



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS**

της
ΜΑΡΙΝΑΣ Θ. ΑΪΔΙΝΙΔΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Ανδρέας Γεωργίου

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού
διπλώματος ειδίκευσης στη Διοίκηση Επιχειρήσεων

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ολοκληρώνεται ο μεταπτυχιακός κύκλος σπουδών μου στο διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ανδρέα Γεωργίου για τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας, την έμπρακτη υποστήριξή του με τις συμβουλές, τις παρατηρήσεις και τις διορθώσεις του, οι οποίες υπήρξαν χρήσιμες και καθοριστικής σημασίας, καθώς και για την εποικοδομητική μας συνεργασία.

Βέβαια δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την πολύπλευρη στήριξή τους σε κάθε μου προσπάθεια και βήμα, τους φίλους μου και όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου παρέχοντας κατανόηση και ψυχολογική στήριξη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα παγκόσμιο ζήτημα, επηρεάζοντας σημαντικά τον τρόπο ζωής και λειτουργίας των σύγχρονων πόλεων. Η αειφόρος διαχείριση των υδάτινων πόρων απαιτεί την ορθή λήψη αποφάσεων σε μία σειρά προτεινόμενων μέτρων. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζονται τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα: 1) ποια κριτήρια κινδύνου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε μία ολοκληρωμένη αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας αστικών περιοχών, και 2) πως τα διαφορετικά σταθμισμένα σύνολα κριτηρίων μεταβάλλονται τόσο σε αξία όσο και σε χωρική κατανομή. Για τη διερεύνηση αυτών η παρούσα μελέτη αναπτύσσει ένα μοντέλο βασισμένο σε χωρικά δεδομένα και σε απόψεις εμπειρογνομόνων για την αξιολόγηση της ευπάθειας σε πλημμύρες και την ιεράρχηση αντιπλημμυρικών έργων σε μία επιλεγμένη περιοχή μελέτης. Με βάση τους στόχους της μελέτης, τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και τη σύγχρονη τεχνολογία, η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ευπάθεια μπορεί να εκφραστεί ως μία συνάρτηση 18 πολυδιάστατων παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στους τρεις πυλώνες της αειφορίας: περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία. Προκειμένου να μετρηθεί η ευπάθεια, η έρευνα εφαρμόζει τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP), μία πολύ γνωστή προσέγγιση λήψης αποφάσεων, σε περιβάλλον χωρικής βάσης δεδομένων με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Αποτέλεσμα της προαναφερθείσας διαδικασίας αποτελεί η παραγωγή ενός χάρτη ευπάθειας, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ιεράρχηση μελλοντικών έργων μετριασμού των πλημμυρών. Η παρούσα έρευνα ολοκληρώνεται με την ανάλυση ευαισθησίας η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της συμπεριφοράς του μοντέλου και των παραμέτρων αυτής.

Λέξεις Κλειδιά: Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Ανάλυση Ευαισθησίας, Αντιπλημμυρικά Έργα

ABSTRACT

Floods, which are a major global issue, significantly affect the way of living and operation in modern cities. Management of sustainable water resources requires a validated decision-making approach for the available measures. In this context, the following research questions are examined. First, the risk criteria, concerning the comprehensive urban flood risk assessment, has been studied. Secondly, the criteria change of different weighted sets, in both value and spatial distribution, has been analyzed. A model, based on spatial data and expert opinions, therefore is developed to assess flood vulnerability and prioritize flood mitigation projects in a selected study area. Based on the research objectives, the data availability and the current technology, vulnerability is chosen to be expressed as function of 18 multidimensional factors. These factors can be categorized in three different sustainability pillars: the environment, the society and the economy. In order to measure vulnerability, Analytical Hierarchy Process (AHP), a well-known decision-making approach, is applied in a spatial database environment generated in Geographic Information Systems (GIS) software. As a result, the outcome of the aforementioned process is included in a vulnerability map which can be used for the hierarchy of the future flood mitigation projects. Finally, a spatial sensitivity analysis is implemented to outline the variation of the model behavior and its parameters.

Keywords: *Analytical Hierarchy Process (AHP), Geographical Information System (GIS), Sensitivity Analysis (SA), Flood Mitigation Projects*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	12
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	14
1.3 ΔΟΜΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	15
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	15
2.1 ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ, ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ, ΕΙΔΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ .	15
2.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	17
2.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	19
2.4 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	28
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	28
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	28
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	29
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ.....	31
3.4 ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	35
3.5 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	41

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ.....	41
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	41
4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	41
4.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΠΕΡΑΡΧΗΣΗΣ	46
4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	55
4.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ-ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	62
4.6 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ	77
4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	93
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

AHP	Analytical Hierarchy Process
ΒΙΠΕ	Βιομηχανική Περιοχή
ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
CI	Consistency Index
CR	Consistency Rate
DEM	Digital Elevation Model
DTM	Digital Terrain Model
ΕΓΥ	Ειδική Γραμματεία Υδάτων
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΕΛ	Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων
ΕΖΔ	Ειδικές Ζώνες Διατήρησης
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΖΕΠ	Ζώνες Ειδικής Προστασίας
ΖΔΥΚΠ	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
GIS	Geographical Information System
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
SA	Sensitivity Analysis
SPI	Stream Power Index
TFNs	Triangular Fuzzy Numbers
TWI	Topographic Wetness Index
ΥΠΑΑΤ	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας
ΥΣ	Υδατικά Συστήματα
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Συνολικά καταγεγραμμένα γεγονότα καταστροφών ανά κατηγορία για τη χρονική περίοδο 1980-1999 έναντι 2000-2019 16

Εικόνα 2. Ποσοστιαία αλλαγή της εποχικής βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 2071-2100, σε σύγκριση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 (σενάριο παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2 °C)	19
Εικόνα 3. Κύκλος διαχείρισης καταστροφών.....	21
Εικόνα 4. Απλοποίηση μοντέλου χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	38
Εικόνα 5. Σχηματική απεικόνιση υπολογισμού ευκλείδειας απόστασης σε περιβάλλον GIS.....	39
Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση μεθόδου απλής πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS	40
Εικόνα 7. Χάρτης περιοχής μελέτης: Μητροπολιτική Ενότητα Θεσσαλονίκης (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία).....	43
Εικόνα 8. Χάρτης χρήσεων γης και ιστορικών πλημμυρών περιοχής μελέτης (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία).....	45
Εικόνα 9. Σχηματική απεικόνιση μεθόδου υπολογισμού γεωμετρικού μέσου όρου στο στάδιο των αξιολογήσεων	57
Εικόνα 10. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₁ , Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	65
Εικόνα 11. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₂ , Αλλαγών Χρήσεων Γης εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	66
Εικόνα 12. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₃ , Τοπογραφικού Δείκτη Υγρασίας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	67
Εικόνα 13. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₄ , Δείκτη Διαβρωτικής Ισχύος εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	68
Εικόνα 14. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₅ , Βιομηχανίες Seveso εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	68
Εικόνα 15. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₆ , Προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	69
Εικόνα 16. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV ₇ , Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	70
Εικόνα 17. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC ₁ , Πληθυσμιακή συγκέντρωση εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	70
Εικόνα 18. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC ₂ , Δομές Υγείας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	71

Εικόνα 19. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC ₃ , Κοινωνικές Υποδομές εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	72
Εικόνα 20. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC ₄ , Υποδομές Πολιτικής Προστασίας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	72
Εικόνα 21. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC ₅ , Πλημμυρικά Φαινόμενα εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	73
Εικόνα 22. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON ₁ , Αστικές Συγκεντρώσεις εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	74
Εικόνα 23. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON ₂ , Αγροτικές Περιοχές εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	74
Εικόνα 24. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON ₃ , Αναπτυγμένες Τουριστικές Περιοχές εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	75
Εικόνα 25. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON ₄ , Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	76
Εικόνα 26. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON ₅ , Δίκτυο Μεταφορών εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά).....	76
Εικόνα 27. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON ₆ , Κτηνοτροφικές Μονάδες εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)	77
Εικόνα 28. Χάρτης αποτύπωσης αποτελεσμάτων ιεράρχησης περιβαλλοντικού κριτηρίου	78
Εικόνα 29. Χάρτης αποτύπωσης αποτελεσμάτων ιεράρχησης κοινωνικού κριτηρίου .	79
Εικόνα 30. Χάρτης αποτύπωσης αποτελεσμάτων ιεράρχησης οικονομικού κριτηρίου	80
Εικόνα 31. Χάρτης συνολικής αποτίμησης ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων περιοχής μελέτης	81
Εικόνα 32. Παραδείγματα χαρτών ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων ως αποτέλεσμα των αλλαγών των συντελεστών βαρύτητας.....	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Μεθοδολογία Ιεράρχησης Αντιπλημμυρικών Έργων	28
Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση δομής αναλυτικής ιεράρχησης	31
Σχήμα 3. Ιεραρχική δομή μοντέλου AHP για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων.	47

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Γραφική απεικόνιση βαρύτητας κριτηρίων βάσει απόψεων εμπειρογνομόνων μέσω γραφήματος Διασποράς (Radar).....	56
Διάγραμμα 2. Συντελεστές βαρύτητας κριτηρίων πρώτου επιπέδου	59
Διάγραμμα 3. Συντελεστές βαρύτητας υποκριτηρίων δεύτερου επιπέδου.....	62
Διάγραμμα 4. Ιστόγραμμα συχνοτήτων χάρτη συνολικής αποτίμησης ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων περιοχής μελέτης.....	82
Διάγραμμα 5. Λογαριθμικό ιστόγραμμα συχνοτήτων χάρτη συνολικής αποτίμησης ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων περιοχής μελέτης	83
Διάγραμμα 6. Γραφική απεικόνιση μεταβολής συντελεστών βαρύτητας (ποσοστιαία μεταβολή περιβαλλοντικού συντελεστή)	86
Διάγραμμα 7. Μεταβολή πλήθους εικονοστοιχείων ανά κλάση (ποσοστιαία μεταβολή περιβαλλοντικού κριτηρίου).....	87
Διάγραμμα 8. Γραφική απεικόνιση μεταβολής συντελεστών βαρύτητας (ποσοστιαία μεταβολή κοινωνικού συντελεστή) (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)	88
Διάγραμμα 9. Μεταβολή πλήθους εικονοστοιχείων ανά κλάση (ποσοστιαία μεταβολή κοινωνικού κριτηρίου).....	89
Διάγραμμα 10. Γραφική απεικόνιση μεταβολής συντελεστών βαρύτητας (ποσοστιαία μεταβολή οικονομικού κριτηρίου) (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία))	90
Διάγραμμα 11. Μεταβολή πλήθους εικονοστοιχείων ανά κλάση (ποσοστιαία μεταβολή οικονομικού κριτηρίου).....	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Καταστροφές από φυσικά φαινόμενα που θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή, υγεία και περιουσία των πολιτών, τα υλικά και πολιτιστικά αγαθά και τις πλουτοπαραγωγικές πηγές και υποδομές της χώρας (Πηγή: Σχέδιο Ξενοκράτης, 2003)	17
Πίνακας 2. Τύποι μέτρων για την αντιμετώπιση του κινδύνου πλημμύρας κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό (Πηγή: Meng et al., 2020)	24
Πίνακας 3. Ιστορικό ενσωμάτωσης Οδηγίας 2007/60/EK στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: floods.ypeka.gr).....	26
Πίνακας 4. Μέθοδοι λήψης αποφάσεων και προβλήματα που επιλύουν (Πηγή: Ishizaka & Nemery, 2013).....	30
Πίνακας 5. Θεμελιώδης κλίμακα απόλυτων αριθμών προτεινόμενη από τον Thomas Saaty (Πηγή: Saaty, 1980).....	33

Πίνακας 6. Τιμές τυχαίου δείκτη (RI) (Πηγή: Saaty, 2001).....	34
Πίνακας 7. Ζευγαρωτή σύγκριση θεματικών επιπέδων κριτηρίων (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)	37
Πίνακας 8. Κριτήρια και δείκτες βιωσιμότητας ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων. 46	
Πίνακας 9. Μέθοδοι συνδυασμού απόψεων εμπειρογνομόνων για τη μέθοδο της AHP (Πηγή: Ishizaka & Labib 2011).....	57
Πίνακας 10. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των σύνθετων κριτηρίων.....	58
Πίνακας 11. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών κριτηρίων	59
Πίνακας 12. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των κοινωνικών κριτηρίων	60
Πίνακας 13. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των οικονομικών κριτηρίων.....	61
Πίνακας 14. Ταξινόμηση πρωτογενών μεταβλητών περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων	64
Πίνακας 15. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μεταβολή του περιβαλλοντικού κριτηρίου, με έντονα γράμματα δίνονται οι αρχικοί συντελεστές βαρύτητας	86
Πίνακας 16. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μεταβολή του κοινωνικού κριτηρίου, με έντονα γράμματα δίνονται οι αρχικοί συντελεστές βαρύτητας.....	87
Πίνακας 17. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μεταβολή του οικονομικού κριτηρίου, με έντονα γράμματα δίνονται οι αρχικοί συντελεστές βαρύτητας.....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι πλημμύρες αποτελούν έναν από τους πιο συχνά επαναλαμβανόμενους και καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους, που επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη ζωή και προκαλούν σοβαρές οικονομικές ζημιές σε ολόκληρο τον κόσμο. Είναι κατανοητό ότι οι κίνδυνοι πλημμύρας δεν θα υποχωρήσουν στο μέλλον και με τη συμβολή της κλιματικής αλλαγής, η ένταση και η συχνότητα των πλημμυρών θα απειλήσουν πολλές περιοχές του κόσμου (Jonkman & Dawson, 2012). Κύρια αιτία του φαινομένου των πλημμυρών αποτελεί η ταχεία συσσώρευση και απελευθέρωση των απορροών των υδάτων από τα ανάντη προς τα κατόντη, η οποία προκαλείται από τις πολύ έντονες βροχοπτώσεις καθώς φτάνουν γρήγορα στο μέγιστο και μειώνονται σχεδόν εξίσου γρήγορα. Η εμφάνιση πλημμυρών προκαλεί ανησυχία στην επιστήμη των υδρολογικών και φυσικών κινδύνων λόγω της κορυφαίας κατάταξης τέτοιων γεγονότων μεταξύ των φυσικών καταστροφών, τόσο ως προς τον αριθμό των ατόμων που πλήττονται παγκοσμίως όσο και ως προς το ποσοστό των θανάτων (Borga, Anagnostou, Blöschl, & Creutin, 2011). Το δυναμικό για θύματα πλημμυρών και ζημιών αυξάνεται επίσης σε πολλές περιοχές λόγω της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης, η οποία συνεπάγεται με πίεση στις χρήσεις γης όπως για παράδειγμα μέσω της αστικοποίησης.

Η αστικοποίηση οδηγεί σε μετατροπή της γεωργικής γης, της φυσικής βλάστησης και των υγροτόπων σε κατοικημένες εκτάσεις, οι οποίες έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του πληθυσμού που κατοικεί σε ευάλωτες σε πλημμύρα περιοχές, όπως πεδινές περιοχές και κοίτες ποταμών. Αυτές οι αλλαγές των εκτάσεων και οι αλλαγές των εντάσεων των καταγίδων, έχουν ως συνέπεια την παραγωγή υψηλότερων ροών που υπερβαίνουν την ικανότητα των μικρών οχετών να την παροχετεύσουν καθώς έχουν σχεδιαστεί για μη αστικές περιοχές. Συνεπώς, παρόλο που σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί τα τεχνικά έργα να είχαν επαρκή αρχικό σχεδιασμό, η χωρητικότητά του αποδεικνύεται ανεπαρκής και ως εκ τούτου προκαλεί υπερχειλίση δημιουργώντας νέα υδάτινα μονοπάτια πλημμυρίζοντας κατοικημένες περιοχές. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η ανεπαρκής συντήρηση των καναλιών αποχέτευσης καθώς και οι φερτές ύλες και τα στερεά απόβλητα που διατίθενται σε τέτοια συστήματα αποχέτευσης, ενδέχεται να επιδεινώσουν την ανωτέρω κατάσταση (APFM, 2012). Ως αποτέλεσμα, η διαδικασία της απορροής της βροχόπτωσης αποτελεί μία περίπλοκη, μη γραμμική και χρονικά και

χωρικά μεταβαλλόμενη κατάσταση, λόγω της μεταβλητότητας των εδαφολογικών ιδιοτήτων και του κλίματος (Chang & Guo, 2006).

Επιπλέον, ο κίνδυνος πλημμύρας αναμένεται να αυξηθεί σε συχνότητα και σοβαρότητα, εξαιτίας της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος, των καιρικών συνθηκών και τη μορφή των ισχυρών βροχοπτώσεων και των συνθηκών εκροής των ποταμών (Dihn, Balica, Popescu, & Jonoski, 2012). Η τρέχουσα τάση και τα μελλοντικά σενάρια κινδύνων πλημμύρας τα οποία προβλέπουν εκτός από την αύξηση του πληθυσμού και τη συσσώρευση περιουσιακών στοιχείων, αναμένουν τόσο η συχνότητα όσο και το μέγεθος των πλημμυρικών φαινομένων λόγω της κλιματικής αλλαγής να αυξηθούν στο μέλλον, συνεπώς επιδεινώνεται ο υφιστάμενος κίνδυνος στις αστικές περιοχές και συνεπώς καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για αντιπλημμυρική θωράκιση.

Η αυξανόμενη ένταση των προκλήσεων για περισσότερη έρευνα με γνώμονα τη λήψη αποφάσεων είναι εμφανής τα τελευταία χρόνια, καθώς οι προτεραιότητες έχουν μετακινηθεί από την εκτίμηση των επιπτώσεων και των τρωτών σημείων, προκειμένου να καταστεί δυνατή η άμβλυση του κινδύνου, στην προσαρμογή του σχεδιασμού σε έναν κόσμο που φαίνεται όλο και λιγότερο πιθανό να παραμείνει εντός των 2 °C της υπερθέρμανσης του πλανήτη (World Bank, 2012). Οι διαπιστώσεις αυτές υπογραμμίζουν την ανάγκη στη δυνατότητα οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων να πραγματοποιούν δύσκολες και επείγουσες επιλογές μεταξύ μιας σειράς εναλλακτικών επιλογών πολιτικής και διαχείρισης σε διασυνδεδεμένα κοινωνικά και φυσικά συστήματα (Sarewitz et al., 2003; Eakin & Patt, 2011).

Οι παράγοντες ωστόσο πίσω από αυτές τις διαπιστώσεις ποικίλουν. Περιλαμβάνουν αντιλήψεις οι οποίες υποστηρίζουν ότι υπάρχει περιορισμένη χρησιμότητα πολλών αξιολογήσεων του αντίκτυπου, της ευπάθειας και της προσαρμοστικής ικανότητας, οι οποίες τροφοδοτούν τις διαθέσιμες επιλογές (Hinkel, 2011; Downing, 2012), καθώς και ανησυχίες ότι αυτού του είδους τα σχέδια φαίνεται να στερούνται εφαρμογής λόγω μιας ποικιλίας περιορισμών και εμποδίων που σχετίζονται με την ανθρώπινη συμπεριφορά και τη διακυβέρνηση (O'Brien & Wolf, 2010; Pelling, 2011). Καθώς επίσης και αντιλήψεις οι οποίες υποστηρίζουν ότι οι προσανατολισμένες στις αποφάσεις προσεγγίσεις θεωρούνται πιο ικανές να αντιμετωπίσουν: 1) τις δυσκολίες στο σχεδιασμό μελλοντικών αβέβαιων συνεπειών από μεταβαλλόμενες και απρόβλεπτες αξίες, προτιμήσεις και ευπάθειες πληθυσμών σε κίνδυνο (Fazey, et al., 2010b; O'Brien & Wolf,

2010), και 2) τις προκλήσεις της αντιμετώπισης πολλών συγκεχυμένων ζητημάτων, όπως οι επιπτώσεις διασταυρούμενης κλίμακας στον χώρο και το χρόνο και ζητήματα με πολλαπλές μορφές αβεβαιότητας (Dessai, O'Brien, & Hulme, 2007).

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Σκοπός της εν λόγω μεταπτυχιακής διατριβής είναι ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος λήψης αποφάσεων σε περιβάλλον GIS για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι της παρούσας μελέτης είναι:

- η ανάπτυξη μιας ιεραρχικής δομής μέσω της μεθοδολογίας της Αναλυτικής Ιεράρχησης για την παροχή των προτιμώμενων επιλογών αντιμετώπισης του πλημμυρικού κινδύνου,
- η ανάπτυξη μιας χωρικής βάσης δεδομένων βάσει των κριτηρίων που θα προκύψουν από την μεθοδολογία της Αναλυτικής Ιεράρχησης.
- η χαρτογράφηση των περιοχών που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της AHP σε περιβάλλον GIS, και
- η ενσωμάτωση των δύο μεθοδολογιών και η εφαρμογή αυτών σε μία μελέτη περίπτωσης.

1.3 ΔΟΜΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ

Έπειτα από εκτενή έρευνα σε σχετικές μελέτες, λογισμικά και αλγορίθμους, η μέθοδος που κρίθηκε ως καταλληλότερη για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων μιας περιοχής, είναι η μέθοδος της Αναλυτικής Ιεράρχησης με χωρική εφαρμογή αυτής σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Στο πρώτο κεφάλαιο του παρόντος τεύχους γίνεται η εισαγωγή στο θέμα και αναφέρεται ο σκοπός της παρούσας διατριβής. Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζεται στην ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο εξηγείται η έννοια, το κίνητρο και η εφαρμογή της λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων χρησιμοποιώντας πολυπαραμετρική προσέγγιση για την χαρτογράφηση των περιοχών που χρήζουν αντιπλημμυρικής θωράκισης χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη προσέγγιση AHP-GIS. Η περιγραφή της περιοχής μελέτης, τα προτεινόμενα κριτήρια ιεράρχησης, η προετοιμασία και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή του τελικού χάρτη ιεράρχησης καθώς και ο έλεγχος εγκυρότητας του μοντέλου που αναπτύχθηκε αναλύεται στη συνέχεια. Η παρούσα μελέτη ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη πιλοτική εφαρμογή, καθώς και τις δυνατότητες για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ, ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ, ΕΙΔΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

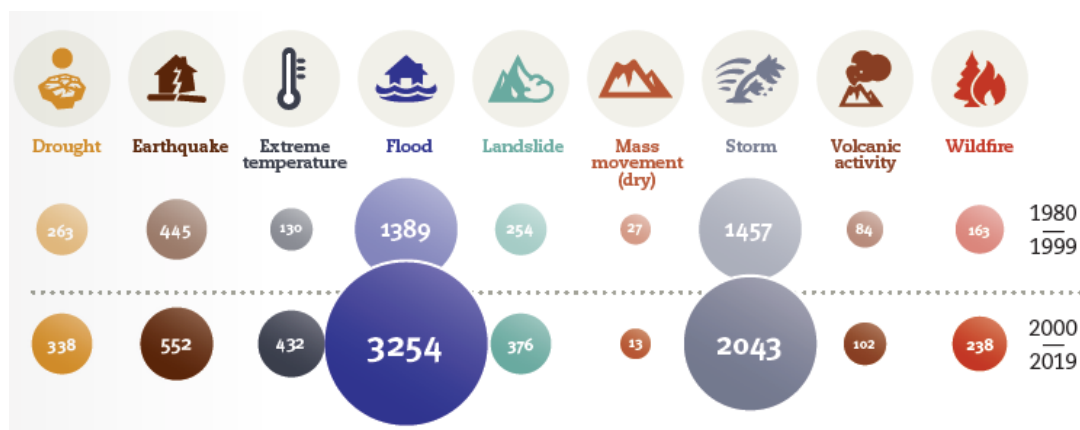
Οι καταστροφές είναι ανεπιθύμητες και συχνά αποτελούν ξαφνικά γεγονότα που προκαλούν ανθρώπινες, υλικές, οικονομικές ή/και περιβαλλοντικές απώλειες, οι οποίες υπερβαίνουν την ικανότητα αντιμετώπισης της πληγείσας περιοχής. Προκαλούνται είτε από φυσικές διαδικασίες (γνωστές ως φυσικές καταστροφές), είτε από ανθρώπινες ενέργειες, αμέλεια ή σφάλματα (γνωστές ως ανθρωπογενείς καταστροφές). Ως φυσική καταστροφή ορίζεται ένα σοβαρό, μεγάλης κλίμακας, δυσμενές γεγονός ως αποτέλεσμα φυσικών διαδικασιών της γης και της βιόσφαιρας (Σαπουντζάκη & Δανδουλάκη, 2015).

Οι φυσικές καταστροφές ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες ομάδες (CRED, 2009):

- 1) **Γεωφυσικές καταστροφές**, όπως σεισμός, ηφαιστειακή έκρηξη, κατολίσθηση, χιονοστιβάδα και καθίζηση,
- 2) **Υδρο-μετεωρολογικές καταστροφές**, όπως πλημμύρα, ξηρασία, καταιγίδα, ακραίες θερμοκρασίες, πυρκαγιές και κίνηση υγρής μάζας, και
- 3) **Βιολογικές καταστροφές**, όπως επιδημία, προσβολή από έντομα και ζώα.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι κίνδυνοι αυξάνονται τόσο σε συχνότητα όσο και σε ένταση (Εικόνα 1). Για το λόγο αυτό, προκειμένου να υπάρχει ορθή καταγραφή και παρακολούθηση των τάσεων των καταστροφών δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων εκδήλωσης έκτακτων αναγκών (EM-DAT, Emergency Events Database) του CRED, η οποία περιέχει τα πιο ολοκληρωμένα δεδομένα στον κόσμο, σχετικά με την εμφάνιση και τις επιπτώσεις των τεχνολογικών και φυσικών καταστροφών που σχετίζονται με τον κίνδυνο από το 1900 έως σήμερα. Δημιουργήθηκε με την υποστήριξη του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) και της Βέλγικης κυβέρνησης, και ο κύριος στόχος της είναι η ενημέρωση σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, προκειμένου να βελτιωθεί η λήψη αποφάσεων στο στάδιο της πρόληψης, να παρέχονται αντικειμενικά δεδομένα για την αξιολόγηση της ευπάθειας των περιοχών σε καταστροφές και να βοηθήσει τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να θέσουν προτεραιότητες.

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη καταγραφή (CRED, 2020), το 2019 σημειώθηκαν 396 φυσικές καταστροφές με 11.755 θανάτους, 95 εκατομμύρια άτομα επλήγησαν από αυτές και υπολογίστηκαν 103 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ σε οικονομικές απώλειες σε όλο τον κόσμο. Από τα διάφορα είδη φυσικών καταστροφών που αναφέρθηκαν ανωτέρω, οι πλημμύρες ήταν ο πιο θανατηφόρος τύπος καταστροφών και αντιστοιχούσε στο 43,5% των θανάτων, ακολουθούμενος από τις ακραίες θερμοκρασίες (35%) και τις καταιγίδες (21,5%). Σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία (2009-2018), το 2019 σημειώθηκαν περισσότερες καταστροφές σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο των 343 συμβάντων, λιγότεροι θάνατοι σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο των 45.212, επηρεάστηκε λιγότερος αριθμός ατόμων σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο των 184,7 εκατομμυρίων ατόμων, και καταγράφηκαν χαμηλότερες οικονομικές απώλειες σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο των 176 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Αυτή η μείωση των επιπτώσεων οφείλεται στην απουσία μαζικών καταστροφών, όπως ο σεισμός του 2010 στην Αϊτή (222.500 θάνατοι), η ξηρασία 2015-2016 στην Ινδία (330 εκατομμύρια άτομα επηρεάστηκαν) και ο σεισμός και το τσουνάμι της Ιαπωνίας το 2011 (ζημιές 210 δισεκατομμυρίων δολαρίων).



Εικόνα 1. Συνολικά καταγεγραμμένα γεγονότα καταστροφών ανά κατηγορία για τη χρονική περίοδο 1980-1999 έναντι 2000-2019

(Πηγή: CRED, 2020)

Σύμφωνα με τα ανωτέρω δεδομένα, διαπιστώνεται ότι οι πλημμύρες συμβάλλουν σημαντικά τόσο στην απώλεια ζώων όσο και στην οικονομική απώλεια από καταστροφές, ενώ η διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2012) προβλέπει ότι η συχνότητα και η ένταση των πλημμυρών θα αυξηθούν στο μέλλον. Με τον όρο *πλημμύρα* σύμφωνα με την διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC) νοείται ως, η υπερχείλιση των φυσιολογικών ορίων ρεύματος ή άλλης υδάτινης μάζας, ή η συσσώρευση νερού σε περιοχές που υπό κανονικές συνθήκες δεν είναι βυθισμένες.

Ανάλογα με την προέλευση και τα χαρακτηριστικά τους, οι πλημμύρες μπορούν να διακριθούν σε τρεις τύπους: ποτάμιες (fluvial), αστικές (pluvial) ή παράκτιες (coastal), ενώ τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Καταστροφές από φυσικά φαινόμενα που θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή, υγεία και περιουσία των πολιτών, τα υλικά και πολιτιστικά αγαθά και τις πλουτοπαραγωγικές πηγές και υποδομές της χώρας (Πηγή: Σχέδιο Ξενοκράτης, 2003)

Φυσικό Καταστροφικό Φαινόμενο	Αίτιο Γενέσεως	Πρωτογενή Φαινόμενα	Δευτερογενή Φαινόμενα	Βλαπτικές Συνέπειες Επιπτώσεις	
Πλημμύρα	Αστική	Έντονες βροχοπτώσεις, υπερχειλίση ποταμών/φραγμάτων, παλιρροιακά κύματα	Κατακλυσμός αστικών περιοχών	Κατολισθήσεις, Μετατοπίσεις, Διάβρωση Εδαφών	Αποκλεισμός περιοχών, Ρύπανση υδάτων, βιομηχανικά ατυχήματα, ζημιές σε κτήρια, αρχαιολογικούς χώρους/μουσεία, εγκαταστάσεις, αγρ. καλλιέργειες, οδικό & σιδηροδρομικό δίκτυο, εγκλωβισμός ατόμων, τραυματίες, νεκροί
	Ποτάμια	Υπερχειλίση ποταμού από έντονη βροχόπτωση	Κατακλυσμός γεωργικών περιοχών, χωρίων, πόλεων κλπ.		
	Παράκτια	Παλιρροιακά κύματα βαρύτητας (tsunamis). Ισχυροί άνεμοι, κυματισμός	Άνοδος στάθμης θαλάσσης και κατακλυσμός παράκτιων περιοχών	Κατολισθήσεις, Διάβρωση, Μετατοπίσεις εδαφών	Ρύπανση υδάτων, Αποκλεισμός περιοχών, Ζημιές σε κτήρια, εγκαταστάσεις, οδικό δίκτυο κλπ., Εγκλωβισμός ατόμων, Τραυματίες-νεκροί

Πολλές από τις ανωτέρω επιπτώσεις μπορούν να αποφευχθούν, καθώς οι πλημμύρες, σε αντίθεση με τους περισσότερους τύπους καταστροφών, έχουν προσιτούς μηχανισμούς πρωτογενούς πρόληψης, όπως φράγματα, αναχώματα και συστήματα αποχέτευσης.

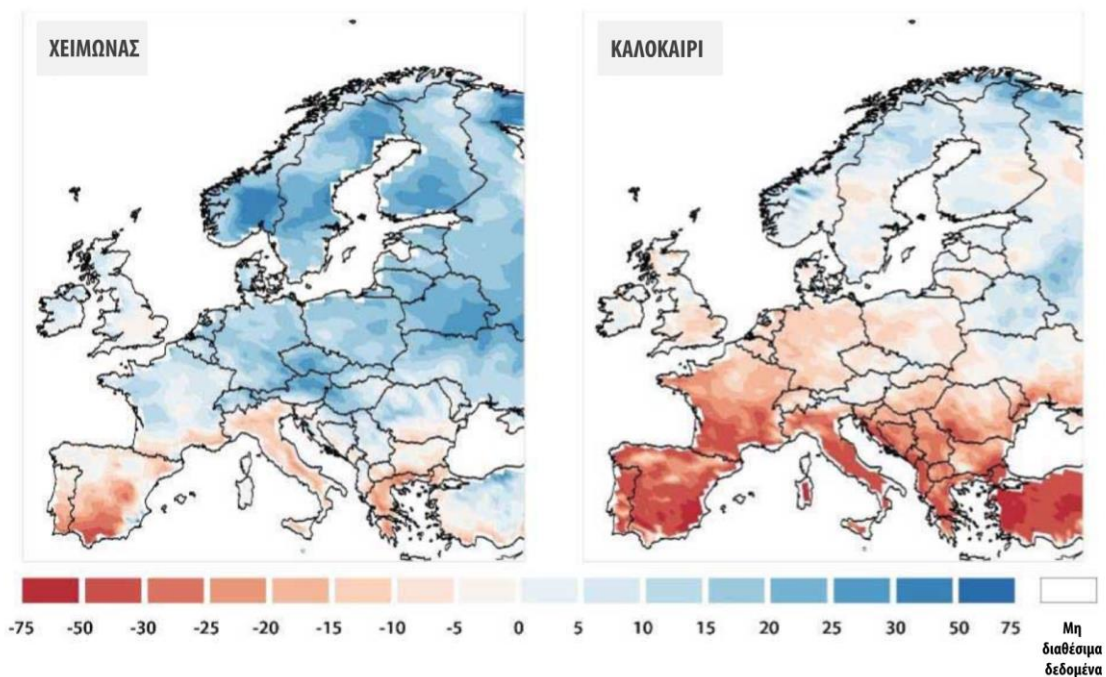
2.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Την τελευταία δεκαετία υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία για τον αντίκτυπο των μεταβαλλόμενων συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου και τις επιπτώσεις που ενδέχεται να έχουν αυτές οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα νερού. Πιστεύεται ότι περαιτέρω

μεταβολές της ατμοσφαιρικής χημείας θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξημένες ανωμαλίες στις κλιματολογικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η καθίζηση και η εξατμισοδιαπνοή και θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο δραματικές επιπτώσεις στα πρότυπα ροής και στις ακραίες συνθήκες. Με βάση τα σενάρια των προβλεπόμενων μελλοντικών ατμοσφαιρικών συνθηκών, αναμένεται ότι ενδέχεται να υπάρξουν πιο έντονες αλλαγές στο καθεστώς ροής σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Εάν οι προβολές αυτές αποδειχθούν σωστές, ενδέχεται να επικρατήσουν πιο σοβαρές ή ακραίες συνθήκες. Στο πλαίσιο των εργασιών της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, πραγματοποιήθηκαν διάφορες μελέτες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις πλημμύρες.

Οι μελέτες αυτές έδειξαν ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω αύξηση της πιθανότητας και του μεγέθους του κινδύνου πλημμύρας, ενώ είναι βέβαιο ότι η δημογραφική και οικονομική ανάπτυξη θα προκαλέσει συνεχή αύξηση της ευπάθειας πολλών πεδινών και παράκτιων περιοχών. Ακόμη και μία μέτρια οικονομική ανάπτυξη της τάξεως του 2% σε περιοχές με πλημμύρες, θα διπλασιάζει την οικονομική ζημιά μιας δεδομένης πλημμύρας κάθε 30-35 χρόνια. Μετά τις καταστροφές του παρελθόντος, οι κυβερνήσεις ξεκίνησαν τη διαχείριση των πλημμυρών, επενδύοντας σε μέτρα όπως η πρόληψη πλημμυρών, τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και ο σχεδιασμός εκκένωσης, με απώτερο στόχο την καλύτερη προστασία των κατοίκων και των περιουσιακών τους στοιχείων από τους κινδύνους πλημμύρας.

Οι παρατηρηθείσες κλιματικές τάσεις και οι μελλοντικές προβολές για το κλίμα καταδεικνύουν σημαντικές διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων στην Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την υπ' αριθ. 25 Ειδική Έκθεση του 2018 «Οδηγία για τις πλημμύρες: πρόοδος ως προς την αξιολόγηση των κινδύνων, ανάγκη βελτίωσης του σχεδιασμού και της υλοποίησης» (υποβαλλόμενη δυνάμει του άρθρου 287, παράγραφος 4, δεύτερο εδάφιο, ΣΛΕΕ), προβλέπεται ότι οι χειμερινές βροχοπτώσεις ενδέχεται να αυξηθούν σε ορισμένα μέρη της Ευρώπης κατά περισσότερο από 25% τα τελευταία 20 χρόνια όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Ποσοστιαία αλλαγή της εποχικής βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 2071-2100, σε σύγκριση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 (σενάριο παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2 °C)

(Πηγή: Climate Impacts in Europe, έργο PESETA II του JRC, 2014. Στοιχεία από Dosio and Paruolo, 2011 και Dosio κ.α., 2012)

2.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Οι καταστροφές είναι τόσο παλιές όσο και η ανθρώπινη ιστορία, αλλά η δραματική αύξηση και οι ζημιές που υπέστη ο κόσμος από αυτές στο πρόσφατο παρελθόν έχει γίνει αιτία εθνικής και διεθνούς ανησυχίας.

Η βιώσιμη και αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων απαιτεί μία ολιστική προσέγγιση, συνδυάζοντας την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη, με τη διαχείριση των φυσικών οικοσυστημάτων. Καθώς οι καταστροφές από τις πλημμύρες ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά τη βιωσιμότητα της ανάπτυξης, τα ζητήματα πλημμύρας πρέπει να αντιμετωπιστούν στο πλαίσιο μιας Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων. Η ενσωμάτωση των κινδύνων πλημμύρας στις αναπτυξιακές στρατηγικές απαιτεί μια κίνηση προς μία κουλτούρα πρόληψης.

Η αειφόρος ανάπτυξη στις περιοχές όπου λαμβάνουν χώρα πλημμύρες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας, διότι τα μέτρα μείωσης του κινδύνου πλημμύρας, κυρίως τα διαρθρωτικά έργα μετριασμού των πλημμυρών (όπως πχ τα αναχώματα), επηρεάζουν το οικοσύστημα και τις συνθήκες

διαβίωσης των κατοίκων που μένουν σε πληττόμενες περιοχές. Ως τελικοί στόχοι, τα μέτρα άμβλυνσης των πλημμυρών θα πρέπει να διασφαλίζουν τη μείωση του κινδύνου πλημμύρας καθώς και να συμβάλλουν θετικά στη βελτίωση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών αξιών της πληττόμενης περιοχής. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, τα διαρθρωτικά έργα μετριασμού των πλημμυρών υλοποιούνται ως απάντηση σε μεγάλα γεγονότα πλημμύρας, συνήθως στο πλαίσιο ενός προγράμματος αποκατάστασης μετά την πλημμύρα, με χρηματοδότηση από τη κυβέρνηση ή διεθνείς αναπτυξιακούς οργανισμούς. Μερικές φορές αυτά τα έργα στερούνται επαρκούς σχεδιασμού καθώς εκτελούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα λόγω κοινωνικής και πολιτικής πίεσης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία των έργων να επιτύχουν το επιθυμητό επίπεδο μείωσης του κινδύνου πλημμύρας (Schipper & Pelling, 2006; DFID, 2005), την υποβάθμιση των κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών συνθηκών, ακόμη και τη δημιουργία νέων κινδύνων λόγω απρόβλεπτης ανάπτυξης (AAGD, 2013; Wamsler, 2004; Luino, Turconi, Petrea, & Nigrelli, 2012). Ως εκ τούτου, ο προγραμματισμός, η εφαρμογή και η αποτελεσματική παρακολούθηση των έργων μετριασμού των πλημμυρών είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του κινδύνου πλημμύρας και την ενίσχυση των θετικών επιπτώσεων στα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά στοιχεία, τα οποία τελικά θα συμβάλουν στην επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.

Μερικοί ερευνητές πρότειναν πρόσφατα μεθόδους αξιολόγησης της αειφορίας για μεμονωμένα έργα. Για παράδειγμα, ο Varey (2004) προτείνει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο αξιολόγησης της αειφορίας για την αξιολόγηση των αναπτυξιακών προτάσεων της τοπικής αυτοδιοίκησης. Στην περίπτωση μεγάλων έργων υποδομής (όπως μία γέφυρα), οι Ugwu et al., (Ugwu, Kumaraswamy, Wong, & Ng, 2006) πρότειναν ένα αναλυτικό μοντέλο απόφασης για την αξιολόγηση της αειφορίας σε έργα υποδομών. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει μια μέθοδο απλής πολυκριτηριακής ανάλυσης (weighted sum model) για την ανάλυση αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDA) και ένα μοντέλο Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) για τη λήψη αποφάσεων με τη χρήση πολλαπλών κριτηρίων. Το μοντέλο αυτό παρήγαγε ένα δείκτη αειφορίας και η κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών σχεδιασμού πραγματοποιείται σύμφωνα με διάφορους δείκτες αειφορίας.

Παρόμοια με τα έργα υποδομής, όπως οδικοί άξονες και γέφυρες, τα περισσότερα αντιπλημμυρικά έργα περιλαμβάνουν μεγάλες υποδομές όπως την κατασκευή

αναχωμάτων και φραγμάτων (Kundzewicz & Takeuchi, 1999). Οι στόχοι του σχεδιασμού των αντιπλημμυρικών έργων είναι πολύ διαφορετικοί από αυτούς των υπολοίπων καθώς απαιτούν ολοκληρωμένη αξιολόγηση λαμβάνοντας υπόψη τα παρόντα και μελλοντικά περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά ζητήματα της περιοχής μελέτης. Επομένως, πρέπει να υπάρχουν εργαλεία αειφόρου ανάπτυξης που να είναι ρητά για αντιπλημμυρικά έργα. Μέχρι σήμερα λίγες πρωτοβουλίες έχουν ήδη αναληφθεί για την ανάπτυξη τέτοιων εργαλείων στο σχεδιασμό περιφερειακών έργων αντιμετώπισης των πλημμυρών. Η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου ανέπτυξε πρόσφατα έναν οδηγό για την αξιολόγηση των ποτάμιων και παράκτιων πλημμυρών, πολιτικές και σχέδια για την διαχείριση της διάβρωσης (DEFRA, 2007). Σε αυτήν την προσέγγιση, το εργαλείο αειφορίας και άλλοι δείκτες απόδοσης, όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η υγεία και ασφάλεια των πολιτών και η αξιολόγηση του κόστους, έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών για αντιπλημμυρικά έργα μόνο κατά το στάδιο του σχεδιασμού.

Συνολικά, διαπιστώνεται ότι οι προσεγγίσεις αξιολόγησης της αειφορίας που αναπτύχθηκαν για έργα στοχεύουν στην επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής. Ωστόσο, δεν υπάρχει κανένα μέσο που να δικαιολογεί εάν η επιλεγμένη λύση θα είναι πραγματικά βιώσιμη μακροπρόθεσμα. Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι η αξιολόγηση της αειφορίας θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού, υλοποίησης και παρακολούθησης ενός έργου (DEFRA, 2007).



Εικόνα 3. Κύκλος διαχείρισης καταστροφών

(Πηγή: WMO, 2017)

Η κατανόηση του κύκλου διαχείρισης καταστροφών (Εικόνα 3) είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό των προβλημάτων βιωσιμότητας που σχετίζονται με το έργο, καθώς και για τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο η αξιολόγηση της αειφορίας μπορεί να ενταχθεί στην τρέχουσα διαδικασία σχεδιασμού. Λαμβάνοντας υπόψη διάφορες πτυχές, ο συνολικός κύκλος διαχείρισης καταστροφών αποτελείται από τις ακόλουθες κύριες φάσεις (WHO, 2017):

1^η Φάση | Πρόληψη/Μετριασμός

Περιλαμβάνει μέτρα και δραστηριότητες οι οποίες ενσωματώνονται στον περιφερειακό και εθνικό αναπτυξιακό σχεδιασμό, μειώνοντας την πιθανότητα ή/και τις επιπτώσεις των καταστροφών.

2^η Φάση | Προετοιμασία

Στόχος των προγραμμάτων αυτής της φάσης είναι η επίτευξη κατάλληλου επιπέδου ετοιμότητας, προκειμένου η πληττόμενη περιοχή να ανταποκριθεί σε οποιαδήποτε κατάσταση έκτακτης ανάγκης που μπορεί να προκύψει, μέσω προγραμμάτων που ενισχύουν την τεχνική και διαχειριστική ικανότητα των κοινοτήτων να ανταποκριθούν.

3^η Φάση | Ετοιμότητα

Στόχος είναι η άμεση βοήθεια για τη διατήρηση της ζωής και τη βελτίωση της υγείας του πληγέντος πληθυσμού σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Επίκεντρο της φάσης αυτής είναι η κάλυψη των βασικών αναγκών των ανθρώπων έως ότου δημιουργηθούν μόνιμες και πιο βιώσιμες λύσεις.

4^η Φάση | Ανάκαμψη

Αφορά στις δραστηριότητες που αποσκοπούν στην αποκατάσταση των μέσων διαβίωσης, στη στήριξη των υποδομών και στην αξιοποίηση των ευκαιριών για τη μείωση της μελλοντικής ευπάθειας, ενισχύοντας την πρόληψη και αυξάνοντας την ετοιμότητα.

Κατά την αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας για θέματα διαχείρισης καταστροφών, διαπιστώθηκε ότι οι περισσότερες μελέτες στοχεύουν στον εντοπισμό αποτελεσματικών λύσεων για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των κινδύνων πλημμύρας. Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, πραγματοποιήθηκε μετάβαση από την υδρολογική μηχανική προς την ολοκληρωμένη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, λαμβάνοντας

υπόψη τις ζημιές που μπορεί να προκληθούν στην ευρύτερη περιοχή μιας λεκάνης απορροής, όπου η ασφάλεια και η σιγουριά των παραδοσιακών υποδομών ελέγχου πλημμύρας μπορεί να παρεκκλίνει (Vis, Klijn, De Bruijn, & Van Buuren, 2003; Takeuchi, 2001). Οι έννοιες του «κύκλου καταστροφών» ή του «κύκλου κινδύνων πλημμύρας» ενέπνευσαν την μετάβαση αυτή, η οποία στρέφει την προσοχή των επιστημόνων στις διαδοχικές φάσεις διαχείρισης των πλημμυρών (Khan, Vasilescu, & Khan, 2008). Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκαν πολλά ανθεκτικά μέτρα, όπως η πρόληψη, η προστασία, η απόκριση και η αποκατάσταση παρόλο που ερμηνεύθηκαν διαφορετικά σε διάφορα μοντέλα (European Commission; Thieken, Kreibich, Müller, & Merz, 2007) (Πίνακας 2).

Ωστόσο, η εφαρμογή των προτεινόμενων μέτρων αντιμετωπίζει συχνά προκλήσεις, δεδομένης της τεράστιας επένδυσης, καθώς και των δεδομένων και της προγνωστικής αβεβαιότητας κατά τη φάση της μοντελοποίησης (Vis, Klijn, De Bruijn, & Van Buuren, 2003). Επιπλέον, οι τρέχουσες επιτυχημένες λύσεις ενδέχεται να μην είναι πλέον βιώσιμες όταν οι κίνδυνοι υπερβαίνουν τα όρια (η μέγιστη ικανότητα ενός συστήματος να διατηρεί την ασφάλεια, πχ συστήματα αποχέτευσης) στο μέλλον. Συνεπώς, τα στατικά ή ελαστικά μέτρα δεν είναι σκόπιμα ενόψει της απρόβλεπτης κλιματικής αλλαγής και η ευελιξία για τη μετάβαση από τη μία εναλλακτική στην άλλη είναι ιδιαίτερα σημαντική (Buurman & Babovic, 2016; Barnett, και συν., 2014).

Κατά συνέπεια, η πρόσφατη βιβλιογραφία από τη δεκαετία του 2010 έστρεψε σταδιακά την προσοχή της στην αξιολόγηση της εγκυρότητας και της πορείας των προτεινόμενων μέτρων, η οποία απαιτεί μια δυναμική και προσαρμοστική μέθοδο για να προσφέρει διάφορες επιλογές ανά στάδιο του κύκλου διαχείρισης (Kundzewicz & Takeuchi, 1999). Έτσι, έχει αναπτυχθεί μια σειρά μελετών για να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και τους επαγγελματίες να οργανώσουν τις επενδύσεις και τον χρόνο με διαδοχικό τρόπο, να προσδιορίσουν τα όρια ή τα σενάρια εξάρτησης ενός συστήματος βασιζόμενο στις εναλλακτικές σε επίπεδο έθνους, πόλης, περιοχής, να καθορίσουν τα σημεία αποφάσεων για την προετοιμασία των εναλλακτικών λύσεων και να προγραμματίσει τη μελλοντική πορεία για την εφαρμογή ενός συνδυασμού ανθεκτικών εναλλακτικών (Denton, και συν., 2014).

Πίνακας 2. Τύποι μέτρων για την αντιμετώπιση του κινδύνου πλημμύρας κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό (Πηγή: Meng et al., 2020)

Μέτρα	Δηλώσεις Σχεδιασμού/Πολιτικής/Κανονισμών	(Μη) Διαρθρωτικές Παρεμβάσεις στην πρακτική	Πηγή
Αποφυγή/Πρόληψη (<i>avoidance/prevention</i>)	Κατάρτιση σχεδίων Ζωνών Πλημμύρας, απόκτησης γης και κατάρτιση σχεδίων μετεγκατάστασης	<ul style="list-style-type: none"> • Διαχείριση λεκανών απορροής (αποφυγή αστικής ανάπτυξης σε περιοχές που πλήττονται από πλημμύρες) • Ρύθμιση λειτουργίας (οικονομικές επιχειρήσεις, κατοικημένες περιοχές και περιοχές αναψυχής) • Μετακινήσεις πληθυσμών και κτηρίων 	Sayers et al., 2013 Kang et al., 2009 Thampapillai & Musgrave, 1985
Άμυνα (<i>defence</i>)	Πολυλειτουργικά κατασκευαστικά μέτρα για την αντιμετώπιση παράκτιων και ποτάμιων πλημμυρών, λαμβάνοντας υπόψη τον ελεύθερο χρόνο, το τοπίο και το εμπόριο	<ul style="list-style-type: none"> • Αναχώματα, τείχη πλημμύρας (αποκατάσταση, συνδυασμός με κατοικημένες περιοχές, εμπορική ανάπτυξη, πρασίνισμα και μεταφορά) • Δεξαμενές (αποθήκευση και παροχή νερού, φυσικό τοπίο, αναψυχή) 	Van Veelen et al., 2015 Voorendt, 2017 Wingfield et al., 2019
Περιορισμός (<i>mitigation</i>)	Χρήση φυσικών υποδομών για τη μείωση των παράκτιων πλημμυρών, κατακράτηση βροχοπτώσεων και οριοθέτηση ποταμών	<ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργία πράσινων αποθηκών και περιοχών πλημμύρας • Δημιουργία και συντήρηση μακρόβιων οικοσυστημάτων, υδροτόπων, λιμνών, πράσινων διαδρόμων • Δημιουργία υδάτινων οδών και καναλιών αποτροπής, πρασίνισμα περιοχών • Βιώσιμα συστήματα αποχέτευσης (κήποι βροχής, υδατοδιαπερατά οδοστρώματα, πράσινες στέγες) 	Sayers et al., 2013 Van Veelen et al., 2015 Wingfield et al., 2019
Προετοιμασία (<i>preparation</i>)	Κανόνες δόμησης και έλεγχοι κτηρίων, κατάρτιση σχεδίων εκκένωσης	<ul style="list-style-type: none"> • Στεγανοποίηση κτηρίων (τοιχοί συγκράτηση νερού, κινητά εμπόδια, δομική απαίτηση για αντοχή στην πίεση του νερού, απαγόρευση υπογείων, προσόψεις με ανοχή στις πλημμύρες, πρότυπα θεμελίωσης κτηρίων) • Βελτιστοποίηση οδικών δικτύων 	Voorendt, 2017 Jamrussri & Toda, 2018 Elsargany et al., 2015 Water Resources Council, 1971
Ανάκαμψη (<i>recovery</i>)	Κατάρτιση σχεδίων ανάκαμψης, προστασία κρίσιμων υποδομών	<ul style="list-style-type: none"> • Ανακατασκευή κτηρίων • Επανεγκατάσταση και ενίσχυση υποστηρικτικών κτηρίων, όπως σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κέντρα υγειονομικής περίθαλψης και αστυνομικά τμήματα 	WHO, 2017 Olshansky et al., 2008 Sayers et al., 2013

2.4 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις πιο επικίνδυνες κατηγορίες φυσικών καταστροφών καθώς θέτουν σε κίνδυνο ζωές, προκαλούν οικονομικές και κοινωνικές απώλειες, ενώ μπορεί να έχουν και σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες, όπως για παράδειγμα κατά την κατάκλυση εγκαταστάσεων με μεγάλες ποσότητες τοξικών χημικών ή κατά την καταστροφή περιοχών υδροτόπων. Μέχρι πρόσφατα οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ακολουθούσαν διαφορετικές στρατηγικές αντιμετώπισης των πλημμυρικών φαινομένων, ενώ σε περιπτώσεις διασυνοριακών ποταμών η αντιμετώπιση αυτών από τα εμπλεκόμενα κράτη μέλη κρίθηκε ελλιπής ή και αναποτελεσματική.

Λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση των πλημμυρικών γεγονότων που λαμβάνουν χώρα τα τελευταία χρόνια καθώς και την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 εξέδωσε την Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την εκτίμηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου 2007. Στόχος της είναι η μείωση και η διαχείριση των κινδύνων που προκαλούνται από τις πλημμύρες στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα.

Η Οδηγία που εφαρμόζεται σε όλα τα είδη πλημμυρών και σε ολόκληρη την επικράτεια της ΕΕ απαιτεί από τα κράτη μέλη να προσεγγίσουν τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας σε μία διαδικασία **τριών σταδίων** σύμφωνα με τα οποία θα έπρεπε:

1. Τα κράτη μέλη να πραγματοποιήσουν έως το 2011 μία προκαταρκτική εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας των λεκανών απορροής ποταμών και των συναφών παράκτιων ζωνών τους, για να εντοπίσουν περιοχές όπου υπάρχει πιθανός σημαντικός κίνδυνος πλημμύρας.
2. Στις περιοχές όπου υπάρχουν πραγματικοί κίνδυνοι ζημιών από πλημμύρες, θα έπρεπε έως το 2013 να αναπτυχθούν χάρτες κινδύνου πλημμύρας και χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας. Αυτοί οι χάρτες θα προσδιορίσουν περιοχές με μέτρια πιθανή πλημμύρα (τουλάχιστον 1 στα 100 χρόνια) και ακραία γεγονότα ή συμβάντα χαμηλής πιθανότητας, στα οποία πρέπει να αναφέρονται τα αναμενόμενα βάθη νερού. Στις περιοχές όπου εντοπίζονται ότι κινδυνεύει σημαντικός αριθμός κατοίκων, λαμβάνεται υπόψη και η οικονομική δραστηριότητα καθώς και το ενδεχόμενο περιβαλλοντικής ζημιάς.

3. Τέλος, έως το 2015 θα έπρεπε να εκπονηθούν σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας για τις περιοχές αυτές. Αυτά τα σχέδια πρέπει να περιλαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της πιθανότητας πλημμύρας και των ενδεχόμενων συνεπειών της. Θα αντιμετωπίζουν όλες τις φάσεις του κύκλου διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας, αλλά θα επικεντρώνονται ιδιαίτερα στη πρόληψη (δηλαδή στην πρόληψη ζημιών που προκαλούνται από πλημμύρες, αποφεύγοντας την κατασκευή σπιτιών και βιομηχανιών σε σημερινές ή μελλοντικές περιοχές με πλημμύρες), στη προστασία (λαμβάνοντας μέτρα για τη μείωση της πιθανότητας πλημμυρών ή/και των επιπτώσεων των πλημμυρών σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία, όπως η αποκατάσταση πεδιάδων και υδροτόπων) και στην ετοιμότητα (πχ παροχή οδηγιών στο κοινό σχετικά με το τι πρέπει να πραγματοποιηθεί σε περίπτωση πλημμύρας).

Λόγω της φύσης των πλημμυρών, τα κράτη μέλη έχουν μεγάλη ευελιξία ως προς τους στόχους και τα μέτρα. Τα συγκεκριμένα στάδια θα πρέπει να επανεξετάζονται κάθε 6 χρόνια. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν υπόψη τις μακροπρόθεσμες εξελίξεις, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής αλλαγής, καθώς και πρακτικές βιώσιμης χρήσης στον κύκλο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας που αναφέρονται στη παρούσα οδηγία.

Σε εφαρμογή του άρθρου 10 της Οδηγίας 2007/60/EK και του άρθρου 9 της ΚΥΑ 31822/1542/E103 (ΦΕΚ 1108/B/21-07-2010) με την οποία ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο η Κοινοτική Οδηγία 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 για την «Αξιολόγηση και Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας», ακολουθεί το ιστορικό ενσωμάτωσης των ανωτέρω σταδίων στον Ελλαδικό χώρο (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Ιστορικό ενσωμάτωσης Οδηγίας 2007/60/EK στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: floods.ypeka.gr)

α/α	Διαδικασία	Ημερομηνία
1	<p>Ολοκλήρωση Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας από την ΕΓΥ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δημοσιοποίηση πλήρους Έκθεσης • Βάση δεδομένων με τις ιστορικές και τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες • Σχετικά γεωχωρικά δεδομένα για τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας 	22/11/2012
2	<p>Δημοσιοποίηση των Χαρτών Επικινδυνότητας και των Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας στην ιστοσελίδα floods.ypeka.gr για το σύνολο των ΥΔ της χώρας</p> <p>Ολοκλήρωση ανάρτησης στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών Νερού WISE</p>	31/3/2017

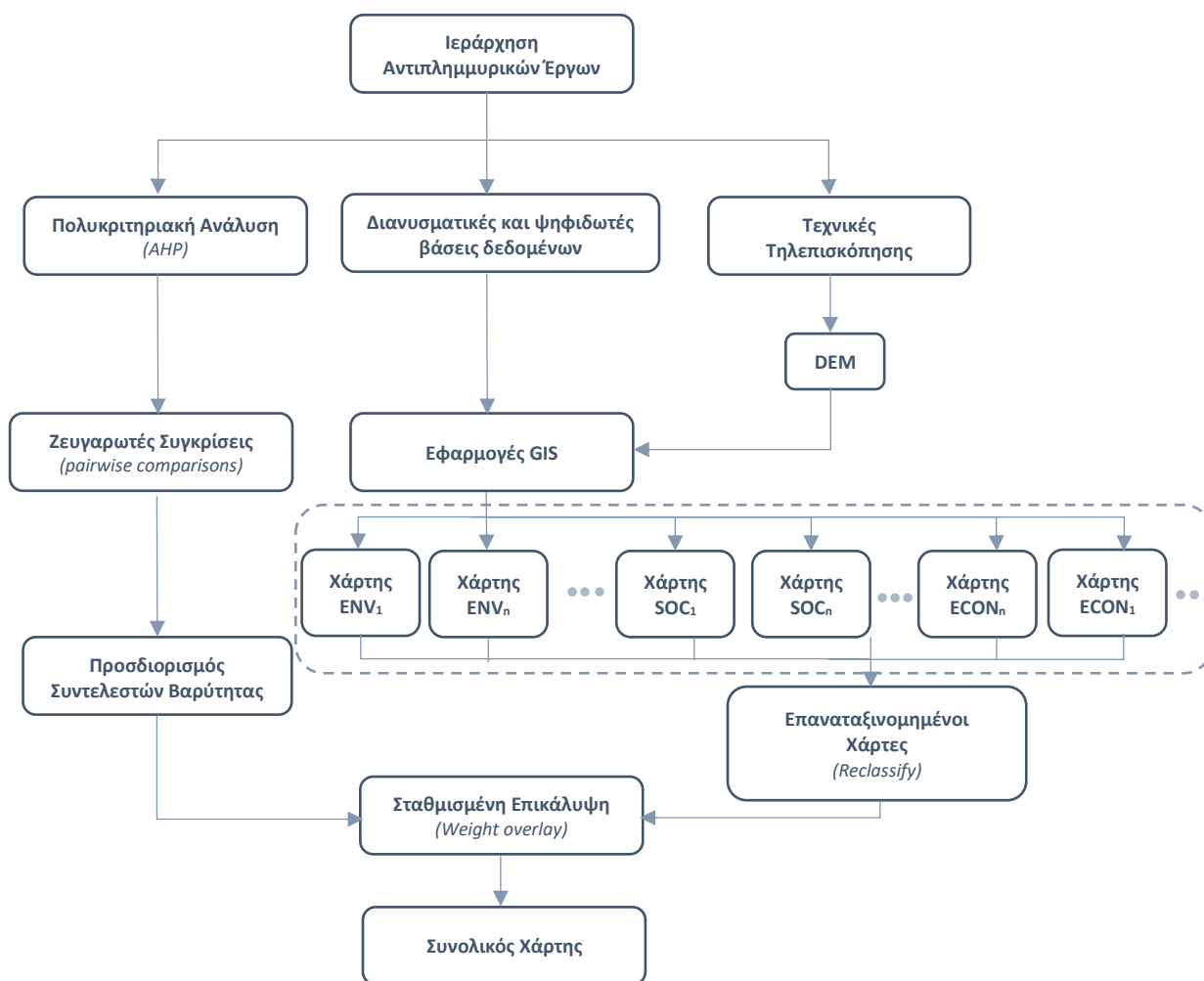
α/α	Διαδικασία	Ημερομηνία
3	Ανάρτηση των Προσχεδίων των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας στην ιστοσελίδα floods.ypeka.gr Γνωστοποίηση στις Δ/νσεις Υδάτων των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων και στην Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας	14/7/2017
4	Ολοκλήρωση των Στρατηγικών Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) που συνοδεύουν τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας	25/8/2017
5	Ανάρτηση των ΣΜΠΕ στην ιστοσελίδα του ΥΠΕΝ	29/1/2018
6	Δημοσίευση της 1 ^{ης} Αναθεώρησης της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας για το σύνολο των ΥΔ της χώρας	2/7/2020

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την απάντηση στο κύριο ερευνητικό ερώτημα με βάση τη θεωρία που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 2. Η κατάλληλη επιλογή αντιπλημμυρικών έργων μπορεί να διατυπωθεί ως ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων με τη χρήση πολλαπλών κριτηρίων, όπου ένα σύνολο εναλλακτικών στοιχείων A_i ($i=1,2,\dots,n$) αξιολογείται με βάση διάφορα ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια C_j ($j=1,2,\dots,k$) στα οποία έχουν τεθεί ορισμένα βάρη. Προκειμένου να βοηθηθούν οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων στις προσπάθειές τους να διαχειριστούν αποτελεσματικά τα αντιπλημμυρικά έργα μιας περιοχής, αναπτύσσεται ένα σύστημα λήψης αποφάσεων όπως αυτό αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 1. Μεθοδολογία Ιεράρχησης Αντιπλημμυρικών Έργων

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Στη συνέχεια πραγματοποιείται περιγραφή της μεθόδου AHP, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας του κάθε κριτηρίου, και τον συνδυασμό αυτής με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μέσω της μεθόδου Weighted Sum Method για τον προσδιορισμό του τελικού χάρτη ιεράρχησης ενσωματώνοντας τους σχετικούς συντελεστές βαρύτητας. Για τον υπολογισμό των διαφόρων δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα νόμιμα προγράμματα ArcGIS Pro 2.7, QGIS 3.16 και Microsoft Excel 2020, ενώ στο σχήμα φαίνονται συνοπτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν (Σχήμα 1).

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Οι άνθρωποι τόσο στην επαγγελματική όσο και στην ιδιωτική τους ζωή καλούνται καθημερινά να λάβουν αποφάσεις. Οι αποφάσεις αυτές μπορεί να είναι προβλήματα κατάταξης, επιλογής αλλά και ταξινόμησης, τα οποία φυσικά προϋπήρχαν από την κλασική εποχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Επίκουρος, ο οποίος τον 4^ο αιώνα π.Χ. κλήθηκε να κατηγοριοποιήσει τις ανθρώπινες επιθυμίες σε δύο κατηγορίες: τις μάταιες επιθυμίες (πχ η επιθυμία για ευθανασία) και τις φυσικές επιθυμίες (πχ η επιθυμία για ευχαρίστηση), ενώ η κατηγοριοποίηση αυτή είχε ως απώτερο σκοπό την εξεύρεση εσωτερικής γαλήνης.

Σε έναν δυναμικό και ταχέως εξελισσόμενο κόσμο όπως αυτός που βιώνουμε στις μέρες μας, η λήψη αποφάσεων αποτελεί συχνή και καθημερινή πρόκληση. Τα περισσότερα προβλήματα αποφάσεων δεν επιδέχονται μία μοναδική βέλτιστη λύση, αλλά έχουν πολλαπλούς στόχους που πρέπει να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η χρήση μιας μεθόδου λήψης αποφάσεων προκειμένου να πραγματοποιηθεί διάκριση μεταξύ διαφόρων λύσεων/επιλογών. Η ανάλυση αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision-analysis, MCDA), ή η λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision-making, MCDM), αποτελούν μία κατηγορία μεθόδων που στοχεύουν στην υποστήριξη των υπευθύνων που αντιμετωπίζουν πολλά και συχνά συγκρουόμενα προβλήματα (Montibeller & Franco, 2010; Lootsma, 1999).

Ο κλάδος της ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων περιλαμβάνει πολλαπλές επιστήμες όπως τα μαθηματικά, τη διαχείριση, την πληροφορική, την ψυχολογία, τις κοινωνικές επιστήμες και τα οικονομικά. Η εφαρμογή του όμως είναι ακόμη πιο ευρύτερη, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος

στο οποίο πρέπει να ληφθεί μια σημαντική απόφαση. Οι αποφάσεις αυτές μπορούν να είναι είτε τακτικές είτε στρατηγικές, ανάλογα με τη χρονική προοπτική των συνεπειών.

Επειδή οι άνθρωποι, οι φυσικοί πόροι, οι εγκαταστάσεις, ο χρόνος και ο χώρος είναι περιορισμένοι, οι περισσότερες μέθοδοι λήψης αποφάσεων δεν είναι ικανές να εκπληρώσουν ικανοποιητικά τους τιθέμενους στόχους. Συνεπώς, η δομή του προβλήματος είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς μπορεί να είναι τόσο περίπλοκη όσο επιθυμεί κάποιος, να περιλαμβάνει δηλαδή τους σχετικούς παράγοντες, τους στόχους, τα κριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις, αλλά η ανάλυση αυτών θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα απλή και ομοιόμορφη, ενώ τα σχετικά ζητήματα θα πρέπει να εξετάζονται ταυτόχρονα και όχι διαδοχικά (Saaty & Kearns, 1985). Θα πρέπει να πραγματοποιείται προσέγγιση του συνόλου και να περιλαμβάνονται σχετικές πληροφορίες όπως ποσοτικοποιήσιμες πληροφορίες, αλλά και πληροφορίες που προέρχονται από τη διαίσθηση, την εμπειρία, τις αξίες και την κρίση των ειδικών επί του θέματος (Saaty & Kearns, 1985).

Βασική στρατηγική είναι το εκάστοτε πρόβλημα λήψης αποφάσεων να χωριστεί σε μικρά και κατανοητά μέρη, προκειμένου να αναλυθεί λεπτομερώς και στη συνέχεια να ενσωματωθούν όλα τα μέρη σε μία λογική προσέγγιση προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων που εμπίπτουν στην ομπρέλα της ανάλυσης MCDM, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει διαφορετική μεθοδολογία που αφορά στα δεδομένα εισόδου, στις δομές, στους αλγόριθμους για τον συνδυασμό τους, και στις διαδικασίες για την ερμηνεία και τη χρήση επίσημων αποτελεσμάτων στη λήψη αποφάσεων. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους και τα προβλήματα που επιλύουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Μέθοδοι λήψης αποφάσεων και προβλήματα που επιλύουν (Πηγή: Ishizaka & Nemery, 2013)

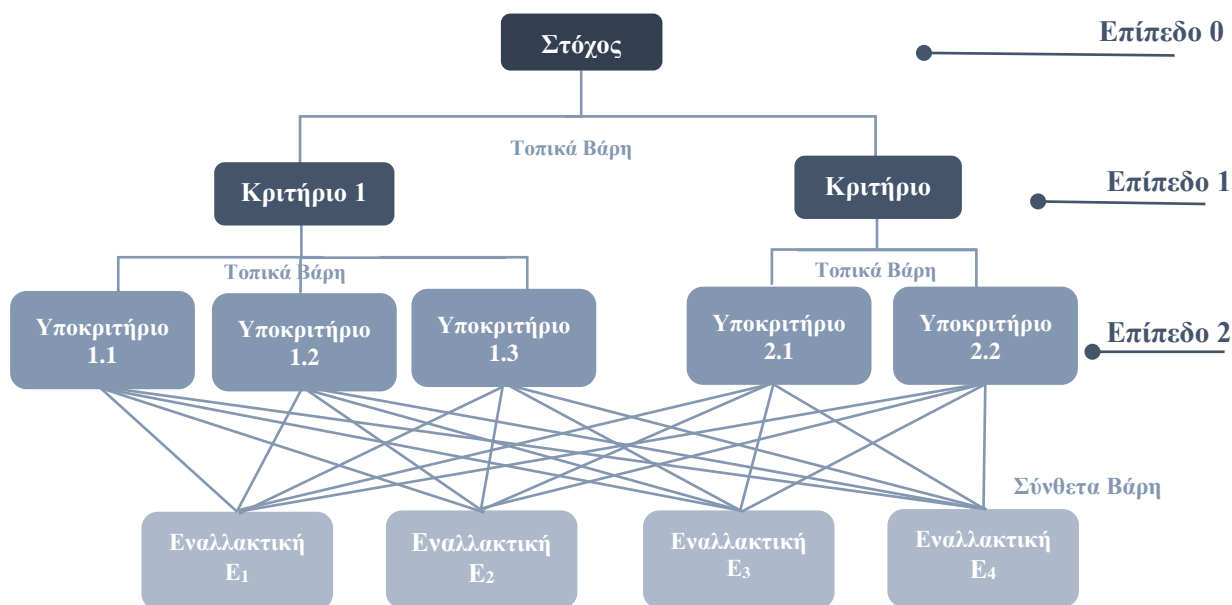
Μέθοδος Λήψης Αποφάσεων	Προβλήματα Επιλογής	Προβλήματα Κατάταξης	Προβλήματα Ταξινόμησης	Προβλήματα Περιγραφής
AHP	✓	✓	✓	
ANP	✓	✓		
MAUT/UTA	✓	✓	✓	
MACBETH	✓	✓		
PROMETHEE	✓	✓		
ELECTRE	✓	✓	✓	
TOPSIS	✓	✓		
Goal Programming	✓			

Μέθοδος Λήψης Αποφάσεων	Προβλήματα Επιλογής	Προβλήματα Κατάταξης	Προβλήματα Ταξινόμησης	Προβλήματα Περιγραφής
DEA	✓	✓		
GAIA				✓

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία της αναλυτικής ιεράρχησης, η οποία και αναλύεται στην ενότητα που ακολουθεί.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ

Οι αποφάσεις που χρειάζονται μεθόδους υποστήριξης είναι εξ ορισμού δύσκολες και επομένως απαιτούν πολύπλοκα μοντέλα για την επίλυσή τους (Ishizaka & Labib, 2009). Συνεπώς, είναι απαραίτητη η αντιστάθμιση μεταξύ της τέλει μοντελοποίησης και της χρηστικότητας του μοντέλου. Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων που παρουσιάστηκαν συνοπτικά ανωτέρω, η Μεθοδολογία Αναλυτικής Ιεράρχησης είναι μία μέθοδος που καλύπτει τις παραδοχές αυτές (Ishizaka & Labib, 2011; Bhushan & Rai, 2004).



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση δομής αναλυτικής ιεράρχησης

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Η Μεθοδολογία της Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP) εισήχθη για πρώτη φορά από τον Thomas Saaty (1977), ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη λήψη σύνθετων αποφάσεων. Η διαδικασία ξεκινά περιγράφοντας το πρόβλημα σε μία ιεραρχική δομή που περιλαμβάνει στο υψηλότερο επίπεδο έναν συνολικό (ποσοτικοποιήσιμο) στόχο, ο οποίος αποσυντίθεται περαιτέρω σε κριτήρια και

υποκριτήρια, ενώ στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας θέτονται οι εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξη του στόχου. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαθέσιμοι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων (decision-makers) και ειδικοί εμπειρογνώμονες (experts). Ως εκ τούτου, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων είναι αυτοί που καθορίζουν τον στόχο και διακρίνουν τις εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξή του, ενώ οι εμπειρογνώμονες καλούνται να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές λύσεις με βάση συγκεκριμένα κριτήρια (Rezaei & Ortt, 2013). Η δομή ενός τυπικού προβλήματος κατά την εφαρμογή της μεθόδου της AHP, απεικονίζεται στο Σχήμα 2.

Έπειτα από τη δόμηση του προβλήματος, επόμενο βήμα της διαδικασίας της AHP είναι ο υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας για τα διάφορα προτεινόμενα κριτήρια. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω πινάκων σύγκρισης κατά ζεύγη, οι οποίοι κατασκευάζονται για να εκτιμήσουν πως τα προτεινόμενα κριτήρια συμβάλλουν στον συνολικό στόχο, ξεκινώντας από το πρώτο επίπεδο κριτηρίων και συνεχίζοντας στα χαμηλότερα επίπεδα, συγκρίνοντας κριτήρια του ίδιου επιπέδου.

Κάθε πίνακας A είναι ένας πραγματικός πίνακας $n \times n$ όπου n ο αριθμός των κριτηρίων αξιολόγησης που λαμβάνονται υπόψη. Τα στοιχεία του πίνακα (a_{ij}) αντιπροσωπεύουν την σημαντικότητα του κριτηρίου i σε σχέση με το κριτήριο j , ενώ παράλληλα ικανοποιούν τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \mu\epsilon \quad i \neq j \neq 0$$

και

$$a_{ii} = 1$$

Με βάση τα παραπάνω, οι πίνακες σύγκρισης κατά ζεύγη έχουν την ακόλουθη μορφή:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Criteria} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Για $a_{ij} > 1$, το κριτήριο i θεωρείται σημαντικότερο από το κριτήριο j

Για $a_{ij} < 1$, το κριτήριο i θεωρείται λιγότερο σημαντικό από το κριτήριο j

Για $a_{ij} = 1$, το κριτήριο i θεωρείται ίσο με το κριτήριο j

Στη συνέχεια, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων αξιολογούν τα κριτήρια ως προς τη σχετική τους σημασία. Ο Saaty (1977) πρότεινε τη χρήση της αριθμητικής κλίμακας από το 1 έως το 9, προκειμένου να αξιολογήσει τη σχετική σημασία μεταξύ δύο κριτηρίων όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Θεμελιώδης κλίμακα απόλυτων αριθμών προτεινόμενη από τον Thomas Saaty (Πηγή: Saaty, 1980)

Ένταση Σχετικής Σημασίας	Ορισμός	Επεξήγηση
1	Εξίσου προτιμητέο	Δύο στοιχεία συμβάλλουν εξίσου στο στόχο
3	Ελαφρά προτιμητέο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν το ένα στοιχείο ελάχιστα έναντι του άλλου
5	Μέτρια προτιμητέο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά το ένα έναντι του άλλου
7	Ισχυρά προτιμητέο	Το ένα στοιχείο ευνοείται ισχυρά και η κυριαρχία του εκδηλώνεται στη πράξη
9	Απόλυτα προτιμητέο	Οι λόγοι που ευνοούν το ένα στοιχείο έναντι του άλλου είναι του υψηλότερου βαθμού επιβεβαίωσης
2, 4, 6, 8	Ενδιάμεσες τιμές	Όταν απαιτείται συμβιβασμός

Έπειτα από τη δημιουργία των πινάκων σύγκρισης κατά ζεύγη, είναι δυνατόν να υπολογιστεί το διάνυσμα του συντελεστή βαρύτητας των κριτηρίων $\hat{w}=(w_1,w_2,\dots,w_n)^T$ εφαρμόζοντας μία μαθηματική διαδικασία, όπως για παράδειγμα ο υπολογισμός του ιδιοδιανύσματος (Eg_i) του πίνακα A (Saaty & Hu, 1998), η χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (Chu, Kalaba, & Spingarn, 1979) ή μία μέθοδος προγραμματισμού ασαφούς λογικής (Mikhailov, 2000). Το προκύπτον διάνυσμα των συντελεστών βαρύτητας θα πρέπει να πληροί την απαίτηση:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Στην περίπτωση όπου εμπλέκονται περισσότερα από ένα επίπεδα, η μέθοδος αυτή οδηγεί στον υπολογισμό τοπικών προτεραιοτήτων (w_i). Οι τελικοί συνολικοί συντελεστές προτεραιότητας (\hat{w}_i), έναντι των οποίων θα πρέπει να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές λύσεις, λαμβάνονται υπόψη στο χαμηλότερο επίπεδο των επιμέρους κριτηρίων για όλες τις ομάδες των βασικών κριτηρίων πολλαπλασιάζοντας διαδοχικά με τις τοπικές προτεραιότητες. Με βάση την τελική βαθμολογία, δηλαδή το αποτέλεσμα ενός

σταθμισμένου μέσου όρου, οι εναλλακτικές λύσεις ταξινομούνται ως προς την ικανότητά τους να επιτύχουν τον τιθέμενο στόχο.

Συνέπεια

Όταν πραγματοποιούνται πολλές συγκρίσεις κατά ζεύγη, ενδέχεται να προκύψουν ασυνέπειες στις απαντήσεις των ειδικών. Η AHP επιτρέπει τον έλεγχο της συνέπειας των ζευγαρωτών συγκρίσεων και ενεργεί ως μηχανισμός ανατροφοδότησης για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων προκειμένου να επανεξετάσουν και να αναθεωρήσουν τις επιλογές τους (Saaty, 1977). Αυτή η ολοκληρωμένη λειτουργία επαλήθευσης των αποτελεσμάτων αποτελεί και τον κύριο λόγο διαφοροποίησης της συγκεκριμένης μεθόδου από τις υπόλοιπες που χρησιμοποιούνται στη λήψη αποφάσεων (Govindan, Rajendran, Sarkis, & Murugesan, 2015). Για τον προσδιορισμό της συνέπειας των απαντήσεων ο Saaty πρότεινε τον δείκτη συνέπειας (CI, Consistency Index), ο οποίος σχετίζεται με την μέθοδο του ιδιοδιανύσματος που εφαρμόζεται στον πίνακα A, και δίνεται από τη σχέση:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

όπου **n**: η διάσταση του πίνακα A

λ_{max} : η μέγιστη ιδιοτιμή

Σε περίπτωση που $CI/RI < 0.1$, ο πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη χαρακτηρίζεται από αποδεκτό επίπεδο συνοχής. Το RI είναι ένας τυχαίος δείκτης (ο μέσος όρος των CI που προέκυψαν από 500 τυχαία συμπληρωμένους πίνακες), οι τιμές του οποίου έχουν προκαθοριστεί από τον Saaty (Saaty, 2001), για προβλήματα με $n \leq 10$ όπως υποδεικνύονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Τιμές τυχαίου δείκτη (RI) (Πηγή: Saaty, 2001)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Παρά την εκτεταμένη υιοθέτησή της, η μεθοδολογία της αναλυτικής ιεράρχησης δέχθηκε επίσης σημαντικές κριτικές κυρίως για τη συνέπεια και τον ρεαλισμό των αποτελεσμάτων της. Το πιο κρίσιμο βήμα της μεθοδολογίας της AHP περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση της κρίσης των εμπειρογνομόνων χρησιμοποιώντας ευκρινείς τιμές.

Αυτό καθιστά τη μεθοδολογία αναποτελεσματική όσον αφορά την αντιμετώπιση αόριστων και ανακριβών γνώσεων (Rezaei & Ortt, 2013). Για να ξεπεραστεί αυτή η αναποτελεσματικότητα, οι Laarhoven & Pedrycz (1983), πρότειναν την ενσωμάτωση της θεωρίας της ασαφούς λογικής με τη χρήση των τριγωνικών ασαφών αριθμών (TFNs, Triangular Fuzzy Numbers) ως μέσου αντιμετώπισης της ασάφειας στις υπάρχουσες ανθρώπινες κρίσεις και τη βελτίωση του ρεαλισμού της στην αντίληψη του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων.

3.4 ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Πολλά προβλήματα λήψης αποφάσεων απαιτούν χωρικά δεδομένα, ενώ η σύνδεση της τοποθεσίας με τις πληροφορίες είναι μία διαδικασία που εφαρμόζεται σε πολλές πτυχές στη λήψη αποφάσεων (ESRI, 2012b). Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι το 80% των δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων συσχετίζεται γεωγραφικά (Worrall, 1991). Συνεπώς, τα προβλήματα που περιλαμβάνουν γεωγραφικά δεδομένα αναφέρονται ως προβλήματα γεωγραφικής ή χωρικής απόφασης. Η χωρική λήψη αποφάσεων αποτελεί συχνά μία περίπλοκη διαδικασία και απαιτεί πληροφορίες που παράγονται από πολλές διαφορετικές πηγές και ερμηνεύονται διαφορετικά καθώς εξαρτώνται από τους σκοπούς και τους στόχους του εκάστοτε προβλήματος (Sugumaran & DeGroot, 2010).

Ο όρος «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών» (GIS), επινοήθηκε για πρώτη φορά από τον Tomlinson (1969), ο οποίος αναγνωρίζεται επίσης και ως ο «πατέρας» των GIS. Μέχρι σήμερα, ο επιστημονικός κλάδος των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών βρίσκεται υπό συνεχή ανάπτυξη και έχει γίνει γνωστή επίσης και ως ένα σύστημα υποστήριξης χωρικών αποφάσεων. Όταν πρέπει να ληφθεί κάποια απόφαση, τα ΓΣΠ μπορούν να βοηθήσουν στη συλλογή χωρικών πληροφοριών, οργανώνοντας αυτές σε ψηφιακούς χάρτες προκειμένου να υποστηρίξει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές επιλογές τους. Συνεπώς, οι χάρτες μπορούν να συνδυάσουν πληροφορίες από διαφορετικούς τομείς, παρέχοντας μία άμεση ολοκληρωμένη εικόνα της γεωγραφικής κατανομής αυτών και, επομένως, να επισημάνουν τα κενά στις πληροφορίες και να αναδείξουν περιοχές που χρήζουν προσοχής. Μόλις οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων κατανοήσουν πλήρως τη γεωγραφική διάσταση της απόφασης, μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά (ESRI, 2012a). Οι χάρτες που βασίζονται στο GIS αποτελούν έναν τύπο γλώσσας που βελτιώνει την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ομάδων, τμημάτων, επιστημονικών κλάδων,

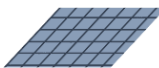
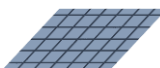
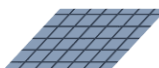
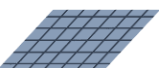












επαγγελματικών τομέων, οργανισμών και κοινού (ESRI, 2012b). Ο κόσμος του GIS περιλαμβάνει όρους όπως χειρισμός χωρικών δεδομένων, ανάλυση χωρικών δεδομένων, χωρική στατιστική ανάλυση και χωρική μοντελοποίηση (Murayama & Thapa, 2011). Το GIS έχει δυνατότητες αντιμετώπισης τόσο της ανάπτυξης όσο και της διαχείρισης της αιφορίας όσον αφορά τη διαχείριση βάσεων δεδομένων, την ανάλυση αλλά και τη χαρτογράφηση (Nyerges & Jankowski, 2010), ενώ θεωρείται το καλύτερο εργαλείο στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την επιλογή τοποθεσίας (ESRI 2012b). Μπορεί να συνθέσει μεγάλο όγκο διαφορετικών δεδομένων, συνδυάζοντας διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών για τη διαχείριση, την αποθήκευση και την ανάκτηση των δεδομένων με τον πιο χρήσιμο τρόπο. Επιπλέον ωφελεί οργανισμούς όλων των μεγεθών και υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε σχεδόν κάθε κλάδο όπως στις επιχειρήσεις, (Longley, Clarke 1995; Pick 2008; Turk et al. 2014), επιλογή ιστότοπων (Abudeif et al. 2015; Atici et al. 2015; Kumar, Bansal 2016), υγειονομική περίθαλψη και δημόσια υγεία (Joyce 2009; Cromley, McLafferty 2011; Doi et al. 2013; Broekhuizen et al. 2015), μεταφορά (Kim et al. 2014; Kim, Lee 2014; Inanloo et al. 2016), διαχείριση κινδύνων (Zöhlitz-Möller, Röber 2007; Fernández, Lutz 2010; Al-Hogaraty et al. 2013; Dragičević et al. 2015), δασοκομία (Phua, Minowa 2005; Tasoulas et al. 2013; Vorěnka et al. 2015), βιοποικιλότητα (Bottero et al. 2013; Reza et al. 2013; Dong et al. 2013), αξιολόγηση ευπάθειας (Song et al. 2010; Karimzadeh et al. 2014; Ouma, Tateishi 2014) καθώς και σε πολλούς ακόμα.

Η ενσωμάτωση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στη λήψη αποφάσεων αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο καθώς το ένα αλληλοσυμπληρώνει το άλλο, και βοηθά τους αναλυτές και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αντιμετωπίσουν με ευκολότερο τρόπο την πολυπλοκότητα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Murayama & Thapa, 2011; Ferretti, 2011). Από τη μία πλευρά, το GIS έχει εξαιρετική λειτουργικότητα για την αποθήκευση, την οπτικοποίηση, την ανάλυση και την ερμηνεία γεωχωρικών δεδομένων και συναφών χαρακτηριστικών. Έχει τη δυνατότητα να εκτελεί πολλές εργασίες χρησιμοποιώντας τόσο χωρικά όσο και τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στον πίνακα ιδιοτήτων του θεματικού επιπέδου. Επιπλέον, τα GIS είναι μία ολοκληρωμένη τεχνολογία, η οποία μπορεί να ενσωματώνει πολλά διαφορετικά είδη γεωγραφικών τεχνολογικών όπως η τηλεανίχνευση, το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS), τα σχεδιαστικά προγράμματα (CAD) κλπ. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, προσφέρει πλούσια συλλογή διαδικασιών, τεχνικών και αλγορίθμων για τη διάρθρωση των προβλημάτων αποφάσεων συνδυάζοντας φυσικές

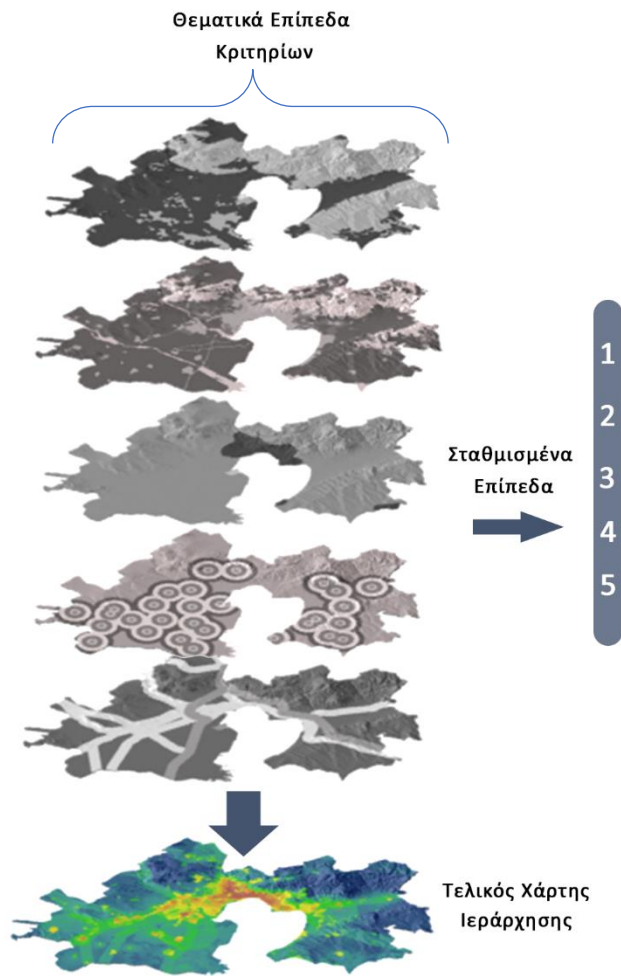
πληροφορίες με τιμές και κρίσεις (Malczewski & Rinner, 2015; Ferretti, 2011). Το κύριο πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης των τεχνικών MCDA στο GIS αποτελεί η οπτικοποίηση των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων σε έναν χάρτη, ο οποίος βοηθά το χρήστη να εντοπίσει τα χωρικά στοιχεία στο πραγματικό του περιβάλλον και να αντιπροσωπεύσει χάρτες κριτηρίων και γεωγραφικού εντοπισμού των εναλλακτικών, προκειμένου να υποστηρίξει διαδικασίες σε προβλήματα εδαφικού μετασχηματισμού όπου συνήθως πρέπει να συγκριθούν πολλές επιλογές (Coutinho-Rodrigues, Simão, & Antunes, 2011; Ferretti, 2011).

Με βάση τη μέθοδο της AHP, ένα χωρικό πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων αξιολόγησης μπορεί να απεικονιστεί ως αξιολόγηση των επιπέδων των κριτηρίων σύγκρισης ανά ζεύγος όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7. Ζευγαρωτή σύγκριση θεματικών επιπέδων κριτηρίων (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

	A ₁	A ₂	A ₃	...	A _n
A ₁				...	
A ₂				...	
A ₃				...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
A _n				...	

Αντίστοιχα, η Εικόνα 4 απλοποιείται ένα μοντέλο MCDA που βασίζεται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Ουσιαστικά αφού σταθμιστεί το κάθε κριτήριο το οποίο αντιπροσωπεύεται μέσω ενός θεματικού επιπέδου, ενσωματώνονται τα σχετικά βάρη που προέκυψαν από τη διαδικασία της AHP προκειμένου να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4. Απλοποίηση μοντέλου χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Συνοψίζοντας, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών μπορούν να θεωρηθούν ως μία ψηφιακή βάση δεδομένων ειδικού σκοπού στην οποία ένα κοινό σύστημα χωρικών συντεταγμένων αποτελεί το κύριο μέσο αποθήκευσης και πρόσβασης σε δεδομένα και πληροφορίες (Malczewski & Rinner, 2015). Ένα σύνολο δεδομένων θεωρείται γεωγραφικό εάν μπορεί να συσχετιστεί ή αναφέρεται σε μία τοποθεσία. Τα χωρικά δεδομένα που αναφέρονται σε τοποθεσίες στην επιφάνεια της γης ονομάζονται δεδομένα γεωαναφοράς.

3.5 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Το GIS είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει τη συλλογή, αποθήκευση, χειρισμό, αξιολόγηση, προσδιορισμό, ανάκτηση και παρουσίαση θεματικών επιπέδων. Κατά την ενσωμάτωσή τους στη μεθοδολογία της αναλυτικής ιεράρχησης χρησιμοποιείται ένα σύνολο διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων με τη χρήση του κατάλληλου

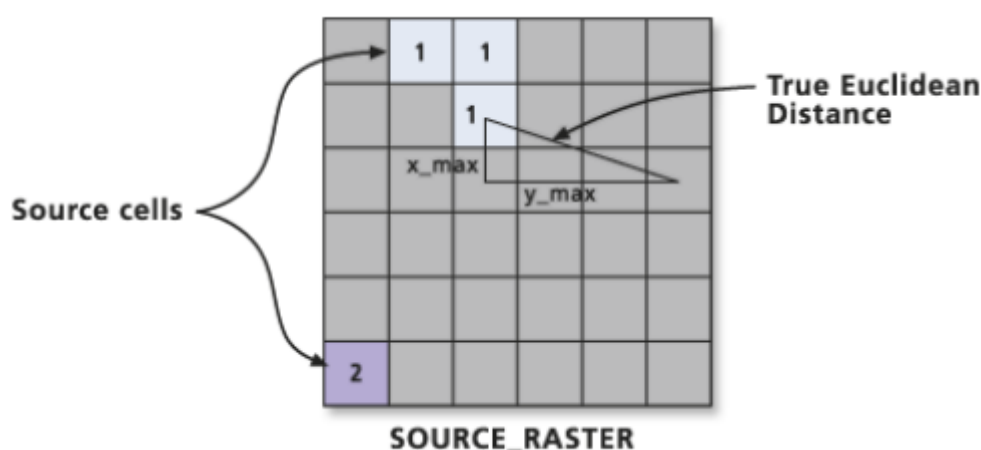
λογισμικού και διαφόρων εργαλείων για την ανάλυση των κριτηρίων όπως η αποκοπή (clip), η απόδοση προβολικού συστήματος (projection), η ευκλείδεια απόσταση (Euclidean distance), η επαναταξινόμηση (reclassify) , τα κύρια εργαλεία της οποίας περιγράφονται ακολούθως.

Ευκλείδεια Απόσταση (Euclidean Distance)

Οι αποστάσεις μεταξύ των διαφορετικών χωρικών μονάδων μετριοούνται με τη βοήθεια της Ευκλείδειας Απόστασης. Η ευκλείδεια απόσταση $d_{i,j}$ μεταξύ δύο σημείων i και j με συντεταγμένες (x_i, y_i) και (x_j, y_j) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Σημειώνεται ότι για τον ορθό υπολογισμό της ευκλείδειας απόστασης θα πρέπει οι συντεταγμένες των σημείων να καταγράφονται σε ένα επίπεδο. Σε αντίθετη περίπτωση όπου τα σημεία καταγράφονται με απλές γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος) οι οποίες αναφέρονται στις διαστάσεις της γης, θα πρέπει να προβληθούν στο επίπεδο με την εφαρμογή κάποιου προβολικού συστήματος (projected system). Με αυτόν τον τρόπο ο υπολογισμός της ευκλείδειας απόστασης αποτελεί σωστό μέτρο απόστασης καθώς λαμβάνεται υπόψη η καμπυλότητα της γης.



Εικόνα 5. Σχηματική απεικόνιση υπολογισμού ευκλείδειας απόστασης σε περιβάλλον GIS

(Πηγή: ESRI)

Μέθοδος Απλής Στάθμισης (Weighted Sum Method)

Η μέθοδος της απλής στάθμισης θεωρείται ως μία απλή μέθοδος που χρησιμοποιείται στη τεχνική της λήψης αποφάσεων. Βασίζεται στη γνώμη των εμπειρογνομόνων για τον

υπολογισμό του βάρους του κάθε κριτηρίου, ενώ η τελική βαθμολογία μπορεί να υπολογιστεί για κάθε εναλλακτική λύση πολλαπλασιάζοντας το κανονικοποιημένο βάρος του κάθε κριτηρίου με την απόδοσή του. Η μαθηματική διατύπωση για την αξιολόγηση κάθε εναλλακτικής (S_i) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απλής στάθμισης είναι η ακόλουθη (Eskandari, Homaei, & Mahmodi, 2012; Afshari, Mojahed, & Yusuff, 2010):

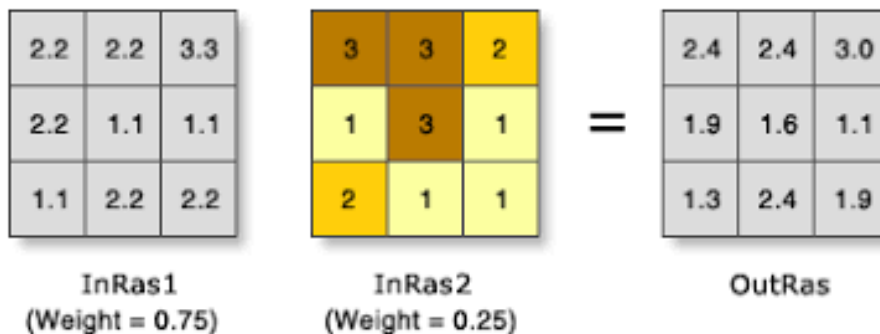
$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \times N_{ij}$$

όπου S_i : ο δείκτης καταλληλότητας για την περιοχή i

w_j : η βαρύτητα του κριτηρίου

N_{ij} : η τιμή του κριτηρίου της περιοχής i για το κριτήριο j

n : ο αριθμός κριτηρίων



Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση μεθόδου απλής πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS

(Πηγή: ESRI)

Οι ανωτέρω μέθοδοι αποτελούν χρήσιμα εργαλεία και πρόκειται να αξιοποιηθούν εκτενώς στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των θεματικών επιπέδων, των χαρτών των επιμέρους κριτηρίων και υποκριτηρίων αλλά και του τελικού χάρτη ιεράρχησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

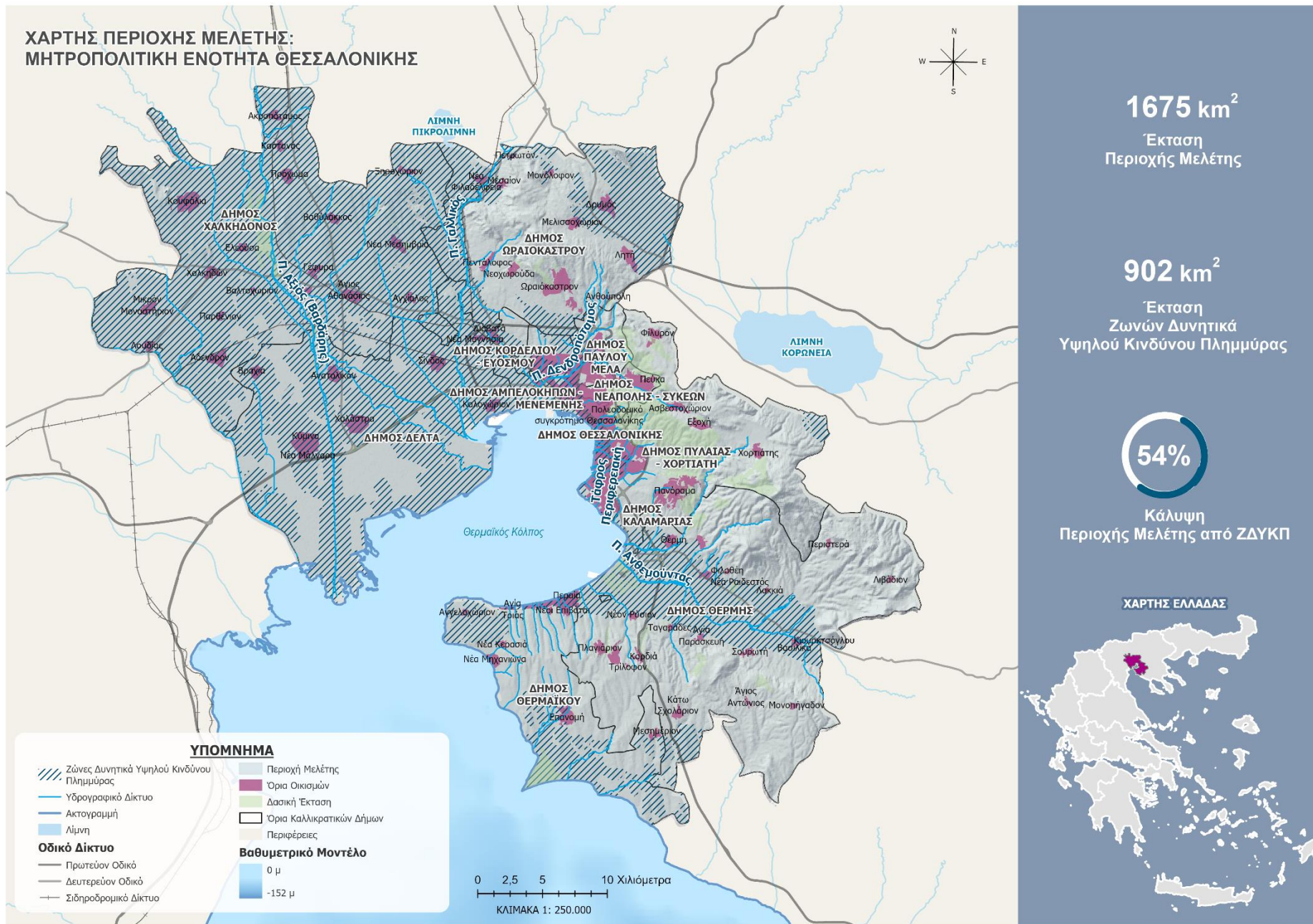
Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνεται η περιγραφή της περιοχής μελέτης, του συνόλου των δεδομένων, της γεωγραφικής θέσης και της σημασίας των επιλεχθέντων κριτηρίων, της προετοιμασίας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της Αναλυτικής Διαδικασίας Ιεράρχησης για τη διερεύνηση των προτεραιοτήτων εφαρμογής αντιπλημμυρικών έργων και τέλος την χαρτογράφηση των περιοχών υψηλής προτεραιότητας για την υλοποίηση του τελικού χάρτη εφαρμογής των δυνητικών αντιπλημμυρικών έργων.

4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Μητροπολιτική Ενότητα Θεσσαλονίκης, η οποία ορίζεται χωρικά και περικλείεται από τους Δήμους Θεσσαλονίκης, Καλαμαριάς, Νεάπολης-Συκεών, Παύλου Μελά, Κορδελιού-Ευόσμου, Αμπελοκήπων-Μενεμένης, Πυλαίας-Χορτιάτη, Δέλτα, Θερμαϊκού, Θέρμης, Ωραιοκάστρου και Χαλκηδόνος. Ουσιαστικά αποτελείται από το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης πληθυσμού 789.191 κατοίκων και τους συνορεύοντες δήμους. Έτσι, ο συνολικός πληθυσμός της μητροπολιτικής περιοχής ανέρχεται σύμφωνα με την απογραφή του 2011 σε 1.012.297 κατοίκους, ενώ καλύπτει έκταση 1675 km² όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 7).

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (EL10) με έκταση 10.146 km², το οποίο περιλαμβάνει τις Λεκάνες Απορροής Αξιού (EL03), Γαλλικού (EL04), Χαλκιδικής (EL05) και Άθω (EL43). Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ και τα αποτελέσματα της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας για το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (ΕΓΥ, 2012), στο οποίο παρουσιάζεται το ιστορικό των πλημμυρικών συμβάντων, η πλειοψηφία των οικισμών της περιοχής μελέτης πλήττονται από πλημμυρικά φαινόμενα. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την 1^η Αναθεώρηση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας, οι περιοχές δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας αποτελούν σχεδόν το 54% του συνόλου της περιοχής μελέτης. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται χωρικά σε μεγαλύτερο ποσοστό

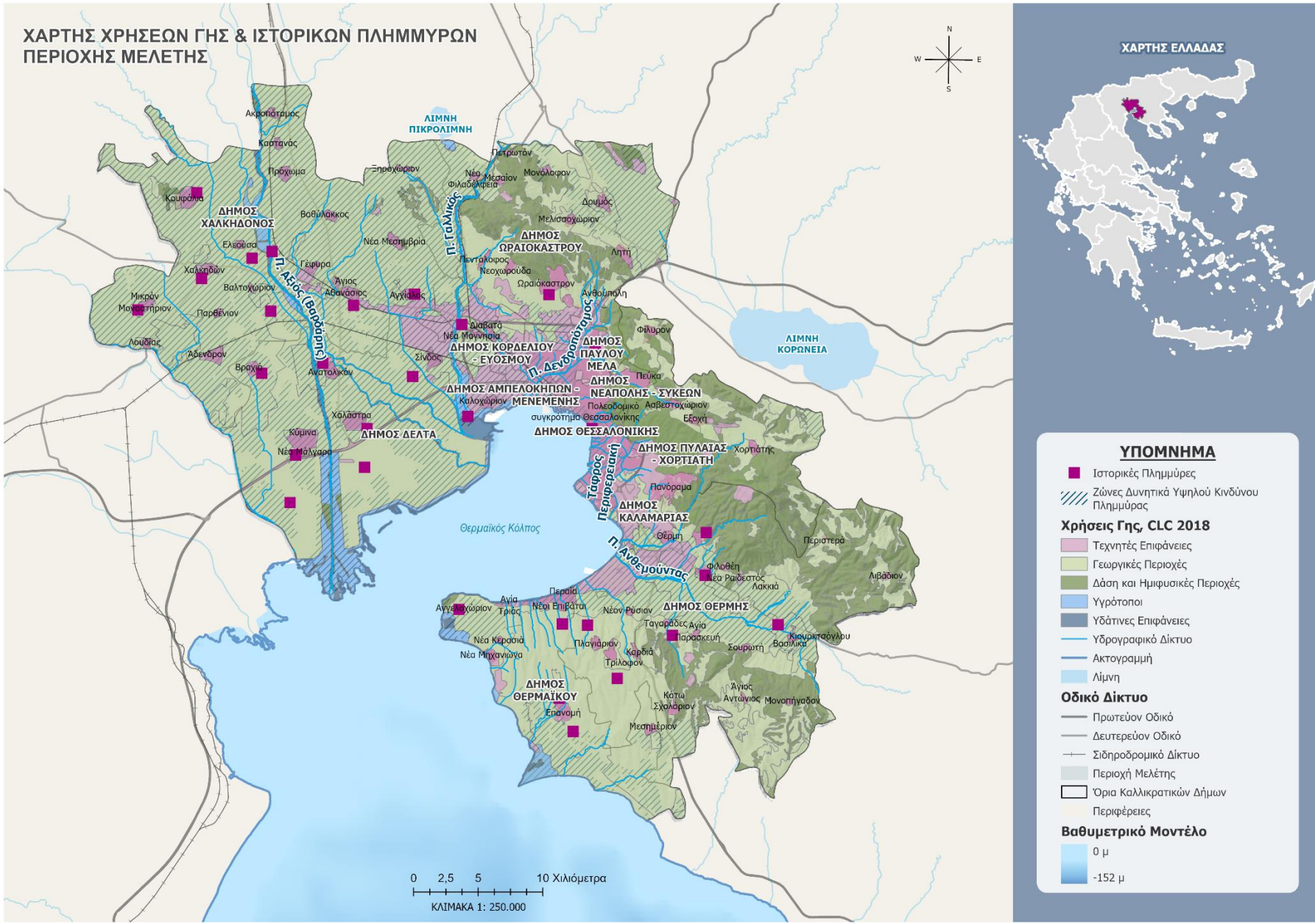
στην πεδινή ζώνη της δυτικής πλευράς της περιοχής μελέτης και εκατέρωθεν των εκβολών του Αξιού και του Γαλλικού ποταμού, στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, καθώς επίσης και εκατέρωθεν της εκβολής του ποταμού Ανθεμούντα.



Εικόνα 7. Χάρτης περιοχής μελέτης: Μητροπολιτική Ενότητα Θεσσαλονίκης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την περιοχή εκβολών του Αξιού και Γαλλικού ποταμού καταγράφηκαν σημαντικά ιστορικά γεγονότα από πλημμύρες, αίτιο των οποίων αποτελεί κυρίως η υπερχειλίση του επιφανειακού ΥΣ, ενώ ο μηχανισμός αυτών είναι η υπερχειλίση και παρεμπόδιση λόγω τεχνητών ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων (π.χ. γέφυρες οδικών έργων, αρδευτικά κανάλια κλπ.). Ιστορικά γεγονότα έχουν επίσης εμφανιστεί και σε θέσεις εντός της πόλης αλλά και σε οικισμούς όπως η Μενεμένη, το Κορδελιό και οι Αμπελόκηποι περιοχής Δενδροποτάμου. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλή αστική και βιομηχανική συγκέντρωση, γεγονός το οποίο δικαιολογεί την εμφάνιση έντονων πλημμυρικών γεγονότων (Εικόνα 8). Τέλος, όσον αφορά στην υποζώνη του ρέματος Ανθεμούντα τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης είναι αυτά που προκαλούν έντονα πλημμυρικά φαινόμενα σε περιόδους αιχμής ακόμη και σε περίπτωση βροχοπτώσεων μέτριας σημαντικότητας λόγω μεταφοράς φερτών υλών.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ & ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Εικόνα 8. Χάρτης χρήσεων γης και ιστορικών πλημμυρών περιοχής μελέτης (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

4.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ

Για τη διερεύνηση των προτεραιοτήτων των αντιπλημμυρικών έργων που δύναται να εξεταστούν στην περιοχής μελέτης καθορίστηκαν τρία (3) σύνθετα κριτήρια τα οποία αντανακλούν τα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής και κρίνεται ότι συνδέονται με το υπό μελέτη φαινόμενο καλύπτοντας ένα αντιπροσωπευτικό φάσμα παραμέτρων για τους παράγοντες που σχετίζονται με την έννοια της «ιεράρχησης των αντιπλημμυρικών έργων». Συνεπώς, στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχικής οργάνωσης (Επίπεδο 0) τοποθετείται η συνολική αποτίμηση του φαινομένου και αμέσως μετά (Επίπεδο 1) τα τρία βασικά κριτήρια-μεταβλητές τα οποία σχετίζονται άμεσα με το εξεταζόμενο φαινόμενο, ήτοι περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά. Για την περιγραφή των βασικών κριτηρίων του επιπέδου 1, χρησιμοποιούνται τα υποκριτήρια, τα οποία δομούν το επίπεδο 2. Τα υποκριτήρια αυτά αναφέρονται στις οντότητες του αμέσως κατώτερου επιπέδου, οι οποίες αφορούν το σύνολο της περιοχής μελέτης και αποτελούν τα θεματικά επίπεδα βάσει των οποίων θα προκύψει ο χάρτης ιεράρχησης των αντιπλημμυρικών έργων. Τα ανωτέρω κριτήρια φαίνονται διαγραμματικά στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3) και παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα (Πίνακα 8), ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση αυτών.

Πίνακας 8. Κριτήρια και δείκτες βιωσιμότητας ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων.

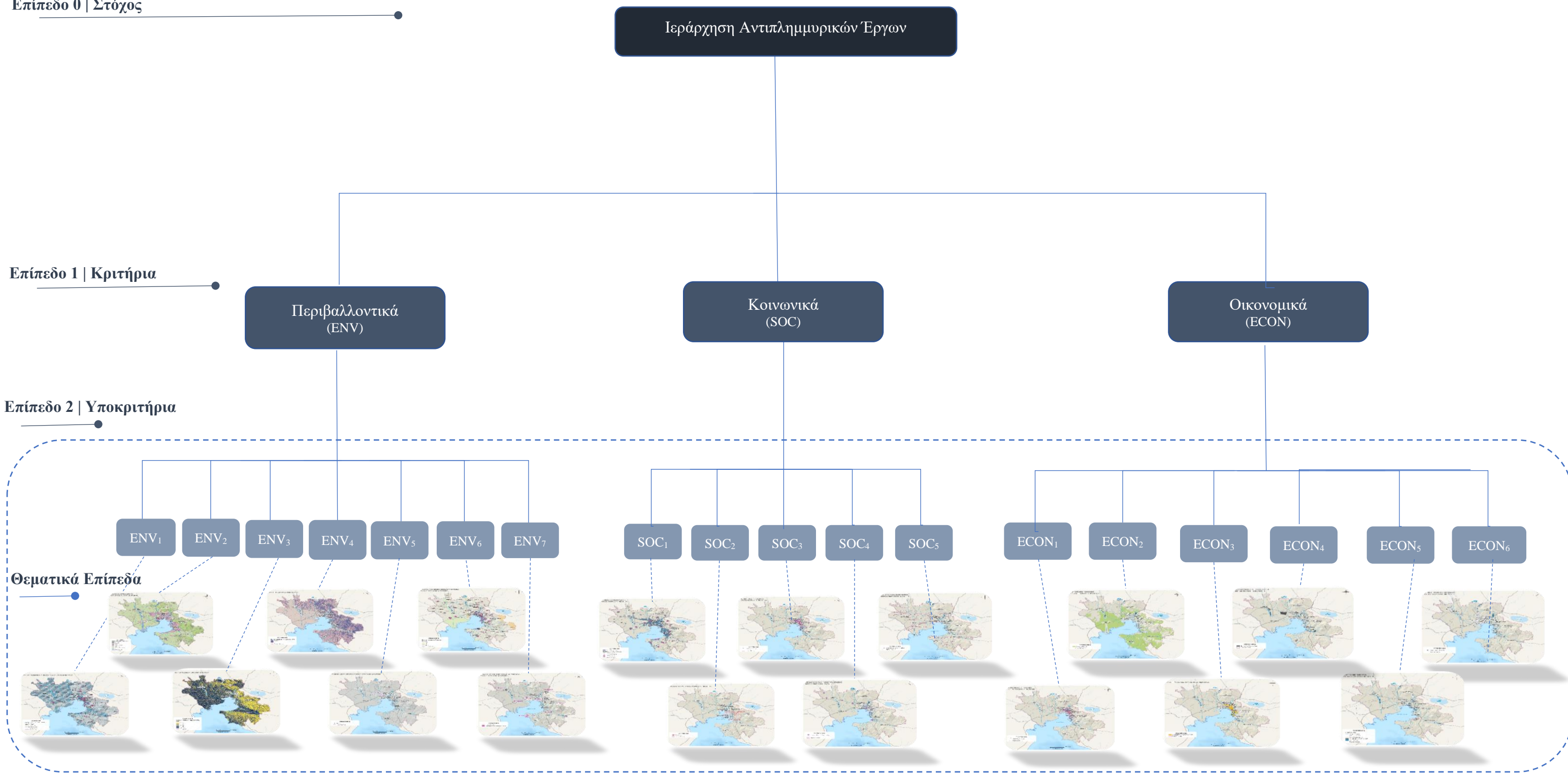
Κατηγορία Κριτηρίου	Συμβολισμός	Δείκτης
Περιβαλλοντικά	ENV ₁	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
	ENV ₂	Αλλαγές Χρήσεων Γης
	ENV ₃	Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (TWI)
	ENV ₄	Δείκτης Διαβρωτικής Ισχύος (SPI)
	ENV ₅	Επιπτώσεις σε βιομηχανίες IPPC ή SEVESO
	ENV ₆	Επιπτώσεις σε προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων
	ENV ₇	Επιπτώσεις σε ΕΕΛ
Κοινωνικά	SOC ₁	Επιπτώσεις στην ασφάλεια των πολιτών
	SOC ₂	Επιπτώσεις σε δομές υγείας
	SOC ₃	Επιπτώσεις σε κοινωνικές υποδομές
	SOC ₄	Επιπτώσεις σε υποδομές πολιτικής προστασίας
	SOC ₅	Πλημμυρικά φαινόμενα
Οικονομικά	ECON ₁	Επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις
	ECON ₂	Επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές
	ECON ₃	Επιπτώσεις σε αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές
	ECON ₄	Επιπτώσεις σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις
	ECON ₅	Επιπτώσεις σε οδικό δίκτυο, αεροδρόμια, λιμάνια
	ECON ₆	Επιπτώσεις σε κτηνοτροφικές μονάδες

Επίπεδο 0 | Στόχος

Επίπεδο 1 | Κριτήρια

Επίπεδο 2 | Υποκριτήρια

Θεματικά Επίπεδα



Σχήμα 3. Ιεραρχική δομή μοντέλου AHP για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων.

Το **περιβαλλοντικό κριτήριο** απαρτίζεται από μεταβλητές που σχετίζονται με την χωρική διάσταση της περιοχής μελέτης. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα οι μεταβλητές που συνδέονται άμεσα με αυτό και αποτελούν τα επιμέρους υποκριτήρια (επίπεδο 2) θεωρούνται οι κάτωθι:

- 1. Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ENV₁).** Στο πλαίσιο της Οδηγίας 2007/60/EK και της Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/E103/21.7.2010 πραγματοποιήθηκε η Προκαταρκτική Αξιολόγηση των Κινδύνων Πλημμύρας σε όλα τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 5, βάσει των οποίων προσδιορίστηκαν μεταξύ άλλων και οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας. Σύμφωνα με την Οδηγία, ως περιοχές που είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα θεωρούνται οι περιοχές που περιλαμβάνουν τουλάχιστον ένα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α) βρίσκονται σε θέσεις προσχωματικών αποθέσεων, β) βρίσκονται σε έδαφος με κλίση μικρότερη του 2%.
- 2. Αλλαγές Χρήσεων Γης (ENV₂).** Οι αλλαγές των χρήσεων γης είναι επίσης μία από τις πρωταρχικές παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό μιας περιοχής, καθώς είναι μία παράμετρος που αντικατοπτρίζει όχι μόνο το είδος των χρήσεων γης, αλλά και τη σημασία τους σε σχέση με τη σταθερότητα του εδάφους και τη διήθηση. Συνεπώς, οι δασικές εκτάσεις και η πλούσια βλάστηση είτε αυτή πρόκειται για μόνιμη λιβαδική έκταση είτε για καλλιέργειες, έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ικανότητα του εδάφους να ενεργεί ως αποθήκη νερού. Η παρουσία παχιάς φυτικής κάλυψης επιβραδύνει τη διαδρομή του νερού καθώς μειώνει την ποσότητα της απορροής, ενώ αδιαπέρατες επιφάνειες, όπως σκυρόδεμα, δεν απορροφούν καθόλου νερό. Έτσι, ενώ οι δασικές εκτάσεις και η πλούσια βλάστηση ευνοούν τη διείσδυση, οι αστικές περιοχές συνδράμουν στην υπερχείλιση των υδάτων. Συνεπώς, οι αλλαγές χρήσεων γης αποτελούν κρίσιμη παράμετρο για τον προσδιορισμό των κρίσιμων περιοχών προς εμφάνιση πλημμυρών.
- 3. Τοπογραφικός (μορφολογικός) Δείκτης Υγρασίας (Topographic Wetness Index, TWI) (ENV₃).** Ο ακριβής χαρακτηρισμός της χωρικής κατανομής και της έκτασης της υγρασίας αποτελεί παράγοντα ύψιστης σημασίας για τις πρακτικές διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, στηρίζεται στην ιδέα ότι μέσω του εδάφους ελέγχεται η κατανομή του νερού καθώς και οι περιοχές που υπόκεινται σε συσσώρευση αυτού. Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά

από τους Beven & Kirkby (1979), στα πλαίσια του υδρολογικού μοντέλου TOPMODEL (Beven et al., 1995), το οποίο βασίζεται στην υπόθεση ότι η υδραυλική κλίση μπορεί να προσεγγιστεί μέσω της τοπογραφικής κλίσης. Ο δείκτης TWI ορίζεται από τη σχέση:

$$TWI = \ln \left(\frac{a}{\tan\beta} \right)$$

όπου:

- α:** η ανάντη συμβάλλουσα περιοχή αποστράγγισης στο συγκεκριμένο σημείο και υπολογίζεται από τα αρχεία διεύθυνσης και συσσώρευσης ροής ως επακόλουθα της επεξεργασίας του DTM, ανά μονάδα μήκους ισούψους (m²/m)
- β:** τοπογραφική κλίση σε μοίρες στο εν λόγω σημείο (slope), που προέκυψε από το DTM

Αποτελεί μία απλή μαθηματική παραμετροποίηση της εν δυνάμει υγρασίας του εδάφους, ενώ ο υπολογισμός του δείκτη αυτού βασίζεται σε επικλινή εδάφη και συνεπώς εξαρτάται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model, DTM). Περιοχές με υψηλό δείκτη υγρασίας είναι πιο επιρρεπείς στον κορεσμό, έτσι, αυξημένη τιμή του τοπογραφικού δείκτη δείχνει περιοχή περισσότερο επικίνδυνη, ενώ μειωμένη τιμή δείχνει μειωμένη επικινδυνότητα της περιοχής για εκδήλωση πλημμύρας

Συνεπώς, η μορφολογία του εδάφους αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που ελέγχουν τη χωρική διακύμανση των υδρολογικών συνθηκών, ενώ ο προσδιορισμός του συγκεκριμένου δείκτη κρίθηκε σκόπιμος καθώς αποτελεί ένδειξη της χωρικής κατανομής της υγρασίας για την περιοχή μελέτης.

- 4. Δείκτης Διαβρωτικής Ισχύος (Stream Power Index, SPI), ή Δείκτης Ροής Ενέργειας (ENV₄).** Δείχνει το ρυθμό με τον οποίο δαπανάται η ενέργεια κατά τη ροή των ρεμάτων και χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε έρευνες που αφορούν στην διάβρωση, στην μεταφορά ιζημάτων και στην γεωμορφολογία. Ουσιαστικά προσεγγίζει τις θέσεις στις οποίες είναι πιθανότερο να αποτεθούν φερτές ύλες στο ανάγλυφο, ενώ υπολογίζεται για μία θέση στο ανάγλυφο μιας περιοχής, με βάση την κλίση και την συμβάλλουσα περιοχή (ανάντη) χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Moore et al., 1991):

$$SPI = a \times \tan\beta$$

Όπου:

- α:** η ανάντη συμβάλλουσα περιοχή που αποστραγγίζεται στο συγκεκριμένο σημείο (υπολογίζεται από τα αρχεία διεύθυνσης και συσσώρευσης ροής που προέκυψαν από το DTM), ανά μονάδα μήκους ισοΰψους (m^2/m)
- β:** η τιμή της κλίσης του αναγλύφου σε μοίρες, στο εν λόγω σημείο (slope), που προέκυψε από το DTM.

Συνεπώς, μεγαλύτερες τιμές SPI υποδεικνύουν περιοχές με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης στην περιοχή, καθώς και μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας.

- 5. Επιπτώσεις σε Βιομηχανίες SEVESO ή IPPC (ENV₅).** Η Οδηγία Seveso έχει ως στόχο τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων που σχετίζονται με επικίνδυνες ουσίες, ιδίως χημικές, οι οποίες προκύπτουν από ανεξέλεγκτες εξελίξεις κατά τη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο με την ΚΥΑ 172058/2016 ΦΕΚ τ. Β' 354/17.2.2016 «Αντιμετώπιση κινδύνων από τεχνολογικά ατυχήματα μεγάλης έκτασης-SEVESO III» και αποτελεί την τροποποίηση των δύο προηγούμενων, λαμβάνοντας υπόψη τα διδάγματα που αποκομίσθηκαν από μεταγενέστερα ατυχήματα, όπως στο Bhopal, στην Τουλούζη ή στο Enschede, μετά το καταστροφικό ατύχημα στην ιταλική πόλη Seveso το 1976 που οδήγησε στην ψήφιση νομοθεσίας για την πρόληψη και τον έλεγχο των εν λόγω ατυχημάτων. Αποτελεί αποτελεσματικό εργαλείο για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας και είναι προϊόν συνεργασίας συναρμόδιων αρχών, φορέα εγκατάστασης και συμμετοχής του κοινού.
- 6. Επιπτώσεις σε προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων, Natura 2000 (ENV₆).** Στην Ευρώπη, η στρατηγική για τη βιοποικιλότητα βασίζεται στο δίκτυο Natura 2000, που απαριθμείται από χιλιάδες οικοτόπους, οι οποίοι ταξινομούνται ως Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ) και Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας. Εκτός από τα οφέλη της βιοποικιλότητας, το δίκτυο Natura 2000 παρέχει μια σειρά από οφέλη για την κοινωνία και την οικονομία συμπεριλαμβανομένου του μετριασμού και της προσαρμογής στη κλιματική αλλαγή, της ποιότητας και της παροχής του

νερού, των θέσεων εργασίας, της εξοικονόμησης κόστους, της επιστήμης και της εκπαίδευσης, της υγείας και της ασφάλειας (IEEP, 2011).

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ευρωπαϊκής Πολιτικής Περιβάλλοντος (IEEP), το δίκτυο Natura 2000 προσφέρει πιθανή σημαντική εξοικονόμηση κόστους και μείωση των ζημιών από ακραία καιρικά φαινόμενα. Οι φυσικοί κίνδυνοι σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές στην ΕΕ με την πάροδο του χρόνου, ενώ για την χρονική περίοδο 1990-2010, η αξία των οικονομικών απωλειών από φυσικές καταστροφές στην ΕΕ των 25 ανήλθε σε 16 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως. Επιπλέον, λόγω των δημογραφικών τάσεων και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, είναι πιθανό ότι η ευπάθεια των οικιστικών συνόλων στο φυσικό κινδύνου να αυξηθεί στο μέλλον. Λαμβάνοντας υπόψη τις σημαντικές λειτουργίες που μπορούν να παρέχουν τα φυσικά εμπόδια και οι πράσινες υποδομές, οι περιοχές Natura 2000 μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση των φυσικών κινδύνων, όπως πλημμύρες, κατολισθήσεις κ.α.

7. Επιπτώσεις σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων, ΕΕΛ (ENV₇).

Σύμφωνα με ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Συμβούλιο, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των Περιφερειών-Διαχείριση του κινδύνου πλημμυρών-Πλημμύρες: πρόληψη, προστασία και μετριασμός των επιπτώσεών τους, εκτός από τις οικονομικές και κοινωνικές ζημιές, οι πλημμύρες μπορεί να έχουν και σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν κατακλύζονται εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Οι εγκαταστάσεις αυτές όπως ορίζει η Οδηγία 2007/60/ΕΚ λήφθηκαν υπόψη στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών στο ΣΤΑΔΙΟ Ι, 4^η Φάση-Παραδοτέο 8, στο οποίο και εκπονήθηκαν οι Χάρτες Κινδύνου Πλημμύρας στις ΖΔΥΚΠ σύμφωνα με το άρθρο 6 της Οδηγίας.

Στη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με την Εθνική Βάση των ΕΕΛ η οποία σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), στο πλαίσιο των απαιτήσεων της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση της πορείας εφαρμογής της στη χώρα και την απευθείας ενημέρωση του κοινού, εντοπίστηκαν συνολικά οκτώ (8) τέτοιες εγκαταστάσεις.

Το **κοινωνικό κριτήριο**, αποτελεί ενδεχομένως τον πιο σημαντικό παράγοντα για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων, καθώς συνδέεται άμεσα με την ανθρώπινη ζωή. Τα υποκριτήρια που εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή αφορούν:

1. **Επιπτώσεις στην ασφάλεια των πολιτών (SOC₁).** Η πληθυσμιακή πυκνότητα αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο που πρέπει να λάβει κανείς υπόψη κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό μιας πόλης. Η ασφάλεια των πολιτών αποτελεί υψίστης προτεραιότητας των άμεσα εμπλεκόμενων οργάνων κατά την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Συνεπώς, η μέθοδος υπολογισμού της μεικτής πυκνότητας πληθυσμού (άτομα/m²) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αριθμού των ατόμων ανά τετραγωνικά χιλιόμετρα στην περιοχή μελέτης. Για το σκοπό αυτό, ελήφθη υπόψη η τελευταία απογραφή πληθυσμού από την ΕΛΣΤΑΤ για το έτος 2011.
2. **Επιπτώσεις σε δομές υγείας (SOC₂).** Τα νοσοκομεία, οι κλινικές και τα κέντρα υγείας λόγω πιθανής κατάκλισης των υποδομών λειτουργίας τους από πιθανή εκδήλωση πλημμυρικής καταστροφής, όπως αυτά ενσωματώθηκαν και στο πλαίσιο της κατάρτισης των χαρτών κινδύνων πλημμύρας κρίθηκε ότι πρέπει να συμπεριληφθούν στα κριτήρια ιεράρχησης των αντιπλημμυρικών έργων.
3. **Επιπτώσεις σε κοινωνικές δομές (SOC₃).** Στις κοινωνικές δομές συμπεριλήφθηκαν οι εγκαταστάσεις εκπαίδευσης όπως πχ. νηπιαγωγεία, σχολεία, πανεπιστήμια, καθώς και δημόσια κτήρια με το κριτήριο ότι συσσωρεύεται μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού και κρίνονται ως άμεσης προτεραιότητας.
4. **Επιπτώσεις σε υποδομές πολιτικής προστασίας (SOC₄).** Οι δομές πολιτικής προστασίας σε περίοδο εκτάκτων αναγκών έχουν τον κυρίαρχο ρόλο για την αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων. Σύμφωνα με την Εγκύκλιο με αρ. πρωτ. 7767/30-10-2019 της Δ/σης Σχεδιασμού & Αντιμετώπισης Έκτακτων Αναγκών της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας, η αρχική ειδοποίηση, η εντολή για ενεργοποίηση των σχεδίων, οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες των εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και ο έλεγχος και συντονισμός των επιχειρήσεων για την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών λόγω εκδήλωσης πλημμυρικών καταστροφών, ορίζονται από το ισχύον θεσμικό πλαίσιο και αναφέρονται με αναλυτικό τρόπο στα αντίστοιχα σχέδια και μνημόνια ενεργειών των κατά περίπτωση

εμπλεκόμενων φορέων. Ειδικότερα, οι υπηρεσίες που εμπλέκονται άμεσα σε αυτές είναι η Ελληνική Αστυνομία, η Πυροσβεστική Υπηρεσία, τα Αποκεντρωμένα Όργανα Πολιτικής Προστασίας και οι κεντρικές εγκαταστάσεις του ΕΚΑΒ για την μεταφορά τυχόν τραυματιών προς τις νοσηλευτικές μονάδες που δύναται να υποστηρίξουν την πληγείσα περιοχή. Για τους ανωτέρω λόγους στη παρούσα μελέτη περίπτωσης κρίθηκε απαραίτητη η προστασία των προαναφερθέντων δομών και η ένταξή τους στα κριτήρια ιεράρχησης ενός αντιπλημμυρικού έργου.

- 5. Συχνότητα Εμφάνισης Πλημμυρικών Συμβάντων (SOC₅).** Η συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών συμβάντων αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων. Μέσω αυτής της παραμέτρου δύναται να προσδιοριστούν οι περιοχές που πλήττονται συχνότερα από πλημμυρικά φαινόμενα, και να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα σε αυτές. Για τον προσδιορισμό της συχνότητας εμφάνισης πλημμυρικών συμβάντων πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στοιχεία για τα ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα και τα σημαντικά πλημμυρικά συμβάντα όπως αυτά καταγράφηκαν στο πλαίσιο της 1^{ης} Αναθεώρησης της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας (ΕΓΥ, 2019).

Τέλος, το **οικονομικό κριτήριο** περιγράφεται από τις επιπτώσεις που υφίστανται στην οικονομία κατά την εκδήλωση ενός πλημμυρικού γεγονότος, ενώ αυτές περιλαμβάνουν:

- 1. Επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις (ECON₁).** Το κριτήριο αυτό αφορά στις οικονομικές επιπτώσεις που πρόκειται να προκληθούν από την εμφάνιση ενός πλημμυρικού γεγονότος στις αστικές και εξωαστικές πληθυσμιακές συγκεντρώσεις μιας περιοχής. Βασιζόμενοι στη λογική ενώ ταξινομήθηκαν σε κλάσεις σύμφωνα με την πυκνότητα πληθυσμού βασιζόμενοι στην λογική ότι μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού δύναται να προκαλέσει μεγαλύτερες οικονομικές επιπτώσεις.
- 2. Επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές (ECON₂).** Η ευπάθεια των αγροτικών περιοχών σε πλημμύρες μπορεί να αποδοθεί τόσο στις ζημιές που δύναται να προκληθούν στις περιουσίες, όσο και στην ικανότητα ανάκτησης των αγροτικών εγκαταστάσεων μετά από τις καταστροφές. Κάτω από ορισμένες συνθήκες

εκδήλωσης πλημμυρών, μια σχετικά οικονομικά αναπτυγμένη περιοχή με υψηλό ΑΕΠ μπορεί ιδανικά να κάνει χρήση τοπικών άφθονων πόρων για την αποφυγή ή την καταπολέμηση των πλημμυρών. Αν και οι απόλυτες οικονομικές απώλειες στην ανεπτυγμένη περιοχή μπορεί να είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές της αναπτυσσόμενης, το ποσοστό απώλειας της πρώτης είναι χαμηλότερο. Έτσι, η ανεπτυγμένη περιοχή έχει ισχυρότερη ικανότητα αντιμετώπισης μιας πλημμύρας και οι συνέπειες των καταστροφών μπορούν να αποκατασταθούν ευκολότερα και πιο άμεσα. Συνεπώς, μπορεί να συνοψιστεί ότι όσο υψηλότερο είναι το ΑΕΠ ανά μονάδα έκτασης, τόσο χαμηλότερη είναι και η ευπάθεια των αγροτών.

- 3. Επιπτώσεις σε αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές (ECON₃).** Ένα σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας τουριστικής βιομηχανίας είναι αρκετά ευάλωτο σε περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα τελευταία χρόνια, η τουριστική βιομηχανία έχει πληγεί σοβαρά από φυσικές καταστροφές και τις επακόλουθες κρίσεις που προκαλούν. Οι πλημμύρες στον τουριστικό κλάδο περιλαμβάνουν τη μείωση του αριθμού των επισκεπτών και τις επακόλουθες επιχειρηματικές απώλειες, ζημιές σε εγκαταστάσεις και τοπικές υποδομές και σημαντικό κόστος ανακατασκευής, ενώ είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Οι ζημιές που προκαλούνται από τις πλημμύρες στον τουρισμό ταξινομούνται είτε σε άμεσες είτε σε έμμεσες. Η άμεση ζημιά περιλαμβάνει τη διακοπή των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων λόγω των άμεσων φυσικών επιπτώσεων της πλημμύρας στις εγκαταστάσεις. Οι έμμεσες ζημιές προκαλούνται από πλημμύρες, αλλά όχι ταυτόχρονα ή στον ίδιο τόπο που εμφανίστηκε η καταστροφή, ενώ μπορεί να προκαλέσουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις μέσω των αλλαγών στην τουριστική συμπεριφορά και στην επιλογή του προορισμού.
- 4. Επιπτώσεις σε βιομηχανικές συγκεντρώσεις (ECON₄).** Η βιομηχανία αποτελεί βασική συνιστώσα της οικονομίας, προσφέροντας πολλαπλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Για τις οικονομικές επιπτώσεις των βιομηχανικών συγκεντρώσεων λήφθηκαν υπόψη οι θεσμοθετημένες ΒΠΠΕ εντός της περιοχής μελέτης καθώς και άλλες άτυπες βιομηχανικές συγκεντρώσεις όπου εντοπίστηκαν.
- 5. Επιπτώσεις σε δίκτυο μεταφορών (ECON₅).** Στο δείκτη αυτόν επιμερίζονται οι οικονομικές επιπτώσεις που πρόκειται να προκληθούν κατά μήκος του θιγόμενου

οδικού (πρωτεύοντος, δευτερεύοντος, επαρχιακού και τριτεύοντος δικτύου) και σιδηροδρομικού δικτύου, αλλά και στις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου.

- 6. Επιπτώσεις σε κτηνοτροφικές μονάδες (ECON₆).** Η κτηνοτροφία συμβάλει σημαντικά στην περιφερειακή αγροτική ανάπτυξη και στη διατήρηση του κοινωνικού ιστού της υπαίθρου (ΥΠΑΑΤ, 2011). Συνεπώς, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη στήριξης και προστασίας των περιοχών αυτών.

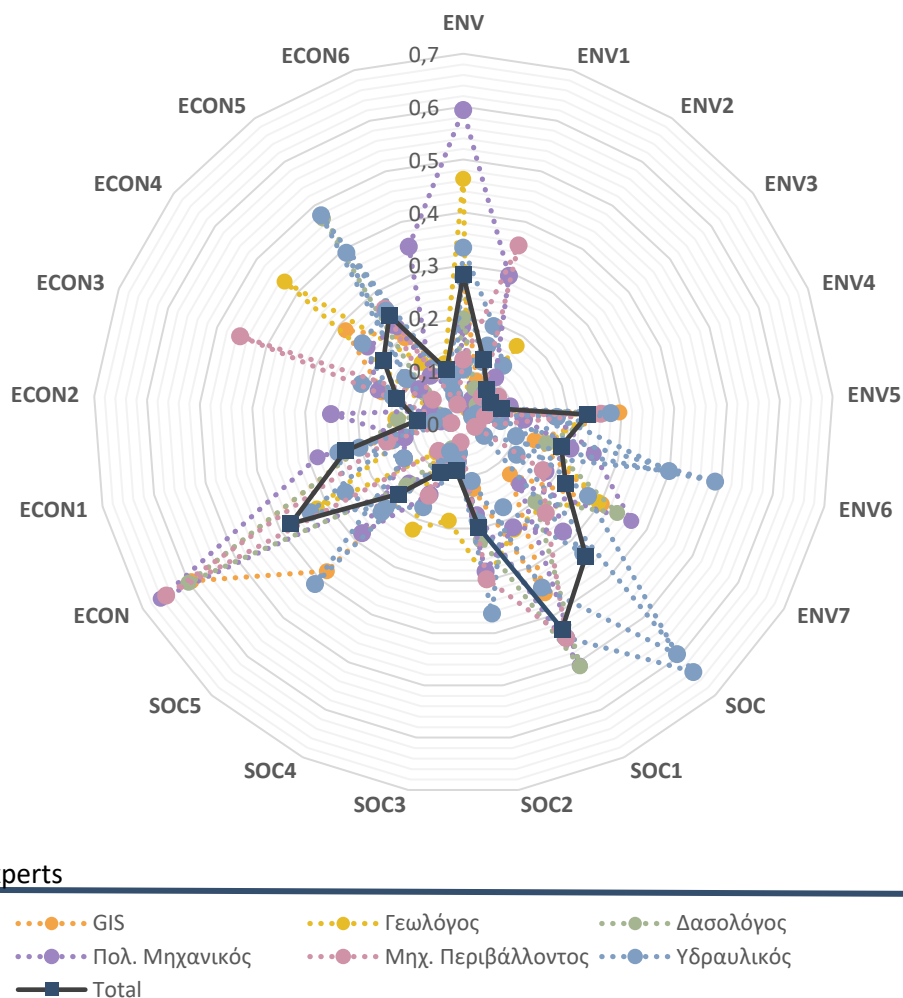
4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Η ενότητα αυτή περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι απόψεις διαφόρων εμπειρογνομόνων συνδυάζονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τη διερεύνηση των προτεραιοτήτων υλοποίησης αντιπλημμυρικών έργων. Ο καθορισμός των κριτηρίων αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική μέθοδο, καθώς μέσω αυτής εντοπίζονται οι περιοχές στις οποίες πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση για την υλοποίηση αντιπλημμυρικών έργων, ενώ τα κριτήρια βασίζονται σε βιβλιογραφικές αναφορές και απόψεις εμπειρογνομόνων. Συνεπώς, οι απόψεις των ειδικών και η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας συνδυάστηκαν για να προσδιοριστούν τα σημαντικότερα κριτήρια για τον εντοπισμό των περιοχών αυτών. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ορίστηκαν τρία κριτήρια, ήτοι περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά, με τα αντίστοιχα υποκριτήρια.

Εξαιτίας των διαφορετικών εκτιμήσεων των κριτηρίων για τον προσδιορισμό των περιοχών που κρίνονται ως άμεσης προτεραιότητας για την υλοποίηση αντιπλημμυρικών έργων, κρίνεται απαραίτητο να προσδιοριστεί η σημασία καθενός από αυτά σε σχέση με την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων. Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο που αναπτύχθηκε για να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και τους ειδικούς να αξιολογήσουν τα κριτήρια και να λάβουν αποτελεσματικές αποφάσεις με βάση τη σημασία του κάθε κριτηρίου για τον εντοπισμό των τοποθεσιών που κρίνεται πως πρέπει να εφαρμοστούν άμεσα αντιπλημμυρικά έργα.

Για το λόγο αυτό, έπειτα από τον καθορισμό των κριτηρίων ιεράρχησης, πραγματοποιήθηκαν δομημένες συνεντεύξεις σε τοπικούς εμπειρογνώμονες, μέσω ερωτηματολογίου το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της σχετικής σημασίας όλων των επιλεγμένων κριτηρίων και υποκριτηρίων και βασίστηκε στην κλίμακα 1-9. Η συνέντευξη πραγματοποιήθηκε σε εννιά (9) εμπειρογνώμονες, ενώ το

υπόβαθρο αυτών κάλυψε τους τομείς της υδραυλικής, της δασολογίας, της γεωλογίας, του πολιτικού μηχανικού, του μηχανικού περιβάλλοντος και της γεωπληροφορικής. Οι ειδικοί επιλέχθηκαν με βάση τις γνώσεις τους για την περιοχή μελέτης και για τα πλημμυρικά ζητήματα που πλήττουν αυτή.



Διάγραμμα 1. Γραφική απεικόνιση βαρύτητας κριτηρίων βάσει απόψεων εμπειρογνομόνων μέσω γραφήματος Διασποράς (Radar)

Τα αποτελέσματα των απόψεων των ειδικών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο ανωτέρω Διάγραμμα 1, από το οποίο μπορεί να αντιληφθεί κανείς ότι υπάρχει μία σχετική συμφωνία σχετικά με τη σημασία ορισμένων κριτηρίων, όπως ο Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (ENV₃). Ωστόσο, μικρές αποκλίσεις μπορούν να παρατηρηθούν στη γνώμη των εμπειρογνομόνων σχετικά με τη σχετική σημασία ορισμένων επιλεγμένων κριτηρίων όπως οι οικονομικές επιπτώσεις σε αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές

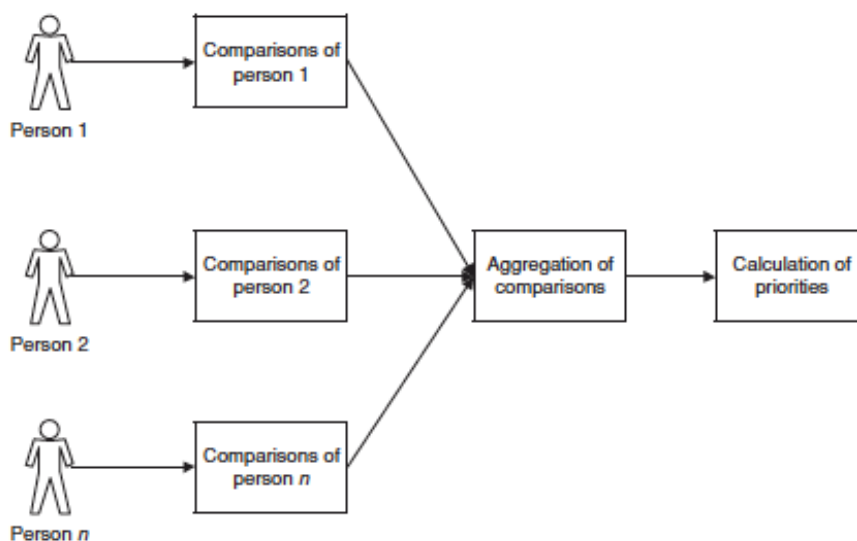
(ECON₃) και οι επιπτώσεις στην ασφάλεια των πολιτών (SOC₁). Το γεγονός αυτό δεν σημαίνει όμως πως δεν υπάρχει συνοχή μεταξύ των απόψεων των ειδικών.

Καθώς η απόφαση επηρεάζει συχνά πολλά άτομα, το πρότυπο της AHP έχει προσαρμοστεί έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί και στις αποφάσεις μιας ομάδας εμπειρογνομόνων. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 9), παρουσιάζονται οι τέσσερις τρόποι με τους οποίους μπορεί να συνδυάσει και να συνθέσει κανείς τις προτιμήσεις των εμπλεκόμενων μελών για τη διαμόρφωση της τελικής απόφασης.

Πίνακας 9. Μέθοδοι συνδυασμού απόψεων εμπειρογνομόνων για τη μέθοδο της AHP (Πηγή: Ishizaka & Labib 2011)

		Mathematical Aggregation	
		Yes	No
Aggregation on	Judgements	Geometrical Mean on comparisons	Consensus vote on comparisons
	Priorities	Weighted Arithmetic Mean on priorities	Consensus vote on priorities

Για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης και για τον προσδιορισμό των συνολικών βαρών επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος υπολογισμού του γεωμετρικού μέσου όρου των μεμονωμένων αξιολογήσεων (Εικόνα 9). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών χρησιμοποιούνται ως στοιχεία στους πίνακες σύγκρισης ανά ζεύγη, ώστε στη συνέχεια να προσδιοριστούν οι συντελεστές βαρύτητας που προκύπτουν για κάθε παράγοντα ο οποίος συμβάλει στη δημιουργία του σύνθετου κριτηρίου.



Εικόνα 9. Σχηματική απεικόνιση μεθόδου υπολογισμού γεωμετρικού μέσου όρου στο στάδιο των αξιολογήσεων

(Πηγή: Ishizaka & Nemery, 2013)

Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της AHP παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 10 έως 13). Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου επέτρεψαν την κατηγοριοποίηση των υποκριτηρίων σε τρεις κύριες ομάδες κριτηρίων, ενώ ο συντελεστής βαρύτητας για κάθε μία από αυτές παρουσιάζεται στους Πίνακες 7 έως 10. Η στήλη w_i αντιπροσωπεύει το βαθμό επιρροής του κριτηρίου στο συγκεκριμένο επίπεδο ιεραρχίας.

Όσον αφορά το πρώτο επίπεδο ιεραρχίας (Επίπεδο 1), τα αποτελέσματα της διαδικασίας της AHP φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των σύνθετων κριτηρίων

	ENV	SOC	ECON	w_i
ENV	1,000	0,952	0,651	0,282
SOC	1,051	1,000	1,037	0,341
ECON	1,535	0,964	1,000	0,377
λ_{max} : 3,019	CI: 0,009	CR: 0,017		1,000

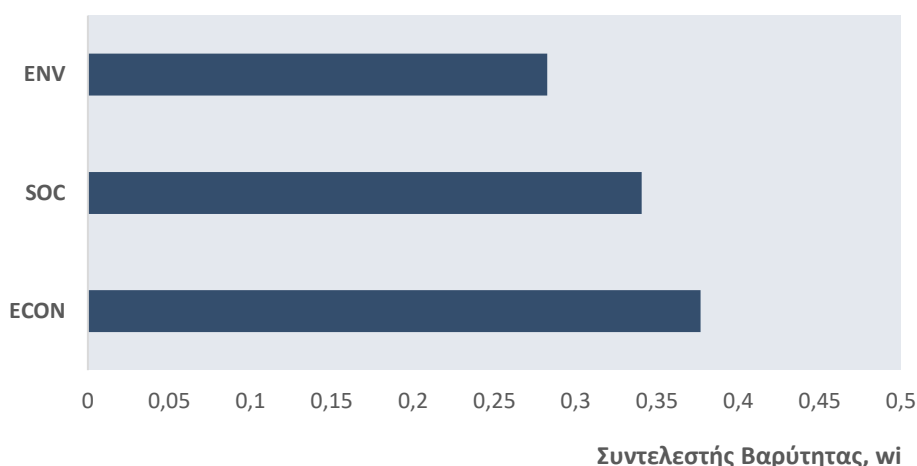
Η ιεράρχηση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων που συνθέτουν το σύνθετο κριτήριο ως προς την μεταξύ τους σημαντικότητα διαμορφώνεται ως εξής:

ECON > SOC > ENV

Συνεπώς, το επίπεδο πληροφορίας της ευνοϊκότητας ως προς την ιεράρχηση αντιπλημμυρικών έργων θα υπολογιστεί σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Στόχος} = 0,377\text{ECON} + 0,341\text{SOC} + 0,282\text{ENV} \quad (1)$$

Ως εκ τούτου, τα οικονομικά κριτήρια σταθμίστηκαν με την υψηλότερη τιμή αυτή του 37,7%, ενώ ακολουθούν τα κοινωνικά 34,1% και τα περιβαλλοντικά 28,2% κριτήρια (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 2. Συντελεστές βαρύτητας κριτηρίων πρώτου επιπέδου

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Τα υποκριτήρια ομαδοποιήθηκαν ανά κύρια κατηγορία και υπολογίστηκε ο συντελεστής βαρύτητας για κάθε ένα από αυτά. Οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για κάθε επίπεδο ιεραρχίας, ενώ η τιμή του λόγου συνέπειας δείχνει την ακρίβεια του πίνακα σύγκρισης. Όσον αφορά την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού κριτηρίου, τα αποτελέσματα των συντελεστών βαρύτητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών κριτηρίων

	ENV ₁	ENV ₂	ENV ₃	ENV ₄	ENV ₅	ENV ₆	ENV ₇	wi
ENV ₁	1,000	2,550	1,875	1,500	0,511	0,411	0,679	0,128
ENV ₂	0,392	1,000	1,076	1,265	0,461	0,335	0,434	0,079
ENV ₃	0,533	0,930	1,000	0,613	0,271	0,412	0,323	0,065
ENV ₄	0,667	0,790	1,631	1,000	0,306	0,508	0,257	0,078
ENV ₅	1,957	2,169	3,688	3,269	1,000	1,584	1,037	0,236
ENV ₆	2,432	2,985	2,430	1,969	0,631	1,000	0,701	0,190
ENV ₇	1,473	2,303	3,096	3,897	0,964	1,427	1,000	0,224
λ _{max} :	7,163	CI:	0,027	CR:	0,020			1,000

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι, η ιεράρχηση των περιβαλλοντικών συντελεστών που συνθέτουν το περιβαλλοντικό κριτήριο ως προς την μεταξύ τους σημαντικότητα διαμορφώνεται ως εξής:

$$ENV_5 > ENV_7 > ENV_6 > ENV_1 > ENV_4 > ENV_2 > ENV_3$$

Συνεπώς, το επίπεδο πληροφορίας του περιβαλλοντικού κριτηρίου θα υπολογιστεί σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$ENV = 0,128ENV_1 + 0,078ENV_2 + 0,065ENV_3 + 0,079ENV_4 + 0,236ENV_5 + 0,190ENV_6 + 0,224ENV_7 \quad (2)$$

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης ανά ζεύγη για την αξιολόγηση των κοινωνικών κριτηρίων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 12).

Πίνακας 12. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των κοινωνικών κριτηρίων

	SOC ₁	SOC ₂	SOC ₃	SOC ₄	SOC ₅	w _i
SOC ₁	1,000	2,598	4,215	3,473	2,694	0,430
SOC ₂	0,385	1,000	2,115	2,102	1,273	0,198
SOC ₃	0,237	0,473	1,000	0,824	0,453	0,089
SOC ₄	0,288	0,476	1,213	1,000	0,473	0,102
SOC ₅	0,371	0,785	2,207	2,116	1,000	0,180
λ_{max}:	5,035	CI:	0,009	CR:	0,008	1,000

Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει ότι, η ιεράρχηση των κοινωνικών παραγόντων που συνθέτουν το κοινωνικό κριτήριο ως προς την μεταξύ τους σημαντικότητα διαμορφώνεται ως εξής:

$$SOC_1 > SOC_2 > SOC_5 > SOC_4 > SOC_3$$

Συνεπώς, το επίπεδο πληροφορίας του κοινωνικού κριτηρίου θα υπολογιστεί σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$SOC = 0,430SOC_1 + 0,198SOC_2 + 0,180SOC_3 + 0,102SOC_4 + 0,180SOC_5 \quad (3)$$

Όσον αφορά στις απόψεις των ειδικών για τους παράγοντες που συντελούν στη δημιουργία του οικονομικού κριτηρίου, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 13).

Πίνακας 13. Σύγκριση ανά ζεύγη γεωμετρικών μέσων απαντήσεων εμπειρογνομόνων και συντελεστές βαρύτητας για την αξιολόγηση των οικονομικών κριτηρίων

	ECON ₁	ECON ₂	ECON ₃	ECON ₄	ECON ₅	ECON ₆	w _i
ECON ₁	1,000	3,154	1,806	1,369	0,496	2,460	0,229
ECON ₂	0,317	1,000	0,764	0,502	0,453	0,655	0,087
ECON ₃	0,554	1,309	1,000	0,722	0,859	1,019	0,135
ECON ₄	0,731	1,993	1,386	1,000	0,964	2,153	0,193
ECON ₅	2,015	2,208	1,164	1,037	1,000	2,333	0,248
ECON ₆	0,406	1,527	0,982	0,465	0,429	1,000	0,107
λ _{max} :	6,160	CI:	0,032	CR:	0,026		1,000

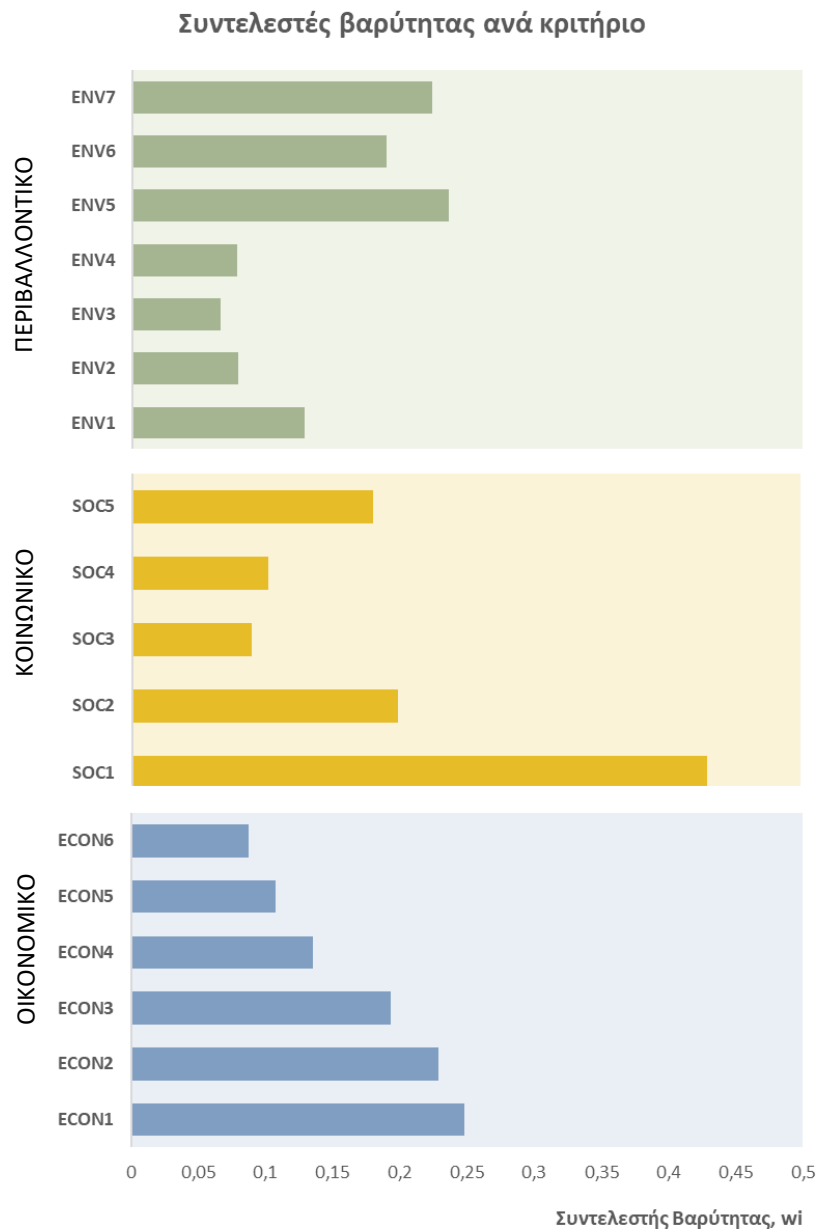
Από την ανωτέρω επεξεργασία διαπιστώθηκε ότι, η ιεράρχηση των κοινωνικών παραγόντων που συνθέτουν το κοινωνικό κριτήριο ως προς την μεταξύ τους σημαντικότητα διαμορφώνεται ως εξής:

$$\mathbf{ECON_5 > ECON_1 > ECON_4 > ECON_3 > ECON_6 > ECON_2}$$

Συνεπώς, το θεματικό επίπεδο του οικονομικού κριτηρίου θα υπολογιστεί σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathbf{ECON} = 0,229ECON_1 + 0,087ECON_2 + 0,135ECON_3 + 0,193ECON_4 + 0,248ECON_5 + 0,107ECON_6 \quad (4)$$

Τα αποτελέσματα της ζευγαρωτής σύγκρισης των υποκριτηρίων του κατώτερου επιπέδου (Επίπεδο 3) φαίνονται συνοπτικά στο Διάγραμμα 3 που ακολουθεί. Όσον αφορά στη συνέπεια των ανωτέρω απαντήσεων υπενθυμίζεται ότι η αποδεκτή τιμή του λόγου συνέπειας σύμφωνα με τον Saaty για τη μέθοδο AHP είναι μικρότερη από 0,1. Στη παρούσα μελέτη περίπτωσης, οι υπολογισμένοι λόγοι συνέπειας για τα μεμονωμένα και συγχωνευμένα βάρη δείχνουν ότι υπάρχει καλή συνέπεια μεταξύ των απόψεων των εμπειρογνομόνων, και μάλιστα ο μέγιστος λόγος συνέπειας που υπολογίστηκε είναι 0,026. Το γεγονός αυτό εξηγεί ότι δεν υπάρχουν σχετικά ισχυρές διαφωνίες μεταξύ των ατόμων, ενώ τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το οικονομικό κριτήριο αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου αντιπλημμυρικού έργου.



Διάγραμμα 3. Συντελεστές βαρύτητας υποκριτηρίων δεύτερου επιπέδου

(Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

4.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ-ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το σύνολο των κριτηρίων που αναλύθηκε ανωτέρω έχει γεωγραφική διάσταση και επομένως μπορεί να χαρτογραφηθεί. Η ιεραρχική δομή που περιεγράφηκε αναλυτικά ανωτέρω ενσωματώνεται στο πλαίσιο ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (ΓΠΣ). Για τον σκοπό αυτό στη παρούσα ενότητα περιγράφεται η ανάλυση των δεδομένων και η ομογενοποίηση των κριτηρίων με κατηγοριοποίηση του κάθε κριτηρίου σε ενιαία κλίμακα ταξινόμησης.

Ως περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε η μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης, ενώ η ανάλυση πραγματοποιείται με χωρική μονάδα αναφοράς τα 25 m (μέγεθος εικονοστοιχείου). Ο προσδιορισμός του χάρτη που δύναται να χρησιμοποιηθεί για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων, εξαρτάται από τις κατηγορίες και τον συντελεστή βαρύτητας του κάθε θεματικού επιπέδου. Ο υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας προήλθε χρησιμοποιώντας τις απόψεις των εμπειρογνομόνων μέσω της προσέγγισης της μεθοδολογίας της Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) η οποία χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της συνέπειας των απόψεων μέσω της χρήσης του λόγου συνέπειας CR. Κάθε θεματικό επίπεδο κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κλάσεις, οι οποίες αντιστοιχούν στον βαθμό σύνδεσης της κάθε μεταβλητής με το στόχο του προβλήματος:

Πολύ χαμηλή:	1
Χαμηλή:	2
Μέτρια:	3
Σημαντική:	4
Πολύ σημαντική:	5

προκειμένου να υιοθετηθεί μία ενιαία κλίμακα αναφοράς ώστε οι συγκρίσεις να είναι δυνατές, καθώς είναι δύσκολο να συγκριθούν διαφορετικά στοιχεία. Η κλίμακα αυτή υιοθετείται μέχρι και σήμερα από τις περισσότερες σχετικές βιβλιογραφίες, ενώ η κατηγοριοποίηση των δεδομένων έχει ως στόχο τη δημιουργία συγκρίσιμων μεγεθών για κάθε κριτήριο.

Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει τον συντελεστή βαρύτητας και την κατάταξη των τιμών του κάθε κριτηρίου και υποκριτηρίου στην ενιαία 5βάθμια κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για την εν λόγω μελέτη περίπτωσης. Η ένταξη του κάθε επιπέδου πληροφορίας στην ανωτέρω κλίμακα πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη κρίση του μελετητή λαμβάνοντας υπόψη το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΠΕΝ-ΕΓΥ, 2012).

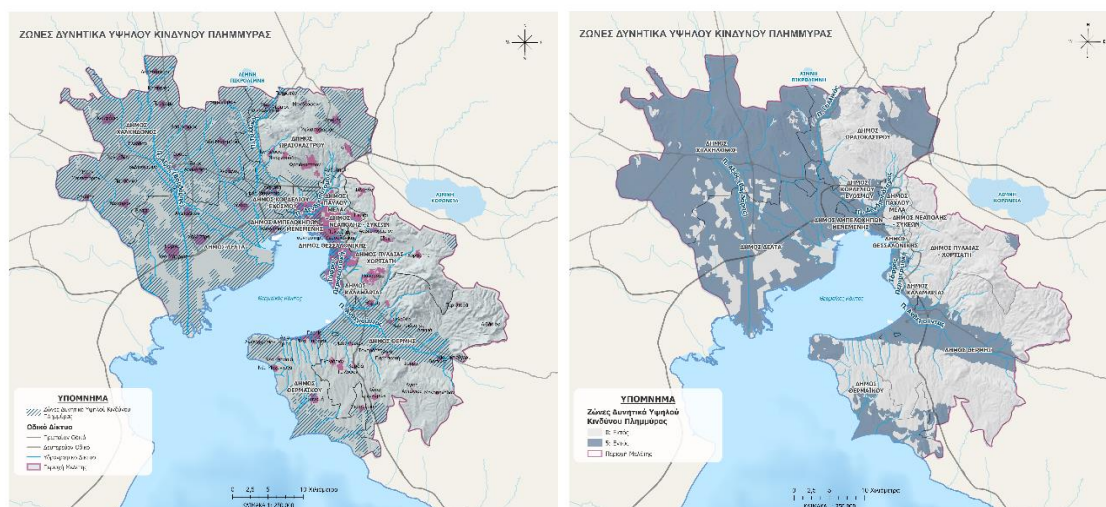
Πίνακας 14. Ταξινόμηση πρωτογενών μεταβλητών περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων

Κατηγορία	Κλάσεις	1 (πολύ χαμηλή)	2 (χαμηλή)	3 (μέτρια)	4 (σημαντική)	5 (πολύ σημαντική)
Περιβαλλοντικό Κριτήριο	ENV ₁	Εκτός	-	-	-	Εντός
	ENV ₂	Δάση, Υγρότοποι Υδάτινες Επιφάνειες	Γεωργικές	Αναδάσωση	Τεχνητές Επιφάνειες	Αστικοποίηση Αποδάσωση
	ENV ₃	2,5 - 6,5	6,5 - 7,5	7,5 - 8,5	8,5 - 10,5	10,5 - 24,5
	ENV ₄	0 - 200	200 - 500	500 - 1.000	1.000 - 1.500	1.500 - 3.000
	ENV ₅	λοιπή περιοχή	5 km ακτίνα επιρροής	3 km ακτίνα επιρροής	2 km ακτίνα επιρροής	1 km ακτίνα επιρροής
	ENV ₆	Εκτός	-	Εντός	-	-
	ENV ₇	5 km ακτίνα επιρροής	4 km ακτίνα επιρροής	3 km ακτίνα επιρροής	2 km ακτίνα επιρροής	1 km ακτίνα επιρροής
Κοινωνικό Κριτήριο	SOC ₁	-	-	< 2.000	2.000-5.000	> 5.000
	SOC ₂	5 km ακτίνα επιρροής	4 km ακτίνα επιρροής	3 km ακτίνα επιρροής	2 km ακτίνα επιρροής	1 km ακτίνα επιρροής
	SOC ₃	-	-	-	1 km ακτίνα επιρροής	-
	SOC ₄	-	-	-	1 km ακτίνα επιρροής	-
	SOC ₅	5 km ακτίνα επιρροής	4 km ακτίνα επιρροής	3 km ακτίνα επιρροής	2 km ακτίνα επιρροής	1 km ακτίνα επιρροής
Οικονομικό Κριτήριο	ECON ₁	-	-	< 2.000	2.000-5.000	> 5.000
	ECON ₂	-	Εντός	-	-	-
	ECON ₃	-	-	-	-	1 km ακτίνα επιρροής
	ECON ₄	-	-	-	1 km ακτίνα επιρροής	-
	ECON ₅	-	-	Επαρχιακό Οδικό	Αεροδρόμιο, Σιδηροδρομικό Πρωτεύον Οδικό, Ζώνες Λιμένων	-
	ECON ₆	-	1 km ακτίνα επιρροής	-	-	-

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των περιοχών βασίστηκε στην ανάλυση διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων σε περιβάλλον GIS, ενώ τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν: τη δημιουργία περιμετρικών ζωνών (buffer zone), την ένωση δεδομένων (union), την ενημέρωση του πίνακα ιδιοτήτων (attribute table), τη χρήση εργαλείου προσδιορισμού κλίσης (slope), την εξαγωγή επιπέδου (extraction), τη δημιουργία ψηφιδωτού αρχείου (raster), τη κανονικοποίηση (reclassification) και τις πράξεις μεταξύ ψηφιδωτών θεματικών επιπέδων (raster calculator). Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων για τη δημιουργία των θεματικών επιπέδων ιεράρχησης παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας

Οι ΖΔΥΚΠ αποτελούν σημαντικό παράγοντα για τον εντοπισμό των περιοχών που χρήζουν αντιπλημμυρικής αντιμετώπισης, καθώς αφορούν περιοχές με μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανίσουν κίνδυνο σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Οι περιοχές εντός ζωνών υψηλού κινδύνου είναι αυτές που εμφανίζουν κλίση μικρότερη του 2% και βρίσκονται σε θέση προσχωματικών αποθέσεων. Οι ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας λήφθηκαν από την 1^η Αναθεώρηση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης των Κινδύνων Πλημμύρας και αφορούν στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας στο οποίο και ανήκει η περιοχή μελέτης. Στον χάρτη ζωνών δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας που φαίνεται στην Εικόνα 10, οι ζώνες ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 14 σε δύο κατηγορίες, τις εντός ζωνών περιοχές, οι οποίες παρουσιάζουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις και στις οποίες αποδόθηκε η τιμή πέντε (5) και τις εκτός ζωνών περιοχές.

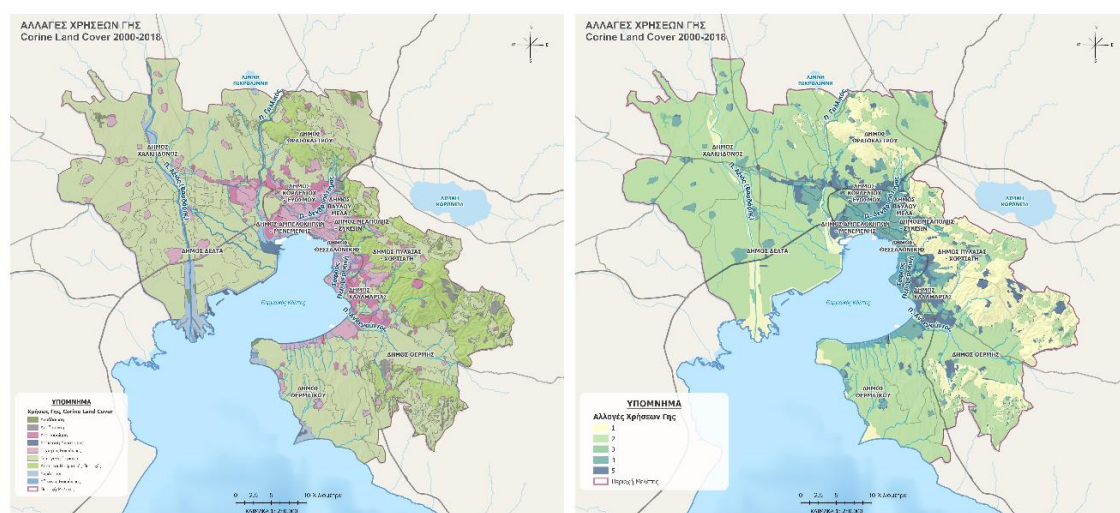


Εικόνα 10. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENVI, Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Αλλαγές Χρήσεων Γης

Για τον προσδιορισμό των αλλαγών χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκαν τα Corine Land Cover 2000 και 2018 που αφορούν στη περιοχή μελέτης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Εντοπίστηκαν τέσσερις (4) κατηγορίες αλλαγών οι οποίες αφορούν περιοχές που υπέστη αστικοποίηση, αναδάσωση, αποδάσωση και επέκταση υγροτόπων. Οι υφιστάμενες χρήσεις γης και οι αλλαγές αυτών κατηγοριοποιήθηκαν εκ νέου σε εννιά (9) γενικές κλάσεις και μετατράπηκαν σε ψηφιδωτό αρχείο, το οποίο στη συνέχεια αναταξινομήθηκε σε πέντε (5) κλάσεις σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 14. Κατά συνέπεια στις περιοχές όπου παρατηρήθηκε αστικοποίηση αποδόθηκε η τιμή 5, καθώς θεωρήθηκαν ιδιαίτερα ευαίσθητες στον κίνδυνο πλημμύρας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεδομένων χρήσεων γης πριν και μετά την αναταξινόμηση φαίνονται στην Εικόνα 11.



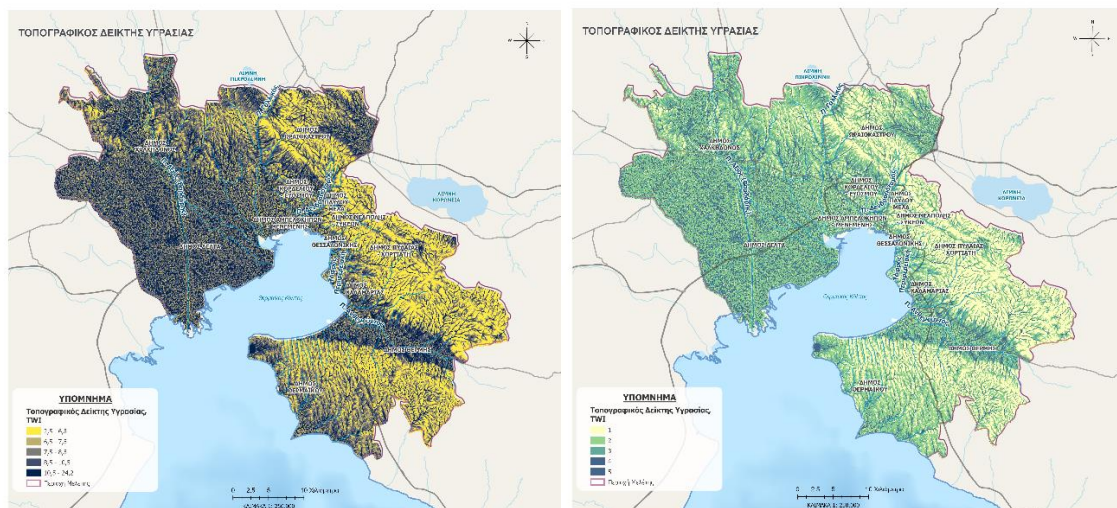
Εικόνα 11. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV₂, Αλλαγών Χρήσεων Γης εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας

Για τον προσδιορισμό του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας, ενός ευρέως διαδεδομένου δείκτη υδρολογικής ανάλυσης που περιγράφει την τάση μιας περιοχής να συσσωρεύει νερό, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) για τη περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, το ψηφιδωτό αρχείο EU-DEM σε ανάλυση 25 μέτρων, το οποίο προήλθε από SRTM, ASTER GDEM και ρωσικούς τοπογραφικούς χάρτες και δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της προπαρασκευαστικής δράσης για την βάση δεδομένων Copernicus το 2009-2012, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας χρησιμοποιώντας μορφομετρική ανάλυση εδάφους σε

περιβάλλον GIS. Οι τιμές του δείκτη που υπολογίστηκαν για την περιοχή μελέτης αναταξινομήθηκαν σε πέντε (5) κλάσεις ίσων διαστημάτων αποδίδοντας στην κλάση με τις μικρότερες τιμές την τιμή ένα (1), καθώς αφορά περιοχές που συσσωρεύουν μηδενικές ή πολύ μικρές ποσότητες νερού, άρα έχουν και μικρότερη πιθανότητα στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Τα αποτελέσματα της ανωτέρω διαδικασίας φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 12).

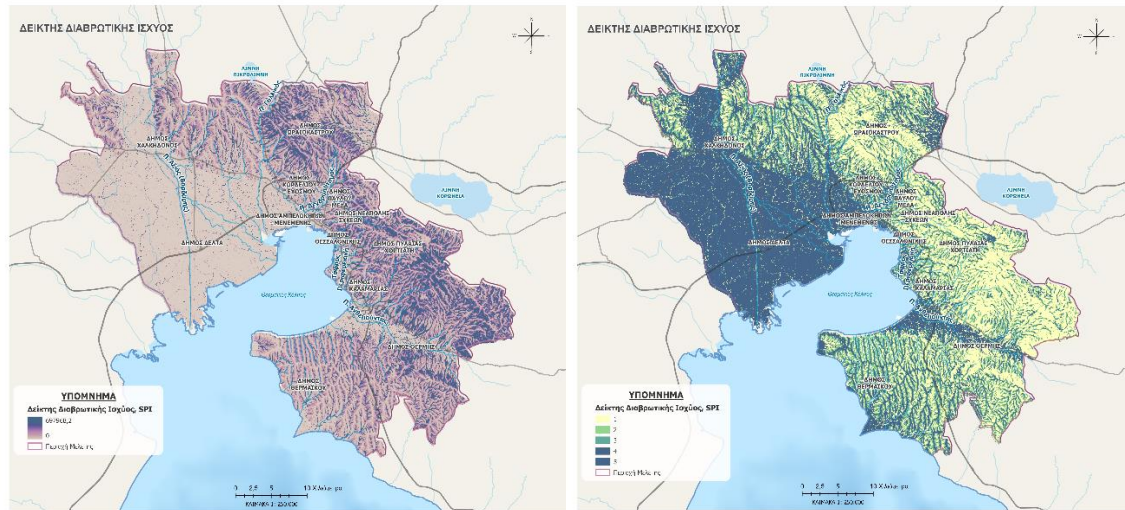


Εικόνα 12. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου EN3, Τοπογραφικού Δείκτη Υγρασίας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Δείκτης Διαβρωτική Ισχύος

Ο δείκτης διαβρωτικής ισχύος, ένας δείκτης υδρολογικής ανάλυσης που δείχνει τις διαβρωτικές επιπτώσεις της συγκέντρωσης της επιφανειακής απορροής, υπολογίστηκε για την περιοχή μελέτης. Για τον υπολογισμό των τιμών του εν λόγω δείκτη για την περιοχή μελέτης έγινε χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους χρησιμοποιώντας μοντέλα μορφομετρικής ανάλυσης εδάφους σε περιβάλλον GIS. Τα αποτελέσματα των τιμών φαίνονται στην Εικόνα 13, ενώ οι παραχθέντες τιμές αναταξινομήθηκαν σε πέντε (5) κλάσεις ίσων διαστημάτων.

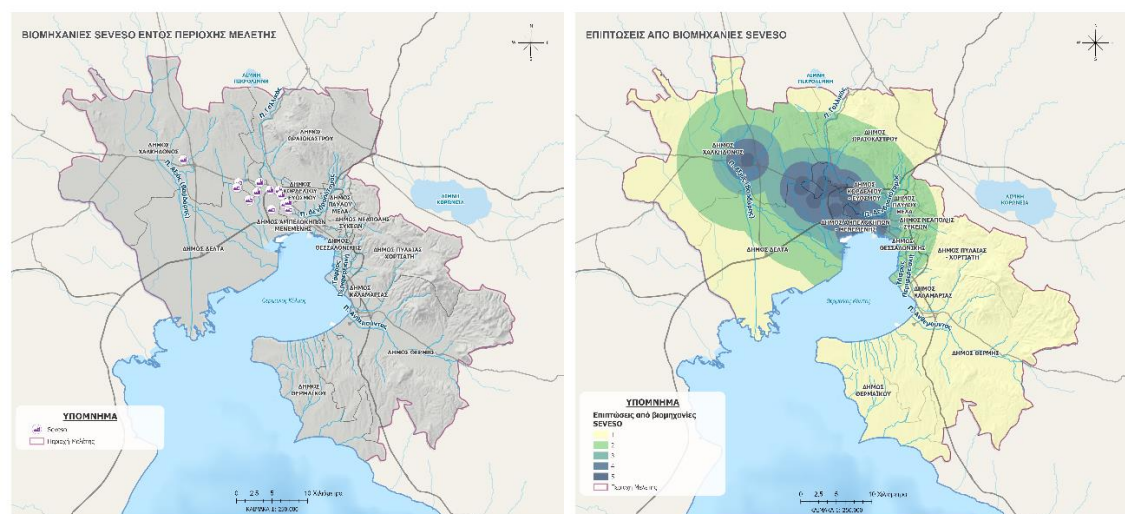


Εικόνα 13. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου EN4, Δείκτη Διαβρωτικής Ισχύος εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Βιομηχανίες Seveso

Στην περιοχή μελέτης και εντός της Μητροπολιτικής Ενότητας Θεσσαλονίκης χωροθετούνται δεκαπέντε (15) τέτοιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι οποίες κρίθηκε ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων. Η ευκλείδεια απόσταση υπολογίστηκε για το θεματικό επίπεδο των βιομηχανιών, ενώ στη συνέχεια ορίστηκαν οι πέντε (5) κλάσεις του επιπέδου αυτού αποδίδοντας τον αντίστοιχο βαθμό σημαντικότητας. Πιο συγκεκριμένα, στις περιοχές που βρίσκονται σε ευκλείδεια απόσταση 1 km από την εκάστοτε βιομηχανία αποδόθηκε η τιμή 5, ενώ η τιμή αυτή μειώνεται καθώς αυξάνεται η ευκλείδεια απόσταση από την βιομηχανία όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 14)

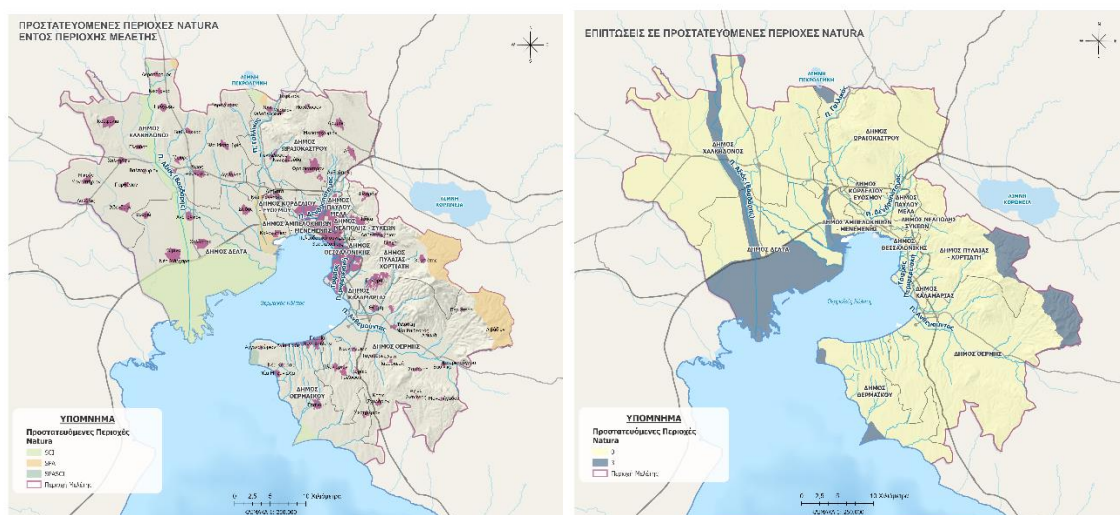


Εικόνα 14. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου EN5, Βιομηχανίες Seveso εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Προστατευόμενες Περιοχές Ειδών και Οικοτόπων

Στη παρούσα μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήθηκαν τα εμβαδά των θιγόμενων εκτάσεων των ειδικών ζωνών διατήρησης, των ζωνών ειδικής προστασίας και των ειδικών ζωνών διατήρησης και ειδικής προστασίας που έγκειται εντός περιοχής μελέτης. Τα διανυσματικά δεδομένα των περιοχών Natura 2000 μετατράπηκαν σε ψηφιδωτό αρχείο, ενώ τους αποδόθηκε η τιμή της μέτριας σημαντικότητας τρία (3) (Εικόνα 15).

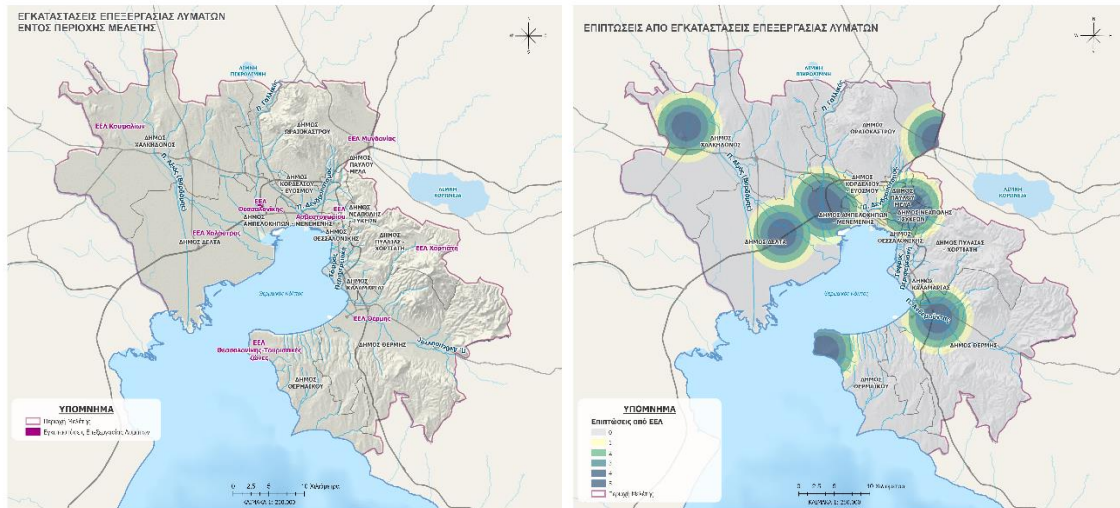


Εικόνα 15. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ENV₆, Προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων

Στη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με την Εθνική Βάση των ΕΕΛ η οποία σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), στο πλαίσιο των απαιτήσεων της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση της πορείας εφαρμογής της στη χώρα και την απευθείας ενημέρωση του κοινού, εντοπίστηκαν συνολικά οκτώ (8) τέτοιες εγκαταστάσεις (Εικόνα 16). Το θεματικό επίπεδο των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε (5) κλάσεις υπολογίζοντας την ευκλείδεια απόσταση και αποδίδοντας τιμές εξαρτώμενες από την χιλιομετρική απόσταση. Έτσι, αντιπλημμυρικά έργα που βρίσκονται σε απόσταση ακτίνας εντός 1 km από εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, θεωρούνται πολύ σημαντικά και λαμβάνουν την τιμή πέντε (5).

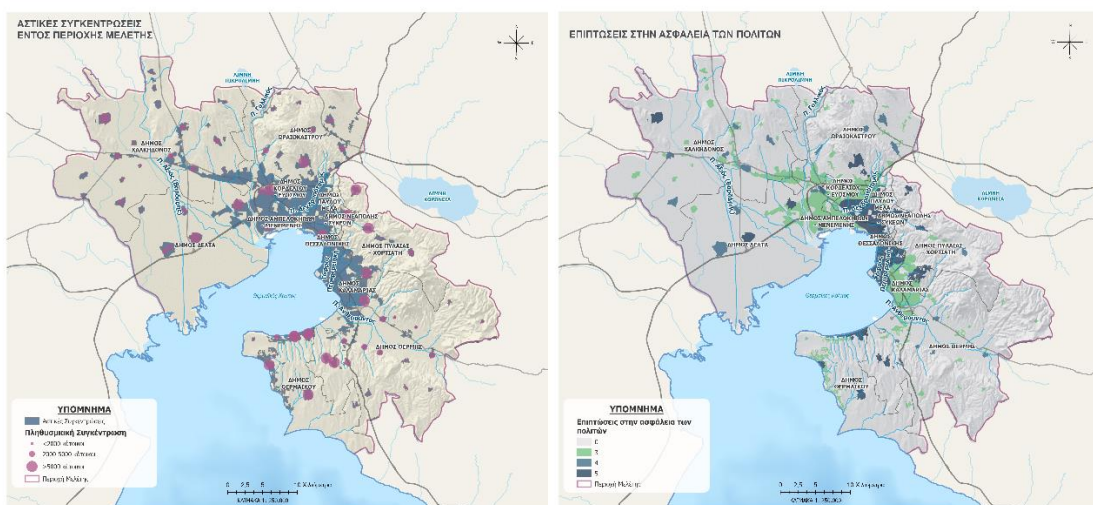


Εικόνα 16. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου EN7, Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις στην ασφάλεια των πολιτών

Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων στην ασφάλεια των πολιτών αξιοποιήθηκαν τα πληθυσμιακά στοιχεία της τελευταίας απογραφής της ΕΛΣΤΑΤ (2011) ανά οικισμό για την περιοχή μελέτης. Τα στοιχεία αυτά εισήχθησαν στον πίνακα ιδιοτήτων του θεματικού επιπέδου των αστικών συγκεντρώσεων όπως αυτό προέκυψε από την επεξεργασία του θεματικού επιπέδου των χρήσεων γης (Εικόνα 17). Τα πληθυσμιακά δεδομένα ταξινομήθηκαν σε τρεις (3) κλάσεις εξαρτώμενες από τον αριθμό των κατοίκων ανά οικισμό. Έτσι, στους οικισμούς με αριθμό κατοίκων μεγαλύτερο των 5000 ατόμων αποδόθηκε η τιμή πέντε (5) υψηλών επιπτώσεων, ενώ στους οικισμούς με αριθμό κατοίκων μικρότερο των 2000 κατοίκων αποδόθηκε η τιμή μέτριων επιπτώσεων τρία (3).

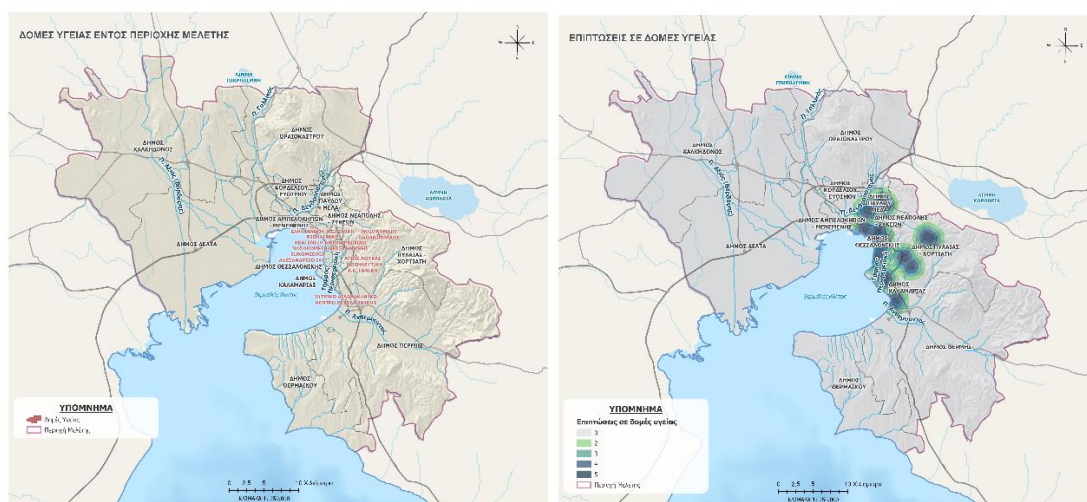


Εικόνα 17. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC1, Πληθυσμιακή συγκέντρωση εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε δομές υγείας

Για το σύνολο της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε εντοπισμός και ψηφιοποίηση του εμβαδού κατάληψης των δομών υγείας. Στις δομές υγείας συμπεριλήφθηκαν τα δημόσια νοσοκομεία, καθώς και οι ιδιωτικές κλινικές που χωροθετούνται εντός της περιοχής μελέτης. Για το σύνολο των δομών του θεματικού επιπέδου υπολογίστηκε η ευκλείδεια απόσταση και αποδόθηκε βαθμός σημαντικότητας εξαρτώμενος από αυτή. Ειδικότερα, για ακτίνα 1 km από την εκάστοτε μονάδα υγείας δόθηκε ο βαθμός υψηλής σημαντικότητας πέντε (5), ενώ αυτός μειώνεται καθώς απομακρύνεται κανείς από αυτή (Εικόνα 18).

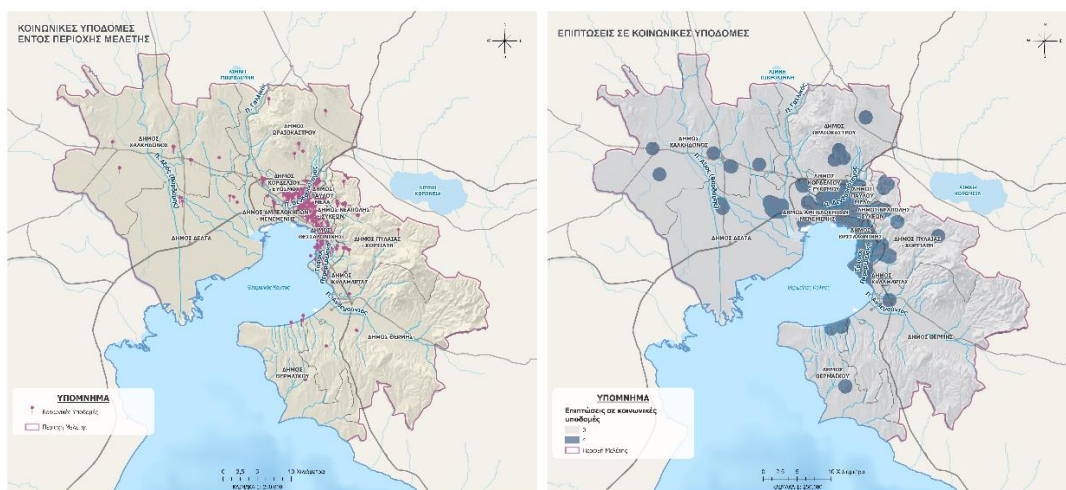


Εικόνα 18. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC_2 , Δομές Υγείας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε κοινωνικές υποδομές

Ως κοινωνικές υποδομές θεωρήθηκε το σύνολο των δημόσιων κτηρίων, καθώς και των εγκαταστάσεων πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Για το σύνολο των υποδομών υπολογίστηκε η ακτίνα επιρροής 1 km και αποδόθηκε η βαρύτητα σημαντικότητας τέσσερα (4) (Εικόνα 19).

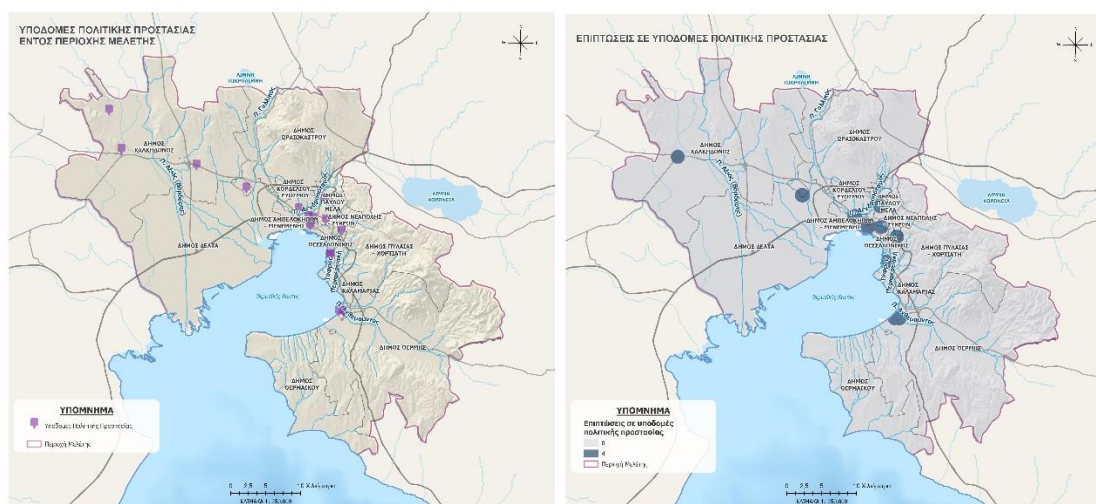


Εικόνα 19. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC₃, Κοινωνικές Υποδομές εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε υποδομές πολιτικής προστασίας

Για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων σε υποδομές πολιτικής προστασίας λήφθηκε υπόψη το σύνολο των υποδομών της Ελληνικής Αστυνομίας, της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας και οι κεντρικές εγκαταστάσεις του ΕΚΑΒ, ως υπηρεσίες που εμπλέκονται άμεσα στην αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών (Εικόνα 20). Στο θεματικό επίπεδο αυτό δόθηκε η τιμή σημαντικότητας τέσσερα (4) για ακτίνα επιρροής 1 km.

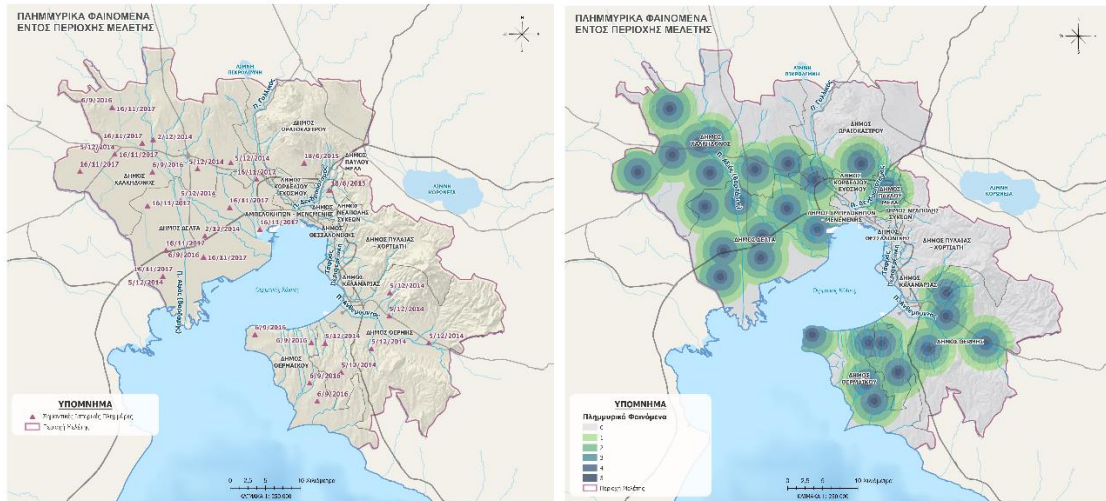


Εικόνα 20. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC₄, Υποδομές Πολιτικής Προστασίας εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Πλημμυρικά Φαινόμενα

Δεδομένου ότι εφόσον σημειώθηκε μία φορά έντονο πλημμυρικό συμβάν, δύναται η συγκυρία να επαναληφθεί, οι περιοχές στις οποίες καταγράφηκαν πλημμυρικά γεγονότα θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές. Για το υποκριτήριο αυτό υπολογίστηκε η ευκλείδεια απόσταση του σημειακού θεματικού επιπέδου των πλημμυρικών συμβάντων και δημιουργήθηκαν πέντε (5) κλάσεις στις οποίες αποδίδεται ο αντίστοιχος βαθμός σημαντικότητας εξαρτώμενος από την ακτίνα επιρροής (Εικόνα 21).

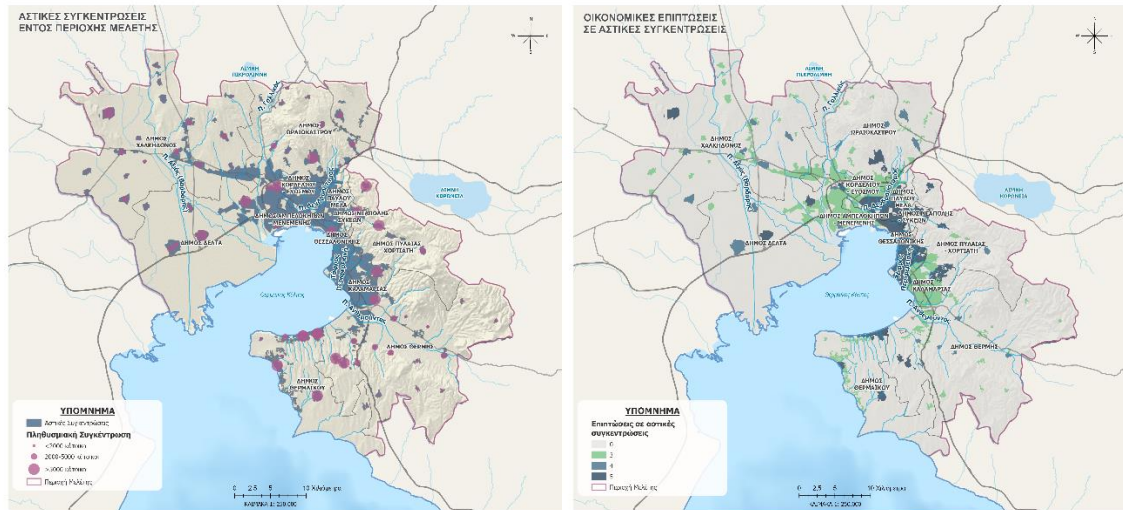


Εικόνα 21. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου SOC's, Πλημμυρικά Φαινόμενα εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις

Για τον προσδιορισμό των οικονομικών επιπτώσεων στις αστικές συγκεντρώσεις της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε το θεματικό επίπεδο των πληθυσμιακών συγκεντρώσεων όπως αυτό παράχθηκε στο πλαίσιο του κοινωνικού κριτηρίου της ασφάλειας των πολιτών (Εικόνα 22). Δεδομένου ότι μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού δύναται να προκαλέσει και μεγαλύτερες οικονομικές επιπτώσεις, στο επίπεδο πληροφορίας αποδόθηκαν και οι αντίστοιχοι βαθμοί σημαντικότητας.

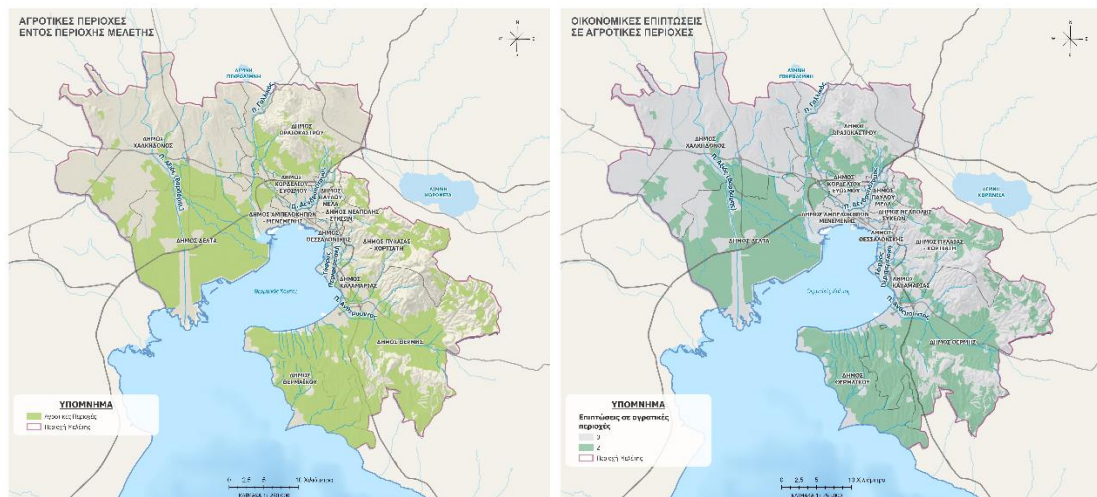


Εικόνα 22. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON₁, Αστικές Συγκεντρώσεις εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές

Οι αγροτικές περιοχές της περιοχής μελέτης αντλήθηκαν από τις χρήσεις γης Corine Land Cover 2018 και περιλαμβάνουν περιοχές αρόσιμης γης, μόνιμες καλλιέργειες όπως αμπελώνες, ελαιώνες και οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς, καθώς και ετερογενείς γεωργικές περιοχές οι οποίες περιλαμβάνουν ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες, αλλά και γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυτικής βλάστησης. Στις περιοχές αυτές αποδόθηκε η τιμή της χαμηλής σημαντικότητας δύο (2) για το σύνολο αυτών (Εικόνα 23).

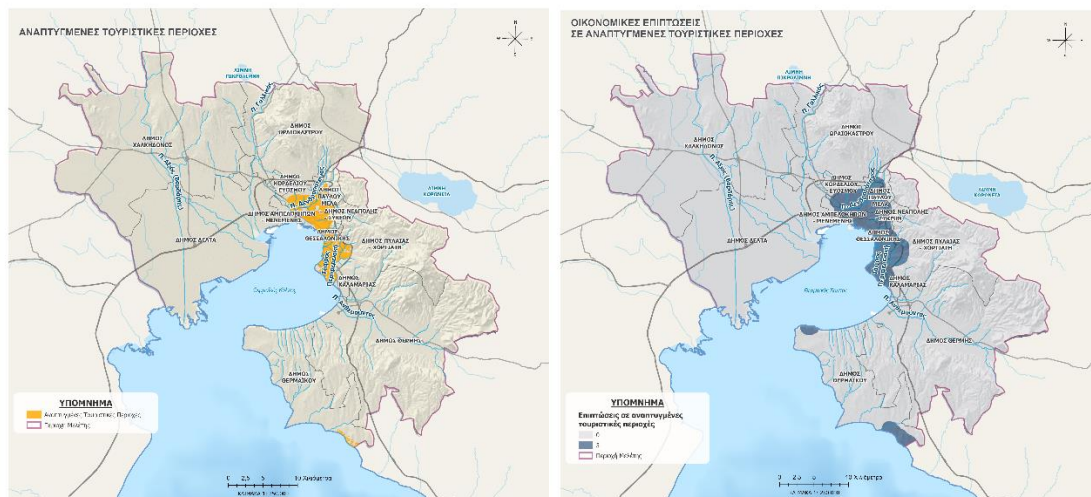


Εικόνα 23. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON₂, Αγροτικές Περιοχές εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές

Ως αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές θεωρήθηκε το παραλιακό μέτωπο της Περαιάς και ανατολικά της Επανομής, καθώς και το σύνολο του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η ποσοτική αξιολόγηση των οικονομικών επιπτώσεων στον τουρισμό αποτελεί μία ιδιαίτερα περίπλοκη διαδικασία και απαιτεί δεδομένα περιορισμένης χρήσης. Στο πλαίσιο αυτό, στις εξεταζόμενες περιοχές τουριστικού ενδιαφέροντος αποδόθηκε η ίδια βαρύτητα για την παρούσα μελέτη. Εξαιτίας του τουριστικού χαρακτήρα της Ελλάδας και δη της περιοχής μελέτης, το επίπεδο των οικονομικών επιπτώσεων σε αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές θεωρήθηκε υψηλής σημαντικότητας πέντε (5) όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 24).

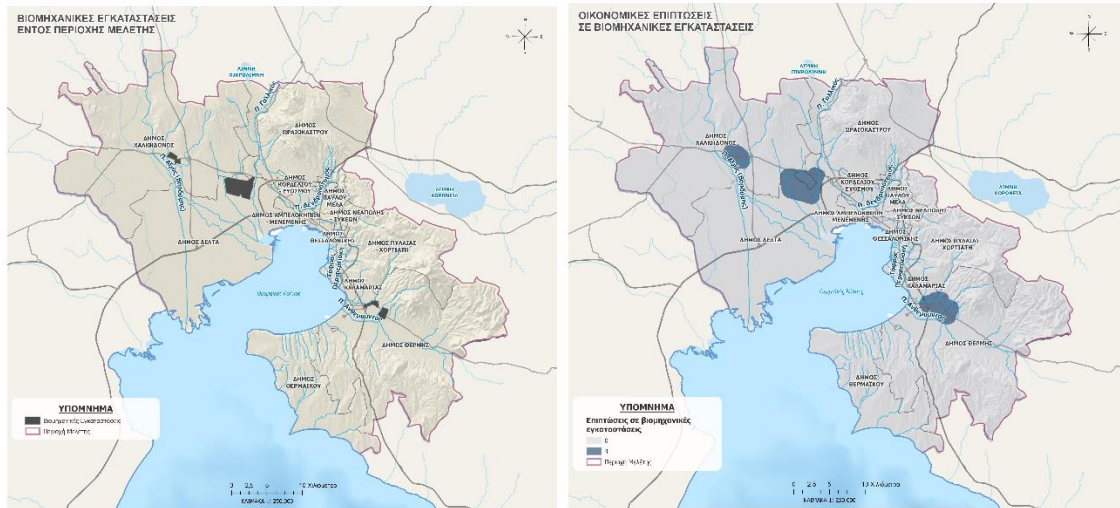


Εικόνα 24. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON3, Αναπτυγμένες Τουριστικές Περιοχές εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις

Στην περιοχή μελέτης ανήκουν τρεις (3) θεσμοθετημένες ΒΙΠΕ ήτοι στο δυτικό τμήμα ανήκουν και στο ανατολικό ανήκουν όπως παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 25). Λόγω περιορισμού των διαθέσιμων δεδομένων για κάθε βιομηχανική περιοχή αποδόθηκε η ίδια τιμή σε όλες τις περιοχές, αυτή των σημαντικών επιπτώσεων τέσσερα (4).

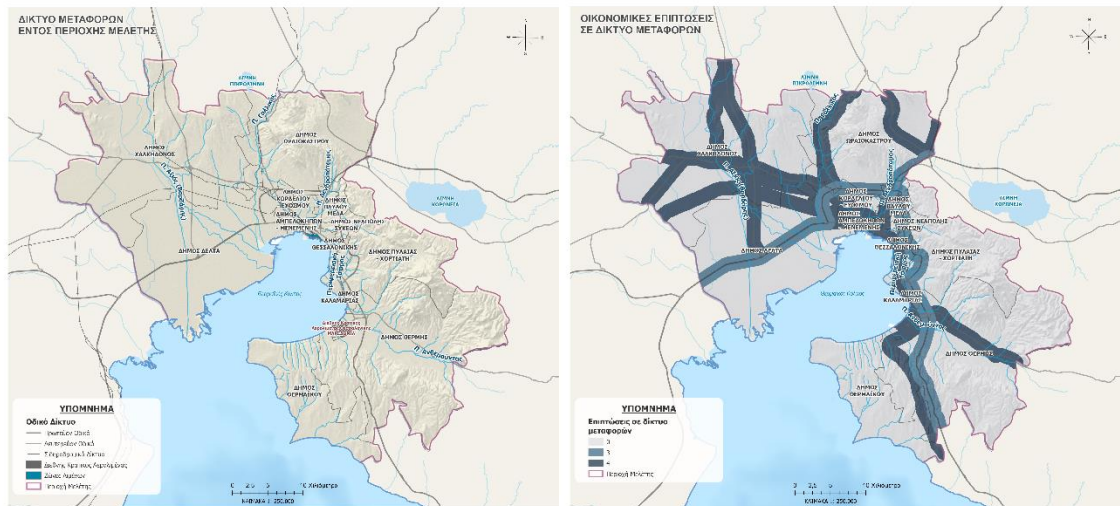


Εικόνα 25. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON₄, Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε δίκτυο μεταφορών

Για τη δημιουργία του θεματικού επιπέδου του δικτύου μεταφορών λήφθηκαν υπόψη οι σημαντικοί οδικοί άξονες (πρωτεύον και δευτερεύον οδικό δίκτυο), το σιδηροδρομικό δίκτυο, οι ζώνες λιμένων καθώς και οι εγκαταστάσεις του αεροδρομίου (Εικόνα 26). Για το σύνολο του δικτύου μεταφορών δημιουργήθηκε μία ζώνη επιρροής 1 km εκατέρωθεν του δικτύου, ενώ για το κάθε είδος δικτύου μεταφορών αποδόθηκε ο αντίστοιχος βαθμός σημαντικότητας όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 14.

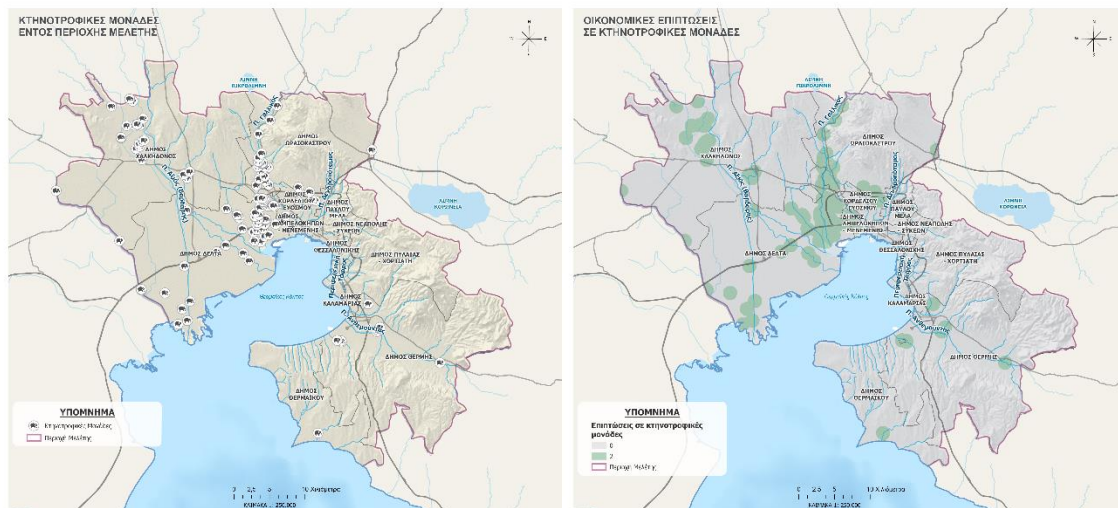


Εικόνα 26. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON₅, Δίκτυο Μεταφορών εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπτώσεις σε κτηνοτροφικές μονάδες

Για τον προσδιορισμό των οικονομικών επιπτώσεων σε κτηνοτροφικές μονάδες δημιουργήθηκε το σημειακό θεματικό επίπεδο που περιλαμβάνει το σύνολο των ευρεθέντων μονάδων εντός της περιοχής μελέτης. Λόγω ελλιπών διαθέσιμων δεδομένων, στο θεματικό επίπεδο των κτηνοτροφικών μονάδων και για απόσταση επιρροής 1 km δόθηκε η τιμή σημαντικότητας τέσσερα (4) για το σύνολο των μονάδων (Εικόνα 27).



Εικόνα 27. Θεματικό επίπεδο κριτηρίου ECON6, Κτηνοτροφικές Μονάδες εντός περιοχής μελέτης πριν (αριστερά) και μετά την κατηγοριοποίηση (δεξιά)

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

4.6 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ

Τα ανωτέρω κριτήρια συνδυάστηκαν με τη μέθοδο της απλής μεθόδου στάθμισης (Weighted Sum Method), χρησιμοποιώντας την εξίσωση με την ακόλουθη μορφή:

$$C_i = \sum_{i=1}^n w_i \times F_i$$

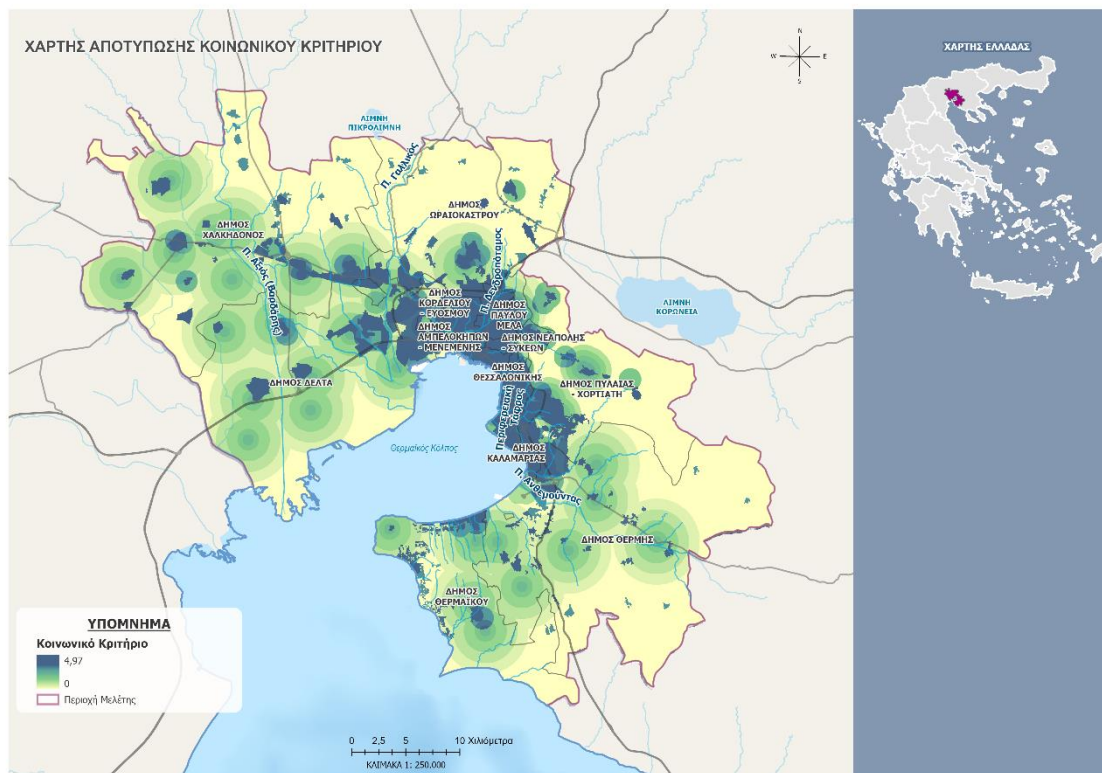
όπου:

F_i: Απόδοση κριτηρίου

w_i: Βαρύτητα κριτηρίου

Χάρτης Αποτύπωσης Περιβαλλοντικού Κριτηρίου

Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε έπειτα από τη σύνθεση των επιμέρους επτά (7) περιβαλλοντικών υποκριτηρίων του δεύτερου επιπέδου ιεράρχησης. Στην παρούσα ανάλυση, έπειτα από την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της AHP επιλέχθηκε ως σημαντικότερη μεταβλητή η ENV₅, επιπτώσεις σε βιομηχανίες SEVESO, και η μεταβλητή ENV₃, τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, ως χαμηλότερης σημαντικότητας.



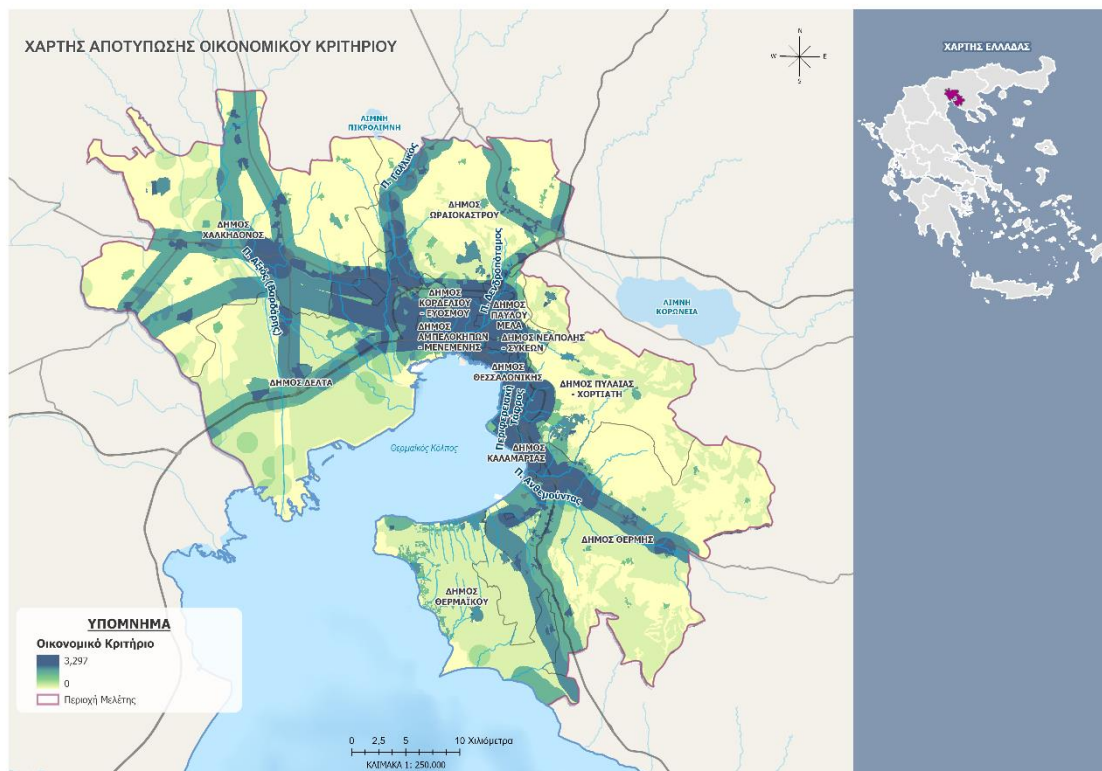
Εικόνα 29. Χάρτης αποτύπωσης αποτελεσμάτων ιεράρχησης κοινωνικού κριτηρίου

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Για το συγκεκριμένο κριτήριο, ένα αντιπλημμυρικό έργο δύναται να λάβει τη χαμηλότερη βαθμολογία 0 με ανώτερη βαθμολογία αυτή των 4.97 μονάδων.

Χάρτης Αποτύπωσης Οικονομικού Κριτηρίου

Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε από την σύνθεση των επιμέρους έξι (6) οικονομικών υποκριτηρίων του δεύτερου επιπέδου ιεράρχησης. Στην παρούσα ανάλυση, έπειτα από την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της AHP επιλέχθηκε ως σημαντικότερη μεταβλητή οι επιπτώσεις στο δίκτυο μεταφορών (ECON₅), ενώ στο κριτήριο των επιπτώσεων στις αγροτικές περιοχές αποδόθηκε ο συντελεστής της χαμηλότερης σημαντικότητας. Σύμφωνα με την ανάλυση και σύνθεση των αρχικών δεδομένων των θεματικών επιπέδων του κριτηρίου αυτού, όπως περιγράφηκε ανωτέρω, προκύπτει η ακόλουθη κατάταξη των περιοχών της μητροπολιτικής περιοχής Θεσσαλονίκης, ως προς την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων με βάση το οικονομικό κριτήριο (Εικόνα 30).

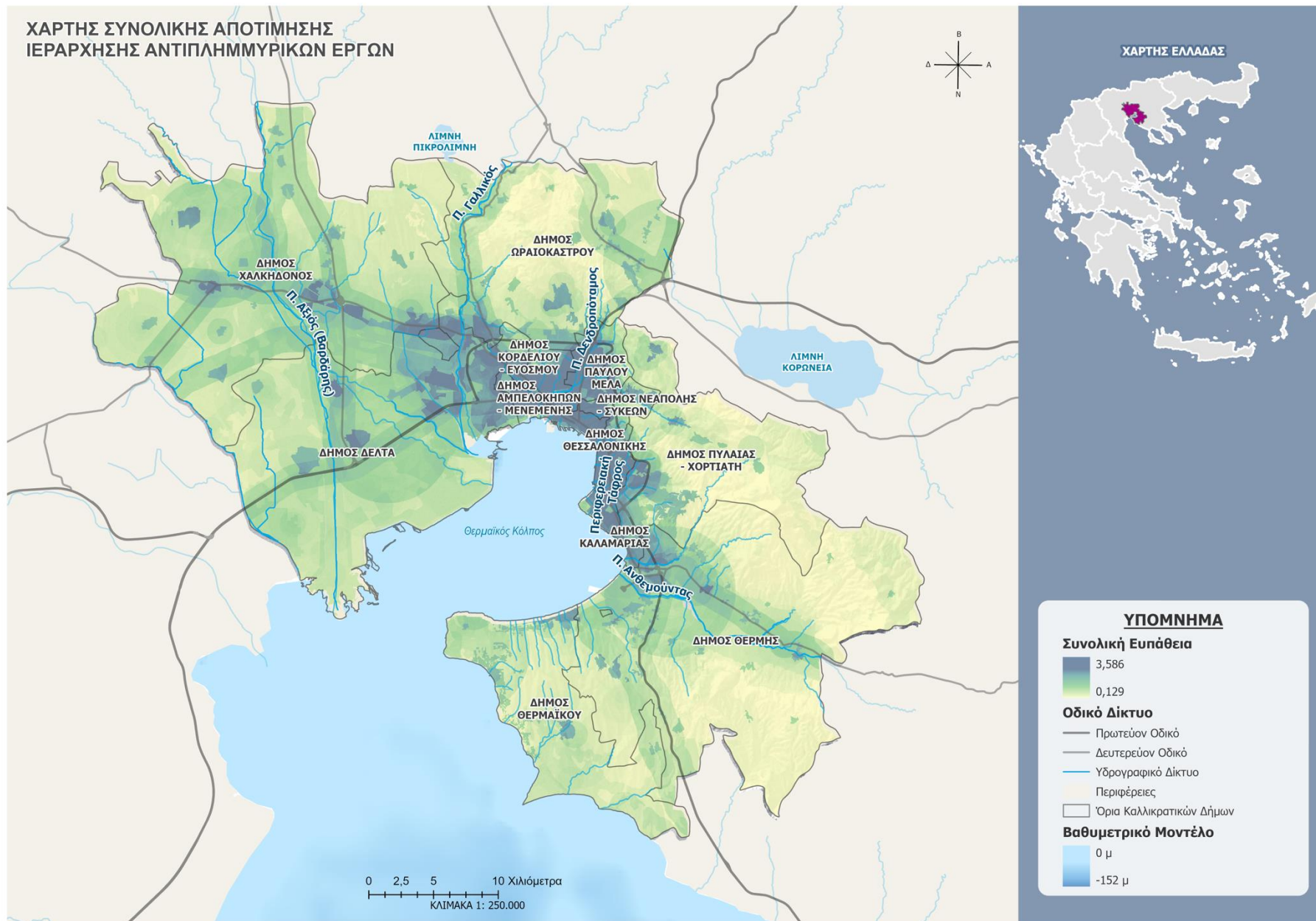


Εικόνα 30. Χάρτης αποτύπωσης αποτελεσμάτων ιεράρχησης οικονομικού κριτηρίου

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Χάρτης Αποτύπωσης Συνολικής Αποτίμησης Κριτηρίων

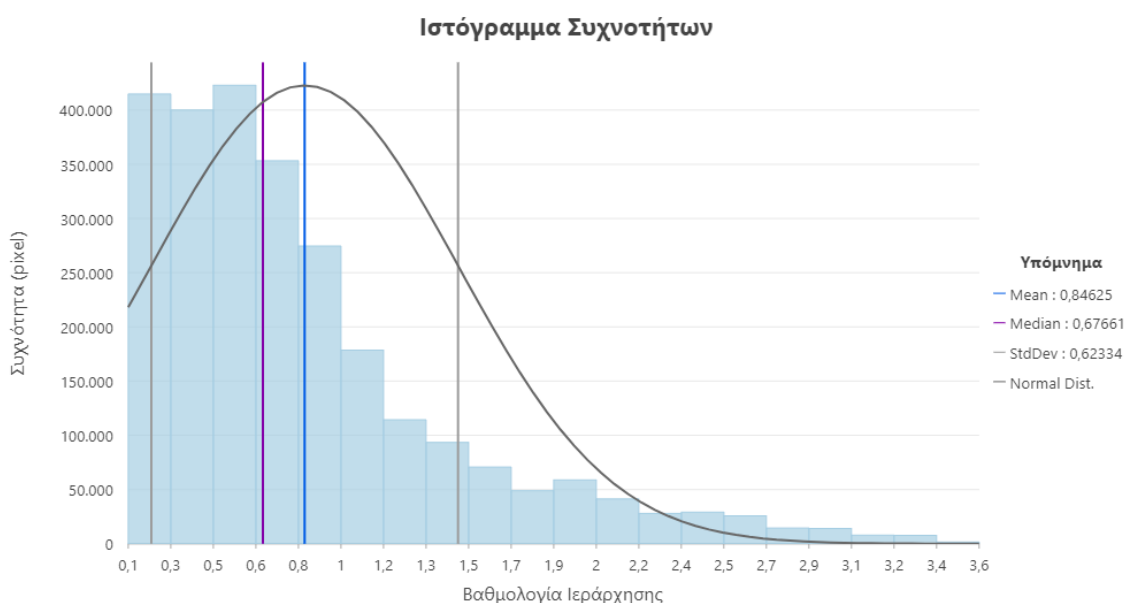
Η τελική κατάταξη των περιοχών ως προς την εφαρμογή αντιπλημμυρικών έργων στη μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης δημιουργήθηκε από τη σύνθεση των τριών κριτηρίων του πρώτου επιπέδου, ήτοι των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών. Για τη παραγωγή του χάρτη της συνολικής αποτίμησης για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (1) βάσει της οποίας πραγματοποιήθηκε η σύνθεση των τριών ανωτέρω θεματικών επιπέδων των κύριων κριτηρίων, έπειτα από την εκχώρηση των σχετικών συντελεστών βαρύτητας οι οποίοι προήλθαν από τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας της ΑΗΡ.



Εικόνα 31. Χάρτης συνολικής αποτίμησης ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων περιοχής μελέτης

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Από τον χάρτη της συνολικής αποτίμησης (Εικόνα 31), ο οποίος δύναται να χρησιμοποιηθεί για την ιεράρχηση των προγραμματιζόμενων αντιπλημμυρικών έργων της περιοχής μελέτης, μπορεί να διακρίνει κανείς περιοχές στις οποίες εντοπίζεται μεγαλύτερη ανάγκη εκτέλεσης των προγραμματιζόμενων έργων, καθώς και περιοχές μικρότερης αναγκαιότητας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η συνολική αποτίμηση για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων πραγματοποιήθηκε σε κλίμακα 0 έως 5, και ειδικότερα διαπιστώθηκε ότι η ανώτερη τιμή που μπορεί να λάβει ένα αντιπλημμυρικό έργο είναι αυτή των 3.59 μονάδων, ενώ η κατώτερη 0.13 μονάδων.

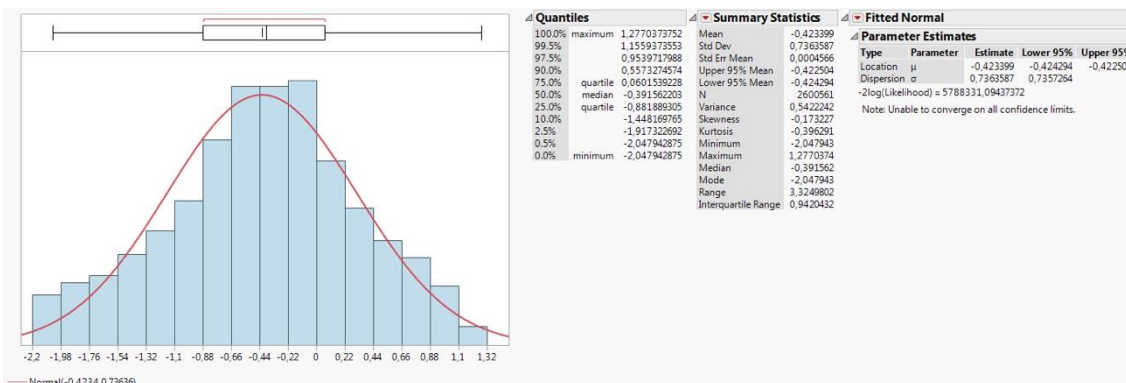


Διάγραμμα 4. Ιστόγραμμα συχνοτήτων χάρτη συνολικής αποτίμησης ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων περιοχής μελέτης

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Επιπλέον, για το σύνολο της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκε το ιστόγραμμα συχνοτήτων των βαθμολογιών ιεράρχησης (Διάγραμμα 4), στο οποίο παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παρατηρήσεων βρίσκεται δεξιά του άξονα και συνεπώς είναι θετικής ασυμμετρίας. Από το σχήμα αυτό μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης ανήκει στην κατηγορία 1 (72%), χαμηλή αναγκαιότητα εκτέλεσης αντιπλημμυρικών έργων, ενώ το πολεοδομικό συγκρότημα της πόλης της Θεσσαλονίκης είναι αυτό που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης (1%).

Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 5) δίνεται το ιστόγραμμα του νεπέριου λογαρίθμου του χάρτη της συνολικής αποτίμησης. Ο μετασχηματισμός αυτός παρατηρείται ότι φέρνει την κατανομή πιο κοντά στη συμμετρία.



Διάγραμμα 5. Λογαριθμικό ιστόγραμμα συχνοτήτων χάρτη συνολικής αποτίμησης ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων περιοχής μελέτης

(Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η αβεβαιότητα των συντελεστών βαρύτητας έγκειται στην υποκειμενική κρίση των εμπειρογνομόνων ή των ενδιαφερόμενων σχετικά με τη σχετική σημασία των διαφόρων χαρακτηριστικών, δεδομένου του εύρους των επιπτώσεών τους (Chen, et al., 2011). Όπως διαπιστώθηκε και στην Ενότητα 3.2, η σύγκριση κατά ζεύγη της μεθόδου της AHP αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την στάθμιση των κριτηρίων στις διαδικασίες MCDA. Ωστόσο, δεδομένου ότι η ζευγαρωτή σύγκριση των κριτηρίων βασίζεται στη γνώμη των ειδικών, είναι ιδιαίτερα υποκειμενική. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε εσφαλμένη αντίληψη μπορεί να μεταφερθεί πολύ εύκολα στον συντελεστή βαρύτητας (Kritikos & Davies, 2011; Feizizadeh & Blaschke, 2013b). Η υποκειμενικότητα αυτή, ιδιαίτερα στις ζευγαρωτές συγκρίσεις, αποτελεί το κύριο μειονέκτημα της τεχνικής AHP (Nefeslioglu, Sezer, Gokceoglu, & Ayas, 2013).

Σε μία προσπάθεια αντιμετώπισης της υποκειμενικότητας των συντελεστών βαρύτητας που συμβάλει στην πιθανή αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων του μοντέλου, προτείνεται η ανάλυση ευαισθησίας.

Στην ανάλυση ευαισθησίας, μια κοινή προσέγγιση αποτελεί η μεταβολή των παραγόντων εισόδου, αλλάζοντας έναν παράγοντα κάθε φορά, γνωστή και ως One-At-a-Time (OTA) μέθοδος (Daniel, 1958) προκειμένου να εντοπιστούν οι μεταβολές των αποτελεσμάτων της εξόδου. Υπάρχουν τρεις πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τρόποι για την ανάλυση ευαισθησίας των κριτηρίων: η μεταβολή των τιμών των κριτηρίων, η μεταβολή της σχετικής σημασίας των κριτηρίων και η μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας. Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε η μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας ακολουθώντας τα εξής βήματα:

- (1) Αξιολόγηση της σταθερότητας των συντελεστών βαρύτητας, μεταβάλλοντας μία γνωστή ποσότητα
- (2) Προσδιορισμός κριτηρίων που είναι ευαίσθητα στις αλλαγές των συντελεστών βαρύτητας
- (3) Ποσοτικοποίηση των αλλαγών, και
- (4) Οπτικοποίηση της χωρικής αλλαγής των αποτελεσμάτων

Αρχικά προσδιορίζεται ένα εφικτό εύρος αποκλίσεων (RPC), το οποίο μπορεί να οριστεί ως ένα οριοθετημένο σύνολο διακριτών ποσοστιαίων αλλαγών από την αρχική τιμή των συντελεστών βαρύτητας που προσδιορίστηκαν ανωτέρω με τη μέθοδο της AHP για όλα τα κριτήρια ή διαφορετικό εύρος σε κάθε κριτήριο ανάλογα με τις απαιτήσεις του προβλήματος. Κάθε συντελεστής βαρύτητας μεταβάλλεται με προσαυξήσεις επί τοις εκατό (IPC). Τα βάρη των υπόλοιπων κριτηρίων προσαρμόζονται αναλογικά προκειμένου να ικανοποιήσουν τον περιορισμό της ακόλουθης εξίσωσης, η οποία απαιτεί το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας να είναι ίσο με την μονάδα. Ο συνολικός αριθμός των επαναλήψεων δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Chen, Yu, & Khan, 2010):

$$Runs = \sum_{i=1}^n r_i$$

όπου:

n: ο συνολικός αριθμός των κριτηρίων

ri: ο αριθμός των προσαυξήσεων (IPC) εντός του εύρους τιμών (RPC) για το κριτήριο i

Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας όλων των κριτηρίων σε κάθε ποσοστιαία μεταβολή (pc) θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ικανοποιεί την εξίσωση:

$$w_{(pc)} = \sum_{i=1}^n w_{(ci,pc)} = 1, \quad RPC_{min} \leq pc \leq RPC_{max}$$

όπου:

w_(ci,pc): ο συντελεστής βαρύτητας του i κριτηρίου για τη ποσοστιαία μεταβολή pc

n: ο συνολικός αριθμός των κριτηρίων

RPC_{min}: η ελάχιστη τιμή της ποσοστιαίας μεταβολής

RPC_{max}: η μέγιστη τιμή της ποσοστιαίας μεταβολής

Καθώς μεταβάλλεται ο συντελεστής βαρύτητας του υπό εξέταση κριτηρίου c_m , το βάτος του $w_{(c_m,pc)}$ για μία συγκεκριμένη ποσοστιαία μεταβολή pc μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$w_{(c_i,pc)} = w_{(c_m,0)} + w_{(c_m,0)} \times pc, \quad 1 \leq m \leq n$$

όπου:

$w_{(c_m,0)}$: ο αρχικός συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου c_m

Προκειμένου να ικανοποιηθεί η συνθήκη της εξίσωσης χ , οι συντελεστές των υπόλοιπων κριτηρίων $w_{(c_i,pc)}$ προσαρμόζονται βάσει της τιμής του κριτηρίου $w_{(c_m,p)}$ χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$w_{(c_i,pc)} = (1 - w_{(c_m,pc)}) \times \frac{w_{(c_i,0)}}{1 - w_{(c_m,0)}},$$

$$i \neq m, \quad 1 \leq i \leq n$$

όπου:

$w_{(c_i,0)}$: ο αρχικός συντελεστής βαρύτητας του i κριτηρίου

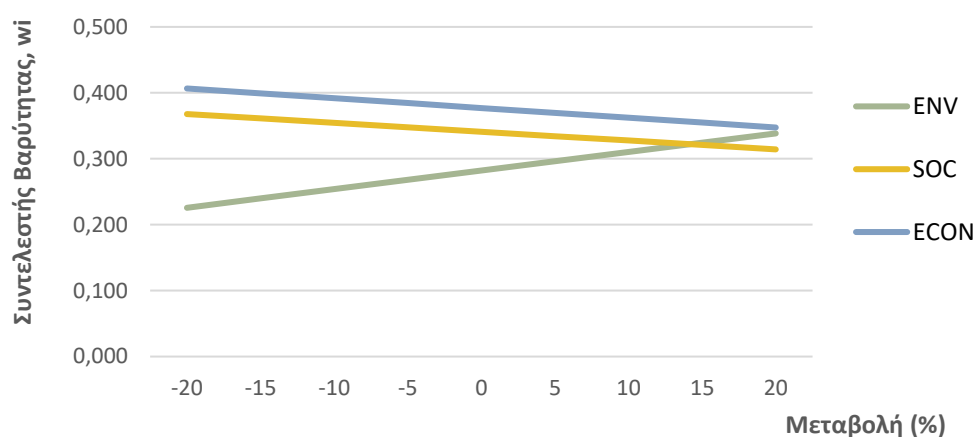
Έπειτα από τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας, δημιουργείται μία σειρά χαρτών αξιολόγησης για κάθε εκτελούμενη προσομοίωση, η οποία ακολουθείται από έναν συνοπτικό πίνακα για το κάθε κριτήριο για τον ποσοτικό προσδιορισμό των αλλαγών τόσο στην είσοδο (κριτήρια), όσο και στην έξοδο (αποτελέσματα αξιολόγησης).

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος τιμών $RPC=\pm 20\%$ σε όλα τα κριτήρια, όπου κάθε βάρος μεταβάλλεται με μία ποσοστιαία μεταβολή $IPC=\pm 5\%$ για το σύνολο των τριών κριτηρίων, ήτοι περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συνοψίζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 15 έως 17), στους οποίους παρουσιάζεται η μεταβολή των τιμών των συντελεστών βαρύτητας, καθώς και το άθροισμα των εικονοστοιχείων που εμπίπτουν σε κάθε κατηγορία κατάταξης (1 έως 5).

Στην πρώτη προσομοίωση πραγματοποιήθηκε η ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή βαρύτητας του περιβαλλοντικού κριτηρίου, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα 15 και στα σχήματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 6 και 7).

Πίνακας 15. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μεταβολή του περιβαλλοντικού κριτηρίου, με έντονα γράμματα δίνονται οι αρχικοί συντελεστές βαρύτητας

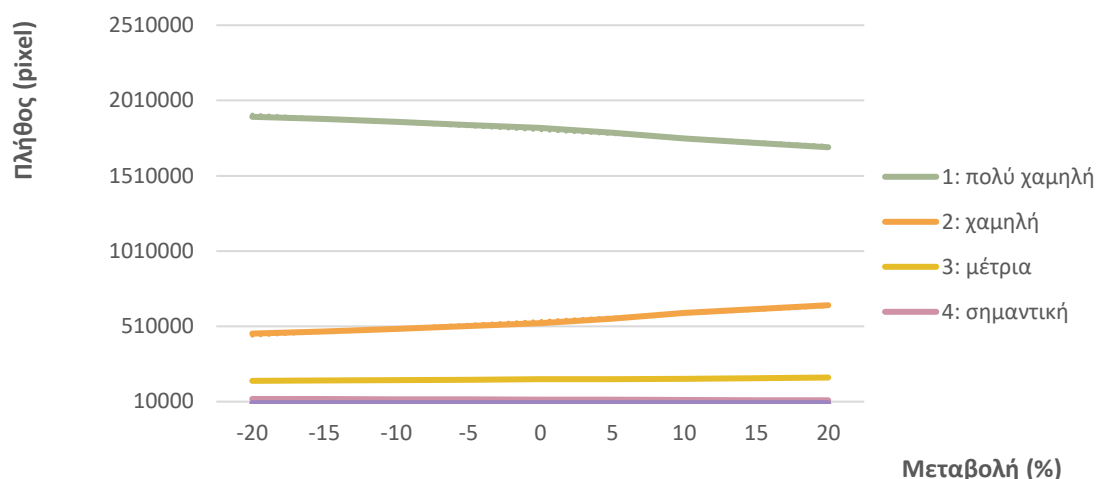
Μεταβολή (%)	Τιμές Συντελεστών Βαρύτητας (wi)			Πλήθος Εικονοστοιχείων τελικού χάρτη αξιολόγησης				
	ENV	SOC	ECON	1	2	3	4	5
-20	0,226	0,368	0,407	1.901.605	461.848	147.901	27.669	0
-15	0,240	0,361	0,399	1.886.715	475.828	150.066	26.414	0
-10	0,254	0,354	0,392	1.867.768	493.261	151.897	26.097	0
-5	0,268	0,348	0,384	1.847.672	511.107	155.866	24.378	0
0	0,282	0,341	0,377	1.827.864	530.406	158.251	22.502	0
5	0,296	0,334	0,370	1.796.212	561.295	159.398	22.118	0
10	0,310	0,328	0,362	1.757.441	598.656	161.499	21.427	0
15	0,324	0,321	0,355	1.728.606	625.053	166.388	18.976	0
20	0,338	0,314	0,347	1.699.571	650.182	170.164	19.106	0



Διάγραμμα 6. Γραφική απεικόνιση μεταβολής συντελεστών βαρύτητας (ποσοστιαία μεταβολή περιβαλλοντικού συντελεστή)

(Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Από το ανωτέρω σχήμα μπορεί να παρατηρήσει κανείς την επίδραση που μπορεί να επιφέρει η μεταβολή του συντελεστή βαρύτητας του περιβαλλοντικού κριτηρίου στους υπόλοιπους συντελεστές. Παρατηρείται λοιπόν ότι, όσο ο συντελεστής βαρύτητας μεταβάλλεται κατά $\pm 14\%$ το οικονομικό κριτήριο εξακολουθεί να κατέχει την μεγαλύτερη βαρύτητα στην ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων, ακολουθούμενο από το κοινωνικό και το περιβαλλοντικό. Για την αλλαγή της κατάταξης των κριτηρίων θα πρέπει να προκληθεί μεταβολή στη τιμή του περιβαλλοντικού κριτηρίου άνω του 14%, όπου στην περίπτωση αυτή διαπιστώνεται ότι το περιβαλλοντικό κριτήριο υπερिशύει του κοινωνικού, ενώ το οικονομικό εξακολουθεί να κατέχει την πρώτη θέση. Ωστόσο, η αλλαγή αυτή είναι εξαιρετικά μεγάλη και δεν θα μπορούσε να καταστήσει το μοντέλο ως ασυνεπές.



Διάγραμμα 7. Μεταβολή πλήθους εικονοστοιχείων ανά κλάση (ποσοστιαία μεταβολή περιβαλλοντικού κριτηρίου)

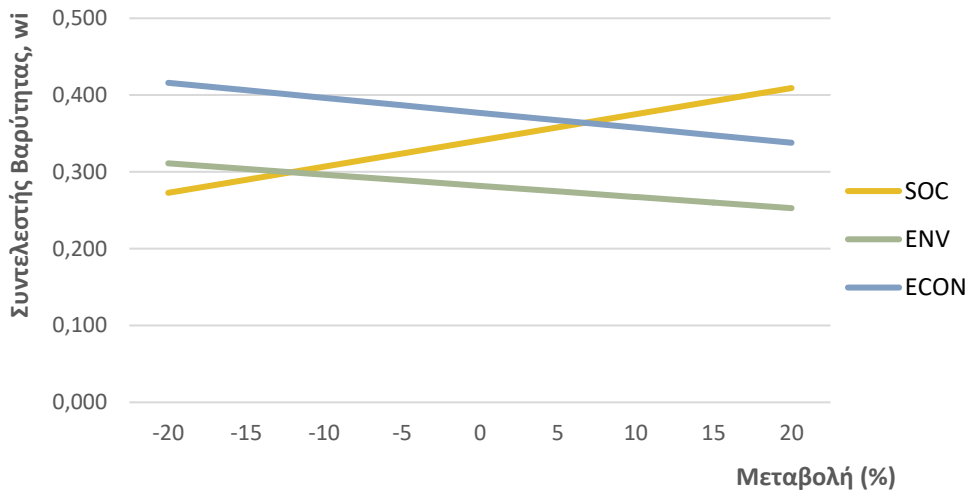
(Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Η ανωτέρω διαπίστωση μπορεί να επιβεβαιωθεί και από το Σχήμα 6 στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή του πλήθους των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης ανά κλάση. Παρατηρείται λοιπόν ότι το πλήθος των εικονοστοιχείων και στις πέντε (5) κλάσεις είναι σχετικά σταθερές παρά τις διακυμάνσεις των συντελεστών βαρύτητας, καθώς παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο, ή μεταβλήθηκαν ελαφρώς.

Στη δεύτερη προσομοίωση πραγματοποιήθηκε η ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή βαρύτητας του κοινωνικού κριτηρίου, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 16).

Πίνακας 16. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μεταβολή του κοινωνικού κριτηρίου, με έντονα γράμματα δίνονται οι αρχικοί συντελεστές βαρύτητας

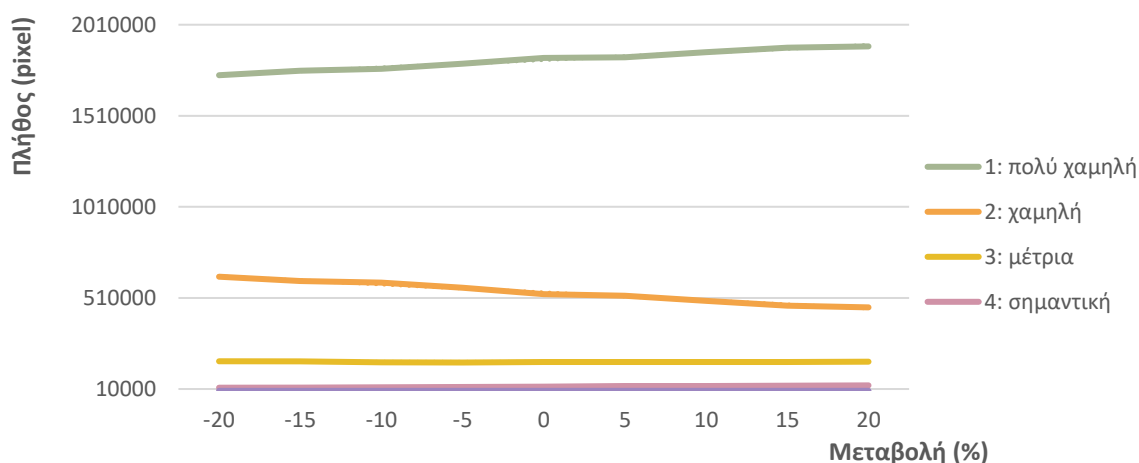
Μεταβολή (%)	Τιμές Συντελεστών Βαρύτητας (wi)			Πλήθος Εικονοστοιχείων τελικού χάρτη αξιολόγησης				
	ENV	SOC	ECON	1	2	3	4	5
-20	0,311	0,273	0,416	1.732.839	626.521	162.429	17.234	0
-15	0,304	0,290	0,406	1.758.268	602.028	160.931	17.796	0
-10	0,297	0,307	0,397	1.767.094	594.784	157.182	19.963	0
-5	0,289	0,324	0,387	1.795.336	566.487	155.491	21.709	0
0	0,282	0,341	0,377	1.827.864	530.406	158.251	22.502	0
5	0,275	0,358	0,367	1.832.045	522.904	158.354	25.720	0
10	0,267	0,375	0,357	1.860.047	493.841	158.766	26.369	0
15	0,260	0,392	0,348	1.884.192	468.013	159.109	27.709	0
20	0,253	0,409	0,338	1.891.083	458.210	159.776	29.954	0



*Διάγραμμα 8. Γραφική απεικόνιση μεταβολής συντελεστών βαρύτητας (ποσοστιαία μεταβολή κοινωνικού συντελεστή)
(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)*

Από τα ανωτέρω δεδομένα παρατηρεί κανείς ότι μία μεταβολή στον συντελεστή βαρύτητας του κοινωνικού κριτηρίου είναι δυνατή να επιφέρει αλλαγές στη κατάταξη των κριτηρίων (Διάγραμμα 8). Πιο συγκεκριμένα, όσο ο συντελεστής βαρύτητας του κοινωνικού κριτηρίου μειώνεται περισσότερο από περίπου 12%, το περιβαλλοντικό κριτήριο είναι σημαντικότερο από το κοινωνικό. Αντίθετα, όσο ο συντελεστής βαρύτητας αυξάνεται περισσότερο από περίπου 8%, το κοινωνικό κριτήριο μεταβαίνει στη πρώτη θέση ξεπερνώντας το οικονομικό.

Ωστόσο, από το διάγραμμα μεταβολής των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης παρατηρεί κανείς ότι το πλήθος των εικονοστοιχείων ανά κλάση παραμένει σχετικά σταθερό ή μεταβάλλεται ελάχιστα. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώνεται ότι όσο αυξάνεται η ποσοστιαία μεταβολή του κοινωνικού δείκτη, εικονοστοιχεία της δεύτερης κλάσης (χαμηλή) μεταπηδούν στη χαμηλότερη κλάση (πολύ χαμηλή). Παρόλα αυτά, το πλήθος των εικονοστοιχείων της τέταρτης κλάσης, η οποία αποτελεί και τη σημαντικότερη, μεταβάλλεται ελάχιστα.



Διάγραμμα 9. Μεταβολή πλήθους εικονοστοιχείων ανά κλάση (ποσοστιαία μεταβολή κοινωνικού κριτηρίου)

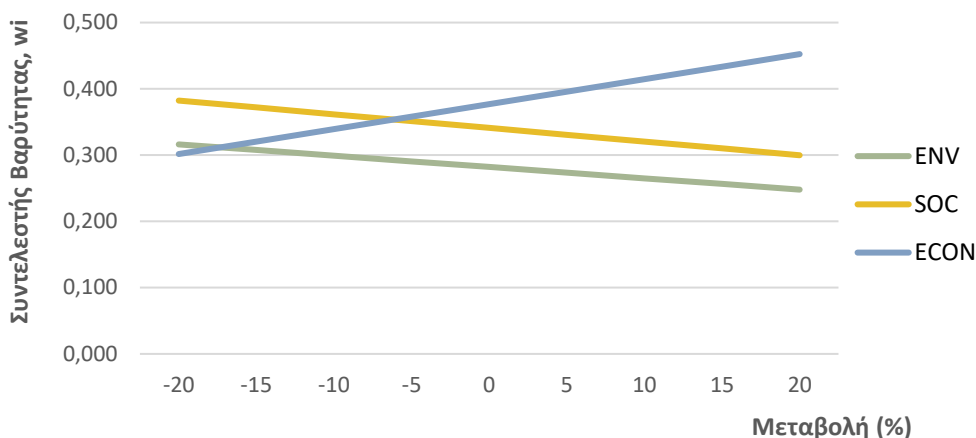
(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Η τρίτη προσομοίωση αφορά στη ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή βαρύτητας του οικονομικού κριτηρίου, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται ακολούθως (Πίνακας 17).

Πίνακας 17. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη μεταβολή του οικονομικού κριτηρίου, με έντονα γράμματα δίνονται οι αρχικοί συντελεστές βαρύτητας

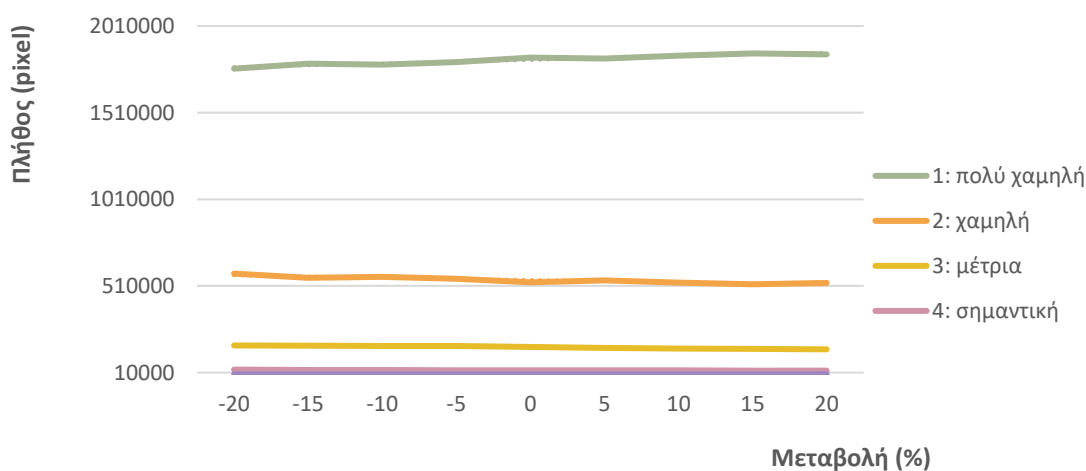
Μεταβολή (%)	Τιμές Συντελεστών Βαρύτητας (wi)			Πλήθος Εικονοστοιχείων τελικού χάρτη αξιολόγησης				
	ENV	SOC	ECON	1	2	3	4	5
-20	0,316	0,382	0,302	1.764.001	581.231	166.543	27.248	0
-15	0,308	0,372	0,320	1.792.396	556.962	165.212	24.451	0
-10	0,299	0,362	0,339	1.787.333	562.874	163.499	25.317	0
-5	0,291	0,351	0,358	1.801.462	550.968	162.948	23.645	0
0	0,282	0,341	0,377	1.827.864	530.406	158.251	22.502	0
5	0,273	0,331	0,396	1.822.648	541.677	152.387	22.311	0
10	0,265	0,320	0,415	1.838.098	529.718	148.832	22.375	0
15	0,256	0,310	0,434	1.851.971	519.508	146.532	21.012	0
20	0,248	0,300	0,452	1.845.994	527.613	144.087	21.329	0

Η μεταβολή του συντελεστή βαρύτητας είναι ικανή να επιφέρει αλλαγές στην κατάταξη των κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα όπως προκύπτει και από το Διάγραμμα 10, για ποσοστιαία μεταβολή σε ένα εύρος τιμών [-16, -6], το κοινωνικό κριτήριο υπερισχύει του οικονομικού. Αντίθετα, για μεταβολή μικρότερη του -16 παρατηρείται ότι το οικονομικό κριτήριο έχει τον μικρότερο βαθμό επιρροής στην ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων.



Διάγραμμα 10. Γραφική απεικόνιση μεταβολής συντελεστών βαρύτητας (ποσοστιαία μεταβολή οικονομικού κριτηρίου)
(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

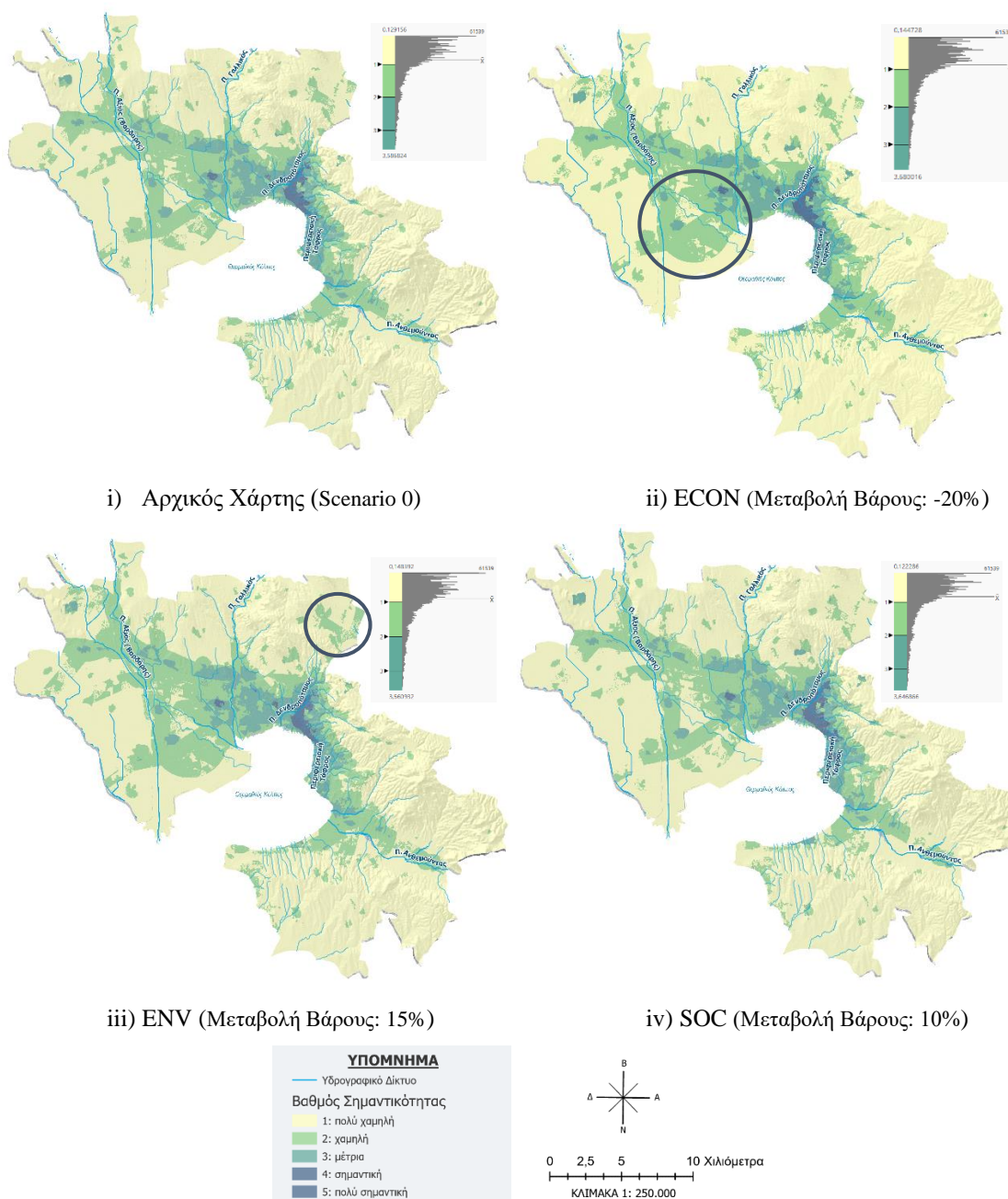
Από το Διάγραμμα 11, διαπιστώνεται ότι το πλήθος των εικονοστοιχείων ανά κλάση μεταβάλλεται ελάχιστα κατά την μεταβολή του συντελεστή βαρύτητας του οικονομικού κριτηρίου.



Διάγραμμα 11. Μεταβολή πλήθους εικονοστοιχείων ανά κλάση (ποσοστιαία μεταβολή οικονομικού κριτηρίου)
(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Ενώ τα ανωτέρω διαγράμματα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, δεν μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το χωρικό μοτίβο ευαισθησίας των συντελεστών βαρύτητας κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων. Προκειμένου να αποδειχθεί η προστιθέμενη αξία της οπτικοποίησης σε χάρτη για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων, στις εικόνες που ακολουθούν δίνονται ορισμένα παραδείγματα προσομοιωμένων χαρτών αξιολόγησης στους οποίους

εντοπίστηκαν οι πιο σημαντικές αλλαγές ταξινόμησης, καθώς και τα ιστογράμματα συχνοτήτων αυτών (Εικόνα 32).



Εικόνα 32. Παραδείγματα χαρτών ιεράρχησης αντιπλημμυρικών έργων ως αποτέλεσμα των αλλαγών των συντελεστών βαρύτητας

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, υπάρχει περίπου 1% της περιοχής μελέτης που χαρακτηρίζεται ως σημαντικής βαρύτητας (4) και αφορά κυρίως στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, μέτριας βαρύτητας (3) χαρακτηρίζεται το 7% της περιοχής μελέτης και αφορά στο οικιστικό σύνολο της περιοχής μελέτης, ενώ

περιοχές χαμηλής και πολύ χαμηλής βαρύτητας (2 και 1) αντιπροσωπεύουν το 20% και 72% αντίστοιχα.

Συμπερασματικά, μπορεί να πει κανείς με ασφάλεια ότι το μοντέλο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης περίπτωσης για την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων της Μητροπολιτικής Περιοχής της Θεσσαλονίκης, προσφέρει ένα ασφαλές αποτέλεσμα καθώς οποιαδήποτε μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας επιφέρει ελάχιστες μεταβολές στα αποτελέσματα της ιεράρχησης όπως φαίνεται και από τους ανωτέρω χάρτες. Συνεπώς, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε αποτελεί ένα ευέλικτο και ικανό εργαλείο και δύναται να χρησιμοποιηθεί από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για την αντιμετώπιση τέτοιων πολύπλοκων προβλημάτων ιεράρχησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) για τη δημιουργία ενός χάρτη που δύναται να χρησιμοποιηθεί για την ιεράρχηση έργων αντιπλημμυρικής θωράκισης στη μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης. Κατά το σχεδιασμό του μοντέλου ελήφθησαν υπόψη πολλές πτυχές, ήτοι περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές, ενώ τελικά επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν δεκαοκτώ (18) υποκριτήρια τα οποία κρίθηκαν ότι επηρεάζουν άμεσα την ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών έργων με βάση τη βιβλιογραφία και τους σχετικούς τοπικούς εμπειρογνώμονες.

Για τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας λήφθηκαν υπόψη οι απόψεις εννιά (9) τοπικών εμπειρογνομένων, ενώ η μέθοδος υπολογισμού του γεωμετρικού μέσου όρου των μεμονωμένων αξιολογήσεων επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη της ύπαρξης ακραίων τιμών. Ο λόγος συνέπειας (CR) των εν λόγω τιμών ήταν μικρότερος του 0.1, γεγονός το οποίο δείχνει ότι οι γνώμες αυτών ήταν συνεπείς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του χάρτη ιεράρχησης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι το οικονομικό κριτήριο επιλέχθηκε ως το πιο σημαντικό και συνεπώς κατέχει την μεγαλύτερη βαρύτητα στην ιεράρχηση ενός αντιπλημμυρικού έργου, ακολουθούμενο από το κοινωνικό και τέλος το περιβαλλοντικό.

Στη συνέχεια, η εφαρμογή της μεθόδου AHP σε περιβάλλον GIS απέδωσε αποτελέσματα τα οποία προσέφεραν προστιθέμενη αξία στις υπάρχουσες γνώσεις, καθώς μέσω αυτού πραγματοποιήθηκε η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Ο έλεγχος του μοντέλου πραγματοποιήθηκε μέσω της χωρικής ανάλυσης ευαισθησίας, η οποία μελετά τις συνέπειες που υφίσταται η βέλτιστη λύση ενός γραμμικού μοντέλου, ως συνέπεια των αλλαγών στις τιμές των παραμέτρων του. Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, οι οποίοι καλούνται να διαχειριστούν προβλήματα σε δυναμικό περιβάλλον απαντώντας σε υποθετικά σενάρια. Η χωρική φύση των γεωγραφικών προβλημάτων ενισχύει την πολυπλοκότητα της λήψης αποφάσεων μέσω των χωρικών αλληλεξαρτήσεων και της χωροχρονικής δυναμικής. Οι μελλοντικές επιπτώσεις των προτεινόμενων επιλογών είναι συχνά στοχαστικές και βαθιά

αβέβαιες. Συνεπώς, οι λύσεις σε τέτοια προβλήματα θα πρέπει να αξιολογηθούν διεξοδικά για να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητά τους σε ένα ευρύ φάσμα πιθανών μελλοντικών συνθηκών. Η ισχυρότητα του μοντέλου μπορεί να οριστεί ως η ελάχιστη απόκριση μιας πρότυπης λύσης που προκαλείται από την αλλαγή των συνθηκών εισόδου, δηλαδή η ιεράρχηση των επιλογών δεν επηρεάζεται σημαντικά από μικροαλλαγές στα στοιχεία της αξιολόγησης. Ως αποτέλεσμα, η ανάλυση ευαισθησίας προσδίδει ιδιαίτερη αξία σε σύνθετα χωρικά προβλήματα όπως το παρόν, ενώ οι παραδοχές χαρτογραφούνται και δίνουν άμεσα συμπεράσματα στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης εξετάστηκαν διάφορα σενάρια εφαρμόζοντας μία ποσοστιαία μεταβολή της τάξεως του $\pm 5\%$ σε ένα εύρος τιμών $\pm 20\%$ για κάθε έναν από τους συντελεστές βαρύτητας των τριών βασικών κριτηρίων. Τα αποτελέσματα αυτής αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν σε σχετικούς χάρτες, ενώ έδειξαν ότι προσφέρει ένα ασφαλές αποτέλεσμα καθώς οποιαδήποτε μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας επιφέρει ελάχιστες μεταβολές στα αποτελέσματα της ιεράρχησης.

Η καινοτομία της συγκεκριμένης μελέτης είναι η σύνδεση ενός φάσματος φυσικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, οι οποίοι δεν είχαν εξεταστεί συνδυαστικά στο σύνολό τους στο παρελθόν. Από την εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεράρχησης σε περιβάλλον GIS που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή, προκύπτει ότι μπορεί να αποτελέσει μία άριστη βάση για μελέτη εφαρμογής. Τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση αντίστοιχων προβλημάτων ιεράρχησης, καθώς φαίνεται να ικανοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις της μελέτης αυτής. Βασική προϋπόθεση φυσικά αποτελεί η ύπαρξη και χρήση ορθών πρωτογενών δεδομένων για την ακριβέστερη διατύπωση των αποτελεσμάτων.

Μέσω της προτεινόμενης επίλυσης δίνεται η δυνατότητα της αναδιάταξης των υφιστάμενων σχεδίων καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο ανάπτυξης και ανάλυσης εφαρμογών που έχουν σχέση με την ιεράρχηση των προτεινόμενων μέτρων για την αντιπλημμυρική θωράκιση μιας περιοχής. Συνεπώς, χτίζεται ένα ευέλικτο σύστημα διαχείρισης τέτοιων καταστάσεων εκτάκτων αναγκών, το οποίο έχει ως στόχο την αποδοτικότερη και οικονομικότερη επιλογή αντιπλημμυρικών έργων και στηρίζει ταυτόχρονα την αειφόρο ανάπτυξη στοχεύοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.

Σε επέκταση της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν να ενταχθούν στη χωρική ανάλυση ακριβέστερα δεδομένα, γεγονός το οποίο θα καθιστούσε ίσως και τα αποτελέσματα της

επίλυσης άμεσα υλοποιήσιμα από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Επιπλέον, οι ειδικοί που ερωτήθηκαν κάλυπταν κυρίως το υπόβαθρο των υδρολογικών επιστημών. Καθώς συμπεριλήφθηκαν και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες στην ανάλυση, θα μπορούσαν να ζητηθούν οι απόψεις από ένα πολυεπιστημονικό υπόβαθρο. Οι γνώμες των τοπικών φορέων και των υπεύθυνων λήψης αποφάσεων, μη ειδικών, θα μπορούσαν να είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για την εν λόγω μελέτη περίπτωσης.

Εν κατακλείδι, η μέθοδος της Αναλυτικής Ιεράρχησης έχει εφαρμοστεί ευρέως σε διάφορους κλάδους. Επιπλέον, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι γνωστά ως συστήματα υποστήριξης χωρικών αποφάσεων που επιτρέπουν την ανάλυση, τη διαχείριση και την παρουσίαση χωρικών δεδομένων. Ως εκ τούτου, ο συνδυασμός αυτών AHP-GIS αποτελεί μία ισχυρή τεχνική, η οποία μπορεί να ενσωματώσει χωρικά δεδομένα και αξιόλογες εκτιμήσεις για την απόκτηση χρήσιμων πληροφοριών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AAGD. (2013). *Managing the Floodplain: A Guide to Best Practice in Flood Risk Management in Australia (Handbook 7)*. Canberra: Australian Attorney-General's Department.
- Afshari, A., Mojahed, M., & Yusuff, R. (2010). Simple additive weighting approach to personnel selection problem. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(5).
- APFM. (2012). A Tool for Integrated Flood Management: Urban Flood Risk Management. *World Meteorol. Organ.*(29), 1-43.
- Barnett, J., Graham, S., Mortreux, C., Fincher, R., Waters, E., & Hurlimann, A. (2014). A local coastal adaptation pathway. *Nature Climate Change*, 4, 1103-1108.
- Benger, S. (2012). Regional and Urban GIS: A Decision Support Approach – By Timothy L. Nyerges and Piotr Jankowski. *Geographical Research*, 50(1).
- Bhushan, N., & Rai, K. (2004). Strategic decision making. Applying the analytic hierarchy process. *Springer*(9), σσ. 11-21.
- Borga, M., Anagnostou, E. N., Blöschl, G., & Creutin, J. D. (2011). Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project. *J. Environ. Sci. Policy*(14), 834-844.
- Buurman, J., & Babovic, V. (2016). Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. *Policy and Society*, 35(2), 137-150.
- Chang, N. B., & Guo, D. H. (2006). Urban flash flood monitoring, mapping and forecasting via tailored sensor network system. *In Proceedings of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*. Ft. Lauderdale, FL, USA.
- Chen, V., Lien, H., Liu, J., Liou, J., Tzeng, G., & Yang, L. (2011). Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Applied Soft computing Journal*, 11(1), 265-275.
- Chen, Y., Yu, J., & Khan, S. (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 25, 1582-1591.
- Chu, A., Kalaba, R., & Spingarn, K. (1979). A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 27(4), 531-538.

- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support System, 51*(3).
- CRED. (2020). *Natural Disasters 2019*. Brussels, Belgium: Institute Health and Society UClouvain.
- Daniel, C. (1958). On varying one factor at a time. *Biometrics, 14*, 430-431.
- DEFRA. (2007). *Sustainable Flood and Coastal Erosion Risk Management (Part-1)*. UK: Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).
- Denton, F., Wilbanks, T. J., Abeysinghe, A. C., Burton, I., Gao, Q., Lemos, M. C., . . . Warner, K. (2014). *Climate-resilient pathways: adaptation, mitigation, and sustainable development. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the I*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press,.
- Dessai, S., O'Brien, K., & Hulme, M. (2007). Editorial: on uncertainty and climate change. *Global Environmental Change, 17*(1), 1-3.
- DFID. (2005). *Disaster Risk Reduction: A Development Convern*. London: UK Department for International Development.
- Dihn, Q., Balica, S., Popescu, I., & Jonoski, A. (2012). A Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta. *Int. J. River Basin Manag.*(10), 103-120.
- Downing, T. E. (2012). Views of the frontiers in climate change adaption economics. *WIRE's Climate Change 3*, 161-170.
- Eskandari, M., Homae, M., & Mahmodi, S. (2012). An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste Management, 32*(8).
- ESRI. (2012a). *Understanding Earth*. California, USA: Environmental Systems Research Institute.
- ESRI. (2012b). *What is GIS?* . California, USA: Environmental Systems Research Institute.
- European Commission. (χ.χ.). *EU Floods Directive: What Is Flood Risk Management*.
 Ανάκτηση από https://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_risk.htm

- Fazey, I., Kesby, M., Evely, A., Latham, I., Wagatora, D., Hugasua, J. E., . . . Christie, M. (2010b). A three-tiered approach to participatory vulnerability assessment in the Solomon Islands. *Global Environmental Change*, 20(4), 713-728.
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013b). Land suitability analysis for Tabriz Country, Iran: a multicriteria evaluation approach using GIS. *J. Environ. Plann. Manage.*(56), 1-23.
- Ferretti, V. (2011). Integrating Multicriteria Analysis and Geographic Information Systems: a survey and classification of the literature. *74th Meeting of the European Working Group "Multiple Criteria Decision Aiding"*.
- Geertman, S. (2011). Spatial decision support systems: principles and practices, by R. Sugumaran and J. DeGroot. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(11), 1-2.
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83.
- Hinkel, J. (2011). Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a classification of the science-policy interface. *Global Environmental Change*(21), 198-208.
- Ishizaka, A., & Labib, A. (2009). Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and limitations. *OR Insight*, 22(4), 201-220.
- Ishizaka, A., & Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14336-14345.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Jonkman, S. N., & Dawson, R. J. (2012). Issues and Challenges in Flood Risk Management - Editorial for the Special Issue on Flood Risk Management. *Water*(4), 785-792.
- Khan, H., Vasilescu, L. G., & Khan, A. (2008). Disaster Management Cycle-A Theoretical Approach. *J. Manag. Mark.*(6), 43-50.
- Kritikos, T., & Davies, T. H. (2011). GIS-based multi-criteria decision analysis for landslide susceptibility mapping at northern Evia, Greece. *Z dt Ges Geowiss*(162), 421-434.
- Kundzewicz, Z. W., & Takeuchi, K. (1999). Flood protection and management: quo vadimus? *Hydrol. Sci. J.*, 44(3), 417-432.

- Laarhoven, P., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's Priority Theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.
- Lootsma, F. A. (1999). *Multi-criteria decision analysis via ration and difference judgement*. Boston: Kluwer.
- Luino, F., Turconi, L., Petrea, C., & Nigrelli, G. (2012). Uncorrected land-use planning highlighted by flooding: the Alba case study (Piedmont, Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*(12), 2329-2346.
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer.
- Mikhailov, L. (2000). A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Journal of the Operational Research Society*, 51(3), 341-349.
- Montibeller, G., & Franco, A. (2010). Multi-Criteria Decision Analysis for Strategic Decision Making. Στο *Handbook of Multicriteria Analysis* (σσ. 25-48).
- Murayama, Y., & Thapa, R. (2011). *Spatial analysis and modeling in geographical transformation process. GIS-based applications*. Dordrecht, New York: Springer (GeoJournal library, v.100).
- Nefeslioglu, H., Sezer, E., Gokceoglu, C., & Ayas, Z. (2013). A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. *Computers and Geosciences*, 59, 1-8.
- Nyerges, T. L., & Jankowski, P. (2010). *Regional and urban GIS. A decision support approach*. New York: Guilford Press.
- O'Brien, K. L., & Wolf, J. (2010). A values-based approach to vulnerability and adaptation to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(2), 232-242.
- Pelling, M. (2011). *Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation*. London: Routledge.
- Reza, M., Abdullah, S., Nor, S., & Ismail, M. (2013). Integrating GIS and expert judgment in a multi-criteria analysis to map and develop a habitat suitability index: A case study of large mammals on the Malayan Peninsula. *Ecological Indicators*, 34, 149-158.
- Rezaei, J., & Ortt, R. (2013). Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 75-84.
- Saaty, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.

- Saaty, T. (2012). Decision making for leaders. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-15*(3), 450-452.
- Saaty, T., & Hu, G. (1998). Ranking by Eigenvector Versus Other Methods in the Analytic Hierarchy Process. *Applied Mathematics Letters, 11*(4), 121-125.
- Saaty, T., & Kearns, K. (1985). *Analytical planning: the organization of systems*. Oxford, New York: Pergamon Press.
- Schipper, L., & Pelling, M. (2006). Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to integration. *Disasters*(30), 16-38.
- Sugumaran, R., & DeGroot, J. (2010). *Spatial decision support systems: Principles and practices*. CRC Press.
- Takeuchi, K. (2001). Increasing Vulnerability to Extreme Floods and Societal Needs of Hydrological Forecasting. *Hydrol. Sci. J.*(46), 869-881.
- Thieken, A. H., Kreibich, H., Müller, M., & Merz, B. (2007). Coping with Floods: Preparedness, Response and Recovery of Flood-Affected Residents in Germany in 2002. *Hydrol. Sci. J.*(52), 1016-1037.
- Thompson, M. (2011). Regional and Urban GIS: A Decision Support Approach by Timothy L. Nyerges and Piotr Jankowski. *Journal of Regional Science, 51*(2), 422-423.
- Tomlinson, R. F. (1969). A Geographic Information System for Regional Planning. *Journal of Geography, 78*(1), 45-48.
- Ugwu, O. O., Kumaraswamy, M. M., Wong, A., & Ng, S. T. (2006). Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP):Part 1. Development of indicators and computational methods. *Autom. Constr.*(15), 239-251.
- Valey, W. (2004). Integrated approaches to sustainability assessment: an alignment of ends and means. *Proceedings of the 24th Annual Meeting and Conference of the International Association for Impact Assessment*. Vancouver, Canada.
- Vis, M., Klijn, E., De Bruijn, K. M., & Van Buuren, M. (2003). Resilience Strategies for Flood Risk Management in the Netherlands. *Int. J. River Basin Manag.*(1), 33-40.
- Wamsler, C. (2004). Managing urban risk: perceptions of housing and planning as a tool for reducing disaster risk. *Glob. Built Environ. Rev.*(4), 11-28.
- WHO. (2017). *Selecting Measures and Designing Strategies for Integrated Flood Management: A Guidance Document*. Netherlands: Swiss Federal Office for the Environment, Netherlands Ministry of Infrastructure and Environment and Deltares.

- Wise, R., Fazey, I., Stafford Smith, M., Park, S., Eakin, H., Archer Van Garderen, E., & Campbell, B. (2014). Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change*, 28, 325-336.
- Σαπουντζάκη, Κ., & Δανδουλάκη, Μ. (2015). *Κίνδυνοι και Καταστροφές: Έννοιες και Εργαλεία Αξιολόγησης, Προστασίας, Διαχείρισης*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.
- Χαλκιάς, Χ. (2015). *Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.

NOMΟΘΕΣΙΑ

Οδηγία 1991/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1991 «για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων», (ΕΕ L 135/40 της 30.05.1991)

Οδηγία 1992/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1992 «για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας», (ΕΕ L 206 της 22.07.1992 σ. 7)

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000 «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδατων», (ΕΕ L 327 της 22/12/2000 σ. 1-73)

ΥΑ 1299/07-04-2003: «Έγριση του από 7.4.2003 Γενικού Σχεδίου Πολιτικής Προστασίας με τη συνθηματική λέξη «Ξενοκράτης», (ΦΕΚ 423/Β/10-04-2003)

Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 «για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση Κινδύνων Πλημμύρας», (ΕΕ L 288 της 6.11.2007 σ. 27-34)

ΚΥΑ Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010: «Αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007», (ΦΕΚ 1108/Β/21-07-2010)

Εγκύκλιος με **αρ. πρωτ.: 7824/16-11-2011** της Δ/σης Σχεδιασμού και Αντιμετώπισης Έκτακτων αναγκών της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας: «Σχεδιασμός και

δράσεις Πολιτικής Προστασίας για την αντιμετώπιση κινδύνων από την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων»

Απόφαση Ε.Γ. οικ.106/2014 της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής: «Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας», (ΦΕΚ 182/Β/31-1-2014)

ΚΥΑ 172058/2016: «Καθορισμός κανόνων, μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες, λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2012/18/ΕΕ «για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες για την τροποποίηση και στη συνέχεια την κατάργηση της οδηγίας 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4^{ης} Ιουλίου 2012. Αντικατάσταση της υπ' αριθ. 12044/613/2007 (Β'376), όπως διορθώθηκε (Β'2259/2007)», (ΦΕΚ 354/Β/17-02-2016)

ΚΥΑ 50743/11-12-2017: «Αναθεώρηση Εθνικού Καταλόγου Περιοχών του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000», (ΦΕΚ 4432/Β/15-12-2017)

Απόφαση οικ.905/21-12-2017 της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων «Έγκριση της 1^{ης} Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων», (ΦΕΚ Β 4675/Β/29-12-2017)

Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής **ΥΠΕΝ/ΓρΕΓΥ/41389/332/29-06-2018:** «Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΕΛ10) και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων», (ΦΕΚ 2638/Β/05-07-2018)

Υπ' αριθ. 25 Ειδική Έκθεση του 2018: «Οδηγία για τις πλημμύρες: πρόοδος ως προς την αξιολόγηση των κινδύνων, ανάγκη βελτίωσης του σχεδιασμού και της υλοποίησης» (υποβαλλόμενη δυνάμει του άρθρου 287, παράγραφος 4, δεύτερο εδάφιο, ΣΛΕΕ)

Εγκύκλιος με **αρ. πρωτ.: 7767/30-10-2019** της Δ/σης Σχεδιασμού και Αντιμετώπισης Έκτακτων αναγκών της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας: «Σχέδιο δράσεων Πολιτικής Προστασίας για την αντιμετώπιση κινδύνων από την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων»

ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- 1| Ινστιτούτο Πληροφοριακών Συστημάτων/Ερευνητικό Κέντρο «Αθηνά» (ΙΠΣΥ/ΕΚ Αθηνά) (<http://geodata.gov.gr/>)
- 2| Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΠΕΝ-ΕΓΥ) (<https://floods.ypeka.gr/>)
- 3| Βάση ανοιχτών δεδομένων Openstreetmaps (<https://www.openstreetmap.org/>)
- 4| Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environment Agency, EEA) (<https://www.eea.europa.eu/>)
- 5| Πρόγραμμα Γεωεπισκόπησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης Copernicus (<https://land.copernicus.eu/>)
- 6| Ελληνική Στατιστική Αρχή (<https://www.statistics.gr/>)