

2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ,
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΩΝ: ΚΟΚΚΩΣΗΣ Χ., ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΧΠΠΑ

ΜΑΝΕΤΟΣ Π., ΕΔΙΠ. ΤΜΧΠΠΑ

ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
ΜΕΛΕΤΗΣ: ΒΟΛΟΣ

ΕΚΠΟΝΗΤΡΙΑ: ΛΑΖΑΡΙΔΟΥ ΜΑΡΙΝΑ ΠΑΡΘΕΝΑ

ΕΞΑΜΗΝΟ: 13^ο

ΒΟΛΟΣ

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη δημιουργία μιας μεθοδολογικής προσέγγισης και κατ' επέκταση ενός εργαλείου που θα διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε περιπτώσεις πλημμυρικών φαινομένων. Αυτό είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο με το οποίο πραγματοποιείται εκτίμηση του κινδύνου που μπορεί να επιφέρει ένα πλημμυρικό φαινόμενο. Μέσω αυτού μπορούν να ληφθούν μέτρα διαχείρισης των πλημμύρων, προσαρμογής των πόλεων σε αυτές και τρόποι για την καλύτερη αντιμετώπιση των κοινωνικοοικονομικών συνεπειών που μπορεί να επέλθουν.

Για να μπορεί να εκτιμηθεί το μέγεθος των επιπτώσεων εντός του πολεοδομικού ιστού που μελετάται, γίνεται χρήση ενός συγκεκριμένου δείκτη. Ο δείκτης αυτός εξαρτάται από εύρος δεδομένων/παραμέτρων, ανάλογα με την εκάστοτε περιοχή μελέτης και από το βαθμό σημαντικότητας που τους αποδίδεται.

Η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, η οπτικοποίησή τους σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και η χρήση του δείκτη, προβάλλουν τις περιοχές οι οποίες είναι περισσότερο ευάλωτες στις πλημμύρες, ανάλογα με τα κοινωνικά και οικονομικά τους χαρακτηριστικά, με βάση την ανάπτυξη τριών διαφορετικών σεναρίων για το ύψος του νερού.

Έπειτα από τη δισδιάστατη αυτή αναπαράσταση, πραγματοποιείται και τρισδιάστατη, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτες στους σχεδιαστές και στους πολίτες οι ζημιές που μπορούν να προκληθούν από μία πλημμύρα.

Ως παράδειγμα εφαρμογής της παραπάνω διαδικασίας, αποτέλεσε τμήμα της πόλης του Βόλου. Το μοντέλο αυτό συστήνεται να εφαρμοστεί σε παράκτιες πόλεις, όπου η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι πιθανό να αυξήσει τη συχνότητα των πλημμύρων. Παρόλα αυτά, δεν περιορίζεται απαραίτητα σε αυτές, ούτε και στο είδος των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.

Λέξεις κλειδιά: Δείκτης εκτίμησης κινδύνου πλημμύρας, Τρισδιάστατη αναπαράσταση, Εργαλείο πολεοδομικού σχεδιασμού για τις πλημμύρες, Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις πλημμύρων.

Abstract

This dissertation is aiming at a methodological approach and subsequently at the creation of a tool that facilitates the decision making process regarding floods. This is a new 3D model which assesses the risk of floods. With the usage of this tool, cities have the ability to take measures in order to manage floods and to adapt in such events. It is also helpful for urban areas to find ways to better recover from the socio-economic impacts that might occur.

A specific index is used in order to estimate the magnitude of these impacts inside the urban area of study. This index is based on a wide range of each area's data/parameters and the percentage of their significance.

That data is processed and visualized throughout Geographic Information Systems and play a significant role for the creation of the index mentioned above. With the application of these results to three different scenarios of water level it is possible to optimize the areas, which according to their socio-economic features are more prone to inundation.

Apart from the 2D visualization there is also a 3D one. Therefore, planners and citizens are able to observe in detail the impacts that can be induced by a flood.

A part of the urban area of the city of Volos is considered as a case study. The model is recommended for coastal cities, where sea level rise can increase the frequency of floods. However, it can be applied to other areas with other kind of data.

Key Words: Flood risk assessment index, 3D visualization, Urban planning tool for floods, Socio-economic consequences of floods.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
1.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	14
1.2.1. <i>ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ</i>	14
1.2.2. <i>ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ</i>	16
1.2.3. <i>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ</i>	19
1.2.4. <i>ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ</i>	20
1.2.5. <i>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ</i>	21
1.3. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΩΣ ΜΕΣΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	22
1.3.1. <i>ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</i>	23
1.4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	24
1.5. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	25
2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	27
2.1. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ	28
2.1.1. <i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ</i>	28
2.1.2. <i>ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ</i>	33
2.2. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	36
2.3. ΤΡΟΠΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ	38
2.3.1. <i>ΜΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ</i>	38
2.3.2. <i>ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ</i>	42
2.4. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	45
2.5. ΚΡΙΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	53
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	55
3.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	56
3.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	57
3.2.1. <i>ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ</i>	57
3.2.2. <i>ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΚΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ</i>	58
3.2.3. <i>ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ</i>	59

3.3.	ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ	61
3.4.	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ	63
3.5.	ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	63
4.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ	64
4.1.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	65
4.1.1.	ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	65
4.1.2.	ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	66
4.1.3.	ΠΡΟΣΦΑΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	67
4.2.	ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΟ ΒΟΛΟ.....	74
4.3.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΒΟΛΟ.....	75
4.3.1.	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ	75
4.3.2.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ.....	77
4.3.3.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	83
4.3.4.	ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	87
4.3.5.	ΣΕΝΑΡΙΑ ΎΨΟΥΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	89
4.4.	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ	110
4.5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	115
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
5.1.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	118
5.2.	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	119
5.3.	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ/ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	121
	121
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Διαφορές στο ύψος του επιπέδου της θάλασσας από το 1993 έως το 2017	18
Εικόνα 1.2: Παγκόσμιος μέσος του ύψους του νερού της θάλασσας από το 1993 έως το 2017	19
Εικόνα 1.3: 3D Προσομοίωση της Πλημμύρας στο Asheville το 2004.....	24
Εικόνα 2.1: Κατηγορίες Ιστορικών Πλημμύρων ανά Ύψος Αποζημίωσης.....	30
Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση έκτασης βάθους και ταχυτήτων ροής πλημμύρας του ρέματος Κραυσιδώνα για περίοδο επαναφοράς $T=50$ ετών	31
Εικόνα 4.1: Υδρολογική Λεκάνη Βόλου	68
Εικόνα 4.2: Η περιοχή της Νεαπόλεως κατά την πλημμύρα του 2006.....	71
Εικόνα 4.3: Λεωφόρος Γρ. Λαμπράκη κατά την πλημμύρα του 2006	71
Εικόνα 4.4: Πλημμύρα από βροχόπτωση το Νοέμβριο του 2012.....	73
Εικόνα 4.5: Πλημμύρα από βροχόπτωση το Νοέμβριο του 2012.....	73
Εικόνα 4.6: Πεζοί κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του Νοεμβρίου του 2012.....	74
Εικόνα 4.7: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 1	111
Εικόνα 4.8: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 1	111
Εικόνα 4.9: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 2	112

Εικόνα 4.10: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 2	112
Εικόνα 4.11: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 2	113
Εικόνα 4.12: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 3	113
Εικόνα 4.13: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 3	114
Εικόνα 4.14: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 3	114

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Στοιχεία για τη διαφοροποίηση της Στάθμης της Θάλασσας.....	17
Πίνακας 3.1: Τιμές Τυχαίου Δείκτη RI.....	61
Πίνακας 4.1: Σημαντικές Πλημμύρες στην πόλη του Βόλου	70
Πίνακας 4.2: Ανάλυση στοιχείων που κινδυνεύουν από εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου.....	76
Πίνακας 4.3: Υπολογισμός Βαρυτήτων με την AIM.....	83
Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα Βαρυτήτων και Δείκτης Συνέπειας.....	85
Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα βαρυτήτων και παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Δείκτη Συνέπειας.....	85
Πίνακας 4.6: Δοκιμή 1 Απόδοσης Βαρυτήτων	86
Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα Βαρυτήτων και Δείκτης Συνέπειας Δοκιμής 1	86
Πίνακας 4.8: Δοκιμή 2 Απόδοσης Βαρυτήτων	87
Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα Βαρυτήτων και Δείκτης Συνέπειας Δοκιμής 2	87

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Κλιματική Αλλαγή.....	15
Διάγραμμα 1.2: Επιπτώσεις Πλημμύρων.....	22
Διάγραμμα 2.1: Αναπαράσταση Επικινδυνότητας Πλημμύρων.....	32
Διάγραμμα 2.2: Δείκτης Αναπαράστασης του Βαθμού Επικινδυνότητας περιοχών από Πλημμύρες.....	35
Διάγραμμα 2.3: Τεχνολογικά Εργαλεία για την Προσαρμογή των Πόλεων στην Κλιματική Αλλαγή.....	37
Διάγραμμα 2.4: Μη Διαδικτυακές Τρισδιάστατες Αναπαραστάσεις.....	42
Διάγραμμα 2.5: Διαδικτυακές Τρισδιάστατες Αναπαραστάσεις.....	45
Διάγραμμα 2.6: Αναπαράσταση Επιπτώσεων Πλημμυρικών Φαινομένων.....	52
Διάγραμμα 3.1: Στάδια Μεθοδολογίας.....	56
Διάγραμμα 3.2: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος.....	60
Διάγραμμα 3.3: Διαδικασία Δισδιάστατης Αναπαράστασης.....	62
Διάγραμμα 4.1: Ετήσια βροχόπτωση στο Βόλο για τα έτη 2000-2007.....	68
Διάγραμμα 5.1: Περαιτέρω εξέλιξη της μεθόδου.....	121

Κατάλογος Χαρτών

Χάρτης 4.1: Ιστορικές Πλημμύρες και Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας.....	65
Χάρτης 4.2: Ιστορικές Πλημμύρες και Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στο Νομό Μαγνησίας	66
Χάρτης 4.3: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Κατοικία	78
Χάρτης 4.4: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Εμπόριο.....	78
Χάρτης 4.5: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Κοινωνικές Υποδομές/Υπηρεσίες	79
Χάρτης 4.6: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Αναψυχή	79
Χάρτης 4.7: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Μεταφορές.....	80
Χάρτης 4.8: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Διοίκηση	80
Χάρτης 4.9: Κατανομή παιδιών από 0-14 ετών.....	81
Χάρτης 4.10: Κατανομή πληθυσμού από 15-64 ετών	82
Χάρτης 4.11: Κατανομή πληθυσμού άνω των 65 ετών	82
Χάρτης 4.12: Εφαρμογή του Δείκτη Εκτίμησης Επικινδυνότητας Περιοχών.....	88
Χάρτης 4.13: Περιοχές επικινδυνότητας σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το Σενάριο 1	90
Χάρτης 4.14: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις κατοικίες.....	91
Χάρτης 4.15: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις εμπορικές δραστηριότητες.....	92
Χάρτης 4.16: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις κοινωνικές υποδομές	93
Χάρτης 4.17: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις δραστηριότητες αναψυχής.....	94
Χάρτης 4.18: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις μεταφορές	95
Χάρτης 4.19: Περιοχές επικινδυνότητας σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το Σενάριο 2	96
Χάρτης 4.20: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις κατοικίες.....	97

Χάρτης 4.21: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις εμπορικές δραστηριότητες.....	98
Χάρτης 4.22: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις κοινωνικές υποδομές	99
Χάρτης 4.23: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις δραστηριότητες αναψυχής.....	100
Χάρτης 4.24: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις μεταφορές	101
Χάρτης 4.25: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στα κτίρια διοίκησης.....	102
Χάρτης 4.26: Περιοχές επικινδυνότητας σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το Σενάριο 3	103
Χάρτης 4.27: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις κατοικίες	104
Χάρτης 4.28: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις εμπορικές δραστηριότητες.....	105
Χάρτης 4.29: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις κοινωνικές υποδομές	106
Χάρτης 4.30: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις δραστηριότητες αναψυχής.....	107
Χάρτης 4.31: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις μεταφορές	108
Χάρτης 4.32: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στα κτίρια διοίκησης.....	109

Κατάλογος Αρκτικόλεξων

ΑΕΠ: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

ΑΙΜ: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος

ΓΠΣ: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο

ΔΚΠ: Δείκτης Κινδύνου Πλημμύρας

ΕΛΣΤΑΤ: Ελληνική Στατιστική Αρχή

ΕΣΠΚΑ: Εθνική Στρατηγική για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή

ΚΤΕΛ: Κοινά Ταμεία Εισπράξεων Λεωφορείων

ΟΤ: Οικοδομικό Τετράγωνο

ΣΓΠ: Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

ΤΠΕ: Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών

ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

DEM: Digital Elevation Model

GIS: Geographic Information System

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

LiDAR: Light Detection and Ranging

NASA: National Aeronautics and Space Administration

QGIS: Quantum GIS

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

Αφιερώνεται:

Στους γονείς μου, Αντώνη και Αργυρώ

Στον αδερφό μου, Λάζαρο

Και στην Κατερίνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το θέμα της παρούσας εργασίας δεν περιορίζεται σε ένα μόνο επιστημονικό πεδίο. Σχετίζεται με το επίκαιρο και μεγάλης σημασίας ζήτημα της κλιματικής αλλαγής και επικεντρώνεται συγκεκριμένα στην πιθανή μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας και στα πλημμυρικά φαινόμενα που μπορεί να προκύψουν. Συνδυάζεται με την τρισδιάστατη μέθοδο αναπαράστασης μιας πόλης ή ενός τμήματος αυτής, η οποία είναι καινοτόμα και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Έτσι, διακρίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πόλης και ιδιαίτερα τα κτίρια που υπάρχουν σε αυτή (Biljecki et al., 2015). Συνεπώς, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρατηρήσει και να εξετάσει λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά που τον ενδιαφέρουν και να εξάγει ορθότερα συμπεράσματα.

Ο απώτερος σκοπός της είναι να αποτελέσει μέσο ενημέρωσης για τους πολεοδόμους, τους πολίτες και τα άτομα που λαμβάνουν αποφάσεις κατά τον πολεοδομικό σχεδιασμό, ως προς τα οφέλη που μπορεί να έχει η αναπαράσταση των επιπτώσεων των πλημμύρων σε ολόκληρη τη χώρα. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η ύπαρξη ενός τέτοιου πρωτοπόρου μέσου, διότι η κινητοποίηση των προαναφερθέντων ομάδων στη χρήση του τρισδιάστατου εργαλείου, μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο με τον οποίο το κράτος διαχειρίζεται τις πλημμύρες, προστατεύοντας έτσι τους πολίτες του και τις υποδομές του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ουσιαστικότερης ανάδειξης των επιπτώσεων μιας πλημμύρας, που δεν περιορίζεται μόνο στην προβολή της έκτασης που θα πληγεί, αλλά εμβαθύνει και στις χρήσεις γης που τη χαρακτηρίζουν και στον πληθυσμό που περιλαμβάνει.

1.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

1.2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

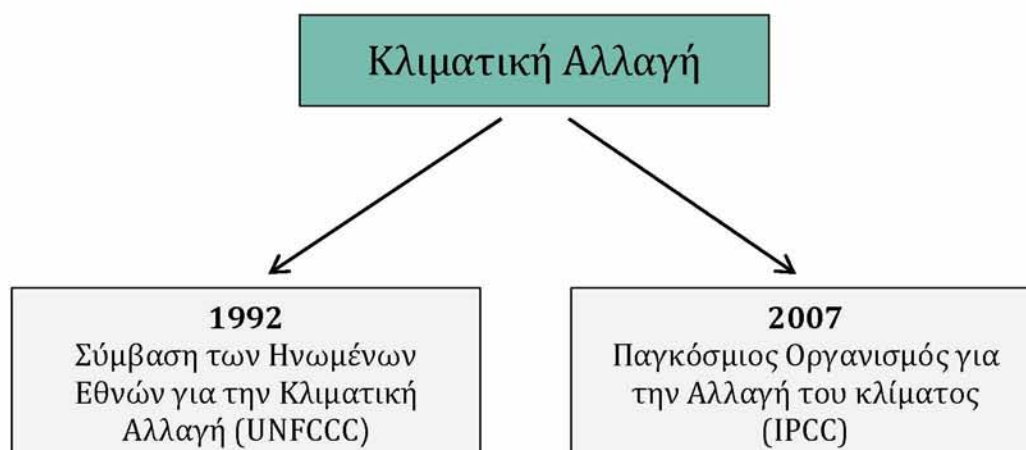
Τα τελευταία χρόνια, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται όλο και πιο αισθητές, όχι μόνο ως προς το περιβάλλον, αλλά και ως προς τους ανθρώπους. Για αυτό το λόγο, είναι κρίσιμο να προσφέρονται μέσα που να στοχεύουν στην ενημέρωση των πολιτών, ώστε να αποτελέσουν το έναυσμα για τη λήψη ατομικών μέτρων για την πρόληψη ή την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων.

Αρχικά, για να γίνει κατανοητή η έννοια της κλιματικής αλλαγής, κατά καιρούς έχουν αποδοθεί διάφοροι ορισμοί. Το 1992, η Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) την όρισε ως «μία αλλαγή του κλίματος που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα και που μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας του πλανήτη και έχει παρατηρηθεί από τη φυσική μεταβολή του κλίματος κατά τη διάρκεια συγκρίσιμων χρονικών περιόδων». Ωστόσο, το 2007, ο Παγκόσμιος Οργανισμός για την Αλλαγή του κλίματος (IPCC), τροποποίησε τον παραπάνω ορισμό της UNFCCC, προσθέτοντας ότι «αναφέρεται σε αλλαγή του κλίματος με την πάροδο του χρόνου, είτε λόγω φυσικής μεταβλητότητας, είτε ως απόρροια ανθρώπινης δραστηριότητας».

Πέρα από τα φυσικά αίτια, οι ενέργειες των ανθρώπων που επιδεινώνουν την κλιματική αλλαγή, είναι τόσο σημαντικές, που αποτελούν «μέσο ανασχηματισμού της επιφάνειας του πλανήτη μας». Ο βαθμός των συνεπειών και ο χρόνος που αυτές θα συμβούν, αποκαλύπτονται μέσα από μετρήσεις των δορυφόρων (Rasmussen, 2017 που παραθέτει στα λόγια του Josh Willis).

Οι γενικότερες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της θερμοκρασίας και της στάθμης της θάλασσας, το λιώσιμο των πάγων, διαφοροποιήσεις στη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, μεταβολές στην εμφάνιση φυσικών καταστροφών κ.ά.

Διάγραμμα 1.1: Ορισμός Κλιματικής Αλλαγής



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

1.2.2. ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Είναι σημαντικό να εξεταστεί σε μεγαλύτερο βαθμό η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η οποία μπορεί να μεταβάλλει τη συχνότητα εμφάνισης και το μέγεθος φυσικών καταστροφών, και πιο συγκεκριμένα, των πλημμύρων. Αύξηση του επιπέδου του νερού μπορεί να προκληθεί από την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η οποία οδηγεί στην μετατόπιση μεγάλων τμημάτων των πάγων στις πολικές περιοχές, αλλά και στην αύξηση της θερμότητας των ωκεανών. Σημειώνεται ότι οι ωκεανοί αποτελούν τις μεγαλύτερες αποθήκες της παγκόσμιας θερμότητας και συνεπώς, όταν αυτή αυξάνεται, το νερό διαστέλλεται (Rasmussen, 2017). Έτσι, διαφοροποιείται το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας, επηρεάζοντας αρνητικά τα οικοσυστήματα, το φυσικό και δομημένο περιβάλλον και τους ανθρώπους.

Από τις εκτιμήσεις περί ανόδου της στάθμης της θάλασσας που πραγματοποιήθηκαν από τη NASA, επιστήμονες της μελετούν το κατά τη γνώμη τους ηπιότερο σενάριο. Σύμφωνα με αυτό, το ύψος του νερού ανά έτος έως το 2050, αυξάνεται με σταθερό ρυθμό. Το συμπέρασμα είναι ότι ακόμα και με τις πλέον ήπιες εκτιμήσεις, θα αυξηθεί ο αριθμός των παράκτιων πλημμύρων και το μέγεθός τους (Tenenbaum, 2017a).

Είναι γεγονός, ότι συγκεκριμένα κατά τον 19^ο αιώνα, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι εντονότερη σε σχέση με τους προηγούμενους αιώνες (περίπου 1.5 με 2 mm ανά έτος) και αυτό έχει προκληθεί σε μεγάλο ποσοστό από ανθρωπογενή αίτια. Επιπρόσθετα, έχει εκτιμηθεί ότι κατά τους επόμενους αιώνες θα επιταχυνθεί η αύξησή της (Κρεστενίτης κ.ά., 2015 που παραπέμπουν στον Douglas, 1997). Πιο πρόσφατα στοιχεία της NASA, για την εξαγωγή των οποίων πραγματοποιούνται μετρήσεις μέσω δορυφόρων από το 1993 μέχρι και το 2017, δείχνουν ότι η στάθμη σε παγκόσμιο επίπεδο, αυξάνεται κατά μέσο όρο 3,4 (\pm 0,4) χιλιοστά ανά έτος και ότι συνολικά στην περίοδο αυτή, έχει αυξηθεί κατά επτά (7) εκατοστά (sealevel.nasa.gov, 2017).

Επίσης, από μετρήσεις που ξεκίνησαν το 2002 και συνεχίζονται μέχρι σήμερα, παρατηρείται ότι η μάζα των πάγων της Γροιλανδίας μειώνεται περίπου κατά 286 (\pm 21) Gt και της Ανταρκτικής κατά 127 (\pm 39) Gt ανά έτος αντίστοιχα. Διευκρινίζεται ότι η μονάδα Gt είναι η μάζα του πάγου, κατά την οποία 360 Gt αντιστοιχούν σε 1 χιλιοστό της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (sealevel.nasa.gov, 2017).

Πίνακας 1.1: Στοιχεία για τη διαφοροποίηση της Στάθμης της Θάλασσας

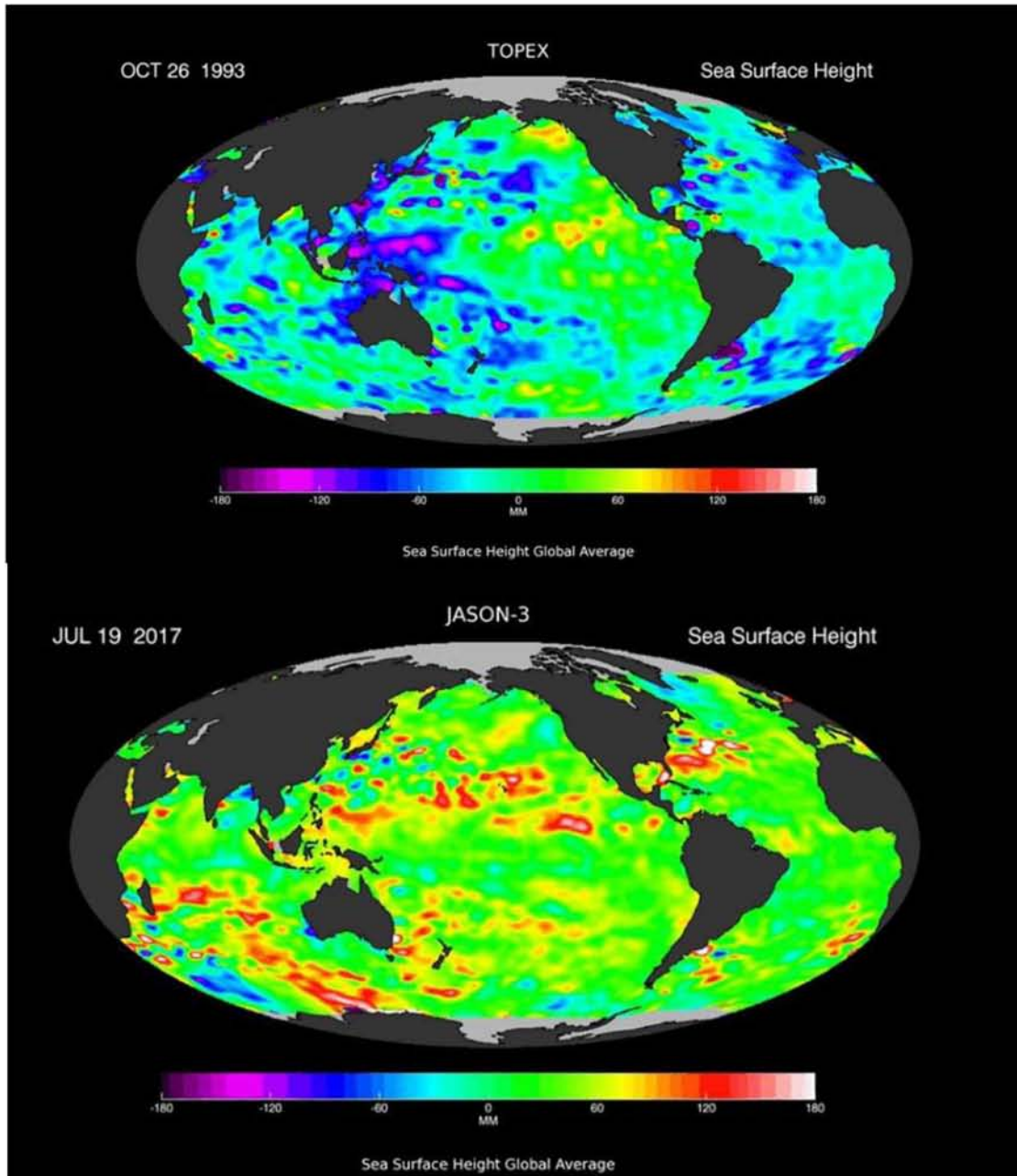
Στάθμη της Θάλασσας	1997	2017
		↑ 1.5-2 χιλ/έτος
Μάζα των Πάγων της Γροιλανδίας	↓ 286 (± 21) Gt/έτος	
Μάζα των Πάγων της Ανταρκτικής	↓ 127 (± 39) Gt/έτος	

Πηγή: Κρεστενίτης (2015), *sealevel.nasa.gov* (2017), *Ιδία επεξεργασία*

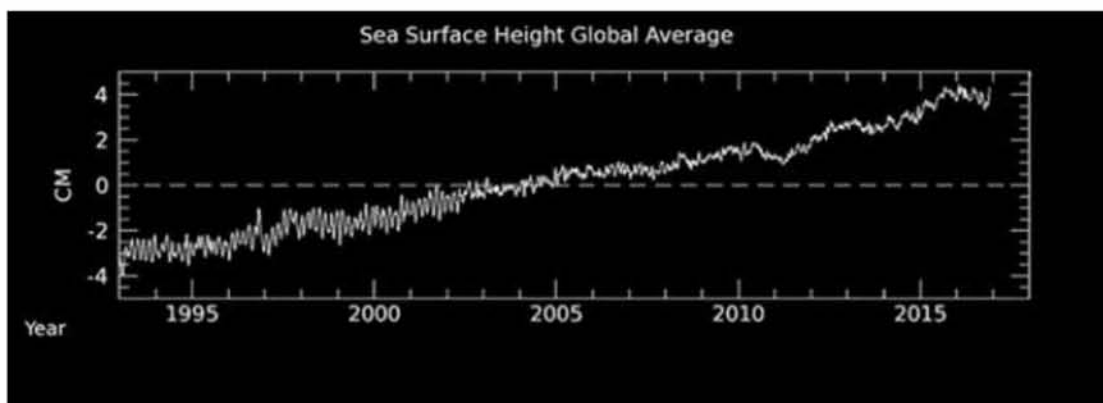
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας δεν είναι μόνο απόρροια της κλιματικής αλλαγής. Μπορεί να προκύψει και από άλλους παράγοντες, όπως είναι τα διάφορα είδη παλιρροιών, οι απότομες γεωλογικές μεταβολές, οι τοπογραφικές διαφοροποιήσεις του πυθμένα της θάλασσας κ.ά. (Κρεστενίτης κ.ά., 2015 που παραπέμπουν στον Galerkin, 1960).

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε περιφερειακή/τοπική κλίμακα, μεταβάλλεται χρονικά και χωρικά ευκολότερα από ότι σε παγκόσμια και μπορεί να διαφέρει και από αυτή. Ακόμα, είναι διαφορετικοί οι λόγοι που τις προκαλούν: η παγκόσμια συμβαίνει λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των νερών των ωκεανών και το λιώσιμο των πάγων, ενώ η τοπική λόγω παλιρροιών, καιρικών φαινομένων κ.ά. Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως για να προβλεφθεί για μία περιοχή ο βαθμός που κινδυνεύει να υποστεί πλημμύρα λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, πρέπει να μελετηθούν σε βάθος οι λόγοι που μπορεί να την προκαλέσουν. Το γεγονός αυτό, καθιστά δυσκολότερη και πολυπλοκότερη και την αναπαράστασή τους (Tenenbaum, 2017b).

Εικόνα 1.1: Διαφορές στο ύψος του επιπέδου της θάλασσας από το 1993 έως το 2017



Πηγή: sealevel.nasa.gov

Εικόνα 1.2: Παγκόσμιος μέσος του ύψους του νερού της θάλασσας από το 1993 έως το 2017

Πηγή: sealevel.nasa.gov

Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 1.1) γίνονται αντιληπτές οι διαφοροποιήσεις στο ύψος του επιπέδου της θάλασσας από το 1993 έως και το 2017. Σημειώνεται ότι το μπλε και το μωβ χρώμα αντιστοιχούν σε τιμές χαμηλότερες του μακροπρόθεσμου μέσου των δεδομένων, ενώ το κόκκινο, το κίτρινο και το άσπρο σε υψηλότερες. Παρόλο που και στα δύο έτη οι περισσότερες τιμές βρίσκονται κοντά σε αυτή του μέσου, είναι αρκετά εμφανής η συνολική διαφορά που παρουσιάζουν. Το 1993, ένα αρκετά μεγάλο μέρος του ύψους του νερού των ωκεανών, είναι χαμηλότερο από το μέσο, ιδιαίτερα στην περιοχή του Ινδικού και δυτικά του Ειρηνικού Ωκεανού. Οι υψηλότερες τιμές είναι ελάχιστες, κυρίως εντός του Ειρηνικού. Αντιθέτως, κατά το έτος 2017, οι υψηλότερες τιμές από αυτή του μέσου, φαίνεται να ξεπερνούν κατά πολύ τις χαμηλότερες, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στο Νότιο Ινδικό Ωκεανό. Τα παραπάνω δεδομένα επιβεβαιώνει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το διάγραμμα (Εικόνα 1.2) που δείχνει την παγκόσμια μεταβολή του ύψους του νερού κατά τα έτη αυτά. Μάλιστα, από το 2003 και μετά, οι διακυμάνσεις των τιμών ανά έτος είναι μικρότερες από ότι στα προηγούμενα έτη.

1.2.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Υπάρχουν πλημμύρες διαφόρων ειδών, ανάλογα με τους παράγοντες που τις προκαλούν και με το χώρο στον οποίο συμβαίνουν. Στην προκειμένη περίπτωση γίνεται λόγος για τις αστικές και παράκτιες πλημμύρες. Οι αστικές πλημμύρες μπορεί να είναι και παράκτιες, δηλαδή να προκύπτουν από τα ύδατα της θάλασσας, λόγω διαφόρων και ποικίλων παραγόντων. Αποτελούν συχνό φαινόμενο στην Ευρώπη και συνήθως

προκαλούνται από το συνδυασμό μεγάλου ποσοστού βροχόνερου, των υλικών που χρησιμοποιούνται στο έδαφος και το εμποδίζουν να απορροφηθεί φυσικά και της έλλειψης ή αναποτελεσματικής κατασκευής των συστημάτων αποχέτευσης εντός των αστικών περιοχών (K Jha et al., 2012; Διεθνές Συμβούλιο Επιστήμης της Περιφέρειας Ασίας και Ειρηνικού, 2008). Επίσης, οι πλημμύρες εντός αστικών περιοχών μπορούν να επιδεινωθούν και λόγω του μη ικανοποιητικού σχεδιασμού των χρήσεων γης (K Jha et al., 2012) και των υλικών κατασκευής των κτιρίων και των υποδομών.

Είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί κατηγοριοποίηση των πλημμύρων, ανάλογα και με τη διάρκειά τους. Στην προκειμένη περίπτωση, γίνεται λόγος για τις προσωρινές (flash floods), οι οποίες είναι αυτές που προκύπτουν από απρόβλεπτες και έντονες αλλαγές στα καιρικά φαινόμενα και εμφανίζουν ίσως το μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας, διότι ανάλογα με την ταχύτητα και το ποσοστό του νερού, μπορούν να παρασύρουν υλικά και αστικό εξοπλισμό, προκαλώντας περισσότερες ζημιές και απειλώντας ζωές (K Jha et al., 2012).

1.2.4. ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Είναι προφανές ότι με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την κλιματική αλλαγή, θα είναι συχνότερες και εντονότερες οι καταγίδες, άρα και μεγαλύτερες και πιο ζημιογόνες οι πλημμύρες.

Σε επίπεδο Ευρώπης, προβλέπεται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής να είναι αρνητικές και να προκαλέσουν πλημμύρες, όχι μόνο σε παράκτιες περιοχές, αλλά και σε εσωτερικά τμήματα της ηπειρωτικής γης. Επίσης, θα επιδεινωθεί η διάβρωση των ακτών και θα προσβληθούν τα οικοσυστήματα. Ειδικότερα, στη Νότια Ευρώπη, θα μεταβληθεί το κλίμα. Ο παράγοντας αυτός θα επιδράσει αρνητικά στις τουριστικές ροές των περιοχών αυτών, ιδίως κατά τους θερινούς μήνες (IPCC, 2007).

Με το πέρασμα των χρόνων, παρατηρείται διαφορά όσον αφορά τις πλημμύρες που προκύπτουν στις παράκτιες περιοχές. Ενώ παλαιότερα αποτελούσαν απόρροια έντονων καιρικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα καταγίδων, πλέον, εφόσον η στάθμη της θάλασσας έχει ήδη αυξηθεί, μπορεί να προκληθούν ακόμη και από παλίρροιες. Οι παλίρροιες, χωρίς τη συμβολή κάποιου καιρικού φαινομένου, δεν μπορούν να

προκαλέσουν μεγάλες πλημμύρες (Tenenbaum, 2017a που παραθέτει τα λόγια του Richard Ray).

Ο όρος «ενοχλητικές πλημμύρες» (nuisance flooding), χαρακτηρίζει αυτές που είναι παλιρροιακές και δεν υποχωρούν εύκολα και ουσιαστικά επεμβαίνουν στην ευημερία των κατοίκων της περιοχής που πλήττουν, προκαλώντας προβλήματα στους δρόμους και την κυκλοφορία (Tenenbaum, 2017b). Οι επιπτώσεις τους συνήθως βλάπτουν περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Προς το παρόν, οι πλημμύρες αυτές μπορεί να συμβαίνουν συχνά και να έχουν μικρή έκταση, όμως στο μέλλον, με τη συνεχώς αυξανόμενη άνοδο του ύψους του νερού, μπορεί και να οδηγήσουν σε ακραία γεγονότα (Tenenbaum, 2017a).

Οι σχέσεις μεταξύ των τροχιών του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης, μέσω των παλιρροιών, μπορούν να επηρεάσουν τις πλημμύρες και την έντασή τους. Ειδικότερα, υπάρχουν συγκεκριμένες χρονικές στιγμές σε συγκεκριμένα έτη, όπου οι παλιρροίες είναι υψηλότερες και κρισιμότερες (Tenenbaum, 2017a).

Όμως, για την εμφάνιση ενός παράκτιου πλημμυρικού γεγονότος, μπορεί να ευθύνονται και οι ισχυροί άνεμοι που είναι ικανοί να προκαλέσουν την εξύψωση των κυμάτων. Επιπρόσθετα, η πρόβλεψη των πλημμύρων που προκύπτουν λόγω των αστρονομικών παλιρροιών, είναι πιο σίγουρη από αυτές που μπορεί να προκληθούν λόγω καιρικών συνθηκών (Tenenbaum, 2017a).

Όσον αφορά τον Ελλαδικό χώρο, η Εθνική Στρατηγική για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΕΣΠΚΑ), υποστηρίζει ότι οι πλημμύρες που προκαλούνται από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, οφείλονται κυρίως είτε στην άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, είτε στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων (όπως παραπέμπεται στην Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, ΥΠΕΚΑ, 2012). Τα πλημμυρικά φαινόμενα που προκαλούνται από τη θάλασσα στην Ελλάδα, δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα.

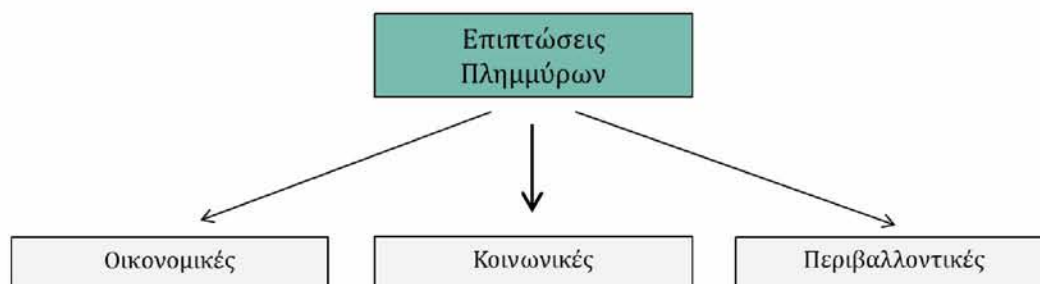
1.2.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Απειλούνται, λοιπόν, όχι μόνο οι έμβιοι οργανισμοί, αλλά και οι υποδομές και οι εγκαταστάσεις εντός δομημένου περιβάλλοντος (IPCC, 2007). Αυτό σημαίνει ότι κάθε περιοχή, ανάλογα με το μέγεθος των επιπτώσεων που θα προκληθούν από τις

πλημμύρες, θα έρθει αντιμέτωπη με τα οικονομικά κόστη για την αποκατάσταση των στοιχείων που προσβλήθηκαν από την καταστροφή.

Με την αυξανόμενη πυκνότητα κατοικιών, λειτουργιών και δραστηριοτήτων στις αστικές περιοχές κατά το πέρασμα των χρόνων, κινδυνεύει όλο και μεγαλύτερος αριθμός ατόμων. Παράλληλα, το κόστος για την επαναφορά του αστικού περιβάλλοντος στην προηγούμενή του κατάσταση θα είναι αρκετά μεγάλο και ίσως πολλές τοπικές οικονομίες να μη βρίσκονται σε θέση να ανταποκριθούν σε αυτό. Οι παράκτιες περιοχές θα επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο αυτό, ιδίως αν αυξηθούν οι ανθρώπινες πιέσεις σε αυτές (IPCC, 2007). Σύμφωνα με τους Κρεστενίτης κ.ά. (2015), για να αποφευχθούν μελλοντικά οι πιθανότητες να προκληθούν ζημιές μεγάλου βαθμού λόγω των πλημμύρων, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν δείκτες για τον εντοπισμό των ευάλωτων σημείων εντός των αστικών ζωνών και στη συνέχεια να ψηφιοποιηθούν, ώστε να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τον πολεοδομικό σχεδιασμό.

Διάγραμμα 1.2: Επιπτώσεις Πλημμύρων



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

1.3. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΩΣ ΜΕΣΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να κατανοηθεί από όλους το μέγεθος του κινδύνου που μπορεί να προκαλέσουν οι αλλαγές του κλίματος. Με τη συνεχή και ταχύρρυθμη ανάπτυξη της τεχνολογίας, βελτιώνονται τα μέσα που παρέχουν στους πολίτες τις κατάλληλες πληροφορίες. Έτσι, είναι ικανοί να συμμετάσχουν και αυτοί στη διαδικασία σχεδιασμού, προτείνοντας μια ασφαλέστερη και πιο προστατευτική γνώμη (Διεθνής Στρατηγική για τη Μείωση των Καταστροφών, 2004).

Διαφόρων ειδών αναπαραστάσεις είναι δυνατόν να επιτευχθούν μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ ή GIS). Τα ΣΓΠ είναι αρμόδια για τη λύση διάφορων γεωγραφικών και χωρικών προβλημάτων (Longley et al., 2010). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για να εκτιμηθεί όσο το δυνατόν η πιθανότητα μιας αστικής περιοχής να υποστεί πλημμυρικό φαινόμενο, ο βαθμός επικινδυνότητάς του, ο βαθμός τρωτότητας των τμημάτων της εκάστοτε περιοχής και οι ομάδες ανθρώπων που θα πληγούν περισσότερο. Η χρήση τέτοιων εργαλείων, σε συνδυασμό με τη σωστή διαχείριση των πληροφοριών και την επικοινωνία και συνεργασία των τοπικών φορέων, μπορεί να αμβλύνει το μέγεθος των επιπτώσεων μιας μελλοντικής πλημμύρας σε μία περιοχή.

Οι τεχνολογίες τέτοιου τύπου που αναπτύσσονται για να παρέχουν πληροφορίες ώστε να ενισχύουν την επικοινωνία μεταξύ των πολεοδόμων, των τοπικών αρχών και των πολιτών, συμβάλουν στην προετοιμασία για την πρόληψη, αντιμετώπιση και αποκατάσταση από κάποιο συμβάν πλημμύρας (Torres & Maletjane, 2015).

1.3.1. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Έναν από τους πιο σύγχρονους τρόπους αναπαράστασης των επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων εντός αστικού ιστού, αποτελούν τα τρισδιάστατα μοντέλα. Με αυτά αναδεικνύονται τα συστατικά χαρακτηριστικά της ευάλωτης αστικής περιοχής, καθώς και οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους (Δημοπούλου, 2015). Ακόμα, αντιπροσωπεύουν μία πιο ρεαλιστική αποτύπωση του χώρου.

Οι πλημμύρες αποτελούν καταστροφικό παράγοντα για τις πόλεις και παρά τα μέτρα που λαμβάνονται σε πολλές περιπτώσεις για την ελαχιστοποίησή τους, ο κίνδυνος συνεχίζει να υπάρχει. Ο κίνδυνος για πλημμύρα χαρακτηρίζεται από «χρονική και χωρική μεταβλητότητα» και από ασάφειες οι οποίες όμως μπορούν να εξαλειφτούν μέσω της τρισδιάστατης αναπαράστασης (Ahmad & Simonovic, 2011).

Ειδικότερα, με τα τρισδιάστατα μέσα αναπαράστασης των πληροφοριών δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να επιλέγουν μεταξύ διάφορων τρόπων σχεδιασμού και να εξετάζουν τα αποτελέσματά τους (Santosa et al., 2016).

Τα τρισδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης εμφανίζουν αρκετά θετικά σημεία, ορισμένα από τα οποία είναι η δυνατότητα να αναπαρίστανται πολύπλοκα δεδομένα, η

ελαστικότητα της κλίμακας, η δυνατότητα ανάλυσης πιθανών σχεδιασμών και η δυνατότητα σχολιασμού της διαδικασίας του σχεδιασμού, η διαδραστικότητα, η οικονομική προσιτότητα (Santosa et al., 2016 που παραπέμπουν στον Al-Kodmany, 2001).

Εικόνα 1.3: 3D Προσομοίωση της Πλημμύρας στο Asheville το 2004



Πηγή: geospatial.blogs.com

1.4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για να αναδειχθούν τα θετικά σημεία της παραπάνω τεχνολογίας και η σημασία της συμβολής της στην πρόληψη των επιπτώσεων από πλημμυρικά φαινόμενα του πολεοδομικού ιστού, καθορίζεται συγκεκριμένη παράκτια περιοχή μελέτης. Η περιοχή αυτή είναι ένα τμήμα της πόλης του Βόλου, που ανήκει στο Νομό Μαγνησίας της Περιφέρειας Θεσσαλίας και αντιμετωπίζει συχνά, συνήθως μικρής έκτασης, πλημμύρες.

Το ΥΠΕΚΑ, στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, πραγματοποίησε αναπαράσταση Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας για το σύνολο του Ελλαδικού χώρου, συμπεριλαμβανομένης και της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Παρουσιάζεται, δηλαδή, η επικινδυνότητα των περιοχών της χώρας στο να υποστούν μελλοντικά κάποιο πλημμυρικό φαινόμενο, με βάση το ιστορικό που διαθέτει η κάθε μία. Παρόλα αυτά, γίνεται εστίαση σε μικρότερη κλίμακα από αυτή στην οποία απευθύνεται η παρούσα έρευνα. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται λόγος και για την επικινδυνότητα εντός αστικών περιοχών, χωρίς όμως να αναλύεται λεπτομερώς η χρήση των δεικτών που χρησιμοποιούνται. Ακόμα, η έρευνα αυτή δεν επικεντρώνεται σε κοινωνικοοικονομικές συνέπειες. Το παρόν εργαλείο μπορεί να αποτελέσει επέκταση και να συμβάλει στη μελέτη του Υπουργείου.

1.5. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην αναπαράσταση του κινδύνου των πλημμυρικών φαινομένων και στην προώθησή της ως σημαντικό εργαλείο στο σχεδιασμό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω έξι κεφαλαίων και των αντίστοιχων ενοτήτων τους.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο, εισάγεται η έννοια της κλιματικής αλλαγής, αναφέρονται τα αίτια και οι επιπτώσεις της και γίνεται λόγος για μία από αυτές, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Στη συνέχεια δίνεται βάση στις πλημμύρες, επισημαίνονται οι επιπτώσεις τους και παρουσιάζονται τεχνολογικά μέσα, ικανά να βοηθήσουν στην αντιμετώπισή ή ελαχιστοποίησή τους. Τέλος, καθορίζεται ο στόχος της εργασίας και παρουσιάζεται η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά σε προηγούμενες εργασίες και έρευνες με παραπλήσιο θεματικό υπόβαθρο, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό.

Στο τρίτο, αναλύεται ο δείκτης κινδύνου πλημμύρας που χρησιμοποιείται για την ψηφιοποίηση. Έπειτα, περιγράφεται η διαδικασία υλοποίησης της τρισδιάστατης αναπαράστασης.

Εν συνεχεία, στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται ορισμένα σημαντικά στοιχεία της περιοχής μελέτης και αναλύεται η εφαρμογή του δείκτη, η μεθοδολογία και προβάλλονται τα αποτελέσματα της αναπαράστασης.

Το πέμπτο κεφάλαιο, περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που εξάγονται έπειτα από την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, αναφέρονται όλες τις πηγές που λήφθηκαν υπ' όψιν για την υλοποίηση της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

2.1. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, η τρισδιάστατη αναπαράσταση των πόλεων ή τμημάτων αυτών έχει αποτελέσει περιεχόμενο μελέτης πολλών επιστημόνων. Για το λόγο αυτό, καθίσταται απαραίτητη η συνοπτική αναφορά σε προγενέστερες έρευνες, που ανάλογα με τη θεματική τους, σχετίζονται σε διαφορετικό βαθμό με το παρόν θέμα.

2.1.1. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Οι **Σενή κ.ά.** το **2010** ασχολήθηκαν με τον τρόπο εύρεσης των περιοχών της Μαγνησίας που είναι πιο ευαίσθητες και εμφανίζουν μεγαλύτερη πιθανότητα στο να υποστούν πλημμύρα. Για να το πετύχουν αυτό, συγκέντρωσαν δεδομένα σε δισδιάστατους χάρτες, τα περισσότερα από τα οποία σχετίζονται με γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (κλίσεις εδαφών, χωρική κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης, λιθολογία) και με τις καλύψεις γης. Κατέληξαν σε τελικό χάρτη, όπου απεικονίζονται τα πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν συμβεί στο παρελθόν στην περιοχή, καθώς και η επικινδυνότητα για την εκδήλωση τέτοιων στο μέλλον.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη λήψη αποφάσεων για να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα για τις πιθανές πλημμύρες και να καθορίζονται ενέργειες που θα επιτρέπουν μόνο συγκεκριμένες δραστηριότητες σε πιο ευάλωτες περιοχές.

Το **2007** η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή** εξέδωσε την **Οδηγία 2007/60/ΕΚ** για τα μέλη της, για την «αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας». Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, για τις περιοχές που αποτελούν λεκάνες απορροής πρέπει να εκπονηθούν χάρτες που να ορίζουν την εν λόγω περιοχή, να περιλαμβάνουν τα πιο κρίσιμα πλημμυρικά φαινόμενα που είχαν συμβεί στο παρελθόν, να παρουσιάζουν την επικινδυνότητα πλημμύρας ανάλογα με την πιθανότητα να συμβεί, να περιέχουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες όσον αφορά τους κατοίκους, τις δραστηριότητες της περιοχής κλπ.

Στην Ελλάδα, το 2012 πραγματοποιήθηκε μελέτη για την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας. Σύμφωνα με την αναθεωρημένη μελέτη για την Εφαρμογή

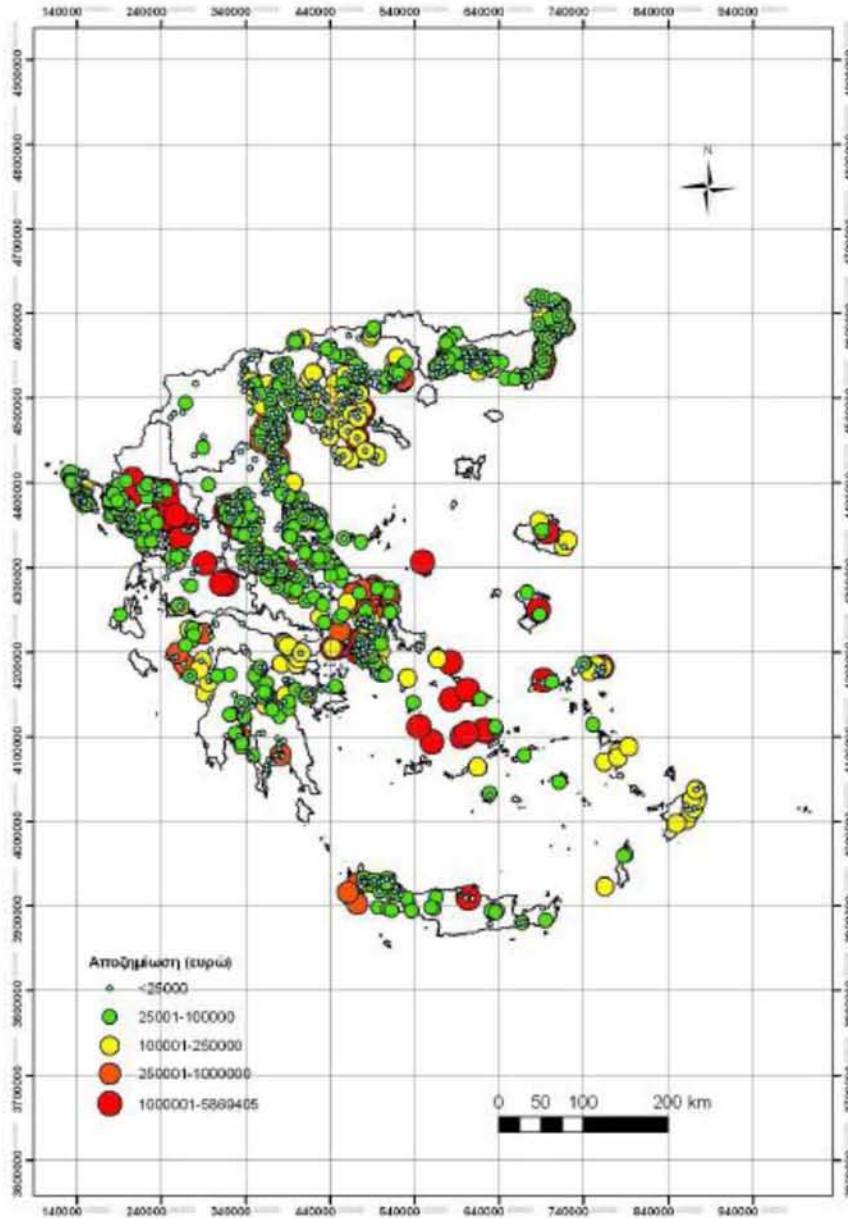
της Οδηγίας (2013), έχουν προσδιοριστεί σε πανελλαδικό επίπεδο οι Θέσεις Ιστορικών Πλημμυρικών Συμβάντων, οι Κατηγορίες ανά Αριθμό πλημμυρικών γεγονότων στις θέσεις ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων, οι Κατηγορίες ανά Έκταση Πλημμύρας, οι Κατηγορίες ανά Ύψος Αποζημίωσης, οι Κατηγορίες ανά Τύπο Καταστροφής, οι Θέσεις Σημαντικών Πλημμυρικών Συμβάντων. Όλα τα παραπάνω έχουν αποτυπωθεί σε χάρτες και για κάθε Υδατικό Διαμέρισμα της χώρας έχει γίνει ξεχωριστά εκτενέστερη περιγραφή των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε ένα από τα Διαμερίσματα, εξετάζονται οι Λεκάνες Απορροής Ποταμών, τα ιστορικά δεδομένα που αφορούν παρελθοντικά πλημμυρικά φαινόμενα, οι περιοχές που είναι πιο ευαίσθητες ως προς τις πλημμύρες για κάθε Περιφερειακή Ενότητα. Ακόμα, αναφέρονται και οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.

Στο Άρθρο 4 της Οδηγίας στην παράγραφο (δ) αναγράφεται: «για την αξιολόγηση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών των μελλοντικών πλημμύρων, λαμβάνονται υπ' όψιν και οι μακροπρόθεσμες εξελίξεις, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της αλλαγής του κλίματος στη συχνότητα επέλευσης των συμβάντων πλημμύρας». Ωστόσο, στην Αναθεωρημένη Μελέτη Αξιολόγησης της Οδηγίας, αναφέρεται ότι τα υφιστάμενα υδρομετεωρολογικά δεδομένα, δεν είναι αρκετά ώστε να εκτιμηθεί με ακρίβεια ο τρόπος και ο βαθμός με τον οποίο μπορεί να επηρεάσει η κλιματική αλλαγή τη συχνότητα εμφάνισης πλημμύρων. Σημειώνεται, ακόμα, ότι στην παρούσα μελέτη «δεν εξετάζονται σενάρια διόδευσης πλημμύρων σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, όμως εξετάζονται υδρολογικά σενάρια πολύ χαμηλής πιθανότητας με τη χρήση στοχαστικής ανάλυσης, άρα θεωρείται ότι ενσωματώνεται σε αυτή τη φάση η επίδραση της κλιματικής αλλαγής».

Το ΥΠΕΚΑ για την Περιφέρεια Θεσσαλίας έχει υλοποιήσει το 1^ο στάδιο της Οδηγίας (Χάρτες Επικινδυνότητας, Χάρτες Κινδύνων Πλημμύρας και μελέτες) και την 1^η φάση του 2^{ου} σταδίου που είναι η Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Για να πραγματοποιηθούν τα παραπάνω, χρειάστηκε να υπολογιστούν ορισμένοι Δείκτες (Τρωτότητα σε Πλημμύρα, Επικινδυνότητα Πλημμύρας και Κίνδυνος Πλημμύρας). Παρόλα αυτά, τα σενάρια που λήφθηκαν υπ' όψιν (πλημμύρες διαφόρων βαθμών πιθανότητας υπέρβασης περιόδου αναφοράς 50/100/1000 ετών), τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παραπάνω δεικτών (π.χ. καλύψεις γης Corine 2000), καθώς και η κλίμακα στην οποία χρησιμοποιήθηκαν (1:25000 διότι οι περιοχές που κινδυνεύουν να πλημμυρίσουν είναι ως επί το πλείστον αγροτικές και

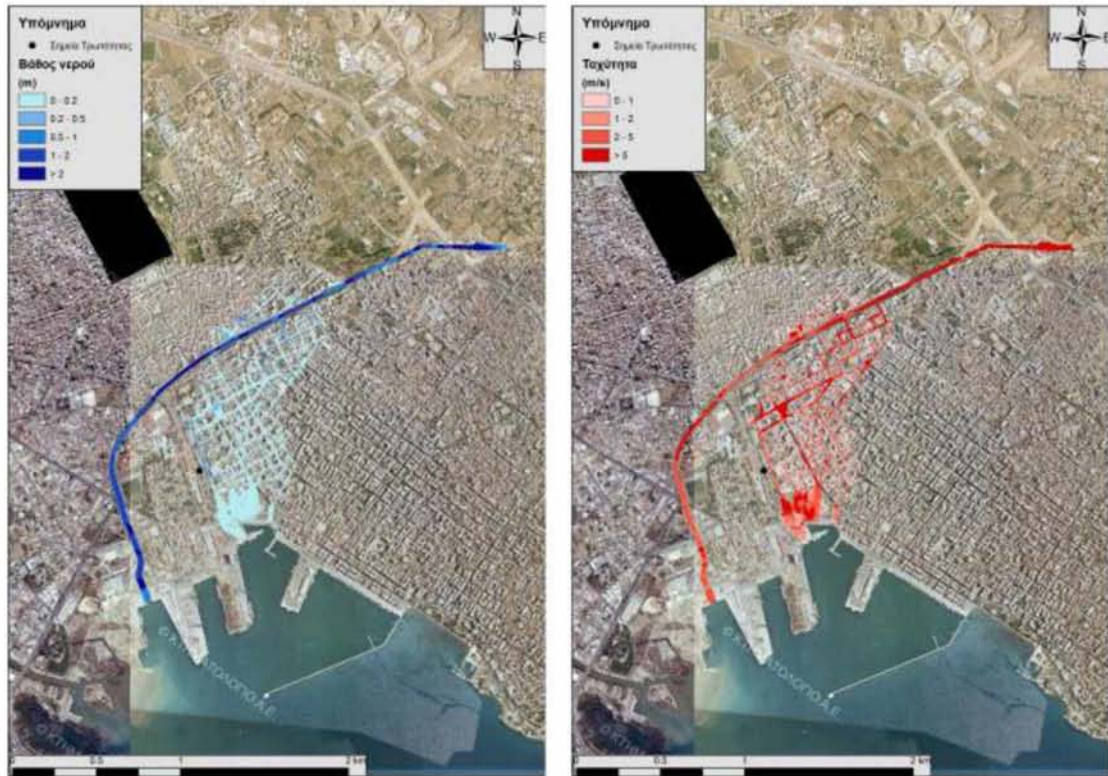
φυσικές και όχι αστικές περιοχές), διαφέρουν από αυτά της παρούσας εργασίας. Ειδικότερα, το εργαλείο μελέτης της εργασίας αυτής θα μπορούσε να συμβάλει στην περαιτέρω εξέλιξη της έρευνας της Ευρωπαϊκής Οδηγίας.

Εικόνα 2.1: Κατηγορίες Ιστορικών Πλημμύρων ανά Ύψος Αποζημίωσης



Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2012

Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση έκτασης βάθους και ταχυτήτων ροής πλημμύρας του ρέματος Κρανσιδώνα για περίοδο επαναφοράς T=50 ετών



Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2017

Οι **Patel et al. (2013)** ανέπτυξαν ένα τρισδιάστατο περιβάλλον για την αναπαράσταση του κινδύνου για τσουνάμι. Ως περιοχή εφαρμογής του μοντέλου αυτού, επέλεξαν την Ακτή Okha της περιοχής Gujarat στην Ινδία. Η συγκεκριμένη περιοχή θεωρείται ιδιαίτερα ευαίσθητη στο να υποστεί κάποιο φαινόμενο τσουνάμι ή σεισμού. Υπάρχει, λοιπόν, η ανάγκη να βρεθεί ένας τρόπος λήψης μέτρων για το σχεδιασμό, ικανών να προστατέψουν την περιοχή από τις καταστροφές που μπορεί να προκαλέσουν τα παραπάνω δυσμενή φαινόμενα. Έτσι, με τη χρήση μέσων γεωπληροφορικής, η αναπαράσταση του κινδύνου είναι εξαιρετικά σημαντική, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον αυξανόμενο αριθμό δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στη συγκεκριμένη περιοχή.

Χαρακτήρισαν τα τρισδιάστατα μοντέλα ως εξαιρετικά χρήσιμα για την απεικόνιση κινδύνων και τόνισαν τα πλεονεκτήματά τους, συγκρίνοντας τα και με τα δισδιάστατα.

Αποτύπωσαν τις επιπτώσεις ενός τσουνάμι για τρία διαφορετικά ύψη κυμάτων τσουνάμι: για 3, 5 και 7 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Από τα

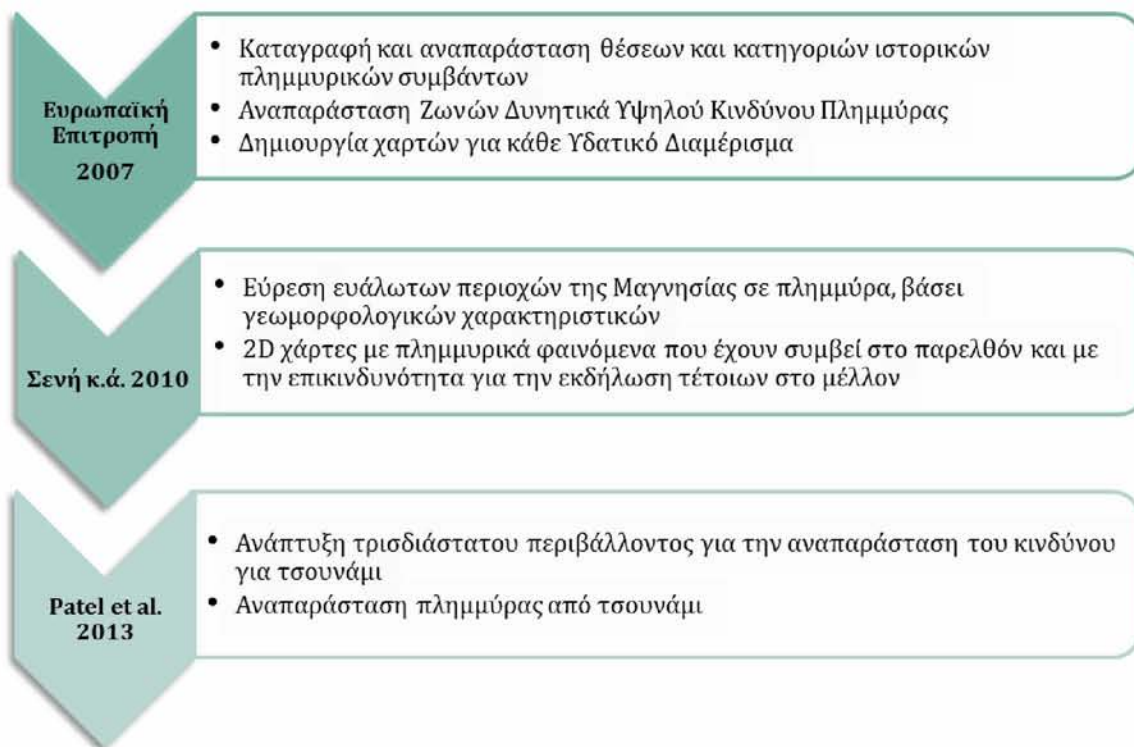
αποτελέσματά τους, παρατηρείται ότι όσο ψηλότερη είναι η παλίρροια την ώρα που εκδηλώνεται το τσουνάμι, τόσο ψηλότερα μπορεί να είναι τα κύματά του.

Για κάθε ένα (1) μέτρο πιθανής αύξησης της στάθμης της θάλασσας, σε εύρος τιμών 0.5-7.5 μέτρα, αποτύπωσαν το μέγιστο βαθμό πλημμύρας στην περιοχή.

Σε τρισδιάστατο μοντέλο, ανάλογα με το υψόμετρο της κάθε περιοχής, απεικόνισαν την επικινδυνότητά της να υποστεί τις επιπτώσεις ενός τσουνάμι. Σε αυτό συμπεριλήφθηκαν και τα κτίρια που βρίσκονται κοντά στις ακτές και είναι πιθανό να πληγούν ανάλογα με την εκάστοτε άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Έπειτα από την εφαρμογή του παραπάνω μοντέλου για την εν λόγω περιοχή, επιβεβαιώθηκε για άλλη μια φορά πως έχει αυξημένες πιθανότητες να πληγεί από τσουνάμι. Για το λόγο αυτό, και για να αποφευχθεί η διάσταση των αρνητικών επιπτώσεων που επέφεραν τέτοιες καταστροφές στο παρελθόν, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο μοντέλο για τη λήψη αποφάσεων, μέσω της κατανόησης του μεγέθους του κινδύνου.

Διάγραμμα 2.1: Αναπαράσταση Επικινδυνότητας Πλημμύρων



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

2.1.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Οι **Zonensein et al. (2008)** ανέπτυξαν Δείκτη για τον Κίνδυνο Πλημμύρας, που αφορά και υλικές και άυλες ζημιές που μπορεί να προκληθούν από αυτή. Πραγματοποίησαν την έρευνά τους για να περιγράψουν και περαιτέρω επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει μία πλημμύρα, ξεφεύγοντας έτσι από τις πιο «παραδοσιακές» εκτιμήσεις που περιορίζονται μόνο στις εμφανείς επιπτώσεις.

Στο Δείκτη για τον Κίνδυνο Πλημμύρας (ΔΚΠ), απέδωσαν ορισμένα χαρακτηριστικά όπως εύρος (τιμών), διατύπωση (σχέσεις μεταξύ των δεικτών από τους οποίους ο ΔΚΠ αποτελείται), τη σύσταση και το χωρικό πεδίο στο οποίο ο ΔΚΠ είναι εφαρμόσιμος.

Χρησιμοποίησαν ως περιοχή μελέτης τη λεκάνη απορροής του ποταμού Joana στο Rio de Janeiro της Βραζιλίας. Με τη χρήση του GIS, αποτύπωσαν σε χάρτη τα αποτελέσματα του δείκτη τους για την περιοχή αυτή.

Αφού εξέτασαν τα παραπάνω χαρακτηριστικά και το πώς αυτά μπορούν να αποτυπωθούν στο χώρο, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με τον Δείκτη αυτό μπορούν να αναπαρασταθούν οι επιπτώσεις των πλημμύρων και το γεγονός αυτό μπορεί να συμβάλλει σε θέματα όπως τη λήψη αποφάσεων για τον περιορισμό του κινδύνου από τις πλημμύρες.

Ο Δείκτης είναι προσαρμόσιμος, ανάλογα με τις αντιλήψεις και το λόγο που ο καθένας επιθυμεί να τον χρησιμοποιήσει. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν από τους υπεύθυνους της διαχείρισης των υδάτων στην περιοχή μελέτης και αποδείχτηκαν ικανοποιητικά.

Το **2009** οι **Kubal et al.** ανέπτυξαν έναν τρισδιάστατο δείκτη τρωτότητας για την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης πλημμύρας και τον εφάρμοσαν εξάγοντας τα αποτελέσματά του μέσω GIS πλατφόρμας για μία λεκάνη απορροής του ποταμού Mulde στην πόλη Leipzig της Γερμανίας. Οι τρεις (3) διαστάσεις του δείκτη αυτού, αφορούν τα οικονομικά, κοινωνικά και οικολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής αυτής και θίγουν πολεοδομικά θέματα. Τα βάρη των παραμέτρων αυτών καθορίστηκαν μέσω ενός εργαλείου λογισμικού, του FloodCalc Urban.

Η μέθοδος προσδιορισμού του βάρους των παραμέτρων του δείκτη που χρησιμοποίησαν, είναι διαφορετική από ορισμένες που χρησιμοποιούν οι πολεοδόμοι ή οι σχεδιαστές για τη διαχείριση κινδύνου. Ο τρόπος αυτός αναδεικνύει την ευαισθησία

των παραμέτρων. Τόνισαν πως διαφορετικοί προσδιορισμοί του βάρους, μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στις τιμές και στη χωρική κατανομή του κινδύνου της καταστροφής εντός της πόλεως.

Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να εντοπιστούν οι περιοχές μέσα σε μία πόλη που θα υποστούν τις επιπτώσεις μιας πλημμύρας σε μεγαλύτερο βαθμό. Ακόμα, με τη δημιουργία χαρτών όπου αποτυπώνονται οι επιπτώσεις των πλημμύρων, ενισχύεται ο τρόπος επικοινωνίας των υπεύθυνων για τη λήψη αποφάσεων για αυτές και είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν τυχόν συγκρούσεις των χρήσεων γης.

Ως οικονομικό κριτήριο λήφθηκε ο μέσος ετήσιος όρος άμεσων επιπτώσεων. Οι οικονομικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει μία πλημμύρα, χαρακτηρίζονται από τον «συσσωρευμένο οικονομικό κίνδυνο» που σχετίζεται με τις επιπτώσεις που θα επέλθουν στις χρήσεις γης εντός των πόλεων και από την «αξία της γης».

Ως κοινωνικό κριτήριο, έλαβαν τον πληθυσμό και τις πιθανές ευάλωτες κοινωνικές υποδομές που θα πληγούν άμεσα. Έλαβαν τις πιθανότητες διάβρωσης και συσσώρευσης των ρύπων και τους βιότοπους που πιθανώς θα πληγούν, ως οικολογικό κριτήριο.

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να αποτελέσουν τον πρόδρομο για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας σε αστικές περιοχές.

Οι **Kazakis et al. (2015)** προωθούν έναν δείκτη για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας, ο οποίος αποτελείται από επτά (7) παραμέτρους που σχετίζονται με τα πλημμυρικά φαινόμενα. Στόχος τους είναι να εντοπιστούν περιοχές που κινδυνεύουν από την εμφάνιση πλημμύρων, ώστε να εφαρμοστούν οι κατάλληλες στρατηγικές για την αντιμετώπισή τους.

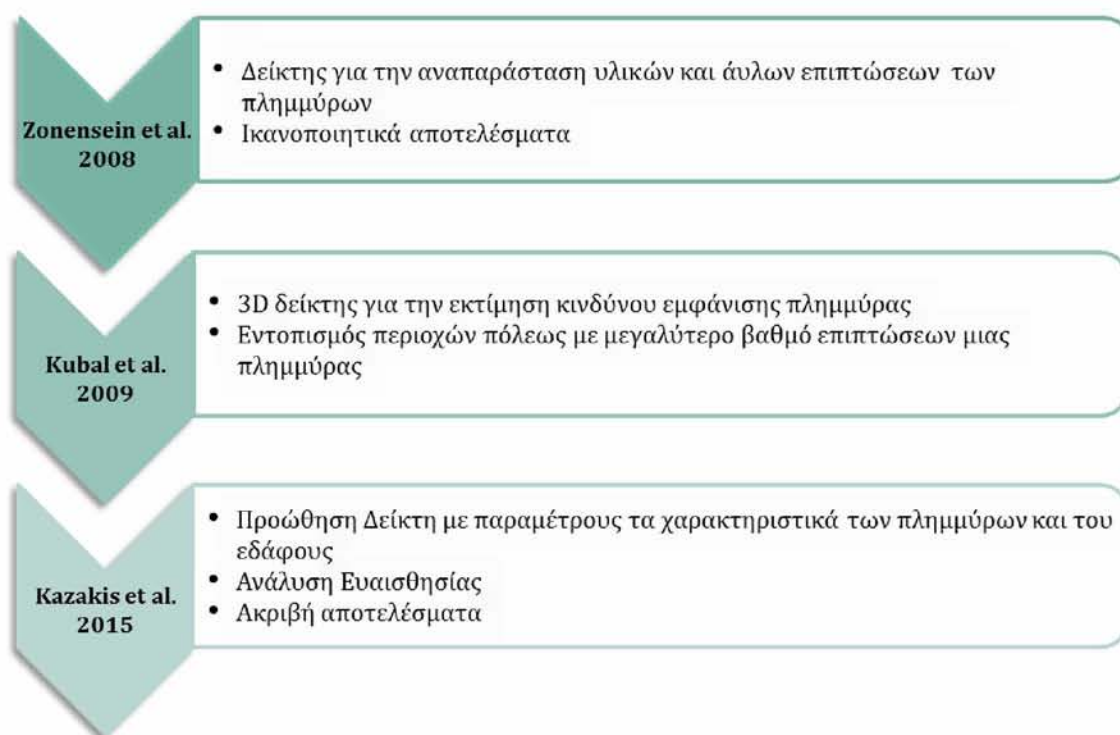
Αρχικά, ορίστηκε ο Δείκτης Κινδύνου Πλημμύρας. Τα βάρη των παραμέτρων που τον αποτελούν υπολογίστηκαν με τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα του δείκτη αποτυπώθηκαν σε διδιάστατο θεματικό χάρτη. Ωστόσο, η παραπάνω μέθοδος, λόγω της υποκειμενικότητάς της, δεν θεωρήθηκε πλήρως αξιόπιστη.

Για να ξεπεράσουν το πρόβλημα αυτό, πραγματοποίησαν μία διαδικασία ανάλυσης της ευαισθησίας των παραμέτρων τους.

Χρησιμοποίησαν ως περιοχή μελέτης την περιοχή Ροδόπη-Έβρος. Έπειτα από την ανάλυση ευαισθησίας, προέκυψε ότι οι κοίτες των ποταμών που βρίσκονται σε πεδιάδες είναι περισσότερο πιθανό να υποστούν πλημμύρα. Ακόμα, για την περιοχή μελέτης, υπάρχουν ιστορικά στοιχεία που επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα του δείκτη, πράγμα το οποίο τον καθιστά ιδιαίτερα αξιόπιστο.

Ο τροποποιημένος δείκτης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και για διαφορετικές περιοχές για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας, ανάλογα με τις οποίες, θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικές παράμετροι για τον υπολογισμό του. Όσο θετικά και ακριβή είναι τα αποτελέσματα του δείκτη αυτού, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν και να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω εργαλεία για την εκτίμηση των πλημμυρικών φαινομένων και τη διευκόλυνση κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων περί αυτών.

Διάγραμμα 2.2: Δείκτης Αναπαράστασης του Βαθμού Επικινδυνότητας περιοχών από Πλημμύρες



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

2.2. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Το Διεθνές Συμβούλιο Περιφερειακής Επιστήμης για την Ασία και τον Ειρηνικό, το 2008 εξήγαγε έρευνα, όπου επιχείρησε να προωθήσει τον επιστημονικό σχεδιασμό για ορισμένα είδη καταστροφών που μπορεί να εμφανιστούν σε μία πόλη. Ένα από αυτά είναι και οι πλημμύρες. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε κυρίως στις καταστροφές που συμβαίνουν στην περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού, αλλά σημειώθηκαν αρκετοί τρόποι τους οποίους μπορεί να υιοθετήσουν και άλλες πόλεις και περιοχές, ώστε να μπορούν να διαχειριστούν τις πλημμύρες και να είναι σε θέση να τις αντιμετωπίσουν.

Επισημάνθηκε πως τα τελευταία χρόνια, λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχει αυξηθεί το ποσοστό των κατακρημνίσεων και συνεπώς και των πλημμύρων. Αυτός θεωρείται και ο λόγος που τίθεται μεγάλης σημασίας το ζήτημα της διαχείρισης του κινδύνου αυτού.

Ως σημαντικό μέτρο τίθεται η υποχρεωτική υιοθέτηση συστημάτων προειδοποίησης για τις πιθανώς επερχόμενες πλημμύρες, ιδίως από τις περιοχές που αντιμετωπίζουν συχνά τέτοιου είδους προβλήματα. Επίσης, προτείνεται η δημιουργία ειδικών χαρτών που θα αποτυπώνουν μέτρα διαχείρισης των πλημμύρων για κάθε είδος επιπτώσεων που μπορούν να επιφέρουν.

Οι **K Jha et al. (2012)** παρουσιάζουν ένα μεγάλο αριθμό εργαλείων, χρήσιμων για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τις πλημμύρες και δηλώνουν πως συνεχώς εξελίσσονται και εντοπίζονται νέα. Σκοπός των εργαλείων αυτών είναι να ενισχύσουν την επικοινωνία, να χρησιμοποιηθούν ως μέσο λήψης αποφάσεων από ειδικούς και μη, καθώς και να συμβάλλουν στην επιμόρφωση και τη συμμετοχή των πολιτών, μέσω της αναπαράστασης των δεδομένων. Όσον αφορά τα δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα για τις πλημμύρες, αναφέρουν ότι είναι ικανά να αναλύσουν τον κίνδυνο και τις επιπτώσεις για διάφορες χρονικές περιόδους.

Οι **Torres & Maletjane** το 2015 δημοσίευσαν μία αναφορά, στην οποία εξηγούν τη σημασία των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στην προσπάθεια των πόλεων να λάβουν υπ' όψιν τους τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

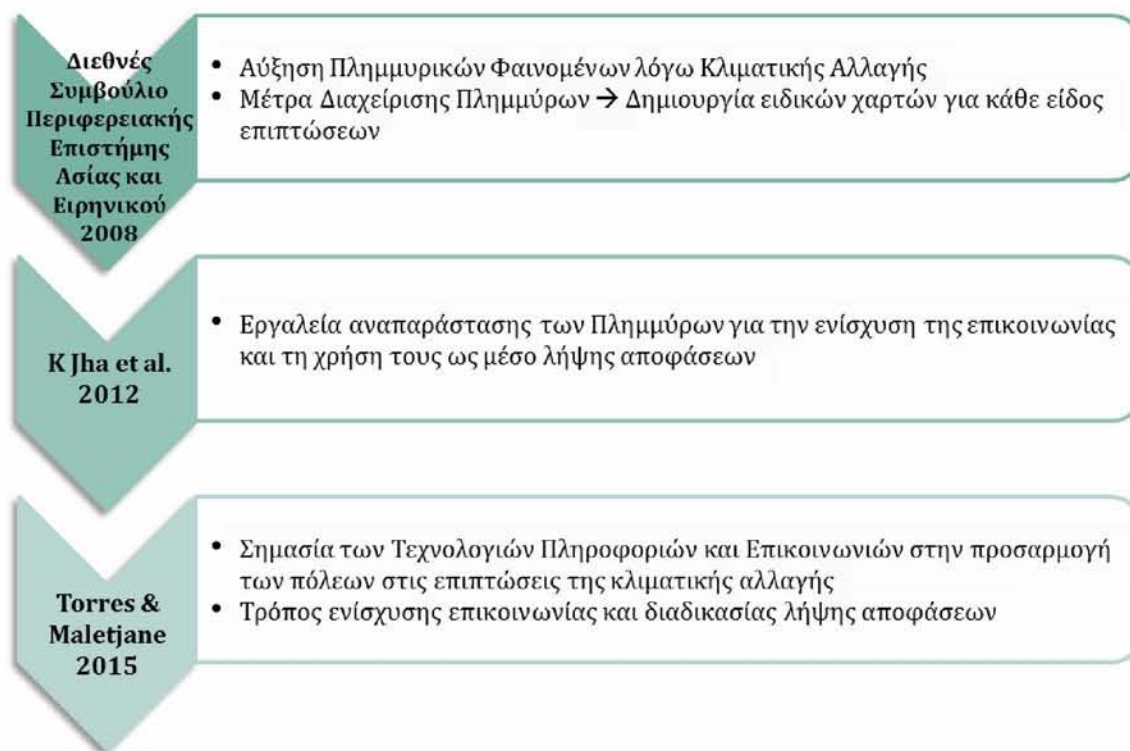
Πολλές χώρες έχουν επιχειρήσει να χρησιμοποιήσουν τέτοιες τεχνολογίες για να μπορούν να ελέγχουν φυσικούς κινδύνους, ώστε να είναι αντιμετωπίσιμοι. Ο ρόλος των τεχνολογιών αυτών, ουσιαστικά είναι να παρέχουν εμπειρία, έρευνα, κατανόηση, ώστε

τα μέτρα των πόλεων για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής να ενισχύουν τη διαχείριση του κινδύνου.

Για την προσαρμογή μιας πόλης στην κλιματική αλλαγή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρία είδη ΤΠΕ: (1) για τη βελτίωση της διαχείρισης των κινδύνων, (2) για την αύξηση της ανθεκτικότητας της πόλης και του βαθμού προσαρμογής της και (3) για τη λήψη αποφάσεων.

Έτσι, ενισχύεται η επικοινωνία μεταξύ των μελών που λαμβάνουν αποφάσεις για τον σχεδιασμό της πόλης και είναι ευκολότερο να ληφθούν μέτρα αποφυγής, αντιμετώπισης και επανόρθωσης από μία καταστροφή.

Διάγραμμα 2.3: Τεχνολογικά Εργαλεία για την Προσαρμογή των Πόλεων στην Κλιματική Αλλαγή



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

2.3. ΤΡΟΠΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

2.3.1. ΜΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Οι **Baillard & Maitre** το **1999** επικεντρώθηκαν στην προώθηση της ανακατασκευής του περίπλοκου αστικού τοπίου μέσω δορυφορικών εικόνων αναπαράστασης των τρισδιάστατων αντικειμένων σε δισδιάστατη μορφή. Ακολούθησαν αυτή τη διαδικασία, διότι θεωρούν πως τα αστικά τοπία είναι δύσκολο να αναπαρασταθούν σε τρισδιάστατη μορφή, καθώς εμφανίζουν πολυπλοκότητα, πολυμορφία και πυκνότητα. Υλοποίησαν την αναπαράσταση μέσω του διαχωρισμού του τοπίου στο έδαφος και στα χαρακτηριστικά που βρίσκονται πάνω σε αυτό, η κατηγοριοποίηση των οποίων (σε υποδομές ή βλάστηση), πραγματοποιήθηκε με ραδιομετρική ανάλυση.

Για την περιοχή μελέτης που επέλεξαν, καθορίστηκαν οι Σημαντικές Περιοχές (ΣΜ) που περιέχουν τοπικές πληροφορίες, χρήσιμες για τους αλγόριθμους ανακατασκευής της, ώστε να περιοριστούν οι πιθανότητες σφάλματος και να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε παρουσίασε ακρίβεια, ταχύτητα και ικανότητα απέναντι στην ποιότητα των εικόνων.

Ως βάση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Markov, ένα μοντέλο τυχαίων πεδίων, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν το υψόμετρο του εδάφους και οι τοπικές διαφοροποιήσεις στα ύψη.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά που βρίσκονται πάνω στο έδαφος, εντοπίστηκαν όσο το δυνατόν περισσότερα ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια και είναι πολύ λίγα αυτά που δεν λήφθηκαν υπ' όψιν κατά τη διαδικασία. Το σφάλμα ήταν μικρό κατά τον εντοπισμό των χαρακτηριστικών, το ποσοστό του οποίου μεταβάλλεται ανάλογα με την αλλαγή στην ανάλυση.

Συμπερασματικά, αυτή η μέθοδος ανακατασκευής αστικού τοπίου που προτείνουν οι Baillard & Maitre, χρησιμοποιώντας δισδιάστατα και τρισδιάστατα χαρακτηριστικά, μπορεί να αποτελέσει τρόπο αναπαράστασης διαφόρων ειδών πληροφοριών για την επεξεργασία πολύπλοκων αστικών τοπίων. Η μοναδικότητα στη μέθοδο αυτή είναι ότι μπορεί να απευθυνθεί σε διάφορα περιβάλλοντα.

Το 2012, ο **Velazco** παρουσίασε έναν τρόπο με τον οποίο θα είναι ευκολότερο να ληφθούν αποφάσεις για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των πόλεων και σε αυτές θα μπορεί να συμμετέχει και η εκάστοτε κοινότητα, μέσω της κατανόησης των αλλαγών που είναι πιθανό να επέλθουν.

Χρησιμοποίησε μια εφαρμογή της Google, τη SketchUp, με την οποία μπορούν να αναπαρασταθούν κτίρια σε 3D και να ενσωματωθούν με άλλα εργαλεία της Google, όπως το Google Earth και το Google Maps, ώστε να οπτικοποιηθεί μία μεγαλύτερη περιοχή.

Πραγματοποίησε την έρευνα αυτή για να αποτυπώσει τρισδιάστατα κάποιες παραθαλάσσιες τοποθεσίες της παραλίας Pismo στην Καλιφόρνια και τον τρόπο που αυτές επηρεάζουν τη ζωή των κατοίκων και την πόλη.

Υποστήριξε πως η τρισδιάστατη αναπαράσταση βοηθά τους σχεδιαστές να κατανοήσουν καλύτερα τα διάφορα σχεδιαστικά σενάρια μέσω της προσομοίωσης, προωθεί τη συμμετοχή των πολιτών στο σχεδιασμό, επιτρέπει να παρθούν αποφάσεις μέσω της παρουσίασης ευκαιριών και εναλλακτικών λύσεων.

Το μοντέλο του Velazco συνέβαλε στη σχεδιαστική διαδικασία της περιοχής μελέτης και βοήθησε στη λήψη των αποφάσεων. Μπορεί να αποτελέσει εργαλείο που θα βοηθήσει και άλλες πόλεις στον τομέα αυτό. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, πολλές πόλεις δεν έχουν αρκετά χρήματα ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τρισδιάστατες μεθόδους απεικόνισης και κάποια από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για το μοντέλο αυτό, είναι σχετικά ακριβά.

Οι **Leskens et al. (2015)** υποστηρίζουν ότι τα σύγχρονα εργαλεία για την εκτίμηση και την αντιμετώπιση των πλημμύρων χρησιμοποιούνται μόνο από ειδικούς του χώρου, λόγω της πολυπλοκότητάς τους, ενώ τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτά απευθύνονται σε επαγγελματίες ή άτομα που λαμβάνουν αποφάσεις. Επιχείρησαν, λοιπόν, να προωθήσουν τη συνεργασία των ομάδων αυτών. Κύριος στόχος τους ήταν η βελτίωση του τρόπου με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις, ώστε να επιλέγονται καταλληλότερες και βιώσιμες λύσεις για την αντιμετώπιση των πλημμύρων.

Εφάρμοσαν το τρισδιάστατο σύστημα αναπαράστασης που δημιούργησαν στην περιοχή West-Friesland της Ολλανδίας, ώστε να αναδείξουν τη χρησιμότητα και τις δυνατότητές του.

Χρησιμοποίησαν δεδομένα LiDAR για την απεικόνιση πραγματικών δεδομένων σε χάρτη. Μέσω της υλοποίησης αναπαράστασης των διαφορετικών βαθέων των νερών των πλημμύρων, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη, όταν εισέλθει σε περιβάλλον προσομοίωσης, να επιλέξει μέσω δύο διαφορετικών τρόπων με τους οποίους μπορεί να ορίσει τη ροή των νερών. Μπορεί ακόμα να πραγματοποιήσει αλλαγές στο υψόμετρο, στις χρήσεις γης και στα υδατικά συστήματα της περιοχής.

Παρουσίασαν δύο τρόπους αναπαράστασης των δεδομένων σε επτά (7) διαφορετικούς ειδικούς διαχείρισης πλημμύρων και τους επέβαλαν στη διαδικασία να απαντήσουν σε ορισμένες ερωτήσεις που σχετίζονταν με το αν προτιμούν τη δισδιάστατη ή την τρισδιάστατη αναπαράσταση. Προέκυψε ότι με την τρισδιάστατη αναπαράσταση της πλημμύρας είναι πιο εύκολο να διακριθούν οι επιπτώσεις της στον αστικό εξοπλισμό και στις υποδομές, άρα ότι είναι προτιμότερη από τη δισδιάστατη. Επίσης, το σύστημα αυτό ήταν εύχρηστο για όλους, παρόλο που οι χρήστες δεν ήταν εξειδικευμένοι σε αυτό τον τομέα.

Επομένως, με τη διαδικασία αυτή, κατάφεραν να αποδείξουν ότι είναι εφικτό, διαφορετικοί επαγγελματίες, να κατανοήσουν τη σημασία των πλημμύρων στο πεδίο τους και να προτείνουν ορισμένες λύσεις.

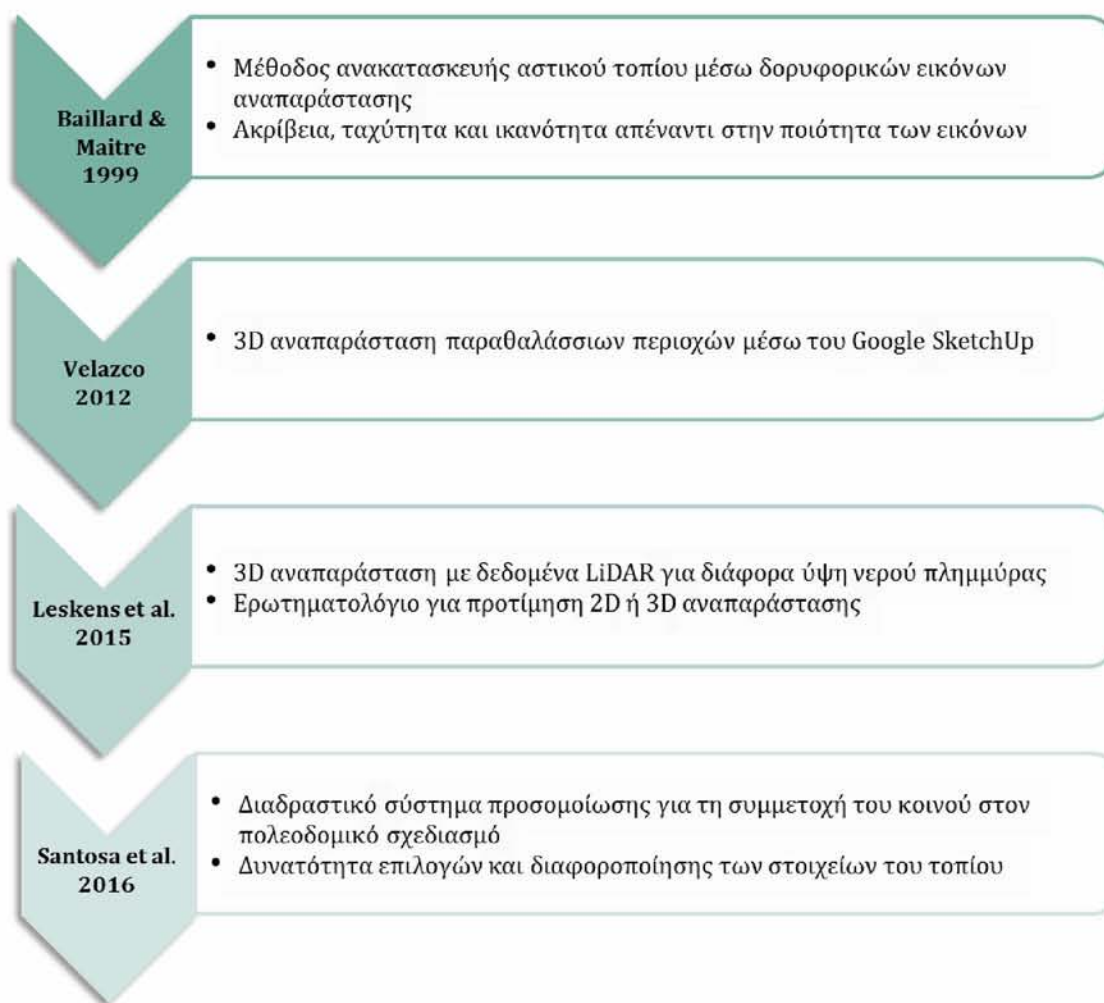
Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κανονικό υπολογιστή και εμφανίζει θετικό αποτέλεσμα ως προς την ταχύτητα εκτέλεσης και την απόδοσή του. Γενικότερα, δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες που αφορούν τις πλημμύρες και συνεπώς συμβάλλει στην απόκτηση ιδεών για τρόπους μετριασμού και αντιμετώπισης των πλημμυρικών φαινομένων.

Οι **Santosa et al.** το **2016**, προώθησαν ένα διαδραστικό σύστημα προσομοίωσης με τη δημιουργία πλατφόρμας εφαρμογής πολυμέσων για το σχεδιασμό του τοπίου. Θεώρησαν πως η πλατφόρμα αυτή υπερτερεί στο σχεδιασμό του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής του χρήστη. Επίσης, υποστήριξαν ότι το εικονικό περιβάλλον αποτελεί εργαλείο λήψης αποφάσεων για την πόλη και το σχεδιασμό και ενισχύει τη συμμετοχή του κοινού. Παραπέμποντας στους Wu et al. (2010), επισήμαναν πως το κοινό πρέπει εξαρχής να παίρνει μέρος στη διαδικασία του σχεδιασμού, διότι όσο το συντομότερο πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, τόσο αποτελεσματικότερο θα είναι και το πλάνο σχεδιασμού.

Τα συστήματα πολυμέσων υποστήριξης έχουν λειτουργήσει ως τρόποι διασύνδεσης της κοινότητας με τις ιδέες του σχεδιασμού. Ειδικότερα, σε περιβάλλον προσομοίωσης, οι χρήστες μπορούν να εξετάσουν τις ιδέες αυτές και μέσω εύχρηστων τεχνικών πλοήγησης, έχουν τη δυνατότητα να γνωρίσουν και να ανακαλύψουν τον χωρικό προσανατολισμό.

Καθορίζοντας ως περιοχή μελέτης την οδό Kayutangan, η οποία έχει υποβαθμιστεί αισθητικά από το 1936, και με στόχο τη βελτίωση του συγκεκριμένου τοπίου, χρησιμοποίησαν την πλατφόρμα πολυμέσων που προωθούν, ώστε να προσελκύσουν την κοινότητα και να της δώσουν το κίνητρο να λάβει δράση για τον πολεοδομικό σχεδιασμό.

Το περιβάλλον διεπαφής με τον χρήστη πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτός να μπορεί να το κατανοήσει και να έχει τη βούληση να το χρησιμοποιήσει. Του παρουσιάζεται, δηλαδή, ένας τρισδιάστατος χάρτης που του παρέχει το τοπίο του δρόμου και τον υποβάλει σε διαδικασία βαθμολόγησης τεσσάρων διαφορετικών επιλογών, υποψήφιων να βελτιώσουν την εικόνα του. Ο χρήστης μπορεί να διαφοροποιήσει και λεπτομέρειες στο τοπίο αυτό, όπως για παράδειγμα το ύψος, ή να αποκρύψει κάποια χαρακτηριστικά του.

Διάγραμμα 2.4: Μη Διαδικτυακές Τρισδιάστατες Αναπαραστάσεις

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

2.3.2. ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Υπάρχουν και κάποιοι ερευνητές που εξειδικεύτηκαν στη **διαδικτυακή αναπαράσταση** των χωρικών δεδομένων. Ειδικότερα:

Οι **Ruzinoor et al.** το **2012** ασχολήθηκαν με τις τεχνικές και το λογισμικό που έχουν εφαρμοστεί για την τρισδιάστατη οπτικοποίηση των δεδομένων ΓΣΠ (GIS). Δηλαδή, πραγματοποίησαν ανασκόπηση των ερευνών που έχουν γίνει επάνω στο συγκεκριμένο θέμα, από τον πρώτο χάρτη που οπτικοποιήθηκε (1985), μέχρι και τη σημερινή εποχή, όπου τα δεδομένα μπορούν να αναπαρίστανται online στο διαδίκτυο.

Σκοπός τους ήταν να συμβάλλουν στην εξέλιξη της τρισδιάστατης αναπαράστασης των χωρικών δεδομένων, προσφέροντας στους ενδιαφερόμενους τη γνώση για τις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι το έτος διεξαγωγής της έρευνάς τους.

Αφού λοιπόν ανέπτυξαν χρονολογικά τα στάδια εξέλιξης της αναπαράστασης δεδομένων (χειρονακτική, αυτοματοποιημένη, διαδικτυακή και λογισμικό αναπαράστασης), σημείωσαν ότι η πιο καινοτόμα τεχνολογία στον τομέα αυτό είναι τα online περιβάλλοντα και η ανάπτυξή τους, όχι μόνο σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, αλλά και σε κινητά τηλέφωνα. Το τελευταίο, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί μέσω «συστημάτων ανοικτού κώδικα που βασίζονται στο διαδίκτυο».

Υπάρχουν ποικίλα είδη εμπορικών λογισμικών που είναι ικανά να παρέχουν την οπτικοποίηση των δεδομένων και σύμφωνα με τους Ruzinoo et al., 2012 που παραπέμπουν στους Fisher et al. (1993), «η παραγωγή αποκλειστικών γραφικών λογισμικού αποτελεί επανάσταση της απεικόνισης στα γραφικά του υπολογιστή».

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τρισδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων είναι εξαιρετικά σημαντική για την ανάπτυξη εφαρμογών που βασίζονται στο GIS και οι περισσότερες από αυτές σχετίζονται με πολεοδομικά θέματα. Συνεπώς, συμβάλλουν στο σχεδιασμό και στη λήψη των αποφάσεων για τέτοιου είδους ζητήματα.

Προς το παρόν, γίνονται προσπάθειες για την οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο δεδομένων, ώστε το αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν στην πραγματικότητα. Περισσότερη σημασία δίνεται σε εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα, διότι, λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, καθίσταται δύσκολη η διαδικασία παρουσίασής τους.

Οι **Singh & Garg** το **2016**, ασχολήθηκαν με την προώθηση των διαδικτυακών εφαρμογών για δεδομένα GIS για την προσομοίωση των πλημμύρων. Υποστήριξαν πως τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα ικανά να οπτικοποιήσουν τα CityGML δεδομένα, αλλά εμφανίζονται ορισμένες ελλείψεις στον τομέα του διαδικτυακού περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό, υπάρχουν ορισμένα είδη τεχνολογιών ανοικτού κώδικα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω διαδικτύου για την αναπαράσταση των πλημμύρων.

Πρότειναν, λοιπόν, μία μέθοδο τρισδιάστατης διαδικτυακής τεχνολογίας για να αναπτύξουν ένα σύστημα GIS 3D αναπαράστασης. Το θετικό στοιχείο του συστήματος αυτού είναι ότι δεν απαιτείται η εγκατάσταση κάποιου πρόσθετου λογισμικού.

Χρησιμοποίησαν, δηλαδή, μία 3D διαδικτυακή τεχνολογία αναπαράστασης για να διαμορφώσουν ένα μοντέλο πόλεως με δεδομένα GIS σε online προσβάσιμο περιβάλλον.

Το Web 3D GIS σύστημά τους προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να ανατρέξει σε δεδομένα και να βιώσει μία διαδικτυακή προσομοίωση. Διαθέτει, ωστόσο, και ορισμένες αδυναμίες και αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του ότι δεν έχει βρεθεί ακόμα τεχνολογία ικανή να τις αντιμετωπίσει.

Γενικότερα, τέτοια περιβάλλοντα προσομοίωσης και διαδραστικότητας, μπορεί να αποτελέσουν εργαλεία για τη διαχείριση του κινδύνου και να συμβάλλουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Η εφαρμογή έχει δοκιμαστεί και έχει παρουσιάσει θετικά αποτελέσματα, αλλά παίζουν ρόλο και κάποια χαρακτηριστικά του υπολογιστή στον οποίο εφαρμόζεται. Με την ανάπτυξη της εφαρμογής σε περιβάλλον πολλαπλών χρηστών, είναι δυνατό να υπάρχει πρόσβαση στα δεδομένα είτε μέσω απομακρυσμένου είτε μέσω τοπικού διακομιστή.

Οι **Qiu et al. (2017)** πραγματοποίησαν μία διαφορετική προσέγγιση για τα συστήματα διαχείρισης της πλημμύρας. Προσέγγισαν την αυτοματοποίηση του συνόλου των δεδομένων που εισάγονται και την επακόλουθη τρισδιάστατη αναπαράστασή τους, ώστε να συμβάλλουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

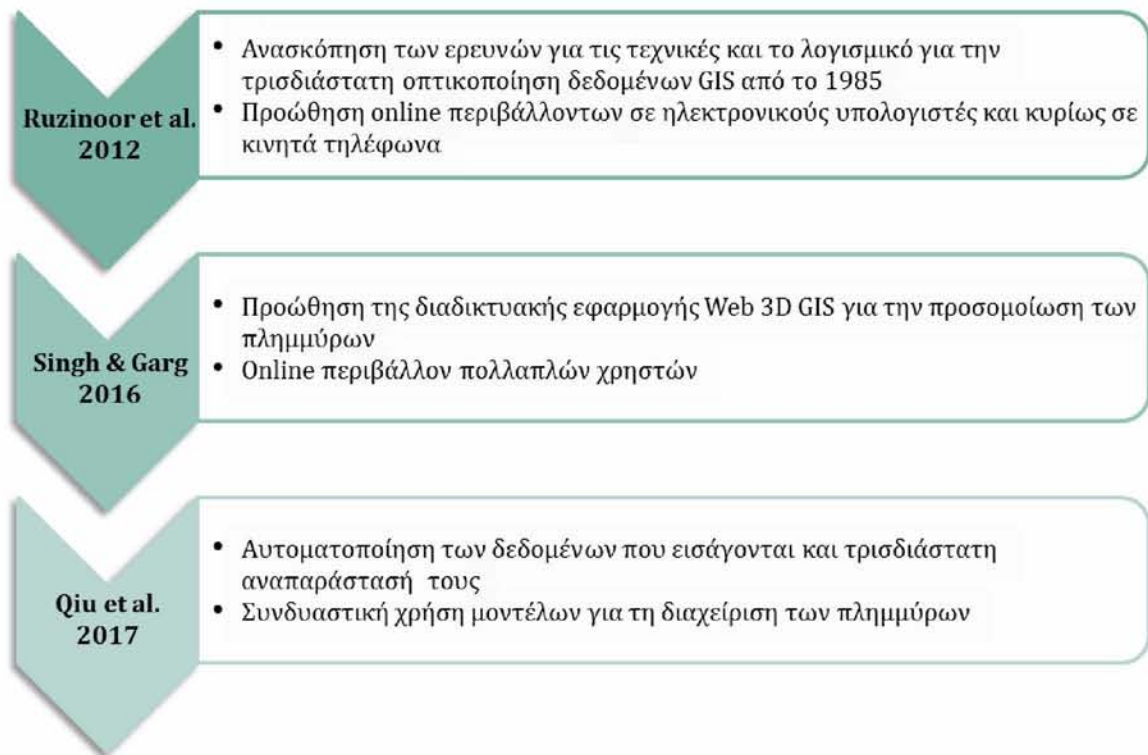
Στόχος τους ήταν να προωθήσουν μία «βασισμένη στην οντολογία» συνδυαστική χρήση μοντέλων για τη διαχείριση των πλημμύρων. Θεωρούν πως με την εφαρμογή αυτή, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αποδοτικότητα, καθώς και καλύτερη ταχύτητα ροής των δεδομένων. Ακόμα, όσον αφορά τις σχέσεις μεταξύ δεδομένων και μοντέλων, με τη χρήση πολυ-επίπεδης μεθόδου σημασιολογικής χαρτογράφησης, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η προαναφερθείσα αυτοματοποίηση. Παρόλα αυτά, ο συνδυασμός μοντέλων, είναι πιθανό να αντιμετωπίσει και ορισμένες δυσκολίες.

Με την τρισδιάστατη αναπαράσταση των δεδομένων, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να συνδέσει τα σύνολα των δεδομένων με τα μοντέλα διαχείρισης. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να οπτικοποιηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από έντονες βροχοπτώσεις, πλημμύρες κλπ.

Η διαδικτυακή μηχανή που χρησιμοποιείται για να επεξεργαστεί και να εξάγει τα επιθυμητά αποτελέσματα στο χρήστη, «συνδυάζει τον έλεγχο, την επεξεργασία, την αναπαράσταση, την ανάλυση και τα αποτελέσματα των δεδομένων, ώστε να

οπτικοποιηθεί η ροή των πληροφοριών για τον κίνδυνο». Τα συστήματα διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία ροών εργασίας, μέσω των οποίων ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει δεδομένα για το σχεδιασμό και να αναδείξει την εξέλιξη μιας πλημμύρας και έτσι μπορούν να αποτελέσουν εργαλεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για να εξαχθούν οι κατάλληλες αποφάσεις που αφορούν τον κίνδυνο.

Διάγραμμα 2.5: Διαδικτυακές Τρισδιάστατες Αναπαραστάσεις



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

2.4. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Οι **Guozhong et al. (2004)**, χρησιμοποιώντας ως περιοχή μελέτης την επαρχία Zhejiang της Κίνας, στην οποία το φαινόμενο της πλημμύρας είναι αρκετά συχνό, κάνουν αναφορά σε δύο (2) διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης της εκτίμησης κινδύνου και της αναπαράστασης της περιοχής που πλημμυρίζει. Ο πρώτος «βασίζεται στο εμπορικό GIS και σε πλατφόρμες τηλεπισκόπησης», ενώ ο δεύτερος τρόπος αναπαράστασης αφορά την εκ νέου δημιουργία προγραμμάτων/αλγορίθμων.

Για τον προσδιορισμό της περιοχής που υφίσταται πλημμύρες, χρησιμοποιήθηκε η δεδομένη στάθμη των υδάτων με δεδομένα DEM. Προσδιορίστηκαν δύο διαφορετικές καταστάσεις πλημμύρων. Η πρώτη είναι η «μη πηγαία πλημμύρα», η οποία παράγεται από βροχοπτώσεις σε μεγάλη σχετικά περιοχή και καλύπτει όλα τα χαμηλότερα σημεία. Η δεύτερη, η «πηγαία πλημμύρα», είναι αυτή που από τοπική βροχόπτωση, εξαπλώνεται και σε γειτονικές περιοχές. Για κάθε μία από τις περιπτώσεις αυτές, ανέπτυξαν διαφορετικούς αλγορίθμους.

Για να μπορούν να αποτυπωθούν οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της πλημμύρας, δημιουργήθηκαν τοπογραφικοί και θεματικοί χάρτες. Για κάθε Διοικητική Διαίρεση, τα δεδομένα που αφορούν τις πλημμυρισμένες περιοχές για κάθε χρήση γης, συγκεντρώθηκαν σε πίνακες, ώστε να μπορούν να αναπαρασταθούν.

Ακολούθησε και τρισδιάστατη αναπαράσταση των δεδομένων, όπου αποτυπώθηκε η περιοχή της πλημμύρας και οι οικισμοί που πλήττει.

Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε στην επαρχία Zhejiang και χαρακτηρίστηκε οικονομική, εύκολη και γρήγορα υλοποιήσιμη.

Σύμφωνα με τους **Price & Vojinovic (2008)**, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται τακτικές στο σχεδιασμό μίας πόλης, ώστε να κινδυνεύει κατά το ελάχιστο δυνατό από πλημμύρες. Για να γίνει αυτό, πρέπει να ερευνηθούν οι λόγοι που προκαλούνται οι πλημμύρες αυτές και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Στην έρευνά τους, τονίζουν τα βασικά πλεονεκτήματα ενός συστήματος ελέγχου για τις πλημμύρες σε μία πόλη και με τα συνδυαστικά δεδομένα ενός μονοδιάστατου και ενός δισδιάστατου μοντέλου, δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο, στο οποίο αναπαρίστανται οι ροές των καναλιών της περιοχής μελέτης (νησί St. Maarten), μέσω DTM δεδομένων. Πραγματοποίησαν την αναπαράσταση αυτή, αλλά και ορισμένες δισδιάστατες, διότι θεωρούν πως είναι μέγιστης σημασίας η κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων μιας πλημμύρας από τους κατοίκους.

Για το νησί St. Maarten, μέτρησαν την ταχύτητα και τα βάθη του νερού των βροχοπτώσεων και με βάση αυτά, δημιούργησαν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας, με στόχο την εξαγωγή στρατηγικών επανόρθωσης της περιοχής μετά από πλημμυρικό φαινόμενο.

Για να γίνει διάγνωση των κινδύνων, θεωρούν πως πρέπει να εφαρμοστεί ένας αριθμός μέτρων, όπως είναι «η συλλογή δεδομένων και ιστορικών γνώσεων, η αποτύπωση σε

χάρτη του κινδύνου πλημμύρας, η ανάλυση των υλικών και άυλων επιπτώσεων, η εκτίμηση του κινδύνου, η λήψη μέτρων περιορισμού, τακτικές διαχείρισης του κινδύνου».

Συμπεράναν ότι με περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και με την εύρεση νέων μέσων σχεδιασμού που ενισχύουν την επικοινωνία, είναι πιθανό να επιτευχθεί η αντιμετώπιση του κινδύνου και να υπάρξει καλύτερη πρόληψη, όπως επίσης και γρηγορότερη και αποτελεσματικότερη επανόρθωση της περιοχής που έχει πληγεί.

Οι **Stanchev et al. (2009)** ανέπτυξαν τρισδιάστατο μοντέλο για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας, λόγω της αυξημένης στάθμης της θάλασσας. Ως περιοχή μελέτης επέλεξαν τον Κόλπο Varna στη Βουλγαρία, στις ακτές της Μαύρης Θάλασσας. Το μοντέλο αυτό υλοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS με δορυφορικές εικόνες για να αποτυπώσει τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει μία πλημμύρα στις παράκτιες υποδομές. Με την οπτικοποίηση των επιπτώσεων αυτών, τονίζεται η σημασία υιοθέτησης μιας τέτοιας μεθόδου για την ανάλυση του κινδύνου και τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τον πολεοδομικό σχεδιασμό.

Ανέπτυξαν σενάρια για την αύξηση της στάθμης της θάλασσας ανά διαστήματα από 0-5 μέτρα. Για κάθε ένα από τα αυτά, υπολογίστηκε ο αριθμός των οικισμών και η έκταση που θα πληγεί, ο αριθμός κτιρίων κ.ά.

Συμπεράναν ότι η τρισδιάστατη αυτή αναπαράσταση της αυξανόμενης στάθμης μπορεί να συμβάλλει στην αναζήτηση και εύρεση τρόπων για την ενημέρωση των πολιτών και την πρόληψη για επερχόμενες καταστροφές. Επιπλέον, μέσω αυτής δίνεται η δυνατότητα άμεσης ανταπόκρισης κατά την εκδήλωση μιας καταστροφής.

Οι **Kemec et al. (2010)** έθεσαν σε εφαρμογή το μοντέλο των Kemec et al. (2009) που αποσκοπεί στην τρισδιάστατη αναπαράσταση των πόλεων για τη διαχείριση κινδύνων. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τέσσερις (4) ομάδες που είναι Χρήστες/Στοιχεία σε Κίνδυνο, Εκτίμηση Κινδύνου, Ανάλυση των Δεδομένων και των Απαιτήσεων της Διαδικασίας και Εκτίμηση των Αναγκών για Απεικόνιση. Με αυτό, «δημιουργείται μία σύνδεση μεταξύ του είδους του κινδύνου και των χαρακτηριστικών της τρισδιάστατης απεικόνισης της πόλεως και εξετάζονται τα ζητήματα της ανάλυσης μιας τέτοιας απεικόνισης, ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία ενός μοντέλου και η διαθεσιμότητα λογισμικού και πηγής δεδομένων». Τέτοιου είδους μοντέλα αναφέρονται

σε περιοχή που θα υποστεί κάποια καταστροφή και σε αυτή που είναι εκτεθειμένη σε κίνδυνο.

Εξήγαγαν τα δεδομένα τους σε πλατφόρμα GIS, επιλέγοντας ως περιοχή μελέτης την πόλη Fethiye της Τουρκίας, μια παραθαλάσσια περιοχή που έχει υποστεί τσουνάμι στο παρελθόν. Πιο συγκεκριμένα, αποτύπωσαν τις ζώνες επικινδυνότητας για τσουνάμι του Αιγαίου Πελάγους και των ακτών της Τουρκίας, την πληθυσμιακή πυκνότητα και την αστική εξάπλωση για 339 οικισμούς της Τουρκίας, τα σημεία των σεισμών στις Τουρκικές ακτές που προκάλεσαν τσουνάμι, τη συχνότητα εμφάνισης τέτοιων φαινομένων σε αυτές και τη χωρική διασπορά των τσουνάμι. Σε τρισδιάστατους χάρτες αποτύπωσαν την περιοχή μελέτης σε πολεοδομικό επίπεδο πριν από κάποιο φαινόμενο τσουνάμι και στη συνέχεια ανέδειξαν τα τμήματα της πόλης που θα καλυφθούν από νερό.

Ο τρόπος αναπαράστασης που περιγράφηκε παραπάνω μπορεί να αποτελέσει εργαλείο για συλλογική λήψη αποφάσεων και να βοηθήσει στην απόκτηση πληροφοριών για εσωτερικά χαρακτηριστικά που μπορεί να προσβληθούν από κάποιο συγκεκριμένο είδος κινδύνου.

Το 2010 οι **Wang et al.** επιχείρησαν να αναπτύξουν ένα μοντέλο για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας σε περιβάλλον πόλης και μέσω αυτού, να μπορούν να αποδοθούν με ακρίβεια τα μέτρα προστασίας που πρέπει να ληφθούν σε περίπτωση που συμβεί μία τέτοια καταστροφή. Ακολούθησαν δύο βήματα για να επιτύχουν τον στόχο τους: (1) τη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους με βάση υψομετρικά δεδομένα από δορυφόρους και (2) τη δημιουργία ενός μοντέλου ικανού να καταταμίσει χωρικά μία εικόνα πλημμύρας και να αποτυπώσει το περίγραμμά της, μέσω μίας διαδικασίας υπολογισμού της στάθμης του νερού.

Για να κατασκευάσουν τρισδιάστατο περιβάλλον, χρησιμοποίησαν μία μέθοδο κατά την οποία τα δεδομένα του GIS μετατρέπονται σε πραγματικά γεωμετρικά δεδομένα και η αναπαράστασή τους παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια. Η μέθοδος αυτή είναι ο Διαχωρισμός του Χώρου με τη χρήση Εννέα Δέντρων, κατά την οποία με επαναλήψεις, ο χώρος υποδιαιρείται συνεχώς. Μπορεί να εφαρμοστεί και για μία μεγάλη περιοχή.

Με τη βοήθεια του αλγορίθμου, ξεκινώντας από το περίγραμμα του ποταμού της περιοχής μελέτης που επέλεξαν, έγιναν μετρήσεις για την εκτίμηση των επιπέδων του νερού, ώστε να υπολογιστεί η εξάπλωση της πλημμύρας. Ο τρόπος αυτός εφαρμόστηκε

για μία περιοχή του Τάμεση στο Λονδίνο, όπου ανάλογα με τη διαφορά χρόνου πλημμύρας (ανά δευτερόλεπτα), αποτυπώθηκαν τέσσερις (4) διαφορετικές εικόνες με τα περιγράμματα της εξάπλωσής της.

Μελέτησαν άλλη μία περιοχή, τον ποταμό Severn στο Bewdley του Ηνωμένου Βασιλείου. Εξήγαγαν δύο (2) εικόνες για την αποτύπωση της εξάπλωσης της πλημμύρας. Η πρώτη ήταν αποτέλεσμα μιας διαδικασίας συγχώνευσης των κελιών τη πλημμύρας, μέσω της ανάλυσης της έντασης του ανάγλυφου και της επιφάνειας της πλημμύρας. Η δεύτερη ήταν αποτέλεσμα της χρήσης του μοντέλου που περιγράφηκε προηγουμένως με τη χρήση του περιγράμματος.

Από τα αποτελέσματά τους, προέκυψε ότι υπάρχει αρκετά μεγάλος βαθμός ακρίβειας για την απεικόνιση της έκτασης της πλημμύρας και για αυτό το λόγο είναι δυνατό να ληφθούν το κατά το δυνατόν ορθότερα μέτρα προστασίας. Το μοντέλο αυτό αποδείχτηκε γρήγορο, κατάλληλο για ρεαλιστικές τρισδιάστατες απεικονίσεις των κινδύνων και της πρόβλεψής τους και ικανό να αποτελέσει σύστημα προειδοποίησης επερχόμενης καταστροφής.

Η έρευνα των **Ahmad & Simonovic (2011)** βασίζεται στην εκτίμηση του κινδύνου και στην ανάπτυξη τρόπων για τη διαχείρισή του, μέσω ενός τρισδιάστατου συγκεχυμένου (fuzzy) συνόλου. Ο συνδυαστικός δείκτης αξιοπιστίας – τρωτότητας, ο δείκτης ανάπτυξης και ο δείκτης ανθεκτικότητας, χρησιμοποιούνται στο μοντέλο τους για τη χωροχρονική ανάλυση του κινδύνου πλημμύρας.

Υλοποίησαν 4 στάδια: το δισδιάστατο συγκεχυμένο σύνολο του κινδύνου πλημμύρας στο χρόνο, το δισδιάστατο συγκεχυμένο σύνολο του κινδύνου πλημμύρας στο χώρο, το τρισδιάστατο συγκεχυμένο σύνολο του κινδύνου πλημμύρας στο χρόνο και στο χώρο και την ελάττωση των διαστάσεων.

Έπειτα, για κάθε χρονικό βήμα, προέκυψε το κατώτερο όριο, η τιμή του τρόπου εκτέλεσης και το ανώτατο όριο των επιπτώσεων των πλημμύρων σε χρόνο και τόπο, ως επίπεδα στο GIS. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν τα αποδεκτά επίπεδα του κινδύνου σε μορφή raster. Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε χρονικό βήμα, έως ότου να προκύψει στο τέλος το σύνολο των επιπτώσεων των πλημμύρων στο χώρο και στο χρόνο.

Χρησιμοποίησαν την ίδια μεθοδολογία με ένα δισδιάστατο μοντέλο του 1997, το Mike21, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ροής των νερών πλημμύρας στην

περιοχή της κοιλάδας του ποταμού Red River στην πόλη Winnipeg στον Καναδά, τόσο για τις επιπτώσεις που έχουν οι πλημμύρες στις γεωργικές εκτάσεις, όσο και στην αστική περιοχή.

Με τη δημιουργία χαρτών, απεικόνισαν τις επιπτώσεις της πλημμύρας (χωρικές και οικονομικές) του ποταμού σε 6 διαφορετικές χρονικές στιγμές, εντός του έτους 1997, από τις 26 Απριλίου μέχρι τις 21 Μαΐου.

Ο δείκτης της ανθεκτικότητας αναφέρεται στο κατά πόσο δύναται η περιοχή να επανέλθει μετά από την πλημμύρα. Βασιζόμενοι στο ότι για να ξεπεράσει μια περιοχή τις επιπτώσεις μιας πλημμύρας χρειάζεται χρόνος, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στις 2 τελευταίες ημερομηνίες (17 και 21 Μαΐου) δεν διαφοροποιήθηκε ο δείκτης και ότι στις 21 Μαΐου το μεγαλύτερο μέρος των αγροτικών εκτάσεων επανήλθε.

Με τη χρήση αυτού του τρισδιάστατου συγκεχυμένου συνόλου, καθίσταται δυνατή «η αντιμετώπιση της μεταβλητότητας των διάφορων πηγών αβεβαιότητας, τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο».

Οι **Yi et al.** το **2013**, ορίζοντας ως περιοχή μελέτης τη λεκάνη της λίμνης Taihu, επιχείρησαν να προβλέψουν τις τιμές του δείκτη ΑΕΠ και του πληθυσμού της περιοχής αυτής για το έτος 2030. Επίσης, εξήγαγαν σενάρια προσομοίωσης για να συμπεριλάβουν και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες της άνοδου της στάθμης της θάλασσας κατά το έτος στόχου. Παρατήρησαν ότι όσο περισσότερο ανεβαίνει η στάθμη της θάλασσας, τόσο μεγαλύτερη απώλεια παρατηρείται και στο δείκτη ΑΕΠ. Θεωρούν πως πολλές ανεπτυγμένες περιοχές είναι χωροθετημένες σε χαμηλότερα επίπεδα και για αυτό είναι σημαντικό να εφαρμόζονται μέτρα διαχείρισης και συνεργασίας, ώστε να περιορίζονται οι κίνδυνοι που μπορούν να επέλθουν από την αύξηση της στάθμης της θάλασσας.

Με την υιοθέτηση τριών (3) διαφορετικών σεναρίων για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2030 (23, 31 και 60 εκατοστά), παρουσίασαν σε δισδιάστατο χάρτη τις επιπτώσεις για το κάθε ένα από αυτά και εξήγαγαν τα συμπεράσματά τους για τις περιοχές που θα πληγούν σε μεγαλύτερο βαθμό. Επίσης, δημιούργησαν χάρτες όπου αναδεικνύεται η πιθανή κατανομή του πληθυσμού στις περιοχές αυτές κατά το έτος στόχου για κάθε ένα από τα σενάρια.

Χρησιμοποίησαν τη μέθοδο K-means για τη χωροχρονική εκτίμηση των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών της περιοχής, καθώς και τη μέθοδο Bootstrap για την πρόβλεψη της μεταβολής του πληθυσμού και του δείκτη ΑΕΠ το 2030.

Συμπεράναν ότι οι οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες μιας περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη ζωή των κατοίκων και για αυτό είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπ' όψιν τυχόν καταστροφές (όπως οι πλημμύρες) που μπορεί να συμβούν στο μέλλον και να εξετάζονται τρόποι για την αποφυγή τους ή την ελαχιστοποίησή τους.

Οι **Robins et al. (2016)** πραγματοποίησαν βιβλιογραφική έρευνα για τις επιπτώσεις που θα έχει η κλιματική αλλαγή στις εκβολές των ποταμών και στα οικοσυστήματα που ζουν σε αυτές στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το σημαντικότερο συμπέρασμά τους, που αφορά την παρούσα έρευνα, είναι ότι με την αύξηση του επιπέδου της θάλασσας και τη διαφοροποίηση του ύψους των κυμάτων, θα αυξηθούν και οι πλημμύρες.

Σύμφωνα με τους **Dulica et al. (2016)**, οι αναπαραστάσεις σε τρισδιάστατο περιβάλλον, μπορεί να παίξουν κυρίαρχο ρόλο στην ενίσχυση της επικοινωνίας στον τομέα της κλιματικής αλλαγής. Οι χρήστες μέσω της επικοινωνίας οδηγούνται στην οπτικοποίηση, στον αναστοχασμό και στην ενσωμάτωση διαδρόμων που οδηγούν σε κοινώς οραματιζόμενο μέλλον. Για αυτό και ενσωμάτωσαν τις πληροφορίες σε περιβάλλον παιχνιδιού.

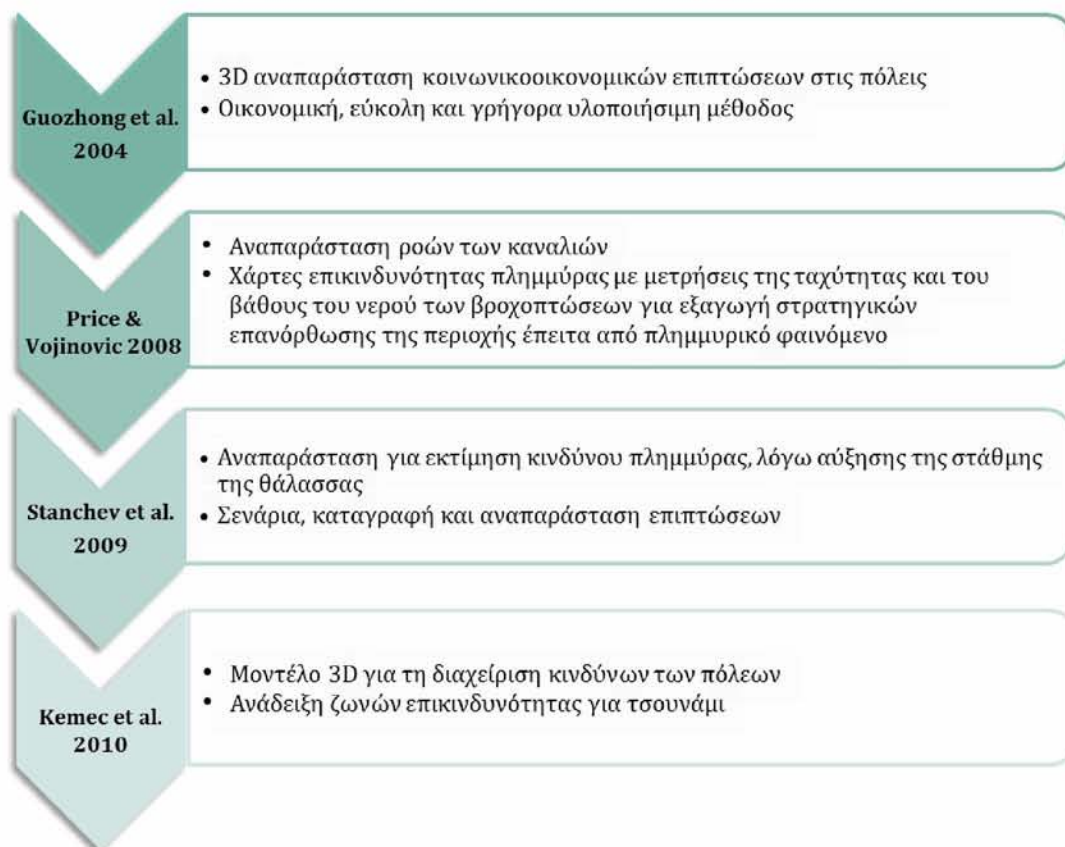
Ένα διαδραστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται από μία κοινότητα, μπορεί να της προσδώσει ανάπτυξη και να συμβάλει στη βελτίωση των συνθηκών και της ποιότητας ζωής των κατοίκων, όπως επίσης και να ενισχύσει τη μεταξύ τους συνεργασία για να αντιμετωπίσουν τα κοινά τους προβλήματα. Τέτοιου είδους εργαλεία-πλατφόρμες που δίνουν έμφαση στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, μπορούν ακόμα και να βελτιώσουν την κοινωνική και περιβαλλοντική υγεία μιας κοινότητας. Ενεργοποιούν τη φαντασία των χρηστών και τους εισάγουν σε μία πειραματική κατάσταση, μέσω της οποίας έχουν τη δυνατότητα να εκλάβουν γνώσεις που αφορούν τις αξίες, την κουλτούρα και τα πλεονεκτήματα της εν λόγω κοινότητας, ώστε να καταφύγουν σε λύσεις που σχετίζονται με αυτή.

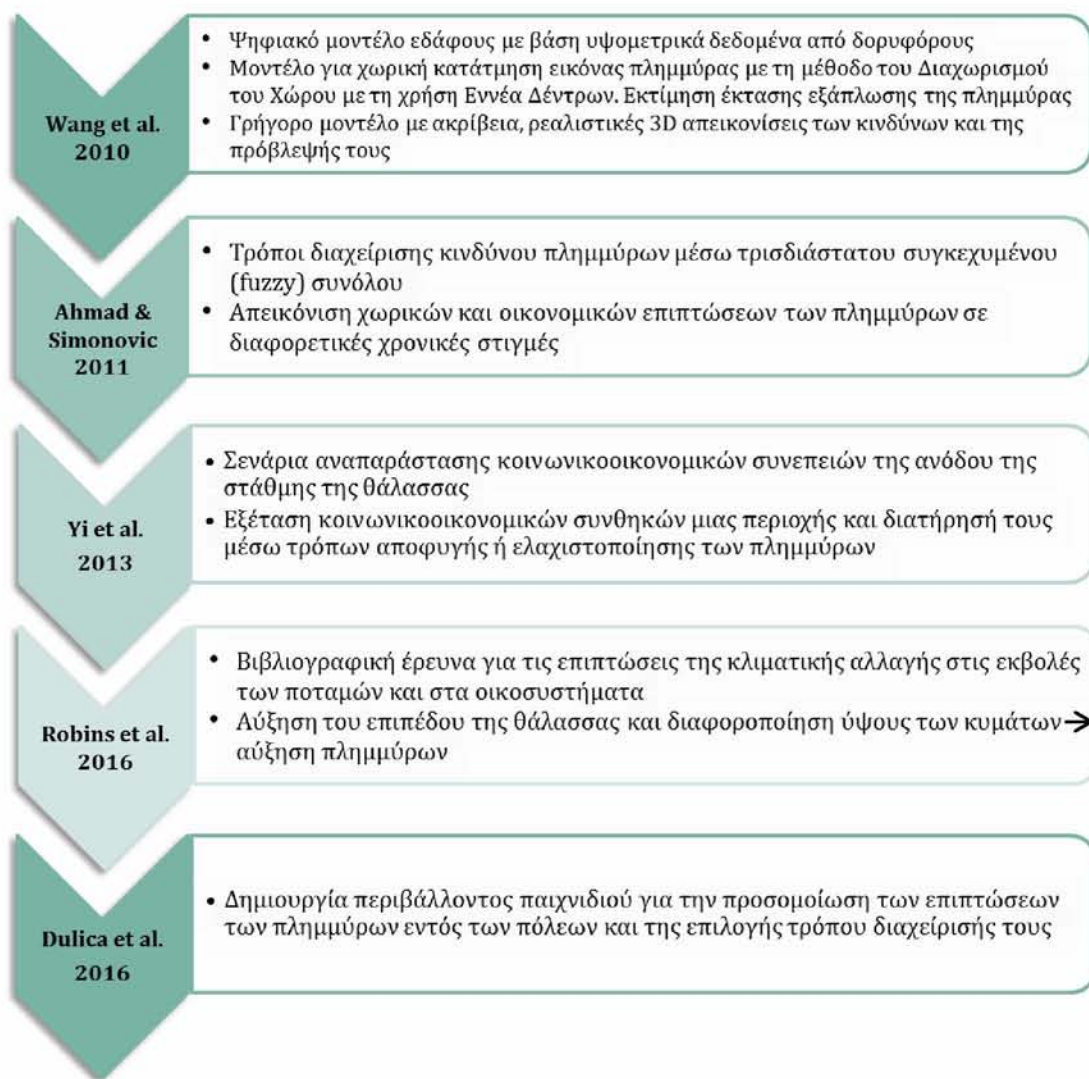
Η δημιουργία περιβάλλοντος παιχνιδιού είναι προσιτή ως προς τους μαθητές/φοιτητές και γενικότερα ως προς το νεότερο πληθυσμό και ουσιαστικά προσομοιώνει την καθημερινότητά τους.

Οι Dulica et al. στοχεύουν στη βελτίωση του περιβάλλοντος αυτού και πιο συγκεκριμένα στην ανάπτυξη του Future Delta 2.0, το οποίο θα απεικονίζει το παρόν, αλλά θα δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να βιώσουν και να επιλέξουν μεταξύ τεσσάρων διαφορετικών μελλοντικών σεναρίων (για τα επόμενα 100 χρόνια) για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στον κόλπο Boundary της περιοχής Delta στον Καναδά. Ο κάθε χρήστης/παίχτης, αφού τοποθετηθεί στο σημείο του λιμανιού, θα πρέπει να εξετάσει τα θετικά και τα αρνητικά του κάθε σεναρίου και να επιλέξει σύμφωνα με την κρίση του αυτό που θα είναι το καταλληλότερο για την περιοχή.

Δίνεται, λοιπόν, το έναυσμα στους κατοίκους να δράσουν για την κλιματική αλλαγή, εφόσον έχουν συλλέξει τις απαραίτητες γνώσεις και να προσφέρουν στον εαυτό τους και στους συνανθρώπους τους ένα βιώσιμο μέλλον, μέσω της «από πρώτο χέρυ» εμπειρίας.

Διάγραμμα 2.3: Αναπαράσταση Επιπτώσεων Πλημμυρικών Φαινομένων





Πηγή: Ιδία επεξεργασία

2.5. ΚΡΙΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Όπως παρατηρείται, σε διεθνές επίπεδο, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που το θεματικό τους πεδίο βρίσκεται σχετικά κοντά σε αυτό της παρούσας εργασίας και έχουν παίξει κατευθυντήριο ρόλο για την επιλογή της κατάλληλης θεματολογίας.

Ωστόσο, στα πλαίσια του ελλαδικό χώρου, δεν έχει βρεθεί έρευνα που να καλύπτει τους στόχους της παρούσας εργασίας. Το σημείο κατά το οποίο η συγκεκριμένη εργασία διαφέρει από προγενέστερες μελέτες, είναι ο τρόπος αναπαράστασης των πλημμυρικών φαινομένων και το είδος των δεδομένων που λαμβάνονται υπ' όψιν για αυτή. Επίσης, διαφέρει και η κλίμακα, σύμφωνα με την οποία εξετάζονται οι επιπτώσεις που θα έχει μία πλημμύρα εντός του πολεοδομικού ιστού παράκτιων (όχι κατά αποκλειστικότητα)

περιοχών. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται μία πιο εξειδικευμένη μέθοδος αναπαράστασης που ξεπερνά τις περιορισμένες δυνατότητες της δισδιάστατης. Ενσωματώνει και την τρίτη διάσταση που καθιστά το αποτέλεσμα περισσότερο ρεαλιστικό και κατανοητό και προσδίδει ορθότερη κατεύθυνση ως προς τη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των πλημμύρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Διάγραμμα 3.1: Στάδια Μεθοδολογίας

Πηγή: Ϊδια επεξεργασία

3.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πρωταρχικό βήμα για την υλοποίηση μίας διαδικασίας αναπαράστασης, αποτελεί η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να διαφέρουν ως προς το είδος τους από περιοχή σε περιοχή και να συμμορφώνονται στα χαρακτηριστικά και στις ιδιαιτερότητές της.

Ο κάθε μελετητής μπορεί στην έρευνά του να συμπεριλάβει διάφορα δεδομένα. Τα στοιχεία της παρούσας έρευνας δεν είναι δεσμευτικό να χρησιμοποιηθούν για κάθε περίπτωση. Ο κάθε ένας μπορεί να συγκεντρώσει τα δεδομένα που θεωρεί σημαντικότερα και τους παράγοντες που χαρακτηρίζει πιο ευάλωτους ως προς ένα πλημμυρικό γεγονός στην περιοχή που τον ενδιαφέρει. Τέτοιοι παράγοντες/στοιχεία θα μπορούσαν να είναι οικονομικά (ΑΕΠ, είδος/υλικό κατασκευής/υποδομής, ποσοστό υποδομών/αστικού εξοπλισμού, χρήσεις γης), περιβαλλοντικά/γεωλογικά (υψόμετρο, κλίση εδάφους, περιοχές προστασίας, περιοχές/σημεία όχλησης), κοινωνικά (πληθυσμός, σημεία συγκέντρωσης), καιρικά ή σχετικά με τα χαρακτηριστικά των

πλημμύρων (ιστορικό ύψους βροχοπτώσεων, συχνότητα καταιγίδων/ανέμων, ύψος πλημμύρας, ταχύτητα ροής του νερού της πλημμύρας).

Ειδικότερα, θεωρείται σημαντικό να λαμβάνονται υπ' όψιν τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά ενός αστικού περιβάλλοντος, καθώς όπως αναφέρεται και στη Διεθνή Στρατηγική για τη Μείωση των Καταστροφών (2004), με την επεξεργασία τέτοιου είδους χαρακτηριστικών σε μία περιοχή, μπορεί να αποδοθεί το επίπεδο του κινδύνου πλημμύρας. Μπορεί να εξετάζονται και οικολογικές παράμετροι, οι οποίες είναι απαραίτητο να ενσωματωθούν σε χάρτη απεικόνισης μιας πλημμύρας, σύμφωνα με το Κέντρο Έρευνας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Σε κάθε περίπτωση, ο συνδυασμός των δεδομένων που συγκεντρώνονται, οφείλει να αποσκοπεί σε ένα λογικό αποτέλεσμα. Επίσης, οι πληροφορίες δεν πρέπει να αλλοιώνονται μέσω της επεξεργασίας τους, ώστε να συνεχίσουν να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν με συγκεκριμένο τρόπο για να επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα το οποίο επιδιώκει ο κάθε μελετητής.

3.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

3.2.1. *ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ*

Οι **Kubal et al. (2009)** ανέπτυξαν δείκτη για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας. Αυτοί έλαβαν υπ' όψιν τους οικονομικά, κοινωνικά και οικολογικά δεδομένα της περιοχής που μελέτησαν (βλ. Υποενότητα 2.1.2).

Εν συνεχεία, χρησιμοποίησαν έναν τύπο από τη μεγαλύτερη βάση πλημμυρικών δεδομένων της Γερμανίας (HOWAS), όπου βρίσκεται και η περιοχή που μελετούν. Αυτός είναι ο εξής:

$$\Sigma = (27\sqrt{h_w}) / 100$$

όπου Σ οι πιθανές συνέπειες που θα προκαλέσει η πλημμύρα και h_w το ύψος του νερού.

Έπειτα, για το κάθε υπο-κριτήριο που εξετάζουν χρησιμοποιούν τους εξής τύπους:

$$R = \sum_{i=1}^k 0.5\Sigma(P_{i-1}) + \Sigma(P_i) |P_i - P_{i-1}|$$

όπου \mathbf{R} ο κίνδυνος, \mathbf{i} το κάθε κελί και \mathbf{P} η πιθανότητα πλημμυρικού φαινομένου.

Έπειτα από την τυποποίηση (standardize) των τιμών του κινδύνου (\mathbf{R}) μεταξύ του 0 και του 1, υπολογίζονται τα βάρη για κάθε ένα από τα κριτήρια:

$$x_i = \sum_b w_b x_{ib}$$

όπου x_{ib} η τυποποιημένη τιμή για κάθε κελί, w_b το βάρος της και x_i η τιμή κινδύνου για κάθε κελί.

Οι **Kazakis et al. (2015)** ανέπτυξαν δείκτη για την εκτίμηση πλημμύρων, χρησιμοποιώντας επτά (7) διαφορετικές παραμέτρους που σχετίζονται με χαρακτηριστικά των πλημμύρων, των βροχοπτώσεων και του εδάφους. Με την Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο, αποδόθηκε ο βαθμός σημαντικότητας στις παραμέτρους και μέσω αυτής της διαδικασίας, όρισαν τις μεταβλητές του πρώτου δείκτη (για τη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη της περίπτωσης αυτής, γίνεται λόγος στην υποενότητα 3.2.3). Για την απόδειξη της αποτελεσματικότητας του δείκτη που εφάρμοσαν, ακολούθησαν και τη μέθοδο Ανάλυσης Ευαισθησίας.

Οι **Zonensein et al. (2008)** ανέπτυξαν Δείκτη για τον Κίνδυνο Πλημμύρας (ΔΚΠ), στον οποίο απέδωσαν ορισμένα χαρακτηριστικά όπως εύρος τιμών, διατύπωση (μαθηματική έκφραση που δείχνει τις σχέσεις μεταξύ των δεικτών από τους οποίους αποτελείται ο ΔΚΠ), τη σύσταση (το σύνολο των χαρακτηριστικών του δείκτη) και το χωρικό πεδίο στο οποίο ο ΔΚΠ είναι εφαρμόσιμος.

3.2.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΚΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Ο λόγος που συλλέγονται τα δεδομένα για την περιοχή μελέτης, είναι για να δημιουργηθεί ένας δείκτης, με βάση τον οποίο θα είναι εφικτό να αναπαρασταθούν οι επιπτώσεις μιας πλημμύρας και το μέγεθός τους για κάθε μία από τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν. Ανάλογα με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, τα κριτήρια που εξετάζονται, τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας των αποτελεσμάτων, επιλέγεται σε κάθε περίπτωση ο καταλληλότερος δείκτης.

Στην προκειμένη περίπτωση, για την υλοποίηση του συγκεκριμένου δείκτη, λαμβάνεται υπ' όψιν η μέθοδος που χρησιμοποιούν οι Kazakis et al. Αυτοί υπολογίζουν

τον δείκτη εκτίμησης κινδύνου πλημμύρας ορίζοντας διαφορετικές παραμέτρους και τα βάρη τους. Χρησιμοποιούν τον εξής τύπο:

$$\Delta = \sum_{i=1} r_i w_i$$

όπου Δ είναι ο δείκτης, i τα σημεία που χρησιμοποιούνται, r_i η εκτίμηση για την κάθε παράμετρο σε κάθε σημείο και w_i τα βάρη των παραμέτρων.

Στο r_i προσδίδουν τιμές από το 0 έως το 10 (με βήμα 2) για κάθε μία από τις παραμέτρους τους. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν είναι δεσμευτικό, καθώς είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και διαφορετικές τιμές με διαφορετικό βήμα, ανάλογα με το οπτικοποιημένο αποτέλεσμα στο οποίο αποσκοπεί ο εκάστοτε μελετητής.

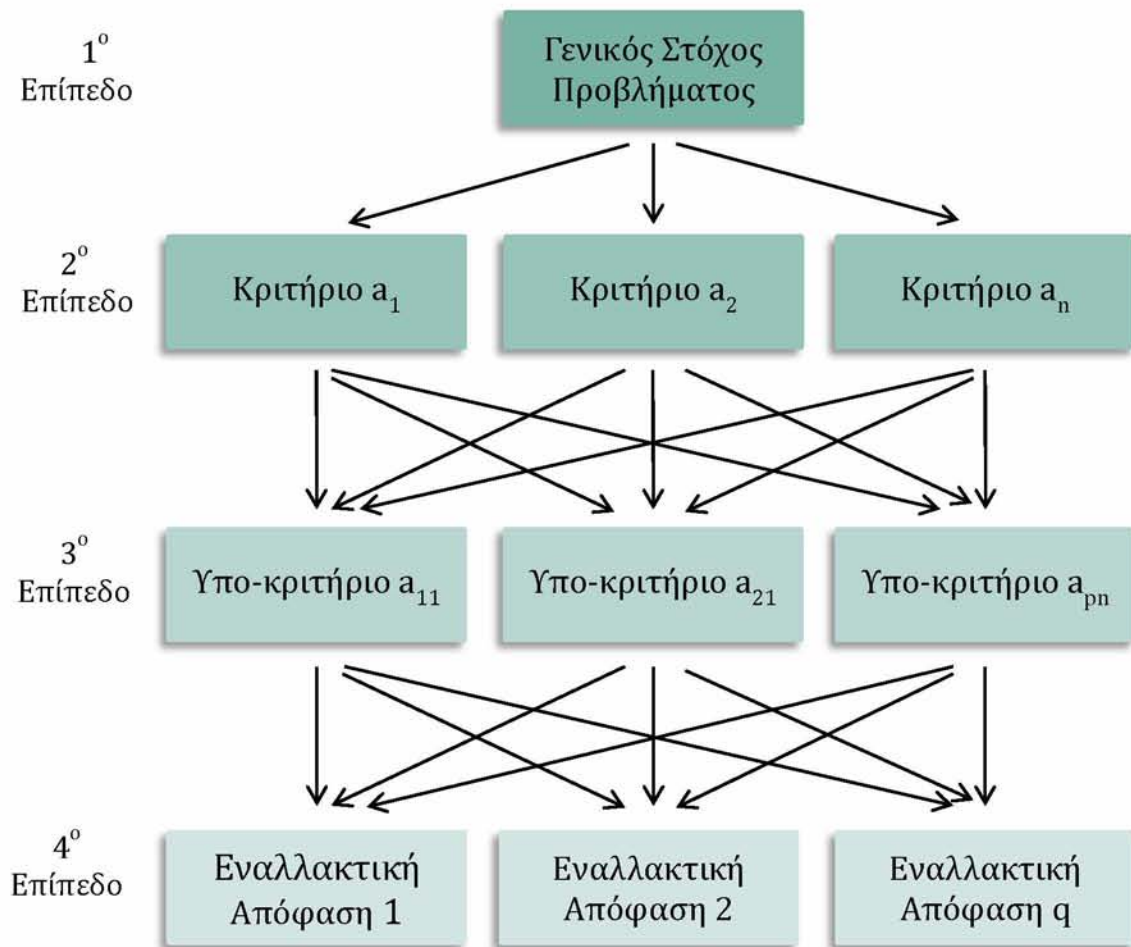
Όσον αφορά τα βάρη, μπορεί να υπολογιστούν μέσω διάφορων διαδικασιών/μεθόδων, η επιλογή των οποίων σε κάθε περίπτωση μπορεί να είναι διαφορετική. Ο ερευνητής είναι αυτός που θα επιλέξει την καταλληλότερη μέθοδο που θα χρησιμοποιήσει για τη μελέτη περίπτωσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν του και την πολυπλοκότητα των κριτηρίων που χρησιμοποιεί.

3.2.3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (AIM) αποτελεί μέσο για την επίλυση προβλημάτων κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, τα οποία συνήθως προέρχονται από συγκρούσεις μεταξύ στόχων των ατόμων που λαμβάνουν τις αποφάσεις και λόγω δυσκολίας σύγκρισης ορισμένων κριτηρίων. Διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, εφόσον συμβάλλει στην πολυκριτήρια ανάλυση προβλημάτων, δηλαδή αυτών που αποτελούνται από πολύπλοκα κριτήρια (Ναθαναήλ, 2016; Κόλλια 2011).

Χρησιμοποιείται, λοιπόν, για την ανάλυση των παραμέτρων που μπορεί να χαρακτηρίζουν ένα πρόβλημα. Οι παράμετροι αυτές ιεραρχούνται με βάση το βαθμό σημαντικότητάς τους. Ειδικότερα, με τη μέθοδο αυτή, πραγματοποιούνται συγκρίσεις μεταξύ κάθε πιθανού ζεύγους των παραμέτρων, μέσω δυαδικών τιμών. Το εύρος των τιμών αυτών είναι από 1 έως 9, όπου το 1 σημαίνει την ισότητα της σημαντικότητας των δύο παραμέτρων που συγκρίνονται, ενώ η σημασία της μίας ως προς την άλλη παράμετρο αυξάνεται, καθώς αυξάνονται και οι δυαδικές τιμές που τους αποδίδονται (Ναθαναήλ, 2016; Βαβάτσικος).

Διάγραμμα 3.2: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος



Πηγή: Ναθαναήλ (2016), Ιδία επεξεργασία

Αφού λοιπόν αποδοθούν τιμές κατά ζεύγη, υπολογίζεται η βαρύτητα της κάθε παραμέτρου ως προς το ζεύγος της αρχικά, για να προκύψει τελικώς και η βαρύτητά της ως προς το σύνολο των παραμέτρων.

Η σύγκριση των παραμέτρων, θα πρέπει να εμφανίζει και μία αξιοπιστία. Ο βαθμός της αξιοπιστίας αυτής, εξαρτάται και από το βαθμό συνέπειας του πίνακα που διαμορφώθηκε για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση. Ο βαθμός αυτός, δείχνει πόσο λογικές είναι οι τιμές σύγκρισης που εισάγει ο χρήστης, καθώς έπειτα από ένα ποσοστό εισαγωγής τιμών, μπορεί να προβλεφθούν λογικά και οι υπόλοιπες (Κόλλια, 2011 που παραπέμπει στον Saaty, 1996). Ο βαθμός συνέπειας ενός πίνακα, ορίζεται από τον δείκτη CR, ο οποίος εξαρτάται από το λόγο ενός του δείκτη συνέπειας της κάθε μεταβλητής (CI) με έναν τυχαίο δείκτη (RI). Το αποτέλεσμα που προκύπτει, εάν ισούται με 0,

σημαίνει την πλήρη συνέπεια του πίνακα. Εάν είναι διαφορετικό του 0, τότε δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 0.10, παρά μόνο ίσως κατά ελάχιστα σε ορισμένες περιπτώσεις.

Πιο συγκεκριμένα:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

όπου λ_{\max} η μεγαλύτερη ιδιοτιμή του πίνακα τιμών σύγκρισης των παραμέτρων και n το πλήθος των παραμέτρων που συγκρίνονται.

Ο τυχαίος δείκτης RI εξαρτάται από τον αριθμό των παραγόντων που συγκρίνονται (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Τιμές Τυχαίου Δείκτη RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Πηγή: Ναθαναήλ (2016), Ιδία επεξεργασία

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ο Συνολικός Δείκτης Συνέπειας CR:

$$CR = CI / RI$$

3.3. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται, επεξεργάζονται σε περιβάλλον ΣΓΠ (GIS). Είναι δυνατό, τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, να διαθέτουν στοιχεία τα οποία μπορεί να έχουν διαφορετικό τρόπο μέτρησης. Δηλαδή, μπορεί παραδείγματος χάρη, αν αφορούν πληθυσμό, να μετρώνται σε αριθμό ατόμων. Ειδιάλλως, μπορεί να λαμβάνουν και δυαδικές τιμές.

Όσον αφορά τις κατηγορίες δεδομένων που διαθέτουν πληροφορία με δυαδικές τιμές, είναι χρήσιμο να συγκεντρώνονται σε ένα layer. Για το συνδυαστικό layer, το οποίο διαφοροποιεί τις κατηγορίες ανά στήλη, δημιουργούνται αρχεία raster για κάθε μία, ώστε να αναπαρίσταται κάθε φορά μεμονωμένα η κάθε πληροφορία.

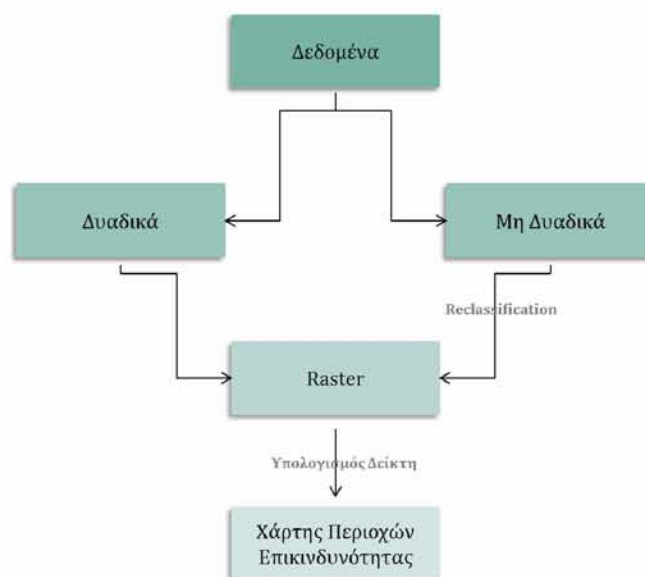
Για όσα δεδομένα μπορούν να μετρηθούν με διαφορετικό είδος τιμών, η διαδικασία επεξεργασίας τους με στόχο την οπτικοποίησή τους διαφέρει. Ειδικότερα, κάθε ένα από

αυτά αποτελεί ξεχωριστό layer. Σημειώνεται ότι για να μπορεί να γίνει συνδυασμός των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή του τελικού συνολικού χάρτη, είναι απαραίτητο τα δεδομένα αυτά να υπόκεινται σε διαδικασία Επαναταξινόμησης (Reclassification) των πληροφοριών τους, ώστε οι τιμές τους να αποδίδονται σε συγκεκριμένο αριθμό κλάσεων.

Έπειτα, λοιπόν, από τη συγκέντρωση όλων των παραπάνω raster, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του Δείκτη Εκτίμησης Κινδύνου Πλημμύρας (βλ. 3.2). Αφού αποδοθούν οι τιμές βαρυτήτων σε κάθε μία από τις κατηγορίες δεδομένων (βλ. 3.2.3), πραγματοποιείται υπολογισμός του Δείκτη εντός περιβάλλοντος ΣΓΠ (GIS). Η διαδικασία αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση του εργαλείου Raster Calculator όπου σαν r_i μπορεί να εισαχθεί το κάθε ένα raster που έχει δημιουργηθεί και ως w_i το βάρος που του έχει αποδοθεί.

Το αποτέλεσμα του Δείκτη, είναι οπτικοποιημένη πληροφορία που συνδυάζει όλες τις παραμέτρους μεταξύ τους και αποτυπώνει το βαθμό κατά τον οποίο τα διάφορα τμήματα της περιοχής μελέτης κινδυνεύουν σε περίπτωση εκδήλωσης κάποιου πλημμυρικού γεγονότος. Είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί και εδώ η διαδικασία της Επαναταξινόμησης (Reclassification), για τη δημιουργία ίσου αριθμού κλάσεων με αυτόν των μη δυαδικών δεδομένων.

Διάγραμμα 3.3: Διαδικασία Δισδιάστατης Αναπαράστασης



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

3.4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

Για να μπορεί να προκύψει η τρισδιάστατη αναπαράσταση των δεδομένων, είναι απαραίτητο να γίνεται χρήση και μίας περαιτέρω πληροφορίας. Αυτή μπορεί να είναι, λόγου χάρη, το ύψος των κτιρίων ή των οικοδομικών τετραγώνων, ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής που μελετάται και με τα διαθέσιμα στοιχεία.

Η πληροφορία αυτή, μπορεί να συνδυαστεί και με διάφορα άλλα τρισδιάστατα και μη δεδομένα της περιοχής, ώστε να προκύψει το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, μπορεί να απεικονιστεί το ύψος του νερού της πλημμύρας στις περιοχές που πλήττονται, ώστε να οπτικοποιηθούν οι επιπτώσεις της.

Τα τρισδιάστατα αυτά αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν με τη χρήση διάφορων προγραμμάτων αναπαράστασης γεωγραφικών πληροφοριών. Υπάρχουν ποικίλα τέτοια εργαλεία και ο κάθε μελετητής, ανάλογα με τις γνώσεις του, τα αποτελέσματα που επιθυμεί και το χρηματικό ποσό που είναι σε θέση να διαθέσει, μπορεί να επιλέξει το καταλληλότερο για αυτόν. Ορισμένα από τα εργαλεία αυτά είναι το ArcScene, CityEngine, 3D Analyst κ.ά.

3.5. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η μέθοδος που περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε περιοχή που αντιμετωπίζει προβλήματα από πλημμύρες ή εκτιμάται ότι θα αντιμετωπίσει στο μέλλον. Είναι σημαντικό και για τις ελληνικές πόλεις να συμπεριλαμβάνουν στις σχεδιαστικές τους αποφάσεις και τις πιθανότητες εκδήλωσης τέτοιων γεγονότων. Μεγαλύτερη όμως βάση πρέπει να δοθεί στις πόλεις, οι οποίες σύμφωνα με την Ειδική Υπηρεσία Υδάτων χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο κίνδυνο στο να υποστούν πλημμυρικό φαινόμενο. Αυτές είναι οι εξής (efpalio.wordpress.com):

- Κομοτηνή
- Άρτα
- Μεσολόγγι
- Δράμα
- Καρδίτσα
- Μανωλάδα
- Γιαννιτσά
- Περιοχές της Αττικής
- Ναύπλιο
- Μεσσήνη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

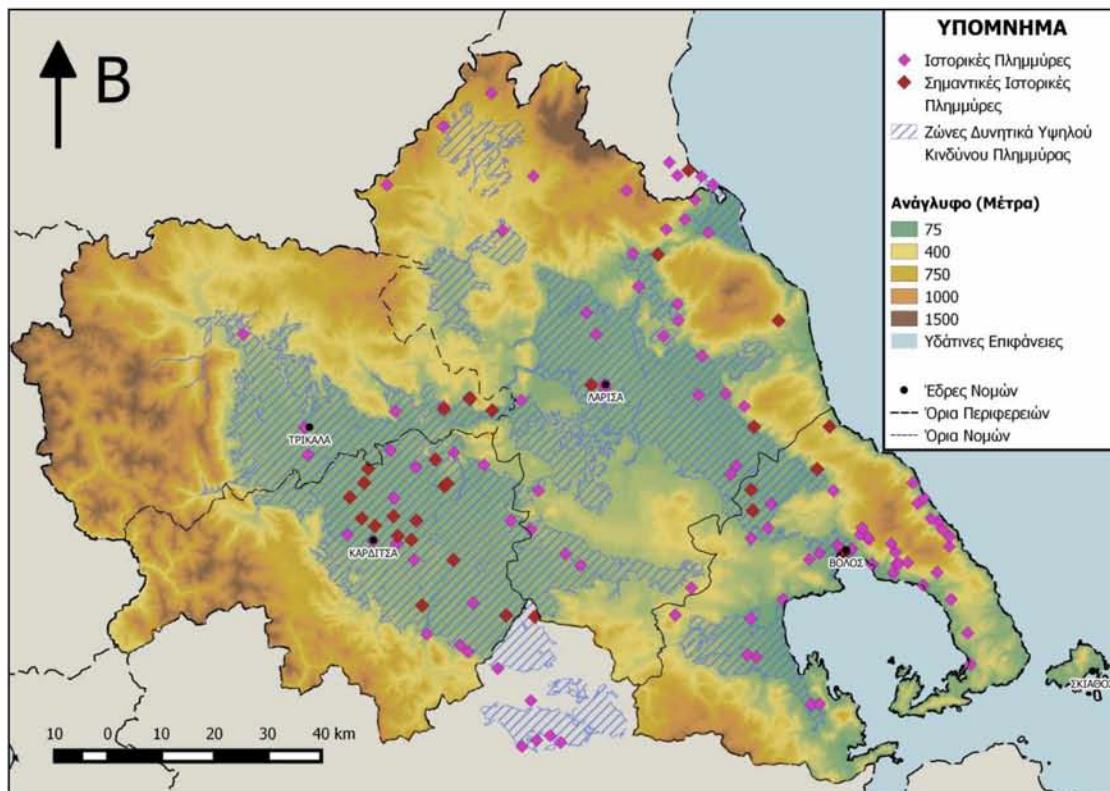
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ

4.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

4.1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. 2.1), από την αναθεωρημένη μελέτη του ΥΠΕΚΑ για την Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ (2013), έχουν προσδιοριστεί σε πανελλαδικό επίπεδο οι Θέσεις Ιστορικών Πλημμυρικών Συμβάντων, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και οι πιο σημαντικές από αυτές, καθώς και οι Ζώνες στις οποίες έχουν αποδοθεί περισσότερες πιθανότητες να συμβεί κάποιο πλημμυρικό φαινόμενο στο μέλλον. Στο Χάρτη 4.1 αναπαρίστανται όλα τα παραπάνω δεδομένα για την περίπτωση της Περιφέρειας Θεσσαλίας.

Χάρτης 4.1: Ιστορικές Πλημμύρες και Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας



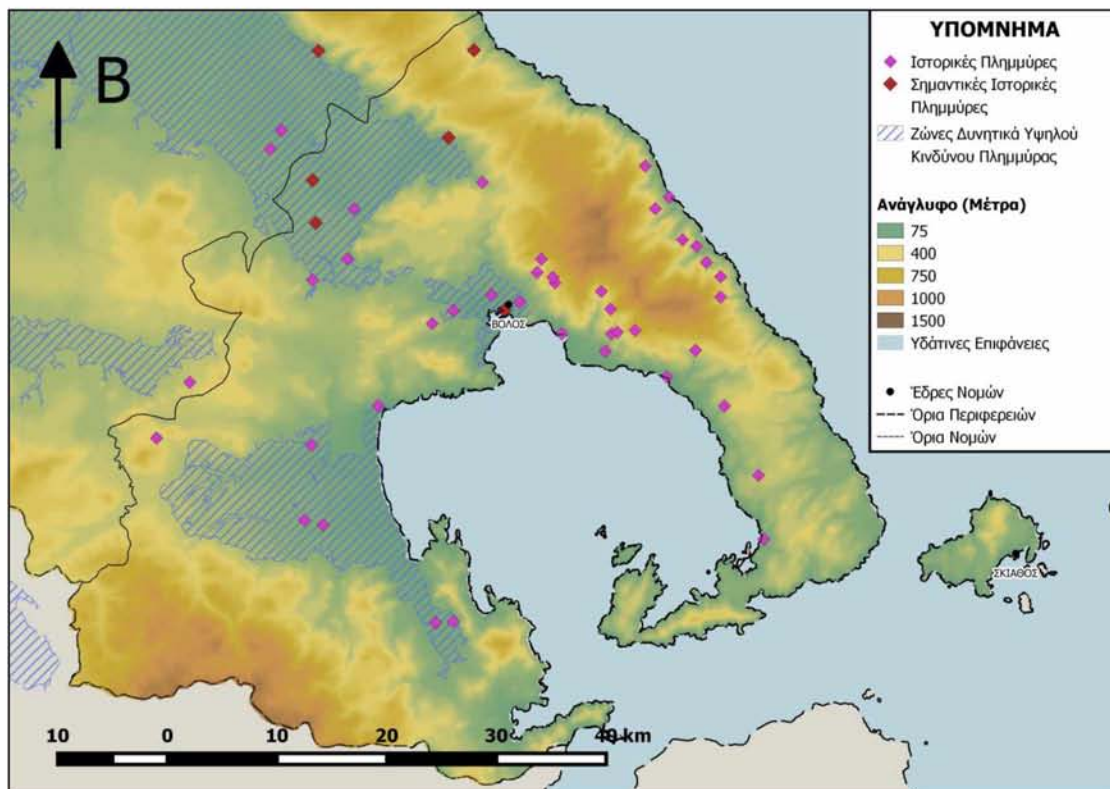
Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Ίδια επεξεργασία

Εξετάζοντας το χάρτη, παρατηρείται ότι πολλές πλημμύρες και οι περισσότερες από τις σημαντικότερες, έχουν λάβει χώρα εντός της έκτασης του Θεσσαλικού Κάμπου. Σε

επίπεδο Νομών, αυτός των Τρικάλων έχει υποστεί τις λιγότερες πλημμύρες, ενώ ακολουθούν της Καρδίτσας και στη συνέχεια της Λάρισας. Ο Νομός στον οποίο έχουν καταγραφεί οι περισσότερες, είναι αυτός της Μαγνησίας που αριθμεί 44 ιστορικά πλημμυρικά φαινόμενα, αρκετά από τα οποία βρίσκονται εντός και περιμετρικά της έδρας του. Σημειώνεται ότι τα δύο φαινόμενα που φαίνεται να έχουν πλήξει το εσωτερικό της πόλης του Βόλου, είναι και σημαντικά, πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει στις υπόλοιπες τρεις έδρες Νομών.

4.1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

Χάρτης 4.2: Ιστορικές Πλημμύρες και Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στο Νομό Μαγνησίας



Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Ιδία επεξεργασία

Στο Χάρτη 4.2 παρουσιάζονται τα ίδια δεδομένα σε μεγαλύτερη κλίμακα, ώστε να είναι περισσότερο ευδιάκριτα για την περιοχή της Μαγνησίας.

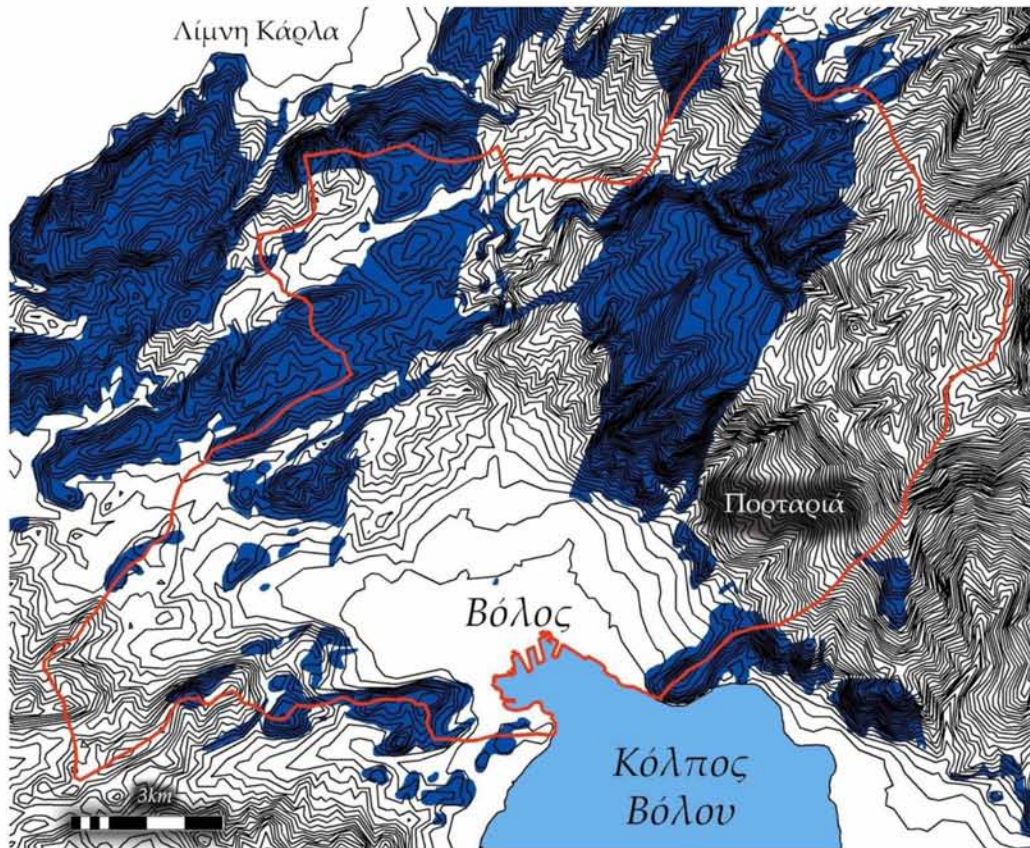
Πέρα από τα σημεία όπου έχουν συμβεί πλημμύρες στο παρελθόν, διακρίνονται και τις ζώνες, μέσα στις οποίες είναι πιθανότερο να προκύψει κάποιο πλημμυρικό συμβάν. Στα

όρια του Νομού Μαγνησίας διακρίνονται τρεις (3) τέτοιες ζώνες. Η μία βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του και ουσιαστικά συμπεριλαμβάνεται σε αυτή του Νομού της Λάρισας που έχει οριοθετηθεί λόγω του ποταμού Πηνειού και της λίμνης Κάρλας. Η επόμενη βρίσκεται στην περιοχή του Αλμυρού που και εκεί έχουν σημειωθεί αρκετές πλημμύρες κατά τα τελευταία χρόνια και η περιοχή αποτελεί χαμηλή ζώνη λεκανών των ρεμάτων Αλμυρού και Χολόρεμμα. Η τελευταία και σημαντικότερη για την παρούσα έρευνα, καλύπτει ένα μεγάλο μέρος του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλης του Βόλου και ένα τμήμα της Νέας Ιωνίας. Είναι χαμηλή ζώνη λεκάνης του χειμάρρου Ξηριά, του Ποταμού Κραυσιδώνα και Ανάβρου και των ρεμάτων της περιοχής. Στα πλαίσια της ζώνης αυτής, οι χρήσεις γης είναι ως επί το πλείστον καλλιεργήσιμες εκτάσεις (52.8%) και στη συνέχεια αστικές και περιαστικές εκτάσεις (27.3%), εκτάσεις με γυμνά εδάφη (17.5%), δασικές εκτάσεις (1.5%), και ένα μικρό ποσοστό βοσκότοπων (0.9%).

4.1.3. ΠΡΟΣΦΑΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

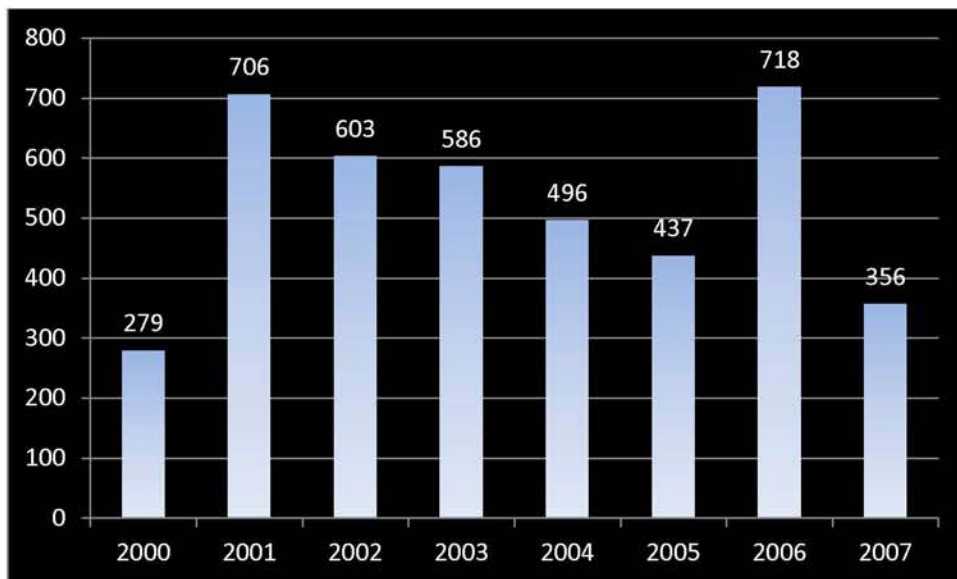
Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της Υδρολογικής Λεκάνης του Βόλου (Εικόνα 4.1). Από τη Λεκάνη αυτή, η εφαρμογή του μοντέλου επικεντρώνεται κυρίως στον αστικό ιστό του Βόλου. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να αναφερθούν ορισμένα στατιστικά στοιχεία που αφορούν τις βροχοπτώσεις και τις πλημμύρες στην εν λόγω περιοχή κατά τα τελευταία έτη.

Εικόνα 4.1: Υδρολογική Λεκάνη Βόλου



Πηγή: <http://1.bp.blogspot.com>

Διάγραμμα 4.1: Ετήσια βροχόπτωση στο Βόλο για τα έτη 2000-2007



Πηγή: meteovolos.gr, Ιδία επεξεργασία

Από το Διάγραμμα 4.1, το οποίο περιλαμβάνει το ύψος της βροχόπτωσης για κάθε έτος από το 2000 έως και το 2007, παρατηρείται ότι τα έτη 2001 και 2006 έχει τις μεγαλύτερες τιμές, που είναι περίπου οι διπλάσιες από αυτή του 2007. Κατά τα έτη 2000 και 2007 φαίνεται πως οι βροχοπτώσεις ήταν πιο περιορισμένες, ενώ στα ενδιάμεσα έτη 2002-2005, οι τιμές δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ τους.

Πέρα από το ύψος των βροχοπτώσεων, είναι χρήσιμο να εξεταστεί και το πρόσφατο ιστορικό των πλημμύρων. Σύμφωνα με τον Επιστημονικό Συνεργάτη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την περιοχή της Μαγνησίας, περίπου κατά την τελευταία δεκαετία έχουν παρατηρηθεί αρκετά τέτοια φαινόμενα στο σύνολο του Νομού. Όσον αφορά την πόλη του Βόλου, τα περισσότερα από αυτά προκλήθηκαν από μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων.

Πίνακας 4.1: Σημαντικές Πλημμύρες στην πόλη του Βόλου

Ημ/νία	Αίτια	Επιπτώσεις	Ανθρώπινες Απώλειες	Ένταση Καιρού του Φαινομένου	Ένταση Επιπτώσεων του Φαινομένου	Πηγή
11/1/2003	Καταγίδα με χαλαζόπτωση	Πλημμυρισμένα σπίτια και καταστήματα	0	Μέτρια	Χαμηλή	Hellenic Resources Network - Athens News Agency (hri.org)
5/6/2004	Ισχυρή καταγίδα	Καταστροφές σε κτίρια	0	Χαμηλή	Χαμηλή	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (meteo.gr)
9/10/2006	Καταγίδα	Μεγάλες καταστροφές στο οδικό δίκτυο, πλημμυρισμένα σπίτια και καταστήματα, εγκλωβισμοί ατόμων	0	Υψηλή	Μέτρια	Εφημερίδα "Έθνος" (ethnos.gr)
31/8/2008			0	Μέτρια	Μέτρια	skai.gr
1/8/2011	Έντονη καταγίδα	Καταστροφή αγροτικής παραγωγής, πλημμυρισμένα σπίτια	0	Χαμηλή	Μέτρια	Επιστημονικός συνεργάτης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (meteovolos.gr)
29/5/2014	Βροχόπτωση συνδυαστική με έντονους ανέμους		0	Χαμηλή	Μέτρια	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (meteo.gr)
25/9/2015	Ισχυρή καταγίδα		0	Υψηλή	Μέτρια	newsbomb.gr
7/7/2016	Ισχυρή καταγίδα	Καταστράφηκαν καλλιέργειες και πλημμύρισαν κτίρια	0	Μέτρια	Χαμηλή	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (meteo.gr)
6/9/2016	Έντονη βροχόπτωση	Προβλήματα στις συγκοινωνίες, επικοινωνίες και στην ηλεκτροδότηση	0	Πολύ Ισχυρή	Υψηλή	naftemporiki.gr

Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (meteo.gr), Ίδια επεξεργασία

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται κάποιες από τις σημαντικότερες πλημμύρες στην πόλη του Βόλου. Τα δεδομένα των ξαφνικών και εμφανώς αρκετών πλημμύρων που έχουν πραγματοποιηθεί εντός της πόλεως, ως επί το πλείστον, αντλούνται από την

ιστοσελίδα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Στη συνέχεια, αναλύονται οι δύο πιο ζημιογόνες και κρίσιμες πλημμύρες στην περιοχή.

Τον Οκτώβριο του 2006, στην πόλη του Βόλου παρουσιάστηκαν τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης κατά τον τελευταίο μισό αιώνα. Πιο συγκεκριμένα, το ύψος της βροχής έφτασε τα 227 χιλιοστά, ενώ αυτή διήρκησε λιγότερο από μία ημέρα. Το αποτέλεσμα ήταν η υπερχείλιση των ρεμάτων που οδήγησε τελικά σε πλημμύρες (Ντάφης, 2016).

Εικόνα 4.2: Η περιοχή της Νεαπόλεως κατά την πλημμύρα του 2006



Πηγή: www.meteovolos.gr

Εικόνα 4.3: Λεωφόρος Γρ. Λαμπράκη κατά την πλημμύρα του 2006



Πηγή: www.meteovolos.gr

Τον Δεκέμβριο του 2009 καταγράφηκαν σε πολλές περιοχές της Μαγνησίας για άλλη μια φορά μεγάλα ύψη βροχόπτωσης. Στο Βόλο έφτασαν έως και τα 138,4 χιλιοστά και οι πλημμύρες αποτέλεσαν λογικό επακόλουθο. Από το γεγονός αυτό δεν σημειώθηκαν μόνον οικονομικά κόστη (καταστροφή ακινήτων, τμημάτων οδών κ.ά.), αλλά και ανθρώπινες ζωές, όχι όμως εντός του Βόλου (Ντάφης, 2016).

Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις, ο πολεοδομικός ιστός του Βόλου έχει πλημμυρίσει και άλλες φορές. Ειδικότερα, όταν υπάρχει έντονη βροχόπτωση, όχι απαραίτητως μεγάλης διάρκειας, πλημμυρίζουν συχνά ορισμένα σημεία της πόλης που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το παράκτιο μέτωπό της. Αυτά είναι οι κεντρικές λεωφόροι «Γρηγορίου Λαμπράκη» και «2ας Νοεμβρίου» κοντά στο Δημαρχείο της πόλης και οι κεντρικές οδοί «Δημητριάδος» και «Ιάσωνος». Οι οδοί αυτές έχουν αυξημένη κυκλοφορία και κάθε φορά που κατακλύζονται από τα νερά της βροχής, προκαλούνται τουλάχιστον προβλήματα στην κυκλοφορία.

Παράδειγμα αποτελεί η πλημμύρα του Νοεμβρίου του 2012, στιγμιότυπα της οποίας φαίνονται στην Εικόνα 4.4 και Εικόνα 4.5. Παρόμοια ήταν η περίπτωση και τον Μάρτιο του 2016, λόγω της οποίας ακυρώθηκαν εκδηλώσεις κατά μήκος του παραλιακού μετώπου της πόλης (www.iefimerida.gr).

Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4.5, κατά τη διάρκεια πλημμύρας, οι άνθρωποι προσπαθούν να καθαρίσουν τα φρεάτια ώστε να μην πλημμυρίσει το εσωτερικό των καταστημάτων και των σπιτιών τους. Είναι γεγονός ότι οι συχνές αυτές πλημμύρες στις συγκεκριμένες τοποθεσίες επιδεινώνονται και λόγω φύλλων και απορριμμάτων που βρίσκονται στις οδούς και έξω από τους κάδους και συγκεντρώνονται στις εισόδους των φρεατίων της περιοχής, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν το νερό να περάσει σε αυτά (Τ. Αθ., 2013). Η δραστηριοποίηση του Δήμου για τον καθαρισμό των φρεατίων θεωρείται ανεπαρκής, με αποτέλεσμα ορισμένα τμήματα της πόλης να πλημμυρίζουν έπειτα από λίγα λεπτά βροχόπτωσης.

Εικόνα 4.4: Πλημμύρα από βροχόπτωση το Νοέμβριο του 2012



Πηγή: www.youtube.com

Εικόνα 4.5: Πλημμύρα από βροχόπτωση το Νοέμβριο του 2012



Πηγή: www.youtube.com

Εικόνα 4.6: Πεζοί κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του Νοεμβρίου του 2012

Πηγή: Προσωπικό αρχείο 2012

Από το παραπάνω ιστορικό πλημμύρων, προκύπτει ότι προκαλούνται κυρίως από έντονα καιρικά φαινόμενα. Ο λόγος που έγινε η αναφορά αυτή, είναι για να εκτιμηθεί η συχνότητα των πλημμυρικών φαινομένων στη συγκεκριμένη περιοχή, η ικανότητα του Δήμου να τα αντιμετωπίσει και να εντοπιστούν τα τμήματα του αστικού ιστού που είναι πιο ευάλωτα.

4.2. ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΟ ΒΟΛΟ

Όλα τα πλημμυρικά φαινόμενα που αναφέρθηκαν, έχουν προκύψει λόγω έντονων βροχοπτώσεων, συνδυαστικά με το χαμηλό υψόμετρο ορισμένων περιοχών εντός της πόλεως. Παρόλο που μέχρι στιγμής δεν έχει σημειωθεί σημαντική πλημμύρα από μεγάλα ύψη κυμάτων στον Παγασητικό Κόλπο, λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο κοντινό μέλλον, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπ' όψιν και αυτή η πιθανότητα. Εξάλλου, η στάθμη της θάλασσας μπορεί να ανέβει και λόγω πτώσης μεγάλου ποσοστού βροχόνερου.

Μάλιστα, στην Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις πλημμύρες (2007/60/ΕΚ), επισημαίνεται ότι οι πλημμύρες αποτελούν φυσικές καταστροφές και δεν είναι εφικτό να αντιμετωπιστούν εγκαίρως. Όμως, φυσικοί παράγοντες, όπως η κλιματική αλλαγή, η

απορροφητικότητα του εδάφους, αλλά και ορισμένοι ανθρωπογενείς, μπορούν να ενισχύσουν τη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων.

Ορισμένες από τις ενέργειες για την ελάττωση του μεγέθους των ζημιών μιας πλημμύρας, σχετίζονται με την οπτικοποίηση του φαινομένου στην εν λόγω περιοχή. Για να είναι, όμως, δυνατό να προκύψει ένα τέτοιο αποτέλεσμα, πρέπει να προηγηθεί η εκτέλεση των βημάτων που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3. Η διαδικασία εφαρμόστηκε για μέρος της παράκτιας περιοχής της πόλης του Βόλου.

4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΒΟΛΟ

4.3.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αρχικά, συλλέχθηκαν διάφορα δεδομένα που θεωρήθηκε ότι αντιπροσωπεύουν καλύτερα τις επιπτώσεις ενός πλημμυρικού φαινομένου στη συγκεκριμένη περιοχή. Χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο παρόμοια οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια με αυτά που έλαβαν υπ' όψιν τους και οι Kubal et al. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 4.2 με τα κριτήρια που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 4.2: Ανάλυση στοιχείων που κινδυνεύουν από εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου

Διάσταση Κινδύνου Πλημμύρας	Κριτήρια Αξιολόγησης	Υπο-κριτήρια	Στοιχεία που κινδυνεύουν	Χωρική μονάδα (στο GIS)	Μονάδα επιπτώσεων (.../Χρόνο)
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ	Συσσωρευμένος οικονομικός κίνδυνος	Μεταφορές	Κτίρια μεταφορών (π.χ. ΚΤΕΛ), λιμάνι	Εμβαδό	Δυναδική
		Στέγαση	Κτίρια κατοικίας	Εμβαδό	Δυναδική
		Εμπόριο	Βιομηχανικά κτίρια, εμπορικές τοποθεσίες	Εμβαδό	Δυναδική
		Διοίκηση	Διοίκηση και υπηρεσίες	Εμβαδό	Δυναδική
		Αναψυχή	Δραστηριότητες αθλητισμού και αναψυχής, χώροι πρασίνου	Εμβαδό	Δυναδική
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ	Πληθυσμός		Πληθυσμός που θα επηρεαστεί ανά ζώνη (από 15 - 34 ετών)	Εμβαδό	Αριθμός ατόμων
	Παιδιά		Παιδιά που θα επηρεαστούν ανά ζώνη (0 - 14 ετών)	Εμβαδό	Αριθμός ατόμων
	Ηλικιωμένοι		Ηλικιωμένοι που θα επηρεαστούν ανά ζώνη (>65 ετών)	Εμβαδό	Αριθμός ατόμων
	Κοινωνικές υποδομές		Κοινωνικές υποδομές όπως σχολεία, παιδικό σταθμοί, νηπιαγωγεία, νοσοκομεία κλπ.	Εμβαδό	Δυναδική

Πηγή: Kubal et al. (2009), EXCIMAP (2007), ίδια επεξεργασία

Αναλυτικότερα, τα στοιχεία, που έχουν συγκεντρωθεί για την παρούσα έρευνα είναι:

- Οικονομικά: δρόμοι, σιδηροδρομικό δίκτυο, λιμάνι, κτίρια διοίκησης, μεταφορών και εμπορίου. Για τα κτίρια διοίκησης, μεταφορών και εμπορίου, καταγράφηκαν τα οικοδομικά τετράγωνα που διαθέτουν μία από τις παραπάνω χρήσεις, μέσω του Google Street View. Τα υπόλοιπα δεδομένα αντλήθηκαν από προσωπικό αρχείο ή δημιουργήθηκαν.
- Κοινωνικά: δημόσιες υποδομές (συμπεριλαμβανομένων σχολείων, νηπιαγωγείων, πανεπιστημίων και άλλων κοινωνικών και δημόσιων υπηρεσιών, όπως νοσοκομεία κλπ), πληθυσμιακές ομάδες ανά ζώνη που πιθανώς θα πληγούν. Τα οικοδομικά τετράγωνα που περιλαμβάνουν κάποια δημόσια υποδομή ή δραστηριότητες αναψυχής/πάρκα/χώρους πρασίνου, καταγράφηκαν μέσω του Google Street View. Τα δεδομένα του πληθυσμού προέκυψαν μέσω

διαδραστικών χαρτών και απογραφικών στοιχείων της βάσης δεδομένων «ΠΑΝΟΡΑΜΑ» (www.panorama.statistics.gr).

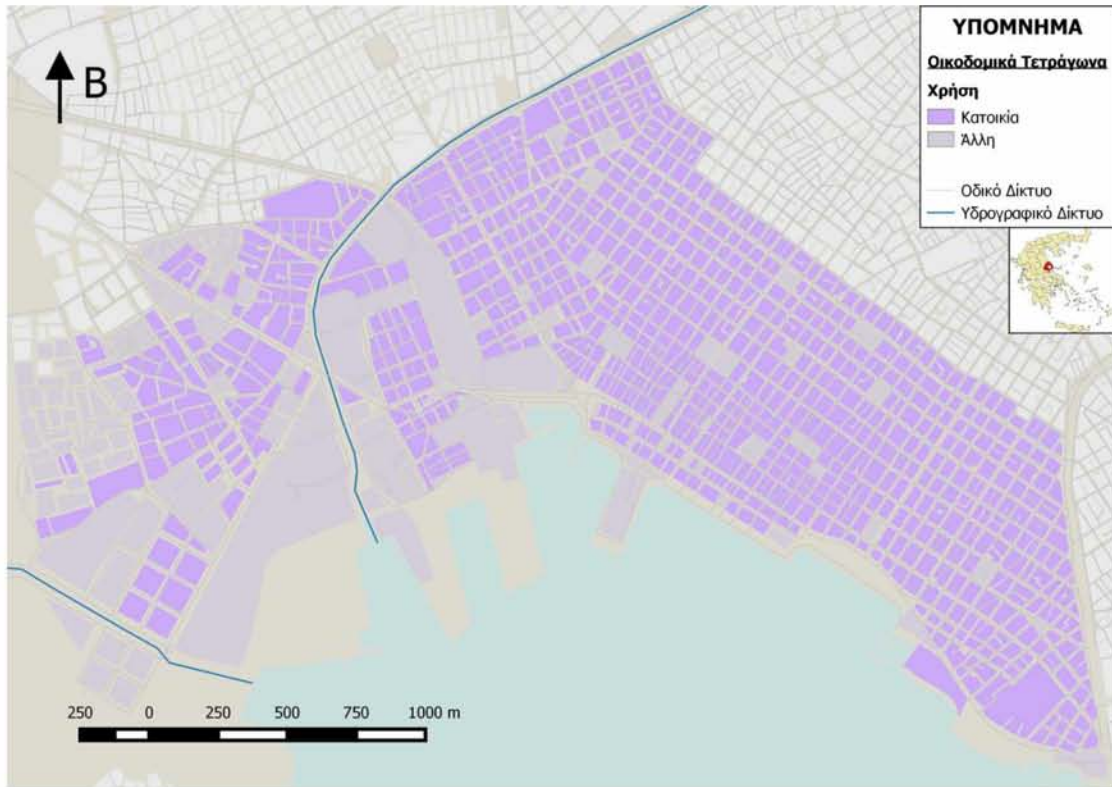
- Περιβαλλοντικά/Οικολογικά: υψόμετρο, περιοχές προστασίας, υδάτινες επιφάνειες. Όσον αφορά τα οικολογικά κριτήρια, από τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν, παρατηρείται ότι εντός της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης δεν εντοπίζεται κάποια περιοχή με καθεστώς προστασίας ούτε εγκαταστάσεις που να την απειλούν με ρύπανση σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο, ορισμένα από αυτά τα στοιχεία, εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή, εντός του Νομού Μαγνησίας. Το υψόμετρο της περιοχής προέκυψε έπειτα από επεξεργασία DEM εικόνων μέσω ΣΓΠ, που αντλήθηκαν από την Copernicus, μία διαδικτυακή μηχανή αναζήτησης δεδομένων τηλεπισκόπησης. Η εισαγωγή των υπόλοιπων στοιχείων ως προς επεξεργασία, πραγματοποιήθηκε από προσωπικό αρχείο.

4.3.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αφού συλλέχθηκαν τα δεδομένα, εισήχθησαν στο πρόγραμμα χαρτογράφησης ArcGIS Pro. Για κάθε ένα οικοδομικό τετράγωνο εντός της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκε καταγραφή στοιχείων από το Google Street View, με την απόδοση σε αυτά δυαδικών τιμών. Πιο συγκεκριμένα, στα οικοδομικά τετράγωνα όπου εντοπίστηκε η εκάστοτε χρήση γης, όπως για παράδειγμα εμπόριο, αποδόθηκε η τιμή 1. Στα υπόλοιπα, δηλαδή σε αυτά που λόγω χάρη δεν περιλαμβάνουν κάποια εμπορική δραστηριότητα, αποδόθηκε η τιμή 0. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για τις εξής χρήσεις γης: κατοικία, εμπόριο, κοινωνικές υποδομές/υπηρεσίες, αναψυχή, μεταφορές και διοίκηση.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες συγκεντρώθηκαν σε ένα κοινό layer σε διαφορετικές στήλες του Πίνακα Ιδιοτήτων του (Attribute Table). Για κάθε μία από τις στήλες αυτές, δημιουργήθηκε αρχείο Raster (6 Raster), ώστε να αναδεικνύονται οι διαφοροποιήσεις των τιμών στα οικοδομικά τετράγωνα. Μέσω του συστήματος QGIS, προέκυψαν θεματικοί χάρτες (Χάρτης 4.3 – Χάρτης 4.8), για την αποτύπωση των πληροφοριών.

Χάρτης 4.3: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Κατοικία



Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Χάρτης 4.4: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Εμπόριο



Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Χάρτης 4.5: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Κοινωνικές Υποδομές/Υπηρεσίες



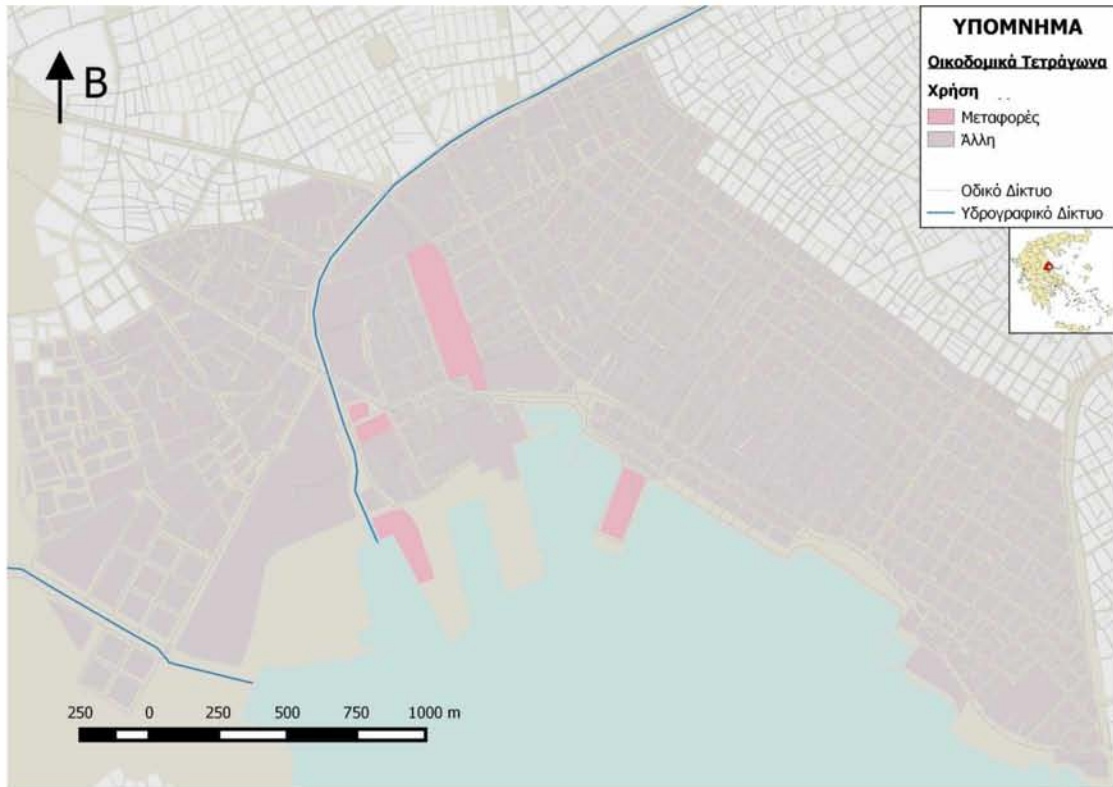
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Χάρτης 4.6: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Αναψυχή



Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Χάρτης 4.7: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Μεταφορές



Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Χάρτης 4.8: Οικοδομικά Τετράγωνα με χρήση Διοίκηση



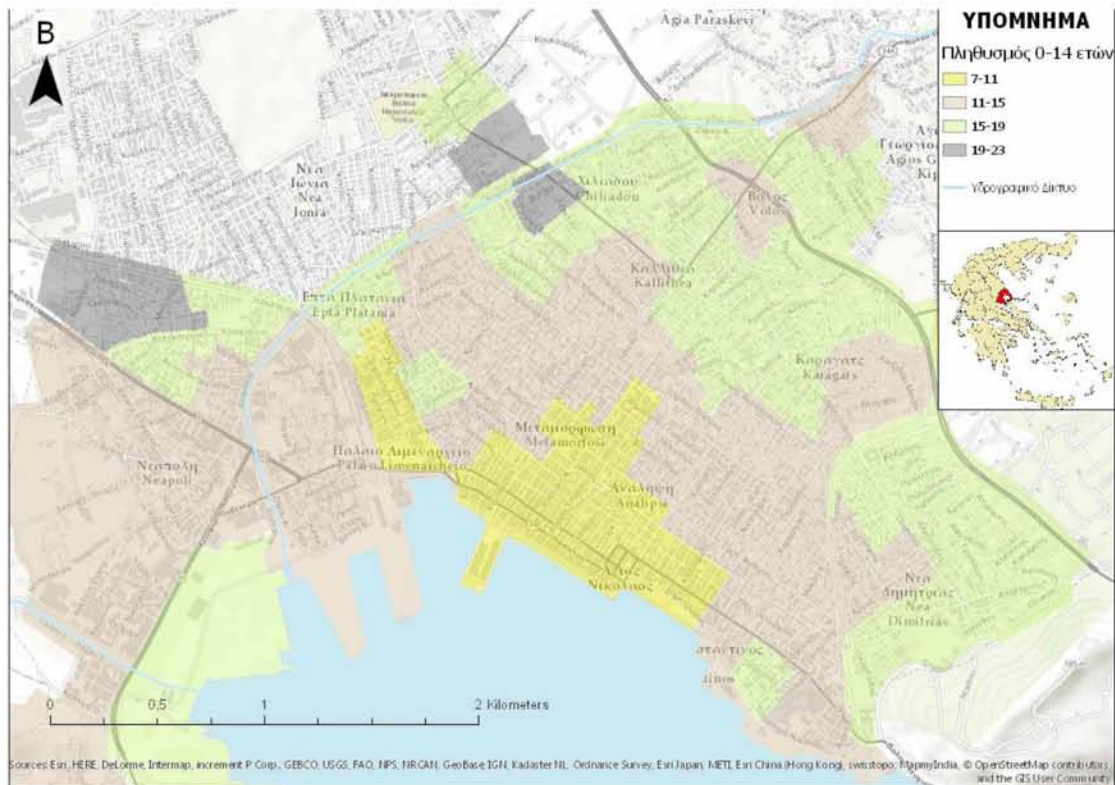
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Και τα μη δυαδικά στοιχεία, έπειτα από τη συλλογή τους, εισήχθησαν σε περιβάλλον ArcGIS Pro. Ωστόσο, για την επεξεργασία των δεδομένων αυτών, τα οποία είναι και πληθυσμιακά, λόγω του ότι περιέχουν τιμές που μετρώνται σε άτομα, πραγματοποιήθηκε με διαφορετική διαδικασία.

Για κάθε μία από τις ηλικιακές ομάδες, δημιουργήθηκαν αρχεία Raster με συνεχόμενες τιμές των ποσοστών τους ανά ζώνες (σύμφωνα με τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ). Για να υπάρχει ακριβέστερο μέτρο σύγκρισης μεταξύ όλων των παραμέτρων, εφαρμόστηκε η διαδικασία Επαναταξινόμηση (Reclassification) για τις τιμές των χαρακτηριστικών των Raster. Αυτό σημαίνει ότι τελικώς, δημιουργήθηκαν 4 κλάσεις στις οποίες ισοκατανεμήθηκαν τα ποσοστά με την πληροφορία. Για παράδειγμα, στην ηλικιακή ομάδα από 0 έως 14 ετών, η τιμή 1 αποδίδεται σε ποσοστό 7%-11% του πληθυσμού, ενώ η τιμή 4 σε 19%-23%.

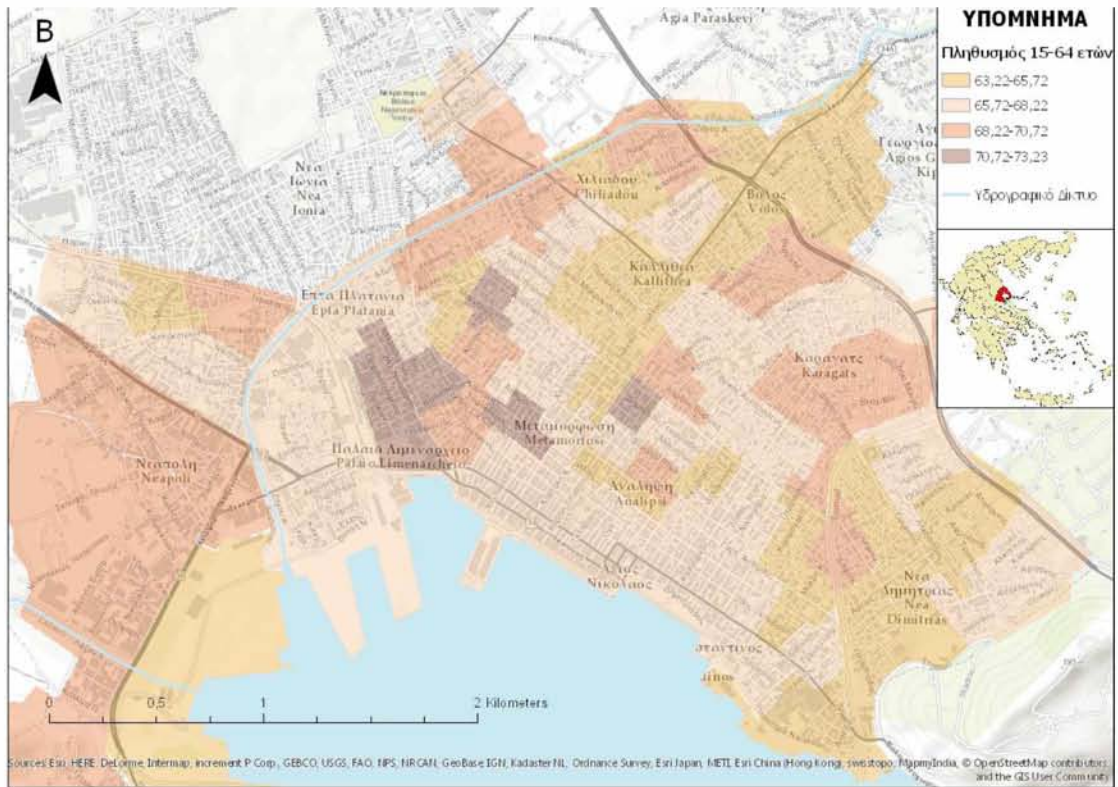
Έπειτα από επεξεργασία όλων των παραπάνω Raster στο ArcGIS Pro, προέκυψαν θεματικοί χάρτες (Χάρτης 4.9 – Χάρτης 4.11), για την αποτύπωση των πληροφοριών.

Χάρτης 4.9: Κατανομή παιδιών από 0-14 ετών



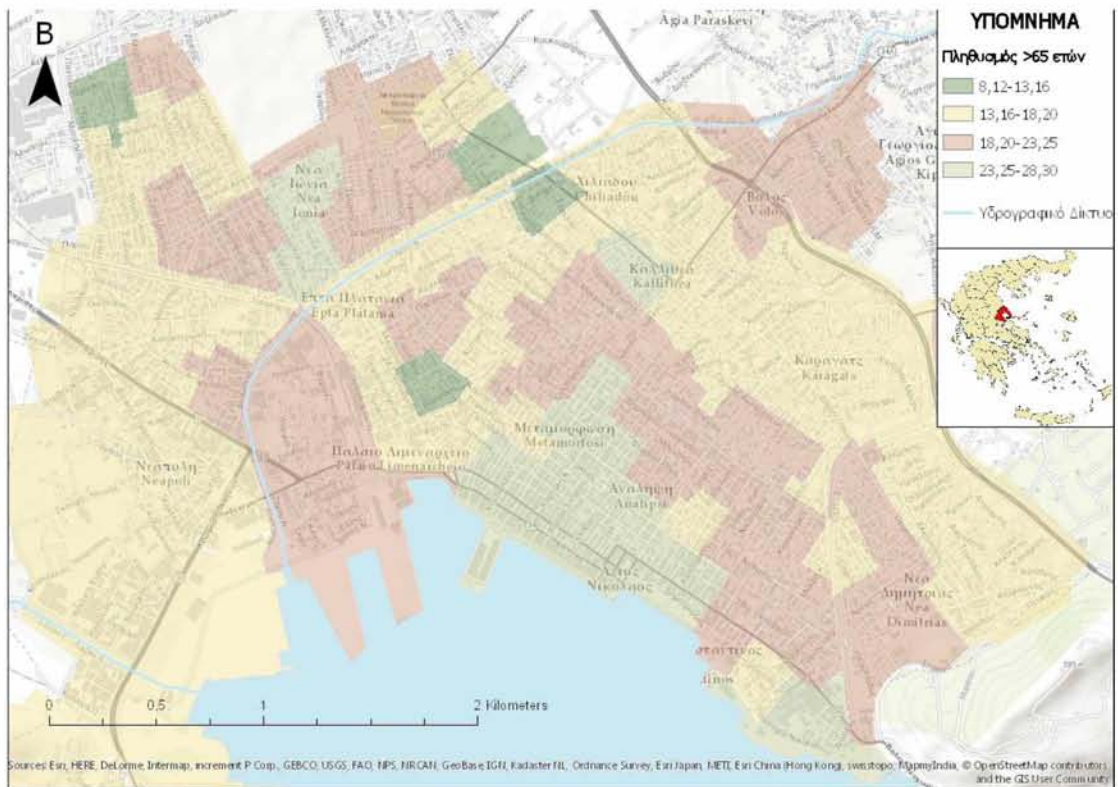
Πηγή: Πανόραμα, Ίδια Επεξεργασία

Χάρτης 4.10: Κατανομή πληθυσμού από 15-64 ετών



Πηγή: Πανόραμα, Ιδία Επεξεργασία

Χάρτης 4.11: Κατανομή πληθυσμού άνω των 65 ετών



Πηγή: Πανόραμα, Ιδία Επεξεργασία

4.3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Έπειτα από τη συγκέντρωση, καταγραφή, επεξεργασία και ατομική αναπαράσταση των κατηγοριών δεδομένων, αποτέλεσε κρίσιμη διαδικασία η επιλογή του δείκτη για το συσχετισμό όλων των στοιχείων μεταξύ τους. Από τους δείκτες που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3, τελικώς επιλέχτηκε αυτός που χρησιμοποίησαν και οι Kazakis et al. Ο τύπος αυτός, περιέχει μία μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σημασία της κάθε παραμέτρου που λαμβάνεται υπ' όψιν ως επίπτωση πλημμυρικού φαινομένου. Για να υπολογιστεί η μεταβλητή αυτή, έγινε εφαρμογή της μεθόδου που αναφέρθηκε επίσης στο Κεφάλαιο 3, της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου.

Όλη η διαδικασία για τον υπολογισμό των βαρυτήτων των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε μέσω ειδικού πίνακα από το διαδίκτυο σε μορφή Excel, ο οποίος εκτελεί αυτόματα όλες τις απαραίτητες πράξεις, ζητώντας μόνο από το χρήστη να εισάγει τις τιμές σύγκρισης των παραμέτρων.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3) διακρίνονται οι παράγοντες και οι τιμές που τους αποδόθηκαν για τη σύγκρισή τους.

Πίνακας 4.3: Υπολογισμός Βαρυτήτων με την AIM

Pairwise Comparison Matrix									
	Πληθυσμός 0-14	Πληθυσμός 15-64	Πληθυσμός >65	Κατοικία	Κοιν. Υποδομές	Μεταφορές	Εμπόριο	Διοίκηση	Αναψυχή
Πληθυσμός 0-14	1	2	1	7	7	7	8	8	8
Πληθυσμός 15-64	1/2	1	1/2	6	6	6	7	7	7
Πληθυσμός >65	1	2	1	7	7	7	8	8	8
Κατοικία	1/7	1/6	1/7	1	2	3	3	3	3
Κοινωνικές Υποδομές	1/7	1/6	1/7	1/2	1	2	3	3	3
Μεταφορές	1/7	1/6	1/7	1/3	1/2	1	3	3	3
Εμπόριο	1/8	1/7	1/8	1/3	1/3	1/3	1	2	2
Διοίκηση	1/8	1/7	1/8	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1/2
Αναψυχή	1/8	1/7	1/8	1/3	1/3	1/3	1/2	2	1
Column Totals	3,3036	5,9286	3,3036	22,8333	24,5000	27,0000	34,0000	37,0000	35,5000
	Cw (Normalised)								
1	0,3027	0,3373	0,3027	0,3065	0,2857	0,2592	0,2352	0,2162	0,2253
2	0,1513	0,1686	0,1513	0,2627	0,2448	0,2222	0,2058	0,1891	0,1971
3	0,3027	0,3373	0,3027	0,3065	0,2857	0,2592	0,2352	0,2162	0,2253
4	0,0432	0,0281	0,0432	0,0437	0,0816	0,1111	0,0882	0,0810	0,0845
5	0,0432	0,0281	0,0432	0,0218	0,0408	0,0740	0,0882	0,0810	0,0845
6	0,0432	0,0281	0,0432	0,0145	0,0204	0,0370	0,0882	0,0810	0,0845
7	0,0378	0,0240	0,0378	0,0145	0,0136	0,0123	0,0294	0,0540	0,0563
8	0,0378	0,0240	0,0378	0,0145	0,0136	0,0123	0,0147	0,0270	0,0140
9	0,0378	0,0240	0,0378	0,0145	0,0136	0,0123	0,0147	0,0540	0,0281

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Από τον πίνακα τιμών (Πίνακας 4.3), παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος βαθμός σημασίας αποδόθηκε στις πληθυσμιακές ομάδες. Αυτό συμβαίνει διότι τίποτα δεν είναι σημαντικότερο από τις ανθρώπινες ζωές και δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να συγκριθούν με κάποιο οικονομικό κόστος. Οι ζωές των ανθρώπων είναι το πιο κρίσιμο στοιχείο που πρέπει να προστατευτεί κατά την εκδήλωση μιας πλημμυρικής καταστροφής και οι κοινωνικές υποδομές αποτελούν οικιστικές μονάδες που συγκεντρώνουν έναν αριθμό ανθρώπων που πιθανώς θα υποστούν τις επιπτώσεις (Kubal et al., 2009). Από τις ομάδες αυτές, ακόμα μεγαλύτερη σημαντικότητα αποδόθηκε στα παιδιά (0-14 ετών) και στους ηλικιωμένους (>65 ετών). Σύμφωνα με τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, κατά την εκδήλωση κάποιου φαινομένου, πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη βάση σε αυτές τις δύο ομάδες. Αυτός είναι και ο λόγος που διαθέτουν μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με αυτές της πληθυσμιακής ομάδας από 15 έως 64 ετών.

Για το λόγο ότι στις παραμέτρους συμπεριλαμβάνονται και ξεχωριστά πληθυσμιακά στοιχεία, για τις υπόλοιπες δεν λαμβάνονται τόσο υπ' όψιν τα άτομα που θα πληγούν όντας εντός των οικοδομικών τετραγώνων με την εκάστοτε χρήση γης, αλλά κυρίως οι κτιριακές υποδομές και ο βαθμός ικανότητας εξυπηρέτησης της κάθε χρήσης. Μεγαλύτερη βάση δίνεται στην κατοικία, στις κοινωνικές υποδομές και στη συνέχεια στις μεταφορές. Ακολουθεί το εμπόριο, η αναψυχή και τέλος η διοίκηση.

Αφού εισαχθούν οι τιμές αυτές, υπάρχει και ο δείκτης συνέπειας, ο οποίος, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, πρέπει να διαθέτει τιμή μικρότερη ή ίση του 0.1, ώστε να θεωρείται αξιόπιστη η σύγκριση που έχει πραγματοποιηθεί. Κατά την παρούσα εκτέλεση της μεθόδου αυτής, χρειάστηκε να διαφοροποιηθούν οι τιμές σύγκρισης των μεταβλητών πολλές φορές, λόγω του γεγονότος ότι ο δείκτης συνέπειας κυμαίνονταν σε τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του 0.15. Παρόλα αυτά, το τελικό αποτέλεσμα ήταν ποσοστό 9% (0.09) για τον εν λόγω δείκτη. Τα βάρη που προέκυψαν για κάθε μεταβλητή, καθώς και ο έλεγχος του δείκτη συνέπειας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Ο Πίνακας 4.5, δείχνει τις τιμές που προέκυψαν ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης συνέπειας CR (βλ. Κεφάλαιο 3).

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα Βαρυτήτων και Δείκτης Συνέπειας

	AHP		Consistency check
1	0,275	27,5%	Consistency OK 9%
2	0,199	19,9%	
3	0,275	27,5%	
4	0,067	6,7%	
5	0,056	5,6%	
6	0,049	4,9%	
7	0,031	3,1%	
8	0,022	2,2%	
9	0,026	2,6%	

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα βαρυτήτων και παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Δείκτη Συνέπειας

AHP-1	CA	Lambda	CI	CI/RI	
0,275	0,90707	10,02752306	0,1284404	0,088579574	
0,199	1,18145		Randomness Index, RI		
0,275	0,90707		3	0,58	1,45
0,067	1,53481		4	0,9	
0,056	1,3753		5	1,12	
0,049	1,3214		6	1,24	
0,031	1,05825		7	1,32	
0,022	0,80635		8	1,41	
0,026	0,93582		9	1,45	

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Στη συνέχεια, παρατίθενται πίνακες (Πίνακας 4.6 – 4.9) που προέκυψαν από την απόδοση διαφορετικών τιμών στις παραμέτρους, αλλά δεν οδήγησαν σε αξιόπιστο αποτέλεσμα, διότι το ποσοστό του δείκτη συνέπειας είναι υψηλό. Σημειώνεται ότι το τελικό αποτέλεσμα της έρευνας μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την τιμή σημαντικότητας που αποδίδεται σε κάθε ζεύγος μεταβλητών. Ωστόσο, στην προκειμένη περίπτωση, οι διαφοροποιήσεις δεν είναι αρκετά μεγάλες ώστε να αλλάξουν αισθητά και σε μεγάλο βαθμό το δείκτη.

Πίνακας 4.6: Δοκιμή 1 Απόδοσης Βαρυτήτων

Pairwise Comparison Matrix									
	Εμπόριο	Κοινωνικές Υποδομές	Μεταφορές	Διοίκηση	Αναψυχή	Κατοικία	Πληθυσμός 15-64	Πληθυσμός 0-14	Πληθυσμός >65
Εμπόριο	1	1/4	1/3	4	4	1/4	1/8	1/8	1/8
Κοινωνικές Υποδομές	4	1	4	5	5	1/4	1/8	1/8	1/8
Μεταφορές	3	1/4	1	3	5	1/3	1/8	1/8	1/8
Διοίκηση	1/4	1/5	1/3	1	2	1/5	1/8	1/8	1/8
Αναψυχή	1/4	1/5	1/5	1/2	1	1/5	1/8	1/8	1/8
Κατοικία	4	4	3	5	5	1	1/8	1/8	1/8
Πληθυσμός 15-64	8	8	8	8	8	8	1	1	1
Πληθυσμός 0-14	8	8	8	8	8	8	1	1	1
Πληθυσμός >65	8	8	8	8	8	8	1	1	1
Σύνολα Σηλών	36,5000	29,9000	32,8667	42,5000	46,0000	26,2333	3,7500	3,7500	3,7500
	Cw (Κανονικοποίηση)								
1	0,027	0,0083	0,0101	0,0941	0,0869	0,0095	0,0333	0,0333	0,0333
2	0,1095	0,0334	0,0127	0,1176	0,1086	0,0095	0,0333	0,0333	0,0333
3	0,0821	0,0083	0,0304	0,0705	0,1086	0,0127	0,0333	0,0333	0,0333
4	0,0068	0,0066	0,0101	0,0235	0,0434	0,0076	0,0333	0,0333	0,0333
5	0,0068	0,0066	0,0060	0,0117	0,0217	0,0076	0,0333	0,0333	0,0333
6	0,1095	0,1337	0,0912	0,1176	0,1086	0,0381	0,0333	0,0333	0,0333
7	0,2191	0,2675	0,2434	0,1882	0,1739	0,3049	0,2666	0,2666	0,2666
8	0,2191	0,2675	0,2434	0,1882	0,1739	0,3049	0,2666	0,2666	0,2666
9	0,2191	0,2675	0,2434	0,1882	0,1739	0,3049	0,2666	0,2666	0,2666

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα Βαρυτήτων και Δείκτης Συνέπειας Δοκιμής 1

	AHP		Consistency check
1	0,037	3,7%	Check your results 21%
2	0,067	6,7%	
3	0,046	4,6%	
4	0,022	2,2%	
5	0,018	1,8%	
6	0,078	7,8%	
7	0,244	24,4%	
8	0,244	24,4%	
9	0,244	24,4%	

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 4.8: Δοκιμή 2 Απόδοσης Βαρυτήτων

Pairwise Comparison Matrix									
	Μεταφορές	Κατοικία	Εμπόριο	Διοίκηση	Αναψυχή	Κοινωνικές Υποδομές	Πληθυσμός 15-64	Πληθυσμός 0-14	Πληθυσμός >65
Μεταφορές	1	1/3	3	4	4	1/3	1/6	1/6	1/6
Κατοικία	3	1	4	5	5	2	1/6	1/6	1/6
Εμπόριο	1/3	1/4	1	2	2	1/4	1/7	1/7	1/7
Διοίκηση	1/4	1/5	1/2	1	2	1/5	1/7	1/7	1/7
Αναψυχή	1/4	1/5	1/2	1/2	1	1/5	1/7	1/7	1/7
Κοινωνικές Υποδομές	3	1/2	4	5	5	1	1/6	1/6	1/6
Πληθυσμός 15-64	6	6	7	7	7	6	1	1	1
Πληθυσμός 0-14	6	6	7	7	7	6	1	1	1
Πληθυσμός >65	6	6	7	7	7	6	1	1	1
Σύνολα Στηλών	25,8333	20,4833	34,0000	38,5000	40,0000	21,9833	3,9286	3,9286	3,9286
	Cw (Κανονικοποίηση)								
1	0,0387	0,0162	0,0882	0,1038	0,1000	0,0151	0,0424	0,0424	0,0424
2	0,1161	0,0488	0,1176	0,1298	0,1250	0,0909	0,0424	0,0424	0,0424
3	0,0129	0,0122	0,0294	0,0519	0,0500	0,0113	0,0363	0,0363	0,0363
4	0,0096	0,0097	0,0147	0,0259	0,0500	0,009	0,0363	0,0363	0,0363
5	0,0096	0,0097	0,0147	0,0129	0,0250	0,009	0,0363	0,0363	0,0363
6	0,1161	0,0244	0,1176	0,1298	0,1250	0,0454	0,0424	0,0424	0,0424
7	0,2322	0,2929	0,2058	0,1818	0,1750	0,2729	0,2545	0,2545	0,2545
8	0,2322	0,2929	0,2058	0,1818	0,1750	0,2729	0,2545	0,2545	0,2545
9	0,2322	0,2929	0,2058	0,1818	0,1750	0,2729	0,2545	0,2545	0,2545

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα Βαρυτήτων και Δείκτης Συνέπειας Δοκιμής 2

	AHP		Consistency check
1	0,054	5,4%	Check your results 13%
2	0,084	8,4%	
3	0,031	3,1%	
4	0,025	2,5%	
5	0,021	2,1%	
6	0,076	7,6%	
7	0,236	23,6%	
8	0,236	23,6%	
9	0,236	23,6%	

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

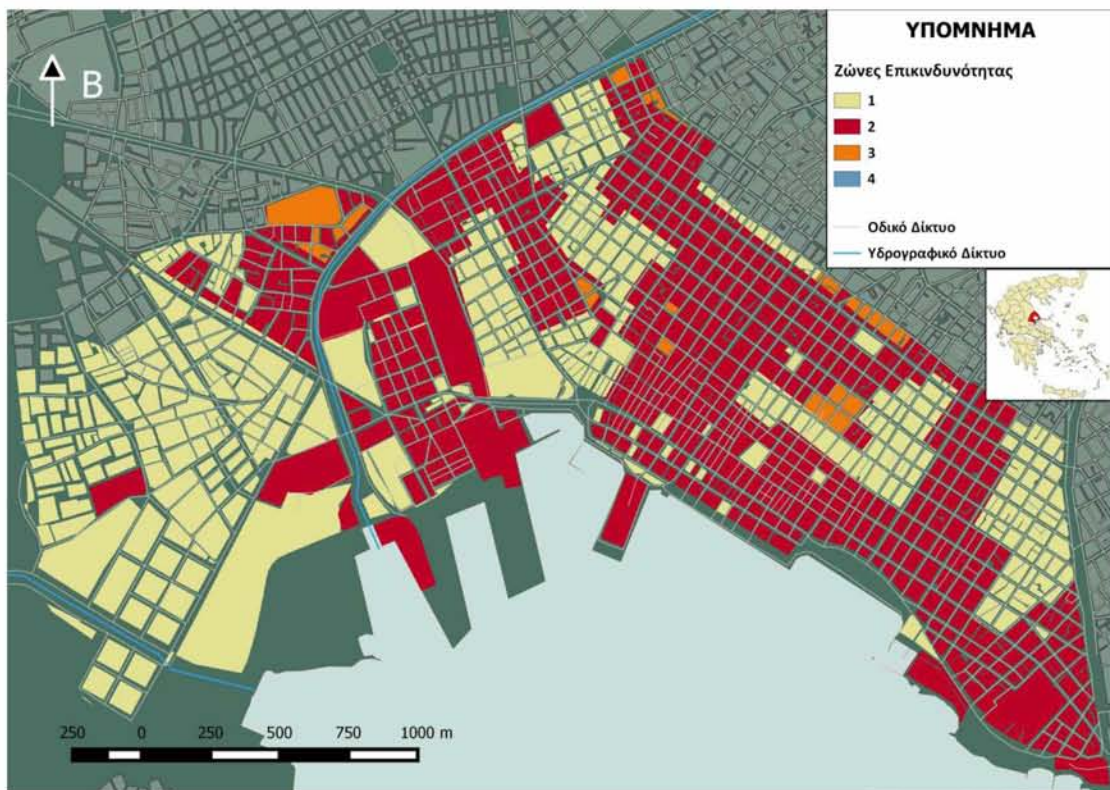
4.3.4. ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Ο Δείκτης για την εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας της περιοχής που μελετάται εντός του αστικού κέντρου του Βόλου, είναι ο εξής:

$$\Delta = \sum_{i=1} \Gamma_i W_i$$

Στο περιβάλλον του ΣΓΠ ArcGIS Pro, με το εργαλείο “Raster Calculator”, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του παραπάνω δείκτη. Οι τιμές που αποδόθηκαν στη μεταβλητή r_i είναι ουσιαστικά τα Raster που δημιουργήθηκαν για κάθε μία από τις 9 παραμέτρους που λήφθηκαν υπ’ όψιν (βλ. Υποενότητα 4.3.2.). Η μεταβλητή w_i αντιπροσωπεύει τις τιμές των βαρυτήτων που έλαβαν οι παράμετροι μέσω της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου. Εφαρμόζοντας, λοιπόν, τον παραπάνω δείκτη, προέκυψε το εξής Raster (Χάρτης 4.12):

Χάρτης 4.12: Εφαρμογή του Δείκτη Εκτίμησης Επικινδυνότητας Περιοχών



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Ο Χάρτης 4.12 αποτελεί τη συνολική αναπαράσταση του βαθμού των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων στην περιοχή που μελετάται. Η τιμή 4 αποδίδεται στις περιοχές που θα είναι πιο ευάλωτες σε ένα πλημμυρικό φαινόμενο. Χαρακτηρίζονται δηλαδή από το μέγιστο βαθμό επικινδυνότητας. Αντιθέτως, οι περιοχές με τιμή 1 παρουσιάζουν τον ελάχιστο βαθμό επικινδυνότητας. Οι τιμές 2 και 3 κυμαίνονται μεταξύ αυτών.

4.3.5. ΣΕΝΑΡΙΑ ΎψΟΥΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Για να μπορεί να γίνει κατανοητή η επίδραση των πλημμύρων, έπαιξε σημαντικό ρόλο και το υψόμετρο. Λήφθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια για το ύψος της πλημμύρας:

1. Το πρώτο σενάριο αφορά ήπιου μεγέθους πλημμυρικό φαινόμενο και προϋποθέτει την αύξηση του ύψους του νερού πλημμύρας έως και ένα (1) μέτρο.
2. Το δεύτερο σενάριο αφορά πλημμυρικό φαινόμενο κατά το οποίο το ύψος του νερού φτάνει τα τρία (3) μέτρα.
3. Τέλος, σύμφωνα με το τρίτο σενάριο, το ύψος του νερού της πλημμύρας φτάνει τα πέντε (5) μέτρα.

Κατά το στάδιο της συλλογής των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία DEM εικόνων μέσω ΣΓΠ, που αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα Copernicus, ώστε να προκύψει το ανάγλυφο της πόλης του Βόλου και της ευρύτερης περιοχής. Εν συνεχεία, με το εργαλείο του ArcGIS Pro, “Extract by Attributes”, δημιουργήθηκε νέο Raster. Κατά τη διαδικασία αυτή, δόθηκε η εντολή να εμφανιστούν 4 τιμές ανά μέτρο για κάθε σενάριο. Εμφανίστηκαν έτσι στοιχεία που περιέχουν τις τιμές αυτές.

Τα Raster αυτά μετατράπηκαν σε πολυγωνική μορφή, ώστε, με την εντολή “Extract by Mask”, να προκύψουν τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια για κάθε ένα από τα σενάρια.

Σενάριο 1

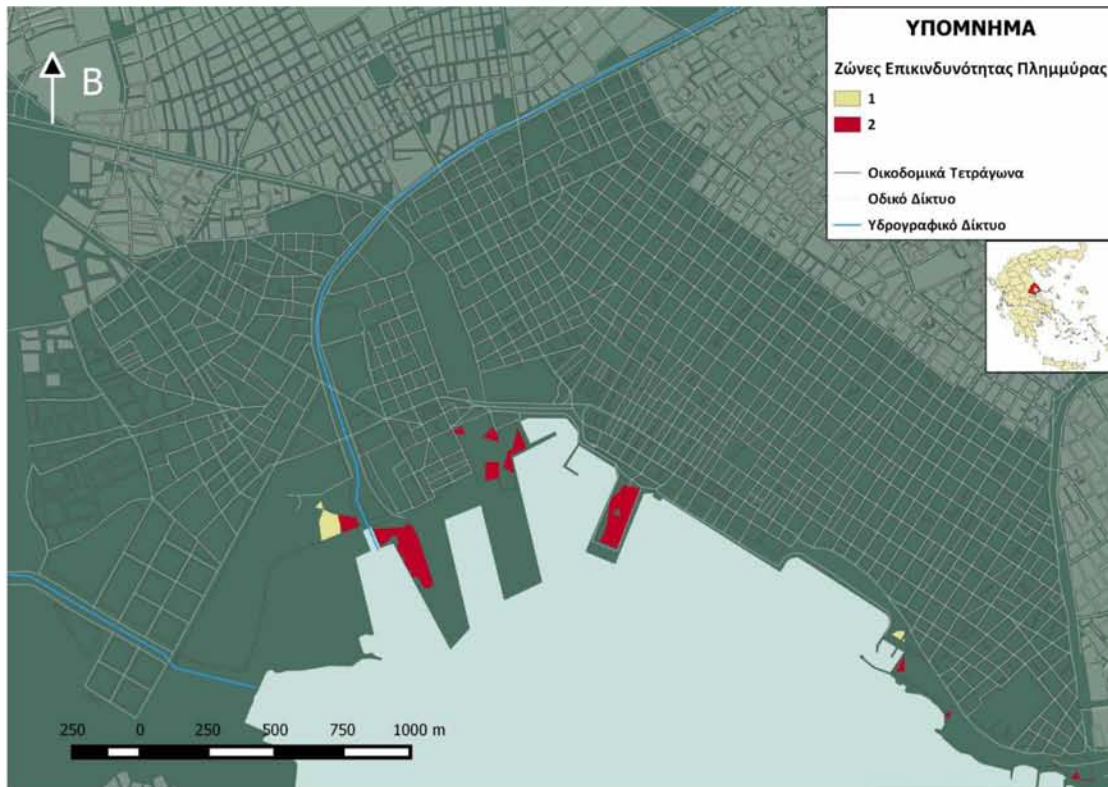
Για το πρώτο σενάριο, προέκυψε ο Χάρτης 4.13, όπου εντοπίζονται οι περιοχές, οι οποίες με βάση τις παραμέτρους που λήφθηκαν υπ’ όψιν και τα βάρη που τους αποδόθηκαν, είναι αυτές που θα έχουν τις πιο έντονες επιπτώσεις κατά την εκδήλωση πλημμυρικού γεγονότος.

Η τιμή 2 αντιπροσωπεύει τις περιοχές για τις οποίες είναι άκρως απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για την προστασία τους από πλημμυρικά φαινόμενα, καθώς κινδυνεύουν περισσότερο από όλες τις υπόλοιπες. Στις περιοχές με την τιμή 1 δίνεται δεύτερη προτεραιότητα αλλά είναι σημαντικό να ληφθούν μέτρα και για αυτές.

Στην περίπτωση του Σεναρίου 1, είναι λίγες οι ζώνες που κινδυνεύουν από τις πλημμύρες. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας και χρήζουν λήψης προληπτικών μέτρων.

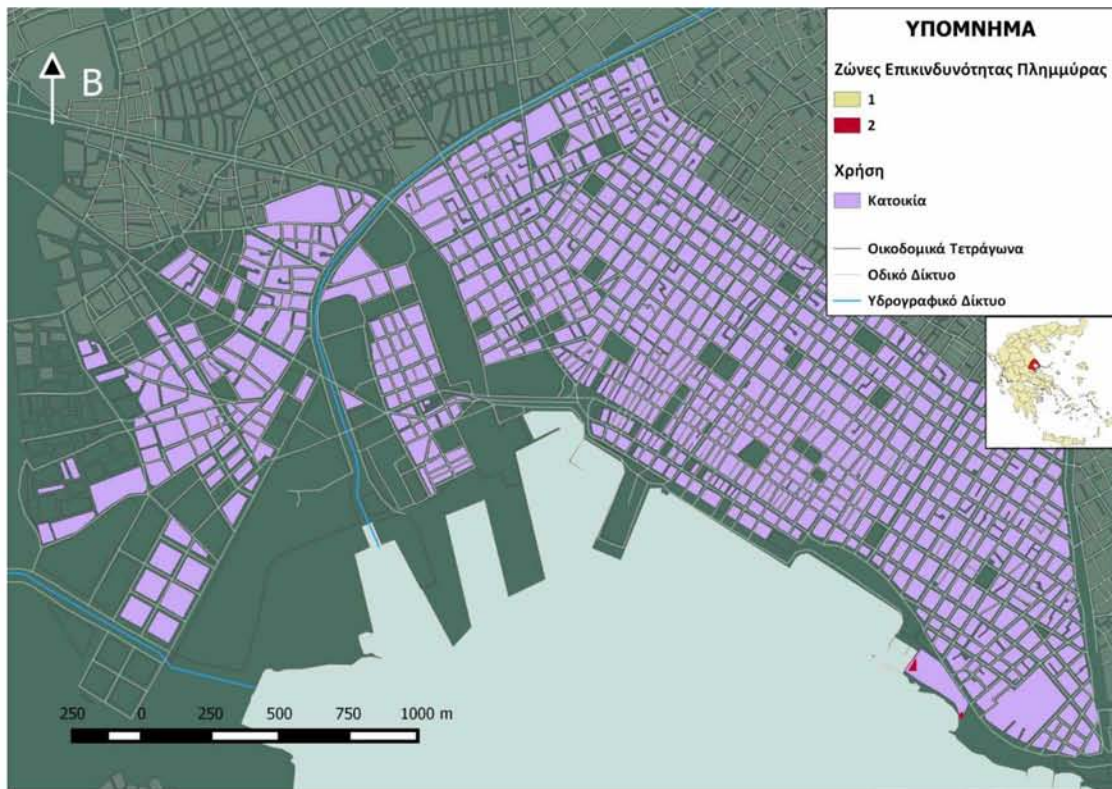
Στη συνέχεια, ακολουθούν χάρτες (Χάρτης 4.14 – 4.18) για το κάθε είδος χρήσης γης που επηρεάζεται από το Σενάριο 1.

Χάρτης 4.13: Περιοχές επικινδυνότητας σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το Σενάριο 1



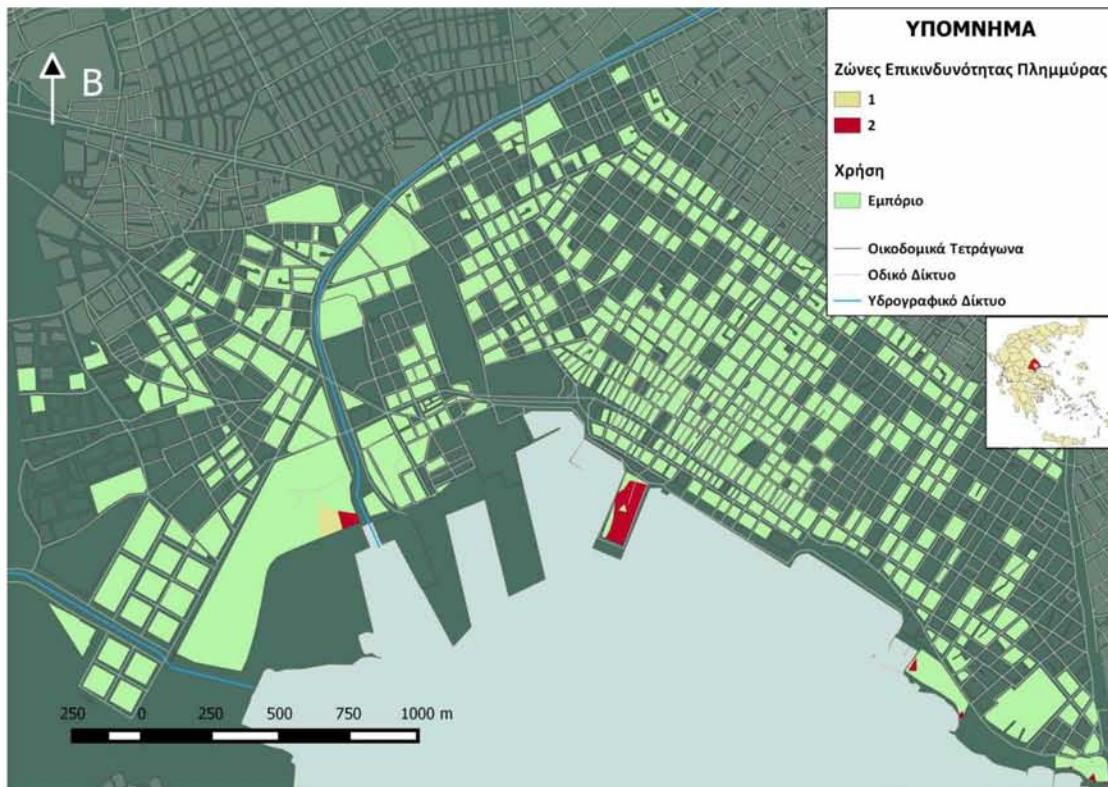
Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Χάρτης 4.14: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις κατοικίες



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

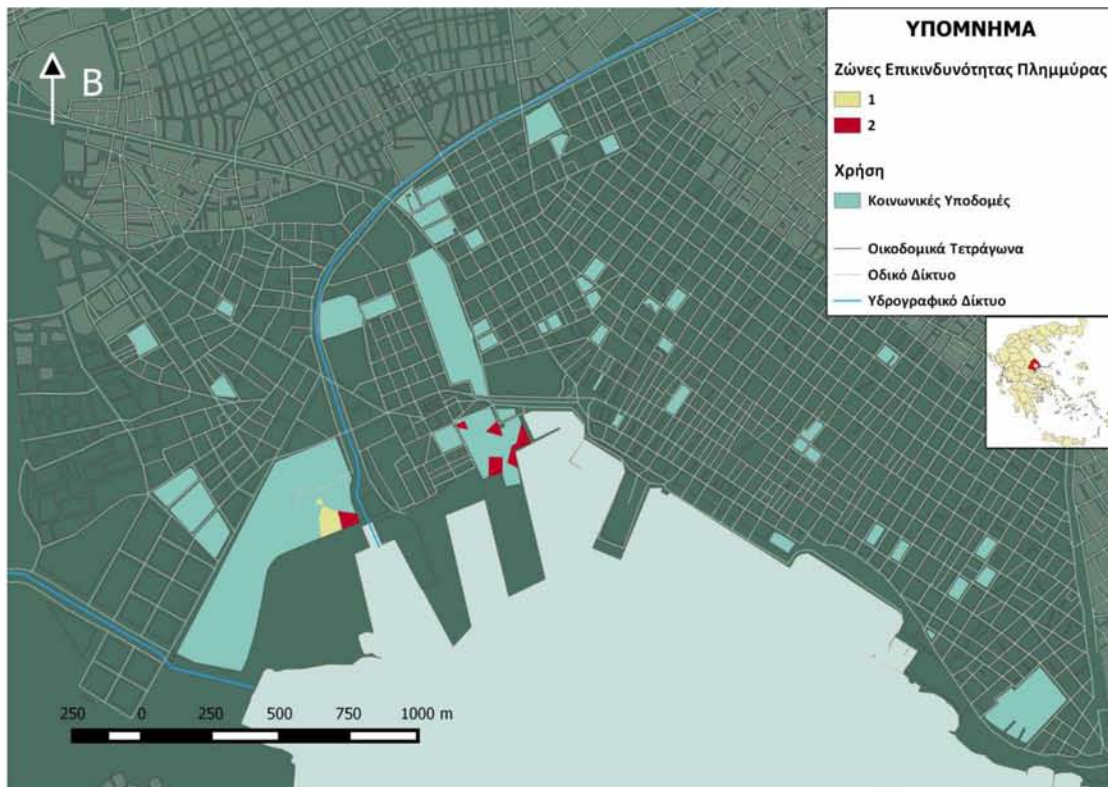
Από το Χάρτη 4.14 προκύπτει ότι τα κτίρια κατοικίας της περιοχής που εξετάζεται, κινδυνεύουν σε αμελητέο βαθμό από τις καταστροφές που θα προκαλέσει ένα πλημμυρικό φαινόμενο του Σεναρίου 1. Πιο συγκεκριμένα, επηρεάζεται μόνο ένα οικοδομικό τετράγωνο κοντά στο Νοσοκομείο της πόλης, από αυτά του συνόλου μελέτης που διαθέτουν τη χρήση αυτή. Ωστόσο, κινδυνεύει σε μεγάλο βαθμό, οπότε είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων προστασίας των κατοίκων και των κτιρίων διαμονής τους.

Χάρτης 4.15: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις εμπορικές δραστηριότητες

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Το ύψος του νερού των πλημμύρων του Σεναρίου 1 θα βλάψει σε μεγαλύτερο βαθμό τις δραστηριότητες του εμπορίου, από ότι τις κατοικίες. Παρόλα αυτά, και σε αυτή την περίπτωση κινδυνεύουν ελάχιστα οικοδομικά τετράγωνα, τα περισσότερα από τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας και χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό, ώστε να προστατευτούν. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα εμπορικά καταστήματα εντός των λιμενικών εγκαταστάσεων του Βόλου και του Πεδίου Άρεως, και ορισμένα από αυτά βρίσκονται κοντά στο Νοσοκομείο.

Χάρτης 4.16: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις κοινωνικές υποδομές



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Το Σενάριο 1 έχει αντίκτυπο σε τμήμα του οικοδομικού τετραγώνου, στο οποίο χωροθετούνται οι Πολυτεχνικές Σχολές. Το ίδιο συμβαίνει και για ορισμένες άλλες κοινωνικές υπηρεσίες, όπως είναι το Τελωνείο του Βόλου. Παρόλα αυτά, επηρεάζονται μόνο τμήματα των οικοδομικών αυτών τετραγώνων και ίσως να μην κινδυνεύουν οι παραπάνω εγκαταστάσεις, αλλά παραμένει απαραίτητο το να ληφθούν υπ' όψιν ως προς προστασία.

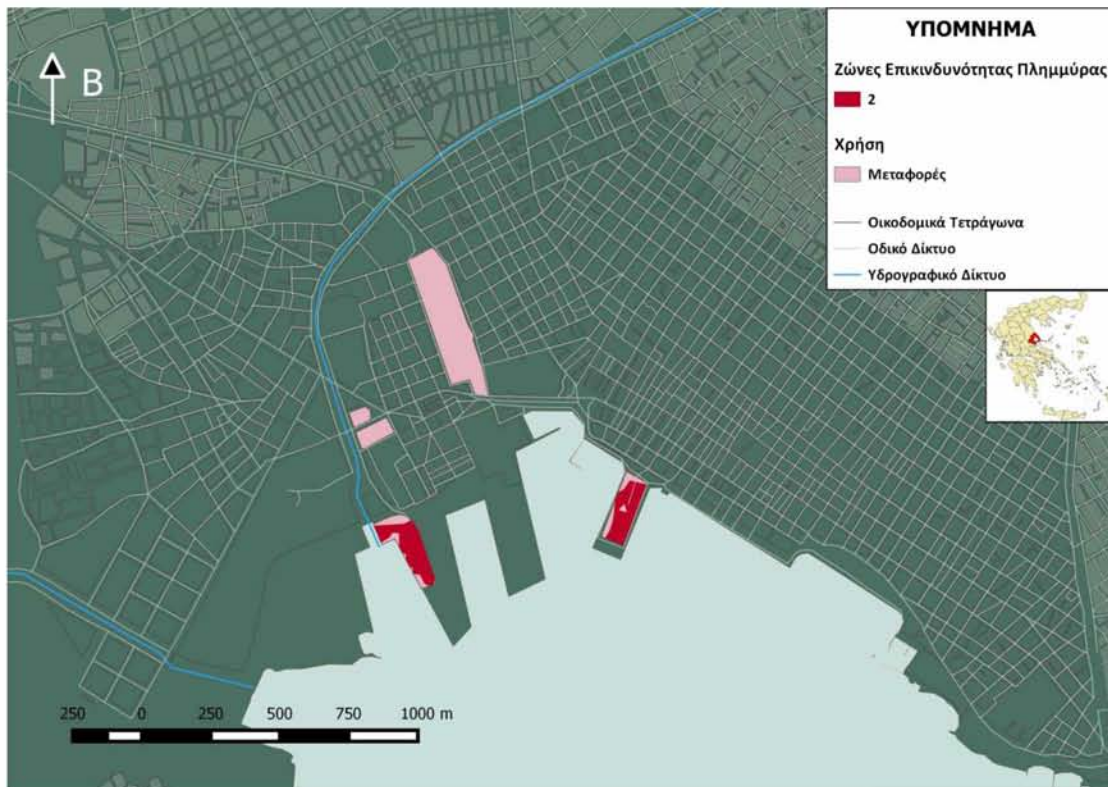
Χάρτης 4.17: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις δραστηριότητες αναψυχής



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Ως προς τις δραστηριότητες και τους χώρους αναψυχής, παρατηρείται πως οι πλημμύρες του Σεναρίου 1 θα πλήξουν τέσσερα (4) οικοδομικά τετράγωνα. Από αυτά, τα περισσότερα περιλαμβάνουν χώρους πρασίνου, πάρκα, παιδικές χαρές και ένα από αυτά, τον Όμιλο Κωπηλασίας του Βόλου. Στις περιοχές αυτές επικρατούν σχεδόν στο ίδιο ποσοστό και οι δύο βαθμοί επικινδυνότητας, οπότε οποιαδήποτε μέτρα πρόληψης ή/και προστασίας θα ληφθούν με βάση αυτούς.

Χάρτης 4.18: Επιπτώσεις του Σεναρίου 1 στις μεταφορές



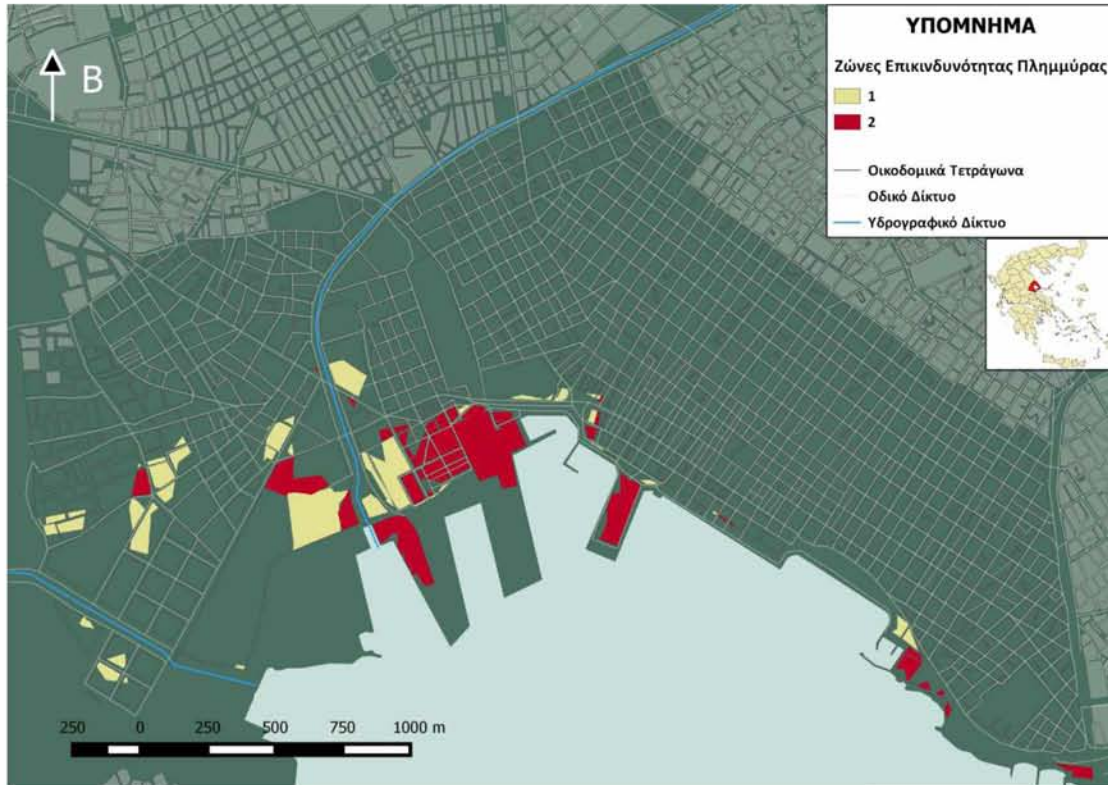
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Με το ύψος του νερού μιας πλημμύρας να φτάνει το 1 μέτρο, επηρεάζεται ένα μεγάλο ποσοστό των εγκαταστάσεων που εξυπηρετούν τις μεταφορές. Πιο συγκεκριμένα, πλήττεται το μεγαλύτερο τμήμα των λιμενικών εγκαταστάσεων, που εξυπηρετούν μεταφορές επιβατών αλλά και εμπορευμάτων. Είναι πιθανό οι επιπτώσεις της πλημμύρας να είναι δυσμενείς στα λιμάνια αυτά και λόγω της σημασίας του ρόλου τους, είναι κρίσιμο να αναλογιστούν ως προς πρόληψη.

Σενάριο 2

Όπως προκύπτει από τον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 4.19), οι επιπτώσεις ενός πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το 2^ο Σενάριο, θα είναι αρκετά εντονότερες σε σχέση με αυτές του 1^{ου}. Και σε αυτή την περίπτωση, για τις ζώνες που λαμβάνουν την τιμή 1, είναι σημαντικό να ληφθούν αποφάσεις και να εφαρμοστούν μέτρα για την προστασία τους. Για αυτές με την τιμή 2, είναι αναγκαίο.

Χάρτης 4.19: Περιοχές επικινδυνότητας σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το Σενάριο 2

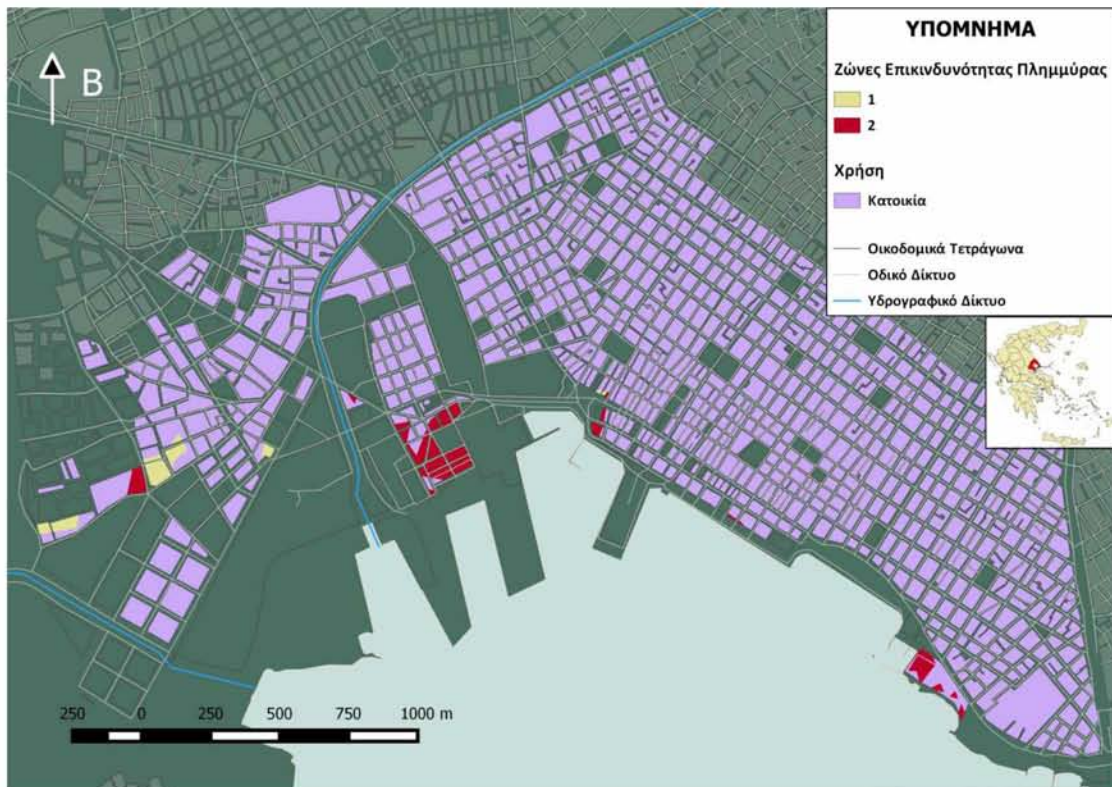


Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Με τα νερά πλημμυρικού φαινομένου να φτάνουν τα 3 μέτρα, παρατηρείται πως οι περιοχές που θα κινδυνεύουν θα είναι σαφώς περισσότερες. Παρόλα αυτά, σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, υπάρχει σχετική αναλογία των βαθμών επικινδυνότητας. Οι επιπτώσεις στο παρόν Σενάριο, δεν παρατηρούνται αποκλειστικά στην παραθαλάσσια περιοχή, αλλά και σε άλλα τμήματα του πολεοδομικού ιστού. Αυτό συμβαίνει λόγω της υψομετρικής διαφοράς που υπάρχει στα διάφορα τμήματα της πόλης και που έχει συμπεριληφθεί για τον υπολογισμό των βαθμών επικινδυνότητας.

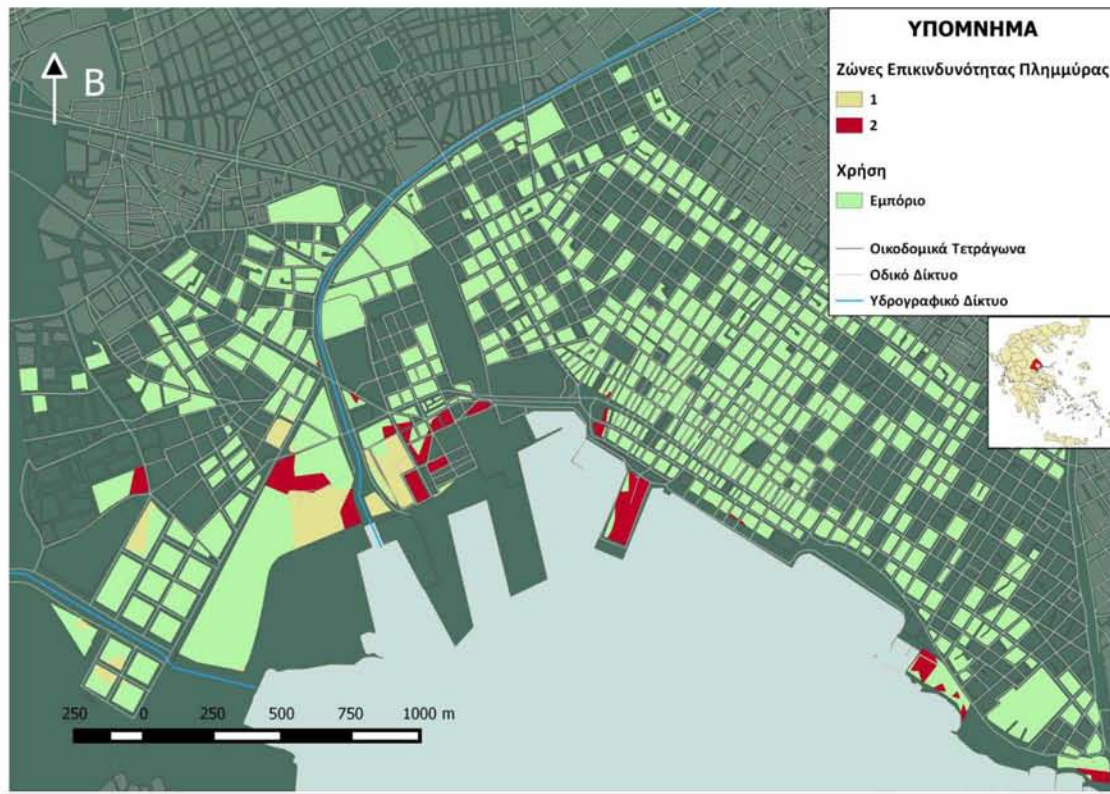
Στη συνέχεια παρατίθενται χάρτες (Χάρτης 4.20 - 4.25) για κάθε είδος χρήσης γης που επηρεάζεται από το Σενάριο 2.

Χάρτης 4.20: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις κατοικίες



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

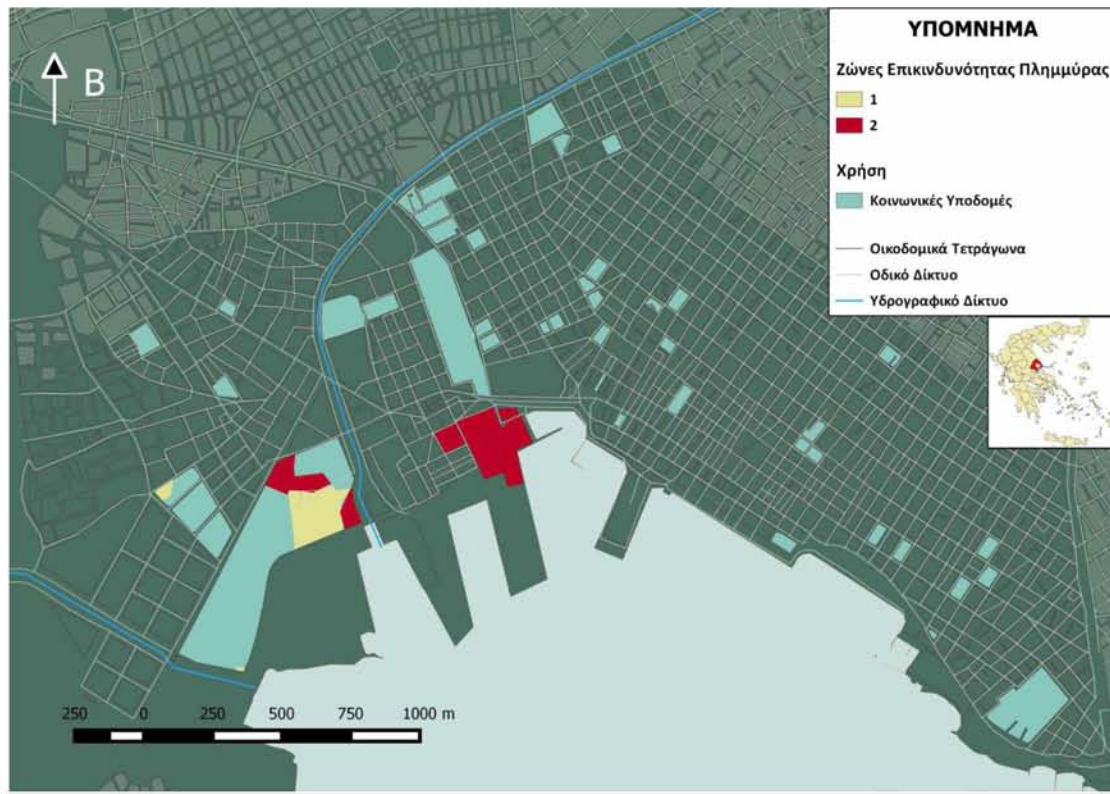
Το Σενάριο 2 έχει έντονες επιπτώσεις στις περιοχές κατοικίας που πλήττει. Ο βαθμός επικινδυνότητας στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μεγάλος. Ορισμένα οικοδομικά τετράγωνα πλήττονται εξ' ολοκλήρου. Σε μεγαλύτερη συγκέντρωση και βαθμό κινδυνεύουν ορισμένες κατοικίες που βρίσκονται στην περιοχή της Νεαπόλεως. Ακολουθούν διάσπαρτα οικοδομικά τετράγωνα με κατοικίες κοντά στο Δημαρχείο της πόλης και αυτό στο οποίο βρίσκεται το Ξενοδοχείο «Ξενία». Από μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας χαρακτηρίζονται ορισμένα οικοδομικά τετράγωνα στην περιοχή των Παλαιών.

Χάρτης 4.21: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις εμπορικές δραστηριότητες

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Οι επιπτώσεις που έχουν τα 3 μέτρα νερού πλημμύρας σε εμπορικές δραστηριότητες είναι σχεδόν εξίσου έντονες και λιγότερο έντονες. Περισσότερο έντονες είναι στην περιοχή του επιβατικού Λιμανιού της πόλης, σε δύο (2) οικοδομικά τετράγωνα κοντά στο Νοσοκομείο, σε διάσπαρτα ΟΤ που βρίσκονται κοντά στο Δημαρχείο και σε ελάχιστα στην περιοχή της Νεαπόλεως. Ηπιότερες είναι σε ΟΤ στην περιοχή των Παλαιών και σε αυτό των Πολυτεχνικών Σχολών.

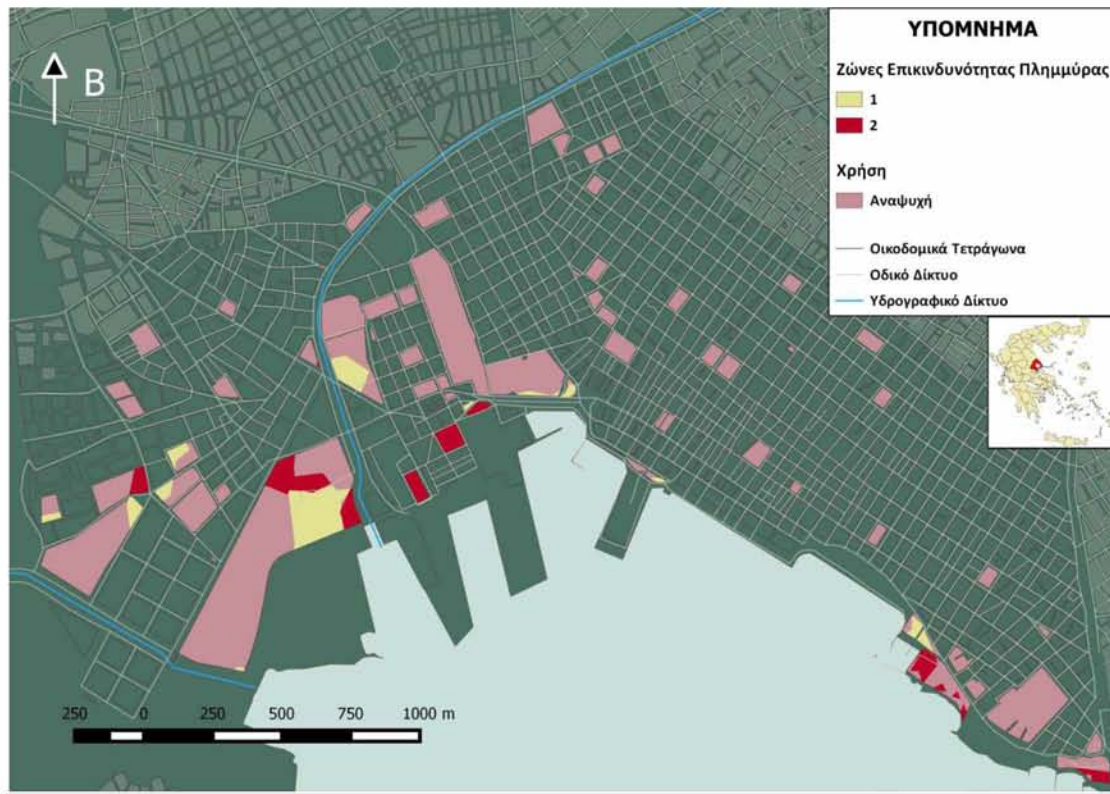
Χάρτης 4.22: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις κοινωνικές υποδομές



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Οι κοινωνικές υποδομές που απειλούνται από το Σενάριο 2, είναι σχολεία, τα περισσότερα από τα οποία εμφανίζουν έντονο βαθμό επικινδυνότητας. Ακόμα, συμπεριλαμβάνεται και το ΟΤ που περιέχει τις Πολυτεχνικές Σχολές, στα τμήματα του οποίου, ο βαθμός επικινδυνότητας διαφέρει. Είναι κρίσιμη η πρόληψη ώστε να προστατεύονται κυρίως τα άτομα που παρευρίσκονται στις περιοχές αυτές.

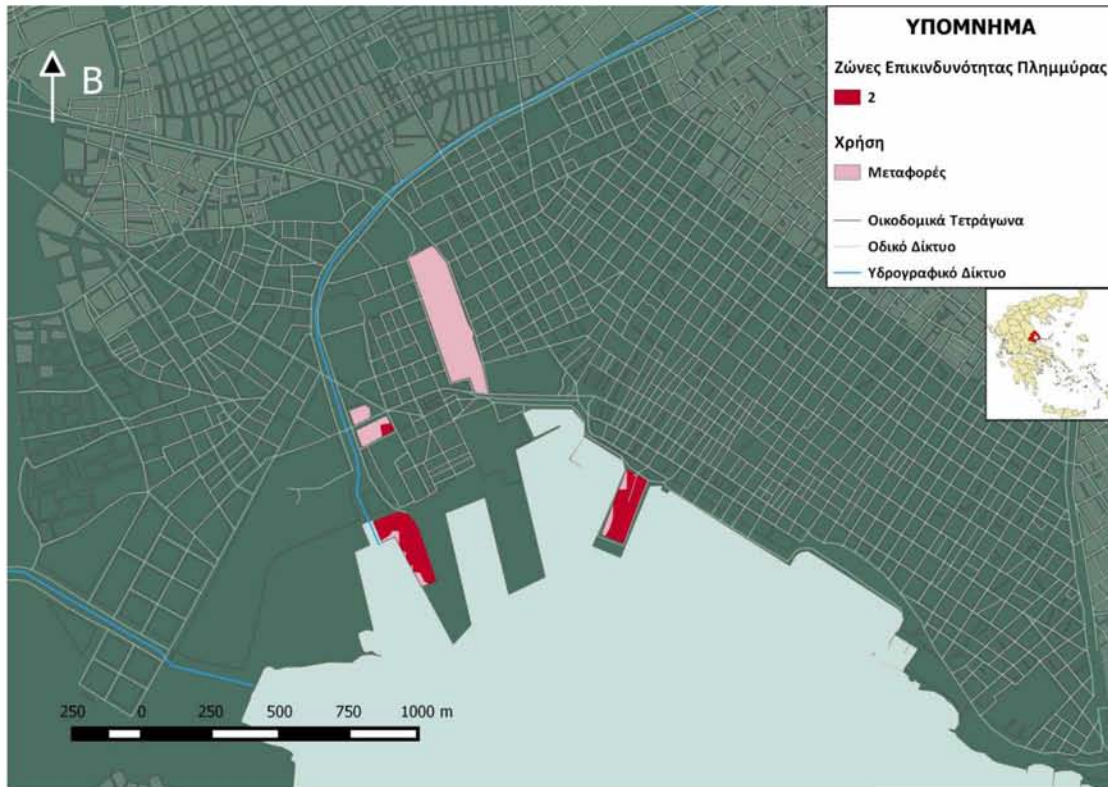
Χάρτης 4.23: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις δραστηριότητες αναψυχής



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Αρκετές περιοχές δραστηριοτήτων και χώρων αναψυχής φαίνεται να κινδυνεύουν από τις επιπτώσεις του Σεναρίου 1. Από αυτές, οι περισσότερες είναι χώροι πρασίνου, πάρκα, παιδικές χαρές και λιγότερες αυτές που χρησιμοποιούνται ως χώροι αθλητικών δραστηριοτήτων. Ο βαθμός επικινδυνότητας από πλημμυρικό φαινόμενο ποικίλει και συνεπώς οι αποφάσεις που θα ληφθούν για τα ΟΤ σχετίζονται με αυτόν.

Χάρτης 4.24: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στις μεταφορές



Πηγή: *Ίδια επεξεργασία.*

Όπως και στο Σενάριο 1, και σε αυτή την περίπτωση, επηρεάζεται μεγάλο μέρος των ΟΤ που εξυπηρετούν τις μεταφορές. Πέρα όμως από το επιβατικό και εμπορικό Λιμάνι της πόλης, κινδυνεύει σε μεγάλο βαθμό και τμήμα των Υπεραστικών ΚΤΕΛ Βόλου. Επικρατεί καθ' αποκλειστικότητα ο εντονότερος βαθμός επικινδυνότητας και είναι ιδιαίτερα σημαντική η προστασία των μεταφορών.

Χάρτης 4.25: Επιπτώσεις του Σεναρίου 2 στα κτίρια διοίκησης

Πηγή: Ίδια επεξεργασία.

Όπως απεικονίζει ο Χάρτης 4.25, η επίπτωση του Σεναρίου 2 στα κτίρια Διοίκησης είναι αρκετά μικρής έκτασης και σημασίας. Προσβάλλεται μόνο ένα μικρό τμήμα του ΟΤ στο οποίο χωροθετείται το Δημαρχείο της πόλης.

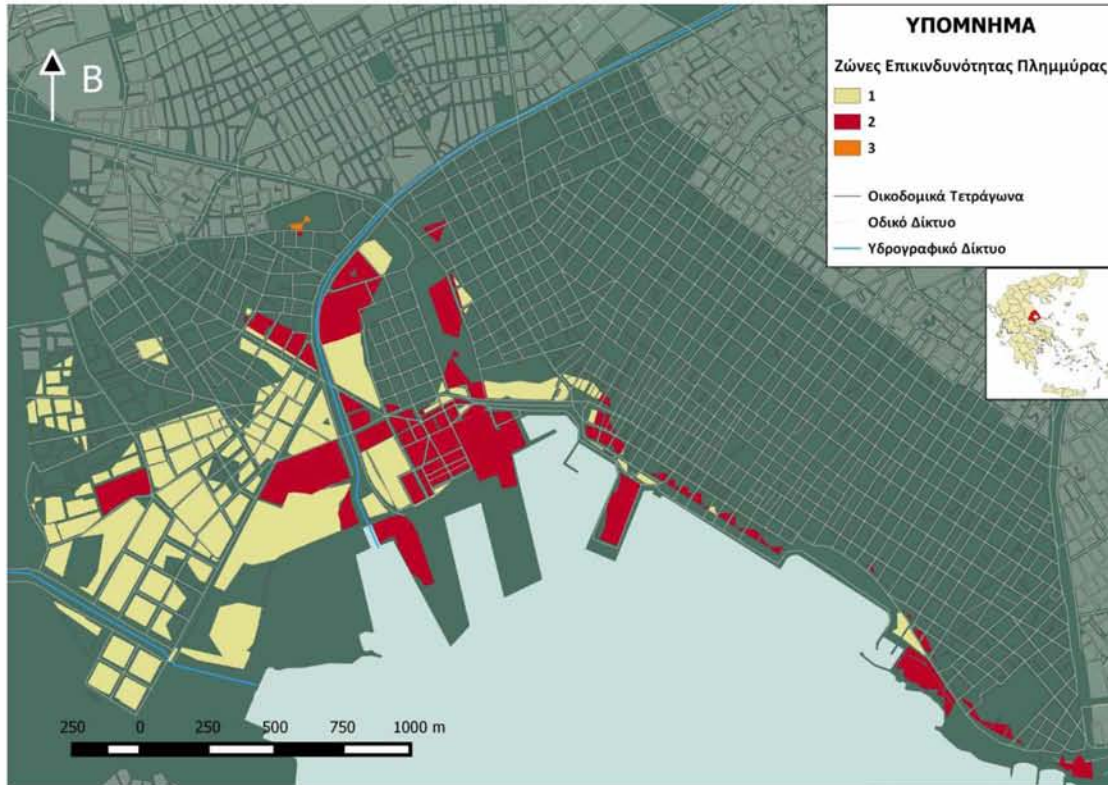
Σενάριο 3

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το ύψος της πλημμύρας σύμφωνα με το Σενάριο αυτό είναι το μεγαλύτερο, σημαίνει ότι φέρει τις εντονότερες συνέπειες. Στην περίπτωση αυτή, εμφανίζονται 3 διαφορετικές ζώνες ανάλογα με το μέγεθος των επιπτώσεων αυτών. Σε αυτές με την τιμή 1 οι επιπτώσεις είναι πιο ήπιες αλλά και πάλι σημαντικές, σε αυτές με την τιμή 2 είναι εντονότερες, ενώ οι υπόλοιπες περιοχές, είναι κρίσιμο να προφυλαχτούν.

Όπως είναι λογικό, η έκταση των επιπτώσεων είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σύγκριση με τα προηγούμενα Σενάρια. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ΟΤ χαρακτηρίζεται από μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας. Οι περιοχές που φαίνεται να αντιμετωπίζουν το

μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η περιοχή των Παλαιών, της Νεαπόλεως, αυτή κοντά στο Νοσοκομείο και αυτή κοντά στο Λιμάνι και το Δημαρχείο του Βόλου (Χάρτης 4.26).

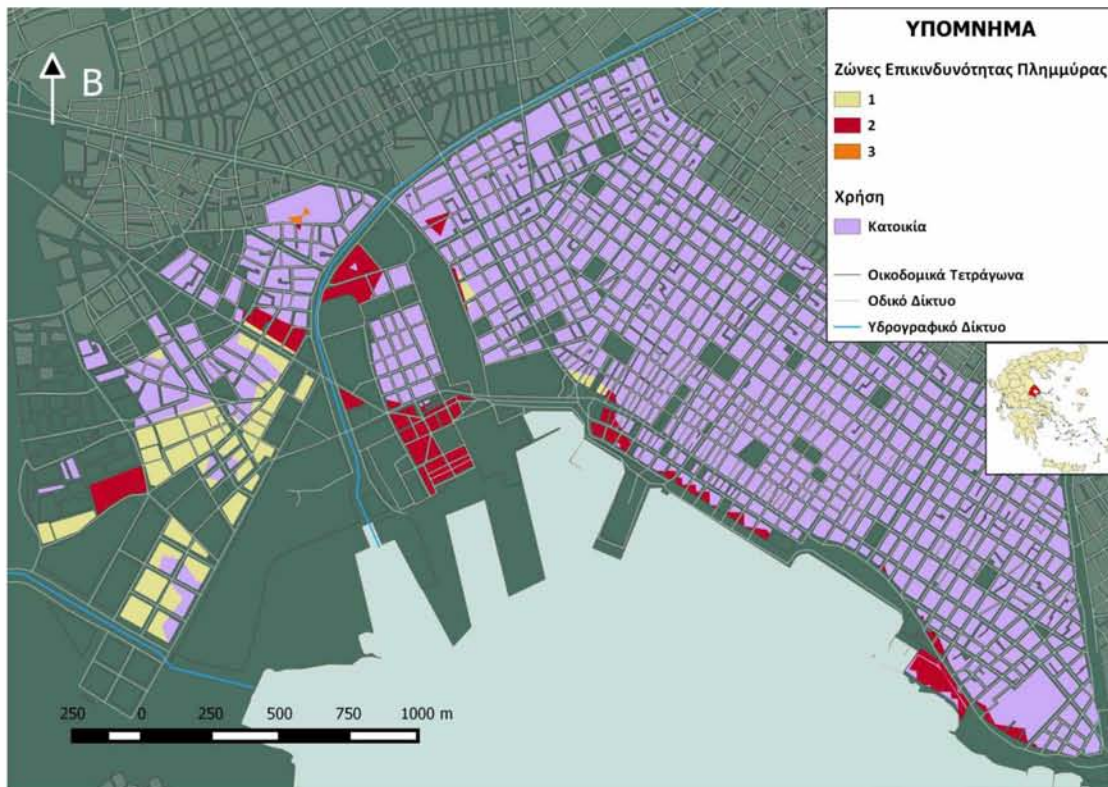
Χάρτης 4.26: Περιοχές επικινδυνότητας σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το Σενάριο 3



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Έπειτα, παρατίθενται χάρτες (Χάρτης 4.27 - 2.31) για κάθε είδος χρήσης γης που επηρεάζεται από το Σενάριο 3.

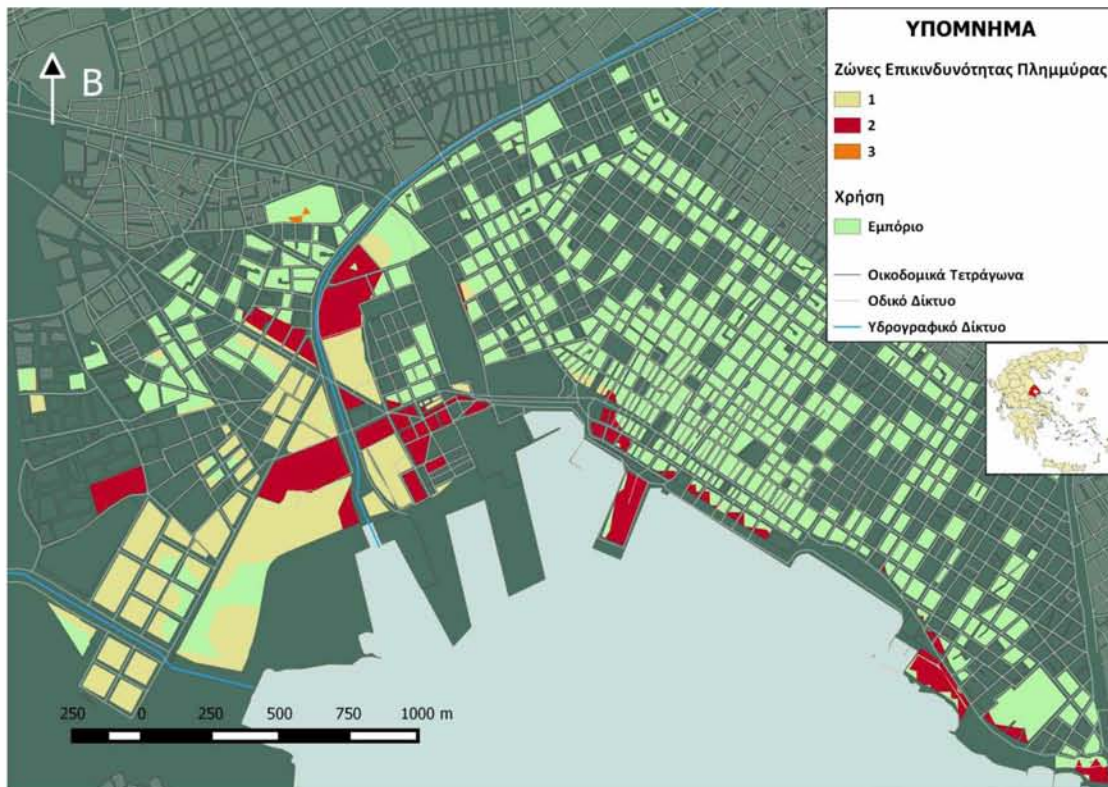
Χάρτης 4.27: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις κατοικίες



Πηγή: *Ίδια επεξεργασία*

Ένα σημαντικό ποσοστό των κατοικιών δέχονται τις επιπτώσεις του τελευταίου Σεναρίου. Εντονότερες παρουσιάζονται σε ένα οικοδομικό τετράγωνο στους Άγιους Ανάργυρους. Μεσαίου βαθμού είναι στις περιοχές της Νεαπόλεως και του Νοσοκομείου και κατά μήκος της οδού «Ιάσωνος» κοντά στο Λιμάνι της πόλης. Πιο ήπιου βαθμού είναι στην περιοχή των Παλαιών. Ανάλογα με το βαθμό προτεραιότητας, καθίσταται εξαιρετικής σημασίας η λήψη αποφάσεων λαμβάνοντας υπ' όψιν την πιθανότητα να συμβεί ένα πλημμυρικό φαινόμενο τέτοιας έκτασης.

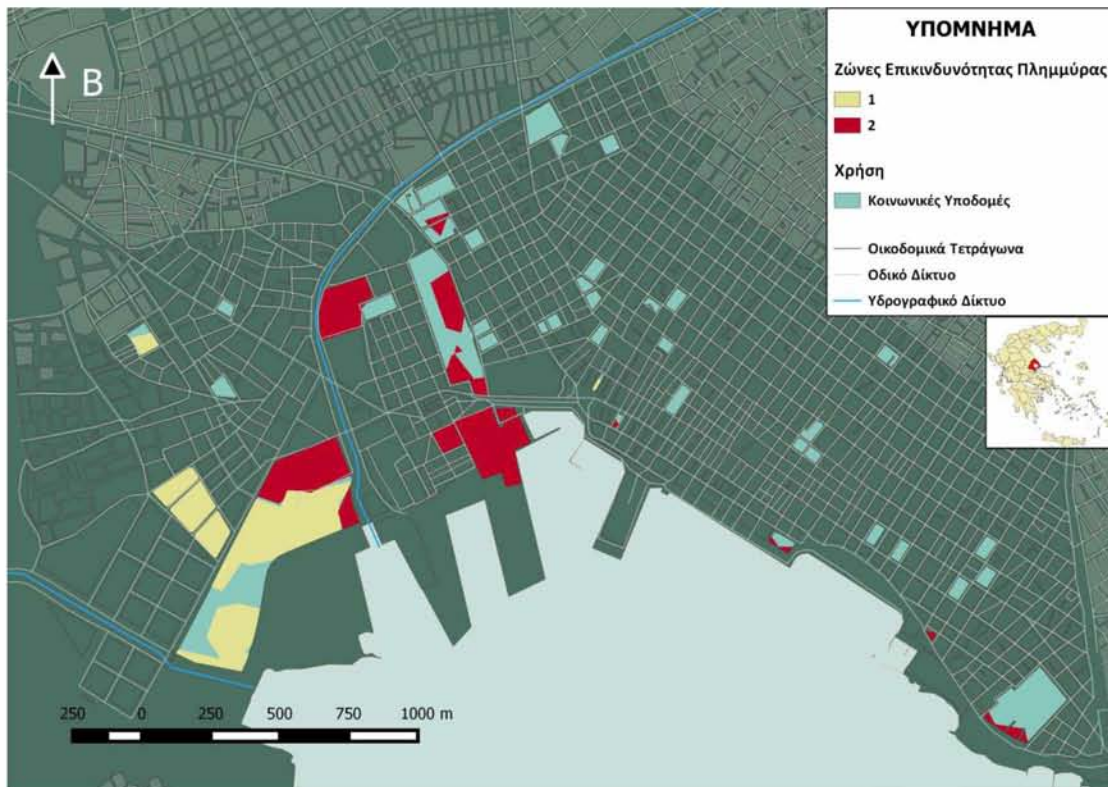
Χάρτης 4.28: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις εμπορικές δραστηριότητες



Πηγή: *Ίδια επεξεργασία*

Πολλές από τις εμπορικές δραστηριότητες θα προσβληθούν από πλημμυρικό φαινόμενο των 5 μέτρων. Οι περισσότερες από αυτές, ωστόσο, παρουσιάζουν ηπιότερο βαθμό επικινδυνότητας και βρίσκονται στην περιοχή των Παλαιών. Αυτές του μεσαίου βαθμού βρίσκονται στις περιοχές κοντά στο Νοσοκομείο, στο Λιμάνι και στο Σιδηροδρομικό Σταθμό. Μόνο σε ένα ΟΤ θα είναι εντονότερες και θα πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα για την προστασία του.

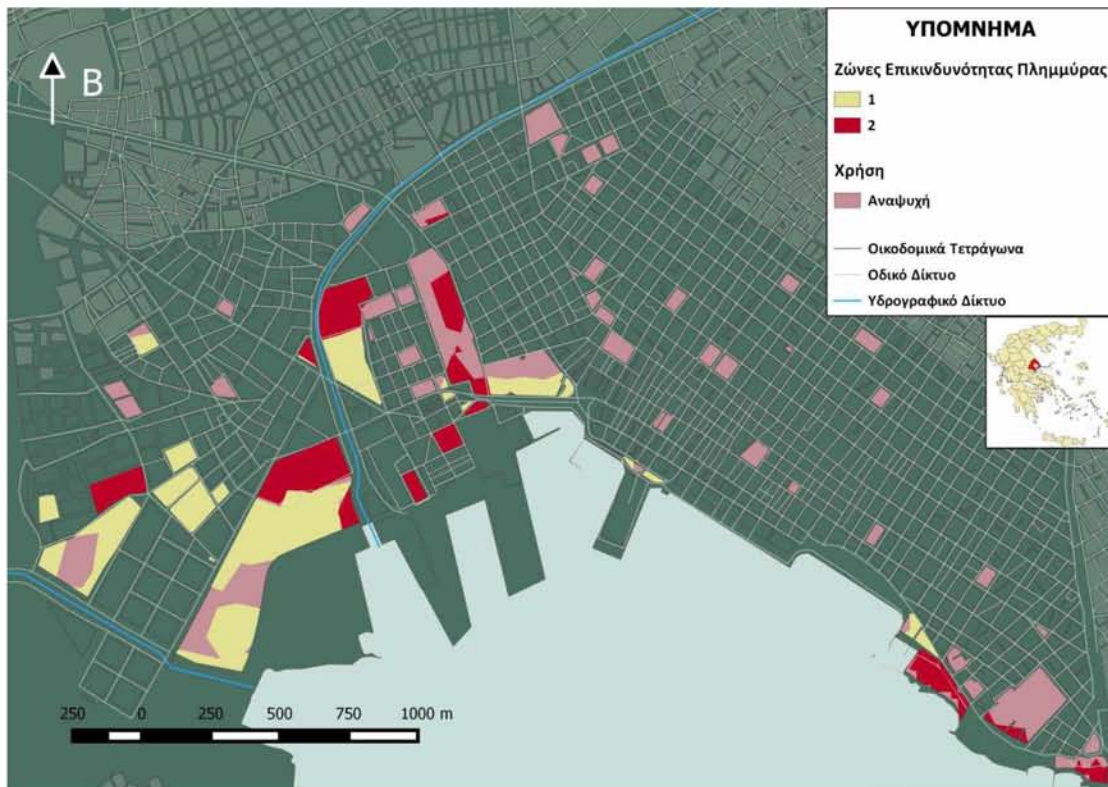
Χάρτης 4.29: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις κοινωνικές υποδομές



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Οι επιπτώσεις πλημμυρικού φαινομένου σύμφωνα με το τελευταίο Σενάριο, θα είναι αρκετά έντονες για πολλές από τις κοινωνικές υποδομές της πόλης. Πέρα από αυτές που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα Σενάρια, πλήττονται και άλλες. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι τμήματα των ΟΤ στα οποία χωροθετούνται το Νοσοκομείο, ο Σιδηροδρομικός Σταθμός, το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σχολεία και νηπιαγωγεία. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο βαθμός επικινδυνότητας είναι μέτριου βαθμού, ενώ ηπιότερος εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό στην περιοχή των Παλαιών.

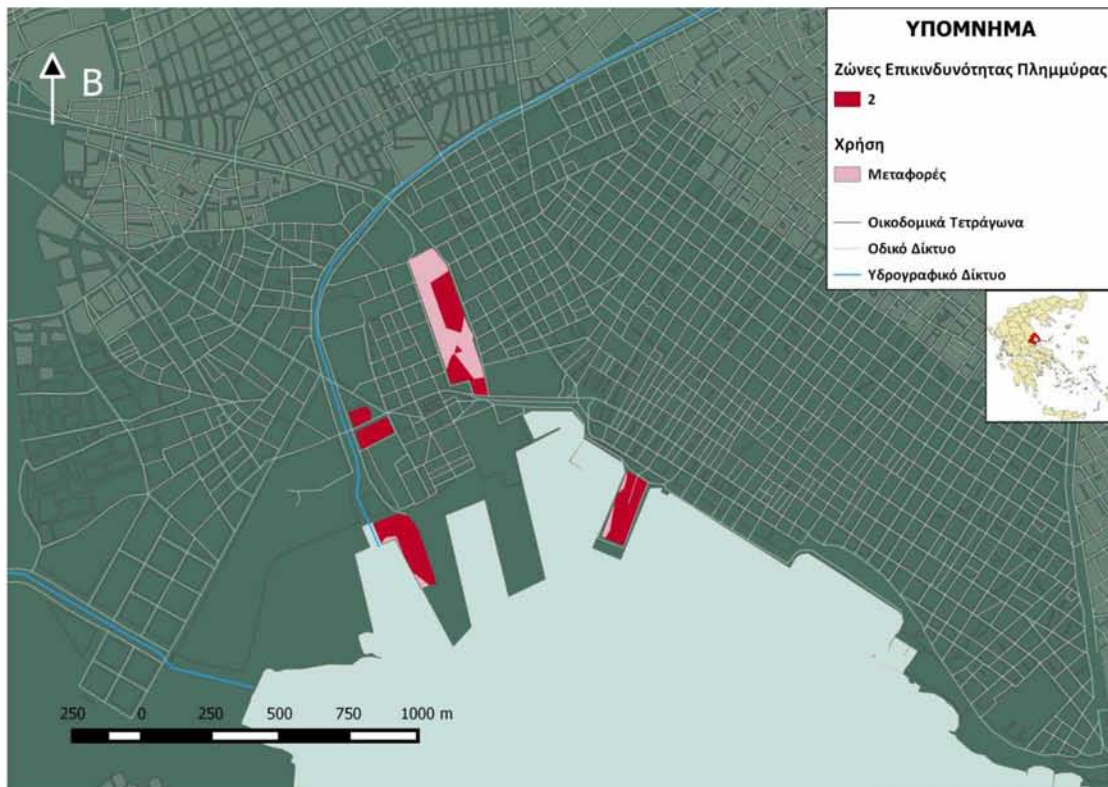
Χάρτης 4.30: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις δραστηριότητες αναψυχής



Πηγή: *Ίδια επεξεργασία*

Αρκετές είναι οι περιοχές που πλήττονται από το Σενάριο 3 και χρησιμοποιούνται ως χώροι αναψυχής. Τέτοιες είναι περιοχές πρασίνου, πάρκα, παιδικές χαρές και ορισμένοι χώροι αθλητικών δραστηριοτήτων. Μετρίου μεγέθους επικινδυνότητα χαρακτηρίζει τα ΟΤ του Σιδηροδρομικού Σταθμού, των ΚΤΕΛ, των Πολυτεχνικών σχολών, του Νοσοκομείου και της γύρω περιοχής. Για τις υπόλοιπες περιοχές που προσβάλλονται, προτείνεται η λήψη μέτρων να τεθεί σε μικρότερη προτεραιότητα, καθώς οι συνέπειες είναι ηπιότερου βαθμού.

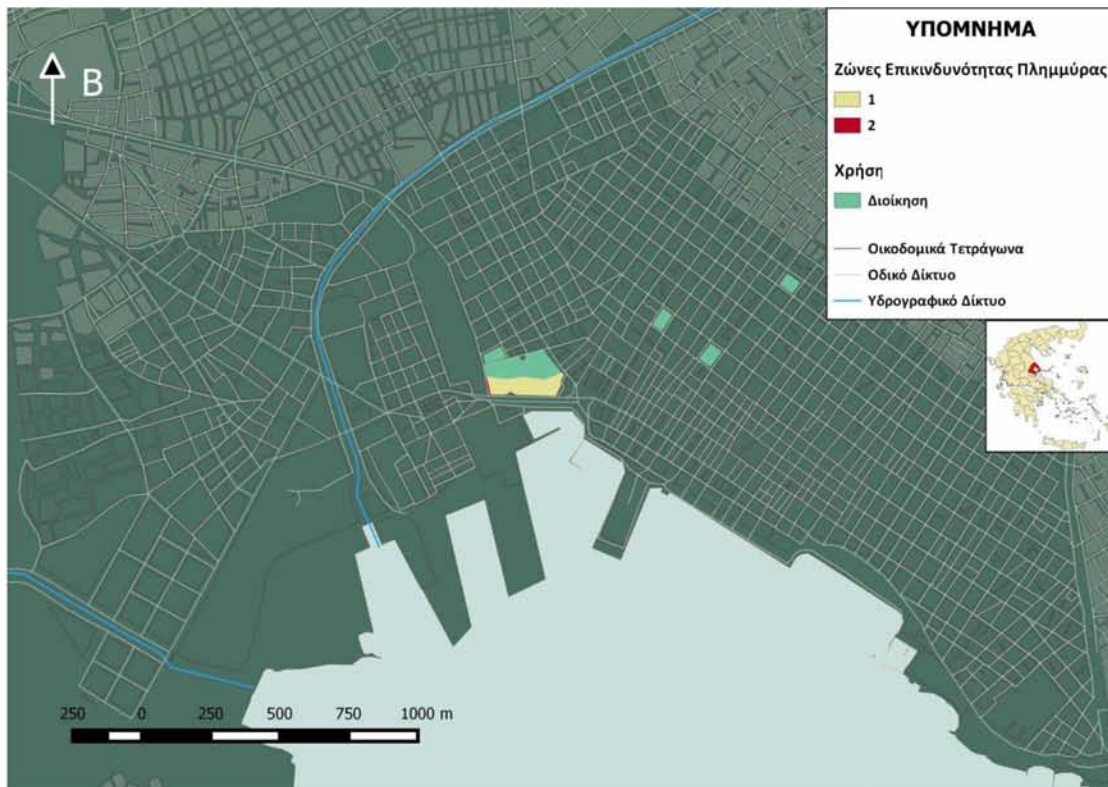
Χάρτης 4.31: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στις μεταφορές



Πηγή: *Ίδια επεξεργασία*

Στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται ότι το 3ο Σενάριο επηρεάζει όλους τους σταθμούς μεταφορών. Εκτός από τα Λιμάνια και τον Σταθμό των Λεωφορείων ΚΤΕΛ του Βόλου, οι επιπτώσεις είναι φανερές και στο Σταθμό Αστικών ΚΤΕΛ και στο Σιδηροδρομικό Σταθμό. Επίσης, σε όλες τις παραπάνω περιοχές υπάρχει μέτριος βαθμός επικινδυνότητας, πράγμα το οποίο προϋποθέτει άμεση δραστηριοποίηση για την πρόληψή τους.

Χάρτης 4.32: Επιπτώσεις του Σεναρίου 3 στα κτίρια διοίκησης



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Όπως και στο προηγούμενο Σενάριο, και σε αυτή την περίπτωση οι επιπτώσεις στα κτίρια Διοίκησης θα είναι ήπιου βαθμού και μικρής σχετικά έκτασης. Πλήττεται τμήμα του ΟΤ του Δημαρχείου της πόλης και ο βαθμός επικινδυνότητας είναι μεγαλύτερος μόνο σε ένα μικρό μέρος αυτού.

Από τα παραπάνω σενάρια, επιβεβαιώνεται το λογικό συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος της πλημμύρας, τόσο πιο έντονες και ζημιογόνες θα είναι οι επιπτώσεις της.

Σημειώνεται για άλλη μια φορά ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν, είναι απόρροια του συνδυασμού του μεγέθους της πλημμύρας σύμφωνα με το κάθε σενάριο και του βαθμού σημαντικότητας που έχει αποδοθεί σε κάθε παράμετρο που συμπεριλήφθηκε στο Δείκτη για την Εκτίμηση της Επικινδυνότητας. Για παράδειγμα, στο Χάρτη 4.26, οι περιοχές με το μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας, βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από τη θάλασσα. Αυτό συμβαίνει διότι δε λήφθηκε υπ' όψιν η απόσταση αυτή. Ο λόγος για τον οποίο η εν λόγω περιοχή περιλαμβάνει την τιμή 3, είναι διότι το ποσοστό των παιδιών (0-14 ετών), των ηλικιωμένων και του υπόλοιπου πληθυσμού,

καθώς και αυτό των κατοικιών (παράμετροι με το μεγαλύτερο βαθμό σημαντικότητας), είναι αρκετά μεγάλο.

4.4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

Στην προκειμένη περίπτωση, ως περαιτέρω πληροφορία για την εξαγωγή τρισδιάστατου οπτικοποιημένου υλικού, λήφθηκε υπ' όψιν ο μέσος όρος του ύψους των κτιρίων των υπό μελέτη οικοδομικών τετραγώνων. Τα δεδομένα ύψους συλλέχθηκαν για κάθε κτίριο ανάλογα με τους ορόφους του μέσω του Google Street View και με τη βοήθεια του Excel υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι ύψους κάθε οικοδομικού τετραγώνου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε κυρίως για τα οικοδομικά τετράγωνα που έχουν χαρακτηριστεί από επικινδυνότητα από πλημμύρα, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως.

Για κάθε ένα από τα Σενάρια, χρωματίστηκαν τα οικοδομικά τετράγωνα, ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας τους ως προς κάποιο πλημμυρικό γεγονός. Στην τρισδιάστατη αναπαράσταση, συμπεριλήφθηκαν επίσης και τα οικοδομικά τετράγωνα τα οποία δεν κινδυνεύουν από κανένα από τα τρία σενάρια και διαφορετικού είδους στοιχεία, όπως για παράδειγμα το υδρογραφικό δίκτυο, δέντρα κλπ. Για να προκύψει αυτό, οι δυαδικές τιμές των raster που αποδίδουν σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο το βαθμό επικινδυνότητάς του, ενσωματώθηκαν στο πολυγωνικό shapefile των οικοδομικών τετραγώνων, με την εντολή “Spatial Join”.

Σημειώνεται ότι οι τιμές που αποδόθηκαν για την απόδοση της τρίτης διάστασης στα οικοδομικά τετράγωνα, είναι οι πραγματικές τους, πολλαπλασιαζόμενες επί 7. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε ώστε να είναι πιο ευκρινές το αποτέλεσμα, με καθαρότερες τις διακυμάνσεις των υψών των οικοδομικών τετραγώνων.

Τα τρισδιάστατα αποτελέσματα αποτυπώνονται στις Εικόνες 4.7 - 4.14.

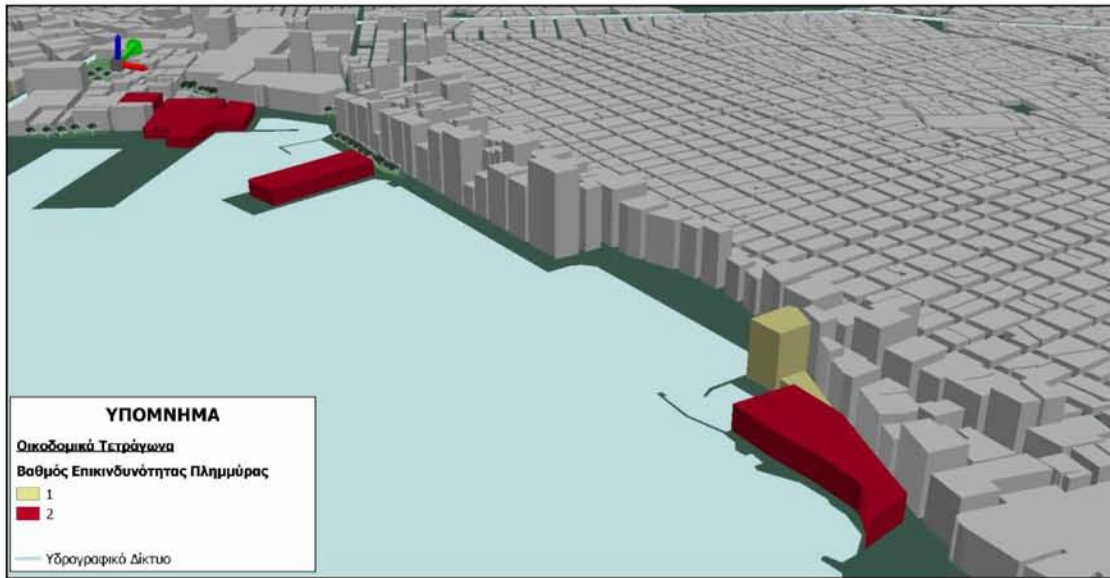
Σενάριο 1

Εικόνα 4.7: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 1



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

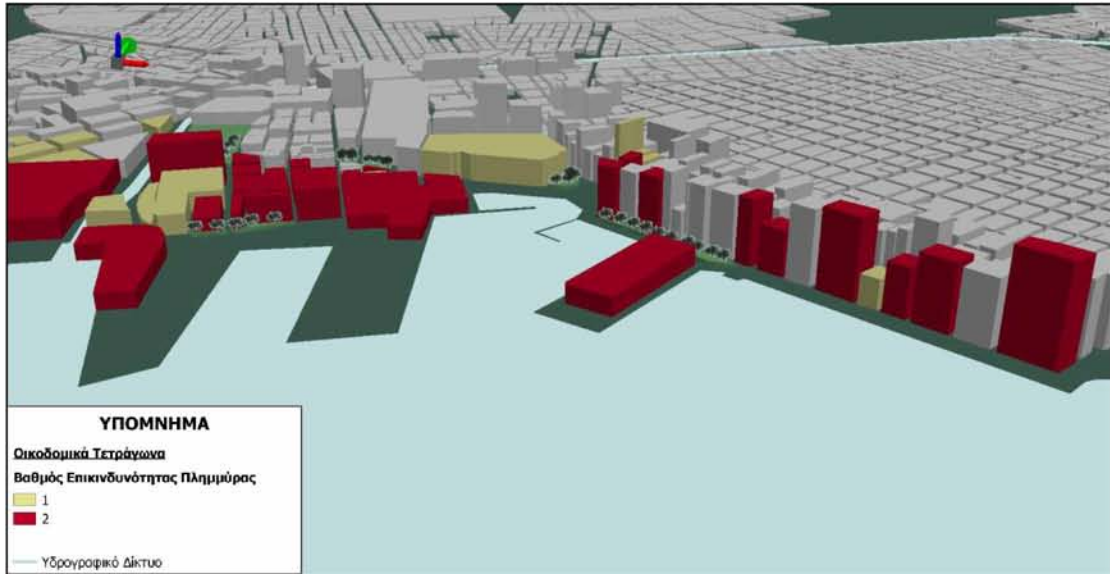
Εικόνα 4.8: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 1



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

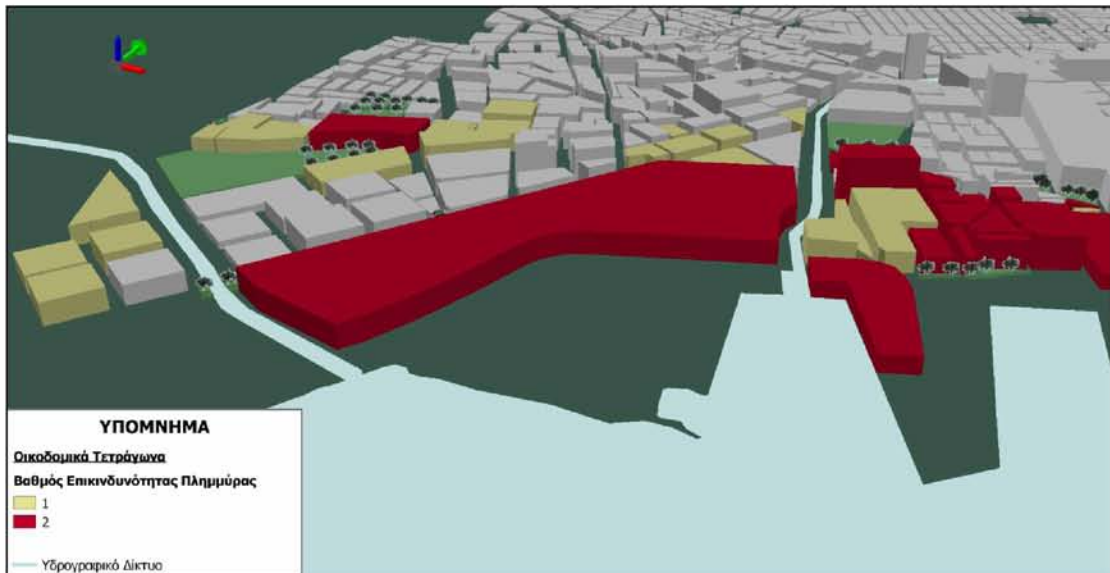
Σενάριο 2

Εικόνα 4.9: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 2



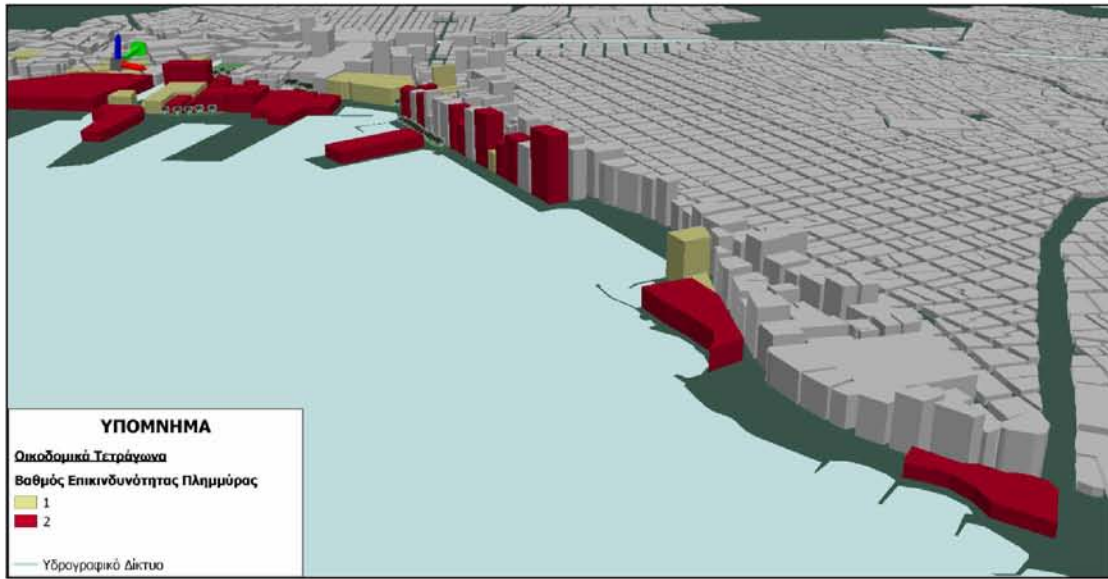
Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.10: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 2



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.11: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 2



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Σενάριο 3

Εικόνα 4.12: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 3



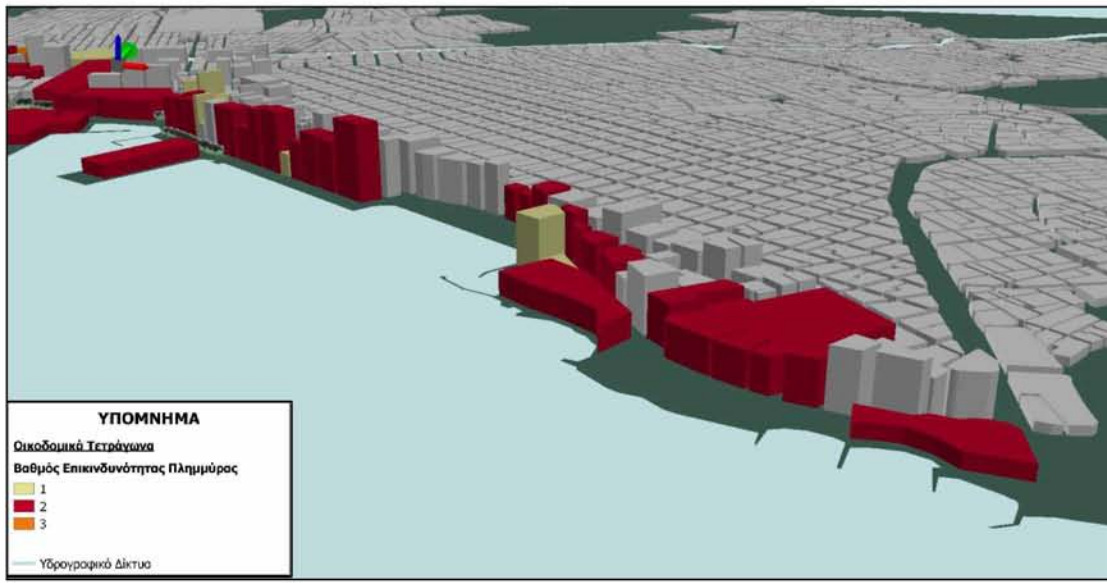
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.13: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 3



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.14: 3D Απεικόνιση Βαθμού Επικινδυνότητας Οικοδομικών Τετραγώνων από Πλημμύρα σύμφωνα με το Σενάριο 3



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

4.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτει ότι αν η πόλη του Βόλου πλημμυρίσει σύμφωνα με το πρώτο Σενάριο, δε θα σημειωθούν μεγάλες καταστροφές, τόσο από άποψη εδαφικής κάλυψης του νερού της πλημμύρας όσο και από άποψη επιρροής του στις υποδομές. Ωστόσο, αν το ύψος του νερού της πλημμύρας αυξηθεί τόσο όσο προβλέπουν τα επόμενα δύο Σενάρια, τότε θα πληγεί κυρίως η περιοχή των Παλαιών και της Νεαπόλεως.

Για το πρώτο σενάριο, από τα στοιχεία που έχουν οπτικοποιηθεί, παρατηρείται πως θα πληγεί μόνο ένα μικρό μέρος του αστικού ιστού της πόλης. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, το μεγαλύτερο ποσοστό των περιοχών που θα πλημμυρίσουν περιλαμβάνουν κυρίως οικοδομικά τετράγωνα με εμπορικές εγκαταστάσεις, κοινωνικές υποδομές, μεταφορές (επιβατικό και εμπορικό λιμάνι) και δραστηριότητες/χώρους αναψυχής. Σε αμελητέο βαθμό επηρεάζονται και περιοχές κατοικίας, ενώ καμία επίπτωση δεν θα έχουν τα κτίρια της διοίκησης.

Από την Αναθεώρηση και Επέκταση του ΓΠΣ του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου (2016) προκύπτει ότι εντός των ζωνών επικινδυνότητας του σεναρίου 1, οι προβλεπόμενες χρήσεις γης είναι σε μεγαλύτερο ποσοστό εγκαταστάσεις μαζικών μεταφορών (λιμάνια), κέντρο πόλης, αστικό πράσινο και πλατείες, πολιτιστικές λειτουργίες και εκπαίδευση. Ως εκ τούτου είναι σημαντική ή λήψη μέτρων (π.χ. αντιπλημμυρικών) για την προστασία των ατόμων που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούν τις μεταφορές.

Από το δεύτερο σενάριο προκύπτει μεγαλύτερο ποσοστό επιπτώσεων σε οικοδομικά τετράγωνα με εμπορικές δραστηριότητες, κατοικία και δραστηριότητες/χώρους αναψυχής. Επίσης, σε μικρότερο βαθμό επηρεάζονται και περιοχές με κοινωνικές υποδομές. Όσον αφορά τις μεταφορές, μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας εμφανίζουν τα λιμάνια και ένα μέρος των αστικών ΚΤΕΛ Βόλου. Τέλος, από μικρό βαθμό επικινδυνότητας χαρακτηρίζεται και ένα τμήμα του οικοδομικού τετραγώνου που περιλαμβάνει το Δημαρχείο της πόλης.

Για το σενάριο αυτό, για τις ζώνες με υψηλότερο βαθμό επικινδυνότητας, προβλέπονται από το αναθεωρημένο ΓΠΣ χρήσεις μαζικών μεταφορών, γενικής κατοικίας,

εκπαίδευσης, αστικό πράσινο και πλατείες. Συνεπώς, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τις χρήσεις αυτές στην περιοχή.

Σύμφωνα με το τρίτο σενάριο, οι περισσότερες περιοχές που θα πληγούν είναι κατοικήσιμες ή/και έχουν εμπορικές δραστηριότητες. Αρκετές είναι και αυτές που περιέχουν δραστηριότητες/χώρους αναψυχής και κοινωνικές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων και σχολείων. Από μέτριο βαθμό επικινδυνότητας χαρακτηρίζονται όλα τα οικοδομικά τετράγωνα που περιέχουν υποδομές μεταφορών. Όσον αφορά τις διοικητικές υπηρεσίες, προβλήματα θα εμφανιστούν και στο Δημαρχείο της πόλης. Ακόμα, σύμφωνα με το Σενάριο αυτό, επιπτώσεις παρατηρούνται και πέρα από την περιοχή της Νεαπόλεως και των Παλαιών.

Επίσης, το Αναθεωρημένο ΓΠΣ προβλέπει ποικιλία χρήσεων στις ζώνες επικινδυνότητας αυτού του σεναρίου. Ειδικότερα, σε αυτές με τον υψηλότερο βαθμό επικινδυνότητας, προτείνει χρήσεις όπως εκπαίδευση και αθλητισμό. Σε αυτές μέτριας επικινδυνότητας, προβλέπει γενική κατοικία, μαζικές μεταφορές, εκπαίδευση, κέντρο πόλης, πολιτιστικές λειτουργίες, αθλητισμό. Στις υπόλοιπες, προβλέπει, ακόμα, τοπικό κέντρο, τοπικό κέντρο – τουρισμό, βιομηχανία – βιοτεχνία. Επειδή οι χρήσεις για τις οποίες πρέπει να ληφθούν μέτρα ως προς τις πλημμύρες είναι πολλές, προτείνεται αυτό να πραγματοποιηθεί κατά προτεραιότητα, ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας.

Για να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος των ζημιών ενός πλημμυρικού φαινομένου, είναι κρίσιμο να πραγματοποιηθεί λήψη και εφαρμογή μέτρων για την προστασία των πολιτών και των υποδομών, ανάλογα με την προτεραιότητα που θα αποδοθεί σε κάθε περιοχή, με βάση το βαθμό επικινδυνότητάς της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έπειτα από την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε να εξαχθεί ένας αριθμός συμπερασμάτων. Αυτά, ανταποκρίνονται στον αρχικό σκοπό της εργασίας. Ωστόσο, προκύπτουν και ορισμένα στοιχεία για την αστική περιοχή του Βόλου στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος που εξετάζεται, εφόσον έχουν χρησιμοποιηθεί πραγματικά δεδομένα, ακόμα και αν δεν παρουσιάζεται ο μέγιστος βαθμός ακρίβειας.

5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η διαδικασία που περιγράφηκε μπορεί να εφαρμοστεί από σχεδιαστές και άτομα που λαμβάνουν αποφάσεις κατά το σχεδιασμό, για την προστασία μιας αστικής περιοχής από τις πλημμύρες που μπορεί να εκδηλωθούν. Αποτελεί σχετικά απλή διαδικασία που μπορεί να συμβάλει στην εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων, μέσω της ανάδειξης των περιοχών που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας.

Με την οπτικοποιημένη πληροφορία των επιπτώσεων ανάλογα με το ύψος της πλημμύρας, οι ειδικοί είναι σε θέση να γνωρίζουν τα τμήματα της πόλης στα οποία θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα. Θα λαμβάνουν έτσι, πιο αποτελεσματικά μέτρα για την προστασία των περιοχών αυτών, αλλά και θα μπορούν να προσφέρουν συγκεκριμένες οδηγίες που θα απευθύνονται στους πολίτες που πιθανώς θα κινδυνέψουν.

Ακόμα, μέτρα όπως η εμπόδιση ανάπτυξης περαιτέρω υποδομών στις εν λόγω περιοχές, μπορούν να συμβάλλουν στην ελάττωση των κοινωνικοοικονομικών συνεπειών της πλημμύρας.

Η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί για οποιαδήποτε περιοχή που επιθυμεί να προστατέψει τους κατοίκους της και την οικονομία της από πλημμυρική καταστροφή. Για την κάθε περίπτωση εφαρμογής μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά δεδομένα, ανάλογα με τους στόχους του κάθε μελετητή. Ωστόσο, η χρήση και επεξεργασία των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων παρουσιάζει ένα ουσιαστικότερο και ευρύτερο αποτέλεσμα από την απλή και προβλεπόμενη εκτίμηση που μπορεί να έχει ο κάθε κάτοικος για τις εκτάσεις που θα πληγούν από τις πλημμύρες λόγω γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών.

5.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όσον αφορά την εφαρμογή του μοντέλου σε τμήμα της αστικής περιοχής του Βόλου, προκύπτει ότι θα ήταν απαραίτητο να ληφθούν μέτρα ικανά να την προστατέψουν από πλημμυρικά φαινόμενα. Το γεγονός αυτό γίνεται ακόμα πιο αναγκαίο, σύμφωνα με το ιστορικό, έστω και μικρής σχετικά έκτασης πλημμύρων, που διαθέτει η πόλη αυτή.

Αναπαραστάθηκαν αποτελέσματα για διαφορετικές περιπτώσεις μεγέθους της πλημμύρας. Για τις δύο περιπτώσεις με τα πιο μεγάλα ύψη νερού (ιδίως σύμφωνα με το τρίτο Σενάριο), αν και σε διαφορετικό βαθμό κάθε φορά, προέκυψε ότι η περιοχή που θα πληγεί σε μεγαλύτερη έκταση είναι αυτή της Νεαπόλεως. Αποτελεί κεντρικό σημείο της πόλης, διασχίζεται από τμήμα οδικού δικτύου με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο και σε περίπτωση πλημμύρας, οι κάτοικοι θα αντιμετωπίσουν σημαντικά προβλήματα μετακίνησης και καταστροφής των περιουσιακών τους στοιχείων. Εντονότερες θα είναι οι επιπτώσεις σε κτίρια κατοικίας και εμπορίου.

Ωστόσο, οι μεγαλύτερες τιμές επικινδυνότητας, αποδίδονται και για τα δύο τελευταία σενάρια, στην περιοχή των Παλαιών και την καθιστούν ως περιοχή με το μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας. Θα πληγούν κυρίως κτίρια κατοικίας και εμπορικές εγκαταστάσεις, κρίσιμο μέρος των υποδομών μεταφορών, κτίρια που εξυπηρετούν τους πολίτες, σχολεία και τμήμα των διοικητικών υπηρεσιών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πέρα από τα οικοδομικά τετράγωνα, είναι λογική απόρροια το γεγονός ότι θα πλημμυρίσουν και οι δρόμοι στις περιοχές αυτές, προκαλώντας πιθανή καταστροφή τμημάτων τους και δυσκολίες στις μετακινήσεις των πολιτών. Αυτό, ανάλογα με το μέγεθος της βροχόπτωσης, το ποσοστό και την ταχύτητα ροής του νερού της πλημμύρας, μπορεί να αποτελέσει ιδιαίτερα επικίνδυνο παράγοντα ως προς τους πολίτες, διότι μπορεί να μεταφέρονται αντικείμενα ικανά να τους βλάψουν και η ροή να είναι έντονη ώστε να τους παρασύρει (ιδιαίτερα τα άτομα μικρής ηλικίας).

Όσον αφορά το Δείκτη και γενικότερα το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, τα αποτελέσματά του φαίνεται να είναι ικανοποιητικά. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, σύμφωνα με το ιστορικό των πλημμύρων στην αστική περιοχή του Βόλου, η περιοχή που αντιμετωπίζει τα μεγαλύτερα προβλήματα, είναι αυτή της Νεαπόλεως. Το μοντέλο που εφαρμόστηκε, επιβεβαιώνει τα στοιχεία αυτά. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι ανταποκρίνεται σε λογικά αποτελέσματα, σύμφωνα με δεδομένα που αντιπροσωπεύουν

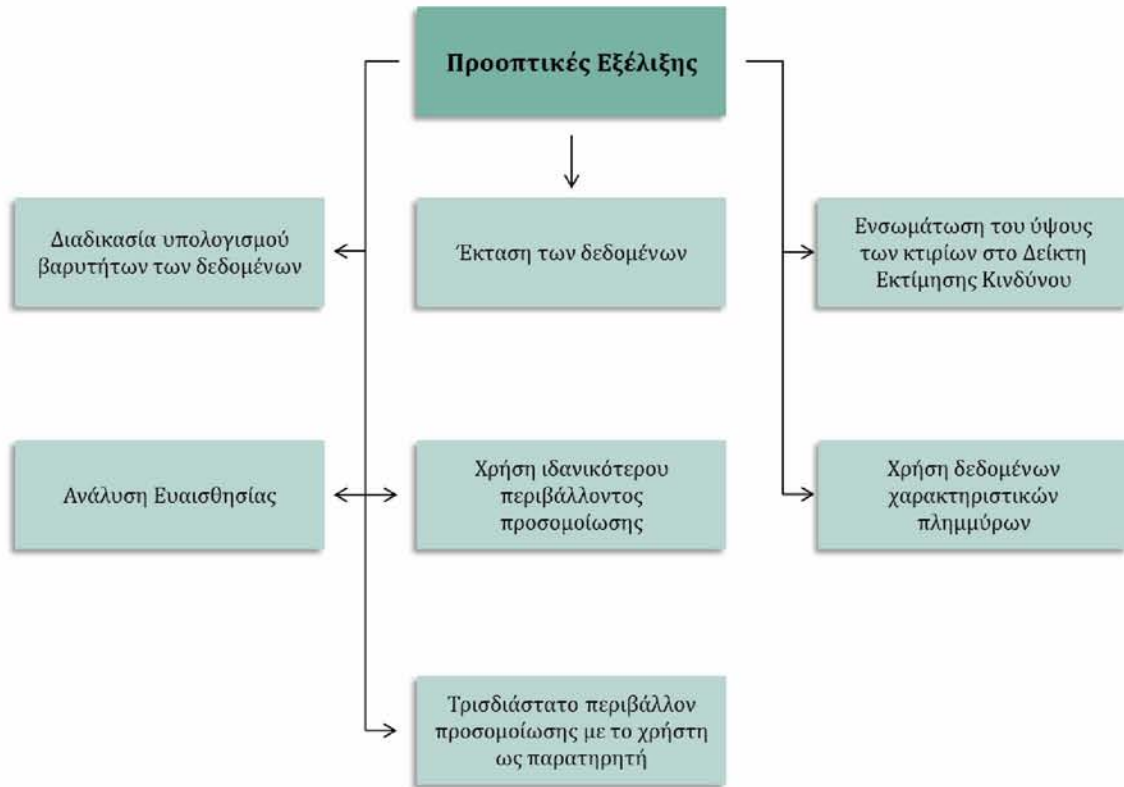
την πραγματικότητα. Έτσι, τίθεται μέγιστης σημασίας η εξέταση των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που θα επηρεαστούν από τις πλημμύρες, διότι με το πέρασμα των χρόνων έχει εκτιμηθεί ότι θα γίνονται όλο και περισσότερο απειλητικές. Ο Δήμος έχει την υποχρέωση να λάβει υπ' όψιν του τους παραπάνω παράγοντες και να εφαρμόσει, όσο το δυνατό γρηγορότερα, μέτρα που θα αποσκοπούν κατά βαθμό προτεραιότητας στην προστασία των Παλαιών και στη συνέχεια της Νεαπόλεως. Τα μέτρα αυτά θα πρέπει να ανταποκρίνονται αρχικά στην προστασία των κατοίκων και στη συνέχεια σε αυτή των υποδομών.

Μέσω των πληροφοριών που αναπαρίστανται, η λήψη των αποφάσεων γίνεται ευκολότερη και αποτελεσματικότερη. Είναι δυνατό να υλοποιηθεί μία αντιπροσωπευτική τρισδιάστατη αναπαράσταση και για την περίπτωση του Βόλου, εφόσον εξεταστούν οι κρίσιμες παράμετροι μέσω των οπτικοποιημένων αποτελεσμάτων και βρεθούν από κοινού μέτρα. Επίσης, ο Δήμος πρέπει να δραστηριοποιηθεί και για να ενημερώσει τους κατοίκους για τις πλημμύρες που πιθανώς θα προκύψουν. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι πολίτες να γνωρίζουν το μέγεθος των επιπτώσεων που μπορεί να έχει ένα πλημμυρικό φαινόμενο στον τόπο κατοικίας τους, στους ίδιους και στους συμπολίτες τους. Για αυτό και πρέπει με κάποιον τρόπο να ενημερωθούν όλοι για τα μέτρα που ορίζονται από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας για τις πλημμύρες. Είναι απαραίτητο να τα λαμβάνουν υπ' όψιν τους και να τα εφαρμόζουν σε περίπτωση που βρεθούν αντιμέτωποι με κάποιο φαινόμενο.

Τέλος, το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στο Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, με την ενσωμάτωσή του στο σχεδιασμό, θα γνωστοποιείται η διάσταση της πλημμύρας, η πιθανότητα και το μέγεθος του κινδύνου και θα λαμβάνονται πιο ολοκληρωμένες αποφάσεις.

5.3. ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ/ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Διάγραμμα 5.1: Περαιτέρω εξέλιξη της μεθόδου



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας των πλημμυρικών φαινομένων και της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν ως προς το είδος και το βαθμό των επιπτώσεών τους, είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσης της συγκεκριμένης μεθοδολογίας ή διαφοροποίησης ορισμένων βημάτων της.

Κάποια διαφορετικά βήματα εφαρμογής, θα μπορούσαν να αφορούν:

- τη διαδικασία υπολογισμού των βαρυτήτων των δεδομένων. Υπάρχουν διάφορες παρόμοιες μέθοδοι, που μπορεί, ανάλογα με τα εκάστοτε δεδομένα που χρησιμοποιούνται, να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Τέτοιες είναι οι Rank Order Centroid (ROC), Simple Additive Weighting (SAW), Rank Sum (RS), Rembrandt κ.ά. Η κατάλληλη διαδικασία, είναι καλύτερο να επιλεγεί από κάποιον ειδικό και όχι από τον εκάστοτε μελετητή.

- την έκταση των δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι κάποιος μελετητής μπορεί να εφαρμόσει το ίδιο μοντέλο για μια ευρύτερη περιοχή της πόλης του Βόλου με την καταγραφή και συγκέντρωση μεγαλύτερου αριθμού στοιχείων και για περισσότερες κατηγορίες χρήσεων γης ή πληθυσμιακών ομάδων.
- την ενσωμάτωση του ύψους των κτιρίων στο Δείκτη Εκτίμησης Κινδύνου Πλημμύρας, για εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων.
- τη χρήση ιδανικότερου περιβάλλοντος προσομοίωσης αστικού ιστού, όπως για παράδειγμα του City Engine.
- τη χρήση δεδομένων χαρακτηριστικών πλημμύρων όπως το ποσοστό βροχόνερου, τη ροή και την ταχύτητά σου σε περίπτωση πλημμύρας της περιοχής κ.ά., ώστε να ενσωματωθεί στην τρισδιάστατη αναπαράσταση και η έκταση και το ύψος του πλημμυρικού φαινομένου.

Επίσης, ως προς συνέχεια της εφαρμογής της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου, θα μπορούσε να εφαρμοστεί και η Ανάλυση Ευαισθησίας των τιμών των βαρυτήτων που προσδόθηκαν στις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν. Με τον τρόπο αυτό, θα προσδιοριστεί ο βαθμός κατά τον οποίο διαφοροποιείται το τελικό αποτέλεσμα, ανάλογα με τις μεταβολές που υφίσταται η κάθε παράμετρος.

Παρόλα αυτά, ως ιδανικότερη εξέλιξη του υπό μελέτη μοντέλου, θεωρείται η τρισδιάστατη αναπαράσταση σε περιβάλλον προσομοίωσης, στο οποίο θα έχουν ικανότητα πρόσβασης και οι κάτοικοι μιας πόλης. Τέτοιου είδους προσέγγιση πραγματοποιήθηκε από τους Dulica et al. το 2016 (βλ. Ενότητα 2.4). Στο διαδραστικό αυτό περιβάλλον οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα να περιφέρονται ως πεζοί σε τμήματα της πόλης και να «ζήσουν» τις επιπτώσεις ενός πλημμυρικού φαινομένου, ώστε να κατανοήσουν το βαθμό επικινδυνότητάς του, και ως προς αυτούς και τους συνανθρώπους τους, αλλά και ως προς την πόλη τους ως σύνολο.

Ωστόσο, για να είναι εφικτή η εφαρμογή αυτή, πρέπει να διαθέτονται περισσότερα δεδομένα στους μελετητές. Για παράδειγμα, η διαδικασία συλλογής των στοιχείων του ύψους των κτιρίων/οικοδομικών τετραγώνων ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα και όχι η πλέον ακριβής, διότι εκτιμήθηκαν μέσω εικόνων. Το ίδιο ισχύει και για τα δεδομένα χρήσεων γης των οικοδομικών τετραγώνων. Είναι αναγκαία η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων σε κάθε πόλη, όπου θα συγκεντρώνονται οι απαραίτητες πληροφορίες που μπορούν να συμβάλλουν στη διαδικασία του σχεδιασμού. Έτσι, όχι μόνο θα διευκολύνονται οι μελετητές και οι ειδικοί, αλλά και τα αποτελέσματα θα αντιπροσωπεύουν την

πραγματικότητα σε μεγαλύτερο βαθμό, άρα θα είναι και αποδοτικότερες οι αποφάσεις. Τα δεδομένα για να υποστούν οποιαδήποτε διαδικασία πρέπει να εισαχθούν σε περιβάλλον γεωγραφικών πληροφοριών. Για το λόγο αυτό είναι εξίσου σημαντικό να διατίθεται η δυνατότητα δωρεάν χρήσης λογισμικών στους ενδιαφερόμενους/ειδικούς. Τέλος, είναι ιδιαίτερα βοηθητική και η διάθεση κάποιου έτοιμου τρισδιάστατου υπόβαθρου ως προς επεξεργασία.

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη και υλοποίηση του προτεινόμενου εργαλείου και της μεθοδολογικής προσέγγισης θα είναι σημαντικά επωφελής για τις περιοχές εφαρμογής του, σε επίπεδο κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων. Υιοθετώντας την παραπάνω μεθοδολογία στη διαδικασία σχεδιασμού μιας περιοχής, θα μπορεί να ανταπεξέλθει στις δυσμενείς επιπτώσεις ενός πλημμυρικού φαινομένου, μειώνοντας τον κίνδυνο για τις ανθρώπινες ζωές καθώς και για τις οικονομικές επιπτώσεις στις υποδομές. Ταυτόχρονα τα οφέλη θα είναι πολλαπλασιαστικά εάν η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση χρησιμοποιηθεί ειδικότερα κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού μιας περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

ΑΑΠ 237/04.11.2016 για την «Αναθεώρηση και Επέκταση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (Γ.Π.Σ.) του Πολεοδομικού Συγκροτήματος (Π.Σ.) Βόλου».

Βαβάτσικος, Α. Π. 'Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων'. [Παρουσίαση σε PowerPoint]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME253/02%20AHP.pdf> [Τελευταία πρόσβαση: 15 Σεπτεμβρίου 2017].

Δημοπούλου, Έ. (2015). Τρισδιάστατος Σχεδιασμός του Αστικού Χώρου. *nD Κτηματολόγιο: Σχεδιασμός-Ανάπτυξη-Πρότυπα-Μοντελοποίηση*. ΣΕΑΒ.

Διεθνές Συμβούλιο Επιστήμης της Περιφέρειας Ασίας και Ειρηνικού. (2008). *Science Plan on Hazards and Disasters: Earthquakes, Floods and Landslides*.

Διεθνής Στρατηγική για τη Μείωση των Καταστροφών Volume 2 Annexes. (2004). *Living With Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, New York, Geneva, United Nations.

Διεθνής Στρατηγική για τη Μείωση των Καταστροφών Volume I. (2004). *Living With Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, New York, Geneva, United Nations.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων & ΥΠΕΚΑ. (2012). Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/EK: Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας Αθήνα.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων & ΥΠΕΚΑ. (2017). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας.

Ευρωπαϊκή Ομάδα Αντάλλαγής για τη Χαρτογράφηση Πλημμύρων (EXCIMAP). (2007). *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*.

Κόλλια, Η. (2011). *ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ (AHP) Ένα Μοντέλο Λήψης Αποφάσεων σε Συνθήκες Πολλαπλών Κριτηρίων*. Μεταπτυχιακό. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5465/1/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7-AHP_%CE%9A%CF%8C%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%B1_%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%AC%CE%BD%CE%B1_%CE%91%CE%9C256.pdf [Τελευταία πρόσβαση: 25 Ιανουαρίου 2018]

Κουμιώτης, Α. (2012). *e-Volos.gr - Μπουρίνι στον Βόλο 1.11.2012*. [Online Βίντεο]. 1 Νοεμβρίου 2012. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.youtube.com/watch?v=Xh-EKMWeE_g. [Τελευταία πρόσβαση: 28 Αυγούστου 2017].

Κρεστενίτης, Ι., Κομπιάδου, Κ., Μακρής, Χ., Ανδρουλιδάκης, Ι. & Καραμπάς, Θ. (2015). Μεταβολές θαλάσσιας στάθμης. *Παράκτια μηχανική - Θαλάσσια περιβαλλοντική υδραυλική*. Κάλκιος.

Ναθαναήλ, Ε. Γ. (2016). 'Διαδικασία πολυκριτήριας ανάλυσης Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος'. [Παρουσίαση σε PowerPoint]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXC165/6%20%CE%91%CE%BE%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CF%8C%CE%B3%CE%B7%CF%83%CE%B7%TS_multicriteria-evaluation.pdf [Τελευταία πρόσβαση: 15 Σεπτεμβρίου 2017].

Ντάφης, Σ. (2010). *Οι σημαντικότερες κακοκαιρίες για την περιοχή του Βόλου την περίοδο 2006-2010*. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.meteovolos.gr/meleti.htm> [Τελευταία πρόσβαση: 6 Σεπτεμβρίου 2017].

Ντάφης, Σ. (2016). *Αρχείο Επικαιρότητας*. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://wordpress.meteovolos.gr/weather_log/. [Τελευταία πρόσβαση: 7 Σεπτεμβρίου 2017].

- Σενή, Α., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Κατσαφάδος, Π. & Καρύμπαλης, Ε. (2010). Εκτίμηση Διακινδύνευσης σε Πλημμυρικά Φαινόμενα στο Νομό Μαγνησίας. *In: Εταιρεία, Ε. Γ. (ed.) 9ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο*. Αθήνα.
- Τ., Αθ. (2013). Βουλωμένα Φρεάτια, *Ταχυδρόμος*, 6 Ιουνίου. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.taxydromos.gr/Episimanseis/81086-boylwmena-freatia.html>. [Τελευταία πρόσβαση: 28 Αυγούστου 2017].
- Τσιτούνας, Κ. (2011). 'Η Ελλάδα βοθίζεται! Άνοδος της στάθμης της θάλασσας'. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.madata.gr/diafora/science/90267.html> [Τελευταία πρόσβαση: 11 Σεπτεμβρίου 2017].
- efpalio.wordpress.com. 'Περιοχές στην Ελλάδα που κινδυνεύουν περισσότερο από πλημμύρες', (2014). [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://efpalio.wordpress.com/2014/11/27/%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%87%CE%AD%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CF%80%CE%BF%CF%85-%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B5%CF%8D%CE%BF%CF%85%CE%BD/> [Τελευταία πρόσβαση: 24 Σεπτεμβρίου 2017].
- iefimerida.gr. 'Έντονη βροχόπτωση στον Βόλο: Πλημμύρισαν οι δρόμοι - Ακυρώθηκαν οι αποκριάτικες εκδηλώσεις'. (2016). [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.iefimerida.gr/news/256294/entoni-vrohoptosi-ston-vo-lo-plimmyrisan-oi-dromoi-akyrothikan-oi-apokriatikes-ekdiloseis>. [Τελευταία πρόσβαση: 2 Σεπτεμβρίου 2017].

Ξενογλώσση

- Ahmad, S. S. & Simonovic, S. P. (2011). A three-dimensional fuzzy methodology for flood risk analysis. *Flood Risk Management*, 4, 53–74.
- Baillard, C. & Maitre, H. (1999). 3-D Reconstruction of Urban Scenes from Aerial Stereo Imagery: A Focusing Strategy. *Computer Vision and Image Understanding*, 76, 244–258.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4, 2842-2889.
- Dulica, A., Angela, J. & Sheppard, S. (2016). Designing futures: Inquiry in climate change communication. *Futures*, 81, 54–67.
- Guozhong, S., Li, Y., Nan, L. & Renyi, L. (2004). Visualization and damage assessment for flooded area. *Geo-spatial Information Science*, 7, 180-186.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *In: Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., Van der Linden, P. J. & Hanson, C.E. (eds.)*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi.
- Izuka, S. K. & Gingerich, S. B. (1998). Estimation of the depth to the fresh-water/salt-water interface from vertical head gradients in wells in coastal and island aquifers. *Hydrogeology Journal*, 6, 365–373.

- Jaffe, B. Geomorphic Response of Estuaries to Sea Level Rise and Climate Change. [Παρουσίαση σε PowerPoint]. U.S. Geological Survey Pacific Science Center Santa Cruz, CA. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.fws.gov/pacific/climatechange/meetings/coastal/pdf/sessionb/Jaffe%20Climate%20Change%20Workshop%201_09.pdf [Τελευταία πρόσβαση: 20 Αυγούστου 2017].
- K Jha, A., Bloch, R. & Lamond, J. (2012). *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*, World Bank.
- Kazakis, N., Kougias, I. & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555–563.
- Kemec, S., Duzgun, S., Zlatanova, S., Dilmen, D. I. & Yalciner, A. C. (2010). Selecting 3D Urban Visualisation Models for Disaster Management: Fethiye Tsunami Inundation Case. *3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARTOGRAPHY AND GIS*. Nessebar, Bulgaria.
- Kubal, C., Haase, D., Meyer, V. & Scheuer, S. (2009). Integrated urban flood risk assessment – adapting a multicriteria approach to a city. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1881–1895.
- Leskens, J. G., Kehl, C., Tutenel, T., Kol, T., Haan, G. D., Stelling, G. & Eisemann, E. (2015). An interactive simulation and visualization tool for flood analysis usable for practitioners. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22, 307–324.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2010). *Συστήματα και Επιστήμη Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)*, Αθήνα, ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- Masciopinto, C. & Liso, I. S. (2016). Assessment of the impact of sea-level rise due to climate change on coastal groundwater discharge. *Science of the Total Environment*, 569–570, 672–680.
- Patel, V. M., Dholakia, M. B. & Singh, A. P. (2013). Tsunami Risk 3D Visualizations of Okha Coast, Gujarat (India). *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 2, 130-138.
- Price, R. K. & Vojinovi, Z. 2008. Urban flood disaster management. *Urban Water Journal*, 5, 259–276.
- Qiu, L., Du, Z., Zhu, Q. & Fan, Y. (2017). An integrated flood management system based on linking environmental models and disaster-related data. *Environmental Modelling & Software*, 91, 111-126.
- Rasmussen, C. (2017). *25 years of global sea level data, and counting*. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://sealevel.nasa.gov/news/90/25-years-of-global-sea-level-data-and-counting>. [Τελευταία πρόσβαση: 3 Σεπτεμβρίου 2017].
- Robins, P. E., Skov, M. W., Lewis, M. J., Gim, L., Jackson, S. E., Jago, C. F., Davies, A. G., Malham, S. K., Neill, S. P., McDonald, J. E. & Whitton, T. A. (2016). Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, 119–135.
- Ruzinoor, C. M., Shariff, A. R. M., Pradhan, B., Ahmad, M. R. & Rahim, M. S. M. (2012). A review on 3D terrain visualization of GIS data: techniques and software. *Geo-spatial Information Science*, 15, 105–115.
- Santosa, H., Ikaruga, S. & Kobayashi, T. (2016). 3D interactive simulation system (3DISS) using multimedia application authoring platform for landscape planning support system. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 224, 247-254.

- Singh, H. & Garg, R. D. (2016). Web 3D GIS Application for Flood Simulation and Querying Through Open Source Technology. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44, 485–494.
- Stanchev, H., Palazov, A. & Stancheva, M. (2009). 3D GIS Model for Flood Risk Assessment of Varna Bay Due to Extreme Sea Level Rise. *Journal of Coastal Research*, 2, 1597 - 1601.
- Strauss, B., Kulp, S. & Levermann, A. (2015). Carbon choices determine US cities committed to futures below sea level.
- Tenenbaum, L. (2017a). *Rising seas bring a rising nuisance: coastal flooding*. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://sealevel.nasa.gov/news/91/rising-seas-bring-a-rising-nuisance-coastal-flooding>. [Τελευταία πρόσβαση: 3 Σεπτεμβρίου 2017].
- Tenenbaum, L. (2017b). *The next big question in sea level science: projecting regional changes*. [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://sealevel.nasa.gov/news/89/the-next-big-question-in-sea-level-science-projecting-regional-changes>. [Τελευταία πρόσβαση: 3 Σεπτεμβρίου 2017].
- Torres, D. & Maletjane, M. (2015). Information and Communication Technologies for Climate Change Adaptation in Cities.
- Velazco, E. (2012). 3D Digital Modeling for Urban Design + Planning. San Luis Obispo, California: Department of City and Regional Planning and the College of Architecture and Environmental Design.
- Wang, C., Wan, T. R. & Palmer, I. J. (2010). Urban flood risk analysis for determining optimal flood protection levels based on digital terrain model and flood spreading model. *Visual Computer*, 26, 1369–1381.
- Yi, L., Yuan, L. & Yu, Z. (2013). Sea Level Rise-Driven Simulations of Social and Economic Impact on Taihu Lake Basin. *International Conference on Geo-Informatics in Resource Management & Sustainable Ecosystem*. 398, 475-485. Wuhan, China: Springer.
- Zonensein, J., Miguez, M. G., De Magalhães, L. P. C., Valentin, M. G. & Mascarenhas, F. C. B. (2008). Flood Risk Index as an Urban Management Tool. *11th International Conference on Urban Drainage*. Edinburgh, Scotland, UK.

Ιστότοποι

- Hellenic Resources Network. (1995). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://hri.org/> [Τελευταία πρόσβαση: 28 Σεπτεμβρίου 2017].
- NASA SEA LEVEL CHANGE Observation from Space. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://sealevel.nasa.gov/> [Τελευταία πρόσβαση: 5 Σεπτεμβρίου 2017].
- Newsbomb. (2010). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.newsbomb.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 28 Σεπτεμβρίου 2017].
- USGS Earth Explorer. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Τελευταία πρόσβαση: 15 Σεπτεμβρίου 2017].
- Youtube. (2005). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: www.youtube.com. [Τελευταία πρόσβαση: 28 Αυγούστου 2017].
- Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://civilprotection.gr/el> [Τελευταία πρόσβαση: 19 Σεπτεμβρίου 2017].

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. (2001). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.meteo.gr/meteoplus/index.cfm>. [Τελευταία πρόσβαση: 4 Σεπτεμβρίου 2017].

Έθνος. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.ethnos.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 15 Σεπτεμβρίου 2017].

Ελληνική Στατιστική Αρχή. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.statistics.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 14 Σεπτεμβρίου 2017].

Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ. (1996). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.naftemporiki.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 28 Σεπτεμβρίου 2017].

Πανόραμα Απογραφικών Δεδομένων. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://panorama.statistics.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 15 Σεπτεμβρίου 2017].

ΣΚΑΪ. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.skai.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 28 Σεπτεμβρίου 2017].

Συνεργάτης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τη Μαγνησία. (2006). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://wordpress.meteovolos.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 4 Σεπτεμβρίου 2017].

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2009). Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.ypeka.gr/> [Τελευταία πρόσβαση: 28 Αυγούστου 2017].

