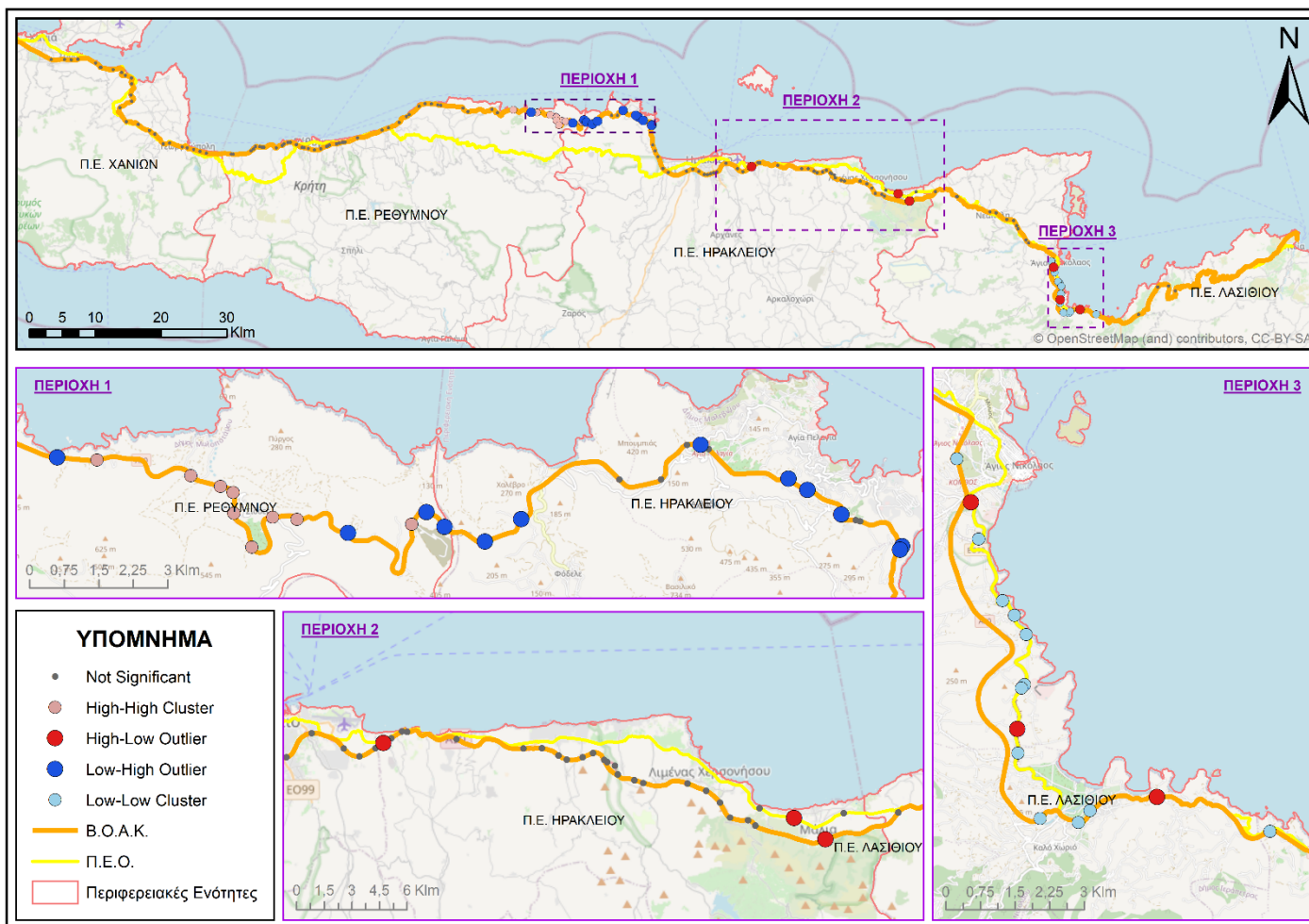
Αντίστοιχα για την μεταβλητή των τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς κατά μήκος του ΒΟΑΚ την 2η ενδεκαετία παρατηρείται αρχικά ότι τα σημεία με High-Low Outliers είναι πολύ λιγότερα από ότι στην προηγούμενη περίοδο. Μόλις τρία High-Low Outliers υπάρχουν στην Π.Ε. Ηρακλείου, τα δυο εκ των οποίων είναι στην περιοχή των Μαλλίων, και ακόμα τρία στην Π.Ε. Λασιθίου στο τμήμα Αγ. Νικόλαος – Καλό Χωριό περίπου επι της παλαιάς χαράξεως, όπου υπάρχουν και κάποια Low-Low Clusters ενδιάμεσα στην ίδια περιοχή, όπως δηλαδή συνέβαινε και στην προηγούμενη περίοδο, αλλά σε μικρότερο τώρα βαθμό. Στην περιοχή 1 του χάρτη, φαίνεται ένα τμήμα του ΒΟΑΚ μεταξύ των Π.Ε. Ρεθύμνου και Ηρακλείου, από το 92χλμ (μετά τον Κόμβο Μπαλίου) μέχρι το 121χλμ (πριν το Παλαιοκάστρο), όπου υπάρχουν Low-High Outliers & High-High Clusters. Τα τροχαία ατυχήματα ως προς τους νεκρούς στο τμήμα ΒΟΑΚ που διατρέχει την Π.Ε. Χανίων και στο μεγαλύτερο τμήμα του στην Π.Ε. Ρεθύμνου, δεν είναι στατιστικά σημαντικά.



Χάρτης 5.14: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες, για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010-2020)



Χάρτης 5.15: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς, για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2000 – 2009)



Χάρτης 5.16: Τοπικός Δείκτης Moran's I τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς, για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλ(περίοδος 2010 – 2020)

Τοπικός Δείκτης Getis-Ord G_i^*

Ομοίως με τον τοπικό δείκτη Local Moran's, το τοπικό μοντέλο Getis-Ord (G_i^*) ανιχνεύει περιοχές χωρικής εξάρτησης. Οι υψηλές τιμές του G_i^* δείχνουν περιοχές με συστάδες υψηλών τιμών (hotspot). Τα οποία αποκλίνουν περισσότερο από μια τυχαία κατανομή των περιστατικών, ενώ οι χαμηλές τιμές G_i^* προσδιορίζουν περιοχές με ένα σύμπλεγμα χαμηλών τιμών.

Το μοντέλο G_i^* επιστρέφει τιμές z-score και p-value, που υποδεικνύουν εάν θα απορριφθεί ή όχι η μηδενική υπόθεση. Ένα υψηλό θετικό z-score και μια σημαντική p-value δείχνει ότι υπάρχει μια χωρική ομαδοποίηση υψηλών τιμών (hot spot), ενώ μια χαμηλή αρνητική τιμή z-score με σημαντική p-value σημαίνει ότι υπάρχει μια χωρική ομαδοποίηση χαμηλών τιμών (cold spot). Η ένταση της ομαδοποίησης μετριέται από το μέγεθος της τιμής z-score. Μια υψηλότερη θετική ή χαμηλότερη αρνητική τιμή z-score σημαίνει πιο έντονο επίπεδο ομαδοποίησης. Όταν η τιμή z-score προσεγγίζει το μηδέν, δεν υπάρχει εμφανής χωρική ομαδοποίηση των τιμών.

Τα αποτελέσματα του τοπικού δείκτη Getis-Ord G_i^* παρουσιάζονται στους ακόλουθους Χάρτες 5.17-5.19. Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται για κάθε μεταβλητή παράλληλα για τις δυο περιόδους 2000-2009 και 2010-2020.

- Χάρτης 5.17: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord G_i^* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)

Αντίστοιχα για την μεταβλητή των τροχαίων ατυχημάτων με τραυματισμούς για την 2η περίοδο από την εφαρμογή του δείκτη Getis-Ord G_i^* παρατηρείται ότι οι περιοχές που εμφανίζονται hot spots ή cold spots, είναι περίπου ίδιες με αυτές που προέκυψαν clusters & outliers από την εφαρμογή του τοπικού δείκτη Moran's. Έτσι hot spots περιοχές εντοπίζονται από Δύση προς Ανατολή, στην Π.Ε. Χανίων, επτά σημεία με επίπεδα εμπιστοσύνης 90% & 95% από το 30χλμ (πριν τον οικισμό Βρύσες) έως το 38χλμ (μετά την Γεωργιούπολη), από τα σύνορα Π.Ε. Ρεθύμνου – Ηρακλείου στο 107χλμ έως το 120χλμ στην Π.Ε. Ηρακλείου (για όλα τα επίπεδα εμπιστοσύνης), και τέλος για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% υπάρχουν δυο σημεία στην Π.Ε. Λασιθίου στα 211χλμ & 214χλμ. Αντίστοιχα cold spots εντοπίζονται, στην Π.Ε. Ρεθύμνου από τα σύνορα με την Π.Ε. Χανίων στο 43,8χλμ έως το 51,5χλμ στο ύψος του οικισμού Γερανίου στην Π.Ε. Ηρακλείου πριν το Α.Κ. Παπαναστασίου μεταξύ 135-136χλμ και στο ύψος της Σταλίδας στην Π.Ε.Ο μεταξύ 167-169χλμ & στην Ν.Ε.Ο 166-166,5χλμ, τέλος στην Π.Ε. Λασιθίου από την Νεάπολη (185χλμ) έως το 193χλμ περίπου.

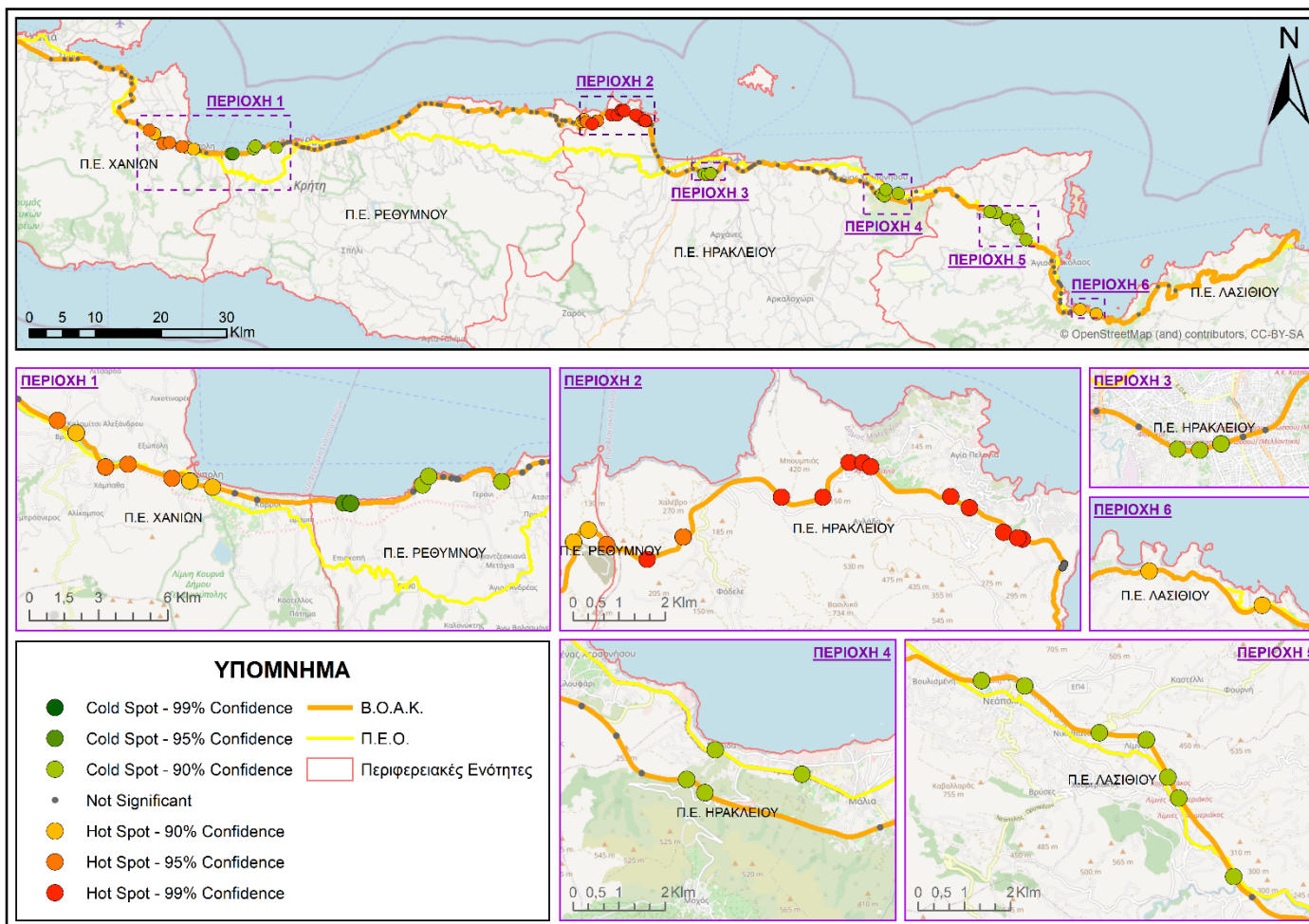
- Χάρτης 5.18: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord G_i^* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2000 – 2009)

Και σε αυτή τη περίπτωση οι περιοχές που εμφανίζονται hot ή cold spots, είναι περίπου ίδιες με αυτές που προέκυψαν clusters & outliers από την εφαρμογή του

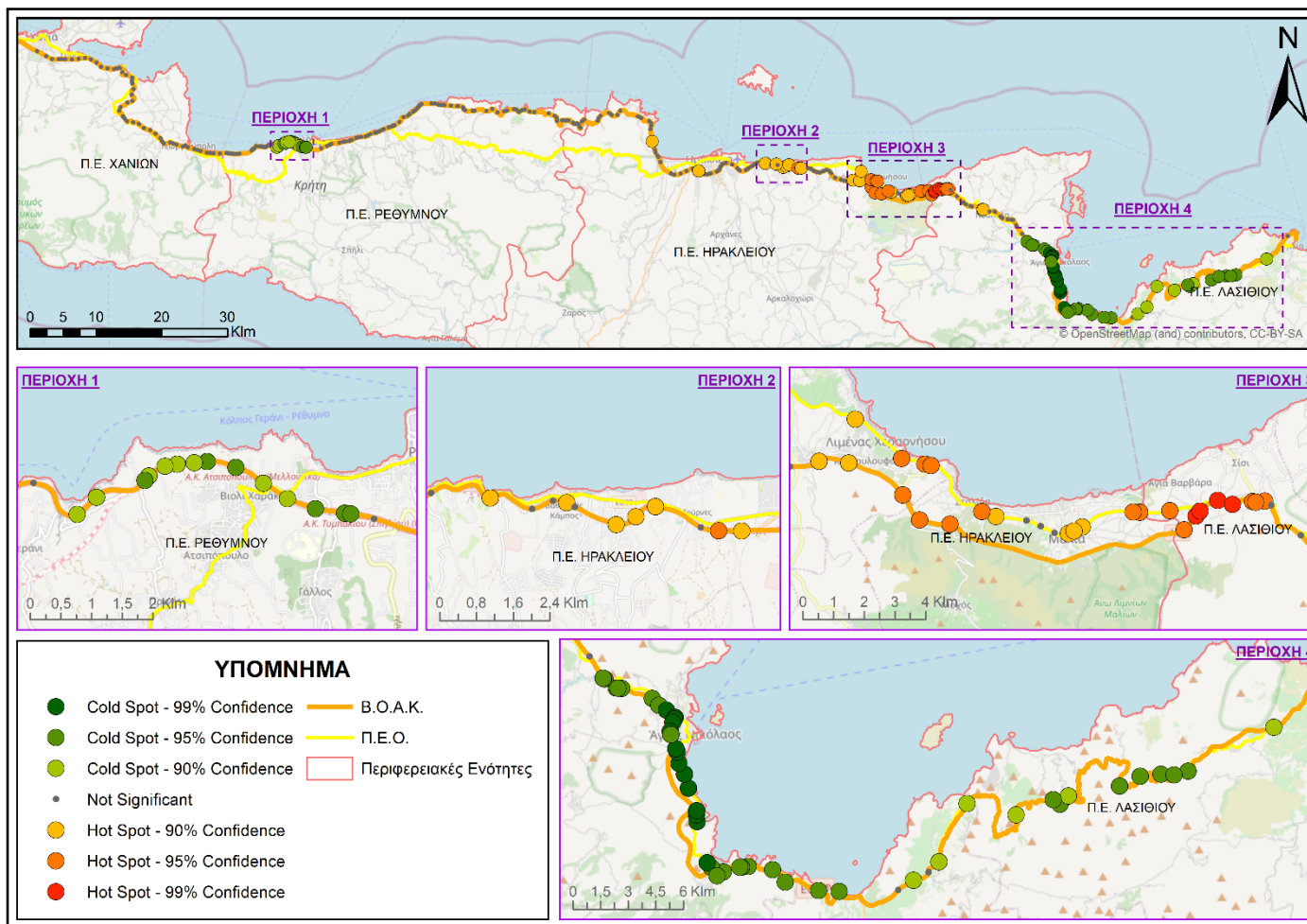
τοπικού δείκτη Moran's. Έτσι hotspots εντοπίζονται για όλα τα επίπεδα εμπιστοσύνης στην Π.Ε. Ηρακλείου κυρίως από το 123,5χλμ (ύψος Παλαιοκάστρου) έως το 184χλμ (ύψος Βουλισμένης) που παρατηρούνται και κατά μήκος της ΠΕΟ και στην ΝΕΟ, με δυο πιο πυκνές ομάδες στο εύρος αυτό, που βρίσκονται μεταξύ 146-152χλμ (Κόμβος Γουρνών) & από το 161χλμ (ύψος Χερσονήσου) έως 177,5 χλμ (ύψος οικισμού Σισί) του ΒΟΑΚ. Αντίστοιχα τα cold spots εντοπίζονται στην Π.Ε. Ρεθύμνου μεταξύ 51,5-57χλμ περίπου πριν το κόμβο Τυμπακίου, και στην Π.Ε. Λασιθίου από το 193χλμ και μέχρι την Σητεία, σχεδόν όλα τα τροχαία ατυχήματα που έχουν συμβεί εκεί αποτελούν cold spots για όλα τα επίπεδα εμπιστοσύνης.

- Χάρτης 5.19: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord Gi* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)

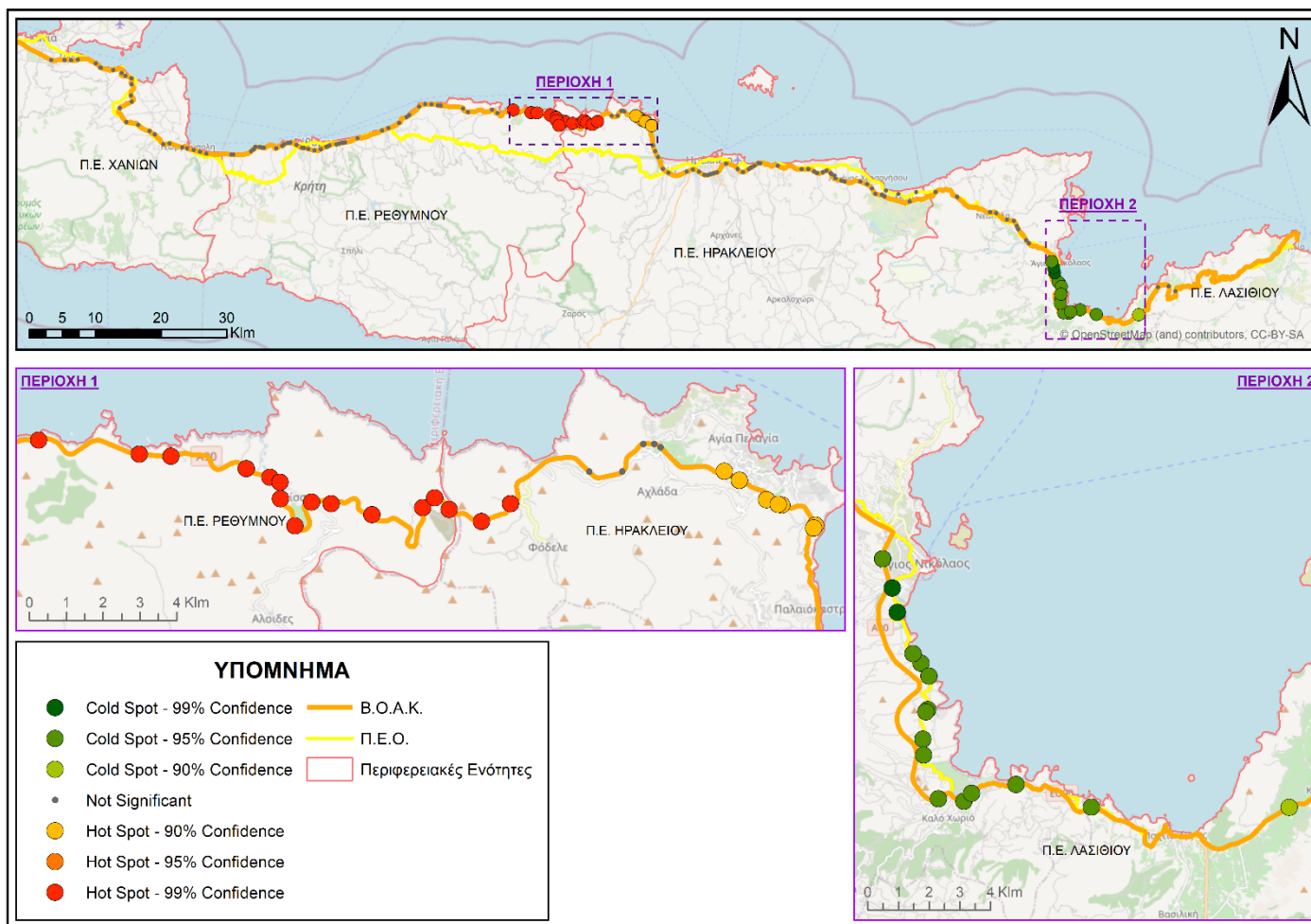
Αντίστοιχα για την μεταβλητή των τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς κατά μήκος του ΒΟΑΚ την 2η ενδεκαετία παρατηρείται αρχικά ότι η περιοχή των hot spots εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή μεταξύ των συνόρων Π.Ε. Ρεθύμνου & Π.Ε. Ηρακλείου, με επίπεδο εμπιστοσύνης 99% από το 92χλμ (2χλμ μετά τον Κόμβο Μπαλίου) έως το 110χλμ (1χλμ πριν τον Κόμβο του Φόδελε) και στην Π.Ε. Ηρακλείου πλέον από 117,5χλμ (ύψος Αγίας Πελαγίας) έως το 121χλμ περίπου. Όπως και στην προηγούμενη περίοδο στην Π.Ε. Λασιθίου, από το 1χλμ της 090β (στην αρχή του Νέου Κόμβου Αγ. Νικολάου) έως το 25χλμ της 090β, όλα τα περιστατικά τροχαίων που έχουν συμβεί σε αυτό το μήκος, αποτελούν cold spots, με τα πιο πολλά σημεία να έχουν επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.



Χάρτης 5.17: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord G_i^* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με τραυματίες για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5κμ (περίοδος 2010 – 2020)



Χάρτης 5.18: Τοπικός Δείκτης *Getis-Ord Gi** (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2000 – 2009)



Χάρτης 5.19: Τοπικός Δείκτης Getis-Ord G_i^* (Hot Spot Analysis) τροχαίων ατυχημάτων με νεκρούς για χωρική σχέση «Fixed Distance» στα 7,5χλμ (περίοδος 2010 – 2020)

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας ήταν η ανάλυση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων (RTAs) του αυτοκινητοδρόμου 090 ή όπως κοινώς ονομάζεται ΒΟΑΚ (Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης). Στόχος ήταν η παρουσίαση ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση των περιοχών hotspot των RTAs, όπου απαιτούνται άμεσες ενέργειες βελτίωσης του επιπέδου οδικής ασφαλείας. Ένα από τα βασικά ζητήματα που έπρεπε να ξεπεράσει αυτή η μελέτη για τη διεξαγωγή όλων των σχετικών αναλύσεων ήταν ο αρχικός καθαρισμός, η επεξεργασία και η διύλιση των δεδομένων, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη σχετική αρχική στατιστική επεξεργασία και στο πλαίσιο της χωρικής ανάλυσης. Ωστόσο, αφού ξεπεράστηκαν όλα τα ζητήματα που ξεχώρισαν κατά την αρχική επεξεργασία δεδομένων και ενώ μόνο ένα κλάσμα των αρχικών δεδομένων μπορούσε να συσχετιστεί με συγκεκριμένες τοποθεσίες των RTAs, το πλαίσιο που βασίζεται σε GIS εξακολουθεί να δείχνει πολλά υποσχόμενα και σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά τον εντοπισμό υψηλών τιμών χωρικών ομαδοποιήσεων των RTAs. Καθώς το μεθοδολογικό πλαίσιο βασίζεται σε τρία διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, μπορούν να εξαχθούν διαφορετικά συμπεράσματα σχετικά με τα RTAs στο σύνολό τους, και τις χωρικές ομαδοποιήσεις των RTAs με τραυματισμούς και με θανάτους σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Το πλαίσιο στο σύνολό του μπορεί να προσφέρει χρήσιμα εργαλεία στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής σε μια προσπάθεια αποτροπής των τροχαίων ατυχημάτων σε έναν ήδη επηρεασμένο οδικό άξονα υψηλού κινδύνου. Πρώτον, η Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα (KDE) εντοπίζει αρχικά περιοχές hotspots των RTAs στο σύνολο τους, των τραυματισμών και θανάτων που σχετίζονται με την εμφάνισή τους καθώς και του δείκτη σοβαρότητας τραυματισμού, αν και τα αποτελέσματα δεν δείχνουν την επιθυμητή ακρίβεια στον προσδιορισμό συγκεκριμένων περιοχών όπου απαιτείται άμεση εστίαση. Ως εκ τούτου, εξετάζεται ένα επιπλέον επίπεδο ανάλυσης μέσω της χρήσης μοντέλων χωρικής αυτοσυσχέτισης, για την καλύτερη αναγνώριση συστάδων RTA σε πολύ μικρότερη κλίμακα και συγκεκριμένα σε όριο απόστασης 7,5 χλμ για δύο χρονικές περιόδους, από το 2000 έως το 2009 και το 2010 έως το 2020. Αυτό το επιπλέον επίπεδο ανάλυσης είναι εξαιρετικά σημαντικό, καθώς οι τομείς ενδιαφέροντος αξιολογούνται καλύτερα σε πολύ συγκεκριμένα τμήματα του ΒΟΑΚ, παρέχοντας έτσι περισσότερες πληροφορίες για πιο στοχευμένες παρεμβάσεις σε υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, διαχειριστές κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμων και μηχανικούς μεταφορών.

Αναλυτικότερα, ο ορισμός της χρονικής ανάλυσης σε τρία επίπεδα, ένα ευρύτερο που αφορά την συνολικά εξεταζόμενη περίοδο και δυο επιμέρους υποδιαστήματα, 2000-2009, 2010-2020 της συνολικής περιόδου, βοήθησε ουσιαστικά στην έρευνα του προβλήματος καθώς ήταν δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών περιόδων και η ανίχνευση των μεταβαλλόμενων προτύπων. Δηλαδή, εντοπίστηκαν οι ομοιότητες και οι διαφορές που υπήρχαν σχετικά με την πυκνότητα των τροχαίων ατυχημάτων, τον τρόπο που είναι κατανοημένα και τις περιοχές υψηλού κινδύνου για ατύχημα. Η συνδυαστική χρήση των

διαθέσιμων χωρικών εργαλείων και της στατιστικής οδήγησε στην υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης μελέτης που έλαβε υπόψη τις σύνθετες χωρικές σχέσεις ή διασυνδέσεις που υπήρχαν ανάμεσα στα χωρικά δεδομένα. Η χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), τα οποία εξελίσσονται διαρκώς και έχουν αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, ήταν καθοριστική για την άρτια ανάλυση του φαινομένου αξιοποιώντας τη χωρική πληροφορία η οποία δεν θα ήταν εκμεταλλεύσιμη μόνο με τη χρήση στατιστικών μεθόδων.

Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων, προέκυψε ότι τα οδικά ατυχήματα στον ΒΟΑΚ εμφανίζουν σημαντικά καθοδική τάση από το 2000, με σταθερό περίπου ρυθμό από το 2010 (2000: 12% & 2020: 1%). Η σημαντική μείωση που παρατηρείται μετά το 2010 μπορεί να αποδοθεί στις βελτιώσεις και αναβαθμίσεις που υλοποιήθηκαν στον ΒΟΑΚ κατά την περίοδο 2000-2010, όπως επίσης και στην οικονομική κρίση και στην αυστηρότερη πολιτική αστυνόμευσης τα τελευταία χρόνια. Αντίθετα, τα ποσοστά των θανάτων από RTAs στον ΒΟΑΚ δείχνουν αυξητική τάση, το 2000 το ποσοστό ήταν 21,05% και το 2020 έφτασε στο 43,75%, ενώ στο σύνολο της περιόδου αποτελούν το ¼ περίπου των εμπλεκόμενων παθόντων σε τροχαία με ποσοστό 26,45%. Οι βαριά τραυματίες παρουσιάζουν συνολικά ελαφρώς πτωτική τάση, από 30% το 2000 μειώθηκαν στο 10% το 2020, ενώ στους ελαφρά τραυματίες δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση αύξησης ή μείωσης αυτών στατιστικά. Τα περισσότερα RTAs συνέβησαν την ημέρα Κυριακή και τον μήνα Ιούλιο, γεγονός που αιτιολογείται από το ότι πρόκειται για μια ημέρα που αυξάνονται οι μετακινήσεις για λόγους αναψυχής και για ένα θερινό μήνα υψηλής τουριστικής κίνησης. Τέλος, η πλειοψηφία των τροχαίων ατυχημάτων στον ΒΟΑΚ συνέβησαν με καλές καιρικές συνθήκες και υπό συνθήκες φυσικού φωτισμού, που κρίνεται λογικό εφόσον οι συνολικές ημέρες με καλοκαιρία ανά έτος αποτελούν την πλειοψηφία και ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι υψηλότερος την διάρκεια της ημέρας.

Η μέθοδος Ανάλυσης Πυκνότητα Πυρήνα (KDE) αξιολογήθηκε ως πολύτιμο εργαλείο στην παρούσα ΜΔΕ, εφόσον με την εφαρμογή της εντοπίστηκαν αρχικά οι προβληματικές περιοχές για κάθε μεταβλητή αφενός στην συνολικά εξεταζόμενη χρονική περίοδο, και αφετέρου στις δυο υποπεριόδους. Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν δείχνουν μόνο μια πυκνότητα εμφάνισης των ατυχημάτων και εάν αυτά οδήγησαν σε τραυματισμούς ή θανάτους ή την σοβαρότητα τους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο της περιοχής μελέτης. Αρχικά παρατηρήθηκε πως, ενώ το σύνολο των τροχαίων ατυχημάτων εξεταζόμενο ως προς τους θανάτους, ως αποτέλεσμα της KDE, παρουσιάζει μικρότερη πυκνότητα σε απόλυτες στατιστικές από την μεταβλητή των τραυματισμών και ως προς τα περιστατικά των τροχαίων συνολικά, ωστόσο σε αρκετές περιοχές οι πυκνότητες των θανάτων είναι δυσανάλογες σε σχέση με την έκταση του ΒΟΑΚ και της περιοχής εξυπηρέτησης του. Σχετικά με το σύνολο των τροχαίων ατυχημάτων εξεταζόμενο ως προς τους τραυματισμούς, το γεγονός ότι η πυκνότητά τους εμφανίζει υψηλότερες τιμές από αυτή των συνολικών περιστατικών οφείλεται στο ότι είναι, σε ορισμένες περιπτώσεις, περισσότερα από τα περιστατικά καθαυτά, καθώς ένα τροχαίο μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερους

από έναν εμπλεκόμενους τραυματίες. Τέλος σχετικά με το σύνολο των τροχαίων ατυχημάτων εξεταζόμενο ως προς τον δείκτη σοβαρότητας τους, φαίνεται πως το αποτέλεσμα είναι αρκετά όμοιο με αυτό που αφορά τα συνολικά ατυχήματα, εκτός από την περίοδο 2010-2020. Με την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, γίνεται αρχικά σαφές ότι υπάρχουν αλληλεπικαλυπτόμενες περιοχές και στις τέσσερις κατηγορίες, υποδεικνύοντας συγκεκριμένα τμήματα του ΒΟΑΚ όπου η εμφάνιση οδικών ατυχημάτων είναι υψηλή, με επίσης μεγάλη πιθανότητα τα εν λόγω ατυχήματα να οδηγήσουν σε τραυματισμό, ελαφρύ ή σοβαρό, ή ακόμα και θανατηφόρο. Σχετικά με τα χρονικά επίπεδα ανάλυσης, όπως είναι λογικό, οι αναλύσεις που αφορούσαν την συνολική περίοδο 2000 – 2020 παρουσίαζαν μεγαλύτερες τιμές σε απόλυτες στατιστικές από τις 2 υποπεριόδους. Ενώ, από τις τελευταίες, η δεκαετία 2000 – 2009 είχε μεγαλύτερες αντίστοιχα τιμές πυκνοτήτων, από ότι την περίοδο 2010-2020, καθώς είχε και περισσότερα ατυχήματα.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, σε δεδομένα σημειακού χαρακτήρα η εφαρμογή μεθόδων κανονικοποίησης αυτών (αθροιστικές μέθοδοι) δεν είναι απαραίτητη. Έτσι αν και δεν εφαρμόστηκε κάποια αθροιστική μέθοδος στα δεδομένα της παρούσας μελέτης, ωστόσο μια είδους «κανονικοποίηση» επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της KDE, αφού τα περιστατικά των τροχαίων αναγάζονται σε μια επιφάνεια.

Προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ακρίβεια για τον δυνητικό προσδιορισμό συγκεκριμένων τμημάτων του ΒΟΑΚ όπου απαιτείται άμεση επέμβαση, χρησιμοποιήθηκαν και χωρικά μοντέλα αυτοσυσχέτισης με στόχο τον εντοπισμό περιοχών όπου οι τραυματισμοί και οι θάνατοι παρουσιάζουν υψηλή ομαδοποίηση. Όπως προαναφέρθηκε, η ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης έγινε με τη χρήση των γενικών και τοπικών στατιστικών Getis-Ord και Moran's I για τις χρονικές περιόδους 2000 - 2009 και 2010 - 2020. Για την επιλογή των παραμέτρων της κρίσιμης απόστασης και της σχέσης χωρικής συγγένειας των χαρακτηριστικών, που συμμετέχουν σε αυτές τις στατιστικές, υλοποιήθηκε μια ανάλυση ευαισθησίας μέσα από ένα μοντέλο επαναληπτικής διαδικασίας στο περιβάλλον Model Builder του ArcGIS. Η κρίσιμη απόσταση επιλέχθηκε στα 7,5χλμ ώστε το επίπεδο ανάλυσης να είναι περισσότερο εστιασμένο και ως σχέση χωρικής συγγένειας των χαρακτηριστικών η Fixed Distance Band, καθώς εκτός των άλλων είναι η προτεινόμενη από την τεκμηρίωση του ArcMap για τις hotspot αναλύσεις. Χαρακτηριστικό είναι ότι αν και δοκιμάστηκαν για την κρίσιμη απόσταση, τιμές μεταξύ 5 - 20χλμ, με σταθερό διάστημα 2,5χλμ ενδιάμεσα, στις περισσότερες περιπτώσεις ακόμα και για την μικρότερη απόστασή των 5χλμ το πρότυπο των RTAs ήταν χωρικά ομαδοποιημένο, γεγονός που δείχνει τις υψηλές συγκεντρώσεις τροχαίων στον ΒΟΑΚ.

Ακολούθως, με τον δείκτη Global Moran's I, προσδιορίστηκε το χωρικό πρότυπο που παρουσιάζουν οι μεταβλητές στην περιοχή μελέτης. Αυτό ήταν για όλες τις περιπτώσεις χωρικά ομαδοποιημένο, εκτός από τους τραυματισμούς την περίοδο 2000 – 2009, που το πρότυπο της μεταβλητής ήταν τυχαίο και για αυτό εξαιρέθηκε από τις αναλύσεις χωρικής αυτοσυσχέτισης σε τοπικό επίπεδο. Στην συνέχεια ο δείκτης Getis-Ord General, έδειξε ότι στις περιπτώσεις της ομαδοποιημένης

κατανομής των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών, υπήρχαν συμπλέγματα υψηλών τιμών, με υψηλή χωρική ομαδοποίηση δηλαδή.

Στα αποτελέσματα του δείκτη Local Moran's I, φαίνεται πως έχουν δημιουργηθεί αρκετές περιοχές με ακραίες τιμές (outliers). Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν περιοχές με Low-High Outliers, καθώς στις «γειτονιές» αυτές υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε τραυματισμούς και θανάτους (High-High Clusters) και ανάμεσα τους σημειώνονται θέσεις με γενικά χαμηλό αριθμό των παρατηρούμενων μεταβλητών. Τέτοιες περιοχές παρατηρούνται, ως προς τους τραυματισμούς, την περίοδο που εξετάζεται 2010-2020, πιο έντονα στην Π.Ε. Ηρακλείου στο δυτικό τμήμα του ΒΟΑΚ, από τα σύνορα των Π.Ε. μέχρι το ύψος της παραλίας Παναγιά. Για τις μεταβλητές των θανάτων, την περίοδο 2000 – 2009 παρατηρείται μια εκτεταμένη περιοχή Low-High Outliers στην Π.Ε. Ηρακλείου που ξεκινάει πριν την ομώνυμη πόλη και τελειώνει στην Π.Ε. Λασιθίου στην Νεάπολη, ενώ περιοχές High-Low Outliers υπάρχουν πιο συγκεντρωμένα στην Π.Ε. Ρεθύμνου από το Γεράνι έως τον Α.Κ. Ατσιπόπουλου, και πιο αραιά στην Π.Ε. Λασιθίου από τον Αγ. Νικόλαο. Περνώντας στην επόμενη χρονική περίοδο, 2010-2020 η μείωση αυτών των περιοχών είναι εμφανής, όπου η περιοχή Low-High Outliers στην Π.Ε. Ηρακλείου έχει μετακινηθεί δυτικά στα σύνορα με το Ρέθυμνο πολύ πιο συρρικνωμένη, ενώ κάποια High-Low Outliers παρατηρούνται και πάλι στην Π.Ε. Λασιθίου από τον Αγ. Νικόλαο έως τον Κόμβο Καλού Χωριού περίπου πιο αραιά.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη Getis Ord G_i^* φαίνεται πως είναι ανάλογα με τα αποτελέσματα του Local Moran's I. Πιο αναλυτικά παρατηρείται πως, όπου προηγουμένως υπήρχαν περιοχές με Low-High Outliers και High-High Clusters εμφανίζονται τώρα γειτονιές με hot spots, ενώ αντιθέτως όπου υπήρχαν γειτονιές με High-Low Outliers και Low-Low Clusters, εμφανίζονται γειτονιές με cold spots. Το γεγονός αυτό κρίνεται λογικό, καθώς το σύνολο των δεδομένων είναι μικρό και το επίπεδο σημειακό, ενώ οι δυο αυτές μέθοδοι έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας. Οι περιπτώσεις που παρατηρούνται συγκεντρωμένα hot spots με το μεγαλύτερο ποσοστό εμπιστοσύνης 99%, είναι για την περίοδο 2010 – 2020 και ως προς την μεταβλητή των τραυματισμών και ως προς τους θανάτους, σε παρακείμενες περιοχές, στα σύνορα των Π.Ε. Ρεθύμνου και Ηρακλείου. Περιοχές που επιβεβαιώνονται και από την ανάλυση KDE.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του δείκτη Local Moran's I και του δείκτη Getis-Ord G_i^* στις περιοχές όπου μέσα στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο έγιναν νέες χαράξεις, και τα ατυχήματα είχαν αποδοθεί είτε στην ΠΕΟ & είτε στην ΝΕΟ, φαίνεται πως προκύπτουν θέσεις με ακραίες τιμές ή hot/cold spots. Προφανώς η ανάλυση θα ήταν πιο ουσιώδης αν γινόταν ξεχωριστά για την ΠΕΟ και ξεχωριστά για την ΝΕΟ, ωστόσο τα δεδομένα δεν ήταν αρκετά για μια τέτοια πρακτική.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως όλα τα περιστατικά των τροχαίων ατυχημάτων που χορηγήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αποτελούν σοβαρά περιστατικά και αυτό μαρτυράται από το γεγονός ότι εκλήθη η Τροχαία για την καταγραφή του συμβάντος. Σύμφωνα με τοπικές μαρτυρίες κατοίκων Κρήτης και χρηστών του ΒΟΑΚ, πολλά περιστατικά τροχαίων

ατυχημάτων, όπου συμμετέχει μόνο ένα όχημα και δεν προκληθεί κάποιος τραυματισμός, πολλές φορές δεν καταγράφονται από την Τροχαία. Επομένως είναι εμφανές ότι ο αριθμός των περιστατικών είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που υπάρχει καταγεγραμμένος.

Συνοψίζοντας, τα Γεωπληροφοριακά Συστήματα, αποτέλεσαν σημαντικό εργαλείο σε όλα τα στάδια της παρούσας ΜΔΕ, από την εισαγωγή των δεδομένων, τη διαχείριση τους και τον διαχωρισμό τους, την χωρική ανάλυση αυτών και την οπτικοποίηση τους, η απόδοση τους ήταν ικανοποιητική. Ο γεωγραφικός εντοπισμός των τροχαίων του ΒΟΑΚ και το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε για την ανίχνευση περιοχών υψηλής συγκέντρωσης τροχαίων ατυχημάτων, σε συνδυασμό με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της, δηλαδή την στατιστική ανάλυση, την Ανάλυση Πυκνότητας Πυρήνα, και τα μοντέλα Χωρικής Αυτοσυσχέτισης, 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.

Η μελέτη ανέλυσε τη χωρική αυτοσυσχέτιση των θανάτων και τραυματισμών από τροχαία στον ΒΟΑΚ χρησιμοποιώντας την σημειακή θέση των ατυχημάτων και ανέδειξε πρώτον, ότι είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη διερεύνηση των θανατηφόρων και προκαλούμενων τραυματισμών τροχαίων στον ΒΟΑΚ, και δεύτερον, εντόπισε τις περιοχές που χρήζουν άμεσων βελτιώσεων της οδικής ασφάλειας.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο, πως, όσον αφορά τον ΒΟΑΚ αλλά και την επικράτεια της Ελλάδας, με το επίπεδο της διαθέσιμης τεχνολογίας, είναι καιρός να αρχίσει η ψηφιακή καταγραφή συμβάντων τροχαίων ατυχημάτων, χρησιμοποιώντας μεταξύ άλλων τεχνολογίες GPS για την καταγραφή θέσης. Με τον τρόπο αυτό οι ερευνητές θα διαθέτουν δεδομένα με μεγάλη χωρική ακρίβεια θέσης και θα εξασφαλιστεί ένα πιο λεπτομερές επίπεδο ανάλυσης δεδομένων.

6.2. Προτάσεις

Η γεωγραφική / χωρική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στην παρούσα εργασία, όπου συνδυάζεται η γεωγραφική θέση των ατυχημάτων του ΒΟΑΚ σε συνδυασμό με το πλήθος των μεταβλητών που χορηγήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους.

Αρχικώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περεταίρω διερεύνηση των τροχαίων ατυχημάτων ως προς τους παράγοντες στους οποίους μπορεί να οδήγησαν στην πρόκληση τους (πχ συνθήκες οδοφωτισμού, περιστατικά σε διασταυρώσεις, σε στροφές, κατανάλωση αλκοόλ, κ.λπ.). Ακόμη θα μπορούσαν να συσχετιστούν διάφορες μεταβλητές μεταξύ τους ώστε να προκύψουν χρήσιμα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα αν οι τραυματισμοί και οι θάνατοι σχετίζονται με την έλλειψη εξαρτημάτων ασφαλείας (κράνος, ζώνη, κ.λπ.).

Από την αξιολόγηση τυχόν συγγραμμικότητας μεταξύ των συσχετιζόμενων μεταβλητών όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (Geographically Weighted Regression, GWR) για καλύτερη πρόβλεψη των hotspot των τροχαίων οδικών ατυχημάτων. Ακόμη μπορεί να γίνει για τον ίδιο λόγο και χρήση νευρωνικών δικτύων.

Η Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη είναι η Planar (2-D) Kernel Density Estimation (PKDE), η οποία χρησιμοποιεί την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ συμβάντων. Γνωρίζοντας ότι τα τροχαία ατυχήματα συμβαίνουν κατά μήκος ενός οδικού δικτύου, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η εφαρμογή της Network Kernel Density Estimation (NKDE), η οποία χρησιμοποιεί την απόσταση κατά μήκος του οδικού δικτύου μεταξύ των συμβάντων και εξαρτάται σε μικρότερο βαθμό από τις παραμέτρους εισόδου σε σύγκριση με την PKDE.

Η χωρική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε, θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με περισσότερες λεπτομέρειες όσον αφορά τις νεότερες και παλαιότερες χαράξεις και να γίνει μια σύγκριση των συμβάντων σε αυτές ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο βελτιώθηκε στα υπόψη τμήματα η συχνότητα των ατυχημάτων. Το ίδιο ισχύει και για περιοχές που το οδόστρωμα από ενιαίας κυκλοφορίας έγινε διαχωρισμένης (αυτοκινητόδρομος) κ.λπ.

Ακόμη, υπάρχει πάντα η δυνατότητα λήψης διαφορετικών αποτελεσμάτων από τα ίδια δεδομένα όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικά χωρικά και/ή χρονικά επίπεδα. Αυτά αναφέρονται συνήθως ως πρόβλημα τροποποιήσιμης χωρικής μονάδας (Modifiable Area Unit Problem - MAUP) και πρόβλημα τροποποιήσιμης χρονικής μονάδας (Modifiable Temporal Unit Problem - MTUP). Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να αναλυθούν τα δεδομένα σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες και ώστε να εντοπιστούν περεταίρω τάσεις ή μοτίβα σε αυτά.

Τέλος, η ανάλυση θα μπορούσε να επεκταθεί σε όλη την Κρήτη και με βάση τις αθροιστικές μεθόδους, να εξεταστεί το πρόβλημα των τροχαίων ατυχημάτων σε επίπεδο Δήμου ή κάποιας άλλης χωρικής μονάδας για την ανάδειξη και των περιοχών με τα μεγαλύτερα προβλήματα τροχαίων οδικών ατυχημάτων και στο επαρχιακό δίκτυο.

Βιβλιογραφία

1. Afolayan, A., Easa, S., Abiola, O., Alayaki, F., & Folorunso, O. (2022). "GIS-Based Spatial Analysis of Accident Hotspots A Nigerian Case Study". *Infrastructures*, 7(8).
2. Al-Ghamdi, A. (2002). "Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity". *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), σσ. 729-741.
3. Anderson, T. (2009). "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots". *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), σσ. 359-364.
4. Anselin, L. (1995). "Local indicators of spatial association-LISA". *Geographical analysis*, 27(2), σσ. 93-115.
5. Bailey, T., & Gatrell, A. (1995). "Interactive spatial data analysis".
6. Bíl, M., Andrášik, R., & Janoška, Z. (2013). "Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation". *Accident Analysis & Prevention*, 55, σσ. 265-273.
7. Bil, M., Andrášik, R., & Sedoník, J. (2019). "A detailed spatiotemporal analysis of traffic crash hotspots". *Applied geography*, 107, σσ. 82-90.
8. Bombom, L., & Edino, M. (2009). "Road profiling of traffic accidents in Jos, Nigeria, 1995–1999". *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 16(3), σσ. 169 – 174.
9. Castro, M., Paleti, R., & Bhat, C. (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), σσ. 253-272.
10. CDC. (2023). "Road Traffic Injuries and Deaths—A Global Problem". Ανάκτηση από <https://www.cdc.gov/injury/features/global-road-safety/index.html>
11. Chainey, S., & Ratcliffe, I. (2005). *GIS and Crime Mapping*. London: John Wiley and Sons.
12. Cliff, A., & Ord, J. (1981). "Spatial processes models and application".
13. efsyn.gr. (2018, Απρίλιος 4). "ΒΟΑΚ: Παραδόθηκε το τμήμα Γούρνες - Χερσόνησος". Ανάκτηση από Η ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΩΝ ΣΥΝΤΑΚΤΩΝ: https://www.efsyn.gr/efkriti/koinonia/146060_boak-paradothike-tmima-goynres-hersonisos
14. Elvik, R. (2008). "A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries". *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), σσ. 1830-1835.
15. Erdogan, S. (2009). "Explorative Spatial Analysis of Traffic Accident Statistics and Road Mortality among the Provinces of Turkey". *Journal of Safety Research*, 40(5), σσ. 341 – 351.

16. Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M. (2008). "Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar". *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), σσ. 174-181.
17. ESRI. (χ.χ.). *Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)*. Available: Ανάκτηση Απρίλιος 2023, από ESRI: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm>
18. EUROSTAT. (χ.χ.). *Eurostat Regional Yearbook 2022 Edition*.
19. Fotheringham, A., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000). "Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis". *Google Books*.
20. Gatrell, A., Bailey, T., Diggle, P., & Rowlingson, B. (1996). "Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology". *Transactions of the Institute of British Geographers*, 21(1), σσ. 256-274.
21. Getis, A., & Ord, J. (1992). "The analysis of spatial association by use of distance statistics". *Geographical analysis*, 24(3), σσ. 189-206.
22. Getis, A., & Ord, J. (1996). "Local Spatial Statistics: An Overview". *Spatial Analysis: Modeling in A GIS Environment*.
23. Goodchild, M. (1985). "Geographic information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma". *Operational Geographer*.
24. Harirforoush, H., Bellalite, L., & Bénié, G. (2019). "Spatial and temporal analysis of seasonal traffic accidents". *American Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 4(1), σσ. 7-16.
25. Hazaymeh, K., Almagbile, A., & Alomari, A. (2022). "Spatiotemporal Analysis of Traffic Accidents Hotspots Based on Geospatial Techniques". *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4).
26. Huxhold, W. (1992). "An introduction to urban geographic information systems".
27. ITF. (2022). *Road Safety Annual Report 2022*. Ανάκτηση από INTERNATIONAL TRANSPORTATION FORUM: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2022.pdf>
28. Khan, G., Qin, X., & Noyce, D. (2008). "Spatial analysis of weather crash patterns". *Journal of transportation engineering*, 134(5).
29. Kim, H., Kim, H., & Son, B. (2006). "Factors associated with automobile accidents and survival". *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), σσ. 981-987.
30. Kingham, S., Sabel, C., & Bartie, P. (2011). "The impact of the 'school run' on road traffic accidents: A spatio-temporal analysis". *Journal of transport geography*, 19(4).
31. Levine, N., Kim, K., & Nitz, L. (1995). "Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: I. Spatial patterns". *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), σσ. 663-674.
32. Li, P. (2006, Οκτώβριος). "Road accident models and safety measures for vulnerable road users". *In Proceedings of the 22nd ARRB Conference*.

33. Liang, L., Mo'soem, D., & Hua, L. (2005). "Traffic accident application using geographic information system". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*(6), σσ. 3574–3589.
34. Ma, L., Yan, X., & Qiao, W. (2014). "A quasi-Poisson approach on modeling accident hazard index for urban road segment". *Discrete Dynamics in nature and society*.
35. Miller, H. (2010). "Potential Contributions of Spatial Analysis to Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T)". *Geographical Analysis*, 31(4), σσ. 373–399.
36. Moons, E., Brijs, T., & Wets, G. (2009). "Improving Moran's index to identify hot spots in traffic safety". *Geocomputation and urban planning*, σσ. 117–132.
37. Moore, D., Schneider, W., Savolainen, P., & 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), σσ. 621-630.
38. Moran, P. (1948). "The interpretation of statistical maps". *Journal of the Royal Statistical. Series B (Methodological)*, 10(2), σσ. 243-251.
39. Nicholson, A. (1999). "Analysis of Spatial Distributions of Accidents". *Safety Science*(31), σσ. 71-91.
40. NRSO. (2023). *Road Safety Observatory*. Ανάκτηση από <https://www.nrso.ntua.gr/>.
41. Ord, J., & Cliff, A. (1973). "Spatial autocorrelation". (*Monographs in spatial and environmental systems analysis, no. 5*), σ. 178.
42. Ord, J., & Getis, A. (1995). "Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application". *Geographical analysis*, 27(4), σσ. 286-306.
43. Osayomi, T., & Areola, A. (2015, June). "Geospatial Analysis of Road Traffic Accidents, Injuries and Deaths in Nigeria". *Indonesian Journal of Geography*.
44. O'Sullivan, D., & Unwin, D. (2003). "Geographic information analysis". *Google Books*.
45. Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). "Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21, σσ. 317-325.
46. Prasannakumara, V., Vijitha, H., Charuthaa, R., & Geetha, N. (2011). "Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Analysis and Assessment". *ScienceDirect*, 21, σσ. 317-325.
47. Sabel, C. (2006). "Kernel Density Estimation as a Spatial-Temporal Data Mining Tool: Exploring Road Traffic Accident Trends". *Proceedings GISRUK'06*, σσ. 191-196.
48. Schönfelder, S., & Axhausen, K. (2002). "Measuring the size and structure of human activity spaces". *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 135.

49. Sengupta, A., Gayah, V., & Donnell, E. (2021, Σεπτέμβριος). "Examining the Impact of Crash Data Aggregation on SPF Estimation". *Accident Analysis & Prevention*, 160.
50. Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). "Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies". *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), σσ. 371-389.
51. Silverman, B. (1986). "Density estimation for statistics and data analysis". *Books Google*.
52. Tessa K. Anderson. (2009). "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots". *Accident Analysis and Prevention*, 41(3), σσ. 359-364.
53. Theofilatos, A., Graham, D., & Yannis, D. (2012). "Factors affecting accident severity inside and outside urban areas in Greece". *Traffic injury prevention*, 13(5), σσ. 458-467.
54. Truong, L., & Somenahalli, S. (2011). "Using GIS to identify pedestrian-vehicle crash hot spots and unsafe bus stops". *Journal of Public Transportation*, 14(1), σσ. 99-114.
55. Valent, F., Schiava, F., Savonitto, C., Gallo, T., Brusaferrero, S., & Barbone, F. (2002). "Risk factors for fatal road traffic accidents in Udine, Italy". *Accident Analysis & Prevention*, 34(1), σσ. 71-84.
56. WHO. (2021). *WORLD HEALTH ORGANIZATION: Global Plan. Decade Of Action For Road Safety 2021 - 2030*.
57. WHO. (2023). *Road traffic injuries*. Ανάκτηση 02 20, 2023, από WORLD HEALTH ORGANIZATION: https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab_1
58. Yannis, G., Theofilatos, A., & Pispiringos, G. (2017). "Investigation of road accident severity per vehicle type". *Transportation Research Procedia*, σσ. 2076-2083.
59. Αγαπάκης, Γ. (2022, Ιούνιος). "Αστικές Πλημμύρες κατάντι του νέου σχεδιαζόμενου ΒΟΑΚ (τμήμα Ηράκλειο - Αγ.Νικόλας). Ιστορικό, Εκτίμηση Επικινδυνότητας, Μέτρα αντιμετώπισης". *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών & Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο*.
60. ΒΟΑΚ. (2008, Οκτώβριος). "Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ.)". Ανάκτηση από ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ - ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ: http://www.teetak.gr/files/ekdiloseis/synedria/koinisiskepsi_DE_TEE/boak.pdf
61. Γιαννής, Γ. (2014). "Λειτουργική Στατιστική Τροχαίων Ατυχημάτων στην Ελλάδα". *Σεμινάριο μετεκπαίδευσης εκπαιδευτών οδήγησης*. Ανάκτηση από NRSO: <https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/wp-content/uploads/geyannis-cp127-2.pdf>
62. Γιαννής, Γ. (2018). "Τροχαία Ατυχήματα - Οδική Συμπεριφορά και Ασφάλεια". *Institute of Public Health. Θέματα Δημόσιας Υγείας. 4ος Κύκλος Διαλέξεων*. Ανάκτηση από NRSO: <https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/wp-content/uploads/geyannis-cp329.pdf>

63. Γιαννής, Γ., & Φώλλα, Κ. (2016). *"Η οδική ασφάλεια στην Ελλάδα και στις τουριστικές περιοχές της". Οδική Ασφάλεια και Τουρισμός – Ασφαλή ταξίδια στην Πελοπόννησο*. Ανάκτηση από NRSO: <https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/wp-content/uploads/geyannis-cp179.pdf>
64. ΕΕ. (2023). *"Οδική ασφάλεια στην ΕΕ: ο αριθμός θανάτων διατηρήθηκε κάτω από τα προ πανδημίας επίπεδα, αλλά η πρόοδος παραμένει υπερβολικά αργή"*. Ανάκτηση από Ευρωπαϊκή Επιτροπή: https://greece.representation.ec.europa.eu/news/odiki-asfaleia-stin-ee-o-arithmos-thanaton-diatirithike-kato-apo-ta-pro-pandimias-epipeda-alla-i-2023-02-21_el
65. ΕΛΣΤΑΤ. (2023). *Οδικά Τροχαία Ατυχήματα*. Ανάκτηση από <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SDT04/->
66. Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταξάκη, Σ., & Τομαή, Ε. (2016). *"Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας - Αρχές και Τεχνολογίες"*. Ανάκτηση από ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟ ΚΑΛΛΙΠΟΣ: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6392>
67. Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταξάκη, Σ., & Τομαή, Ε. (2016). *"Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας - Ολοκληρωμένη Προσέγγιση και Ειδικά Θέματα"*. Ανάκτηση από ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟ ΚΑΛΛΙΠΟΣ: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6381>
68. Καλογήρου, Σ. (2015). *Χωρική Ανάλυση - Μεθοδολογία και εφαρμογές με τη γλώσσα R*. Ανάκτηση από ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟ ΚΑΛΛΙΠΟΣ: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5029>
69. Καραγιάννης, Ν. (2015). *"ΒΟΑΚ: Παραδόθηκε στην κυκλοφορία το τμήμα Άγιος Νικόλαος-Καλό Χωριό"*. Ανάκτηση Μάρτιος 2023, από [ypodomes.com](https://ypodomes.com/boak-apa-onk-nv-kuk-ofop-a-o-m-ma-y-oc-v-k-aoc-ka-xwp/): <https://ypodomes.com/boak-apa-onk-nv-kuk-ofop-a-o-m-ma-y-oc-v-k-aoc-ka-xwp/>
70. Καραγιάννης, Ν. (2023). *"Ποιος είναι ο οδικός χάρτης υλοποίησης του ΒΟΑΚ"*. Ανάκτηση Μάρτιος 2023, από [ypodomes.com](https://ypodomes.com/porois-einai-o-odikos-chartis-ylopoiisis-toy-voak-pote-provlepetai-i-oloklirosi-anatmima/): <https://ypodomes.com/porois-einai-o-odikos-chartis-ylopoiisis-toy-voak-pote-provlepetai-i-oloklirosi-anatmima/>
71. Κλαψινού, Κ. (2022). *"Σύγχρονη «μάστιγα» οι θάνατοι από τροχαία στην Κρήτη – Ο Γιάννης Λιονάκης «σοκάρει» με τα στοιχεία των ατυχημάτων"*. Ανάκτηση από GOODNET: <https://www.goodnet.gr/news-item/sugchroni-mastiga-oi-thanatoi-apo-trochaia-stin-kriti-o-giannis-lionakis-sokarei-me-ta-stoicheia-ton-atuchimatou.html>
72. Κύρκος, Ε. (2015). *"Επιχειρηματική Ευφυΐα & Εξόρυξη Δεδομένων"*. Ανάκτηση από ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟ ΚΑΛΛΙΠΟΣ: <https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/SAS287/%CE%92%CE%99%CE%92%CE%9B%CE%99%CE%91/BIBLIO%203.pdf>
73. Κωστέλλου, Α. (2020). *"Χωρική Ανάλυση Οδικών Ατυχημάτων στην Περιφέρεια Αττικής"*. *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*.

74. Λιόγκα, Χ. (2020, Φεβρουάριος). "Χωροχρονική ανάλυση τροχαίων ατυχημάτων και συντακτική δομή του αστικού χώρου: Η περίπτωση της Αθήνας την περίοδο 2008-2017". *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*.
75. Μελιδονιώτης, Ε. (2013). "Χωρική επιδημιολογική ανάλυση θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων στην Κρήτη κατά το χρονικό διάστημα 2001-2012". *Διπλωματική Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Δημόσια Υγεία & Διοίκηση Υπηρεσιών Υγείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης*.
76. Νομικός, Α., & Μωραϊτή, Ρ. (2019). "*Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης...ένα όνειρο που γίνεται πραγματικότητα*". Ανάκτηση από Αθηναϊκό-Μακεδονικό Πρακτορείο Ειδήσεων: <https://www.amna.gr/ota/article/348110/Boreios-Odikos-Axonas-Kritisena-oneiro-pou-ginetai-pragmatikotita>
77. ΠΑΤΡΙΣ, Α. Ε. (2003). "Ο νέος δρόμος Χερσονήσος - Σταλίδα". Ανάκτηση Μάρτιος 2023, από <https://archive.patris.gr/articles/17623/4172>
78. ΠΑΤΡΙΣ, Α. Ε. (2012). "Στην κυκλοφορία η παράκαμψη των Μαλίων". Ανάκτηση Μάρτιος 2023, από <https://archive.patris.gr/articles/219489>
79. Σαματάς, Μ., Λιονάκης, Γ., & Καραβιώτης, Γ. (2018). "Τροχαία Ατυχήματα στην Κρήτη: Συγκριτική και κριτική προσέγγιση σ' ένα τραγικό απολογισμό". Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/publication/331478321_Trochaia_Atychemata_sten_Krete_Synkritike_kai_kritike_prosengise_s'_ena_tragiko_apologismo_Car_Accidents_in_Crete_A_comparative_critical_approach_to_a_tragic_account
80. Φώτης, Γ. (2010). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*. Αθήνα: Γκοβόστη.
81. Χαλκιαδάκης, Κ. (2022). "*Γιατί συμβαίνουν τα τροχαία ατυχήματα στην Κρήτη; Με τέτοιες παραβάσεις ούτε ο ΒΟΑΚ δε σώζει*". Ανάκτηση από <https://www.caroto.gr/2022/08/09/%ce%b3%ce%b9%ce%b1%cf%84%ce%af-%cf%83%cf%85%ce%bc%ce%b2%ce%b1%ce%af%ce%bd%ce%bf%cf%85%ce%bd-%cf%84%ce%b1-%cf%84%cf%81%ce%bf%cf%87%ce%b1%ce%af%ce%b1-%ce%b1%cf%84%cf%85%cf%87%ce%ae%ce%bc%ce%b1%cf%84/>